

EYE-TRACKING STUDIE

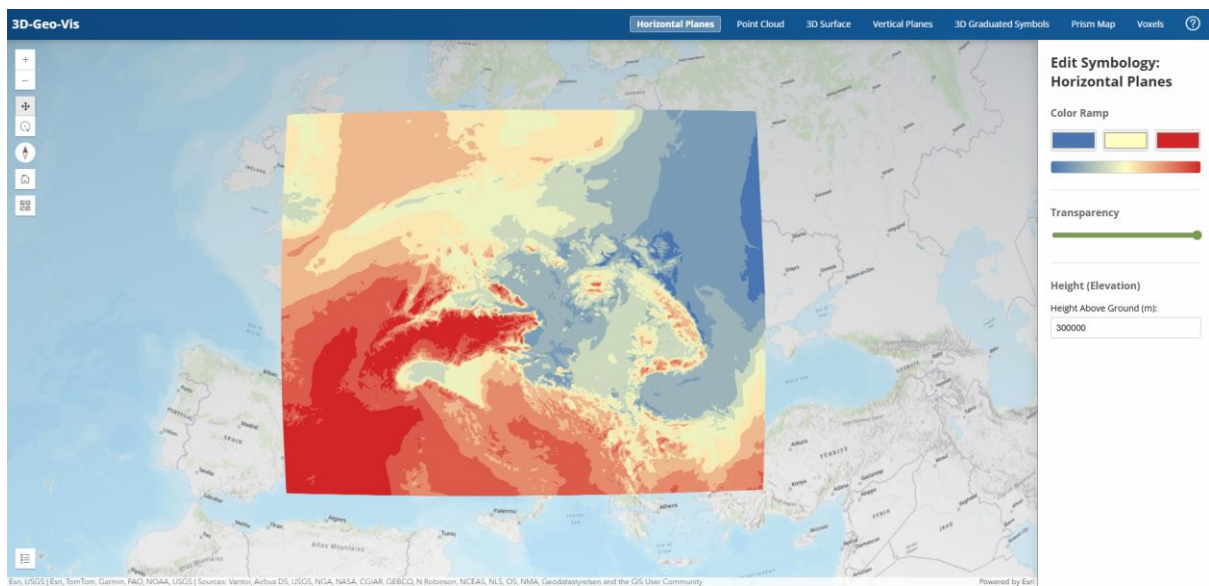
3D-GEO-VIS

Záměrem této studie bylo testování použitelnosti webové mapové aplikace „3D-Geo-Vis“ (kapitola 1). Primárně zde byl využit eye-tracking, díky kterému bylo možné podrobně sledovat to, kam se účastníci textování během práce s produktem dívali. Kromě eye-trackingu byly také zaznamenávány veškeré logované interakce účastníků na základě vlastního vytvořené logovacího nástroje *MapLogger* (kapitola 2). Kombinace těchto dvou přístupů tak umožnila efektivně propojit informace o tom, kam se uživatelé dívají s tím, jaké kroky skutečně provádějí. Testování bylo na konci doplněno o dotazníkové šetření. Dotazník se skládal ze dvou částí, a to ze standardizovaného nástroje UEQ (User Experience Questionnaire) pro hodnocení uživatelského prožitku a dále doplňující sekce zaměřená na demografické charakteristiky účastníků, jejich předchozí zkušenosti a ze subjektivního okomentování aplikace a návrhu vylepšení. Tato část poskytla širší kontext pro následnou interpretaci eye-tracking a logovaných dat a umožnila tak lépe porozumět případným individuálním rozdílům mezi jednotlivými účastníky.

Tato kombinace eye-tracking dat, záznamů interakcí pomocí vlastního nástroje a subjektivního hodnocení formou dotazníku vedla k vytvoření komplexního obrazu o tom, jak uživatelé aplikaci skutečně používají, jaké strategie při práci volí a jak ji vnímají z hlediska použitelnosti i celkového uživatelského zážitku.

1. TESTOVANÁ APLIKACE: 3D-GEO-VIS

Aplikace *3D-Geo-Vis* zobrazuje celkem sedmi metodami znázornění dat o teplotě vzduchu ve 3D. Hlavní autorem této aplikace je Jakub Žejdlík z Katedry geoinformatiky (UP), který vytvořil aplikaci v rámci jeho disertační práce pro představení vizualizačních metod ve 3D, vycházející ze článku Žejdlík & Vozenilek (2025). Aplikace je postavena na architektuře HTML/CSS/JavaScript a zdrojové kódy byly zpřístupněny veřejnosti na platformě GitHub (https://github.com/jakubzejdlík/3d_geo_vis). Aplikace je dostupná online na tomto odkaze: https://jakubzejdlík.github.io/3d_geo_vis/horizontal.html. Náhled na testovanou aplikaci ve výchozím stavu je uveden na **obrázku 1**.



Obrázek 1 Náhled na výchozí stav aplikace 3D-Geo-Vis.

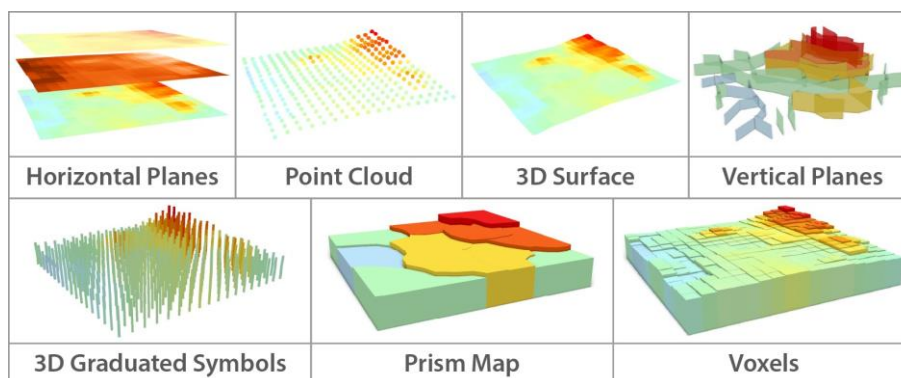
Každá metoda je řešena jako samostatná podstránka, mezi kterými lze přepínat v pravé horní části aplikace. Zde je zároveň dostupná nápověda (ikona otazníku) obsahující informace o ovládání aplikace a tiráž. Největší plochu zabírá samotné mapové okno, kde jsou vykreslena podkladová a tematická data. Aplikace obsahuje několik nástrojů, a to konkrétně tlačítka pro přiblížení a oddálení, pohyb a rotaci scény, návrat do počátečního pohledu, změnu podkladové mapy a legendu. Nejdůležitějším prvkem je pravý boční panel, který umožňuje interaktivní úpravu znakového klíče v reálném čase. Grafické proměnné, které může uživatel upravovat, se mění v závislosti na zvolené metodě. Jsou tedy vždy dostupné právě ty proměnné, které jsou pro danou metodu relevantní, a které jsou technicky proveditelné. Veškeré úpravy se aplikují okamžitě a není potřeba je nijak potvrzovat.

Každá z nabízených metod však má svá specifika (Zejdlík & Vozenilek, 2025) a je proto vhodné v rámci této studie i zjistit, jaké z nabízených metod uživatelé upřednostňují, jaké je naopak nelákají a se kterými mají problémy reflektující vyšší kognitivní zátěž. Sedm metod (**obrázek 2**) obsažených v testované aplikaci jsou následující:

- **Horizontal Planes** – Horizontální rovina je způsob zobrazení rastrových prostorových dat, kdy celý datový soubor má konstantní souřadnici výšky (Z) a liší se pouze způsobem zobrazení, například barvou buňky. Vizualizace 2D rovin ve formě statických výstupů je poměrně omezená, protože se při zobrazení více rovin v různých výškových úrovních překrývají. Z tohoto důvodu je žádoucí používat tento typ vizualizace v interaktivním prostředí, které je také nezbytné pro vizuální analýzu a prozkoumávání dat (Zejdlík a Vozenilek, 2024).
- **Point Cloud** – Bodové mračno je typ diskrétní vizualizace, kde každý bod je reprezentován třemi souřadnicemi. Může se jednat o 2D bodový mrak, kde všechny body mají konstantní souřadnici Z , nebo o 3D bodový mrak, kde souřadnice Z je proměnná. Bodové mraky mohou být rozmístěny náhodně nebo v pravidelné mřížce. V ideálním případě může uživatel dynamicky měnit velikost a hustotu bodů, aby dosáhl co nejlepší vizuální analýzy (Gautier et al., 2020).
- **3D Surface** – 3D povrch je metoda kontinuální vizualizace, která se obvykle vytváří interpolací bodů z mračna bodů. Výška pixelu (souřadnice Z) je proměnná v závislosti na hodnotě z . 3D povrchy se nejčastěji používají k znázornění výšky (digitální modely

výšky), ale lze je použít také například k znázornění socioekonomických jevů (tzv. sociální nebo digitální povrchy). Socioekonomická data mají jiné vlastnosti než data z fyzické geografie. Proto nestačí použít stejné metody a pouze změnit data. Vždy je nutné znát zkoumaný jev a přizpůsobit mu metodu vizualizace (Jakobi a Nemes Nagy, 2006).

- **Vertical Planes** – Vertikální roviny se obvykle nacházejí uprostřed městských komunikací a jsou vykresleny vertikálním vytlačáním lineární geometrie silniční sítě. Aby se vyřešily možné problémy s překrytím, lze na vertikální roviny aplikovat průhlednost (Gautier et al., 2020a). Jedlička et al. (2024) označují tuto metodu jako 3D Flow Map, která je založena na Flow Map – metodě tematické kartografie používané k vyjádření lineárního jevu s kvantitativními nebo kvalitativními atributy vedle geometrie čáry.
- **3D Graduated Symbols** – Tato metoda je založena na metodě 2D odstupňovaných symbolů používaných v tematických mapách. Symboly mohou mít mnoho podob, od 3D pruhů přes koule až po výsečové grafy, přičemž velikost těchto prvků závisí na hodnotě (např. výška sloupce, průměr koule). Testováním vhodných reprezentací kvantitativních prostorových dat ve 3D virtuálních prostředích pomocí 3D odstupňovaných symbolů se zabýval Bleisch (2011). Bylo experimentálně testováno šest potenciálně vhodných proporcionálních symbolů pro zobrazení kvantitativních dat ve virtuálních prostředích: 2D pruhy, 3D pruhy a 2D kruhy, s referenčními rámečky označujícími největší možnou hodnotu i bez nich (Bleisch, 2011). Stoter et al. (2008) použili 3D odstupňované symboly k vizualizaci hladiny hluku pomocí takzvaných virtuálních mikrofونů. Virtuální mikrofون, specifikovaný souřadnicemi x, y, z, je bod, který udává, jaká by byla hladina hluku na určitém místě za daných okolností.
- **Prism Map** – Prizmatická mapa je 3D mapa s kartogramem s extrudovanou výškou pro kódování numerického atributu. Prizmatické mapy se používají převážně pro vizuální efekt, ale jejich neznámost brání jejich pochopení (Field, 2018). Výška (vizuální proměnná používaná v prizmatických mapách) je pro interpretaci souvisejících kvantitativních hodnot mnohem přesnější než jas (vizuální proměnná běžně používaná v choropletových mapách), ale perspektivní zkrácení a šikmé úhly pohledu mohou v prizmatických mapách vést ke zkreslení a nadměrnému zakrytí (Cleveland a McGill, 1984).
- **Voxels** – Při vizualizaci pomocí voxelů jsou data znázorněna bloky s různou výškou v závislosti na jejich hodnotách. Má společné prvky s 3D odstupňovanými symboly a hranolovou mapou. Na rozdíl od 3D odstupňovaných symbolů jsou v případě voxelů sousední bloky (voxely) navzájem propojeny a na rozdíl od hranolové mapy mají všechny polygony stejnou velikost. Rae (2016) použil data z The Global Human Settlement Layer k znázornění populace ve vybraných městech pomocí voxelů. Jeho přístup byl v roce 2018 použit společností The Pudding k vytvoření interaktivní webové mapové aplikace, která používá stejný datový soubor k znázornění populace celého světa (The Pudding, 2024).



Obrázek 2 Grafické znázornění sedmi metod využívaných v aplikaci *3D-Geo-Vis* (zdroj: https://jakubzejdlk.github.io/3d_geo_vis_2/methods.html).

Dalším aspektem, který je vhodné zmínit, jsou 2D a 3D grafické proměnné. Grafické nebo vizuální proměnné popisují grafické rozměry, ve kterých lze mapu nebo jinou vizualizaci změnit za účelem zakódování informací. Grafické proměnné jsou rozdíly v mapových prvcích vnímané lidským okem. Bez ohledu na typ mapy se jedná o základní způsoby rozlišení grafických symbolů (Axis Maps, 2023). Například Garlandini a Fabrikant (2009) se zabývali hodnocením účinnosti a efektivity vizuálních proměnných pro vizualizaci geografických informací. Vizuální proměnné poprvé popsal francouzský kartograf Jacques Bertin (1918–2010) v knize *Sémiologie Graphique* (Semiologie grafiky) v původním vydání z roku 1967, revidovaném v roce 1983 (Roth, 2017). Původní takzvané „retinální proměnné“ (Bertin, 1967) zahrnovaly:

- polohu (umístění symbolu na mapě);
- velikost (relativní rozměr symbolu);
- tvar (geometrický tvar symbolu);
- barevnou hodnotu (variace od světlé po tmavou);
- barevný odstín (variabilita typu barvy);
- orientace (směrová rotace symbolu);
- textura/vzor (variabilita vyplnění povrchu).

Tento seznam byl postupně rozšiřován dalšími kartografy (MacEachren, 2004; Morrison, 1974; Roth, 2017):

- sytost barvy (intenzita barvy);
- uspořádání (prostorová organizace prvků);
- ostrost/rozmazanost (ostré vs. rozmazané hranice);
- rozlišení (úroveň detailů);
- průhlednost (stupeň neprůhlednosti).

Kromě toho 3D prostředí umožňuje vyhodnocení dalších grafických proměnných, jako je perspektiva, kamera, osvětlení, stínování, atmosférické efekty (Krejčí, 2018), výška, extruze, povrch objektu (vzor, stínování), emise světla (Limberger et al., 2023) nebo mlha (Vetter, 2023). Více se o 3D metodách a grafických proměnných zabírá disertační práce autora aplikace.

2. **MAPLOGGER: NÁSTROJ PRO LOGOVÁNÍ INTERAKCÍ**

Mapové aplikace založené na webových technologiích jsou typicky vysoce interaktivní a jejich použitelnost tak nelze spolehlivě posoudit pouze z výsledků úloh či ze subjektivního hodnocení výzkumníkem. V takovém prostředí je totiž klíčové porozumět tomu, *jak* se účastník v aplikaci skutečně pohyboval, tzn. na jaké prvky kliknul, jak posouval mapu, kdy využil kolečko myši, klávesnici nebo jiné vstupy. Pro tuto potřebu vznikl vlastní logovací nástroj **MapLogger**, navržený jako lehká, snadno použitelná a přenositelná vrstva pro instrumentaci existujících webových mapových projektů do podoby tzv. „ready-to-run“ uživatelské studie. MapLogger je koncipovaný jako plně klientské řešení bez nutnosti serverového zázemí: jak instrumentace testované mapové aplikace, tak následná analýza probíhá lokálně v prohlížeči. Tím se snižuje technická bariéra nasazení a současně se minimalizují nároky na správu dat z pohledu ochrany soukromí.

2.1 MOTIVACE A NÁVRHOVÉ CÍLE

Primárním důvodem pro vývoj MapLoggeru byla snaha systematicky propojovat data o vizuální pozornosti (eye-tracking) s behaviorální stopou, jako jsou interakce. Eye-tracking poskytuje detailní informaci o tom, *kam* se uživatel dívá, ale bez doplnění o logy často zůstává nejasné, *jakou* akci daný pohled doprovázel a v jakém kontextu rozhraní se odehrál (např. kliknutí na ovládací prvek, posun mapového okna nebo přechod na další úlohu). MapLogger proto cílí na standardizovaný sběr interakčních událostí během plnění úloh ve webové mapové aplikaci a na zajištění jednoduchého pracovního postupu, který umožní připravit studii i z již existujícího mapového projektu bez ručních zásahů do kódu jednotlivých stránek.

Důležitým návrhovým principem byla minimální technologická bariéra, a tedy, že studie má být spustitelná lokálně nebo jednoduchým hostováním, bez instalace backendu a bez složité konfigurace. Z tohoto důvodu MapLogger (Builder) funguje jako „in-browser“ nástroj, kdy uživatel do něj nahraje pouze ZIP s mapovým projektem, doplní texty úloh a stáhne nově vygenerovaný ZIP připravený rovnou pro potřeby testování.

2.2 STRUKTURA NÁSTROJE

MapLogger je rozdělen na dvě hlavní části:

1. **Builder** – připraví z existující webové mapy spustitelnou studii použitelnosti. Umožňuje nahrát ZIP obsahující mapový projekt (HTML, JavaScript, CSS, obrázky, data apod.), zachovat jeho adresářovou strukturu a automaticky připravit HTML stránky pro testování. Součástí Builderu je také editor úloh a úvodní zpráva pro účastníky.
2. **Analysér** – načte výstupní logy (CSV, typicky jeden soubor na účastníka) a vytvoří souhrnné statistiky, grafy a doplňkové vizualizace.

Důležitým prvkem je také MapLogger klient (skript a CSS), který je do testovaných stránek vložen (tj. „injektován“) a stará se o zachytávání interakčních událostí, řízení úloh pro participanty a export dat a také o stabilní zobrazení horní lišty s úlohami. Struktura nástroje je tak prakticky oddělena, kdy Builder zajišťuje jednorázovou instrumentaci projektu a vygenerování balíčku, klientská část běží až při samotném testování a stará se o uživatelské rozhraní studie i o záznam dat a v neposlední řadě Analyser, který umožňuje analyzovat výstupní CSV souboru s logovanými interakcemi.

MapLogger je realizován v JavaScriptu a běží v běžném webovém prohlížeči. Builder využívá knihovny pro práci se ZIP a stahování výsledků (`JSZip` pro načtení vstupního ZIP a generování výstupního ZIP a `FileSaver` pro uložení vygenerovaného ZIP na disk uživatele. Analyser využívá knihovny pro parsování CSV a tvorbu grafů (`PapaParse` pro robustní načtení CSV a `Chart.js` a doplňky (např. boxplot) pro vizualizaci souhrnných metrik). Z hlediska použitelnosti je klíčové, že data nejsou nikam odesílána; analýza běží lokálně v prohlížeči. Tento princip je vhodný pro studie, kde je nutné minimalizovat riziko úniku dat (např. logy obsahují texty prvků UI, URL, identifikátory či časové značky).

2.3 POSTUP PŘÍPRAVY STUDIE V BUILDERU

Práce s Builderem je navržena jako lineární proces ve třech krocích:

- (1) **Přidání mapových souborů:** Výzkumník nahraje jediný ZIP, který obsahuje jeho celý mapový projekt. Builder deklaruje zachování složkové struktury a úpravu každé HTML

stránky tak, aby podporovala logování. Zároveň platí, že obsah načítaný z webu (např. mapové dlaždice) může zůstat beze změny.

(2) Definice sekvence úloh pro participanty: Úlohy se zapisují jako krátké instrukce v pořadí, v jakém je mají účastníci řešit. Vygenerovaná studie je participantům zobrazuje v pevné liště v horní části a jejich znění se ukládá do logu. Builder nabízí i úvodní zprávu zobrazenou jednou na začátku testu.

(3) Generování a stažení studie (ZIP): Výstupem Builderu je ZIP s instrumentovanými stránkami a s novou úvodní stránkou určenou ke spuštění studie. Builder umí tuto vstupní stránku automaticky vytvořit, pokud v projektu chybí; vstupní stránka zobrazuje lištu úloh a načítá vlastní mapové stránky do vloženého rámce. Interní identifikátor relace je odvozen od názvu výstupu.

Významným prvkem tohoto postupu je skutečnost, že vše probíhá lokálně v prohlížeči, bez odesílání dat na server. Náhled na MapLogger Builder je viditelný na **obrázku 3**.

Turn your interactive map into a ready-to-run usability study. Everything happens in your browser.

1) Add your map files

Upload one ZIP that contains your map (HTML, JavaScript, CSS, images, data, fonts). We keep the folder structure and prepare every HTML page for logging. Anything that already loads from the web (e.g., map tiles) can stay as it is.

Drop your ZIP here, or

Choose ZIP

Files (0) · 0 B

Remove ZIP

Add a ZIP file with your map.

2) Write participant tasks

Add short tasks in the order you want people to do them (e.g., "Find the nearest pharmacy in Olomouc"). Participants will see them in a fixed bar at the top of the study, and they will be saved to the log.

Take a moment to explore the map and familiarise yourself with the interface. ✕

Tasks: 1

+ Add task

Welcome message (shown once at the start):

Thanks for taking part. Please read the instructions, then click Start to begin.

This is your short intro. After the participant clicks Start, Task 1 begins.

Preview

Task 1 — Take a moment to explore the map and familiarise yourself with the interface.

Next →

END

1 Task 1

This shows the basic flow. The final look depends on the MapLogger client CSS.

Create an entry page (index.html) if it's missing

The entry page shows the task bar and opens your pages inside an iframe. The internal session key is derived from the Output name.

3) Download the study ZIP

Output name:

MapLogger-instrumented

We'll generate a ZIP with your pages plus a ready-to-run entry page and CSV logging.

Create ZIP

This can take a moment — please click once and wait for the download.

Náhled na prostředí MapLogger Builderu.

2.4 ARCHITEKTURA GENEROVANÉHO VÝSTUPU

Vygenerovaný ZIP používá jednoduché schéma „host + pages“. V praxi to znamená, že studie není spouštěná přímo na původních stránkách mapového projektu, ale přes hostitelskou (vstupní) stránku, která zobrazuje lištu s úlohami a ovládáním, umožňuje participantovi zahájit studii a zvolit první načtenou stránku a sbírá události posílané z instrumentovaných stránek a zapisuje je do CSV logu.

Původní mapové HTML stránky jsou do tohoto rámce vloženy jako „child“ obsah: každá HTML stránka získá malou injeckáž v <head>, aby mohla posílat události pro logování, ale samotná lišta se na těchto stránkách nezobrazuje (běží v iframe hosta).

Z hlediska použitelnosti studie má tato architektura dvě výhody. Zaprvé je participant veden jednotným rozhraním pro přechod mezi úlohami bez ohledu na to, jak je napsaná testovaná aplikace. Zadruhé se logování soustředí do jedné vrstvy, která může jednotně zapisovat data a ukončovat relaci.

2.5 LOGOVANÁ DATA A STRUKTURA LOGU

MapLogger ukládá data ve formátu CSV, přičemž každá interakce odpovídá jednomu řádku. Logované klíčových atributy jsou: časové značky v lokálním čase i v UTC, číslo a text aktuální úlohy, typ události (např. kliknutí, použití klávesy na klávesnici, přiblížení kolečkem myši), základní informace o prvku rozhraní (tag, id, třídy, text), souřadnice události a velikost obrazovky (viewportu) v případech, kde je to relevantní. Z praktického hlediska je podstatné, že log neobsahuje pouze „syrové“ eventy, ale také kontext úlohy. Tím se zvyšuje interpretovatelnost při analýze, tzn. události lze segmentovat podle jednotlivých úloh bez nutnosti dodatečné ruční manipulace s daty.

Každá událost je zapsána jako jeden řádek CSV. Hlavička souboru obsahuje (v aktuální verzi) zejména:

- identifikaci sezení: `session_id`,
- časové značky: `timestamp_ms_since_start`, `local_time`, `iso_time`,
- kontext úloh: `task_index`, `task_label`,
- typ události: `event_type`,
- informace o prvku UI: `element_tag`, `element_id`, `element_classes`, `element_text`, `css_path`,
- prostorová data: `x`, `y`, `viewport_w`, `viewport_h`,
- detailní atributy interakce: `button`, `button_label`, `deltaY`, `deltaMode`, `wheel_direction`, `zoom_hint`, `key`, `code`, `ctrl`, `alt`, `shift`,
- rozšiřující pole: `extra_json` (JSON serializovaný do textu).

Pole `extra_json` se používá např. pro uložení user agentu při `session_start`, URL stránky při `session_start`/`session_page`, nebo pro uložení délky úlohy v `task_end` (`duration_ms`).

Z metodologického hlediska je důležité, že log obsahuje jak relativní čas od začátku sezení (`timestamp_ms_since_start`), tak absolutní čas v UTC (`iso_time`) a lokální čas včetně posunu (`local_time`). To usnadňuje následné párování s externími daty (např. eye-tracking exporty), které typicky pracují s absolutními časovými značkami.

Mechanismus ukončení studie navíc řeší identifikaci účastníka. Při stisku „Finish“ participant zadá „participant ID“ a systém následně přepíše „session_id“ ve všech existujících řádcích na tuto hodnotu, přidá závěrečné ukončovací události a stáhne CSV pojmenované podle „participant ID“. Tento krok je výhodný pro pozdější správu dat, protože každý participant přirozeně generuje samostatný soubor s jednotným identifikátorem.

Builder využívá uživatelem zadaný „Output name“ pro tři účely: název ZIPu, výchozí název CSV ve studii a interní klíč pro seskupování relací (odvozený z „output name“). V kontextu disertační práce je tento detail důležitý, protože podporuje reprodukovatelnost a dohledatelnost.

2.6 ANALYSER

Analysér je druhá záložka MapLogger Suite. Umožňuje načíst jeden či více CSV souborů (typicky jeden na účastníka) a provést základní souhrnnou analýzu. Analysér nabízí volbu velikosti časových binů (např. 5–60 s) pro časové řady, volbu agregace časové osy (součet vs. průměr na účastníka), filtraci typů událostí (např. pouze click/wheel/keydown apod.), volitelný přepínač zahrnutí meta událostí.

Základní sada vizualizací zahrnuje rozpad eventů podle `event_type`, celkový počet interakcí na účastníka, interakce v čase (binned timeline), metriky po úlohách (intenzita interakcí a odvozené trvání úloh), profily interakcí po úlohách (proporcionální složení typů interakcí), boxploty podílů interakčních typů v rámci úloh, ternární diagram pro porovnání interakčních strategií (kombinace tří vybraných typů interakcí), rozbory cílových elementů (tag, id, text), myši (tlačítko) a kláves (key/code/modifikátory), časovou „event timeline“ pro detailní rekonstrukci průběhu u jednoho vybraného účastníka.

U grafů je dostupná nápověda („i“) a export do PNG. Export podporuje režim „screen“ i „print“ s vysokým rozlišením (konceptuálně 300 DPI), což je praktické pro přípravu obrázků do odborného textu.

Analysér umí vytvořit heatmapu založenou na souřadnicích `x/y` a rozměrech viewportu `viewport_w/viewport_h`. Heatmapa je skupinována podle velikosti viewportu (účastníci mohou pracovat v různých rozlišeních) a lze ji překrýt volitelným podkladem – typicky screenshotem testovaného rozhraní.

Analysér generuje také stručný interpretační text, který se aktualizuje dle zvoleného výběru účastníka (agregace vs. konkrétní osoba), aktivních filtrů typů událostí, nastavené velikosti časových binů. Text slouží jako rychlý podklad do zprávy; v akademickém kontextu je však nutné jej vždy revidovat a upravit tak, aby odpovídal designu studie a terminologii práce.

2.7 ROLE NÁSTROJE V PŘÍPADOVÉ STUDII 3D-GEO-VIS

V typickém experimentálním nastavení lze MapLogger použít jako doplněk k eye-tracking sběru následujícím způsobem: (I) Výzkumník připraví testovanou mapovou aplikaci jako ZIP a v Builderu definuje úlohy. (II) Vygenerovaný studijní balíček se spustí lokálně (nebo na interním serveru) a účastník provádí úlohy. (III) Paralelně běží eye-tracking záznam. MapLogger zaznamenává interakce s časovou značkou (`iso_time` a relativní čas od startu). (IV) Po dokončení účastník stáhne CSV log, který je uložen pod jeho participant ID. (V) V Analyséru lze získat základní metriky (objem interakcí, strategie po úlohách, časové profily) a vizualizace. Pro hlubší analýzu lze CSV dále zpracovat v externích nástrojích (R/Python) a synchronizovat s eye-tracking exporty. Významnou praktickou výhodou je, že MapLogger poskytuje sjednocené schéma logu i u různých mapových aplikací. To zjednodušuje srovnávání mezi podmínkami (např. různé typy

kartografických vizualizací) a snižuje riziko, že se výzkumník při každé studii bude znovu zabývat implementací custom loggeru.

V rámci případové studie hodnotící použitelnost aplikace „3D-Geo-Vis“ byl MapLogger použit jako doplňkový zdroj objektivních behaviorálních dat vedle eye-trackingu a dotazníku UEQ. Prakticky to znamenalo převést tuto testovanou aplikaci do jednotného balíčku pro účely studie použitelnosti, tzn. mapový projekt (zdrojová data aplikace) byl připraven jako ZIP, instrumentován v Builderu, doplněn o sekvenci úloh a spuštěn přes hostitelskou stránku s lištou úloh. Během plnění úloh tak vznikla časová řada událostí, kterou bylo možné interpretovat paralelně s eye-trackingem, a to zejména v situacích, kdy samotný záznam pohledu nedává jednoznačnou odpověď na otázku, zda uživatel jen „vizuálně zvažoval“ prvek rozhraní, nebo jej skutečně aktivoval.

2.8 PŘÍNOSY A OMEZENÍ NÁSTROJE

Za hlavní přínosy MapLoggeru lze považovat:

- Přenositelnost a nízkou bariéru použití. Instrumentace existující aplikace probíhá přes ZIP, bez ručního zásahu do jednotlivých stránek, a výstup lze spustit lokálně nebo případně i hostovat.
- Standardizovaný kontext úloh. Úlohy jsou součástí studie i logu, což zvyšuje analytickou použitelnost dat.
- Čistě klientské zpracování. Builder, běh studie i Analyser jsou navrženy bez serveru a CSV se ukládá jako stažený soubor.
- Analyser umožňující „rychlou“ analýzu a zobrazení strategií chování účastníků.

Současně je potřeba vnímat i limity. MapLogger loguje události na úrovni webového rozhraní (např. click/keydown/wheel) a poskytuje „technický“ otisk interakce. U pokročilých mapových frameworků se část významných akcí odehrává uvnitř canvasu nebo WebGL scény, kde lze z běžných DOM atributů získat omezený sémantický kontext. V takových případech je log velmi silný pro analýzu časování a frekvence akcí, ale interpretace „co konkrétně uživatel udělal v mapě“ může vyžadovat doplnění (např. o aplikační logy, stav mapy nebo doménově specifické eventy). Tento limit není chybou implementace, ale přirozeným důsledkem snahy vytvořit obecně použitelný nástroj pro široké spektrum webových map.

2.9 ZÁVĚR

MapLogger představuje praktický nástroj pro sběr a základní analýzu interakcí v rámci studií použitelnosti u webových map. Jeho klíčové vlastnosti – plně klientské provedení, generování samostatně spustitelného studijního balíčku a integrovaný analyzátor s vizualizacemi – z něj činí vhodný doplněk k eye-tracking metodice. Získaná interakční data usnadňují interpretaci dat z eye-trackingu, umožňují srovnávání strategií napříč úlohami a účastníky a zvyšují transparentnost vyhodnocení použitelnosti interaktivních kartografických vizualizací. V případě studie aplikace *3D-Geo-Vis* se tím vytvořil nejen datový základ pro robustnější interpretaci eye-tracking výsledků, ale rovnou i přímé interpretace těchto dat díky zabudovanému analyzátoru.

3. PARTICIPANTI

Studie se zúčastnili stejní účastníci jako u studie PS2. Celkem se tedy jednalo o 54 účastníků rozdělených na 32 žen a 22 mužů. Zároveň, z hlediska věkových skupin, byl vzorek účastníků výrazně koncentrován do mladších kategorií. Konkrétně byla nejvíce zastoupena skupina ve věku

21–30 let ($n = 28$; 50,9 %) a následně pak kategorie do 20 let ($n = 22$; 40,0 %). Starší věkové skupiny byly bohužel zastoupeny spíše okrajově (31–40 let: $n = 3$; 5,5 %; 51 let a více: $n = 2$; 3,6 %). Je vhodné zmínit, že takto utvořená věková skupina má přímý dopad na analýzu výsledků, protože to především reflektuje chování a preference spíše této mladší věkové skupiny. Zjištění, která se vztahují pro starší participanty, je tedy nutno brát s rezervou a spíše jako orientačně, a proto v dalších textech je u těchto starších skupin spíše deskriptivní popis než nějaká snaha o obecně zobecnění. Participanty, kteří se testování zúčastnili, získali za absolvování testování jako celku finanční odměnu ve výši 250 Kč. Tato odměna měla charakter motivovat participanty a také podpořila zajištění jejich dostatečného počtu a také i jejich plnou spolupráci během experimentu.

4. TESTOVACÍ PROSTŘEDÍ

Testovací prostředí bylo totožné jako u PS2. Testování aplikace probíhalo na počítačové učebně na Filozofické fakultě Univerzity Palackého. Toto pracoviště bylo vybaveno pěti stejnými stacionárními eye-trackery *Tobii Pro Spark* (60 Hz). Toto vybavení umožňovalo současně testování až pěti participantů najednou a zajistilo jednotné technické podmínky pro všechny participanty a zároveň efektivní a účinnou organizaci pro sběr dat. Verbování participantů probíhalo pomocí online registrační tabulky, kam se zájemci zapsali na konkrétní hodinový časový blok. Experimentu se mohl zúčastnit kdokoliv, nicméně jediným vstupním kritériem byla alespoň základní počítačová gramotnost, která odpovídala běžnému používání. V rámci jednoho hodinového bloku se participanty účastnili celkem čtyř po sobě jdoucích experimentů, přičemž toto testování v rámci této studie bylo zařazeno jako druhé v pořadí. Každopádně mezi jednotlivými experimenty měli účastníci možnost libovolně dlouhé individuální přestávky. Za absolvování celého hodinového bloku se čtyřmi experimenty bylo participantům vypláceno zmíněných 250 Kč. Po provedení testování každý participant podepsal informovaný souhlas se záznamem dat a jejich následným výzkumným využitím – všichni participanty souhlasili.

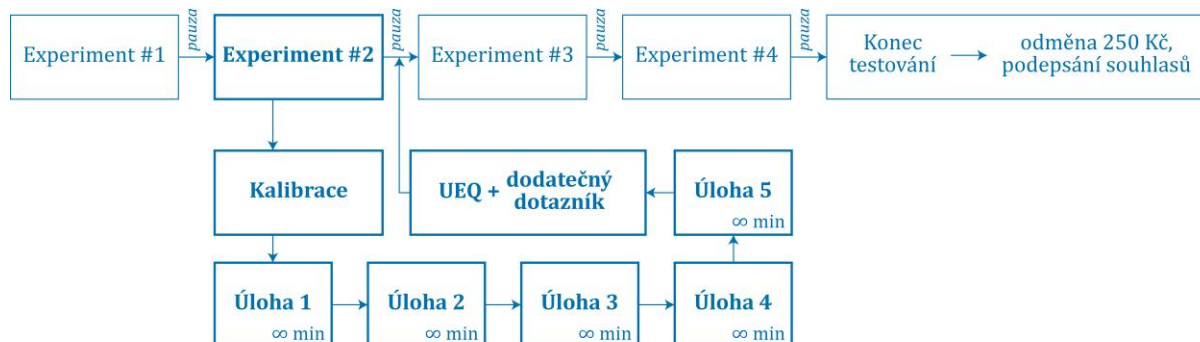
5. TESTOVACÍ ÚLOHY

Participanty v rámci této studie absolvovali celkem pět po sobě jdoucích úloh. Důležitá byla první explorativní úloha, která umožnila participantům po neomezenou dobu volně a libovolně procházet a prozkoumávat aplikaci bez předem stanoveného cíle. Cílem bylo, aby se participanty seznámili s ovládáním a funkcemi, které aplikace nabízí, přičemž každý pro toto prozkoumání potřeboval různý čas. Zároveň bylo záměrem této úlohy z hlediska analýzy zachytit přirozené strategie práce s rozhraním a vnímání, když participanty viděli aplikaci poprvé. Explorativní úloha neměla stanovený časový limit, a tak bylo čistě na participantovi, jak dlouho procházením prostředí stráví času. Následující čtyři úlohy pak už měly cílenější charakter a byly navrženy tak, aby participanty donutily používat konkrétní nástroje a funkce aplikace a ověřit tak konkrétní práci s aplikací pro zjištění specifických informací. Každý participant viděl zadání úlohy vždy po celou dobu jejího plnění na vrchní liště obrazovky, takže si zadání mohl opakovaně číst. Dále před zahájením tohoto experimentu byla u každého participanty provedena kalibrace eye-trackeru. Po jejím úspěšném dokončení (někdy bylo nutné kalibraci opakovat až do akceptovatelné přesnosti) následovalo ruční spuštění aplikace moderátorem. Aplikace byla hostována za pomoci GitHub Pages a odkaz na aplikaci byl umístěn v předem otevřené složce v počítači, takže moderátor

dokázal otevřít aplikaci bleskurychle bez narušení kontinuity experimentu. Po spuštění aplikace byla jako první zobrazena participantovi úvodní zpráva: *Vítejte u eye-tracking experimentu. V tomto experimentu budete pracovat s webovou mapovou aplikací „3D-Geo-Vis“. V následujících krocích na Vás bude čekat několik úkolů. Při jejich řešení prosím postupujte přirozeně, tak jak byste pracovali v běžné situaci. Když úkol dokončíte, klikněte na tlačítko „Next“, abyste přešli k dalšímu úkolu.* Po přečtení této úvodní zprávy participantem následoval výběr úvodní stránky/metody (pozn. participant si mohli zvolit libovolnou metodu, tj. stránku, která se jim zobrazí jako první, ale většina stejně ponechala úvodní, předvyplněnou stránku a bez dalšího přemýšlení rovnou přešla na první úkol). Poté následovalo samotné plnění úloh. Úlohy byly prezentovány ve fixním pořadí bez randomizace, aby byl zajištěn jednotný průběh testování napříč všemi participanty. Konkrétní zadání jednotlivých úloh je uvedeno v **tabulce 1**. Přehledné schéma experimentu je uvedeno na **obrázku 3**.

Tabulka 1 Zadání pěti úloh pro eye-tracking testování použitelnosti aplikace 3D-Geo-Vis

ID úlohy	Zadání úlohy
Task 1	Volně si prohlédněte a prozkoumejte aplikaci. Zkuste zjistit, jaké nabízí možnosti a jak se v ní orientujete. Cílem je seznámit se s rozhraním a ovládním.
Task 2	Najděte vizualizaci „Point Cloud“ a zjistěte, jaká je nejvyšší hodnota teploty, kterou tato vizualizace zobrazuje.
Task 3	Přejděte na vizualizaci „3D Graduated Symbols“. Změňte tvar symbolů a následně upravte také jejich průměr (velikost).
Task 4	Zvolte vizualizaci „Voxels“ a zjistěte rozdíl mezi minimální a maximální hodnotou teploty.
Task 5	Vyberte vizualizaci, která se Vám líbí nejvíce. Upravte barevné schéma tak, aby se Vám výsledek vizuálně líbil ještě více.



Obrázek 3 Schéma experimentu.

6. VÝSLEDKY

Vyhodnocení výsledků studie probíhalo systematicky ve čtyřech vzájemně se doplňujících úrovních, které odpovídají použitým metodám a získaným datům. V první fázi byly analyzovány výsledky ze standardizovaného dotazníku UEQ (kap. 6.1) a následně odpovědi ze subjektivního dotazníku (kap. 6.2). V další fázi byly vyhodnocovány logované interakce získané prostřednictvím

nástroje MapLogger (kap. 6.3). Poslední fáze pak představovala kvalitativní a subjektivní analýzu eye-trackingových videozáznamů se zaměřením se na posuzování a interpretaci vizuálního chování participantů (kap. 6.4). V následujících podkapitolách 6.1–6.4 jsou tak jednotlivé analýzy prezentovány samostatně, přičemž jejich syntéza a celkové zhodnocení je dále uvedeno v závěrečné kapitole 7.

6.1 DOTAZNÍK UEQ

Po dokončení testování této studie vyplnili participantů dotazník sestávající ze dvou částí, z nichž první tvořil standardizovaný nástroj UEQ (User Experience Questionnaire). Tento dotazník byl zvolen s cílem zachytit uživatelskou zkušenost při práci s testovanou aplikací a doplnit tak ostatní naměřená data z testování použitelnosti aplikace. Více o UEQ je popsáno v dřívějších kapitolách (kap. X). V následujících podkapitolách jsou postupně prezentovány výsledky jednotlivých škál dotazníku UEQ, doplněné o deskriptivní statistiky, intervaly spolehlivosti, analýzu rozdělení odpovědí, posouzení konzistence měření a benchmarkové srovnání.

6.1.1 DATA

Do analýzy byla zahrnuta data od všech 54 participantů. Celkem bylo získáno 26 položek hodnocených na sedmibodové bipolární škále, které byly následně agregovány do šesti standardních škál (Attractiveness, Perspicuity, Efficiency, Dependability, Stimulation a Novelty). Před samotným vyhodnocením byla data zkontrolována z hlediska úplnosti a formální správnosti odpovědí. Následně byly jednotlivé položky transformovány podle oficiální metodiky UEQ na numerickou škálu v intervalu $(-3; +3)$, kde záporné hodnoty reprezentují negativní hodnocení a kladné hodnoty pozitivní vnímání testovaného systému. Tato transformace umožňuje přímé srovnání výsledků mezi škálami i s referenční databází UEQ. Charakteristiky výzkumného vzorku pro tuto studii byly popsány v kapitole 3. Samotná interpretace výsledků je předmětem následujících podkapitol 6.1.2–6.1.10.

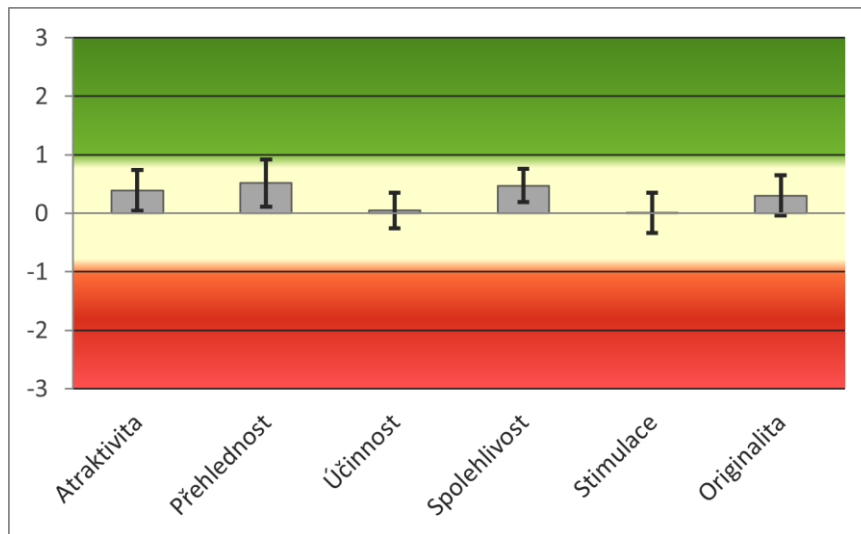
6.1.2 VÝSLEDKY NA ÚROVNI ŠKÁL

UEQ škály byly interpretovány podle standardní metodiky (<https://www.ueq-online.org/Material/Handbook.pdf>), kde hodnoty v intervalu $(-0,8; +0,8)$ představují přibližně neutrální hodnocení, hodnoty vyšší než $+0,8$ pozitivní a nižší než $-0,8$ negativní hodnocení dané dimenze. Z tohoto pohledu se všech šest škál UEQ pro aplikaci *3D-Geo-Vis* nachází v neutrálním pásmu, s mírným posunem do pozitivních hodnot.

Nejvyšší průměr vykazala škála Přehlednost ($M = 0,514$; $Var = 2,26$), následovaná škálou Spolehlivost ($M = 0,472$; $Var = 1,16$) a Atraktivita ($M = 0,392$; $Var = 1,70$), viz **obrázek 4**. Tyto výsledky naznačují, že aplikace byla uživateli vnímána jako poměrně srozumitelná a predikovatelná (Přehlednost, Spolehlivost), přičemž celkový dojem z rozhraní byl spíše mírně pozitivní než vyhraněně negativní (Atraktivita). Významově odpovídají škály: Atraktivita jako celkový valenční dojem, Přehlednost jako snadnost osvojení a porozumění, Spolehlivost jako pocit kontroly a předvídatelnosti interakce.

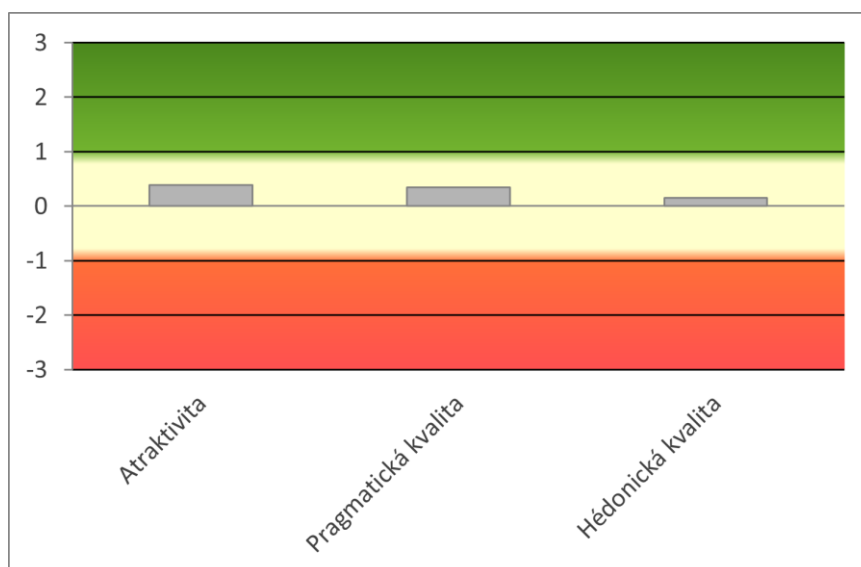
Naopak nejnižších hodnot dosáhly škály Účinnost ($M = 0,046$; $Var = 1,29$) a Stimulace ($M = 0,005$; $Var = 1,67$). Obě škály se pohybují prakticky na úrovni neutrálního hodnocení. V praktické rovině to znamená, že účastníci nevnímali práci s aplikací jako výrazně efektivní ani neefektivní a

současně aplikace nepůsobila jako vyloženě motivující či „vzrušující“ prostředí (Stimulace). Originalita ($M = 0,301$; $Var = 1,67$) zůstává mírně pozitivní, ale také bez posunu do pásma jednoznačně pozitivního hodnocení.



Obrázek 4 Průměrné hodnoty všech šesti škál

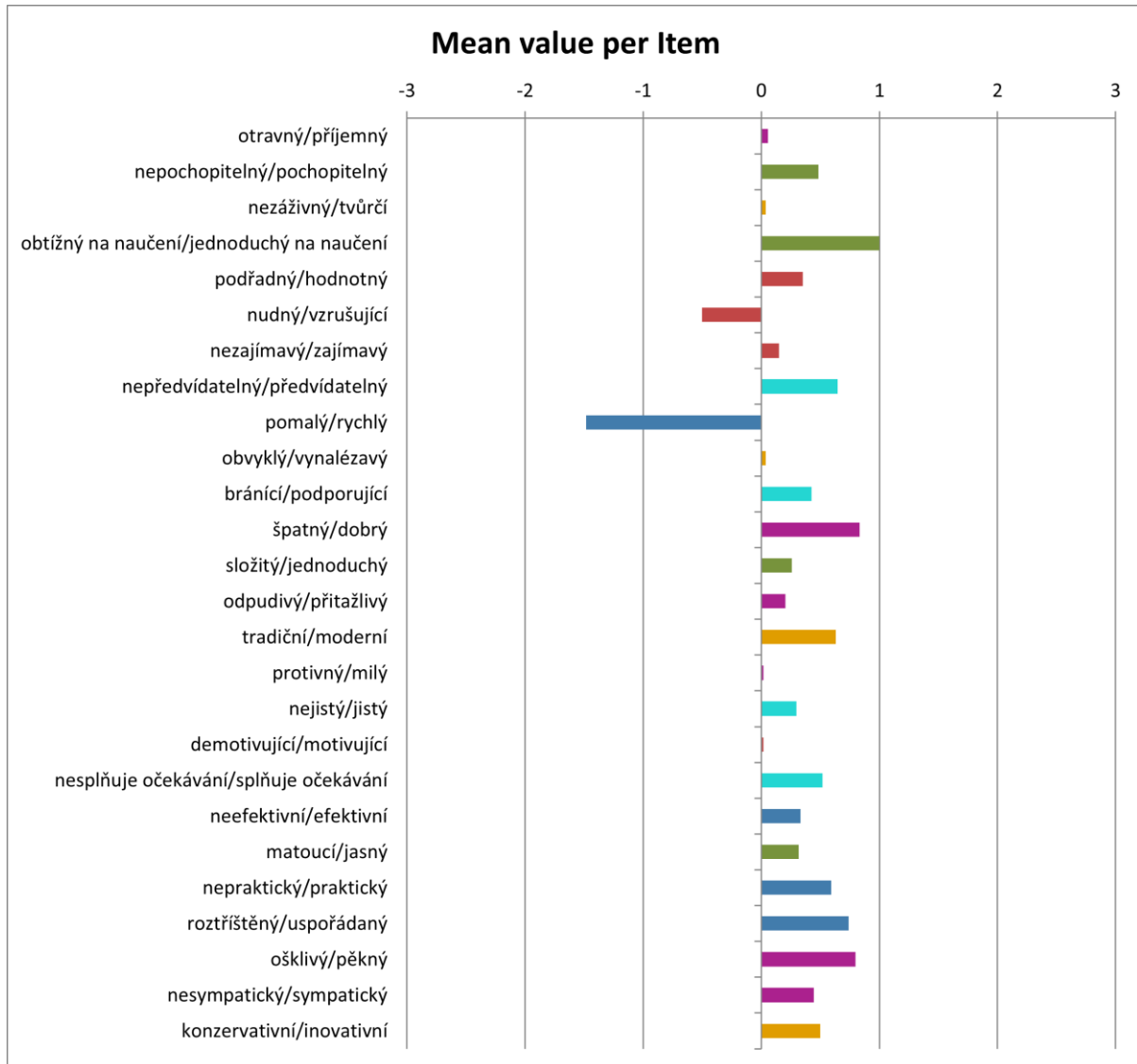
V souladu s doporučením UEQ není smysluplné vytvářet jedno agregované „celkové skóre UX“ bez doplňkových postupů; metodicky je obhajitelné spíše reportovat jednotlivé škály a případně meta-dimenze Pragmatická kvalita (Přehlednost, Účinnost, Spolehlivost) a Hédonická kvalita (Stimulace, Originalita). V tomto případě vychází Pragmatická kvalita $M = 0,34$ a Hédonická kvalita $M = 0,15$. Obě meta-dimenze tedy zůstávají v neutrálním pásmu, přičemž pragmatická složka je v průměru mírně příznivější než hédonická, viz **obrázek 5**.



Obrázek 5 Průměrné hodnoty z hlediska atraktivity, pragmatické a hédonické kvality

6.1.3 VÝSLEDKY NA ÚROVNI JEDNOTLIVÝCH POLOŽEK

Detailní pohled na 26 bipolárních položek ukazuje (obrázek 6), že celkový neutrální profil škál vzniká kombinací převážně mírně pozitivních hodnocení a několika položek s nízkými nebo zápornými průměry. Většina položek se pohybuje blízko nuly až ve slabě kladných hodnotách, bez rozsáhlého „propadu“ napříč více oblastmi.



Obrázek 6 Průměrné hodnoty všech 26 položek.

Za nejvíce pozitivně hodnocený aspekt lze považovat snadnost osvojení (jednoduchý na naučení – obtížný na naučení; $M = 1,0$), která jako jediná jasně přesahuje hranici $+0,8$ pro pozitivní hodnocení. Dále se na horní hranici pozitivního pásma nachází položky spojené s celkovým dojmem a estetikou (dobrá – špatná; $M = 0,8$, pěkný – ošklivý; $M = 0,8$) a s organizací rozhraní (uspořádaný – roztříštěný; $M = 0,7$). Tyto výsledky jsou konzistentní s tím, že Přehlednost a Atraktivita dosáhly relativně nejvyšších škálových průměrů, ale stále bez výrazné dominance.

Z hlediska potenciálních slabších míst vyčnívá jedna položka v dimenzi Účinnost: rychlý – pomalý s průměrem $M = -1,5$. Tato hodnota již spadá do negativního pásma a představuje výrazný odlehlý signál ve srovnání s ostatními položkami Účinnosti (např. neefektivní – efektivní: $M = 0,3$;

nepraktický – praktický: $M = 0,6$). Právě tento negativní vjem rychlosti pravděpodobně významně snižuje celkový škálový průměr Účinnosti až k hodnotě blízké nule ($M = 0,046$). V interpretaci UEQ platí, že škála je průměrem dílčích položek, proto jediná výrazně negativní položka může škálu „stáhnout“ i při jinak mírně pozitivních odpovědích.

U hédonických položek je patrný vyrovnaný, ale slabý profil: nudný – vzrušující vychází záporně ($M = -0,5$), zatímco položky spojené s moderností a inovativností jsou mírně kladné (tradiční – moderní; $M = 0,6$, konzervativní – inovativní; $M = 0,5$) a některé originality-položky zůstávají na nule (např. vynalézavý – obvyklý; $M = 0,0$). Tento mix odpovědí odpovídá nízké hédonické kvalitě na úrovni meta-dimenze ($M = 0,15$): aplikace může působit moderněji, ale současně nevyvolává silný prožitek stimulace či „zábavnosti“.

Rozptyly odpovědí (variance) se mezi položkami liší; nejvyšší variabilitu vykazuje položka jasný – matoucí ($\text{Var} = 3,4$; $\text{SD} = 1,9$), což indikuje rozdílné vnímání srozumitelnosti napříč participanty. Naopak některé položky ve Spolehlivosti mají relativně nižší variabilitu, což odpovídá i nižší varianci celé škály Spolehlivost ($\text{Var} = 1,16$) ve srovnání například s Přehledností ($\text{Var} = 2,26$).

6.1.4 SHRNUÍ HLAVNÍCH ZJIŠTĚNÍ DOTAZNÍKU UEQ

UEQ profil aplikace *3D-Geo-Vis* lze charakterizovat jako převážně neutrální s mírně pozitivní tendencí. Podle standardní interpretace UEQ se všechny škály nacházejí v intervalu $\langle -0,8; +0,8 \rangle$, tedy bez jednoznačně pozitivního skóre na úrovni dimenzí uživatelské zkušenosti. Relativně nejlépe vychází Přehlednost a Spolehlivost, tedy aspekty spojené se srozumitelností, učením a pocitem kontroly nad interakcí, zatímco Účinnost a Stimulace zůstávají na neutrální úrovni.

Klíčový interpretační bod představuje výrazně negativní hodnocení rychlosti (rychlý – pomalý; $M = -1,5$), které pravděpodobně stojí za tím, že škála Účinnost jako celek vychází téměř přesně neutrálně, navzdory mírně pozitivním hodnocením ostatních „efficiency“ položek. Hédonická složka uživatelské zkušenosti (Stimulace, Originalita) zůstává slabší než pragmatická, a to nejen na úrovni meta-dimenze (Hédonická kvalita $M = 0,15$ vs. Pragmatická kvalita $M = 0,34$), ale i na úrovni jednotlivých položek, kde se objevuje signál nízké stimulace.

Z metodického hlediska výsledky UEQ vytvářejí užitečný rámec pro navazující analýzy: UEQ identifikuje, ve kterých dimenzích je hodnocení spíše stabilní (např. Spolehlivost) a kde se objevují buď výrazné odlehle položky (rychlost), nebo vyšší heterogenita odpovědí (např. jasný – matoucí). UEQ současně neposkytuje jediné „celkové UX skóre“ a interpretace proto stojí na škálách a meta-dimenzích, jak doporučuje metodika UEQ.

6.1.5 INTERVALY SPOLEHLIVOSTI

Pro posouzení přesnosti odhadů byly pro všechny škály i jednotlivé položky dotazníku UEQ dopočteny 95% intervaly spolehlivosti ($p = 0,05$). Tyto intervaly vyjadřují, v jakém rozpětí se s vysokou pravděpodobností nachází skutečná střední hodnota v populaci, přičemž jejich šířka je dána velikostí vzorku ($N = 54$) a mírou shody mezi respondenty. Užší intervaly tedy ukazují stabilnější a konzistentnější hodnocení, zatímco širší intervaly signalizují vyšší variabilitu odpovědí a opatrnější interpretaci průměrů.

Na úrovni škál se 95% intervaly spolehlivosti pohybují v relativně podobných šířkách (přibližně 0,57–0,80 bodu na škále $\langle -3; +3 \rangle$), přičemž nejpřesnější odhad vykazuje Spolehlivost ($M = 0,472$; $\text{CI}_{95} = \langle 0,185; 0,759 \rangle$). Intervaly pro Atraktivitu ($M = 0,392$; $\text{CI}_{95} = \langle 0,044; 0,740 \rangle$) a Přehlednost ($M = 0,514$; $\text{CI}_{95} = \langle 0,113; 0,915 \rangle$) leží celé nad nulou, takže výsledky ukazují na mírně příznivý

trend v těchto dimenzích napříč výzkumným souborem. Oproti tomu Účinnost ($M = 0,046$; $CI95 = \langle -0,257; 0,350 \rangle$), Stimulace ($M = 0,005$; $CI95 = \langle -0,340; 0,349 \rangle$) a Originalita ($M = 0,301$; $CI95 = \langle -0,043; 0,645 \rangle$) mají intervaly zahrnující nulu, takže nelze s 95% jistotou tvrdit, že by se tyto škály v populaci stabilně posouvaly do kladného pásma. Současně platí, že ani jedna škála nemá dolní mez intervalu nad hranicí +0,8 (doporučenou pro „jasně pozitivní“ hodnocení v interpretaci UEQ), takže celkové vyznění výsledků je spíše neutrální až mírně pozitivní, nikoliv jednoznačně pozitivní.

Na úrovni jednotlivých položek se potvrzuje, že řada hodnocení je blízko neutrální oblasti: u více položek interval spolehlivosti protíná nulu (např. otravný–příjemný: $M = 0,056$; $CI95 = \langle -0,334; 0,445 \rangle$), což odpovídá slabému efektu a vyšší nejistotě odhadu. Zároveň se však objevují položky s konzistentně kladným vyzněním, kde je celý interval nad nulou – například jednoduchý na naučení–obtížný na naučení ($M = 1,000$; $CI95 = \langle 0,573; 1,427 \rangle$), nepředvídatelný–předvídatelný ($M = 0,648$; $CI95 = \langle 0,220; 1,076 \rangle$), dobrý–špatný ($M = 0,833$; $CI95 = \langle 0,472; 1,195 \rangle$), pěkný–ošklivý ($M = 0,796$; $CI95 = \langle 0,368; 1,225 \rangle$) nebo nepraktický–praktický ($M = 0,593$; $CI95 = \langle 0,183; 1,002 \rangle$). Tyto položky naznačují, že aplikace byla částí participantů vnímána jako relativně snadno osvojitelná, předvídatelná a v některých aspektech i praktická a vizuálně přijatelná, přesto bez výrazně silného efektu napříč celým dotazníkem.

Za klíčové je možné označit dvě položky s konzistentně záporným hodnocením (interval celý pod nulou). Nejvýraznější je položka rychlý–pomalý ($M = -1,481$; $CI95 = \langle -1,843; -1,120 \rangle$), jejíž interval leží navíc celý pod -0,8, takže signalizuje robustní a poměrně jednoznačnou slabinu související s vnímanou rychlostí odezvy či plynulostí práce. Druhou negativně vyznívající položkou je nudný–vzrušující ($M = -0,500$; $CI95 = \langle -0,887; -0,113 \rangle$), která ukazuje spíše na nedostatek stimulace, a dobře zapadá do faktu, že škála Stimulace vyšla na úrovni průměru prakticky neutrálně. Prakticky to znamená, že i při celkově relativně vyrovnaném profilu UEQ se zde objevují konkrétní aspekty uživatelské zkušenosti, kde se negativní vnímání opírá o stabilní odhad.

Z hlediska variability stojí za pozornost položka jasný–matoucí ($M = 0,315$; $CI95 = \langle -0,179; 0,809 \rangle$), která má nejširší interval spolehlivosti mezi položkami. Rozpětí zahrnuje jak mírně záporné hodnoty, tak horní mez blízko hranici +0,8, takže odpovědi participantů se zde zřejmě významně lišily. Tento typ výsledku je vhodné následně triangulovat s kvalitativními daty (komentáře, eye-tracking záznamy, MapLogger), protože může odrážet rozdílné strategie práce s rozhraním, odlišnou míru předchozí zkušenosti s 3D prostředím nebo citlivost na konkrétní vizualizační metody v aplikaci.

6.1.6 ROZDĚLENÍ ODPOVĚDÍ

Vedle průměrných hodnot a intervalů spolehlivosti bylo vyhodnoceno také rozdělení odpovědí u jednotlivých položek UEQ (škála 1–7). Pro interpretaci platí, že kategorie 1–3 reprezentují negativní hodnocení (směr k levému adjektivu), hodnota 4 neutrální postoj a kategorie 5–7 pozitivní hodnocení (směr k pravému adjektivu), přičemž 6–7 lze chápat jako výrazně pozitivní odpovědi. (UEQ Handbook)

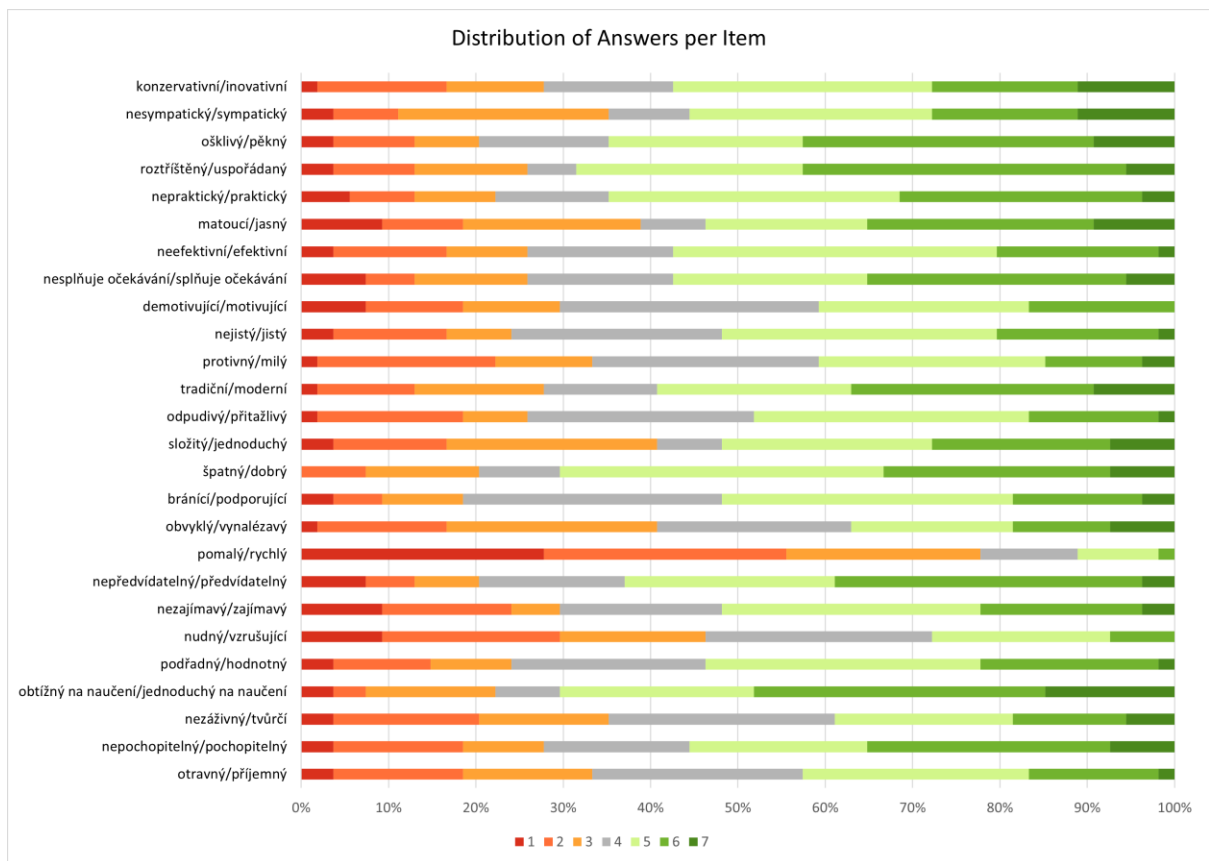
V souhrnu napříč všemi 26 položkami (celkem 1404 odpovědí) se rozdělení posouvá mírně do pozitivní části škály: 51,8 % odpovědí spadá do kategorií 5–7 (727/1404), 17,5 % tvoří neutrální hodnota 4 (245/1404) a 30,8 % odpovědí leží v negativních kategoriích 1–3 (432/1404). Nejčastěji zastoupené jsou kategorie 5 (25,7 %) a 6 (20,7 %), zatímco extrémy 1 a 7 jsou relativně

vzácné (obě shodně 5,3 %). Tento profil odpovídá dřívějšímu závěru, že UEQ výsledky jsou převážně neutrální až mírně pozitivní, bez silného „stropového efektu“ a bez široce sdíleného nadšení napříč všemi dimenzemi.

Při agregaci položek podle příslušných škál se ukazuje, že nejpříznivější (ve smyslu koncentrace odpovědí v pásmu 5–7) jsou pragmatické dimenze Přehlednost a Spolehlivost. Přehlednost dosahuje 57,9 % odpovědí v pásmu 5–7 (125/216) a má zároveň nízký podíl neutrálních odpovědí (9,7 %, 21/216); téměř 36,6 % odpovědí je v kategoriích 6–7. Podobně Spolehlivost vykazuje 56,0 % odpovědí v pásmu 5–7 (121/216), ale zároveň vyšší podíl neutrálních odpovědí (21,8 %, 47/216), což naznačuje spíše opatrnější a méně vyhraněné hodnocení u části participantů.

Naopak u škály Stimulace je pozitivní pásmo zastoupeno nejméně (43,5 %, 94/216), při současně vyšším podílu neutrálních odpovědí (24,1 %, 52/216). Tento obraz podporuje interpretaci, že aplikace působila spíše funkčně než motivačně či „zábavně“. U škály Účinnost je patrná nejvyšší koncentrace negativních odpovědí (38,0 %, 82/216), a zároveň relativně vysoký podíl silně negativních kategorií 1–2 (24,5 %, 53/216). Jde o důležitý signál, protože právě zde se v položkách objevuje výrazně negativně hodnocený aspekt rychlosti (viz níže). Škála Originalita je vyrovnanější: pozitivní odpovědi tvoří 48,1 % (104/216), negativní 32,9 % (71/216) a neutrální 19,0 % (41/216), což naznačuje rozdílné individuální vnímání míry inovativnosti.

Na úrovni jednotlivých položek lze identifikovat jednak položky s relativně konzistentním pozitivním rozdělením, jednak položky s výraznou heterogenitou, viz **obrázek 7**. Nejvíce pozitivní rozdělení má položka obtížný na naučení / jednoduchý na naučení (70,4 % odpovědí v pásmu 5–7; 38/54), kde téměř polovina odpovědí spadá do kategorií 6–7 (26/54). Pozitivně vychází také špatný / dobrý (70,4 % v pásmu 5–7; 38/54) a roztržitý / uspořádaný (68,5 % v pásmu 5–7; 37/54). Tyto položky ukazují, že část pragmatických aspektů (snadnost osvojení, celkový dojem, organizace) byla vnímána příznivěji než zbytek profilu. Nejvýrazněji negativní rozdělení vykazuje položka pomalý / rychlý, kde 77,8 % odpovědí spadá do kategorií 1–3 (42/54) a samotné kategorie 1–2 tvoří 55,6 % (30/54). Pozitivní odpovědi (5–7) jsou v tomto případě minimální (6/54) a kategorie 7 se nevyskytuje vůbec. Tento vzorec dobře vysvětluje, proč je škála Účinnost celkově pouze neutrální – negativní vjem rychlosti se neopírá o menšinu, ale o dominantní část vzorku. U hédonického rozměru je důležitá položka nudný / vzrušující, kde se negativní odpovědi (1–3) objevují u 46,3 % participantů (25/54) a výrazně pozitivní odpovědi 6–7 jsou spíše vzácné (4/54), přičemž kategorie 7 se opět nevyskytuje. Rozdělení tedy podporuje závěr o nízké stimulaci a spíše „věcném“ charakteru uživatelské zkušenosti. Položky s výrazně rozděleným hodnocením (současně vyšší podíl negativních i pozitivních odpovědí při nízkém podílu neutrálu) se objevují zejména v oblasti srozumitelnosti a jasnosti: složitý / jednoduchý (40,7 % v pásmu 1–3 vs. 51,9 % v pásmu 5–7; neutrálně jen 7,4 %) a matoucí / jasný (38,9 % v pásmu 1–3 vs. 53,7 % v pásmu 5–7; neutrálně 7,4 %). Tento typ rozdělení je metodicky důležitý, protože naznačuje existenci podskupin participantů, které aplikaci interpretovaly odlišně – zde dává smysl následně ověřit, zda se tyto rozdíly váží na konkrétní vizualizační metody, strategie práce (MapLogger) nebo vzorce pozornosti v eye-trackingu.



Obrázek 7 Rozdělení odpovědí po jednotlivých položkách.

Celkově rozdělení odpovědí doplňuje předchozí analýzy, tedy místo jednoznačně pozitivního profilu se ukazuje mírný posun k pozitivním odpovědím s nezanedbatelným podílem negativních hodnocení, přičemž nejrobustnější negativní signál se týká vnímané rychlosti a plynulosti. Zároveň se u vybraných položek objevuje rozdělené hodnocení (zejména „jasnost/jednoduchost“), které je vhodné dále interpretovat v návaznosti na kvalitativní evidence z eye-trackingu a logovaných interakcí.

6.1.7 KONZISTENCE MĚŘÍTKA

V rámci psychometrického ověření výsledků byla posouzena vnitřní konzistence (reliabilita) jednotlivých škál UEQ. Byly tak posuzovány (i) párové korelace položek v rámci každé škály, (ii) Cronbachovo alfa včetně 95% intervalu spolehlivosti a (iii) Guttmanovo Lambda-2 (spolu s Lambda-1) jako alternativní odhad reliability. Cronbachovo alfa představuje standardně reportovaný ukazatel konzistence (Cronbach, 1951), současně je vhodné k němu přistupovat jako k „pravidlu palce“ bez rigidní hranice, zvláště u kratších škál a menších vzorků (Schmitt, 1996). Interval spolehlivosti alfa jsou počítány dle Bonett (2002).

Na úrovni škál vychází konzistence pro většinu dimenzí jako dobrá až velmi vysoká. Atraktivita dosáhla $\alpha = 0,939$ (95% CI: $\langle 0,907; 0,960 \rangle$) a současně Lambda-2 = 0,937. Podobně vysokou konzistenci vykazuje Přehlednost s $\alpha = 0,907$ ($\langle 0,855; 0,940 \rangle$) a Lambda-2 = 0,907. U obou škál tomu odpovídají i vysoké průměrné korelace položek (Atraktivita: průměr $r = 0,720$; Přehlednost: průměr $r = 0,708$), takže průměrné skóre těchto dimenzí lze interpretovat jako stabilní a vnitřně soudržné.

Obrázek 8 Průměrné hodnoty všech šesti škál vůči referenční databázi UEQ.

Detailnější pohled na hranice benchmarkových percentilů ukazuje, jak výrazný je odstup od „běžné“ úrovně produktů v databázi. Pro ilustraci: 25. percentil (hranice mezi Bad a vyššími kategoriemi) činí u Účinnosti 0,60 a u Stimulace 0,50, přitom naměřené průměry jsou 0,046 a 0,005. Medián benchmarku (50. percentil) je pro Účinnost 1,05 a pro Stimulaci 1,00, tedy přibližně o jeden bod výše než zde. U Spolehlivosti je 25. percentil 0,78 (naměřeno 0,472) a medián 1,14. U Atraktivity a Přehlednosti jsou 25. percentily 0,69 a 0,72 (naměřeno 0,392 a 0,514). Originalita má 25. percentil 0,16 a medián 0,70; výsledek 0,301 tedy zůstává mezi 25. a 50. percentilem, tedy „pod průměrem“, nikoliv v nejhorší čtvrtině.

Ve vztahu k intervalům spolehlivosti z předchozí podkapitoly je přiřazení do benchmarkových tříd zčásti velmi stabilní. U Účinnosti, Spolehlivosti a Stimulace zůstává i horní mez 95% intervalu pod hranicí 25. percentilu, takže zařazení do kategorie Bad je robustní. U Atraktivity a Přehlednosti horní mez 95% intervalu hranici 25. percentilu mírně překračuje, proto je jejich klasifikace na pomezí Bad a Below Average; v každém případě se však stále nachází výrazně pod mediánem benchmarku.

Celkově benchmark ukazuje, že uživatelská zkušenost s *3D-Geo-Vis* aplikací je ve srovnání s širokým spektrem běžně hodnocených digitálních produktů podprůměrná až slabá, a to napříč pragmatickými i hédonickými dimenzemi. Interpretace má mít zároveň kontext: benchmark zahrnuje mnoho „dospělých“ produktů s dlouhodobým vývojem, zatímco zde jde o specializovanou 3D geovizualizační aplikaci a experimentální úlohy, které mohly zvyšovat nároky na kognitivní zpracování i vnímanou plynulost práce.

6.1.9 NEKONZISTENTNOSTI

V rámci kontroly kvality dat byla vyhodnocena přítomnost potenciálně nekonzistentních odpovědí pomocí dvou heuristik implementovaných v UEQ nástroji. První heuristika sleduje vnitroškálovou nesourodost: pro každého respondenta se u každé škály kontroluje, zda rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou položek dané škály (v transformované škále (-3; +3)) překračuje 3 body. Takový případ může signalizovat buď nepozorné vyplnění, nebo odlišnou interpretaci některé položky v kontextu testovaného systému. Druhá heuristika se zaměřuje na stereotypní vyplňování v původní 7bodové škále: jako podezřelé jsou označeny odpovědi, kde respondent použil totožnou kategorii u více než 15 položek.

Na úrovni jednotlivých škál se vnitroškálová nesourodost (>3) objevuje nejčastěji u Účinnosti (u 22 z 54 respondentů; 40,7 %). U dalších škál je tento jev výrazně méně častý: Spolehlivost (8/54; 14,8 %), Originalita (8/54; 14,8 %), Přehlednost (5/54; 9,3 %), Stimulace (5/54; 9,3 %) a Atraktivita (4/54; 7,4 %). Tento profil je věcně konzistentní s dřívějšími výsledky na úrovni položek, kde se v rámci dimenze Účinnost objevuje výrazně negativně hodnocený aspekt rychlosti; kombinace silně záporné položky s jinak mírně kladnými položkami téže škály přirozeně zvyšuje rozsah hodnocení uvnitř škály, aniž by šlo nutně o „nekvalitní“ data.

Pro identifikaci opravdu podezřelých záznamů je ale rozhodující kumulace těchto výkyvů napříč více škálami. Součet škál, kde respondent překročil práh >3, ukazuje, že u většiny účastníků je tento jev omezený: 21 respondentů nemá takový výkyv v žádné škále, 22 respondentů má výkyv v jedné škále a 6 respondentů ve dvou škálách. Hodnoty, které UEQ metodika doporučuje

považovat za vysoce podezřelé se vyskytly u 5 respondentů (3 respondenti s hodnotou 3; 1 respondent s hodnotou 4; 1 respondent s hodnotou 5). Při zachování číslování podle pořadí v nástroji jde o P02 (3 škály), P07 (4 škály), P12 (5 škál), P16 (3 škály) a P31 (3 škály). Tyto záznamy představují přibližně 9,3 % vzorku a je vhodné s nimi pracovat obezřetně, protože mohou naznačovat buď nekonzistentní styl odpovídání, nebo opakované nepochopení položek ve více dimenzích.

Druhá heuristika (stereotypní odpovědi) identifikovala 1 respondenta, který použil totožnou odpověď u 25 položek. Tento případ je metodicky výrazně podezřelý, protože odpovídá „mechanickému“ vyplnění bez skutečné diferenciaci mezi položkami. Zároveň jde o záznam, který nevyvolal vnitřoškalové výkyvy, právě proto, že odpovědi jsou téměř konstantní.

Celkově kontrola nekonzistentností ukazuje, že naprostá většina dat nevykazuje známky závažně problematického vyplňování, zároveň se objevuje malá podskupina záznamů, které UEQ nástroj označuje jako podezřelé (5 případů dle první heuristiky a 1 případ dle druhé). Z hlediska další interpretace je však vhodné výsledky primárně reportovat pro plný soubor (kvůli kontinuitě s předchozími výpočty), a případně paralelně provádět kontrolu s vyloučením těchto šesti záznamů.

6.1.10 SAMPLE SIZE

V návaznosti na předchozí výsledky byla orientačně posouzena také dostatečnost velikosti vzorku z hlediska přesnosti odhadu průměrných hodnot škál UEQ. Tento výpočet vychází z empiricky zjištěných směrodatných odchylek jednotlivých škál a odhaduje potřebný počet respondentů tak, aby s danou pravděpodobností nepřekročila chyba odhadu (tj. absolutní odchylka od „skutečného“ populačního průměru) zadanou mez *Precision*. V nástroji UEQ je zároveň uvedena *Err.Prob.*, která reprezentuje tolerovanou pravděpodobnost, že chyba odhadu bude větší než zadaná přesnost (prakticky analogie přesnosti požadavku na přesnost odhadu).

Naměřené směrodatné odchylky škál se v této studii pohybují přibližně v rozmezí $SD = 1,08-1,50$. Nejvyšší variabilitu vykazuje Přehlednost ($SD = 1,50$), nejnižší Spolehlivost ($SD = 1,08$). Tento rozdíl se přímo promítá do požadované velikosti vzorku: škály s vyšší variabilitou vyžadují více participantů pro dosažení stejné přesnosti odhadu.

Pro běžně akceptovanou přesnost $Precision = 0,5$ (při $Err.Prob. = 0,05$) nástroj UEQ uvádí potřebnou velikost vzorku v rozmezí přibližně $N = 18$ až 35 podle škály (po zaokrouhlení nahoru: Atraktivita 27, Přehlednost 35, Účinnost 20, Spolehlivost 18, Stimulace 26, Originalita 26). Skutečný rozsah výzkumného souboru $n = 54$ tedy tuto úroveň přesnosti pro všechny škály bezpečně splňuje, a odhady průměrů lze považovat za dostatečně stabilní pro deskriptivní interpretaci.

Přísnější požadavek $Precision = 0,5$ při $Err.Prob. = 0,01$ (vyšší nárok na „jistotu“ odhadu) vyžaduje přibližně $N = 31$ až 61. V tomto nastavení je vzorek 54 participantů dostatečný pro všechny škály kromě Přehlednosti, kde tabulka uvádí požadavek zhruba $N = 61$. Prakticky to znamená, že u Přehlednosti je odhad průměru stále použitelný, ale při velmi přísném nastavení ($Err.Prob. = 0,01$) by bylo vhodné mít více participantů.

Pro podstatně jemnější rozlišení, tedy $Precision = 0,25$, již požadované velikosti rychle rostou. Při $Err.Prob. = 0,1$ vychází potřeba přibližně $N = 51$ až 99; současný vzorek splňuje tento práh pouze u Spolehlivosti (požadavek ~ 51) a u Účinnosti je velmi blízko (požadavek ~ 57). Při ještě přísnějším nastavení $Err.Prob. = 0,05$ by bylo pro $Precision = 0,25$ potřeba zhruba $N = 72$ až 140,

tedy rozsahy mimo běžné možnosti laboratorních eye-tracking studií. Velmi vysoká přesnost Precision = 0,1 by vyžadovala stovky až tisíce respondentů, a v tomto typu experimentálního designu není realistická.

Celkově lze toto zjištění uzavřít tak, že 54 participantů poskytuje pro UEQ škály dostatečnou přesnost odhadu na úrovni $\pm 0,5$ (při standardní přesnosti *Err.Prob.* = 0,05) a umožňuje robustní deskriptivní interpretaci včetně benchmarkového porovnání. Zároveň platí, že dosažení výrazně užších intervalů (např. cílit na $\pm 0,25$ u všech škál) by vyžadovalo výrazně větší vzorek, zejména u škál s vyšší variabilitou odpovědí (Přehlednost, Stimulace, Originalita)

6.2 SUBJEKTIVNÍ DOTAZNÍK

Po tom, co bylo ukončeno eye-tracking testování tohoto experimentu, tak participanté ihned vyplnili dotazník, který se obsahoval jak standardizovaný UEQ, tak i subjektivní otázky zaměřující se na demografické charakteristiky participantů, jejich předchozí zkušenosti s 3D mapovými aplikacemi či subjektivní ohodnocení aplikace formou otevřených otázek. Cílem tohoto subjektivního dotazníku bylo doplnit kvantitativní výsledky z UEQ a potažmo behaviorální data očních pohybů o další kontextové informace, díky kterým je tak o něco snadnější interpretovat vzorce chování a případné rozdíly mezi jednotlivými participanty.

Otázky se konkrétně týkaly pohlaví, zkušeností s 3D mapovými aplikacemi, pravidelnosti používání webových map (např. Google Maps, Mapy.com), dále otevřené, avšak nepovinné, otázky ohledně toho, co se jim na aplikaci nejvíce líbilo, co by si podle nich zasloužilo zlepšení, zda měli během testování nějaký problém či nejasnost a nakonec mohli vypsát další komentář nebo doporučení. Následující podkapitoly postupně prezentují a interpretují výsledky těchto jednotlivých tematických okruhů tohoto šetření.

6.2.1 POHLAVÍ

Z hlediska pohlaví byl výzkumný vzorek ($n = 54$) mírně nevyrovnaný ve prospěch žen. Ženské pohlaví bylo identifikováno u 32 participantů (59,3 %) a mužské pohlaví u 22 participantů (40,7 %). Jiné genderové kategorie se v datech nevyskytly. Toto rozložení naznačuje pouze mírnou převahu žen, proto lze celkový profil vzorku považovat za relativně vyvážený. Současně platí, že vnímané hodnocení aplikace, deklarované zkušenosti i formulace otevřených odpovědí mohou být do určité míry ovlivněny složením vzorku, zejména u témat souvisejících se subjektivními preferencemi a očekáváními. Z tohoto důvodu jsou následující interpretace výsledků subjektivního dotazníku vedeny primárně deskriptivně a s ohledem na kontext laboratorního výběru participantů.

6.2.2 ZKUŠENOSTI S 3D MAPOVÝMI APLIKACEMI

Součástí subjektivního dotazníku bylo sebehodnocení předchozích zkušeností participantů s 3D mapovými aplikacemi. Vzorek ($n = 54$) vykazuje heterogenní úroveň zkušeností, přičemž převažují nižší až střední úrovně. Nejčastěji respondenti uváděli základní zkušenosti ($n = 24$; 44,4 %), dále střední zkušenosti ($n = 13$; 24,1 %) a žádné zkušenosti ($n = 11$; 20,4 %). Pokročilou zkušenost deklarovalo $n = 6$ participantů (11,1 %). Celkově tedy 79,6 % vzorku uvedlo alespoň nějakou předchozí zkušenost (základní/střední/pokročilou), nicméně dominantní část z těchto respondentů se pohybuje pouze na základní úrovni.

Tato struktura je metodicky důležitá pro interpretaci navazujících výsledků. Přítomnost zhruba pětiny participantů bez zkušeností naznačuje, že část vzorku vstupovala do experimentu bez ustálených mentálních modelů pro práci s 3D mapovým prostředím a mohla více spoléhat na exploraci a „učení se za běhu“. Naopak menší podíl pokročilých uživatelů představuje skupinu, u které lze očekávat efektivnější strategie práce a rychlejší orientaci v prostředí. Vzhledem k tomu, že kategorie zkušeností jsou pouze deklarované (subjektivní sebehodnocení), je vhodné je chápat jako orientační indikátor a při hlubší interpretaci je triangulovat s behaviorálními daty (MapLogger, eye-tracking).

Zároveň je patrná vazba mezi zkušenostmi a pohlavím: pokročilou úroveň uvedli pouze muži (6 z 22 mužů; 27,3 % mužské skupiny), zatímco u žen se pokročilá kategorie nevyskytla; ženy častěji uváděly základní nebo žádné zkušenosti. Tento vzorec je vhodné interpretovat opatrně, protože pracuje s relativně malými počty, nicméně naznačuje možné provázání demografických charakteristik a zkušeností, které může vstupovat do vysvětlování rozdílů v subjektivním hodnocení i v pozorovaném chování při práci s aplikací.

6.2.3 POUŽÍVÁNÍ WEBOVÝCH MAP

Pravidelnost používání webových map (např. Google Maps, Mapy.com) byla zjišťována jako základní indikátor obecné mapové gramotnosti a rutinní zkušenosti s mapovým rozhraním. V analyzovaném souboru (n = 54) uvedli všichni participanti pravidelné používání webových map (n = 54; 100 %). Vzorek je tedy v tomto ohledu zcela homogenní a nevzniká zde variabilita, kterou by bylo možné dále porovnávat mezi skupinami.

Tento výsledek je metodicky důležitý pro interpretaci navazujících zjištění. Participantů měli již před vstupem do experimentu ustálenou zkušenost s běžnými mapovými aplikacemi, a lze proto předpokládat, že základní interakční principy (orientace v mapě, posun, přiblížení/oddálení, práce s mapovým obsahem) pro ně nepředstavovaly novou situaci. Případné obtíže nebo kritické komentáře k aplikaci *3D-Geo-Vis* je tak vhodné chápat spíše v kontextu specifík 3D geovizualizací (např. prostorová orientace, interpretace 3D znázornění, nároky na výkon a plynulost) než jako důsledek obecné neznalosti webových map. Současně to znamená, že výsledky subjektivního dotazníku nejlépe reprezentují populaci uživatelů, kteří webové mapy běžně využívají; přenositelnost závěrů na uživatele bez této rutiny by vyžadovala samostatné ověření.

6.2.4 POZITIVNĚ HODNOCENÉ ASPEKTY APLIKACE

Otevřená otázka „Co se Vám na aplikaci líbilo nejvíce?“ byla nepovinná. Odpověď poskytlo 33 z 54 participantů (61,1 %), zatímco 21 participantů (38,9 %) položku ponechalo prázdnou. V poskytnutých výpovědích se opakovaně objevovalo několik tematických okruhů, které pomáhají konkretizovat, jaké prvky aplikace *3D-Geo-Vis* byly uživateli vnímány jako přínosné.

Nejčastěji respondenti oceňovali variabilitu metod a stylů zobrazení a možnost volby mezi více vizualizačními přístupy (13/33 odpovědí; 39,4 %). Tento motiv se objevoval v podobě formulací typu „různé možnosti vizualizace“, „množství metod vizualizace“, „různé styly zobrazení“ nebo „rozličné možnosti vizualizácie rovnakého prvku“. Druhým dominantním tématem byla personalizace symbologie a barevného vyjádření (9/33; 27,3 %), často výslovně spojená s volbou vlastní barevnosti, škálování či transparency („možnost nastavit si vlastní barvy“, „barevná škála, možnost transparency“, „úprava symbologie“, „změna barev a tvarů“). Podobně často se zmiňovalo také UI a celkové vizuální zpracování (9/33; 27,3 %), obvykle v obecnějších

vyjádřeních („interface“, „UI rozhraní“, „velmi hezky vizuálně zpracovaná“, „grafické prvky, vizuál“). Z hlediska interpretace je podstatné, že tyto tři tematické okruhy přímo odpovídají zaměření aplikace – prezentaci více 3D metod tematické kartografie a možnosti jejich parametrického nastavení.

Méně často, ale opakovaně, respondenti zmiňovali obsahovou stránku a mapový kontext (4/33; 12,1 %), například tematické zaměření na teplotu („ukazuje teplotu“) nebo samotný mapový podklad („mapa pohoří“, „vyobrazení světa“). Interaktivita a navigace v prostředí se objevila ve 3/33 odpovědích (9,1 %), typicky ve formě ocenění ovládání („posouvání, otáčení, přibližování“, „interaktivnost“) nebo pozitivního hodnocení „čistého“ nástrojového vybavení („neobsahuje plno zbytečných nástrojů – jen ty základní potřebné“), což současně souvisí s tématem praktičnosti a jednoduchosti (také 3/33; 9,1 %). Výslovné odkazy na 3D aspekt a inovativnost se vyskytly ve 3/33 odpovědích (9,1 %), například „3D surface model“ nebo „Nové 3D metody tematické kartografie“.

Za zmínku stojí také jediná výpověď, která i v rámci otázky na pozitivní stránky vyjádřila spíše negativní postoj („nic pro mě... trochu nedodělané“). Jde o ojedinělý případ (1/33), ale je analyticky užitečný, protože ukazuje, že část participantů mohla aplikaci hodnotit prizmatem očekávání na úrovni „hotového produktu“, nikoli jako ukázkovou či výzkumně orientovanou demonstraci metod.

6.2.5 NAVRHOVANÁ ZLEPŠENÍ

Otevřená otázka „Co by podle Vás zasloužilo zlepšení?“ byla nepovinná. Odpověď poskytlo 35 z 54 participantů (64,8 %), zatímco 19 participantů (35,2 %) položku ponechalo prázdnou. Obsah odpovědí byl analyzován tematickým tříděním a ukazuje několik opakujících se okruhů, které participantům při používání aplikace nejvíce chyběly nebo je omezovaly.

Jednoznačně dominantním tématem byly výkonové aspekty aplikace – zejména rychlost načítání, plynulost a odezva systému. Tento okruh se objevil u 25 z 35 odpovědí (71,4 %). Participanté opakovaně zmiňovali „dlouhé načítání“, „lagování“, „dlouhou odezvu“ nebo potřebu „optimalizace“, přičemž část výpovědí explicitně odkazovala na pomalé přepínání vizualizačních metod či pomalé renderování obsahu. Několik respondentů současně připustilo, že vnímaná rychlost může souviset s objemem dat nebo výkonem testovacího počítače, nicméně i tak se téma rychlosti ukazuje jako klíčová bariéra uživatelské zkušenosti. Tento kvalitativní signál je v souladu s výsledky UEQ, kde se položka týkající se rychlosti řadila mezi nejvíce negativně hodnocené.

Druhou skupinu návrhů tvořila doporučení k UI/UX a vizuálnímu zpracování (5/35; 14,3 %). Tyto komentáře se týkaly dojmu „neutrálního“ či „nudného“ rozhraní a potřeby atraktivnějšího vizuálního pojetí. Podobně často se objevoval požadavek na další rozvoj funkcionality (5/35; 14,3 %), zpravidla formulovaný obecně („přidání dalších funkcí“, „pokročilejší rozvoj“), někdy v kombinaci s požadavkem na rychlejší chod. Menší, ale opakovaný okruh představovaly připomínky k ovládání a intuitivnosti (3/35; 8,6 %), kde respondenti uváděli, že některé funkce nebyly zřejmé nebo že by uvítali jednodušší přepínání režimů či objektů.

V několika odpovědích se objevila potřeba lepšího vysvětlení a podpory porozumění rozhraní (3/35; 8,6 %), zejména ve vztahu k legendě a k interpretaci funkcí („jasnější vysvětlení“, „vysvětlení jednotlivých funkcí“). Izolovaně se objevily i konkrétnější návrhy na obsahové úpravy: více informací v pop-upu (1/35; 2,9 %), srozumitelnější názvy s ohledem na jazykovou náročnost

(1/35; 2,9 %), úprava mapového kontextu a rozsahu zobrazení (např. Evropa vs. „celá zeměkoule“, případně rozšíření mimo Evropu; 2/35; 5,7 %). Jedna odpověď se netýkala přímo aplikace, ale formulace úloh („lepší otázky“; 1/35; 2,9 %), tento podnět je vhodné chápat jako připomínku k experimentálnímu designu.

Souhrnně návrhy na zlepšení ukazují, že participanti považovali za nejdůležitější zvýšení plynulosti a rychlosti práce (zejména při změně vizualizace a načítání obsahu). Sekundárně se objevují doporučení ke srozumitelnosti prvků rozhraní (legenda, vysvětlení funkcí, názvosloví) a k celkovému zážitek-orientovanému doladění UI/UX.

6.2.6 PROBLÉMY NEBO NEJASNOSTI

Otevřená (nepovinná) otázka zaměřená na problémy či nejasnosti během testování byla zodpovězena 26 z 54 participantů (48,1 %), zatímco 28 participantů (51,9 %) položku ponechalo bez odpovědi. Z těch, kteří odpověděli, uvedlo 5 participantů (19,2 % z odpovědí; 9,3 % z celého vzorku), že žádný problém nezaznamenali (odpovědi typu „ne / spíš ne“). Naopak zbývající část respondentů popsala konkrétní obtíže nebo alespoň obecně potvrdila, že během testování k nejasnostem docházelo.

Obsah odpovědí ukazuje několik opakujících se tematických okruhů. Nejčastěji se objevovala nejistota ohledně zadání a očekávaného postupu – tento motiv se vyskytl u 10 z 19 konkretizovaných odpovědí (52,6 %). Participanti popisovali, že jim nebylo vždy jasné, co přesně mají v daném kroku udělat, případně jakým způsobem mají k řešení dojít. Do stejného okruhu spadá také specifická nejistota, zda mají odpovědi někam zapisovat nebo zadávat (3 odpovědi), případně zda „stačí“ informaci pouze najít v rozhraní. Tento typ nejistoty je z metodického hlediska důležitý, protože může ovlivnit strategie práce: část participantů se mohla více soustředit na „formu“ splnění úlohy než na samotnou interpretaci vizualizace.

Druhým výrazným okruhem byly obtíže spojené s ovládním a orientací v 3D prostředí (6/19; 31,6 %). Respondenti zmiňovali neintuitivní charakter systému, počáteční problém s orientací nebo nejistotu, které parametry mění jaké aspekty zobrazení. Objevily se i konkrétní interakční situace, například snaha klikat na neexistující voxel nebo potřeba dohledat hodnotu výšky symbolu vůči povrchu, která nebyla snadno dostupná.

Třetím častým tématem byla obtížná dohledatelnost hledaných hodnot v rámci rozhraní (4/19; 21,1 %). Typicky šlo o úlohy související s rozdílem mezi minimem a maximem, práci s legendou nebo přehlednutí ikon, které k řešení vedly. Jedna odpověď popisuje situaci, kdy participant zpočátku přehlédl relevantní ikony a k cíli se dostal až metodou pokus–omyl. Takové výpovědi naznačují, že i při existenci funkce v rozhraní nemusí být její dostupnost pro uživatele na první pohled zřejmá.

Samostatný okruh představují nejasnosti v interpretaci samotného datového obsahu (2/19; 10,5 %). V jedné odpovědi se objevuje nejistota, „jaká teplota“ je vlastně zobrazena, v další pak explicitní připomínka, že aplikace podle respondenta dostatečně nekomunikuje, co přesně hodnoty reprezentují (včetně pochybností o jednotkách při tříciferných hodnotách). Tento motiv je důležitý pro interpretaci použitelnosti 3D geovizualizací, protože nejde pouze o ovládním, ale také o srozumitelnost sdělení a kontext dat.

Z méně častých podnětů se objevila zmínka o výkonu a načítání (1 odpověď) a také potřeba vysvětlivky/nápovědy (1 odpověď), která by uživateli pomohla rychleji pochopit význam prvků rozhraní. Souhrnně odpovědi ukazují, že nejasnosti se netýkaly pouze jediné vrstvy interakce, ale

kombinace (i) porozumění úlohám, (ii) ovládnání 3D prostředí a (iii) interpretace hodnot a jejich významu. Tyto kvalitativní poznatky dávají dobrý rámec pro navazující triangulaci s eye-trackingem a logy z MapLoggeru, protože umožňují cíleně ověřit, kde se nejasnosti projevovaly v pozornosti a v reálných interakcích.

6.2.7 DALŠÍ KOMENTÁŘE

Závěrečná otevřená položka „Další komentář / doporučení“ byla nepovinná a využilo ji pouze 7 z 54 participantů (13,0 %), zatímco 47 participantů (87,0 %) ji ponechalo bez odpovědi. Získané výpovědi proto nelze chápat jako reprezentativní shrnutí názorů celého vzorku, ale spíše jako doplňující indikace témat, která u části respondentů vyvolala potřebu dodatečného sdělení nad rámec předchozích otázek.

Obsahově se komentáře koncentrují do několika oblastí. V rovině srozumitelnosti a čitelnosti rozhraní se objevila připomínka k viditelnosti legendy (respondent uvedl, že ikona pro rozbalení legendy je malá a hůře postřehnutelná) a obecný požadavek na přehlednější vizualizaci. Dále se objevuje téma porozumění funkcím a parametrům, kde jeden participant explicitně požadoval doplnění vysvětlivek k „nejasným parametrům“, které lze v aplikaci měnit. S tím souvisí také návrh na české popisky funkcí, který naznačuje, že jazyk rozhraní může být pro část uživatelů bariérou při rychlém pochopení ovládacích prvků.

Vedle těchto ergonomických a interpretačních podnětů se v komentářích objevily i výpovědi reflektující vnímanou užitečnost a očekávanou funkcionalitu. Jeden participant uvedl, že pro něj aplikace postrádá praktickou hodnotu v běžném použití, a naznačil potřebu funkcí typu filtrování (např. zobrazení pouze hodnot nad určitý práh). Tento typ komentáře zapadá do širšího rámce interpretace: aplikace je primárně demonstrátorem metod 3D znázornění, zatímco část uživatelů ji hodnotí optikou „aplikačního nástroje“ pro cílené vyhledávání informací. Závěrečné odpovědi zároveň zahrnují i čistě hodnotící soudy bez konkrétního doporučení, a to jak pozitivní („je to hezké“), tak vyhraněně odmítavý („nic pro mne“).

Celkově tedy „další komentáře“ spíše potvrzují motivy, které se objevily již v předchozích otevřených otázkách: potřebu lepší viditelnosti a vysvětlení klíčových prvků (legenda, parametry), požadavek na srozumitelnější komunikaci funkcí (včetně jazyka) a otázku, do jaké míry aplikace naplňuje očekávání na prakticky využitelný mapový nástroj oproti roli prezentační/edukační demonstrace 3D metod.

6.3 LOGOVANÉ INTERAKCE

Pro získání dat o interakcích uživatele byl využit MapLogger Builder, viz výše. Veškerá data o interakcích byla získána formou CSV (jedno CSV = jeden participant), celkem se jednalo o 54 CSV souborů. Tyto soubory byly nahrány do prostředí MapLogger Analyseru, který umožňuje provést „rychlou“ analýzu těchto dat formou přehledných vizualizací. V textu níže v rámci této kapitoly jsou tak popsány jednotlivé dílčí informace získané z Analyseru pro agregované výsledky za všechny participanty (n = 54).

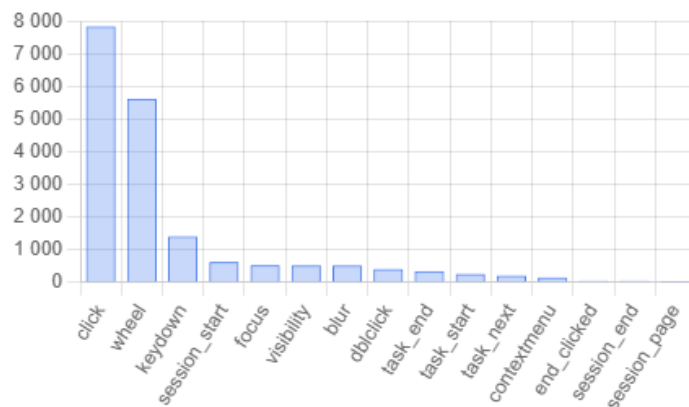
Celkový počet všechny interakcí dosahoval počtu 15 457 interakcí, do kterých se počítají kliknutí, použití kolečka myši, použití klávesy na klávesnici, použití dvojkliku myši, vyvolání kontext menu (typicky pravým tlačítkem myši). Průměrný počet (mean) interakcí dosahoval počtu 286 za participanta. Průměrné (median) trvání experimentu za participanta trvalo 11,5 minut na základě

logovaných dat. Průměrně (mean) pak vycházelo 24,3 interakcí za minutu na participanta. Pokud by byly započítány i meta interakce (začátek/konec testování nebo načtení stránky, přepnutí mezi akcemi, změna velikost okna), pak by celkový počet interakcí dosahoval 18 642 interakcí (tj. celkový počet všech řádků v CSV souborech). Interakce podle 25–75 percentilu (IRQ) vycházejí na 180–326 interakcí. Minimální počet interakcí vůči všem participantům byl 75, zatímco nejvyšší počet interakcí dosahoval počtu 745. Celkový přehled o počtech interakcí je zobrazen na **obrázku 9**.



Obrázek 8 Přehled o počtech interakcí z nástroje MapLogger Analyser.

Z hlediska konkrétních použitých interakcí bylo nejvíce interakcí formou kliknutí myši (7 841), což je logické (3D vizualizace na stolním PC se ovládá primárně myší). Další nepoužívanějším typem interakce bylo použití kolečka myši pro ovládání měřítka vizualizace (5 628). Jako třetí nepoužívanější typ interakce bylo použití klávesy na klávesnici (1 414). Ostatní typy interakcí (včetně meta událostí) byly obsaženy méně často, viz **obrázek 9**.

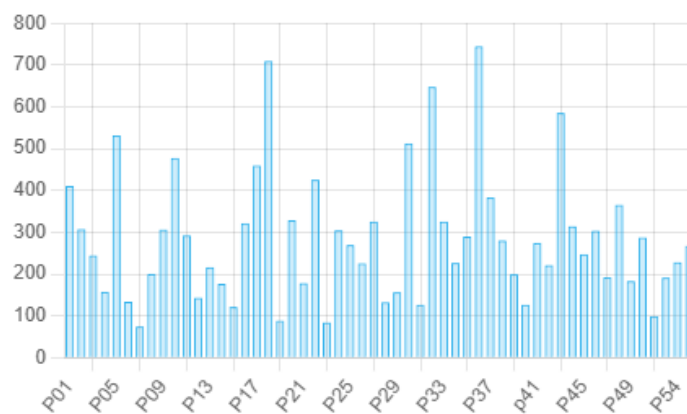


Obrázek 9 Použité typy interakcí z nástroje MapLogger Analyser.

Z hlediska celkového počtu interakcí za každého participanta si lze povšimnout skokových rozdílů mezi participanty, odhalující individuální rozdíly ve strategiích práce s 3D prostředím, **obrázek 10**, což indikuje heterogenní způsoby řešení úloh. Několik participantů (např. P18, P32 a P36) výrazně převyšuje ostatní (>600 interakcí). Tyto případy mohou naznačovat explorativní či trial-and-error strategii, nižší jistotu při práci s mapou, vyšší obtížnost konkrétní úlohy, nebo technické artefakty (opakované klikání, neúspěšné pokusy, problémy s odezvou systému).

Převážná část participantů se koncentruje mezi ~200–350 interakcemi. Tuto oblast lze považovat za „typický“ rozsah chování a pravděpodobně odráží standardní průběh řešení úloh bez výrazných komplikací. Někteří jedinci však vykazují velmi malý počet interakcí (<150). To může znamenat i efektivní a přímočarou strategii, předchozí zkušenost s podobným rozhraním, případně nedokončení úloh či ztrátu logování.

Vyšší počet akcí obvykle znamená vyšší kognitivní zátěž, horší orientaci v rozhraní, nebo nutnost kompenzační navigace. Naopak nižší počet interakcí může signalizovat intuitivní design nebo zkušeného uživatele (citace ISO 9241-11).

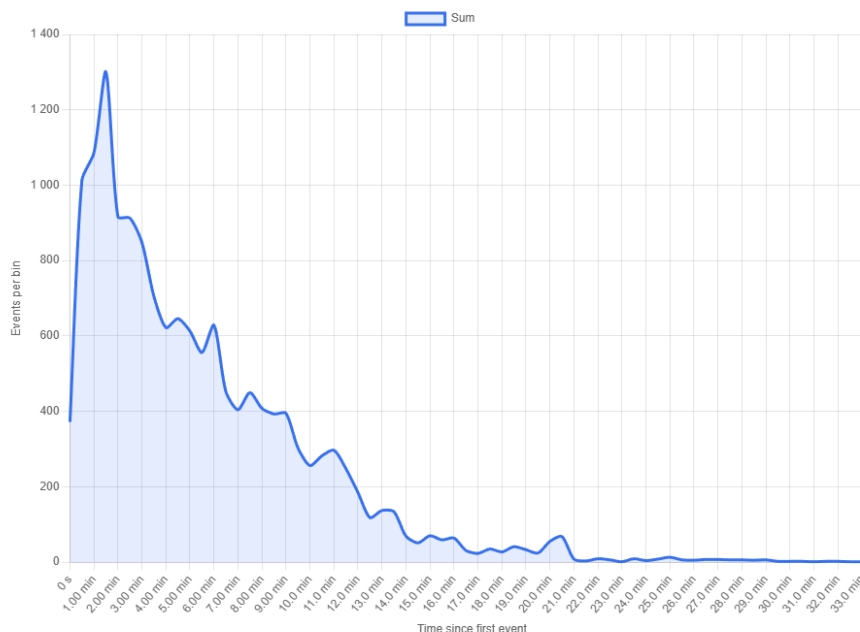


Obrázek 10 Celkový počet interakcí za každého participanta.

Z hlediska dynamiky aktivity v čase (interakce v průběhu času), **obrázek 11**, lze pozorovat výraznou koncentraci interakcí v úvodních minutách experimentu, kdy počet zaznamenaných akcí dosahuje přibližně 1 000–1 300 interakcí na 30 s časové okno. Tento průběh odpovídá počáteční orientaci uživatelů v rozhraní, intenzivní exploraci mapy (posuny, změny měřítko, vyhledávání vrstev či práce s legendou) a formování strategie řešení úloh. Podobný efekt je v souladu s poznatky literatury z oblasti mapové použitelnosti a HCI, podle nichž se rané fáze práce s novým rozhraním vyznačují vyšší frekvencí interakcí a zvýšenou kognitivní zátěží.

Po úvodním vrcholu následuje téměř lineární pokles intenzity interakcí, který lze interpretovat jako stabilizaci navigační strategie a projev efektu učení. S postupujícím řešením úloh se snižuje potřeba explorativních a korekčních akcí a interakce se stávají cílenějšími a efektivnějšími.

Po přibližně 15–20 minutách se agregovaná křivka blíží nulovým hodnotám. V této fázi již aktivitu generuje pouze malý počet participantů s delší dobou trvání experimentu. Dlouhý časový „ocas“ proto nereprezentuje typický průběh řešení úloh, ale spíše jednotlivé případy s nadprůměrnou délkou práce s rozhraním.



Obrázek 11 Interakce v průběhu času.

Zaměřením na průměrný počet interakcí na participanta a průměrnou dobu řešení jednotlivých úloh (**obrázek 12**) lze pozorovat, že rozdíly mezi úlohami nejsou dány pouze použitelností rozhraní, ale především typem kognitivní aktivity vyžadované zadáním.

První úloha vykazuje jednoznačně nejvyšší počet interakcí i nejdelší dobu řešení. Tento výsledek odpovídá jejímu explorativnímu charakteru, tedy otevřenému zadání bez jednoznačně definovaného cíle, zaměřenému na volnou orientaci a seznamování se s funkcemi aplikace. Takové úlohy přirozeně generují vysoký počet navigačních operací (např. posuny mapy, změny měřítka, přepínání vrstev), experimentování a opakované návraty mezi prvky rozhraní. Zvýšené hodnoty proto neindikují sníženou použitelnost systému, ale spíše systematickou exploraci a formování mentálního modelu uživatele. Tento jev odpovídá tzv. zahřívacímu (warm-up) efektu, který bývá ve studiích s použitelností běžně pozorován.

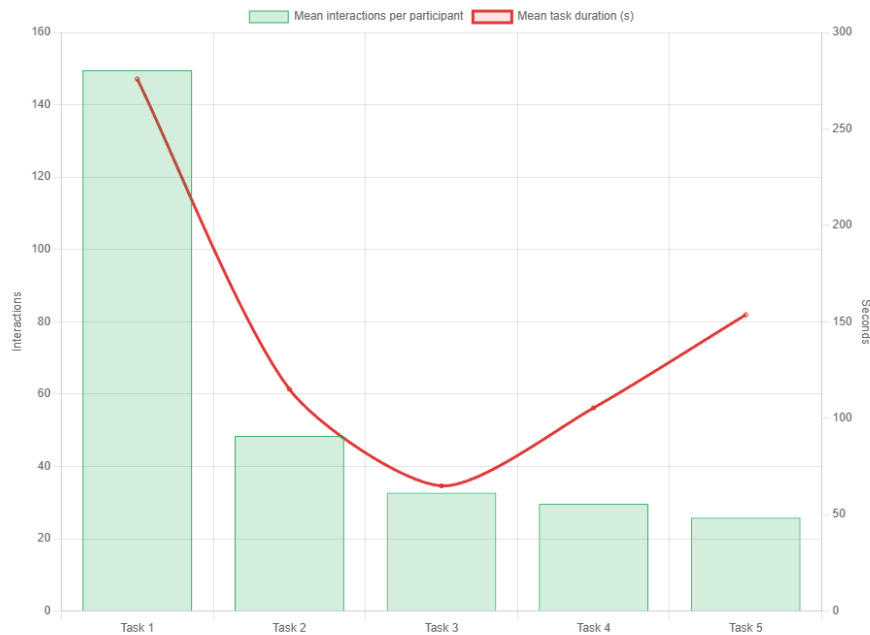
U úloh 2 a 3 dochází k výraznému poklesu jak počtu interakcí, tak doby řešení. Obě zadání mají jasně definovaný cíl, jednoznačný postup a relativně krátkou sekvenci operací. Zejména třetí úloha, zaměřená na úpravu tvaru a velikosti symbolů, představuje převážně procedurální manipulaci bez nutnosti hlubší interpretace dat. Dosahuje proto nejnižších hodnot obou metrik, což odpovídá fázi stabilizovaného mentálního modelu, rutinní práce a minimální potřeby explorační.

U čtvrté úlohy je patrný mírný nárůst doby řešení při relativně nízkém počtu interakcí. Zadání vyžaduje identifikaci minimální a maximální hodnoty a následný výpočet jejich rozdílu, tedy především analytické a interpretační zpracování dat. Zátěž je zde spíše kognitivní než interakční. Uživatelé proto tráví více času vizuální inspekci a mentálním vyhodnocením informací než samotnými operacemi v rozhraní. Tento nesoulad mezi počtem interakcí a časem řešení je typický pro analytické mapové úlohy.

Podobný vzorec se objevuje i u páté úlohy, kde se doba řešení dále prodlužuje, zatímco počet interakcí zůstává nízký. Subjektivní a kreativní charakter zadání, spočívající ve výběru vizualizace

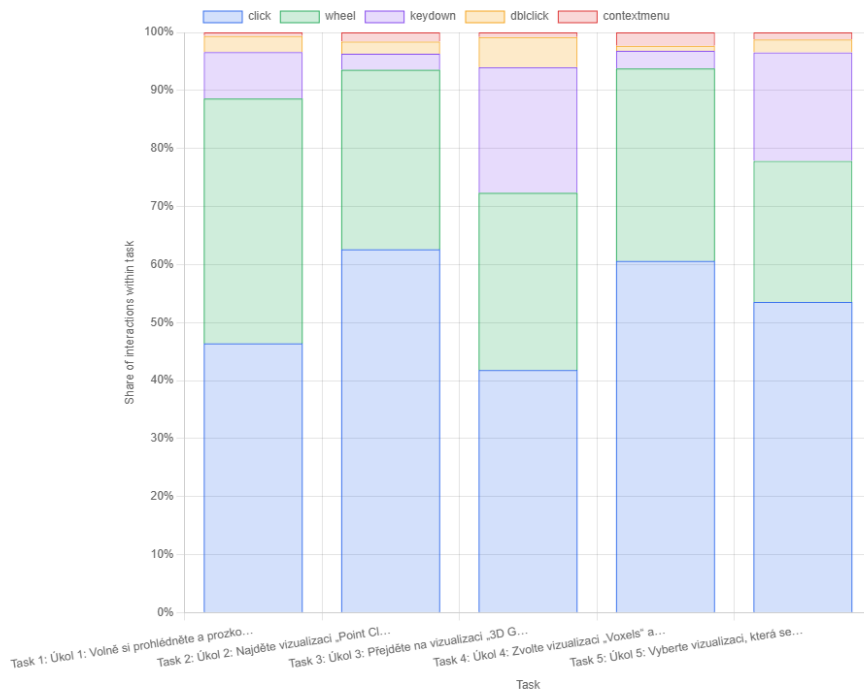
a úpravě barevného schématu podle osobních preferencí, vede k deliberativnímu rozhodování a vizuálnímu posuzování výsledku. Delší čas zde proto nereflektuje obtížnost ovládnání, ale povahu otevřeného rozhodovacího procesu.

Celkově tyto výsledky potvrzují, že samotný počet interakcí nelze přímo interpretovat jako indikátor obtížnosti úlohy. Vyšší interakční aktivita často souvisí s explorační nebo učením, zatímco delší doba řešení může odrážet zvýšené kognitivní zpracování. Teprve kombinace obou ukazatelů umožňuje spolehlivěji identifikovat skutečně komplexní nebo problematické úlohy.



Obrázek 12 Interakce a trvání jednotlivých úloh.

Zhodnotit lze i relativní zastoupení typů interakcí v rámci jednotlivých úloh (**obrázek 13**). Výsledky ukazují, že napříč všemi úlohami dominují standardní navigační operace, zejména kliknutí myši a posun kolečkem, které dohromady tvoří převážnou část interakcí. U první úlohy je patrný vyšší podíl posunů kolečkem, což odpovídá jejímu exploračnímu charakteru a intenzivní práci s měřítkem mapy. Naopak u úloh 2, 3 a 5 převažují kliknutí, reflektující cílené výběry prvků rozhraní a procedurální manipulace. Úloha 4 vykazuje relativně vyšší podíl klávesových vstupů, což lze spojit s nutností zadávání či ověřování numerických hodnot při analytickém řešení. Celkově však rozložení typů interakcí zůstává mezi úlohami poměrně stabilní, což naznačuje, že rozdíly pozorované v předchozích grafech jsou dány spíše intenzitou a délkou práce než zásadně odlišnými způsoby ovládnání systému



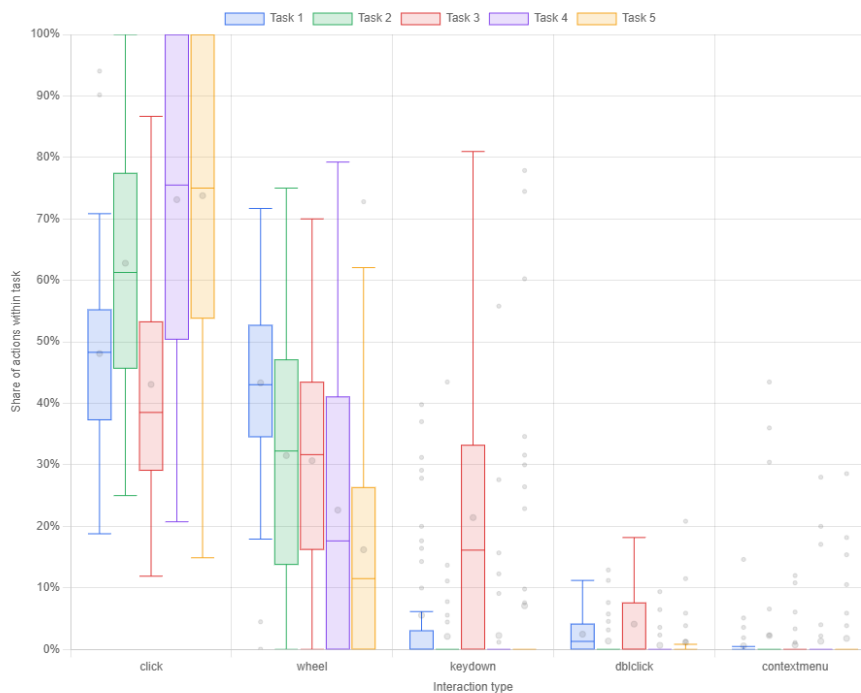
Obrázek 13 Interakční profily specifické pro danou úlohu (proporcionálně).

MapLogger Analyser vytváří i boxploty, které znázorňují rozdělení relativního zastoupení jednotlivých typů interakcí na úrovni participantů v rámci každé úlohy (**obrázek 14**). Na rozdíl od předchozího agregovaného grafu umožňují posoudit míru meziindividuální variability.

Napříč všemi úlohami dominuje podíl kliknutí a posunů kolečkem, jejichž mediány výrazně převyšují ostatní typy vstupů. Klávesové vstupy, dvojkliky a kontextová menu se objevují pouze okrajově a u většiny participantů dosahují nulových nebo velmi nízkých hodnot. Tato struktura potvrzuje, že práce s aplikací je převážně založena na standardních operacích myši.

Mezi úlohami jsou patrné pouze mírné rozdíly. První úloha vykazuje větší rozptyl podílu posunů kolečkem, což odpovídá heterogenním exploračním strategiím při seznamování s rozhraním. U druhé úlohy je rozptyl obecně menší, což naznačuje jednodušší, procedurální způsob řešení. Zvýšená variabilita klávesových vstupů u třetí úlohy odpovídá jejímu analytickému charakteru, kdy někteří uživatelé využívali zadávání či úpravu hodnot prostřednictvím klávesnice. U zbývajících úloh zůstává struktura interakcí relativně stabilní.

Celkově tak graf nepřináší nové typy chování, ale spíše potvrzuje, že rozdíly mezi úlohami spočívají především v celkovém objemu interakcí a délce řešení, nikoli ve změně základního způsobu ovládání systému.



Obrázek 14 Podíl typů interakcí podle úloh (boxploty).

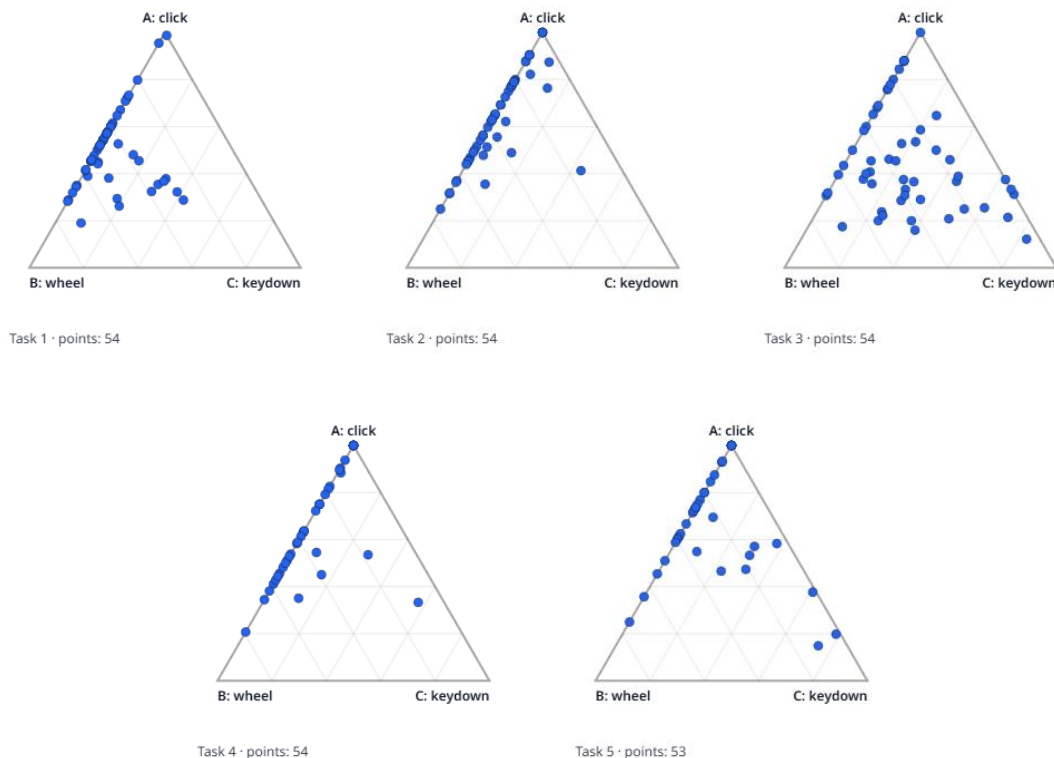
Analysér také umí vykreslit ternární grafy. Ternární diagramy znázorňují relativní zastoupení tří dominantních typů interakcí. Vzhledem k předchozím zjištěným dominantním typům interakcí, byly vykreslovány jen typy interakcí kliknutí, posun kolečka a klávesové vstupy. Diagramy jsou vykreslovány na úrovni jednotlivých participantů. Každý bod pak reprezentuje jednoho uživatele a jeho individuální interakční strategii v rámci dané úlohy. Interpretované ternární digramy jsou zobrazeny v **obrázku 15**.

Napříč všemi úlohami je patrná výrazná koncentrace bodů směrem k vrcholu *click*, což potvrzuje dominanci kliknutí jako primárního způsobu ovládní rozhraní. Většina participantů se zároveň pohybuje podél hrany mezi *click* a *wheel*, což indikuje kombinaci klikání a zoomování/posunů jako standardní navigační strategii. Klávesové vstupy (*keydown*) se u většiny uživatelů podílejí pouze marginálně.

Pro task 1 (explorace) jsou body rozptýlenější podél osy *click-wheel*, což odráží variabilní přístupy při seznamování s rozhraním; někteří uživatelé více zoomují, jiní více klikají. **Task 2 (cílené vyhledání hodnoty)** má distribuce kompaktnější a posunuty blíže k vrcholu *click*, což naznačuje jednodušší, procedurální způsob práce. Pro **task 3 (manipulační operace)** se objevuje větší rozptyl směrem k oblasti *keydown*, což odpovídá využívání klávesových vstupů při úpravě parametrů symbolů. U **tasku 4 (analytická úloha)** se strategie opět koncentruje převážně na kliknutí s omezeným podílem ostatních vstupů, což naznačuje spíše vizuální a mentální zpracování než intenzivní manipulaci. U **tasku 5 (kreativní úpravy)** je rozložení podobné první úloze, s mírně vyšším rozptylem, což reflektuje individuální experimentování při ladění vzhledu vizualizace.

Ve všech úlohách tedy zůstává základní interakční strategie relativně stabilní. Rozdíly mezi úlohami spočívají spíše v intenzitě a délce interakcí než ve změně samotného způsobu ovládní

systemu. Ternární grafy tak především potvrzují konzistenci uživatelského chování a identifikují pouze několik individuálních odchylek, nikoli odlišné typy strategií.



Obrázek 15 Ternární diagramy se třemi dominantními typy interakcí pro každou úlohu.

Dále bylo díky možnostem Analyseru možné zjistit, jaké konkrétní tlačítka (např. levé tlačítko myši) nebo klávesy byly participanty používány nejvíce. Výsledky ukazují, že interakce s aplikací byla realizována převážně standardními vstupy. Z hlediska myši jednoznačně dominovalo levé tlačítko, které tvořilo naprostou většinu všech kliknutí (8236x), zatímco pravé tlačítko bylo využíváno pouze minimálně (158x). Posuny kolečkem byly časté, přičemž převažovalo oddalování (zoom out, 3250x) nad přibližováním (zoom in, 2378x).

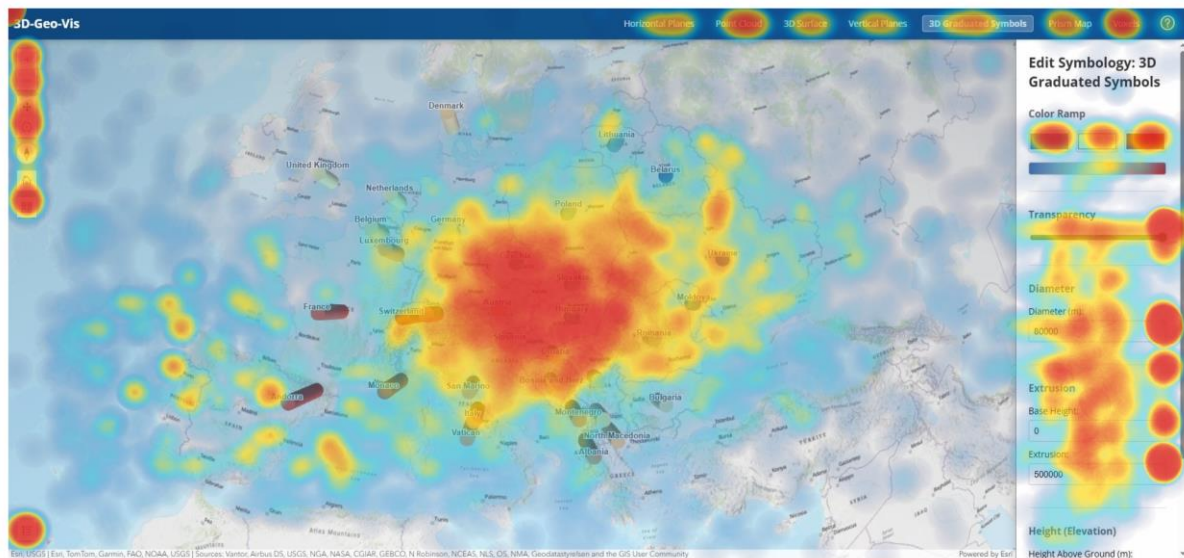
V oblasti klávesových vstupů se nejčastěji objevovaly numerické klávesy (zejména numerická klávesnice) a klávesa Backspace (432x), což naznačuje zadávání a úpravy hodnot. Modifikační klávesy byly využívány spíše okrajově; z nich se nejčastěji vyskytoval Ctrl (34x), zatímco Alt (13x) a Shift (4x) byly používány pouze sporadicky. Celkově tak lze konstatovat, že uživatelé pracovali převážně pomocí běžných operací s myší doplněných jednoduchým zadáváním dat z klávesnice, bez rozsáhlejšího využívání pokročilých kombinací kláves.

Jako doplňková forma exploratorní analýzy byla v nástroji MapLogger Analyser vytvořena také agregovaná heatmapa interakcí – **obrázek 16**. Ta vizualizuje prostorovou distribuci všech zaznamenaných vstupů na základě souřadnic (x, y) vzhledem k aktuální velikosti zobrazovací plochy (viewport_w, viewport_h). Pro daný experiment bylo agregováno celkem 12 762 interakčních bodů při rozlišení 1920 × 896 px.

Heatmapa ukazuje výraznou koncentraci interakcí ve třech hlavních oblastech: (1) horní navigační liště s přepínači typů vizualizací, (2) pravém postranním panelu obsahujícím parametry

symbolizace a nastavení vizualizace a (3) samotném mapovém poli. Nejvyšší hustota bodů je patrná právě u ovládacích prvků rozhraní, zejména u tlačítek výběru vizualizace a posuvníků parametrů (např. barvy, průhlednosti či velikosti symbolů), což odpovídá charakteru experimentálních úloh zaměřených na změny konfigurace zobrazení. Naopak samotná mapová plocha vykazuje plošnější a difuznější rozložení interakcí, typické pro navigační operace (posuny, zoomování).

Výsledky tak potvrzují, že interakční aktivita participantů se soustředila především na prvky uživatelského rozhraní, zatímco práce s mapou probíhala spíše kontinuálně a méně lokálně koncentrovaně. Heatmapa proto slouží především jako vizuální doplněk k předchozím kvantitativním analýzám a ilustruje prostorový kontext zaznamenaných interakcí.



Obrázek 16 Heatmapa s agregovanými interakcemi ve statickém obrázku.

Souhrnně lze konstatovat, že logovaná interakční data poskytla detailní a objektivní přehled o způsobu práce participantů s testovanou aplikací na úrovni četnosti, časového průběhu, typu vstupů i jejich prostorové distribuce. Výsledky konzistentně ukazují dominanci standardních operací myši (kliknutí a zoomování kolečkem), relativně stabilní interakční strategie napříč úlohami a výrazný vliv efektu učení, kdy se s postupem času snižuje potřeba explorativních a korekčních akcí. Rozdíly mezi úlohami se projevují především v celkovém objemu a délce interakcí, zatímco samotný způsob ovládní rozhraní zůstává obdobný. Logy tak představují spolehlivý zdroj behaviorálních dat, které umožňují kvantifikovat efektivitu práce, identifikovat individuální strategie řešení a doplnit subjektivní i perceptuální metody hodnocení použitelnosti. V kontextu této disertační práce proto slouží jako důležitý podklad pro následnou triangulaci s eye-trackingovými metrikami a dalšími indikátory uživatelského chování.

6.4 KVALITATIVNÍ INSPEKCE EYE-TRACKING ZÁZNAMŮ

Kvalitativní analýza eye-trackingových záznamů byla provedena formou retrospektivní vizuální inspekce individuálních videozáznamů se zobrazenými očními pohyby participantů. Cílem této části nebyla kvantifikace vizuální pozornosti prostřednictvím standardních metrik (např. počet

fixací či jejich trvání), ale porozumění strategiím řešení úloh, způsobům práce s rozhraním a identifikace opakujících se bariér při interakci s aplikací.

Tento přístup umožňuje zachytit jevy, které se obtížně popisují čistě numericky, zejména sekvence kroků při hledání funkcí a objektů, váhání při volbě nástroje, přepínání mezi prvky rozhraní a mapovým oknem, nebo momenty nejistoty a dezorientace v 3D scéně. Výstupy vizuální inspekce tak poskytují interpretační kontext k výsledkům z dotazníků a logovaných interakcí a pomáhají vysvětlit, proč se v datech objevují určité vzorce chování a rozdíly v úspěšnosti napříč úlohami.

Kvalitativní vizuální inspekce tedy slouží jako propojující vrstva mezi kvantitativními indikátory a pozorovaným uživatelským chováním a doplňuje celkový obraz použitelnosti testované aplikace.

6.4.1 ÚLOHA 1 – VOLNÁ EXPLORACE

Tato úloha byla koncipována jako úvodní explorativní fáze bez časového limitu, jejímž cílem bylo umožnit participantům volně si prohlédnout aplikaci, pochopit základní principy ovládání a vytvořit si prvotní představu o tom, jaké možnosti systém nabízí. Zadání úlohy výslovně směřovalo k seznámení se s rozhraním a s orientací v něm. Vzhledem k tomu, že aplikace je tvořena samostatnými metodami jako podstránkami a přepínání metod je realizováno v pravé horní části, představovala tato úloha přirozenou příležitost zachytit spontánní strategie prvního kontaktu s více-metodovou 3D geovizualizací a identifikovat prvky rozhraní, které jsou intuitivně nalezitelné, případně naopak přehlížené.

Kvalitativní inspekce eye-tracking videozáznamů ukázala, že volná explorace měla nejčastěji podobu rychlého prozkoumávání hlavních částí UI a následného experimentování s navigací a s parametry zobrazení. V prvních desítkách sekund se typicky střídala vizuální pozornost mezi mapovým oknem (dominantní plocha), pravým bočním panelem (parametrizace symbologie) a horní lištou s menu (přepínání metod). Tato trajektorie odpovídá samotné konstrukci rozhraní, tedy mapové okno slouží jako primární pracovní prostor, zatímco pravý panel je deklarován jako nástroj pro interaktivní úpravu znakového klíče v reálném čase; dostupné grafické proměnné se přitom mění podle zvolené metody. V praxi se však ukázalo, že míra vizuální přitažlivosti jednotlivých ovládacích prvků nebyla vyvážená. Část participantů se výrazně soustředila na pravý panel a mapové okno, zatímco prvky v menu pro přepínání metod v horní části byly při volné exploraci často přehlédnuty nebo využity jen minimálně.

V explorativní fázi se u části participantů projevil systematický přístup. Participant nejprve vizuálně zmapovali rozhraní, krátce si vyzkoušeli základní navigační nástroje jako zoom či manipulaci s mapou a teprve až po seznámení se začali měnit parametry vizualizace. Jiní naopak vstupovali do interakce s mapou okamžitě, typicky opakovaným zoomováním, pohybem v mapě a rotací s vizualizací, a teprve až pak se vraceli k průzkumu prvků v UI. Důležitým zjištěním je, že explorace nebyla vždy rovnou zaměřena na logiku aplikace (tj. srovnávání metod), ale často na dílčí funkce, které zaujaly pozornost participantů jako první (např. seznam podkladových map nebo paleta barev). Tento posun od cíle aplikace k lokálně atraktivním ovládacím prvkům naznačuje, že v úvodní fázi uživatelé teprve hledají správnou pozici, kde lze se systémem smysluplně pracovat, a jejich pozornost je proto citlivá na různé rušivé či nadbytečné možnosti.

Z hlediska navigace se opakovaně objevoval úkaz detailního přibližování se až na úroveň obcí či lokálních detailů, který však není pro interpretaci zobrazovaného jevu ve vizualizaci účelný.

Tento vzorec je důležitý v tom, že odvádí pozornost od tematického sdělení a může zvyšovat časové i kognitivní nároky (uživatel řeší navigační problémy namísto interpretace vizualizace). Návrhem pro řešení tohoto problému je uvažovat o omezení zoomu, aby se předešlo zbytečnému přibližování se do detailního měřítka. Analogicky se u části participantů objevovalo neobvyklé a prudké rotování s glóblem, včetně situací, kdy se pohled přesunul mimo oblast, kde se vizualizace vyskytovala. I z tohoto důvodu je doporučováno uvažovat o prostorových omezeních manipulace, aby nebylo možné scénu snadno posunout do poloh, které neobsahují relevantní tematický obsah.

Charakteristickým rysem volné explorační byla snaha si vyzkoušet, co se v mapě mění při úpravě jednotlivých parametrů. Částa byla manipulace s barevným schématem a v menší míře také práce s nastavováním průhlednosti či výšky vizualizace. To je konzistentní s tím, že pravý boční panel je navržen jako hlavní prostředek pro interaktivní úpravu znakového klíče a dostupné proměnné se mění dle metody. V explorativním režimu však část participantů volila extrémní nebo absurdní hodnoty parametrů, což však lze interpretovat jako přirozený důsledek zkoušení bez jakékoliv opory toho, jaké hodnoty lze brát jako standardní. Tohle však nabádá k zapracování návrhu pro vylepšení aplikace z hlediska doporučení či omezení rozsahů hodnot. Současně pak zavést určitá omezení nebo vodítka, aby metoda pokus omyl nevedla k atypickým stavům vizualizace.

Specifickým dílčím problémem (pozorovaným právě v úvodní exploraci) byla interpretace a aplikace změn barev. Ačkoli systém je obecně koncipován tak, že změny parametrů se promítají okamžitě, část participantů při práci s dialogem pro výběr barev předpokládala, že zavřením okna (křížkem) potvrzují změnu, avšak ve skutečnosti bylo nutné explicitně použít tlačítko „OK“. Tento rozdíl mezi očekáváním a skutečným mechanismem vedl k opakovaným pokusům a zbytečným návratům k volbě barev, což bylo častým zdrojem nedorozumění a lze to označit jako potenciální UX slabinu.

Během volné explorační řada participantů ověřovala význam hodnot přímo interakcí s tematickými prvky (klikáním na vizualizaci). V obecnější rovině přitom platí, že značná část participantů preferovala zjišťování hodnot „pohledem shora“ (jako v 2D) a hodnoty dohledávala klikáním do mapy, případně využitím legendy. Méně často tedy byl využíván potenciál 3D pohledu (tzn. naklonění scény a odečítání rozdílů ve výšce/ose Z).

Z hlediska odklonění se od hlavního cíle aplikace je významné chování spojené se seznamem podkladových map. Přibližně u poloviny participantů došlo k tomu, že jakmile participant objevil přepínač podkladových map, často věnoval relativně dlouhý čas výběru a porovnávání podkladů, a to i přesto, že podklad není pro samotnou demonstraci 3D tematických metod klíčový. Jedná se tedy o část explorativní fáze, která byla zbytečně časově náročná a hlavně neodpovídající účelu aplikace. Lze také explicitně poukázat na fakt, že seznam podkladových map je nadbytečně rozsáhlý a stojí tedy za pravděpodobnou příčinou odtahení pozornosti.

Jeden z nejdůležitějších výstupů úlohy 1 se týká toho, zda a jak participantů přirozeně objevovali přepínání metod v horním menu. Aplikace je navržena tak, že jednotlivé metody jsou dostupné jako samostatné podstránky a přepínání je umístěno v pravé horní části. Přesto se ukazuje, že v explorativní fázi mnoho participantů žádnou další metodu aktivně nevyhledalo a zůstalo u výchozí stránky/metody. Část participantů si při exploraci prohlédla jen omezený počet prvků a metody vizualizace často neprocházela – k zobrazení jiných metod vizualizace tedy byla přinucena až v dalších úlohách, kde bylo přepnutí na jiné metody přímo vyžadováno zadáním.

Přepínání metod vizualizace během explorativní úlohy bylo zjištěno zhruba u dvou pětina účastníků. Lze přitom rozlišit dva základní režimy: (i) prostá explorace, kdy účastník si pouze krátce prohlédl jinou metodu a pokračoval dále, a (ii) systematictější průchod, motivovaný snahou pochopit rozdíly v typech zobrazení. To, že většina účastníků přepínání metod v této fázi nevyužila, je významné z hlediska konstrukce rozhraní. To znamená, že menu pro přepínání metod zjevně nemělo v úvodní fázi dostatečnou vizuální dominanci ve srovnání s mapovým oknem a pravým panelem, který přitahoval pozornost velmi silně.

Volná explorace ukázala, že první kontakt s aplikací je charakterizován rychlým střídáním pozornosti mezi mapovým oknem a prvky UI. Současně se v této fázi výrazně projeví typické obtíže 3D geovizualizací, tedy nadměrné zoomování do přílišného detailu, dezorientace při rotaci glóbu a tendence interpretovat 3D obsah formou 2D strategií (pohled shora, klikání na prvky, práce s legendou). V neposlední řadě tato úloha odhalila nerovnoměrnou nalezitelnost klíčových funkcí ve srovnání s vysoce atraktivními, avšak pro účel aplikace sekundárními prvky (jako je rozsáhlý seznam podkladových map). Tato zjištění také vytvářejí důležitý kontext pro interpretaci následujících úloh, v nichž již bylo chování účastníků částečně usměrňováno konkrétním cílem (vyhledání metody, zjištění hodnoty, úprava konkrétní proměnné) a kde se proto některé problémy objevují v jiné podobě nebo s odlišnou intenzitou.

6.4.2 ÚLOHA 2 – ZJISTIT NEJVYŠŠÍ HODNOTU

Druhá úloha měla již cílený charakter a ověřovala, zda jsou účastníci schopni dohledat konkrétní vizualizační metodu v rozhraní a na jejím základě identifikovat extrémní (nejvyšší) hodnotu. Stejně jako u ostatních úloh bylo zadání po celou dobu plnění dostupné ve vrchní liště, takže se k němu účastníci mohli opakovaně vracet. Z hlediska rozhraní je pro tuto úlohu podstatné, že aplikace nabízí nástroje pro přiblížení/oddálení, pohyb a rotaci scény, návrat do výchozího pohledu, změnu podkladové mapy a zobrazení legendy; klíčovým prvkem je pravý boční panel umožňující průběžnou úpravu grafických proměnných v reálném čase, přičemž dostupné volby se mění podle zvolené metody.

Z hlediska úspěšnosti se tato úloha ukázala jako relativně dobře zvládnutelná. Většina účastníků dospěla k řešení, přesto se však objevilo několik typických situací, v nichž účastníci buď nedokončili postup k určení maxima, nebo zvolili nefunkční strategii. V těchto případech se opakovaly zejména (a) obtíže s nalezením menu pro přepínání metod/vizualizací, (b) dezorientace při práci ve 3D scéně a (c) nejasnost, jakým způsobem přesně extrahovat hledanou hodnotu z vizualizace.

První krok úlohy – nalezení metody *Point Cloud* – byl u značné části účastníků proveden rychle a bez zjevného váhání, nicméně u menší části se ukázalo, že orientace v dostupných prvcích UI není při prvním kontaktu samozřejmá. Konkrétně se objevilo chování, kdy účastníci nejprve otevírali seznam podkladových map a hledali *Point Cloud* v tomto menu, tedy v komponentě, která k přepínání vizualizačních metod neslouží. Tento jev koresponduje i s obecnějším pozorováním, že jakmile uživatelé seznam podkladových map objevili, měli tendenci v něm trávit nepřiměřeně dlouhou dobu a provádět pro účel testované aplikace zbytečné volby. V kontextu této úlohy to v praxi znamenalo prodlevu před samotnou prací s vizualizací a v některých případech i zvýšené projevy hledání metodou pokus omyl.

Po úspěšném přepnutí na *Point Cloud* se účastníci lišili zejména ve způsobu, jakým dospěli k určení maxima. Samotná metoda *Point Cloud* je diskrétní vizualizace, kde každý bod nese

hodnotu prostřednictvím prostorových souřadnic (včetně osy Z) a kde lze dynamicky upravovat například velikost pro podporu vizuální analýzy. Z hlediska pozorovaných strategií se však ukázalo, že potenciál třetí dimenze (osa Z) nebyl ve většině případů využíván jako primární vodítko. Naopak dominovala strategie „2D čtení shora“, kdy participanti vizuálně vyhledávali nejvýrazněji odlišené symboly (typicky nejvyšší hodnoty), následně se na ně zaměřovali a často volili klikání do mapy za účelem zjištění konkrétní hodnoty ve vyskakovacím okně. V kombinaci s interakčními logy je přitom konzistentní, že distribuce interakcí je kompaktnější a posunutá blíže k vrcholu „click“, což naznačuje jednotnější, procedurální způsob práce zaměřený na zjišťování hodnot prostřednictvím klikání do vizualizace.

Vedle „klikací“ strategie se opakovaně objevoval i postup založený na legendě. Část participantů po přepnutí na *Point Cloud* cíleně otevřela legendu a hledanou nejvyšší hodnotu vyčetla přímo z ní, bez nutnosti selektovat jednotlivé body v mapě. Z hlediska použitelnosti lze tento postup interpretovat dvojím způsobem: na jedné straně jde o efektivní řešení s minimem kroků, na druhé straně může takové chování signalizovat, že vizualizace samotná není pro část uživatelů dostatečně jednoznačná pro extrakci hodnot. Současně je důležité připomenout, že legenda je v rozhraní dostupná jako samostatný ovládací prvek, a její dohledatelnost tak přímo ovlivňuje pravděpodobnost této strategie.

Za „nejvhodnější“ (v tom smyslu, že nejlépe odpovídá principu 3D vizualizace) lze považovat strategii, kdy uživatel nakloní scénu a identifikuje nejvyšší hodnoty primárně podle výškové osy Z, přičemž barevné odlišení symbolů slouží spíše jako podpůrná orientační informace. V pozorovaných datech se tento postup objevil, ale spíše výjimečně. Tam, kde byl využit, býval účinný: participanti po otočení scény „zboku“ dokázali rychleji zúžit výběr kandidátních bodů (nejvýše položených) a teprve následně případně ověřit konkrétní hodnotu. Zároveň se ukázalo, že rotace může být pro část uživatelů kognitivně i motoricky náročná: v ojedinělých případech vedla aktivace rotace k dezorientaci (uživatel se dostal mimo relevantní oblast, případně nechtěně rotoval místo posunu), což plnění úlohy prodloužilo nebo znemožnilo. Tento typ potíží zapadá do širšího obrazu nejasností spojených s orientací v 3D prostředí a nejistotou ohledně toho, které parametry mění jaké aspekty zobrazení.

Specifickou roli v této úloze sehrával pravý boční panel. U části participantů bylo patrné, že po přepnutí na *Point Cloud* nejprve zkoušeli, zda lze extrémní hodnoty zvýraznit úpravou grafických proměnných (např. změnou barev, průhlednosti či tvaru). V některých případech tato explorace vedla k pragmatickému zjednodušení úlohy (např. zvýraznění nejvyšších hodnot kontrastnější barvou), jindy naopak k váhání a sérii změn bez jasné vazby na cíl úlohy. Z hlediska návrhu rozhraní je důležité, že boční panel aplikuje změny okamžitě a bez potvrzování; to sice podporuje rychlou exploraci, ale současně může usnadnit zadávání absurdních parametrů a zvýšit riziko, že se uživatel soustředí na manipulaci nastavení spíše než na interpretaci hodnot (zejména pokud si není jistý očekávaným postupem).

Shrnutím pozorovaných vzorců tato úloha typicky vedla k relativně jednotné sekvenci kroků: přepnutí na požadovanou metodu, identifikace vizuálně nejvýraznějších kandidátů (tj. nejtmavších), a následné ověřování konkrétní hodnoty buď klikáním na prvky v mapě, nebo odečtením z legendy. Strategie ve 3D založená na práci s osou Z se objevovala méně často, přestože je z hlediska charakteru vizualizace považovatelná za nejpřímější. Pro interpretaci použitelnosti aplikace je podstatné, že rozdíly mezi participanty zde nevznikaly ani tak v tom, zda úlohu dokážou dokončit, ale spíše v efektivitě a jistotě zvoleného postupu: u části participantů

byla patrná plynulá, procedurální práce, zatímco u menší části se objevovaly projevy nejistoty při volbě správného prvku rozhraní či při orientaci ve 3D scéně.

6.4.3 ÚLOHA 3 – ZMĚNIT TVAR A VELIKOST SYMBOLŮ

Třetí úloha byla koncipována jako cílená manipulační operace se znakovým klíčem. Participanti měli přepnout na vizualizaci *3D Graduated Symbols*, změnit tvar symbolů a následně upravit i jejich průměr (velikost). Z hlediska kartografických proměnných jde o práci se dvěma základními retinálními proměnnými – tvarem a velikostí – které jsou v tematické kartografii klíčové pro rozlišování a kódování informace v mapě (Bertin, 1967).

Z hlediska pozorovaného vizuálního chování měla úloha ve srovnání s analyticky orientovanými úlohami (např. hledání extrémů či výpočty rozdílů) převážně procedurální charakter. Tato úloha tedy představuje rutinní manipulaci bez nutnosti hlubší interpretace dat a v důsledku toho dosahuje nízkých hodnot metrik času i interakcí.

Typický postup participantů byl relativně stabilní. Po přečtení zadání následoval rychlý vizuální přesun do horního menu, kde je dostupné přepínání mezi metodami (podstránkami). Po přepnutí na *3D Graduated Symbols* se pozornost výrazně koncentrovala na pravý boční panel, který v aplikaci slouží pro interaktivní úpravu znakového klíče v reálném čase. Úpravy se tedy aplikují okamžitě a bez potřeby dalšího potvrzení. Ve videozáznamech se tak opakovaně objevovala pravidelnost ve smyslu „UI → mapa → UI“. Participant tedy fixoval zrak na popisky a ovládací prvky (volba tvaru, zadání hodnoty), provedl změnu a následně krátkými kontrolními fixacemi ověřoval efekt přímo v mapovém okně. Tento způsob práce odpovídá charakteru rozhraní s okamžitou vizuální odezvou, kde uživatel snadno přechází do režimu iterativního ladění parametrů.

Ve srovnání s ostatními úlohami se u této úlohy častěji projevovalo využívání klávesových vstupů, což odpovídá potřebě zadávat nebo upravovat číselné hodnoty parametrů přímo v panelu. To potvrzují i výsledky logovaných interakcí, kdy je zřejmý větší rozptyl směrem k oblasti *keydown*, tedy zvýšená role klávesových vstupů při úpravě parametrů symbolů. Z pohledu eye-tracking dat se tento jev typicky projevovat delšími fixacemi na číselném vstupu a následnými rychlými sakádami do mapy za účelem vizuální validace změny.

Pokud jde o úspěšnost, úloha byla pro většinu participantů zvládnutelná. Z celkového vzorku 54 participantů bylo 46 řešení vyhodnoceno jako úspěšně vyřešené, šest jako částečně vyřešené a dva jako nevyřešené. Neúspěšné případy byly specifické tím, že participanti úlohu fakticky neřešili (po přečtení zadání neprovedli žádnou relevantní akci a úlohu ukončili). Částečná řešení byla naopak typicky dána neprovedením jedné ze dvou požadovaných změn – buď došlo ke změně průměru bez změny tvaru, nebo naopak ke změně tvaru bez korektní úpravy velikosti.

Nejvýraznějším kvalitativním problémem, který se v této úloze opakovaně ukazoval, byla interpretace parametru průměru/velikosti v uživatelském rozhraní. V několika případech participanti váhali, který z nabízených parametrů odpovídá průměru (*diameter*), případně zkoušeli alternativní parametry (např. *extrusion*) a hledali vizuální shodu se zadáním. Tento jev tak lze přisuzovat jazykové bariéře, protože aplikace je lokalizována do angličtiny, kdežto zadání úlohy bylo napsáno česky.

Celkově lze tuto úlohu interpretovat jako jakýsi stabilizační moment v průběhu testování – po úvodní exploraci a po cíleném hledání hodnoty se participant přesouvá do režimu ovládání a parametrického ladění, kde dominují fixace na pravém panelu a krátké kontrolní fixace v mapě.

Přestože je úloha procedurální a pro většinu uživatelů relativně přímočará, ukazuje citlivé místo rozhraní v oblasti sémantiky parametrů (zejména *diameter*), které se projevuje váháním a chybovou explorací, a tedy i potenciálním navýšením kognitivní zátěže u části participantů.

6.4.4 ÚLOHA 4 – ZJISTIT ROZDÍL MEZI DVĚMA HODNOTAMI

Čtvrtá úloha byla formulována jako cílená analytická úloha, v níž měli participantů přepnout na vizualizaci *Voxels* a určit rozdíl mezi minimální a maximální hodnotou teploty. Zadání tedy kombinovalo navigační krok (volba správné metody vizualizace) a extrakci dvou hraničních hodnot s následným aritmetickým zpracováním (výpočet rozdílu). Z hlediska povahy úkolu je podstatné, že výběr vizualizace *Voxels* pracuje s 3D bloky (voxely) různé výšky a současně s barevným kódováním.

V průběhu řešení bylo opakovaně patrné, že první fáze úlohy byla u části participantů ovlivněna technickým aspektem vykreslení. Vizualizace *Voxels* se podle pozorování načítala a vykreslovala nejdéle a doba načítání byla mezi participanty proměnlivá. V eye-tracking záznamech se to projevovalo krátkými epizodami vyčkávání (omezenou vizuální aktivitou v mapovém okně) a současně častějším přesměrováním pozornosti do prvků UI mimo mapu (zejména do lišty úkolů, menu metod a pravého panelu), případně opakovanými pokusy o kliknutí do mapy v očekávání odezvy systému. Tento průběh je konzistentní i s tím, že v odpovědích v dotazníku se mezi obtížemi objevovaly situace typu „snaha klikat na neexistující voxel“ a obecně obtíže s dohledáním hodnot ve vizualizacích.

Z hlediska úspěšnosti byla tato úloha řešitelná pro většinu účastníků. Z celkových 54 participantů byla úloha plně vyřešena u 42 z nich (77,8 %), částečně vyřešena u šesti osob (11,1 %) a také nevyřešena u šesti osob (11,1 %). K neúspěchu typicky vedla jedna ze dvou situací, a to, že participantů identifikovali pouze jednu z hraničních hodnot, a tedy rozdíl nespočítali, nebo po delším váhání úlohu přeskočili bez pokusu o dokončení.

Na základě kvalitativní analýzy vizuálního chování bylo identifikováno několik opakujících se strategií. První, a z hlediska efektivity nejpřímochařejší, spočívala ve využití legendy jako zdroje hraničních hodnot. To tedy znamená, že část participantů dohledala minimum a maximum přímo v legendě a bez nutnosti detailní práce s mapovým polem provedla pouze výpočet rozdílu. Spousta participantů tak zjistila hraniční hodnoty pouze za pomoci legendy bez použití vizualizace. Prakticky to znamená, že úloha u této skupiny testovala primárně dohledatelnost a srozumitelnost legendy, nikoli schopnost číst extrémy z prostorového rozložení voxelů.

Druhá strategie byla více mapově orientovaná a vycházela z vizuálního vyhledávání extrémů v mapovém okně. Participantů skenovali scénu a snažili se identifikovat nejnižší a nejvyšší voxel podle výšky (osa z) a barevného odstínu. V řadě případů pak následovaly pokusy o potvrzení hodnot klikáním do vizualizace.

Třetí, méně častá strategie spočívala v experimentování s parametry zobrazení (zejména barevné schéma či jiné vizuální nastavení) s cílem zvýraznit extrémy a usnadnit odečet. Tento postup byl typický spíše pro participanty, kteří si nebyli jisti, zda se mají spoléhat na legendu, nebo kteří se snažili si vynutit jednoznačnější vizuální vodítko.

Protože významná část participantů došla k řešení čistě přes legendu, úloha v tomto nastavení jen omezeně ověřuje, zda *Voxels* jako metoda podporuje porozumění distribuci hodnot v prostoru. Spíše se tedy testuje, zda je uživatel schopen rychle najít a správně interpretovat podpůrné prvky rozhraní (zejména legendu a způsob získání minima a maxima). V návaznosti na

odpovědi z dotazníku je proto relevantní i otázka viditelnosti a postřehnutelnosti legendy (např. malá ikona), protože tyto detaily mohou přímo ovlivňovat volbu strategie a tím i úspěšnost úloh tohoto typu.

6.4.5 ÚLOHA 5 – UPRAVIT BARVY U PREFEROVANÉ VIZUALIACE

Pátá úloha byla koncipována odlišně od předchozích analyticky orientovaných zadání. Participantům bylo zadáno, aby si vybrali vizualizaci, která se jim líbí nejvíce, a následně upravili její barevné schéma tak, aby se jim výsledný vzhled vizuálně líbil ještě více. Smyslem úlohy tak nebylo ověřovat „správnost“ interpretace dat, ale zachytit proces volby preferované metody a způsob, jakým uživatelé využívají možnost parametrického přizpůsobení symbologie. Zadání současně přímo navazuje na koncept aplikace, kde se mezi metodami přepíná prostřednictvím menu a klíčové úpravy vizuálních proměnných se provádějí v pravém bočním panelu. Jakékoliv úpravy jsou průběžně vizualizovány rovnou v mapě.

Z hlediska pozorovaného vizuálního chování a strategie práce šlo typicky o deliberativní úlohu s otevřeným rozhodovacím prostorem. Jinými slovy, delší čas věnovaný úloze zde nelze interpretovat jako projev nepochopení ovládnání, ale spíše jako důsledek hodnotícího a esteticky motivovaného rozhodování (tj. vizuálního posuzování alternativ a průběžného doladování výsledku). Tento charakter úlohy odpovídá i obecně popsanému vztahu mezi povahou kreativního zadání, deliberací a dobou řešení v rámci experimentu. Většina participantů současně volbu preferované vizualizace pojala poctivě v tom smyslu, že se před finálním výběrem vraceli k metodám a porovnávali je.

Z hlediska preference vizualizačních metod, výsledky neukazují na jednoho dominantního vítěze, ale na vyrovnanou trojici metod: *Point Cloud*, *Voxels* a *Horizontal Planes* byly zvoleny shodně u 10 participantů (každá 18,5 %). Následoval *Prism Map* (7; 13,0 %), dále *3D Surface* (6; 11,1 %) a poté *3D Graduated Symbols* a *Vertical Planes* (shodně 5; 9,3 %). Jeden participant volbu v rámci úlohy nedokončil (1; 1,9 %). V kontextu aplikace to lze chápat jako empirickou oporu pro závěr, že uživatele přitahuje spíše možnost volby mezi více alternativami než jeden univerzálně preferovaný styl, což je v souladu i s odpověďmi z dotazníku, kde respondenti oceňovali právě variabilitu metod a stylů zobrazení, a současně možnost personalizace barev a symbologie.

Pokud jde o interpretaci možných důvodů preferencí, je vhodné postupovat opatrně. Samotná úloha je definována jako subjektivní výběr nejlíbivější vizualizace a její estetické doladění, a proto se preference pravděpodobně odvíjely od kombinace (i) vnímané vizuální atraktivity, (ii) subjektivního dojmu jednoduchosti a (iii) toho, jak dobře šla daná metoda doladovat parametry v bočním panelu. Tyto interpretace jsou konzistentní s tím, že v otevřených odpovědích participantů relativně často vyzdvihovali jak variabilitu vizualizačních přístupů, tak personalizaci barevného vyjádření.

V průběhu úlohy se však ukázalo několik opakujících se bariér, které mohly výsledek ovlivňovat. Zaprvé se jako problematická jevila výkonnostní stránka u vizualizace *Voxels*. Z pozorování vyplynulo, že právě tato metoda se načítala a vykreslovala nejdéle, přičemž doba načítání byla proměnlivá mezi participanty. Zároveň je z dotazníků patrné, že téma rychlosti a plynulosti bylo napříč odpověďmi dominantní. Zadruhé se u úprav barev opakovaně objevila nejasnost v dialogu pro výběr barvy – někteří participantů viděli průběžnou změnu v mapě, avšak po zavření dialogu (křížkem) předpokládali, že volba bude potvrzena, zatímco aplikace vyžadovala explicitní potvrzení tlačítkem „OK“. Tento prvek rozhraní tak vytvářel riziko, že uživatelé vnímají změnu

jako provedenou, ale ve skutečnosti k uložení nedojde. Zatřetí bylo zaznamenáno i experimentování s absurdními hodnotami parametrů, což ukazuje na potřebu vhodných omezení rozsahů, případně doporučených hodnot přímo v UI.

Úspěšnost úlohy byla celkově vysoká. Úlohu plně dokončilo 46 participantů (85,2 %) a částečně sedm participantů (13,0 %); u jednoho participanta došlo k předčasnému ukončení bez vyhodnotitelného výsledku (1,9 %). Tento obraz je v souladu s tím, že pátá úloha není primárně obtížná ve smyslu procedurálního ovládnání, ale spíše otevřená a deliberativní. Zároveň však výše uvedené bariéry (zejména potvrzování změn v dialogu s barvami a výkonnostní limity některých metod) představují konkrétní zdroje zbytečné nejistoty, které mohou ovlivnit nejen subjektivní dojem z práce s aplikací, ale i to, jaké vizualizace budou ve výsledku preferovány.

6.4.6 ÚSPĚŠNOST ŘEŠENÍ ÚLOH

Úspěšnost řešení byla v této případové studii posuzována retrospektivně na základě kvalitativní vizuální inspekce individuálních eye-tracking videozáznamů se zobrazenými očními pohyby. Cílem bylo zachytit strategie řešení, identifikovat momenty nejistoty a vysvětlit, proč se u části participantů objevovalo selhání či pouze částečné dokončení úlohy.

Souhrnně lze konstatovat, že nejvyšší míru plného dokončení vykazala úloha 2 (procedurální vyhledání maximální hodnoty ve vizualizaci *Point Cloud*), zatímco relativně nejslabší byla úloha 4 (analytický rozdíl minima a maxima ve vizualizaci *Voxels*). Úlohy 3 a 5 dosahovaly vysoké úspěšnosti, avšak častěji se zde objevovalo „částečné“ splnění, typicky v důsledku dílčího interakčního nedorozumění nebo nedotažení posledního kroku.

Rozdíly v úspěšnosti jsou v první řadě konzistentní s kognitivní povahou zadání. Úloha 2 byla pro většinu participantů relativně přímočará. Ta vyžadovala nalezení konkrétní vizualizace a odečtení jedné cílové hodnoty, tedy převážně procedurální postup s omezeným prostorem pro alternativní strategie. Naproti tomu úloha 4 kombinovala více nároků současně: (i) orientaci v 3D prostředí, (ii) dohledání minimální a maximální hodnoty (typicky přes legendu či jiné podpůrné prvky) a (iii) mentální výpočet rozdílu. V kontextu odpovědí z dotazníku se navíc právě u analytických úloh opakovaně objevuje motiv obtížné dohledatelnosti hodnot a nejistoty ohledně postupu, což je mechanismus, který se logicky promítá do vyšší míry neúspěchu či pouze částečného splnění.

Vedle kognitivní náročnosti hrály roli i praktické bariéry rozhraní a výkonu. Vizualizace *Voxels* se načítala a vykreslovala nejdéle, přičemž doba načítání byla mezi participanty proměnlivá; to je relevantní právě pro úlohu 4, která je na *Voxels* přímo navázána. Obecně se téma rychlosti/plynulosti práce vyskytovalo mezi nejčastějšími návrhy na zlepšení a lze je chápat jako průřezový faktor, který zvyšuje váhání a může přispívat k předčasnému ukončení řešení u části participantů.

U úlohy 3 (změna tvaru a průměru symbolů) se jako dílčí zdroj částečného splnění ukázala především srozumitelnost parametrů, zejména jazyková bariéra (např. interpretace parametru *diameter*), která vedla k tomu, že část participantů upravila jiný parametr, než zadání vyžadovalo. U úlohy 5 (úprava barev) byl obdobně typický spíše interakční než kognitivní problém. Zde někteří participanté sice viděli změnu barev v mapě, avšak po zavření dialogu křížkem předpokládali, že volba je potvrzena, zatímco aplikace vyžadovala explicitní potvrzení tlačítkem „OK“ – výsledkem pak bylo hodnocení jako částečné splnění, případně nedokončení při předčasném ukončení úlohy.

Z metodologického hlediska je vhodné zdůraznit, že dosažená úspěšnost byla pravděpodobně podpořena tím, že zadání jednotlivých úloh bylo po celou dobu plnění dostupné ve vrchní liště, takže si jej participantů mohli opakovaně číst (což snižuje paměťovou zátěž a riziko selhání). Z inspekce videí bylo zřejmé, že řada participantů se k zadání vracela a bez této opory by úspěšnost pravděpodobně klesla. Současně byly úlohy prezentovány ve fixním pořadí bez randomizace, což znamená, že úspěšnost u pozdějších úloh již částečně odráží naučení se s rozhraním v průběhu experimentu.

7. NÁVRHY KE ZLEPŠENÍ POUŽITELNOSTI APLIKACE

Následující návrhy vycházejí primárně z otevřených odpovědí participantů k tomu, co by „zasloužilo zlepšení“ a z retrospektivní kvalitativní inspekce eye-tracking videozáznamů. Vzhledem k tomu, že dominantní bariéry byly konzistentní napříč datovými zdroji, jsou návrhy formulovány tak, aby řešily několik málo klíčových příčin, nikoli jako rozšiřování funkcionality.

Nejvyšší prioritu má zvýšení plynulosti a odezvy systému. V otevřené otázce na zlepšení se výkonové aspekty (rychlost načítání, plynulost, odezva, optimalizace) objevily jako jednoznačně dominantní téma – 25 z 35 odpovědí (71,4 %) explicitně zmiňovalo dlouhé načítání, lagování nebo pomalé přepínání metod a renderování obsahu. Tento signál je navíc konzistentní i s výsledky z UEQ, kde se rychlost řadila mezi nejvíce negativně hodnocené položky. Z pohledu videí se výkonový problém nejviditelněji projevoval u metody *Voxels*, která se dle pozorování načítala a vykreslovala nejdéle a doba načítání byla proměnlivá mezi participanty. Z hlediska zlepšení použitelnosti je zde zásadní nejen samotná optimalizace, ale i ošetření prodlev pro uživatele. Tedy pokud je renderování náročné, má aplikace uživatele jasně informovat, že probíhá načítání (jaký je stav), dočasně zamezit neproduktivnímu klikání (např. deaktivovat některé interakce během přepínání metody) a ideálně doplnit predikovatelnou odezvu při přepínání metod. V okamžiku nejistoty roste počet korekčních akcí a zvyšuje subjektivní frustraci a zhoršuje výslednou UX i v případě, že uživatel nakonec úlohu dokončí.

Druhý návrhový okruh míří na zacílení interakce v prostoru a prevenci dezorientace. Z pozorování videí vyplývá, že mnoho participantů se při práci v mapě přibližovalo příliš detailně (až na úroveň obcí), což není účelem aplikace, a část participantů zároveň nepříjemně rotovala s glóblem do poloh, kde nebyla vizualizace relevantně čitelná. Z toho plyne relativně přímočaré doporučení, a tedy zavést omezení rozsahu zoomu (min/max) a smysluplná prostorová omezení manipulace se scénou (např. mantinely, aby se uživatel snadno nedostal mimo tematicky relevantní oblast). Smyslem není omezovat exploraci, ale zabránit stavu, kdy uživatel řeší primárně navigaci a návrat zpět k obsahu. Do stejného rámce zapadá i podnět k mapovému kontextu a rozsahu zobrazení (např. Evropa versus „celá zeměkoule“), který se v odpovědích objevuje opakovaně; zde lze uvažovat o výchozím nastavení scény a o rychlých návratových stavech, které odpovídají účelu demonstrace metod na konkrétním datovém setu.

Třetí okruh zlepšení se týká informační architektury a vizuální hierarchie ovládacích prvků. Aplikace je postavena tak, že každá metoda je samostatná podstránka a přepínání metod je v pravé horní části, kde je současně dostupná i nápověda. Z videozáznamů však vyplývá, že během explorativní fáze mnoho participantů neprošlo nabízené metody a k přepínání bylo donuceno až zadáním u dalších úloh. Řešením by bylo menu s metodami více zvýraznit, protože pravý panel (spolu s mapou) přitahoval pozornost nejvíce. Případně pak přidat krátký uvítací prvek, který

uživateli při prvním spuštění ukáže, kde se metody přepínají a že jich je sedm (tj. hlavní hodnota aplikace). Tento krok je odůvodněný tím, že snižuje riziko, že uživatel bude aplikaci hodnotit prizmatem jediné výchozí metody, a zároveň zkracuje čas potřebný k vytvoření mentálního modelu rozhraní.

Čtvrtý návrh je redukce rozptylovačů, které odvádějí pozornost od cíle aplikace. Na základě analýzy videí bylo zřejmé, že seznam podkladových map je rozsáhlý a pokud jej uživatel objeví, tráví v něm zbytečně dlouho čas výběrem, přestože to není účelem aplikace. Návrh je omezit počet podkladů na několik funkčně odlišných a pro interpretaci vhodných variant, případně podklady skrýt pod pokročilé nastavení. Odůvodnění je čistě uživatelské – snížení kognitivního šumu a zkrácení času stráveného v komponentě, která nepřináší přímou hodnotu pro demonstraci 3D tematických metod.

Pátý okruh se týká srozumitelnosti a bezpečnosti parametrického nastavování. Pravý boční panel je deklarován jako nejdůležitější prvek, protože umožňuje interaktivní úpravu znakového klíče v reálném čase a dostupné proměnné se mění dle zvolené metody. Úpravy se aplikují okamžitě bez potvrzení. Právě tato okamžitost ale v datech generuje dva typy problémů: (i) část participantů volila i nesmyslné hodnoty parametrů, což naznačuje potřebu omezení nebo doporučení vhodných rozsahů; (ii) objevila se jazyková bariéra u konkrétních parametrů, typicky *diameter*, kdy uživatelé měnili jiný parametr, protože nebylo zřejmé, co odpovídá průměru/velikosti symbolu. Z hlediska návrhu rozhraní to implikuje zavedení posuvníků s přiměřenými limity, výchozími hodnotami a případně doporučenými profily (např. malé/střední/velké symboly). Tam, kde je terminologie zdrojem chyb, je vhodné doplnit jednoznačný popis (včetně jednotek) a krátké dodatkové informace s vysvětlením. V českém kontextu je odůvodnitelné i lokalizované názvosloví nebo alespoň dvojjazyčné popisky u klíčových parametrů, protože jazyková nejednoznačnost se zde přímo promítla do chybového chování.

Samostatně je potřeba upravit proces změny barev. Participantů při změně barev viděli okamžitý efekt v mapě, ale po zavření dialogu křížkem předpokládali, že se změna aplikuje; ve skutečnosti bylo nutné potvrdit tlačítkem „OK“. Toto je typický rozpor mezi očekávaným a skutečným modelem interakce. Řešení by mělo být jednoznačné: buď (a) změny aplikovat okamžitě a umožnit jejich zrušení explicitním tlačítkem, nebo (b) naopak změny aplikovat až po potvrzení, ale pak v dialogu jasně indikovat, že zavření křížkem změny zahodí (a ne je potvrdí).

Poslední návrhový okruh se týká podpory odečítání hodnot a interpretace 3D charakteru metod. Pozorování ukazuje, že nejvhodnější strategie pro zjišťování extrémů by byla práce se scénou z boku (využití osy Z a barvy jako orientačního vodítka), nicméně většina uživatelů postupovala 2D strategií shora a často si hodnoty ověřovala klikáním do mapy nebo odečítáním z legendy. Z toho plyne návrh na mírné usměrnění interpretace. Aplikace může nabídnout jednoduchý režim dotazování hodnot (např. konzistentní okno s hodnotou při najetí) a zároveň uživatele nenásilně navést k tomu, že některé úlohy jsou v 3D čitelnější z šikmého pohledu (např. krátká kontextová nápověda nebo ikonická animace rotace u metod, kde je osa Z klíčová). Současně se v odpovědích objevuje potřeba lepšího vysvětlení a podpory porozumění rozhraní, zejména ve vztahu k legendě a interpretaci funkcí. Zlepšení zde tedy není o přidání instrukcí, ale o snížení nejistoty v tom, jak získat hodnotu a co je v dané metodě primárním nosičem informace.

Za zmínku stojí i návrhy, které míří na celkový dojem a produktovou kvalitu. Část participantů vnímala UI jako neutrální/nudné (potřeba atraktivnějšího vizuálního pojetí) a část požadovala

další rozvoj funkcionality (někdy v kombinaci s rychlostí). Tyto podněty je však vhodné realizovat až poté, co budou vyřešeny výše uvedené základní použitelnostní bariéry, protože estetické doladění nebo rozšiřování funkcí bez odstranění výkonových a sémantických problémů obvykle nepřináší zlepšení vnímané použitelnosti, pouze rozšiřuje prostor pro další chyby a váhání.

Celkově se tedy jako nejefektivnější jeví soustředit redesign do několika přesných zásahů: (1) stabilizovat výkon a transparentně komunikovat načítání, (2) omezit chování vedoucí k dezorientaci (zoom/rotace, výchozí rozsah), (3) zvýšit objevitelnost přepínání metod a snížit rozptylující prvky (podkladové mapy), (4) zpřesnit sémantiku parametrů a přidat ochranu před nesmyslnými hodnotami, (5) opravit potvrzovací logiku změny barev tak, aby odpovídala očekávání uživatele. Tyto kroky mají přímou oporu jak v otevřených odpovědích participantů, tak v pozorovaném chování ve videích, a míří na příčiny, které nejvíce ovlivňují úspěšnost, efektivitu i subjektivní uživatelskou zkušenost.

8. ZÁVĚR STUDIE

Cílem této případové studie bylo ověřit použitelnost webové aplikace pro demonstraci a porovnání sedmi metod 3D tematické vizualizace dat o teplotě a současně identifikovat konkrétní bariéry, které se při práci s aplikací objevují v podmínkách realistického uživatelského testování. Studie byla koncipována jako laboratorní eye-tracking experiment doplněný o interakční logování (MapLogger) a dotazníková data (UEQ a otevřené otázky). Kombinace těchto zdrojů umožnila nejen popsat, zda účastníci úlohy zvládli, ale především proč se při řešení objevovalo váhání, chybové kroky a rozdíly v strategiích napříč participanty.

Z metodologického hlediska je klíčové, že vyhodnocení eye-tracking dat bylo záměrně provedeno kvalitativně, retrospektivní vizuální inspekcí videozáznamů. Tento postup byl zvolen proto, aby bylo možné detailně zachytit sekvence kroků a strategie práce s rozhraním (např. vyhledávání prvků UI, přepínání metod, kontrolní pohledy mezi panelem a mapou), které by čistě přístupem s využitím metrik (AOI, TTFF apod.) bylo možné v této fázi návrhu aplikace popsat jen omezeně. Na základě prohlédnutí všech záznamů byly pro jednotlivé úlohy systematicky zaznamenány pozorované strategie a současně byla u úloh 2–5 kódována úspěšnost řešení. Tím vznikl ucelený podklad, který propojil chování v rozhraní s výsledkem úloh a s následnými odpověďmi participantů v dotazníku.

Výsledky ukazují, že aplikace je pro většinu participantů funkčně použitelná. Procedurální úlohy i kreativní zadání byly ve vysoké míře dokončovány, a to i přesto, že vizualizační metody jsou koncepčně odlišné a rozhraní umožňuje relativně širokou parametrizaci symbologie. Preferenční úloha navíc ukázala, že uživatelé nepřilnuli k jediné „nejlepší“ metodě – naopak se vytvořila vyrovnaná skupina tří nejčastěji volených vizualizací (*Point Cloud*, *Voxels*, *Horizontal Planes*; každá 18,5 %), což podporuje původní záměr aplikace, tedy nabízet více stylů zobrazení a umožnit jejich porovnávání a personalizaci. Současně však testování použitelnosti jednoznačně odhalilo několik opakujících se bariér, které ovlivňovaly efektivitu práce a v části případů i dokončení úloh.

Nejsilnějším zjištěním napříč daty je výkonová a odezвовá složka aplikace. V otevřené otázce „co zlepšit“ dominovala témata rychlosti a plynulosti (71,4 % odpovědí), což bylo konzistentní i s daty z UEQ, kde se rychlost řadila mezi nejvíce negativně hodnocené aspekty. V pozorovaných videích se tento problém zřetelně projevoval zejména u metody *Voxels*, kde bylo vykreslování

nejpomalejší a proměnlivé mezi participanty. Praktický dopad byl dvojnásobný, a tedy, že při prodlevách narůstal počet neproduktivních akcí (opakované klikání, přepínání pozornosti), a současně se zvyšovala nejistota ohledně toho, zda aplikace funguje a jaký krok je očekáván.

Druhým zásadním závěrem je, že uživatelé v 3D prostředí často volili strategie typické pro 2D mapy – pracovali převážně z pohledu shora, hodnoty si ověřovali klikáním do mapy nebo odečtem z legendy, zatímco potenciál osy Z využívali méně často. Tento jev se projevoval napříč úlohami a v některých případech byl spojen i s dezorientací při rotaci a s neúčelným zoomováním do detailu, který neodpovídal účelu aplikace. Z hlediska návrhu rozhraní to znamená, že aplikace by měla uživatele jemně vést k interpretaci, která odpovídá 3D charakteru metod, a současně zavést taková omezení manipulace se scénou, aby se minimalizovalo ztrácení v prostoru.

Třetí závěr se týká objevitelnosti a srozumitelnosti klíčových funkcí. Ačkoli je přepínání metod koncepčně centrální (každá metoda je podstránka), v explorativní fázi část participantů metody aktivně neprocházela a některé prvky rozhraní byly snadno přehlédnutelné. Současně se ukázalo, že některé komponenty (např. rozsáhlý seznam podkladových map) mají vysokou schopnost odvádět pozornost od cíle aplikace. U parametrických úloh se pak jako důležitý faktor objevila sémantika popisků a interakční logika (např. *diameter* u velikosti symbolů, nebo potvrzování změn barev tlačítkem „OK“ namísto očekávaného implicitního potvrzení zavřením dialogu), které vedly k částečnému splnění či zbytečnému prodlužování řešení.

Na základě těchto výsledků byla formulována sada cílených návrhů ke zlepšení použitelnosti, které směřují k jádru identifikovaných problémů: (1) optimalizace výkonu a transparentní komunikace načítání, (2) prevence dezorientace v 3D scéně prostřednictvím omezení zoomu/rotace a vhodného výchozího nastavení, (3) posílení vizuální hierarchie klíčových prvků (zejména přepínání metod) a redukce rozptylujících komponent, (4) vodítka pro parametrizaci (limity, doporučené rozsahy, jednoznačné popisky, nápovědy) a (5) sjednocení očekávaného potvrzovacího modelu při změnách barev. Tato doporučení nejsou odvozena pouze z deklarací respondentů, ale mají přímou oporu v pozorovaném chování z eye-tracking záznamů a v identifikovaných mechanismech neúspěchu či váhání v konkrétních úlohách.

Celkově studie představuje kompletní cyklus uživatelského hodnocení od návrhu experimentu, přes sběr multimodálních dat (eye-tracking, interakční logy, dotazníky) až po jejich interpretaci a transformaci do konkrétních, implementovatelných doporučení. Získané poznatky potvrzují, že aplikace je jako demonstrační nástroj pro 3D tematické metody perspektivní, zároveň však jasně vymezují několik kritických míst, jejichž odstranění má potenciál nejvíce zvýšit efektivitu práce, snížit nejistotu uživatelů a zlepšit celkovou uživatelskou zkušenost.