

Západočeská univerzita v Plzni
Fakulta aplikovaných věd

VIRTUÁLNÍ 3D MAPY
Z POHLEDU KARTOGRAFIE

Ing. Pavel Hájek

disertační práce
k získání akademického titulu
doktor v oboru Geomatika

Školitel: Doc. Ing. Václav Čada, CSc.

Katedra: Katedra Geomatiky

Plzeň, 2018

University of West Bohemia in Pilsen
Faculty of Applied Sciences

VIRTUAL 3D MAPS
FROM A CARTOGRAPHY POINT OF VIEW

Ing. Pavel Hájek

Dissertation thesis
submitted for the degree of
Doctor of Philosophy in Geomatics

Supervisor: Assoc. Prof. Václav Čada
Department: Department of Geomatics

Pilsen, 2018

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě disertační práci zpracovanou na závěr doktorského studia na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že tato disertační práce je mým původním autorským dílem, které jsem vypracoval samostatně. Všechny zdroje, prameny a literaturu, které jsem při vypracování používal nebo z nich čerpal, v práci řádně cituji s uvedením úplného odkazu na příslušný zdroj.

V Plzni dne 30. dubna 2018

.....

Ing. Pavel Hájek

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému školiteli docentovi Václavovi Čadovi za projevenou důvěru a vedení. Poté bych chtěl poděkovat svým kolegům z katedry geomatiky a odborným konzultantům doktorům Karlovi Jedličkovi a Otakarovi Čerbovi za jejich cenné rady, postřehy a diskuze. Za pomoc při vyhodnocování praktické části práce pak děkuji kolegyni z katedry matematiky doktorce Blance Šedivé.

A samozřejmě nemohu opomenout poděkovat svým rodičům za celoživotní podporu a péči a také své snoubence za její trpělivost a povzbuzení. V neposlední řadě bych také chtěl poděkovat všem respondentům, kteří se zúčastnili mého on-line dotazníkového šetření.

„Ten, kdo se nikdy nedopustil chyby, se nikdy nepokusil o něco nového.“ (Albert Einstein)

„Pokrok přináší ti, kdo se odvažují měnit vše, co není v pořádku.“ (Bernard Bolzano)

„Je třeba si uvědomit, že dlouhý a krátký výklad směřují k témuž cíli.“ (Epikúros)

Abstrakt

V posledních letech si je Mezinárodní kartografická asociace vědoma přerodu oboru kartografie od klasických dvourozměrných map k jiným, technologiemi ovlivněným kartografickým dílům. Na této myšlence stojí tato práce, která si klade za cíl zkoumat možnosti aplikování vybraných kartografických principů platných ve dvojrozměrné ploše mapy do prostředí virtuální 3D mapy. Virtuální 3D mapa jako nový druh kartografického díla je v této práci popsána a vymezena, a to nejen z pohledu toho, co si pod tímto pojmem představit, ale také z pohledu toho, jak jí vytvořit. Tato teoretická část práce je završena inovativní systematizací a syntézou principů ovlivňujících volbu a tvorbu kartografických znaků či symbolů použitých pro virtuální 3D mapu. Na jejím základě je vytvořen a popsán konkrétní příklad virtuální 3D mapy, jenž je součástí evropského projektu „Krajina paměti, Drážďany a Terežín jako místa vzpomínek na ŠOA“.

Teoretická část práce je následována výzkumem vnímání a práce s dvourozměrnými a trojrozměrnými znaky vytvořenými dle návrhů a postupů tvorby mapové symboliky z předešlé systematizace. Výzkum je proveden pomocí komparativní studie, realizované on-line dotazníkovým šetřením. V něm respondenti určovali odpovědi na zadané otázky řešené nad dvourozměrným nebo trojrozměrným kartografickým vyjádřením objektů. Na základě statistického vyhodnocení poměru četností správných odpovědí mezi 2D a 3D variantami otázek byla zkoumána vhodnost těchto vyjádření pro řešení konkrétních typů úloh.

Přínosem této práce je popis, vymezení a tvorba virtuální 3D mapy jako kartografického díla, poté také syntetizace poznatků o virtuální 3D mapě z pohledu kartografie se zaměřením na tvorbu kartografického vyjádření objektů na těchto mapách, spolu s experimentálním ověřením vybraných kartografických principů pomocí porovnání vhodnosti 2D či 3D vyjádření objektů. Na tyto závěry lze dále navázat například výzkumem řešícím různé trojrozměrné varianty kartografických vyjádření reálných objektů či výzkumem možností zobrazení abstraktních a časově proměnných jevů na virtuálních 3D mapách.

Klíčová slova

3D, virtuální, mapa, kartografie, principy, kartografické vyjádření, 3D model

Abstract

In recent years, the International Cartographic Association is aware of the transformation of cartography field from classic two-dimensional maps to other, technology-affected and technology-driven cartographic works. The aim of this dissertation is to explore the possibilities of applying selected cartographic principles valid for two-dimensional maps to the virtual 3D map environment.

A virtual 3D map as a new kind of cartographic work is described and determined in this paper. Not only in a way how to see this concept, but also how to create such a map. The theoretical part of this thesis is completed by the innovative systematization and synthesis of principles influencing the choice and creation of cartographic symbols used for the virtual 3D map. Based on this, a concrete example of a virtual 3D map is created and described. Virtual 3D map of the Terezín Fortress, as this example is called, was created within the European project „Memorial Landscapes: Dresden and Terezín as places to remember the Shoah“.

This theoretical part is followed by the practical research of perception and dealing with two-dimensional and three-dimensional symbols created according to the designs and procedures of creating map symbolism from the previous systematization. The research is conducted using a comparative study realized via an on-line questionnaire survey. Anonymous respondents determined responses to the questions asked on the base of 2D or 3D cartographic representations of objects. Based on the statistical evaluation of the ratio of correct answers between 2D and 3D variants of questions, the suitability of these representations for solving specific types of problems was examined.

The contribution of this dissertation is in determination and creation of a virtual 3D map as a cartographic work, synthesizing knowledge about a virtual 3D map from the cartography point of view with a focus on creating cartographic representations of objects on these maps and experimental verification of selected cartographic principles by comparing the suitability of 2D or 3D representations of objects. These conclusions can be also followed, for example, by research dealing with various three-dimensional variants of cartographic representations of real objects, abstract objects, or time-dependent phenomena displayed on virtual 3D maps.

Keywords

3D, virtual, map, cartography, principles, cartographic representation, 3D model

Obsah

Seznam obrázků.....	1
Úvod.....	3
Motivace práce.....	6
Cíle disertační práce.....	7
Vymezení disertační práce.....	8
1 Teoretická východiska práce.....	9
1.1 Základní používané pojmy.....	9
1.2 Vybrané principy kartografických děl.....	15
1.3 Vybrané kartografické vyjadřovací prostředky.....	17
1.4 Tvorba kartografických znaků.....	19
1.5 Přejít od 2D ke 3D kartografickým vyjádřením.....	22
2 Koncept a tvorba virtuální 3D mapy.....	23
2.1 Koncept virtuální 3D mapy.....	24
2.1.1 Prvky obsahu virtuální 3D mapy.....	24
2.1.2 Kartografické techniky užívané v rámci virtuálních 3D map.....	29
2.1.3 Mapová interaktivita.....	36
2.1.4 Zobrazovací techniky pro trojrozměrná data.....	44
2.2 Tvorba virtuální 3D mapy.....	46
2.2.1 Modelování.....	49
2.2.2 Tvorba mapové symboliky.....	50
2.2.3 Vizualizace.....	54
2.3 Kategorizace prvků na virtuálních 3D mapách.....	59
2.4 Příklady virtuálních 3D glóbů.....	64
3 Specifika virtuálních 3D map urbanizovaného území.....	67
3.1 Obsah virtuálních 3D map urbanizovaného území.....	68
3.2 Tvorba mapové symboliky pro virtuální 3D mapy urbanizovaného území.....	70
3.2.1 Budovy.....	71
3.2.2 Komunikace.....	75
3.2.3 Vegetace.....	77
3.2.4 Městský mobiliář.....	81
3.3 Příklady virtuálních 3D map urbanizovaného území.....	83
3.4 Společné a rozdílné znaky výše uvedených virtuálních 3D map.....	89
3.5 Konkrétní příklad virtuální 3D mapy urbanizovaného území.....	90

4	Syntéza principů tvorby virtuálních 3D map a jejich mapové symboliky na příkladu urbanizovaného území	95
4.1	Syntéza obecných přístupů k tvorbě virtuální 3D mapy.....	95
4.2	Syntéza specifik virtuálních 3D map z pohledu principů kartografických děl.....	96
4.3	Syntéza konkrétních přístupů u vybraných kroků tvorby virtuální 3D mapy urbanizovaného území.....	98
4.3.1	Modelování.....	99
4.3.2	Tvorba mapové symboliky.....	100
5	Evaluace mapové symboliky pro virtuální 3D mapy urbanizovaného území.....	102
5.1	Metodika pro experimenty zkoumající evaluaci přístupů k tvorbě mapové symboliky virtuálních 3D map urbanizovaných území.....	102
5.2	Konkrétní výzkumné otázky vztahující se k evaluaci mapové symboliky pro virtuální 3D mapy urbanizovaných území.....	108
5.3	Návrh a implementace konkrétních experimentů.....	109
5.3.1	Experiment A: Nalezení konkrétního typu stavby	113
5.3.2	Experiment B: Zjištění velikosti prvků.....	115
5.3.3	Experiment C: Orientace ve dvourozměrném a trojrozměrném prostoru	117
5.3.4	Experiment D: Potenciální výhoda trojrozměrného kartografického vyjádření oproti dvourozměrnému	119
5.3.5	Experiment E: Dvourozměrné a trojrozměrné vyjádření vegetace.....	121
5.3.6	Experiment F: Dvourozměrné a trojrozměrné vyjádření liniového prvku.....	123
5.4	Vyhodnocení provedených experimentů a dotazníků	124
5.4.1	Vyhodnocení experimentu A.....	131
5.4.2	Vyhodnocení experimentu B	133
5.4.3	Vyhodnocení experimentu C	135
5.4.4	Vyhodnocení experimentu D.....	137
5.4.5	Vyhodnocení experimentu E.....	139
5.4.6	Vyhodnocení experimentu F.....	142
5.5	Shrnutí vyhodnocení experimentů.....	144
6	Výsledky této práce	147
6.1	Rozbor klíčových otázek evaluace přístupů k tvorbě mapové symboliky pro virtuální 3D mapy urbanizovaných území.....	147
6.2	Rozbor konkrétních výzkumných otázek.....	149
6.3	Rozbor metodiky pro komparativní případové studie	151
6.4	Možnosti dalšího výzkumu	152
	Diskuze	153
	Závěr.....	156

Seznam literatury.....	158
Seznam publikovaných prací.....	171
Přílohy disertační práce.....	173
Příloha experimentu A	175
Příloha experimentu B.....	181
Příloha experimentu C.....	189
Příloha experimentu D	196
Příloha experimentu E.....	198
Příloha experimentu F	204
Příloha vyhodnocení všech otázek experimentů	208
Příloha vyhodnocení úvodního dotazníku	208
Příloha vyhodnocení závěrečného dotazníku	212

Seznam obrázků

Obrázek 1-1 Druhy mapových znaků podle tvaru a reprezentace dle Pravda (2006).....	18
Obrázek 1-2 Vlastnosti kartografického znaku dle Pravda (2006).....	19
Obrázek 1-3 Parametry kartografických znaků dle Halik (2012).....	21
Obrázek 2-1 Zobrazení územního rozsahu města Prahy v geografické databázi ArcČR 500.....	27
Obrázek 2-2 Příklady různých úrovní abstrakce pro objekt mostu dle Bodum (2005).....	30
Obrázek 2-3 Kartografické metody zvýraznění využívající grafických proměnných dle Robinson (2013).....	31
Obrázek 2-4 Příklady technik založených na kontextu dle Trapp et al. (2011).....	33
Obrázek 2-5 Příklady aplikace technik pro zvýraznění na ukázce virtuálního 3D modelu zástavby dle Trapp et al. (2011).....	34
Obrázek 2-6 Propojení virtuální 3D scény a digitální topografické 2D mapy.....	39
Obrázek 2-7 Ukázka opakování bodově lokalizovaných 3D symbolů.....	42
Obrázek 2-8 Klasifikační systém trojrozměrných prezentačních technik v kartografii dle Kraak (1988).....	44
Obrázek 2-9 Diagram procesů podílejících se na vytvoření virtuální 3D mapy dle Häberling et al. (2008).....	46
Obrázek 2-10 Přehled aspektů modelování, symbolizace a vizualizace trojrozměrných dat dle Häberling et al. (2008).....	47
Obrázek 2-11 Ukázka z postupu tvorby 3D mapy dle Bandrova (2005).....	48
Obrázek 2-12 Ukázky vektorových podob virtuálních 3D modelů zobrazujících zastřešení hradu Radyně.....	53
Obrázek 2-13 Možná kartografická vyjádření virtuálního 3D modelu od fotorealistického po symbolický dle Pasewaldt et al. (2012).....	53
Obrázek 2-14 Možná kartografická vyjádření okna budovy od vektorového po hybridní.....	54
Obrázek 2-15 Příklady kategorizace vizualizačních technik na základě dimenze dat a referenčního prostoru dle Dübel et al. (2014).....	55
Obrázek 2-16 MacEachrenova krychle účelů geovizualizací dle Bleisch (2012).....	56
Obrázek 2-17 Postup vizualizace za použití principu LOA dle Semmo et al. (2012).....	57
Obrázek 2-18 Pět úrovní detailu (LOD) objektů definovaných ve standardu CityGML dle OGC (2012).....	58
Obrázek 2-19 Požadavky na přesnost geometrie modelu ve standardu CityGML dle OGC (2012).....	61
Obrázek 2-20 Vztah mezi úrovní abstrakce a velikostí virtuálních 3D modelů dle Jahnke et al. (2009).....	61
Obrázek 2-21 Ukázka – Google Earth Online (zdroj: earth.google.com).....	65
Obrázek 2-22 Ukázka – F4map (zdroj: demo.f4map.com).....	66
Obrázek 2-23 Ukázka – ArcGIS Online (zdroj: arcgis.com).....	66
Obrázek 3-1 Úrovně detailu a geometrická přesnost v rámci CityGML dle OGC (2012).....	72
Obrázek 3-2 Obsah úrovní detailů pro téma budov dle OGC (2012).....	72
Obrázek 3-3 Různé kartografické symboly pro objekt kostela dle Petrovič (2003).....	73
Obrázek 3-4 Různé podoby 3D symbolu pro objekt kostela v Terezíně.....	73
Obrázek 3-5 Úrovně abstrakce vizualizace kostela dle Elias et al. (2006).....	73
Obrázek 3-6 Ukázka kartografických technik užívajících principu Level of Abstraction pro objekt budovy dle Pasewaldt et al. (2012).....	74
Obrázek 3-7 Ukázka úrovní detailu dle CityGML pro téma pozemní komunikace dle OGC (2012).....	75
Obrázek 3-8 Ukázka typů reprezentací vegetace dle OGC (2012).....	77
Obrázek 3-9 Různé kartografické vyjádření solitérní vegetace dle Herman (2013b).....	78
Obrázek 3-10 Pět úrovní abstrakce kartografického vyjádření modelu stromu dle Bodum (2005).....	78
Obrázek 3-11 Ukázka kartografických technik užívajících principu Level of Abstraction pro objekt stromu dle Pasewaldt et al. (2012).....	78
Obrázek 3-12 Ukázka reálné situace a virtuálních 3D modelů městského mobiliáře dle OGC (2012).....	81
Obrázek 3-13 Ukázka různých úrovní detailu virtuálních 3D modelů městského mobiliáře dle Bandrova (2001).....	82
Obrázek 3-14 Ukázka – Berlin Economic Atlas (zdroj: www.virtual-berlin.de).....	83
Obrázek 3-15 Ukázka – CiberCity3D (zdroj: www.cybercity3d.com).....	84

Obrázek 3-16 Ukázka – atlas3D (zdroj: concept3d.com/atlas3d).....	84
Obrázek 3-17 Ukázka – swissBUILDINGS3D (zdroj: map.geo.admin.ch).....	85
Obrázek 3-18 Ukázka – Melown Solutions (zdroj: www.melown.com).....	85
Obrázek 3-19 Ukázka – Virtual London: London Air (zdroj: www.londonair.org.uk).....	86
Obrázek 3-20 Ukázka – virtuální 3D model Prahy (zdroj: www.iprpraha.cz).....	86
Obrázek 3-21 Ukázka – virtuální 3D mapa zámku Kozel (zdroj: kgm.zcu.cz/3dgis).....	87
Obrázek 3-22 Ukázka – Virtuální 3D mapa městské části Brna - Nový Lískovec (zdroj: olli.wz.cz).....	87
Obrázek 3-23 Ukázka – Virtuální 3D mapa pevnosti Terezín.....	88
Obrázek 3-24 Ukázka kartografického vyjádření částí virtuálního 3D modelu opevnění pevnosti Terezín.....	91
Obrázek 3-25 Ukázka dvou kategorií objektů staveb dle jejich kartografického vyjádření.....	92
Obrázek 3-26 Kartografické vyjádření vegetace.....	93
Obrázek 3-27 Bodově lokalizované 3D ikony s informacemi.....	93
Obrázek 3-28 Ukázka současné online verze virtuální 3D mapy pevnosti Terezín.....	94
Obrázek 4-1 Příklad různého zobrazení stejných objektů ve virtuální 3D scéně.....	96
Obrázek 5-1 Diagram rozdělení výzkumných metod na základě tří hledisek dle Popelka (2018).....	103
Obrázek 5-2 Přehled klíčových vlastností within-subject a between-subject plánů experimentů dle Popelka (2018).....	105
Obrázek 5-3 Návrh případové studie dle Goodrik (2014).....	107
Obrázek 5-4 Ukázky experimentu A.....	114
Obrázek 5-5 Ukázky experimentu B.....	116
Obrázek 5-6 Ukázky experimentu C.....	118
Obrázek 5-7 Ukázky experimentu D.....	120
Obrázek 5-8 Ukázky experimentu E.....	122
Obrázek 5-9 Ukázky experimentu F.....	124
Obrázek 5-10 Přehled počtu registrovaných odpovědí na jednotlivé otázky dotazníku.....	125
Obrázek 5-11 Přehled počtu správných a špatných odpovědí pro jednotlivé otázky dotazníku pro variantu jedné správné odpovědi.....	128
Obrázek 5-12 Přehled počtu správných a špatných odpovědí pro jednotlivé otázky dotazníku pro variantu správné a alternativní odpovědi.....	129
Obrázek 5-13 Krabicové grafy pro všechny odpovědi na jednotlivé otázky dotazníku.....	130
Obrázek 5-14 Porovnání četností správných/špatných odpovědí na otázky 1 a 2.....	131
Obrázek 5-15 Porovnání četností správných/špatných odpovědí na otázky 3 a 4 při hladině správnosti $\pm 10\%$ ke skutečně korektnímu výsledku.....	133
Obrázek 5-16 Porovnání četností správných/špatných odpovědí na otázky 3 a 4 při hladině správnosti $\pm 30\%$ ke skutečně korektnímu výsledku.....	133
Obrázek 5-17 Porovnání četností správných/špatných odpovědí na otázky 5 a 7.....	135
Obrázek 5-18 Porovnání četností správných/špatných odpovědí na otázky 6 a 8.....	136
Obrázek 5-19 Porovnání četností správných/špatných odpovědí na otázky 9 a 10.....	137
Obrázek 5-20 Porovnání četností správných/špatných odpovědí na otázky 9 a 10 při uvažování alternativní odpovědi.....	137
Obrázek 5-21 Porovnání četností správných/špatných odpovědí na otázky 11 a 13.....	139
Obrázek 5-22 Porovnání četností správných/špatných odpovědí na otázky 12 a 14 při hladině správnosti $\pm 10\%$ ke skutečně korektnímu výsledku.....	140
Obrázek 5-23 Porovnání četností správných/špatných odpovědí na otázky 12 a 14 při hladině správnosti $\pm 30\%$ ke skutečně korektnímu výsledku.....	140
Obrázek 5-24 Porovnání četností správných/špatných odpovědí na otázky 15 a 16.....	142
Obrázek 5-25 Porovnání četností správných/špatných odpovědí na otázky 15 a 16 při uvažování alternativní odpovědi u otázky 15.....	142

Úvod

Tvorba a využívání virtuálních 3D modelů se v dnešní době rapidně rozmáhá. Pomocí těchto modelů se reprezentují různé produkty lidské činnosti (nástroje, výrobky, zboží, stavby atd.), přírodní živé i neživé objekty (těla živočichů a rostlin, útvary vzniklé přírodními silami atd.) či celá řada dalších objektů. Virtuální 3D modely jako takové jsou pro uživatele velmi atraktivní a tudíž i velmi žádané. Stačí se podívat na množství záznamů nalezených internetovým vyhledávačem po zadání klíčového sousloví „virtual 3D model“. Trojrozměrné neboli trojdimenzionální či 3D modely objektů, které jsou prostorově vztažené k Zemi, tj. leží typicky na zemském povrchu či pod ním, lze zobrazit na tzv. virtuálních 3D mapách. Virtuální 3D mapy jsou novodobým kartografickým dílem, které není dosud v kartografické literatuře dopodrobna popsáno a definováno. To je zapříčiněno tím, že se zmíněným kartografickým produktem má kartografie možnost se setkávat až v posledních letech, a to především díky rozmachu informačních technologií. S tímto novým kartografickým dílem je spojena i metodika tvorby těchto děl, která je však stále nekompletní, i když již vznikají soudobé práce, které se začínají otázkou virtuálních 3D map zabývat, viz práce Bandrova (2005), Jobst & Germanchis (2007), Döllner (2008), Häberling (2008), Schmidt & Delazari (2010), Oleggini et al (2010), Pegg (2011), Semmo et al. (2012), Pasewald et al. (2012) a další, které jsou zmíněné v této práci.

Práce klasické kartografie posledních desetiletí určily principy tvorby současných kartografických děl. Mezi nimi jsou například i principy pro dvoudimenzionální znaky znázorňující na mapách různorodé prvky, objekty a jevy. Těmito principy se zabývaly práce českých i světových autorů, např. Bertin (1967, 1983), Hojovec (1987), Kraak (1988), Ratajski (1989), Robinson et al. (1995), Cartwright et al. (2006), Pravda (2006), Moellering (2007), Kraak & Ormeling (2010), Voženílek & Kaňok et al. (2011) a další.

V posledních letech jsou trendy v kartografii jednoznačné, ovlivněné zásadně rozvojem informačních technologií, viz Virrantaus et al. (2009). Tento vývoj reflektuje i Mezinárodní kartografická asociace ve svém strategickém plánu na roky 2011 – 2019, viz ICA (2011). Jedním z těchto trendů je i přesun od klasických kartografických děl zobrazujících objekty a jevy dvourozměrně ke kartografickým dílům zobrazujících objekty a jevy trojrozměrně. Klasické mapy však stále hrají svoji nezastupitelnou roli, protože existují úlohy, které jsou na klasických dvourozměrných mapách lépe řešitelné, viz např. práce Pascher & Philip (2001), Wood et al (2005), Popelka & Brychtová (2013), Fabrikant et al. (2014), Dübel et al. (2014), Coltekin et al. (2015), Livatino et al. (2015), Juřík et al. (2017) a další, či viz praktické experimenty v této práci uvedené v kapitole 5.

Díky rozmachu internetových technologií také došlo k rozšíření různorodých nástrojů pro tvorbu map mezi běžné uživatele, kteří nemají odborné kartografické znalosti. Což může vést k tomu, že kvalita map vytvořených laiky neboli nekartografy nemusí být vždy odpovídající. Došlo tedy k tzv. laicizaci či demokratizaci kartografie, viz Morrison (1997), Voženílek (2007), Čerba (2011), Brus et al. (2009), Konečný (2013) a také ICA (2011). Díky tomuto rozmachu dochází i k rapidnímu nárůstu počtu vytvořených map, potažmo objemu digitálních geodat obecně, viz Virrantaus et al. (2009), Ooms et al. (2016), případně Crampton (2010), Dragland (2013), Gantz & Reinsel (2013) či Lonergan (2014). S tímto rozmachem těsně souvisí právě i dostupnost nástrojů pro tvorbu nových kartografických děl, tedy i virtuálních 3D map.

Tato práce se zabývá virtuálními 3D mapami a otázkami aplikovatelnosti kartografických principů užívaných u dvourozměrných map na virtuální 3D mapy. Disertační práce je členěna do šesti kapitol, kterým předchází část zabývající se motivací autora ke zvolení uvedeného tématu této práce a část definující cíle práce, které si autor v této práci stanovil. Po uvedených cílech práce je dále popsáno konkrétní vymezení disertační práce. V následujících odstavcích této úvodní kapitoly jsou uvedeny krátké popisy obsahu šesti stěžejních kapitol disertační práce.

První kapitola je založena na rešerši teoretických východisek práce. Jsou zde uvedeny základní pojmy používané dále v disertační práci, vybrané principy mapových děl, vybrané kartografické vyjadřovací prostředky, způsoby tvorby kartografických znaků a následně pak i možnosti přechodu od klasických dvourozměrných kartografických vyjádření objektů a jevů k jejich trojrozměrným vyjádřením.

Ve druhé kapitole je provedena rešerše týkající se publikovaných prací na téma (virtuální) 3D mapa. Je zde rozebrán koncept virtuální 3D mapy, tj. jaké objekty a v jaké formě jsou na nich zobrazené, jaké kartografické techniky jsou pro tyto mapy používány, jak je s mapou interaktivně manipulováno a jak takovou mapu zobrazit na zobrazovacím médiu. Dále je v této kapitole rozebrán postup tvorby virtuální 3D mapy od sběru dat, přes modelování 3D objektů, určení jejich kartografického vzhledu, až k následné vizualizaci virtuální 3D mapy. Následuje kategorizace konkrétních prvků zobrazovaných na virtuálních 3D mapách spolu s příklady virtuálních 3D glóbulů, které slouží pro zobrazení virtuálních 3D map malých, středních, ale i velkých měřítek.

Třetí kapitola se zaměřuje konkrétně na téma urbanizované území a jeho zobrazení na virtuálních 3D mapách. Konkretizuje obsah takovýchto virtuálních 3D map urbanizovaných území a rozebírá vybrané skupiny objektů z pohledu jejich kartografického vyjádření, přičemž navrhuje konkrétní postup při tvorbě této mapové symboliky. Následně uvádí příklady virtuálních 3D map urbanizovaných území dostupných pomocí webových prohlížečů, včetně vlastního příkladu takové mapy vzniklé v rámci projektu „Krajina paměti. Drážďany a Terezín jako místa vzpomínek na ŠOA“, nazvané Virtuální 3D pevnosti Terezín.

Čtvrtá kapitola pak shrnuje a syntetizuje přístupy pro tvorbu virtuálních 3D map nejdříve obecně a poté uvádí specifika virtuálních 3D map z pohledu principů kartografických děl. Následně na příkladě virtuální 3D mapy urbanizovaného území syntetizuje konkrétní přístupy pro fáze modelování a tvorby mapové symboliky těchto map, jak jsou uvedeny v podkapitole 3.2.

Pátá kapitola se zabývá výzkumem vnímání a práce s dvourozměrnými a trojrozměrnými znaky vytvořenými dle návrhů a postupů tvorby mapové symboliky uvedených v kapitolách 2 a 3. Tento výzkum je proveden na základě experimentů realizovaných pomocí on-line dotazníkového šetření v rámci komparativní studie. V této kapitole je tedy uvedena metodika použitých výzkumných metod, jsou definovány konkrétní výzkumné otázky vztahující se k návrhům symboliky pro virtuální 3D mapy urbanizovaného území, které jsou uvedené v předchozí kapitole a jsou podrobně popsány navržené experimenty a jejich implementace do podoby on-line dotazníkového šetření. Následně jsou zpracovány výsledky experimentů, a to pomocí statistických metod (v případě kvantitativních částí experimentů) a také pomocí deduktivních či induktivních metod (v případě kvalitativních částí experimentů). Na základě tohoto vyhodnocení jsou vyvozené závěry, které jsou následně v další kapitole použity pro zodpovězení výše uvedených výzkumných otázek.

Šestá kapitola se zabývá shrnutím a rozбором výsledků disertační práce. Jsou zde probírány výsledky této práce v souvislosti s klíčovými otázkami evaluace definovanými v podkapitole 5.1 a také v souvislosti s konkrétními výzkumnými otázkami definovanými v podkapitole 5.2. Následně rozebírá tato kapitola i jednotlivé kroky metodiky pro komparativní studie uvedené v podkapitole 5.1. V neposlední řadě jsou zde uvedeny i možnosti dalšího výzkumu v oblasti zájmu této práce.

Na těchto šest výše popsaných kapitol navazuje diskuze a poté samotný závěr disertační práce. Následuje jmenný seznam použitých zdrojů a seznam autorových publikovaných i nepublikovaných prací, ze kterých disertační práce vychází. Poté jsou v práci uvedeny jednotlivé přílohy vztahující se k vyhodnocení provedených experimentů a také k získaným datům z úvodního a závěrečného dotazníku implementovaného ve výše zmíněném on-line dotazníkovém šetření.

Motivace práce

Autor této práce se již v mládí setkával s mapami a využíval je téměř v každodenním životě. Studium oboru geomatika na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni bylo tedy logickým krokem. Zde se autor seznámil s různorodými kartografickými díly a přístupy, přičemž kartografická stránka mapy byla jednou z částí autorovy diplomové práce, konkrétně v souvislosti s datově řízenou podobou mapy. Během doktorského studia tento zájem nepohasl a k tomu se navíc autor zapojil i do spolupráce na evropských projektech, které jsou zmíněny v závěru této kapitoly a jejichž důležitou součástí bylo téma tvorby 3D modelů urbanizovaného území a jejich kartografická znázornění. Součástí těchto projektů bylo řešení různorodých situací, které při procesu tvorby geometrických trojrozměrných modelů a jejich kartografických vyjádření vyvstaly, například dostupnost a věrohodnost zdrojových a podkladových dat, zamýšlená finální velikost virtuálních 3D modelů a s tím spojené způsoby tvorby geometrie 3D modelů. To samozřejmě ovlivňovalo podobu, podrobnost a věrnost vizualizovaných objektů. Následným krokem bylo konkrétní využití vytvořených modelů, což souviselo se zvolením technologické platformy, která využívala modely nejen pro prezentační účely, ale také jako zdroje informací. Možnosti aplikace kartografických principů na virtuální 3D model urbanizovaného území zaujalo autora natolik, že se rozhodl zpracovat získané zkušenosti do podoby této práce.

Dalším podnětem k vytvoření této práce byly myšlenky uvedené v dokumentu nazvaném Strategický plán Mezinárodní kartografické asociace pro roky 2003 – 2011, viz ICA (2003). V tomto dokumentu jsou v rámci provedené SWOT analýzy¹ uvedené konkrétní slabé stránky („Weaknesses“) v souvislosti s vnímáním oboru kartografie, který je zásadně ovlivňován rozvojem informačních technologií. Mezi nimi se hovoří také o tom, že doposud používané definice různých pojmů mohou být již zastaralé a je třeba se otevřít jejich jiným interpretacím a také to, že stále převládá přesvědčení o tom, že mapa je vnímána jen jako statické analogové kartografické dílo. Ve strategickém plánu ICA na následující období, tj. pro roky 2011–2019 je zajímavé si všimnout toho, že výše uvedené slabosti jsou již uvedeny mezi hrozbami („Threats“) v rámci nově provedené SWOT analýzy, viz ICA (2011). Je tedy vidět, že i Mezinárodní kartografická asociace vnímá přerod kartografie jako oboru ovlivněného technickým rozvojem 21. století.

¹ SWOT analýza – základní metoda strategické analýzy: **S** = Strengths (Silné stránky), **W** = Weaknesses (Slabé stránky), **O** = Opportunities (Příležitosti), **T** = Threats (Hrozby). Více viz <https://cs.wikipedia.org/wiki/SWOT>

Jak je zmíněno na začátku této kapitoly, autor práce byl zapojen do řešení evropských projektů, které zásadně ovlivnily jeho motivaci pro sepsání této práce. Zapojil se do evropského projektu „Krajina paměti. Drážďany a Terezín jako místa vzpomínek na ŠOA“, jehož výstupem je interaktivní virtuální 3D mapa Malé a Hlavní pevnosti Terezín tak, jak vypadaly v roce 1944. Tato mapa je k vidění na dotykových obrazovkách přímo v prostorech Památníku Terezín. V této práci je tato mapa označována jako *Virtuální 3D mapa pevnosti Terezín* a je detailněji popsána v podkapitole 3.5. Dalším, v současné době probíhajícím evropským projektem, ve kterém je autor zapojen, je projekt s názvem „Peregrinus Silva Bohemica – Multimediální a digitální turistický průvodce pro přeshraniční historické cesty v Bavorském lese a na Šumavě“. V něm je jedním z klíčových témat tvorba kartograficky vyjádřených virtuálních 3D modelů budov a dalších zájmových objektů v jejich barokní podobě a jejich vizualizace ve webovém prohlížeči.

Cíle disertační práce

Cílem disertační práce je **výzkum možností aplikování vybraných kartografických principů platných ve dvojrozměrné ploše mapy do prostředí virtuální 3D mapy.**

Dílčí cíle práce:

- Rešerše možností tvorby a popis kartografických vyjadřovacích prostředků relevantních z hlediska tématu práce;
- Systematizace principů ovlivňujících volbu a tvorbu kartografických znaků či symbolů pro virtuální 3D mapu;
- Praktická ukázka tvorby virtuální 3D mapy na příkladu urbanizovaného území;
- Evaluace vybraných principů z výše uvedené systematizace.

Vymezení disertační práce

Pravidla ovlivňující volbu a tvorbu kartografických znaků pro virtuální 3D mapu jsou v této práci aplikována na virtuální 3D mapu zobrazující urbanizované území. Téma urbanizované území bylo vybráno proto, že jde o velice komplexní příklad území, obsahující velké množství heterogenních prvků, jejichž kartografické vyjádření je třeba v rámci této mapy řešit, přičemž je toto vyjádření v drtivé většině řešeno pomocí trojrozměrných virtuálních modelů, resp. symbolů. Z tohoto důvodu je téma urbanizované území vhodné jako reprezentativní příklad pro zkoumání procesu tvorby kartografických znaků pro virtuální 3D mapy.

Virtuální 3D mapu urbanizovaného území lze vnímat jako analogii k mapě velkého měřítka z geodetického pohledu členění mapových měřítek. Vychází z přesnosti dat zobrazených v mapě (odpovídající přesnosti měřítka mapy) a také z rozsahu zobrazovaného území. S tím jsou spojeny i specifické interpretační metody vyjádření polohopisu, výškopisu a kvalitativních i kvantitativních informací na virtuálních 3D mapách. Jinými slovy jde u této mapy o vyjádření topografického podkladu (referenční mapy) a zobrazeného tematického obsahu s ohledem na výše uvedené téma. Pod pojmem urbanizované území (či urbanizovaná oblast; v angličtině označovány jako urban area či urban zone) se myslí: „území či oblast charakterizovaná vyšším stupněm zalidnění a počtem staveb v porovnání s prostředím, které jej obklopuje“².

Je důležité upozornit na to, že tato práce se zabývá kartografickou součástí virtuálních 3D map, nikoliv přímo jejich vizualizací. Pravda (2006) v kapitole 2 definuje klasifikaci kartografických vyjadřovacích metod na základě syntaktických vlastností kartografických znaků a jejich typických vlastností (typ znaku, kvalita/kvantita, diskrétní/spojitý, statický/dynamický, trojdimenzionální apod.). Uvádí i skupinu vyjadřovacích metod, kterou nazývá „trojdimenzionální metody ve dvoudimenzionálním prostoru“ a dodává, že jím vytvořená klasifikace metod je otevřená, protože s rozvojem počítačových technologií se objevují nové, do té doby neznámé možnosti. Na tuto myšlenku disertační práce navazuje a vychází z principů definovaných pro kartografické znaky, které uvádí Pravda (2006) a Kraak & Ormeling (2010), viz další části práce.

² Viz https://en.wikipedia.org/wiki/Urban_area.

1 Teoretická východiska práce

Tato kapitola je zaměřena na rešerši používané terminologie vztahující se k tématu práce. Jsou rozebrány termíny jako model, mapa, digitální/virtuální mapa, virtuální 3D model, virtuální 3D mapa a její ekvivalenty. Dále jsou uvedeny vybrané zásady mapových děl a vybrané kartografické vyjadřovací prostředky, na které navazuje rozbor tvorby kartografických znaků. V poslední části této kapitoly je uvedena úvaha na téma přechodu od klasických dvourozměrných kartografických vyjádření objektů a jevů k jejich trojrozměrným vyjádřením.

1.1 Základní používané pojmy

V této podkapitole jsou uvedeny základní pojmy, pomocí nichž je vystavěn návrh definice a vymezení pojmu virtuální 3D mapa do té podoby, jak je chápána autorem této práce.

Pojem model

Podle Háalka (2004) se modelem rozumí „účelově zjednodušený pohled konceptora (toho, kdo vnímá) na zkoumaný objekt“. Mošna & Pešek (2001) používají termín model jako analogii mezi dvěma systémy – modelovaný systém (tj. zkoumaný objekt) a modelující systém, kdy je mezi těmito systémy vytvořen vztah (relace), a to mezi prvky a atributy obou systémů. Oproti tomu ČSN EN ISO 19109 hovoří o modelu jednoduše jako o „abstrakci některých stránek reality“.

Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí, viz VÚGTK (2017), definuje model jako:

„1: abstrakce některých aspektů reality, které jsou významné pro zamýšlenou aplikaci.

2: sada pravidel a prostorových procedur realizace prostorové analýzy, jejímž účelem je vyvození nové informace, jež může být analyzována a může tak pomoci při řešení problémů nebo v plánování.

3: datová reprezentace reality, např. vektorový datový model, rastrový datový model, TIN.“

Model lze chápat z pohledu jeho existence jako fyzický, tj. hmotná napodobenina reálného objektu (hmotný architektonický model, papírový model, model z 3D tiskárny apod.) či jako abstraktní, tj. abstrakce reálného objektu v hlavě či v počítači (datový model, kognitivní model, matematický model apod.)³. Obecně řečeno, modelem se rozumí způsob vyjádření skutečnosti⁴. Typy modelů lze rozdělit na statické/dynamické, izolované/propojené a podobně.

³ Viz <https://en.wikipedia.org/wiki/Model>.

⁴ Viz <http://slovník-cizich-slov.abz.cz/web.php/slovo/model>.

Pojem mapa

Definice pojmu mapa se v průběhu historie hojně vyvíjela, především v souvislosti s mezí poznání dané doby a samozřejmě v souvislosti s účelem, ke kterému byly mapy používány. Velmi obsáhlý přehled různorodých historických definic přináší Andrews (1996) či následně Bot (2004). Čerba (2011) přináší analýzu definic pojmu „mapa“, a to na základě různých pojmů a klíčových slov, které se v jejich definicích nacházejí. Mezi zkoumanými definicemi lze vybrat takové, které popisují mapu v obecné rovině. Například v roce 1774 definoval Harrington mapu jako „druh obrázků, které by měly přesně znázorňovat různé části Země“. Knowles v roce 1835 vymezuje mapu jako „geografický obrázek, na kterém jsou vymezeny pevniny a moře podle jejich zeměpisné šířky a délky“. Jones uvedl v roce 1922 definici mapy jednoduše jako „model části Země“. Deetz definoval v roce 1945 mapu jako „grafickou prezentaci našich znalostí o zemském povrchu a jeho rozmanitých funkcích“. Tyto a další definice lze nalézt v Andrews (1996).

Definice dle ICA (1992) uvádí, že „mapa je reprezentací či abstrakcí geografické reality: jde o nástroj pro prezentaci geografické informace ve formě vizuální, digitální či haptické“. Robinson et al. (1995) předkládá následující definici mapy: „mapou se rozumí grafická reprezentace geografických vztahů“.

Terminologický slovník zeměměřičství a katastru nemovitostí, viz VÚGTK (2017), či ČSN 730402 definují pojem mapa následovně: „mapa je zmenšený generalizovaný konvenční obraz Země, kosmu, kosmických těles nebo jejich částí převedený do roviny pomocí matematicky definovaných vztahů (kartografických zobrazení), ukazující prostřednictvím metod kartografického znázorňování polohu, stav a vztahy přírodních, sociálně-ekonomických a technických objektů a jevů“.

Dle Pravda (2006) je mapa vnímána nejen dle výše uvedené definice, ale také jako znakové vyjádření, které zaznamenává výsledky lidského poznání a je současně zdrojem dalšího poznání.

V dokumentu ICA (2003) je uvedena další definice mapy podle Mezinárodní kartografické asociace, která zní: „mapa je symbolizovaná reprezentace geografické reality, reprezentující vybrané prvky či charakteristiky, vyplývající z tvůrčího úsilí jejího autora a je určena pro použití v případech, u kterých mají prostorové vztahy primární význam“.

Kraak & Ormeling (2011) charakterizují mapy tak, že „jsou používány pro vizualizaci geoprostorových dat, což jsou data vztažená polohou či atributem k objektům a jevům na Zemi“. Dále Kraak & Ormeling (2011) uvádí, že „mapa je grafickým modelem geoprostorových aspektů reality“.

Různé definice kartografických termínů, včetně rozdělení map na základě jejich vlastností (konkrétně na základě formy, funkce a použití mapy) uvádí v jedné ze svých příloh i Strategický plán Mezinárodní kartografické asociace pro roky 2003 – 2011, viz ICA (2003). V tomto plánu jsou uvedeny různé formy map a mezi nimi i takové, které jsou zobrazené na ploše monitoru a je o nich hovořeno jako o virtuálních mapách, v originále „virtual: visible but not tangible“. Tento popis odpovídá virtuální mapě I typu, jak je definována dále.

Moellering (2007) definoval kategorizaci map na základě jejich vlastností následovně:

- „Skutečná (reálná) mapa, označovaná jako analogová (je přímo viditelná, ve fyzické podobě) – např. topografické mapy, glóby, reliéfní mapy apod.;
- Virtuální mapa typu I (je přímo viditelná, není ve fyzické podobě) – např. mapy zobrazené na monitoru počítače, nebo pomocí projektorů (na rovnou plochu i na 3D povrch), mapy zobrazené pomocí speciálních brýlí;
- Virtuální mapa typu II (není přímo viditelná, je ve fyzické podobě) – např. anaglyfové mapy, holografické obrázky, mapy na diskových nosičích (CD, DVD, ...) apod.;
- Virtuální mapa typu III (není přímo viditelná, není ve fyzické podobě) – digitální modely terénu (DMT), prostorové databáze, data uložená v paměti počítače, virtuální mentální/kognitivní mapy apod.“.

Kraak & Fabrikant (2017) rozebírají různé podoby definice mapy z pohledu umění, technologie a vědy i v souvislosti s pohledem Mezinárodní kartografické asociace, viz předešlé odstavce. Definují mapu pro soudobou informační společnost jednoduše jako „vizuální reprezentaci prostředí“.

Tato práce se zabývá virtuálními mapami, konkrétně těmi, které jsou chápány jako virtuální mapy typu I dle Moellering (2007) ve výše uvedené kategorizaci. To znamená, že takové mapy jsou zobrazeny pomocí zobrazovacího média, ale nejsou fyzicky vytvořeny, tj. nelze si na ně sáhnout. Přízviskem ve spojení s pojmem virtuální mapa (typu I) mohou být pojmy jako digitální, počítačová, elektronická či e-mapa. Jedná se o „digitální záznam obsahu a konstrukčních (případně jiných) prvků mapy, které je možno vizualizovat a zpracovávat pomocí počítačového systému“, viz Šíma (2003).

Jak je z předchozích odstavců zřejmé, definic pojmu mapa je celá řada a jsou velice různorodé. Obecně lze říci, že „mapa je modelem geografické reality“, viz Novák (1988). Tudíž mapu lze chápat jako typ, respektive podmnožinu modelu.

Pojem virtuální 3D model

Pro potřeby této práce je také důležité definovat pojem virtuální 3D model. Z předchozí části práce pojednávající o pojmu model lze odvodit, že v případě virtuálního 3D modelu se jedná o virtuální trojdimenzionální podobu fyzického či abstraktního objektu. Pro potřeby této práce jsou pod pojmem virtuální 3D modely rozuměny modely zemského povrchu a objektů na něm se vyskytujících. A to především takových objektů, které souvisí s tématem této práce, viz Vymezení disertační práce uvedené v Úvodu disertační práce.

Virtuální 3D model lze také definovat a chápat jako „(virtuální) produkt 3D modelování, který může být zobrazen jako dvourozměrný obraz pomocí procesu nazývaného „3D rendering“ (rendrování) nebo použit k počítačové simulaci fyzického objektu“, viz definice 3D modelu dle VÚGTK (2017).

Pojem virtuální 3D mapa

Na základě předešlého textu této práce lze odvodit, že virtuální 3D mapu lze chápat následujícím způsobem. Jde o kartografické dílo, které je produktem geovizualizace virtuálního 3D modelu (více viz podkapitola 1.5). Jedná se o virtuální mapu typu I, z pohledu dříve uvedené kategorizace. V souvislosti s pojmem virtuální 3D mapa je třeba doplnit ještě definice dvou pojmů, a to pojmu kartografické dílo a geovizualizace. Kartografické dílo je dle definice VÚGTK (2017) „výsledek kartografického znázornění zemského povrchu, kosmu, kosmických těles nebo jejich částí, objektů, jevů a jejich vzájemných vztahů spolu s textovými, obrazovými a jinými doplňky. Jejimi příklady jsou mapa, mapový atlas, glóbus apod.“. Geovizualizace je dle definice VÚGTK (2017) „generování znázornění digitálních geografických dat realizované podle daných pravidel nebo algoritmů prostředky počítačové grafiky na displeji“.

V zahraniční literatuře se pojem 3D mapa objevuje déle, než jen posledních několik let. Co je pod tímto pojmem zahraničními autory chápáno, je uvedeno v následujících odstavcích této podkapitoly.

Již v práci Kraak (1988) je uveden a používán pojem trojdimenzionální mapa jako produkt vizualizace prostorových geografických dat. „Trojdimenzionální mapa je mapa, která obsahuje takový stimul, který uživateli mapy umožňuje vnímat její obsah trojdimenzionálně“, viz Kraak (1988).

Terribilini (2001) používá pojem „Topographische 3D-Karte“, který definuje jako „trojrozměrnou reprezentaci přírodních, umělých a abstraktních objektů a jevů. Vyznačuje se tím, že její obsah je symbolizován podle kartografických pravidel a lze jej pozorovat z libovolné polohy, natočení a přiblížení pozorovatele“.

Bandrova (2001, 2005) definuje 3D mapu jako „digitální, matematicky definovanou trojdimenzionální reprezentaci Země, povrchů, objektů a jevů přírodních či vzniklých lidskou činností. Reprezentované objekty a jevy jsou klasifikovány, navrženy a vizualizovány podle konkrétního účelu“.

Petrovič (2003) uvádí, že „3D mapa je kartografická reprezentace krajiny v perspektivním pohledu, obsahující topografické objekty a jevy, které jsou vyjádřeny pomocí kartografických znaků a jsou vysvětleny v legendě“.

Häberling (2004) také uvádí pojem „Topographische 3D-Karte“ obdobně jako Terribilini (2001) a navíc definuje i přídavného jména prostý pojem „3D-Karte“, který je definován shodně jako v případě Häberling (2005) či Häberling et al. (2008), kde již autor používá pojem „3D map“. 3D mapa je jím tedy definována jako „(počítačem generovaný) perspektivní pohled na mapu s kartograficky reprezentovaným obsahem“.

Schobesberger & Patterson (2008) zmiňují jak pojem „3D map“ (anglický), tak „3D-Karte“ (německý) a používají následující vymezení: „3D mapy, označované také jako pohledy z ptačí perspektivy, zobrazují terén s nepravidelnou trojrozměrností a obsahují perspektivu, která snižuje měřítko vzdálených oblastí na pozadí“. Navíc upozorňují, že německý ekvivalent nebyl v době vydání jejich práce obecně zažitý.

Dodge et al. (2008) se v kapitole 1 zmiňuje o vícerozměrných zobrazeních, když hovoří o zobrazování objemových symbolů. V kapitole 4 práce Dodge et al. (2008) se objevuje pojem „three-dimensional immersive maps“, tj. mapy vytvářející dojem třetí dimenze.

Kraak & Ormeling (2010) se také zmiňují o 3D mapách, respektive o trojdimenzionálních mapových reprezentacích, kdy pojem mapa chápou i jako metaforu pro jakoukoliv reprezentaci prostorových dat vztahených k Zemi (používají pojem „geospatial data“ neboli geoprostorová data).

Pasewaldt et al. (2012) uvádí, že „digitální 3D mapa je speciální třída 3D geovirtuálního prostředí (označovaná jako 3D GeoVE⁵), které je založeno na datovém modelu a využívá symbolizovanou (abstraktní) vizualizaci 3D geoobjektů“.

Adami & Guerra (2006), Razzak et al. (2009), Schmidt & Delazari (2010) používají pojmy jako 3D mapa, digitální či virtuální 3D mapa, ale již bez jejich konkrétní definice. Pojem 3D mapa používají i někteří poskytovatelé mapových služeb jako například Google Maps, Apple Maps, Mapy.cz, Melown a další.

Jak je zřejmé z výše uvedených definic pojmu 3D mapa a jeho ekvivalentů, různé prameny tento pojem vnímají z různých úhlů pohledu. A to na základě formy těchto map, zobrazované skutečnosti, matematických základů, způsobu vyhotovení a podobně. Navíc jde i o poměrně nový pojem, který není zatím v kartografickém pojmosloví plně ukotven.

⁵ Jakým je například Google Earth™.

Definice pojmu 3D mapa uvedené v předchozích odstavcích, je třeba pro potřebu této práce doplnit tak, aby tento termín byl jednoznačný v souvislosti s českou terminologií. Důvodem k tomu je současná situace, kdy v terminologickém slovníku zeměměřictví a katastru nemovitostí, viz VÚGTK (2017), je 3D mapou rozuměna „mapa s trojrozměrným vyjádřením povrchu Země nebo její části“, která je však označována jako reliéfní mapa. Tato reliéfní mapa je však mapou analogovou, tj. existující ve fyzické podobě.

Co se týče Mezinárodní kartografické společnosti, ta zatím globálně zavedenou definici pojmu 3D mapa ani virtuální 3D mapa nemá. Obdobně je na tom tedy i Česká kartografická společnost, viz text výše. Nicméně zástupce Bulharské kartografické společnosti, prof. Bandrova je v oblasti kartografie dlouholetou propagátorkou tohoto pojmu. O 3D mapě, konkrétně o 3D mapě prostředí, je hovořeno např. i v souvislosti se strojovým viděním, vyhýbáním se překážkám různých strojů při jejich navádění a pohybu v určitém reálném prostředí.

Vymezení pojmu virtuální 3D mapa

Další text práce navazuje na definice dle Bandrové, Moelleringa, Kraaka a Petroviče v souvislosti s definicemi Mezinárodní kartografické asociace, které byly uvedeny v předchozí části této podkapitoly.

Virtuální 3D mapa je v této práci chápána následovně:

- virtuální – neexistuje ve fyzické podobě;
- 3D – zobrazuje prvky mající dimenzi 0D až 3D (znaky/symboly), tj. pomocí bodů, linií, ploch či objemových symbolů – u 3D jde o tzv. skutečná 3D data, viz Slocum et al. (2010) či kapitola 2 v této práci;
- mapa – je reprezentací či abstrakcí geografické reality: jde o nástroj pro prezentaci geoprostorové informace zobrazující prostorové vztahy;
- samotná mapa není neměnným statickým obrázkem na zobrazovacím médiu, ale uživatel může ve virtuální 3D scéně⁶ libovolně měnit pohled na vizualizovaný virtuální 3D model, tj. jde o produkt interaktivní 3D geovizualizace.

Rozbor tohoto pojmu uvádí také Hájek et al. (2016).

⁶ Virtuální 3D scéna – pojem z počítačové 3D grafiky. Ve virtuální 3D scéně je vizualizován virtuální 3D model pomocí renderování, tj. vytvoření reálného obrazu počítačem, viz oddíl 2.2.3. Více o virtuální 3D scéně viz https://en.wikipedia.org/wiki/3D_computer_graphics

1.2 Vybrané principy kartografických děl

V této podkapitole jsou zmíněné vybrané principy používané u klasických dvourozměrných kartografických děl. Na tyto principy budou následující podkapitoly navazovat. Navíc jsou tyto principy rozebírány v kapitole 4 v souvislosti s jejich aplikovatelností na virtuální 3D mapy.

Základními zásadami tvorby kartografických děl, které jsou uvedené v Kaňok (1999) či ve Voženílek & Kaňok et al. (2011) jsou (ve zkrácené verzi):

- Zásada jednoty – žádný objekt ani jev nemůže být znázorněn a zkoumán izolovaně, ale pouze ve vztazích k jiným objektům a jevům, se kterými je ve vazbě. Shodné objekty a jevy musí být též shodně znázorněny;
- Zásada koordinace – každá mapa se zpracovává minimálně ve dvou základních fázích. Nejprve se zhotoví pracovní mapa, na které se vyřeší obsah mapy („první“ mapa). Ten se již v dalších etapách nemění. Ve „druhé“ mapě se řeší kartografické otázky tak, aby výsledná mapa vyhovovala všem požadavkům soudobé kartografie;
- Zásada jednoduchosti – v důsledku velkého množství různorodých a mnohotvárných objektů a jevů je nutné co nejhošpodárněji používat výrazové prostředky;
- Zásada prostorové názornosti – prostorová diferenciací a dimenze na mapě musí odpovídat skutečnosti a účelu mapy, protože vyjádření prostorového rozmístění a prostorových vazeb znázorňovaného tématu je hlavní předností mapy. Proto musí být obsah tematické mapy vyjádřen dostatečně názorně. Každý čtenář mapy v důsledku prostorové podstaty čte mapu ze dvou vzdáleností. Nejprve z větší vzdálenosti přečte kompozici mapy, dále přečte určující prostorové vazby prvků obsahu mapy. Detaily obsahu mapy se čtou z podstatně větší blízkosti;
- Zásada srozumitelnosti – tematická mapa je tím lepší, čím snadněji se čtou její znaky a čím srozumitelnější je její jazyk. Všeobecná rada zní: „Nejlepší legenda je žádná legenda“. Srozumitelnost je třeba chápat v nejširším smyslu slova. Mapa musí být srozumitelná nejen autorovi, ale mnohem širšímu okruhu jedinců. Mapu budou používat osoby s vadou zraku, specifickým barvocitem, různou úrovní tématu a podobně. Tomu musí být srozumitelnost mapy přizpůsobena;
- Zásada zvýraznění dominant – hlavní vyjadřovací prostředek tematické mapy, kterým je znázorněn nejdůležitější prvek obsahu mapy (tj. hlavní téma), musí být také graficky nejvýraznější. Je třeba sledovat následující myšlenkový postup: účel mapy -> téma -> název -> hlavní vyjadřovací prostředky -> legenda. Rozhodování, které prvky obsahu budou používány za dominanty, záleží na zjištění: co je důležité (účel mapy), charakteristické (pro hlavní téma) nebo jedinečné a zvláštní (v mapovaném území). Grafické možnosti pro realizování vizuálního efektu zvýraznění prvků poskytuje nejlépe využití metod kontrastu, hierarchie, rovnováhy, zdůraznění a opakování;

- Zásada výběru – každé zpracovávané téma vyžaduje individuální výběr objektů a jevů pro obsah mapy. Tato zásada je též v úzké vazbě s metodou a stupněm kartografické generalizace a měřítkem mapy. Nejvýznamnější pro zásadu výběru je účel mapy, což se odráží v názvu, kde musí být uvedeno trojí vymezení hlavního tématu mapy – věcné, prostorové a časové. Realizace výběru není ovlivněna informačním prostředím, ve kterém jsou digitální tematické mapy vytvářeny. Pozn.: v souvislosti s použitím tradičních GIS⁷ nástrojů;
- Zásada měřítka – je úzce spojena se zásadou generalizace a podléhá účelu mapy. Každé měřítko podléhá vlastním zásadám sestavování mapy, vyžaduje jiný výběr prvků obsahu mapy, jinou generalizaci a v jejich důsledku i jiný způsob a jiné formy znázorňování, úpravu znakového klíče a řešení proporcionality;
- Zásada generalizace – úloha generalizace spočívá spíše na vědeckovýzkumných metodách a rozhodnutích, než na technicko-kartografických prostředcích. Bez generalizace nelze v mapě přehledně vyjádřit složité prostorové vazby.

Klasické pojetí konceptu kartografického díla je rozděleno do několika částí. U kartografického díla lze rozlišit jeho topografický obsah (tj. zobrazení výškopisu a polohopisu), tematický obsah (tj. zobrazení fyzicko-geografických prvků, socioekonomických prvků a dalších), doplňkové a konstrukční (matematické) prvky mapy (rám, rámové a mimorámové údaje), viz Kaňok (1999) či Voženílek & Kaňok (2011).

Plánka (2014) hovoří v souvislosti s konceptem mapy také o tzv. objektivních stylových faktorech mapy, mezi které řadí především:

- I.* Téma (obsah) mapy – podmiňuje výběr a syntaxi mapových znaků;
- II.* Účel – vyžaduje podřízení tématu (obsahu) určitému konkrétnímu záměru;
- III.* Technickou vybavenost – soubor pracovních prostředků nutných ke zhotovení kartografického díla.

Přidává také subjektivní stylové faktory, kterými jsou dle Plánka (2014):

- i.* Odborná vyspělost – především kartografické interpretační znalosti;
- ii.* Přístup k tématu – jednoduchý (populární), složitý (vědecký, analytický apod.), zaměření na detail a/nebo celek;
- iii.* Individuální sklony – preferování určitých druhů vyjadřovacích prostředků autorem kartografického díla.

Na výše uvedený rozbor stylových faktorů navazuje i koncept virtuální 3D mapy uvedený v podkapitole 2.1.

⁷ GIS = Geografický informační systém. Více informací o tomto pojmu viz např. https://en.wikipedia.org/wiki/Geographic_information_system

1.3 Vybrané kartografické vyjadřovací prostředky

Vyjadřovací prostředky jsou základním elementem zobrazovacích metod kartografie, tudíž jsou konkrétními nástroji pro vyjádření skutečnosti, viz Voženílek & Kaňok et al. (2011). Jakým způsobem je tato skutečnost na mapách vyjadřována, je obsahem této podkapitoly.

Hojovec (1987), Pravda (2006), Ratajski (1989) či Plánka (2006) uvádí, že jevy a objekty lze na mapě vyjádřit pomocí zjednodušených interpretací těchto objektů a jevů. Mezi tyto interpretace patří:

- Bodové (figurální) interpretace;
- Liniové (čárové) interpretace;
- Plošné (areálové) interpretace.

Kartografické vyjadřovací prostředky lze také klasifikovat z jiného úhlu pohledu, než je uvedeno výše, a to podle toho co vyjadřují, viz Plánka (2006) či Hojovec (1987). Tyto kartografické vyjadřovací prostředky se dělí na:

- Kvalitativní – vyjadřují druh objektu či jevu (příslušnost ke třídě objektů);
- Kvantitativní – vyjadřují absolutní či relativní hodnotu jevu;
- Topologické – dělí objekty a jevy podle jejich půdorysné povahy na bodové, liniové a plošné;
- Polohově lokalizační – zobrazují bodové, liniové a plošné objekty a jevy geometricky přesně, schematicky či přetvořeně (anamorfovaně);
- Vývojové – zachycují dynamiku jevu či objektu v prostoru a v čase;
- Významové – sledují počet a důležitost významných jevů a objektů;
- Strukturální – zachycují jev či objekt současně jako celek, jeho dílčí složky i jejich vzájemné relace.



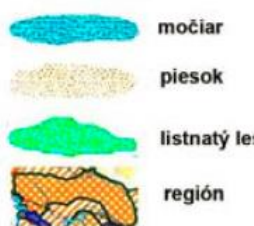



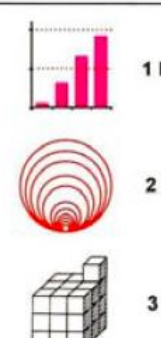
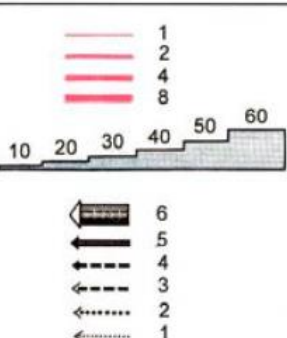
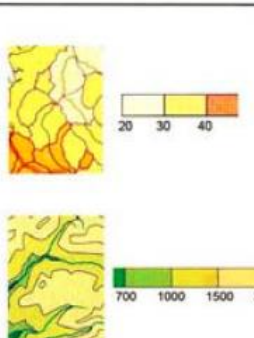
Reprezentací kartografických znaků na základě kvalitativních a kvantitativních hledisek kartografických znaků se zabývá i Kraak & Ormeling (2010).

Výše uvedené formy znaků jsou z pohledu geometrického hlediska reprezentovány vektorovou nebo rastrovou formou. A to buď v podobě vektorových dat spojených s informací o kartografickém vyjádření jevu či objektu, který reprezentuje, nebo v podobě rastrových dat nesoucí si implicitně svojí grafickou podobu.

Kaňok (1999) uvádí definici kartografických vyjadřovacích prostředků, označovaných jako „grafické metody pro znázornění kvalitativních údajů do mapy dle průmětových definic“ obdobně jak je uvedeno výše. Doplnuje dělení znaků podle jejich dalších vlastností. Bodové znaky dle jejich formy (geometrické, symbolické, obrázkové, siluetové) a liniové dle jejich typu (identifikační, hraniční, pohybové). Kraak & Ormeling (2010) doplňují, že v kartografii lze použít jak bodové, liniové a plošné, tak i objemové objekty (znaky, symboly) reprezentující skutečné objekty či jevy v jejich skutečných proporcích.

Pravda (2006) uvádí k výše uvedeným kategoriím typů znaků, o kterých hovoří jako o způsobu rozlišení znaků dle tvaru, i příklady reprezentací jednotlivých znaků, viz obrázek 1-1 (převzat z Pravda (2006)) a rozlišuje znaky i podle způsobu lokalizace kartografických znaků v poli mapy:

- Dle druhu lokalizace – podle souřadnic, geograficky umístěný znak;
- Dle objektového kritéria (způsob přiřazení) – lokalizace do bodů, linií, ploch, buněk sítě (na základě geometrického charakteru znaků);
- Dle půdorysného kritéria – topografické, schématické či jiné.

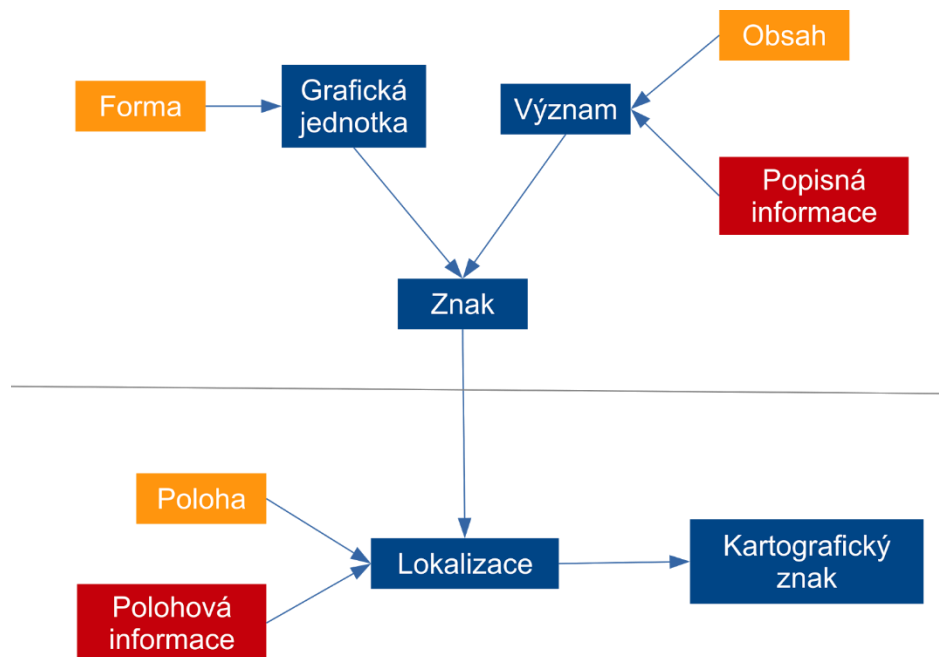
reprezentácia	FIGÚRA	ČIARA	AREÁL/POVRCH
NOMINÁLNA	 <ul style="list-style-type: none"> hrad, zámok vyhládka kúpele letisko 	 <ul style="list-style-type: none"> rieka cesta železnica hranica 	 <ul style="list-style-type: none"> močiar piesok listnatý les región
ORDINÁLNA	 <ul style="list-style-type: none"> veľký stredný malý 	 <ul style="list-style-type: none"> diaľnica cesta 1. triedy cesta 2. triedy cesta 3. triedy poľná cesta 	<p>Regióny so stupňom ochrany:</p>  <ul style="list-style-type: none"> I. II.
GRADOVANÁ	 <ul style="list-style-type: none"> 1 D 2 D 3 D 	 <ul style="list-style-type: none"> 1 2 4 8 10 20 30 40 50 60 6 5 4 3 2 1 	 <ul style="list-style-type: none"> 20 30 40 700 1000 1500 2000

Obrázek 1-1 Druhy mapových znaků podle tvaru a reprezentace dle Pravda (2006).

Další zásady tvorby map v souvislosti s např. kompozičními prvky mapy, obsahem map dle jejich zaměření, typem map atd., lze nalézt např. v Kaňok (1999), Voženílek & Kaňok et al. (2011) či Hojovec (1987).

1.4 Tvorba kartografických znaků

Soubor kartografických znaků tvoří základní součást kartografického jazyka a má přímou souvislost s metodami znázorňování různorodých údajů na mapách, s tzv. interpretačními metodami. Kartografický znak se vztahuje k převážné většině běžně používaných vyjadřovacích prostředků. Jde o symbol, který sám o sobě většinou nemá žádný smysl ani protějšek v reálném světě. Svůj význam získávají kartografické znaky pouze při propojení s určitým jevem, procesem nebo vlastností, tj. kartografické znaky tvoří grafický model reality (viz obrázek 1-2 níže, upraven podle Pravda (2006)). Dle Kaňok (1999) je „kartografický znak základním pojmem kartografické sémiologie. Rozumí se jím libovolný grafický prostředek nebo jejich souhrn, který je schopen být nositelem významu a něco v kartografickém díle vyjadřovat“.



Obrázek 1-2 Vlastnosti kartografického znaku dle Pravda (2006).

„Úlohou kartografických znaků je kartografická interpretace (tzn. chápání kartografického díla při jeho čtení) přírodních a společenských jevů a procesů spolu s jejich vývojem v prostoru a v čase. Problematika kartografické interpretace spočívá ve vytvoření metodicky ucelené soustavy grafických prvků, přístupů a možností pro zobrazení kvalitativních i kvantitativních charakteristik zmíněných objektů a jevů. Přitom je třeba mít na paměti, že mapa představuje značně zmenšený a především účelově generalizovaný grafický záznam obrazu reality, pro jehož objektivizaci je třeba respektovat řadu matematických, psychologických, fyziologických a sémiologických zákonitostí“, upraveno dle Ratajski (1989) a Pravda (2006).

Koncepty platné v kartografii jsou známy a definovány již desítky let, viz např. Bertin (1967). Bertin (1967) definoval sedm vizuálních (grafických) proměnných, které se v kartografii dodnes používají pro parametrizaci kartografických znaků. Tyto znaky jsou používány především v rámci klasických dvoudimenzionálních map, kde díky povaze mapy z pohledu její definice, ve které se hovoří o konvenčnosti obrazu (viz definice mapy dle VÚGTK (2017)), hrají kartografické znaky nezastupitelnou roli.

Kraak (1988), Robinson et al. (1995) či Slocum (2010) uvádí zásadní principy grafického designu vztahující se ke kartografickým znakům následovně:

- Čitelnost („Legibility“) – znaky musí být jednoduše čitelné a rozpoznatelné;
- Vizuální kontrast („Visual contrast“) – nejen velikost, ale hlavně kontrast znaku přispívá k jeho čitelnosti;
- Rozpoznatelnost mezi znakem a pozadím („Figure-Ground organization“);
- Tvorba hierarchické struktury znaků dle jejich důležitosti („Hierarchical organization“).

Voženílek (1999) definoval vlastnosti kartografických znaků, které by měly být při jejich tvorbě brány v úvahu:

- Komunikovatelnost – schopnost přenášet a sdělovat informaci;
- Názornost – schopnost rychlého a účinného vyvolání podnětů pro myšlenkové pochody;
- Interpretovatelnost – vyvolání srozumitelnosti;
- Komprimovatelnost – možnost zhuštění informace.

Parametry kartografických znaků, které svojí změnou ovlivňují předání informace čtenáři mapy, viz Bertin (1967, 1983), Kraak (1988), Ratajski (1989), Slocum et al. (2010) atd., jsou uvedeny na obrázku 1-3 níže (převzat z Halik (2012)). Na něm je uvedeno nejen původních sedm vizuálních proměnných definovaných v Bertin (1967), ale také další, které byly v průběhu času doplněny dalšími autory na základě vývoje kartografických děl.

Vysvětlivky k obrázku 1-3, na kterém jsou ve sloupcích uvedeny pojmy (ve směru zleva doprava):

- „Visual Variable“ (vizualizační/grafická proměnná) je konkrétní parametr znaku;
- „Author“ uvádí publikace, které se o dané vlastnosti zmiňují (jejich odkaz viz Halik (2012));
- „Example“ obsahuje konkrétní příklady aplikování grafických proměnných.

Jak Bertin (1967), tak především Dodge et al. (2008) v kapitole 10 předkládají myšlenku, že systém definovaný Bertinem, i když obohacen o další proměnné, je schopen zobrazit jen omezené množství těchto proměnných, tj. informací v jednotlivé scéně (pohledu, popřípadě mapě) najednou.

Visual Variable	Author	Example
Size	Bertin (1967/83), Morrison (1974), MacEachren (1995), Kraak & Ormeling (2003), Krygier & Wood (2005), Dent et al. (2009), Slocum et al. (2010), Tyner (2010).	
Shape	Bertin (1967/83), Morrison (1974), MacEachren (1995), Kraak & Ormeling (2003), Krygier & Wood (2005), Dent et al. (2009), Slocum et al. (2010), Tyner (2010).	
Lightness/ value	Bertin (1967/83), Morrison (1974), MacEachren (1995), Kraak & Ormeling (2003), Krygier & Wood (2005), Dent et al. (2009), Slocum et al. (2010), Tyner (2010).	
Color (hue+saturation)	Bertin (1967/83).	
Orientation	Bertin (1967/83), Morrison (1974), MacEachren (1995), Kraak & Ormeling (2003), Dent et al. (2009), Slocum et al. (2010), Tyner (2010).	
Texture	Bertin (1967/83), Morrison (1974), MacEachren (1995), Kraak & Ormeling (2003), Krygier & Wood (2005), Dent et al. (2009), Tyner (2010).	
Location	Bertin (1967/83), MacEachren (1995), Kraak & Ormeling (2003), Krygier & Wood (2005), Dent et al. (2009), Slocum et al. (2010), Tyner (2010).	
Hue	Morrison (1974), MacEachren (1995), Kraak & Ormeling (2003), Krygier & Wood (2005), Dent et al. (2009), Slocum et al. (2010), Tyner (2010).	
Saturation/ intensity	Morrison (1974), MacEachren (1995), Krygier & Wood (2005), Dent et al. (2009), Slocum et al. (2010), Tyner (2010).	
Arrangement	Morrison (1974), MacEachren (1995), Dent et al. (2009), Slocum et al. (2010), Tyner (2010).	
Focus/ crispness	MacEachren (1995).	
Resolution	MacEachren (1995).	
Transparency	MacEachren (1995).	
Spacing	Slocum et al (2010).	
Perspective Height	Slocum et al (2010).	

Obrázek 1-3 Parametry kartografických znaků dle Halik (2012).

1.5 Přechod od 2D ke 3D kartografickým vyjádřením

V posledních dekádách došlo ke změně nejčastěji používané formy mapových děl. Z převážně analogových dvourozměrných map vedl vývoj v kartografii k digitálním statickým dvourozměrným mapám. Odtud vzešly interaktivní dvourozměrné digitální mapy s proměnným měřítkem, jejichž tvorba je spojena především s geografickými informačními systémy, později i s webovou kartografií. Spolu s těmito dvourozměrnými interaktivními mapami vznikaly také mapy statické, zobrazující trojrozměrné objekty nejčastěji v podobě perspektivních pohledů na zobrazenou situaci, např. mapy hor viz Schobesberger & Patterson (2008) či Bonchev (2014). V dnešní době jsou čím dál častější tzv. interaktivní (geo)vizualizace, které zobrazují převážně trojrozměrné objekty ve scéně, viz podkapitola 1.1, podkapitola 2.1 a především oddíl 2.2.3.

Shepherd (2008) ve svém článku uvádí obsáhlou diskuzi nad přínosy a naopak nevýhodami přechodu od dvourozměrných k trojrozměrným geovizualizacím. Mezi přínosy přechodu ke 3D geovizualizacím (resp. k trojrozměrným kartografickým vyjádřením) řadí Shepherd (2008) následující:

- I. Další rozměr pro zobrazení informací;
- II. Zobrazení dalších proměnných;
- III. Pozorovateli přináší familiární pohled na svět;
- IV. Částečně řeší problém překrývajících se znaků.

Mezi nevýhodami přechodu ke 3D geovizualizacím vidí Shepherd (2008) především:

- i. Proměnlivé měřítko virtuální 3D scény;
- ii. Překrývání objektů ve virtuální 3D scéně;

Jednotlivé příklady řešení nevýhod a detailnější rozbor výše uvedených přínosů je uveden v následující kapitole.

V této kapitole 1 byly rozebrány základní pojmy, na kterých tato práce dále staví. Zásadním pojmem je zde pojem „virtuální 3D mapa“, který byl v této kapitole vymezen a jehož definice zde byla navržena. Poté zde byly uvedeny vybrané kartografické vyjadřovací prostředky a principy používané u dvourozměrných map. Následující kapitola navazuje na tyto pojmy a principy v souvislosti s otázkami konceptu a tvorby výše definované virtuální 3D mapy.

2 Koncept a tvorba virtuální 3D mapy

Tato kapitola se zabývá rozbohem konceptu a tvorby virtuálních 3D map. V rámci její první podkapitoly, která se zabývá konceptem virtuálních 3D map, jsou uvedeny záležitosti týkající se obsahu těchto map (tj. co je na mapě zobrazeno) a popisem využívaných kartografických technik pro kartografické vyjádření virtuálních 3D modelů za vzniku 3D symbolů (tj. způsob jak je obsah mapy vyjádřen). Dále je rozebrána podoba ovládacích prvků takové mapy včetně grafického uživatelského rozhraní a v neposlední řadě jsou popsány kategorizace zobrazovacích technik pro trojrozměrná data.

Druhá podkapitola této kapitoly se zabývá již popisem pracovního postupu tvorby virtuálních 3D map, který zahrnuje sběr prostorových geografických dat, tvorbu virtuálních 3D modelů, volbu jejich kartografického vyjádření a samotnou vizualizaci kartograficky vyjádřeného virtuálního 3D modelu za vzniku virtuální 3D mapy.

Třetí podkapitola se pak zabývá kategorizací prvků zobrazených ve virtuálních 3D mapách z různých hledisek vztažených především k vlastnostem virtuálních 3D modelů. Nakonec jsou ve čtvrté podkapitole uvedeny příklady virtuálních 3D glóbulů používaných pro zobrazení virtuálních 3D map, které zobrazují objekty a prvky především v globálním či regionálním rozsahu, což lze analogicky přirovnat k mapám malých a středních měřítek, ve specifických případech i k mapám velkých měřítek.

Volba kartografických vyjádření virtuálních 3D modelů záleží i na několika dosud nezmíněných zásadních faktorech: na použitelných a dostupných zdrojových datech, na zvolené technologii a metodách pro tvorbu, uložení a další využití modelu a také na podrobnosti tvořeného modelu, což drasticky ovlivňuje jeho celkovou velikost a jeho využitelnost v různorodých aplikacích.

Diagram vývoje procesů podílejících se na vytvoření obsahu virtuální 3D mapy od sběru zdrojových dat, skrze vytvoření virtuálních 3D modelů, přes kartografické vyjádření virtuálních 3D modelů až po jejich samotnou vizualizaci za vzniku virtuální 3D mapy je zobrazen na obrázku 2-9 v podkapitole 2.2 (převzat z Häberling et al. (2008), resp. z Terribilini (2001)).

2.1 Koncept virtuální 3D mapy

Co se týče definování stylových faktorů, které souvisí s tvorbou virtuální 3D mapy, lze s úspěchem použít dělení uvedené v Plánka (2014), resp. v podkapitole 1.2. Tyto faktory jsou univerzální jak pro klasické dvoudimenzionální mapy, tak i pro virtuální 3D mapy popsané v této práci. Vnímání (čtení) kartografického díla uživatelem je zásadním faktorem ovlivňující přenesení zamýšlených informací mezi autorem díla, mapou a uživatelem, které závisí také na odborné vyspělosti všech zúčastněných stran (viz bod *i* v podkapitole 1.2).

Vzhledem k návrhu definice virtuální 3D mapy uvedené v závěru podkapitoly 1.1, je třeba doplnit objektivní stylový faktor označený jako *III. Technická vybavenost* zmíněný v podkapitole 1.2. Tato vybavenost je definována z pohledu tvůrce kartografického díla, ale pro uživatele virtuální 3D mapy je míra technické vybavenosti uživatele, tj. umožnění zobrazit mapu na výkonnostně dostačujícím hardwaru či skrze dostatečně rychlé internetové připojení, prakticky binárním kritériem pro použitelnost dané mapy, a to především z důvodu velikosti zobrazovaných dat.

Další klíčovou záležitostí, zmíněnou například v Góralski (2012), Bonchev (2014), Herman (2013b) či Shepherd (2008), je interaktivita virtuální 3D mapy. Tato vlastnost umožňuje uživateli čtení virtuální 3D mapy, tj. úspěšné předávání informací mezi autorem a uživatelem mapy, viz oddíl 2.1.2.

2.1.1 Prvky obsahu virtuální 3D mapy

V tomto oddílu jsou rozebírány záležitosti měřítka zájmových kartografických děl a dimenze na nich zobrazených objektů. V klasické kartografii lze rozlišit tzv. konstrukční (matematické) a obsahové prvky (topografický a tematický obsah). Mezi konstrukční prvky patří body geodetického základu, mapový rám, kartografická síť, kartografické zobrazení, měřítko a kompozice mapy. Mezi obsahové prvky lze zařadit topografický obsah (fyzicko-geografické prvky jakými jsou reliéf terénu, vodstvo, půdní pokryv; socioekonomické prvky jakými jsou hranice, sídla, dopravní sítě; doplňkové prvky jakými jsou popisky, kóty) a tematický obsah, viz Plánka (2014).

Rozlišení výše uvedených kategorií je aplikovatelné i pro virtuální 3D mapy s přihlédnutím na některá specifika uvedená dále. Důležitá součást mapy je z obsahového hlediska i tzv. mapové pole, které je dle VÚGTK (2017) definováno jako „plocha, na které je zobrazen obsah mapy, ohraničená rámem“. Mapové pole nalezneme i u virtuálních 3D map, jehož součástí mohou být i prvky grafického uživatelského rozhraní, viz oddíl 2.1.3.

Záležitost „měřítka“ u virtuální 3D mapy

U virtuální 3D mapy může uživatel libovolně měnit míru přiblížení pohledu kamery na zobrazované objekty, a to od celkového pohledu na virtuální 3D scénu (odpovídající mapě malého měřítka v terminologii kartografie, hovoříme-li o zobrazení glóbu, viz dále) až po detailní přiblížení se pohledem k modelu (odpovídající mapě velkého měřítka z geodetického úhlu pohledu, viz dále). Ekvivalenty měřítkových číslic tak, jak je známe z klasických map, nejsou pro virtuální 3D scénu stanoveny, protože zobrazená scéna jako celek nemá konstantní měřítko. Měřítko scény je totiž proměnné v závislosti na úhlu kamery od svislice a vzdálenosti mezi pohledem pozorovatele a zobrazenými objekty (míněno pro nejčastěji používané perspektivní promítání použité pro vizualizaci objektů ve virtuální 3D scéně). Proměnlivostí měřítka zobrazených prvků na virtuální 3D mapě se zabývali např. Pasewaldt et al. (2012), Semmo (2012) či Döllner (2008). Práce Dodge et al. (2008) v kapitole 10, resp. Shepherd (2008) uvádí čtyři možnosti, jak se vypořádat s variací měřítka napříč virtuální 3D mapou a stejně tak i osm možností, jak se vypořádat s překrýváním objektů zobrazených v perspektivním zobrazení virtuální 3D mapy.

Pojem měřítko používaný u dvourozměrných map tedy nelze analogicky použít u virtuálních 3D map v tom smyslu, v jakém je běžně užíván. A to z toho důvodu, že u dvourozměrných map je měřítko mapy stejné v rámci aktuálního zobrazení celého mapového okna (díky použitému ortogonálnímu promítání), ale v rámci zobrazené virtuální 3D scény je toto měřítko proměnlivé, jak je uvedeno výše. Tento pojem „měřítko“ však lze nahradit pojmem „granularita“ (ve smyslu přesnosti či podrobnosti), který reflektuje jak přesnost měřených dat zobrazených na mapě, tak způsob vyjádření jednotlivých objektů (z pohledu dimenze zobrazených prvků na mapě, viz dále), ale i přesnost lokalizace objektů na mapě. Co se týče přesnosti měřených dat lze ji z pohledu geodézie řešit dle přesnosti zaměření zvoleného objektu a přesnosti měření jako takového (označovány anglickými výrazy „accuracy“, resp. „precision“⁸). Tento geodetický pohled však v této práci není více rozebírán, jeho popis lze nalézt např. ve standardu ISO 5725.

I když nelze pojem „měřítko“ užívat u virtuálních map ve smyslu poměrů velikostí na mapě a ve skutečnosti, jak je užíván u dvourozměrných map, je tento pojem v následující části práce používán ve smyslu míry přiblížení pohledu pozorovatele k pozorovaným objektům, který lépe vyhovuje podstatě virtuálních 3D map.

⁸ Popsáno také v [https://en.wikipedia.org/wiki/Accuracy_and_precision#ISO_definition_\(ISO_5725\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Accuracy_and_precision#ISO_definition_(ISO_5725)).

Z pohledu míry přiblížení uživatele k zobrazované skutečnosti ve virtuální 3D mapě lze vymezit obecně tři základní kategorie (rámce) zobrazených objektů na základě obsahu zobrazeného v mapě, resp. jeho přesnosti/podrobnosti ve smyslu jejího vymezení v předchozím odstavci. Takové objekty je vhodné zobrazit na mapách a la:

- „Malého měřítka“ (zobrazené při vzdáleném pohledu uživatele na scénu) – sféra (glóbus⁹) jako referenční povrch, pokrytá snímky (obvykle satelitními), zobrazení vektorových dat odpovídající míře přiblížení (velmi generalizované);
- „Středního měřítka“ (bližší pohled na scénu) – terénní reliéf¹⁰ (generalizovaný) jako referenční povrch, pokrytý snímky (obvykle satelitními či leteckými), zobrazení vektorových dat odpovídající míře přiblížení (generalizované);
- „Velkého měřítka“ (detailní pohled na scénu) – detailní model terénního reliéfu, pokrytý ortofotosnímky¹¹ (obvykle leteckými), reliéf potažený detailními 2D vektorovými daty a bodově/liniově/areálově umístěnými 3D symboly.

Plánka (2014) uvádí rozdělení kartografie na geodetickou (technickou), „která se zabývá především tvorbou státních mapových děl všech měřítek a účelového zaměření včetně tvorby digitálních kartografických datovýchází celostátní povahy“ a na kartografii geografickou, „která se zabývá tvorbou obecně zeměpisných map většinou menších měřítek“. V této souvislosti lze rozlišit dvojí pohled na měřítkové řady map, a to na pohled geodetický a geografický. Rozdělení měřítkových řad je v disertační práci uvažováno výlučně v souvislosti s geodetickým pohledem, viz Plánka (2014) či VÚGTK (2017) a měřítkovým číslem M , dle kterého se dělí mapy na mapy:

- Velkých měřítek $1 : M$, kde $M \leq 5\,000$;
- Středních měřítek $1 : M$, kde $5\,000 < M \leq 200\,000$;
- Malých měřítek $1 : M$, kde $M > 200\,000$.

Rozdělení měřítkových řad řešené pro porovnání v souvislosti s geografickým pohledem, viz Plánka (2014) a měřítkovým číslem M , dělí mapy na mapy:

- Velkých měřítek $1 : M$, kde $M \leq 200\,000$;
- Středních měřítek $1 : M$, kde $200\,000 < M \leq 1\,000\,000$;
- Malých měřítek $1 : M$, kde $M > 1\,000\,000$.

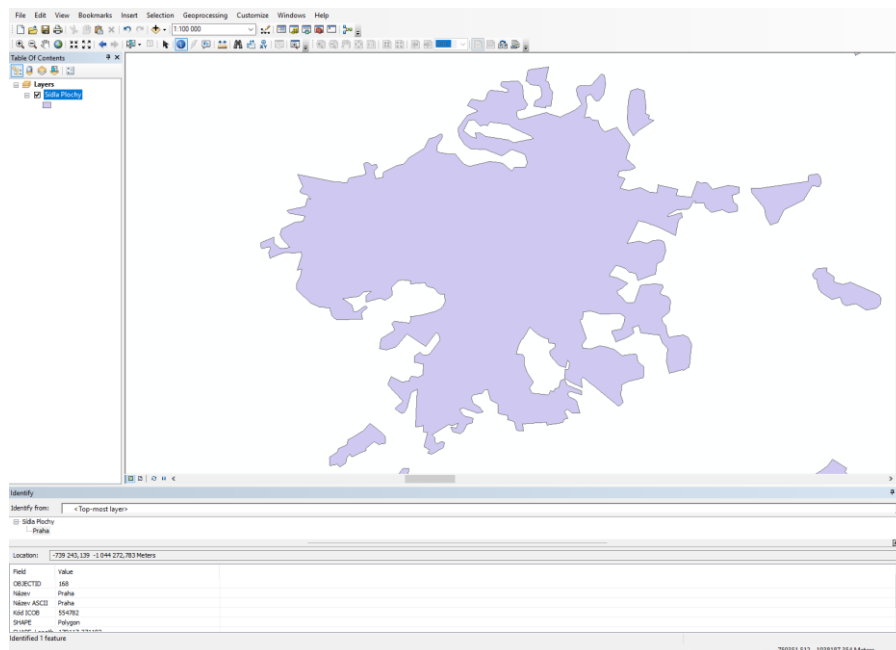
⁹ Glóbus (či glóbus) je dle VÚGTK (2017) „zmenšené zobrazení vesmírného tělesa s mapovým obrazem jeho povrchu“.

¹⁰ Terénní reliéf je dle VÚGTK (2017) „zemský povrch vytvořený přírodními silami nebo uměle bez objektů a jevů na něm, popř. pod ním a nad ním; jde o souhrn terénních tvarů“.

¹¹ Ortofotosnímky jsou definované dle VÚGTK (2017) jako „fotogrammetrický produkt z měřického snímku vytvořeného středovým promítáním a diferencielně překresleného (ortogonalizovaného) na základě znalosti výškových poměrů georeliéfu, kdy se odstraní posuny obrazu, způsobené prostorovým členěním snímaného území a vlastnostmi středového promítání...“.

Bandrova & Bonchev (2013) definují na základě dotazníkového šetření vztah (analogii) mezi měřítkovými řadami klasických map a mezi virtuálními 3D mapami velkého/středního/malého měřítka, viz výše uvedené rámce. Respektive zkoumají, jak respondenti vnímají analogii mezi přesností zdrojových dat a jejich vhodností použití pro uvedené měřítkové kategorie virtuálních 3D map. V Bandrova & Bonchev (2013) jsou uvedeny konkrétní diskrétní hodnoty měřítkového čísla, nicméně se rozdělení měřítek map dle měřítkového čísla uvedené v jejich článku liší od výše uvedeného rozdělení. Pro virtuální 3D mapy velkého měřítka se podle Bandrova & Bonchev (2013) hodí data měřená s přesností vhodnou pro mapy měřítek 1 : M , kde $M = [1, 500, 1\ 000]$, pro virtuální 3D mapy středního měřítka se hodí data měřená s přesností vhodnou pro mapy měřítek 1 : M , kde $M = [10\ 000, 25\ 000]$ a pro virtuální 3D mapy malého měřítka se hodí data měřená s přesností vhodnou pro mapy měřítek 1 : M , kde $M = [50\ 000, 100\ 000]$ a větší.

Z výše uvedeného textu vyplývá, že vhodnost formy zobrazení dat na mapě z pohledu jejich dimenze (tj. zda je použita 0D/1D/2D či 3D forma vyjádření) závisí na podrobnosti těchto dat a na míře přiblížení k zobrazovaným datům. Příkladem na obrázku 2-1 níže je dvourozměrné zobrazení územního rozsahu města Prahy obsaženého v geografické databázi ArcČR 500 (verze 3.0, od firmy ARCDATA PRAHA, s.r.o., zobrazeno v ArcGIS 10.5.1 fy Esri), které je na monitoru s rozlišením 1600 x 1200 pixelů zobrazeno v měřítku 1 : 100 000. Pokud bychom chtěli obdobnou situaci zobrazit ve virtuální 3D mapě, má díky míře přiblížení pohledu k zobrazovanému objektu smysl zobrazovat trojrozměrná data jen v takové formě, která je vhodná pro mapy „malého“ či „středního“ měřítka ve smyslu kategorizace uvedené na předchozí straně, protože plně trojrozměrné vyjádření objektů by nebylo v tomto přiblížení rozeznatelné. Více informací o vhodnosti zobrazení trojrozměrných dat lze nalézt např. v Jedlička (2018).



Obrázek 2-1 Zobrazení územního rozsahu města Prahy v geografické databázi ArcČR 500.

Záležitost dimenze dat

Díky možnostem zobrazení vícedimenzionálních dat v rámci virtuálních 3D map, je třeba se zabývat především dimenzí dat (dimenze = vlastnost udávající velikost či míru – rozměr, rozloha, rozsah¹²), tedy rozměry objektů zobrazených na virtuálních 3D mapách. Ta velice úzce souvisí s měřítkem mapy, resp. s mírou přiblížení pohledu pozorovatele k objektu, viz předchozí text.

Slocum et al. (2010) v kapitole 5.3 charakterizuje nejen klasická 0D, 1D a 2D data (vyjádřená bodem, linií, resp. plochou), ale i tzv. 2,5D data a „skutečná“ 3D data. V tomto případě jsou 2,5D data vnímána jako povrchy, u kterých je hodnota jevu definována v závislosti na jeho polohovém určení pomocí dvojice souřadnic (např. nepravidelná trojúhelníková síť reprezentující reliéf, u které je výška závislá na poloze a nebo 2D rastr, u kterého hodnota buňky vyjadřuje výšku reliéfu). Skutečná trojrozměrná data jsou taková, která jsou definována prostorově, tj. třemi souřadnicemi a navíc mohou obsahovat i hodnotu dalšího jevu. S daty, která jsou reprezentována jako 2,5D či 3D se ve stejném duchu jako Slocum et al. (2010) zabývali také Cambrey & Yeh (1994). Toto rozdělení na 2,5D a 3D data je tedy odvozeno od jejich polohového, resp. prostorového umístění v prostoru.

Lze vymezit i jiný pohled na dělení dat dle dimenze, a to z pohledu toho, jaké geometrické vlastnosti lze u objektů vyjádřených daným způsobem měřit. U bodově vyjádřených objektů (0D) není měřitelná vlastnost, u liniově vyjádřených objektů (1D) lze měřit délku, u plošně vyjádřených objektů (2D) lze měřit plochu a u objemově vyjádřených objektů (3D) lze měřit objem. A to bez ohledu na to, zda jsou umístěna polohově či prostorově. Více o tomto způsobu dělení viz Jedlička (2018).

Na výše uvedená dělení navazují i tři možnosti jak dimenzi vnímat v souvislosti s virtuálními 3D mapami. V rámci nich je možné rozlišovat dimenzi zdrojových měřených dat, dimenzi jejich kartografického vyjádření a dimenzi dat vzniklých jejich analýzou (což je záležitost spíše abstraktních jevů) či zpracováním. Dimenze samotných zdrojových dat je daná použitou metodou sběru dat a je sama o sobě neměnná, přičemž dimenze jejich kartografického vyjádření, výsledku analýzy nebo zpracování vstupních dat se může změnit (může se jak snížit, tak i zvýšit). Jako příklad zvýšení dimenze lze uvést různé vyjádření objektu stromu, viz obrázek 3-9 v oddílu 3.2.3, kdy je možné měřený bod reprezentující strom vyjádřit nejen bodovým znakem, ale i bodově lokalizovaným 2D znakem či 3D symbolem. Příkladem analýzy zvyšující dimenzi výstupních dat může být 3D extrapolace z bodových měření fyzikálních veličin (např. San Jose et al. (2012) uvádí trojrozměrné zobrazení šíření znečištění ovzduší). Příkladem zpracování dat, které rozšiřuje dimenzi výsledných dat, pak může být vytvoření 3D objektu z mračna bodů získaných laserovým skenováním (např. Jedlička & Hrádková (2009) vytvořili model kaple zámku Kozel z dat laserového skenování). Obdobně funguje i případné snížení dimenze dat.

¹² Viz <http://slovník-cizich-slov.abz.cz/web.php/slovo/dimenze>

Objekty zobrazené na virtuální 3D mapě „velkého měřítka“ lze tedy vnímat fundamentálně z pohledu dimenzí jejich proporcí jako:

- Objekty modelované proporcionálně ve 3D, tj. v jejich skutečných rozměrech;
- Objekty vyjádřené 2,5D¹³/3D znakem – takto jsou reprezentované objekty, které nelze modelovat v jejich skutečné velikosti;
- Objekty vyjádřené jinak – pomocí ikony, symbolu, piktogramu, textu apod., viz následující oddíl.

2.1.2 Kartografické techniky užívané v rámci virtuálních 3D map

Pro zobrazení objektů, jevů a informací v rámci virtuálních 3D map jsou využívány různorodé kartografické techniky, jejichž přehled uvádí Sieber et al. (2013). Některé z nich jsou převzaté z klasických technik pro 2D mapy, některé jsou specifické pro virtuální 3D prostředí. Jak ale uvádí Ware & Plumlee (2005), resp. následující oddíl, k nadužívání třetího rozměru u virtuálních 3D map by nemělo docházet, protože se tím snižuje čitelnost výsledné mapy. To znamená, že maximum informací obsažených v mapě má být stále vztaženo k rovině XY, ve které je definována poloha objektů.

Mezi kartografické techniky užívané v rámci virtuálních 3D map se dle Sieber et al. (2013) řadí především:

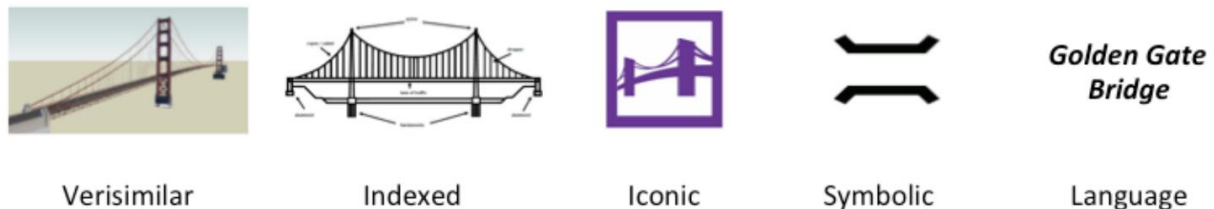
Abstrakce

Vztahuje se ke kartografickému vyjádření jednotlivých objektů na mapě z pohledu stupně realističnosti či symboličnosti. Bodum (2005) uvádí pět úrovní abstrakce kartografických vyjádření modelů (v závorce jsou uvedeny původní anglická označení, jak jsou uvedeny na obrázku 2-2 dále):

- Velmi podobný („verisimilar“) – (foto)realistické a obvykle plně 3D vyjádření objektů na mapě;
- Indexovaný („indexed“) – model je založený na základě parametrizace geometrie;
- Ikonický („iconic“) – obrazová podobnost reálného objektu za použití ikon;
- Symbolický („symbolic“) – symbol má pouze abstraktní význam;
- Text („language“) – textový popis.

¹³ Další přístupy k tomuto tématu i z pohledu počítačové grafiky, počítačových her či animací nabízí <https://en.wikipedia.org/wiki/2.5D>

Zobrazení výše uvedených úrovní abstrakce je na obrázku 2-2 níže (převzat z Bodum (2005)). Další příklady abstrakce pro objekty budov lze najít v oddílu 2.2.3 či 3.2.1. Sieber et al. (2013) uvádí, že nejběžnějšími úrovněmi abstrakce pro virtuální 3D mapy jsou ikonické či symbolické. Nutno podotknout, že toto prohlášení je vztaženo k zobrazení 3D dat na glóbech. Jedná se tedy o virtuální 3D mapy malých až středních měřítek, viz předchozí oddíl. Úrovněmi abstrakce pro virtuální 3D mapy velkého měřítka se zabývá např. Semmo et al. (2012) či Semmo & Döllner (2014, 2015).



Obrázek 2-2 Příklady různých úrovní abstrakce pro objekt mostu dle Bodum (2005).

Generalizace

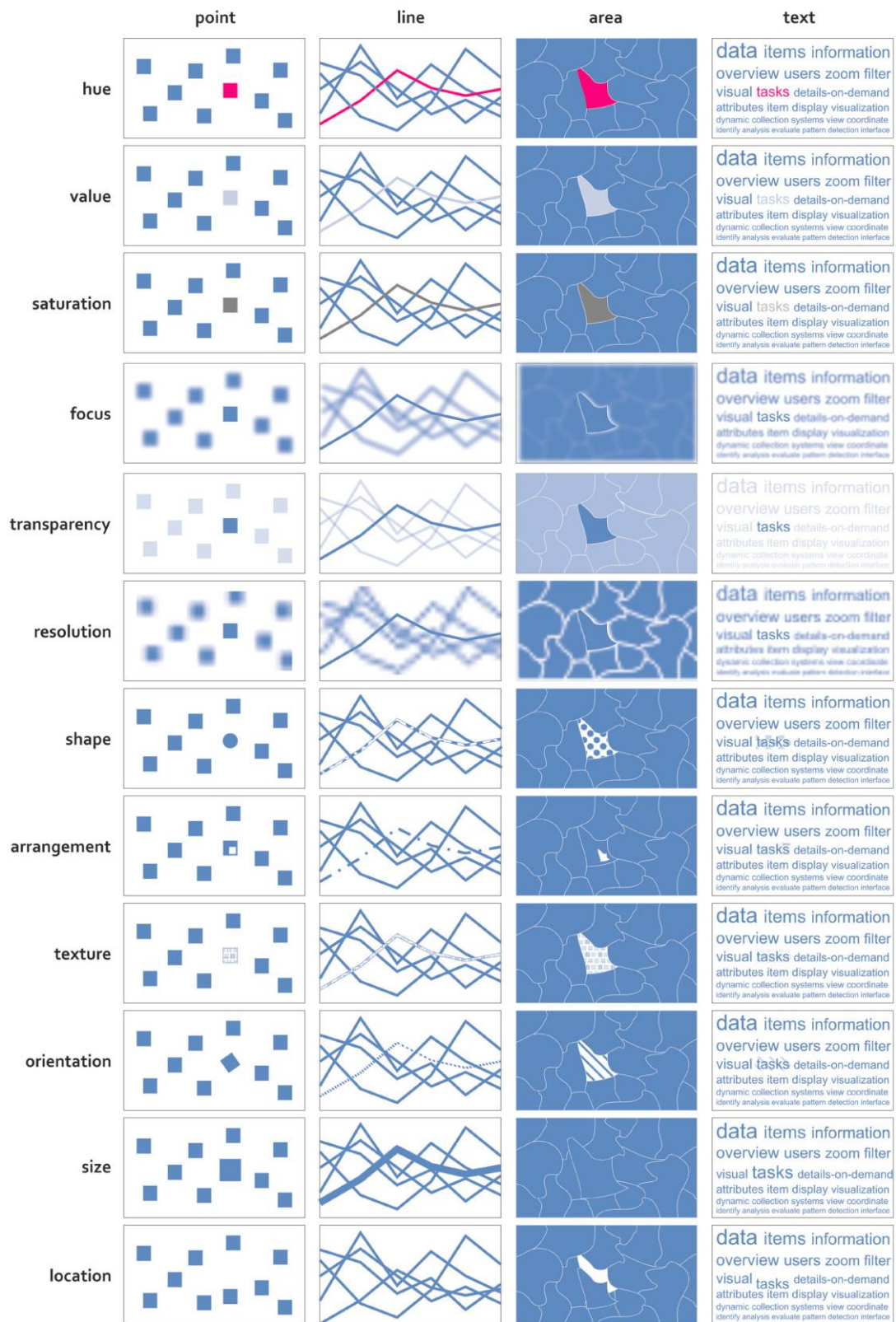
Generalizační techniky typu agregace, selekce, zjednodušování, shlazování a další jsou často používané v rámci dvourozměrných map, viz geometrická a kartografická generalizace definovaná ve VÚGTK (2017). Sieber et al. (2013) uvádí, že generalizační techniky jsou klíčové pro redukci komplexnosti zobrazených dat. Dodává, že generalizace tzv. za běhu (on-the-fly) je výpočetně velice náročná a je třeba se věnovat tomuto kroku ještě před samotnou vizualizací virtuální 3D mapy. Což je naprosto stěžejní myšlenka, protože díky komplexnosti trojrozměrných dat je jejich generalizace velice náročným krokem, který však přispívá k lepší čitelnosti virtuálních 3D map z pohledu rychlosti načítání obsahu mapy a odezvy při manipulaci s pohledem na zobrazenou situaci v rámci virtuální 3D scény, viz oddíl 2.2.3. Generalizačními technikami pro 3D data se zabývají např. Sester (2007), Forberg (2007) či Baig & Rahman (2013).

Zvýraznění¹⁴

Je několik různých metod pro zvýraznění důležitých informací v rámci kartografických technik vhodných pro virtuální 3D mapy. Sieber et al. (2013) uvádí metodu ukotvení¹⁵, pomocí které lze vyjádřit vztah mezi původní a posunutou polohou objektu či informace. Nejčastěji je tato metoda použita pro bodové prvky za pomoci tzv. vodících linek („leader lines“), kdy jsou bodové prvky vyzvednuty nad zobrazené objekty a pomocí linky je vyobrazena lokace, ke které se daný bod vztahuje. Robinson (2013) uvádí metody zvýraznění na základě běžně používaných grafických proměnných (viz podkapitola 1.4). Přehled těchto metod pro zvýraznění prvků je uveden na obrázku 2-3 dále (převzat z Robinson (2013)).

¹⁴ Anglicky „highlighting“

¹⁵ Anglicky „anchoring“



Obrázek 2-3 Kartografické metody zvýraznění využívající grafických proměnných dle Robinson (2013).

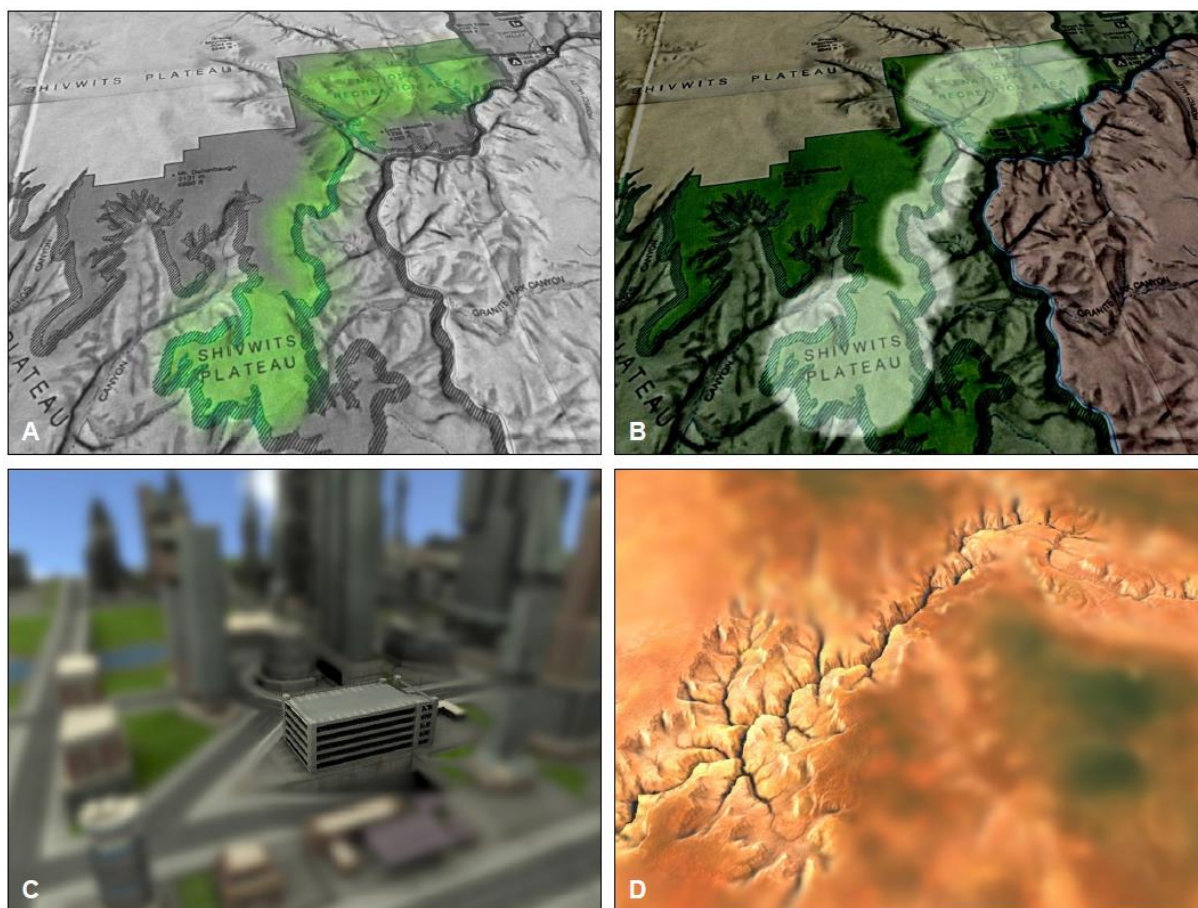
Trapp et al. (2011) rozděluje kartografické techniky zvýraznění na základě různorodého způsobu upoutání pozornosti pozorovatele. Jejich přehled je následující:

- Techniky měnící styl zobrazení objektu („Style Variance Techniques“) pro jasné rozlišení objektu vůči okolním reprezentacím objektů – jedná se o přímý podnět pro pozorovatele, kdy je zvýrazněn samotný model objektu
 - Techniky pro upoutání pozornosti („Focus-based Style Variance Techniques“) – pomocí použití zvýrazňovacího barevného tónu či změnou stylu kresby (styl drátového modelu, skici apod.) je pozornost zaměřena na zájmový objekt;
 - Techniky založené na kontextu („Context-based Style Invariance“) – zvýraznění zájmového objektu pomocí modifikace (potlačení) vyobrazení okolí, do kterého je objekt zasazen;
- Techniky zvýrazňující okraj/siluetu 3D objektu („Outlining Techniques“) – jde také o techniky mající přímý podnět pro pozorovatele;
- Techniky založené na glyfech/piktogramech („Glyph-based Techniques“) – závisí na ikonách/glyfech/piktogramech připojených k objektům a ty jsou zvýrazněny. Jedná se o nepřímý podnět pro pozorovatele (není zvýrazněn samotný model objektu).

Konkrétní příklady technik měnící styl zobrazení objektů v závislosti na kontextu, viz rozdělení dle Trapp et al. (2011) výše, jsou zobrazeny na obrázku 2-4 (převzat z Trapp et al. (2011)), další lze najít v.

Co se týče kartografického vyjádření orientačních prvků (tzv. „landmarks“) ve virtuálním prostředí, které patří k zásadním objektům ve virtuálních 3D mapách urbanizovaných území, viz podkapitoly 3.1 a 3.2, Vinson (1999) uvádí mimo jiné doporučení, že „orientační prvky by měly být vždy viditelné, měly by být jednoduše rozeznatelné od okolí a jejich podoba by měla být spíše konkrétní, než abstraktní“. Pro zvýraznění těchto orientačních prvků bývají používány kartografické techniky uvedené v tomto oddílu. Nejčastějšími příklady těchto technik jsou: změna tvaru a velikosti objektů, potlačení či redukce objektů v okolí těchto orientačních prvků, technika změny barevnosti, technika změny hodnot kontrastu nebo hloubky ostrosti, viz Elias et al. (2006), Glander et al. (2007), Trapp et al. (2011), Robinson (2013) či Semmo et al. (2015).

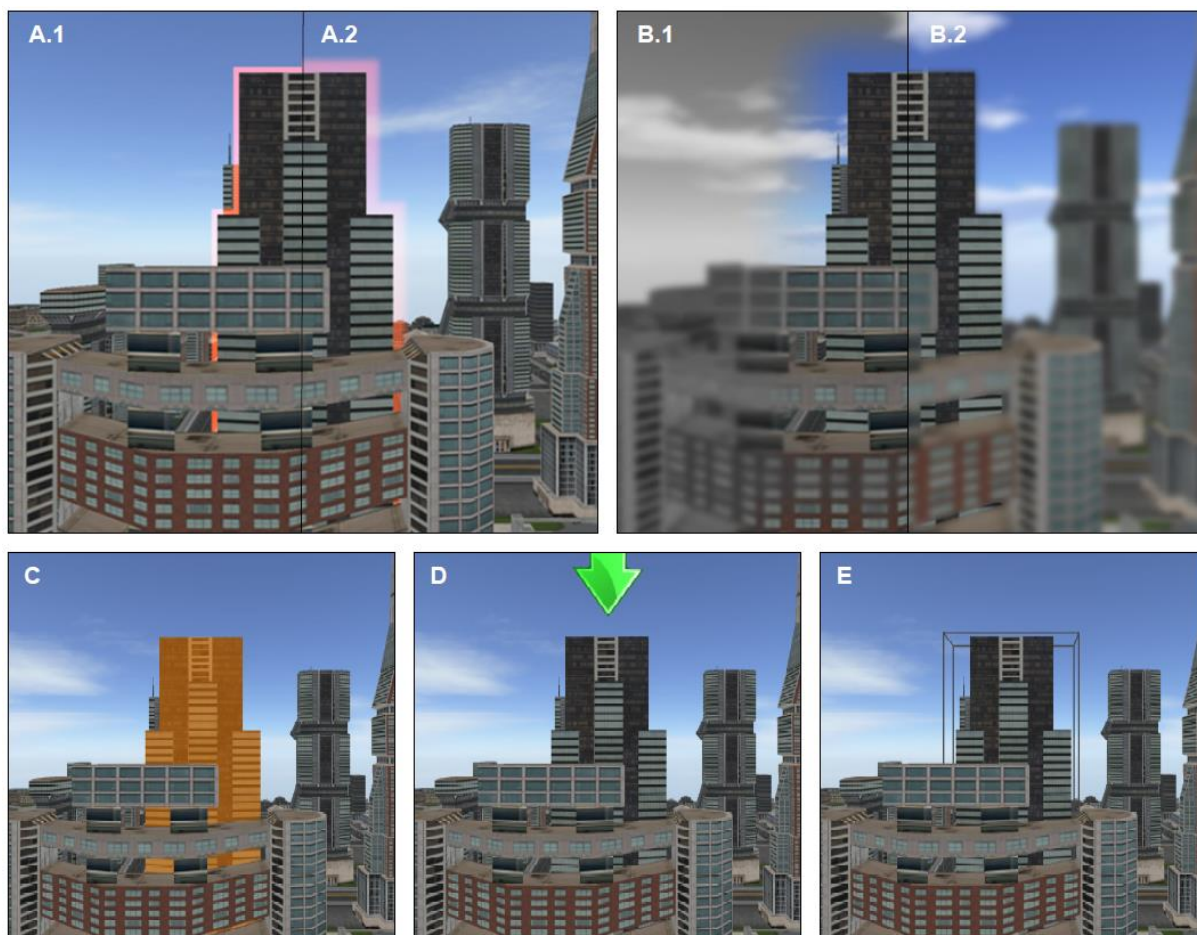
Aplikace technik pro zvýraznění obsahu virtuální 3D mapy dle Trapp et al. (2011) na příkladu urbanizovaného území, resp. konkrétního virtuálního 3D modelu zástavby, jsou uvedeny na obrázku 2-5.



Obrázek 2-4 Příklady technik založených na kontextu dle Trapp et al. (2011).

Vysvětlení k obrázku 2-4:

Techniky zvýraznění založené na kontextu mění styl zobrazení objektu, tzv. vinětace („vignetting“) pomocí stupňů šedi (A), pomocí změny kontrastu a gamma korekce (B) a pomocí změny hloubky ostrosti (C, D).



Obrázek 2-5 Příklady aplikace technik pro zvýraznění na ukázce virtuálního 3D modelu zástavby dle Trapp et al. (2011).

Vysvětlení obrázku 2-5 na základě kategorií definovaných výše, resp. v Trapp et al. (2011):

Techniky zvýrazňující okraj/siluetu 3D objektu (A1 – jednoduché zvýraznění siluety, A2 – generalizované zvýraznění siluety), techniky založené na kontextu (B1 – vinětace, B2 – změna hloubky ostroty), technika založená na upoutání pozornosti (C – překryt barvou), technika zvýraznění založená na glyfech/piktogramech (D, E)

Projekce/promítání

V rámci kartografických děl je jejich zásadní součástí i definování a užívání souřadnicových systémů. Pomocí nich lze použít nástroje pro měření délek, ploch a úhlů v mapě, ale také s úspěchem použít techniky projekce neboli promítání. VÚGTK (2017) uvádí, že kartografická projekce je „kartografické zobrazení, vznikající středovým promítáním bodů z referenční plochy na zobrazovací plochu“. V kontextu virtuálních 3D map se však nejedná o kartografickou projekci, ale o techniky měnící dimenzi zobrazených dat, obvykle pomocí promítání. První používanou technikou je promítání trojrozměrných dat na dvourozměrnou plochu (označováno jako zploštění – „flattening“), druhou pak zobrazení dvourozměrných dat na trojrozměrný (resp. 2,5 rozměrný) povrch (označováno jako pokrytí – „draping“).

Translace

Translace neboli posun. Uplatňuje se u velmi blízkých objektů, kde by při jejich vizualizaci mohlo dojít k jejich nechtěnému překryvu, což se při vhodně zvoleném kartografickém vyjádření modelu a díky povaze virtuálních 3D map velkého měřítka, u kterých lze drtivou většinu objektu definovat proporcionálně, nestává. Další uplatnění translace může být např. při zobrazení více plošných tematických vrstev nad sebou.

Rotace

Hodnoty naklonění/pootočení/směrování („tilt/roll/heading“) používané mimo jiné pro nastavení referenční polohy kamery při zaměření se na objekt na základě jeho výběru, jsou často využívanými proměnnými ve virtuálních 3D scénách. Tyto hodnoty jsou obvykle spjaty přímo s virtuálními 3D modely, viz popis datových formátů pro tvorbu virtuálních 3D modelů (např. KML, GLTF, DAE apod.). Speciálním příkladem rotace je technika tzv. „billboardingu“, při které je plochý 2D objekt stále otočený svojí plochou k pohledu pozorovatele, ať je jakýkoliv.

Vytažení¹⁶

Díky trojrozměrné povaze virtuální 3D scény lze objekty reprezentovat ve 2,5D pomocí vytažení jejich půdorysů (ať už se jedná o bodově, liniově či plošně lokalizované objekty) obvykle podél osy Z. Takto jsou vytvářeny např. blokové virtuální 3D modely budov v LOD1 (viz popis významu LOD, resp. standardu CityGML, který je uveden v oddílu 2.2.3).

Změna měřítka objektů¹⁷

Tato technika umožňuje zvýraznit či potlačit zobrazené prvky pomocí změny velikosti jejich geometrie, tj. zmenšením či zvětšením.

Uspořádání¹⁸

Neboli topologické rozmístění objektů ve 3D scéně. To je však obvykle již dáno tematickým zaměřením virtuální 3D mapy a dimenzí na ní zobrazených objektů.

Vlastnosti povrchu objektů

Jedná se o metody používané v oboru počítačové grafiky, které ovlivňují zbarvení, průhlednost, odraz světla, různé typy texturování (jakými jsou „texture mapping, bump mapping, environment mapping“) a jsou použité na povrchy objektů ve vizualizované virtuální 3D scéně, čímž ovlivňují jejich vzhled. Jak je uvedeno v další podkapitole, výše zmíněné techniky jsou součástí především vizualizačních pravidel při jejich zobrazení na zobrazovacím médiu, viz oddíl 2.2.3. Více informací z oboru počítačové grafiky lze nalézt např. v Chen (2007).

¹⁶ Anglicky „extrusion“

¹⁷ Anglicky „scaling“

¹⁸ Anglicky „arrangement“

2.1.3 Mapová interaktivita

Jak uvádí Angel (2006) „jedním z nejdůležitějších pokroků v oblasti výpočetní techniky bylo umožnění uživatelům komunikovat s displeji počítačů“. Toto vyjádření se sice týká obecně výpočetních systémů, ale pro případ virtuálních 3D map je neméně platné. Dále dodává, že „pokud není uživatel pouze pasivním čtenářem mapy, musí mít možnost aktivně zobrazení mapy (vizualizaci) měnit. Toho lze dosáhnout různými vstupními zařízeními, jako jsou klávesnice, joystick, trackball, rozličnými ovládacími zařízeními používanými ve virtuální realitě jako např. rukavice, uchopovací zařízení apod.“

Díky možnostem interaktivity (chápané v tomto případě jako komunikace člověk – stroj) lze plně využít potenciál virtuálních 3D map, kdy si pohled na zobrazená data určuje sám uživatel, vizualizace mapy je tedy interaktivní. Tuto možnost virtuálních 3D map zkoumali a potvrdili její zásadní přínos různí autoři. Například Petrovič & Mašera (2005) zjišťovali pomocí on-line dotazníku vhodnost reprezentace horské krajiny na základě definovaných úkolů (měření vzdáleností, nalezení směru na sever atd.) za použití 2D, 3D a 2,5D reprezentace této krajiny. Popelka & Brychtová (2013) zjišťovali rozdíly ve vnímání 2D a 3D reprezentací povrchu pomocí metody eye-tracking (záznam pohybu očí). Juřík et al. (2017) zkoumal rozdíly ve vnímání výšky, resp. převýšení při využití statického perspektivního pohledu na scénu a za použití interaktivní 3D scény. Dübel et al. (2014) zkoumal výhody a nevýhody mezi 2D a 3D vyjádřeními objektů, které se týkají vnímání a technických aspektů, mezi které řadí překrývání objektů, distorzi či škálovatelnost. Použití interaktivních virtuálních 3D map doporučuje i Häberling (2005, 2008), namísto statických virtuálních 3D map. Navíc i ICA (2003), uvádějící přehled různorodých funkcí map, se mimo jiné zmiňuje i o roli interaktivity v souvislosti s kartografickými díly.

Interaktivitu lze chápat ve dvou základních rovinách:

1) Uživatelem řízená interakce¹⁹

- Navigace ve 3D scéně, změna pohledu uživatele;
- Interaktivní výběr objektů (selekce, dotazování, editace)
- Interaktivní *ad hoc*²⁰ výpočty a měření;
- Interakce s (grafickým) uživatelským rozhraním (GUI)²¹ mapy.

¹⁹ Chápaná jako vzájemné působení dvou nebo více činitelů

²⁰ Viz https://cs.wikipedia.org/wiki/Ad_hoc

²¹ GUI = Graphical User Interface, grafické uživatelské rozhraní, viz https://en.wikipedia.org/wiki/Graphical_user_interface

2) Interakce řízená mapou na základě její „inteligence“:

- Různé druhy algoritmů založených na poloze pozorovatele (např. při navigování vozidla – přiblížení se k úseku, kde je nižší povolená rychlost, nehoda a podobně²²; hlídání pozice kamery ve virtuální 3D scéně vůči zobrazeným objektům, tj. neumožnění uživateli pohledět dovnitř budov²³ či dynamický výpočet Voroného diagramu na základě polohy zkoumaného objektu (uplatněný v Góralski(2012)).

S interaktivitou, resp. s konkrétní interakcí souvisí také reakční doba mezi akcí uživatele a reakcí stroje, která zásadně ovlivňuje využitelnost obecně jakéhokoliv informačního systému, v tomto případě tedy virtuální 3D mapy. Coltekin & Reichenbacher (2011), Millar (1968), Card et al. (1983) či Nielsen (1993, 2010) hovoří o časových prazích dané odezvy interaktivity (při oddání/přiblížení pohledu, změny pohledu, výběru objektu pomocí myši atd.) a na jejich základě definovali následující kategorie interaktivity (odezvy systému):

- V reálném čase – čas odezvy menší jak 100 milisekund;
- Téměř v reálném čase – čas odezvy do 1 sekundy;
- Práh pro smysluplnou interaktivitu – 10 sekund (± 2 sekundy). Pokud je tento časový práh překročen, je následně pozornost uživatele přesunuta jinam.

Pro odezvy trvající více jak 1 sekundu (typicky provádění dotazování, spuštění skriptů, načítání atd.) je velice vhodné uživateli předat informaci o stupni provedení dané akce. Nejčastěji se to děje pomocí zobrazení procentuálního zpracování daného úkolu či pohybujícím se grafickým prvkem (točící se kolečko, přesypající se hodiny apod.) nebo obojím. Uvedené možnosti lze s úspěchem použít i u virtuálních 3D map, např. při jejich načítání (z důvodu velikosti 3D dat) nebo při provádění editace 3D objektů, složitějších výpočtů či prostorových analýz.

V případě načítání zdrojových dat pro virtuální mapy (ať se jedná o 2D či 3D varianty) lze, pokud se jedná o mapy zobrazené ve webovém prohlížeči, použít i nástroj, který není přímo součástí mapy, ale je součástí samotného webového prohlížeče. Jde o nástroj zobrazující datový tok přes síť (tzv. „traffic“). Tento nástroj lze potkat pod obdobnými názvy, např. „Prozkoumat“ (Google Chrome), „Prozkoumat prvek“ (Mozilla Firefox) či „Vývojářské nástroje“ (Microsoft Edge) dostupné pod klávesovou zkratkou F12.

²² Viz aplikace Waze, Waze Mobile Limited

²³ Google Street View, Google LLC.

Porozumění virtuální 3D mapě

Pro plnohodnotné získávání informací z virtuální 3D mapy uživatelem již nepostačují klasické ovládací prvky grafického uživatelského rozhraní (GUI), které jsou známé z digitálních 2D map a je třeba jejich nabídku a funkcionalitu rozšířit. Pomocí těchto ovládacích prvků (nástrojů) lze měnit obsah a rozsah dat zobrazených v mapovém poli mapy (viz oddíl 2.1.1). Těmito ovládacími prvky jsou obecně:

- Lišta nástrojů – nástroje pro přiblížení/oddálení pohledu (změnu měřítka), posun mapy, zobrazení celého rozsahu mapy, získání informace o prvku, pro výběr prvků, měření veličin (délka, plocha), zobrazení předešlých/následujících či předem definovaných pohledů na mapu a další;
- Navigační kříž – pro posun na mapě a změnu měřítka (ve 2D), resp. pro změnu pohledu na virtuální 3D scénu (ve 3D);
- Záložky – zobrazující načtené datové vrstvy, výsledky vyhledávání, informace o prvcích, obecné informace, možnosti tisku a podobně.

Rozšíření nástrojů, funkcionality a možností GUI pro virtuální 3D mapy

Díky zobrazení objektů ve virtuální 3D mapě, které odpovídá jejich skutečným dimenzím a proporcím je reprezentace geografických dat sice pro člověka přirozenější. Ale na druhé straně se uživatel může ve virtuální 3D scéně obtížněji orientovat, dostat se pohledem kamery mimo vymezený prostor či naopak až příliš blízko zobrazeným objektům, může ztratit pojem o tom, kde se ve scéně nachází a podobně. Aby k takovým situacím nedocházelo, je vhodné využít techniky, které pomáhají uživateli s orientací a navigováním se ve 3D scéně. S těmito technikami se lze setkat v prostředí 3D CAD²⁴ softwarů, které se 3D scénou přirozeně pracují.

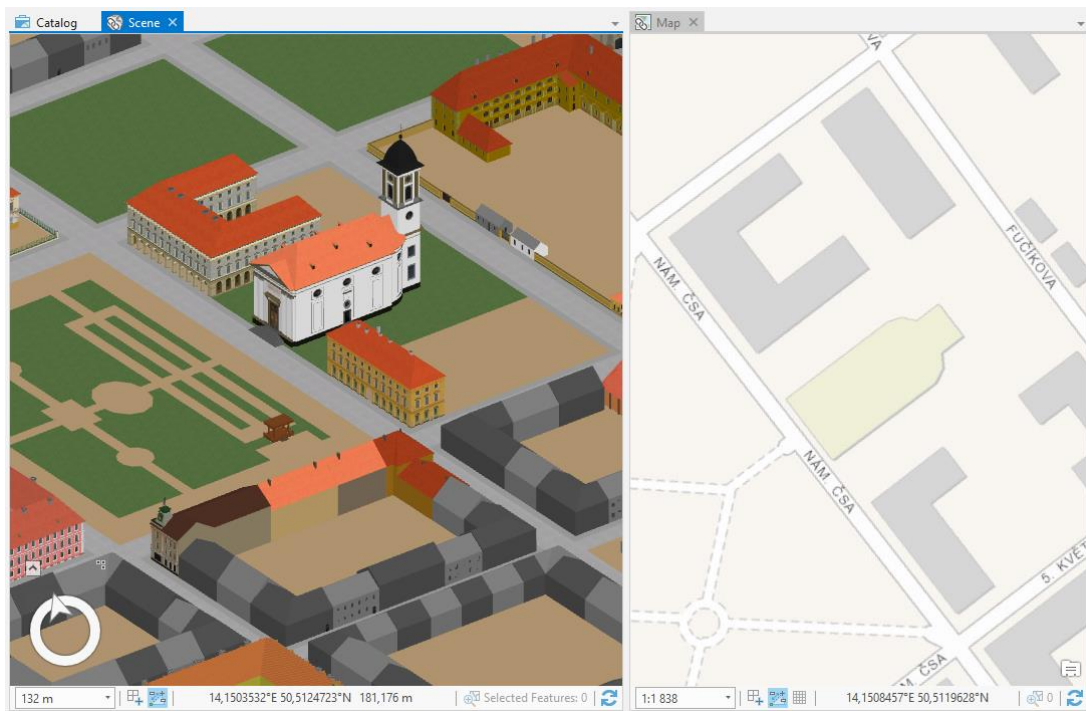
Mezi techniky usnadňující orientaci uživatele ve virtuální 3D mapě patří například:

- Omezení povolené polohy kamery – maximální a minimální hranice přiblížení pohledu kamery k objektu;
- Ovládací prvky s předdefinovanými polohami kamery – předdefinované pohledy na celou scénu či na její konkrétní část (viz dále), přepínání mezi 2D a 3D pohledem na zobrazenou situaci, návrat na předchozí/následující pohled realizovaný uživatelem při prohlížení objektů ve scéně.

²⁴ 3D Computer Aided Design

Vzhledem k limitům perspektivního zobrazení ve virtuální 3D scéně (zakrývání oblastí, zkrácení vzdáleností a rozměrů) je pro plné porozumění zobrazované skutečnosti vhodné doplnit 3D scénou o možnost zobrazit objekty na základě předdefinovaných pohledů v rámci virtuální 3D scény. Tyto pohledy mohou být různého druhu:

- Několik pohledů zobrazující celou scénu nebo její část (označovány jako „multiple views“), viz např. Terribilini (2001). Tyto pohledy je možné rozdělit na statické (pohled na 3D scénou shora, z boku, z povrchu, atd.) a dynamické (z pohledu pohybujícího se objektu ve scéně), viz Kraak (2002) či Góralski (2012);
- Různé pohledy lze díky pokročilé funkcionalitě některých technických řešení pro zobrazení virtuálních 3D map (viz podkapitola 2.4 či 3.3) i vzájemně propojit na základě pozice pozorovatele (označovány jako „linking views“). Takto propojené pohledy vzájemně reagují na změnu pozice v jednom z vybraných pohledů a tím umožňují lepší porozumění mapě, např. viz Pasewaldt et al. (2012). Jak uvádí Góralski (2012), aby nedocházelo k opačnému jevu, tedy ke snížení porozumění mapy přes propojené pohledy, je vhodné, aby propojené pohledy byly definovány z různých nepodobných pozic kamery. K tomu je vhodné připojit i přehledovou 2D mapu. Ukázka propojených pohledů je na obrázku 2-6 níže (propojená virtuální 3D scéna a topografický mapový 2D podklad zobrazené v platformě ArcGIS Pro 2.1 fy Esri) nebo např. v Herman (2013b) na obrázku 22;
- Kromě definování určitých pohledů na virtuální 3D scénou lze ve speciálních případech využít také horizontální či vertikální, lokální či globální řezy, umožňující získání dalších doplňujících informací z mapy, např. viz Shepherd (2008).



Obrázek 2-6 Propojení virtuální 3D scény a digitální topografické 2D mapy.

Další vylepšení čitelnosti mapy z pohledu uživatele spočívá v poskytnutí informace o pozici a směru pohledu kamery. Informace o poloze kamery může být zobrazena jak v souřadnicích zvoleného geodetického souřadnicového systému, v jehož rámci jsou modely v mapě umístěny, nebo v hodnotách místního souřadnicového systému virtuální 3D scény. Informace o směru pohledu kamery (v podobě naklonění/pootočení/směrování neboli „tilt/roll/heading“), spolu s výškou pohledu nad terénem či jinak zvolenou nulovou hladinou také mohou přispět k usnadnění orientace a navigace uživatele ve virtuální 3D scéně.

Velice vhodným doplněním výše uvedených informací je i poskytnutí informace o poloze kurzoru myši (či její analogie). Zde platí to samé, co je výše uvedeno ohledně použití souřadnicových systémů. Díky definovaným souřadnicovým systémům pro objekty zobrazené ve virtuální 3D mapě lze použít nástroje pro měření ploch a délek, které mohou být pro uživatele užitečné. Ukázka zobrazení souřadnic kurzoru v souřadnicovém systému včetně výšky spolu s informací o výšce pohledu nad nulovou hladinou zobrazeného modelu je zachyceno na obrázku 2-6. Definice výše zmíněných souřadnicových systémů dle VÚGTK (2017) jsou následující:

- Geodetický souřadnicový systém – „souřadnicový systém, v němž je poloha definována geodetickou šířkou, geodetickou délkou a (v trojrozměrném případě) elipsoidickou výškou; např. Světový geodetický referenční systém 1984 (WGS84) nebo Evropský terestrický referenční systém (ETRS)“;
- Místní souřadnicový systém – „souřadnicový systém, jehož osy, orientace a počátek jsou voleny tak, aby vyhovoval pro zaměření území menšího rozsahu a místního významu“.

S definovaným souřadnicovým systémem souvisí také možnost zobrazit další prvek, který pomůže čtenáři v orientaci ve virtuální 3D mapě. Jde o objekt, který je orientovaný k předem danému referenčnímu bodu. Jedná se o tzv. směrovku neboli směrovou růžici. Směrovka v rámci geodetického souřadnicového systému ukazuje obvykle k severu. V případě virtuálních 3D map lze směrovku chápat jako trojrozměrně se chovající prvek (s náklonem ve všech třech osách) zobrazující směr k referenčnímu bodu s přihlédnutím k poloze a pohledu kamery ve virtuální 3D scéně. Vhodné je i doplnění možnosti návratu na počáteční (referenční) pohled na scénu při jejím prvotním zobrazení. Tato funkcionality je přínosná v případě, kdy se uživatel pohledem kamery dostane do míst, kde není schopen se zorientovat.

Dalším prvkem pomáhajícím uživateli mapy v ní číst je bezpochyby tzv. legenda mapy, jinými slovy vysvětlivky k mapě. Ta je dle VÚGTK (2017) definována jako „seznam mapových značek, popřípadě další vysvětlivky sloužící k používání mapy, uvedené v přehledné úpravě obvykle na okraji mapy“. V rámci digitálních 2D map je možné legendu najít buď jako samostatně se vyskytující mapový prvek, nebo jako součást záložek (viz výše), kdy u každé zobrazené vrstvy je uvedeno její kartografické vyjádření. Je třeba zdůraznit, že legenda pro klasické digitální dvourozměrné mapy pracuje právě s mapovými značkami, tj. bodovými, liniovými či plošnými dle povahy zobrazovaných dat.

Pro virtuální 3D mapy lze legendu použít nejen pro výše uvedené značky, resp. jejich ekvivalentní vyobrazení (jak je uvedeno v předchozích oddílech této podkapitoly), ale také např. i pro bodově (či jinak) lokalizované 3D symboly, které se ve virtuální 3D scéně opakují. Ve standardu CityGML (viz kapitola 3) je takový 3D symbol nazýván prototypem, z pohledu 3D modelování se jedná o tzv. komponentu (toto označení se používá např. v 3D CAD softwaru SketchUp²⁵). Technologie X3DOM použitá pro praktické experimenty v této práci, která je více popsána v podkapitole 5.3, používá definici uzlů ve stromové struktuře XML a jejich opakovaným použitím v rámci vizualizované 3D scény (pomocí atributů DEF a USE) je zobrazuje, více viz Herman (2013b). Typicky jsou takovými opakujícími se prvky například solitérní stromy, viz oddíl 3.2.3 či obrázek 2-7 dále (převzat z internetové stránky www.kgm.zcu.cz/3dgis). Jinými slovy jde o taková vyjádření objektů, která jsou symbolická, v tom smyslu, že zobrazují obecnou reprezentaci daného objektu, nikoliv jeho konkrétní podobu, viz např. oddíl 2.2.2 či podkapitola 3.2. Plošně lokalizované prvky, typicky v případě budov, jsou jejich plošná vyjádření geometricky i vzhledově rozlišná a díky tomuto se pro tyto prvky v takto zvolené podobě nepoužívá výše uvedená technika opakování.

²⁵ Více viz <https://www.sketchup.com/>



Obrázek 2-7 Ukázka opakování bodově lokalizovaných 3D symbolů.

Obecnější zásady pro uživatelská rozhraní předkládají Ware & Plumlee (2005), kteří definují zásady uživatelských rozhraní pro obecné 3D geovizualizace následovně (převzato a upraveno dle Herman (2013b)):

- Ačkoliv se jedná o 3D geovizualizaci, většina prostorové informace by měla být uložena v rovině definované osami X a Y. Třetí dimenze Z by měla být využívána šetrně;
- Navigační a ovládací prostředky by měly být umístěny v zorném poli a nikdy by se neměly skrývat, aby se minimalizovala kognitivní náročnost navigace. Pozn.: Současný trend je však opačný, kdy se tyto prostředky minimalizují či skrývají, aby nebyl rušen pohled na zobrazená data, viz příklady na obrázcích v podkapitolách 2.4 a 3.3;
- Rychlejší technika navigace je dána dobou mezi kritickými vizuálními srovnáními. Čím rychlejší je přechod, tím menší pravděpodobnost, že budou zapomenuty informace uložené ve vizuální paměti uživatele. Pro rychlou navigaci je přibližování/oddalování („zoom“) vhodnější než létání, a to také z toho důvodu, že směr pohledu a směr pohybu ve virtuální 3D scéně je vzájemně propojený;
- Speciální okna nebo pohledy je vhodné používat, kdykoli je třeba srovnávat složitější objekty či vzory;
- Přehledové mapy v 3D GIS umožňují uživatelům získat znalosti o skutečném rozložení a vzdálenostech mezi objekty. To naznačuje, že kombinace přehledových, konkrétněji zaměřených pohledů, bude užitečná, pokud mohou být vzájemně snadno propojovány.

Kubíček et al. (2016) uvádí povinné a volitelné funkční požadavky nástrojů pro 3D geovizualizace, konkrétně pro jejich webové varianty, které jsou dostupné převážně pomocí GUI.

- „Mezi povinné funkční požadavky jsou zařazeny funkce související s načítáním a zobrazováním různých typů 3D dat, konkrétně:
 - Načtení vlastního (podrobného) modelu terénu;
 - Načtení vlastních textur na modelu terénu (např. ortofotosnímek);
 - Načtení vlastních virtuálních 3D modelů (např. budov);
 - Načtení vlastních 3D znaků/symbolů (např. pro stromy);
 - Načtení vlastních plošných vektorových dat (povrchů);
 - Načtení vlastních liniových vektorových dat;
 - Načtení vlastních bodových vektorových dat;
 - Podpora dlaždic, LOD či jiných způsobů načítání rozsáhlých prostorových dat.
- Mezi volitelné funkční požadavky jsou řazeny následující funkce:
 - Interaktivní pohyb 3D scénou (pomocí myši);
 - Ovládání pomocí klávesnice;
 - Neinteraktivní (pomocí funkčních tlačítek – např. zobrazení celé scény);
 - Zobrazení nápovědy;
 - Zobrazení atributů vybraného prvku;
 - Zobrazení souřadnic;
 - Zobrazení severky (nebo jiného prvku pro podporu orientace ve 3D scéně);
 - Měření vzdálenosti;
 - Měření ploch.“

2.1.4 Zobrazovací techniky pro trojrozměrná data

Člověk se v okolním prostředí pohybuje a vnímá prostor díky přirozenému stereoskopickému vidění, které „vzniká při pozorování objektu nebo krajiny oběma očima současně, kdy vzdálenost mezi oběma středy zorniček (oční základna) způsobí, že oba obrazy, vzniklé na sítnici očí, se vlivem hloubkové členitosti scény liší a v mozku pozorovatele vytvoří prostorový vjem objektu nebo krajiny“, viz VÚGTK (2017). „Každá digitální mapa je zobrazena na určitém typu a formě displeje, pomocí kterého je předáván obraz do oka pozorovatele“, viz Angel (2006).

Kraak (1988) uvádí klasifikační systém trojrozměrných prezentačních technik používaných v kartografii, viz obrázek 2-8 (převzat z Kraak (1988)). V pravé části tohoto obrázku je vyznačeno šedou šrafovou, jakými technikami se Kraak ve své práci zabýval. Technika „images on 2D medium using graphic stimuli for 3D perception“ odpovídá pojetí virtuální 3D mapy, jak je navržena a chápána na konci podkapitoly 1.1.

three-dimensional presentation technique			state of display
realistic representations		*globe *relief model *tactual map	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); border: 1px solid black; padding: 2px;">p e r m a n e n t</div> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); border: 1px solid black; padding: 2px; background-color: #cccccc;">t e m p o r a r y</div> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); border: 1px solid black; padding: 2px;">v i r t u a l</div> </div>
suggestive representations	one image	*images on 2d medium using graphic stimuli for 3d perception *mental maps *movement parallax	
	two images	*optical stereo *anaglyph *polarization	
	more images	*holographics *lenses *vari-focal mirrors	

Obrázek 2-8 Klasifikační systém trojrozměrných prezentačních technik v kartografii dle Kraak (1988).

Vysvětlivky k obrázku 2-8 dle Kraak (1988):

Na základě stavu zobrazení viditelného obrazu („state of display“) v pravé části obrázku rozlišuje mezi permanentně zobrazeným obrazem („permanent“), dočasně zobrazeným obrazem („temporary“) a virtuálně zobrazeným obrazem („virtual“). V levé části obrázku rozlišuje mezi reprezentací realistickou („realistic“) a sugestivní („suggestive“). V prostřední části pak uvádí příklady trojrozměrných prezentačních technik („three-dimensional presentation technique“) ve spojení s výše uvedeným dělením a s počtem obrazů, které jsou v rámci dané prezentační techniky zapotřebí.

Přehled týkající se zobrazování trojrozměrných dat na základě počtu zobrazených obrazů uvádí Buchroithner et al. (2000). Zde uvádí následující dělení podle počtu zobrazených obrazů (v závorce jsou uvedeny jejich příklady):

- 1 obraz – statický snímek, sekvence snímků (video) + speciální případy s využitím paralaxy viz chromostereoskopie = vnímání hloubky na základě červené a zelené barvy, Pulfrichův efekt = použití tmavého a průhledného filtru pro vnímání hloubky;
- 2 obrazy – stereosnímky využívající paralaxu, tj. posunu mezi obrazy (stereoskopie, anaglyf, HMD)
- Více jak 2 obrazy – multi-stereoskopie (lentikulární tisk, lentikulární čočka)
- Kontinuální počet obrazů²⁶ – holografie, zobrazování objemu (hologram, světlem vytvářený 3D obraz pomocí rotující spirály či displeje).

Přehled týkající se zobrazování trojrozměrných dat na základě počtu zobrazovacích médií (neboli hardwarových prostředků) uvádí Herman (2013b). Zobrazovacím médiem se rozumí (hardwarové) zařízení či obecně plocha, na které se obraz vizualizuje nebo je na něm zobrazen, viz příklady níže. Zobrazovat trojrozměrná data můžeme v principu dvěma způsoby:

- Pomocí jednoho zobrazovacího média (např. monitor, hologram, anaglyf);
- Pomocí více zobrazovacích médií (stereoskopické brýle, 3D monitor, technologie CAVE – Cave Automatic Virtual Environment, zařízení HMD – Head Mounted Display a další).

Další rozdělení zobrazovacích technik může být provedeno na základě typu zobrazovacího média, resp. na základě vzniklého obrazu. Lze rozlišit dvě základní skupiny a to obraz analogový a obraz digitální. Analogové obrazy mají v dnešní době minoritní zastoupení v kartografické tvorbě. Digitálních zobrazovacích technik je dnes celá řada a získávají na popularitě díky rozvoji především v oblasti stále výkonnějšího hardwaru vhodného pro zobrazování objemných dat. Především jde o technologie pro simulaci či obohacení vnímané reality. Virtuální realita („Virtual reality“ – VR) je technologie umožňující uživateli interagovat se simulovaným prostředím pomocí speciálního hardwaru²⁷. Zobrazení reality a digitálně doplněného obrazu do zobrazovací roviny, tzv. rozšířená realita („Augmented reality“ – AR)²⁸ je dalším inovativním příkladem zobrazovacích technik.

Jak je uvedeno v kapitole 1.1, tato práce se zabývá virtuálními mapami typu I dle Moellering (2007), konkrétně mapami zobrazenými na monitoru počítače. Tomuto typu zobrazení map je podřízena i filosofie tvorby virtuální tvorby 3D mapy, která je uvedena v další podkapitole.

²⁶ Označovány v Buchroithner et al. (2000) jako 3D zobrazovací techniky

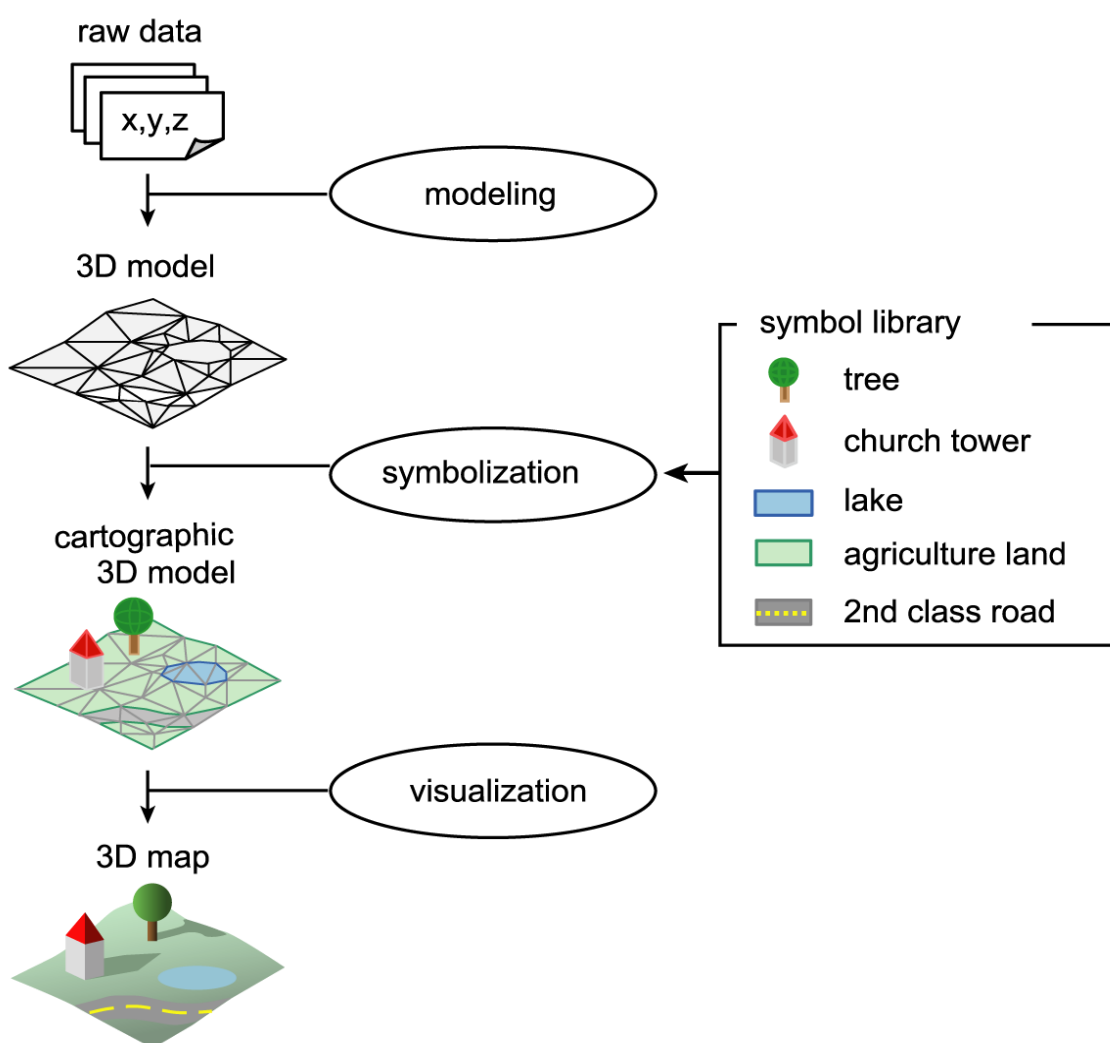
²⁷ Viz https://cs.wikipedia.org/wiki/Virtu%C3%A1ln%C3%AD_realita

²⁸ Viz https://cs.wikipedia.org/wiki/Roz%C5%A1%C3%AD%C5%99en%C3%A1_realita

2.2 Tvorba virtuální 3D mapy

Tato podkapitola se zaměřuje na návrh a popis způsobu tvorby virtuální 3D mapy. Nejdříve uvádí diagram ukazující přehledně procesy, které se na tvorbě virtuální 3D mapy podílí. Následuje řešerše používaných přístupů ke tvorbě virtuálních 3D map. V jednotlivých oddílech jsou následně rozebrány jednotlivé kroky procesu tvorby těchto map, konkrétně modelování, tvorba mapové symboliky a vizualizace, přičemž nejobsáhleji je na základě tématu této práce řešena mapová symbolika.

Konceptem virtuální 3D mapy a přístupy k její tvorbě se zabývala již řada autorů, viz řešerše na následujících stránkách. Přehledně a jednoduše popsal procesy pro vznik virtuální 3D mapy Häberling et al. (2008). Jejich vyobrazení je na obrázku 2-9 níže (převzat z Häberling et al. (2008)).



Obrázek 2-9 Diagram procesů podílejících se na vytvoření virtuální 3D mapy dle Häberling et al. (2008).

Výklad pojmů vyskytujících se na obrázku 2-9:

- „Raw data“²⁹ – zdrojová či podkladová data, označovaná též jako nezpracovaná nebo surová data;
- „Modeling“ – proces 3D modelování;
- „Symbolization“ – proces tvorby kartografického vyjádření, definování symboliky, tj. vyjádření obsahu mapy za pomoci různých symbolů;
- „Visualization“ – proces vizualizace na zobrazovacím médiu;
- „3D map“ – 3D mapa, která je však chápána ve smyslu pojmu „virtuální 3D mapa“, jak je navržena v podkapitole 1.1.

Kraak (1988) uvádí ve své práci pět kroků tvorby 3D mapy:

- Sběr dat („data collection“);
- Zpracování dat („data processing“);
- Kontrolní zobrazení mapy („pre-display of a map“);
- Zpracování mapy na základě účelu a zamýšlenému čtenáři („manipulation of a map“);
- Finální vizualizace („final visualization“).

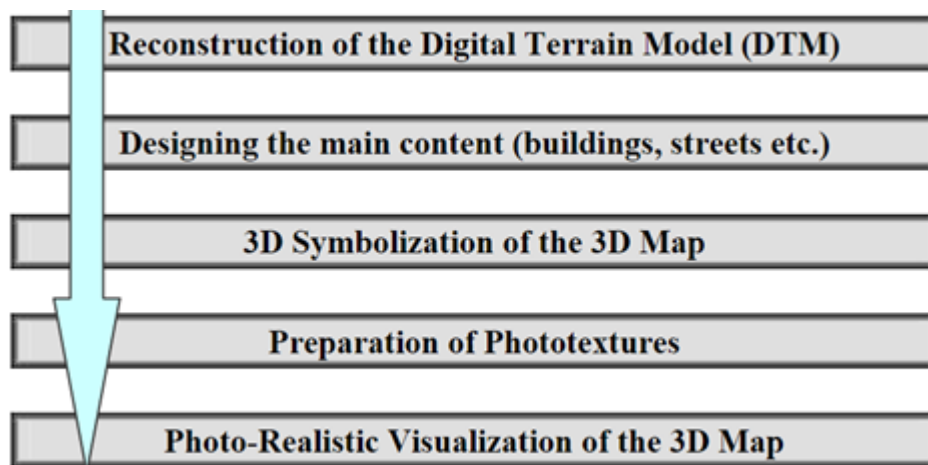
Häberling (2002, 2005) či Häberling et al. (2008) definoval aspekty jednotlivých částí procesu tvorby virtuální 3D mapy tak, jak je uvedeno na obrázku 2-10 (převzat z Häberling et al. (2008)).

Design Steps	Design Aspects	Design Variables
Modeling	Models of map objects	Model geometry, semantic attributes and position
Symbolization	Graphic appearance	Shape, size, color
	Textures	Pattern, pattern repetition rate and orientation
	Animations	Size and texture alteration
Visualization	Perspective	Parallel and perspective projection
	Camera Settings	Viewing inclination

Obrázek 2-10 Přehled aspektů modelování, symbolizace a vizualizace trojrozměrných dat dle Häberling et al. (2008).

Obdobné kroky definovala i Bandrova (2005). Jak je uvedeno na obrázku 2-11 dále (převzat z Bandrova (2005)), na kterém je vynechána část o pořízení zdrojových dat. A tak první dva kroky uvedené na obrázku 2-11 odpovídají dle obrázku 2-8 části modelování, druhé dva kroky části symbolizace a poslední krok na obrázku 2-11 je zaměřen na vizualizační část.

²⁹ Viz http://www.vugtk.cz/slovník/termin.php?jazykova_verze=&tid=1172&l=raw-data.



Obrázek 2-11 Ukázka z postupu tvorby 3D mapy dle Bandrova (2005).

Pro svoji jednoduchost a jednoznačnost byl diagram uvedený na obrázku 2-9, resp. na něm zobrazený přístup k rozdělení procesu tvorby virtuální 3D mapy navržený v Häberling et al. (2008), zvolen jako ten, na jehož základě je tento proces dále rozebrán a popsán.

Na obrázku 2-9 je vyobrazena tvorba virtuální 3D mapy sestávající se ze čtyř fází:

1. Fáze pořízení zdrojových dat;
2. Fáze tvorby virtuálního 3D modelu;
3. Fáze určující symboliku vytvořeného geometrického modelu;
4. Fáze vizualizace kartograficky vyjádřeného virtuálního 3D modelu za vzniku virtuální 3D mapy.

Co se týče první fáze, tj. pořízení zdrojových dat, ta lze pořídit různorodými metodami geodézie, fotogrammetrie či laserového skenování (konkrétní způsoby pořizování zdrojových dat pomocí geodetických metod jsou uvedeny v podkapitole 3.2), ale i např. zpracováním architektonických či jiných plánů. Více informací o zmíněných metodách lze najít např. v Döllner et al. (2006), Jedlička et al. (2012), Hájek et al. (2013), Jedlička & Hájek (2014), Hájek et al. (2015) či Herman (2013b).

V následujících oddílech této podkapitoly jsou detailněji rozebrány tři následující fáze procesu tvorby virtuální 3D mapy uvedené v Häberling (2008), tedy modelování, tvorba mapové symboliky a vizualizace. Jak je z následujících oddílů jasně patrné, jednotlivé fáze procesu jsou neoddělitelné a vzájemně se zásadně ovlivňují.

2.2.1 Modelování

Jedná se o proces vedoucí k vytvoření geometrické podoby virtuálního 3D modelu. Tento proces je ovlivněn především zamýšleným způsobem využití vytvořeného modelu, dostupností a přesností zdrojových dat pro jeho tvorbu a otázkou peněz a času. Vzhledem k tomu, že jsou modelovány objekty reálného světa, je vhodné vytvářet tato modely v takové podobě, která co nejvíce odpovídá jejich skutečnému vzhledu. To souvisí s mírou detailu, se kterou jsou modely nejen vytvářeny, ale i symbolizovány a následně vizualizovány (viz další oddíly).

Tvorba takovýchto modelů je také velmi ovlivněna technologií, která je použita pro jejich tvorbu, pro návrh kartografického vyjádření vytvořených modelů i pro jejich následnou vizualizaci. S tím souvisí i záležitost velikosti modelu, kdy, je-li geometrie modelovaných reálných objektů obvykle velmi složitá, což následně rapidně ovlivňuje i velikost výsledného virtuálního 3D modelu. Velikost geometrického modelu (ve smyslu jeho velikosti při uložení, resp. při jeho načítání ve virtuální 3D mapě) následně zásadně ovlivňuje proces vizualizace virtuální 3D mapy. Z tohoto důvodu je dobré v tomto kroku modelování minimalizovat počet polygonů tvořící geometrickou podobu virtuálního 3D modelu, i když existují vizualizační techniky pro zobrazení velkého objemu dat (např. pokročilé vizualizační techniky počítačové grafiky). Nicméně běžně dostupné nástroje pro vizualizaci geografických dat nemusí být vždy dostatečně schopné taková data v reálném čase vizualizovat. Pro tyto případy se používají techniky pro zlepšení reakční odezvy při vizualizaci virtuálního 3D modelu, viz oddíl 2.2.3 či Hájek et al. (2015). Více tento proces tvorby geometrických 3D modelů není v této práci popisován, neboť více informací o technikách tvorby virtuálních 3D modelů lze nalézt v souvislosti s popisem jejich tvorby v rámci různých 3D CAD softwarů, nebo jsou tyto techniky uvedeny v Jedlička et al. (2013), Oniga (2012), Lifewire (2017) a dalších.

Velikost zobrazovaných 3D dat ovlivňuje nejen jejich geometrická složitost a velikost, ale také způsob, jakým jsou tato data kartograficky vyjádřena, čímž se zabývá následující oddíl.

2.2.2 Tvorba mapové symboliky

Jedná se o proces určující grafický vzhled geometrické podoby virtuálního 3D modelu vytvořeného v předchozím kroku tvorby virtuální 3D mapy. Každý reálný objekt vyskytující se na světě je definován třemi rozměry. Některé z nich však mají z těchto tří rozměrů jeden či dva dominantní oproti zbývajícím. Tento fakt velice ovlivňuje volbu kartografických prostředků pro jejich vyjádření. Klasické kartografické vyjadřovací prostředky používají k vyjádření prvků nebo jevů bodová, liniová a plošná primitiva (viz podkapitola 1.3 a 1.4), pomocí kterých tvoří reprezentující znaky či symboly. Pro určení vlastností znaků se používají proměnné definované v Bertin (1967, 1983), Halik (2012), viz předchozí podkapitola. Ve 3D jsou k výše uvedeným primitivům přidány objekty, které jsou vyjádřené objemovou nebo povrchovou formou (ve smyslu objemové, resp. hraniční reprezentace objektu), reprezentující jejich skutečné trojdimenzionální proporce, viz Petrovič (2003) a podkapitola 3.2 této práce.

V této práci je v jejím dalším textu používán pojem „3D symbol“ namísto pojmu 3D znak, a to i přesto, že Pravda (2006) na straně 19 uvádí rozdíl chápání symbolu a znaku následovně:

- Symbol – je chápán jako symbol něčeho
- Znak – chápán tak, že označuje, zastupuje, reprezentuje konkrétní pojem či jev, ale nesymbolizuje.

V zahraniční literatuře se totiž používá pojem „3D symbol“, nikoliv „3D sign“, viz Häberling (2008), Petrovič (2003), Bandrova (2005), Dodge et al. (2008) či Pegg (2011). Slocum et al. (2010) v kapitole 5.3 uvádí rozlišení symbolu a znaku a to takové, že symbol je tvořen jednotlivými znaky/značkami/dílkami („distinguish between the overall symbol and the marks making up the symbol“).

V tomto kontextu je pojem 3D symbol dále používán. Není totiž nutné vždy zájmové 3D objekty zastupovat znaky, když jsou vyjádřeny v jejich přirozených proporcích, pak lze tedy hovořit o 3D symbolech.

Jak uvádí Pegg (2011), pro zobrazení virtuálních 3D modelů není překážkou orientace kamery ve scéně, pomocí které je virtuální 3D model zkoumán (záležitosti orientace kamery patří do kroku vizualizace, viz oddíl 2.2.3), protože ta bývá obvykle řízena uživatelem dle jeho libosti. Klíčovou záležitostí je schopnost rozpoznávání kartografického vyjádření virtuálních 3D modelů uživatelem, která by měla být více přirozená a to díky zobrazování objektů v jejich věrné podobě. Záležitostmi rozpoznávání kartografického vyjádření virtuálních 3D modelů spolu s řešením různorodých úkolů nad 2D/3D mapou se zabývali například Popelka & Brychtová (2013), Juřík et al. (2017), Herman & Stachoň (2016), Issmael & Menezes (2011), Schmidt & Delazari (2010) či Jobst & Germanchis (2007). Faktory ovlivňující správné rozpoznávání vytvořených

kartografických 3D symbolů jsou např. úroveň abstrakce zvoleného vyjádření objektu, vnímání hloubky obrazu či měnící se úroveň přiblížení k modelu, které se však týkají již samotné vizualizace modelu, více viz Pasewaldt et al. (2012) či Schobesberger & Patterson (2008), kteří se zabývali i efektivností 3D map a jejich přednostmi a slabinami v předávání informací uživateli.

Mapová symbolika je v této práci řešena s důrazem na kvalitativní hledisko kartografických vyjadřovacích prostředků (viz podkapitola 1.3). Ty ve vztahu s virtuální 3D mapou uvádí, že vyobrazené znaky (symboly) prvků rozlišují různé typy (druhy) fyzicko-geografických a socioekonomických prvků. Kvantitativní hledisko věci (vyjadřující absolutní či relativní hodnotu jevu) v souvislosti s trojrozměrnými tematickými metodami pro kvantitativní data není v této práci podrobněji rozebíráno, protože není pro virtuální 3D mapy tolik zásadní (tato práce se zaměřuje na kartografické vyjádření geografické skutečnosti na virtuálních 3D mapách, nikoliv na zobrazení statistických či jiných abstraktních veličin nebo hodnot). Trojrozměrnými tematickými metodami pro kvantitativní data se zabývají například Zsoldi (2011), Popelka & Doležalová (2016) nebo Popelka & Brychtová (2013). Je však třeba na tomto místě dodat, že pomocí použití vhodného symbolu lze kvantitativní hodnoty spojené s objekty zobrazenými ve virtuální 3D mapě (např. výšku budovy) nativně geometricky či kartograficky vyjádřit. Dle počtu oken budovy (ve svislém směru) lze určit počet pater budovy, nebo lze výšku budovy odměřit přímo z geometrie virtuálního 3D modelu apod.

Dalším hlediskem, které je v této práci obšírněji řešeno, je hledisko topologické (viz podkapitola 1.3), které dělí objekty a jevy zobrazené v mapě podle jejich půdorysné povahy na bodové, liniové a plošné a zobrazují je geometricky, schematicky nebo anamorfovaně. V souvislosti s virtuálními 3D mapami je v popise tohoto hlediska důležité právě sousloví „půdorysné povahy“, které pro trojdimenzionální objekty získává odlišnou konotaci. V tomto případě mají objekty modelované plně ve 3D vždy plošné půdorysné určení (i když je virtuální 3D model prvku vztažen k bodu), hovoříme tedy o objemových znacích, viz předchozí text tohoto oddílu, podkapitola 2.3 či Petrovič (2003) kapitola 4. V potaz je bráno zobrazení objektů a jevů geometricky či schematicky, nikoliv anamorfovaně (znamenající přetvoření polohopisu, což není pro tyto mapy žádoucí). Věrohodnost virtuálního 3D modelu a jeho kartografického vyjádření je zde zásadním faktorem, které je nutné dodržet.

Kartografické vyjádření virtuálních 3D modelů by mělo být řešeno v souvislosti s následujícími atributy (odvozeno z Cartwright (2007), Dodge (2008)):

- Jasností/čitelností 3D mapy jako celku;
- Jasností/čitelností na mapě zobrazených symbolů;
- Mírou rozlišitelnosti jednotlivých symbolů;
- Grafickým zatížením mapy;
- Vztahy mezi symboly;
- Subjektivním/objektivním vyjádřením skutečnosti na mapě tvůrcem mapy.

Bandrova (2001), resp. Bandrova (2005) uvádí čtyři kroky, které by měly být zohledněny při tvorbě kartografického vyjádření 3D symbolu, který reprezentuje reálný objekt, a to kroky následující:

- Symboly by měly být co nejvíce podobné reálným objektům;
- Pro tvorbu symbolu by mělo být použito co nejmenší počet polygonů;
- Symboly by měly být vytvořeny ve skutečných dimenzích reprezentovaného objektu;
- Návrh a vzhled symbolů musí odpovídat požadavkům uživatele (tj. důraz na způsob využití vytvořeného modelu).

Boyanova & Bandrova (2014) přidávají další tři kroky:

- Symboly by měly být co nejjednodušší;
- Je nutno se vypořádat s charakterizací malých objektů;
- Je nutno brát v potaz kvantitativní rozdíly symbolů.

Určují-li geometrická vyjádření tvar a velikost jednotlivých virtuálních 3D modelů, kartografická vyjádření určují jejich vzhled. Vztah mezi geometrickou reprezentací a kartografickým vyjádřením, viz předchozí text této podkapitoly, je zcela zásadní pro návrh a tvorbu 3D symbolů. Tato část textu se zabývá koncepty používanými pro kartografická vyjádření 3D symbolů. Tyto koncepty a jejich podrobnější popis lze nalézt například v Cartwright et al. (2006), Jedlička et al. (2013), Döllner (2008) či Dodge et al. (2008). Jsou definovány dva základní koncepty:

- Nefotorealistický (symbolický) koncept

Využívá výlučně prvky vektorové grafiky. K vyjádření vzhledu modelů používá barvy a geometrická primitiva.

- Fotorealistický koncept

Využívá výlučně prvky rastrové grafiky. K vyjádření vzhledu modelu používá fotorealistické textury aplikované na geometrickou kostru modelu, či je model vytvořen pouze za pomoci fotografií bez apriorního definování geometrické kostry objektu.

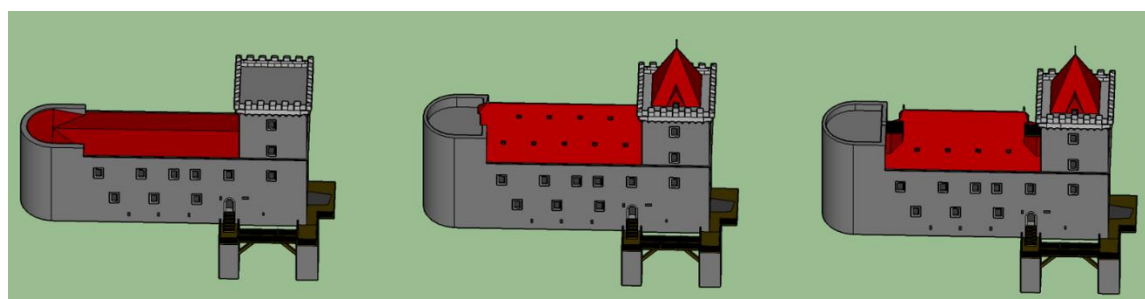
- Hybridní koncept

Ten kombinuje možnosti výše uvedených vyjádření. Tato forma vyjádření hledá rovnováhu mezi realističností modelu, počtem ploch, kterými je virtuální 3D model definován, jeho velikostí při uložení a velikostí v načítané virtuální 3D scéně.

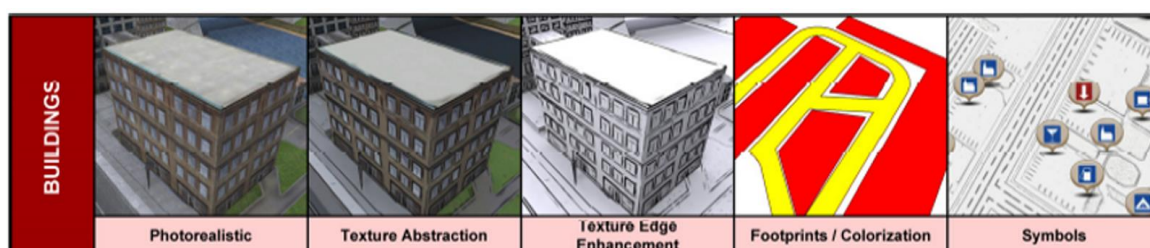
Petrovič (2003) uvádí, že symbolické 3D znaky jsou vhodnější pro reprezentaci antropogenních objektů (jako jsou budovy, památky nebo kostely, viz podkapitola 3.2) a že objekty přírodního původu (jako jsou stromy, keře nebo vegetace) je vhodnější prezentovat realistickými (fotorealistickými) znaky. Häberling (2005) uvádí, že bodové znaky (bodově lokalizované znaky) mohou být neproporčně zvětšeny oproti znakům liniovým a plošným, ale jejich vzhled (především však jejich barevný odstín) by neměl být příliš dominantní.

Příklady obou variant konceptů pro konkrétní virtuální 3D model objektu vytvořeného použitím jak geometrické kostry, tak varianty modelu složeného pouze z fotografií za použití fotogrammetrických metod jsou k dispozici např. v Jeřábková & Fiala (2016). Kartografickými technikami pro virtuální 3D modely se zabýval i Kubíček et al. (2016), který mimo jiné zkoumal návrhy trojrozměrného kartografického vyjádření prvků obsažených v Základní bázi geografických dat (ZABAGED®³⁰).

Konkrétní příklady použití výše uvedených konceptů jsou zobrazeny na obrázcích 2-12, 2-13 a 2-14 níže. Obrázek 2-12 zobrazuje čistě vektorovou podobu virtuálního 3D modelu (převzat z Hájek (2017)). Obrázek 2-13 ukazuje abstrakci modelu od 3D fotorealistické varianty (vlevo) až po symbolickou 2D reprezentaci budovy (vpravo), převzat z Pasewaldt et al. (2012). Obrázek 2-14 zachycuje různá kartografická vyjádření okna budovy. Vlevo je čistě vektorová (nefotorealistická) varianta, uprostřed je fotorealistická a vpravo je hybridní forma vyjádření používající jak fotorealistické textury samotného okna, tak i uměle vytvořené textury na ostění, na které by se namísto textury dala také aplikovat i samotná barva (obrázek převzat z Hájek et al. (2015)). Další příklady 3D symbolů jsou uvedeny např. v Herman (2013a, 2013b), Semmo et al. (2012) či v podkapitole 3.2.

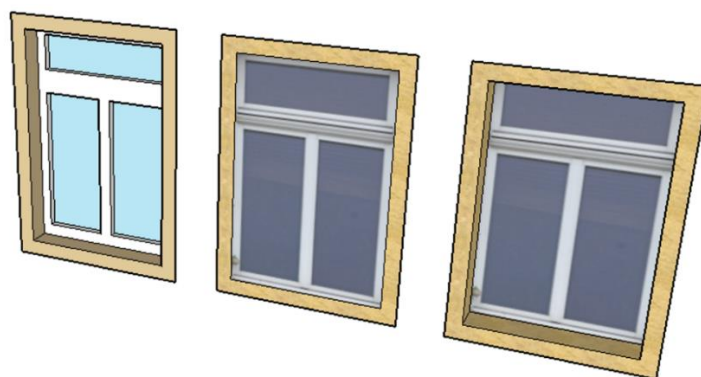


Obrázek 2-12 Ukázky vektorových podob virtuálních 3D modelů zobrazujících zastřešení hradu Radyně.



Obrázek 2-13 Možná kartografická vyjádření virtuálního 3D modelu od fotorealistického po symbolický dle Pasewaldt et al. (2012).

³⁰ Více viz http://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/ZABAGED_katalog/



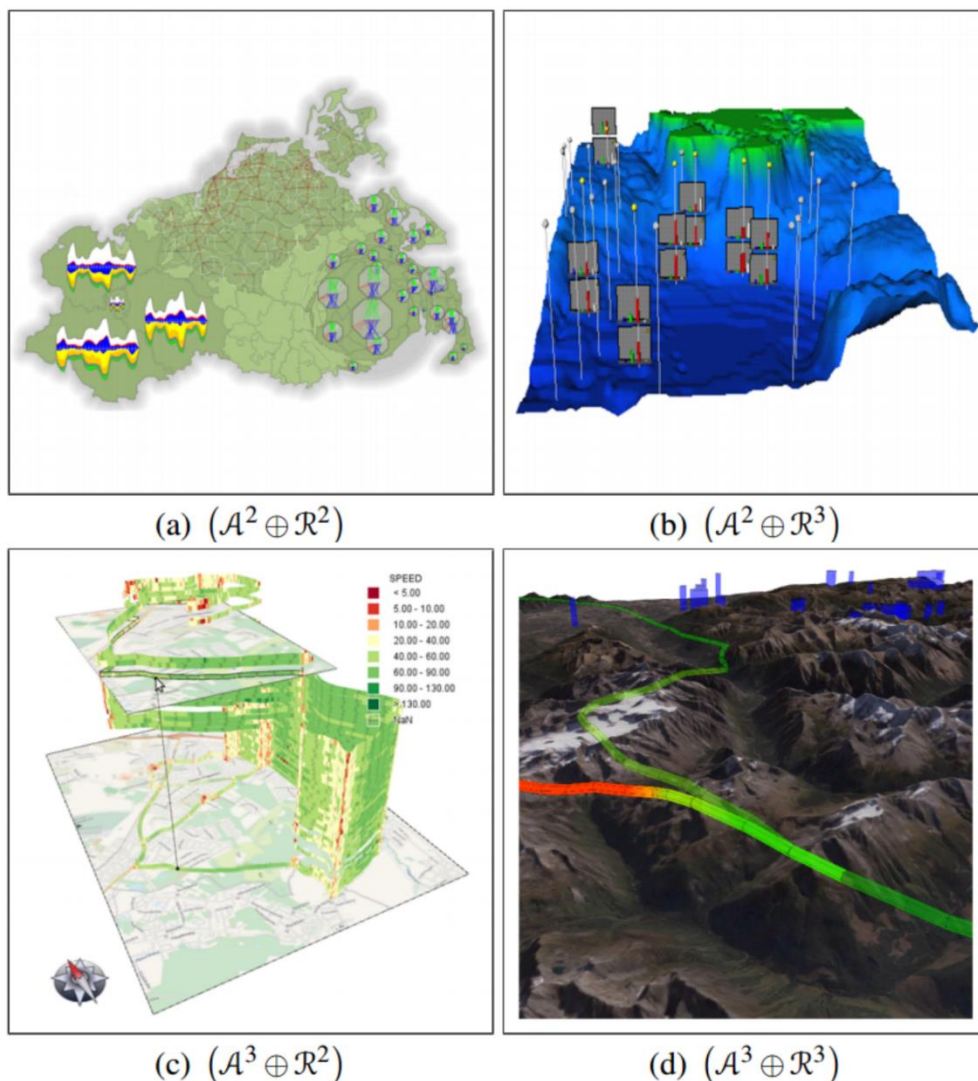
Obrázek 2-14 Možná kartografická vyjádření okna budovy od vektorového po hybridní.

2.2.3 Vizualizace

Jedná se o proces prezentace geometricky vytvořeného a kartograficky vyjádřeného virtuálního 3D modelu na zobrazovacím médiu. Vytvoření reálného obrazu počítačem (neboli proces renderování) je dle VÚGTK (2017) definováno jako „tvorba reálného obrazu na základě počítačového modelu objektu, charakteristik scény a okolí“. Z tohoto pohledu je v této části práce vizualizace vnímána. Je tedy rozuměno, že pomocí renderování je vizualizován kartograficky vyjádřený virtuální 3D model vzniklý v předchozím kroku tvorby virtuální 3D mapy.

Dübel et al. (2014) kategorizuje vizualizační techniky v kartografii z pohledu dimenzí atributů vizualizovaných grafických elementů (znaků či symbolů) a z pohledu dimenze referenčního prostoru, do kterého jsou grafické elementy vizualizovány. Definuje předpis ($A^i \oplus R^j$), kde A^i značí dimenzi i použitého grafického elementu, R^j značí dimenzi j referenčního prostoru, do kterého je grafický element vizualizován. Definovány jsou čtyři kategorie, podle kterých lze vizualizační techniky používané v kartografii rozčlenit. Jejich ukázka je na obrázku 2-15 dále (převzat z Dübel et al. (2014)) a jejich seznam je následující:

- ($A^2 \oplus R^2$) – 2D grafický element zobrazen ve 2D referenčním prostoru;
- ($A^2 \oplus R^3$) – 2D grafický element zobrazen ve 3D referenčním prostoru;
- ($A^3 \oplus R^2$) – 3D grafický element zobrazen ve 2D referenčním prostoru (podkladová mapa je dvoudimenzionální);
- ($A^3 \oplus R^3$) – 3D grafický element zobrazen ve 3D referenčním prostoru.



Obrázek 2-15 Příklady kategorizace vizualizačních technik na základě dimenze dat a referenčního prostoru dle Dübel et al. (2014).

Vizualizační techniky v kartografii bývají nazvané i jako geovizualizace. Geovizualizace je dle MacEachren & Kraak (2001), resp. v podání Hermana (2013b) definována jako „plánování a generování znázornění digitálních geografických dat realizované podle daných pravidel nebo algoritmů prostředky počítačové grafiky na displeji. Geovizualizace v tomto případě integruje vizualizaci vědeckých výpočtů, kartografii, analýzu obrazu, vizualizaci informací, explorační analýzu dat a GIS, což vše dohromady zahrnuje teorii, metody a nástroje pro vizuální průzkum, analýzu, syntézu a prezentaci geoprostorových dat“.

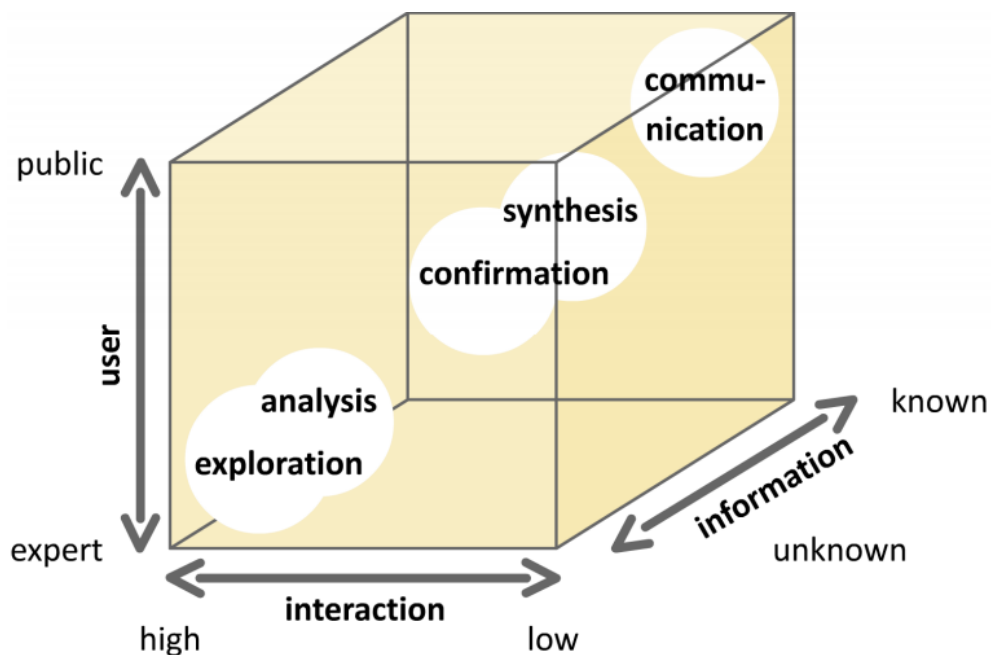
3D geovizualizace je dle Bleisch (2012) vnímána jako pojem pro široké spektrum trojrozměrných vizualizací reálného světa, jeho částí či prostorově lokalizovatelných jevů. Taková geovizualizace je převážně dynamická a umožňuje změnu zobrazení dat na zobrazovacím médiu (displeji) na základě vstupu od uživatele (interakce uživatele, interaktivní geovizualizace).

V geovizualizaci se dle Bleisch (2012) lze setkat s dvojitým, resp. trojitým přístupem k použití trojrozměrného virtuálního prostoru:

1. Pro zobrazení abstraktních informací a dat – převážně pro vědecké vizualizace;
2. Pro zobrazení objektů skutečného světa;
3. Kombinace výše uvedených přístupů, tj. kombinace zobrazení reálného světa a abstraktních informací – na tuto kategorii se tato práce zaměřuje.

Druhý a třetí výše uvedený bod lze označit jako 3D geovizualizace, protože první bod (zobrazení abstraktních informací a dat) je často realizován v lokálním (technickém) souřadnicovém systému³¹, tj. nejedná se o data referencovaná (vztahená) k Zemi. Druhá kategorie slouží především ke komunikaci, třetí pak i k dalším účelům.

Rozlišení účelů geovizualizace je na základě typu uživatele (odborník, laik), míry interaktivity (nízká, vysoká) a míry známé informace (známá, neznámá) zobrazeno v rámci tzv. MacEachrenovy krychle, která je vyobrazena na obrázku 2-16 níže (převzat z Bleisch (2012), resp. z MacEachren & Kraak (2001)).



Obrázek 2-16 MacEachrenova krychle účelů geovizualizací dle Bleisch (2012).

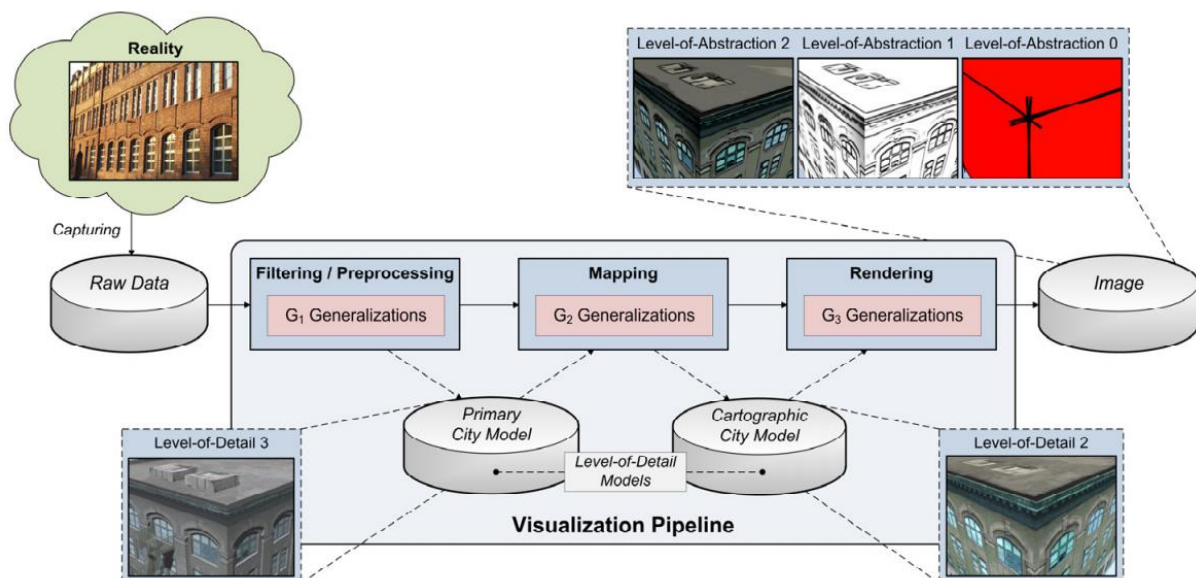
Juřík et al. (2017) či Herman & Stachoň (2016) používají pojem interaktivní 3D geovizualizace pro zdůraznění možnosti interakce uživatele s geovizualizací. Více o interaktivitě viz oddíl 2.1.3 této práce. Góralski (2012) ve své práci uvádí i rozbor vztahu mezi pojmy 3D geovizualizace a (3D) kartografie.

³¹ Definovaný počátkem a třemi osami, které nejsou definovány ve vztahu k zemskému povrchu. Používají se např. u softwarů typu CAD, či u výpočetních softwarů.

Je třeba dodat, že obecné 3D vizualizace nemusí zobrazovat jen prostorové (trojrozměrné) objekty, ale obecně lze pomocí třetího rozměru znázornit i čas či hodnotu jiných veličin, viz MacEachren & Kraak (2001). Jevy zobrazené v takových 3D vizualizacích mohou být spojitě, pseudospojitě či diskrétní. Druhý výše uvedený přístup dle Bleisch (2012) zahrnuje 3D zobrazení reálného světa buď reálným, nebo abstraktním způsobem. Trojrozměrné souřadnice se v těchto vizualizacích používají hlavně pro vyjádření skutečných rozměrů objektů.

Pro účely zlepšení reakční odezvy při geovizualizaci virtuálních 3D modelů (dle Hermana (2013b) se jedná o princip optimalizace 3D scény) se používají různé techniky. Obecně se jedná o dva typy technik:

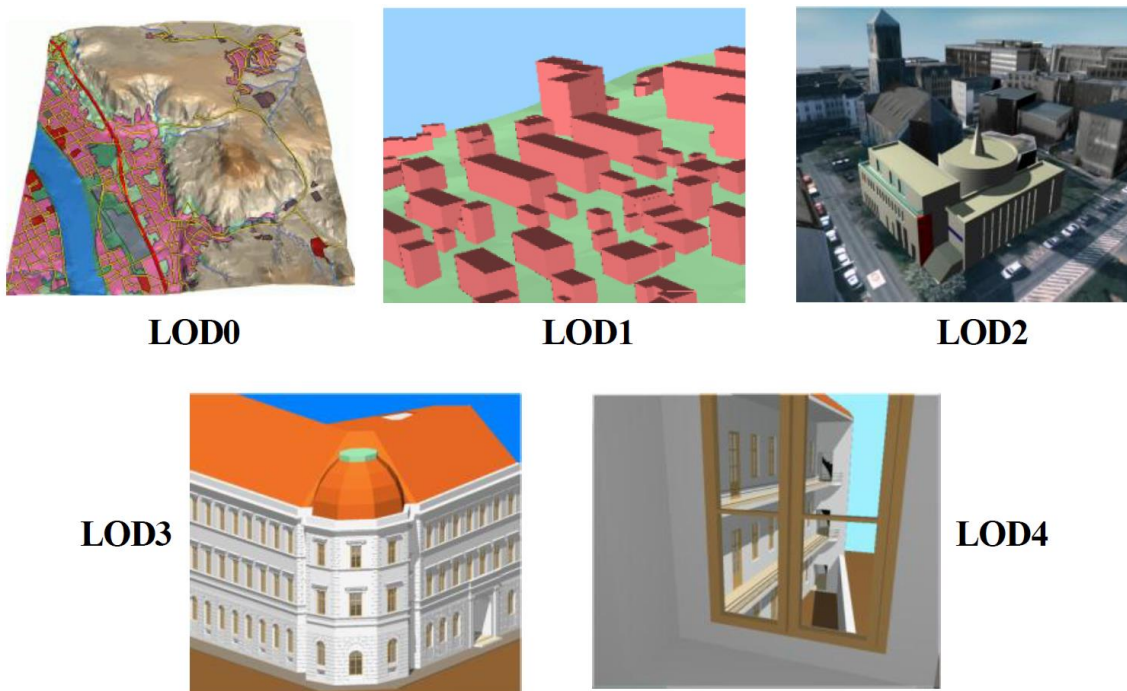
- Technika zjednodušení modelu přímo při jeho vizualizaci za použití principu úrovní abstrakce („Level of Abstraction“ – LOA) definovaný v Semmo et al. (2012). Zde je uvedeno, že LOA udává míru kartografické stylizace, tj. prostorovou a tematickou podobu (ve smyslu granularity, tj. podrobnosti) kartografického vyjádření virtuálního 3D modelu. Princip LOD (viz dále) se zabývá geometrickou abstrakcí, LOA ovlivňuje přímo vizuální abstrakci pomocí různých efektů použitých v rámci vykreslování (renderování) obrazu, a to i s ohledem na sémantická data³² obsažená v modelu. Tento přístup je v Semmo et al. (2012) nazvaný jako nefotorealistické vykreslování („Non-photorealistic rendering“). Ukázka postupu vizualizace při použití principu LOA je uvedena na obrázku 2-17 níže (převzat z Semmo et al. (2012)). Více informací o tomto principu lze najít v Semmo & Döllner (2014), Semmo et al. (2015), Semmo & Döllner (2015) či Herman (2013a);



Obrázek 2-17 Postup vizualizace za použití principu LOA dle Semmo et al. (2012).

³² Sémantická data jsou taková data, která nesou s sebou informaci o významu daného objektu či jeho části. Takovou sémantickou informaci lze využít ke strojovému zpracování informací.

- Technika nahrazování virtuálních 3D modelů na základě principu úrovně detailu ("Level of Detail" – LOD) definovaném v OGC (2012), tj. v rámci standardu CityGML. Princip LOD řeší nahrazování virtuálních 3D modelů především geometricky odlišnými modely na základě míry přiblížení pohledu uživatele k danému modelu. Obecně je definováno pět úrovní detailu a pro jednotlivá témata objektů (budovy, vegetace, komunikace apod.) jsou specifikovány geometrické a sémantické podoby daných virtuálních 3D modelů, a to pro každou z úrovní. Přehled objektů pro téma budov a jejich různých úrovní detailu je uveden na obrázku 2-18 níže (převzat z OGC (2012)). Více informací o tomto principu viz podkapitola 3.1, OGC (2012), Hájek et al. (2013) či Hájek et al. (2014).



Obrázek 2-18 Pět úrovní detailu (LOD) objektů definovaných ve standardu CityGML dle OGC (2012).

Výše uvedené techniky, které zlepšují reakční odezvy při geovizualizaci virtuálních 3D modelů, přímo souvisí také s minimalizací použitých polygonů definující tvar 3D symbolu (množství a míra detailů daného symbolu), viz oddíl 2.2.1, respektive s rychlostí načítání a manipulace s modelem při jeho vizualizaci. Výše uvedené principy LOD a LOA (tj. principy založené na změně modelu v závislosti na poloze pozorovatele) lze vnímat jako analogii pro termín měřítkově závislá mapa („scale-dependent map“), který se používá ve spojení s digitálními 2D mapami.

Konkrétní popis způsobů vizualizace geografických dat není v tomto textu dále uveden, a proto lze více informací o tomto konkrétním tématu najít ve výše uvedených zdrojích a pak také například ve Wood et al. (2005), Petrovič (2003), Häberling (2008), Herman & Stachoň (2016), Juřík et al. (2016) a dalších.

Proces vizualizace, díky zvolenému typu virtuálních map zobrazených na dvourozměrnou plochu, také souvisí s tzv. vodítky hloubky („depth cues“), V této souvislosti se jedná především o tzv. monokulární vodítka hloubky či o obrazová vodítka („pictorial cues“), u kterých je základ těchto vodítek obsažen v pozorovaném obraze (fotografii, na monitoru). To znamená, že jde o záležitosti týkající se již vizualizovaného obrazu. Mezi statická monokulární vodítka patří: lineární perspektiva, relativní/známá velikost a velikost promítnutého obrazu, zakrytí (interpozice), gradient textury, stínování, elevace, případně atmosférická perspektiva, je-li v obraze přítomna. Více o tomto tématu viz Dvorský & Šašinka (2015) či Herman (2013b).

Další části práce (konkrétně kapitoly 3 a 5) se zaměří na možnosti kartografického vyjádření objektů a jevů na virtuálních 3D mapách, nikoliv na samotný proces vizualizace (tj. renderování), pomocí kterého vzniká obraz virtuální 3D mapy, viz začátek tohoto oddílu.

2.3 Kategorizace prvků na virtuálních 3D mapách

Trojrozměrné virtuální modely zobrazené na virtuálních 3D mapách lze kategorizovat dle několika hledisek. Shiode (2001), resp. Herman (2013b) uvádí následující kategorizaci virtuálních 3D modelů v souvislosti s jejich využitím pro virtuální 3D mapy a to z pohledu:

- a) Způsobu vizualizace virtuálních 3D modelů;
- b) Úrovně podrobnosti virtuálních 3D modelů;
- c) Rozsahu modelu/virtuální 3D mapy;
- d) Způsobu pořizování dat pro tvorbu virtuálních 3D modelů;
- e) Funkcionality modelu/virtuální 3D mapy;
- f) Časového hlediska.

Ad a) Dle způsobu vizualizace virtuálních 3D modelů

Do této kategorie spadají: fotorealistická vizualizace, nefotorealistická vizualizace a jejich kombinace.

Jak je uvedeno v oddílu 2.2.2, toto hledisko je v rámci této práce začleněno v kroku tvorby mapové symboliky řešené v rámci postupu tvorby virtuální 3D mapy. Z pohledu této práce se na rozdíl od pohledu Shiode (2001) jedná o způsob kartografického vyjádření modelů, nikoliv o způsob jejich vizualizace. Více o těchto způsobech kartografického vyjádření viz oddíl 2.2.2 či podkapitola 3.2.

Ad b) Dle úrovně podrobnosti virtuálních 3D modelů

Virtuální 3D modely jsou rozlišovány na základě míry a množství jejich geometrických detailů, či analogicky na základě podrobnosti textur použitých pro jejich kartografické vyjádření.

Míra detailu (úroveň podrobnosti) může být chápána jako analogie k rozlišování map dle měřítka, viz např. Shiode (2001), Herman (2013b), oddíl 2.2.3 nebo podkapitola 3.1 této práce. Je třeba říci, že vyšší míra podrobnosti geometrického modelu 3D symbolu či vyšší podrobnost textur použitých u fotorealistického konceptu kartografického vyjádření zásadně ovlivňuje rychlost načtení obsahu a tím pádem i samotné virtuální 3D mapy a následnou rychlost pohybu ve scéně spolu s rychlostí manipulace s objekty uvnitř 3D scény (dotazování, analýzy apod., viz oddíl 2.1.3).

Shiode (2001) rozlišuje následující kategorie virtuálních 3D modelů dle úrovně jejich podrobnosti:

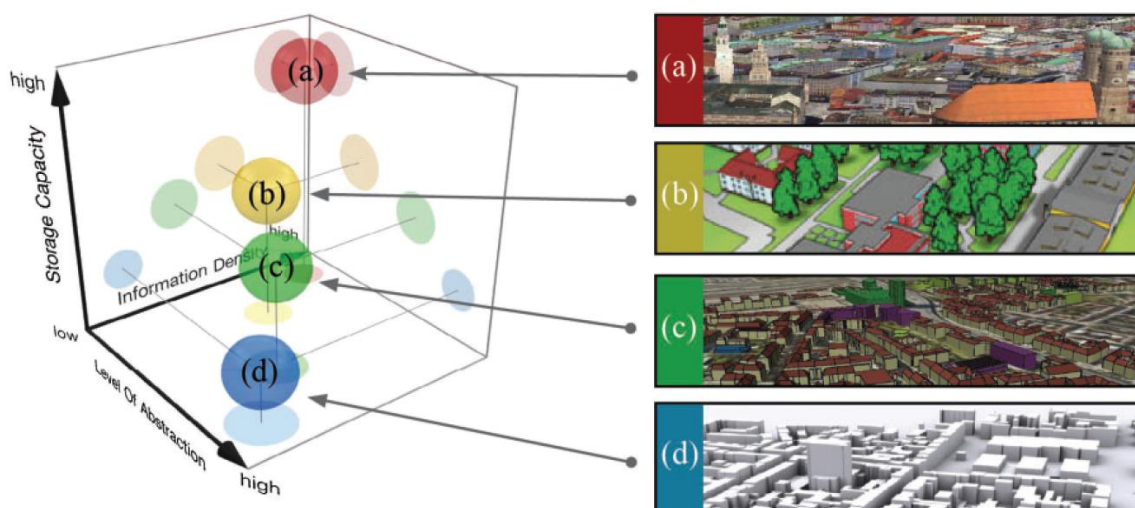
- Model založený na panoramatických snímcích pořízených staticky (tj. na diskrétních pozicích snímače) – umožňuje pouze vizualizaci urbanizovaného území v realistické scéně, neobsahuje sémantické informace (viz podkapitola 3.1);
- Blokované modely – modely vzniklé vytažením (extrudováním neboli „extrusion“) dvoudimenzionálních půdorysů (typicky pro prvky budov). Takovéto modely bez textur často slouží k analytickým účelům (viz Biljecki et al. (2015)). Při použití textury je obohacen model o jeho fotorealistickou podobu. Jde o modely LOD 1 definované ve standardu CityGML (viz obrázek 2-19 dále);
- Modely s diferencovanou strukturou střech a významnými prvky exteriéru – pro jejich tvorbu mohou být s úspěchem použity i výsledky automatického zpracování fotogrammetrických dat či dat získaných pomocí laserového skenování. Jedná se o modely LOD 2 definované ve standardu CityGML (viz obrázek 2-19 dále);
- Plně objemové 3D modely – někdy také označovány jako objemové CAD modely. Vznikají v drtivé většině manuálně na podkladě geodetického zaměření, či jiných detailních dat, tj. i s přispěním výše uvedených fotogrammetrických technik. Díky své komplexnosti a náročnosti nebývají využité pro modelování rozsáhlejších urbanizovaných území. Jedná se o modely LOD 3 definované ve standardu CityGML (viz obrázek 2-19 dále).

OGC (2012) uvádí rozsah úrovní detailů obsahující vymezení obsahu modelů pro témata objektů v jednotlivých úrovních a geometrickou přesnost zobrazených dat, viz obrázek 2-19 dále.

	LOD0	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4
Model scale description	regional, landscape	city, region	city, city districts, projects	city districts, architectural models (exterior), landmark	architectural models (interior), landmark
Class of accuracy	lowest	low	middle	high	very high
Absolute 3D point accuracy (position / height)	lower than LOD1	5/5m	2/2m	0.5/0.5m	0.2/0.2m
Generalisation	maximal generalisation	object blocks as generalised features; > 6*6m/3m	objects as generalised features; > 4*4m/2m	object as real features; > 2*2m/1m	constructive elements and openings are represented
Building installations	no	no	yes	representative exterior features	real object form
Roof structure/representation	yes	flat	differentiated roof structures	real object form	real object form
Roof overhanging parts	yes	no	yes, if known	yes	yes
CityFurniture	no	important objects	prototypes, generalised objects	real object form	real object form
SolitaryVegetationObject	no	important objects	prototypes, higher 6m	prototypes, higher 2m	prototypes, real object form
PlantCover	no	>50*50m	>5*5m	< LOD2	<LOD2
...to be continued for the other feature themes					

Obrázek 2-19 Požadavky na přesnost geometrie modelu ve standardu CityGML dle OGC (2012).

Lze odvodit, že výše uvedené rozdělení virtuálních 3D modelů dle jejich úrovně podrobnosti se snaží řešit vzájemný vztah mezi velikostí virtuálních 3D modelů (symbolů) při jejich uložení, množstvím komprimovaných informací ve 3D symbolech (jejich hustotu ovlivňující množství informací zjistitelných z kartografického vyjádření virtuálních 3D modelů uživatelem) a úrovní abstrakce (míra věrnosti podoby zobrazeného kartografického symbolu, viz kartografické techniky v oddílu 2.1.2). Přehled variant těchto vztahů je uveden na obrázku 2-20 níže (převzat z Jahnke et al. (2009), resp. Herman (2013b)).



Obrázek 2-20 Vztah mezi úrovní abstrakce a velikostí virtuálních 3D modelů dle Jahnke et al. (2009).

Ad c) Dle rozsahu území

Na základě územního rozsahu zobrazeného ve virtuální 3D mapě.

Lze rozlišit takové mapy, které zobrazují:

- Jednotky budov, menší areál;
- Městské části;
- Celá urbanizovaná území;
- Širší oblasti (regiony);
- Globální situaci (glób).

Platí následující vztah, že čím menší je zobrazovaná oblast, tím zpravidla bývá větší míra detailu jednotlivých zobrazených virtuálních 3D modelů a symbolů. Jde o jiný pohled na rozdělení mapy dle měřítka popsané v oddílu 2.1.1.

Ad d) Dle způsobu pořizování zdrojových dat

Pro získávání rozměrů objektů reprezentovaných ve virtuální 3D mapě a případně textur vyjadřující vzhled daných objektů.

Informace o vzhledu a rozměrech zaměřovaných objektů lze získat několika způsoby:

- Pozemní snímky – ať už pro zachycení vzhledu objektu (pro textury), či pro tvorbu panoramatických modelů (viz výše);
- Metodami klasické pozemní geodézie – pro zjištění prostorových souřadnic měřených objektů;
- Letecké/družicové snímkování – pro zachycení tvaru a vzhledu objektů z ptačí perspektivy. Potřebné informace o vzhledu a tvaru objektů při pohledu shora nejsou obvykle pomocí metod klasické geodézie dosažitelné;
- Laserové skenování – způsob detekce objektu pomocí pohyblivého laserového paprsku, jehož stopy na povrchu objektu jsou uspořádány v řádcích nebo rastru (tzv. mračno bodů), viz VÚGTK (2017);
- Odvozování informací z již zpracovaných dat (tato kategorie v Shiode (2001) není přítomna) – pro odvozování potřebných informací z existujících podkladů, které zobrazují objekty zájmu, např. architektonické plány, stavebně historické průzkumy a další.

Obvykle se při zajišťování zdrojových dat pro virtuální 3D mapy kombinují výše uvedené způsoby jejich pořizování. Výše uvedené geodetické metody lze shrnout pod pojem „3D mapování“, což je dle VÚGTK (2017) „proces sběru prostorových informací, při kterém místa a eventuálně i atributy objektů jsou prezentovány pomocí 3 rozměrů (např. zeměpisnou šířkou, zeměpisnou délkou a nadmořskou výškou) a které mohou být interpretovány uživatelem“.

Ad e) Dle funkcionality modelu/virtuální 3D mapy

Na základě míry přítomnosti analytických funkcí v mapě, resp. na množství sémantických dat (strojově zpracovatelných dat) obsažených v modelech či symbolech.

Lze rozlišit následující kategorie:

- Modely vhodné pouze pro vizualizaci v mapě – tzv. estetické modely vhodné pro prezentaci zájmového území, obvykle jsou pokryty texturami;
- Modely vhodné pro analýzy na základě geometrie modelů – umožňují provedení analýz vztahujících se ke geometrii modelů (např. analýza viditelnosti). Dané modely neobsahují žádná sémantická data (viz podkapitola 3.1, resp. OGC (2012));
- Modely obohacené o sémantická data – lze k jednotlivým modelům či jejich částem přiřadit i dodatečnou informaci přiřaditelnou nejen k bodovému/liniovému/plošnému vyjádření objektu (např. parcelní číslo vztažené k parcelám v katastrální mapě), ale také přiřadit informaci např. o typu jednotlivých částí modelu (u budov typicky informace, že daná plocha/stěna virtuálního 3D modelu je typu střecha, zeď apod., viz podkapitola 3.1, resp. OGC (2012)), o prostorovém rozložení objektu (vymezení jednotlivých bytových částí domu z pohledu jednotlivých vlastníků pro potřeby 3D katastru), vlastnosti jednotlivých ploch (odrazivost stěn, průchodnost záření skrze stěny atd.). Získání, resp. přiřazení těchto informací v rámci modelů je stále velmi nákladnou záležitostí, která se využívá zatím pouze u modelů malého rozsahu (jednotky budov či malý areál, viz bod c) této kategorizace).

Je třeba upozornit, že Shiode (2001), resp. Herman (2013b) uvádí ve svých pracích dělení modelů dle funkcionality z pohledu softwaru, který s těmito modely pracuje, tj. jaké analytické funkce je schopen daný software nad modely provést. Výše uvedené dělení je však provedeno z pohledu funkčnosti a využitelnosti jednotlivých virtuálních 3D modelů, tj. z pohledu sémantiky dat. Více informací o sémantických 2D geodatech lze najít např. v Gahegan (1999) či Čerba & Jedlička (2016). O sémantických 3D datech hovoří například OGC (2012), Kaden & Kolbe (2013) či Jedlička et al. (2013).

Ad f) Dle časového hlediska.

Určení platnosti vzhledu, rozměru a pozice zobrazených objektů na virtuální 3D mapě v čase.

Časově statické mapy zobrazují podobu vyobrazených objektů v jednom časovém okamžiku a lze rozlišit takové, které prezentují:

- Historickou podobu zobrazovaných objektů – tzv. retrospektivní mapy, reprezentující zájmové území ve stavu, ve kterém se nacházelo ve vzdálené minulosti (viz např. publikace Hájek et al. (2013), Hájek et al. (2014), Hájek et al. (2015) či Popelka & Brychtová (2012));
- Současnou podobu zobrazovaných objektů – chtějí zachytit aktuální podobu daného zájmového území (aktuální ve smyslu blízké minulosti), kdy je důležité s tím, že je zde nenulový čas mezi pořízením zdrojových dat a časem samotné vizualizace mapy, viz proces tvorby virtuální 3D mapy v podkapitole 2.2;
- Pravděpodobnou budoucí podobu – tzv. prognostické mapy, které jsou využívány například pro plánování v urbanismu.

Mapy mohou samozřejmě výše uvedené časové roviny kombinovat. Poté lze takové mapy vnímat jako časově dynamické, znázorňující tak vývoj daného území v čase.

2.4 Příklady virtuálních 3D glóby

Často používaným kartografickým produktem mezi uživateli po celém světě jsou tzv. virtuální 3D glóby. Ty umožňují zobrazit Zemi jak z globálního pohledu (jako celý glób, tj. analogie k mapě malého měřítka), tak i z blízkého detailního pohledu na zemský povrch (tj. analogie k mapě velkého měřítka). Jinými slovy umožňují zobrazení objektů a jevů malé i velké podrobnosti z různě vzdálených pohledů, viz oddíl 2.1.1. Navíc se jedná o univerzální nástroje, umožňující zobrazení různorodých témat a informací.

Virtuální 3D glóby jsou v drtivé převaze ke stažení, protože si s sebou obvykle nesou poměrně velké množství dat. Existují však i takové, které lze zobrazit pomocí webového prohlížeče. Na další straně je uveden seznam některých z existujících virtuálních 3D glóbů. Tento seznam si neklade za cíl vyčerpávajícím způsobem zachytit veškeré používané virtuální 3D glóby, ale na konkrétních příkladech ukazuje, jaké mohou mít podobu a formu. V tomto seznamu jsou uvedeny příklady virtuálních 3D glóbů určených ke stažení do počítače (pro každý z nich je uveden: název produktu, v závorce pak jméno jeho tvůrce či producenta a následně i odkaz ke stažení) a dostupné on-line (pro každý z nich je uveden: název produktu, v závorce pak jméno jeho tvůrce či producenta, následně odkaz k zobrazení daného produktu a ukázka vyobrazení konkrétního glóbu, viz obrázky 2-21 až 2-23). Mobilní aplikace zobrazující virtuální 3D glóby v tomto seznamu nejsou zahrnuty. Jedná se o kategorii, která má svá specifika (především optimalizaci pro daný hardware, tj. malé displeje, nižší procesní výkon, specifický způsob ovládní) a navíc bývají odvozené od jejich desktopových nebo on-line verzí.

Virtuální 3D glóby ke stažení (off-line):

- Google Earth (Google Inc.)
<https://www.google.cz/intl/cs/earth/download/gep/agree.html>
- ArcGIS Earth (Esri)
<http://www.esri.com/software/arcgis-earth>
- Bing! Maps 3D / Microsoft Virtual Earth (Softonic.com)
<https://big-maps-3d.en.softonic.com>
- OpenStreetMap Globe / XNavigator (Arne Schilling et al.)
<http://osm-3d.org/map.htm>
- World Wind (NASA)
<https://worldwind.arc.nasa.gov>
- OpenWebGlobe / Atlas of Switzerland (Martin Christen, Benjamin Loesch / Swiss Topo)
<https://en.wikipedia.org/wiki/OpenWebGlobe>
- Marble (KDE, OSGeo)
<https://marble.kde.org/>

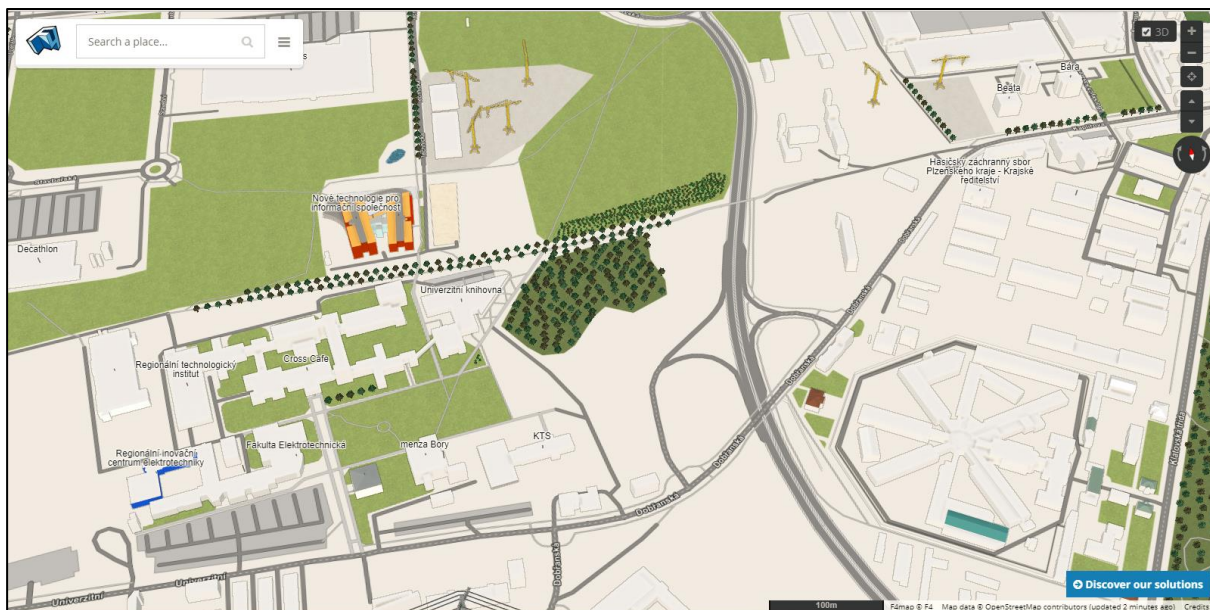
Virtuální 3D glóby dostupné pomocí webového prohlížeče (on-line):

- Google Earth Online (Google Inc.)
<https://earth.google.com/web>



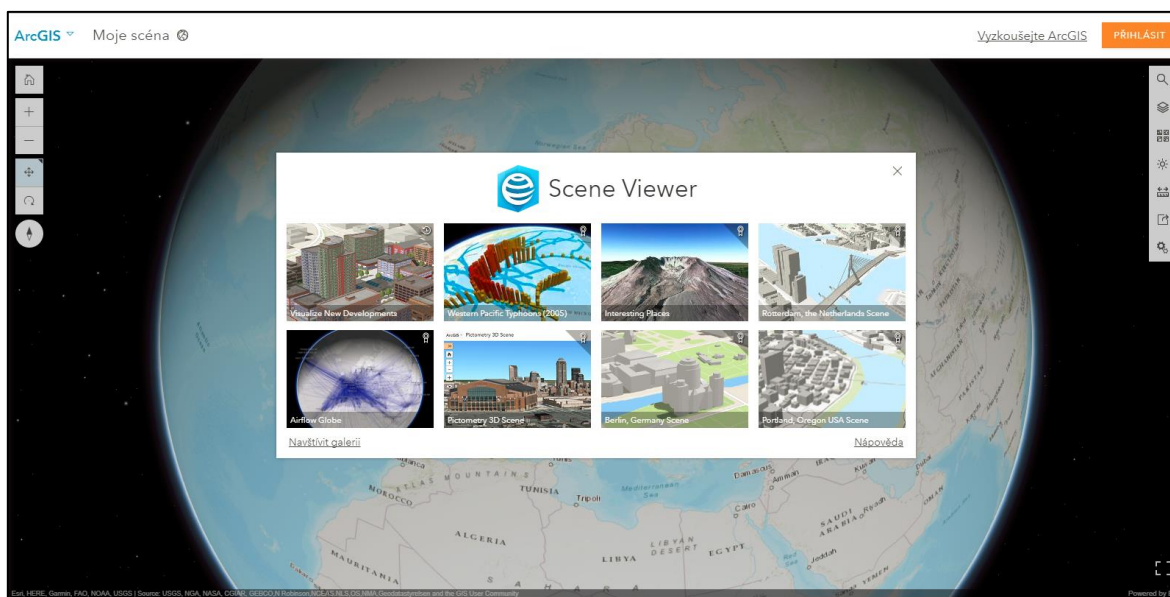
Obrázek 2-21 Ukázka – Google Earth Online (zdroj: earth.google.com).

- [F4map \(F4map\)](http://demo.f4map.com)
<http://demo.f4map.com>



Obrázek 2-22 Ukázka – F4map (zdroj: demo.f4map.com).

- [ArcGIS Online \(Esri\)](https://arcgis.com)
<https://arcgis.com>



Obrázek 2-23 Ukázka – ArcGIS Online (zdroj: arcgis.com).

V kapitole 2 byl rozebrán koncept a způsob tvorby obecné virtuální 3D mapy. Konkrétní aplikací kartografických principů uvedených v kapitole 1 na příkladu virtuální 3D mapy urbanizovaného území se zabývá následující kapitola.

3 Specifika virtuálních 3D map urbanizovaného území

Tato kapitola se zabývá specifiky virtuálních 3D map, které jsou zaměřeny na téma urbanizovaného území. Téma urbanizované území bylo vybráno proto, že jde o velice komplexní příklad území, které lze vizualizovat ve virtuální 3D mapě. Obsahuje velké množství heterogenních prvků, jejichž kartografické vyjádření je třeba v rámci této mapy řešit, přičemž je toto vyjádření v drtivé většině řešeno pomocí trojrozměrných virtuálních modelů, resp. symbolů.

V této kapitole je nejprve vymezena virtuální 3D mapa urbanizovaného území jako taková. Poté je zde uveden rozbor obsahu těchto map, tj. jaké prvky jsou v rámci těchto map zobrazeny. Ten je následován konkrétními doporučeními pro tvorbu symboliky virtuálních 3D modelů určených pro tyto mapy. Dále jsou uvedeny příklady již existujících off-line a on-line platform zobrazujících urbanizovaná území na virtuálních 3D mapách. Ty jsou následně rozebrány z pohledu výše zmíněných doporučení pro tvorbu symboliky virtuálních 3D modelů a v neposlední řadě je z tohoto pohledu detailněji popsán konkrétní příklad autorem vytvořené virtuální 3D mapy urbanizovaného území nazvané Virtuální 3D mapa pevnosti Terezín.

Urbanizované území lze definovat z pohledu stupně zalidnění a zastavění, jak je uvedeno ve vymezení této disertační práce. Zajímavým faktem v této souvislosti je to, že chápání pojmu „urbanizovaný“ ve smyslu nejmenšího počtu obyvatel na daném území, je odvislé na územním, potažmo ekonomickém rozvoji konkrétního území. Výklady slova urbanizovaný, jak je chápáno v různých částech světa, lze najít na stránkách Divize pro statistiku Organizace spojených národů³³.

Další pohled na pojem urbanizované území nabízí obor urbanismus, který studuje „charakteristické způsoby interakce mezi obyvateli zastavěných území a územím samotným“³⁴. Z tohoto úhlu pohledu lze říci, že tzv. genius loci urbanizovaného území (tj. příznačný charakter místa) lze chápat jako „obraz města nebo jeho částí tvořené urbánní strukturou ve spojení s přírodními prvky“, viz Rozmanová & Gajdíkova. (2015). „Urbanizovaným (urbánním) územím se ve věcech územních rozumí zastavěné území a zastavitelné plochy“, Jiří Plos³⁵. A právě obraz města je to, co by čtenář virtuální 3D mapy urbanizovaného území měl na první pohled vnímat.

³³ Konkrétně na https://unstats.un.org/unsd/demographic/sconcerns/densurb/Defintion_of%20Urban.pdf

³⁴ Viz definice urbanizmu na <https://en.wikipedia.org/wiki/Urbanism>

³⁵ Viz wiki slovník Výzkumu Praha dostupný na <https://vp.fa.cvut.cz//slovník/index.php>

Virtuální 3D mapa urbanizovaného území

Jde o virtuální 3D mapu chápanou v intencích a definicích uvedených v kapitole 2, která je tematicky zaměřená na zobrazování urbanizovaného území, jak je popsáno výše. To znamená, že zobrazuje specifický obsah, jehož rozbor je uveden dále v podkapitole 3.1. Dalším jejím specifikem je územní rozsah zobrazovaného území, podrobnost a dimenze dat zobrazovaných na této mapě spolu s jejich kartografickým vyjádřením, které je pro konkrétní vybrané prvky vyskytující se v rámci urbanizovaných území uvedeno v podkapitole 3.2. Na základě těchto specifíků je tento druh map možné z pohledu jejich „měřítka“ označit za velkoměřítkové mapy, viz oddíl 2.1.1.

S pojmem virtuální 3D mapa urbanizovaného území se lze setkat především v zahraniční literatuře, ve které je však tento pojem uváděn jako „(virtual) 3D city map“, ale označuje kartografický produkt chápaný v podobných intencích, jak je uvedeno výše, viz Bandrova (2001) či Biljecki et al. (2015).

Účelem virtuální 3D mapy urbanizovaného území je tedy vzbudit ve čtenáři mapy dojem, že se dívá na reprezentaci zastavěného území, které na první pohled rozpozná. Od tohoto účelu se odvíjí další řada konsekvencí, kterými se tato kapitola dále zabývá.

3.1 Obsah virtuálních 3D map urbanizovaného území

V této podkapitole je rozebrán přímo obsah virtuálních 3D map urbanizovaných území, tj. přehled objektů, které se v takových mapách vyskytují.

Již například Lynch (1960) definoval prvky, které charakterizují urbanizované území (jím označováno jako městská krajina). Těmi dle Lynch (1960) jsou cesty (ve smyslu potenciálních převážně liniových prvků a objektů, po kterých se lze v městském prostředí pohybovat), křižovatky, vymezení částí měst a významné orientační prvky.

Bandrova (2005) uvádí obsah virtuálních 3D map urbanizovaných území (jí označované jako „3D City Maps“) z pohledu důležitosti zobrazených objektů:

- Hlavní objekty („main content“) – topografický podklad, síť komunikací, budovy;
- Vedlejší objekty („secondary content“) – městský mobiliář, vegetace, dopravní značení atd.;
- Dodatečné objekty („additional content“) – kvalitativní a kvantitativní informace o objektech.

Petrovič & Mašera (2005) zjistili, že dle uživatelů virtuálních 3D map jsou jejich nejdůležitějšími součástmi prvky osídlení (tj. zástavby) a cestní síť, spolu s vegetací a vodstvem.

Logický model kategorizace objektů pro případovou studii zámeckého areálu, které však lze aplikovat i pro rozdělení obsahu virtuálních 3D map, představil Jedlička et al. (2012), resp. Jedlička & Luňák (2009). V tomto logickém modelu jsou dvě základní skupiny objektů: vnější („exterior“) a vnitřní („interior“) objekty. Do skupiny vnějších objektů patří dle Jedlička et al. (2012) obecně objekty přírodního charakteru a antropogenní objekty krom budov (tj. komunikace a další nezařazené objekty), do skupiny vnitřních objektů spadají samotné budovy, včetně tematického rozdělení součástí budov (patra, místnosti, nábytek, stavební součásti budov vnější i vnitřní atd.).

V OGC (2012) lze nalézt seznam tematických prvků, kterými se standard nazvaný CityGML zabývá. Jde o prvky, které se běžně vyskytují v tzv. „3D City Model“, zobrazující prvky urbanizovaného území. Mezi tyto prvky z hlediska sémantických a tematických vlastností, taxonomie a agregace patří:

- Digitální model terénu vytvořený na podkladě nepravidelné trojúhelníkové sítě, pravidelného rastru, vrstevnic či mračna bodů;
- Stavby (budovy, mosty, tunely atd.);
- Vegetace (plošná nebo objemová vyjádření areálů vegetace či solitérních jedinců);
- Vodní tělesa (objemová či povrchová reprezentace);
- Dopravní zařízení (jak grafové struktury, tak povrchová či objemová vyjádření objektů cestních, drážních a jiných komunikací);
- Typ využití půdy;
- Městský mobiliář;
- Generické objekty a atributy, uživatelem definované objekty;
- Model pro definování vzhledu objektů.

Pro výše uvedená témata definuje standard CityGML pravidla týkající se jak geometrie virtuálních 3D modelů, tak i sémantiky 3D modelů, resp. jejich částí. V tomto standardu je pro každé z témat objektů uvedených výše (resp. všechny body výše uvedeného seznamu krom posledních dvou) definován rozsah úrovní detailů („Level of Detail“ – LOD, viz oddíl 2.2.3). Jednotlivé úrovně detailu určují geometrický a sémantický obsah modelů, přičemž se zobrazená úroveň detailu, resp. příslušný model zobrazuje v závislosti na přiblížení pohledu pozorovatele k němu. Hovoříme o tzv. více-měřítkovém modelování. To umožňuje při bližším pohledu pozorovatele na zobrazené 3D modely jejich vyobrazení ve větší míře detailu, než při vzdálenějším pohledu pozorovatele na téže modely. Ukázkou pro pět úrovní detailu objektů náležících do tématu budov je možné vidět na obrázku 2-18 v oddílu 2.2.3.

Sémantika, jak je vnímána dle OGC (2012), přidává do virtuálních 3D modelů informace, které nejsou z geometrie modelu rovnou odvoditelné. V první řadě se jedná o sémantickou kategorizaci jednotlivých ploch modelů do tříd prvků (typu střecha, vnější/vnitřní zeď, půdorys, vnější vybavení budovy – balkón, anténa, komín, atd.). Také lze v rámci virtuálního 3D modelu uchovat informace, které nejsou na první pohled z modelu zjištěitelné a jsou vztažené buď ke konkrétní ploše (např. informace o odrazivosti povrchu), nebo k jednotlivým uceleným objektům (např. k modelu budovy lze doplnit implicitní informace jako třída budovy, typ střechy, rok postavení/zboření budovy apod.). Další rozšiřitelnost informací v modelu je umožněna pomocí tzv. generických objektů, resp. atributů. Ty si tvůrce modelu může vytvořit sám a tím rozšířit CityGML model o další třídy prvků či o atributy, které jsou pro něj důležité pro jeho způsob využití virtuálního 3D modelu.

Výše uvedené záležitosti se vztahující k části modelování objektů pro virtuální 3D mapu, kartografické vyjádření modelů je možné definovat v rámci třídy Vzhled („Appearance“, viz poslední odrážka výše uvedeného seznamu). Možnosti vzhledu jsou vyjádřeny pomocí barvy, (georeferencované) textury či pomocí materiálu, který s sebou nese informace např. o tom, jaká je odrazivost povrchu, jeho transparentnost a o podobných vlastnostech, které hrají zásadní roli při vizualizaci 3D modelu, viz oddíl 2.1.2 a metody počítačové grafiky. Pro každou plochu v modelu je navíc možné definovat několik tzv. témat („themes“). Pro každé téma může mít daný povrch jak různý kartografický vzhled, tak i různé sémantické údaje.

3.2 Tvorba mapové symboliky pro virtuální 3D mapy urbanizovaného území

Tato podkapitola se zabývá prvky a objekty, které jsou zobrazeny na virtuálních 3D mapách urbanizovaných území. V předchozí podkapitole byly uvedeny rozličné kategorie objektů, se kterými je možné se v zájmových oblastech setkat, v této podkapitole jsou vybrány kategorie, které jsou pro zájmové území nejvíce signifikantní (tj. určují ráz krajiny). Tyto vybrané kategorie jsou dále rozebrány z pohledu jejich možných kartografických vyjádření.

Pokud se zamyslíme nad tím, jaké prvky (objekty) v rámci urbanizovaných území jsou pro ně nejvíce signifikantní, je možné tyto prvky zkoumat na základě jejich různých vlastností. První vlastností může být to, jakým způsobem tyto objekty vznikly. Dostaneme rozdělení těchto objektů na ty, které jsou přírodního původu (reliéf, vegetace, vodstvo) a které jsou vytvořené člověkem, tj. antropogenní objekty (stavby, městský mobiliář). Dalším možným dělením je důležitost objektů ve smyslu jejich překročitelnosti či nepřekročitelnosti v souvislosti s pohybem a dopravou, což je pro tyto oblasti zásadní hledisko. Z antropogenních prvků jsou to například uzavřené areály budov, významné páteřní komunikace (ať už silniční či drážní) nebo tunelové a mostní stavby. Z objektů přírodního charakteru lze jmenovat prvky topografie, především významné reliéfní prvky (kopce, skalní útvary) a také vodstvo. Takové objekty bývají také významnými orientačními prvky, viz oddíl 2.1.1.

V návaznosti na výše uvedené dělení je třeba rozebrat možnosti kartografického vyjádření jednotlivých prvků a objektů vyskytujících se v rámci urbanizovaného území. Vyjádření přírodních topografických prvků pomocí kartografických metod je dlouhodobě ustálené a poměrně jednoduché. Použitím bodů (0D), linií (1D), ploch (2D) a nepravidelné trojúhelníkové sítě (2,5D) lze vyjádřit libovolné topografické prvky. Vodstvo pak pomocí 1D, případně 2D metod, vegetaci pomocí 0D či 2D metod, případně i 2,5D metod při pokrytí digitálního modelu reliéfu plochou vyjadřující vegetaci (viz metoda pokrytí, oddíl 2.1.2). Pro drtivou většinu možných použití v rámci řešených map jsou takové způsoby kartografického vyjádření přírodních prvků naprosto dostačující. Komplikovanější situace nastává u antropogenních prvků zobrazených na těchto mapách. Nejčastěji se jedná o prvky budov, městského mobiliáře či dalších objektů, které je dle účelu mapy vhodné vyjádřit pomocí jejich 3D reprezentace.

Na základě důležitosti objektů vyskytujících se v rámci řešeného území, spolu s přihlédnutím k zásadním specifickým vlastnostem virtuálních 3D map (kterým je např. komplexnost trojrozměrného vyjádření určitých objektů) a v souvislosti s provedenou rešerší uvedenou v předchozích částech této práce, jsou pro rozbor kartografického vyjádření prvků obsahu virtuálních 3D map urbanizovaných území vybrána následující témata (skupiny objektů):

- Budovy;
- Komunikace;
- Vegetace;
- Městský mobiliář.

Autor této práce může ze zkušeností získaných během výzkumné a tvůrčí práce na projektech, viz kapitola Motivace práce, potvrdit, že výše uvedené závěry týkající se výběru témat pro virtuální 3D mapy urbanizovaného území jsou právě ta reprezentativní témata, která svým obsahem umožňují čtenáři mapy efektivní zjištění skutečnosti, že je na virtuální 3D mapě zobrazeno právě ono urbanizované území.

3.2.1 Budovy

Bezesporu nejmarkantnějšími prvky urbanizovaného území jsou budovy, a proto je i ve standardu CityGML téma budov velmi rozsáhle popsáno. OGC (2012) uvádí vymezení jednotlivých úrovní detailů na základě vymezení obsahu virtuálních 3D modelů (ukázka kartografického vyjádření úrovní detailů pro téma budov je uvedena v rámci popisu standardu CityGML, viz obrázek 2-18 v oddílu 2.2.3), geometrické přesnosti zobrazených dat a absolutní přesnosti zdrojových dat. Obrázky 3-1 a 3-2 dále (převzaté z OGC (2012)) ukazující obsah jednotlivých úrovní detailů pro téma budov z pohledu jejich modelovaných částí (obrázek 3-1) a zobrazení těchto částí v rámci jednotlivých úrovní detailu (obrázek 3-2).

	LOD0	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4
Model scale description	regional, landscape	city, region	city, city districts, projects	city districts, architectural models (exterior), landmark	architectural models (interior), landmark
Class of accuracy	lowest	low	middle	high	very high
Absolute 3D point accuracy (position / height)	lower than LOD1	5/5m	2/2m	0.5/0.5m	0.2/0.2m
Generalisation	maximal generalisation	object blocks as generalised features; > 6*6m/3m	objects as generalised features; > 4*4m/2m	object as real features; > 2*2m/1m	constructive elements and openings are represented
Building installations	no	no	yes	representative exterior features	real object form
Roof structure/representation	yes	flat	differentiated roof structures	real object form	real object form
Roof overhanging parts	yes	no	yes, if known	yes	yes

Obrázek 3-1 Úrovně detailu a geometrická přesnost v rámci CityGML dle OGC (2012).

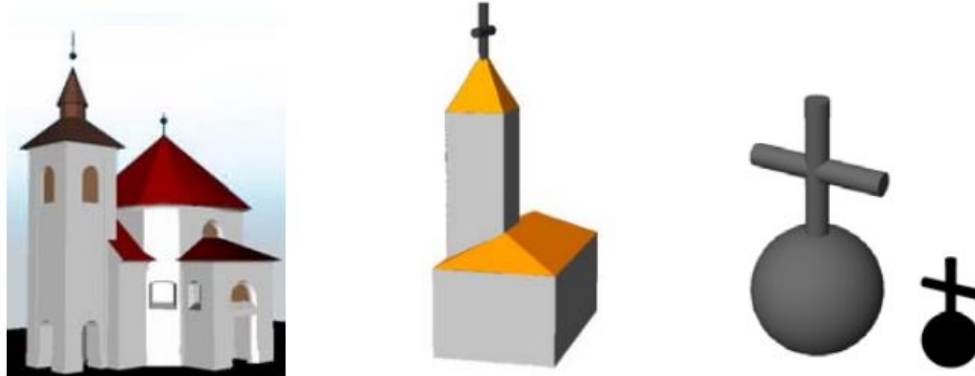
Geometric / semantic theme	Property type	LOD0	LOD1	LOD2	LOD3	LOD4
Building footprint and roof edge	<i>gml:MultiSurfaceType</i>	•				
Volume part of the building shell	<i>gml:SolidType</i>		•	•	•	•
Surface part of the building shell	<i>gml:MultiSurfaceType</i>		•	•	•	•
Terrain intersection curve	<i>gml:MultiCurveType</i>		•	•	•	•
Curve part of the building shell	<i>gml:MultiCurveType</i>			•	•	•
Building parts	<i>BuildingPartType</i>		•	•	•	•
Boundary surfaces (chapter 10.3.3)	<i>AbstractBoundarySurfaceType</i>			•	•	•
Outer building installations (chapter 10.3.2)	<i>BuildingInstallationType</i>			•	•	•
Openings (chapter 10.3.4)	<i>AbstractOpeningType</i>				•	•
Rooms (chapter 10.3.5)	<i>RoomType</i>					•
Interior building installations (chapter 10.3.5)	<i>IntBuildingInstallationType</i>					•

Obrázek 3-2 Obsah úrovní detailů pro téma budov dle OGC (2012).

SIG3D (2014) uvádí návod pro geometrické modelování různých typů objektů v rámci tématu budov a to pro úrovně detailu LOD1 až LOD3, ale nerozebírá způsoby jejich kartografického vyjádření.

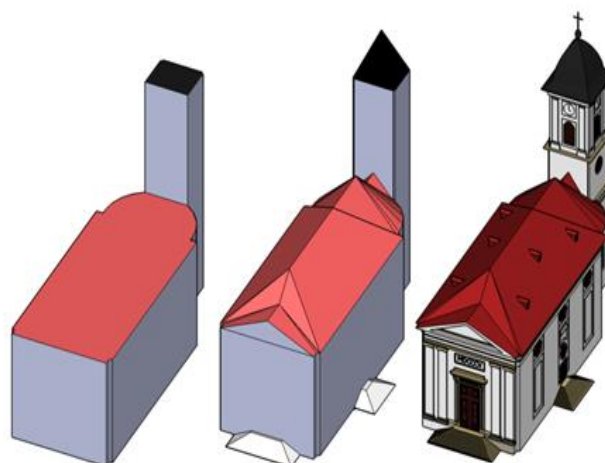
Ve 2D mapách jsou budovy zobrazeny nejčastěji pomocí jejich půdorysu (často generalizovaného) či pomocí bodově lokalizovaných ikon nebo piktogramů, které mohou reprezentovat např. typické průčelí nebo typickou siluetu dané budovy, viz Semmo et al. (2015), Elias et al. (2006) nebo Petrovič (2003).

Co se týče symboliky budov na virtuálních 3D mapách urbanizovaných území, Petrovič (2003) uvádí ve své práci příklad různých úrovní detailu a variací 3D symbolu kostela, viz obrázek 3-3 dále (převzat z Petrovič (2003)). V pravé části obrázku je symbolické (zjednodušené a obecné) vyjádření virtuálního 3D modelu kostela značící obecně typ budovy kostel, v levé části pak realističtější varianta virtuálního 3D modelu konkrétního kostela.



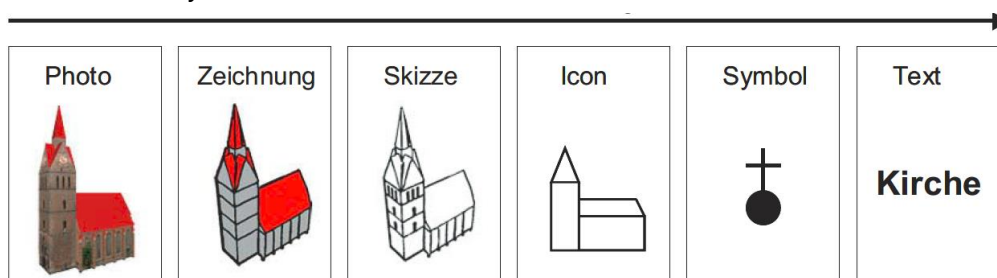
Obrázek 3-3 Různé kartografické symboly pro objekt kostela dle Petrovič (2003).

Další příklad různých podob 3D symbolu pro objekt zájmového kostela je uveden na obrázku 3-4. Ten je převzat z Hájek et al. (2013), přičemž tyto podoby symbolu byly použity v projektu „Krajina paměti, Drážďany a Terežín jako místa vzpomínek na ŠOA“, viz Hájek et al. (2015) či Hájek et al. (2016). Jedná se tedy o symbol, jehož podoba odpovídá podobě konkrétního reálného objektu. Další ukázky symbolů lze najít ve zdrojích uvedených v oddílu 2.2.2.



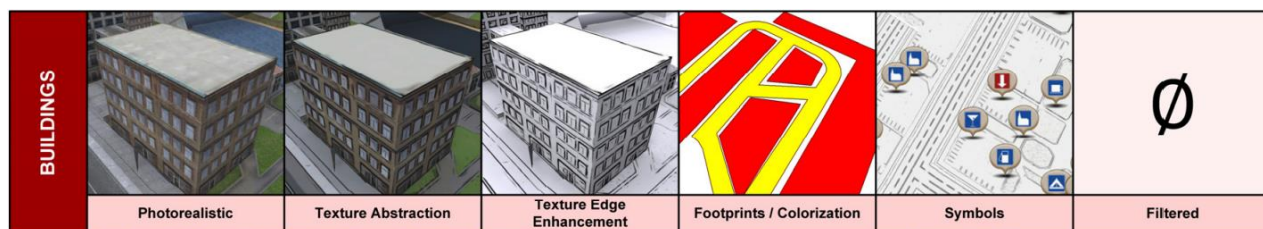
Obrázek 3-4 Různé podoby 3D symbolu pro objekt kostela v Terežíně.

Elias et al. (2006) uvádí stupnici míry abstrakce budov na příkladu kartografického vyjádření kostela, viz obrázek 3-5 níže (převzat z Elias et al. (2006)). Šipka na obrázku 3-5 označuje postupně se zvyšující míru abstrakce daného kartografického vyjádření (zleva): Fotorealistická podoba, kreslená, skica, ikona, symbol, text.



Obrázek 3-5 Úrovně abstrakce vizualizace kostela dle Elias et al. (2006).

Pasewaldt et al. (2012) představuje ukázkou kartografických technik dle principu Level of Abstraction (LOA) na příkladu kartografického vyjádření budovy, viz obrázek 3-6 níže (převzat z Pasewaldt et al. (2012)). V levé části obrázku je fotorealistická varianta modelu, v pravé symbolická.



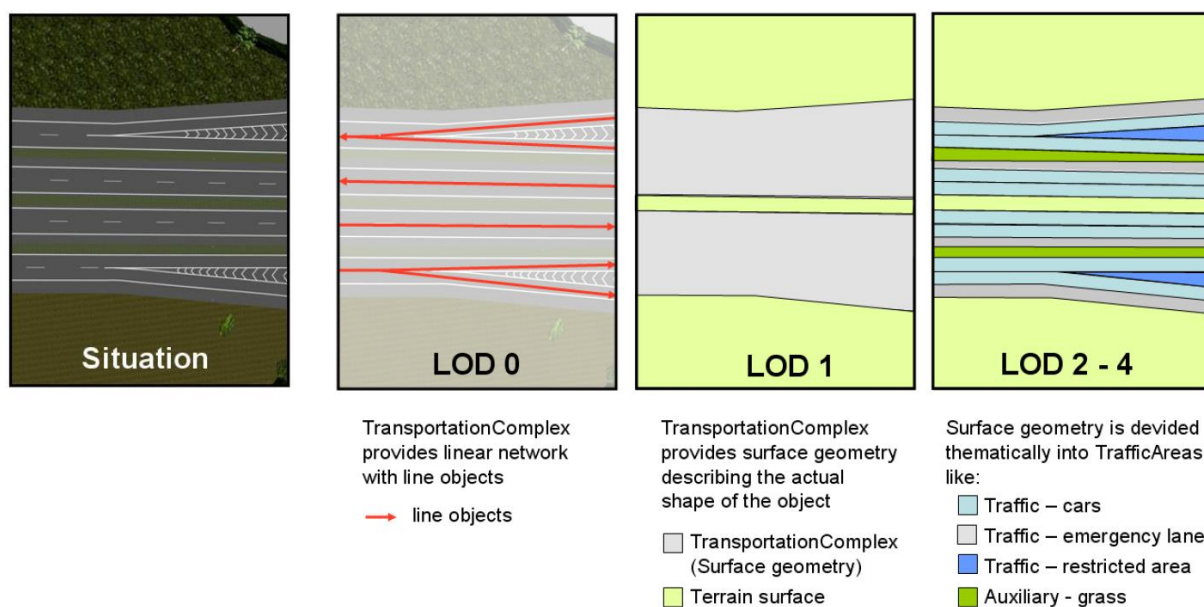
Obrázek 3-6 Ukázka kartografických technik užívajících principu Level of Abstraction pro objekt budovy dle Pasewaldt et al. (2012).

Z pohledu konceptů a specifik pro virtuální 3D mapy urbanizovaných území uvedených v předchozích částech této práce lze odvodit několik konkrétních přístupů vhodných pro kartografické vyjádření modelů objektů budov.

- Objekty (virtuálních 3D modely) jsou definované téměř výlučně na základě plochy půdorysu (viz průmětová definice kartografických vyjadřovacích prostředků);
- Objekty jsou modelovány plně ve 3D (kromě LOD0, který se však v praxi příliš nepoužívá, či kromě LOD1, pokud je definován pouze kartografickým pravidlem „vytažením do výšky dle atributu“);
- Plně fotorealistické vyjádření modelů potlačuje míru symboliky a sémantiky (týká se především úrovně detailu LOD2);
- Kombinace fotorealistického a nefotorealistického přístupu ke kartografickému vyjádření virtuálních 3D modelů budov umožňuje kompromis mezi protichůdnými přístupy pro symbolizaci v rámci virtuálních 3D map. Konkrétně jde o současné splnění následujících požadavků: minimalizace polygonů, modely podobné reálným objektům, modely co nejjednodušší a modelování objektů ve svých přirozených dimenzích. Fotorealistické vyjádření velikostně podprahových objektů (rámy a výplně oken, tašky na střechách, atd.) je velmi vhodné doplnění pro modely vytvořené v LOD3, viz oddíl 2.2.2 obrázek 2-14. Pravá část tohoto obrázku je hybridní formou v tomto bodě uvedených přístupů a vhodně umožňuje kompromis pro uvedené požadavky 3D symbolů na virtuálních 3D mapách.

3.2.2 Komunikace

Komunikace, které slouží pro transport osob a zboží jsou v urbanizovaném území dalším zásadním a dominantním prvkem. V rámci tohoto oddílu jsou řešeny pozemní komunikace ve smyslu cest a silnic³⁶, nejsou řešeny dopravní zařízení pro drážní dopravu³⁷. Ukázka kartografického vyjádření pozemních komunikací pro jednotlivé úrovně detailu definované v OGC (2012) je zobrazena na obrázku 3-7 níže (převzat z OGC (2012)).



Obrázek 3-7 Ukázka úrovní detailu dle CityGML pro téma pozemní komunikace dle OGC (2012).

Ve 2D mapách jsou komunikace zobrazeny převážně liniovými prvky, ve velkém měřítku i pomocí ploch. Ve 3D scéně je vhodné použít buď 2,5D alternativy výše uvedených variant (tj. model terénu pokrytý 2D variantou liniového vyjádření daných prvků), nebo jejich reprezentace založené na skutečném 3D vyjádření. Otázkou pro konkrétní účel mapy je vytvoření kromě kartografické reprezentace komunikací (povrchové či objemové) také jejich grafovou strukturu, která je vhodná především pro navigování po komunikacích.

³⁶ Více viz https://cs.wikipedia.org/wiki/Pozemn%C3%AD_komunikace

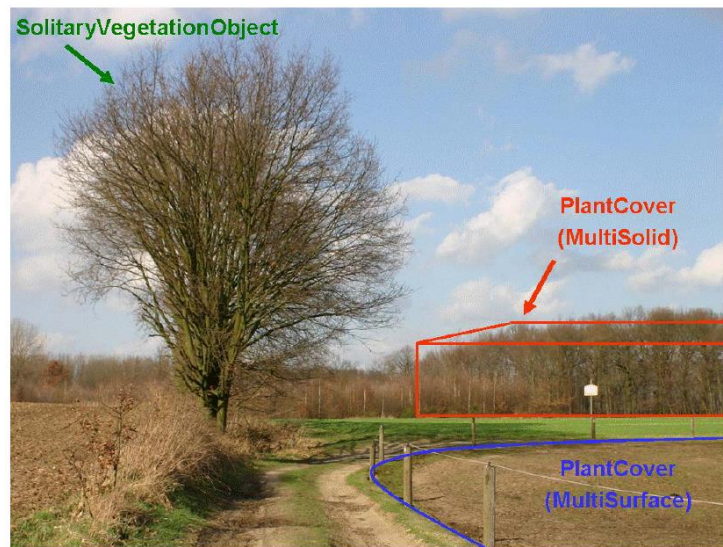
³⁷ Více viz [https://cs.wikipedia.org/wiki/Dr%C3%A1ha_\(dr%C3%A1%C5%BEEn%C3%AD_doprava\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Dr%C3%A1ha_(dr%C3%A1%C5%BEEn%C3%AD_doprava))

Z pohledu konceptů a specifík pro virtuální 3D mapy urbanizovaných území definovaných v předchozích částech této práce lze odvodit několik konkrétních přístupů vhodných pro kartografické vyjádření modelů objektů komunikací:

- 3D varianta kartografického vyjádření komunikací – používá se velice výjimečně (ve smyslu objemové reprezentace objektů např. silnic, kdy by se modeloval celý profil komunikace od spodní až po svrchní část komunikace). Tento fakt je reprezentovaný i ve standardu CityGML, kde v UML diagramu znázorňující třídu komunikací nejsou uvedené objemové reprezentace těchto objektů;
- 2D/2,5D vyjádření – nejčastější varianta kartografického vyjádření komunikací
 - liniová – ve smyslu „měřítka“ virtuálních 3D map urbanizovaných území se jedná o méně častou variantu jejich vyjádření v porovnání s následující;
 - plošná – dominantní varianta kartografického vyjádření komunikací. Takto lze s úspěchem vyjádřit například i mimoúrovňové křížení dopravních uzlů, kdy masa jednotlivých staveb (jako jsou např. most či mimoúrovňová křižovatka) je modelována ve 3D, a ta je pokryta plošným kartografickým vyjádřením komunikací, tj. jeho 2,5D variantou. Takto vytvořené modely komunikací je možné kartograficky vyjádřit i pomocí fotorealistického principu.

3.2.3 Vegetace

Dalším významným prvkem v urbanizovaném území, který však nezřídka bývá redukován na úkor právě budov, komunikací, neboli obecně zastavěných ploch je prvek vegetace. Vegetaci lze (z pohledu plochy, kterou zabírá, či jakým způsobem je lokalizovaná) rozdělit na solitérní vegetaci (jednotlivě se vyskytující, např. samostatně stojící strom – bodově lokalizovaný) a vegetaci porostní (souvisle se vyskytující, např. les – plošně lokalizovaný). Toto rozdělení, resp. jeho ukázka včetně jejich reprezentace dle standardu CityGML je zobrazena na obrázku 3-8 níže (převzat z OGC (2012)).

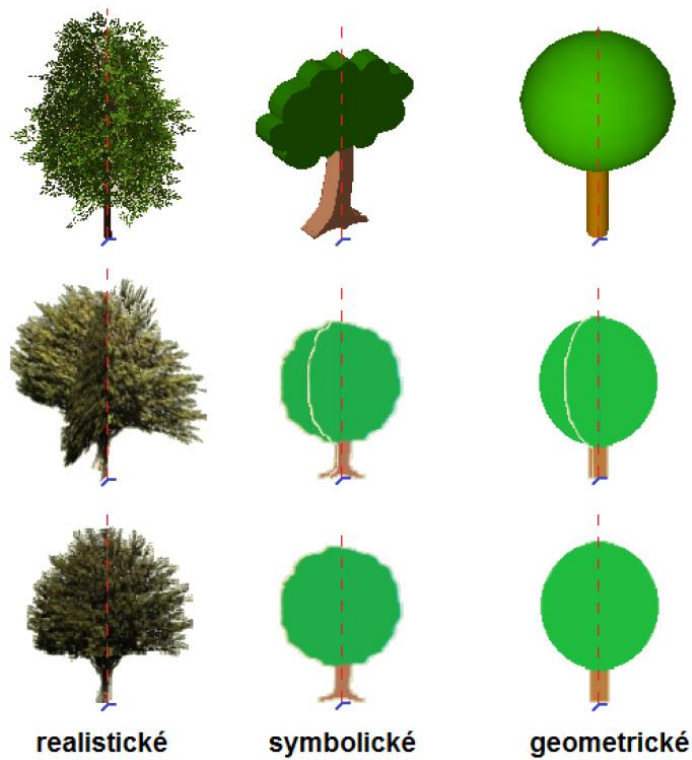


Obrázek 3-8 Ukázka typů reprezentací vegetace dle OGC (2012).

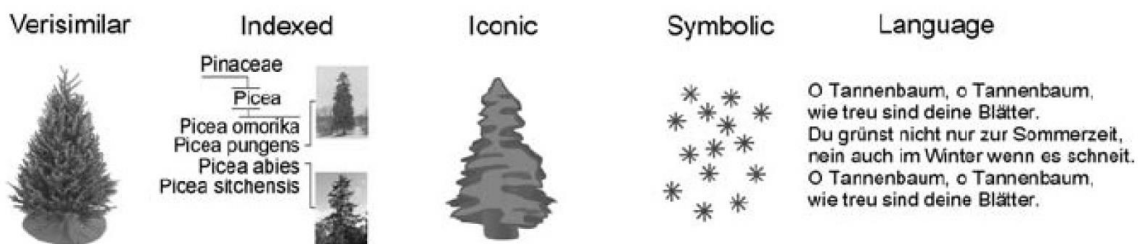
Dle OGC (2012) je možné definovat různé úrovně detailu (LOD) i pro objekty prvků vegetace. Nicméně při vhodně zvolené reprezentaci porostů a při zachování daných konceptů a specifik pro konkrétní virtuální 3D mapy není ve většině případů nutné zvolené vyjádření měnit ve smyslu zlepšení reakční odezvy při vizualizaci virtuálního 3D modelu vegetace, jak je uvedeno v oddílu 2.2.3.

Ve 2D mapách je vegetace vyjádřena obvykle ikonami či symboly (bodově lokalizované znaky), či plošným vyjádřením souvislého vegetačního pokryvu. Výška porostu však běžně zobrazována není, v tomto přináší trojrozměrné vyjádření vegetačního pokryvu další využitelnou informaci.

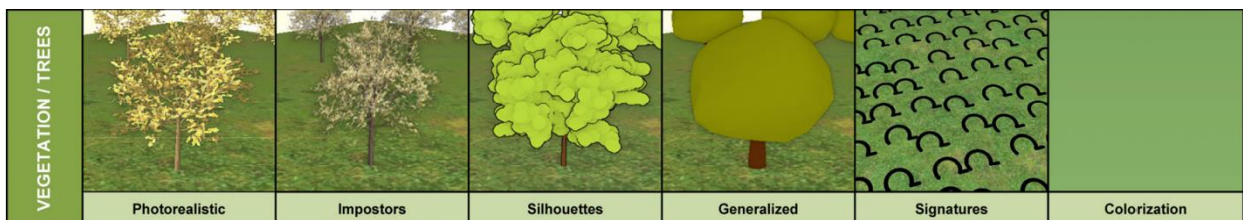
Různá kartografická vyjádření solitérní vegetace uvádí např. Herman (2013b), viz obrázek 3-9 na další straně (převzat z Herman (2013b)), který je detailněji popsán v rámci konkrétních přístupů pro kartografická vyjádření solitérní vegetace uvedené dále. Rozdělení kartografických vyjádření solitérního stromu podle třídění dle Bodum (2005) na základě abstrakce daného vyjádření (viz oddíl 2.1.2) je zobrazeno na obrázku 3-10 na další straně (převzat z Bodum (2005)). Pasewaldt et al. (2012) představuje ukázkou kartografických technik dle principu Level of Abstraction (LOA) na příkladu kartografického vyjádření vegetace, resp. stromu, viz obrázek 3-11 na další straně (převzat z Pasewaldt et al. (2012)). V levé části obrázku 3-11 je fotorealistická varianta modelu, v pravé symbolická.



Obrázek 3-9 Různé kartografické vyjádření solitérní vegetace dle Herman (2013b).



Obrázek 3-10 Pět úrovní abstrakce kartografického vyjádření modelu stromu dle Bodum (2005).



Obrázek 3-11 Ukázka kartografických technik užívajících principu Level of Abstraction pro objekt stromu dle Pasewaldt et al. (2012).

Z pohledu konceptů a specifik pro virtuální 3D mapy urbanizovaných území definovaných v předchozích částech této práce lze odvodit několik konkrétních přístupů vhodných pro kartografické vyjádření modelů objektů vegetace:

- Konkrétní přístupy pro kartografická vyjádření souvislých porostů
 - nízkého vzrůstu (např. udržovaný trávník) – postačí 2,5D vyjádření porostu pomocí pokrytí povrchu reprezentativní texturou či barvou, případně střídajícím se symbolem (viz poslední tři pole zprava na obrázku 3-11). Nejčastěji se však užívá vyjádření pomocí reprezentativní textury;
 - vyššího vzrůstu (vzrostlá polní vegetace) – lze použít výše uvedené vyjádření či pomocí vytažení polygonu do (průměrné) výšky porostu modelovat vzrostlou vegetaci a na tento geometrický objekt také aplikovat výše uvedené kartografické vyjádření;
 - vysokého vzrůstu (lesní vegetace) – lze použít obě výše uvedené varianty nebo pomocí 3D vyjádření digitálního modelu povrchu (DMP³⁸) reprezentující zájmovou vegetaci. V rámci takového typu vyjádření lze s úspěchem používat rozličné 3D analýzy pro zjištění kubatury, průměrné výšky, maximální výšky apod.

Vzhledem k tomu, že se jedná o přírodní objekty, dochází u vegetace k tzv. sukcesi (tj. vývoj ve složení společenstev v ekosystému³⁹). To znamená, že ve vymezené oblasti vegetace se můžeme setkat s různými stupni vývoje (nejčastěji v tomto případě hovoříme o sukcesi v lesních společenstvech) porostu, tj. přírodní lesní společenstvo není tvořeno vegetací mající na daném území přibližně shodnou výšku, což v případě lesní monokultury může běžně nastat. Tím pádem je pro nestejnorodé (ve smyslu sukcese, přeneseně výšky porostu) možné použít kombinaci všech tří výše uvedených možností.

Použití 3D symbolů solitérní vegetace (viz další strana) v relativně hustém rozestupu pro vyjádření souvislého porostu je možné provést jako přibližné vyjádření daného porostu (typicky lesa), ale pokud není tato reprezentace zvolená vhodně (např. že jeden 3D symbol stromu vyjadřuje svojí výškou průměrnou výšku lesa ve svém nejbližším definovaném okolí), lze takové vyjádření použít jen pro prezentační účely, nikoliv pro účely analytické. Navíc se nedoporučuje použití velice hustého rozestupu 3D symbolů pro reprezentaci masy lesní vegetace, v takovém případě by dané objekty mohly potenciálně velice zvyšovat velikost načítaných dat pro zobrazení ve virtuální 3D mapě.

³⁸ Viz VÚGTK (2017) – digitální model povrchu je „zvláštní případ digitálního modelu reliéfu konstruovaného zpravidla s využitím automatických prostředků (např. obrazové korelace ve fotogrametrii) tak, že zobrazuje povrch terénu a vrchní plochy všech objektů na něm (střechy, koruny stromů apod.)“

³⁹ Viz [https://cs.wikipedia.org/wiki/Sukcese_\(ekologie\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Sukcese_(ekologie))

- Konkrétní přístupy pro kartografická vyjádření solitérní vegetace

U solitérní vegetace otázka tvorby různých LOD pro jednotlivé úrovně přiblížení může hrát při větším počtu modelovaných objektů svoji roli. V takovém případě jde opět o hledání kompromisů pro splnění zmíněných požadavků: minimalizace polygonů, modely podobné reálným objektům, modely co nejjednodušší a modelování objektů ve svých přirozených dimenzích. Jedná se o přírodní objekty, které jsou z pohledu modelování velmi komplikované, a často je třeba přistupovat ke zjednodušování jejich kartografického vyjádření. Velmi zdařilý přehled kartografických vyjádření solitérní vegetace (v tomto případě stromů) uvádí obrázek 3-9 (převzat z Herman (2013b)). Na něm jsou v řádcích uvedena kartografická vyjádření dle dimenze (2D a 3D), ve sloupcích pak vyjádření podle různých podob (realistická, geometrická a symbolická). Prostřední řádek na obrázku 3-9 je možné chápat jako kartografické vyjádření, které je složeno ze dvou na sebe kolmých 2D podob daného prvku vyvolávající dojem plastičnosti objektu při vhodně zvolených pohledech na dané objekty, ale nemá samo o sobě definovaný objem pomocí geometrie modelu.

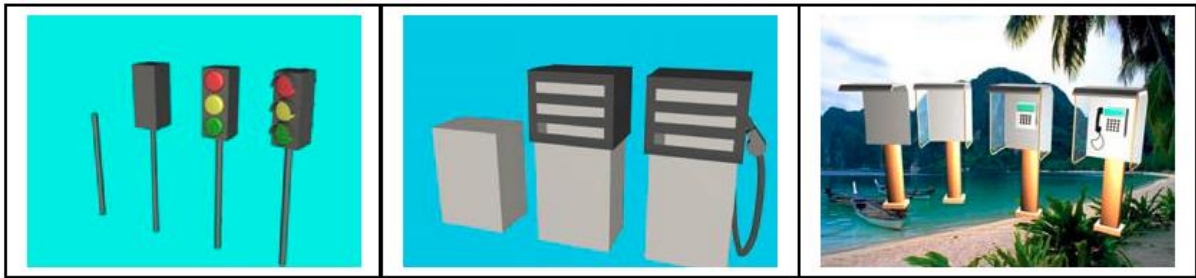
I solitérní vegetaci lze pro určité účely (např. při vzdáleném pohledu na tyto objekty ve virtuální 3D scéně) vyjádřit pomocí metod uvedených v předchozím bodě hovořícím o kartografickém vyjádření souvislých porostů. V takovém případě jde o metodu zjednodušení způsobu vyjádření solitérní vegetace v rámci generalizace, viz oddíl 2.1.2.

3.2.4 Městský mobiliář

Prvky městského mobiliáře se vyskytují na 2D mapách, které jsou velice podrobné, protože se jedná o objekty, které jsou velikostně velice malé v porovnání s jinými objekty uvedenými v klasifikaci v podkapitole 3.1, ale zároveň jsou velice důležité pro určité konkrétní účely, protože hrají klíčovou roli v každodenním životě v urbanizovaných územích. Objekty spadající do této třídy jsou například sloupy veřejného osvětlení, různé typy budek, semaforey, hydranty, zátarasy a podobně. V OGC (2012) je tato třída nazývána jako „city furniture“. Ukázka reálné situace a jejího kartografického vyjádření pomocí 3D symbolů a 2,5D ploch jsou uvedeny na obrázku 3-12 níže (převzat z OGC (2012)). Oproti například třídě budov postrádá třída zahrnující městský mobiliář definovanou úroveň detailu 0 (tj. LOD0). To je způsobeno právě díky jejich relativní malé velikosti oproti jiným objektům, viz výše. Ukázka dalších možných kartografických vyjádření těchto objektů pro různé úrovně podrobnosti 1 až 4 je na obrázku 3-13 dále (převzat z Bandrova (2001)).



Obrázek 3-12 Ukázka reálné situace a virtuálních 3D modelů městského mobiliáře dle OGC (2012).



Obrázek 3-13 Ukázka různých úrovní detailu virtuálních 3D modelů městského mobiliáře dle Bandrova (2001).

Z pohledu konceptů a specifik pro virtuální 3D mapy urbanizovaných území definovaných v předchozích částech této práce lze odvodit několik konkrétních přístupů vhodných pro kartografické vyjádření modelů objektů městského mobiliáře:

- Kartografické vyjádření pomocí prostorově vyjádřených ikon – použitím techniky natáčení k objektu („billboardingu“) lze městský mobiliář vyjádřit jako 2D plošnou reprezentaci vztahenou k místu výskytu daného objektu. Ukázky takovýchto variant ikon lze nalézt např. v Shepherd (2008) či na 3D Open Land Use map⁴⁰. Tento způsob vyjádření je vhodný spíše pro vzdálenější pohledy na dané objekty, při bližších pohledech na ně se spíše používá 3D varianta jejich vyjádření, viz dále;
- 3D varianta kartografického vyjádření městského mobiliáře – vhodná pro všechny objekty v této tematické třídě, je však důležité přihlídnout k míře vyobrazeného detailu. Díky svým malým rozměrům lze chápat tyto objekty jako ty, které jsou zobrazitelné až při velmi blízkém pohledu k danému objektu, analogií mohou být objekty na budovách pro LOD3 u tématu budov, viz výše. Z tohoto důvodu se autor domnívá, že lze u této tematické třídy vynechat úroveň detailu 1 (LOD1) uvedeném ve standardu CityGML (viz OGC (2012)). V tomto standardu navíc není explicitně řečeno, co mají jednotlivé úrovně detailu pro toto téma obsahovat. Důkazem pro podporu této domněnky je i zobrazení objektu semaforu ve čtyřech úrovních detailu na obrázku 3-13, kde za 3D symboly, které vyvolávají správný dojem zobrazovaných objektů lze považovat dvě nejvyšší úrovně podrobnosti, tedy LOD3 a LOD4. Nicméně díky povaze těchto objektů (relativně malé, ale poměrně často se vyskytující) je třeba přihlídnout k tomu, že mohou být geometricky poměrně komplikované a jejich 3D vyjádření může zvětšovat velikost zobrazovaných dat. Pro nižší úrovně podrobnosti objektů této třídy by bylo vhodné, buď je nezobrazovat vůbec (nezvětšují množství zobrazovaných dat), nebo použít techniku uvedenou v předchozím bodě.

⁴⁰ Dostupné na stránce [http://ng.hslayers.org/examples/3d-olu/?hs_panel=layermanager&hs_x=10.851838216514968&hs_y=45.88273033145327&hs_z=18&visible_layers=Open-Land-Use%20\(WMS\);Points%20of%20interest](http://ng.hslayers.org/examples/3d-olu/?hs_panel=layermanager&hs_x=10.851838216514968&hs_y=45.88273033145327&hs_z=18&visible_layers=Open-Land-Use%20(WMS);Points%20of%20interest)

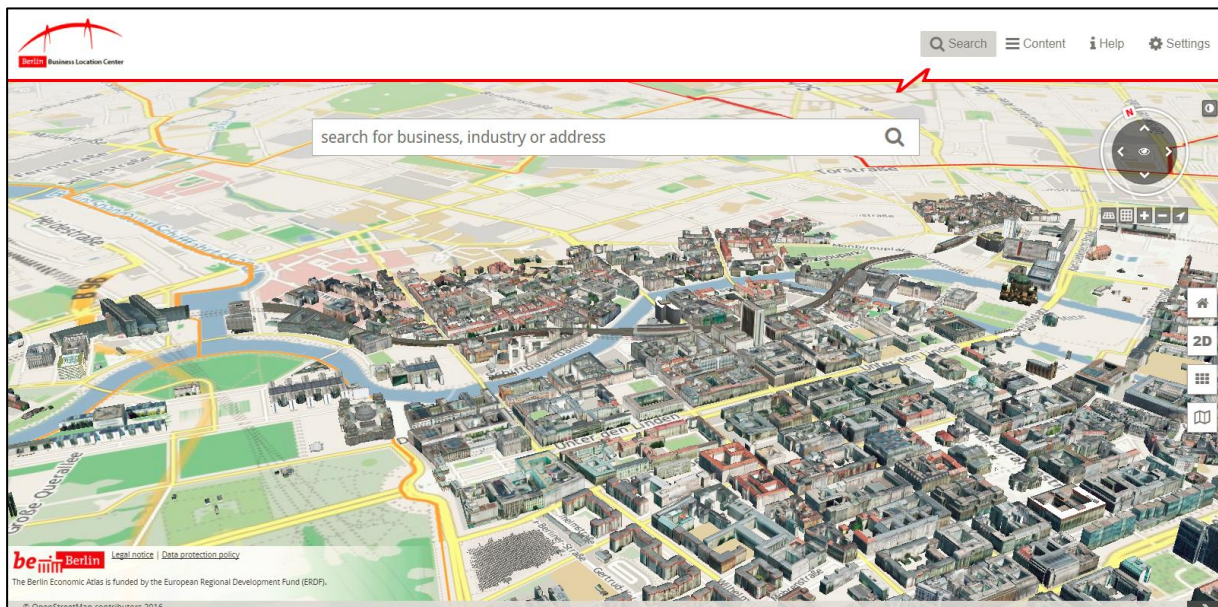
3.3 Příklady virtuálních 3D map urbanizovaného území

Příklady virtuálních 3D map urbanizovaných území lze nalézt na níže uvedeném seznamu. Tento seznam si neklade za cíl vyčerpávajícím způsobem zachytit veškeré existující virtuální 3D mapy specializované na zobrazení tématu urbanizované území. Ukazuje na konkrétních příkladech, jaké může být využití virtuálních 3D map a jak se mohou svým kartografickým vyjádřením shodovat, či naopak lišit pro konkrétní téma, v tomto případě v rámci tématu urbanizovaných území. Jedná se oproti virtuálním 3D glóbulům uvedeným v podkapitole 2.4 o mapy zobrazující lokální, resp. regionální urbanizovaná území a jde o specializované virtuální 3D mapy urbanizovaných území. Navíc jsou povětšinou dostupné on-line, bez nutnosti stahování dat, jedná se tedy o webové virtuální 3D mapy.

Níže uvedený seznam obsahuje pro každou uvedenou virtuální 3D mapu urbanizovaného území: název produktu, jméno jeho tvůrce či producenta v závorce, odkaz k zobrazení konkrétního produktu a ukázkou vyobrazení dané mapy, viz obrázky 3-14 až 3-23. Společné a rozdílné znaky níže uvedených ukázek virtuálních 3D map jsou uvedeny v následující podkapitole.

[Virtual Berlin / Berlin Economic Atlas](#) (Berlin Partner for Business and Technology)

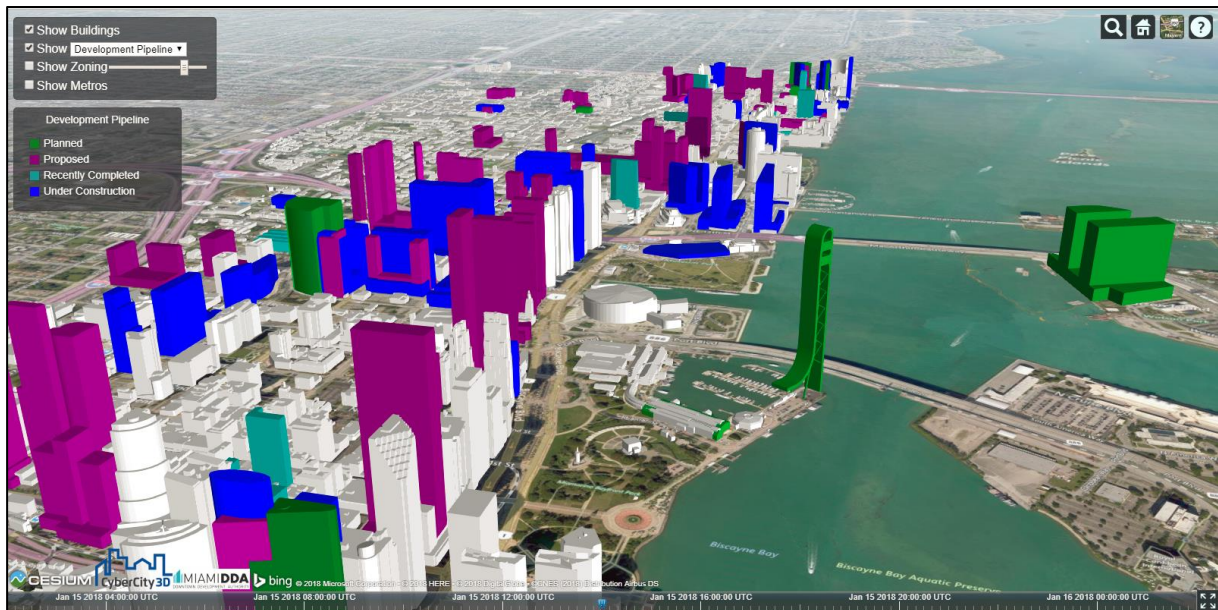
www.virtual-berlin.de či <https://www.businesslocationcenter.de/wab/maps/main/?lang=en>



Obrázek 3-14 Ukázka – Berlin Economic Atlas (zdroj: www.virtual-berlin.de).

CyberCity3D (CyberCity3D)

<http://www.cybercity3d.com>



Obrázek 3-15 Ukázka – CiberCity3D (zdroj: www.cybercity3d.com).

atlas3D (Concept3D)

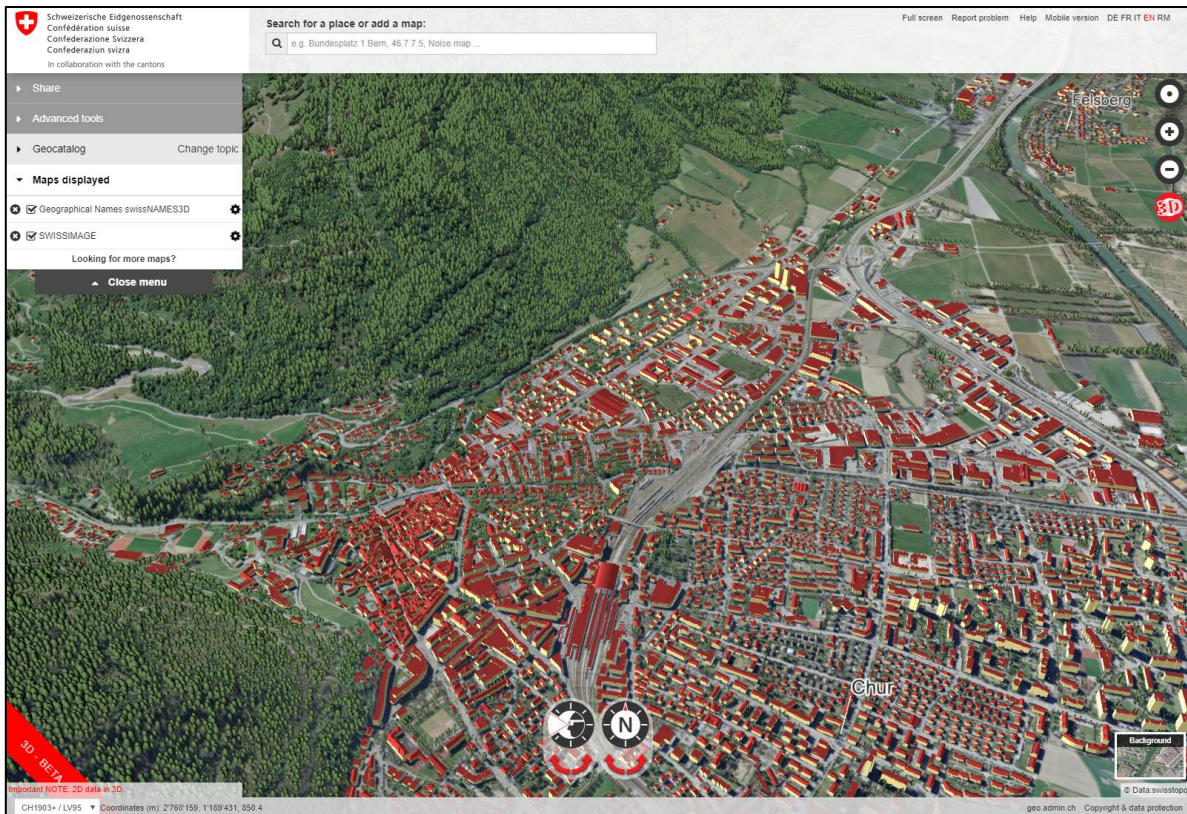
<https://concept3d.com/atlas3d>



Obrázek 3-16 Ukázka – atlas3D (zdroj: concept3d.com/atlas3d).

swissBUILDINGS3D (Swiss Topo)

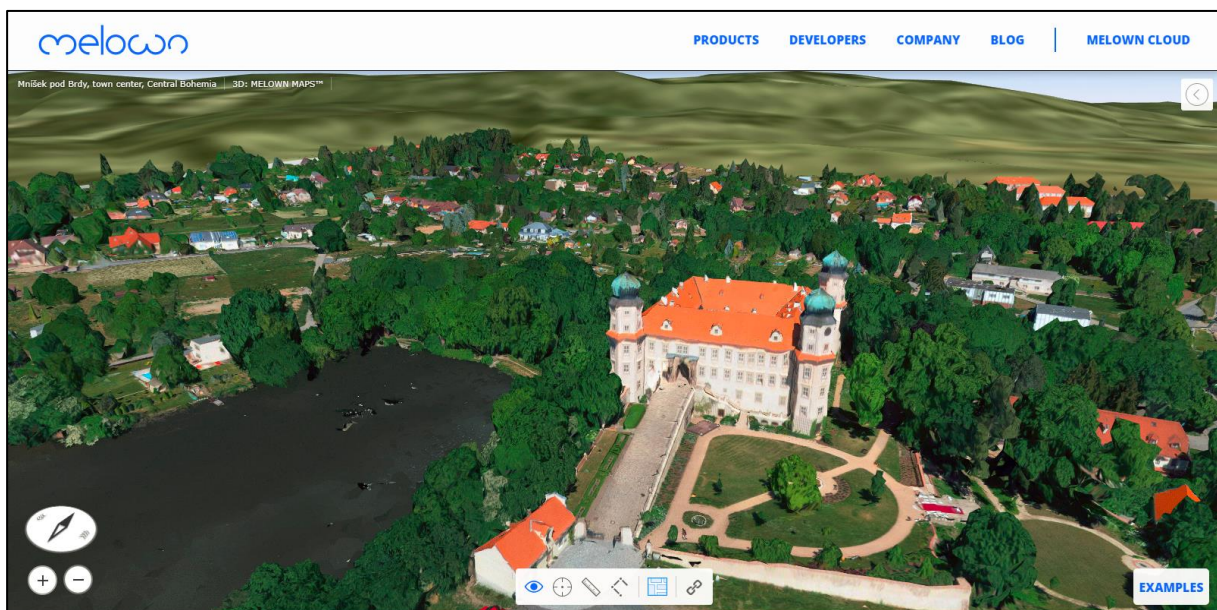
<https://map.geo.admin.ch>



Obrázek 3-17 Ukázka – swissBUILDINGS3D (zdroj: map.geo.admin.ch).

Melown Solutions (Melown Photogrammetry)

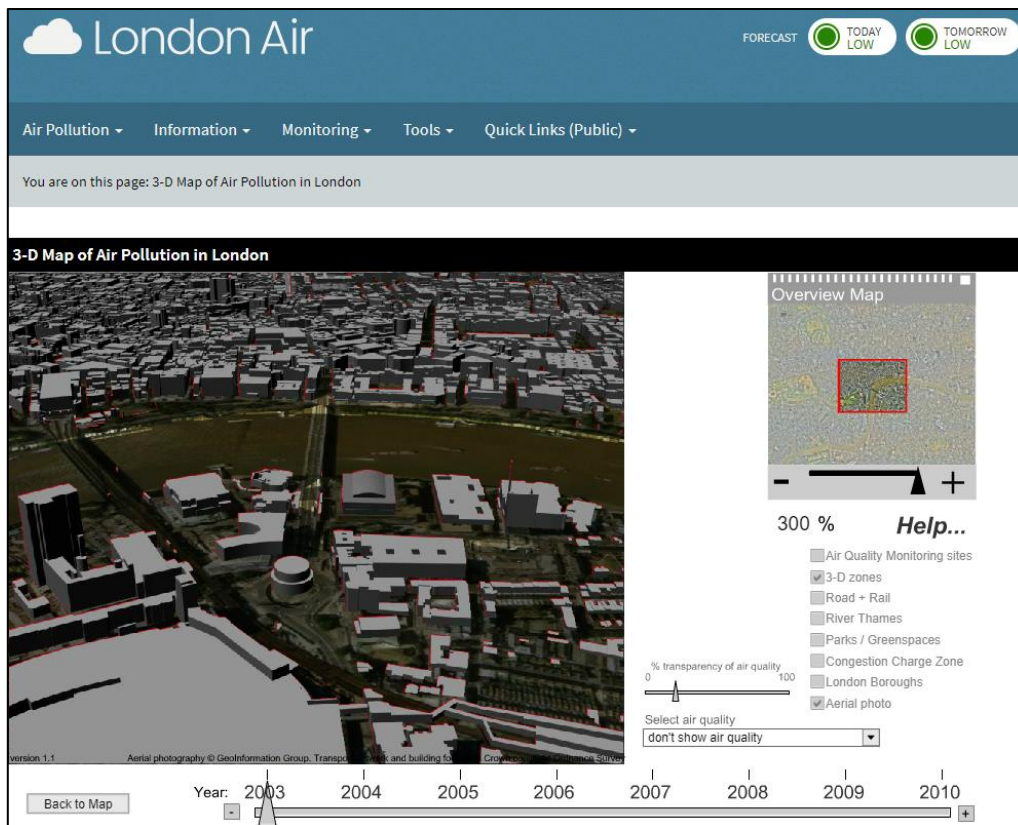
<https://www.melown.com>



Obrázek 3-18 Ukázka – Melown Solutions (zdroj: www.melown.com).

Virtual London: London Air (King's College London)

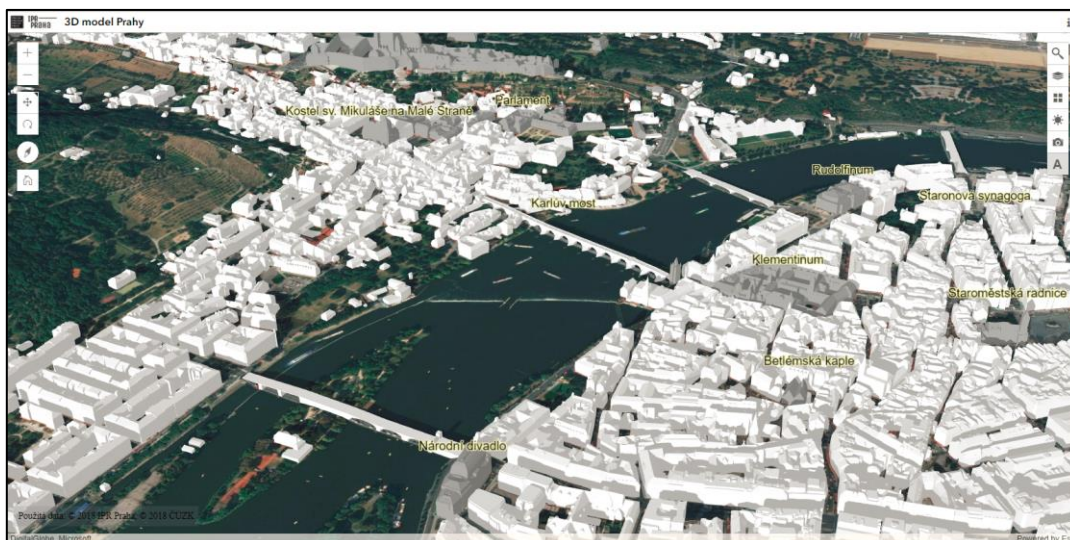
<http://www.londonair.org.uk/london/asp/virtualmaps.asp?view=maps>



Obrázek 3-19 Ukázka – Virtual London: London Air (zdroj: www.londonair.org.uk).

Virtuální 3D model Prahy (Institut plánování a rozvoje hl. m. Prahy)

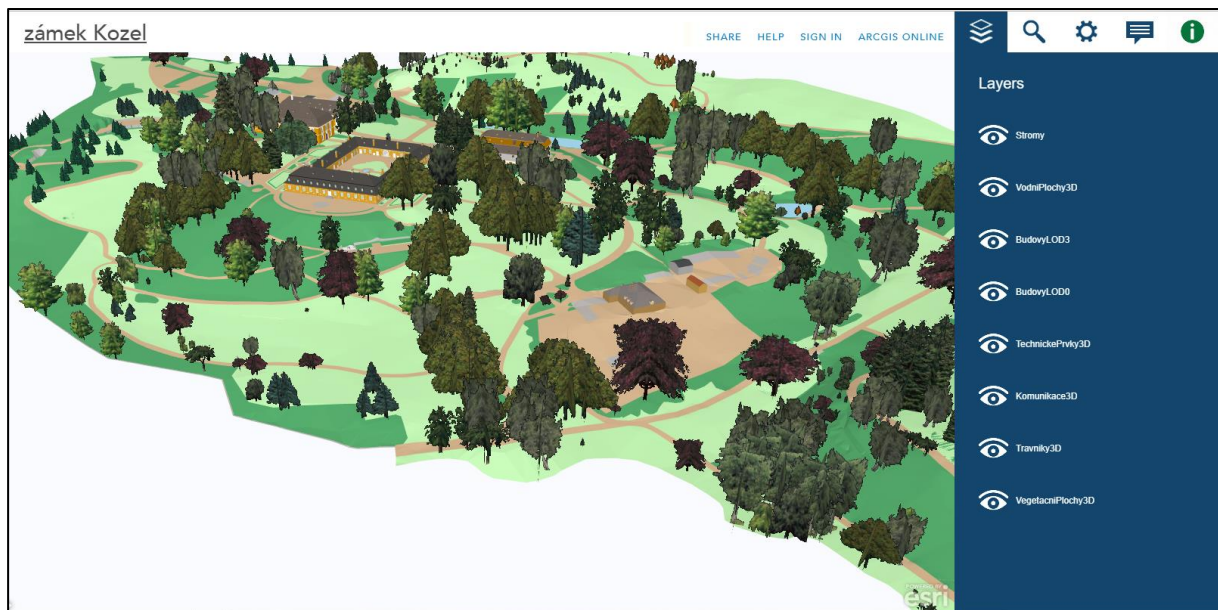
<https://app.iprpraha.cz/apl/app/model3d>



Obrázek 3-20 Ukázka – virtuální 3D model Prahy (zdroj: www.iprpraha.cz).

Virtuální 3D mapa zámku Kozel (Katedra geomatiky, FAV, ZČU)

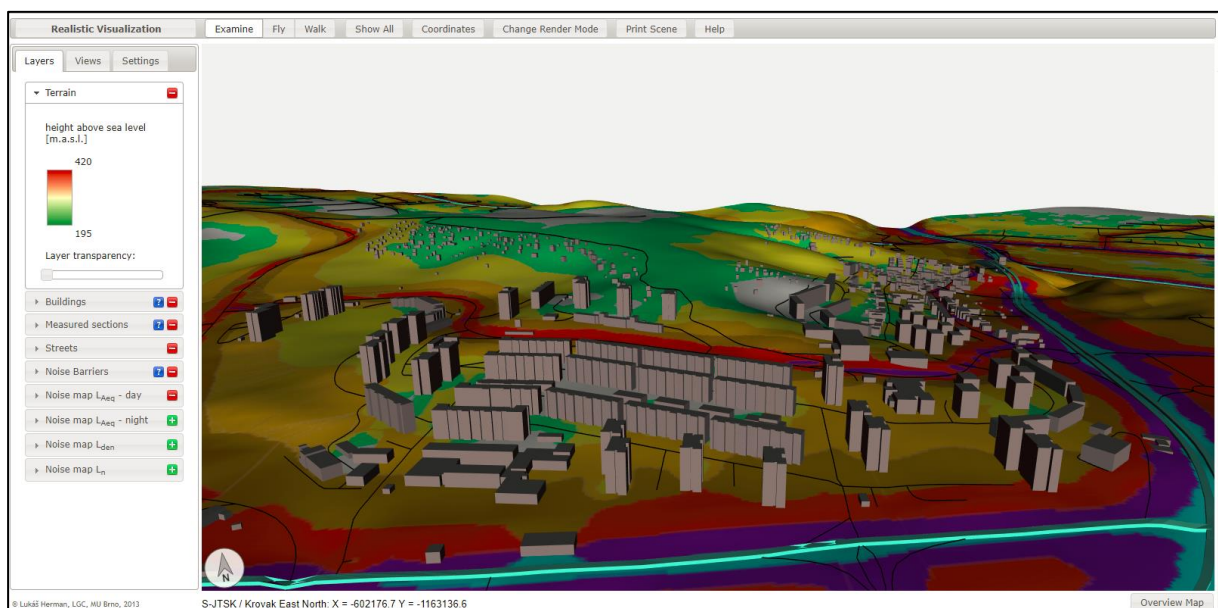
<https://kgm.zcu.cz/3dgis>



Obrázek 3-21 Ukázka – virtuální 3D mapa zámku Kozel (zdroj: kgm.zcu.cz/3dgis).

Virtuální 3D mapa městské části Brna – Nový Lískovec (Lukáš Herman, LGC, MU Brno, 2013)

http://olli.wz.cz/rigo/noise_map.html



Obrázek 3-22 Ukázka – Virtuální 3D mapa městské části Brna - Nový Lískovec (zdroj: olli.wz.cz).

Virtuální 3D mapa pevnosti Terežín (Katedra geomatiky, FAV, ZČU)

<http://www.gepam.eu/>

Na níže uvedeném obrázku 3-23 je zobrazen virtuální 3D model pevnosti Terežín ve dvou variantách pomocí dvou vizualizačních nástrojů. V horní části obrázku je virtuální 3D mapa vizualizovaná pomocí ArcGIS Online platformy, ve spodní části obrázku pak pomocí platformy CesiumJS⁴¹.



Obrázek 3-23 Ukázka – Virtuální 3D mapa pevnosti Terežín.

⁴¹ Více informací viz <https://cesiumjs.org/>

3.4 Společné a rozdílné znaky výše uvedených virtuálních 3D map

Dále uvedený shrnující rozbor společných a rozdílných znaků výše uvedených virtuálních 3D map urbanizovaných území je proveden z pohledu přístupů k tvorbě symboliky uvedených v podkapitole 3.2. Je vztažen pouze k ukázkám uvedeným v předchozí podkapitole. Nevyjadřuje se k dalším produktům od výše uvedených tvůrců a producentů daných mapových děl. Další informace o výše uvedených produktech lze najít přímo na webových stránkách tvůrců a producentů těchto map.

Každá z výše uvedených virtuálních 3D map má svůj účel, který ovlivňuje použitou technologii, resp. postup a volbu kartografického vyjádření objektů ve virtuální 3D mapě. Všechny výše uvedené mapy jsou interaktivní, mají grafické uživatelské rozhraní v různých stupních jejich propracovanosti a jsou díky své povaze webových map přizpůsobeny pro zobrazování na webu. Toto přizpůsobení zobrazovací platformě (webovému prohlížeči) však nemusí být vždy optimální co do rychlosti načítání zobrazovaných dat (viz reakční doba popsána v oddílu 2.1.3) v souvislosti s načítáním dat při prvotním či následném zobrazení mapy.

Je vidět, že každé z výše uvedených map používá třetí dimenzi pro vyjádření zájmových prvků, takže zobrazené objekty jsou vytvořené v 2,5D či 3D. Nejčastěji používanými vyjádřeními budov jsou blokové obvykle bezbarvé virtuální 3D modely, tj. v LOD1 či LOD2, které se hodí jako podklad pro různorodé analýzy (ve výše uvedených příkladech jsou to hlukové mapy a mapa znečištění ovzduší) nebo pro prezentaci města jako takového (virtuální 3D model města Prahy, swissBUILDINGS3D, Virtuální 3D mapa pevnosti Terezín). Ve výše uvedeném seznamu jsou k vidění 3D symboly používající fotorealistický koncept aplikovaný na vytvořené geometrie budov (mapa Berlína), nebo virtuální 3D modely vzniklé přímo automatickým vyhodnocením fotogrammetrických snímků bez použití symboliky (Melown). Na druhé straně lze využít i nefotorealistického (čistě symbolického) přístupu (atlas3D) či kombinace fotorealistického a nefotorealistického přístupu (Virtuální 3D mapa zámku Kozel, Virtuální 3D mapa pevnosti Terezín).

Hlavním typem objektů zobrazených na výše uvedených mapách jsou budovy. Objekty komunikací jsou nejčastěji vyobrazené jako 2D či případně 2,5D reprezentace a to buď symbolicky (jako polohopisná mapa⁴², případně pokrývající 2,5D vyjádření povrchu, tj. jako topografická mapa), nebo fotorealisticky (jako ortofotosnímky). To samé platí i o prvcích vegetace, kromě Virtuální 3D mapy zámku Kozel a mapy swissBUILDINGS3D, které v uvedených ukázkách používají 2,5D či 3D symboly stromů. Městský mobiliář nebývá pomocí 3D symbolů vyjádřen, nejedná se u těchto ukázek o zásadní téma, které by dané mapy zobrazovaly. To znamená, že toto téma není využito pro realizaci účelu jednotlivých mapových děl. Výjimkami jsou Virtuální 3D mapa zámku Kozel,

⁴² Viz definice polohopisné mapy na VÚGTK (2017) „mapa obsahující pouze polohopis (mapa bez výškopisu)“

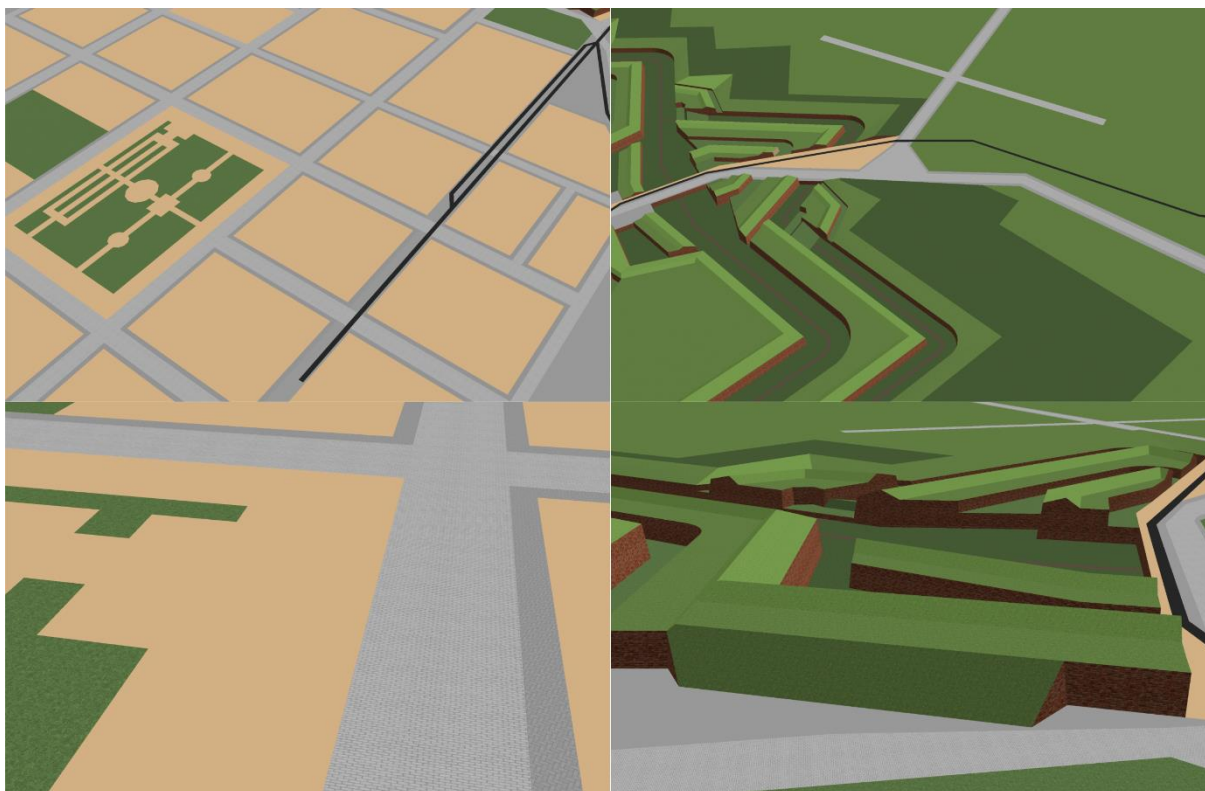
ve které jsou tyto prvky označené jako „technické“ nebo Virtuální 3D mapa pevnosti Terezín, na které jsou zobrazeny prvky typu altán, které do této kategorie mohou být také zahrnuty. Je třeba podotknout, že všechny (a i další) kategorie objektů lze nalézt na fotorealistické mapě od Melown Solutions, vzniklé pomocí fotogrammetrických metod, kde však dané třídy prvků nejsou kategorizovány, jde v tomto případě pouze o vizuální reprezentaci geografické reality.

3.5 Konkrétní příklad virtuální 3D mapy urbanizovaného území

V této podkapitole je podrobněji popsána a rozebrána Virtuální 3D mapa pevnosti Terezín. Jedná se totiž o kartografické dílo, na jehož tvorbě měl autor této práce majoritní podíl a jde tedy o praktickou ukázkou virtuální 3D mapy urbanizovaného území, viz kapitola Cíle disertační práce. Jde o použití virtuální 3D mapy pro rekonstrukční účely, protože tato mapa zobrazuje podobu pevnosti Terezín v roce 1944, která byla odlišná od její současné podoby. Také samozřejmě slouží pro prezentaci zájmového území a díky propojení v mapě zobrazených virtuálních 3D modelů s databází obsahující historická data o místech, lidech a událostech spojenými s Terezínem a 2. světovou válkou také jako zdroj informací, které uživatel může získat díky interaktivitě této mapy, a to po kliknutí na zobrazené modely a symboly.

Z kartografického hlediska byla v tomto případě použita kombinace fotorealistického a nefotorealistického konceptu kartografického vyjádření objektů v mapě. Účelem mapy je zobrazit především objekty budov, spolu s charakteristickým, uměle vytvořeným terénem, tj. opevněním obklopující město. Ukázky veškerých dále zmíněných objektů na této virtuální 3D mapě lze najít na obrázku 3-23 či na konkrétních příkladech dále.

Toto výše zmíněné opevnění je vyhotoveno v jedné úrovni detailu, která není závislá na míře přiblížení pozorovatele. V tomto případě je pro kartografické vyjádření odpovídajících součástí tohoto opevnění použito textur travnaté vegetace a zdiva, tmavě hnědošedá barva pak vyjadřuje vodní toky v rámci systému opevnění reprezentované úzkou plochou. Navíc jsou součástí 3D terénu reprezentovaného právě modelem opevnění i prvky písčitých ploch, silničních komunikací, pěších chodníků a drážní komunikace. Písčité plochy jsou v barvě okrové. Silniční komunikace jsou spolu s chodníky reprezentovány pomocí ploch s aplikovanými texturami se vzorem dlažby. Vlaková komunikace je vyjádřena pomocí černé barvy aplikované na úzkou plochu reprezentující průběh tratě. Ukázka těchto výše popsaných kartografických vyjádření částí virtuálního 3D modelu opevnění je na obrázku 3-24 níže. V něm jsou v horní části vyobrazeny vzdálenější pohledy na tento kartograficky vyjádřený virtuální 3D model, ve spodní části pak detailní pohledy na něj. Výše uvedené použití barev je příkladem asociativního používání barev v kartografii.



Obrázek 3-24 Ukázka kartografického vyjádření částí virtuálního 3D modelu opevnění pevnosti Terežín.

Klíčovými prvky této mapy jsou objekty budov. Jejich virtuální 3D modely mají dva účely. Zaprvé upoutat pozornost za pomoci jejich kartografických vyjádření a zadruhé sloužit jako 3D symbol pro interakci s uživatelem při získávání informací z modelu. Budovy, resp. stavby byly rozděleny do dvou kategorií a dle nich také kartograficky ztvárněné. Jde o kategorii důležitých budov (resp. obecně staveb, kromě budov jde např. i o vodojem, altán, vstupní brány apod.), které s sebou nesou informace o daném objektu, osobách a akcích s tímto objektem spojené a o kategorii objektů nedůležitých. Důležité objekty jsou ztvárněné barevně, nedůležité pak ve stupních šedi. To znamená, že byla použita technika zvýraznění založená na kontextu měnící styl zobrazení objektu, jak je uvedena v oddílu 2.1.2. Ukázku tohoto zvýraznění lze najít na obrázku 3-25 dále, na kterém jsou zobrazené obě kategorie budov v LOD 3, resp. LOD2, viz popis v následujícím odstavci.



Obrázek 3-25 Ukázka dvou kategorií objektů staveb dle jejich kartografického vyjádření.

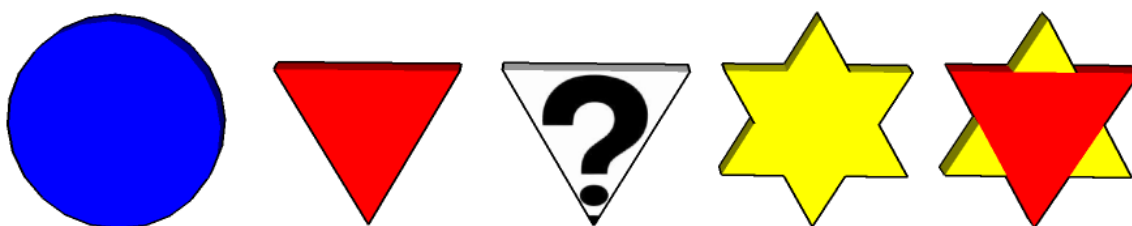
Kategorie důležitých budov zahrnuje virtuální 3D modely v úrovních detailu LOD 2 a LOD3, kategorie nedůležitých zahrnuje pouze LOD1 a LOD2 objekty. Navíc jsou oproti standardu CityGML pro nedůležité objekty, jejichž vyjádření v LOD2 je použito spolu s vyjádřením důležitých objektů v LOD3, viz obrázek 3-25 výše, zobrazeny v modelu schematicky okna a dveře budov, aby i při vzdálenějším pohledu na tyto virtuální 3D modely byl zachován dojem, že zobrazený virtuální 3D symbol odpovídá budově.

Kartografické vyjádření vegetace bylo zvoleno dvojí. Pro travnaté plochy centrálního parku, samotného opevnění a okolí města byla použita textura reprezentující travní porost ve třech barvách, viz obrázek 3-24. Co se týče vyjádření solitérní vegetace, resp. řídkého lesa či aleje kolem centrálního náměstí, byly použity symbolické varianty 3D symbolu stromu, ve smyslu prostřední varianty na obrázku 3-9. Byly vyhotoveny v několika velikostech vyjadřující stáří stromu a barvy, vyjadřující příslušnost typu olistění, tj. jehličnatý (tmavší) a listnatý (světlejší). Ukázka tohoto vyjádření je na obrázku 3-26 níže.



Obrázek 3-26 Kartografické vyjádření vegetace.

Pokud nebylo možné vyjádřit zájmový objekt, případně zájmové místo pomocí jeho virtuálního 3D modelu vycházejícího z půdorysu daného objektu, byly použity zjednodušené 3D ikony. Ty odkazující svým vzhledem na označení přítomná na vězeňských mundúrech používaných nejen v Terezíně za 2. světové války a tím pádem i na téma se kterou je použita barva a tvar spojena (krom ikony otazníku). Tyto 3D ikony jsou charakterizovány svým tvarem a barvou⁴³, viz obrázek 3-27 níže.



Obrázek 3-27 Bodově lokalizované 3D ikony s informacemi.

⁴³ Modrý kruh je spojen s obecnými událostmi nezařaditelnými do ostatních kategorií, červená barva je spojena s politickými vězni, žlutá se židy (Davidova hvězda příslušela pouze židům) a otazník upozorňuje na dodatečné informace.

Výše uvedená situace odkazující na použití různých úrovní detailu použitých virtuálních 3D modelů platila v době, kdy byl pro vizualizaci celého modelu Malé a Hlavní pevnosti Terežín používán Google Earth plugin pro webové prohlížeče, jehož podpora byla v posledních letech ukončena. Z toho důvodu se následně přešlo k vizualizaci modelu v platformě CesiumJS, viz spodní část obrázku 3-23, kde byly použity pouze modely vytvořené v LOD3 (důležité objekty) spolu s rozšířeným LOD2 (nedůležité objekty) a od zobrazování bodově lokalizovaných virtuálních 3D symbolů stromů se upustilo, aby se snížila velikost celého modelu. A to také proto, že princip nahrazování modelů na základě vzdálenosti pozorovatele od pozorovaného modelu (tj. princip měnících se úrovní detailu, viz oddíl 2.2.3) nebyl v této implementaci použit. Ukázka současné online verze virtuální 3D mapy pevnosti Terežín je zobrazena na obrázku 3-28 níže.



Obrázek 3-28 Ukázka současné online verze virtuální 3D mapy pevnosti Terežín.

Kapitola 3 se zabývala specifiky virtuálních 3D map urbanizovaného území, především z kartografické stránky věci. Evaluace v této kapitole navržené mapové symboliky je na příkladu komparativní studie porovnávající 2D a 3D varianty kartografických symbolů provedena v následující kapitole.

4 Syntéza principů tvorby virtuálních 3D map a jejich mapové symboliky na příkladu urbanizovaného území

Ve výše uvedených kapitolách byly zkoumány existující přístupy ke tvorbě virtuálních 3D map z pohledu různých autorů. Jsou v nich uvedeny konkrétní příklady návrhů symboliky objektů obsažených ve virtuálních 3D mapách urbanizovaných území, konkrétně pro téma budov, komunikací, vegetace a městského mobiliáře. V této kapitole jsou syntetizovány přístupy uvedené v předchozích částech práce, kterými se lze řídit při tvorbě právě takovýchto kartografických děl. Syntéza definovaných přístupů je v této kapitole provedena nejdříve v obecné rovině pro virtuální 3D mapy a je následovaná podkapitolou shrnující specifika virtuálních 3D map z pohledu vybraných kartografických principů. Poté tato syntéza pokračuje v souvislosti s prvními dvěma kroky tvorby virtuální 3D mapy definovanými dle Häberling et al. (2008), viz podkapitola 2.2, kterými jsou kroky modelování a symbolizace, a to na příkladu virtuální 3D mapy urbanizovaného území.

4.1 Syntéza obecných přístupů k tvorbě virtuální 3D mapy

Tím nejdůležitějším, co ovlivňuje všechny procesy tvorby virtuální 3D mapy, jsou podobně jako u klasické mapy **rozhodnutí** ohledně: **tématu mapy** (krom tématu urbanizované území uvést v mapě i další), **účelu mapy** (jakou informaci a komu ji chce autor pomocí mapy předat), **přístupu autora** k tématu (složitost a míra detailu dané mapy), **technických prostředků** autora i čtenáře (co je autor schopen vytvořit s použitím jemu dostupnému HW a SW a co je čtenář schopen pomocí jemu dostupného HW a SW zobrazit), **odborných znalostí** (nejen kartografických, či znalostí z příbuzných oborů, ale i znalostí informačních technologií obecně a to jak autora, tak i čtenáře), **doménové znalosti** (pro oblast tématu mapy) a **individuality jedince** (jeho preference, sociální, kulturní a náboženské kořeny apod.). Všechna výše uvedená rozhodnutí se ovlivňují navzájem a je nutné najít jejich „optimální“ kombinaci pro dosažení zamýšleného výsledku, viz podkapitola 2.1.

Virtuální 3D mapy obecně obsahují konstrukční, neboli **matematické prvky** (např. typ použitého promítání, souřadnicový systém, kompozice mapy, atd.) a **topografické prvky** (fyzicko-geografické prvky jakými jsou reliéf terénu, vodstvo, půdní pokryv a socioekonomické prvky jakými jsou hranice, sídla, dopravní sítě; doplňkové prvky) a v neposlední řadě **prvky tematické**.

Nejpoužívanějšími kartografickými technikami u těchto map jsou **abstrakce** (realistická vs. symbolická podoba symbolu či znaku), **zvýraznění** (potlačení méně důležitých prvků vs. zvýraznění těch nejdůležitějších) a **projekce** (mezi 2D a 3D vyjádřením), viz oddíl 2.1.1 a podkapitola 3.2.

Zásadní vlastností virtuální 3D mapy je její **interaktivita** (umožnění interakce mezi uživatelem a počítačem) především díky užití interaktivního **pohybu** ve virtuální 3D scéně. K tomu patří i využívání nástrojů **grafického uživatelského prostředí** pro usnadnění čitelnosti virtuální 3D mapy, tj. jejímu **porozumění**, viz oddíl 2.1.3 a podkapitola 3.3.

Rozšíření používaných **dimenzí ze dvou na tři** (případně na čtyři se zapojením časové složky) v rámci virtuálních 3D mapových děl je jejich zásadní přidanou hodnotou. Toto rozšíření by však mělo být používáno dostatečně, ale ne nadbytečně, aby nedocházelo k přílišnému grafickému zatížení mapy, což je zároveň i jejich nejzásadnější negativní vlastnost; viz podkapitola 2.1.

4.2 Syntéza specifík virtuálních 3D map z pohledu principů kartografických děl

V této podkapitole jsou uvedena a shrnuta specifika virtuálních 3D map z pohledu vybraných principů kartografických děl.

Základní zásady tvorby kartografických děl, které jsou uvedeny v podkapitole 1.2, resp. v Kaňok (1999) či Voženílek & Kaňok et al. (2011), jsou platné i pro virtuální 3D mapy. A to díky tomu, že virtuální 3D mapa je chápána jako součást množiny map, pro které tyto zásady platí. Lze však v rámci těchto zásad uvést následující specifika pro virtuální 3D mapy:

- Pokud jde o řešení zásady jednoty, tak díky záležitosti nestejněměrného „měřítka“ v rámci virtuální 3D mapy, shodné objekty a jevy nemusí být shodně znázorněny v rámci pohledu na virtuální 3D scénu, a to například v případě použití principů LOD či LOA, viz oddíl 2.2.3. Příkladem může být situace zobrazená na obrázku 4-1 níže, kdy objekty blíže k pozorovateli jsou zobrazeny detailněji (viz pravá spodní část obrázku 4-1 – budova má zobrazená okna) a objekty dále od pozorovatele jsou zobrazeny méně detailně (viz horní část obrázku 4-1 – budovy nemají vyobrazená okna);



Obrázek 4-1 Příklad různého zobrazení stejných objektů ve virtuální 3D scéně.

- Díky zobrazování objektů a jevů v jejich přirozené (či jí co nejvíce podobné) podobě pomocí 3D symbolů vzniklých na základě půdorysů objektů se zvyšuje úroveň porozumění dané mapě. Nicméně takovéto symboly není možné vyjádřit v legendě mapy. Zprvč proto, že každý z těchto objektů je jiný a zadruhé proto, že uživatel mění libovolně pohled na zobrazené objekty a tím jejich vzhled mění. Pro objekty, které jsou vyjádřeny obecným symbolem označujícím příslušnost objektu k dané kategorii, viz zjednodušený symbol kostela na obrázku 3-3 vpravo, platí především druhý důvod. Nicméně co se týče prvního důvodu, ten pro tyto zjednodušené symboly neplatí a teoreticky by bylo možné jejich kartografická vyjádření umístit do legendy mapy. Toto specifikum ovlivňuje zásadu srozumitelnosti;
- Pokud jde o řešení zásady generalizace, ta je u jednotlivých virtuálních 3D modelů zahrnuta nejčastěji v rámci použití principů LOD či LOA, viz oddíl 2.2.3. Jedná se o použití jak datové, tak kartografické generalizace;
- Složité prostorové vztahy se dají díky povaze virtuálních 3D map (dimenze dat, měřítko, volnost pohledu na zobrazené objekty) zobrazit názorněji, než ve dvourozměrném případě. Především jde o vzájemný vztah blízkých objektů, který musí být ve 2D mapě řešen kartografickými úpravami (posun znaku, vynechání znaku atd.) a tím pádem se tento vztah změní.

Výše uvedená specifika ohledně základních zásad kartografických děl v souvislosti s virtuálními 3D mapami lze shrnout tak, že všechny tyto zásady jsou platné v kontextu toho, jak je toto kartografické dílo chápáno. Některé zásady jsou díky vlastnostem virtuálních 3D map jednodušeji implementovatelné (např. srozumitelnost), některé je naopak obtížnější dodržet (např. jednoduchost).

Kartografický znak je elementárním prvkem každého kartografického díla a tak i specifika těchto znaků zde jsou zmíněna. Jak je uvedeno v podkapitole 1.4, Voženílek (1999) definoval vlastnosti kartografických znaků, které by měly být při jejich tvorbě brány v úvahu, tj. komunikovatelnost, názornost, interpretovatelnost a komprimovatelnost. Vzhledem k tomu, že virtuální 3D mapa je chápána jako podmnožina map, tak tyto vlastnosti kartografických znaků jsou pro ni samozřejmě také platné. Specifická je však ona komprimovatelnost. Díky povaze 3D symbolu jsou možnosti zhuštění informace mnohem větší, než v případě 2D znaků, a to díky tomu, že jako takový je obvykle složený z několika ploch a každá z nich může komprimovat jiné informace. Navíc je zde zásadní interaktivita virtuální 3D mapy, která uživateli umožňuje pozorovat 3D symbol ze všech stran a tak získat více informací o objektu, který reprezentuje, než by tomu bylo u dvourozměrné podoby znaku, ať by byla jakákoliv. Například v případě 3D symbolu budovy lze ve virtuální 3D mapě získat informace o počtu a rozložení oken budovy na všech jeho stěnách. Pokud by byl objekt vyjádřen ve dvourozměrné mapě, vždy jde o grafické vyjádření objektu v rovině mapy, což oproti prostorovému 3D symbolu značně redukuje množství ve znaku obsažených informací.

Grafické, neboli vizualizační proměnné definované v Bertin (1967,1983) či Halik (2012), které jsou přehledně vyobrazeny na obrázku 1-3, jsou aplikovatelné i na kartografická vyjádření 3D symbolů ve virtuálních 3D mapách. Nicméně díky interaktivitě této mapy jsou tyto proměnné, resp. jejich hodnoty, závislé na úhlu a vzdálenosti od objektů pohledu pozorovatele vůči v mapě zobrazeným objektům. Příkladem grafických proměnných měnících se v závislosti na pohledu na zobrazené objekty mohou být tvar, velikost, orientace, rozlišení či perspektivní výška.

Dalším faktorem přítomným u virtuálních 3D map může být i vliv atmosférických jevů, jako je zobrazení nebeské klenby, mraků, mlhy, ale především osvětlení v rámci zobrazené virtuální 3D scény. Toho využívají tzv. techniky osvětlování a stínování objektů (pracující s osvětlením a s ním souvisejícím vrháním stínu, odrazy světelných paprsků apod.). Pomocí těchto technik lze ve virtuální 3D scéně ovlivnit vzhled vyobrazených objektů, což ovlivňuje také některé grafické proměnné uvedené na obrázku 1-3, např. barevný tón, sytost či jas. Jedná se například o techniky „texture mapping, bump mapping, environment mapping“ a další, viz oddíl 2.1.2 či Chen (2007).

4.3 Syntéza konkrétních přístupů u vybraných kroků tvorby virtuální 3D mapy urbanizovaného území

Vybrané kroky tvorby virtuální 3D mapy urbanizovaného území jsou v tomto případě krok zahrnující modelování objektů, případně jevů, které budou zobrazeny v mapě (definování tvaru a dimenze objektů) a krok zahrnující symbolizaci zobrazených objektů (definování jejich kartografického vyjádření, tj. vzhledu). Tyto dva kroky spolu velice úzce souvisí, a proto jsou v této části kapitoly zmíněny. Třetím krokem, tj. vizualizací (přímo tedy vykreslování virtuální 3D mapy na obrazovce) se tato práce zabývala jen velmi okrajově, a proto v této části není zmíněna. Tato podkapitola vychází především z textu podkapitoly 2.2.

Nejdůležitějšími a nejčastějšími zobrazovanými prvky na těchto mapách jsou: **reliéf** zobrazovaného území, **budovy** (stavby), **komunikace** (cestní síť), prvky **vegetace** a **městského mobiliáře**; viz oddíl 2.1.1 a podkapitola 3.1.

4.3.1 Modelování

Díky povaze virtuálních 3D map, kdy je zobrazováno rozsahem poměrně malé území, lze tyto mapy chápat jako mapy velkého, případně středního měřítka. Od této vlastnosti jsou odvozeny předpoklady týkající se **přesnosti prostorového zaměření objektů** (která může být velmi vysoká) či **míry a velikosti měřených detailů** na objektech nebo jejich částech. Čím podrobnější jsou zdrojová data či finální podoba 3D symbolu, tím náročnější je tento krok z pohledu času a dalších komodit. Věrnost zobrazení virtuálních 3D modelů objektů souvisí tedy s jejich geometrickou komplikovaností, která je daná především metodou, jakou byla pořízena zdrojová data pro modelování, postupem tvorby geometrické podoby virtuálního 3D modelu, účelem a finální podobou konkrétního 3D symbolu vzniklého v následujícím kroku.

Obecně lze říci, že virtuálním 3D modelům je v tomto kroku postupně přiřazovaná jejich podrobnost a to v souvislosti s principem LOD. Ten vymezuje čtyři základní úrovně podrobnosti geometrické podoby virtuálního 3D modelu. Nejdříve je definován **základní vymezení objektu** (půdorys modelu, tj. LOD0), **přibližný tvar objektu** (blokové vyjádření modelu, tj. LOD1), pak jsou vyobrazeny **markantní znaky daného objektu** (kostelní věž, typická barva, nápis apod., tj. LOD2) na základě účelu mapy a poslední fází je vymodelování objektu v jeho **plném detailu** (zahrnující části objektu, které jsou viditelné při přiblížení se k objektu, tj. LOD3). Tyto kroky souvisí s vyjádřením exteriéru objektu, jeho vnější formy, dalším krokem by tedy logicky bylo vyjádření jeho vnitřních částí, tj. LOD4.

Předpoklady pro modelování zájmových objektů uvedené v předchozím textu lze shrnout do následujících bodů:

- Symboly by měly být co nejvíce podobné reálným objektům (u těch objektů, které jsou důležité na základě tématu mapy);
- Symboly by měly být co nejjednodušší (především u těch méně významných objektů v mapě);
- Pro tvorbu symbolu by mělo být použito co nejmenší počet polygonů (aby se snížila velikost zobrazovaných dat v mapě);
- Symboly by měly být vytvořeny ve skutečných dimenzích reprezentovaného objektu, nebo jako znaky mimoměřítkové, tj. jejich velikost neodpovídá danému „měřítku“ mapy (viz obrázek 3-3 v oddílu 3.2.1);
- Je nutno brát v potaz vlastnosti malých objektů či detailních částí na objektech;
- Návrh a vzhled symbolů musí odpovídat požadavkům uživatele (tj. důraz na způsob využití vytvořeného modelu).

Tyto výše uvedené předpoklady však nezřídka jdou proti sobě a je tedy třeba hledat mezi nimi kompromisní řešení vhodné pro konkrétní téma a účel virtuální 3D mapy.

4.3.2 Tvorba mapové symboliky

V tomto kroku se přiřazuje kartografická podoba geometrickému modelu vytvořenému v předchozím kroku. Tato podoba závisí především na **složitosti výchozích geometrických modelů**, na složitosti (ve smyslu **míry detailu**) **finálních podob 3D symbolů** a **cílenou věrností virtuálních 3D modelů jako reprezentací existujících objektů** (ovlivněné účelem mapy), viz podkapitola 2.3.

Výše uvedené závislosti jsou spojené také s **mírou přiblížení uživatele** (čtenáře mapy) k zobrazovaným objektům (viz analogie měřítka mapy popsána v oddílu 2.1.1). Přístupy ke kartografickému vyjádření virtuálních 3D modelů obsažených v mapě na základě míry detailu lze rozdělit na (viz Hájek et al. (2016)):

- Přístupy pro virtuální 3D modely s maximální mírou detailu, tj. pro ty, které jsou zobrazené při blízkém pohledu na ně:
 - Výběr rozměrů, dimenze a způsobu vyjádření všech zobrazených objektů (jako bodového/liniového/plošného či objemového symbolu) a povrchů (TIN/GRID);
 - Vhodná vyjádření objektů tak, aby byly jednoduše rozeznatelné mezi objekty stejné či jiné kategorie (vrstvy);
 - Respektování již zaužívaných kartografických principů takovým způsobem, aby se model podobal skutečnému objektu co nejvíce.
- Přístupy pro virtuální 3D modely při méně detailním pohledu, tj. pro ty, které jsou zobrazené dále od polohy pozorovatele:
 - Použití zjednodušujících či model nahrazujících technik (LOA, resp. LOD) pro zajištění vhodného grafického zatížení 3D mapy ve všech potenciálních mírách detailu.

Je třeba doplnit, že výše uvedené pohledy vůči pozorovanému objektu, tj. blízký a vzdálenější, jsou ve virtuální 3D scéně v rámci obecného pohledu na zobrazovanou situaci přítomny společně, viz oddíl 2.2.3.

Podoba, respektive **vzhled jednotlivých kartograficky vyjádřených virtuálních 3D modelů** (tj. **3D symbolů**) je založen na dvou konceptech: **fotorealistickém** a **nefotorealistickém**. V rámci fotorealistického konceptu je vzhled modelů založen na použití fotorealistických textur (analogie s ortofotosnímky) pro definování vzhledu 3D symbolů. Takovéto modely jsou „věrným“ zobrazením skutečného stavu a poskytují pouze takové informace, které jsou obsažené v použitých texturách, tj. neobsahují symboliku. Nefotorealistický koncept (neboli symbolický) vyjadřuje podobu 3D symbolů pomocí kartografických vyjadřovacích prostředků (tedy pomocí symboliky), které mohou přinášet uživateli přidanou informační hodnotu; viz oddíl 2.2.2.

V souvislosti s rozdělením geometrických podob virtuálních 3D modelů uvedeném v předchozím oddílu 4.3.1 je v tomto kroku třeba říci, že pro **každou úroveň podrobnosti** geometrického modelu (viz základní vymezení objektu, přibližný tvar objektu, markantní znaky a vymodelování objektu v plném detailu) lze zvolit jeho **jiné kartografické vyjádření**. Tento fakt ovlivňuje samozřejmě i použití grafických proměnných, kdy např. u LOD0 mohou vyjádřit výšku daného objektu pomocí grafické proměnné, ale u blokového vyjádření objektu v LOD1 je toto již zbytečné.

Rozhodnutí o volbě způsobu symbolizace je odvislé nejen od výše uvedených záležitostí či od stylových faktorů uvedených v podkapitole 2.1, ale také na samotném nástroji použitém pro vizualizaci virtuální 3D mapy. Nástroj je třeba volit tak, aby vyhovoval zamýšlenému účelu dané virtuální 3D mapy. Tento nástroj totiž může zásadně ovlivňovat funkcionalitu dané mapy, např. z hlediska objemu dat, se kterými je schopen pracovat, což následně může negativně ovlivnit i interaktivitu celé mapy nebo je schopen načíst a pracovat s určitým datovým formátem dat či s určitým vyjádřením virtuálních 3D modelů (pouze bez textur apod.). Tento faktor je tedy také třeba brát v potaz při volbě způsobu kartografického vyjádření objektů na virtuální 3D mapě. Otázkou zůstává, zda takový vhodný nástroj splňující všechny na něj kladené požadavky existuje. Pokud ne, je třeba hledat kompromisy v požadavcích a hledat použitelné funkční implementace nástrojů pro vizualizaci virtuální 3D mapy.

V této čtvrté kapitole byla provedena unikátní syntéza principů tvorby virtuálních 3D map spolu s uvedením specifik virtuálních 3D map z pohledu vybraných kartografických principů. Na příkladu urbanizovaného území byly pak syntetizovány poznatky ohledně modelování a tvorby symboliky na těchto mapách. Následující kapitola se zabývá návrhem, implementací a vyhodnocením experimentů, zkoumajících vnímání a práci s dvourozměrnými a trojrozměrnými znaky vytvořenými dle návrhů a postupů tvorby mapové symboliky uvedených v kapitolách 2 a 3.

5 Evaluace mapové symboliky pro virtuální 3D mapy urbanizovaného území

V této kapitole jsou popsány experimenty, na kterých jsou ověřeny různé aspekty principů pro virtuální 3D mapy se zaměřením na kartografickou stránku vyjádření urbanizovaného území. V první části této kapitoly je popsána metodika, která je v rámci této části práce použita a pomocí které jsou řešeny výzkumné otázky. Ty jsou uvedeny v další části této kapitoly. Pro položené výzkumné otázky jsou jako podklady pro jejich zodpovězení navrženy konkrétní experimenty, zkoumající reakce a odpovědi respondentů pomocí on-line dotazníkového šetření. Toto dotazníkové šetření je následně v další podkapitole vyhodnoceno.

5.1 Metodika pro experimenty zkoumající evaluaci přístupů k tvorbě mapové symboliky virtuálních 3D map urbanizovaných území

Metody vědeckého výzkumu lze definovat z několika možných úhlů pohledu. Lze dělit metody dle jejich objektivitvy či subjektivitvy (dle míry možného záměrného ovlivnění výsledků výzkumu ať už výzkumníkem anebo respondentem), dle kontextu použití výzkumných metod (výzkum v přirozeném prostředí, v laboratorních podmínkách apod.) nebo dle kvalitativního/kvantitativního hlediska metod.

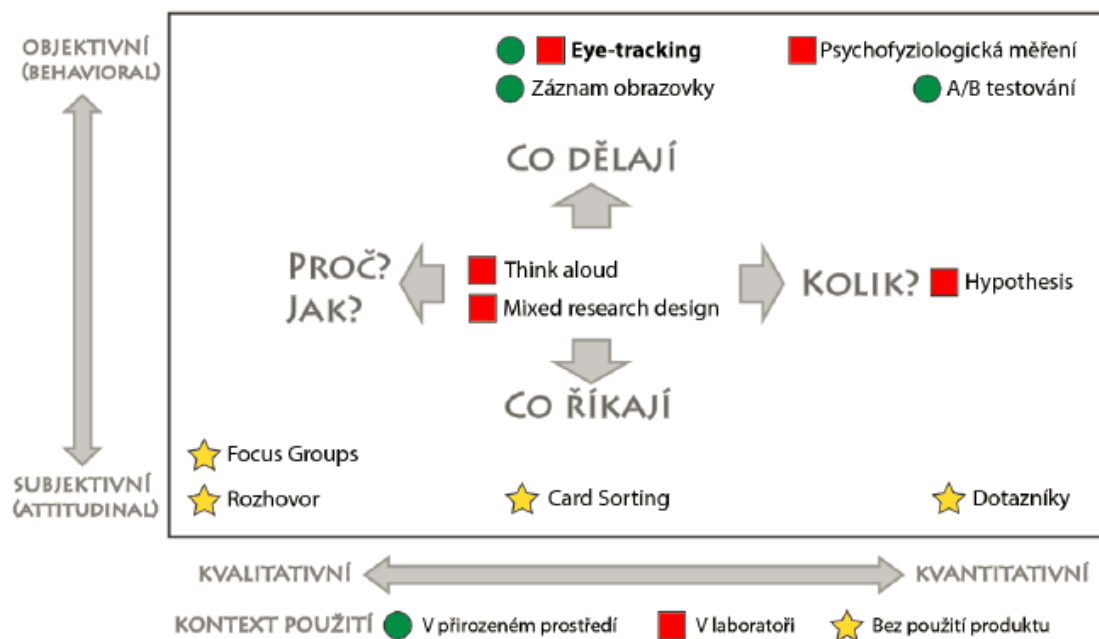
Hendl (2008) rozebírá kvalitativní a kvantitativní výzkumy, přičemž z tohoto zdroje čerpají následující dva odstavce.

V případě kvalitativního výzkumu se na jeho počátku vybere téma a určí se základní výzkumné otázky. Tyto otázky se však v průběhu výzkumu, tj. v jakékoliv jeho fázi, mohou pozměnit a doplnit. Výzkumník vyhledává a analyzuje jakékoliv informace, které přispívají k osvětlení výzkumných otázek a provádí dedukci (vyvozování nových tvrzení z obecného k jednotlivému při dodržování pravidel logiky) a indukci (poznání vycházející z empiricky zjištěných faktů, dospívající k obecným závěrům) ke zjištění závěrů provedeného výzkumu⁴⁴. Často výzkumník diskutuje s účastníky (respondenty) výzkumu o svých závěrech a jejich názory zohledňuje v probíhajícím výzkumu a jeho výsledcích. Díky tomuto přístupu nelze následně tyto výzkumy plně replikovat a také se kvalitativní přístup nedá příliš formalizovat. V kvalitativním výzkumu je typickým cílem výzkumníka nalézt oblasti, ve kterých by bylo možné zkoumaný „produkt“ zlepšit. V případě této práce může být takovýmto produktem i virtuální 3D mapa. Typickými příklady otázek pro respondenty v této formě výzkumu jsou otázky typu: „Všimnou si respondenti zobrazeného prvku?“, „Budou se orientovat v daném prostředí?“, „Je řešení úlohy snadné/složité pro respondenty?“ a podobně.

⁴⁴ Více o dedukci a indukci viz <http://nb.vse.cz/kfil/win/atlas1/indukce.htm>

V případě kvantitativního (neboli sumativního) výzkumu se používají náhodné výběry, experimenty a strukturovaný sběr dat. Takto získaná data jsou následně analyzována pomocí statistických metod. Cílem této analýzy je zjistit, popsat, případně ověřit pravdivost představ a předpokladů o vztahu mezi zkoumanými (sledovanými) proměnnými. V rámci kvantitativního výzkumu jsou zkoumány varianty zkoumaného „produktu“ (jevu, vlastnosti atd.) a testování vhodnosti variant „produktu“ pro respondenty jako takové, nebo pro testování odvozených proměnných respondenty (rychlost odezvy, správnost odpovědi na otázku na podkladě různých variant „produktu“ apod.). Základní charakteristikou kvantitativních experimentů je to, že výzkumník úmyslně přivodí změnu určité situace či zkoumaného „produktu“ a následně sleduje změnu chování respondentů na tento podnět. Jinými slovy výzkumník manipuluje s nezávislými proměnnými zakomponovanými v experimentech a měří změnu zvolených závislých proměnných (kauzální vztah příčina – následek). Následně jsou získaná data vyhodnocena pomocí statistické analýzy. Typickými příklady otázek výzkumníka v této formě výzkumu jsou otázky typu: „Jaká varianta produktu je vhodnější pro řešení úkolu?“, „Ve které variantě se respondenti rychleji orientují nebo rozhodují?“ a podobně.

Metody výzkumu uživatelských zkušeností (UXRM neboli „User Experience Research Methods“), jejichž dělení bylo popsáno na počátku této podkapitoly, jsou přehledně shrnuty na obrázku 5-1 níže (převzat z Popelka (2018), upraven dle Rohrer (2014)). Na něm jsou zobrazena nejen hlediska dělení výzkumných metod (míra objektivity, kontext, kvalita/kvantita), ale také příklady konkrétních forem těchto výzkumů spolu s převládajícími otázkami, pomocí kterých hledají dané výzkumy odpověď. Detailní popis jednotlivých metod je uveden v Popelka (2018). Formy výzkumu využití v této práci jsou popsány dále a jejich realizace pak uvedena v podkapitole 5.3.



Obrázek 5-1 Diagram rozdělení výzkumných metod na základě tří hledisek dle Popelka (2018).

Během provádění experimentů obsažených v rámci výzkumu je třeba brát v potaz jejich základní charakteristiky, které se dle Ferjenčík (2000) týkají:

- Manipulace s nezávislou proměnnou, tj. s předpokládanou příčinou;
- Měření závislé proměnné, tj. zjištění předpokládaného efektu či důsledku;
- Kontrola všech jiných intervenujících proměnných, které by mohly alternativně vysvětlovat změny závislé proměnné.

Základní manipulovanou proměnnou v případě této práce je změna dimenze zobrazení (2D vs. 3D), závislá proměnná je čas, který se měří při řešení úkolů vztažených na jednotlivá zobrazení, a také podíl správných a špatných odpovědí na zadané otázky, viz podkapitola 5.3. Nejzásadnější záležitostí při provádění experimentů je kontrola intervenujících proměnných. Ferjenčík (2000) uvádí přehled nejčastěji se vyskytujících intervenujících proměnných, jakými jsou historie událostí (bezprostřední měření závislé proměnné bezprostředně po působení nezávislé proměnné), experimentální mortalita (úbytek respondentů v průběhu experimentu), přirozený vývoj a učení (vývoj respondentů v delším časovém horizontu), reaktivita pokusných osob či očekávání experimentátora. Tento výčet může pokračovat dále, obecně se dá říci, že cokoliv, co může respondenta ovlivnit a mít tedy vliv na měření závislé proměnné, je intervenující proměnnou.

Způsobů, jak redukovat vliv těchto intervenujících proměnných je několik. První z nich je prostá eliminace dané proměnné, tj. odstranění nežádoucích vlivů na respondenta. To však nemusí být vždy možné provést. Pokud není možné takovou proměnnou eliminovat, je možné se jí pokusit stabilizovat, aby byla v průběhu experimentu konstantní a aby tedy všichni respondenti byly ovlivněni stejnou měrou po dobu experimentu. Ve skutečnosti však nikdy nebude zcela možné všechny intervenující proměnné z experimentů vyřadit. Pokud ano, mohla by nastat situace, kdy výsledky těchto experimentů by byly aplikovatelné na zcela konkrétní a unikátní podmínky a závěry odvozené z těchto experimentů by nebyly aplikovatelné do reálných situací, samozřejmě v závislosti na typu a formě experimentu.

Druhy experimentů lze dle Ferjenčík (2000) rozlišit také z pohledu jejich naplánování a implementace, tj. na základě způsobu, jak přiřadit respondenty k jednotlivým nezávislým proměnným, které experimentátor zvolí (změní). Buď jsou pro všechny respondenty dostupné všechny nezávislé proměnné, potom jde o tzv. vnitro subjektový plán experimentu (neboli „within-subject experiment“). Nebo je pro každého respondenta dostupná jen vybraná nezávislá proměnná, pak jde o tzv. mezi subjektový plán experimentu (neboli „between-subject experiment“). Podrobný popis těchto variant je uveden v Ferjenčík (2000) či Popelka (2018). Na obrázku 5-2 dále je přehled klíčových vlastností obou výše uvedených plánů experimentů (převzat z Popelka (2018)).

	Within-subject experiment	Between-subject experiment
Definice	Všichni respondenti vidí všechny varianty	Každý respondent vidí pouze jednu variantu
Hlavní problém	Learning effect	Interindividuální rozdíly
Počet respondentů	Nižší všichni jsou v jedné skupině	Vyšší potřeba více skupin po X respondentech
Délka experimentu	Delší	Kratší
Porovnání variant	Respondenti mohou porovnat varianty mezi sebou	Respondenti nemohou porovnat varianty mezi sebou

Obrázek 5-2 Přehled klíčových vlastností within-subject a between-subject plánů experimentů dle Popelka (2018).

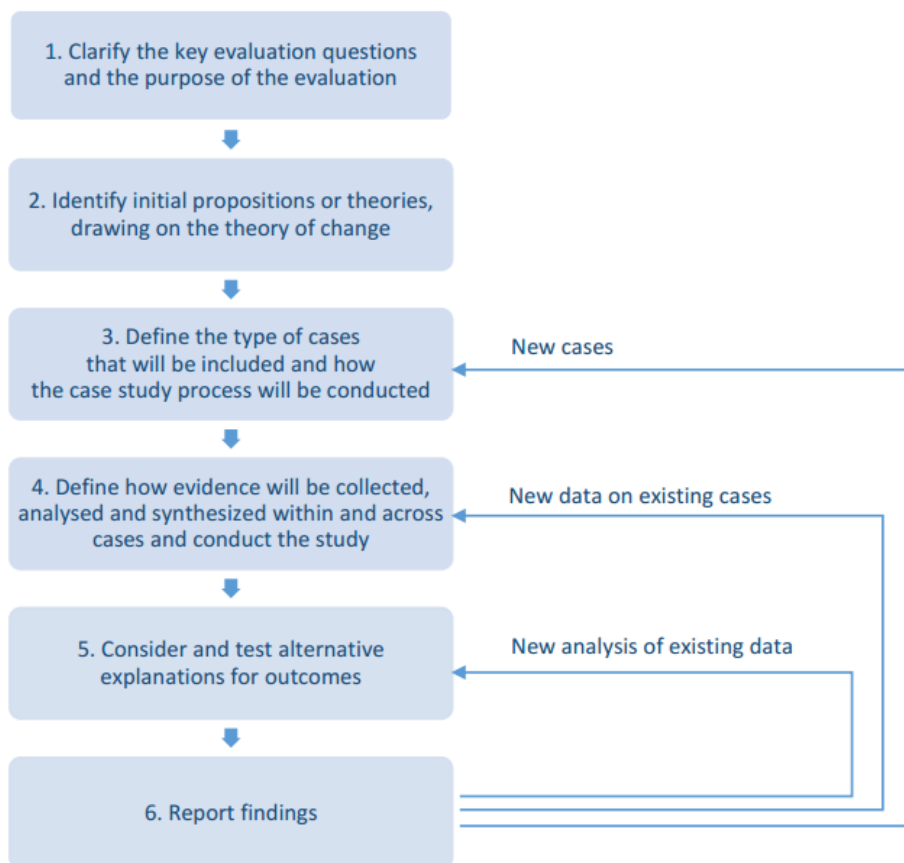
Experimentální část této práce je založená na výše uvedeném textu a především na metodice pro komparativní (srovnávací) případové studie tak, jak je uvedena v Goodrick (2014), viz obrázek 5-3 dále. Zde je uvedeno, že „srovnávací případové studie jsou obzvláště užitečné pro pochopení a vysvětlení, jak kontext ovlivňuje úspěch intervence do studie a jak lépe přizpůsobit intervenci do konkrétního kontextu pro dosažení zamýšlených výsledků“. Tento typ studie se hodí pro porovnávání kartografických principů mezi 2D a 3D mapou. Navíc lze dle Morra & Friedlander (1990) hovořit o ilustrativní/demonstrativní („illustrative“) či průzkumné („exploratory“) případové studii. Porovnávání mezi 2D a 3D reprezentacemi je založené na grafických příkladech (demonstrativní část studie) a na jejich základě bude možné přijít s novými otázkami (průzkumná část studie). Případová studie je založena na šesti dále uvedených krocích (upraveno dle Goodrick (2014)), přičemž kroky 3 až 6 jsou iterativní v závislosti na nově zjištěných skutečnostech získaných při provádění studie:

1. Upřesnění KEQ („key evaluation questions“ – klíčové otázky evaluace) a účel evaluace;
2. Definování počátečních tvrzení nebo teorií;
3. Definování typ případů, které budou ve studii zahrnuty a jak bude případová studie probíhat;
4. Určení, jak budou důkazy shromažďovány, analyzovány a syntetizovány v rámci jednotlivých případů studie;
5. Zvážení a vyzkoušení alternativních vysvětlení výstupů;
6. Sepsání výsledků.

Grafické vyjádření (v originálním jazyce) výše uvedených bodů je uvedeno dále na obrázku 5-3 dále (převzat z Goodrick (2014)).

Pro tuto práci lze výše uvedenou metodiku konkretizovat následujícím způsobem:

1. Účelem experimentů je získání informací pro zodpovězení výzkumných otázek uvedených v následující podkapitole a zkoumání, zda navržené přístupy k tvorbě mapové symboliky pro virtuální 3D mapy urbanizovaného území (viz podkapitola 3.2) jsou vhodně navrženy;
Klíčové otázky evaluace přístupů k tvorbě výše zmíněné mapové symboliky:
 - a. Jaké kartografické principy platné ve 2D lze převzít bez úprav do 3D?
 - b. Jaké kartografické principy platné ve 2D lze převzít po úpravách do 3D?
 - c. Jaké kartografické principy jsou specifické pro 3D?
 - d. Jsou mezi rozdílnými 2D a 3D reprezentacemi urbanizovaného území nějaké vztahy, případně jaké?
2. Počáteční tvrzení: Vzhledem ke komplexnosti skutečného trojrozměrného světa a jeho 3D reprezentace ve virtuálních 3D mapách je třeba počítat s novými principy, které ve 2D reprezentaci není třeba řešit. Tyto nové principy jsou zkoumány na podkladě již platných a užívaných principů, které lze převzít či upravit. Předpokladem je, že díky 3D reprezentaci objektů těchto mapách nebude nutné objekty (či jejich modely) tolik zjednodušovat, ale na druhé straně bude zátěž čtení mapy právě komplexnost a množství zobrazených informací;
3. Případová studie je zaměřena na tvorbu virtuálních 3D map urbanizovaných území, především na řešení kartografického vyjádření symbolů, které se na těchto mapách vyskytují. Tyto znaky reprezentují objekty, se kterými je možné se v urbanizovaném území setkat, viz podkapitola 3.1. Jsou řešeny rozdíly ve dvourozměrném a trojrozměrném vyjádření shodných prvků. Návrh tvorby mapové symboliky pro tyto prvky je uveden v podkapitole 3.2;
4. Analýza je provedena pomocí porovnávání výsledků u jednotlivých map urbanizovaných území (resp. mezi 2D a 3D variantami zobrazení prvků vyskytujících se na těchto mapách) v souvislosti s výše uvedeným tvrzením a předpokladem. Ověření navržených přístupů tvorby symboliky pro vybraná témata prvků na virtuálních 3D mapách urbanizovaných území je zkoumáno na základě provedených experimentů v rámci on-line dotazníkového šetření. Kvantifikace výsledků experimentů je založena na statistickém i empirickém vyhodnocení výsledků experimentů skrze základní nulovou hypotézu.
Základní nulová hypotéza H_0 zní: „**Není rozdíl mezi 2D a 3D verzemi daného experimentu, obě varianty experimentu jsou vyřešeny stejně korektně**“.
Alternativní hypotéza H_A : „Je rozdíl mezi 2D a 3D verzemi daného experimentu, obě varianty experimentu nejsou vyřešeny stejně korektně“.
5. Vyhodnocení komparativní případové studie, včetně zkoumání alternativních hypotéz;
6. Seepsání výsledků



Obrázek 5-3 Návrh případové studie dle Goodrik (2014).

Z hlediska předpokladů, které jednotlivé testy hypotézy kladou na testovanou náhodnou veličinu, lze testy hypotéz rozdělit na dvě skupiny. Na parametrické testy („parametric tests“) a neparametrické testy („non-parametric tests“). Jako parametrické testy jsou označovány ty testy, k jejichž odvození je nutné pro daný výběr specifikovat typ rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny (v některých případech i parametry tohoto rozdělení). Jako neparametrické testy jsou označovány ty, k jejichž odvození není nutné pro daný výběr specifikovat typ rozdělení.

Čím nižší hladina významnosti α pro daný statistický test (tj. čím vyšší spolehlivost testu) bude zvolena, tím širšího oboru přijetí bude dosaženo. Tato hodnota hladiny významnosti se nazývá p-hodnota („p-value“). P-hodnota je tedy nejnižší hladina významnosti, na níž lze nulovou hypotézu zamítnout a zároveň nejvyšší hladina významnosti, na níž se již nulová hypotéza nezamítá. Více informací o testování hypotéz lze nalézt v Popelka (2018) či Litschmannová (2011).

Konkrétní použití a vyhodnocení statistických testů zkoumající čas a především správnost odpovědí na jednotlivé otázky on-line dotazníkového šetření je uvedeno v podkapitole 5.4.

5.2 Konkrétní výzkumné otázky vztahující se k evaluaci mapové symboliky pro virtuální 3D mapy urbanizovaných území

V předchozí kapitole této práce byly rozebírány virtuální 3D mapy urbanizovaných území z pohledu jejich obsahu. Byly uvedeny konkrétní návrhy pro tvorbu mapové symboliky těchto map a příklady přístupů k jejich realizaci na konkrétních ukázkách 3D symbolů či jiných možných kartografických vyjádřeních. V této podkapitole jsou položeny výzkumné otázky, na které se podkapitola 5.4 snaží hledat odpovědi skrze provedené experimenty, které jsou popsány v podkapitole 5.3.

Základní otázka zní: Za jakým účelem vytvářet mapy urbanizovaného území ve 3D? Odpovědí může být, že jejich účelem je zobrazení urbanizovaného území v jeho přirozené (3D) podobě a využití těchto map je možné všude tam, kde právě tato přirozená podoba věci přináší užitek.

Výzkumná otázka související s tématem této práce je následující: Co je pro virtuální 3D mapy urbanizovaného území z kartografického pohledu vhodné? Tato otázka může být rozdělena na celou řadu dalších, na které bude tato práce pomocí experimentů hledat odpovědi. Níže jsou uvedeny dílčí kartograficky zaměřené výzkumné otázky. Tento seznam samozřejmě není vyčerpávající a lze navrhnout celou řadu dalších výzkumných otázek, viz kapitola 6.

Seznam výzkumných otázek řešených v dalších částech této práce je následující:

- A. Existují úlohy, které lze na dvourozměrné a trojrozměrné podobě mapy řešit s větším úspěchem? Pro jaké je vhodnější 2D podoba, pro které naopak 3D podoba mapy?
- B. Jsou symbolická (resp. ta, která jsou používána pro 2D mapy) vyjádření objektů vhodná pro jejich zobrazení na virtuální 3D mapě? Existují vhodnější varianty vyjádření objektů na virtuální 3D mapě?
- C. Jaké reprezentace objektů z pohledu dimenze (0D, 1D, 2D, 3D) jsou vhodné pro různé prvky na virtuálních 3D mapách?
- D. Jaké jsou alternativy pro virtuální 3D mapu ke klasické legendě uváděné na 2D mapách?

Aby bylo možné odpovědět na výše uvedené otázky, jsou navrženy experimenty, na jejichž statistických i empirických závěrech jsou dané otázky zodpovězeny. Tyto experimenty jsou realizovány ve zjednodušené formě, nejsou reprezentací virtuální 3D mapy ve smyslu jejího pojetí uvedeného v podkapitole 1.1. Experimenty jsou zaměřeny na elementární části kartografických přístupů uvedených v podkapitole 3.2, jakými jsou např. bodové, liniové, plošné a trojrozměrné vyobrazení objektů na dvourozměrném a trojrozměrném podkladě. Veškeré objekty vyobrazené v rámci experimentů v podkapitole 5.3, vyjma těch, které byly použity v rámci experimentu A (viz popis tohoto experimentu v oddílu 5.3.1), jsou smyšlené, ať už se jedná o prvky reliéfu, vegetace, komunikací apod.

5.3 Návrh a implementace konkrétních experimentů

Pro potřeby řešení výzkumných otázek jsou navrženy experimenty uvedené v dalších oddílech této podkapitoly. Návrhy experimentů čerpají z předešlých částí této práce a ze zkušeností autora získaných mimo jiné také z jeho zapojení do řešení projektů. Příklady výstupů z jednoho z nich jsou uvedeny v publikacích Hájek et al. (2013), Hájek et al. (2014), Hájek et al. (2015), Hájek et al. (2016) a Vichrová et al. (2015).

Experimenty samotné jsou realizovány formou dotazníkového on-line šetření dostupného na webové stránce <http://3dmapa.kgm.zcu.cz>. Tento on-line dotazník je vytvořen za pomoci následujících technologií:

- Jazyk HyperText Markup Language (HTML)⁴⁵ pro tvorbu webových stránek;
- Jazyk JavaScript⁴⁶, což je interpretovaný programovací jazyk pro webové stránky;
- Jazyk PHP⁴⁷, což je skriptovací programovací jazyk pro programování dynamických webových stránek;
- Knihovna X3DOM⁴⁸ je knihovna napsaná v jazyce JavaScript, využívající přímého vložení datové struktury Extensible 3D (X3D) do kódu webové stránky. X3D je formát pro deklarativní reprezentaci trojrozměrné počítačové grafiky založený na jazyce Extensible Markup Language (XML). Je vhodný pro vkládání 3D scén (tj. geometrie a chování 3D objektů) přímo do HTML kódu webové stránky. Data ve formátu X3D jsou ovládány a modifikovány pomocí Document Object Model (DOM), což je objektově orientovaná reprezentace XML nebo HTML dokumentu, umožňující přístup či modifikaci obsahu, struktur, nebo stylu dokumentu a jeho částí.

Úvodní částí dotazníkového šetření je sběr informací o respondentovi (informace typu pohlaví, věk, vzdělání, míra zkušeností s počítači, s mapami obecně či konkrétně s virtuálními 3D geovizualizacemi) spolu s vygenerováním unikátního náhodného číselného identifikátoru⁴⁹ pro každého respondenta dotazníku. Tento identifikátor slouží k rozlišení jednotlivých respondentů ve sběrných tabulkách, do kterých se ukládají informace získané v další části dotazníkového šetření v rámci konkrétních experimentů, jejichž přehled je uveden v oddílech této podkapitoly.

⁴⁵ Více viz <https://www.w3.org/html>

⁴⁶ Více viz <https://www.javascript.com>

⁴⁷ Více viz <http://php.net/>

⁴⁸ Více viz <https://www.x3dom.org/>

⁴⁹ Pomocí tohoto identifikátoru (ani pomocí ostatních poskytnutých informací) nelze jednoznačně určit osobu, která dané dotazníkové šetření prováděla, a to ve smyslu legislativního nařízení EU „General Data Protection Regulation“ (GDPR), viz <http://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-9565-2015-INIT/en/pdf>

Zásadní částí dotazníkového šetření je poté řešení samotných experimentů respondenty. Tyto experimenty, resp. otázky v těchto experimentech jsou strukturovány shodně a každá z otázek je na samostatné webové stránce. Struktura těchto otázek je následující:

- Označení daného experimentu, tj. Experiment A až F. Po tomto písemném označení následuje za dvojtečkou téma daného experimentu (viz jednotlivé oddíly této podkapitoly);
- Otázka na respondenta vztažená k obrázku či virtuální 3D scéně, která je uvedena na dané webové stránce pod zadáním otázky;
- Obrázek (v případě 2D varianty experimentu) či virtuální 3D scéna (v případě 3D varianty experimentu) vložené do webové stránky;
- Formulář pro sběr odpovědi na výše uvedenou otázku, tj. řešení otázky na základě výše uvedeného obrázku nebo virtuální 3D scény. A to buď ve formě přepínače („radio button“), zaškrťovacího políčka („checkbox“) či volného textu („plain text“);
- Při přechodu na další stránku dotazníku jsou uloženy odpovědi respondenta do strukturovaných souborů (viz dále) a případně i informace ke 3D scéně (typicky čas a poloha kamery při změně pohledu respondenta ve virtuální 3D scéně), pokud se na dané stránce 3D scéna vyskytovala.

V rámci jednotlivých experimentů je několik řešených otázek (vždy se jedná o sudý počet otázek), které jsou respondentem řešeny. Jde o řešení shodné či velice obdobné otázky nejdříve na podkladě dvourozměrného vyjádření dané situace a poté na podkladě trojrozměrného vyjádření dané situace. Jsou řešeny responzivní časy odpovědí pro každou otázku, u trojrozměrných variant se zaznamenává také pohyb kamery ovládané respondentem v rámci virtuální 3D scény.

Veškerá data pro 2D i 3D varianty podkladů použita pro řešení otázek v rámci experimentů (tj. tvorba obsahu 2D obrázků a virtuálních 3D scén) byla vytvořena pomocí modelovacího softwaru typu 3D CAD s názvem SketchUp. Pro 3D varianty experimentů byly vytvořené virtuální 3D modely exportovány do formátu Collada (značené jako *.DAE) a konvertovány do formátu vhodného pro X3DOM technologii popsanou výše, tj. do formátu X3D. Tato konverze byla provedena pomocí softwaru Blender⁵⁰. Pro 2D varianty experimentů byly ze SketchUpu exportovány rastrové ekvivalenty zobrazující zájmovou situaci jako ortogonální průměty při pohledu shora.

⁵⁰ Více viz <https://www.blender.org/>

Odovědi respondentů a informace o virtuální 3D scéně jsou ukládány do strukturovaných, tzv. „comma-separated values“ (CSV) souborů za každý experiment, respektive pro každou otázku dotazníku. Z těchto CSV souborů je následně provedeno statistické vyhodnocení daných otázek v rámci jednotlivých experimentů. Přehled těchto vyhodnocení je uveden v přílohách této práce, viz kapitola Přílohy disertační práce. Informace o pohybu kamery v rámci virtuální 3D scény ovládané respondentem jsou získávány na základě metody zaznamenávání pohybu či jiných akcí v rámci obrazovky (tzv. „screen logging“), a to při každé změně pohledu uživatele v rámci dané virtuální 3D scény, zvolení a zapsání odpovědi na otázku či přechodu na další stránku. Čas je počítán od úplného načtení dané webové stránky obsahující každou jednotlivou otázku.

Struktura a funkcionality výše zmíněného dotazníku je odvozena od webového nástroje vytvořeného RNDr. Lukášem Hermanem⁵¹ z Geografického ústavu Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně (zdrojový copyright: © 2016 – 2018 Lukáš Herman, Geografický ústav, Přírodovědecká fakulta, Masarykova univerzita v Brně; <http://olli.wz.cz/webtest>). Tento nástroj byl použit například v rámci praktických experimentů, ze kterých čerpají publikace Kubíček et al. (2017), Juřík et al. (2017), Herman & Řezník (2015) či Herman et al. (2017). Podrobnější informace o předchozí verzi tohoto nástroje vytvořeného Lukášem Hermanem lze najít v Herman (2013b).

Dle dělení výzkumných metod v podkapitole 5.1 lze níže uvedené experimenty charakterizovat jako kombinace metody záznamu obrazovky a dotazníku, jak jsou uvedeny na obrázku 5-1. Z tohoto obrázku lze jasně odvodit, že navržené experimenty jsou kombinací kvalitativního a kvantitativního výzkumu, stejně tak jako kombinací subjektivních a objektivních metod. Jako plán experimentů byl zvolen „within-subject experiment“, a to díky povaze nástroje pro realizaci těchto experimentů. Tento nástroj je šířen pomocí internetu a experimentátor tedy nemá možnost ovlivňovat celou řadu intervenujících proměnných, včetně počtu respondentů. Tato skupina respondentů je tedy specifická (mají přístup k internetu) a hovoříme tedy o tzv. záměrném výběru respondentů (další druhy statistického zjišťování viz Litschmannová (2011) obrázek 2.2). Navíc je dotazník svojí povahou zatížen i tzv. výběrovou chybou, respondenti účastníci se výzkumu totiž dostatečně nereprezentují celou populaci, a to ani svým počtem, ani svým rozložením. Na druhé straně se však tyto respondenti účastní výzkumu zcela dobrovolně a mohou jej kdykoliv ukončit, a to záleží především na jejich motivaci dotazník dokončit, což je ovlivněno zvědavostí a zaujatostí respondentů, náročností řešení otázek v rámci dotazníku apod.

Co se týče minimálního počtu respondentů nutného k zajištění věrohodnosti formativního výzkumu, lze tento počet získat na základě pravděpodobnostních modelů. Jeden z nich je založen na pravděpodobnosti události a počtu opakování, přičemž se sleduje výsledná pravděpodobnost, kdy daná událost (pozorování jevu) nastane v N opakováních (pozorováních) alespoň jednou, viz Sauro & Lewis (2016). Výpočty počtu respondentů pro různé hladiny pravděpodobnosti

⁵¹ <https://is.muni.cz/osoba/herman.lu>

pozorování a různé pravděpodobnosti alespoň jednoho pozorování události uvádí Popelka (2018) či je možné použít k výpočtu on-line kalkulačku těchto hodnot⁵². Při zvolení 95% pravděpodobnosti alespoň jednoho pozorování události a zároveň při pravděpodobnosti pozorování 5% je dle uvedených zdrojů výsledný reprezentativní počet 59 respondentů (zaokrouhleno na celého respondenta). K tomuto minimálnímu počtu respondentů tedy výše uvedené dotazníkové šetření cílí.

Základní manipulovanou nezávislou proměnnou v případě dále uvedených experimentů je změna dimenze zobrazení (2D vs. 3D), závislá proměnná je čas, který se měří při řešení úkolů vztahených na jednotlivé reprezentace, resp. poměr správných a špatných odpovědí na jednotlivé otázky. Navíc jsou respondenti vystaveni i dalším proměnným, které experimentátor mění v průběhu experimentu. Těmi jsou výběr z množiny či z podmnožin (řešení otázek nad celou množinou přípustných odpovědí vs. z jejich podmnožin) a alternace rozhodných částí otázek, na které respondenti odpovídají (hledání nejvyššího vs. nejnižšího objektu, hledání poměru mezi hodnotami A k B vs. B k A) mající za cíl minimalizovat vliv učení respondentů a udržet jejich pozornost.

Každý z níže navržených experimentů zkoumá jednoduchost řešení, resp. čas získání odpovědi na danou otázku v rámci experimentu a správnost této odpovědi. Experimenty jsou koncipovány se zaměřením na nalezení odpovědi na konkrétní otázku na podkladu 2D či 3D vyjádření dané situace/fenoménu a na jejich základě, resp. na základě vyhodnocení výsledků jednotlivých otázek a experimentů, jsou řešeny následující záležitosti:

- Získávání informace o časové náročnosti odpovědi na danou otázku spolu s korektností zvolené odpovědi s ohledem na účel a provedení (konfiguraci) experimentu;
- Porovnávání vybraných kartografických vyjadřovacích metod, konkrétně bodových, liniových a plošných prvků ve smyslu jejich dvourozměrných a trojrozměrných vyjádření;
- Odvozování závěrů z jednotlivých experimentů pomocí statistického vyhodnocení i induktivního odvození;
- Odvozování závěrů z jednotlivých experimentů pro zodpovězení klíčových otázek evaluace, viz podkapitola 5.1 a výzkumných otázek v podkapitole 5.2;
- Potenciální úpravu prvotních tvrzení uvedených v podkapitole 5.1, resp. potenciální úprava návrhu tvorby mapové symboliky pro virtuální 3D mapu urbanizovaného území, jak je uveden v podkapitole 3.2.

Celkem bylo provedeno 6 experimentů (každý experiment zahrnuje minimálně jednu 2D a 3D variantu otázky na téma, které se v daném experimentu řeší), ve kterých bylo respondentům položeno celkem 16 otázek. Seznam, popis a ukázky jednotlivých experimentů včetně konkrétních otázek v experimentech jsou uvedeny v následujících oddílech.

⁵² Dostupný na https://measuringu.com/problem_discovery/

5.3.1 Experiment A: Nalezení konkrétního typu stavby

Otázka:

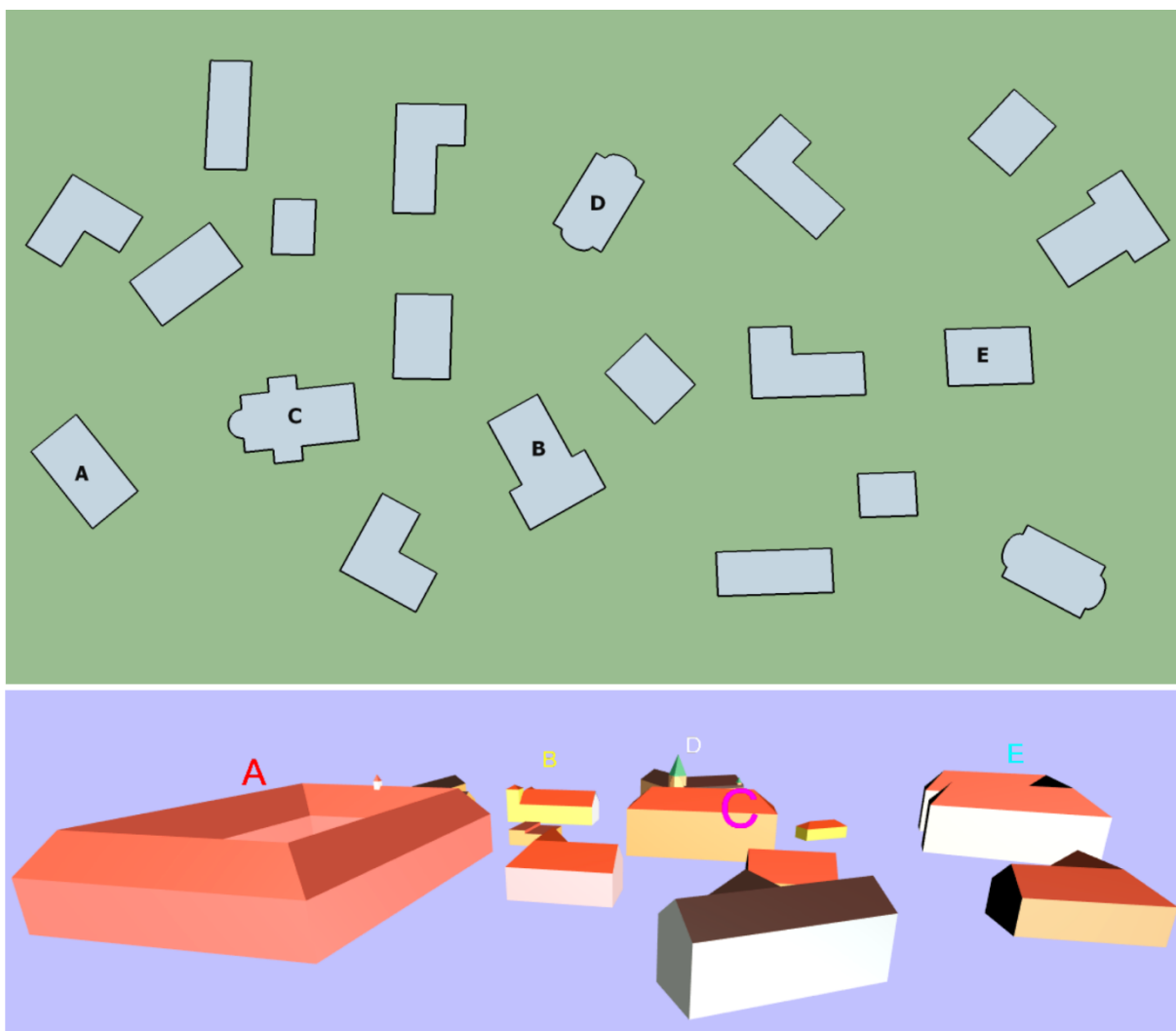
- 2D varianta (otázka 1): Které budovy zobrazené svým půdorysem na obrázku níže reprezentují církevní budovu?
- 3D varianta (otázka 2): Které budovy zobrazené ve virtuální 3D scéně níže reprezentují církevní budovu?

Úvaha pro tento experiment:

At' jde o dvourozměrnou či trojrozměrnou variantu kartografického vyjádření, samotná geometrie prvků nemusí být vždy jednoznačná a pro jednoznačné určení prvků na mapě je třeba použít dalších kartografických vyjadřovacích metod pro předání korektní informace uživateli. V tomto případě by se mohlo jednat o bodový symbol reprezentující církevní stavbu vztažený ke konkrétní reprezentaci budovy.

V tomto experimentu se předpokládá, že kulturní kořeny respondentů ovlivní jejich odpovědi na výše uvedené otázky. Dalo by se říci, že typické půdorysy církevních staveb (konkrétně kostelů apod.) jsou v našich končinách obecně známé a stejně tak i představa stavby s věžičkou spojenou s církevní stavbou. Nicméně tento experiment chce ukázat to, že takovéto premisy nemusí být vždy platné a že samotná geometrie zobrazených objektů nemusí být vždy dostatečná pro správné čtení daného znaku či symbolu. Pro 2D variantu tohoto experimentu byly použity předobrazy reálných existujících staveb (Libeňská synagoga, kostel sv. Ludmily oboje v Praze; Husův chrám, Stará a Velká Synagoga, kostel sv. Jana Nepomuckého v Plzni), které jsou církevními svatbami, ale jejich půdorysy nemusí být vždy korespondující s obecnou představou tvaru církevních staveb. Stavby zobrazené ve trojrozměrné variantě tohoto experimentu nejsou církevními svatbami, jde o vybrané budovy z virtuálního 3D modelu města Terezín vytvořené v rámci projektu „Krajina paměti, Drážďany a Terezín jako místa vzpomínek na ŠOA“, viz např. Hájek et al (2015).

Ukázky experimentu A jsou na obrázek 5-4 obrázku 5-4 dále (2D varianta experimentu v horní části obrázku, 3D varianta experimentu ve spodní části obrázku).



Obrázek 5-4 Ukázky experimentu A.

Správné odpovědi pro obě otázky 1 i 2 experimentu A v souvislosti s úvahou popsanou výše jsou možnosti označené jako „Nelze rozhodnout“.

5.3.2 Experiment B: Zjištění velikosti prvků

Otázka:

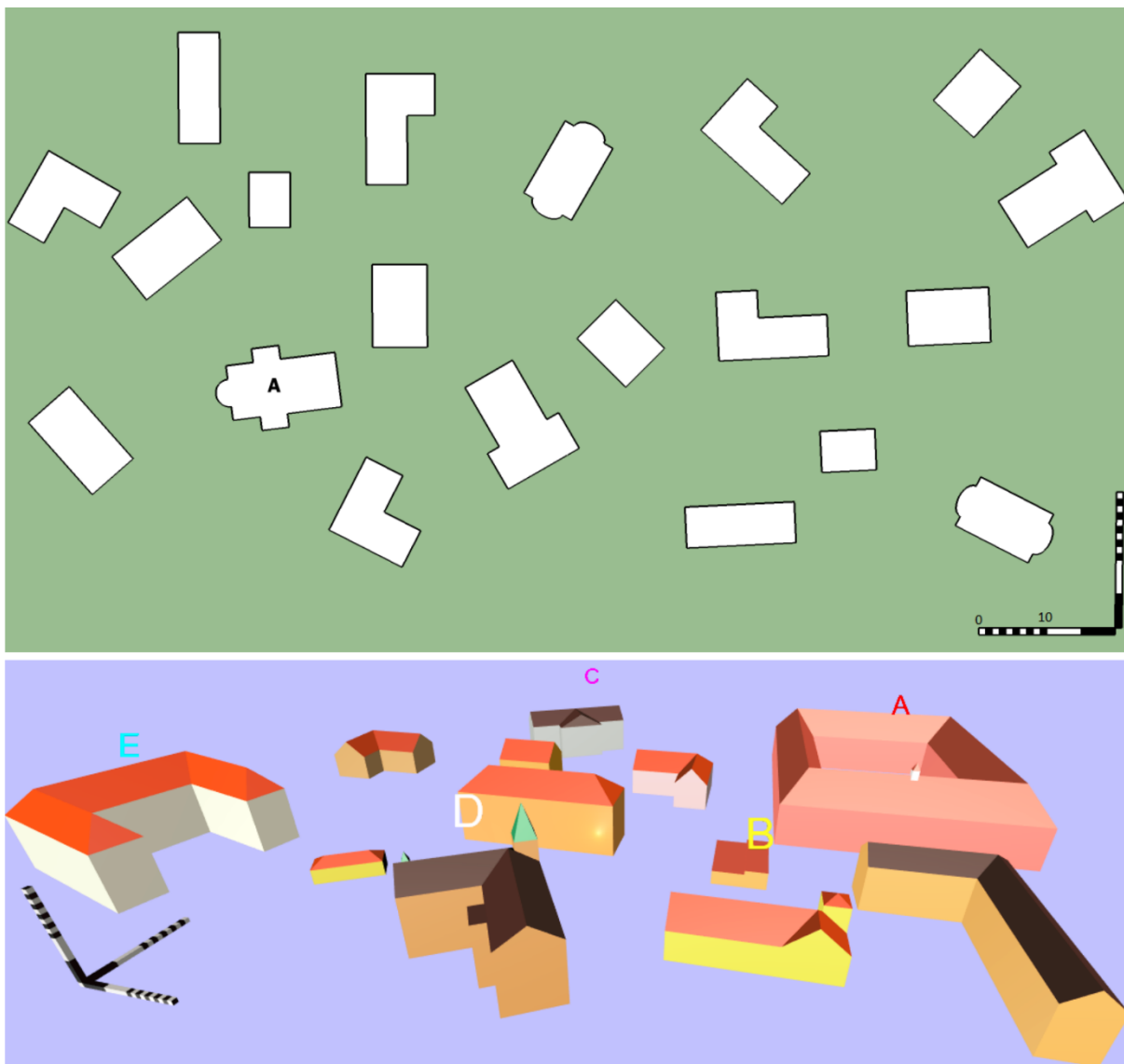
- 2D varianta (otázka 3): Jakou plochu zabírá půdorys objektu A zobrazený na obrázku níže?
- 3D varianta: (otázka 4): Jakou plochu zabírá půdorys objektu D zobrazený ve virtuální 3D scéně níže?

Úvaha pro tento experiment:

V tomto experimentu je předpokládáno, že odpověď na 2D variantu dotazu bude rychlejší, než u 3D varianty, tj. jde o potenciální výhodu 2D vyjádření skutečnosti oproti její 3D variantě. A to především ze dvou důvodů. Zaprvé díky kolmému pohledu shora na dané půdorysy ve 2D variantě experimentu, je tento způsob vyjádření bez zkreslení tvaru zobrazených objektů, protože je použito ortogonální promítání s rovnoběžnými promítacími přímkami. Oproti tomu perspektivní promítání situace ve 3D variantě experimentu, u které promítací přímky vycházejí ze středu promítání, zkresluje tvar zobrazených 3D objektů. Tyto jevy se projevují nejen u tvaru objektů reprezentující budovy, ale také na tvaru dvojosého (ve 2D variantě), resp. trojosého (ve 3D variantě) kříže reprezentujícího měřítko pro zjištění velikosti objektů na obrázku, resp. ve virtuální 3D scéně. Druhým důvodem je forma zobrazení dat, resp. pohled na zobrazená data pro řešení výše uvedených otázek. Pro určení plochy půdorysu vybrané budovy ve 3D variantě experimentu se předpokládá, že finální pohled na objekt ve virtuální 3D scéně bude shora. Posun pohledu kamery z výchozí polohy kamery na zobrazené 3D objekty do pohledu shora zabere čas, který je u 2D varianty experimentu samozřejmě nulový.

Z tohoto experimentu lze odvodit další informaci ještě před jeho realizací v rámci on-line dotazníku. V tomto případě totiž jde o výhodu 2D varianty zobrazení dat oproti jejich 3D variantě, kdy u 2D varianty experimentu je množství zobrazených informací dostatečné pro zodpovězení uvedené otázky. 3D varianta experimentu obsahuje nadbytečné množství dat a informací, které nejsou pro řešení otázky důležité a tudíž znesnadňují její zodpovězení. Konkrétně jde v tomto případě o samotnou 3D geometrii zobrazených objektů, která zakrývá nezbytně nutnou část dat pro zodpovězení otázky, tedy samotné půdorysy. Navíc se zajisté v rámci 3D varianty tohoto experimentu projeví některá ze statických monokulárních vad spojena s perspektivním promítáním, která jsou uvedena v oddílu 2.2.3.

Ukázky experimentu B jsou na obrázku 5-5 dále (2D varianta experimentu v horní části obrázku, 3D varianta experimentu ve spodní části obrázku).



Obrázek 5-5 Ukázky experimentu B.

Správné odpovědi na otázky experimentu B jsou:

- Otázka 3 – 150 m² (2D varianta);
- Otázka 4 – 608,45 m² (3D varianta).

5.3.3 Experiment C: Orientace ve dvourozměrném a trojrozměrném prostoru

Otázky:

- 2D varianta (otázka 5 a 6): Který z objektů na obrázku níže je svým půdorysem položen nejvýše? Který z vybraných objektů (A, B, C, D, G) na obrázku níže je svým půdorysem položen nejvýše?
- 3D varianta (otázka 7 a 8): Který z objektů ve virtuální 3D scéně umístěné níže je svým půdorysem položen nejnižší? Který z vybraných objektů (A, B, C, E, F) ve virtuální 3D scéně umístěné níže je svým půdorysem položen nejvýše?

V tomto experimentu jsou otázky jak pro 2D variantu, tak pro 3D variantu po dvou, tudíž celkem 4 otázky v rámci experimentu C. Nejdříve jsou položeny obě 2D varianty otázek (nad shodným obrázkem), následně pak obě 3D varianty otázek (nad shodnou virtuální 3D scénou). Otázky jsou koncipovány tak, aby byla prověřena nejen pozornost respondenta (nerovnoměrné střídání řešení nejvýše vs. nejnižší položeného objektu a rozdílné zájmové objekty u druhých otázek každé z variant, viz otázky výše), ale také aby se respondent zaměřil z řešení „globální“ situace (pro všechny objekty ve scéně) i na řešení „lokální“ situace (jen pro vybrané objekty, které jsou vyjmenované v rámci dané druhé otázky každé varianty).

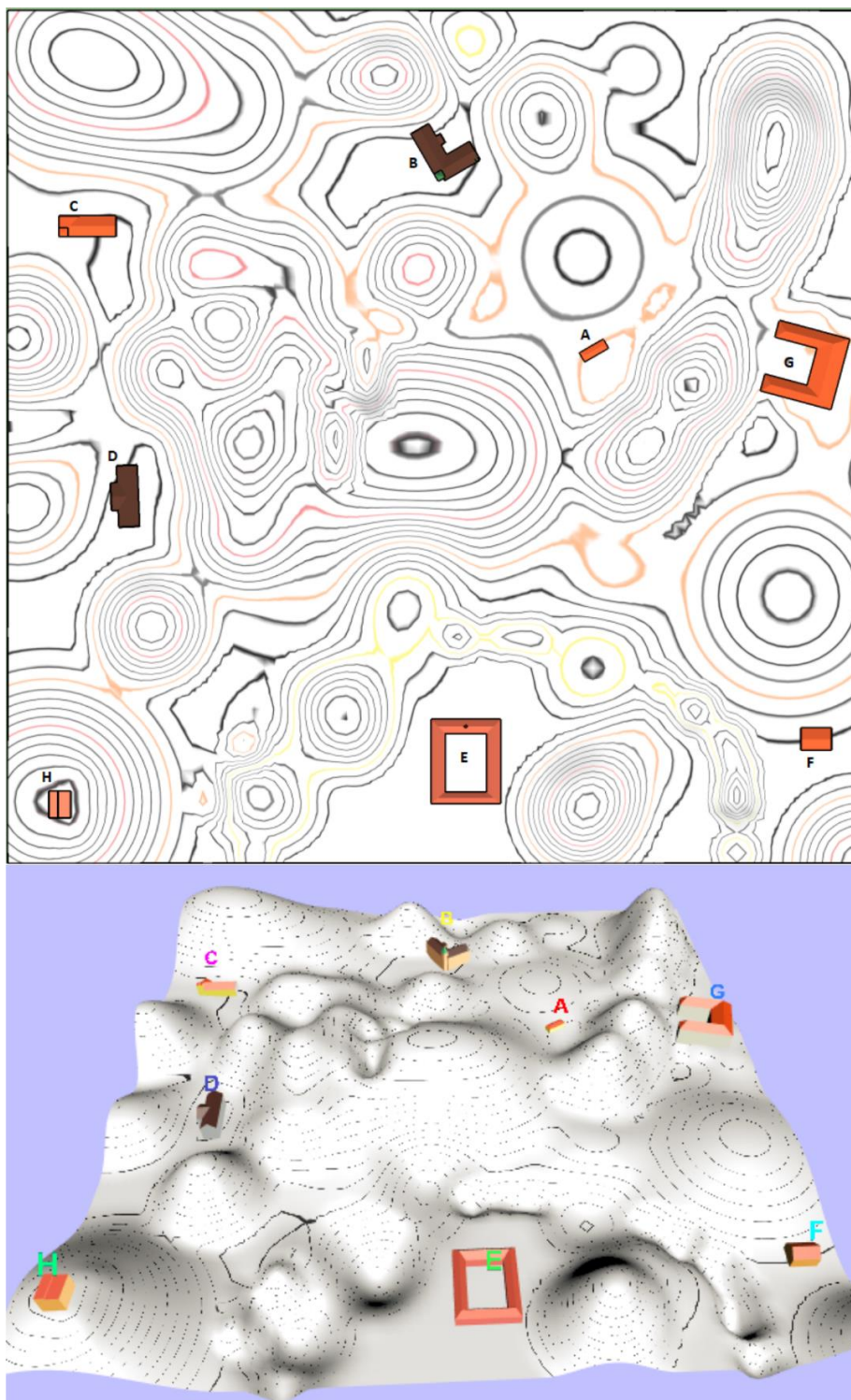
Úvaha pro tento experiment:

Zobrazení terénu hraje v tomto experimentu zásadní roli. Předpokládá se, že odpověď na 3D varianty dotazů bude rychlejší, než zodpovězení jejich 2D variant, tj. potenciální výhoda 3D vyjádření skutečnosti oproti její 2D variantě vyjádření.

Vyobrazení terénu ve dvourozměrném prostoru nutí uživatele (čtenáře mapy) k transformaci modelu reality, která je reprezentovaná na 2D ploše, do jeho prostorové podoby pomocí svého mozku. Tento úkon však pro uživatele nemusí být vždy jednoduchý a jednoznačný, záleží na vhodnosti a komplikovanosti jeho kartografického vyjádření. V případě 2D variant výše uvedených otázek je třeba pro jejich vyřešení nejdříve vytvořit podobu terénu na základě informací o vrstevnicích a následně odečíst hodnoty relativních výšek pro jednotlivé objekty.

Trojrozměrné zobrazení terénu je co do velikosti zobrazených dat komplikovanější, ale poskytuje uživateli podobu jevu, který je jeho vnímání bližší a nenutí ho transformovat zobrazený model reality do jiné podoby. V případě 3D variant výše uvedených otázek postačuje k jejich zodpovězení pouze manipulace s virtuálním 3D modelem ve virtuální 3D scéně.

Ukázky experimentu C jsou na obrázku 5-6 dále (2D varianta experimentu v horní části obrázku, 3D varianta experimentu ve spodní části obrázku).



Obrázek 5-6 Ukázky experimentu C.

Správné odpovědi na otázky experimentu C jsou:

- Otázka 5 – H, otázka 6 – G (2D varianty);
- Otázka 7 – D, otázku 8 – A (3D varianty).

5.3.4 Experiment D: Potenciální výhoda trojrozměrného kartografického vyjádření oproti dvourozměrnému

Otázka:

- 2D varianta (otázka 9): Mezi jakou kombinací budov vyjádřených půdorysy na obrázku níže je přímá viditelnost, respektive mezi jejich vrcholky definovanými žlutými tečkami?
- 3D varianta (otázka 10): Pro jaké budovy ve virtuální 3D scéně níže je přímá viditelnost mezi žlutými koulemi umístěnými na jejich hřebenech?

Úvaha pro tento experiment:

V tomto experimentu hraje zásadní roli nejen samotný terén, resp. jeho vyjádření, ale také 3D geometrie zkoumaných objektů, tj. budov. U obou variant tohoto experimentu není uživateli předem známá informace, mezi jakými objekty má být přímá viditelnost zkoumána. Vybrané kombinace jsou definované až ve formuláři pro odpověď na danou otázku, který je umístěn pod řešeným obrázkem, resp. virtuální 3D scénou. Dá se očekávat, že uživatelé, kteří si všimnou omezeného výběru variant odpovědí, budou dané otázky řešit rychleji než ti, kteří budou zkoumat všechny možné kombinace viditelnosti mezi vyobrazenými objekty.

Ve 2D variantě experimentu jsou definované relativní výšky jednotlivých zkoumaných bodů (jako jejich vzdálenost od půdorysu budovy, zjednodušeně řečeno nad terénem) a respondent musí řešit tedy nejen výšku samotného terénu, která je v tomto experimentu vyjádřena pomocí barevné stupnice výškových vrstev s konstantním rozstupem (tzv. hypsometrické stupnice či metoda barevných výškových vrstev, viz Voženílek & Kaňok et al. (2011)). K ní musí brát v potaz i právě relativní výšku jednotlivých zkoumaných bodů nad terénem. Z těchto údajů pak odhadnout, zda existuje přímá viditelnost mezi zkoumanými body, jejichž kombinace je uvedena ve formuláři pro sběr odpovědí pod obrázkem.

Ve 3D variantě experimentu lze řešit přímou viditelnost mezi zadanými 3D objekty jednoduše pomocí manipulace s virtuálním 3D modelem ve virtuální 3D scéně. Očekává se, že řešení 2D varianty bude pro respondenty obtížnější jak časově, tak i v souvislosti s počtem správných odpovědí, než u 3D varianty tohoto experimentu.

Ukázky experimentu D jsou na obrázku 5-7 dále (2D varianta experimentu v horní části obrázku, 3D varianta experimentu ve spodní části obrázku).



Obrázek 5-7 Ukázky experimentu D.

Správné odpovědi na otázky experimentu D jsou:

- Kombinace C-D, D-E (2D varianta), nicméně jsou tyto kombinace určeny dle výchozího virtuálního 3D modelu použitého ve 3D variantě, takže v tomto případě lze za alternativně správnou odpověď považovat i zvolení možnosti „Nelze rozhodnout“, viz text ke 2D variantě tohoto experimentu výše;
- Kombinace B-G (3D varianta).

5.3.5 Experiment E: Dvourozměrné a trojrozměrné vyjádření vegetace

Otázky:

- 2D varianta (otázka 11 a 12): Jaký je poměr plochy mezi listnatými a jehličnatými lesy zobrazenými pomocí dvourozměrných symbolů stromů na obrázku níže? Jaký je poměr plochy mezi listnatými a jehličnatými lesy zobrazenými pomocí dvourozměrné plochy na obrázku níže?
- 3D varianta (otázka 13 a 14): Jaký je poměr objemu mezi jehličnatými a listnatými lesy zobrazenými ve virtuální 3D scéně níže pomocí 3D symbolů? Jaký je poměr objemu mezi jehličnatými a listnatými lesy zobrazenými ve virtuální 3D scéně níže pomocí 3D povrchu?

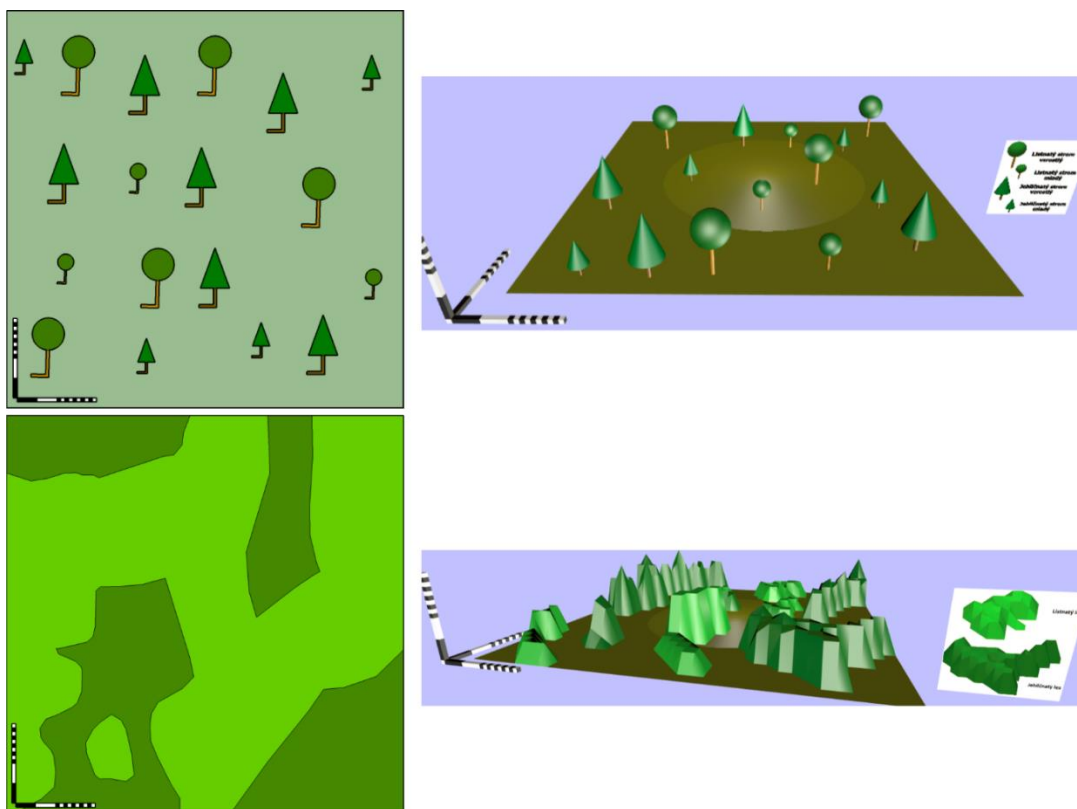
V tomto experimentu jsou otázky jak pro 2D variantu, tak pro 3D variantu po dvou, tudíž celkem 4 otázky v rámci experimentu E, obdobně jako u experimentu C výše. Stejně jako u experimentu C jsou nejdříve položeny obě 2D varianty otázek, následně pak obě 3D varianty otázek. Avšak na rozdíl od experimentu C je v tomto případě pro každou otázku použit jiný podkladový obrázek a jiná virtuální 3D scéna, viz obrázek 5-8 dále. Otázky jsou koncipovány tak, aby byla prověřena nejen pozornost respondenta (střídání poměru mezi listnatými a jehličnatými lesy a poté mezi jehličnatými a listnatými, viz otázky výše), ale také tak, aby se respondent zamyslel nad vhodností zvoleného kartografického vyjádření v souvislosti s danými otázkami (řešení odhadu plochy či objemu/kubatury lesa).

Úvaha pro tento experiment:

V tomto experimentu hraje zásadní roli kartografické vyjádření vegetace. To je navrženo v prvních otázkách obou variant tak, že na základě bodově lokalizovaných znaků (jak pro 2D tak 3D variantu) se má odhadnout plocha, resp. objem lesa. Předpokládá se trojí možnost řešení těchto otázek založené na zkušenostech respondenta. Je-li respondent seznámen s principy interpolace, může usoudit, že bodově lokalizované znaky jsou možnými „zdroji informace“ a že z jejich rozložení a velikosti lze odhadnout rozložení plochy, resp. masy lesa. Pokud respondent není seznámen s tímto principem, může uvažovat tak, že sečte počet jednotlivých symbolů pro danou kategorii a z nich odvodí poměr mezi nimi. Třetí možností je uvědomění si, že není poskytnutá žádná další potřebná informace vedoucí k vypočtení zkoumaného poměru ploch a tím pádem zvolení správné možnosti u otázek 11 a 13 (bodově lokalizované znaky a symboly). Vzhledem k tomu, že respondentovi tedy nejsou předloženy žádné doplňující a vysvětlující informace (např. právě o zapojení interpolace či váha velikosti jednotlivých znaků), je odpověď na první otázku u obou variant experimentu možnost „Nelze rozhodnout“.

Ve druhých otázkách obou variant (otázky 12 a 14) je kartografické vyjádření vegetace navrženo tak, jak je vhodné pro řešení výše uvedených otázek, tzn. ve 2D variantě otázky jsou lesy vyjádřeny dvourozměrnou plochou, u 3D varianty otázky pak prostorovou 3D plochou (je třeba v tomto místě upozornit, že dle konceptů uvedených v oddílu 3.2.3, resp. 2.1.1. se jedná o 2,5D plochu, ale autor experimentů nechtěl touto záležitostí a jejím vysvětlováním zabírat čas respondentů při řešení experimentu. Proto bylo v tomto případě použito obecně užívané označení 3D namísto správnějšího 2,5D). U těchto variant otázek se již očekává konkrétní odpověď respondenta, i když má, pro zachování všech možností, také volbu zadat, že na základě uvedených informací nelze rozhodnout. Navíc se zajisté v rámci 3D variant tohoto experimentu projeví některá ze statických monokulárních vodítek, spojených s perspektivním promítáním, která jsou uvedena v oddílu 2.2.3.

Ukázky experimentu E jsou na obrázku 5-8 níže (2D varianty experimentu v levé části obrázku, 3D varianty experimentu v pravé části obrázku; horní polovina reprezentuje první otázky u obou variant, spodní pak druhé otázky obou variant).



Obrázek 5-8 Ukázky experimentu E.

Správné odpovědi na otázky experimentu E jsou:

- Pro otázky 11 a 13 je to možnost „Nelze rozhodnout“ (viz text výše);
- Otázka 12: plocha listnatých – 6356 m², plocha jehličnatých - 3643 m², poměr 174 %;
- Otázka 14: objem jehličnatých – 12555 m³, objem listnatých – 5630 m³, poměr 223%.

Výše uvedené plochy a objemy jsou změřeny ve 3D CAD softwaru SketchUp, ve kterém byly podklady pro tyto experimenty připravovány, viz podkapitola 5.3.

5.3.6 Experiment F: Dvourozměrné a trojrozměrné vyjádření liniového prvku

Otázka:

- 2D varianta (otázka 15): Která z tratí metra, které jsou vyjádřené barevnými liniemi na obrázku níže, klesá svoji dráhou nejnižší?
- 3D varianta (otázka 16): Která z tratí metra, které jsou vyjádřené barevnými 3D liniemi ve virtuální 3D scéně níže je nejprůměšší, tj. klesá a stoupá co nejméně příkře?

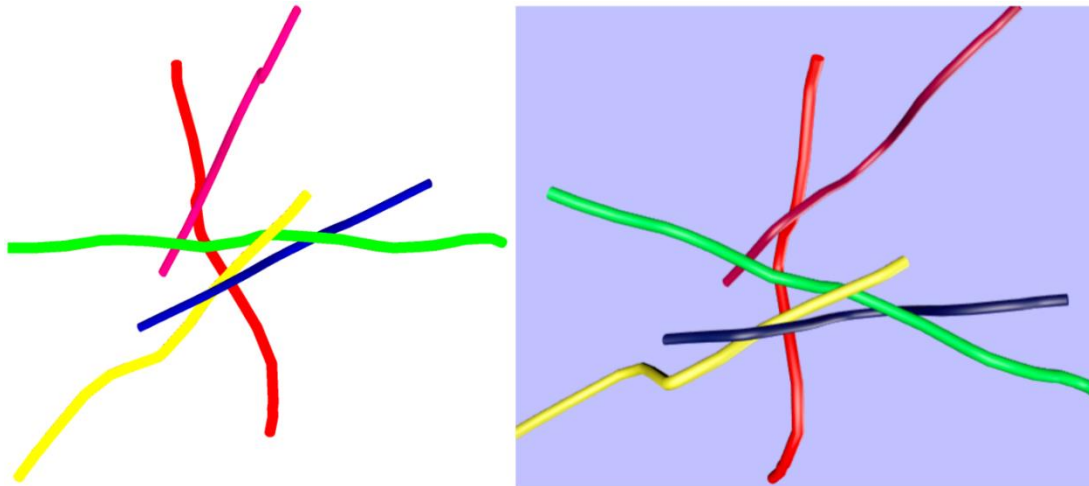
Úvaha pro tento experiment:

Charakteristikou liniového vyjádření prvků je dominance délky (jako jedné dimenze) nad ostatními. V případě jednorozměrných linií je dominantní pouze délka, v případě dvourozměrných (případně 2,5D) vyjádřeních linií jako pásů je dominantní délka nad šířkou a v případě trojrozměrných vyjádřeních je dominantní délka nad šířkou a hloubkou, resp. výškou.

Experiment F je navržen tak, že liniové 3D vyjádření tratí metra je pomocí 3D objektu (tubusu), který reprezentuje tunel, ve kterých se vůz metra pohybuje. Pohled na jejich zobrazení, ať ve 2D variantě, tak v počátečním pohledu 3D varianty (viz obrázek 5-9 níže) neumožňují zachytit všechny dimenze zobrazených linií. Z těchto pohledů nelze zjistit, že se trasy linií v prostoru neprotínají, nelze zjistit ani míru jejich klesání nebo stoupání. Právě těchto vlastností tento experiment využívá.

Dvourozměrný pohled na situaci, i když by nebyl jako tento provedený pomocí pravouhlého promítání shora, ale byl by to obecně statický pohled z perspektivy, může uživatele mást a předávat mu nesprávné informace. Díky možnostem trojrozměrného promítání v rámci virtuální 3D scéně je tento „neduh“ odstraněn podstatou tohoto promítání a to především díky možnosti manipulace s pohledem kamery ve scéně. I když jsou výchozí data pro obě varianty experimentu totožná, je řešení obou položených otázek (jak pro 2D, tak pro 3D variantu) možné pouze ve 3D variantě zobrazení a to za předpokladu, že je uvažována nulová hladina a směr, po kterém se uvažuje provádění měření.

Ukázky experimentu F jsou na obrázku 5-9 dále (2D varianta experimentu v levé části obrázku, 3D varianta experimentu v pravé části obrázku).



Obrázek 5-9 Ukázky experimentu F.

Správné odpovědi na otázky experimentu F jsou:

- Otázka 15: možnost „Nelze rozhodnout“ (2D varianta), nicméně správnou odpovědí by byla fialová trasa metra dle 3D zobrazení linií, viz text výše;
- Otázka 16: zelená trasa metra (3D varianta).

5.4 Vyhodnocení provedených experimentů a dotazníků

On-line dotazníkové šetření obsahující 16 otázek rozdělených do 6 skupin (dle označení experimentů v předchozí podkapitole) bylo realizováno během 14 dnů v první čtvrtině roku 2018.

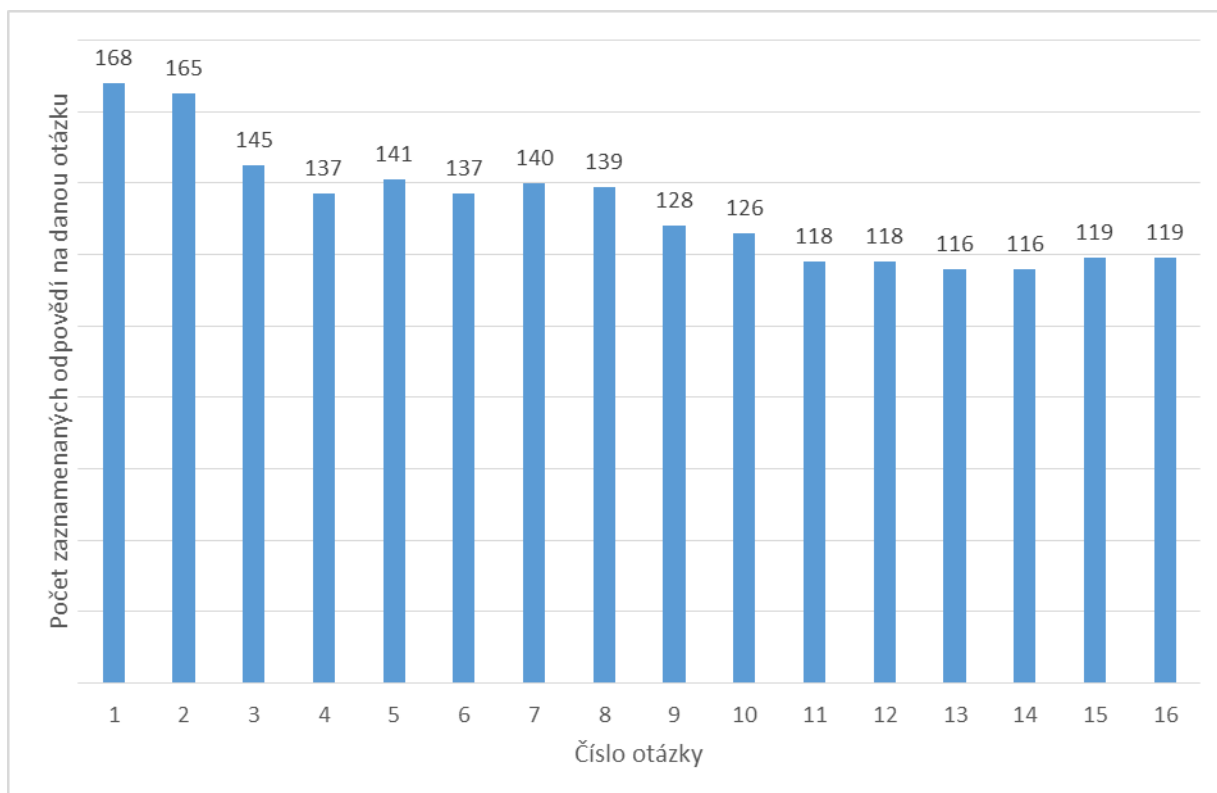
Úvodní dotazník tohoto šetření vyplnilo 128 respondentů. Z nich 109 uvedlo jak věk, tak pohlaví respondenta (z nich 57 žen, 52 mužů) ve věku od 14 do 60 let, přičemž nejvíce respondentů bylo v rozmezí 20 a 33 let. Grafické znázornění počtu respondentů v závislosti na věku a pohlaví je uvedeno v Příloze vyhodnocení úvodního dotazníku.

Všichni respondenti pak v úvodním dotazníku uvedli své vzdělání (61% vysokoškolské, 23% středoškolské, méně jak 1% základní a 16% zatím nedokončené základní vzdělání) a informaci o tom, zda jsou profesně nebo svým vzděláním spojeni s oborem geomatika, geoinformatika, geodézie apod. (34% respondentů je profesně či vzděláním spojeno s těmito obory). Grafická reprezentace procentuálního zastoupení úrovně vzdělání respondentů je spolu s procentuálním zastoupením příslušnosti ke geomatickému oboru také uvedena v Příloze vyhodnocení úvodního dotazníku.

Téměř 90% respondentů pracuje s informačními technologiemi denně nebo pravidelně. Zajímavější statistikou je pak četnost práce s mapou a následně přímo se 3D vizualizacemi geografických dat. Práce s mapami je denní či pravidelnou součástí života 55% respondentů, se 3D vizualizacemi geografických dat se takto setkává pouze 21% respondentů. Grafické znázornění procentuálního počtu respondentů dle frekvence zapojení map a 3D geovizualizací do jejich života je uvedeno v Příloze vyhodnocení úvodního dotazníku.

Statistické vyhodnocení dotazníků (úvodní a závěrečný), jednotlivých otázek experimentů a následné grafické výstupy byly realizovány pomocí programu MATLAB⁵³ fy The MathWorks, Inc. a pomocí programu MS Excel⁵⁴ fy Microsoft.

Přehled počtu respondentů, resp. zaznamenaných odpovědí na jednotlivé otázky experimentů je uveden na obrázku 5-10 níže. Je vidět, že byl naplněn minimální počet respondentů na jednotlivé otázky, který byl v podkapitole 5.3 vypočten na počet 59 respondentů.



Obrázek 5-10 Přehled počtu registrovaných odpovědí na jednotlivé otázky dotazníku.

Závěrečný dotazník, ve kterém respondenti subjektivně hodnotili náročnost jednotlivých otázek, resp. obtížnost zodpovězení otázky na základě předložených informací, vyplnilo celkem 76 respondentů. Grafické znázornění četnosti odpovědí v rozmezí 1 (velmi jednoduchá) až 11 (velmi obtížná) pro každou otázku, spolu se zobrazením mediánu a průměru těchto hodnot pro každou otázku je uvedeno v Příloze vyhodnocení závěrečného dotazníku. Tomu předchází tabulka obsahující konkrétní hodnoty minimální a maximální udělené hodnoty obtížnosti pro každou otázku, spolu s konkrétními číselnými údaji o mediánu a průměru obdržených hodnocení každé otázky. Z vyhodnocení tohoto závěrečného dotazníku vyplývá několik závěrů, viz dále, které korespondují s výsledky vyhodnocení jednotlivých experimentů v následujících oddílech.

⁵³ Více viz <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

⁵⁴ Více viz <https://products.office.com/en-us/excel>

Závěry z vyhodnocení závěrečného dotazníku:

- Každá z otázek byla ohodnocena minimálně jedenkrát jak jako velmi jednoduchá (hodnocení 1), tak jako velmi obtížná (hodnocení 11), kromě otázky 12 a 14;
- Střední hodnota rozmezí škály obtížnosti otázky je 6 (odpovídá nastavené počáteční hodnotě). Tato hodnota je uvedena u otázek 3 až 8 a 10. Tyto otázky byly tedy hodnocené jako „průměrné“ co do obtížnosti;
- Nejjednodušší byly pro respondenty otázky č. 1, 2, 15 a 16 (medián < než 6);
- Nejtěžšími otázkami byly dle respondentů otázky 9, 11, 12, 13 (medián > 6) a vůbec nejtěžší byla otázka č. 14 s mediánem 8,5.

Výše uvedené závěry lze jednoduše vyčíst z grafu Vyhodnocení závěrečného dotazníku – obtížnost řešení jednotlivých otázek v Příloze vyhodnocení závěrečného dotazníku.

Pro ověření nulové hypotézy H_0 : „Není rozdíl mezi 2D a 3D verzemi daného experimentu, obě varianty experimentu jsou vyřešeny stejně korektně“ byla využita informace o četnostech správných odpovědí na jednotlivé otázky v rámci experimentu. Dále byla testována shodnost, resp. rozdílnost rychlosti (času) odpovědí mezi 2D a 3D verzemi otázek v experimentu.

Nulová hypotéza byla ověřována vždy mezi dvojicí odpovídajících si otázek, např. mezi otázkou 1 (2D varianta experimentu A) a otázkou 2 (3D varianta experimentu A). Přehled těchto řešených dvojic je uveden na obrázku 5-12 dále. Konkrétní výsledky jednotlivých testů v rámci experimentů jsou uvedeny v Přílohách k jednotlivým experimentům.

Při vyhodnocování jednotlivých odpovědí bylo přistoupeno ke krokům zkoumající i alternativní odpovědi, jak jsou uvedeny na konci každého oddílu podkapitoly 5.4 popisující provedené experimenty. To znamená, že kromě předem známé správné odpovědi byly u některých otázek nastaveny parametry vyhodnocení tak, aby kromě správné odpovědi byla umožněna i ona alternativní a i s ní se při druhé variantě statistického vyhodnocení dvojice otázek počítalo. Dále uvedené obrázky 5-11 a 5-12 demonstrují tyto kroky.

Pro testování proměnné, na jejímž základě se testuje nulová hypotéza, tedy četnost správných odpovědí, byl vybrán neparametrický test rovnosti parametrů dvou alternativních rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny (implementovaný v programu MATLAB jako funkce „chi2test“). Hladina významnosti α byla pro veškeré uvedené testování určena jako 5% (tj. 0,05).

Pro testování proměnné čas, byl použit jak parametrický test označovaný jako T-test (implementovaný v programu MATLAB jako funkce „ttest2“), tak neparametrický Wilcoxonův test (implementovaný v programu MATLAB jako funkce „ranksum“). Byly vypočteny oba dva statistické testy, bez ohledu na normalitu daného rozdělení odpovědí, viz přílohy k jednotlivým experimentům.

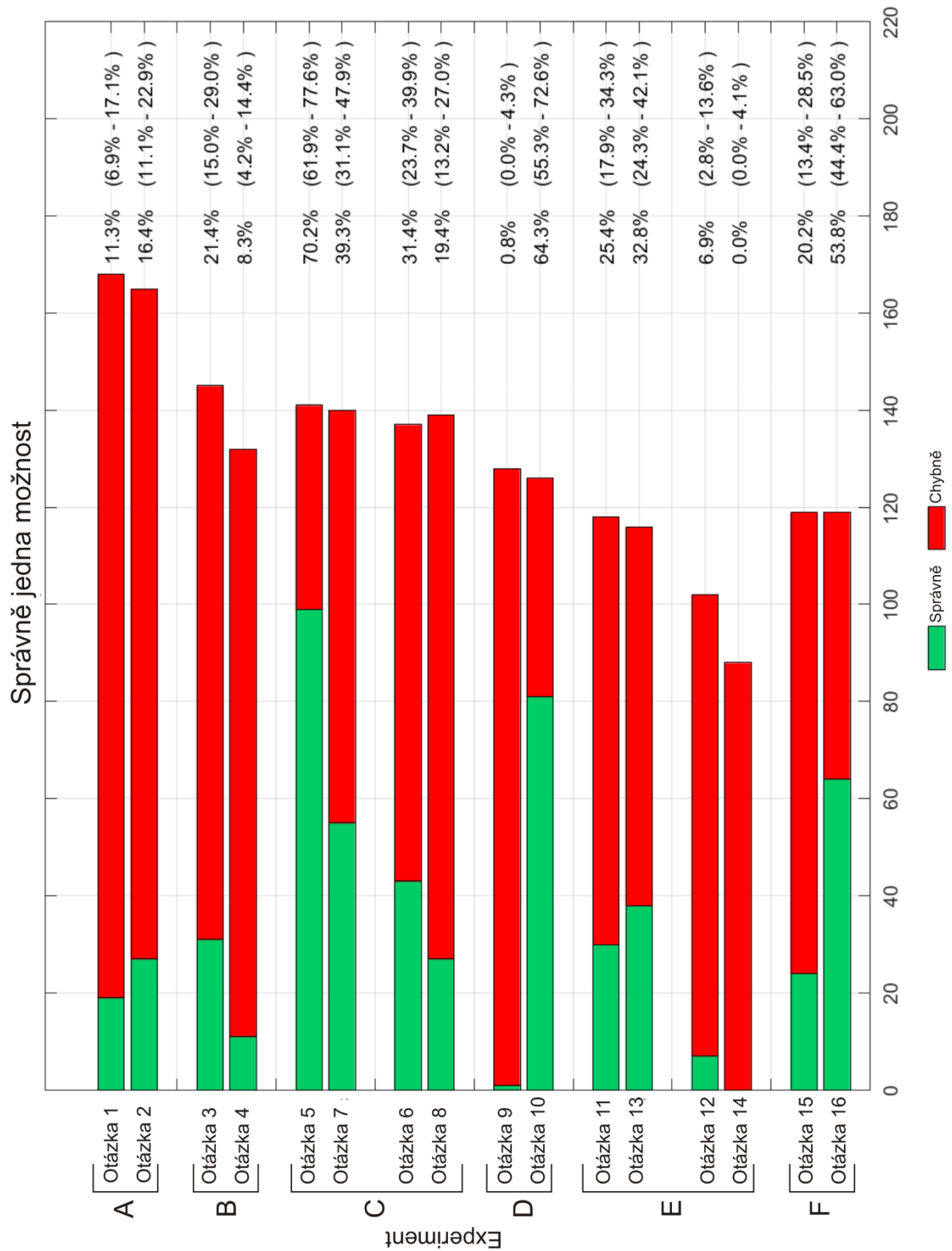
Výsledky testů byly vyhodnocovány na základě p-hodnoty, která vyjadřuje pravděpodobnost, že získáme právě naše pozorovaná data (v souvislosti s nulovou hypotézou). Statistické rozhodování je pak založeno na následujícím postupu. Pokud p-hodnota (jako výsledek statistického testu o shodě procentuálních četností správných odpovědí) vyjde větší než zvolená hladina významnosti testu (tj. $>0,05$), není zamítnuta nulová hypotéza. Pokud tomu tak není, je nulová hypotéza o shodě procentuálních četností správných odpovědí zamítnuta ve prospěch alternativní hypotézy na hladině významnosti α . Alternativní hypotéza H_A zní: „Existuje rozdíl mezi 2D a 3D verzemi daného experimentu, obě varianty experimentu nejsou vyřešeny stejně korektně“.

Více informací o výše uvedených testech je možné najít v Hátle & Likeš (1974) či Litschmannová (2011). Pro statistické vyhodnocení výsledků experimentů byly použity skripty a funkce pro software MATLAB, založené na skriptech vytvořených RNDr. Blankou Šedivou, Ph.D.⁵⁵ z Katedry matematiky, Fakulty aplikovaných věd, Západočeské univerzity v Plzni. Ty byly použity pro potřeby publikací Bureš et al. (2015), Friesl et al (2013) či Macek et al. (2008)

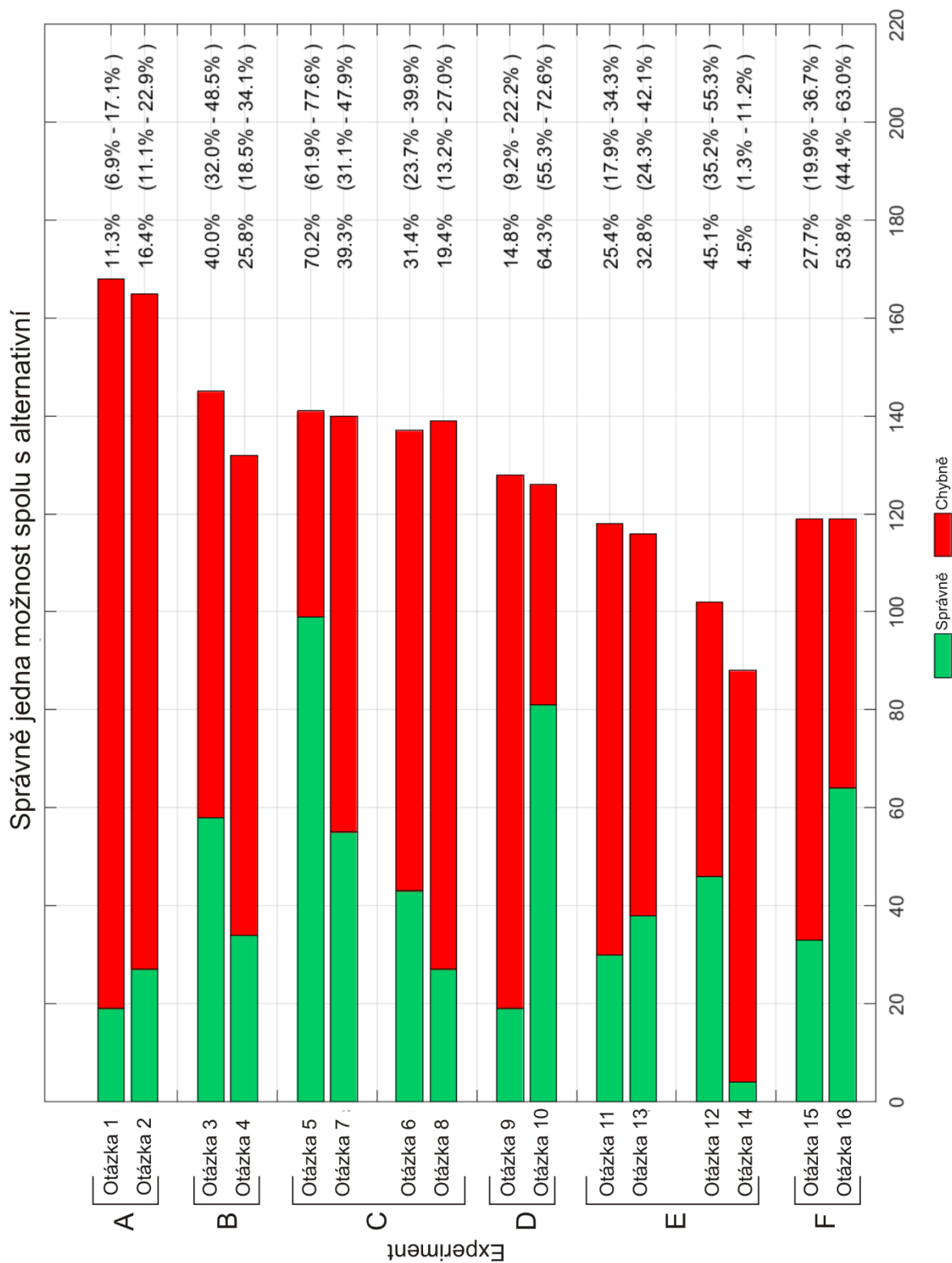
Na obrázku 5-11 dále je uveden přehled poměru počtu správných a špatných odpovědí pro jednotlivé otázky dotazníku uspořádané do dvojic otázek (tj. porovnávání 2D a 3D varianty), mezi kterými je následně řešen test vedoucí k ověření nulové hypotézy H_0 . V pravé části obrázku 5-11 jsou u každé z otázek uvedeny procentuální podíly správných odpovědí a v závorkách je uveden intervalový odhad tohoto podílu. Tento intervalový odhad uvádí teoretickou hodnotu poměru správných ke špatným odpovědím při aplikování výsledků na celou populaci. Interval je vypočten pomocí odhadu parametru „p“ na základě metody odhadu maximální věrohodnosti alternativního rozdělení pravděpodobnosti náhodné veličiny (což je speciální případ binomického rozdělení, implementovaného v programu MATLAB pomocí funkce „binofit“). Přímé aplikování získaných výsledků na celou populaci však v tomto případě není možné, a to z důvodu záměrného výběru respondentů, viz popis těchto experimentů v podkapitole 5.3. Z obrázku 5-11 je navíc vidět, že ani počet respondentů dotazníku nebyl dostatečný pro aplikaci výsledků na celou populaci, protože rozptyl v intervalových odhadech je někdy i více jak 20%, což je velmi vysoká hodnota ovlivněná právě nízkým počtem respondentů.

Obrázek 5-12 uvedený dále pak představuje stejnou statistiku, jako výše popsany obrázek 5-11 s tím, že v poměru správných odpovědí se počítá i s alternativní odpovědí, jako by také byla správnou, takže je více správných odpovědí. Souhrnná tabulka, ze které tyto dva výše uvedené grafy vycházejí, je uvedena v Příloze vyhodnocení všech otázek dotazníku. Jaké tyto alternativní odpovědi jsou a proč se k jejich řešení přistoupilo, je popsáno u vyhodnocení jednotlivých experimentů v následujících oddílech.

⁵⁵ <https://www.zcu.cz/about/people/staff.html?osoba=17496>

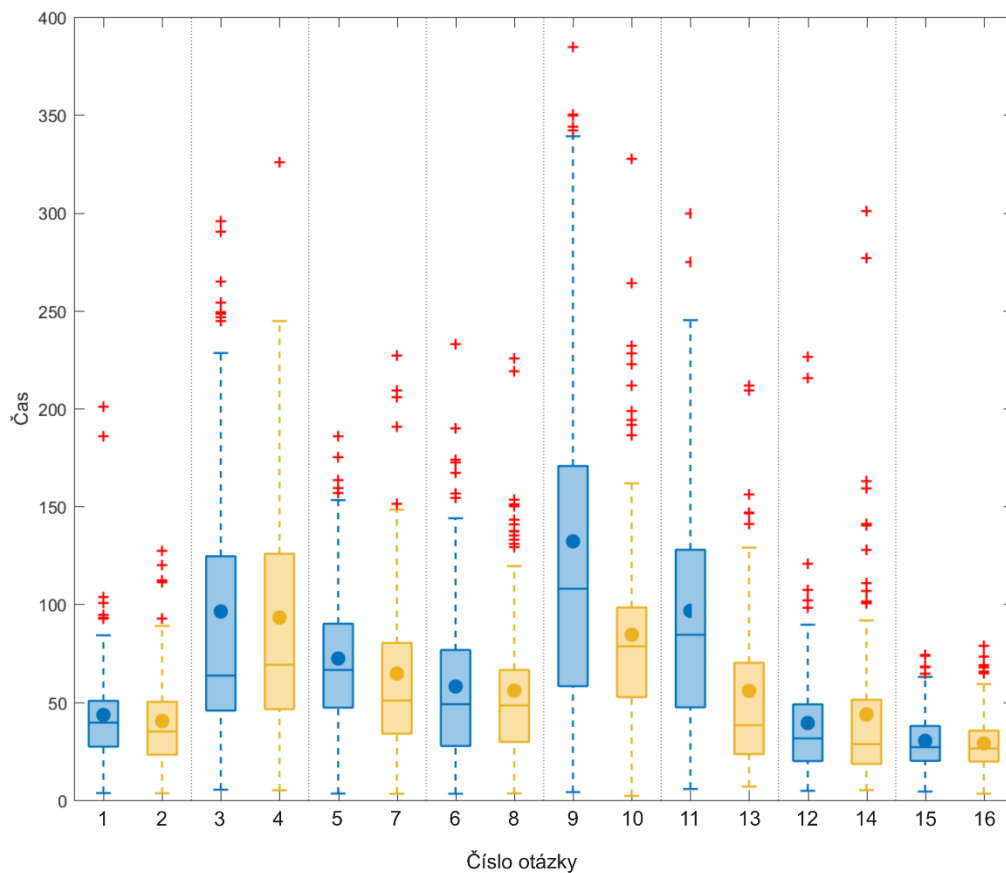


Obrázek 5-11 Přehled počtu správných a špatných odpovědí pro jednotlivé otázky dotazníku pro variantu jedné správné odpovědi.



Obrázek 5-12 Přehled počtu správných a špatných odpovědí pro jednotlivé otázky dotazníku pro variantu správně a alternativní odpovědi.

Krabicové grafy ukazující statistické vyhodnocení rychlosti všech odpovědí za jednotlivé otázky (dvojice zkoumaných otázek jsou zobrazeny vedle sebe) jsou uvedeny na obrázku 5-13 níže. Popis významu krabicových grafů je uveden v kapitole Přílohy disertační práce na straně 173.

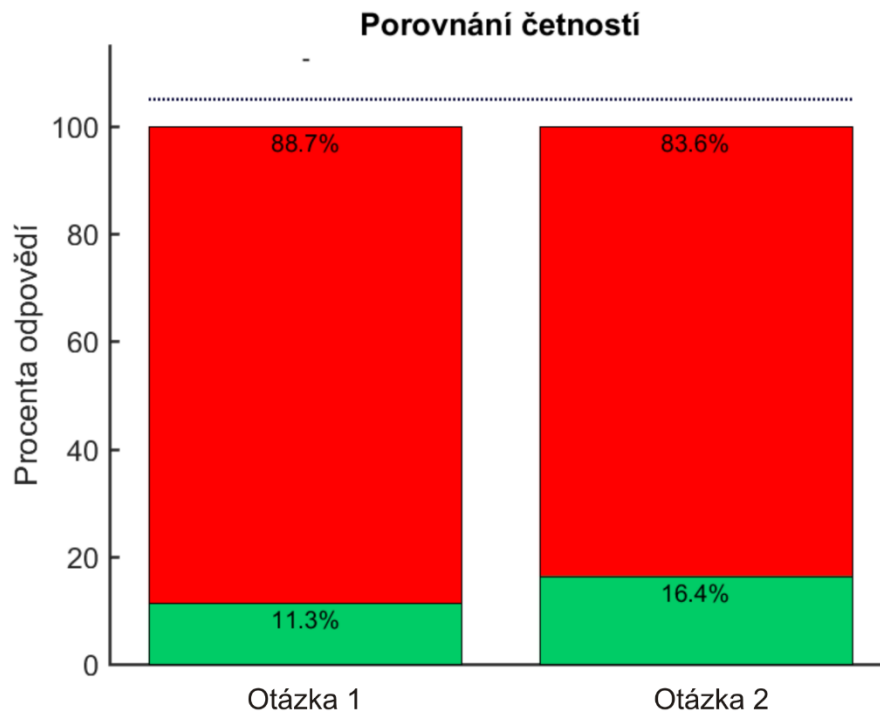


Obrázek 5-13 Krabicové grafy pro všechny odpovědi na jednotlivé otázky dotazníku.

V rámci vyhodnocení jednotlivých experimentů je u každého z nich uveden graf porovnávající četnosti správných a špatných odpovědí v rámci zkoumaných dvojic otázek řešených v konkrétním experimentu. Na základě porovnávání poměrů správných odpovědí u obou variant otázek v experimentu je testována nulová hypotéza H_0 : „Není rozdíl mezi 2D a 3D verzemi daného experimentu, obě varianty experimentu jsou vyřešeny stejně korektně“.

Přílohy k jednotlivým experimentům jsou v kapitole Přílohy disertační práce uvedeny pro jednotlivé experimenty tak, jak jsou strukturovány v podkapitole 5.3. V nich lze najít konkrétní statistické sumáře jednotlivých otázek, spolu s výsledky provedených parametrických a neparametrických testů. V těchto přílohách lze také najít histogramy relativních četností počtu odpovědí na danou otázku, krabicové grafy porovnávající rychlost určení jednotlivých odpovědí respondenty a poté jsou v přílohách k experimentům uvedeny i grafy porovnávající rychlost určení správných a špatných odpovědí mezi zkoumanými otázkami. Konkrétní přehled příloh pro jednotlivé experimenty je uveden na konci každého následujícího oddílu.

5.4.1 Vyhodnocení experimentu A



Obrázek 5-14 Porovnání četností správných/špatných odpovědí na otázky 1 a 2.

Na základě výsledků statistických testů (graficky vyjádřených na obrázku 5-14) nebyla zamítnuta nulová hypotéza o shodě procentuálních četností správných odpovědí. To znamená, že statisticky není rozdíl mezi 2D a 3D variantou experimentu, co do úspěšnosti řešení daných otázek.

Průměrný čas určení správné odpovědi je pro 3D variantu experimentu o něco menší, než pro jeho 2D variantu, ale v tomto případě hrál roli spíše efekt popsany v následujícím odstavci než to, že by jedna varianta experimentu byla vhodnější pro rychlost určení správné odpovědi.

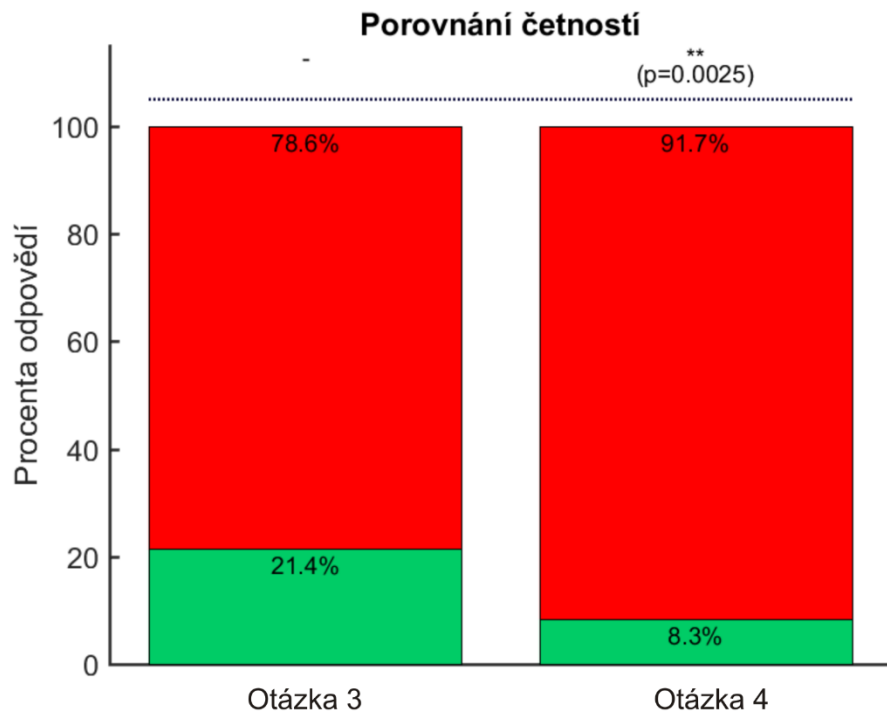
Otázka 1 byla v rámci řešení dotazníkového šetření totiž specifická. Pro určení konečné odpovědi respondenta bylo v některých případech potřeba i osm voleb odpovědi respondenta. Tento jev však již u dalších otázek není patrný (až na jednu výjimku popsanou dále). V drtivé většině byla poslední odpověď respondenta na všechny následující otázky zvolena/vybrána/definována (dle druhu otázky) na první pokus. Tento jev lze vysvětlit právě tím, že šlo o první otázku dotazníku, na které si respondenti vyzkoušeli funkcionalitu dotazníku.

V případě otázek 1 a 2 byl zcela naplněn předpoklad formulovaný v rámci popisu tohoto experimentu v oddílu 5.3.1. Počty odpovědí na otázky 1 a 2 uvedené v Příloze experimentu A odhalují, že nejčastější odpovědí na otázku 1 byla možnost „c“. Tvar půdorysu tohoto objektu totiž velice připomíná tvar kostela, jak jej známe z tradičních dvourozměrných map. Nejčastější odpovědí na otázku 2 pak byla možnost „d“. Tvar tohoto virtuálního 3D modelu mající věžičku pravděpodobně nejvíce evokoval příslušnost k hledané kategorii církevních staveb, i když tento atribut měly i jiné stavby zobrazené v rámci otázky 2.

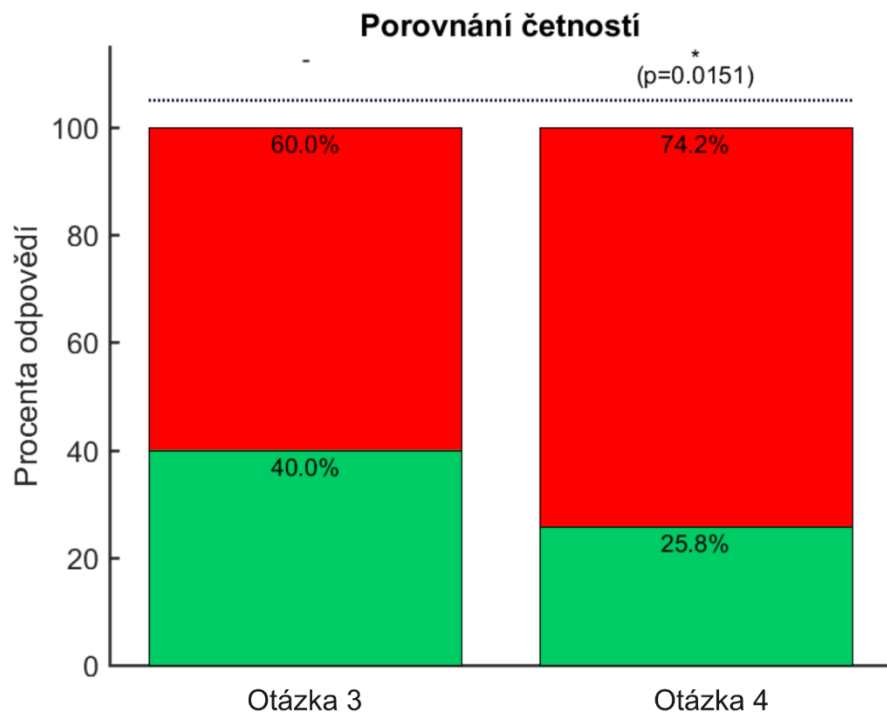
Lze tedy říci, že ať je použito dvourozměrné nebo trojrozměrné zobrazení objektů, pouhé geometrické vyjádření modelu bez poskytnutí informace o významu daného prvku (resp. toho, co daný symbol či znak vyjadřuje) není dostatečné pro správné zjištění potřebné informace z mapy. Z toho důvodu je u klasických dvourozměrných map používána legenda popisující význam prvků zobrazených na mapě, ale legendu (případně v nějaké jiné variantě či formě, než je užívaná u 2D map) lze s úspěchem použít i u virtuálních 3D map.

V Příloze experimentu A jsou uvedeny: výsledky statistických testů pro otázky tohoto experimentu, histogramy relativních četností počtu odpovědí na otázky 1 a 2, krabicové grafy zachycující rychlost odpovědí respondentů na otázku 1 a 2, krabicové grafy porovnávající čas potřebný ke zvolení správných a špatných odpovědí na otázky tohoto experimentu a grafy reprezentující pohyb kamery ve virtuální 3D scéně při řešení otázky č. 2.

5.4.2 Vyhodnocení experimentu B



Obrázek 5-15 Porovnání četností správných/špatných odpovědí na otázky 3 a 4 při hladině správnosti $\pm 10\%$ ke skutečně korektnímu výsledku.



Obrázek 5-16 Porovnání četností správných/špatných odpovědí na otázky 3 a 4 při hladině správnosti $\pm 30\%$ ke skutečně korektnímu výsledku.

Na základě výsledků statistických testů (graficky vyjádřených na obrázku 5-15, resp. 5-16) byla zamítnuta nulová hypotéza o shodě procentuálních četností správných odpovědí ve prospěch alternativní hypotézy na hladině významnosti 5%. To znamená, že respondenti byli statisticky významně úspěšnější při řešení 2D varianty experimentu, než u jeho 3D varianty, i v případě výpočtů zahrnujících alternativní řešení (v tomto případě jde o rozšíření rozsahu hodnot správných odpovědí, viz text dále).

Rozptyl časů na krabicových grafech porovnávající rychlost správných a špatných odpovědí u otázky 3 a 4 je pro 3D variantu experimentu (pro obě varianty řešení, viz grafy, viz Příloha experimentu B) o něco užší, než pro 2D variantu experimentu. V tomto případě ale hrál spíše roli efekt popsáný v následujícím odstavci, než možnost, že by jedna varianta experimentu byla vhodnější pro rychlost určení správné odpovědi než druhá vzhledem k tomu, že průměrný čas, resp. medián času potřebný pro určení správné odpovědi, byl u obou variant prakticky shodný.

V rámci tohoto experimentu byla uživatelem řešena plocha daného polygonu. Vzhledem k tomu, že šlo o odhad číselné hodnoty, bylo přikročeno při vyhodnocování odpovědí tohoto experimentu k tomu, že za správné hodnoty jsou brány ty, které se lišily od skutečné plochy polygonu o $\pm 10\%$. Za alternativní odpověď byla v tomto případě zvolena hladina $\pm 30\%$.

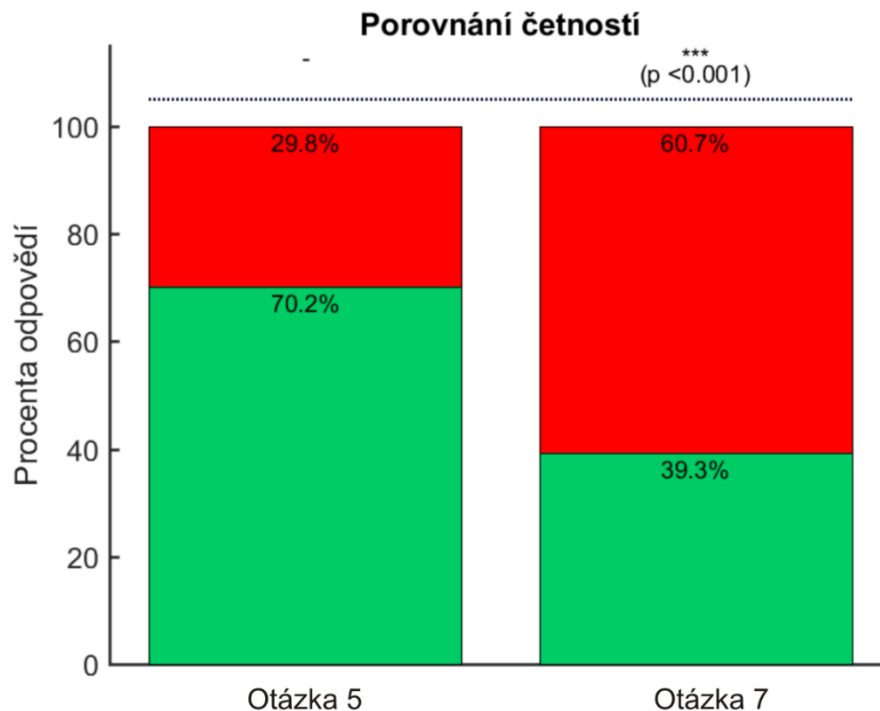
Předpoklad formulovaný v rámci popisu tohoto experimentu v oddílu 5.3.2 byl naplněn částečně. Předpoklad o rychlejším řešení 2D varianty experimentu se nepotvrdil, viz obrázky v Příloze experimentu B, porovnávající časy správných odpovědí jednotlivých respondentů jak při hladině správnosti odpovědi $\pm 10\%$, tak i $\pm 30\%$ ke skutečně korektnímu výsledku. Na nich je vidět, že časy potřebné k vyřešení správných variant na dané otázky se statisticky neliší. Navíc je na grafu procentuálních odchylek v hodnotách odpovědí na otázku 4 (uvedený v Příloze experimentu B) jasně patrné, že odhadované hodnoty plochy byly u 3D varianty experimentu značně podhodnoceny vůči skutečné hodnotě, což může být zapříčiněno právě konfigurací virtuální 3D scény, tj. rozložením a polohou objektů ve scéně spolu s pohybem kamery ve scéně. Respondenty nejběžněji používaným pohybem bylo kroužení kolem středu modelované scény. Zájmový objekt, u kterého byla řešena odpověď na otázku, nebyl ve středu scény a navíc ani virtuální 3D model měřítka nebyl umístěn v jeho těsné blízkosti.

Lze tedy říci, že pro řešení úloh typu „určení plochy geometrického obrazce v rovině XY“ lze s větším úspěchem použít jeho dvourozměrné zobrazení než jeho trojrozměrné zobrazení. Jedná se však o verze úloh, které řeší člověk sám, což v dnešní době již není obvyklé a pro tyto úlohy se používají analytické funkce řízené počítačem, které počítají i s použitým zobrazením mapy.

V Příloze experimentu B jsou uvedeny: výsledky statistických testů pro otázky tohoto experimentu, histogramy relativních četností počtu odpovědí na otázky 3 a 4, krabicové grafy zachycující rychlost odpovědí respondentů na otázku 3 a 4, krabicové grafy porovnávající čas potřebný ke zvolení správných a špatných odpovědí na otázky tohoto experimentu a grafy reprezentující pohyb kamery ve virtuální 3D scéně při řešení otázky č. 4.

5.4.3 Vyhodnocení experimentu C

První část experimentu porovnávající otázky 5 a 7

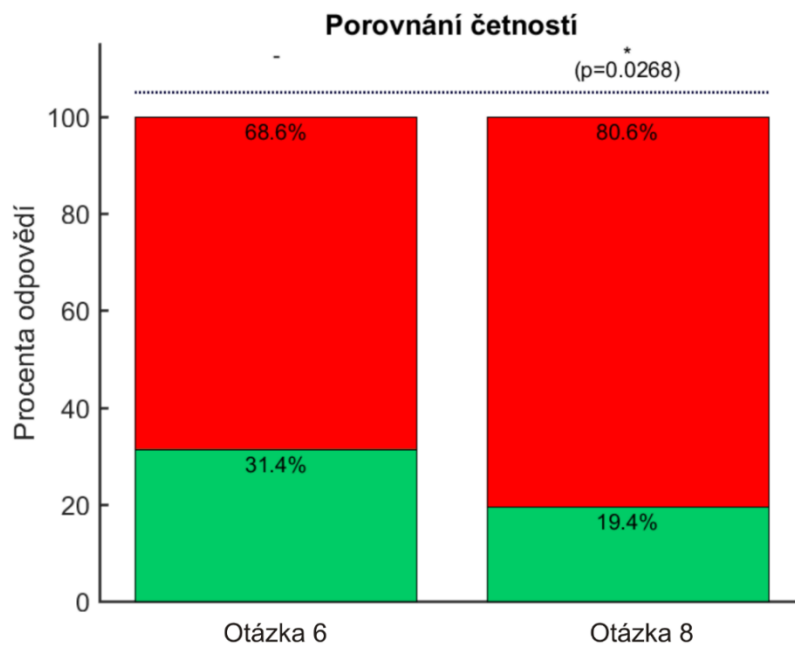


Obrázek 5-17 Porovnání četností správných/špatných odpovědí na otázky 5 a 7.

Na základě výsledků statistických testů (graficky vyjádřených na obrázku 5-17) byla zamítnuta nulová hypotéza o shodě procentuálních četností správných odpovědí ve prospěch alternativní hypotézy na hladině významnosti 5%. To znamená, že respondenti byly statisticky významně úspěšnější při řešení 2D varianty experimentu, než u jeho 3D varianty.

Rozptyl časů určení správných odpovědí je pro 3D variantu experimentu (viz Příloha experimentu C) širší, než pro 2D variantu, ale s obdobnou hodnotou průměrné hodnoty a mediánu. Statisticky je tedy rychlost správného řešení jak otázky 5, tak otázky 7 shodná a neprojevil se tedy předpoklad uvedený v oddílu 5.3.3 upřednostňující výhody 3D zobrazení objektů pro rychlejší správné řešení zadané otázky. Pravděpodobně zde ani nehrála roli komplikovanost virtuálního 3D modelu terénu, která je jak u otázky 5, tak u otázky 7 shodná, ale právě ono 3D zobrazení, které při detailnějším zkoumání 3D objektů na terénu pro určení jejich vzájemné relativní výšky z pohledu na objekty „á la bokorys“ zakrývá ostatní objekty a neposkytuje tedy pohled na celou situaci zároveň, což 2D varianta zobrazení u otázky 5 nabízí. V tomto případě by mohla pomoci metoda tzv. propojených pohledů (viz „linking views“ v oddílu 2.1.3) pro častější určení správné odpovědi na otázku 7.

Druhá část experimentu porovnávající otázky 6 a 8



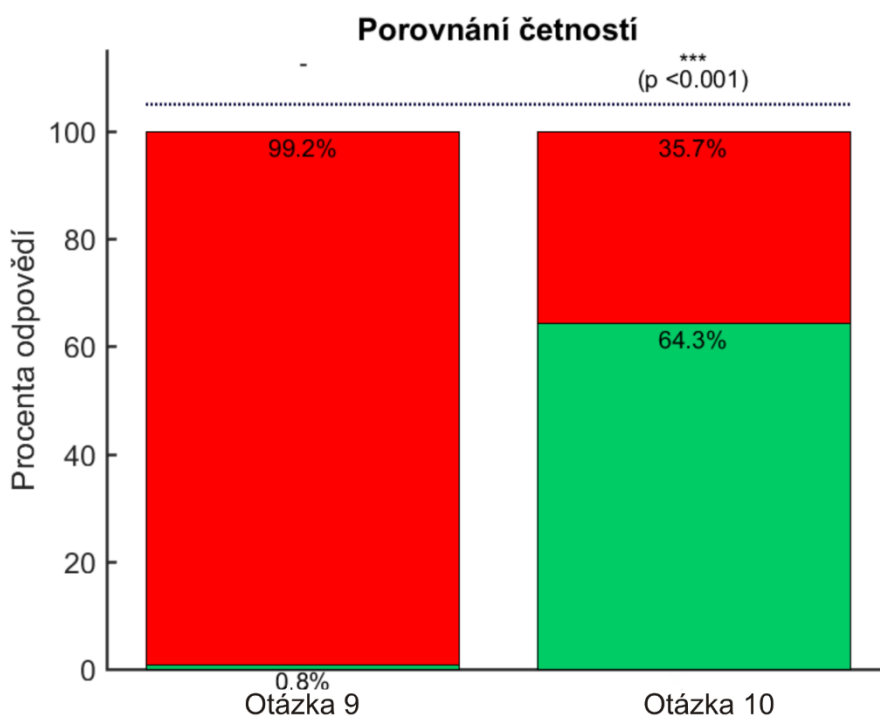
Obrázek 5-18 Porovnání četností správných/špatných odpovědí na otázky 6 a 8.

Na základě výsledků statistických testů (graficky vyjádřených na obrázku 5-18) byla zamítnuta nulová hypotéza o shodě procentuálních četností správných odpovědí ve prospěch alternativní hypotézy na hladině významnosti 5%. To znamená, že respondenti byly statisticky významně úspěšnější při řešení 2D varianty experimentu, než u jeho 3D varianty.

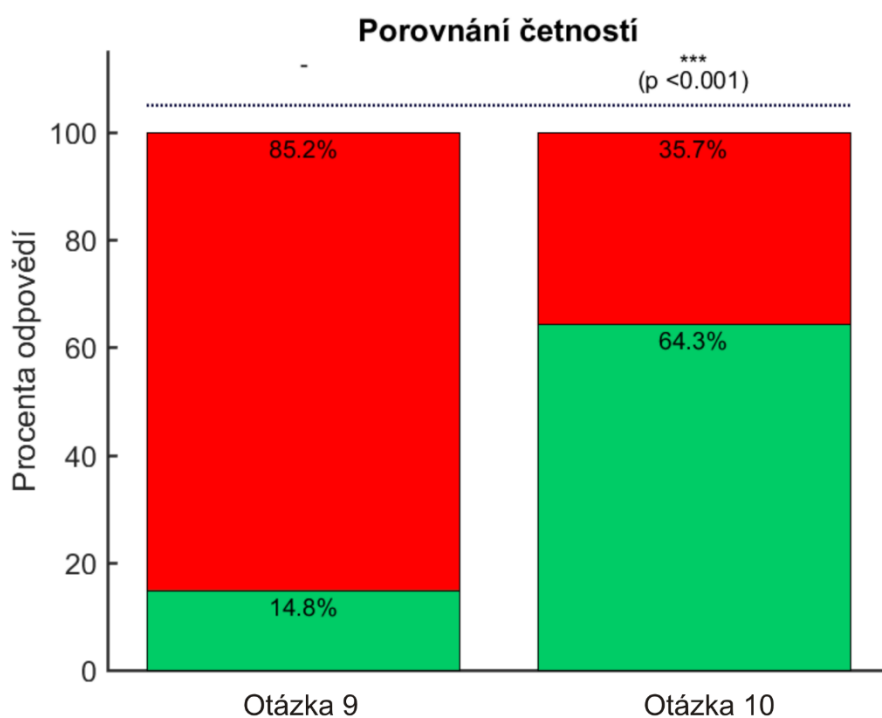
Tato druhá část experimentu omezila výběr možností odpovědí na dané otázky 6 a 8, ve kterých nebyly uvedeny jako možnosti odpovědí ty, které byly správnými na první část experimentu. To však respondenti nevěděli. Obecnou charakteristikou množiny odpovědí na otázky 6 a 8, respektive řešených objektů ve virtuální 3D scéně bylo to, že jejich relativní výškový rozdíl nebyl tolik znatelný, jako u objektů, mezi nimiž se vybírala správná odpověď v první části tohoto experimentu u otázek 5 a 7. Tato skutečnost ztížila řešení těchto otázek a výrazně zvýšila čas potřebný pro určení správné odpovědi, a to především u otázky 8, viz Příloha experimentu C. Navíc je tento fakt znatelný i ve statistických výsledcích, jejichž závěr je sice shodný se závěrem uvedeným v první části tohoto experimentu, ale procentuální zastoupení správných odpovědí jak na otázku 6 i 8 klesl v porovnání s předchozí částí, řešící otázky 5 a 7, o téměř 50 %. I v tomto případě platí, že rozptyl času potřebného k určení správné odpovědi na 3D variantu otázky je širší než u její 2D varianty.

V Příloze experimentu C jsou uvedeny: výsledky statistických testů pro otázky tohoto experimentu, histogramy relativních četností počtu odpovědí, krabicové grafy zachycující rychlost odpovědí, krabicové grafy porovnávající čas potřebný ke zvolení správných a špatných odpovědí na otázky tohoto experimentu (uvedeny v pořadí: otázka 5 vůči 7, otázka 6 vůči 8).

5.4.4 Vyhodnocení experimentu D



Obrázek 5-19 Porovnání četností správných/špatných odpovědí na otázky 9 a 10.



Obrázek 5-20 Porovnání četností správných/špatných odpovědí na otázky 9 a 10 při uvažování alternativní odpovědi.

Na základě výsledků statistických testů (graficky vyjádřených na obrázku 5-19, resp. 5-20) byla zamítnuta nulová hypotéza o shodě procentuálních četností správných odpovědí ve prospěch alternativní hypotézy na hladině významnosti 5%. To znamená, že respondenti byly statisticky významně úspěšnější při řešení 3D varianty experimentu, než u jeho 2D varianty.

Na otázku č. 9 bylo za správnou odpověď považováno zaškrtnutí dvou variant odpovědí na tuto otázku (konkrétně varianty C-D a D-E). Tato kombinace však byla respondenty uvedena jen v jednom případě (viz obrázek 5-19). Pravděpodobně toto bylo způsobeno jak náročností řešení otázky, tak i zvoleným kartografickým vyjádřením terénu na obrázku vztahujícím se k této otázce (viz obrázek 5-7). Důkazem může být i to, že kromě různých konfigurací odpovědí všichni respondenti této otázky uvedli jako odpověď možnost „žádná z nabízených kombinací“. Takto se tedy projevila určitá „neukázněnost“ některých respondentů v tom smyslu, že byly jimi zaškrtnuty jak konkrétní odpovědi, tak i jedna či obě z možností „žádná z nabízených kombinací“ a „nelze rozhodnout“. Důvodem tedy mohla být právě forma odpovědí, kdy namísto přepínače byla zvolena zaškrťovací políčka. Jako u vyhodnocení otázky č. 1 v oddílu 5.4.1 lze i v odpovědích na otázku 9 pozorovat, že některé odpovědi respondenti volili a zavrhlí opakovaně.

Na základě výše uvedených úvah byla statisticky zkoumána i varianta alternativní odpovědi na otázku 9 znějící „nelze rozhodnout“, která se ukázala pro respondenty jako skutečně reálnou. Výsledky této analýzy jsou vidět v Příloze experimentu D. Zahrnutí alternativní možnosti odpovědi na otázku 9, nemělo na výsledky statistického testu pro ověření nulové hypotézy vliv, liší jen v signifikanci testu, viz podkapitola 5.5.

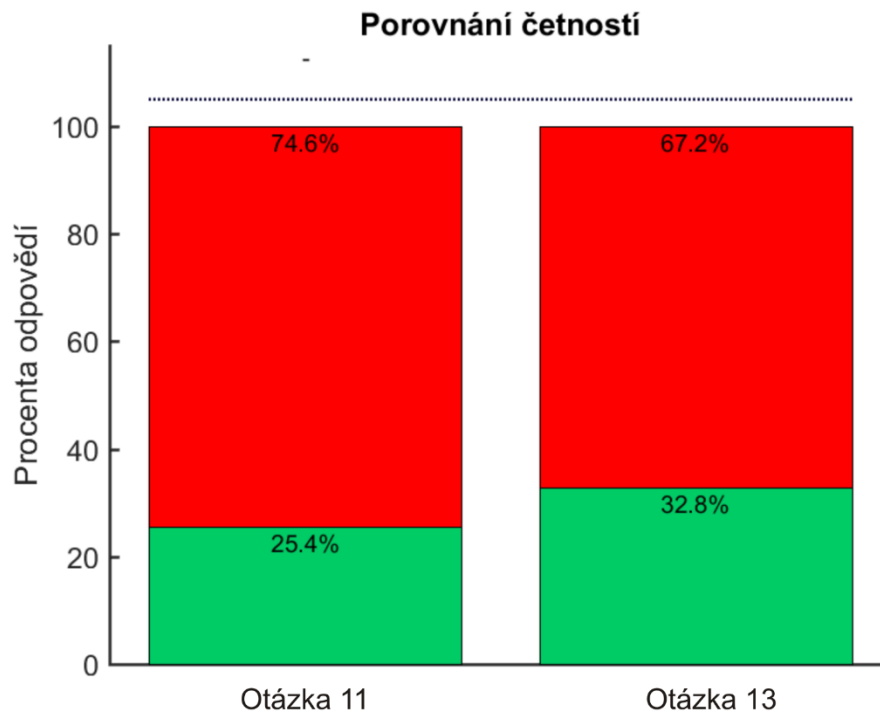
Co se týče krabicových grafů pro správné a špatné odpovědi na výše rozebírané otázky, uvedené v Příloze experimentu D, je jasně patrné, že jakákoliv odpověď na otázku 9 (2D varianta) trvala statisticky významně déle, než jakákoliv odpověď na otázku 10 (3D varianta). Předpoklad uvedený v popisu tohoto experimentu v oddílu 5.3.4 byl tedy naplněn.

Lze tedy říci, že pro řešení úloh typu „určení viditelnosti mezi objekty v prostoru“ lze s větším úspěchem použít jeho trojrozměrné zobrazení než jeho dvojrozměrné zobrazení. Jedná se však o verze úloh, které řeší člověk sám, což v dnešní době již není obvyklé a pro tyto úlohy se tedy používají analytické funkce řízené počítačem, které jsou nezávislé na použitém zobrazení mapy. Je třeba dodat, že výše uvedené statistické výsledky mohly být ovlivněny i tím, že převedení trojrozměrné situace do dvourozměrné je pro tento typ úloh nevhodné co do jejich řešení člověkem.

V Příloze experimentu D jsou díky formě tohoto experimentu uvedeny pouze výsledky statistických testů pro otázky tohoto experimentu a krabicové grafy porovnávající čas potřebný ke zvolení správných a špatných odpovědí na otázky tohoto experimentu. Oboje je uvedeno i pro variantu vyhodnocení s alternativním řešením otázky 9.

5.4.5 Vyhodnocení experimentu E

První část experimentu porovnávající odpovídající si otázky 11 a 13

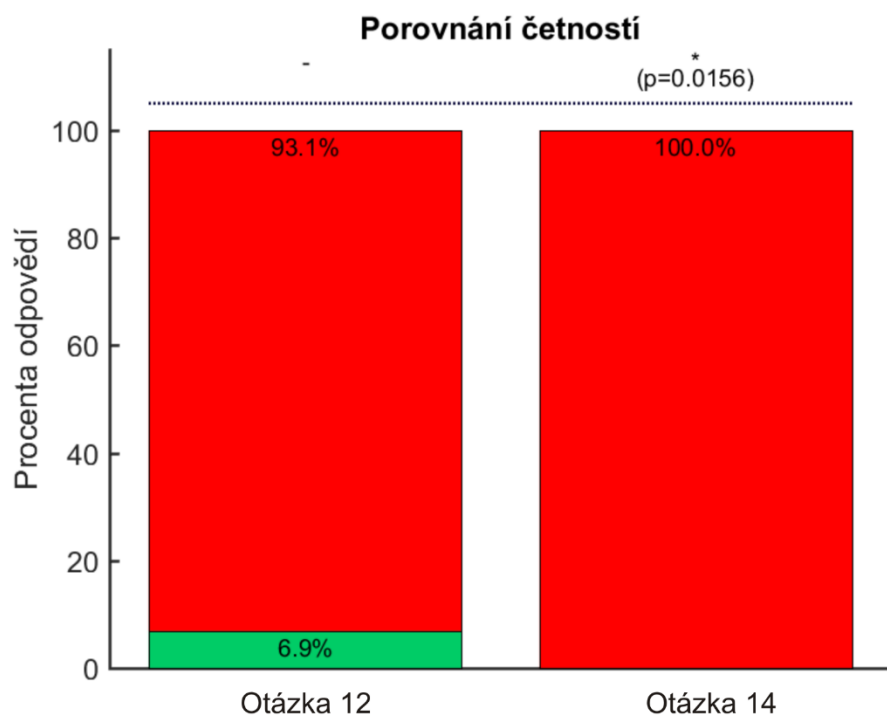


Obrázek 5-21 Porovnání četností správných/špatných odpovědí na otázky 11 a 13.

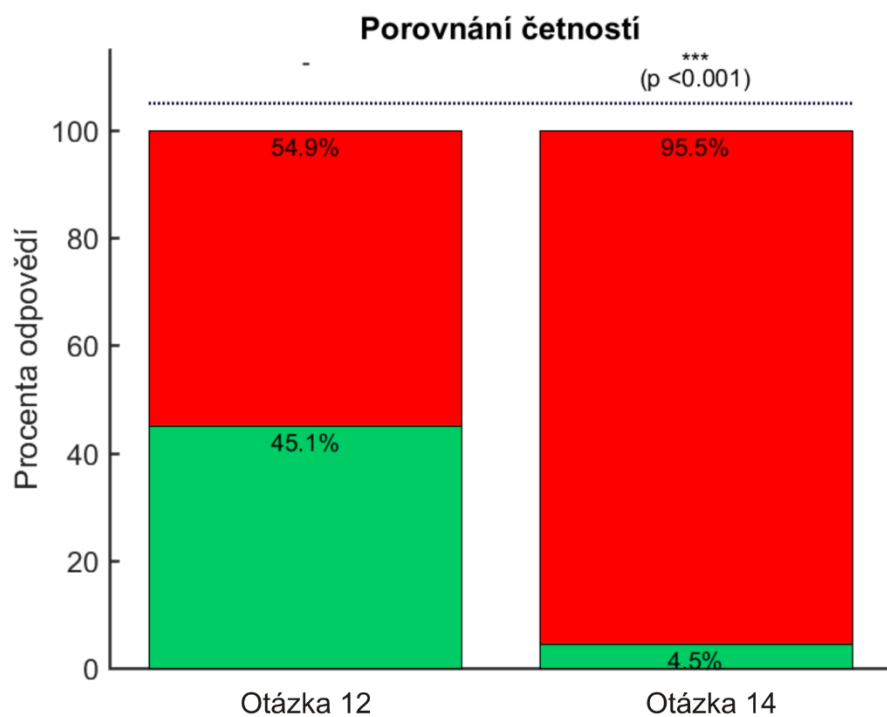
Na základě výsledků statistických testů (graficky vyjádřených na obrázku 5-21) nebyla zamítnuta nulová hypotéza o shodě procentuálních četností správných odpovědí. To znamená, že není rozdíl mezi 2D a 3D variantou experimentu, co do úspěšnosti řešení daných otázek.

V tomto případě se pravděpodobně již projevila určitý efekt učení, kdy poměr správných odpovědí ke špatným je oproti výsledkům u otázek 1 a 2, u kterých nulová hypotéza také nebyla zamítnuta, prakticky dvojnásobný. Tento projev je markantní i na krabicových grafech porovnávající čas správných a špatných odpovědí na otázky 11 a 13, viz Příloha experimentu E, kde určení správné odpovědi na 3D variantu experimentu je zásadně rychlejší než u 2D varianty. Nicméně na špatných odpovědích respondentů je možné odvodit jejich způsob uvažování za předpokladu, že by velikost symbolu stromu jak pro jednu, tak pro druhou porovnávanou kategorii (listnaté, jehličnaté stromy) vyjadřovala stejnou hodnotu. Díky tomu, že byl použit přibližně shodný počet těchto symbolů pro jednu i druhou kategorii, drtivá většina respondentů uváděla poměr plochy jednotlivých kategorií kolem 100%. Předpoklad uvedený v oddílu 5.3.5 v rámci popisu experimentu E, se na jeho výsledcích tedy projevila.

Druhá část experimentu porovnávající odpovídající si otázky 12 a 14



Obrázek 5-22 Porovnání četností správných/špatných odpovědí na otázky 12 a 14 při hladině správnosti $\pm 10\%$ ke skutečně korektnímu výsledku.



Obrázek 5-23 Porovnání četností správných/špatných odpovědí na otázky 12 a 14 při hladině správnosti $\pm 30\%$ ke skutečně korektnímu výsledku.

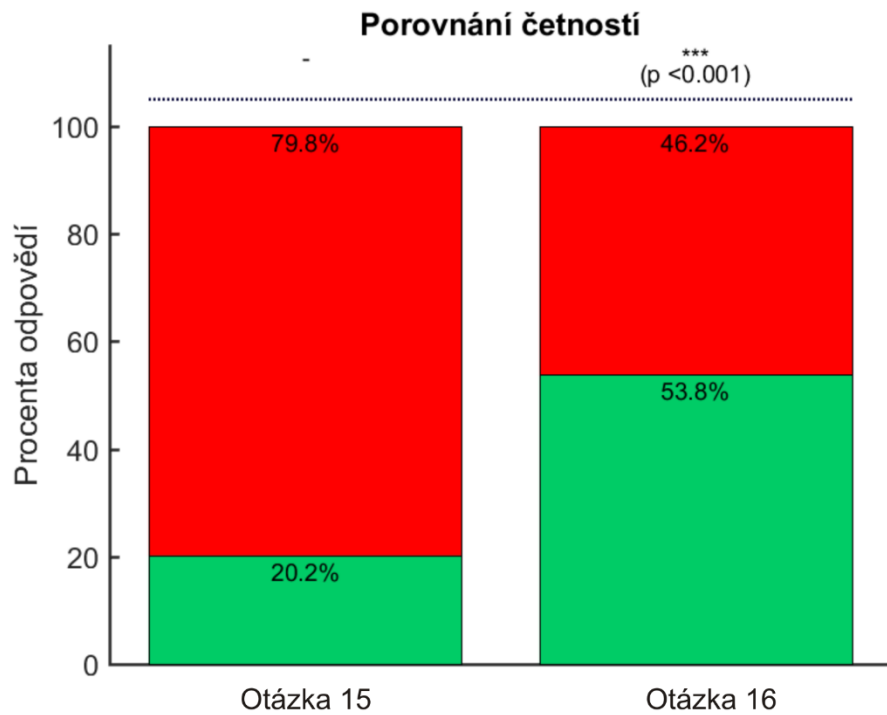
Na základě výsledků statistických testů při hladině správnosti $\pm 10\%$ ke skutečně korektnímu výsledku (graficky vyjádřených na obrázku 5-22) byla zamítnuta nulová hypotéza o shodě procentuálních četností správných odpovědí ve prospěch alternativní hypotézy na hladině významnosti 5%. Na základě výsledků statistických testů při hladině správnosti $\pm 30\%$ ke skutečně korektnímu výsledku (graficky vyjádřených na obrázku 5-23) se dospělo ke stejnému závěru. To znamená, že respondenti byly statisticky významně úspěšnější při řešení 2D varianty experimentu, než při řešení jeho 3D varianty, jak lze vyčíst z výše uvedených grafů.

Rozptyl časů určení správných odpovědí je pro 3D variantu experimentu (viz Příloha experimentu E) výrazně širší, než pro 2D variantu. U špatných odpovědí však rozptyl časů není statisticky odlišný. To vypovídá o tom, že zjištění správné odpovědi u otázky 14 zabralo respondentům více času, než při určení správných řešení na otázku 12, což však není překvapující, vzhledem k tomu, že u otázky 12 se řešila geometricky mnohem méně náročná otázka, než v případě otázky 14. Navíc je třeba zmínit, že v tomto odstavci se hovoří o situaci zahrnující alternativní možnost správné odpovědi, tedy pro hladinu správnosti $\pm 30\%$ ke skutečně korektnímu výsledku.

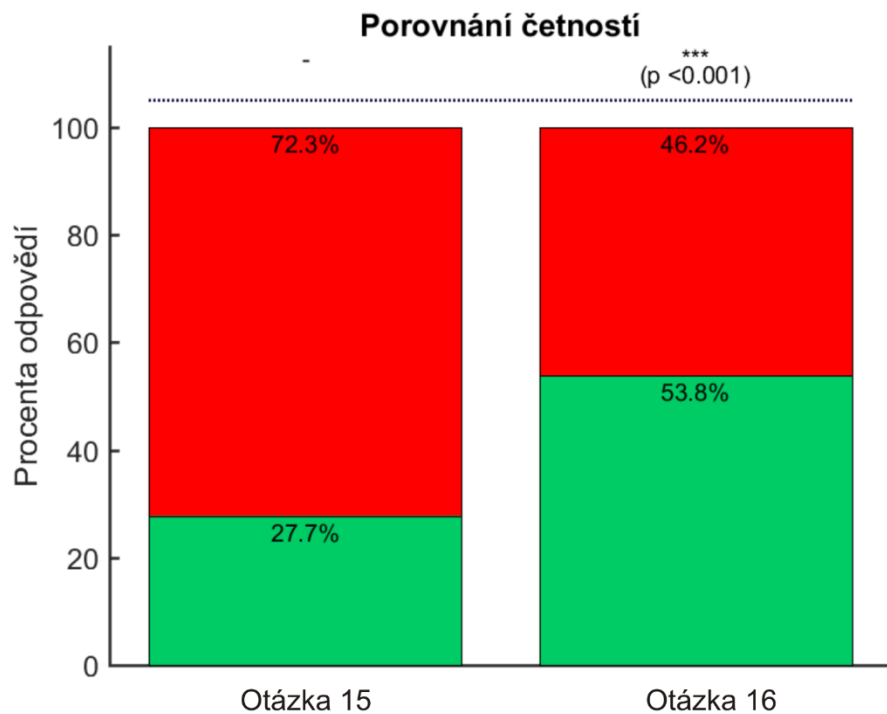
Ukázalo se, že i když byl použit třetí rozměr pro vyjádření „kubatury“ lesa (tj. zjišťovala se míra stejné dimenze, jako byla dimenze zobrazených dat – určení objemu 3D objektů, obdobně u otázky 12 byla určována plocha 2D polygonů), došlo k obdobné situaci jako u experimentu B, kdy ani trojrozměrné vyjádření objektů spolu s trojrozměrným pohledem na ně nebyl pro kognitivní funkce mozku pro řešení otázky efektivní. Takovéto úlohy tedy zůstávají dominantou počítačových analytických funkcí.

V Příloze experimentu E jsou uvedeny: výsledky statistických testů pro všechny otázky tohoto experimentu, histogramy relativních četností počtu odpovědí na otázky 12 a 14, krabicové grafy zachycující rychlost odpovědí respondentů na otázku 12 a 14, krabicové grafy porovnávající čas potřebný ke zvolení správných a špatných odpovědí na všechny otázky tohoto experimentu.

5.4.6 Vyhodnocení experimentu F



Obrázek 5-24 Porovnání četností správných/špatných odpovědí na otázky 15 a 16.



Obrázek 5-25 Porovnání četností správných/špatných odpovědí na otázky 15 a 16 při uvažování alternativní odpovědi u otázky 15.

Na základě výsledků statistických testů (graficky vyjádřených na obrázku 5-24, resp. 5-25) byla zamítnuta nulová hypotéza o shodě procentuálních četností správných odpovědí ve prospěch alternativní hypotézy na hladině významnosti 5%. To znamená, že respondenti byly statisticky významně úspěšnější při řešení 3D varianty experimentu než u jeho 2D varianty.

Jako alternativní odpověď na otázku 15 byla v tomto případě určena kromě možnosti „Nelze rozhodnout“ také odpověď, kterou lze odvodit ze 3D varianty tohoto experimentu, a tou je odpověď „fialová“. Z pohledu času se krabicový graf pro správné odpovědi u otázky 15 (viz Příloha experimentu F) při uvažování alternativní odpovědi změnil prakticky jen ve svém rozptylu. Odpověď „fialová“ totiž byla zvolena velice málo často a trvalo déle, než se k této variantě respondenti rozhodli. Nejčastěji určenou odpovědí na otázku 15 byla odpověď „červená“, a to pravděpodobně z toho důvodu, že na základě křížení jednotlivých linií ve dvourozměrném prostoru je tato linie překryta všemi ostatními. Což ale u otázky řešící otázku „která z linií klesá nejnižší“, nikoliv „která z nich je relativně výše než jiná v rámci svého křížení“ není dostačující informace pro určení správné odpovědi na položenou otázku. Tím pádem se projevil předpoklad uvedený v oddílu 5.3.6 uvedený v rámci popisu experimentu F.

Zajímavý je i fakt, že časový medián pro určení správné odpovědi na otázku 16 je ze všech zvolených odpovědí na tuto otázku nejvyšší. Což může odpovídat tomu, že respondenti u této varianty odpovědi déle zkoumali, zda je reprezentovaná 3D linie opravdu nejpřímější.

V Příloze experimentu F jsou uvedeny: výsledky statistických testů pro otázky tohoto experimentu, histogramy relativních četností počtu odpovědí na otázky 15 a 16, krabicové grafy zachycující rychlost odpovědí respondentů na otázky 15 a 16, krabicové grafy porovnávající čas potřebný ke zvolení správných a špatných odpovědí na otázky tohoto experimentu. Vše je uvedeno i pro variantu vyhodnocení s alternativním řešením otázky 15.

5.5 Shrnutí vyhodnocení experimentů

V této podkapitole jsou souhrnně popsány a reprezentovány výsledky a závěry z výše uvedených vyhodnocení provedených experimentů. V tabulce 1 níže jsou graficky zobrazeny jednotlivé porovnávané otázky v experimentu, včetně jejich variant s alternativně správnou odpovědí. Pro každou takovou dvojici jsou uvedeny závěry z ověřování nulové hypotézy o shodě procentuálních četností správných odpovědí a u výsledků těchto testů, na jejichž základě byla nulová hypotéza zamítnuta je uvedena signifikance výsledku testu. Dále jsou popsány závěry plynoucí z porovnání odpovědí na otázky v rámci experimentů a odpovědí na otázky v rámci závěrečného dotazníku. Následují další autorovi postřehy plynoucí z provedených experimentů a zjištěných výsledků.

Ověřování nulové hypotézy, viz podkapitola 5.4, slouží ke zkoumání vhodnosti 2D či 3D vyjádření objektů pro řešení konkrétních úloh. Výsledky tohoto ověřování spolu s dalšími závěry popsány v jednotlivých oddílech předchozí podkapitoly slouží spolu s informacemi uvedenými v předchozích kapitolách jako podklad pro zodpovězení výzkumných otázek (viz oddíl 6.2) a klíčových otázek evaluace (viz podkapitola 6.1).

Je třeba dodat, že veškeré závěry plynoucí z vyhodnocení jednotlivých experimentů se vztahují na daný vzorek respondentů. To znamená, že jednotlivé odpovědi na otázky jsou ovlivněny empirickými zkušenostmi dobrovolných respondentů.

Z tabulky a grafů uvedených v Příloze vyhodnocení závěrečného dotazníku, stejně tak jako i z krabicových grafů uvedených na obrázku 5-13 je vidět, jaké experimenty byly pro respondenty jednodušší a které obtížnější. Lze říci, že odpovědi na otázky 9 a 11 trvaly respondentům statisticky nejdéle, co se týče průměru a mediánu časů odpovědí. Z grafu na obrázku 5-10 je pak zřetelné, že na otázky 12 a 14 bylo registrováno nejméně odpovědí. Oboje koresponduje s odpověďmi na závěrečný dotazník, ve kterém respondenti subjektivně hodnotili otázky 9, 11, 12, 13 a 14 jako nejobtížnější.

Tabulka 1 uvedená dále, přehledně shrnuje výsledky provedených testů četností správných odpovědí mezi jednotlivými dvojicemi otázek uvedenými v experimentech, viz podkapitola 5.4. Jsou zahrnuty i alternativní možnosti odpovědí a výsledky testů počítající s těmito odpověďmi. Jsou v ní uvedeny závěry týkající se zamítnutí či nezamítnutí řešené nulové hypotézy, signifikance výsledku testu a interpretace výsledků testů na základě provedených testů.

Tabulka 1 Souhrnné výsledky o shodě procentuálních četností správných odpovědí.

Experiment	Porovnávaná dvojice otázek	Hypotéza H_0	Signifikance výsledku testu ⁵⁶	Interpretace výsledku: 2D vs. 3D varianta
A	1 vs. 2	není zamítnuta		Neprokázáno
B	3 vs. 4	Zamítnuta	**	2D vhodnější
	3 vs. 4 (alt) ⁵⁷	Zamítnuta	*	2D vhodnější
C	5 vs. 7	Zamítnuta	***	2D vhodnější
	6 vs. 8	Zamítnuta	*	2D vhodnější
D	9 vs. 10	Zamítnuta	***	3D vhodnější
	9 vs. 10 (alt)	Zamítnuta	***	3D vhodnější
E	11 vs. 13	není zamítnuta		Neprokázáno
	12 vs. 14	Zamítnuta	*	2D vhodnější
	12 vs. 14 (alt)	Zamítnuta	***	2D vhodnější
F	15 vs. 16	Zamítnuta	***	3D vhodnější
	15 vs. 16 (alt)	Zamítnuta	***	3D vhodnější

Jak je z výše uvedené tabulky vidět, ani alternativní odpovědi neměly vliv na výsledky statistických testů ve smyslu zamítnutí či nezamítnutí nulové hypotézy, jen se výsledky lišily v jejich signifikanci.

Navíc je třeba brát v potaz, že výsledky testů, resp. jaké odpovědi respondenti určili, jsou ovlivněné celou řadou faktorů, které v této práci nejsou dále podrobněji rozebírány a dávány do souvislosti s výsledky experimentů. Na straně samotných respondentů jde především o jejich kognitivní funkce, o rozdíly ve věku, vzdělání a zkušenostech respondentů (souhrnný přehled získaných informací o věku, pohlaví, vzdělání a zkušenostech respondentů je uveden v Příloze vyhodnocení úvodního dotazníku), dále o způsob jejich výběru apod. Na druhé straně jsou experimenty ovlivněné samozřejmě i samotným jejich tvůrcem, který ovlivnil volbu a konfiguraci jednotlivých experimentů, volbu použitých výzkumných metod atd., a to ze specifických důvodů uvedených v předchozích dvou podkapitolách. Rozbor řešící změnu návrhu experimentů a případné zapojení jiných než použitých výzkumných metod, není v této práci dále popsán.

⁵⁶ Jedna hvězdička „*“ když výsledná p-hodnota testu $< 0,05$, dvě hvězdičky „**“ když $p < 0,01$, tři hvězdičky „***“ když $p < 0,001$.

⁵⁷ Při započtení alternativní odpovědi.

U jednotlivých experimentů nebyla vždy měněna pouze jedna intervenující proměnná (základní intervenující proměnou byla změna z 2D varianty otázky na 3D variantu), ale změna byla u některých experimentů i v množině odpovědí, ze kterých se vybírala odpověď, měnila se i forma odpovědi spolu s minoritními změnami v otázkách (porovnávání nejvyššího objektu v jedné otázce vs. nejnižšího objektu a další). To mělo za následek, že některé otázky byly pro respondenty těžší, než ostatní, avšak tyto změny byly provedeny vždy v rámci konkrétního experimentu, a i proto lze z vyhodnocení odpovědí na otázky dotazníku vyvodit několik závěrů:

- Účel mapy a zvolení vhodné formy její reprezentace je klíčové pro správnou komunikaci mezi mapou a čtenářem – viz experiment A, kdy forma vyjádření kartografických znaků byla navržena nejednoznačně; a tudíž nevhodně;
- Správná komunikace mezi mapou a jejím čtenářem je záležitostí tvůrce dané mapy – viz experiment E mající dvojí formu zobrazení pro 2D i 3D varianty otázek, byl s tímto účelem měnící styl komunikace tvůrce-čtenář koncipován;
- Kartografické vyjádření objektů v mapě hraje klíčovou roli pro jejich rozpoznání čtenářem mapy – viz experiment C a kartografické vyjádření výškopisu;
- Existují úlohy, které lze čtenářem mapy s větším úspěchem řešit na 2D variantě mapy (např. určování plochy ve 2D, viz experiment B a E). Stejně tak existují úlohy, které lze čtenářem mapy s větším úspěchem řešit na 3D variantě mapy (např. přímá viditelnost, viz experiment D);
- Existují však úlohy, u kterých nezáleží na zvolené 2D či 3D variantě (např. nalezení stavby vybrané kategorie, viz experiment A) a je třeba do mapy doplnit sémantické informace o daném objektu;
- U virtuálních 3D map je 3D zobrazení reálných objektů kolem nás pro lidské vnímání přirozenější, než jejich abstraktní forma – viz experiment A a různá vyjádření budov;
- U virtuálních 3D map je 3D zobrazení abstraktních jevů (např. statistických údajů) méně přínosné. V tomto případě 2D varianta mapy je vhodnějším podkladem pro zobrazení takovýchto informací. Nicméně lze najít 3D zobrazení abstraktních jevů, které je pro virtuální 3D mapy vhodné a je přínosné (např. prostorové šíření hluku, zplodin atd.).

Kapitola 5 se zabývala experimentálním porovnáváním 2D a 3D symboliky v rámci komparativní studie realizované pomocí on-line dotazníkového šetření. Následující kapitola se zabývá rozborem aplikovatelnosti vybraných kartografických principů platných ve dvojrozměrné ploše mapy do prostředí virtuální 3D mapy, tzn. výsledky této práce a také možnostmi dalšího výzkumu.

6 Výsledky této práce

V jednotlivých podkapitolách této kapitoly jsou uvedeny rozборы zásadních částí této práce. Nejdříve jsou rozebírány odpovědi na klíčové otázky evaluace uvedené v podkapitole 5.1, poté jsou rozebírány odpovědi na konkrétní výzkumné otázky uvedené v podkapitole 5.2. Dále je proveden rozbor jednotlivých kroků metodiky pro komparativní studii, která je uvedena v podkapitole 5.1. V neposlední řadě jsou zde uvedeny možnosti dalšího výzkumu v souvislosti s tématem této práce.

6.1 Rozbor klíčových otázek evaluace přístupů k tvorbě mapové symboliky pro virtuální 3D mapy urbanizovaných území

V této podkapitole jsou rozebrány klíčové otázky evaluace přístupů k tvorbě mapové symboliky pro virtuální 3D mapy, které jsou uvedené v podkapitole 5.1.

a. *Jaké kartografické principy platné ve 2D lze převzít bez úprav do 3D?*

- Téma, účel a obsah mapy podmiňují výběr a syntaxi mapových znaků, viz Plánka (2014), resp. podkapitola 1.2. Také v součinnosti ovlivňují veškeré následné kroky tvorby mapy;
- Téměř všechny reálné objekty zobrazené v mapě mají ve skutečnosti půdorysnou povahu.

V souvislosti s kategorií kvalitativních vyjadřovacích kartografických prostředků (viz podkapitola 1.3) platí následující principy:

b. Grafické proměnné dle Bertina (1967) jsou stále platné, jinými slovy parametrizace bodově/liniově/plošně vyjádřeného prvku či objektu je stále ovlivněn stejnými principy. *Jaké kartografické principy platné ve 2D lze převzít po úpravách do 3D?*

- Trojrozměrné vyjádření objektů na virtuálních 3D mapách je obvykle složené z ploch (viz charakterizace pojmu 3D symbol v oddílu 2.2.2), což odpovídá hraniční reprezentaci („boundary representation“) virtuálních 3D modelů, ze kterých tyto symboly vycházejí (viz podkapitola 2.2). Pro každou z těchto ploch lze tedy uplatnit stejné principy jako pro klasické znaky u 2D map. Jedná se o tzv. složené kartografické znaky, tj jsou složené z částí, která každá sama o sobě něco symbolizuje, vyjadřuje či znamená. Díky této vlastnosti mohou 3D symboly komprimovat více informací, než klasické 2D znaky, viz vlastnosti kartografických znaků dle Voženílek (1999) uvedené v podkapitole 1.4.

V souvislosti s kategorií polohově lokalizačních kartografických vyjadřovacích prostředků platí:

- Bodově/liniově/plošně lokalizované znaky jsou z topologického hlediska stále shodné, ale existují pro ně různé varianty vyobrazení. Například bodově lokalizovaný znak může být ve virtuální 3D mapě vyjádřen jako 2D znak promítnutý na model terénu, na stěnu virtuálního 3D modelu, či jako samostatný 3D symbol, viz oddíl 5.2.2;

c. *Jaké kartografické principy jsou specifické pro 3D?*

- Zásadním specifikem virtuálních 3D map je oproti jejich dvourozměrným variantám především interaktivita a možnosti vizualizace v rámci virtuální 3D scény (perspektivní či jiné použité promítání, pohyb kamery, případně atmosférické jevy ovlivňující vzhled kartograficky vyjádřených virtuálních 3D modelů), viz oddíl 2.1.3, resp. podkapitola 2.2. S těmito záležitostmi souvisí i nejpalcivější záležitost řešená v rámci virtuálních 3D map a tou je překrývání objektů ve virtuální 3D scéně, viz podkapitola 1.5. Díky tomu, že lze ovlivňovat pohled na zobrazenou skutečnost, lze najít pohled na scénu, ve které čtenář najde informaci, kterou hledá. Pokud by toto nebylo dostačující, kartografické metody používané u virtuálních 3D map pro ulehčení orientace čtenáře v mapě jsou uvedeny v oddílu 2.1.2.
- Zobrazovaná data nejsou obvykle před jejich vyobrazením ve virtuální 3D mapě převedena do roviny pomocí kartografických zobrazení, a to při použití virtuálních 3D glóbulů pro geovizualizaci těchto dat. U nich je poloha zobrazených objektů definována pomocí geodetického souřadnicového systému, u kterého je prostorová souřadnice definována pomocí šířky, délky a výšky;
- Otázkou však zůstává použití třetího rozměru pro vyjádření číselné hodnoty, kterou lze s úspěchem vyjádřit v ploše XY, viz nadužívání třetího rozměru, jak o něm hovoří Ware & Plumlee (2005), resp. oddíl 2.1.3. Výše uvedené metody jsou spojeny s kvantitativními vyjadřovacími prostředky, kterými se tato práce však nezabývala.

d. *Jsou mezi rozdílnými 2D a 3D reprezentacemi urbanizovaného území nějaké vztahy, případně jaké?*

Níže jsou uvedeny charakteristiky platné pro virtuální 3D mapy a jejich vliv na jiné odvozené charakteristiky spojené s těmito kartografickými díly. Tento výčet lze chápat ve smyslu „tato charakteristika je rozdílná od charakteristiky dvourozměrné mapy a implikuje ovlivnění další charakteristiky spojené s virtuální 3D mapou“. Nejedná se o konkrétní kartografické záležitosti, jde o obecnější charakteristiky:

- Velké množství zaměřených dat zvyšuje náklady (časové, finanční) na jejich zpracování, a symbolizaci. S tímto souvisí i objektivní stylový faktor nazvaný „technická vybavenost“, viz podkapitola 1.2;
- Více detailů (tj. informací) na 3D symbolech vede k většímu grafickému zatížení mapy;
- Detailnější vyjádření objektů v mapě, blízký pohled na objekt a volnost pohybu (pohledu) ve virtuální 3D scéně vede k věrnějšímu vyobrazení objektů v mapě.

Nicméně jak lze odvodit z výsledků experimentů provedených v rámci této disertační práce, viz podkapitola 5.4, ne vždy je trojrozměrné vyjádření objektů ve trojrozměrném referenčním prostoru (viz Dübel et al. (2014), resp. oddíl 2.2.3) vhodnější než jeho jiná forma vyjádření a naopak.

6.2 Rozbor konkrétních výzkumných otázek

V této podkapitole je uveden rozbor a diskuze konkrétních výzkumných otázek uvedených v podkapitole 5.2.

Otázka A. *Existují úlohy, které lze na dvourozměrné a trojrozměrné podobě mapy řešit s větším úspěchem? Pro jaké je vhodnější 2D podoba, pro které naopak 3D podoba mapy?*

Z experimentů, které jsou uvedené v podkapitole 5.3, je jasně patrné, že existuje celá řada úloh, které lze úspěšněji řešit ve dvourozměrném zobrazení mapy a naopak celá řada těch, které lze úspěšněji řešit ve trojrozměrném zobrazení mapy. Úspěšněji jsou dvourozměrná zobrazení mapy tam, kde prostorové vyjádření jevu (ve 3D) je spíše nevýhodou a „pouhé“ plošné vyjádření jevu (ve 2D) je výhodnější pro rychlejší a úspěšnější řešení dané úlohy. Takovými úlohami jsou úlohy typu určení plošné výměry, určení vzdálenosti v rovině apod. Trojrozměrná zobrazení mapy jsou s větším úspěchem použita tam, kde úloha operuje s prostorovou definicí objektů/jevů a jejich prostorovým vyjádřením ve třech dimenzích. Takovými úlohami jsou úlohy typu porovnávání výšky objektů spolu s terénem, na kterém jsou umístěné či řešení úloh ve vztahu k prostorovému modelu terénu. Obecně řečeno se jedná o takové úlohy, kde hraje zásadní roli nejen poloha objektu, ale také jeho výška, respektive všechny jeho proporce.

Otázka B. *Jsou symbolická (resp. ta, která jsou používána pro 2D mapy) vyjádření objektů vhodná pro jejich zobrazení na virtuální 3D mapě? Existují vhodnější varianty vyjádření objektů na virtuální 3D mapě?*

Z experimentů uvedených v podkapitole 5.3, je jasně patrné, že vhodně zvolené kartografické vyjádření objektu je klíčové pro správné čtení mapy, potažmo získávání informací z mapy. Co se týče kategorie samotných symbolů, které jsou používány pro klasické dvoudimenzionální mapy (tj. jsou zobrazené v rovině mapy), jejich použití je omezené. A to právě díky onomu průmětu symbolů do roviny (případně na digitální model terénu v případě virtuálních 3D map, tzv. technika pokrytí, viz oddíl 2.1.2), spolu s geometrií okolních objektů, které způsobují buď nulovou, nebo velice omezenou čitelnost. Nulovou v případě, jsou-li překryté jiným 3D symbolem či vrstvou, omezenou v případě, kdy je symbol vyobrazen mezi jinými 3D symboly a je viditelný pouze z omezeného pohledu. Tato omezení jsou s úspěchem řešena pomocí některých z kartografických technik uvedených v oddílu 2.1.2, konkrétně například translací (posunutím v horizontální, ale třeba i ve vertikální rovině) nebo ukotvením (vzvednutím symbolu nad překrývající objekty a spojení pomocí vodící čáry). Další často používanou formou je použití 3D varianty vzhledu běžně užívaného symbolu, např. pro bodové znaky zobrazené např. na obrázku 3-27, resp. 3-28 v podkapitole 3.5.

Otázka C. *Jaké reprezentace objektů z pohledu dimenze (0D, 1D, 2D, 3D) jsou vhodné pro různé prvky na virtuálních 3D mapách?*

Níže jsou uvedené návrhy, jak vhodně vyjádřit bodové, liniové a plošné znaky ve virtuální 3D mapě:

- Body (0D) – jako bodově lokalizované 0D/2D symboly zobrazené na terén pomocí techniky pokrytí (s omezením uvedeným v odpovědi na předchozí otázku) či jako bodově lokalizované 3D symboly;
- Linie (1D) – jako liniově lokalizované 1D symboly zobrazené na terén pomocí techniky pokrytí za vzniku 2,5D linie, nebo také jako 2,5D plochy (díky zdůraznění šířky linie) či jako skutečně 3D linie v prostoru;
- Plochy (2D) – jako plošně lokalizované 2D symboly zobrazené na terén pomocí techniky pokrytí za vzniku 2,5D plochy, nebo jako skutečně 3D plochy v prostoru.

Otázka D. *Jaké jsou alternativy pro virtuální 3D mapu ke klasické legendě uváděné na 2D mapách?*

Lze použít klasické legendy, jak ji známe z dvourozměrných map, kde legenda je sama o sobě výčtem a popisem objektů zobrazených v mapě organizovaná do přehledu zahrnujícího vyobrazení konkrétního znaku na mapě a jeho popisu (význam). Pro virtuální 3D mapu lze takovou legendu realizovat např. ve formě přehledu zobrazených vrstev (viz oddíl 2.1.3). Nicméně pro takovou formu legendy je obtížné vyjádření trojrozměrně zobrazených objektů jako malého 2D znaku. Řešením by mohlo být použití legendy zobrazující jednotlivé trojrozměrné symboly tak, jak jsou zobrazené ve virtuální 3D mapě. Je důležité zmínit to, že v legendě jsou uvedeny znaky, které jsou v dané mapě zobrazeny shodně. V případě virtuálních 3D map toto však nemusí být dodrženo, protože při tvorbě 3D symbolů budov v LOD3 má každá budova jiný vzhled, tj. nejsou všechny vyjádřeny stejně, aby se jejich charakteristická reprezentace mohla v legendě objevit. Nicméně zobrazení všech objektů ve virtuální 3D mapě by mělo být provedeno takovým způsobem, že legenda jako taková není pro čtenáře pro pochopení mapy nutná (viz zásada srozumitelnosti diskutovaná v podkapitole 6.1 či zásady tvorby mapové symboliky pro virtuální 3D mapy v oddílu 2.2.2). Legendu, ve smyslu získávání informací o významu prvků na mapě, lze suplovat pomocí interakce, kdy pomocí vybrání prvku se zobrazí jeho popisné či sémantické informace, což je v rámci virtuálních 3D map poměrně častým jevem.

6.3 Rozbor metodiky pro komparativní případové studie

V tomto oddílu je proveden rozbor jednotlivých kroků metodiky pro komparativní případové studie, jak jsou uvedeny v podkapitole 5.1.

1. *Upřesnění KEQ („key evaluation questions“ – klíčové otázky evaluace) a účel evaluace*

Tento bod je diskutován v podkapitole 6.1.

2. *Definování počátečních tvrzení nebo teorií*

Teorie ohledně virtuálních 3D map je uvedena v kapitole 2, spolu s její aplikací na příkladu virtuální 3D mapy urbanizovaného území popsané v kapitole 3.

3. *Definování typů případů, které budou ve studii zahrnuty a jak bude případová studie probíhat*

Provedení experimentů zkoumající 2D a 3D varianty kartografických vyjádření vybraných symbolů vyskytujících se na virtuálních 3D mapách urbanizovaného území je popsáno v podkapitole 5.3.

4. *Určení, jak budou důkazy shromažďovány, analyzovány a syntetizovány v rámci jednotlivých případů studie*

Popis způsobu vyhodnocení experimentů zařazených v rámci této komparativní případové studie jsou uvedeny na začátku podkapitoly 5.4.

5. *Vyhodnocení komparativní případové studie*

Popis samotného vyhodnocení provedených experimentů, včetně rozboru výsledků a diskutování alternativních způsobů vysvětlení získaných výsledků je uvedeno v jednotlivých oddílech podkapitoly 5.4. Souhrn těchto poznatků je pak uveden v podkapitole 5.5.

6. *Sepsání výsledků*

Viz především tato kapitola 6 zabývající se výsledky disertační práce a na ní navazující diskuze uvedená v další kapitole.

6.4 Možnosti dalšího výzkumu

V této podkapitole jsou doplněny možnosti dalšího výzkumu v oblasti tématu disertační práce. Těmi jsou z pohledu provedených praktických experimentů např. otázky a možnosti týkající se porovnávání trojrozměrných variant symbolů na virtuálních 3D mapách mezi sebou, což je další logický krok od porovnávání 2D a 3D variant vybraných kartografických vyjádření, které bylo v této disertační práci provedeno. V souvislosti se zkoumanými záležitostmi vztahující se k porovnávání trojrozměrných symbolů mezi sebou mohou být definovány následující výzkumné otázky typu:

- Jakou mírou ovlivňuje využití pouze fotorealistického přístupu tvorby kartografického vyjádření virtuálního 3D modelu možnosti rozlišení jednotlivých objektů umístěných ve virtuální 3D mapě urbanizovaného území? Fotorealistický koncept umožňuje vnímat skutečnou (reálnou) podobu 3D objektů, nicméně pokud symbolická informace není zobrazena přímo na daném fotografickém podkladu (např. vývěsní štít či logo firmy sídlící v budově), není v této formě virtuálního 3D modelu zobrazena.
- Jaké jsou vhodné reprezentace pro jednotlivé úrovně detailů kartografických vyjádření virtuálních 3D modelů?
- Lze s úspěchem využít perspektivní projekce modelu oproti izometrické? Pokud ano, při jakých příležitostech? Při určování rozměrů v rámci virtuální 3D mapy.
- Pro jaké příležitosti lze využít kartografická vyjádření abstraktních jevů? Například pro hlukovou mapu, resp. obecně pro virtuální 3D mapy zobrazující šíření jevů v prostoru a tedy nejen v ploše.

V souvislosti s výše uvedenými potenciálními výzkumnými otázkami lze navrhnout další experimenty typu:

- Téma: Porovnávání různých trojrozměrných vyjádření virtuálních 3D modelů mezi jednotlivými LOD.
Úvaha: Množství detailů na 3D objektech musí být dostatečné, ale zároveň co nejmenší pro rychlost vizualizace (alternativa k experimentu A v oddíle 5.3.1)
- Téma: Vhodnost rozdílných kartografických vyjádření pro rozličné úkoly
Úvaha: Existuje v rámci prostoru rozšířeného do tří dimenzí více možností pro kartografická vyjádření objektů, nicméně je zde nevýhoda ve větším množství dat (3D) tam, kde by stačila pouze jejich 2D reprezentace.
- Téma: Odhad velikosti prvků ve 3D (v perspektivním resp. izometrickém promítání)
Úvaha: Perspektivní promítání zkresluje poměr délek, izometrické délky zachovává a může být v těchto úkolech nápomocné.

Diskuze

Tato práce je určena všem těm, kteří se zajímají o kartografii, mapy, informační technologie a kteří si rádi rozšíří povědomí o novém kartografickém díle nazvaném virtuální 3D mapa. V této práci je virtuální 3D mapa vymezena a jsou rozebírány specifika těchto map na konkrétních příkladech, především v souvislosti s kartografickým vyjádřením objektů na těchto mapách. Byla zde uvedena celá řada s touto mapou souvisejících témat, přičemž některé z nich byly popsány detailně a jiné méně zevrubně. Tato kapitola se věnuje právě některým z nich.

Jednou z vlastností virtuální 3D mapy, která byla v textu naznačena, je možnost kombinování objektů s různou mírou podrobnosti v rámci jedné virtuální 3D scény. Přibližování a oddalování pohledu na zobrazené objekty probíhá v libovolném směru, a to nejen ve směru kolmém jako je tomu u 2D map. Na základě tohoto pohledu se mění i „měřítko“, resp. potenciálně podrobnost objektů zobrazených napříč virtuální 3D mapou. Této vlastnosti využívají techniky pro nahrazování 3D modelů, jak jsou uvedeny v oddílu 2.2.3. A to především na základě dvou veličin. Buď na základě vzdálenosti objektu od pozorovatele ve virtuální 3D scéně (obvykle v délkových jednotkách), nebo na základě velikosti, kterou zaujímá objekt zobrazený na průmětně, tj. na monitoru, v rámci použitého typu promítání (obvykle se udává v počtu pixelů, které daný objekt na průmětně zaujímá). Tím lze v rámci obecného pohledu na virtuální 3D scénu zobrazit najednou objekty v různých stupních podrobnosti, a to i v rámci jedné tematické vrstvy.

Často zmiňovaným pojmem v této práci je pojem „Level of Detail“ (LOD) definovaný v rámci standardu CityGML. Tento standard popisuje virtuální 3D modely a jejich kartografická vyjádření vycházející z půdorysu daného objektu (viz dva konkrétní příklady vlevo na obrázku 3-3). Mimoměřítkové znaky a symboly tento koncept nezahrnuje (takovými jsou například dva symboly vpravo na obrázku 3-3), protože takový symbol nelze dostatečně diferenciovat v souvislosti se sémantickými atributy uvedenými pro jednotlivé třídy objektů (viz obrázek 3-2). Jednotlivé symboly jsou vytvářeny od nejjednoduššího po nejdetailnější, přičemž tento postup byl v této práci použit, viz podkapitola 3.5. Na druhé straně další zmíněný pojem, resp. princip „Level of Abstraction“ (LOA) nalézá kartograficky charakteristické atributy jednoho nejdetailnějšího virtuálního 3D modelu. Spolu se sémantickými daty vztaženými k tomuto modelu lze pomocí principu LOA generovat i mimoměřítkové znaky, viz ukázka na obrázcích 3-6 či 3-11. I v tomto případě používají autoři principu LOA standard CityGML, pomocí kterého přiřazují k modelům ona sémantická data. Oproti principu LOD je princip LOA založen na jednom komplexním virtuálním 3D modelu reprezentujícím konkrétní prvek či objekt v mapě.

Sumarizace a syntetizace principů vhodných pro virtuální 3D mapy byla provedena na základě literatury uvedené v této práci. Je zřejmé, že existuje celá řada dalších publikací zabývajících se tématy této práce, a tím pádem by bylo potenciálně možné dojít i k lehce odlišným závěrům, než k těm uvedeným v kapitole 4. Nicméně zdroje pro tuto práci byly vybírány co možná nejvíce rozmanitě, aby se postihly různé pohledy a názory citovaných autorů. A to jak z pohledu geografického (čeští vs. zahraniční autoři), z pohledu časosběrného (zahrnutí prací vzniklých v druhé polovině 20. století až po ty soudobé), tak i z pohledu rozebíraných témat (viz definice mapy apod.).

Experimenty popsané v kapitole 5 byly navrženy tak, aby bylo možné v co nejkratším čase získat reprezentativní množství dat, tj. minimálně 59 respondentů pro každou z položených otázek, viz podkapitola 5.1. Tím se přistoupilo ke způsobu, jakým bylo dotazníkové šetření implementováno, kdy byla mezi otázkami měněna nejen základní manipulovaná proměnná (změna 2D a 3D vyjádření objektů), ale i další proměnné jako např. logika otázky (nejvyšší vs. nejnižší apod.) apod. Dalo by se z výsledků experimentů dokonce usuzovat, že i obtížnost řešení otázek by mohla být vnímána jako další manipulovaná proměnná. V ideálním, i když poměrně náročnějším případě (na čas a zdroje) by bylo možné přistoupit k volbě výzkumných metod, které by byly aktivně řízeny výzkumníkem, a to ve standardizovaných podmínkách, např. v laboratoři pod dohledem výzkumníka. Nicméně navržená a implementovaná verze experimentů má svá nezpochybnitelná pozitiva, kterými jsou díky použitým technologiím a struktuře zdrojových kódů např. jejich jednoduchá úprava a tudíž i rozšiřitelnost těchto experimentů, včetně různorodých možností jejich dalšího použití. A samozřejmě i poměrně vyšší počet respondentů díky šíření dotazníku po internetu.

Otázkou do diskuze je i volba, respektive obsah jednotlivých kategorií uvedených v podkapitole 6.1. V tomto rozboru jsou uvedeny kategorie kartografických principů z pohledu toho, zda je tyto principy možné převzít ze 2D do 3D bez úprav či s úpravami, nebo zda jsou některé čistě typické pro 3D. Nelze vyloučit, že existuje celá řada pohledů na zařazení principů do jednotlivých kategorií, či dokonce na jednotlivé kategorie. Příkladem může být používání termínu 2,5D data v rámci virtuálních 3D map, u kterých díky prostorovému vyjádření objektů by bylo vhodné hovořit spíše jen o 3D datech, viz analýza dimenze dat v oddílu 2.1.1. Rozbor v podkapitole 6.1 je empirickým výběrem autora a nepostihuje naprosto všechny kartografické principy zmíněné v této práci. Nicméně by bylo vhodné tvrzení uvedená v tomto rozboru ověřit, například pomocí výše uvedených experimentů, čímž se však již tato práce nezabývala.

Možnosti dalšího výzkumu v rámci virtuálních 3D map mohou být tedy nejen v oblasti dalšího zkoumání rozdílů mezi 2D a 3D vyjádřením objektů na mapách, ale také v samotném řešení kartografických vyjádření konkrétních virtuálních 3D modelů (jak je naznačeno v předchozí podkapitole této práce), spolu s řešením 3D geovizualizace abstraktních jevů či následně i 4D geovizualizace zohledňující časovou složku zobrazovaných dat.

Důležitá je nejen otázka dalšího výzkumu témat spojených s virtuálními 3D mapami, ale také možnosti použití těchto map pro různorodé účely. Těmi mohou být účely čistě prezentační, ale i rekonstrukční, sloužící jako zdroj dalších informací pomocí interakce mezi uživatelem a mapou či sloužící jako podpora pro aplikace konkrétních témat, u kterých 3D vyjádření prostorové situace hraje zásadní roli, například i pro virtuální či rozšířenou realitu (viz projekt Peregrinus zmíněný v kapitole Motivace práce). Kapitola 3 představila tyto mapy v souvislosti s tématem urbanizované území. Takové mapy mohou být s úspěchem využity např. pro potřeby územního plánování, 3D katastru, krizového řízení, jako součást Building Information Managementu (BIM) či v rámci dalších aplikací. Konkrétní příklad virtuální 3D mapy uvedený v podkapitole 3.5, nazvaný Virtuální 3D mapa pevnosti Terezín, má hned několik konkrétních účelů. Jde o účel prezentační (představuje dané území), rekonstrukční (je zobrazena historická podoba pevnosti z roku 1944) a slouží jako informační zdroj (interakcí se zobrazenými modely lze získat informace o místech, lidech a událostech spojenými s Terezínem a 2. světovou válkou).

Závěr

Tato práce se zabývala virtuálními 3D mapami z pohledu kartografie, a to také z toho důvodu, že jde o nová kartografická díla, jejichž vznik byl umožněn rozmachem informačních technologií.

V rámci této disertace byla nejdříve provedena komplexní rešerše definic dále používaných pojmů, na které navazovalo samotné vymezení pojmu virtuální 3D mapa. Dále byla provedena rešerše vybraných principů kartografických děl a vyjadřovacích prostředků, které byly základem pro kartografický pohled na virtuální 3D mapu.

Tato mapa byla nejdříve řešena obecně, kdy byl vymezen koncept tohoto kartografického díla, poté byla virtuální 3D mapa zkoumána z pohledu postupu její tvorby a následně i v souvislosti s výše zmíněnými principy. Převážně šlo o způsob vyjádření objektů vyskytujících se na těchto mapách. Z tohoto úhlu pohledu byly zkoumány vybrané kategorie objektů na konkrétním příkladu virtuální 3D mapy zobrazující urbanizované území. Šlo o objekty budov, komunikací, vegetace a městského mobiliáře. Pro tyto kategorie objektů byly navrženy konkrétní přístupy tvorby jejich kartografických vyjádření vhodných pro virtuální 3D mapy.

Na základě v této práci uvedené teorie byla vytvořena inovativní syntéza principů vhodných pro tato kartografická díla, související nejen s otázkami aplikovatelnosti kartografických principů užívaných u dvourozměrných map na virtuální 3D mapy. Vybrané principy byly experimentálně ověřeny na komparativní případové studii, zkoumající vhodnost dvourozměrných a trojrozměrných vyjádření daných objektů pro řešení konkrétních otázek. Vhodnost daného vyjádření byla vyhodnocena na základě statistického testování poměru četnosti správných a špatných odpovědí mezi 2D a 3D variantou otázek, resp. mezi variantami vyjádření zobrazených objektů.

Na začátku této disertační práce byly formulovány její dílčí cíle založené na výzkumu možnosti aplikování vybraných kartografických principů platných ve dvojrozměrné ploše mapy do prostředí virtuální 3D mapy.

Dílčí cíle práce jsou následující:

- *Rešerše možností tvorby a popis kartografických vyjadřovacích prostředků relevantních z hlediska tématu práce.*
 - Cíl byl splněn, viz kapitola 1.
- *Systematizace principů ovlivňujících volbu a tvorbu kartografických znaků či symbolů pro virtuální 3D mapu.*
 - Cíl byl splněn, viz kapitola 2, podkapitoly 3.1 a 3.2 a především kapitola 4.
- *Praktická ukázka tvorby virtuální 3D mapy na příkladu urbanizovaném území.*
 - Cíl byl splněn, viz podkapitoly 3.4, resp. 3.5.
- *Evaluace vybraných principů z výše uvedené systematizace*
 - Cíl byl splněn, viz kapitola 5.

Přínos této disertační práce spatřuje její autor především ve:

- Vymezení a návrhu dosud nepoužívané české terminologie týkající se virtuální 3D mapy jako druhu kartografického díla. Jinými slovy lze tuto práci vnímat jako příspěvek do diskuze ohledně rozšíření terminologie oboru kartografie o další pojem;
- Rozšíření povědomí o virtuálních 3D mapách jako kartografickém díle mezi laickou a především mezi odbornou veřejností;
- Sumarizaci a syntetizaci principů tvorby kartografických znaků a symbolů zobrazovaných na virtuálních 3D mapách;
- Praktickém ověření těchto principů na komparativní případové studii porovnávající dvourozměrné a trojrozměrné varianty kartografických vyjádření různých objektů;
- Praktické aplikaci těchto principů na vlastním příkladu virtuální 3D mapy urbanizovaného území;
- Vymezení metodického postupu a návrhu praktických experimentů v takové podobě, že je umožněno jejich opakované použití pro další výzkum nejen v této výzkumné oblasti;
- Možnosti aplikování a zohlednění výsledků této práce při návrhu kartografického vyjádření objektů na dalších příkladech virtuálních 3D map či obdobných kartografických dílech.

Seznam literatury

A

- Adami, A., Guerra, F. (2006) 3D digital maps: New development in cartography for cultural heritage. In *e-Perimtron*, Vol. 1, No. 2, Spring 2006, pp. 164-169, ISSN 1790-3769.
- Andrews, J. (1996). What Was a Map? The Lexicographers Reply. In *Cartographica*, No. 33, Vol. 4., pp. 1-11.
- Angel, E. (2006). *Interactive Computer Graphics: A Top-Down Approach with OpenGL* (5th Edition). Addison-Wesley, ISBN 978-0321535863, 784 s.

B

- Baig, S. U., Rahman, A. A. (2013) A three-step strategy for generalization of 3D building models based on CityGML specifications. In *GeoJournal*, December 2013, Volume 78, Issue 6, pp 1013–1020, <https://doi.org/10.1007/s10708-013-9475-0>.
- Bandrova (2001) Designing of Symbol System for 3D City Maps. In *Proceedings of the 20th International Cartographic Conference, Beijing*, Vol. 2, pp. 1002-1010, ICA, Beijing, China.
- Bandrova (2005) Innovative Technology of the Creation of 3D Maps. In *Data Science Journal*, Volume 4, 31 August 2005.
- Bandrova, T., Zlatanova, S., Konečný, M. (2012) Three-Dimensional Maps for Disaster Management. In *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. I-4, Melbourne, pp. 245-250, ISSN: 2194-9042.
- Bandrova, T., Bonchev, S. (2013) 3D Maps – Scale, Accuracy, Level of Detail. In *26th International Cartographic Conference Proceedings*, 25-30 August 2013, ISBN 978-1-907075-06-3.
- Bertin, J. (1967) *Sémiologie graphique*, Paris, In *Revue Géographique de l'Est*, 1968, Mouton/Gauthier-Villars. Pp. 398-399.
- Bertin, J. (1983) *Semiology of Graphics: Diagrams, Networks, Maps* (1st ed). ESRI Press, California, USA, ISBN 978-1589482616.
- Biljecki, F., Stoter, J., Ledoux, H., Zlatanova, S., Çöltekin, A. (2015). Applications of 3D City Models: State of the Art Review. In *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), 2842-2889. doi:10.3390/ijgi4042842.
- Bleisch, S. (2012) 3D Geovisualization – Definition and Structures for the Assessment of Usefulness. In *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, I-2, pp. 129-134.
- Bodum, L. (2005) *Modelling Virtual Environments for Geovisualization: A Focus on Representation*. In J. Dykes, A. M. MacEachren, M. - J. Kraak (Eds.): *Exploring Geovisualization*. Elsevier/Pergamon, pp. 389-402.

- Bonchev, S. (2014) Types of 3D Map Visualization. Difficulties, Solutions and Compromises, In Geomatika v projektech 2014, Štáhlavy.
- Bot, K. (2004) 42 or 363 Definitions of Cartography (The Institute for Infinitely Small Things). Dostupné na <http://www.lulu.com/items/volume_26/417000/417228/1/print/009_42.pdf>, [cit. 2017- 04-20].
- Boyanova, K., Bandrova, T. (2014) 3D mapping for needs of architecture, In 4th International Conference on Cartography and GIS, Volume 1, Albena, 18-22 June, 2012, pp. 201-210, Bulgarian Cartographic Association, ISSN: 1314-0604.
- Brus, J., Dobešová, Z., Kaňok, J. (2009) Utilization of ExpertSystems in Thematic Cartography. In Badr Y., Caballe S., XhafaF., Abraham A., Gros B. (Ed.): INCOS '09 Proceedings of the 2009 International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems. pp. 285-289, IEEE Computer Society, Washington DC, USA, ISBN 978-0-7695-3858-7.
- Buchroithner, M., Schenkel, R., Kirschenbauer, S. (2000) 3D DISPLAY TECHNIQUES FOR CARTOGRAPHIC PURPOSES: SEMIOTIC ASPECTS, In International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B5. Amsterdam.
- Bureš, M., Görner, T., Šedivá, B. (2015) Hand anthropometry of Czech population. In International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM2015). Singapore: Meeting Matters International, 2015. s. 451-456. ISBN: 978-1-4673-8065-2.

C

- Cambray, B., Yeh, T-S. (1994) A MULTIDIMENSIONAL (2D, 2.5D, AND 3D) GEOGRAPHICAL DATA MODEL. Dostupné na <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.41.7787&rep=rep1&type=pdf>>, [cit. 2017-04-27].
- Card, S., Moran, T. P., Newell, A. (1983). The Psychology of Human-Computer Interaction. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, ISBN 0898592437.
- Cartwright, W., Peterson, M., Gartner, G. (2006) Multimedia Cartography, 2nd edition, Springer, 2006, ISBN: 3-540-36650-4; 546 p.
- Chen, J. X. (2007) Guide to Graphics Software Tools, Springer Science & Business Media, 23. 8. 2007, ISBN 0-387-95049-4, 503 s.
- Coltekin, A., Reichenbacher, T (2011) High Quality Geographic Services and Bandwidth Limitations, In Future Internet 2011, issue 3, 379-396; doi:10.3390/fi3040379.
- Coltekin, A., Lokka, I. E., Boer, A. (2015) The utilization of publicly available map types by non-experts – A choice experiment. In Proceedings of the 27th International Cartographic Conference (ICC2015), Rio de Janeiro, Brazil, 23–28 August 2015.
- Crampton, J. (2010) Mapping: a critical introduction to cartography and GIS, Wiley-Blackwell, ISBN 978-1-4051-2173-6, 232 p.

Čerba, O. (2011) Analýza pojmu mapa, In Kartografické listy, 2011, 19, s. 31-37.

Čerba, O., Jedlička, K. (2016). Linked Forests: Semantic similarity of geographical concepts "forest". Open Geosciences, 8(1), pp. 556-566, DOI:10.1515/geo-2016-0049.

D

Dimopoulou, E., Tsiliakou, E., Kosti, V., Floros, G., Labropoulos, T. (2014) Investigating integration possibilities between 3D modeling techniques, 9th International 3DGeoInfo 2014, Dubai, UAE.

Dodge, M., McDerby, M., Turner, M. (2008) Geographic Visualization – Concepts, Tools and Applications. John Wiley & Sons, Ltd., ISBN 978-0-470-51511-2, 348 p.

Döllner, J., Kolbe, T. H., Liecke, F., Sgouros, T., Teichmann, K. (2006) The virtual 3D city model of Berlin – managing, integrating, and communicating complex urban information, In Proceedings of the 25th Urban Data Management Symposium UDMS 2006, Aalborg, Denmark.

Döllner, J. (2008) Visualization, Photorealistic and Non-photorealistic, Encyclopedia of GIS, pp. 1223-1228, DOI: 10.1007/978-0-387-35973-1_1458.

Dragland, A (2013) Big Data – for Better or Worse, SINTEF, Retrieved on July 22 2013.

Dostupné na <<https://www.sciencedaily.com/releases/2013/05/130522085217.htm>>, [cit. 2017-04-27].

Dübel, S., Röhlig, M., Schumann, H., Trapp, M. (2014) 2D and 3D Presentation of Spatial Data: A Systematic Review, In IEEE VIS International Workshop on 3DVis, 11/2014.

Dvorský, L., Šašinka, Č. (2015) Vliv pseudo 3D a 3D zobrazení na vnímání hloubky, diplomová práce, Masarykova univerzita, Filozofická fakulta, Psychologický ústav, 77 s.

E

Elias, B., Paelke, V., Kuhnt, S. (2006) Kartographische Visualisierung von Landmarken, GEOVIS 2006, Potsdam

F

Fabrikant, S. I., Maggi, S., & Montello, D. R. (2014) 3D Network spatialization: does it add depth to 2D representations of semantic proximity? In Geographic Information Science, pp. 34-47, Springer International Publishing.

Ferjenčík, J. (2000) Úvod do metodologie psychologického výzkumu: jak zkoumat lidskou duši, Nakladatelství Portál, ISBN 978-80-7367-815-9.

Forberg, A. (2007) Generalization of 3D building data based on a scale-space approach, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 62, Issue 2, June 2007, Pages 104-111, <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2007.01.002>.

Friesl, M., Šedivá, B., Tomiczek, P. (2013) Entrance test from mathematics at the University of West Bohemia. In Aplimat 2013 : 12th conference on applied mathematics : proceedings. Bratislava: Slovak University of Technology, 2013. s. "P28-1"- "P28-10". ISBN: 978-80-227-3865-1.

G

Gahegan, M., N. (1999) Characterizing the Semantic Content of Geographic Data, Models, and Systems. Goodchild M., Egenhofer M., Fegeas R., Kottman C. (eds) Interoperating Geographic Information Systems. The Springer International Series in Engineering and Computer Science, vol 495, DOI https://doi.org/10.1007/978-1-4615-5189-8_6.

Gantz, J., Reinsel, D. (2013) The Digital Universe in 2020: Big Data, Bigger Digital Shadows, and Biggest Growth in the Far East, IDC IView: IDC Analyze the Future.

Glander, T., Trapp, M., Dollner, J. (2007) A Concept of Effective Landmark Depiction in Geovirtual 3D Environments by View-Dependent Deformation. In 4th International Symposium on LBS and Telecartography 2007.

Goodrick, D. (2014) Comparative Case Studies, Methodological Briefs – Impact Evaluation No. 9, UNICEF, Office for Research. Dostupné na http://devinfo.info/impact_evaluation/ie/img/downloads/Comparative_Case_Studies_EN_G.pdf, [cit. 2017-04-12].

Góralski, R (2012) Three-dimensional interactive maps : theory and practice, PhD Thesis, University of South Wales. Dostupné na <https://core.ac.uk/download/pdf/6117397.pdf>, [cit. 2017-12-12].

H

Häberling, Ch. (2002) '3D Map Presentation – A Systematic Evaluation of Important Graphic Aspects, In Proceedings of ICA Mountain Cartography Workshop 'Mount Hood', Mt. Hood, OR, May 15–19 2002.

Häberling, C. (2004) Topografische 3D-Karten – Thesen für kartografische Gestaltungsgrundsätze. Dissertation, Institut für Kartographie der ETH Zürich. Dostupné na <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/148021>, [cit. 2017-01-12].

Häberling, Ch. (2005) 'Cartographic Design Principles for 3D Maps – A Contribution to Cartographic Theory', In Proceedings of ICA Congress Mapping Approaches into a Changing World, Coruna, Spain.

Häberling, Ch., Bär, H., Hurni, L. (2008) Proposed Cartographic Design Principles for 3D Maps: A Contribution to an Extended Cartographic Theory. *Cartographica* 43 (3): 175-188.

- Hájek, P., Jedlička, K., Vichrová, M., Fiala, R. (2013) Conceptual approach of information rich 3D model about the Terežín Memorial. *Geoinformatics FCE CTU*, roč. 11, s. 49-62. ISSN: 1802-2669, DOI <http://dx.doi.org/10.14311/gi.11.4>.
- Hájek, P., Jedlička, K., Fiala, R., Kepka, M., Vichrová, M., Čada, V. (2014) Completion of a complex 3D model of the Terežín city — Technical Issues. In *5th International Conference On Cartography And GIS Proceedings*. Sofia, Bulgaria: Bulgarian Cartographic Association, s. 598-606. ISSN: 1314-0604.
- Hájek, P., Jedlička, K., Kepka, M., Fiala, R., Vichrová, M., Janečka, K., Čada, V. (2015) 3D Cartography as a Platform for Reminding Important Historical Events: The Example of the Terežín Memorial. In *Modern Trends in Cartography*. the Netherlands: Springer International Publishing, 2015. s. 425-437. ISBN: 978-3-319-07925-7, ISSN: 1863-2246.
- Hájek, P., Jedlička, K., Čada, V. (2016) Principles of Cartographic Design for 3D Maps – Focused on Urban Areas, *6th International Conference on Cartography and GIS 2016 Proceedings*, Vol. 1 and Vol. 2. Sofia, Bulgaria: Bulgarian Cartographic Association, 2016. s. 297-307, ISSN: 1314-0604.
- Hájek, P. (2017) 3D kartografie historických budov, *Sborník příspěvků z konference „Zámky mnohé znamenité kázal opravovati“*, Blovice, 24. 11. 2016 [v tisku].
- Hálek, I. (2004) *Systémy řízení*. 1. vyd. [skriptum], Brno: Masarykova univerzita v Brně, 2004.
- Halik, L. (2012) The analysis of visual variables for use in the cartographic design of point symbols for mobile Augmented Reality applications. *Geodesy and Cartography*, 61(1): 19–30. doi:10.2478/v10277-012-0019-4.
- Hátle, J., Likeš, J. (1974) *Základy počtu pravděpodobnosti a matematické statistiky*, 2. vydání, SNTL nakladatelství technické literatury.
- Hendl, J. (2008) *Kvalitativní výzkum: základní teorie, metody a aplikace*, Nakladatelství Portál, ISBN 978-80-262-0982-9.
- Herman, L. (2013a) Adaptivní 3D vizualizace měst, In *Sborník příspěvků GIS Ostrava 2013*, ISBN 9788024829517.
- Herman, L. (2013b) *Vizualizace 3D modelů měst na webu, rigorózní práce*, Masarykova univerzita v Brně, Brno, 160 s.
- Herman, L., Řezník, T. (2015) 3D web visualization of environmental information - Integration of heterogeneous data sources when providing navigation and interaction, In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives 40(3W3)*, pp. 479-485.
- Herman, L., Stachoň, Z. (2016) Comparison of User Performance with Interactive and Static 3D Visualization – Pilot Study, In *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B2, 2016 XXIII ISPRS Congress, 12–19 July 2016, Prague, Czech Republic*.

Herman, L., Juřík, V., Stachoň, Z., Ugwitz, P. (2017) Virtuální realita v kartografii – použitelnost, interaktivita a jejich testování, 22. kartografická konference v Liberci.

Hojovec, V., Daniš, M., Hájek, M., Veverka, B. (1987) Kartografie, Geodetický a kartografický podnik v Praze, Praha, 1. vydání, 660 s.

I

ICA (1992) A map definition by Cartographic Board, Report of working group on cartographic definitions 1991, ICA Newsletter, 19 May 1992, in Cartographica, xxix (1992), p. 54. Verified by R. W. Anson, chairman, ICA publications committee, 17 March 1994.

ICA (2003) A Strategic Plan for the International Cartographic Association 2003-2011 As adopted by the ICA General Assembly 2003-08-16. Dostupné na <http://icaci.org/files/documents/reference_docs/ICA_Strategic_Plan_2003-2011.pdf>, [cit. 2017-10-03]

ICA (2011) A Strategic Plan for the International Cartographic Association 2011-2019. Dostupné na <https://icaci.org/files/documents/reference_docs/ICA_Strategic_Plan_2011-2019.pdf>, [cit. 2017-10-03]

Issmael, L., Menezes, P. (2011) Cognitive Cartography and Geographic Information Spatialization, In: 25th International Cartographic Conference, 2011, Paris. In Proceedings of the 25th International Cartographic Conference, 2011.

J

Jahnke, M., Meng, L., Kyprianidis, J. E., Döllner, J.: (2009) Non-photorealistic Rendering on Mobile Devices and its Usability Concerns, LIN, H., BATTY, M.: Virtual Geographic Environments, Beijing: Science Press, s. 168–181. ISBN 9787030234674.

Jedlička, K., Hrádková, M. (2009) Studie možností sběru a zpracování podrobných 3D dat pro účely památkové péče, diplomová práce, Západočeská univerzita v Plzni, 2009, 103 s.

Jedlička, K., Luňák, T. (2009) Geografická datová báze Státního Zámku Kozel, diplomová práce, Západočeská univerzita v Plzni, 2009, 73 s.

Jedlička, K., Hájek, P., Čerba, O. (2012) Experience with methods of 3D cartography gained during visualization of detailed geographic data for purposes of documenting cultural heritage (case study at the castle Kozel). In GeoCart'2012 and ICA Regional Symposium on Cartography for Australasia and Oceania. Auckland: New Zealand Cartographic Society Inc., s. 89-100. ISBN: 978-0-473-22313-7.

- Jedlička, K., Čerba, O., Hájek, P. (2013) Creation of information-rich 3D model in Geographic Information System – Case Study at the Castle Kozel. In *Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing, Conference Proceedings volume I*. Bulgaria, Sofia: STEF92 Technology Ltd., SGEM 2013. s. 685-692. ISBN: 978-954-91818-9-0, ISSN: 1314-2704, DOI: 10.5593/SGEM2013/BB2.V1/S11.010.
- Jedlička, K., Hájek, P. (2014) Large scale Virtual Geographic Environment of the castle Kozel – best practice example. In *5th International Conference on Cartography and GIS Proceedings*. Sofia, Bulgaria: Bulgarian Cartographic Association, s. 397-404. ISSN: 1314-0604.
- Jedlička, K. (2018) A comprehensive overview of 3D GIS, In *7th International Conference on Cartography and GIS 2018 Proceedings, Vol. 1 and Vol. 2*. Sofia, Bulgaria: Bulgarian Cartographic Association, 2018 (v tisku)
- Jeřábková, L., Fiala, R. (2016) *Prostorová vizualizace kostela sv. Václava v Radnicích*, bakalářská práce, Plzeň, ZČU, 44 s.
- Jobst, M., Germanchis, T. (2007) The Employment of 3D in Cartography – An Overview, In *Multimedia Cartography, 2007*, pp. 217-228, DOI 10.1007/978-3-540-36651-5_15.
- Jobst, M., Kyprianidis, J. E., Döllner, J. (2008) Mechanisms on Graphical Core Variables in the Design of Cartographic 3D City Presentations, Moore A., Drecki I. (eds) *Geospatial Vision. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Juřík, V., Herman, L., Šašinka, Č., Stachoň, Z., Chmelík, J. (2017) When the display matters: A multifaceted perspective on 3D geovisualizations, *Open Geosciences*, DOI <https://doi.org/10.1515/geo-2017-0007>.

K

- Kaden, R., Kolbe, T. (2013) CITY-WIDE TOTAL ENERGY DEMAND ESTIMATION OF BUILDINGS USING SEMANTIC 3D CITY MODELS AND STATISTICAL DATA, In *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume II-2/W1, ISPRS 8th 3DGeoInfo Conference & WG II/2 Workshop, 27 – 29 November 2013, Istanbul, Turkey*.
- Kaňok, J. (1999): *Tematická kartografie*. Ostravská univerzita, Ostrava, 318 s., ISBN 80-7042-781-7.
- Konečný, M. (2013) Maintaining good quality maps with new techniques is a major concern. Dostupné na <<https://www.geospatialworld.net/article/maintaining-good-quality-maps-with-new-techniques-is-a-major-concern/>>, [cit. 2017-03-22].
- Kraak, M. J. (1988) *Computer-assisted cartographical three-dimensional imaging techniques*, Dissertation (PhD Thesis), Delft: Delft University Press. ISBN 90-6275-463-5.
- Kraak, M. J. (2002). *Visual exploration of virtual environments*. Unwin D. and Fisher P. (Eds.): *Virtual reality in Geography*. New York: Taylor & Francis, pp 58-67.
- Kraak, M., Ormeling, F. (2010) *Cartography: visualisation of geospatial data*. 3rd ed. London: Pearson Education Limited, ISBN 978-1-60918-193-2.

Kraak, M. J., Fabrikant, S. I. (2017) Of Maps, Cartography, and the Geography of the International Cartographic Association. In *International Journal of Cartography*, DOI: 10.1080/23729333.2017.1288535.

Kubíček, P., Štampach, R., Řezník, T., Herman, L., Paleček, V., Jedlička, K., Šafář, V., Sovadina, M., Zatloukal, P., Zít, J., Horáková, B., Šíková Z. (2016) Certifikovaná metodika pro inovaci a vedení Základní báze geografických dat (ZABAGED®), Realizováno v rámci projektu TB05CUZK001 Inovace Základní báze geografických dat (ZABAGED®), 30. 11. 2016.

Kubíček, P., Šašinka, Č., Stachoň, Z., Herman, L., Juřík, V., Urbánek, T., Chmelík, J. (2017) Identification of altitude profiles in 3D geovisualizations: the role of interaction and spatial abilities, In *International Journal of Digital Earth*, DOI: 10.1080/17538947.2017.1382581.

L

Lifewire (2017) 7 Common Modeling Techniques: An Introduction to 3D Modeling Techniques. Dostupné na < <https://www.lifewire.com/common-modeling-techniques-for-film-1953>>, [cit. 2017-03-22]

Litschmannová, M. (2011), Úvod do statistiky, elektronická skripta, VŠB-TUO. Dostupné na <<http://mi21.vsb.cz/modul/uvod-do-statistiky>>, [cit. 2018- 03-20].

Livatino, S., De Paolis, L., D'Agostino, M., Zocco, A., Agrimi, A., De Santis, A., Bruno, L., Lapresa, M. (2015) Stereoscopic Visualization and 3D Technologies in Medical Endoscopic Teleoperation. In *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(1), 525- 535.

Lonergan, K. (2014) Big data and mapping – a potent combination, 28 JULY 2014. Dostupné na <<http://www.information-age.com/big-data-and-mapping-potent-combination-123458292/>>, [cit. 2017-03-22]

Lynch, K. (1960) *The Image of the City*, The MIT Press: Cambridge, Cambridge, MA, USA

M

MacEachren, A. M., Kraak, M. J. (2001) Research Challenges in Geovisualization. Dostupné na <http://schiewe-online.de/geovis_refs/MacEachren_Kraak.pdf> , [cit. 2017-12-31].

Macek, J., Fischer, J., Potůčková, Č., Šedivá, B. (2008) *Ekonomická a sociální statistika*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2008, 240 s. ISBN: 978-80-7043-642-4.

Millar, R. B. (1968) Response in man-machine conversational transactions. In *Proceedings of AFIPS Fall Joint Computer Conference*, San Francisco, CA, USA, December 1968; pp. 267–277.

Moellering, H., (2007) Expanding the ICA conceptual definition of a map. In *Proceedings of the 23th International Cartographic Conference*. Moscow.

Morrison, L. (1997) Topographic mapping for the twenty-first century, In *Framework for the World*, ed. by D. Rhind, pp. 14-27, Cambridge: Geoinformation International.

Morra, L., Friedlander, A. (1990) Case Study Evaluations, World Bank – Operations Evaluation Department. Dostupné na <https://ieg.worldbankgroup.org/Data/reports/oed_wp1.pdf>, [cit. 2017-04-12].

Mošna, J., Pešek, P. (2001) Systém hromadné obsluhy. [skriptum] Plzeň: Západočeská univerzita, 2001.

N

Novák, S. (1988) Mapa jako model geografické reality. Zprávy GGÚ ČSAV, Brno: Geografický ústav ČSAV, roč. 25/1988, č. 1, s. 59-65. ISSN 0375-6122.

Nielsen, J. (1993) Response times: The 3 Important Limits, Usability Engineering, Morgan Kaufmann: San Francisco, CA, USA, ISBN 978-0125184069.

Nielsen, J. (2010) Website response times, 21 June 2010. Dostupné na <https://www.nngroup.com/articles/website-response-times/>, [cit. 2018-01-09].

O

OGC (2012) OGC City Geography Markup Language (CityGML) En-coding Standard, Open Geospatial Consortium, version 2.0.0, Publication Date: 2012-04-04. Dostupné na <<http://www.opengeospatial.org/standards/citygml>>, [cit. 2017-04-11].

Oleggini, L., Nova, S., Orvieto, I., Humi, L. (2010) Smooth transition between 2D and 3D digital atlas visualization using computer game technology, geospatial data and geovisualization: environment, security, and society, In Book Series: International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume: 38 Part: 4.

Oniga, E. (2012) COMPARATIVE STUDY ON METHODS FOR 3D MODELLING OF URBAN AREAS, In International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B6, 2012 XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012, Melbourne, Australia.

Ooms, K., De Maeyer, P., Dupont, L., Van der Veken, N., Van de Weghe, N., Verplaetse, S. (2016) Education in cartography: what is the status of young people's map-reading skills?, CARTOGRAPHY AND GEOGRAPHIC INFORMATION SCIENCE, 43(2), pp. 134-153.

P

Pascher, R., & Philip, F. (2001) 3D visualization and stereographic techniques for medical research and education. In Medicine Meets Virtual Reality 2001: Outer Space, Inner Space, Virtual Space, 81, 434 p.

Pasewaldt, S., Semmo, A., Trapp, M., Döllner, J. (2012) Towards Comprehensible Digital 3D Maps, Symposium on Service-Oriented Mapping, pp. 261-276.

- Pegg, D. (2011) Design Issues with 3D Maps and the Need for 3D Cartographic Design Principles, workshop "Maps for the future: Children, Education and the Internet". Dostupné na <<http://lazarus.elte.hu/cet/academic/pegg.pdf>>, [cit. 2017-01-22].
- Petrovič, D. (2003) Cartographic design in 3D Maps, In International Cartographic Conference 2010 Proceedings, DOI 10.1.1.655.7874. Dostupné na <http://icaci.org/files/documents/ICC_proceedings/ICC2003/Papers/248.pdf>, [cit. 2016-11-22].
- Petrovič, D., Mašera, P. (2005) ANALYSIS OF USER'S RESPONSE ON 3D CARTOGRAPHIC PRESENTATIONS. Dostupné na <http://www.mountaincartography.org/publications/papers/papers_bohinj_06/16_Petrovic_Masera.pdf>, [cit. 2017-11-22]
- Plánka, L. (2006) Kartografie a základy GIS, MODUL 02 – Kartografická interpretace. Brno 2006.
- Plánka, L. (2014) Kartografie 1, část 1, verze 2, VŠB-TUO, Ostrava 2014. Dostupné na <http://igdm.vsb.cz/igdm/materialy/KARTOGRAFIE_I_1_UVOD.pdf>, [cit. 2018-01-02].
- Popelka, S., Brychtová, A. (2012). THE HISTORICAL 3D MAP OF LO ST OLOMOUC FORTRESS CREATION. In H. Svobodová (Ed.), Proceedings of the 19th International Conference on Geography and Geoinformatics: Challenge for Practise and Education (pp. 147-153).
- Popelka, S., Brychtová, A. (2013) Eye-tracking Study on Different Perception of 2D and 3D Terrain Visualisation, <http://dx.doi.org/10.1179/1743277413Y.0000000058>.
- Popelka, S., Doležalová, J. (2016) Differences between 2D map and virtual globe containing point symbols – an eye-tracking study, Geoconference on Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing, Vol III, pp. 175-182, doi:10.5593/sgem2016B23.
- Popelka, S. (2018) EYE-TRACKING (NEJEN) V KOGNITIVNÍ KARTOGRAFII: Praktický průvodce tvorbou a vyhodnocením experimentu, Olomouc 2018 (v tisku).
- Pravda, J. (2006) Metódy mapového vyjadrovania – Klasifikácia a ukážky, Geographia Slovaca 21, Bratislava, VEDA, 127 s., ISSN 1210-3519.

R

- Ratajski, L. (1989) Metodyka kartografii społeczno gospodarczej, 2. wydání, Warszawa-Wrocław, ISBN 83-7000-055-X.
- Razzak, A., Ziboon, T., Mohsin, A. N. (2009) 3-D Virtual Maps Production for Mosul City by using GIS Techniques, Eng. & Tech. Journal, Vol. 27, No. 9.
- Robinson, A., Morrison, J., Muehrcke, P., Kimerling, A., Guptill, S. (1995) Elements of Cartography, 6th Edition, ISBN 978-0471555797.
- Robinson, A. (2013) Highlighting in Geovisualization, Cartography and Geographic Information Science, DOI: 10.1559/15230406384373.

Rohrer, C. (2014) When to Use Which User-Experience Research Methods, Nielsen Norman Group. Dostupné na <<https://www.nngroup.com/articles/which-ux-research-methods/>>, [cit. 2018-01-02].

Rozmanová, N., Gajdík, Z. (2015) Principy a zásady urbanistické kompozice v příkladech, Ministerstvo pro místní rozvoj Ústav územního rozvoje, prosinec 2015. Dostupné na <https://www.mmr.cz/getmedia/82ed4e8c-759a-4490-a59f-23d47a3791a4/2016_III_31_Principy-a-zasady-urbanisticke-kompozice-v-prikladech.pdf>, [cit. 2018-01-26].

S

San Jose, R., Perez, J. L., Gonzalez, R. M. (2012) Advances in 3D visualization of air quality data. Dostupné na <http://3u3d.edpsciences.org/articles/3u3d/pdf/2012/01/3u3d_02002.pdf>, [cit. 2017-11-19].

Sauro, J., Lewis, J. R. (2016) Quantifying the user experience: Practical statistics for user research, Morgan Kaufmann, ISBN 978-0123849687.

Schmidt, M., Delazari, L. (2010) Proposing of qualitative testing methodology for 3D Maps, BOLETIM DE CIENCIAS GEODESICAS, Volume: 16 Issue: 4, pp. 575-588.

Schobesberger, D., Patterson, T. (2008) Evaluating the Effectiveness of 2D vs. 3D Trailhead Maps, US National Parks Service. Dostupné na <http://www.mountaintopography.org/publications/papers/papers_lenk_08/schobesberger.pdf>, [cit. 2016-11-22].

Semmo, A., Hildebrandt, D., Trapp, M., Döllner, J. (2012) Concepts for Cartography-Oriented Visualization of Virtual 3D City Models, PHOTOGRAMMETRIE FERNERKUNDUNG GEOINFORMATION, DOI: 10.1127/1432-8364/2012/0131, pp. 455-465.

Semmo, A., Döllner, J. (2014) An Interaction Framework for Level-of-Abstraction Visualization of 3D Geovirtual Environments, In Proceedings 2nd ACM SIGSPATIAL Workshop on Map Interaction, pp. 43-49.

Semmo, A., Döllner, J. (2015) Interactive Image Filtering for Level-of-Abstraction Texturing of Virtual 3D Scenes, In Computers & Graphics, vol. 52, pp. 181-198.

Semmo, A., Trapp, M., Jobst, M., Döllner, J. (2015) Cartography-Oriented Design of 3D Geospatial Information Visualization – Overview and Techniques, In The Cartographic Journal, vol. 52(2), pp. 95-106.

Sester, M. (2007) 3D Visualization and Generalization, Photogrammetric Week '07, Dieter Fritsch (Ed.), Wichmann Verlag, Heidelberg. Dostupné na <<http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo07/320Sester.pdf>>, [cit. 2017-11-19].

- Shepherd, I., D. (2008) Travails in the third dimension: a critical evaluation of threedimensional geographical visualization. In DODGE, M., MC DERBY, M., TURNER, M.: Geographic Visualization : Concepts, Tools an Applications. Chichester: Wiley, 2008, s. 199-222. ISBN 978-0-470-51511-2.
- Shiode, N. (2001) 3D urban models: Recent developments in the digital modelling of urban environments in three-dimensions. Dostupné na <<http://www.springerlink.com/content/2vvt3dxgxj1b36fr/fulltext.pdf>>, [cit. 2018-01-11].
- Sieber, R., Schnürer, R., Eichenberger, R., Hurni L. (2013) The Power of 3D Real-Time Visualization in Atlases – Concepts, Techniques and Implementation, Proceedings of the 26th International Cartographic Conference : Dresden, 25-30 August 2013. Dostupné na <https://www.atlasderschweiz.ch/wp-content/uploads/13_Sieber_ICC.pdf>, [cit. 2018-01-14].
- SIG3D (2014) Modeling Guide for 3D Objects - Part 2: Modeling of Buildings (LoD1, LoD2, LoD3), (c) Copyright 2012-2017 Special Interest Group 3D (SIG3D), poslední aktualizace 12. 11. 2014. Dostupné na <[http://en.wiki.quality.sig3d.org/index.php/Modeling_Guide_for_3D_Objects_-_Part_2:_Modeling_of_Buildings_\(LoD1,_LoD2,_LoD3\)](http://en.wiki.quality.sig3d.org/index.php/Modeling_Guide_for_3D_Objects_-_Part_2:_Modeling_of_Buildings_(LoD1,_LoD2,_LoD3))>, [cit. 2018-01-14].
- Šíma, J. (2003) Geoinformační terminologie pro geodety a kartografy: výklad 200 základních termínů, anglické, německé a ruské ekvivalenty. Zdiaby: Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický (VÚGTK), Odvětvové informační středisko, ISBN 80-85881-20-9, 87 s.
- Slocum, T. A., McMaster, R. B., Kessler, F. C., Howard, H. H. (2010) Thematic Cartography and Geovisualization (3rd ed.). London: Pearson Education LTD., 561 p.

T

- Terribilini, A. (2001) Entwicklung von Arbeitsablaeufen zur automatischen Erstellung von interaktiven, vektorbasierten topographischen 3D-Karten. Dissertation (PhD Thesis), Institute of Cartography, ETH Zurich. Zurich (Switzerland), <http://dx.doi.org/10.3929/ethz-a-004229058>.
- Trapp, M., Beesk, C., Pasewaldt, S., Dollner, J. (2011) Interactive Rendering Techniques for highlighting in 3D Geovirtual Environments, KOLBE, T. H., KONIG, NAGEL, C.: Advances in 3D Geo-Information Sciences, Berlin: Springer, 2011 s. 197-210. ISBN 978-3-642-12669-7.

V

- Virrantaus, K., Fairbairn, D., Kraak, M-J (2009) ICA Research Agenda on Cartography and GI Science, In The Cartographic Journal Vol. 000 No. 000 pp. 1–14.
- Voženílek, V. (1999) Aplikovaná kartografie I. – Tematické mapy. 1. vyd., Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 1999. 170 s.

- Voženílek, V. (2007) Agenda současné počítačové kartografie, Konference GIS Ostrava 2007.
Dostupné na
<http://gisak.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2007/sbornik/Referaty/Sekce7/Vozenilek.pdf>,
[cit. 2017-01-22].
- Voženílek, V., Kaňok, J., et al. (2011) Metody tematické kartografie – Vizualizace prostorových jevů.
Univerzita Palackého v Olomouci, 216s. ISBN 9788024427904.
- Vichrová, M., Hájek, P., Kepka, M., Janečka, K., Čada, V., Jedlička, K., Fiala, R., Strejcová, J. (2015)
Vybrané 3D modely objektů projektu „Krajina paměti, Drážďany a Terezín jako místa
vzpomínek na ŠOA“. In Z dějin geodézie a kartografie 17. Zeměměřické práce, mapová díla,
osobnosti a sbírky. Praha: Národní technické muzeum v Praze, s. 171-179. ISBN: 978-80-
7037-249-4.
- Vinson, N. G. (1999) Design Guidelines for Landmarks to Support Navigation in Virtual
Environments, Proceedings of CHI '99, Pittsburgh, PA. May 1999
- VÚGTK (2017) Terminologický slovník zeměměřičství a katastru nemovitostí, Terminologická
komise ČÚZK, 2005-2017. Dostupné na <www.vugtk.cz/slovník/hledej.php>,
[cit. 2017-12-15]

W

- Ware, C., Plumlee, M. (2005) 3D Geovisualization and the Structure of Visual Space. In DYKES, J.,
MACEACHREN, A. M., KRAAK, M. J.: Exploring Geovisualization, Kidlington: Elsevier Ltd, 2005.
s. 567-576. ISBN 0-08-044531-4.
- Wood, J., Kirschenbauer, S. Döllner, J. Lopes, A., Bodum, L. (2005) Using 3D Visualization, In Dykes,
J., MacEachren, A. M., Kraak, M. J.: Exploring Geovisualization, Elsevier Ltd. Kidlington, s. 295-
312. ISBN 0-08-044531-4.

Z

- Zsoldi, K. (2011) 3D methods in cartography, In IAMG 2011 Proceedings, Salzburg, Austria.
Dostupné na <<http://lazarus.elte.hu/tamop/2011-iamg-zsoldikatalin.pdf>>, [cit. 2017-12-15].

Seznam publikovaných prací

Seznam publikovaných prací v databázích Scopus nebo Web of Science:

Hájek, P., Jedlička, K., Kepka, M., Fiala, R., Vichrová, M., Janečka, K., Čada, V. (2015) 3D Cartography as a Platform for Reminding Important Historical Events: The Example of the Terežín Memorial, In *Modern Trends in Cartography*. the Netherlands: Springer International Publishing, s. 425-437. ISBN: 978-3-319-07925-7, ISSN: 1863-2246.

Hájek, P., Jedlička, K., Čada, V. (2016) Principles of cartographic design for 3D maps – focused on urban areas. In *6th International Conference on Cartography and GIS 6 Proceedings*, Vol. 1 and Vol. 2. Sofia, Bulgaria: Bulgarian Cartographic Association, s. 297-307, ISSN: 1314-0604, WOS:000385790600032.

Jedlička, K., Čerba, O., Hájek, P. (2013) Creation of information-rich 3D model in Geographic Information System – Case Study at the Castle Kozel. In *Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing, Conference Proceedings volume I*. Bulgaria, Sofia: STEF92 Technology Ltd., SGEM 2013. s. 685-692. ISBN: 978-954-91818-9-0, ISSN: 1314-2704, DOI: 10.5593/SGEM2013/BB2.V1/S11.010.

Jedlička, K., Hájek, P., Čada, V., Martolos, J., Šťastný, J., Beran, D., Kolovský, F., Kozhukh, D. (2016) Open transport map-Routable OpenStreetMap, In *2016 IST-Africa Conference Proceedings*, IST-Africa 2016, DOI: 10.1109/ISTAFRICA.2016.7530657.

Seznam dalších publikovaných prací vztahující se k tématu dizertační práce: attitudinal

(Publikované práce hodnocené v národní databázi RIV jsou zvýrazněny kurzívou)

Hájek, P., Jedlička, K., Fiala, R., Kepka, M., Vichrová, M., Čada, V. (2014) Completion of a complex 3D model of the Terežín city – Technical Issues, In *5th International Conference on Cartography and GIS Proceedings*. Sofia, Bulgaria: Bulgarian Cartographic Association, s. 598-606. ISSN: 1314-0604.

Hájek, P., Jedlička, K., Vichrová, M., Fiala, R. (2013) Conceptual approach of information rich 3D model about the Terežín Memorial. In Geoinformatics FCE CTU, roč. 11, s. 49-62. ISSN: 1802-2669, DOI <http://dx.doi.org/10.14311/gi.11.4>.

Hájek, P., Jedlička, K., Čerba, O. (2012) Experience with methods of 3D cartography gained during visualization of detailed geographic data for purposes of documenting cultural heritage (case study at the castle Kozel). In GeoCart'2012 and ICA Regional Symposium on Cartography for Australasia and Oceania. Auckland: New Zealand Cartographic Society Inc., s. 89-100. ISBN: 978-0-473-22313-7.

Jedlička, K., Hájek, P. (2014) Large scale Virtual Geographic Environment of the castle Kozel – best practice example. In 5th International Conference on Cartography and GIS Proceedings. Sofia, Bulgaria: Bulgarian Cartographic Association, s. 397-404. ISSN: 1314-0604.

Jedlička, K., Čerba, O., Hájek, P. (2013a) Creation of information-rich 3D model in Geographic Information System - Case Study at the Castle Kozel. In Informatics, Geoinformatics and Remote Sensing, Conference Proceedings volume I. Sofia: STEF92 Technology Ltd., s. 685-692. ISBN: 978-954-91818-9-0. ISSN: 1314-2704.

Jedlička, K., Čada, V., Fiala, R., Hájek, P., Janečka, K., Ježek, J., Jan, R., Strejcová, J., Vichrová, M. (2013b) Techniques Used for Optimizing 3D Geovisualization of Terežín Memorial. In 26th International Cartographic Conference Proceedings. Dresden: International Cartographic Association, s. 686. ISBN: 978-1-907075-06-3.

Vichrová, M., Hájek, P., Kepka, M., Janečka, K., Čada, V., Jedlička, K., Fiala, R., Strejcová, J. (2015) Vybrané 3D modely objektů projektu „Krajina paměti, Drážďany a Terežín jako místa vzpomínek na ŠOA“. In Z dějin geodézie a kartografie 17. Zeměměřické práce, mapová díla, osobnosti a sbírky. Praha: Národní technické muzeum v Praze, s. 171-179. ISBN: 978-80-7037-249-4.

Seznam zatím nepublikovaných prací:

Hájek, P., Jedlička, K., Čada, V. (2018) Proposal of experiments for evaluation of cartographic principles on virtual 3D maps of urban areas, In 7th International Conference on Cartography and GIS Proceedings. Sofia, Bulgaria: Bulgarian Cartographic Association (v tisku).

Kepka Vichrová, M., Hájek, P., Fiala, R., Kepka, M., Dudáček, O., Čada, V. (2018) Cartographic representations of historical monuments used in digital tourist guide, In 7th International Conference on Cartography and GIS Proceedings. Sofia, Bulgaria: Bulgarian Cartographic Association (v tisku).

Přílohy disertační práce

V této části práce jsou uvedeny přílohy k provedeným experimentům. Nejdříve jsou uvedeny obecné informace vztahující se k přílohám jednotlivých experimentů. Tyto informace jsou uvedené níže v této kapitole. Poté následují přílohy k jednotlivým experimentům ve stejné struktuře, jak jsou uvedeny v podkapitole 5.3, resp. 5.4. Tyto přílohy k jednotlivým experimentům jsou následovány přílohou vyhodnocení všech otázek experimentů v přehledné tabulce, přílohou vyhodnocení úvodního dotazníku a přílohou vyhodnocení závěrečného dotazníku.

Popis obsahu uvedeného v následujících přílohách jednotlivých experimentů

- Popis tabulky představující výsledky statistických testů:

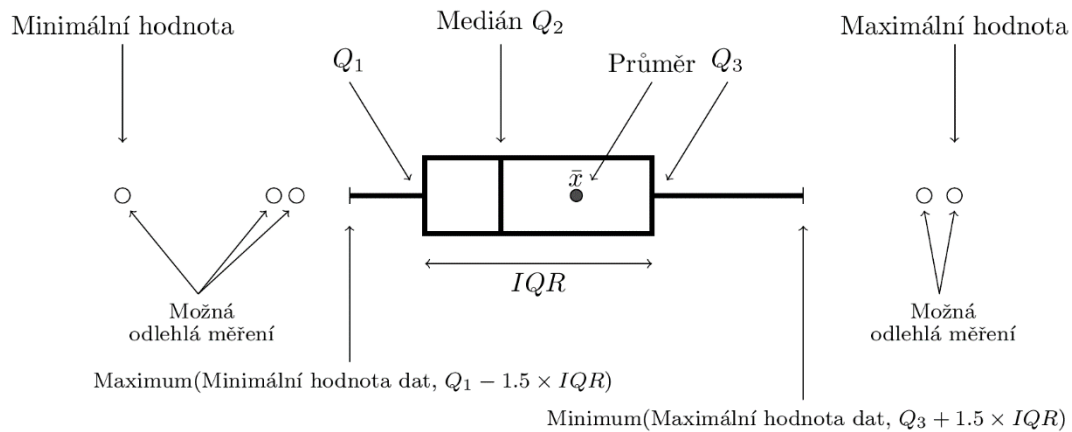
Levá horní část – statistický přehled shrnující odpovědi na 2D variantu dané otázky;

Levá dolní část – statistický přehled shrnující odpovědi na 3D variantu dané otázky;

Pravá část – výsledky jednotlivých statistických testů z pohledu času – parametrický test („t test“), neparametrický test („r test) pro jednotlivé kombinace správných a špatných odpovědí v rámci otázek i mezi nimi. Výsledek testu o shodě procentuálních četností správných odpovědí („četnost“) je vyznačen tučně. Pokud tento výsledek testu (tj. p-value) je $> 0,05$, nulová hypotéza není zamítnuta.

- Popis obrázků představující časy odpovědí na otázku pomocí krabicových grafů:

Na obrázcích obsahující grafickou reprezentaci výsledků jednotlivých otázek uvedených v rámci následujících příloh se kromě histogramů relativních četností odpovědí vyskytují i tzv. krabicové grafy („boxplot“). Tato forma zobrazení a její vysvětlení dle Litschmannová (2011) je uvedeno dále. Jediný rozdíl u příloh jednotlivých experimentů oproti níže uvedenému obrázku je směr tohoto grafu, kdy v přílohách je ve svislé poloze, nikoliv ve vodorovné, jak je na obrázku dále.



Vysvětlení součástí krabicového grafu.

Vysvětlení obrázku výše zobrazující krabicový graf:

- IQR = mezikvartilové rozpětí;
- Dolní kvartil Q_1 = 25% kvantil (rozděluje datový soubor tak, že 25% hodnot je menších než tento kvartil a zbytek, tj. 75% větších (nebo rovných));
- Medián Q_2 = 50% kvantil (rozděluje datový soubor tak, že polovina (50%) hodnot je menších než medián a polovina (50%) hodnot větších (nebo rovných));
- Horní kvartil Q_3 = 75% kvantil (rozděluje datový soubor tak, že 75% hodnot je menších než tento kvartil a zbytek, tj. 25% větších (nebo rovných)).

Kvartily dělí výběrový soubor na 4 přibližně stejně četné části.

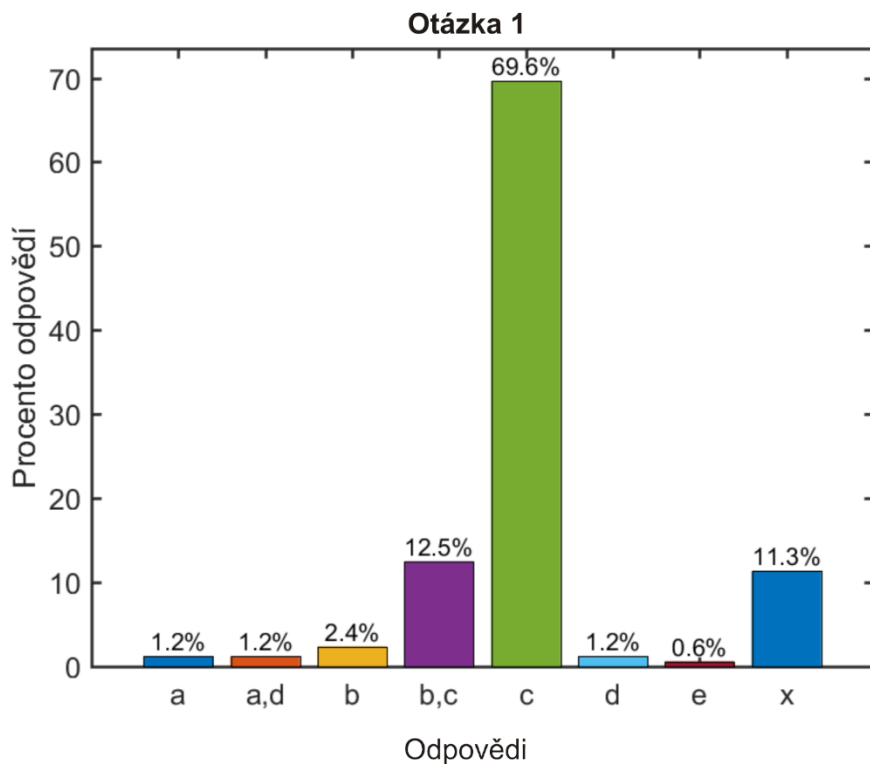
V Příloze experimentu A, resp. v Příloze experimentu B se objevují kromě histogramů a krabicových grafů také obrázky znázorňující trajektorii pohybu kamery vybraných respondentů ve virtuální 3D scéně při řešení 3D varianty otázky. Vysvětlivky k těmto obrázkům jsou následující:

- Purpurový trojúhelník – střed virtuální 3D scény;
- Šesticípá zeleně orámovaná žlutá hvězda – počáteční pohled na virtuální 3D scénu;
- Červeně orámovaný kruh shodné barvy jako trajektorie – koncový bod dané trajektorie.

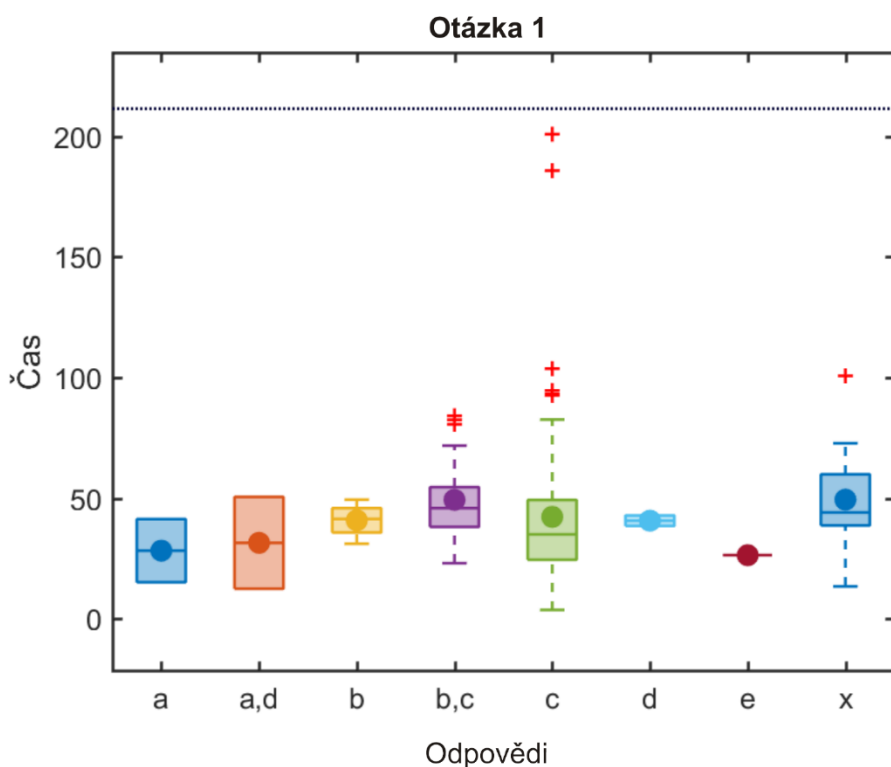
Příloha experimentu A

	Počet	Průměr	Std	Min	Max	Median	Test normality		testy			
'a'	2	28,244	18,534	15,138	41,349	28,244	NaN		01a	spravne x chybne	t test	0,302
a.d'	2	31,481	26,917	12,448	50,514	31,481	NaN				r test	0,057
'b'	4	40,837	7,525	31,124	49,388	41,417	0,500		01b	spravne x chybne	t test	0,784
b.c'	21	49,316	17,521	23,063	84,197	45,870	0,045				r test	0,404
'c'	117	42,271	29,201	3,659	200,932	35,014	0,001		spravne	01a x 01b	t test	0,162
'd'	2	40,679	3,072	38,506	42,851	40,679	NaN				r test	0,113
'e'	1	26,373	0,000	26,373	26,373	26,373	NaN		chybne	01a x 01b	t test	0,398
'x'	19	49,402	19,330	13,445	100,751	44,064	0,456				r test	0,295
celkem	168	43,515	26,317	3,659	200,932	39,626	0,001		cetnosti			0,205
0	149	42,764	27,038	3,659	200,932	38,114	0,001					
1	19	49,402	19,330	13,445	100,751	44,064	0,456					
celkem	168	43,515	26,317	3,659	200,932	39,626	0,001					
'a'	6	55,173	21,994	19,087	79,007	53,776	0,500					
a.d'	29	40,917	20,478	4,784	80,156	38,457	0,187					
'b'	13	49,686	36,466	3,514	127,361	34,025	0,008					
b.c'	2	49,947	16,567	38,232	61,661	49,947	NaN					
'c'	2	33,749	27,151	14,550	52,948	33,749	NaN					
'd'	86	37,407	22,838	8,357	120,058	32,540	0,005					
'e'	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN					
'x'	27	41,538	17,853	19,200	84,959	39,968	0,167					
celkem	165	40,421	23,068	3,514	127,361	35,086	0,001					
0	138	40,203	24,004	3,514	127,361	34,233	0,001					
1	27	41,538	17,853	19,200	84,959	39,968	0,167					
celkem	165	40,421	23,068	3,514	127,361	NaN	0,001					

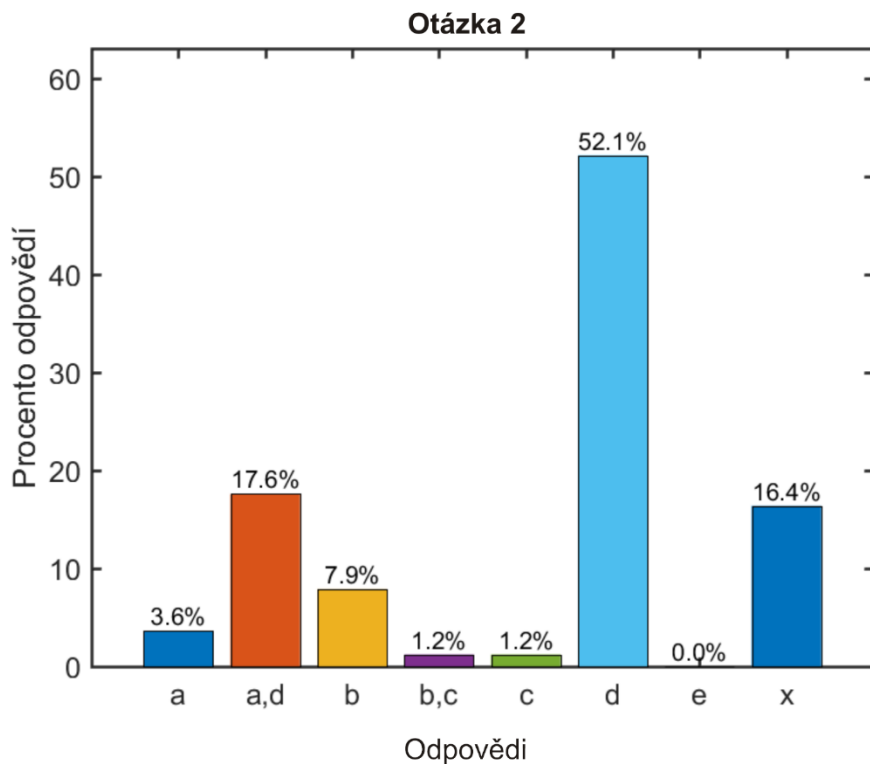
Výsledky statistických testů pro otázky 1 a 2.



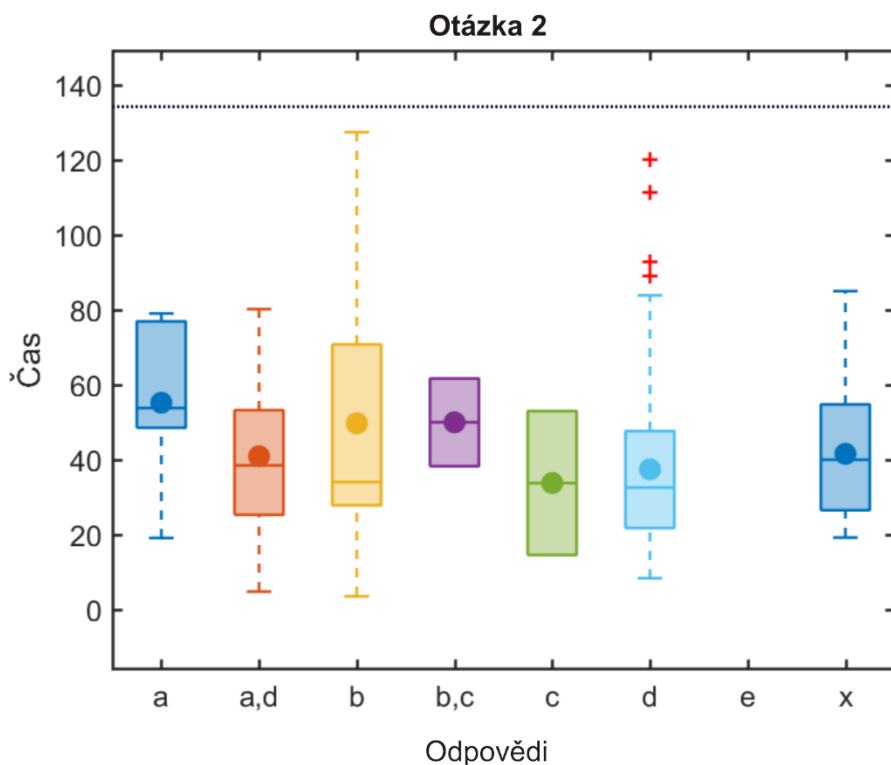
Histogram relativních četností počtu odpovědí respondentů na otázku 1 (správná odpověď: „x“).



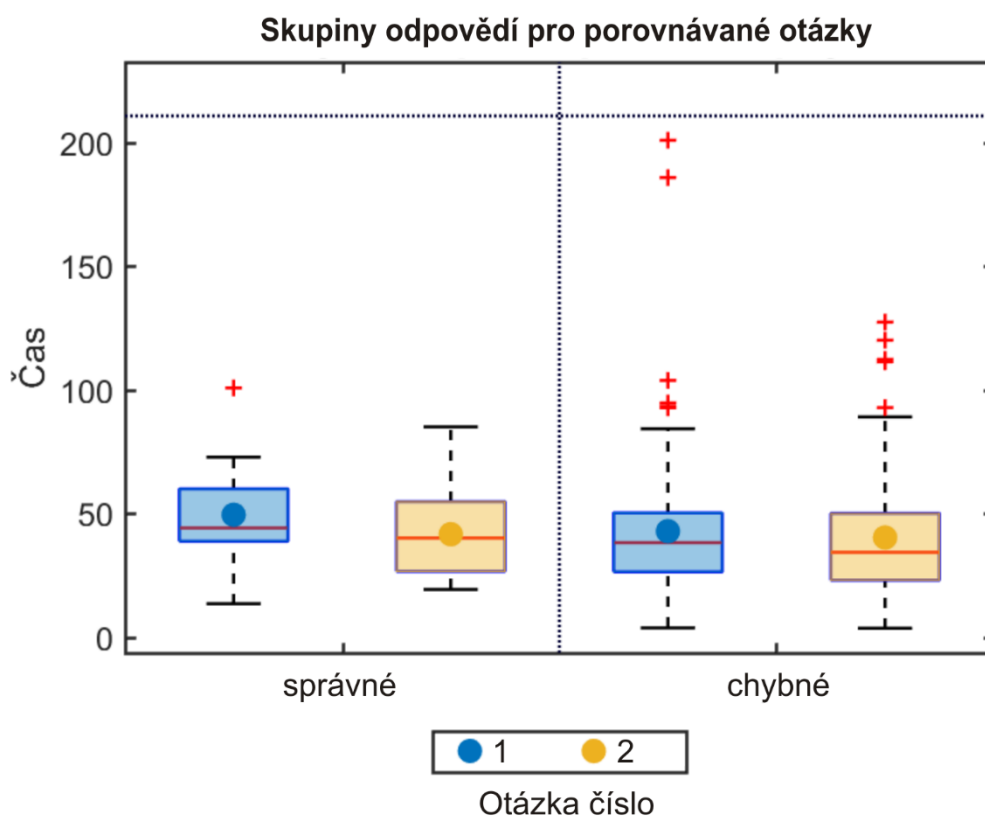
Krabicové grafy zachycující rychlost odpovědí respondentů na otázku 1 (správná odpověď: „x“).



Histogram relativních četností počtu odpovědí respondentů na otázku 2 (správná odpověď: „x“).

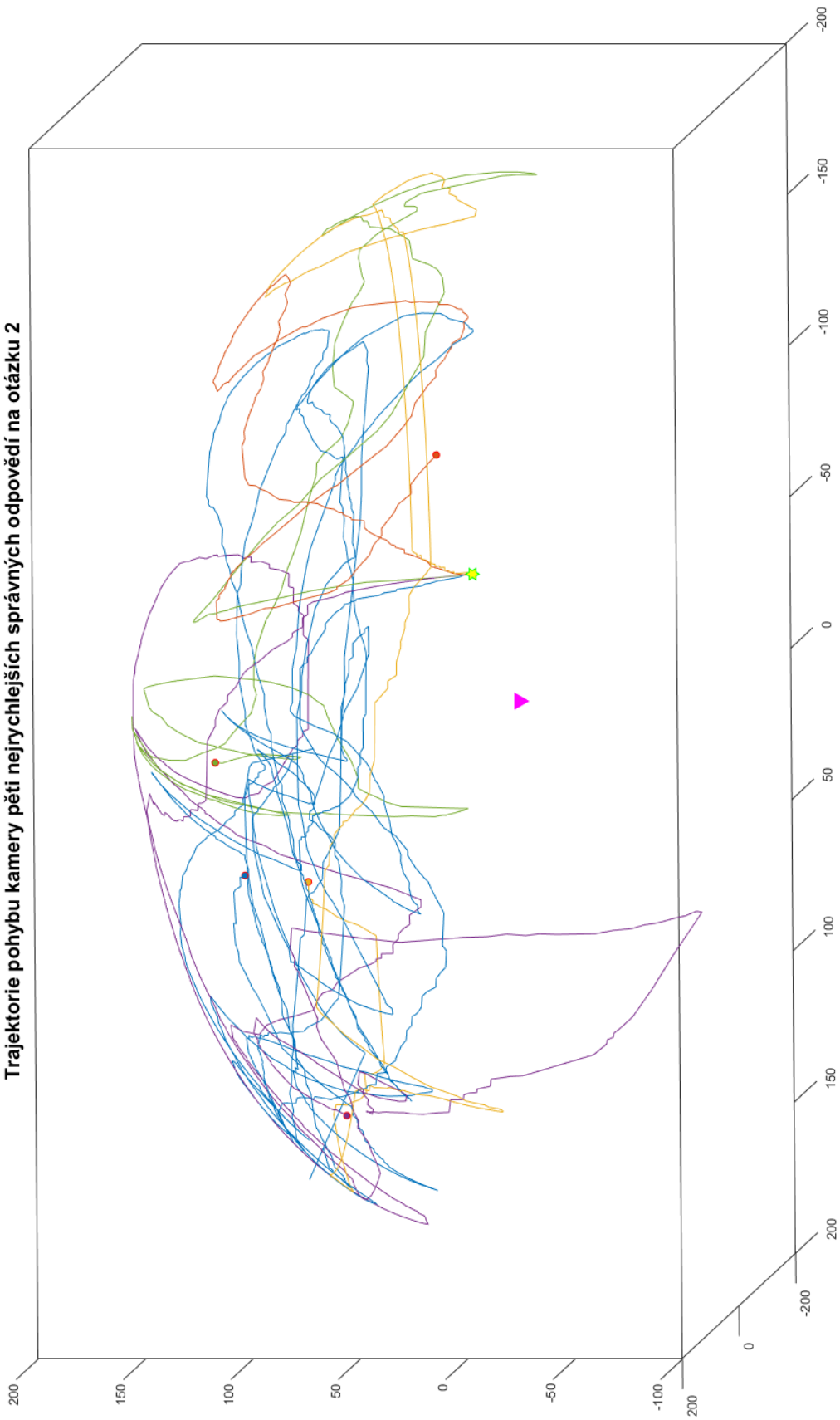


Krabicové grafy zachycující rychlost odpovědí respondentů na otázku 2 (správná odpověď: „x“).

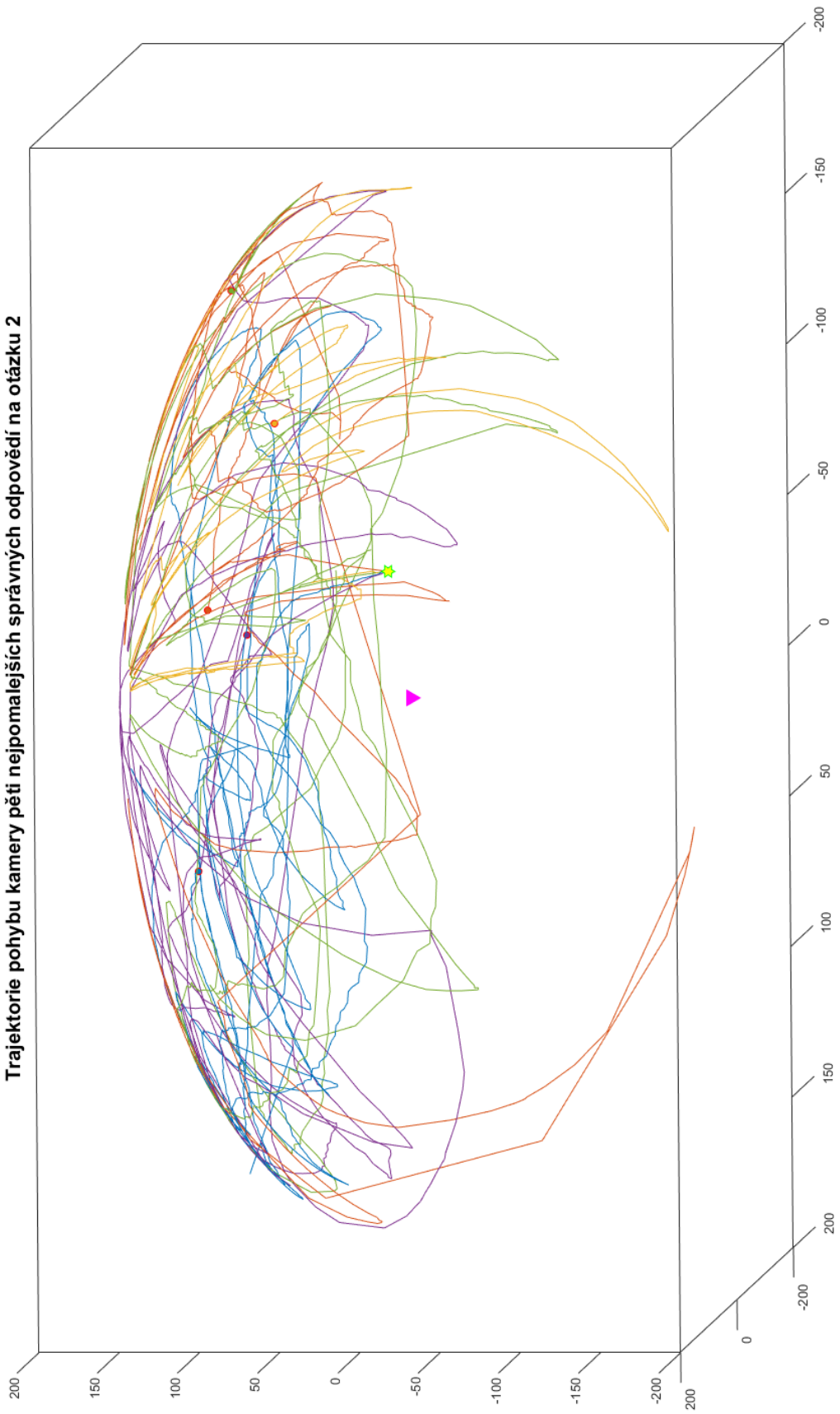


Krabicové grafy porovnávající rychlost správných a špatných odpovědí na otázky 1 a 2.

Trajektorie pohybu kamery pěti nejrychlejších správných odpovědí na otázku 2



Trajektorie pohybu kamery pětí nejpomalejších správných odpovědí na otázku 2



Příloha experimentu B

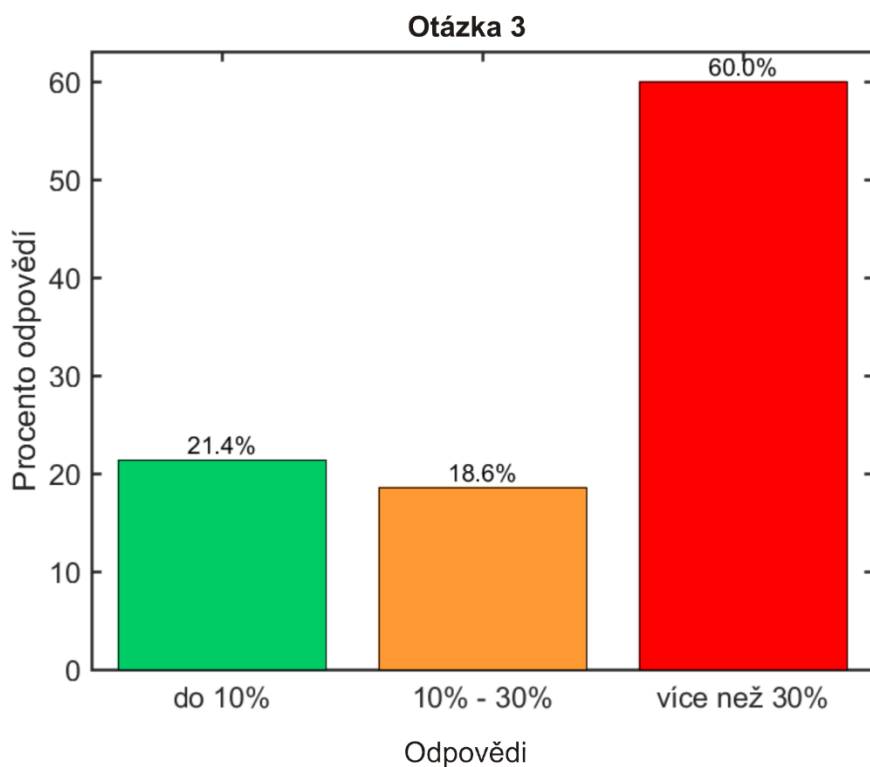
	Počet	Průměr	Std	Min	Max	Median	Test normality		testy			
'do 10%'	31	99,108	71,674	5,366	254,106	82,430	0,001		02a	spravne x chybne	t test	0,828
'10% - 30%'	27	122,808	122,807	33,552	610,277	81,020	0,001				r test	0,504
'více než 30%'	87	87,204	60,165	18,080	290,331	59,907	0,001		02b	spravne x chybne	t test	0,520
celkem	145	96,379	78,349	5,366	610,277	63,595	0,001				r test	0,120
0	114	95,636	80,350	18,080	610,277	60,287	0,001		spravne	02a x 02b	t test	0,724
1	31	99,108	71,674	5,366	254,106	82,430	0,001				r test	0,423
celkem	145	96,379	78,349	5,366	610,277	63,595	0,001		chybne	02a x 02b	t test	0,712
'do 10%'	11	107,503	51,572	50,213	197,170	88,952	0,345				r test	0,787
'10% - 30%'	23	107,494	53,687	42,379	244,689	93,355	0,290		cetnosti			0,003
'více než 30%'	98	88,104	83,846	5,018	578,805	64,692	0,001					
celkem	137	93,267	78,979	5,018	578,805	69,152	0,001					
0	121	91,790	79,180	5,018	578,805	68,797	0,001					
1	11	107,503	51,572	50,213	197,170	88,952	0,345					
celkem	137	93,267	78,979	5,018	578,805	69,152	0,001					

Výsledky statistických testů pro otázky 3 a 4 při hladině správnosti odpovědí $\pm 10\%$ ke skutečnému správnému výsledku.

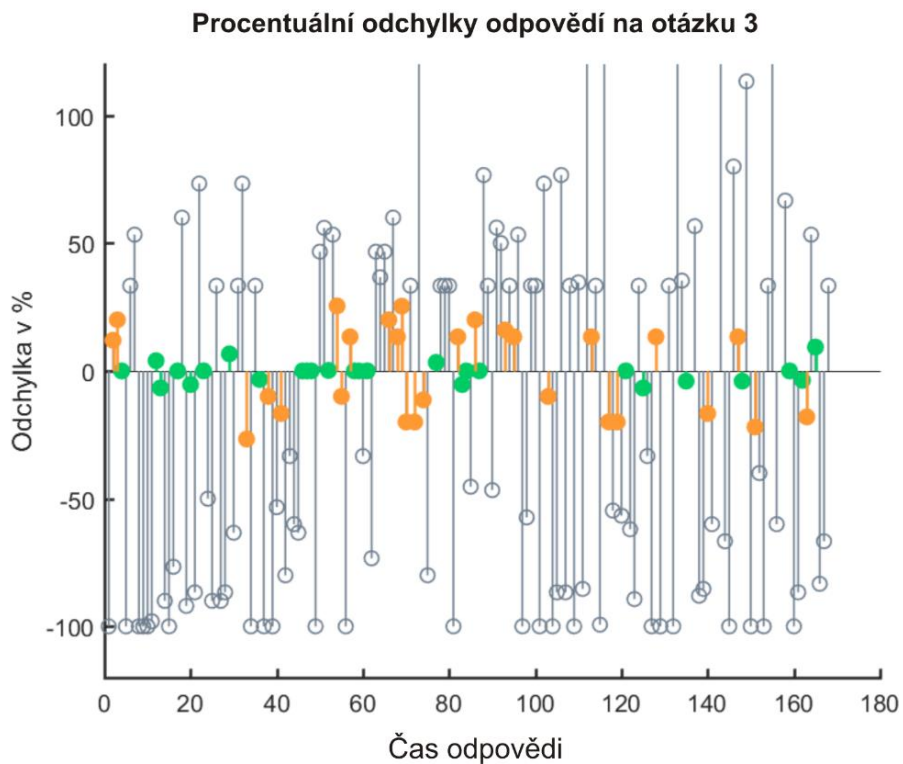
	Počet	Průměr	Std	Min	Max	Median	Test normality		testy			
'do 10%'	31	99,108	71,674	5,366	254,106	82,430	0,001		02a v2	spravne x chybne	t test	0,084
'10% - 30%'	27	122,808	122,807	33,552	610,277	81,020	0,001				r test	0,201
'více než 30%'	87	87,204	60,165	18,080	290,331	59,907	0,001		02b v2	spravne x chybne	t test	0,208
celkem	145	96,379	78,349	5,366	610,277	63,595	0,001				r test	0,004
0	87	87,204	60,165	18,080	290,331	59,907	0,001		spravne	02a v2 x 02b v2	t test	0,885
1	58	110,141	98,617	5,366	610,277	81,725	0,001				r test	0,239
celkem	145	96,379	78,349	5,366	610,277	63,595	0,001		chybne	02a v2 x 02b v2	t test	0,934
'do 10%'	11	107,503	51,572	50,213	197,170	88,952	0,345				r test	0,548
'10% - 30%'	23	107,494	53,687	42,379	244,689	93,355	0,290		cetnosti			0,015
'více než 30%'	98	88,104	83,846	5,018	578,805	64,692	0,001					
celkem	137	93,267	78,979	5,018	578,805	69,152	0,001					
0	98	88,104	83,846	5,018	578,805	64,692	0,001					
1	34	107,497	52,225	42,379	244,689	91,154	0,093					
celkem	137	93,267	78,979	5,018	578,805	69,152	0,001					

Výsledky statistických testů pro otázky 3 a 4 při hladině správnosti odpovědí $\pm 30\%$ ke skutečnému správnému výsledku.

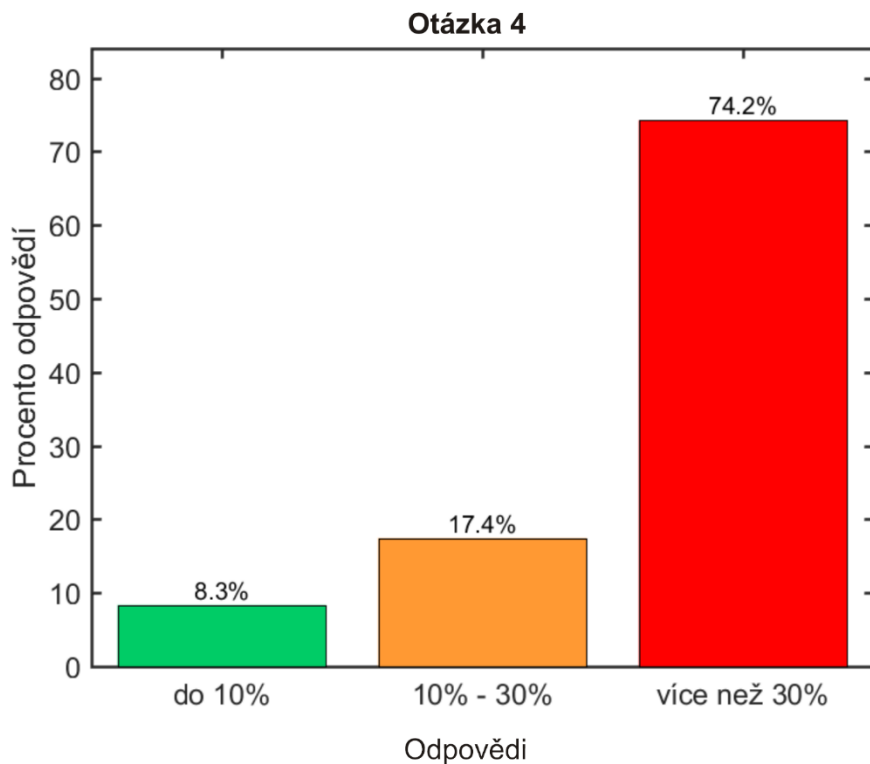
Na následujících dvou stranách jsou uvedeny grafy procentuálních odchylek v hodnotách odpovědí na otázku 3 a 4, na kterých jsou zvýrazněny odpovědi respondentů mající hodnotu $\pm 10\%$ oproti skutečné plochy řešeného polygonu. Jako alternativní odpověď byla u obou otázek zvolena hladina $\pm 30\%$. Hodnoty odpovědí spadající do tohoto rozpětí jsou na následujících grafech vyjádřené okrovými symboly.



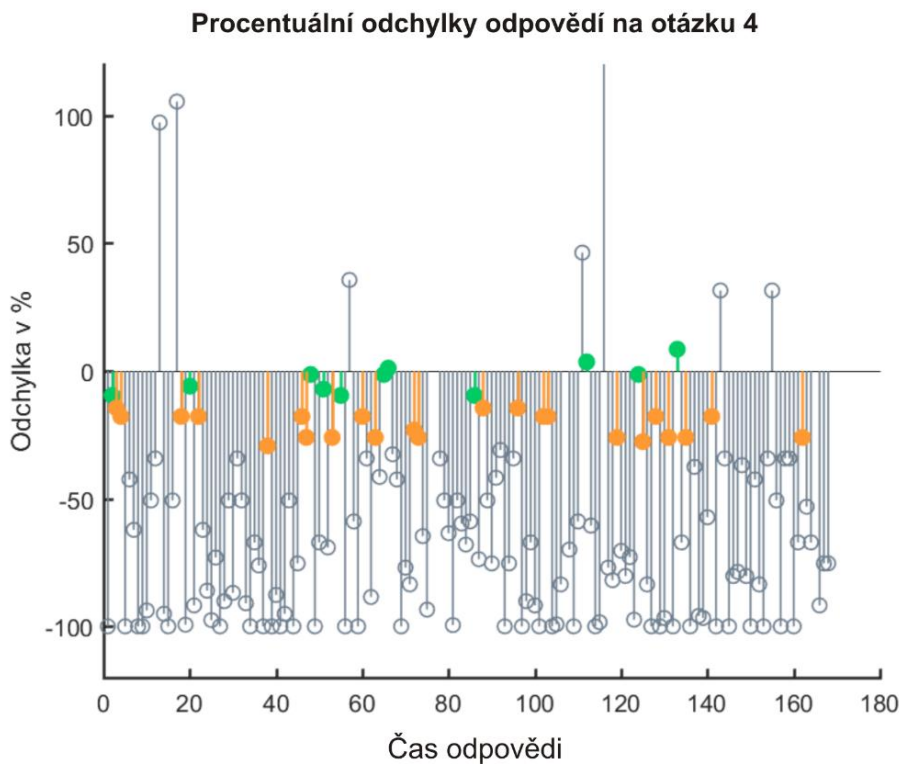
Histogram relativních četností počtu odpovědí respondentů na otázku 3 (správná odpověď: 150 m²).



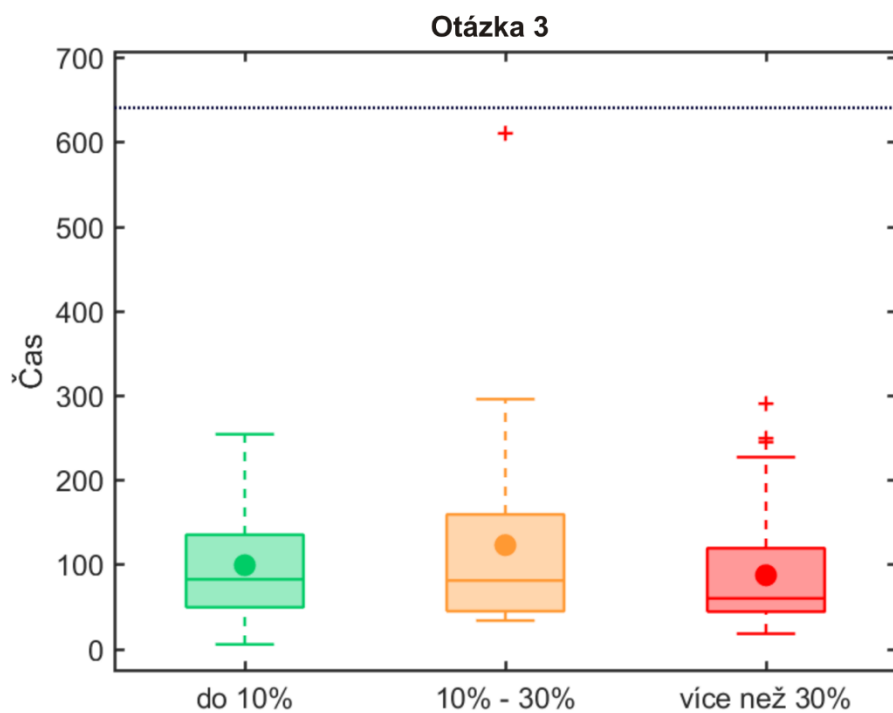
Graf procentuálních odchylek v hodnotách odpovědí na otázku 3 (správná odpověď: 150 m²).



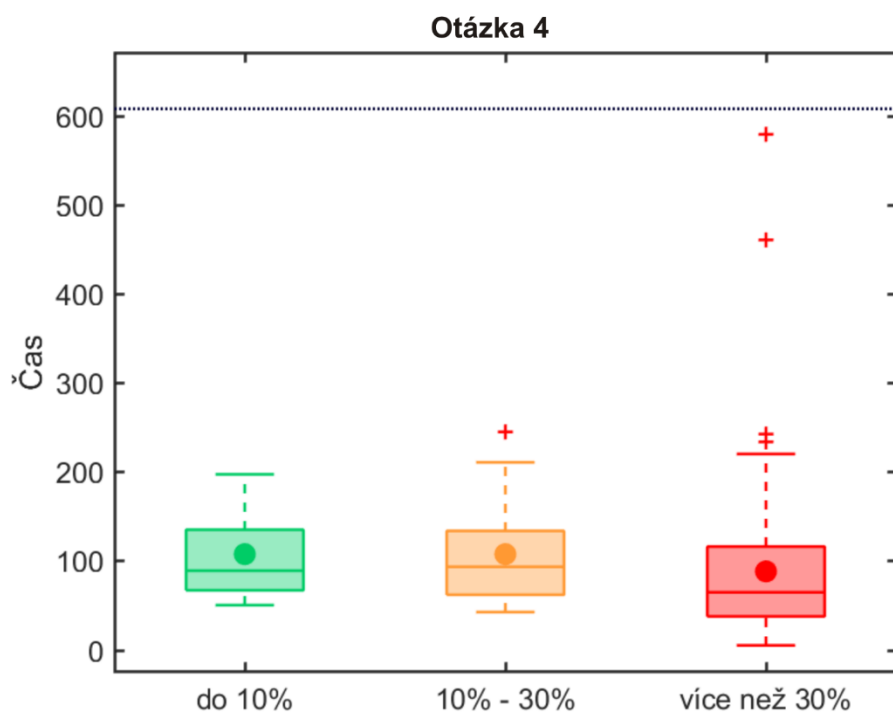
Histogram relativních četností počtu odpovědí respondentů na otázku 4 (správná odpověď: 608 m²).



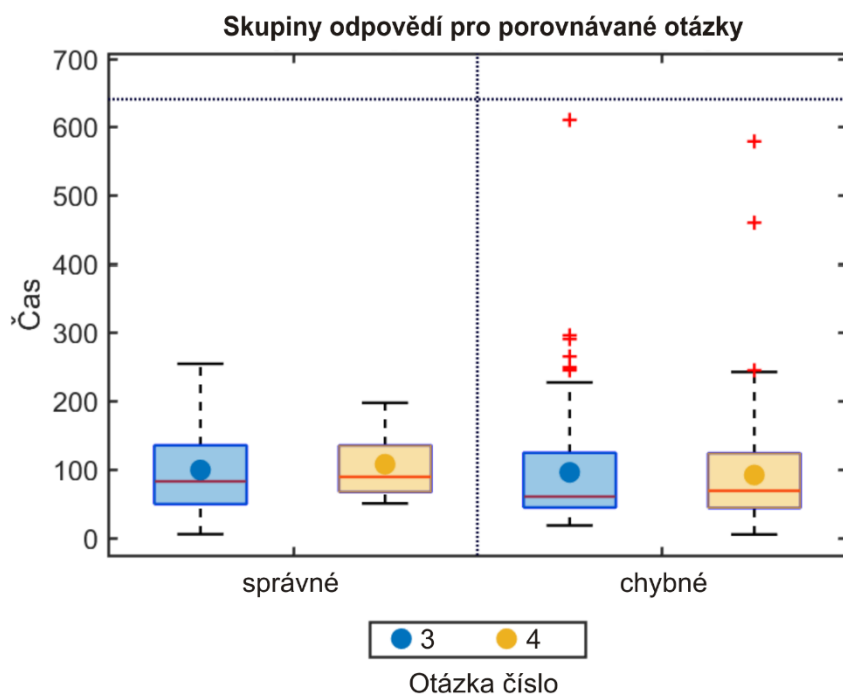
Graf procentuálních odchylek v hodnotách odpovědí na otázku 4 (správná odpověď: 608 m²).



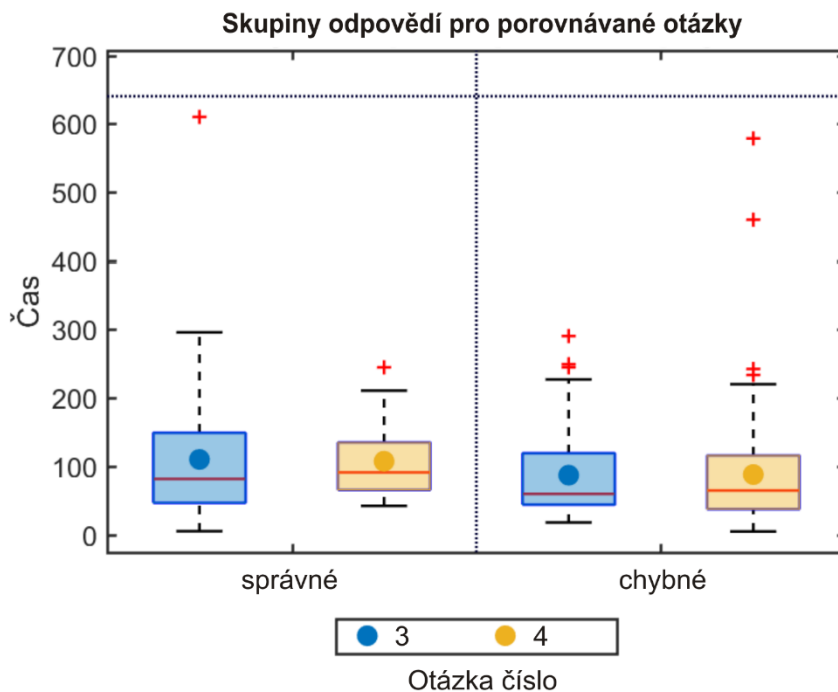
Krabicový graf porovnávající rychlost odpovědí spadajících do rozpětí hodnot od korektní odpovědi na otázku 3.



Krabicový graf porovnávající rychlost odpovědí spadajících do rozpětí hodnot od korektní odpovědi na otázku 4.

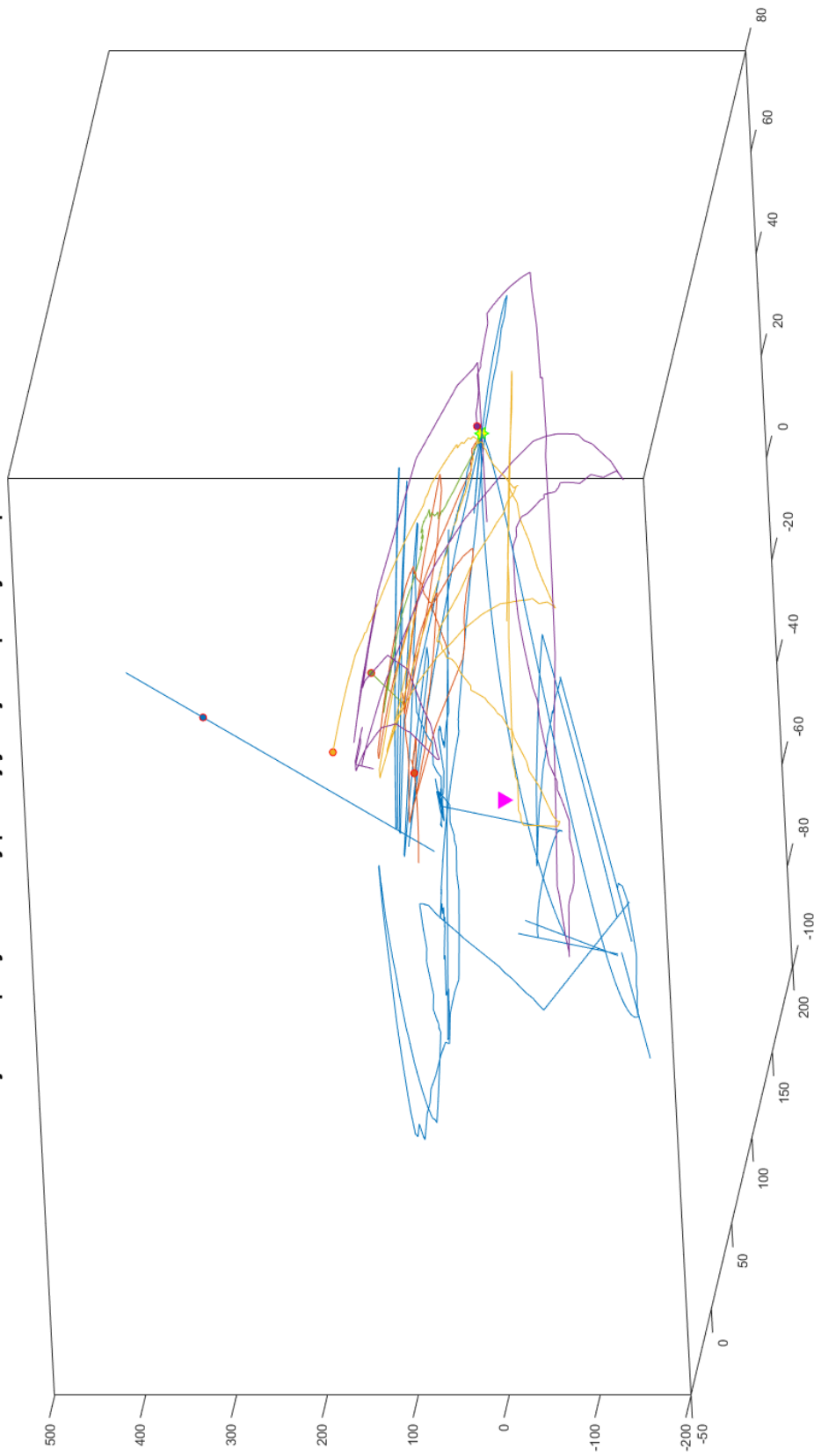


Krabicové grafy porovnávající rychlost správných a špatných odpovědí na otázky 3 a 4 při hladině správnosti $\pm 10\%$ ke skutečně korektnímu výsledku.

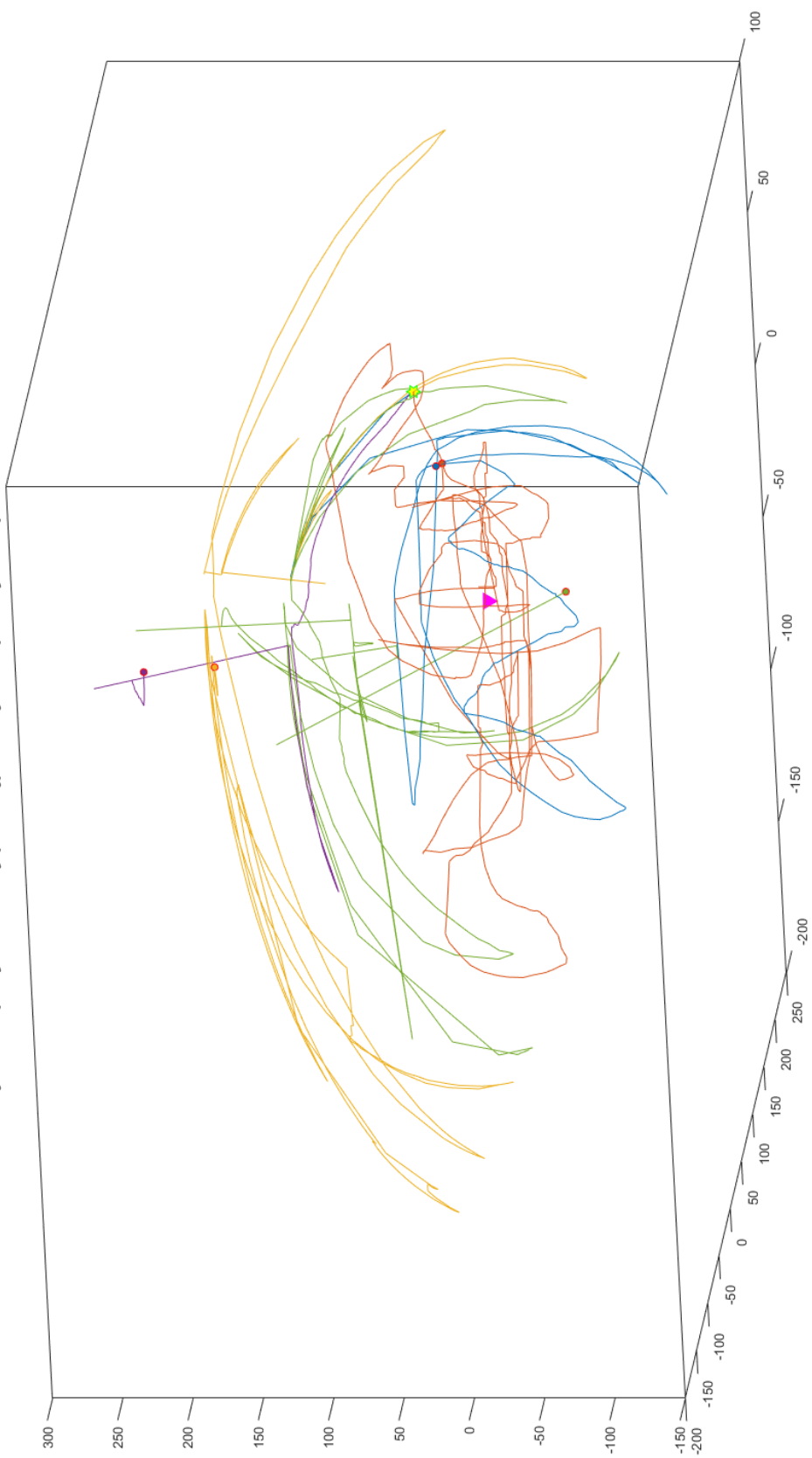


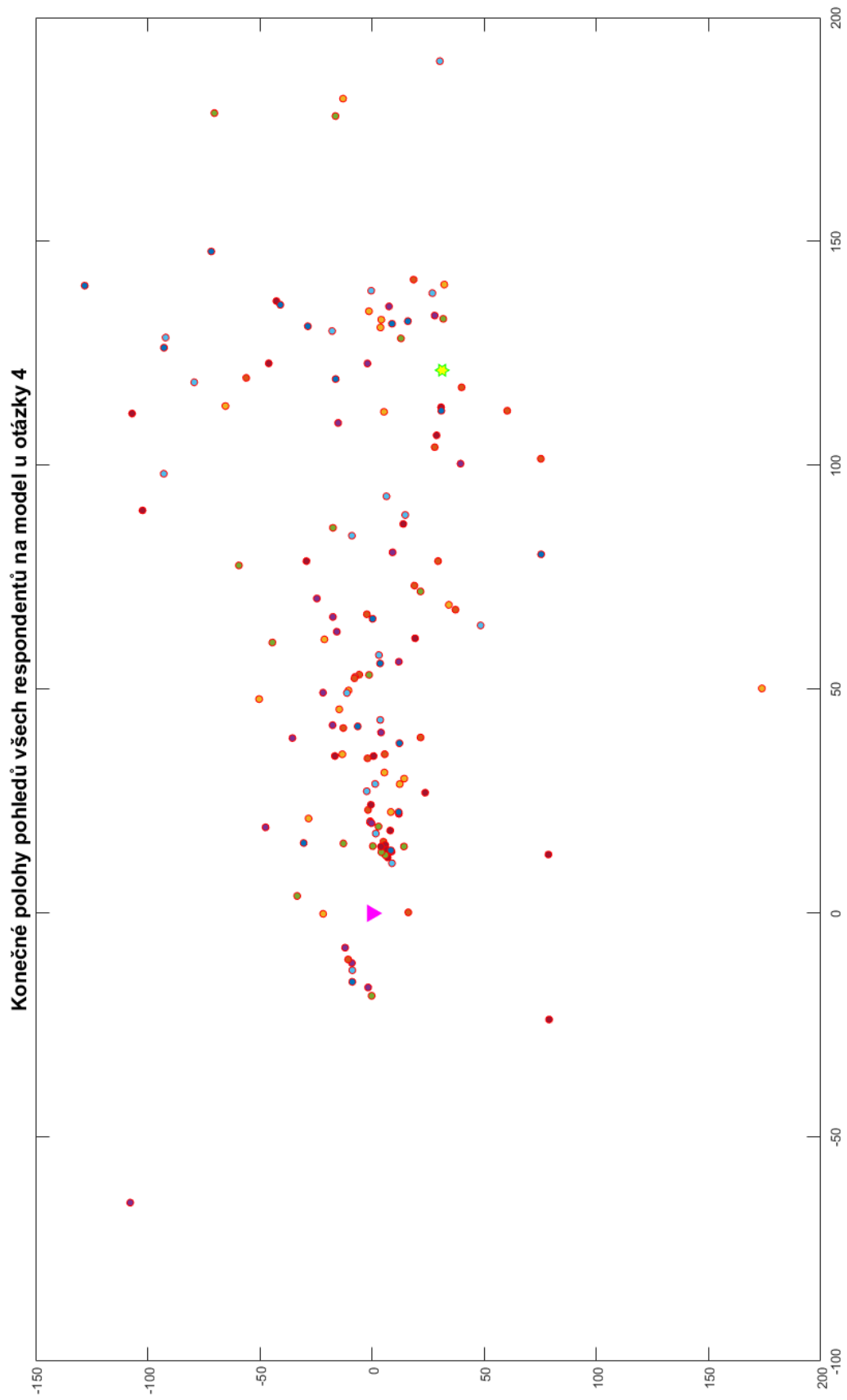
Krabicové grafy porovnávající rychlost správných a špatných odpovědí na otázky 3 a 4 při hladině správnosti $\pm 30\%$ ke skutečně korektnímu výsledku.

Trajektorie pohybu kamery pěti nejrychlejších správných odpovědí na otázku 4



Trajektorie pohybu kamery pětí nejpomalejších správných odpovědí na otázku 4





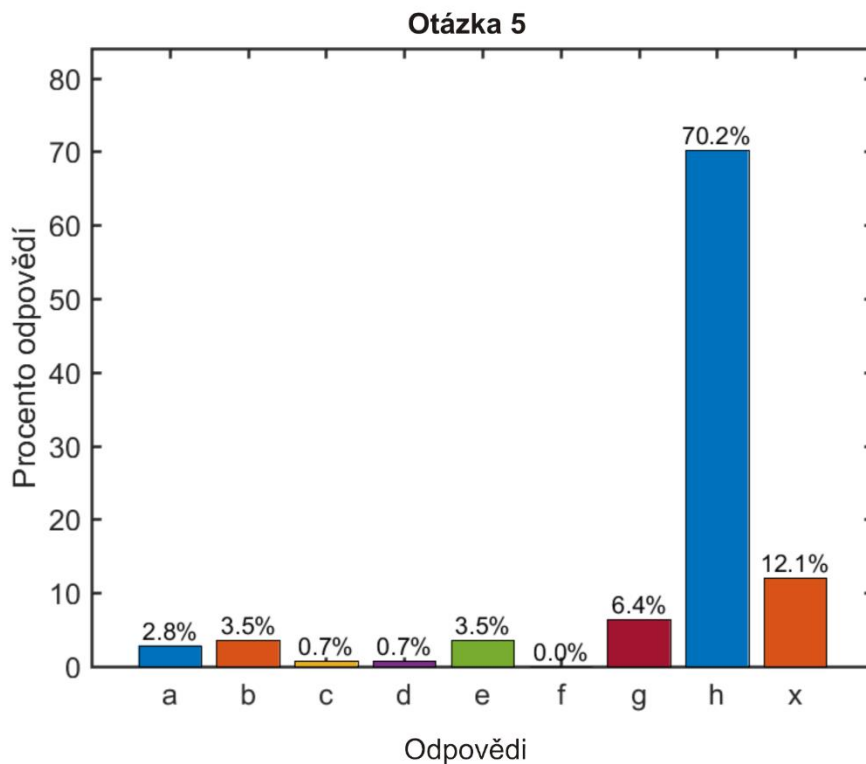
Příloha experimentu C

	Počet	Průměr	Std	Min	Max	Median	Test normality		testy			
'a'	4	93,595	61,910	55,721	185,868	66,395	0,038		03a	spravne x chybné	t test	0,116
'b'	5	60,148	38,193	17,690	112,181	47,336	0,500				r test	0,147
'c'	1	89,812	0,000	89,812	89,812	89,812	NaN		03c	spravne x chybné	t test	0,067
'd'	1	11,610	0,000	11,610	11,610	11,610	NaN				r test	0,016
'e'	5	50,952	37,403	3,382	90,963	39,580	0,500		spravne	03a x 03c	t test	0,916
'f'	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN				r test	0,126
'g'	9	55,806	31,183	6,250	114,832	44,695	0,405		chybné	03a x 03c	t test	0,398
'h'	99	75,448	34,277	22,176	175,137	68,696	0,002				r test	0,137
'x'	17	70,461	37,623	7,835	128,752	64,609	0,437		cetnosti			0,000
celkem	141	72,346	35,937	3,382	185,868	66,512	0,014					
0	42	65,033	39,033	3,382	185,868	61,277	0,500					
1	99	75,448	34,277	22,176	175,137	68,696	0,002					
celkem	141	72,346	35,937	3,382	185,868	66,512	0,014					
'a'	18	68,357	49,001	16,294	190,756	51,032	0,073					
'b'	7	55,125	35,004	3,208	118,383	49,827	0,500					
'c'	20	58,270	29,889	6,301	124,731	53,374	0,500					
'd'	55	74,637	60,612	14,099	425,795	57,093	0,001					
'e'	15	58,059	54,502	10,329	227,090	33,398	0,005					
'f'	4	73,219	41,327	32,987	126,481	66,705	0,500					
'g'	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	50,8965	NaN					
'h'	13	23,619	12,585	9,952	47,053	21,503	0,336					
'x'	8	86,115	67,517	5,611	205,845	58,876	0,201					
celkem	140	64,617	52,131	3,208	425,795	50,897	0,001					
0	85	58,134	45,022	3,208	227,090	47,891	0,001					
1	55	74,63662	60,61216	14,099	425,795	57,093	0,001					
celkem	140	64,61745	52,1309	3,208	425,795	50,897	0,001					

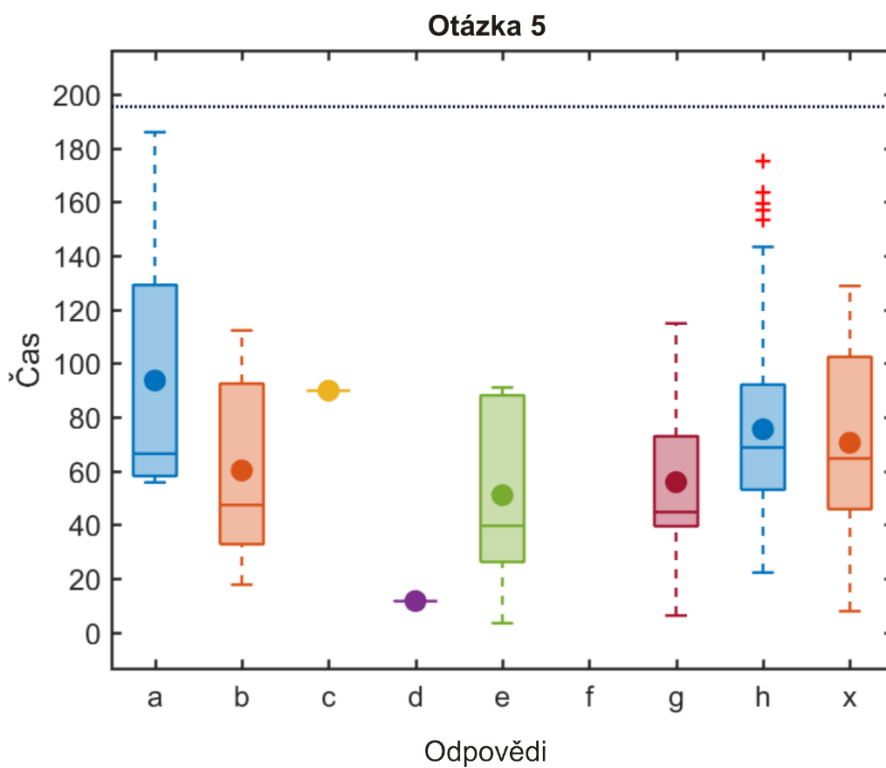
Výsledky statistických testů pro otázky 5 a 7.

	Počet	Průměr	Std	Min	Max	Median	Test normality		testy			
'a'	20	62,215	35,373	7,341	156,663	56,587	0,420		03b	spravne x chybné	t test	0,541
'b'	20	53,872	25,702	14,088	103,538	53,228	0,500				r test	0,790
'c'	10	59,369	45,080	16,029	143,946	34,807	0,020		03d	spravne x chybné	t test	0,042
'd'	4	92,004	67,847	7,733	173,860	93,212	0,500				r test	0,108
'e'	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN		spravne	03b x 03d	t test	0,492
'f'	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN				r test	0,305
'g'	43	61,352	52,208	3,258	232,908	45,689	0,001		chybné	03b x 03d	t test	0,441
'x'	40	50,928	35,697	3,381	154,351	42,143	0,138				r test	0,318
celkem	137	58,093	42,045	3,258	232,908	49,029	0,001		cetnosti			0,027
0	94	56,602	36,702	3,381	173,860	52,532	0,030					
1	43	61,352	52,208	3,258	232,908	45,689	0,001					
celkem	137	58,093	42,045	3,258	232,908	49,029	0,001					
'a'	27	69,771	45,183	16,969	153,475	57,627	0,093					
'b'	15	61,717	44,804	32,110	219,067	50,516	0,001					
'c'	11	56,160	45,873	7,478	151,152	35,221	0,050					
'd'	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN					
'e'	34	48,481	25,664	13,219	140,831	47,073	0,297					
'f'	28	56,341	45,264	3,436	225,643	47,607	0,004					
'g'	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN					
'x'	24	46,692	34,483	3,438	143,253	42,256	0,228					
celkem	139	55,927	39,585	3,436	225,643	48,380	0,001					
0	112	52,589	37,578	3,436	225,643	45,877	0,001					
1	27	69,77126	45,18297	16,969	153,475	57,627	0,092886					
celkem	139	55,92689	39,58501	3,436	225,643	48,380	0,001					

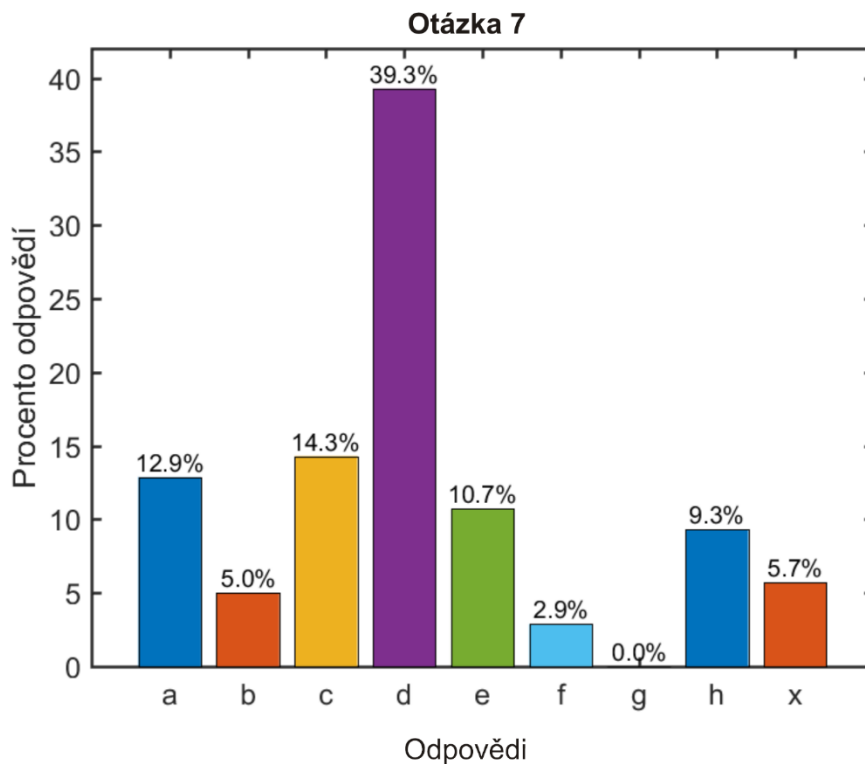
Výsledky statistických testů pro otázky 6 a 8.



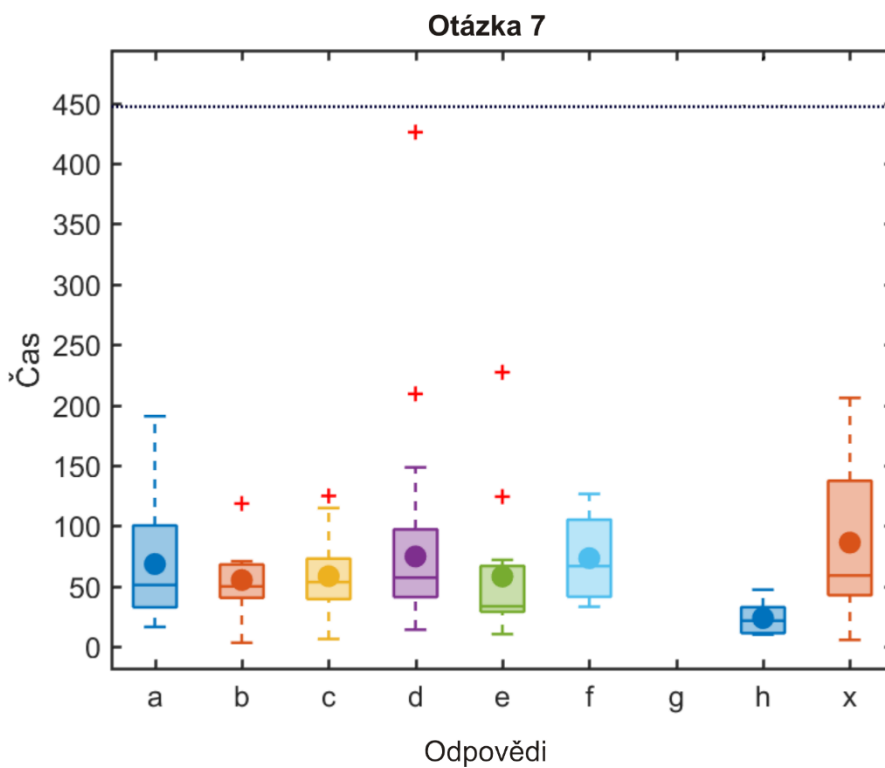
Histogram relativních četností počtu odpovědí respondentů na otázku 5 (správná odpověď: „h“).



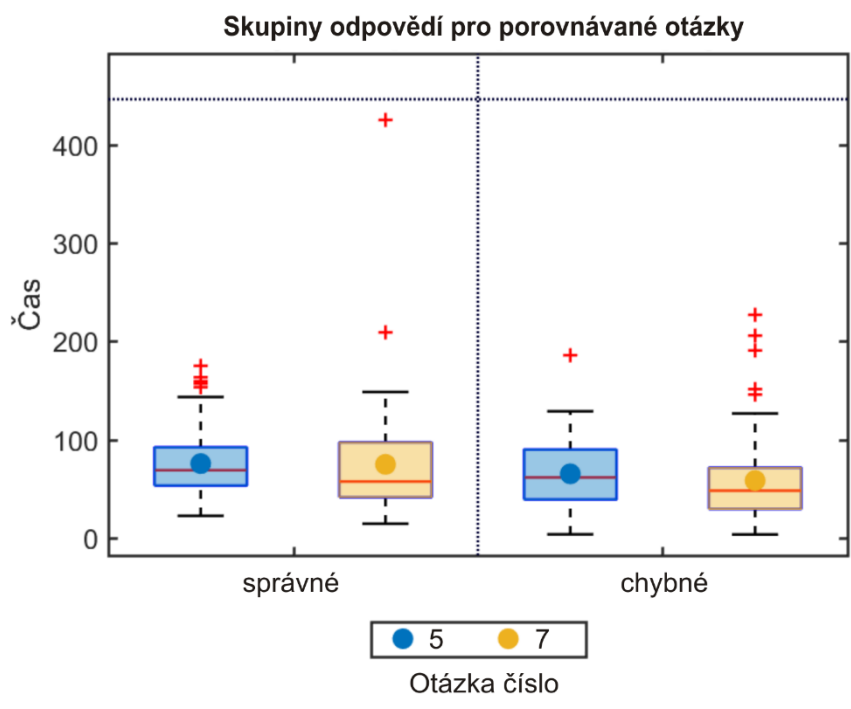
Krabicové grafy zachycující rychlost odpovědí respondentů na otázku 5 (správná odpověď: „h“).



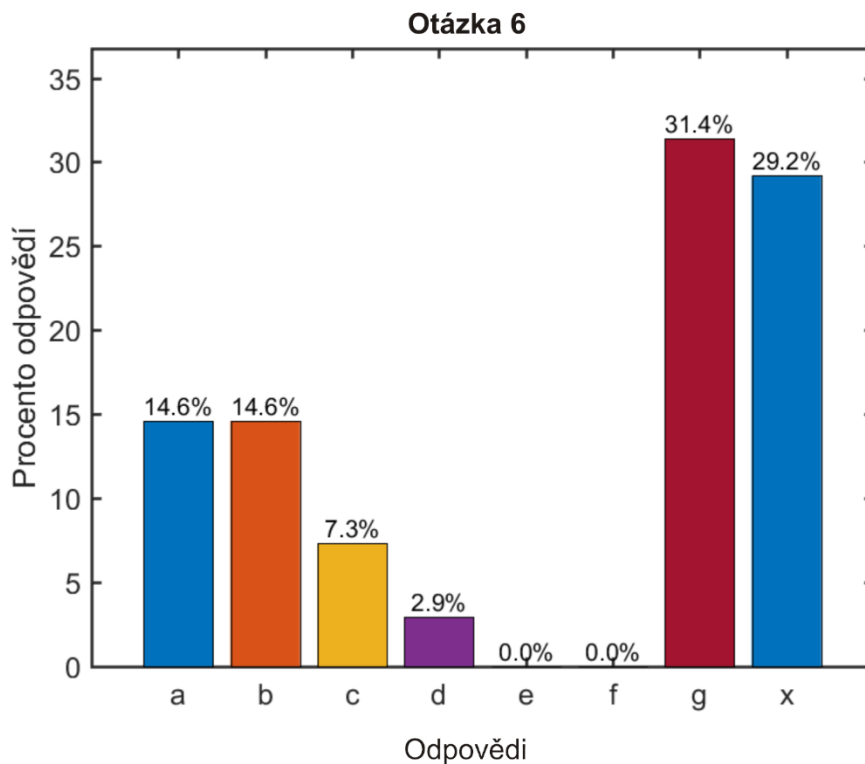
Histogram relativních četností počtu odpovědí respondentů na otázku 7 (správná odpověď: „d“).



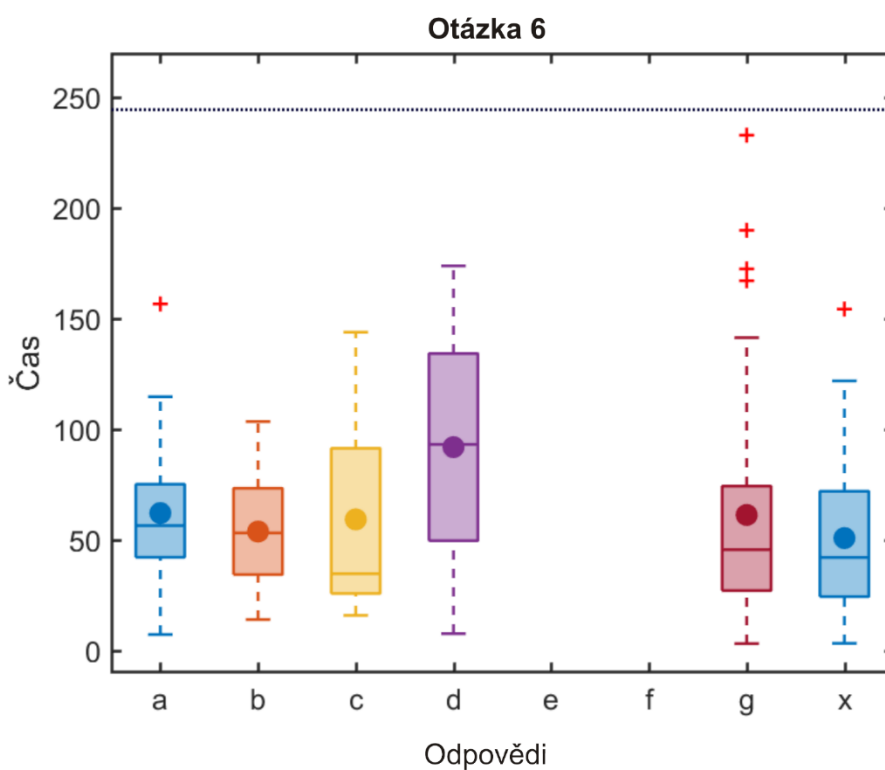
Krabicové grafy zachycující rychlost odpovědí respondentů na otázku 7 (správná odpověď: „d“).



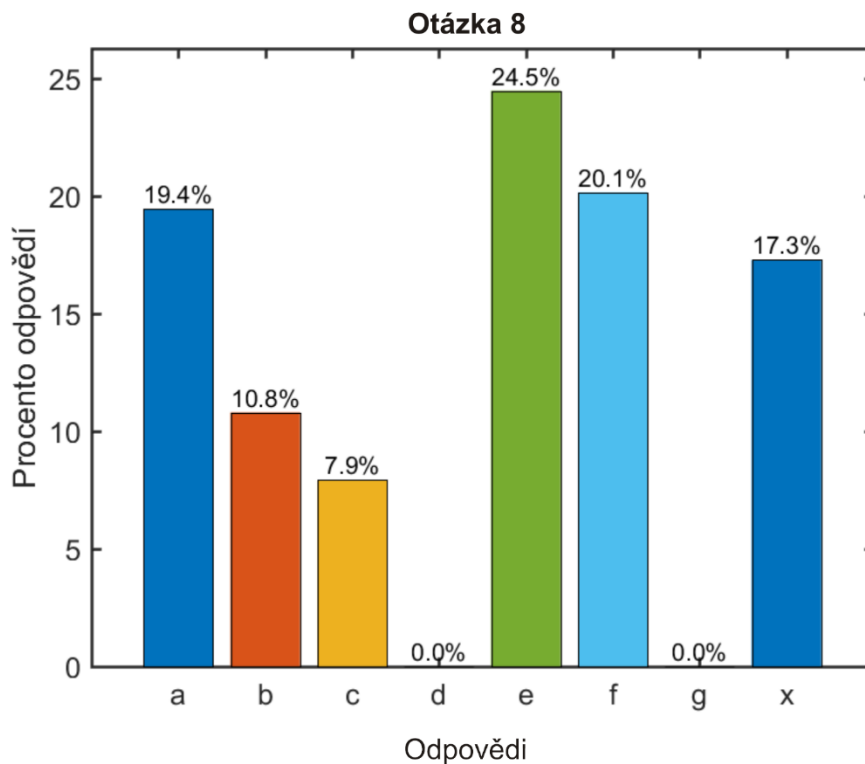
Krabicové grafy porovnávající čas správných a špatných odpovědí na otázky 5 a 7



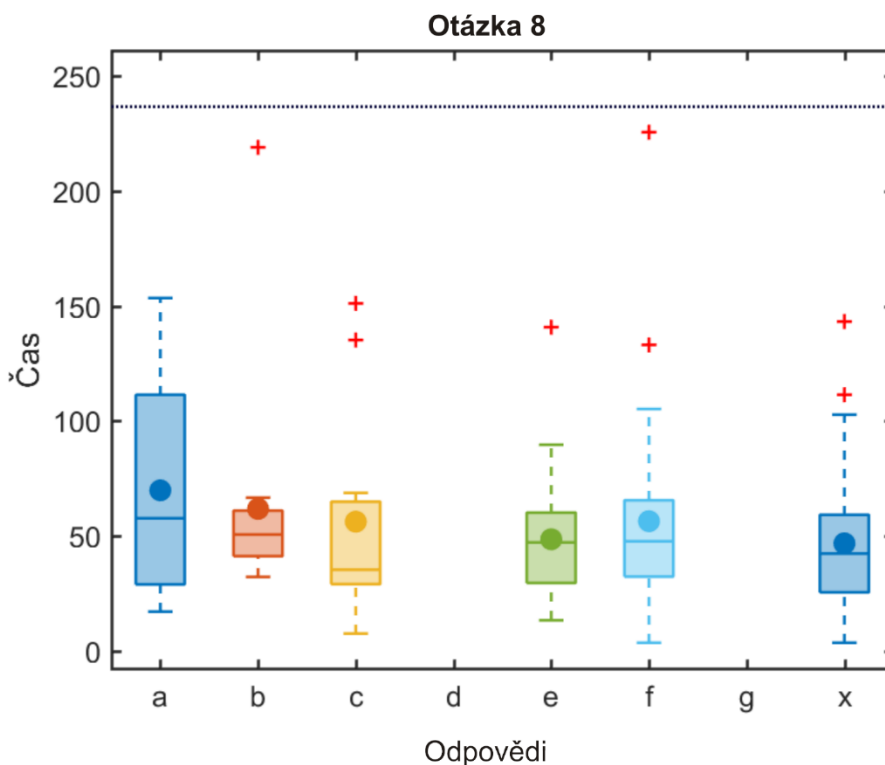
Histogram relativních četností počtu odpovědí respondentů na otázku 6 (správná odpověď: „g“).



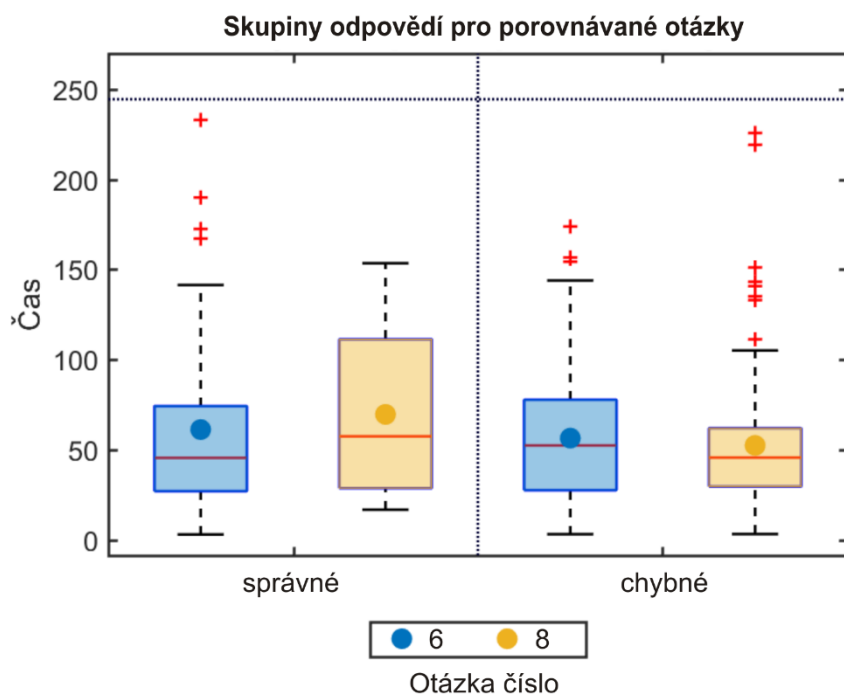
Krabicové grafy zachycující rychlost odpovědí respondentů na otázku 6 (správná odpověď: „g“).



Histogram relativních četností počtu odpovědí respondentů na otázku 8 (správná odpověď: „a“).



Krabicové grafy zachycující rychlost odpovědí respondentů na otázku 8 (správná odpověď: „a“).



Krabicové grafy porovnávající čas správných a špatných odpovědí na otázky 6 a 8.

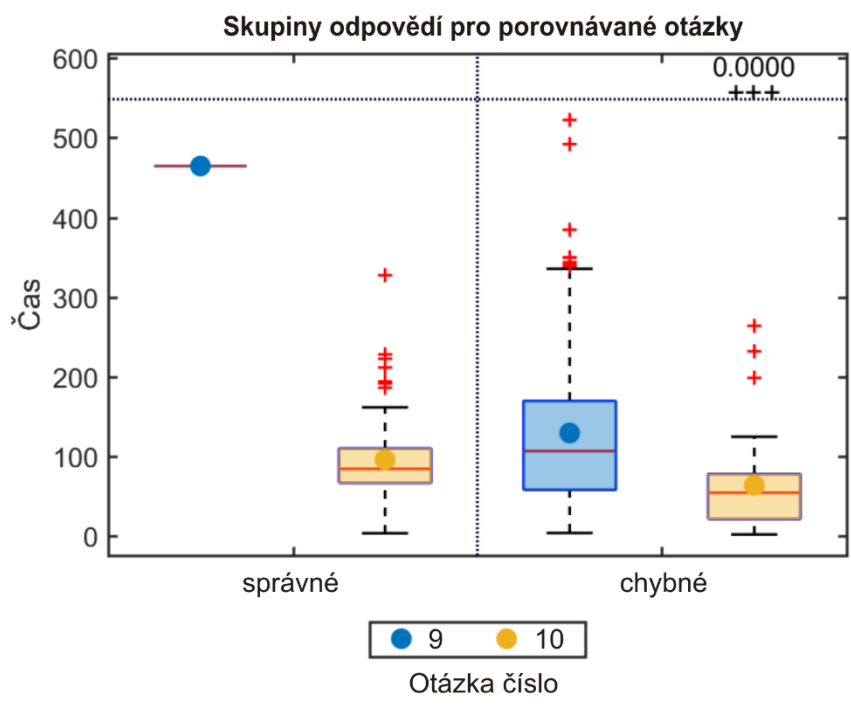
Příloha experimentu D

	Počet	Průměr	Std	Min	Max	Median	Test normality		testy			
0	127	129,568	101,820	4,109	522,566	106,883	0,001		04a	spravne x chybne	t test	0,001
1	1	464,665	0,000	464,665	464,665	464,665	NaN				r test	0,099
celkem	128	132,186	105,655	4,109	522,566	108,005	0,001		04b	spravne x chybne	t test	0,001
0	45	63,830	57,059	2,191	264,102	54,641	0,002				r test	0,000
1	81	96,040	50,275	3,774	327,565	84,547	0,001		spravne	04a x 04b	t test	0,000
celkem	126	84,537	54,807	2,191	327,565	78,582	0,001				r test	0,091
									chybne	04a x 04b	t test	0,000
											r test	0,000
									cetnosti			0,000

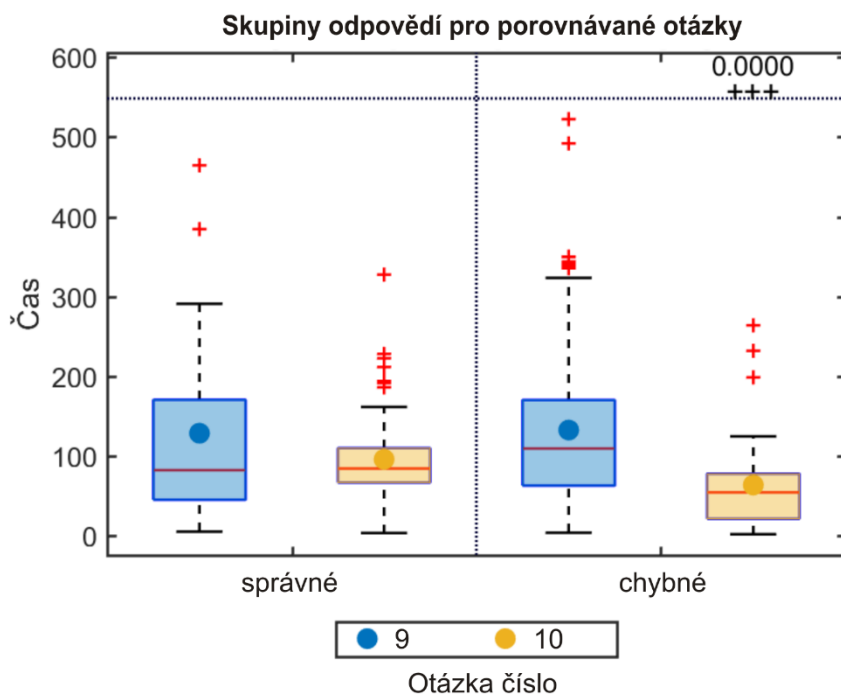
Výsledky statistických testů pro otázky 9 a 10.

	Počet	Průměr	Std	Min	Max	Median	Test normality		testy			
0	109	132,777	101,976	4,109	522,566	109,669	0,001		04a-v2	spravne x chybne	t test	0,001
1	19	128,799	127,876	5,470	464,665	82,376	0,018				r test	0,099
celkem	128	132,186	105,655	4,109	522,566	108,005	0,001		04b-v2	spravne x chybne	t test	0,001
0	45	63,830	57,059	2,191	264,102	54,641	0,002				r test	0,000
1	81	96,040	50,275	3,774	327,565	84,547	0,001		spravne	04a-v2 x 04b-v2	t test	0,000
celkem	126	84,537	54,807	2,191	327,565	78,582	0,001				r test	0,091
									chybne	04a-v2 x 04b-v2	t test	0,000
											r test	0,000
									cetnosti			0,000

Výsledky statistických testů pro otázky 9 a 10 při zohlednění alternativní odpovědi.



Krabicové grafy porovnávající čas správných a špatných odpovědí na otázky 9 a 10.



Krabicové grafy porovnávající čas správných a špatných odpovědí na otázky 9 a 10 při zohlednění alternativní odpovědi.

Příloha experimentu E

	Počet	Průměr	Std	Min	Max	Median	Test normality		testy			
0	88	105,291	75,564	5,730	521,891	89,650	0,001		05a	spravne x chybne	t test	0,0261
1	30	71,486	54,759	13,431	202,011	61,715	0,026				r test	0,0148
celkem	118	96,696	72,164	5,730	521,891	84,465	0,003		05c	spravne x chybne	t test	0,1402
0	78	62,141	75,766	6,974	610,985	42,588	0,001				r test	0,0594
1	38	42,853	36,404	8,693	146,870	31,013	0,001		spravne	05a x 05c	t test	0,0120
celkem	116	55,823	65,975	6,974	610,985	38,328	0,001				r test	0,0474
									chybne	05a x 05c	t test	0,0003
											r test	0,0000
									cetnosti			0,2501

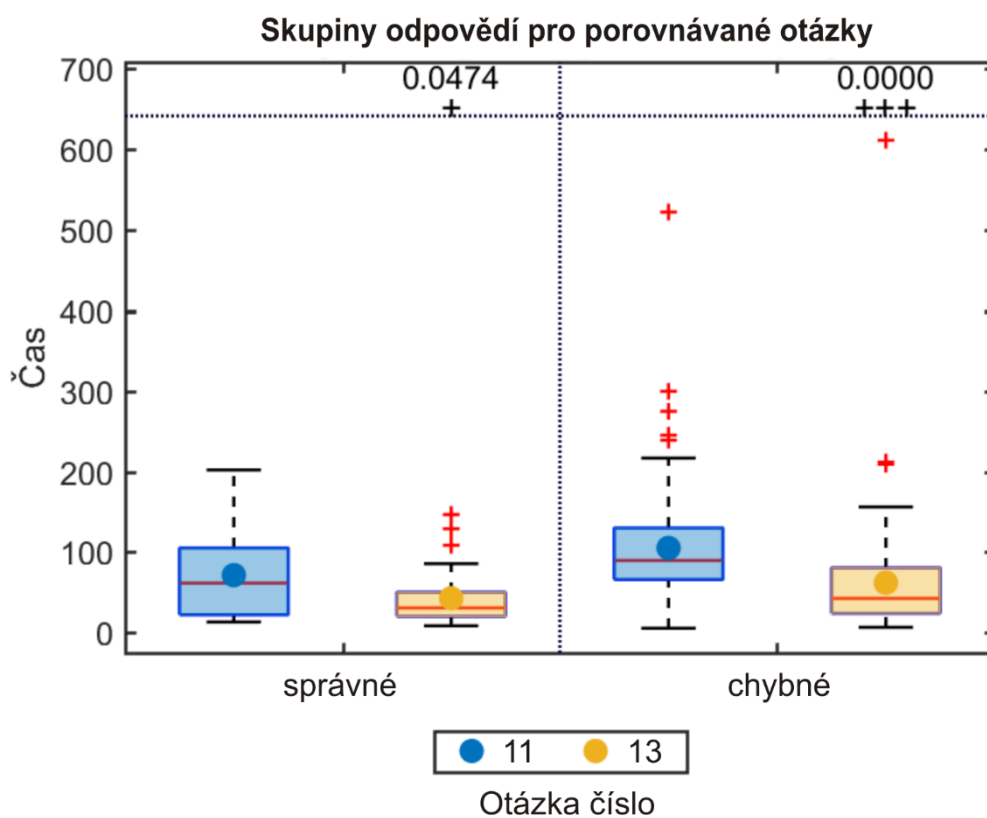
Výsledky statistických testů pro otázky 11 a 13.

	Počet	Průměr	Std	Min	Max	Median	Test normality		testy			
'do 10%'	7	59,536	32,802	24,261	120,760	55,124	0,318		05b	spravne x chybne	t test	0,164
'10% - 30%'	39	44,811	35,178	14,277	215,559	34,245	0,001				r test	0,049
'více než 30%'	56	37,830	33,805	4,786	226,417	31,183	0,001		05d	spravne x chybne	t test	NaN
celkem	118	39,389	32,924	4,786	226,417	31,545	0,001				r test	NaN
0	95	40,696	34,363	4,786	226,417	32,209	0,001		spravne	05b x 05d	t test	NaN
1	7	59,536	32,802	24,261	120,760	55,124	0,318				r test	0,000
celkem	118	39,389	32,924	4,786	226,417	31,545	0,001		chybne	05b x 05d	t test	0,131
'do 10%'	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN				r test	0,447
'10% - 30%'	4	146,528	108,726	46,453	300,899	119,380	0,158		cetnosti			0,016
'více než 30%'	84	45,731	42,179	5,169	276,845	31,760	0,001					
celkem	116	43,752	45,971	5,169	300,899	28,620	0,001					
0	88	50,312	50,506	5,169	300,899	33,799	0,001					
1	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN					
celkem	116	43,752	45,971	5,169	300,899	28,620	0,001					

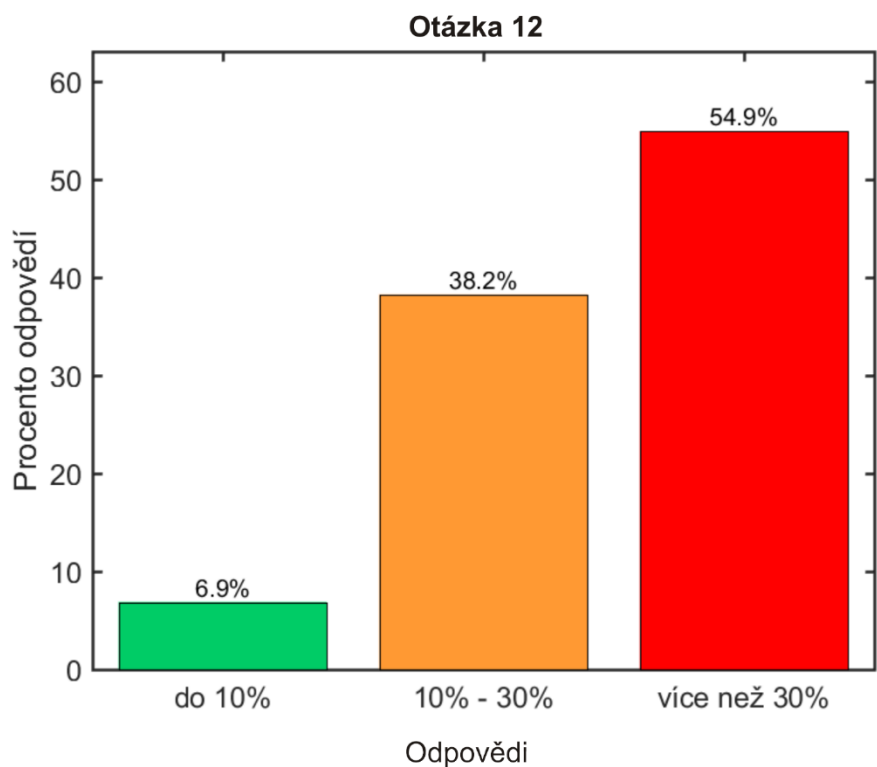
Výsledky statistických testů pro otázky 12 a 14
při hladině správnosti odpovědí $\pm 10\%$ ke skutečnému správnému výsledku.

	Počet	Průměr	Std	Min	Max	Median	Test normality		testy			
'do 10%'	7	59,536	32,802	24,261	120,760	55,124	0,318		05b-v2	spravne x chybne	t test	0,180
'10% - 30%'	39	44,811	35,178	14,277	215,559	34,245	0,001				r test	0,046
'více než 30%'	56	37,830	33,805	4,786	226,417	31,183	0,001		05d-v2	spravne x chybne	t test	0,000
celkem	118	39,389	32,924	4,786	226,417	NaN	0,001				r test	0,008
0	56	37,830	33,805	4,786	226,417	31,183	0,001		spravne	05b-v2 x 05d-v2	t test	0,000
1	46	47,051	34,886	14,277	215,559	37,350	0,001				r test	0,016
celkem	118	39,389	32,924	4,786	226,417	NaN	0,001		chybne	05b-v2 x 05d-v2	t test	0,243
'do 10%'	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN				r test	0,329
'10% - 30%'	4	146,528	108,726	46,453	300,899	119,380	0,158		cetnosti			0,000
'více než 30%'	84	45,731	42,179	5,169	276,845	31,760	0,001					
celkem	116	43,752	45,971	5,169	300,899	28,620	0,001					
0	84	45,731	42,179	5,169	276,845	31,760	0,001					
1	4	146,528	108,726	46,453	300,899	119,380	0,158					
celkem	116	43,752	45,971	5,169	300,899	28,620	0,001					

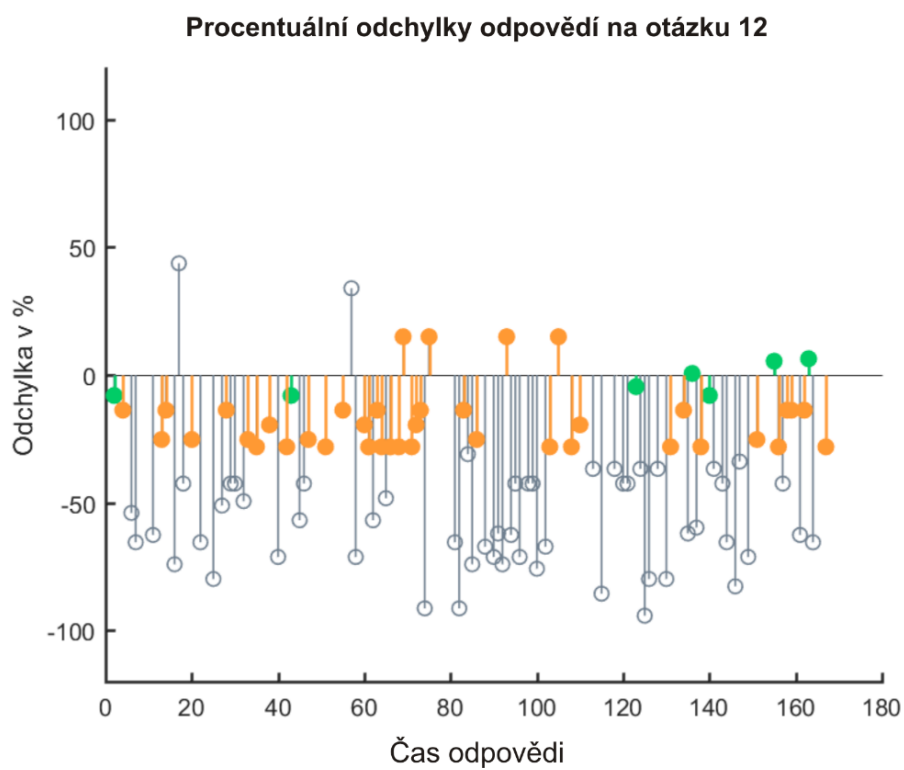
Výsledky statistických testů pro otázky 12 a 14
při hladině správnosti odpovědí $\pm 30\%$ ke skutečnému správnému výsledku.



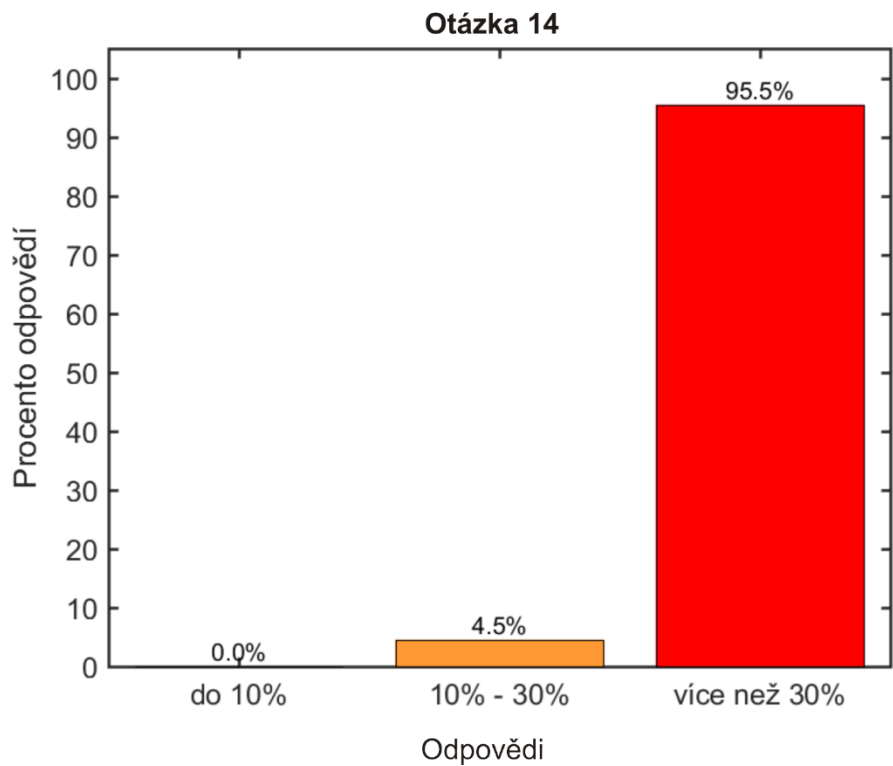
Krabicové grafy porovnávající čas správných a špatných odpovědí na otázky 11 a 13.



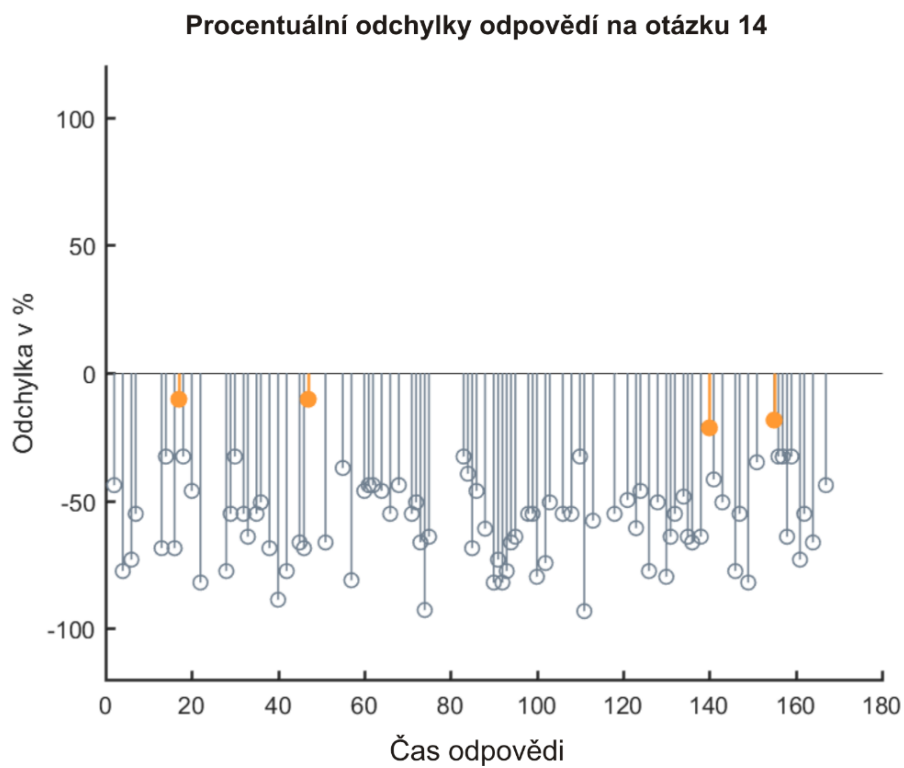
Histogram relativních četností počtu odpovědí respondentů na otázku 12 (správná odpověď: 174%).



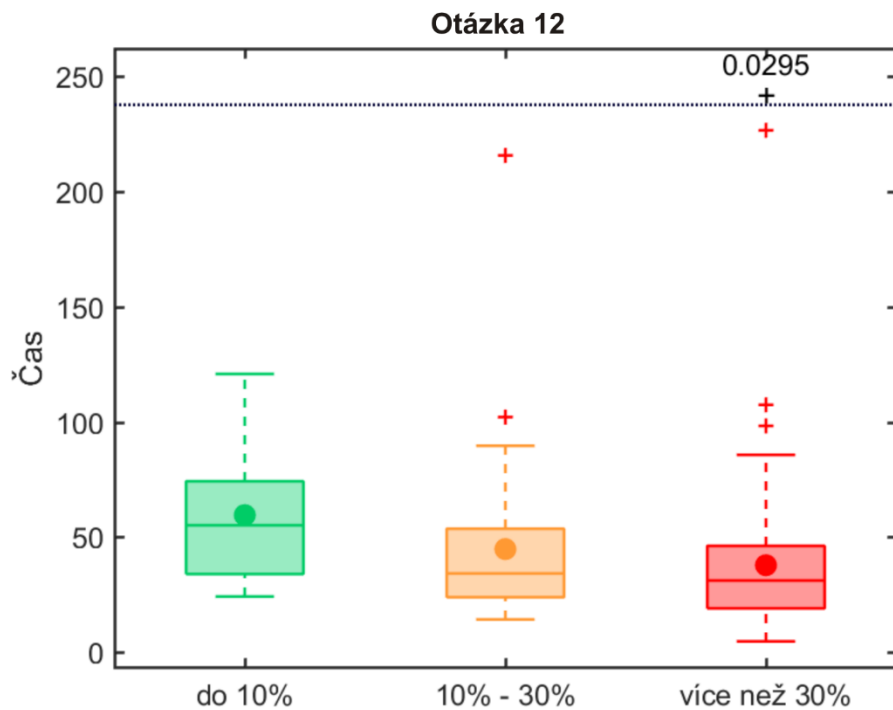
Graf procentuálních odchylek v odhadech odpovědí na otázku 12 (správná odpověď: 174%).



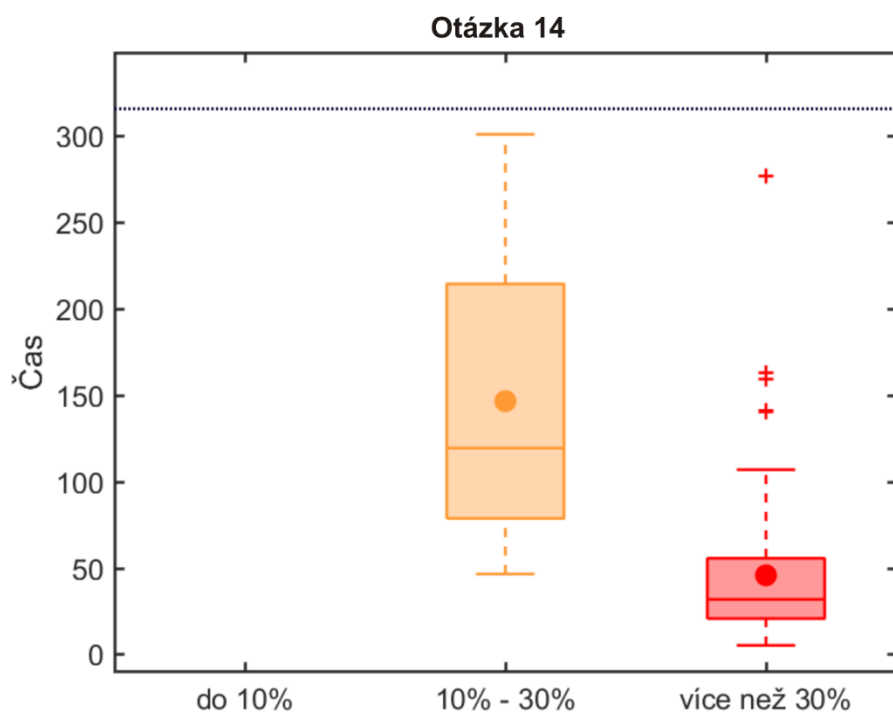
Histogram relativních četností počtu odpovědí respondentů na otázku 14 (správná odpověď: 223%).



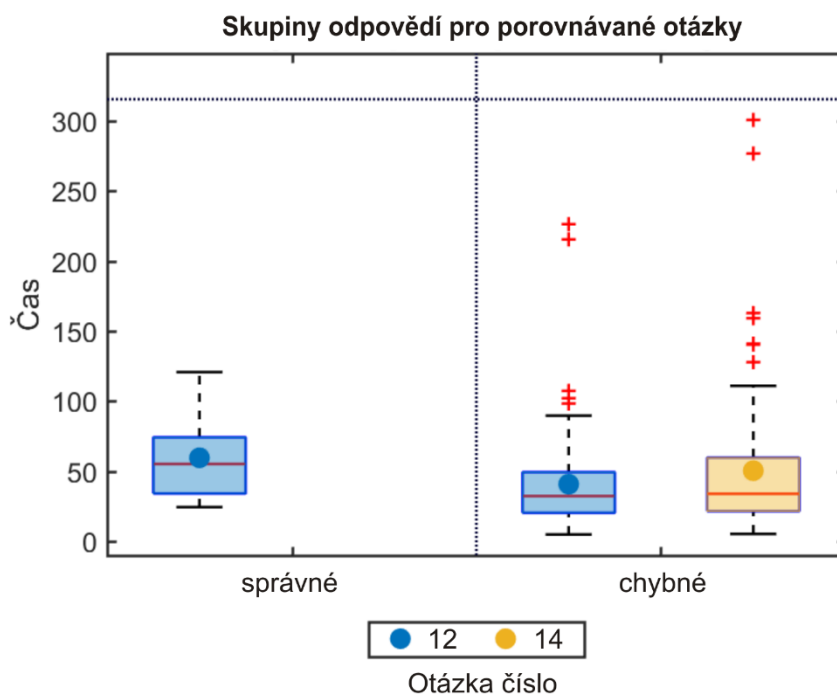
Graf procentuálních odchylek v odhadech odpovědí na otázku 14 (správná odpověď: 223%).



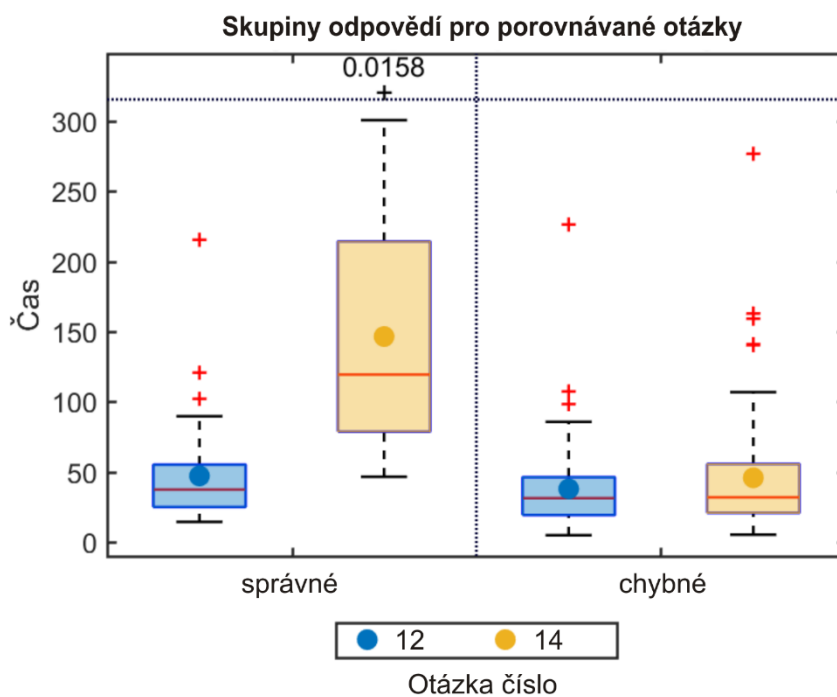
Krabicový graf porovnávající rychlost odpovědí spadajících do rozpětí hodnot od korektní odpovědi na otázku 12.



Krabicový graf porovnávající rychlost odpovědí spadajících do rozpětí hodnot od korektní odpovědi na otázku 14.



Krabicové grafy porovnávající čas správných a špatných odpovědí na otázky 12 a 14 při hladině správnosti $\pm 10\%$ ke skutečně korektnímu výsledku.



Krabicové grafy porovnávající čas správných a špatných odpovědí na otázky 12 a 14 při hladině správnosti $\pm 30\%$ ke skutečně korektnímu výsledku.

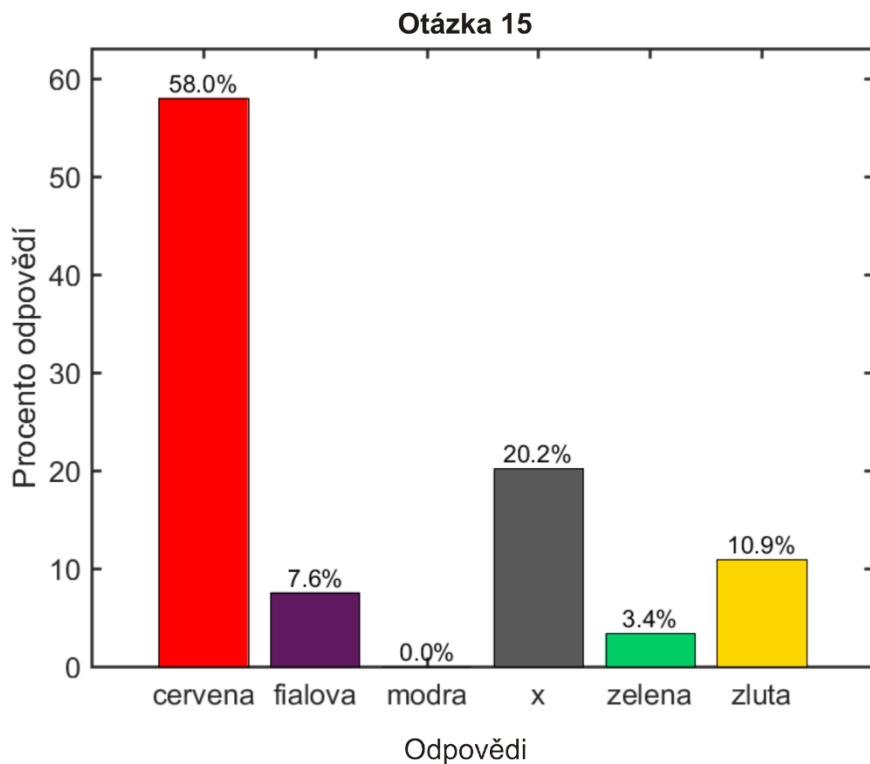
Příloha experimentu F

	Počet	Průměr	Std	Min	Max	Median	Test normality	testy	spravne x chybne	t test	
'cervena'	69	33,038	15,203	8,876	74,225	29,064	0,001	06a	spravne x chybne	t test	0,0427
'fialova'	9	41,794	20,461	4,440	64,586	45,087	0,500			r test	0,0379
'modra'	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	06b	spravne x chybne	t test	0,0109
'x'	24	24,636	12,597	4,535	67,829	22,057	0,153			r test	0,0020
'zelena'	4	11,479	5,845	6,059	18,286	10,786	0,371	spravne	06a x 06b	t test	0,0224
'zluta'	13	23,985	6,715	14,379	38,630	23,754	0,395			r test	0,0110
celkem	119	30,292	15,341	4,440	74,225	27,084	0,001	chybne	06a x 06b	t test	0,0147
0	95	31,721	15,696	4,440	74,225	27,987	0,001			r test	0,0067
1	24	24,636	12,597	4,535	67,829	22,057	0,153	cetnosti			0,0000
celkem	119	30,292	15,341	4,440	74,225	27,084	0,001				
'cervena'	5	11,076	9,711	5,068	28,357	7,369	0,001				
'fialova'	21	23,170	12,726	3,760	55,419	21,015	0,500				
'modra'	5	21,743	8,976	14,723	36,637	20,209	0,275				
'x'	8	30,317	19,516	3,340	67,787	30,417	0,306				
'zelena'	64	32,245	14,046	5,562	73,330	30,574	0,004				
'zluta'	15	31,851	19,100	12,441	78,832	25,806	0,053				
celkem	119	28,942	15,382	3,340	78,832	26,414	0,001				
0	55	25,098	16,088	3,340	78,832	22,237	0,065				
1	64	32,245	14,046	5,562	73,330	30,574	0,004				
celkem	119	28,942	15,382	3,340	78,832	26,414	0,001				

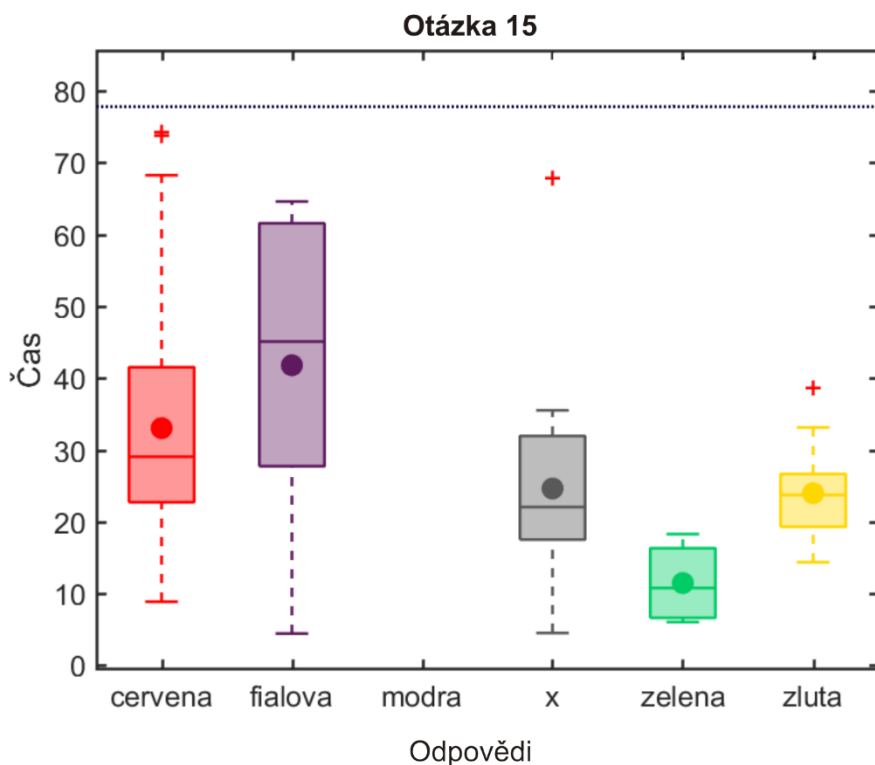
Výsledky statistických testů pro otázky 15 a 16.

	Počet	Průměr	Std	Min	Max	Median	Test normality	testy	spravne x chybne	t test	
'cervena'	69	33,038	15,203	8,876	74,225	29,064	0,001	06a-v2	spravne x chybne	t test	0,6690
'fialova'	9	41,794	20,461	4,440	64,586	45,087	0,500			r test	0,5273
'modra'	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	06b-v2	spravne x chybne	t test	0,0109
'x'	24	24,636	12,597	4,535	67,829	22,057	0,153			r test	0,0020
'zelena'	4	11,479	5,845	6,059	18,286	10,786	0,371	spravne	06a-v2 x 06b-v2	t test	0,3643
'zluta'	13	23,985	6,715	14,379	38,630	23,754	0,395			r test	0,1717
celkem	119	30,292	15,341	4,440	74,225	27,084	0,001	chybne	06a-v2 x 06b-v2	t test	0,0375
0	86	30,667	14,872	6,059	74,225	27,150	0,001			r test	0,0153
1	33	29,316	16,701	4,440	67,829	24,692	0,082	cetnosti			0,0001
celkem	119	30,292	15,341	4,440	74,225	27,084	0,001				
'cervena'	5	11,076	9,711	5,068	28,357	7,369	0,001				
'fialova'	21	23,170	12,726	3,760	55,419	21,015	0,500				
'modra'	5	21,743	8,976	14,723	36,637	20,209	0,275				
'x'	8	30,317	19,516	3,340	67,787	30,417	0,306				
'zelena'	64	32,245	14,046	5,562	73,330	30,574	0,004				
'zluta'	15	31,851	19,100	12,441	78,832	25,806	0,053				
celkem	119	28,942	15,382	3,340	78,832	26,414	0,001				
0	55	25,098	16,088	3,340	78,832	22,237	0,065				
1	64	32,245	14,046	5,562	73,330	30,574	0,004				
celkem	119	28,942	15,382	3,340	78,832	26,414	0,001				

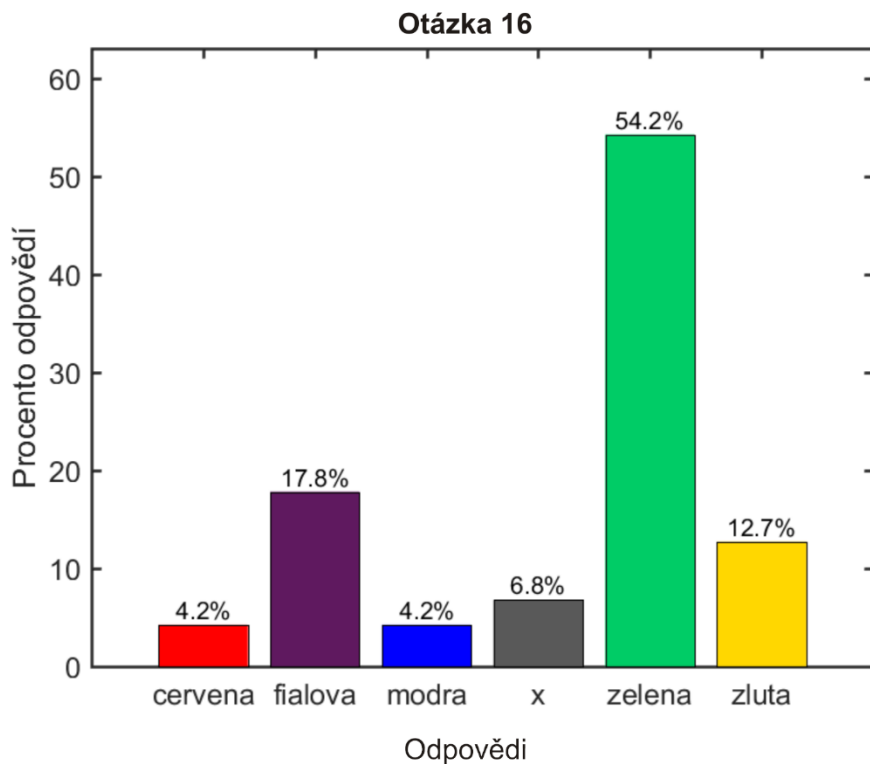
Výsledky statistických testů pro otázky 15 a 16 při uvažování alternativní odpovědi.



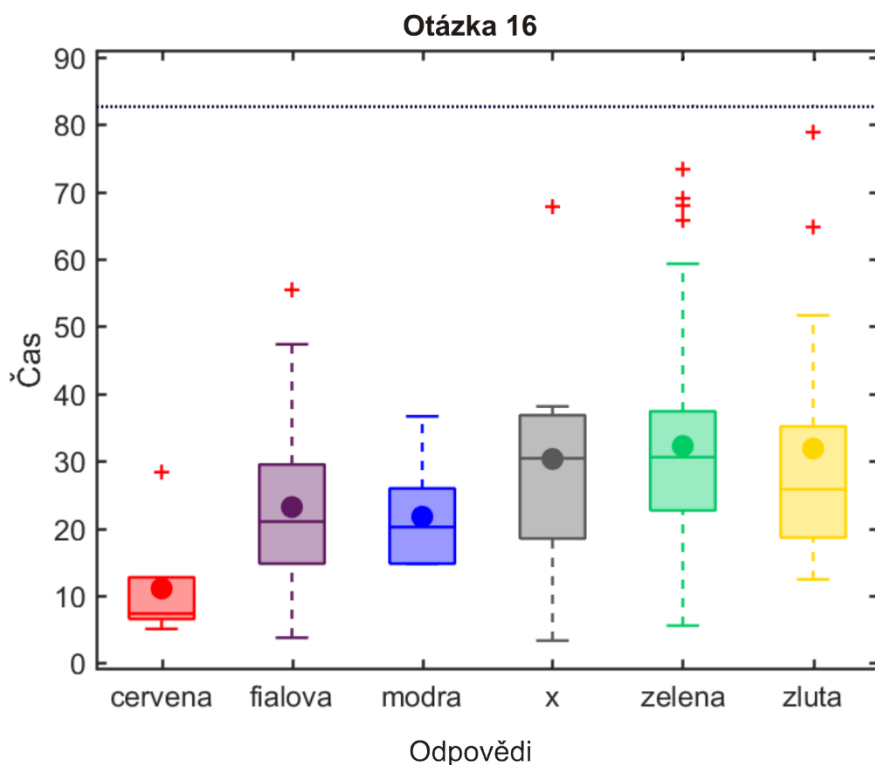
Histogram relativních četností počtu odpovědí respondentů na otázku 15 (správná odpověď: „x“, alternativní: „fialova“).



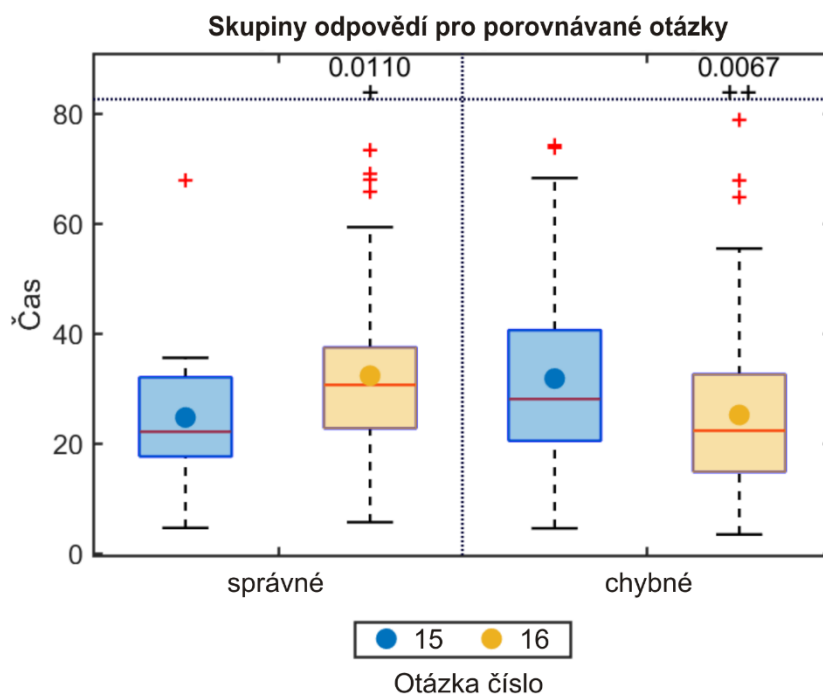
Krabicové grafy zachycující rychlost odpovědí respondentů na otázku 15 (správná odpověď: „x“, alternativní: „fialova“).



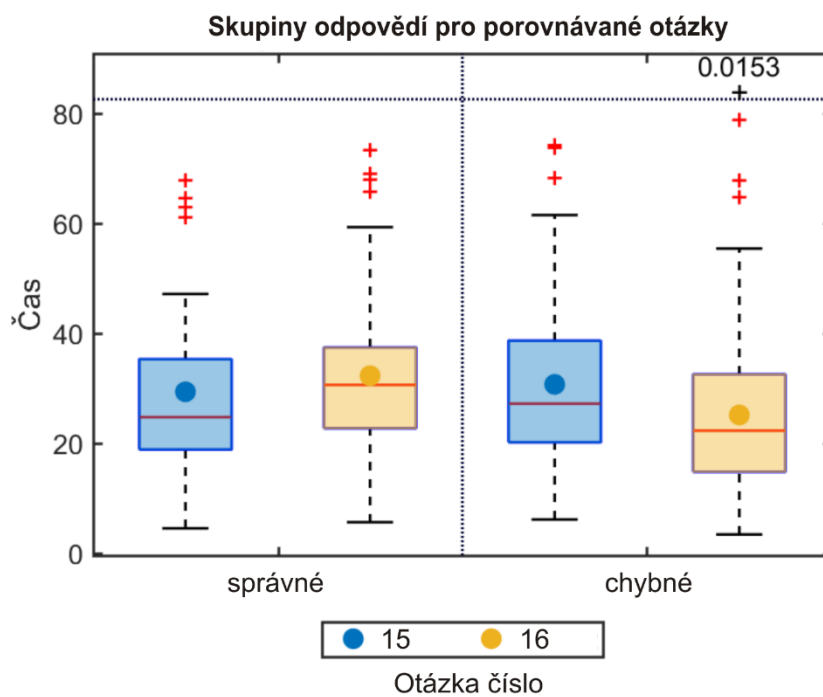
Histogram relativních četností počtu odpovědí respondentů na otázku 16 (správná odpověď: „zelena“).



Krabicové grafy zachycující rychlost odpovědí respondentů na otázku 16 (správná odpověď: „zelena“).



Krabicové grafy porovnávající čas správných a špatných odpovědí na otázky 15 a 16.



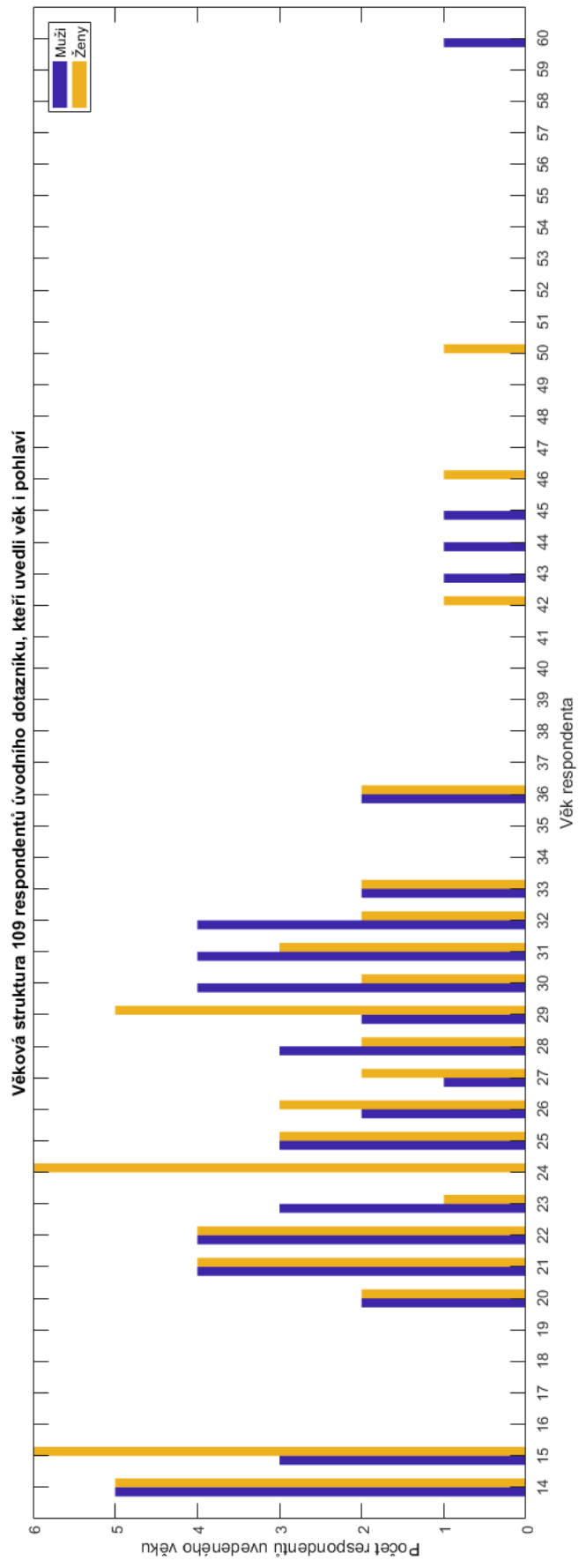
Krabicové grafy porovnávající čas správných a špatných odpovědí na otázky 15 a 16 při uvažování alternativní odpovědi.

Příloha vyhodnocení všech otázek experimentů

Přehledová tabulka ukazující pro jednotlivé otázky: počet odpovědí chybějících do maximálního počtu registrovaných odpovědí za jednotlivé otázky (sloupec Počet nan, korespondující s grafem na obrázku 5-10); počet chybných odpovědí (sloupec Počet 0); počet správných odpovědí (sloupec Počet 1); počet alternativně zvolených odpovědí, pokud byly umožněny (sloupec Počet 2); poměry správných k špatným odpovědím (sloupec „1/(0+1+2)“) intervalové odhady vypočtené pro jednotlivé otázky (viz podkapitola 5.4) jak pro správné odpovědi (sloupec Intervalový odhad), tak i pro správné odpovědi zahrnující jejich alternativní verze (poslední dva blankytně podbarvené sloupce).

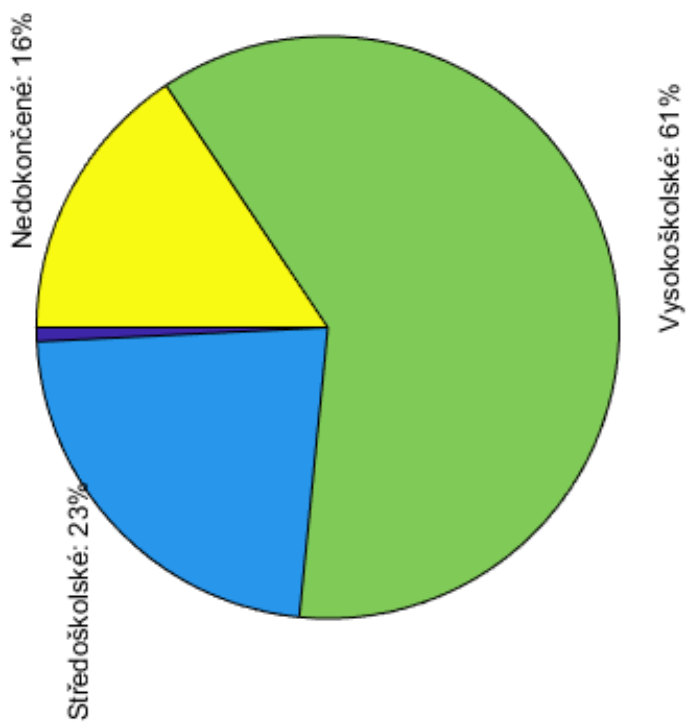
Otázka	Počet nan	Počet 0	Počet 1	Počet 2	1/(0+1+2)	Intervalový odhad		(1+2)/(0+1+2)		
1	0	149	19	0	11,3%	6,9%	17,1%	11,3%	6,9%	17,1%
2	3	138	27	0	16,4%	11,1%	22,9%	16,4%	11,1%	22,9%
3	23	87	31	27	21,4%	15,0%	29,0%	40,0%	32,0%	48,5%
4	36	98	11	23	8,3%	4,2%	14,4%	25,8%	18,5%	34,1%
5	27	42	99	0	70,2%	61,9%	77,6%	70,2%	61,9%	77,6%
7	28	85	55	0	39,3%	31,1%	47,9%	39,3%	31,1%	47,9%
6	31	54	43	40	31,4%	23,7%	39,9%	60,6%	51,9%	68,8%
8	29	112	27	0	19,4%	13,2%	27,0%	19,4%	13,2%	27,0%
9	40	109	1	18	0,8%	0,0%	4,3%	14,8%	9,2%	22,2%
10	42	45	81	0	64,3%	55,3%	72,6%	64,3%	55,3%	72,6%
11	50	88	30	0	25,4%	17,9%	34,3%	25,4%	17,9%	34,3%
13	52	78	38	0	32,8%	24,3%	42,1%	32,8%	24,3%	42,1%
12	66	56	7	39	6,9%	2,8%	13,6%	45,1%	35,2%	55,3%
14	80	84	0	4	0,0%	0,0%	4,1%	4,5%	1,3%	11,2%
15	49	86	24	9	20,2%	13,4%	28,5%	27,7%	19,9%	36,7%
16	49	55	64	0	53,8%	44,4%	63,0%	53,8%	44,4%	63,0%

Příloha vyhodnocení úvodního dotazníku

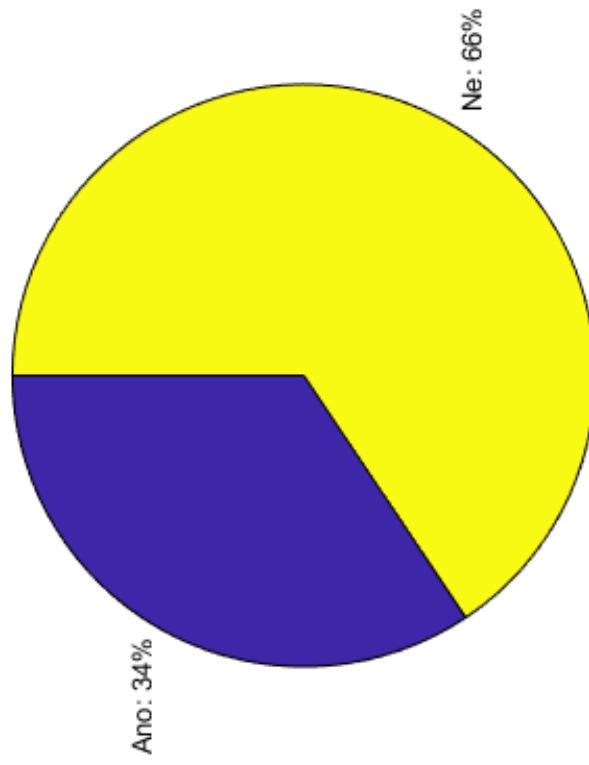


Vzdělání respondentů

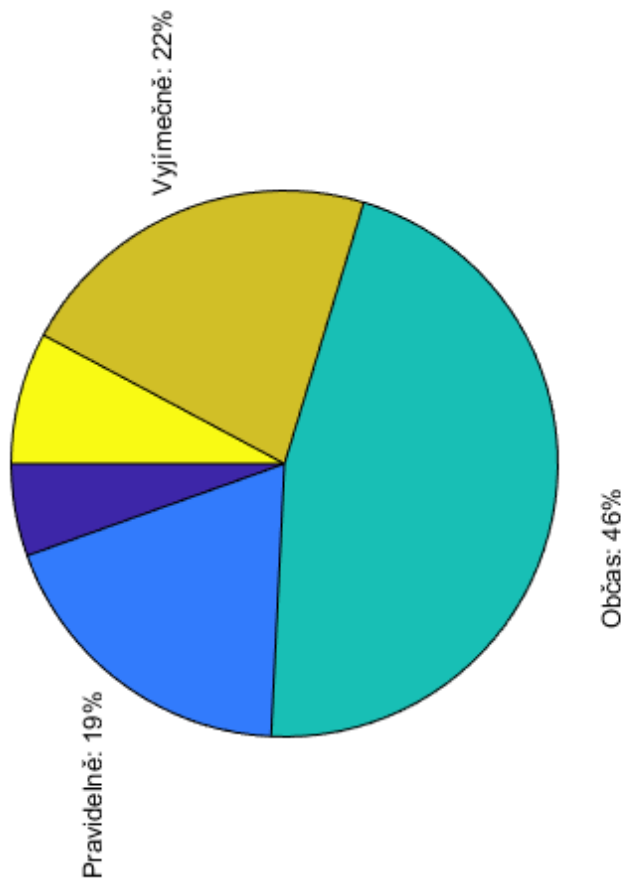
Základní: < 1%



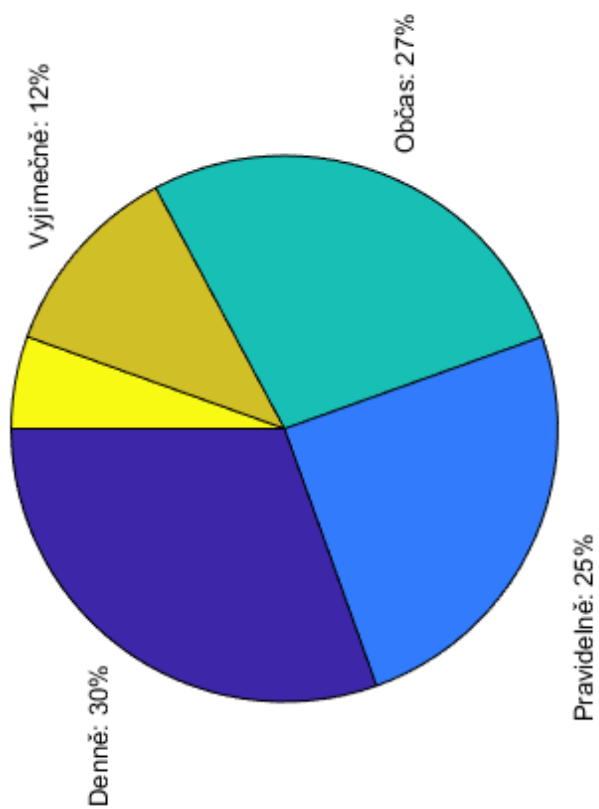
Příslušnost ke geomatickým oborům



**Práce s 3D vizualizacemi
geografických dat**
Denně: 5%
Nikdy: 8%



Práce s mapami
Nikdy: 5%



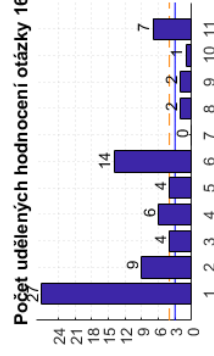
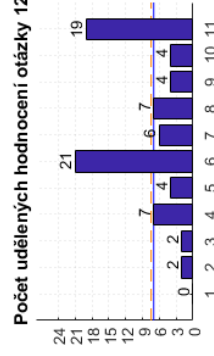
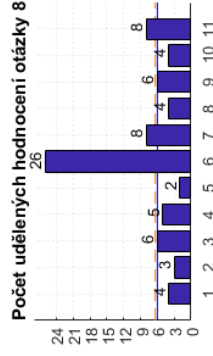
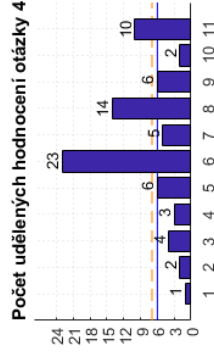
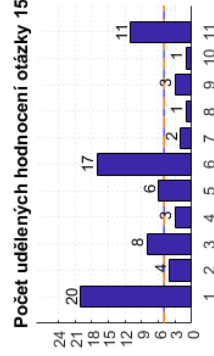
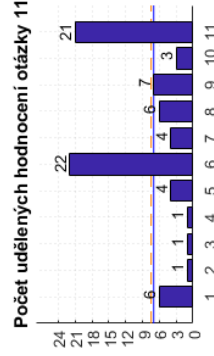
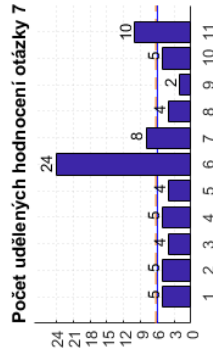
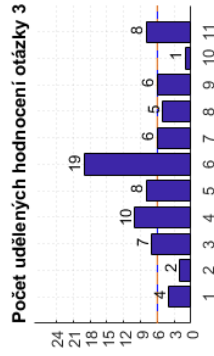
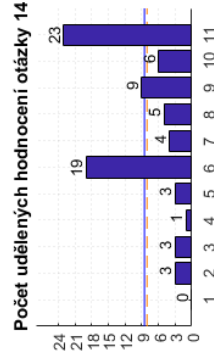
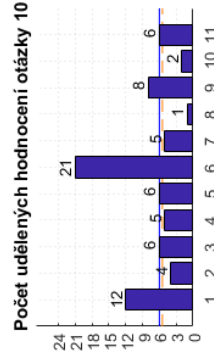
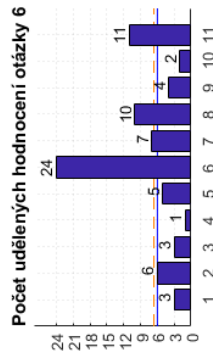
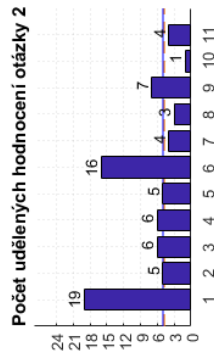
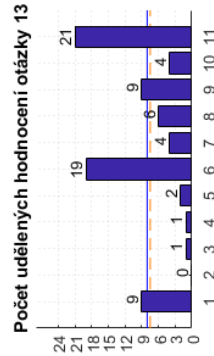
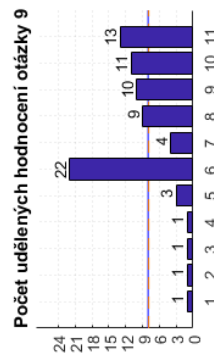
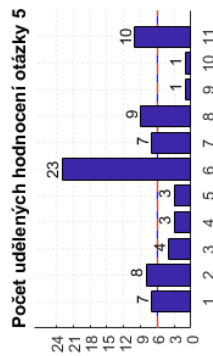
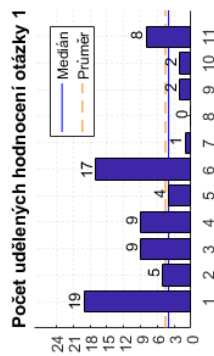
Příloha vyhodnocení závěrečného dotazníku

V této části je uveden tabulkový přehled statistického vyhodnocení závěrečného dotazníku následovaný na další straně jeho grafickým znázorněním ve formě histogramů.

Statistické informace o závěrečném dotazníku:

Otázka:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Min	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1
Med	4	5	6	6	6	6	6	6	8	6	7	7	8	8,5	5	3
Prům	4,6	4,8	6	7	5,9	6,6	6,3	6,4	7,9	5,5	7,5	7,5	7,5	8	4,9	4
Max	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11

Vyhodnocení závěrečného dotazníku - obtížnost řešení jednotlivých otázek



Škála osy y - Počet udělených hodnocení obtížnosti pro každou otázku od 76 respondentů

Škála osy x - Kategorie obtížnosti zodpovězení otázky: 1 (nejjednodušší) až 11 (nejobtížnější)