

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geoinformatiky

**HODNOCENÍ EFEKTIVITY VIZUALIZAČNÍCH
NÁSTROJŮ PRO POROVNÁVÁNÍ
SOCIOLOGICKÝCH DAT**

Diplomová práce

Jiří Vysloužil

RNDr. Stanislav POPELKA, Ph.D.

Olomouc 2025

Geoinformatika a kartografie

ANOTACE

Tato diplomová práce se zaměřuje na hodnocení efektivity vizualizačních nástrojů pro porovnávání sociologických dat s využitím eye-tracking experimentu. Cílem práce je zhodnotit použitelnost vizualizačních nástrojů pro porovnávání dat jako jsou multiple view a swipe. V teoretické části práce je představena problematika vizuálního porovnávání, rozdělení pozornosti a interaktivních metod pro srovnávání geografických dat. Praktická část se věnuje návrhu a tvorbě webových mapových aplikací pomocí knihovny Leaflet, do nichž byla implementována vybraná sociologická data České republiky, států Evropské unie a historické mapy města Olomouc. Následně byl navržen a realizován eye-tracking experiment s 45 respondenty ze tří různých cílových skupin. Sběr dat byl doplněn o psychologické dotazníky zaměřené na kognitivní styl respondentů. Práce dále obsahuje detailní metodiku a postup zpracování dat. Na základě statistické analýzy, analýzy očních pohybů, délky řešení úloh, chybovosti a dalších metrik byla porovnána výkonnost obou vizualizačních metod. Výsledky práce přispívají k hlubšímu porozumění, jak různé metody vizuálního porovnávání ovlivňují uživatelské chování při práci s prostorovými daty. Výstupy mohou sloužit jako podklad pro návrh přehlednějších a efektivnějších interaktivních vizualizací využitelných nejen v oblasti geoinformatiky, ale i v dalších oborech pracujících s tematickými prostorovými informacemi.

KLÍČOVÁ SLOVA

Eye-tracking; swipe; multiple view; porovnávání,

Počet stran práce: 58

Počet příloh: 6 (z toho 4 volné)

ANNOTATION

This thesis focuses on evaluating the effectiveness of visualization tools for comparing sociological data using an eye-tracking experiment. The aim of the thesis is to evaluate the usability of visualization tools for data comparison such as multiple view and swipe. The theoretical part of the thesis introduces the issues of visual comparison, divided attention and interactive methods for comparing geographic data. The practical part is devoted to the design and creation of web map applications using the Leaflet library, in which selected sociological data of the Czech Republic, European Union countries and historical maps of the city of Olomouc were implemented. Subsequently, an eye-tracking experiment was designed and implemented with 45 respondents from three different target groups. The data collection was supplemented with psychological questionnaires focused on the cognitive style of the respondents. The thesis also contains a detailed methodology and data processing procedure. The performance of the two visualization methods was compared based on statistical analysis, eye movement analysis, task solution time, error rate and other metrics. The results of the work contribute to a deeper understanding of how different visual matching methods affect user behavior when working with spatial data. The findings can serve as a basis for the design of clearer and more effective interactive visualizations usable not only in geoinformatics but also in other fields working with thematic spatial information.

KEYWORDS

Eye-tracking; swipe; multiple view; comparison,

Number of pages: 58

Number of appendixes: 6

Prohlašuji, že

- diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

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

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

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

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

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

V Olomouci dne

Jiří VYSLOUŽIL

Děkuji vedoucímu práce RNDr. Stanislavu Popelkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, nápady a připomínky, které výrazně přispěly k realizaci této diplomové práce.

Poděkování patří také všem účastníkům experimentu, kteří svou ochotou a časem umožnili získání potřebných dat.

Mé upřímné díky patří rovněž mé rodině, přítelkyni a přátelům za jejich trpělivost, podporu a povzbuzení během zpracování této práce i po celou dobu mého studia.



Diplomová práce byla vypracována v rámci projektu GAČR číslo 23-06187S s názvem „Identifikace bariér v procesu komunikace prostorových sociálně-demografických informací“, který byl řešen na Katedře geoinformatiky UP Olomouc.

Tato diplomová práce byla napsána v rámci (a s podporou) projektu Erasmus+ "Shape2Gether" (Shaping innovations in education for sustainable development: contextualizing geosciences, new tech, and serious games with climate change) číslo 2023-1-CZ01-KA220-HED-000165086.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Akademický rok: 2023/2024

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Jiří VYSLOUŽIL
Osobní číslo:	R230006
Studijní program:	N0532A330009 Geoinformatika a kartografie
Téma práce:	Hodnocení efektivy vizualizačních nástrojů pro porovnávání sociologických dat
Zadávající katedra:	Katedra geoinformatiky

Zásady pro vypracování

Cílem práce je hodnocení vizualizačních nástrojů pro porovnávání sociologických dat například pomocí multiple views či swipe. Student zvolí i další alternativy a případně je zahrne do hodnocení. V prvním kroku prozkoumá možnosti generování těchto vizualizačních nástrojů a následně pomocí zvolené technologie zobrazí vybraná reálná sociologická data (nabízí se například data PAQ, index sociálního vyloučení atd.). Následně navrhne eye-tracking experiment porovnávající zvolené vizualizační nástroje. Následně experiment realizuje na dostatečném vzorku respondentů jak s kartografickým vzděláním, tak bez něj. Experiment bude doplněn o sběr informací o respondentech pomocí psychologických dotazníků. Následně student data analyzuje, porovná účinnost testovaných vizualizačních nástrojů. Důležité bude zjištění, zda je pro respondenty snadnější překonat problémy s rozdělenou pozorností (např. u multiple views) nebo s vizuální interferencí (např. u swipe). Zde lze předpokládat přínos realizovaného sběru informací pomocí psychologických testů. Výsledky student uhradně vizualizuje.

Text práce student zpracuje v souladu se závaznou šablonou pro kvalifikační práce KGI. O diplomové práci student vytvoří webovou stránku a poster. Celou práci (text, přílohy, výstupy, zdrojová a vytvořená data, poster a web) odevzdá student v digitální podobě na datové úložiště katedry. Do evidence STAG student odevzdá úplný text práce s přílohami, které určí vedoucí práce. Fyzicky student odevzdá výtisk posteru ve formátu A2 a přílohy určené vedoucím práce.

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

Seznam doporučené literatury:

PEPELKA, Stanislav; BURIAN, Jaroslav; BEITLOVA, Marketa. Swipe versus multiple view: a comprehensive analysis using eye-tracking to evaluate user interaction with web maps. Cartography and Geographic Information Science, 2022, 49.3: 252-270.

LOBO, María-Jesús; PIETRIGA, Emmanuel; APPERT, Caroline. An evaluation of interactive map comparison techniques. In: Proceedings of the 33rd annual ACM conference on human factors in computing systems. 2015, p. 3573-3582.

LACKO, David, et al. Analytic and holistic cognitive style as a set of independent manifests: Evidence from a validation study of six measurement instruments. Plos one, 2023, 18.6: e0287057.

CRAMPTON, Jeremy W. Interactivity types in geographic visualization. Cartography and geographic information science, 2002, 29.2: 85-98.

MACEACHREN, Alan M. How maps work: representation, visualization, and design. Guilford Press, 2004.

Vedoucí diplomové práce:	RNDr. Stanislav Popelka, Ph.D. Katedra geoinformatiky
--------------------------	--

Datum zadání diplomové práce: 8. prosince 2023
Termín odevzdání diplomové práce: 7. května 2025

L.S.

doc. RNDr. Martin Kubala, Ph.D.
děkan



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

V Olomouci dne 11. prosince 2023

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	10
ÚVOD	11
1 CÍLE PRÁCE	12
2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	13
2.1 Rozdělená pozornost	13
2.2 Vizuální porovnávání.....	13
2.3 Vizuální kompozice	14
2.4 Vizualizační metody pro porovnávání map	17
3 METODY A POSTUP ZPRACOVÁNÍ	21
4 TVORBA MAP	24
4.1 Úprava šablony Leaflet	24
4.2 Příprava dat a návrh testovacích úloh.....	27
5 EYE-TRACKING EXPERIMENT.....	30
5.1 Příprava experimentu	30
5.2 Průběh sběru dat	31
5.3 Analýza dat.....	32
6 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU	36
6.1 Délka řešení úloh a chybovost	36
6.2 Délka trvání úloh	37
6.3 Délka trvání úloh podle skupiny	40
6.4 Srovnání typů úloh podle metody	41
6.5 Analýza doby strávené v AOI	45
6.5.1 Analýza AOI pomocí sekvenčních grafů	47
6.5.2 Matice přechodů mezi AOI	49
6.6 Výsledky psychologických dotazníků	51
7 VÝSLEDKY	52
8 DISKUZE	56
9 ZÁVĚR	58
POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE	
PŘÍLOHY	

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Zkratka	Význam
GIS	geografický informační systém
JX	Juxtaposition
BL	Blending Lens
OV	Translucent Overlay
SW	Swipe
MV	Multiple view
OL	Offset Lens
AOI	Areas of interest
NUTS 2	Nomenclature of Units for Territorial Statistics
TOI	Times of Interest
AOI	Areas of Interest
ORP	Obec s rozšířenou působností

ÚVOD

Porovnávání prostorových dat v mapách je častým úkolem jak v odborné, tak i ve veřejné sféře. Srovnání dvou map zobrazujících stejný geografický prostor, ale s odlišnými datovými vrstvami, však může být pro uživatele náročné. Kartografický design a zvolený způsob vizualizace výrazně ovlivňují, jak snadno dokáže uživatel mapy porovnat. Tento proces vyžaduje dobrou orientaci v mapovém rozhraní, soustředění a schopnost rychle vyhodnotit zobrazené informace.

Jedním z možných způsobů, jak uživatelům porovnávání usnadnit, je využití interaktivních vizualizačních nástrojů. Tato diplomová práce se zaměřuje na dvě nejčastěji využívané metody pro porovnávání prostorových dat, kterými jsou swipe a multiple view. Cílem práce je experimentálně ověřit, jaký vliv mají tyto vizualizační přístupy na výkon uživatelů při řešení úloh zaměřených na porovnávání sociologických dat.

Za účelem vyhodnocení efektivity obou vizualizačních metod byl realizován eye-tracking experiment, jehož cílem bylo analyzovat způsob, jakým uživatelé řeší úlohy zaměřené na srovnávání sociologických dat. Do experimentu bylo zapojeno 45 respondentů, kteří byli rozděleni do tří skupin na základě svého odborného zaměření. Výkon uživatelů byl hodnocen nejen pomocí analýzy pohybu očí, ale také na základě doby řešení jednotlivých úloh a chybovosti odpovědí. Doplnujícím prvkem výzkumu byl psychologický dotazník zaměřený na kognitivní styl účastníků, který poskytl další pohled na individuální přístupy během řešení úkolů.

Práce si klade za cíl nejen porovnat výkonnost dvou konkrétních vizualizačních metod, ale také identifikovat situace, v nichž se jednotlivé přístupy jeví jako vhodnější. Získané poznatky této práce mohou být využity při tvorbě rozhraní pro efektivní vizualizaci sociologických i dalších tematických dat v kartografii.

1 CÍLE PRÁCE

Cílem diplomové práce je hodnocení vizualizačních nástrojů pro porovnávání sociologických dat pomocí multiple views a swipe. V první fázi práce byly teoreticky prozkoumány existující přístupy k vizualizaci geografických dat, především ty, které umožňují efektivní vizuální porovnávání. Pozornost byla věnována metodám jako juxtapozice a superpozice a jejich uplatnění v interaktivních vizualizacích. Následně byly navrženy a vytvořeny webové mapové aplikace využívající dvě nejčastěji používané metody multiple view a swipe které byly následně naplněny reálnými sociologickými daty. Pro vizualizaci byla použita data z databáze DataPAQ (PAQ Research, 2024), Eurostatu (Eurostat, 2025) a historické mapy města Olomouce.

Další část práce se zaměřuje na návrh a realizaci eye-tracking experimentu, jehož cílem bylo porovnat použitelnost a efektivitu obou vizualizačních nástrojů. Experiment byl realizován na vzorku 45 respondentů ze tří cílových skupin a byl doplněn o psychologický dotazník, který zjišťoval kognitivní styl jednotlivých účastníků. Výsledky byly analyzovány pomocí statistických metod a interpretovány na základě metrik jako je doba řešení úloh, chybovost a oční fixace, přičemž u fixací byla sledována jejich délka, četnost a prostorové rozložení v rámci definovaných oblastí zájmu (AOI). Cílem bylo zjistit, zda je pro uživatele náročnější práce s nástrojem vyžadujícím rozdělenou pozornost (multiple view), nebo s nástrojem, který může způsobovat vizuální interferenci (swipe).

Výsledky práce přispívají k hlubšímu porozumění tomu, jak různé metody vizualizace ovlivňují uživatelské chování při porovnávání prostorových dat. Získané poznatky mohou být využity při návrhu efektivních mapových aplikací.

2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

2.1 Rozdělená pozornost

Pozornost je komplexní kognitivní proces, který je řízen samostatným anatomickým systémem v mozku. Tento systém funguje nezávisle na systémech zpracovávajících senzorické vstupy, ačkoli s nimi může vzájemně interagovat. Posner (1990) uvádí tři základní zjištění o lidské pozornosti. První z nich vychází z toho, že systém pozornosti mozku je anatomicky oddělen od systému zpracování informací a je tak podobný ostatním senzomotorickým a motorickým systémům. Spolupracuje s ostatními částmi mozku, ale zachovává si svou vlastní identitu. Za druhé, pozornost je vykonávána sítí anatomických oblastí. Nejedná se o funkci jednoho konkrétního centra, ani mechanismus zahrnující mozek jako celek. Za třetí, oblasti, jež jsou zapojené do řízení pozornosti plní různé funkce a jejich specifické procesy můžeme popsat kognitivními procesy.

Tento decentralizovaný model pozornosti naznačuje, že se nejedná o funkci řízenou jedním specifickým centrem, ale o dynamickou síť vzájemně propojených oblastí mozku, které určují, jakým způsobem budou informace detekovány a zpracovány. Pozornost tak představuje komplexní neurální mechanismus, který je nedílnou součástí kognitivní architektury mozku. Pozornost se také významně podílí na regulaci vědomí a procesech rozhodování, čímž ovlivňuje samotné vnímání, kognitivní operace a chování jedince (Posner, 1988).

Rozdělenou pozornost lze označit jako kognitivní proces, při kterém je pozornost věnována více úkolům nebo podnětům současně. Tento jev zahrnuje zpracování a reakci na více zdrojů informací najednou, což může vést k poklesu kvality pozornosti věnované jednotlivým úkolům. Při rozdělené pozornosti dochází ke zvýšení kognitivní zátěže, jelikož se mozek snaží zvládat požadavky několika činností současně. Rozdělená pozornost může vést k problémům při uchovávání informací, jelikož mentální kapacita potřebná pro integraci vstupních informací může být přetížená.

Rozdělení pozornosti může být efektivněji zvládáno pomocí integrace více informačních zdrojů, což snižuje potřebu současného zpracování protichůdných vstupů a zlepšuje celkový výkon. Tento proces je důležitý v situacích, kdy člověk pracuje s různými zdroji informací současně. Vzhledem k omezené kapacitě pozornosti může vést její rozdělení k poklesu efektivity či zvýšení chybovosti, protože mozek zpracovává několik informačních toků najednou. Tento jev má široké využití v každodenních činnostech a může ovlivnit nejen kognitivní výkon, ale také schopnost efektivně řešit úkoly (Ayres, 2005; Wen, 2016).

2.2 Vizuální porovnávání

S rostoucím objemem a komplexností dat se zvyšuje i potřeba efektivních metod jejich vizualizace a porovnávání. Složitá data často pocházejí z různých zdrojů, obsahují mnoho aspektů a nabízejí široké spektrum informací, které je třeba analyzovat a interpretovat. Vizualizační nástroje hrají klíčovou roli při porozumění, analýze a komunikaci těchto dat, přičemž usnadňují identifikaci vzorců, vztahů a odpovědí na klíčové otázky. Zatímco vizualizace se tradičně zaměřovala na nástroje určené ke zkoumání jednotlivých objektů, v posledních letech roste počet systémů vyvinutých speciálně pro porovnávání dat. Tyto systémy reflektují rostoucí potřebu srovnávací analýzy a nabízejí nové přístupy ke zpracování komplexních datových struktur (Gleicher, 2011; Aigner, 2023).

Rozdělení vizualizace na jednotlivé aspekty dat přináší otázku, jak k nim mohou uživatelé efektivně přistupovat a mentálně propojit. Důležitou roli v tomto procesu hraje interakce. Uživatelé se v iterativním přístupu zaměřují na různé části dat, analyzují je a postupně skládají jejich celkový obraz. Proces zkoumání obvykle začíná tím, že uživatel identifikuje klíčové oblasti či vzory, které následně podrobí bližší analýze. Následně může přejít k detailnějšímu zkoumání konkrétních částí dat, nebo se zaměřit na podobné a související informace. V jiných případech se naopak může vrátit zpět na začátek celého procesu a zaměřit se na novou informaci (Aigner, 2023). Tento dynamický způsob práce s daty umožňuje uživateli efektivnější pochopení vztahů mezi jednotlivými prvky a otevírá prostor pro různé strategie porovnávání.

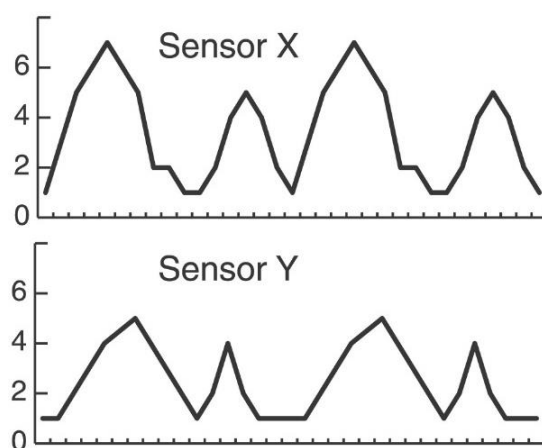
2.3 Vizuální kompozice

Metody vizuální kompozice představují důležitý aspekt při návrhu kompozitních vizualizací. Způsoby integrace dvou vizualizací v rámci jednoho vizuálního prostoru poskytují systematický přístup k porovnávání složitých dat či vizualizací. Mezi hlavní strategie vizuální kompozice patří (Javed, 2012; Gleicher, 2011):

- Juxtapozice – zobrazení vizualizací vedle sebe.
- Superimpozice – překrytí vizualizací ve stejném prostoru.

Juxtapozice

Juxtapozici, jakožto metodu vizuální kompozice zmiňuje ve své taxonomii Gleicher (2011). Tento přístup spočívá v zobrazení objektů buď vedle sebe v prostoru, nebo v čase, například prostřednictvím animace, což umožňuje uživateli snadno přepínat mezi jednotlivými pohledy (Obr. 1). Hlavním aspektem je schopnost uživatele zapamatovat si jednotlivé prvky a následně je porovnávat. Tím se vytváří prostor pro identifikaci vzorců a vztahů mezi nimi. Při vhodně navržené juxtapozici je možné efektivně analyzovat rozdíly a podobnosti mezi různými objekty nebo datovými sadami. Tento přístup tak podporuje vizuální srovnání, což uživatelům umožňuje lépe porozumět dynamice mezi srovnávanými entitami.

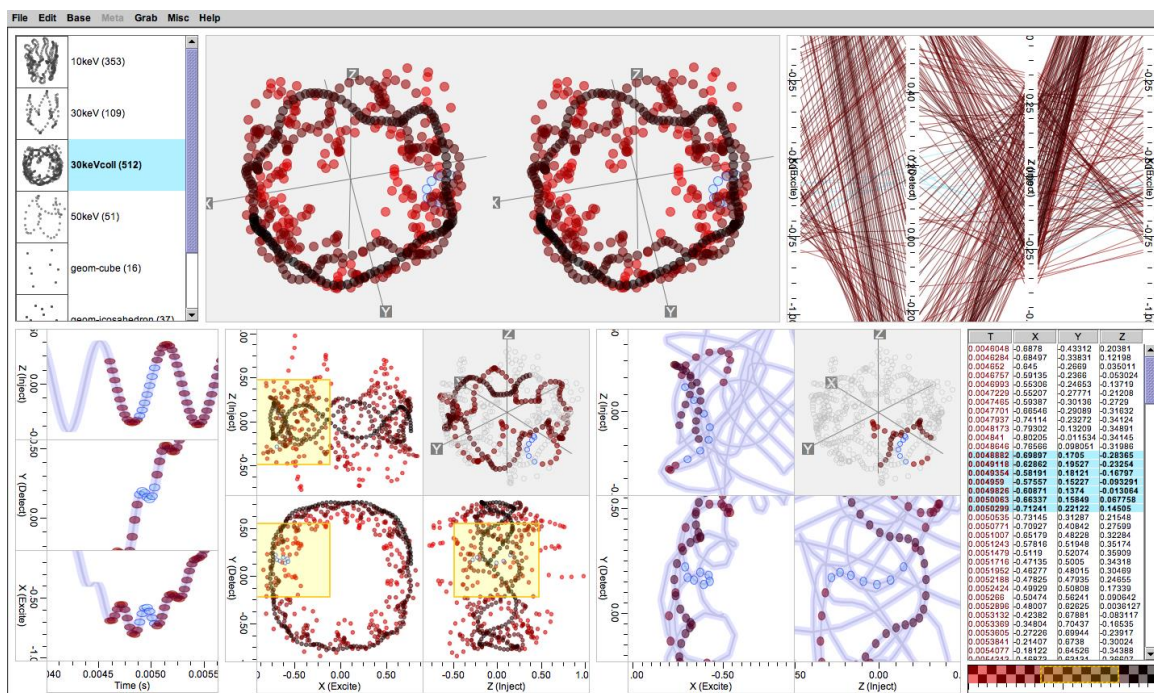


Obr. 1 Přístup juxtapozice pro vizuální srovnávání
(zdroj: Gleicher, 2011)

Juxtapozice představuje technicky nenáročnou metodu vizualizace, neboť nevyžaduje zásadní změny v zobrazení jednotlivých objektů a lze ji aplikovat na široké spektrum vizuálních reprezentací (Javed, 2012; Gleicher, 2011). Tento přístup také efektivně eliminuje problém vizuální interference, jelikož jsou objekty zobrazeny odděleně. Zároveň

tato metoda může vést k rozdělení pozornosti uživatele. Ten je nucen opakovaně přecházet mezi různými pohledy, což může snižovat efektivitu (Lobo, 2015).

Jedním z příkladů využití juxtapozice ve vizualizačních nástrojích je Improvise (Weaver, 2004). Tento nástroj založený na principu juxtapozovaných pohledů, a umožňuje uživatelům vytvářet a analyzovat více vizualizací při jejich koordinovaném propojení. Improvise umožňuje uživateli interaktivně pracovat s daty prostřednictvím dynamických dotazů, které umožňují vizualizovat různé části datových sad. Veškeré vizualizace v prostředí Improvise jsou vzájemně propojené a jakákoliv změna v jednom datového náhledu se okamžitě promítá do ostatních (Gleicher, 2011). Na obrázku 2 je zobrazeno prostředí nástroje Improvise znázorňující různé časové a prostorové náhledy dat. Tyto odlišné vizualizace umožňují detailní analýzu dat různých perspektiv (Weaver, 2004).

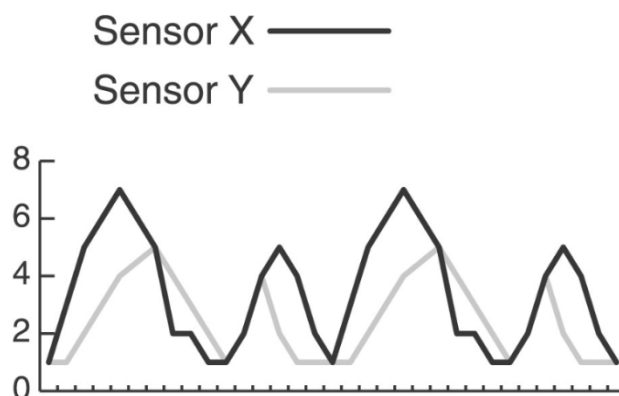


Obr. 2 Prostředí nástroje Improvise a různé možnosti vizualizace
(zdroj: <https://www.cs.ou.edu>)

Superimpozice

Další metodou vizuální kompozice je metoda superimpozice, která se v taxonomii vizuálních designů podle Gleichera (2011) nazývá superpozice. Tato metoda funguje na základě překrývání dvou či více vizuálních prostorů v rámci jednoho zobrazení (Obr. 3). Tento přístup umožňuje kombinaci datových vrstev do jedné vizualizace, čímž usnadňuje srovnávání a identifikaci prostorových vztahů mezi jednotlivými prvky. Hlavním aspektem superimpozice je sdílený vizuální prostor všech vrstev, to zajišťuje přímou vazbu mezi zobrazovanými objekty (Javed, 2012). Pro zachování přehlednosti tato metoda využívá transparentnost nebo vzájemné překrývání objektů.

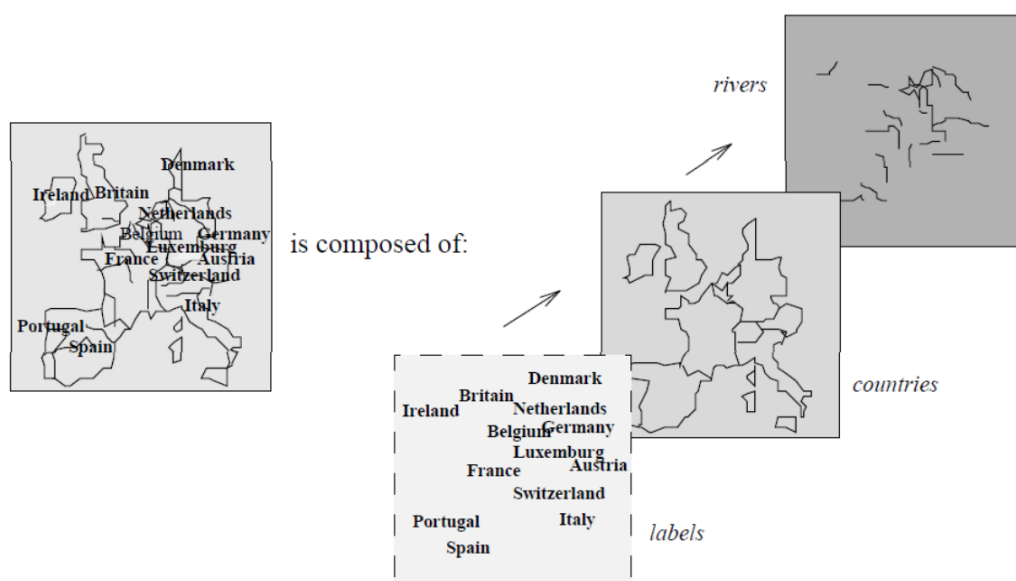
Superimpozice je využívána v případech, kdy je hlavním aspektem prostorové uspořádání dat, nebo když porovnáváné objekty vykazují vysokou míru podobnosti. Typickým příkladem jsou grafy zobrazující více datových řad, které se překrývají v rámci jedné souřadnicové soustavy. Podobný princip se také využívá v kartografii, kde jsou různé tematické vrstvy umístěny na společný mapový podklad, což umožňuje integraci a analýzu více datových vrstev v rámci jednoho geografického prostoru (Gleicher, 2011).



Obr. 3 Přístup superimpozice pro vizuální srovnávání
(zdroj: Gleicher, 2011)

Superpozice umožňuje efektivní využití prostoru a usnadňuje porovnávání dat, protože uživatel nemusí svou pozornost rozdělovat mezi různé části vizuálního prostoru. Tento přístup však může vést ke snížení přehlednosti, zejména při překrytí velkého množství informací (Javed, 2012). Tento problém nastává například při komplexních datových reprezentacích, kde vzájemné překrytí může ztížit vnímání a interpretaci (Gleicher, 2011). Tento jev je označován jako vizuální interference, tedy situace, kdy se překrývající se vizuální prvky vzájemně ruší a narušují tak schopnost přesného rozlišení a interpretace jednotlivých informací.

Příkladem systému využívající superimpozici je Mapgets, jak jej popisuje Javed (2012). Jedná se o geografický vizualizační systém pro interaktivní úpravu geografických dat. Mapy generované v prostředí Mapgets jsou založeny na prezentačním modelu využívajícím vrstvení datových sad. Uživatelé tak mohou volit datovou sadu pro každou vrstvu a určovat celkový počet zobrazených vrstev. Každá vrstva umožňuje nezávislou interakci a možnost úpravy jejich atributů či pořadí vrstev. Na obrázku 4 je vizualizace Evropy, kde prezentační model zobrazuje 3 vrstvy. Spodní vrstva znázorňuje řeky, prostřední vrstva zobrazující hranice států a horní vrstva názvy jednotlivých zemí.



Obr. 4 Vizualizace v systému Mapgets
(zdroj: Javed, 2012)

2.4 Vizualizační metody pro porovnávání map

Porovnávání map je klíčovou součástí geografické analýzy, která umožňuje identifikovat vztahy v prostoru a čase mezi geografickými jevy. V geoinformatice se k tomuto účelu využívají různé vizualizační metody, které usnadňují srovnávání jednotlivých mapových vrstev. Mezi nejpoužívanější metody patří swipe a multiple view. Princip obou těchto metod je zobrazen na obrázku 5.

Metoda swipe

Metoda swipe je technikou superimpozice, která umožňuje postupné odkrývání dvou mapových vrstev. Uživatel přetahováním horní vrstvy postupně odrývá spodní vrstvu, čímž získává možnost vizuálně analyzovat rozdíly mezi vrstvami. Metoda swipe minimalizuje rozdělenou pozornost, avšak v některých případech může vést k vizuální interferenci, kdy se překrývající prvky vzájemně ruší a ztěžují interpretaci (Lobo, 2015).

Mapové vrstvy jsou zobrazeny v horizontální kompozici, kde každé mapové pole zabírá polovinu obrazovky. Uživatel tak může pomocí ovládacího prvku „swipe“ interaktivně měnit šířku obou oken. Obě mapová pole mohou poskytovat základní funkcionalitu webových map, jako jsou změna měřítka nebo změna pozice mapy. V takovém případě se měřítko i pozice automaticky synchronizují mezi oběma mapovými vrstvami. Metoda swipe nachází široké uplatnění při analýze časově proměnných dat, například při analýze socioekonomických ukazatelů, volebních výsledků či kriminality. Další aplikací je porovnávání satelitních snímků „před a po“, což nachází uplatnění v oblastech krizového managementu (Nétek, 2020).

Metoda multiple view

Metoda multiple view je zmíněna ve studiích Lobo (2015) a v taxonomii podle Cramptona (2002), kde je označena jako „Window Juxtaposition“ nebo „Juxtapose“. Tato metoda zobrazuje dvě mapová pole vedle sebe. Obě mapy jsou navzájem propojené a jakákoliv změna pozice v první mapě, je změněna i v mapě druhé. Výhodou multiple view spočívá v libovolném přesouvání pozornosti z jedné mapy do druhé. Pro detekci změn v prostoru je ale nutné, aby byly mapy vnímány jako celistvé, komplexní vizualizace (Popelka, 2022). Tato metoda ale naráží na problém s rozdělenou pozorností, protože uživatelé musí přesouvat svou pozornost mezi jednotlivými mapami. Dalším problémem je, že oproti swipu je zobrazena pouze polovina geografické oblasti, a uživatel tak musí mapu častěji posouvat (Lobo, 2015).



Obr. 5 Princip metody multiple view (vlevo) a metody swipe (vpravo)
(zdroj: (Popelka, 2022))

Hodnocení interaktivních technik pro porovnávání map

Porovnávání map je klíčovým procesem v geografických informačních systémech (GIS), které organizují data do vrstev a poskytují tak různé pohledy na svět. Tyto vrstvy často zahrnují velkou škálu informací, od základních orientačních prvků, až po komplexní data, jako jsou doprava či obyvatelstvo. Pro efektivní interpretaci dat je nezbytné využívat vizualizační nástroje, které umožní jejich vizualizaci a porovnávání. Lobo (2015) uvádí experiment, jehož cílem bylo vyhodnotit pět různých technik pro porovnávání map a analyzovat jejich vliv na pozornost uživatele a strategii při práci s reálnými geografickými daty. Pro experiment bylo vybráno pět různých technik, kde každá z nich nabízí odlišný způsob zobrazení a práce s geografickými daty. Mezi tyto metody byly zahrnuty:

1. **Juxtaposition (JX)** – zobrazení dvou map vedle sebe
2. **Blending Lens (BL)** – horní mapa částečně průhledná v oblasti kolem kurzoru, což umožňuje zobrazení spodní mapy.
3. **Translucent Overlay (OV)** – překrytí map s možností nastavení průhlednosti horní vrstvy
4. **Swipe (SW)** – přetažení jedné mapy přes druhou
5. **Offset Lens (OL)** – mapa zobrazena v hlavním okně a v okolní oblasti se zobrazuje druhá mapa

Do experimentu se zapojilo celkem 15 dobrovolníků (z toho šest žen), s průměrným věkem 28,5 let. Pro experiment byly použity topografické mapy v měřítku 1:25 000 a ortofotomapy zobrazující stejné území. Celkem bylo vytvořeno 20 párů map, což představovalo 120 jednotlivých map s úpravami. Úkolem účastníků bylo identifikovat rozdíly mezi zobrazenými dvojicemi map. Rozdíly zahrnovaly budovy a silnice, které byly přidány, upraveny nebo které zcela chyběly. Každý úkol byl časově omezen na 90 sekund. Bylo sledováno, kolik rozdílů účastníci našli, délka trvání a počet provedených chyb.

Výsledky experimentu ukázaly, že z celkových 1 350 pokusů byla úspěšnost při identifikaci rozdílů 79,3 %. Nejúspěšnější metodou pro celkové srovnávání byla metoda Translucent Overlay, která dokázala efektivně sloučit vizuální informace z obou map. Metoda Blending Lens byla efektivní při identifikaci přidáných a upravených objektů. Juxtapozice byla méně efektivní v porovnání s ostatními technikami (jako jsou BL, OV a SW), a to zejména při úlohách vyžadujících precizní geometrické srovnání. Swipe a Offset Lens měly v porovnání s ostatními technikami nižší efektivitu. Na základě tohoto zjištění bylo doporučeno přehodnotit využití techniky swipe, jelikož se tato metoda často používá pro srovnávání map ve webových mapových aplikacích (Lobo, 2015).

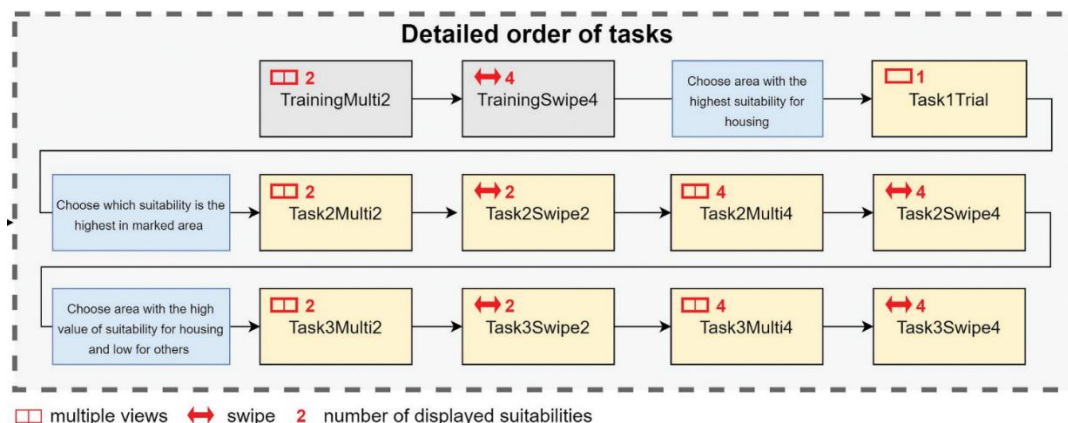
Porovnání nástrojů Swipe a Multiple View pomocí eye-trackingu

Práce navazující na studii Lobo (2015), s názvem *Swipe versus multiple view: a comprehensive analysis using eye-tracking to evaluate user interaction with web maps* (Popelka, 2022), se autoři zaměřili na dvě nejčastěji používané metody pro porovnávání map – multiple view a swipe. Studie obsahovala devět úkolů a dvě tréninkové úkoly pro seznámení respondentů s prostředím aplikace. Celý experiment zahrnoval sběr dat pomocí eye-trackingu a skládal se z devíti úkolů a dvou tréninkových úloh pro seznámení účastníků s prostředím aplikace. Pro úkoly byly využity mapy vhodnosti území v České republice. Typickým úkolem při práci s těmito mapami je porovnávání hodnot mezi několika oblastmi zároveň. Vytvoření těchto map bylo provedeno v softwaru Urban Planner (Burian, 2015). Jedná se o rozšíření programu ArcGIS for Desktop, které slouží k hodnocení vhodnosti území a identifikaci optimálních oblastí pro územní rozvoj na základě multikriteriální analýzy. Pro účel experimentu byly vybrány čtyři kategorie využití půdy, a to bydlení, rekreace, komerční aktivity a průmysl. Následně byly vytvořeny webové mapové aplikace v prostředí Esri ArcGIS Online. Rastrové vrstvy obsahující informace

o vhodnosti území byly nahrány do prostředí ArcGIS Online společně s vektorovými vrstvami zobrazující oblasti pro porovnání. Každá z těchto vektorových oblastí pak byla označena číslem od jedné do čtyř, aby bylo možné zaznamenávat odpovědi účastníků.

Celkem se experimentu zúčastnilo 27 participantů. Kvůli problému vzniklém při kalibraci eye-tracking zařízení byli dva účastníci z experimentu vyřazeni. Data tak byla nasbírána od 25 účastníku (16 mužů a devět žen). Účastníci byli rozděleni do dvou skupin, a to na studenty a experty. První skupina obsahovala 15 studentů magisterského a doktorandského studia oboru geoinformatika. Zbylí účastníci byli zaměstnanci odboru územního plánování města Olomouc. Údaje o pohybu očí účastníků byly zaznamenávány pomocí eye-trackeru SMI RED 250, který byl umístěn v eye-tracking laboratoři, která byla navržena tak, aby se účastníci nerušeně soustředili na řešené úkoly.

Během experimentu byly úlohy prezentovány ve stanoveném pořadí (Obr. 6). Účastníci nejprve absolvovali dvě tréninkové úlohy. První z nich využívala multiple view se dvěma okny a druhá swipe se čtyřmi mapami. V každé úloze měli účastníci určit konkrétní lokalitu na základě zadané otázky, přičemž odpověď byla reprezentována číslem polygonu. Následovala první úloha zaměřena na výběr jedné ze čtyř oblastí s nejvyšší vhodností pro bydlení. Účelem této úlohy bylo pouze seznámení účastníků s prostředím a nebyla tak zahrnuta do analýzy. Poté byly prezentovány dvě sady úloh. V první sadě měli účastníci vybrat oblast s nejvyšší vhodností využití území. Další proměnou v experimentu představoval počet zobrazených vrstev. První dvě úlohy obsahovaly dvě vrstvy, zatímco druhé dvě měly vrstvy čtyři (Obr. 6). Ve druhé sadě úloh měli účastníci vybrat oblast s vysokou hodnotou vhodnosti pro bydlení a zároveň nízkou hodnotou pro ostatní typy využití území.



Obr. 6 Pořadí úkolů v experimentu (zdroj: (Popelka, 2022))

Analýza odpovědí ukázala, že většině případů byly odpovědi správné a jeden až dva účastníci odpověděli nesprávně. Výjimkou byla úloha Task3Swipe4, kde měli účastníci za úkol porovnat čtyři mapy pomocí nástroje swipe. U této úlohy byla více jak polovina odpovědí nesprávná. U analýzy délky trvání úkolu vyplynulo, že účastníci strávili více času s verzí aplikace swipe. Největší rozdíl byl u úlohy Task2Swipe4, která vyžadovala, aby účastníci vybrali čtyři vrstvy pro porovnání. Délka trvání u tohoto úkolu byla v průměru 76,4 sekund, oproti verzi multiple view, kde byl průměrný čas 28,4 sekund. V úlohách, které porovnávaly pouze dvě vrstvy, byli ale účastníci rychlejší při použití aplikace s nástrojem swipe. Výsledek tak ukázal, že by swipe mohl být vhodnější pro tento typ úloh. Naopak v úlohách obsahujících čtyři mapy měli účastníci problém s výběrem vrstev pro porovnávání, což vedlo k výraznému navýšení času. Pro analýzu oblastí zájmu, tzv. AOI (Areas of Interest) byl zprůměrován čas jejich zobrazení. V úlohách využívající multiple view byl čas zobrazených AOI u všech map konstantní, jelikož byly mapy zobrazeny po celou

délku trvání úkolů. Naopak doba viditelnosti AOI souvisejících s legendou se lišila v závislosti na tom, jak uživatelé měnili legendy pro jednotlivé mapy. Přesto byly tyto časy poměrně stejné. V úlohách využívající swipe bylo možné zobrazit legendu prostřednictvím tlačítka „legenda“ a druhým způsobem pomocí tlačítka „vrstvy“. Výsledek ukázal, že účastníci strávili více času v AOI vrstev než v AOI legendy, jelikož účastníci nezvládli legendu otevřít, jelikož bylo nutné ji nastavit ručně. Doba sledování AOI byla výrazně delší u úloh využívající multiple view. U úkolu Task3Swipe4 uživatelé polovinu času pozorovali legendu a jednotlivé vrstvy. Někteří uživatelé raději přepínali mezi vrstvami, namísto používání funkce swipe, což se ukázalo jako neefektivní.

Na základě výsledku bylo dospěno k závěru, že pro porovnávání map je lepší metoda multiple view než swipe, zejména v úkolech srovnávající čtyři mapy. Metoda multiple view byla efektivnější a nebylo potřebné žádné další nastavení pro její používání. Nástroj swipe v prostředí Esri byl méně intuitivní a vyžadoval složité nastavení při porovnávání více než dvou map a uživatelé tak místo swipu používali raději přepínač vrstev.

Doporučením pro další práce je proto vylepšení funkce swipe, jelikož v prostředí Esri nebyl tento nástroj pro uživatele dostatečně intuitivní a ti často nedokázali jednoznačně identifikovat překrývající se vrstvy (Popelka, 2022). Hlavním limitem této studie však bylo, že se zaměřovala spíše na hodnocení uživatelského rozhraní Esri než na samotné metody vizualizace. V rámci této diplomové práce je proto kladen důraz na porovnání principů samotných metod swipe a multiple view, nezávisle na konkrétní platformě. Cílová data a typy úloh se rovněž odlišují. Zatímco Popelka (2022) i Lobo (2015) pracovali převážně s mapami vhodnosti území nebo ortofotomapami, kdežto tato diplomová práce se zaměřuje na vizualizaci sociologických dat.

3 METODY A POSTUP ZPRACOVÁNÍ

Prvním krokem diplomové práce bylo studium odborné literatury. Zde bylo hlavním úkolem seznámení s tématem a prozkoumání dostupných metod pro srovnávání map. Následovala samostatná práce, při které byly nejprve vytvořeny mapové aplikace pro metodu multiple view a swipe. Tyto dvě metody jsou nejčastěji používané pro porovnávání geografických dat ve webovém prostředí. Po vytvoření aplikací byla vybrána sociologická data, která byla v mapách zobrazena. Pro práci byla zvolena sociologická data České republiky a států Evropské unie a historické mapy města Olomouce. Data byla nejprve upravena pro účely práce a následně byla implementována do prostředí webové mapové aplikace. Dalším krokem práce bylo navržení eye-tracking experimentu porovnávajícího zvolené vizualizační nástroje. Experiment byl poté realizován na 45 respondentech a doplněn o dodatečné informace pomocí psychologického dotazníku. Následovalo vyhodnocení experimentu a analýza dat. Posledním krokem práce byla výsledná interpretace výsledků a zhodnocení použitých vizualizačních nástrojů.

Použitá data

Jako kartografický podklad byla použita vrstva obcí s rozšířenou působností z databáze ArcČR 4.1. Pro státy Evropské unie se jednalo o vrstvu obsahující hranice NUTS 2 (Nomenclature of Units for Territorial Statistics)¹.

Pro tvorbu map byla použity sociologická data pro Českou republiku a státy Evropské unie. Data pro Českou republiku byla použity z databáze DataPAQ, což je unikátní prohlížečka vzdělávacích a sociálních dat vyvinuta organizací PAQ Research. Tyto data jsou poskytována na různých úrovních (kraje, okresy, obce s rozšířenou působností) a ve dvou formátech (.xls a .csv) (PAQ Research, 2024). Data byla poté upravena a vizualizována.

Datová sada využitá pro tvorbu map států Evropské unie byla data z databáze Eurostatu. Tato data poskytují široké spektrum sociálních a ekonomických ukazatelů, které umožňují porovnání mezi jednotlivými státy Evropské unie (Eurostat, 2025). Pro tuto práci byla využita především sociologická data. Stejně jako v případě dat z DataPAQ byla provedena jejich úprava a následná vizualizace. Poslední data pro tvorbu map byla poskytnuta katedrou geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci. Jedná se o dvě historické mapy z 19. a 20. století zobrazující Město Olomouc. Stejně jako u sociologických dat byly i tyto mapy upraveny pro potřeby diplomové práce.

Data o účastnících byla sesbírána v rámci eye-tracking experimentu provedeném v eye-tracking laboratoři na katedře geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci, pomocí zařízení Tobii Pro Spectrum 300. Kromě informací o očních pohybech účastníků, byl experiment doplněn o informace o kognitivním stylu pomocí psychologických dotazníků prostřednictvím platformy Hypothesis (Šašinka, 2017).

Použité programy

Pro přípravu dat byl primárně využit program Microsoft Excel, ve kterém byla sociologická data upravena a připravena pro další zpracování. Následně byla tato data spojena s prostorovými vrstvami v prostředí ArcGIS Pro (verze 3.3, ESRI). Pro generalizaci hranic České republiky a Evropské unie byl použit online nástroj Mapshaper, jenž umožňuje interaktivní úpravy formátů jako Shapefile, GeoJSON, TopoJSON či CSV (Mapshaper, 2023).

¹ Zdroj dat pro hranice NUTS 2 dostupné na webové stránce: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco>

Pro propojení sociologických údajů s geometrickými daty byl dále využit QGIS (verze 3.28), kde byly výstupní vrstvy exportovány ve formátu GeoJSON. Úpravy historických mapových podkladů probíhaly v programu Inkscape (verze 1.3) a následně byly mapy importovány do nástroje MapTiler Engine (MapTiler, 2025), který umožňuje generování mapových dlaždic v rastrové i vektorové podobě. Vygenerované dlaždice byly následně nasazeny do webového prostředí.

Vlastní tvorba webové mapové aplikace probíhala v prostředí Notepad++ (verze 8.6.2) za využití knihovny Leaflet, která poskytuje široké možnosti pro interaktivní práci s mapovými vrstvami. Pomocí Leafletu byly realizovány varianty vizualizace zahrnující metody multiple view a swipe. Pro tvorbu barevných stupnic byl použit nástroj COLORBREWER.

Eye-trackingový experiment a následně zpracování záznamu probíhaly v softwaru Tobii Pro Lab (verze 1.194.4121 a 24.21.435). Statistická analýza a tvorba grafů byla realizována v prostředí RStudio (verze 12.1). K vizualizaci očních fixací a sekvenční analýze byl využit nástroj GazePlotter (Vojtechovská, 2023), který umožňuje generování sekvenčních grafů i přechodových matic mezi jednotlivými oblastmi zájmu (AOI).

Pro tvorbu skriptů v jazyce R a úpravu webových komponent byl jako podpora při ladění kódu využit jazykový model ChatGPT (OpenAI), který sloužil jako konzultační nástroj v průběhu programování a statistické analýzy.

Statistické metody

Statistická analýza získaných dat byla provedena v prostředí RStudio. Cílem bylo ověřit, zda existují statisticky významné rozdíly v délce řešení úkolů a chybovosti mezi vizualizačními metodami (multiple view a swipe), mezi skupinami respondentů a mezi typy úloh. Nejprve bylo provedeno porovnání času plnění úkolů mezi skupinami respondentů (Carto, Socio, Random). Respondenti byli rozděleni do tří skupin podle svého studijního zaměření. První skupinu tvořili studenti a zaměstnanci Katedry geoinformatiky, označení jako Carto. Druhou skupinu tvořili studenti sociologie, označení jako Socio. Třetí skupinu, označenou jako Random, představovali náhodně vybraní studenti univerzity, kteří nepatřili do žádné z předchozích skupin. Pro tento účel byl použit Wilcoxonův test. Tento test byl použit také pro porovnání časů mezi metodami multiple view a swipe pro každou úlohu. Pro porovnání mezi úlohami zaměřenými na Českou republiku, Evropskou unii a město Olomouc byl opět použit Wilcoxonův test.

Pro analýzu rozdílů v délce řešení mezi různými typy úloh (Difference, Points, Region) byl použit Kruskal-Wallisův test. V případě, že test ukázal statisticky významný rozdíl, byl následně proveden Dunnův post-hoc test s Bonferroniho korekcí. Dále byly výsledky analyzovány také pro jednotlivé typy úloh zvlášť, kde byl opět aplikován Wilcoxonův test, aby se ověřilo, zda metoda vizualizace (swipe vs. multiple view) měla vliv na čas řešení daného typu úkolu.

V poslední části analýzy byly porovnávány časy věnované jednotlivým oblastem zájmu (AOI) mezi dvěma metodami u vybraných úloh. Pro každou odpovídající dvojici oblastí (např. MapLEFT ve swipe vs. MapLEFT v multiple view) byl opět použit Wilcoxonův test. Výsledky byly doplněny o průměrné a mediánové hodnoty, a p-hodnoty byly upraveny metodami Bonferroni a FDR (False Discovery Rate), aby se minimalizovalo riziko vzniku chyb.

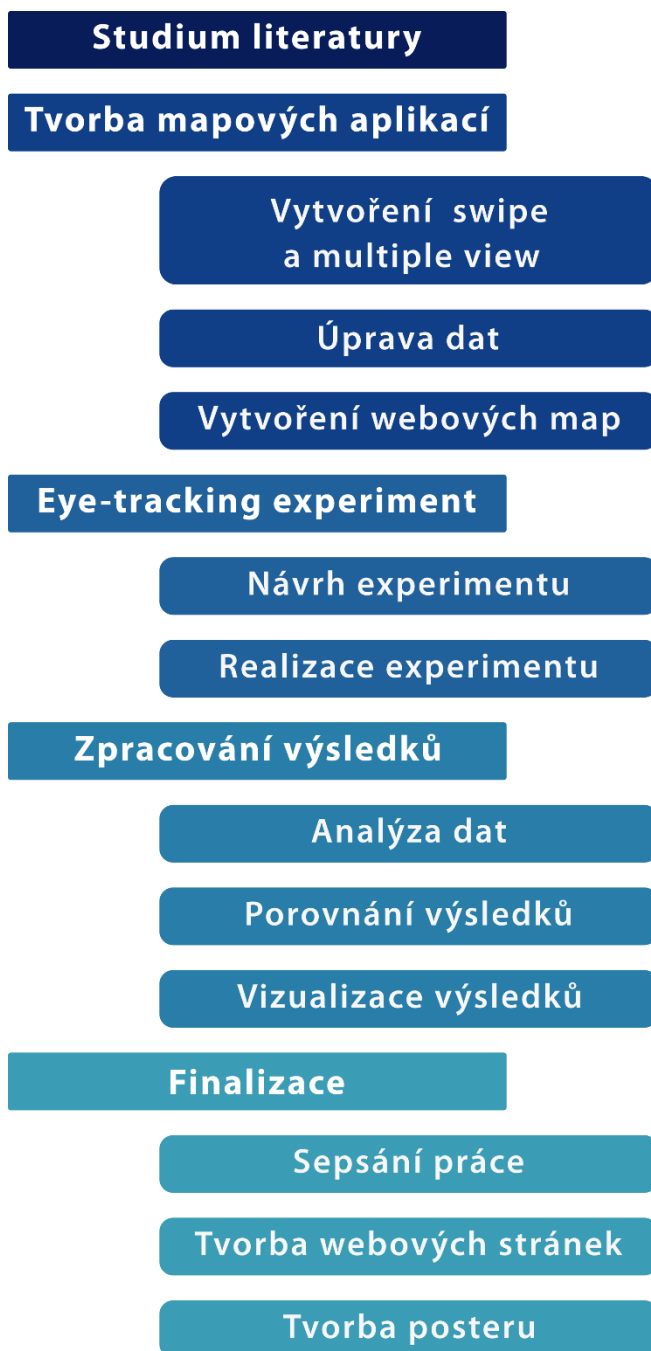
Kognitivní styl respondentů byl určen pomocí počítačového Navonova testu, který vyhodnocoval rychlost reakce na globální (celkové) a lokální (detailní) podněty. Na základě

rozdílů v reakčních časech byl vypočítán relativní index, který byl upraven o průměr celé skupiny. Pomocí směrodatné odchylky byly respondenti rozděleni do tří kategorií: analytický styl (rychlejší reakce na detaily), holistický styl (rychlejší reakce na celek) a neutrální styl (vyvážené zpracování).

Pro porovnání výkonnosti mezi skupinami respondentů s různým kognitivním stylem byl použit Kruskal-Wallisův test. Významnost rozdílu mezi metodami byla analyzována pomocí Wilcoxonova párového testu. Pro porovnání rozložení kategorií kognitivních stylů napříč skupinami byl nejprve použit chí-kvadrát test, jehož výsledek byl kvůli nízkým četnostem doplněn přesnějším Fisherovým testem.

Postup zpracování

Na obrázku 7 je stručně znázorněn postup zpracování diplomové práce.



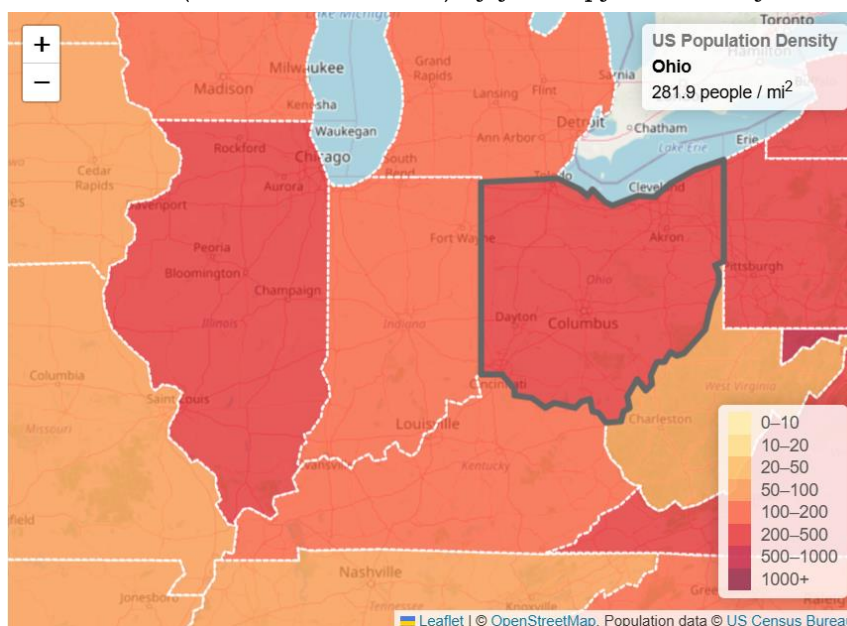
Obr. 7 Postup zpracování (zdroj: autor)

4 TVORBA MAP

V této části práce je popsán proces tvorby mapových vizualizačních nástrojů, které byly využity v experimentu. Pro implementaci byla zvolena knihovna Leaflet, která umožňuje interaktivní práci s geografickými daty ve webovém prostředí. Hlavním cílem bylo vytvoření nástrojů swipe a multiple view, aby bylo možné pomocí nich data porovnávat. Tvorba nástrojů byla realizována postupně, od základního zobrazení map, až po přidání pokročilých funkcionalit jako je synchronizace kurzorů či prvku swipu.

4.1 Úprava šablony Leaflet

Jako základ pro tvorbu webových map byla použita šablona Leaflet s názvem *Interactive Choropleth Map*, dostupná na oficiálních stránkách leafletjs.com (Leaflet, 2025). Tato šablona poskytuje předdefinovaný kód pro vykreslení mapy využívající metodu kartogramu na základě hodnot uložených v GeoJSON vrstvě. V této šabloně je také předem vytvořena informační tabulka, která zobrazuje informace o datech. Uživatelé se po přejetí kurzorem na území v mapě zobrazí informace o vrstvě jako je název mapy, zobrazené území (ORP pro Českou republiku a NUTS 2 pro státy Evropské unie) a hodnoty v území (Obr. 8). Kromě tabulky se také v mapě nachází legenda zobrazující jednotlivé kategorie. Prvek pro přibližování a oddalování (zoom in a zoom out) byly z mapy odstraněny.



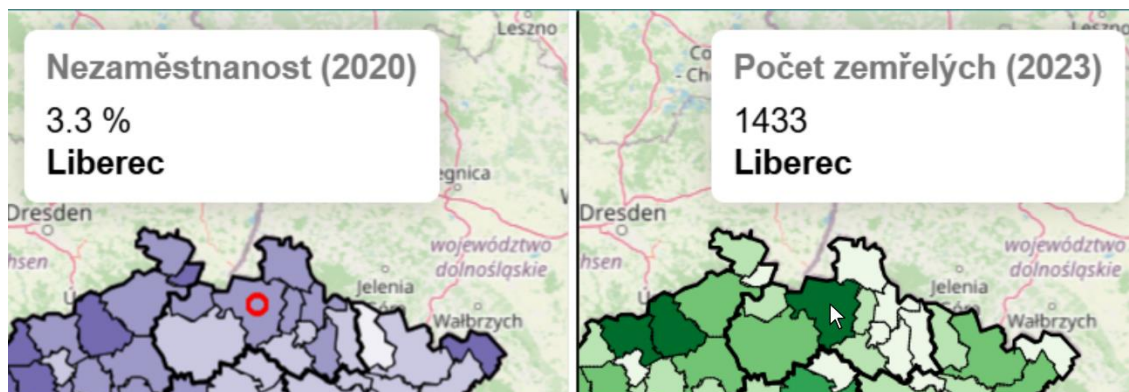
Obr. 8 Šablona leaflet (zdroj: <https://leafletjs.com/examples/choropleth>)

Nejprve byla šablona upravena do podoby multiple view. Struktura hlavního souboru *index.html* byla upravena tak, aby umožnila zobrazení dvou mapových oken. Po úpravě šablony byly vytvořeny kontejnery *#map1* a *#map2*, které byly nastaveny tak, aby každá mapa zabírala 49,5 % šířky a 100 % výšky obrazovky. Výsledkem bylo jejich zobrazení vedle sebe.

V rámci tvorby map byla zkušební vrstva obcí s rozšířenou působností (ORP) nahrána do online nástroje Mapshaper, kde byla provedena generalizace s cílem snížit velikost dat. Po tomto kroku byla vrstva stažena ve formátu shapefile a následně importována do softwaru QGIS, kde byla exportována do formátu GeoJSON jako soubor *.js*. Tato GeoJSON vrstva byla následně vykreslena ve webovém prostředí.

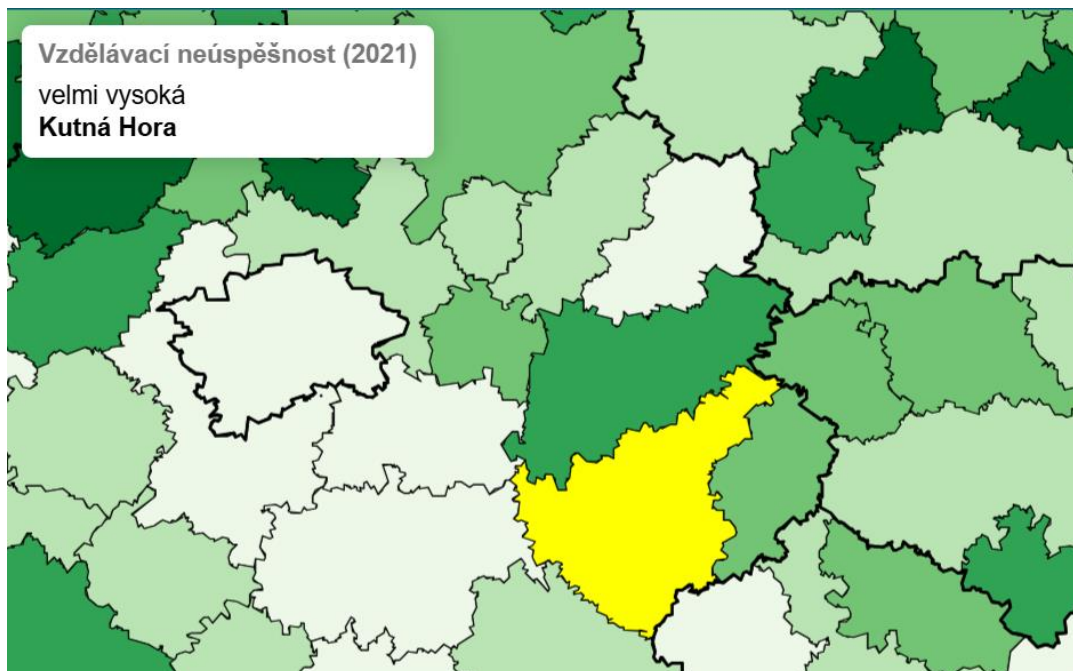
Dalším krokem bylo vytvoření mechanismu pro synchronizaci pozice kurzorů mezi oběma mapami. Cílem této funkcionality bylo zajistit, aby se při pohybu kurzoru v jedné

mapě zobrazil odpovídající kurzor na druhé mapě ve stejné relativní poloze. Úkolem kurzorů bylo nejen synchronizovat jejich pozici mezi oběma mapami, ale také zajistit, že při pohybu kurzoru na jedné mapě se zobrazí relevantní data pro odpovídající území na obou mapách současně. Jakmile uživatel pohyboval kurzorem na první mapě, data pro danou oblast byla automaticky aktualizována a zobrazená i na druhé mapě, čímž umožnila přímé porovnání informací mezi vrstvami (Obr. 9).



Obr. 9 Ukázka propojení kurzorů (zdroj: autor)

Pro účely experimentu byla implementována funkcionalita, která umožnila uživateli odpovídat na otázky během řešení úkolů. Byla přidána funkce, která po kliknutí myši na polygon obce s rozšířenou působností (ORP) zvýrazní tento polygon změnou jeho barvy na žlutou (Obr. 10). Změna barvy byla aktivována s jednosekundovým zpožděním (1 000 ms) od stisknutí tlačítka myši. Označení odpovědi fungovalo v obou mapách, ale neprobíhalo v obou mapách zároveň. Uživatel si tak mohl vybrat, jestli zvolí odpověď v pravé mapě, či levě.



Obr. 10 Označení odpovědi (zdroj: autor)

Posledním krokem bylo přidání hranic jednotlivých krajů České republiky. Tato vrstva byla do mapy přidána za účelem lepší orientace a vizualizace administrativního členění země.

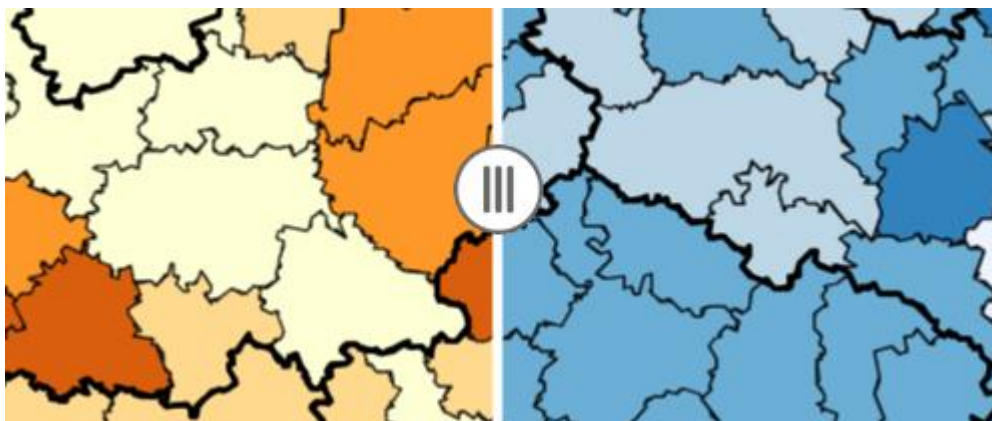
Stejným principem byla přichystány mapy pro zobrazení států Evropské unie (zobrazeny na úrovni NUTS 2) a pro historické mapy města Olomouc. Rozdílem

u historických map bylo to, že z map byly odebrány všechny funkcionality, jako je informační okno a legenda. Pro zaznačení odpovědi zde uživatel musel přímo do mapy nakreslit polygon (Obr. 11). Z tohoto důvodu byla do aplikace přidána funkce pro kreslení. Kreslení probíhalo tak, že uživatel stiskl pravé tlačítko myši a pohybem kurzoru vytvářel tvar polygonu. Ukončení kreslení se provedlo opětovným stiskem pravého tlačítka.



Obr. 11 Označení odpovědi u historických map (zdroj: autor)

Vytvoření funkce swipe vycházelo z původní Leaflet šablony, která sloužila jako základ pro mapu. Klíčovým prvkem implementace byla funkce `clip()`, která umožnila uživateli posouvat dělicí čáru mezi dvěma vrstvami. Tato funkce zajistila, že první mapa zůstala neměnná, zatímco na ní byla umístěna druhá mapa, která byla dynamicky ořezávána v závislosti na pozici posuvníku. Uživatel tak mohl plynule porovnávat obě vrstvy, přičemž funkce `clip` kontrolovala, jaká část druhé mapy je viditelná. Tím vznikl efekt swipu, kdy se jedna vrstva "posouvala" nad druhou (Obr. 12).



Obr. 12 Funkce swipe (zdroj: autor)

Stejně jako u funkce `multiple view`, i u `swipe` byly zachována informační okna a legenda. U `swipu` však došlo k úpravě informačních oken. Při přejetí kurzoru na levou mapu se zároveň zobrazovaly informace o vrstvách na pravé mapě a naopak. Mezi tyto informace patřil název mapy a hodnoty zobrazené červenou barvou, což umožnilo uživateli snadno porovnat údaje z obou vrstev současně (Obr. 13). Stejný princip byl poté aplikován i pro státy Evropské unie a historické mapy města Olomouce. Pro označení odpovědi bylo možné použít stejné označení jako v případě `multiple view`. Šablony tak byly přichystány a následovalo vložení dat.



Obr. 13 Informační okno u swipu (zdroj: autor)

4.2 Příprava dat a návrh testovacích úloh

Pro potřeby tvorby map byla vybrána sociologická data z databází DataPAQ a Eurostatu. Celkem bylo vybráno 21 ukazatelů (z toho 11 pro státy Evropské unie). Konkrétní ukazatele jsou zobrazeny v tabulce 1. Dalším krokem byla kontrola dat a jejich úprava pro potřeby experimentu. Byl navržen soubor úkolů, tak aby odpovídaly designu eye-tracking experimentu a umožnily testování efektivity vizualizačních nástrojů multiple view a swipe. Každý úkol měl shodné zadání pro oba vizualizační přístupy, ale pracoval s odlišnými datovými sadami. Každý úkol byl vytvořen zvlášť pro Česko a zvlášť pro Evropu, což umožnilo porovnání v různých geografických měřících. Úkoly byly koncipovány tak, aby zahrnovaly různé typy srovnávacích analýz, včetně hledání rozdílů mezi oblastmi, identifikace nejvyšších a nejnižších hodnot či lokalizace chybějících objektů. Konkrétní úkoly je možné vidět na obrázku 14.

Tab. 1 Seznam sociologických ukazatelů

Sociologické ukazatele	
Česká republika	Evropská unie
Socioekonomické znevýhodnění (2021 a 2023)	Počet narozených dětí (2021 a 2022)
Vzdělávací neúspěšnost (2021 a 2023)	Osoby ohrožené chudobou nebo sociálním vyloučením (2022 a 2023)
Nezaměstnanost (2018 a 2020)	Očekávaná délka života mužů (2021 a 2022)
Počet zemřelých (2022 a 2023)	Osoby pracující v potravinářském průmyslu (2019)
Rozvody (2022 a 2023)	Osoby pracující v chemickém průmyslu (2020)
Účast ve volbách do Evropského parlamentu (2019 a 2023)	Míra zaměstnanosti (2023)
Index destabilizace chudoby (2023)	Osoby s terciálním vzděláním (2023)
Sňatky (2022)	Nezaměstnanost (2022 a 2023)
Osoby pracující v odvětví stavebnictví (2021)	Osoby s vyšším sekundárním a post-sekundárním vzděláním (2022 a 2023)
Osoby pracující v odvětví vzdělávání (2021)	Očekávaná délka života žen (2021 a 2022)
	Osoby se základním nebo nižším vzděláním (2022)

Na základě navržených úkolů byla data upravena, aby mapy odpovídaly jednotlivým zadáním. Celkem bylo vytvořeno 14 úkolů, které zahrnovaly 24 map pro srovnání sociologických dat, čtyři historické mapy města Olomouce a čtyři mapy pro seznámení uživatelů s ovládáním nástrojů. Pro jednotlivé vizualizační metody byly mapy rozděleny následovně:

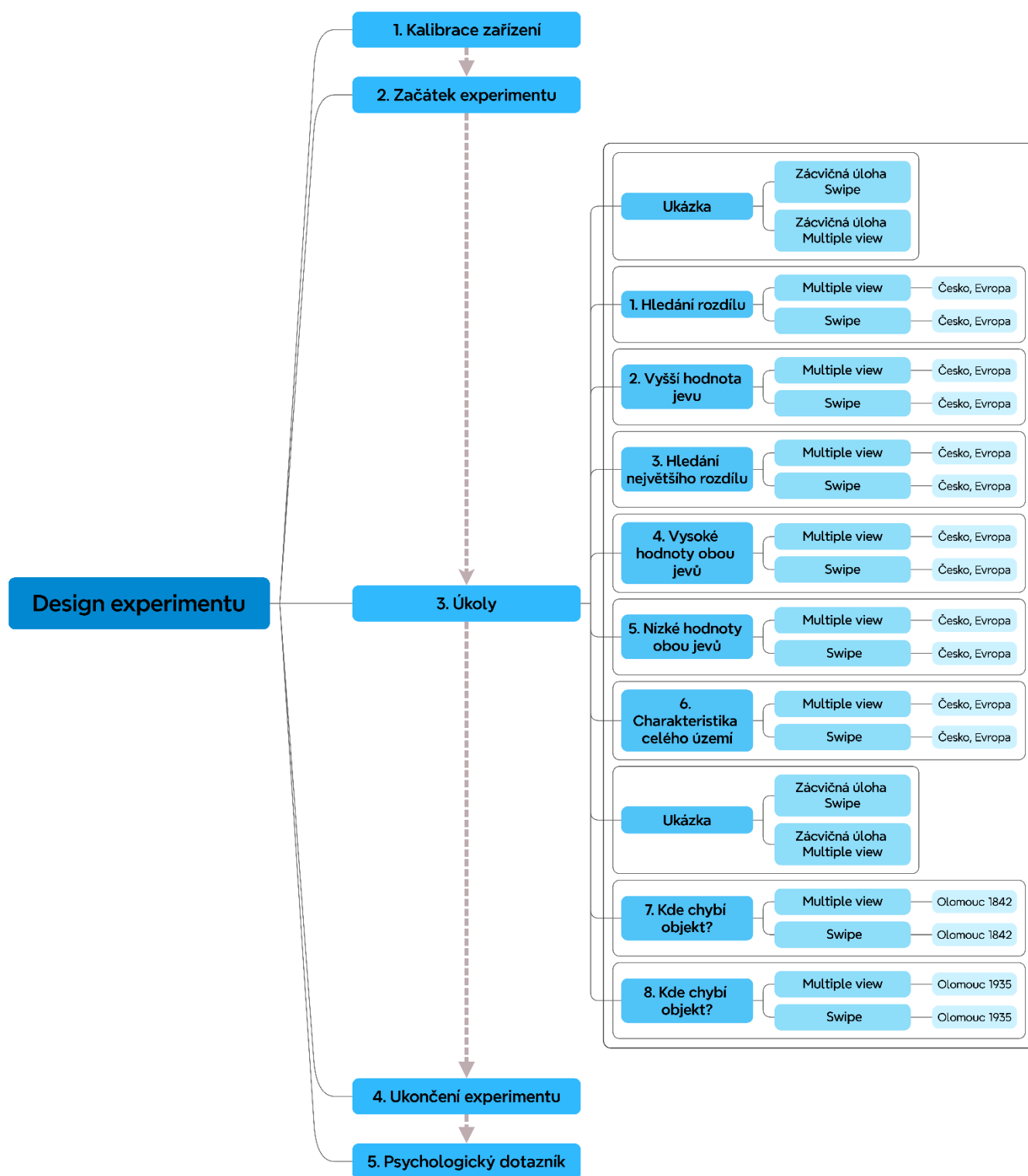
- Šest map pro swipe Česká republika
- Šest map pro multiple view Česká republika
- Šest map pro swipe Evropská unie
- Šest map pro multiple view Evropská unie
- Dvě mapy pro swipe Olomouc
- Dvě mapy pro multiple view Olomouc

Na základě stanovených úkolů (Obr. 14) následovala úprava sociologických dat, tak aby odpovídaly konkrétním požadavkům experimentu. Pro každý úkol byly provedeny specifické změny, které umožnily zaměřit se na různé aspekty analýzy dat. V každém úkolu byl vždy jako správná odpověď určen pouze jeden konkrétní polygon, což později umožnilo jednoznačné vyhodnocení výsledků experimentu. Podrobněji úkoly vypadaly následovně:

1. **Úkol 1. (Hledání jednoho rozdílu):** V tomto úkolu byly dvě zcela identické mapy, s výjimkou jednoho polygonu, který měl upravenou hodnotu. Úkolem bylo najít tento rozdíl.
2. **Úkol 2. (Hledání největší změny):** V obou mapách byly označeny tři stejné polygony třemi body v každé mapě, a uživatel měl zjistit, který z těchto polygonů vykazuje největší změnu hodnoty.
3. **Úkol 3. (Hledání největšího rozdílu):** Více změn mezi mapami. Cílem bylo identifikovat polygon s největší změnou.
4. **Úkol 4. (Hledání území s vysokými hodnotami):** V obou mapách byly označeny třemi body tři stejné polygony. Úkolem bylo určit, který z těchto bodů má v obou mapách vysoké hodnoty.,
5. **Úkol 5. (Hledání území s vysokými hodnotami):** Tento úkol byl stejný jako čtvrtý úkol, ale zaměřoval se na hledání nízkých hodnot.
6. **Úkol 6. (Hledání hodnot v rámci většího území):** Na základě mapy, která zobrazuje data na úroveň NUTS 2 nebo ORP vybrat stát nebo kraj, který obsahuje vysoké hodnoty (nebo nízké hodnoty).
7. **Úkol 7 a 8. (Hledání chybějícího objektu):** Tento úkol byl vybrán pro historické mapy města Olomouce. V jedné z map byla vždy odstraněna jedna z budov a jako druhá mapa byla stejná, ale bez úpravy.

Upravená data byla následně propojena s upravenou Leaflet šablonou pro metody multiple view a swipe. Po propojení byla data načítána jako GeoJSON a pro každou dvojici map byly nastaveny odpovídající informace, které byly následně zobrazeny v informačních oknech. Také byla potřeba upravit legendy všech map a nastavit jim odpovídající barevné stupnice. Legendy map byly vytvořeny pomocí nástroje COLORBREWER. Tento nástroj slouží k návrhu optimalizovaných barevných stupnic pro kartografické vizualizace, přičemž zohledňuje čitelnost a vnímání barev (Brewer, 2002).

V rámci úkolů souvisejících s historickými mapami Olomouce byla provedena úprava map, konkrétně odstranění budov. Tento proces byl realizován manuálně v programu Inkscape. Upravené mapy byly následně georeferencovány v softwaru Maptiler a poté z nich byly vytvořené mapové dlaždice. Ty byly následně nahrány na web, odkud byly načítány jako mapové vrstvy do přichystaných šablon (Příloha 10).



Obr. 14 Návrh úkolů pro experiment (zdroj: autor)

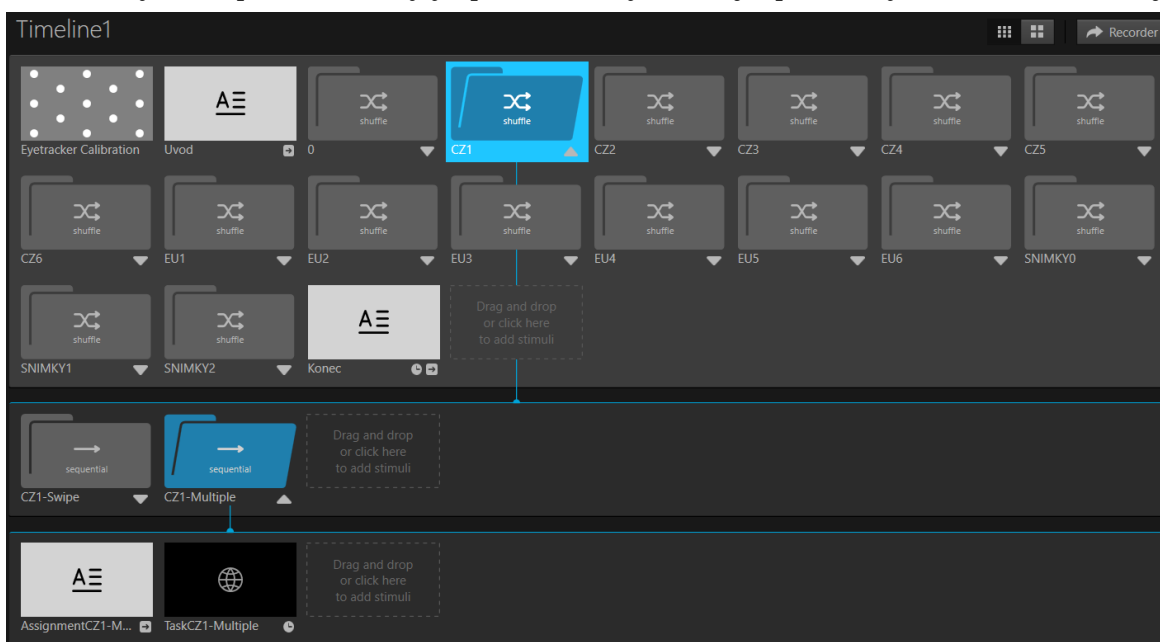
5 EYE-TRACKING EXPERIMENT

Tato kapitola se zaměřuje na realizaci eye-tracking experimentu, jehož cílem je porovnání efektivity zvolených vizualizačních nástrojů. Nejprve bude popsána příprava experimentu a provedení zkušebního testování. V následujících podkapitolách bude podrobněji rozebrán průběh experimentu a výběr respondentů. Závěrem je detailně popsána analýza záznamů, která byla klíčová pro získání dat potřebných k vyhodnocení účinnosti testovaných vizualizačních nástrojů.

5.1 Příprava experimentu

Po dokončení přípravy dat a úpravě map následovala realizace experimentu. Experiment byl navržen tak, aby poskytl relevantní informace o efektivitě vizualizačních metod swipe a multiple view při porovnávání sociologických dat.

Příprava úkolů probíhala v prostředí softwaru Tobii Pro Lab, kde byly vytvořeny jednotlivé zadání a struktura úkolů. Samotné úlohy byly prezentovány v pevně stanoveném pořadí (Obr. 15), avšak pořadí vizualizačních metod (multiple view a swipe) bylo mezi účastníky náhodně střídáno, aby se předešlo efektu učení nebo preferenci jedné z metod na základě pořadí. Na úvod měli účastníci možnost vyzkoušet si funkcionalitu metod multiple view a swipe pomocí dvou cvičných úloh. Tyto úlohy měly za cíl seznámit účastníky s označováním odpovědi a způsobem práce s jednotlivými vizualizačními nástroji. Po cvičných úlohách následovala hlavní část experimentu zaměřená na porovnávání sociologických dat. Nejprve bylo prezentováno šest úkolů zaměřených na území České republiky, přičemž každý úkol byl připraven ve dvou variantách s využitím metody multiple view a metody swipe. Po dokončení této části následovalo šest obdobně strukturovaných úkolů pro státy Evropské unie, rovněž vždy ve dvojicích pro každý z vizualizačních nástrojů. Po této části následovaly dvě cvičné úlohy zaměřené na práci s historickými mapami. Tyto úlohy měly účastníkům přiblížit nový způsob označování odpovědi pomocí kreslení čtverce. Po úvodním nácviku následovaly čtyři úkoly s historickými mapami, které byly opět rozděleny do dvojic pro každý vizualizační nástroj.



Obr. 15 Struktura eye-tracking experimentu (zdroj: autor)

Funkčnost byla ověřena pilotním testováním na pěti studentech. Testování zahrnovalo celkem 28 úkolů, z nichž čtyři byly cvičné a sloužily k seznámení účastníků s funkcionalitami jednotlivých vizualizačních nástrojů. Po pilotním testování, ve kterém účastníci vyřešili 140 úloh, bylo identifikováno 20 chybných odpovědí (s výjimkou cvičných úloh). Tyto záznamy sloužily pouze pro otestování funkcionality a nebyly poté zahrnuty do celkových výsledků.

Na základě zpětné vazby od účastníků pilotního testování byly do experimentu zavedeny určité úpravy. Jednou z nich bylo nastavení maximální doby pro každý úkol na dvě minuty, protože někteří účastníci během pilotního testování strávili řešením úkolů až 40 minut, přičemž jeden z nich dokonce 50 minut. Tento krok zajistil rovnoměrné trvání experimentu, jelikož měli všichni účastníci stejné časové podmínky pro plnění jednotlivých úkolů. V případě, že účastník nestihl dokončit úkol ve stanoveném čase, byl jeho úkol označen za nedokončený z důvodu uplynutí stanoveného času. Na základě zpětné vazby byly provedeny i úpravy jednotlivých zadání úkolů, aby lépe odpovídaly požadavkům experimentu a zajistily plynulý průběh testování.

5.2 Průběh sběru dat

Sběr dat se uskutečnil na katedře geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci v eye-tracking laboratoři. Sběr dat probíhal ve všední dny na přelomu ledna a února roku 2025. K účasti na experimentu byly vybrány tři skupiny respondentů a každá z nich obsahovala 15 osob. První skupinu tvořili studenti a zaměstnanci Katedry geoinformatiky, kteří měli pokročilé znalosti v oblasti kartografie a geoinformatiky (označení Carto). Druhou skupinu tvořili studenti oboru sociologie (označení Socio). Třetí skupinu tvořili náhodně vybraní studenti univerzity, kteří nepatřili do žádné z předchozích skupin (označení Random). Účastníkům byl za účast v experimentu poskytnuta finanční odměna hrazená z prostředků projektu GAČR.

Experiment začal seznámením účastníků s jeho cílem a průběhem. Po úvodním seznámení následovalo podepsání informovaného souhlasu o účasti, což zajistilo dodržení etických standardů výzkumu. Poté byli účastníci rozřazeni do skupin podle svého odborného zaměření. Následně byla provedena kalibrace eye-tracking zařízení, po které byli účastníci informováni o tom, že v případě problémů se mohou kdykoliv zeptat na zadání konkrétní úlohy. Během experimentu byly odpovědi účastníků manuálně zaznamenávány do tabulky, jelikož softwarové řešení neumožňovalo automatický záznam odpovědí.

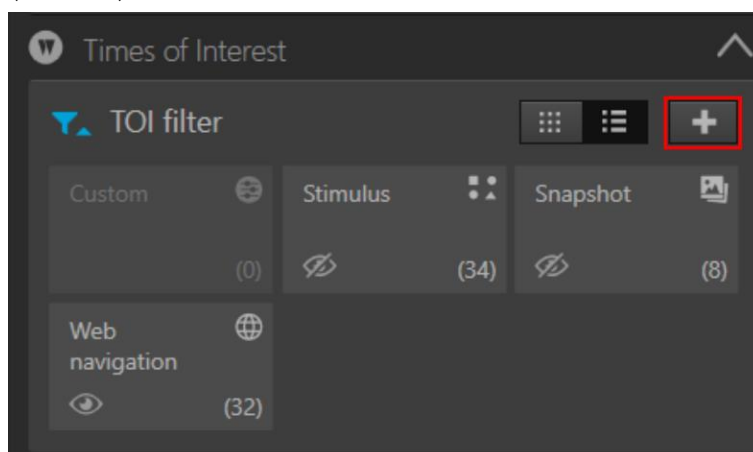
Po dokončení hlavní části experimentu byli účastníci požádáni o vyplnění psychologického dotazníku pro doplnění informací o jejich kognitivním stylu. Tento test byl realizován pomocí platformy Hypothesis, vyvinuté na Masarykově univerzitě v Brně (Šašinka, 2017). Test vycházel z principů Navonova testu (Navon, 1977), jenž funguje na základě prezentace hierarchických vizuálních podnětů, které obsahují globální tvar složený z menších lokálních prvků (například velká číslice tvořena malými číslicemi jiného typu). Účastníci byli vyzváni, aby identifikovali buď globální, nebo lokální obrazec, přičemž byly sledovány jejich reakční doby a přesnost. Na základě preferencí a výkonu při rozpoznávání těchto čísel byl poté každému respondentovi určen kognitivní styl – analytický (zaměřený spíše na detaily a lokální informace), holistický (zaměřený na celek a globální strukturu), nebo neutrální, pokud nebyla výrazná preference detekována. Po vyplnění následovalo ukončení celého experimentu a odevzdání finanční odměny respondentům.

5.3 Analýza dat

Celkový čas záznamů činil 19 hodin a 42 minut. Vzhledem k počtu respondentů to odpovídá přibližně 26 minutám záznamu na jednoho účastníka. Tento soubor dat byl následně zpracován v softwaru Tobii Pro Lab a připraven pro statistickou analýzu.

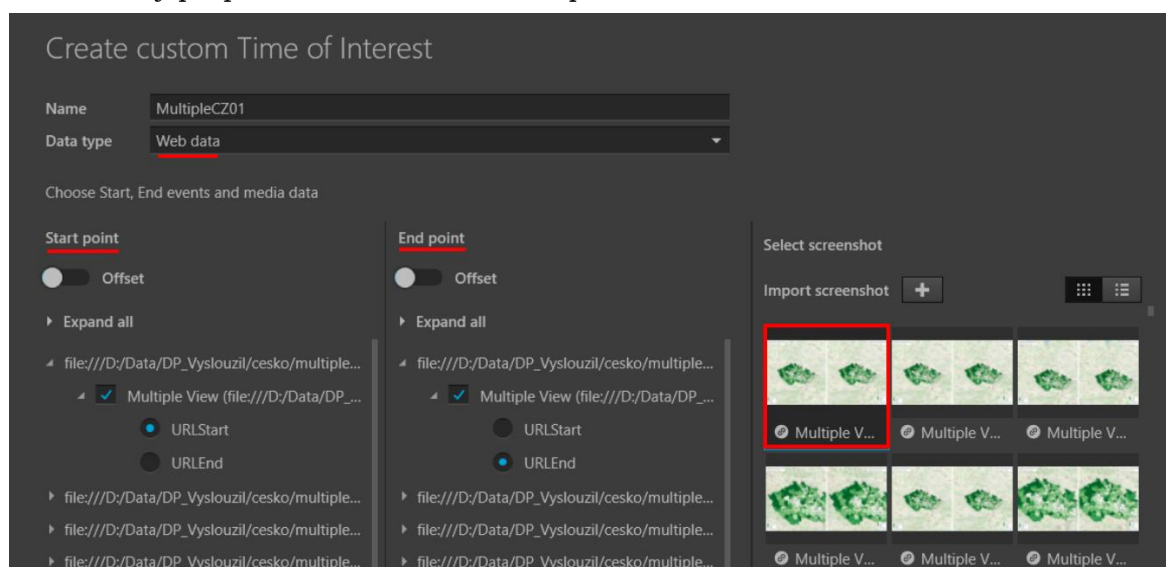
Times of Interest

Nejprve byl definován pro každý úkol čas zájmu, tzv. TOI (Times of Interest). Pomocí TOI bylo možné definovat časový úsek, kdy respondent řešil konkrétní úlohu během experimentu. TOI lze vytvořit v záložce „Times of Interest“ v levé části postranního panelu programu Tobii (Obr. 16).



Obr. 16 Vytvoření Times of Interest (zdroj: autor)

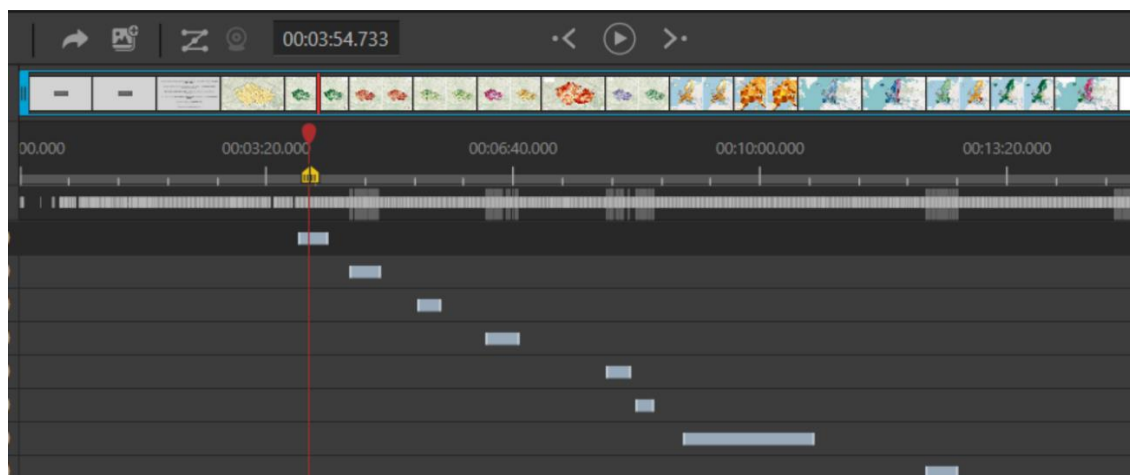
Dalším krokem je vytvoření TOI (Obr. 17). Jako zdroj dat bylo nutné uvést „Web data“, jelikož byly mapy načítány ve webovém prostředí. Následuje určení počátku a konce úkolu pomocí událostí „URLStart“ a „URLEnd“, které označují začátek a konec konkrétního úkolu. Ke každému úkolu je také možné připojit snímek obrazovky, který byl pořízen automaticky při provádění úkolu během experimentu.



Obr. 17 Nastavení pro tvorbu TOI (zdroj: autor)

Tímto způsobem byly stanoveny časy zájmu (TOI) pro všechny úkoly, s výjimkou cvičných, které nebyly součástí analýzy. Jakmile byly TOI vyznačeny pro jeden konkrétní záznam, tedy pro jednoho respondenta, systém automaticky vygeneroval odpovídající TOI

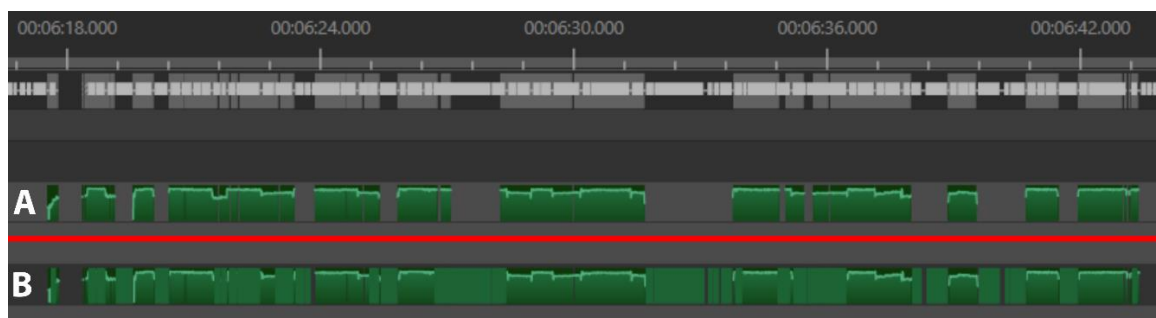
i pro všechny ostatní záznamy. Vymezení jednotlivých úkolů je poté možné zobrazit v časové ose pod záznamem (Obr. 18).



Obr. 18 Časová osa s vyznačenými TOI (zdroj: autor)

Přiřazení fixací

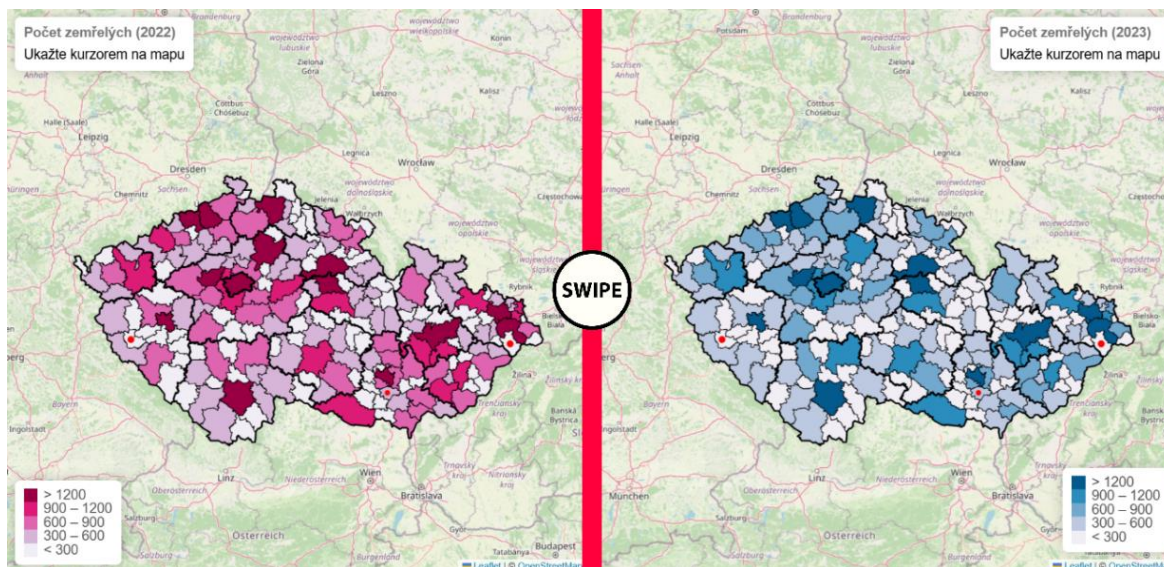
Dalším krokem bylo přiřazení fixací k jednotlivým snímkům. Do programu byly importovány snímky reprezentující jednotlivé úkoly a na hlavní stránce projektu byla spuštěna funkce *Batch – Assisted Mapping* pro hromadné přiřazení fixací ke zvolenému snímku. Samotné přiřazení fixací je však výpočetně velmi náročné, jelikož zpracování jednoho úkolu trvalo přibližně tři hodiny. Po dokončení automatického přiřazení fixací však bylo zjištěno (Obr. 19), že výpočet neproběhl správně a jsou zde prázdné úseky bez fixací u všech respondentů. Příčinou těchto chyb byla uživatelská interakce s mapou během úkolu. Uživatelé mohli mapu posouvat, přibližovat a oddalovat, což způsobilo nesoulad mezi skutečnou polohou pohledu a statickým snímkem, na který software fixace přiřazoval. Nástroj tak nedokázal správně určit, kam fixaci umístit, pokud byla mapa posunuta mimo výchozí zobrazení. Z tohoto důvodu bylo nezbytné provést kontrolu všech záznamů a ručně opravit nepřesnosti ve fixacích. Tato oprava byla opět velmi časově náročná, jelikož i úseky, které byly přiřazeny během výpočtu, neodpovídaly přesné pozici uživatelského pohledu. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto zaměřit se pouze na osm úloh *multiple view*, u nichž byl znovu spuštěn proces *Assisted Mapping* a následně provedena pečlivá kontrola a oprava fixací. Konkrétně byly pro analýzu vybrány úkoly 2, 4, 5 a 6 (Kapitola 4.2), a to jak pro data týkající se České republiky, tak pro data týkající se Evropské unie.



Obr. 19 A: Automatické přiřazení fixací. B: Fixace po provedení manuální opravy (zdroj: autor)

Po zpracování úloh typu *multiple view* následovalo přiřazení fixací pro úlohy typu *swipe*. V tomto případě však nebylo možné použít snímek obrazovky přímo z úlohy, protože uživatelé během řešení aktivně pohybovali posuvníkem, čímž se průběžně měnilo zobrazení mapy. Z tohoto důvodu byl vytvořen nový statický referenční snímek, který měl za cíl co

nejvěrněji napodobit vzhled metody swipe. Mapy, které byly původně určeny pro interaktivní porovnávání pomocí nástroje swipe, byly upraveny do podoby statického dvojitého zobrazení (multiple view). Mezi dvě mapy byl graficky vložen kruhový prvek, který vizuálně imitoval posuvník typický pro metodu swipe. Cílem této úpravy bylo vytvořit referenční vizuální scénu, která umožní porovnání s interaktivní verzí, ale nebude obsahovat žádné pohyblivé se či měnící se prvky (Obr. 20).



Obr. 20 Převod úlohy swipe do podoby multiple view (zdroj: autor)

Tato úprava však znemožnila využití funkce *Assisted Mapping*, protože výsledný snímek již neodpovídal podobě, kterou účastníci viděli během experimentu. Veškeré fixace tak musely být přiřazeny manuálně. V případech, kdy se uživatel díval přímo na prvek posuvníku, byla příslušná fixace manuálně umístěna na vložený kruh znázorňující element swipu. Celý proces přiřazení fixací u swipe úloh byl opět velmi časově náročný. Přiřazení všech fixací pro jednu úlohu trvalo přibližně čtyři hodiny. Z tohoto důvodu byly pro analýzu vybrány pouze dvě úlohy typu swipe (Úkol 2 pro Českou republiku a Úkol 6 pro Evropskou unii, viz. 4.2), u nichž byl tento postup kompletně realizován.

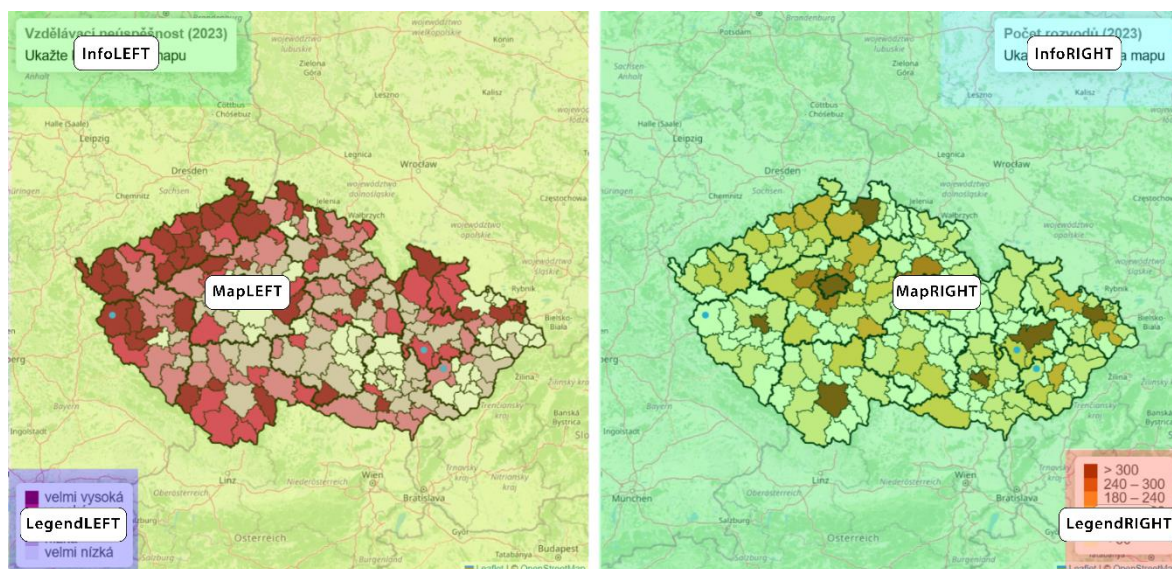
Úkoly 1 a 3 pro mapy a Úkoly 7 a 8 pro historické mapy Olomouce nebyly do analýzy zahrnuty. Důvodem bylo to, že tyto úkoly nebyly dostatečně komplexní pro interaktivní analýzu. V těchto úlohách bylo uživatelským cílem pouze najít jeden konkrétní rozdíl, což nevyžadovalo interaktivní porovnání nebo manipulaci s mapami, jako tomu bylo u ostatních vybraných úloh.

Oblasti zájmu

Pro všech deset vybraných úkolů byly následně definovány oblasti zájmu, tzv. AOI (Areas of Interest). AOI lze vytvořit pomocí nástroje AOI Tool v záložce Analýza. Nejprve byl vybrán odpovídající snímek pro každou úlohu, na který byly předtím přiřazeny fixace. Následovalo rozdělení snímku na jednotlivé odpovídající části. Pro mapy multiple view byly AOI následující:

- Pravá mapa (MapRIGHT)
- Levá mapa (MapLEFT)
- Pravé informační okno (InfoRIGHT)
- Levé informační okno (InfoLEFT)
- Pravá legenda (LegendRIGHT)
- Levá legenda (LegendLEFT)

Pro mapy při řešení úloh založené na metodě swipe byly oblasti zájmu totožné jako u multiple view. Byla zde ale vymezena ještě jedna oblast uprostřed snímku, která odpovídala posuvníku. Na obrázku 21 je možné vidět vymezená AOI pro úlohu multiple view. Zde je možné vidět, že v případě informačních oken byla oblast zájmu větší než samotné okno. Důvodem tohoto vymezení je, že během úkolů se velikost okna měnila v závislosti na pohybu kurzoru uživatele. Vymezení oblasti pouze kolem okna by vedlo k ztrátě informací o fixacích v dané oblasti.



Obr. 21 Vymezení AOI u map multiple view (zdroj: autor)

Export dat

Pro export detailních záznamů o fixacích byl využit nástroj *Data Export* dostupný v záložce *Analyze*. Export probíhal ve formátu „Single standard file (.tsv)“. Před exportem dat bylo nutné vybrat všechny snímky, na které byly fixace přiřazeny. V rámci výběru dat byly zvoleny všechny TOI a také definované oblasti zájmu (AOI). Výsledný exportovaný soubor obsahoval časově přesná a strukturovaná data o jednotlivých fixacích v rámci každého úkolu a oblastech zájmu.

Pro získání souhrnných informací o délce trvání jednotlivých úkolů a o časech strávených v AOI byl následně použit nástroj *Metrics Export*, taktéž v záložce *Analyze*. V tomto případě byly zvoleny výstupní formáty „AOI-based TSV file“ a „Interval-based TSV file“. Výběr dat probíhal obdobně jako u předchozího exportu, tedy označením všech nahrávek, snímků a TOI. Exportované soubory obsahovaly informace o časech strávených v jednotlivých AOI a délce trvání jednotlivých úkolů.

6 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU

V následující části jsou popsány jednotlivé výsledky experimentu. Nejprve byl analyzován celkový a průměrný čas pro řešení úloh a také míra chybovosti účastníků. Následovala analýza délky trvání jednotlivých úkolů, které byly porovnávány v rámci všech účastníků. Následně byla provedena obdobná analýza s rozdělením délky trvání mezi skupiny respondentů. Úkoly byly rozděleny do tří typů podle podobnosti a poté byla analyzována délka jejich řešení. V poslední části byly srovnány oblasti zájmu (AOI) mezi metodami multiple view a swipe. Následně byly vizualizovány fixace v jednotlivých AOI pomocí sekvenčních grafů a matic přechodů.

6.1 Délka řešení úloh a chybovost

Prvním krokem analýzy bylo získání údajů o délce trvání každého úkolu pro jednotlivé účastníky. Tyto informace byly přepisovány ze souboru exportovaného v prostředí Tobii Pro Lab pomocí *Metrics Export*. Následně byly označeny úkoly, při kterých účastníci označili chybnou odpověď a také úkoly které nebyly splněny v časovém limitu dvou minut. Následoval výpočet celkového času pro každou úlohu a také průměrného času. Posledním krokem bylo přiřazení počtu chybných odpovědí a nedokončených úloh.

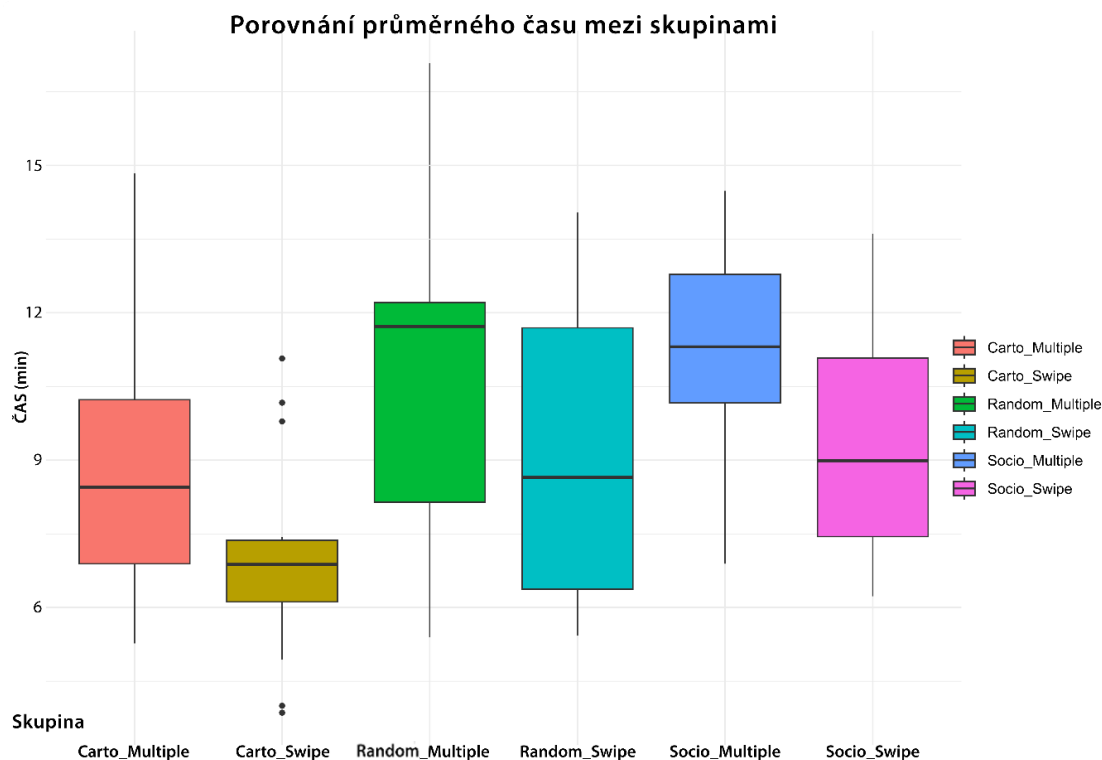
Z celkových 1 260 úkolů, které obsahoval experiment, bylo zjištěno 140 chybných odpovědí a 35 odpovědí nedokončených kvůli časovému omezení. Chybovost mezi jednotlivými skupinami byla velmi podobná. U skupiny Carto byla chybovost 11,19 % u skupiny Random 11,90 % a u skupiny Socio 11,43 %. Průměrný čas potřebný pro dokončení úlohy využívající nástroj multiple view byl 44 sekund. Oproti tomu úkoly založené na metodě swipe měly průměrný čas 36,4 sekundy. Konkrétní časy a chyby při řešení úloh je možné pozorovat na obrázku 22. Velký rozdíl je možné pozorovat u úkolu MVCZ05 a SWCZ05 kde byly účastníkům zobrazeny dvě mapy s třemi označenými body. Účastník měl mezi sebou tyto body porovnat a označit území, ve kterém jsou v obou mapách nízké hodnoty. U této úlohy byla rychlejší metoda multiple view v průměru o 11,4 sekundy oproti swipu. Nicméně účastníci při použití metody multiple view udělali celkem 20 chyb oproti metodě swipe, kde bylo pouze pět chyb.

TASK	MVCZ01	MVCZ02	MVCZ03	MVCZ04	MVCZ05	MVCZ06	MVEU01	MVEU02	MVEU03	MVEU04	MVEU05	MVEU06	MVOL01	MVOL02
Čas celkem (min)	38,00	30,66	39,78	26,84	20,00	26,15	42,02	27,69	59,98	20,69	17,15	29,30	43,85	40,04
Čas průměr (s)	50,7	40,9	53	35,8	26,7	34,87	56,1	36,9	80,7	27,6	22,9	39,1	58,5	53,4
Chyby	0	1	15	3	20	7	0	1	5	4	19	3	1	1
Nesplněno	4	0	1	0	0	0	4	0	6	0	0	0	6	7
TASK	SWCZ01	SWCZ02	SWCZ03	SWCZ04	SWCZ05	SWCZ06	SWEU01	SWEU02	SWEU03	SWEU04	SWEU05	SWEU06	SWOL01	SWOL02
Čas celkem (min)	27,24	31,60	41,84	35,31	28,67	23,68	15,23	27,80	30,51	24,18	23,89	29,07	22,30	20,37
Čas průměr (s)	36,3	42,1	55,8	47,1	38,1	31,6	20,3	37,1	40,7	32,2	31,8	38,8	29,7	27,2
Chyby	3	6	3	5	5	2	3	4	1	5	16	12	0	0
Nesplněno	1	0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1

Obr. 22 Časy řešení úkolů a chyby (zdroj: autor)

Následovalo statistické porovnání času plnění úkolů podle skupin respondentů. K tomuto porovnání byl použit Wilcoxonův test v prostředí programu RStudio. Výsledky ukázaly že metoda swipe byla v průměru rychlejší než multiple view ve všech třech skupinách. Analýza byla prováděna na hladině významnosti $\alpha = 0,05$, a všechny výsledky byly statisticky významné. V případě skupiny Carto byl swipe v průměru o 2,09 minuty rychlejší než swipe ($p < 0,001$). U skupiny Random o 1,77 minuty ($p = 0,002625$) a u skupiny Socio o 1,48 minuty ($p < 0,001$). Výsledky potvrzují, že účastníci všech skupin dokázali úkoly řešit rychleji pomocí nástroje swipe, což naznačuje vyšší efektivitu z hlediska časové náročnosti. Konkrétní hodnoty lze sledovat v boxplotu (Obr. 23), kde jsou

zobrazeny průměrné časy pro řešení úloh multiple view a swipe mezi jednotlivými skupinami respondentů. Nástroj swipe umožňoval nejen rychlejší řešení úloh, ale vedl také k nižší celkové chybovosti (65 chyb) než metoda multiple view, u které bylo zaznamenáno 80 chyb. To naznačuje, že metoda swipe byla efektivnější nejen z hlediska času, ale také z hlediska přesnosti.



statisticky významný. Přestože byla metoda v těchto úlohách rychlejší, rozdíl nebyl dostatečně velký a nelze jej považovat za důležitý. Metoda multiple view byla rychlejší ve třech úlohách. Konkrétně v úloze 2 (hledání největší změny ve třech vyznačených bodech), úloze 4 (nalezení polygonu s vysokými hodnotami v obou mapách) a úloze 5 (nalezení polygonu s nízkými hodnotami v obou mapách). Statisticky významný rozdíl mezi metodami byl však potvrzen pouze u úloh 4 a 5. U úkolů 2, 3 a 6 nebyl mezi metodami multiple view a swipe statisticky významný rozdíl. V těchto případech byly rozdíly v časech mezi oběma metodami přítomny, avšak hodnoty p-value byly vyšší než stanovená hladina významnosti (0,05). To naznačuje, že rozdíly mezi metodami v těchto úkolech byly příliš malé nebo data byla příliš variabilní na to, aby je statistický test považoval za významné. Shrnutí výsledků ukazuje, že metoda swipe byla efektivnější při rychlém odhalování jednoznačných změn (úkol 1), zatímco metoda multiple view se osvědčila zejména při paralelním porovnávání hodnot v obou mapách (úkoly 4 a 5). Hodnoty délky trvání úkolů pro jednotlivé metody jsou zobrazeny pomocí boxplotů v příloze 1.

Tab. 2 Porovnání časů metod multiple view a swipe pro Českou republiku.

ČR	METODA	Medián (s)	METODA	Medián (s)	p-value	Významnost	Rychlejší metoda
Úkol 1	multiple view	41,9	swipe	32	0,0091	ANO	swipe
Úkol 2	multiple view	33,6	swipe	37,4	0,42	NE	multiple view
Úkol 3	multiple view	47,2	swipe	55,8	0,7543	NE	swipe
Úkol 4	multiple view	33,7	swipe	40,3	0,0011	ANO	multiple view
Úkol 5	multiple view	24,3	swipe	32,4	0,00008	ANO	multiple view
Úkol 6	multiple view	30,1	swipe	24,4	0,2523	NE	swipe

Stejným způsobem byly řešeny úlohy porovnávající sociologická data ve státech Evropské unie. Výsledky této statistické analýzy jsou zobrazeny v tabulce 3. Metoda swipe byla rychlejší u úkolu 1, 3 a 6. U úkolu 1 byl výsledek statisticky významný, jelikož zde byla hodnota p-value velmi nízká. Swipe byl v tomto úkolu efektivnější, což dokazuje i medián (swipe = 14,3 sekund, multiple view = 49,1 sekund). Stejně tak u úkolu 3 byl velký rozdíl v mediánech (swipe = 33,8 sekund, multiple view = 77,6 sekund). Metoda multiple view byla při řešení rychlejší u tří úloh. Výsledky p-value ukázaly statistický významný rozdíl pouze u úkolu 5. Statisticky nevýznamný výsledek byl u úkolu 2 a 4 jelikož zde byl rozdíl v mediánech pouze 5 sekund (úkol 2), a 3,8 sekundy (úkol 4). Výsledky naznačily, že metoda swipe byla vhodnější pro úkoly zaměřené na rozpoznání rozdílů mezi mapami (úkoly 1 a 3), zatímco metoda multiple view byla efektivnější při hledání nízkých hodnot napříč mapami (úkol 5). Délky trvání úkolů pro státy Evropské unie, rozdělené podle jednotlivých metod, jsou zobrazeny v boxplotech uvedených v příloze 2.

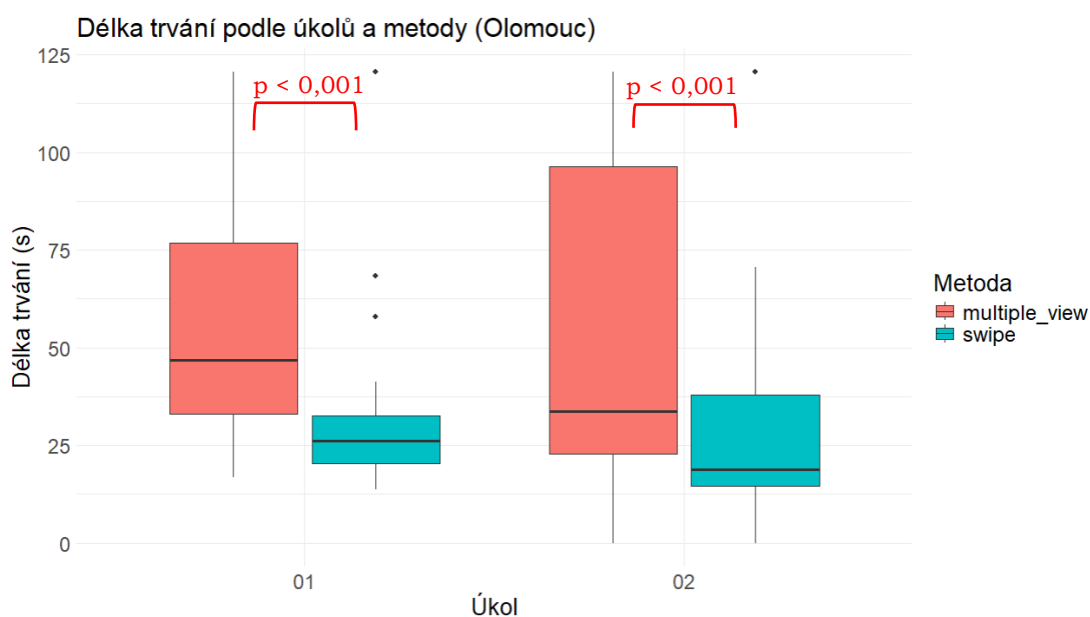
Tab. 3 Porovnání časů metod multiple view a swipe pro státy Evropské unie.

EU	METODA	Median (s)	METODA	Median (s)	p-value	Významnost	Rychlejší metoda
Úkol 1	multiple view	49,1	swipe	14,3	9,97e-09	ANO	swipe
Úkol 2	multiple view	27,2	swipe	32,2	0,911	NE	multiple view
Úkol 3	multiple view	77,6	swipe	33,8	2,576e-09	ANO	swipe
Úkol 4	multiple view	24	swipe	28,8	0,2715	NE	multiple view
Úkol 5	multiple view	20,3	swipe	27,1	6,833e-05	ANO	multiple view
Úkol 6	multiple view	35,9	swipe	28,1	0,9288	NE	swipe

Následně byla provedena analýza úkolů zahrnující srovnávání historických map města Olomouce. Výsledky jsou opět uvedeny v tabulce 4. Oproti předchozím úlohám zde účastníci experimentu hledali pouze jeden rozdíl mezi dvěma identickými mapami. Získané hodnoty ukázaly, že metoda swipe byla v obou úkolech rychlejší. V obou případech byla hodnota p-value velmi nízká. I zde je možné porovnat rozdíly mezi úkoly pomocí boxplotu (Obr. 24)

Tab. 4 Porovnání časů metod multiple view a swipe pro historické mapy města Olomouce.

OL	METODA	Median (s)	METODA	Median (s)	p-value	Významnost	Rychlejší metoda
Úkol 1	multiple view	48,8	swipe	26,1	2,755e-07	ANO	swipe
Úkol 2	multiple view	33,7	swipe	18,8	0,0001094	ANO	swipe



Obr. 24 Délka trvání úkolů podle metody (Olomouc) (zdroj: autor)

6.3 Délka trvání úloh podle skupiny

Další částí analýzy bylo porovnání úkolů pro Českou republiku, Evropskou unii a mapy města Olomouce podle skupiny respondentů (Carto, Random, Socio), kde každá skupina obsahovala 15 respondentů. Pro tento účel byl opět zvolen Wilcoxonův test pro ověření statistické významnosti. Jako první byly porovnávány všechny tři skupiny při řešení úkolů pro Českou republiku.

Úkoly pro Českou republiku

V rámci skupiny Carto byla metoda swipe rychlejší u Úkolu 1 (hledání jednoho rozdílu) a Úkolu 6 (hledání hodnot v rámci většího území). P-value pro oba úkoly byla velmi nízká ($p = 0,006714$ pro Úkol 1 a $p = 0,006714$ pro Úkol 6), což naznačuje statisticky významný rozdíl ve prospěch metody swipe, která byla výrazně rychlejší. Naopak Úkol 5 ukázal, že metoda multiple view byla rychlejší ($p = 0,005371$), což znamená, že rozdíl mezi metodami byl významný. Pro Úkoly 2, 3 a 4 nebyl mezi metodami statisticky významný rozdíl. Ve skupině Random byla metoda multiple view rychlejší u Úkolu 5 (hledání nízkých hodnot), přičemž hodnota $p = 0,01807$ ukázala na statisticky významný rozdíl. U ostatních úkolů (Úkoly 1, 2, 3, 4 a 6) nebyly výsledky testu dostatečně silné, aby je bylo možné považovat za významné. Ve skupině Socio nebyl nalezen statisticky významný rozdíl mezi metodami swipe a multiple view v žádném z úkolů. I když některé metody byly o něco rychlejší, rozdíl nebyl dostatečně silný. Výsledky ukázaly, že efektivita metod swipe a multiple view závisela na typu úkolu i skupině respondentů. Zatímco ve skupině Carto se projeví významné rozdíly ve prospěch jedné z metod, u ostatních skupin byly výsledky vyrovnanější a bez výrazné preference. Výsledky testů je možné vidět v příloze 3. Získané hodnoty za všechny tři skupiny byly následně vizualizovány pomocí boxplotů (příloha 4).

Úkoly pro státy Evropské unie

Následovala statistická analýza úkolů pro státy Evropské unie. Postup zpracování byl stejný jako u předchozí analýzy. Výsledky analýzy je možné vidět v příloze 3. U skupiny Carto byla metoda swipe rychlejší u dvou úkolů (Úkol 1 a 3), kde byl tento rozdíl statisticky významný. Metoda multiple view byla rychlejší pouze u úkolu 5. U zbylých úloh nebyl nalezen statisticky významný rozdíl mezi metodami v rámci rychlosti plnění úkolů. U skupiny Random dominovala metoda swipe, ale pouze u dvou úloh (Úkol 1 a 3) byl zjištěn významný rozdíl. U této skupiny byla metoda multiple view rychlejší pouze u úkolu 5, kde tento rozdíl byl také statisticky ověřen. U skupiny Socio byl swipe rychlejší u Úkolu 1 a 3 a metoda multiple view byla rychlejší u úkolu 5. Je zde možné pozorovat, že u všech tří skupin byla metoda swipe rychlejší u úkolů 1 a 3, kde respondenti měli hledat jeden rozdíl ve dvou zobrazených mapách. Oproti tomu byla metoda multiple view u všech tří skupin rychlejší při plnění úkolu 5. Tento úkol byl zaměřen na hledání nízkých hodnot mezi třemi označenými body v mapách. Výsledky tak byly konzistentní napříč všemi skupinami, kdy metoda swipe vedla k lepším výsledkům u úloh zaměřených na hledání rozdílů (úkoly 1 a 3), zatímco multiple view byla efektivnější při hledání nízkých hodnot (úkol 5). Hodnoty pro řešení úloh v rámci států Evropské unie byly následně vizualizovány pomocí boxplotů (příloha 5).

Úkoly pro historické mapy města Olomouce

U úkolů s historickými mapami byla metoda swipe ve všech skupinách rychlejší, avšak rozdíly nebyly statisticky významné. Nejnížší p-hodnota (0,09) byla zaznamenána u úkolu 2 ve skupině Random, což při zvolené hladině významnosti $\alpha = 0,05$ nestačilo pro potvrzení významného rozdílu. Výsledky analýzy je opět možné vidět v příloze 3. I pro tento typ úloh byly následně vytvořeny boxploty zobrazující rozptyl hodnot (příloha 6).

6.4 Srovnání typů úloh podle metody

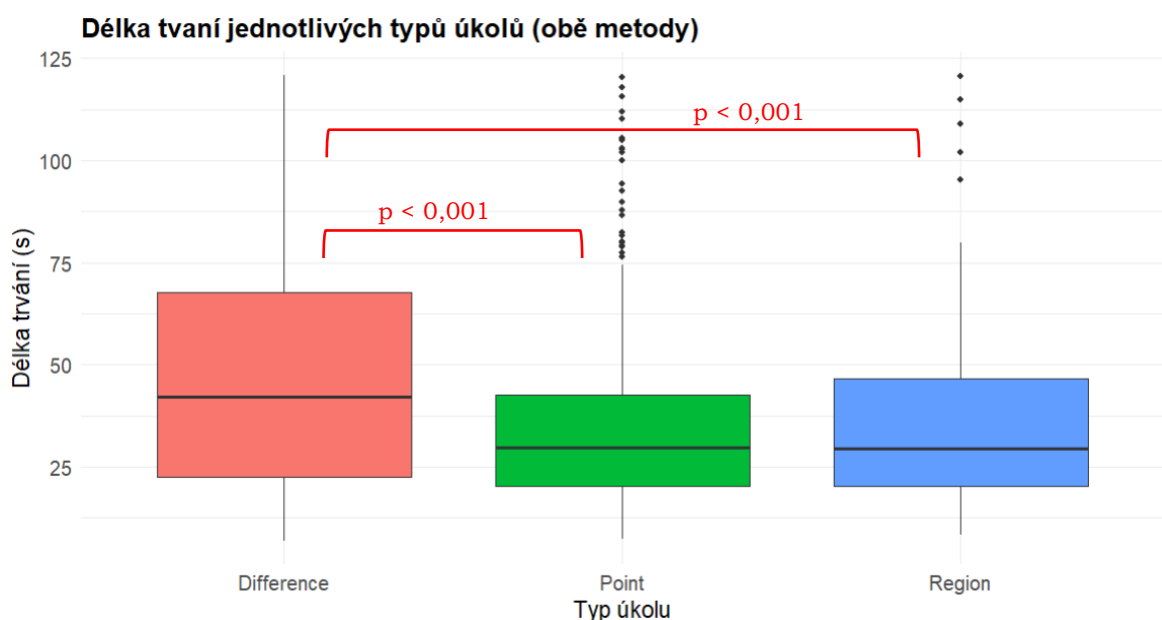
Cílem této analýzy bylo zjistit, zda se doba potřebná k vyřešení úkolu liší v závislosti na typu úkolu a použité vizualizační metodě. Během experimentu uživatelé řešili celkově 14 úloh (šest pro Českou republiku, šest pro Evropskou unii a dva pro Olomouc). Tyto úlohy byly pro tuto část analýzy rozděleny do tří kategorií podle charakteru zadání:

- **Difference** – úkoly založené na hledání rozdílu (Úkol 1 a 3)
- **Point** – hledání hodnot v označeném území pomocí bodů (Úkol 2, 4 a 5)
- **Region** – úkoly zaměřené na práci s geografickým celkem (Úkol 6)

Do těchto kategorií byly zařazeny pouze úkoly zaměřené na území Česka a Evropy, které měly srovnatelný charakter. Naopak úkoly týkající se historických map města Olomouce nebyly do této části analýzy zahrnuty.

Pro statistickou analýzu byl použit Kruskal-Wallisův test pro zjištění, zda existují statisticky významné rozdíly v délce trvání mezi jednotlivými typy úkolů (Difference, Points, Region). V případech, kdy Kruskal-Wallisův test prokázal významný rozdíl, byl následně aplikován Dunnův post-hoc test s Bonferroniho korekcí pro vícenásobné porovnávání. Uváděné p-hodnoty jsou již upravené (adjustované) touto metodou. Tento test umožnil určit, mezi kterými konkrétními dvojicemi typů úkolů byly rozdíly v délce řešení statisticky významné.

Nejprve byly srovnány pouze úkoly podle typů, bez ohledu na použitou vizualizační metodu. Hodnoty post-hoc testů ukázaly, že úkoly typu Difference (hledání rozdílů) trvaly výrazně déle než úkoly typu Point (hledání hodnot v bodech, $p < 0,001$) i Region (práce s geografickým celkem, $p < 0,001$). Naopak mezi úkoly Point a Region nebyl zaznamenán statisticky významný rozdíl ($p = 1,00$). Výsledky časové náročnosti jednotlivých typů úkolů jsou znázorněny také pomocí boxplotu (Obr. 25).



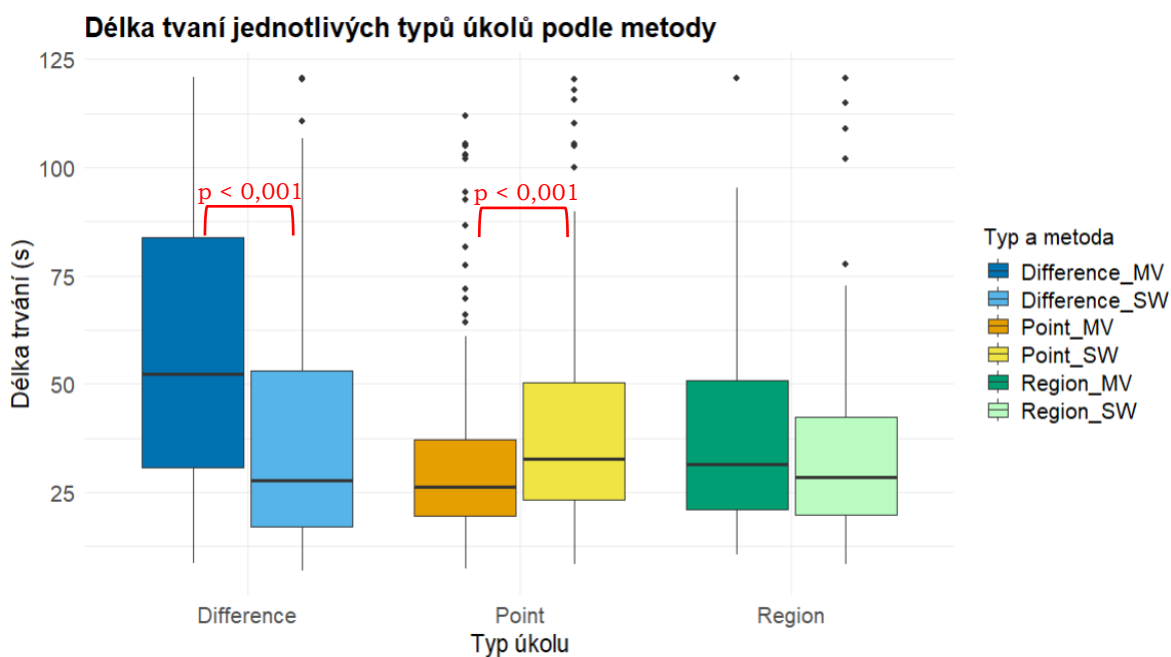
Obr. 25 Časová náročnost jednotlivých typů úkolů (zdroj: autor)

Při odděleném hodnocení dat pocházejících z vizualizační metody multiple view se rozdíly v časové náročnosti jednotlivých typů úkolů ještě zvýraznily. Kruskal-Wallisův test potvrdil silně statisticky významné rozdíly ($p < 0,001$). Úkoly typu Difference byly opět výrazně časově náročnější než Point ($p < 0,001$) i Region ($p < 0,001$). Rozdíl mezi Point a Region byl na hranici statistické významnosti ($p = 0,067$), ale po Bonferroniho úpravě již tento rozdíl nebyl považován za významný.

U metody swipe nebyl zjištěn žádný statisticky významný rozdíl v časech potřebných k řešení jednotlivých typů úkolů ($p = 0,132$). Ani žádné z následných post-hoc porovnání nebylo statisticky významné. Adjustované p-hodnoty všech porovnání byly vyšší než 0,23.

Z dat vyplývá, že úkoly vyžadující hledání rozdílů (Difference) jsou výrazně časově náročnější než ostatní typy úkolů, a to především při použití metody multiple view. Naopak metoda swipe vykazovala u všech typů úkolů srovnatelnou časovou náročnost.

Pro zjištění, zda použitá vizualizační metoda ovlivnila dobu řešení jednotlivých typů úkolů, byl u každého typu samostatně aplikován Wilcoxonův test. Výsledky těchto porovnání jsou zároveň vizuálně znázorněny v boxplotu na obrázku 26. U úkolů typu Difference (úkoly 1 a 3) byl mezi metodami zjištěn statisticky významný rozdíl ($p < 0,001$). Medián délky řešení byl při použití metody swipe výrazně nižší (27,7 s) než při použití multiple view (52,3 s). Naopak u úkolů typu Point (úkoly 2, 4 a 5) byl zaznamenán statisticky významný rozdíl ve prospěch metody multiple view ($p < 0,001$). Medián řešení činil u multiple view 26,2 s, zatímco u swipe 32,6 s. U úkolu typu Region (úkol 6) nebyl mezi metodami nalezen statisticky významný rozdíl ($p = 0,317$). Časové hodnoty obou metod byly velmi podobné (multiple view: 31,4 s, swipe: 28,5 s). Výsledky ukázaly, že efektivita vizualizační metody závisí na typu úkolu. Metoda multiple view byla rychlejší při vyhledávání konkrétních hodnot (Point), zatímco swipe vedl k rychlejšímu řešení porovnávacích úloh (Difference). U úkolů typu Region se žádný významný rozdíl mezi metodami neprojevil.



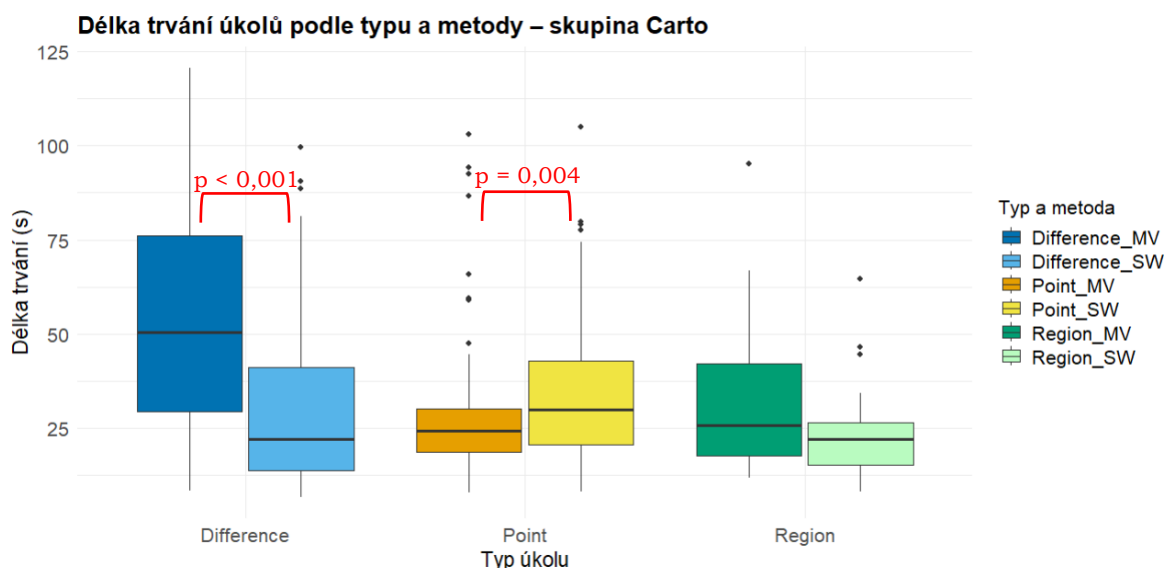
Obr. 26 Délka trvání jednotlivých typů úkolů podle metody (zdroj: autor)

Rozdělení podle skupin

Následně byla provedena analýza pro každou skupinu respondentů. Při hodnocení jednotlivých vizualizačních metod u skupiny Carto se ukázalo, že rozdíly mezi typy úkolů byly nejvýraznější u metody multiple view. Kruskal-Wallisův test zde ukázal velmi silnou statistickou významnost ($p < 0,001$) a následná post-hoc analýza opět potvrdila, že úkoly typu Difference (hledání rozdílů) byly výrazně časově náročnější než Point i Region. Mezi úkoly Point (hledání hodnot v bodech) a Region (práce s geografickým celkem) opět nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl. Oproti tomu metoda swipe vykazovala vyrovnanější časové výsledky mezi jednotlivými typy úkolů. Ačkoli Kruskal-Wallisův test zde také ukázal statisticky významný výsledek ($p = 0,0069$), post-hoc testy odhalily pouze jeden významný

rozdíl, a to mezi úkoly Point a Region ($p = 0,019$), přičemž rozdíl mezi Difference a ostatními typy úkolů nebyl statisticky významný.

Porovnání jednotlivých metod v rámci konkrétních typů úkolů prostřednictvím Wilcoxonových testů ukázaly (Obr. 27), že úkoly typu Difference byly řešeny výrazně rychleji pomocí metody swipe (medián 22,0 s) než pomocí multiple view (medián 50,5 s), a tento rozdíl byl statisticky vysoce významný ($p < 0,001$). U úkolů typu Point byl naopak zjištěn rozdíl ve prospěch metody multiple view (medián 24,4 s oproti 30,0 s u metody swipe, ($p = 0,004$). Pro úkol typu Region nebyl zaznamenán statisticky významný rozdíl mezi metodami ($p = 0,082$), přičemž časové hodnoty byly velmi podobné.

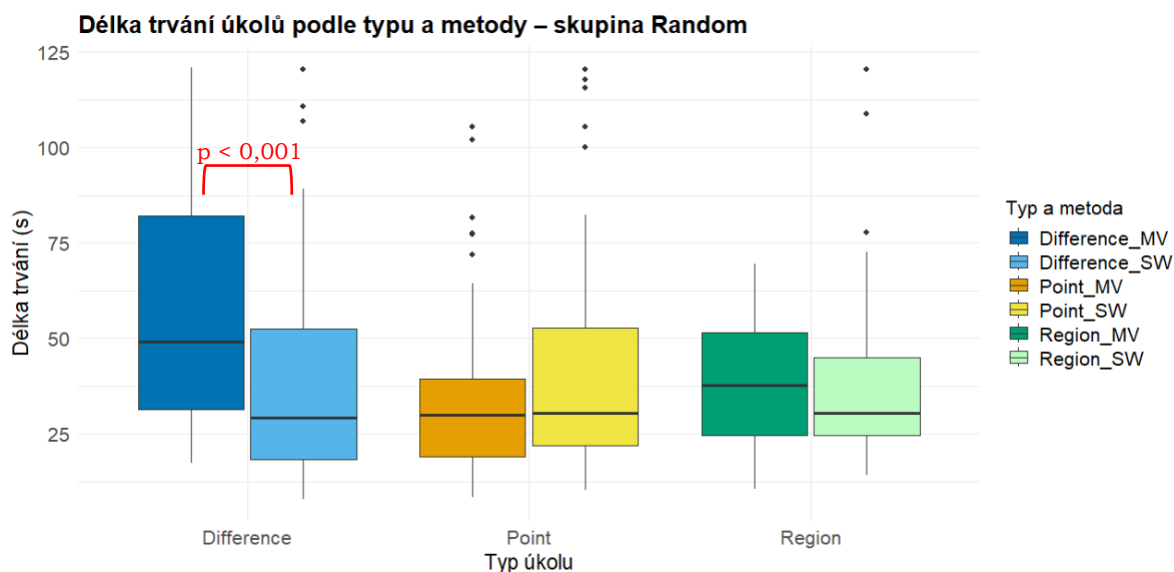


Obr. 27 Délka trvání úkolů podle typu a metody u skupiny Carto (zdroj: autor)

U skupiny Random (Obr. 28) metoda multiple view výrazně ovlivnila délku řešení různých typů úkolů. Kruskal-Wallisův test zde ukázal silnou statistickou významnost ($p < 0,001$), přičemž post-hoc analýza odhalila rozdíly mezi úkoly Difference a Point ($p < 0,001$) i Difference a Region ($p = 0,03$). Naopak rozdíl mezi Point a Region nebyl statisticky významný. U metody swipe nebyly zaznamenány žádné statisticky významné rozdíly v délce řešení mezi jednotlivými typy úkolů ($p = 0,75$), a žádné z post-hoc porovnání rovněž neukázalo statistickou významnost.

Wilcoxonovy testy mezi metodami pro jednotlivé typy úkolů odhalily statisticky významný rozdíl u úkolů typu Difference. Respondenti řešili tyto úkoly výrazně rychleji pomocí metody swipe (medián 29,2 s) než pomocí multiple view (medián 49,2 s), zde byl rozdíl statisticky velmi významný ($p < 0,001$). U úkolů typu Point nebyl rozdíl mezi metodami statisticky významný ($p = 0,107$). Pro úkol typu Region se žádný rozdíl mezi metodami rovněž neprojevil ($p = 0,982$).

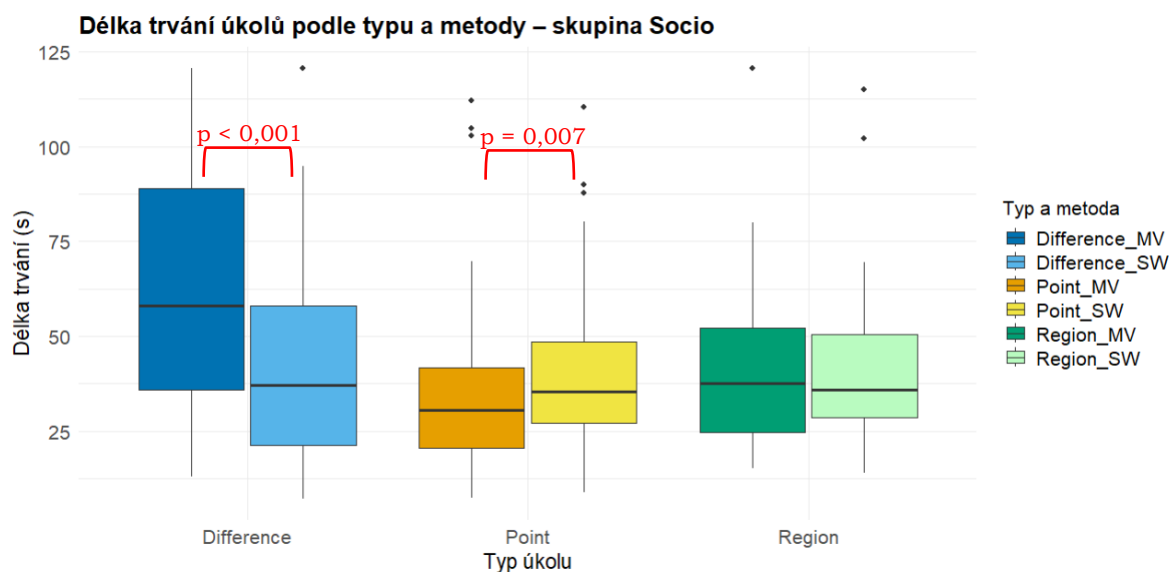
Výsledky tedy ukazují, že metoda multiple view byla výrazně pomalejší při řešení úkolů typu Difference. Pro úkoly typu Point a Regional se rozdíly mezi metodami neprojevíly jako statisticky významné a časy byly srovnatelné.



Obr. 28 Délka trvání úkolů podle typu a metody u skupiny Random (zdroj: autor)

Analýza vizualizačních metod ve skupině Socio ukázala (Obr. 29), že metoda multiple view vedla stejně jako u předchozích skupin k výrazně rozdílné časové náročnosti v závislosti na typu úkolu. Kruskal-Wallisův test potvrdil velmi silně statisticky významný rozdíl ($p < 0,001$), přičemž následná post-hoc analýza odhalila, že úkoly typu Difference byly výrazně časově náročnější než úkoly typu Point ($p < 0,001$) i Region ($p = 0,015$). Rozdíl mezi Point a Region nebyl statisticky významný. Naopak u metody swipe nebyly zjištěny žádné statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými typy úkolů ($p = 0,997$), což naznačuje, konzistentní časové výsledky napříč různými typy úkolů.

Výsledky Wilcoxonových testů mezi metodami dále ukázaly, že úkoly typu Difference byly řešeny výrazně rychleji ($p < 0,001$) pomocí swipe (medián 37,1 s) než pomocí multiple view (medián 57,9 s). U úkolů typu Point byla metoda multiple view stejně jako u předchozích skupin rychlejší (medián 30,4 s, u swipe 35,3 s), a i zde byl rozdíl statisticky významný ($p = 0,007$). Pro úkol typu Region nebyl mezi metodami zaznamenán žádný statisticky významný rozdíl ($p = 0,971$).



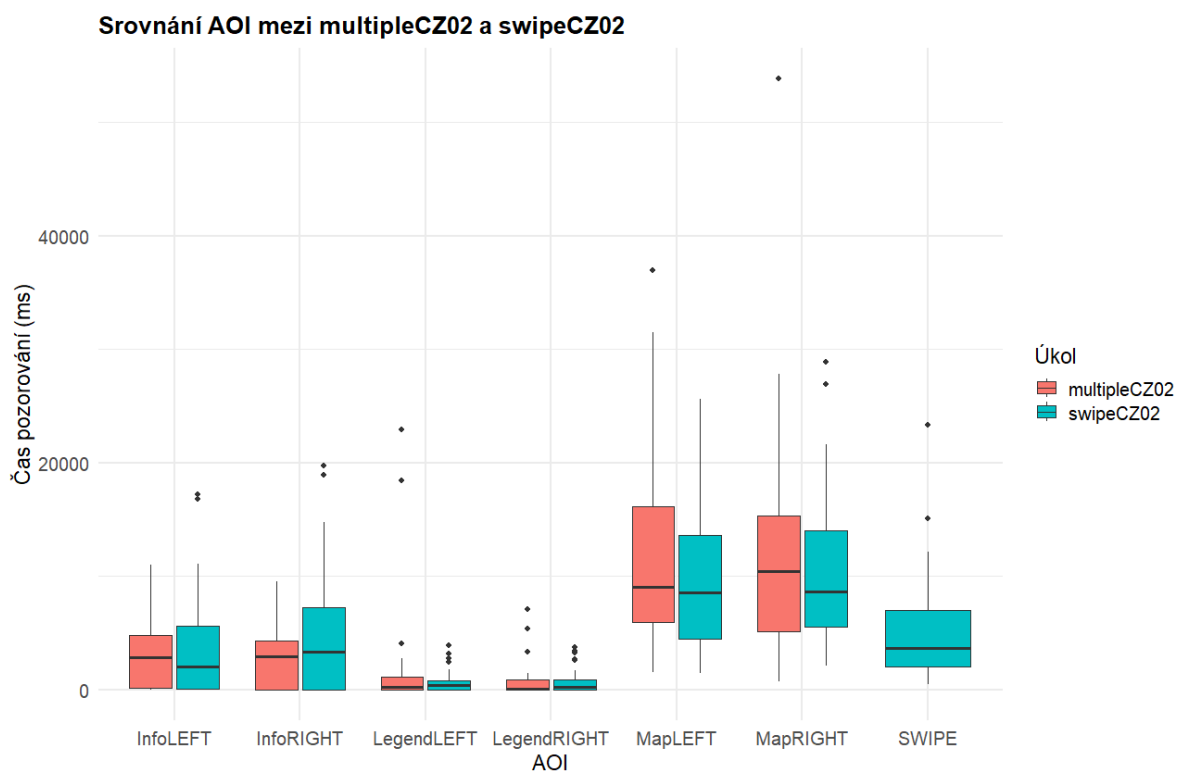
Obr. 29 Délka trvání úkolů podle typu a metody u skupiny Socio (zdroj: autor)

Na základě výsledků všech tří skupin respondentů výsledky odhalily, že metoda multiple view byla rychlejší při úkolech typu Point (Úkol 1 a 3), zatímco metoda swipe vedla k rychlejšímu řešení úkolů typu Difference (Úkol 2, 4 a 5). U úkolu typu Region (Úkol 6) se rozdíl mezi metodami zpravidla neprojevil. Výsledky tak ukazují, že efektivita vizualizačních metod je podmíněna charakterem úlohy.

6.5 Analýza doby strávené v AOI

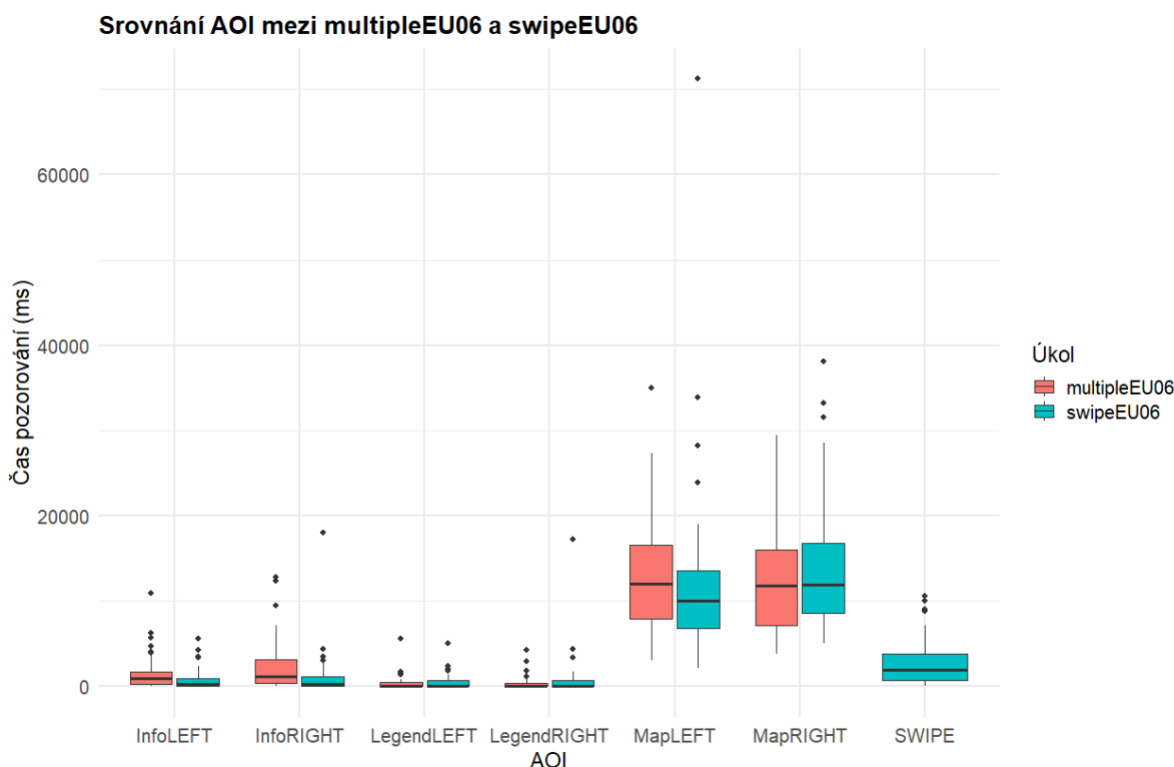
V této části byly analyzovány rozdíly v časech pozorování jednotlivých AOI. Vymezení AOI bylo provedeno pouze u dvou úkolů (Úkol 2 pro Českou republiku a Úkol 6 pro Evropskou unii) v rámci obou metod. V této analýze byly mezi sebou porovnávány pouze odpovídající dvojice AOI (např. InfoLEFT u multiple view a InfoLEFT u metody swipe), nikoliv rozdíly mezi jednotlivými typy oblastí. Cílem bylo zjistit, zda respondenti strávili významně odlišné množství času v jednotlivých oblastech zájmu při řešení těchto dvou typů úloh. Pro každý úkol byly zaznamenány celkové časy (v milisekundách), které respondenti věnovali jednotlivým AOI (InfoLEFT, InfoRIGHT, LegendLEFT, LegendRIGHT, MapLEFT, MapRIGHT a SWIPE). Data byla následně transformována a analyzována pomocí Wilcoxonova testu. Součástí analýzy byl i výpočet mediánů a průměrů pro jednotlivé oblasti zájmu. Hodnoty p-value byly následně upraveny kvůli vícenásobnému testování pomocí metod Bonferroni a FDR (False Discovery Rate). Úprava p-value těmito metodami sloužila k minimalizaci rizika chybného vyhodnocení statistické významnosti při provádění více souběžných testů. Žádná z oblastí zájmu neukázala statisticky významný rozdíl mezi úkoly multipleCZ02 a swipeCZ02. Nejnížší p-value bylo nalezeno v AOI InfoRIGHT ($p = 0,114$), avšak ani ta nedosahovala hranice statistické významnosti ($\alpha = 0,05$). Ve většině ostatních AOI byly rozdíly mezi úkoly velmi malé. Například medián délky fixací v AOI MapLEFT byl 9 057 ms při úkolu multipleCZ02 a 8 527 ms při swipeCZ02.

Na obrázku 30 je znázorněno srovnání časů strávených ve vybraných oblastech zájmu. Boxploty zobrazují rozložení pozorování v jednotlivých AOI. Z grafu je patrné, že nejdominantnější oblastí z hlediska času byla u obou úkolů MapLEFT a MapRIGHT. To odpovídá očekávání, protože právě mapová část byla hlavním zdrojem informací pro řešení úkolu. Naopak nejméně času respondenti strávili v oblastech LegendLEFT a LegendRIGHT, které byly využívány minimálně. Specifická je situace u oblasti zájmu SWIPE, která je přítomná pouze v úloze swipeCZ02. Zde je vidět středně vysoký čas, avšak s poměrně širokým rozptylem, což ukazuje na rozdílné strategie použití nástroje swipe mezi jednotlivými respondenty.



Obr. 30 Srovnání AOI mezi multiple view a swipe u Úkolu 2 (zdroj: autor)

U úkolů zaměřených na Evropskou unii (multipleEU06 a swipeEU06) byly zjištěny statisticky významné rozdíly. V oblasti InfoLEFT strávili respondenti při řešení úkolu multipleEU06 významně více času než při řešení swipeEU06. Tento rozdíl byl statisticky průkazný ($p = 0,012$). Ještě výraznější rozdíl byl zaznamenán v oblasti InfoRIGHT, kde byl čas pozorování opět delší u multipleEU06. V ostatních oblastech zájmu, jako jsou mapy nebo legendy, nebyly zaznamenány žádné statisticky významné rozdíly. Z hlediska celkového rozložení pozornosti zůstaly podobně jako v předchozím případě nejdominantnějšími prvky mapy, zatímco legendy patřily mezi nejméně sledované části (Obr. 31). Oblast SWIPE, která byla přítomná pouze u úkolu swipeEU06, vykazovala spíše nižší hodnoty.



Obr. 31 Srovnání AOI mezi multiple view a swipe u Úkolu 6 (zdroj: autor)

Analýza AOI podle skupin

Stejná analýza, která byla provedena pro všechny respondenty ($n = 45$), byla následně aplikována i na jednotlivé skupiny (Carto, Socio, Random; $n = 15$). V každé skupině byly porovnávány odpovídající oblasti zájmu (AOI) mezi úkoly multipleCZ02 a swipeCZ02 a také multipleEU06 a swipeEU06. Analýza ukázala, že v žádné ze skupin nebyly zjištěny statisticky významné rozdíly, které by přetrvaly po aplikaci korekcí p-hodnot (Bonferroni nebo FDR).

Ačkoliv se v některých AOI (například InfoRIGHT nebo InfoLEFT) objevily nižší p-hodnoty, které naznačovaly trend delší doby pozorování v metodě multiple view, žádný z těchto rozdílů nebyl po korekci statisticky průkazný. Výsledky tak naznačují, že napříč všemi skupinami se způsob rozložení pozornosti mezi jednotlivé AOI zásadně nelišil v závislosti na použité metodě vizualizace.

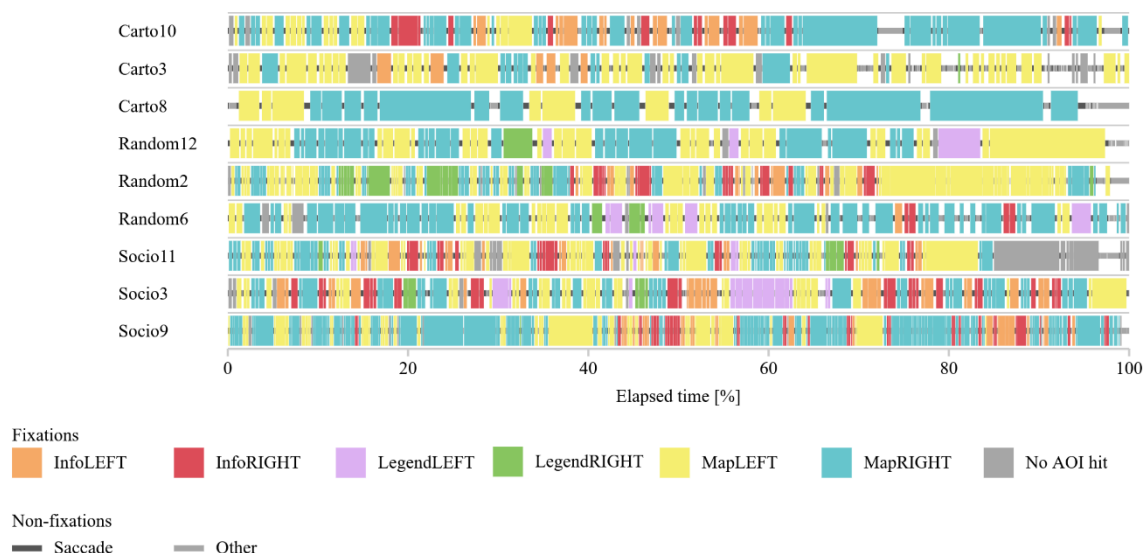
6.5.1 Analýza AOI pomocí sekvenčních grafů

Cílem této analýzy bylo porozumět strategiím při řešení úloh metodou multiple view a swipe. Zatímco předchozí analýza vycházela z dob strávených v jednotlivých oblastech zájmu (AOI), sekvenční grafy umožnily zobrazit časový průběh a pořadí fixací jednotlivých respondentů, a tím lépe porozumět dynamice jejich chování.

Z každé skupiny respondentů (Carto, Random a Socio) byli náhodně vybráni tři zástupci, jejichž oční pohyby byly vizualizovány pomocí sekvenčního grafu v nástroji GazePlotter. Tento počet byl zvolen pro přehlednost a možnost kvalitativního porovnání jednotlivých stylů prohlížení map. Každý řádek v grafu reprezentuje jednoho respondenta a znázorňuje, jak se jejich pozornost v průběhu úkolu přesouvala mezi různými AOI. Čas byl v grafu normalizován na relativní hodnoty, což umožnilo srovnání nezávisle na délce řešení úlohy.

U úkolu multipleCZ02 (hledání největší změny ve třech označených bodech, Obr. 32) byly nejdominantnějšími oblastmi zájmu mapové části, konkrétně MapLEFT a MapRIGHT.

Například respondent Carto8 věnoval téměř veškerou svou vizuální pozornost pouze mapám, zatímco ostatní AOI prakticky ignoroval. Poměrně časté byly také fixace na informační okna (InfoLEFT, InfoRIGHT), ačkoliv byly jednotlivé fixace krátké, docházelo k nim opakovaně, obvykle v rychlém střídání s mapou. Legendy byly oproti tomu navštěvovány méně často, ale pokud už k fixacím došlo, bývaly delší a souvislejší.



Obr. 32 Sekvenční graf pro úlohu multipleCZ02 (zdroj: autor)

U úkolu swipeCZ02 (hledání největší změny ve třech označených bodech, Obr. 33) byly stejně jako u předchozí úlohy nejdominantnějšími oblastmi zájmu mapy. Oproti metodě multiple view však byly další AOI výrazně více zastoupeny. Například AOI InfoRIGHT u respondentů Socio9, Random2 a Socio3, kteří se k této oblasti opakovaně vraceli a trávili v ní delší časové úseky. U respondenta Carto10 bylo patrné časté střídání obou informačních panelů, tedy InfoLEFT i InfoRIGHT, což ukazuje na aktivní vyhledávání informací na obou stranách. Legendám byla věnována pozornost především v kratších časových intervalech, často spíše přechodně. Jejich využití bylo méně konzistentní napříč respondenty, což naznačuje, že legendy byly sledovány cíleně jen v konkrétních situacích. Specifickým prvkem této úlohy byl AOI SWIPE. Intenzivně jej využívali například Random6 a Carto8, zatímco jiní respondenti, jako Carto10, Random2, Socio3 a Socio11, tento prvek použili pouze minimálně nebo vůbec. To ukazuje na variabilitu v uživatelském chování, která pravděpodobně souvisí s osobní strategií řešení úlohy nebo úrovní porozumění principu nástroje.



Obr. 33 Sekvenční graf pro úlohu swipeCZ02 (zdroj: autor)

6.5.2 Matice přechodů mezi AOI

V této části byla pro úlohy multipleEU06 a swipeEU06 (hledání hodnot v rámci většího území) využita analýza přechodů fixací mezi jednotlivými AOI ve formě matic. Stejně jako u české varianty byla provedena na devíti vybraných respondentech, tentokrát však místo sekvenčních grafů byly použity matice počtů přechodů fixací.

Při řešení úkolu multipleEU06 (Obr. 34) byl největší počet přechodů fixací zaznamenán v oblasti MapLEFT, kde došlo k 297 opakovaným fixacím uvnitř této oblasti. Výrazné byly i přechody mezi mapovými částmi, které byly opět nejdominantnější. Mezi oblastmi zájmu MapLEFT a MapRIGHT bylo zaznamenáno 97 přechodů směrem z levé mapy do pravé a 93 přechodů zpět, tedy z pravé mapy do levé. Poměrně časté byly také přechody z informačních oken do mapy, například z InfoLEFT do MapLEFT (20 přechodů) a zpět (17 přechodů). To ukazuje, že informační okna sloužila jako podklad pro následné vyhledávání odpovědi v mapě. Mezi informačními okny navzájem docházelo k častým přepínáním fixací. Z InfoLEFT do InfoRIGHT bylo zaznamenáno 18 přechodů, zatímco opačný směr ukázal 13 přechodů. Naopak legendy byly aktivovány minimálně, většina jejich přechodů se objevovala pouze v jednotkách případů, což odpovídá jejich nižšímu významu v celkovém řešení úlohy.

Nejčastější přechody u úkolu swipeEU06 byly zaznamenány uvnitř mapových částí (Obr. 35) a to v MapLEFT (166 přechodů) a v MapRIGHT (207 přechodů), což potvrzuje, že pozornost byla opět soustředěna do map. Významné jsou i přechody mezi jednotlivými AOI, zejména z MapLEFT do MapRIGHT (86) a zpět (89), které naznačují aktivní srovnávání informací mezi oběma polovinami mapového zobrazení. V oblasti SWIPE vedlo celkem 16 přechodů z MapLEFT a 19 přechodů z MapRIGHT. To ukazuje, že někteří respondenti tuto oblast aktivně využívali při řešení úkolu. Přechody z oblasti SWIPE pak nejčastěji směřovaly zpět do mapy (např. 23 přechodů do MapRIGHT). Informační okna byla rovněž častým cílem fixací, především v InfoLEFT 29 přechodů a v InfoRIGHT 58 přechodů, což ukazuje na opakované návraty do těchto částí. Zajímavé jsou i přechody z InfoRIGHT do MapRIGHT (22 přechodů), které opět naznačují propojení textových informací s hledáním odpovědi v mapě. Legendy byly využívány minimálně, přechody se pohybují v řádu jednotek. Podobně jako u předchozí úlohy legendy hrály spíše okrajovou roli během srovnávání map.

		To AOI					
From AOI		InfoLEFT	InfoRIGHT	LegendLEFT	LegendRIGHT	MapLEFT	MapRIGHT
	InfoLEFT	39	18	1	0	20	4
	InfoRIGHT	13	40	0	2	17	11
	LegendLEFT	3	0	2	0	3	1
	LegendRIGHT	0	1	1	5	0	4
	MapLEFT	27	5	4	0	297	97
	MapRIGHT	0	15	0	3	93	248

Obr. 34 Matice přechodů mezi AOI u úkolu multipleEU06 (zdroj: autor)

		To AOI					
From AOI		InfoLEFT	InfoRIGHT	LegendLEFT	LegendRIGHT	MapLEFT	MapRIGHT
	InfoLEFT	29	1	2	0	5	4
	InfoRIGHT	0	58	0	2	5	22
	LegendLEFT	2	0	15	4	2	2
	LegendRIGHT	0	0	1	14	4	7
	MapLEFT	10	3	3	1	166	86
	MapRIGHT	1	20	3	4	89	207
	SWIPE	1	0	0	0	15	23

Obr. 35 Matice přechodů mezi AOI u úkolu swipeEU06 (zdroj: autor)

6.6 Výsledky psychologických dotazníků

Pro každého respondenta byl na základě Navonova testu určen kognitivní styl. Každý účastník tak byl na základě svého výkonu v testu zařazen do jedné ze tří kategorií: analytický, holistický nebo neutrální. Cílem analýzy bylo zjistit, zda kognitivní styl ovlivňuje výkonnost při použití metod multiple view a swipe. Hodnocena byla chybovost a doba řešení úloh. Nejprve byl proveden Kruskal-Wallisův test, který porovnal rozdíly v chybovosti a časech mezi třemi skupinami kognitivního stylu. Výsledky ukázaly, že nebyl nalezen žádný statisticky významný rozdíl v počtu chyb, ani v čase řešení u žádné z metod: multiple view (chyby): $p = 0,751$, swipe (chyby): $p = 0,767$, multiple view (čas): $p = 0,356$, swipe (čas): $p = 0,148$.

Ačkoliv žádný z rozdílů nedosáhl statistické významnosti, následná analýza naznačila určité trendy. Například účastníci s neutrálním kognitivním stylem dosahovali nejnižší chybovosti u obou metod (1,5 u multiple view, 1,25 u swipe), ale zároveň byli nejpomalejší při řešení úloh (48,5 s u multiple view, 42,5 s u swipe). Naopak holističtí jedinci měli v průměru vyšší chybovost u multiple view (2,06) a nižší u swipe (1,39), což může souviset s náročností rozdělené pozornosti, která je u metody multiple view klíčová. Z hlediska rychlosti však byli nejrychlejší právě holistici (33,4 s u swipe, 42,2 s u multiple view). Analytici dosahovali vyrovnaných výsledků, a to jak z hlediska chybovosti (1,67 u multiple view, 1,60 u swipe), tak času řešení (42,6 s u multiple view, 35,0 s u swipe).

Z těchto výsledků lze usuzovat, že kognitivní styl sice nemá zásadní vliv na výkonnost v daných úlohách, avšak mírné odlišnosti v chování skupin mohou naznačovat odlišné strategie zpracování informací. Významnost rozdílu mezi metodami byla následně potvrzena i samostatně u všech tří skupin kognitivního stylu pomocí Wilcoxonova párového testu ($p < 0,05$ ve všech případech), což podporuje závěr o obecné výhodnosti metody swipe.

Dodatečně bylo analyzováno, zda se rozložení kognitivních stylů mezi jednotlivými skupinami respondentů (Carto, Socio, Random) významně liší. Ve skupině Carto bylo zaznamenáno sedm analytiků, šest holistiků a dva neutrální. Skupina Random obsahovala pět analytiků, šest holistiků a čtyři neutrální, zatímco ve skupině Socio byli tři analytici, šest holistiků a šest neutrálních respondentů. Nejprve byl proveden chí-kvadrát test, jehož výsledek byl kvůli nízkým četnostem v některých kategoriích doplněn přesnějším Fisherovým testem. Ani ten však neprokázal statisticky významný rozdíl ($p = 0,455$), což naznačuje, že kognitivní styl nebyl systematicky spojen s odborným zaměřením respondentů.

7 VÝSLEDKY

Cílem práce bylo hodnocení vizualizačních nástrojů pro porovnávání sociologických dat. V první části práce je popsán stav současné problematiky, zahrnující témata rozdělení pozornosti, vizuální porovnávání a metody vizuální kompozice. Následně byly popsány vizualizační metody pro porovnávání geografických dat zobrazených v mapách.

Tvorba map

V této části práce je popsán postup tvorby mapových vizualizačních nástrojů pro porovnávání sociologických map. Pro tvorbu byla využita online šablona Leaflet, do které byly implementovány prvky multiple view a swipe. Tvorba nástrojů byla realizována postupně, od základního zobrazení map, až po přidání pokročilých funkcionalit jako je synchronizace kurzorů u multiple view a prvek posuvníku u nástroje swipe. Dalším krokem bylo vybrání sociologických dat, která budou v mapě zobrazena. Byly vybrány sociologické ukazatele z databáze DataPAQ pro Českou republiku a data z Eurostatu pro státy Evropské unie. Následně byla navržena struktura osmi úkolů (Kapitola 4.2), podle kterých byla sociologická data upravena pro potřeby experimentu. Kromě sociologických dat byly přidány i mapy zobrazující historickou podobu města Olomouce, které byly taktéž zahrnuty do experimentu. Následně byly podle struktury úkolů data upravena a implementována do přichystaných šablon.

Eye-tracking experiment

Eye-tracking experiment byl realizován za účelem porovnání efektivity vizualizačních nástrojů multiple view a swipe. Nejprve byly připraveny zadání pro konkrétní úlohy a následně byl sestaven design experimentu. Funkčnost experimentu byla ověřena na pěti studentech, jejichž zpětná vazba pomohla k opravám nedostatků. Samotný experiment proběhl na katedře geoinformatiky Univerzity Palackého v Olomouci. Během experimentu bylo celkem otestováno 45 respondentů rozdělených do tří skupin (studenti geoinformatiky, studenti sociologie a náhodní studenti univerzity (Kapitola 5.2). Experiment obsahoval celkem 14 úloh vždy po dvojici pro každou z vizualizačních metod, včetně čtyř úloh pro seznámení respondentů s prostředím map. Po dokončení experimentu účastníci vyplnili psychologické dotazníky pro doplnění informací o kognitivním stylu.

Analýza dat

Nejprve byly označeny oblasti zájmů, které představovaly jednotlivé úkoly v experimentu. Následně byly automaticky přiřazeny fixace účastníků k jednotlivým snímkům reprezentující úkoly multiple view. Výsledky přiřazení fixací byly následně opraveny, kvůli mezerám v datech. Z tohoto důvodu byly opravy fixací provedeny pouze u osmi úloh využívající metodu multiple view. Pro přiřazení fixací u úloh využívající metodu swipe byly vybrány dva úkoly. Zde byly manuálně přiřazeny fixace pro všech 45 respondentů. Následně u těchto deseti úloh byly vymezeny oblasti zájmů. Následně byla data exportována a připravena pro analýzu.

Délka řešení úloh a chybovost

Celková chybovost (Kapitola 6.1) mezi všemi skupinami respondentů se pohybovala okolo 11 %. Průměrná doba potřebná k dokončení úlohy pomocí nástroje multiple view byla 44 sekund, zatímco při využití nástroje swipe činila 36,4 sekundy. Časový rozdíl mezi metodami se pohyboval v rozmezí 1,48 až 2,09 minut, přičemž ve všech skupinách byl statisticky významný ve prospěch metody swipe. Tyto výsledky tak naznačují vyšší efektivitu nástroje swipe z hlediska časové náročnosti.

Kromě toho vykazovala metoda swipe také nižší celkovou chybovost. Bylo zaznamenáno 65 chybných odpovědí, zatímco u metody multiple view to bylo 80 chyb. Z toho vyplývá, že metoda swipe byla nejen rychlejší, ale v průměru také přesnější při řešení úloh.

Délka trvání úloh

V kapitole 6.2 byla analyzována délky trvání jednotlivých úloh podle použitých metod multiple view a swipe. Úkoly byly rozděleny do tří kategorií podle zobrazeného území (Česká republika, Evropská unie a město Olomouc). Z celkového počtu 14 úloh byl statisticky významný rozdíl ve prospěch metody swipe zaznamenán u pěti úloh (úkol 1 pro Českou republiku, úkoly 1 a 3 pro Evropskou unii a úkoly 1 a 2 pro Olomouc), zatímco metoda multiple view byla významně rychlejší u tří úloh (úkoly 4 a 5 pro Českou republiku a úkol 5 pro Evropskou unii). U zbývajících šesti úloh nebyl rozdíl v délce řešení mezi metodami statisticky významný, což naznačuje, že v těchto případech byly časové rozdíly příliš malé nebo data příliš variabilní, než aby bylo možné prokázat jednoznačnou výhodu jedné z metod.

Délka trvání úloh podle skupiny

Následující část navazovala na předchozí analýzu (Kapitola 6.2). V kapitole 6.3 byly délky řešení úloh rozděleny do tří skupin podle respondentů. U úkolů pro Českou republiku byla u skupiny Carto metoda swipe rychlejší ve dvou úkolech (Úkol 1 a 6) oproti metodě multiple view, která byla rychlejší pouze u jednoho (Úkol 5). U skupiny Random byla rychlejší metoda multiple view a to pouze u jednoho úkolu (Úkol 5). U skupiny Socio nebyl nalezen žádný statisticky významný rozdíl. V případě úkolů zaměřených na státy Evropské unie byly výsledky napříč všemi třemi skupinami respondentů shodné. Ve všech skupinách (Carto, Random, Socio) byla metoda swipe statisticky významně rychlejší u dvou úkolů (Úkol 1 a 3), kdežto metoda multiple view pouze u jednoho (Úkol 5). U úkolů pro historické mapy města Olomouce byla metoda swipe rychlejší napříč všemi skupinami. Statisticky nevýznamný rozdíl byl nalezen pouze u skupiny Random (Úkol 2). Celkově byla metoda swipe efektivnější ve 13 případech, zatímco metoda multiple view pouze v pěti. Ve zbývajících úlohách nebyl statistický rozdíl mezi metodami prokázán.

Srovnání typů úloh podle metody

Cílem této kapitoly (6.4) bylo zjistit, zda se efektivita vizualizačních metod liší v závislosti na typu úkolu. Úkoly byly rozděleny do tří kategorií: Difference (hledání rozdílů), Point (hledání hodnot v bodech) a Region (práce s geografickým celkem). Statistická analýza potvrdila, že časová náročnost řešení úkolů je výrazně ovlivněna typem úkolu a použitou metodou. Nejprve byly typy úloh srovnány bez ohledu na vizualizační metodu. Úkoly typu Difference byly časově náročnější než úkoly typu Point a Region. Mezi Point a Region nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl. Následně byly úkoly analyzovány podle vizualizačních metod. U metody multiple view se rozdíly mezi typy úkolů zvýraznily. Úkoly typu difference byly řešeny podstatně déle než ostatní typy. U metody swipe naopak nebyl mezi typy úkolů zaznamenán žádný významný rozdíl. Přímé porovnání metod podle typu úkolu ukázalo, že u úkolů typu Difference byla výrazně rychlejší metoda swipe, zatímco u úkolů typu Point byla rychlejší metoda multiple view. U úkolů typu Region nebyl mezi metodami zaznamenán žádný statisticky významný rozdíl. Tento výsledek se opakoval konzistentně napříč všemi skupinami respondentů (Carto, Random, Socio). Výsledek ukázal, že pro úkoly typu Difference (hledání rozdílů) je vhodnější metoda swipe, zatímco pro úkoly typu Point (hledání hodnot v bodech) je efektivnější metoda multiple view. U úkolů typu Region (práce s geografickým celkem) nebyl mezi metodami zaznamenán významný rozdíl, a lze tedy použít obě metody rovnocenně.

Analýza doby strávené v AOI

V poslední části (Kapitola 6.5) byla provedena analýza doby strávené v jednotlivých oblastech zájmu (AOI). Nejdominantnějšími prvky byly mapy, zatímco legendy byly pozorovány minimálně. U úkolu pro Českou republiku nebyl mezi metodami multiple view a swipe zjištěn žádný statisticky významný rozdíl v délce pozorování AOI. Naopak u úkolu zaměřeného na Evropskou unii respondenti věnovali významně více času informačním oknům při použití metody multiple view, což bylo statisticky potvrzeno. Doplnující analýza podle skupin respondentů (Carto, Random, Socio) ukázala, že žádné zjištěné rozdíly nebyly statisticky průkazné.

Sekvenční grafy odhalily různé strategie řešení úkolů mezi vybranými jednotlivci, přičemž u metody swipe byla pozornost rozložena mezi více AOI. Výraznější individuální rozdíly byly patrné zejména v oblasti SWIPE, která byla využívána variabilně v závislosti na strategii konkrétního respondenta.

Analýza přechodů mezi AOI ukázala, že nejčastější pohyby fixací probíhaly uvnitř mapových oblastí a mezi nimi, což potvrzuje jejich klíčovou roli v procesu řešení úloh. Dále byly zaznamenány četné přechody mezi informačními okny a mapami, což naznačuje, že textové informace byly aktivně využívány k lokalizaci správných odpovědí. Oblasti s legendami opět hrály pouze okrajovou roli.

Vyhodnocení psychologických dotazníků

Analýza zaměřená na vliv kognitivního stylu neprokázala žádný statisticky významný rozdíl v chybovosti ani v délce řešení úloh mezi skupinami analytiků, holistiků a neutrálních respondentů (Kapitola 6.6). Přesto byly patrné určité rozdíly v průměrných hodnotách. Neutrální respondenti dosahovali nejnižší chybovosti, ale zároveň byli nejpomalejší. Naopak holističtí jedinci řešili úlohy nejrychleji, ačkoli u metody multiple view chybovali nejvíce. Hodnoty Wilcoxonova testu potvrdily, že metoda swipe byla statisticky významně rychlejší než multiple view ve všech třech skupinách kognitivního stylu. Dále bylo ověřeno, zda se rozložení kognitivních stylů liší mezi skupinami respondentů (Carto, Socio, Random), což bylo pomocí Fisherova testu vyvráceno. Kognitivní styl tedy nebyl spojen s odborným zaměřením účastníků. Závěrem lze konstatovat, že kognitivní styl neovlivňoval výsledky natolik výrazně, aby měl vliv na efektivitu použitých vizualizačních metod.

Celkové zhodnocení výsledků

Výsledky experimentu ukázaly, že metoda swipe byla celkově efektivnější než metoda multiple view, a to zejména z hlediska časové náročnosti a nižší chybovosti. Průměrná doba řešení úloh pomocí swipe byla kratší, a zároveň respondenti udělali méně chyb než při použití metody multiple view. Ve srovnání jednotlivých úloh byla metoda swipe statisticky významně rychlejší ve větším počtu případů a tento trend se opakoval napříč všemi skupinami respondentů.

Analýza efektivity podle typu úkolu ukázala, že swipe je vhodnější pro úkoly vyžadující rychlé porovnání mapových prvků (Difference), zatímco multiple view se osvědčila u úloh typu Point. U úloh typu Region nebyl mezi metodami zjištěn žádný významný rozdíl.

Eye-tracking analýza potvrdila, že hlavním zdrojem informací pro řešení úloh byly mapové části, zatímco legendy byly sledovány minimálně. Rozložení pozornosti mezi jednotlivé části rozhraní se mezi metodami výrazně nelišilo, s výjimkou delšího sledování informačních oken u multiple view.

Doplnující analýza psychologických dotazníků ukázala, že i když kognitivní styl neměl zásadní vliv na výkonnost, určité rozdíly v rychlosti a chybovosti mezi jednotlivými styly naznačují odlišné strategie práce při porovnávání dat.

Celkově lze tedy říci, že metoda swipe se ukázala jako vhodnější volba pro většinu úkolů, zejména tam, kde je potřeba rychle porovnat prostorové informace. Výběr metody by však měl být vždy přizpůsoben charakteru konkrétní úlohy.

8 DISKUZE

Cílem této diplomové práce bylo otestovat vizualizační nástroje pro porovnávání sociologických dat pomocí metody multiple view a swipe, a následně jejich efektivitu vyhodnotit prostřednictvím eye-tracking experimentu doplněného o psychologické dotazníky. Tato kombinace metod umožnila nejen vyhodnotit výkon obou technik z hlediska času a chybovosti, ale také analyzovat rozdíly v kognitivních strategiích respondentů. Ve srovnání s výsledky jiných studií uvedených v teoretické části práce se výsledky této práce částečně liší. Například studie Lobo (2015) a následně i práce Popelky (2022) upozorňují na potenciální nevýhody metody swipe, zejména v případě úloh s vyšší složitostí nebo při porovnávání více než dvou mapových vrstev. Zatímco ve zmíněných experimentech byla metoda multiple view vnímána jako efektivnější a intuitivnější, výsledky tohoto experimentu ukazují, že při srovnávání dvou vrstev byla metoda swipe časově efektivnější a vedla k nižší chybovosti. Tento rozdíl může být způsoben odlišným návrhem aplikace. V této práci byl nástroj swipe implementován tak, aby byl co nejjednodušší a co nejméně zatěžoval uživatele potřebou nastavování vrstev. Dále zde nedocházelo k interakci se čtyřmi mapami současně, což se ve studii Popelky ukázalo jako výrazný faktor snižující efektivitu swipe. To naznačuje, že efektivita vizualizačních metod může být výrazně ovlivněna konkrétním kontextem použití a způsobem jejich implementace.

V rámci tvorby mapových aplikací byly provedeny úpravy základní Leaflet šablony. V textu práce jsou popsány především klíčové změny, jako je implementace metod multiple view a swipe, úprava informačních oken, zaznačení odpovědi apod. V práci však nejsou detailně popsány všechny dílčí úpravy kódu nebo technické detaily jednotlivých funkcí. Autorovým záměrem bylo především vytvořit funkční a jednoduché mapové aplikace, nikoliv detailně dokumentovat každý krok vývoje.

Původní Leaflet šablona byla vytvořena za účelem zobrazení kartogramů (relativních hodnot). V některých případech však byly zobrazena data absolutní, která by lépe odpovídala vizualizaci pomocí kartodiagramů. Po konzultaci s vedoucím diplomové práce však bylo rozhodnuto zachovat kartogramový přístup, jelikož jsou stejným způsobem jsou sociologická data zobrazena i na oficiálních webech DataPAQ a Eurostatu.

V práci byla věnována pozornost výběru a úpravě sociologických dat, přičemž jejich původ a tematické zaměření byly shrnuty v kapitole 4.2. Pro každý úkol byl popsán jeho typ a cíl, nicméně v samotném textu chybí detailní popis konkrétních datových vrstev s jednotlivými mapami. Není tedy uvedeno, jaká data byla vizualizována v každé konkrétní mapové dvojici nebo jaké konkrétní hodnoty byly upraveny či zvýrazněny. Tento krok byl záměrně zjednodušen, protože cílem práce nebylo analyzovat obsah sociologických dat, ale porovnat jejich prezentaci pomocí dvou rozdílných vizualizačních technik. Pro potřeby experimentu byla v každé mapové dvojici určena právě jedna správná odpověď, která byla zvýrazněna úpravou datových hodnot tak, aby bylo možné jednoznačně vyhodnotit úspěšnost řešení jednotlivých úloh.

Z hlediska složení respondentů je nutné upozornit na určité omezení. I když byli respondenti rozděleni do tří skupin podle odborného zaměření (Carto, Socio, Random), jednalo se převážně o studenty Univerzity Palackého v Olomouci. Nebyli tedy zapojeni odborníci z řad kartografů ani z řad sociologů. Výsledky je proto nutné interpretovat s ohledem na jejich omezené zkušenosti a odborné znalosti.

Jedním z výrazných omezení této práce byla technická a časová náročnost analýzy fixací v prostředí Tobii Pro Lab. Ačkoliv bylo možné automaticky přiřadit fixace ke statickému snímku pomocí funkce Assisted Mapping, výstupy byly ve většině případů

nepřesné. Interaktivita mapových aplikací způsobovala nesoulad mezi záznamem pohledu a fixním snímkem, k němuž se měly fixace přiřazovat. Výsledkem bylo, že software nebyl schopen správně rozpoznat pozici pohledu uživatele, což vedlo ke vzniku „prázdných“ úseků bez přiřazených fixací. V důsledku toho bylo nutné všechny fixace zkontrolovat a opravit, což značně prodloužilo dobu zpracování.

Z těchto důvodů bylo přistoupeno k snížení počtu analyzovaných úloh pouze na osm u metody multiple view, kde byla ještě využita možnost poloautomatického zpracování a následné ruční korekce. V případě úloh typu swipe však tato možnost využita nebyla, neboť neexistoval statický snímek, vzhledem k dynamickému charakteru této metody. Výsledkem bylo, že všechny fixace u swipe musely být přiřazeny manuálně na předem upravený referenční snímek, což ještě zvýšilo náročnost celého procesu. Z těchto důvodů byly do analýzy zahrnuty pouze dvě swipe úlohy.

Tato omezení zásadně ovlivnila rozsah analyzovaných dat z hlediska AOI. Ačkoliv množství zaznamenaných dat bylo dostatečné, jejich zpracování bylo limitováno časovými možnostmi a technickými limity softwaru. Do budoucna by bylo vhodné využít alternativní metody zachycení interakce s dynamickými oblastmi zájmů.

Vzhledem k omezené velikosti výběrového souboru a charakteru dat byly pro statistické vyhodnocení zvoleny neparametrické testy (Wilcoxonův test, Kruskal-Wallisův test), které nevyžadují splnění předpokladu normálního rozdělení. I přesto, že test normality nebyl formálně proveden, bylo vzhledem k typu měřených proměnných a velikosti souboru považováno za vhodné použít tyto postupy.

Výsledky experimentu ukázaly, že metoda swipe je časově méně náročná a vede k nižší chybovosti při řešení úloh, což z ní činí vhodný nástroj pro vizuální porovnávání sociologických dat. Je však nutné dodat, že její využitelnost není univerzální. A výsledná efektivita této metody závisí na typu úkolu.

V navazujících studiích by bylo vhodné experiment zopakovat na širším vzorku respondentů, včetně odborníků z oblasti kartografie a sociologie, kteří by mohli nabídnout odlišné strategie práce s vizualizačními nástroji než běžní studenti.

Výsledky této práce mohou sloužit jako metodologický základ pro návrh vizualizačních nástrojů ve webových mapových aplikacích, především tam, kde je cílem usnadnit srovnání prostorových dat v rámci sociologických nebo tematických analýz.

9 ZÁVĚR

Diplomová práce byla zaměřena na hodnocení vizualizačních nástrojů pro porovnávání sociologických dat prostřednictvím metod multiple view a swipe. První část práce poskytla teoretický rámec k problematice rozdělené pozornosti, vizuální kompozice a metod porovnávání geografických dat. Na základě těchto poznatků byly navrženy a implementovány dvě interaktivní mapové aplikace, které byly dále testovány pomocí eye-tracking experimentu.

Experimentu se zúčastnilo celkem 45 respondentů rozdělených do tří skupin s odlišným odborným zaměřením. Každý účastník řešil sérii úloh nad mapami zobrazujícími sociologická data, a to střídavě pomocí nástroje swipe a multiple view. Výsledky ukázaly, že metoda swipe byla v průměru efektivnější, neboť účastníci pomocí této metody řešili úlohy rychleji a zároveň s menší chybou oproti metodě multiple view. Statisticky významné rozdíly ve prospěch této metody se objevily napříč většinou analyzovaných úloh i respondentů.

Podrobnější analýza potvrdila, že efektivita metody je závislá na typu úkolu. Metoda swipe se osvědčila především u úloh typu Difference, zatímco multiple view lépe fungovala u úloh typu Point. U úloh typu Region nebyl mezi metodami zaznamenán žádný významný rozdíl. Eye-tracking analýza zároveň ukázala, že pozornost účastníků byla primárně zaměřena na mapové části rozhraní. Legendy byly sledovány minimálně, zatímco informační okna hrála roli zejména u metody multiple view.

Sekvenční grafy a analýza oblastí zájmu odhalily rozdíly v individuálních strategiích řešení, zejména u metody swipe, kde bylo rozložení pozornosti více variabilní. Psychologický dotazník zaměřený na kognitivní styl účastníků sice neprokázal přímý vliv na výkon, avšak naznačil mírné odlišnosti v chybách a délce řešení jednotlivých úloh.

Hlavním přínosem práce je návrh, implementace a otestování dvou funkčních vizualizačních nástrojů, které byly ověřeny pomocí eye-tracking experimentu. V práci je také zmíněno, že volba vizualizační metody by **neměla být univerzální, ale přizpůsobená konkrétní situaci**. Do budoucna je možné na práci navázat rozšířením experimentu o nové typy úloh, tematická data, další vizualizační přístupy či širší spektrum uživatelů. Výsledky mohou sloužit jako podklad pro návrh efektivnějších interaktivních map, které lépe odpovídají typu úlohy a uživatelským potřebám.

Na základě provedené analýzy lze doporučit využití metody swipe pro úlohy zaměřené na porovnávání rozdílů mezi dvěma mapami (typ Difference), zatímco metoda multiple view se jeví jako vhodnější pro úlohy zaměřené na vyhledávání konkrétních hodnot v mapě (typ Point). Pro úlohy pracující s geografickými celky (typ Region) lze využít obě metody rovnocenně, neboť statisticky významný rozdíl mezi nimi nebyl prokázán.

POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

- AIGNER, Wolfgang, Silvia MIKSCH, Heidrun SCHUMANN, Christian TOMINSKI, Wolfgang AIGNER, Silvia MIKSCH, Heidrun SCHUMANN a Christian TOMINSKI, 2023. Involving the Human via Interaction. In: *Visualization of Time-Oriented Data* [online]. London: Springer London, s. 129-167 [cit. 2025-03-06]. Human-Computer Interaction Series. ISBN 978-1-4471-7526-1. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4471-7527-8_5
- AYRES, Paul a John SWELLER, 2005. The Split-Attention Principle in Multimedia Learning. In: MAYER, Richard, ed. *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* [online]. Cambridge University Press, s. 135-146 [cit. 2025-03-06]. ISBN 9780521838733. Dostupné z: doi:10.1017/CBO9780511816819.009
- BREWER, Cynthia A., 2002. ColorBrewer. *ColorBrewer* [online]. [cit. 2025-04-25]. Dostupné z: <https://colorbrewer2.org>
- BURIAN, Jaroslav, Stanislav ŠŤASTNÝ, Jan BRUS, Vilém PECHANEC a Vít VOŽENÍLEK, 2015. Urban Planner: model for optimal land use scenario modelling. *Geografie* [online]. **120**(3), 330-353 [cit. 2025-03-17]. ISSN 1212-0014. Dostupné z: doi:10.37040/geografie2015120030330
- EUROSTAT, 2025. *Eurostat databáze* [online]. [cit. 2025-03-18]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/data/database>
- GLEICHER, Michael, Danielle ALBERS, Rick WALKER, Ilir JUSUFI, Charles D. HANSEN a Jonathan C. ROBERTS, 2011. Visual comparison for information visualization. *Information Visualization* [online]. **10**(4), 289-309 [cit. 2025-03-06]. ISSN 1473-8716. Dostupné z: doi:10.1177/1473871611416549
- JAVED, Waqas a Niklas ELMQVIST, 2012. Exploring the design space of composite visualization. In: *2012 IEEE Pacific Visualization Symposium* [online]. IEEE, s. 1-8 [cit. 2025-03-06]. ISBN 978-1-4673-0866-3. ISSN 2165-8773. Dostupné z: doi:10.1109/PacificVis.2012.6183556
- LEAFLET, 2025. Interactive Choropleth Map. *Leaflet* [online]. [cit. 2025-03-21]. Dostupné z: <https://leafletjs.com/examples/choropleth/>
- LOBO, María-Jesús, Emmanuel PIETRIGA a Caroline APPERT, 2015. An Evaluation of Interactive Map Comparison Techniques. In: *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* [online]. New York, NY, USA: ACM, 2015-04-18, s. 3573-3582 [cit. 2025-03-07]. ISBN 9781450331456. Dostupné z: doi:10.1145/2702123.2702130
- NAVON, David, 1977. Forest before trees: The precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology* [online]. **9**(3), 353-383 [cit. 2025-04-18]. ISSN 00100285. Dostupné z: doi:10.1016/0010-0285(77)90012-3
- NĚTEK, Rostislav, 2020. *Webová kartografie - specifika tvorby interaktivních map na webu* [online]. Křížkovského 8, 771 47 Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci [cit. 2025-03-15]. ISBN 978-80-244-5827-4. Dostupné z: doi:10.5507/prf.20.24458274
- PAQ RESEARCH, 2024. DataPAQ. *DataPAQ* [online]. [cit. 2025-03-18]. Dostupné z: <https://www.datapaq.cz/>
- POPELKA, Stanislav, Jaroslav BURIAN a Marketa BEITLOVA, 2022. Swipe versus multiple view: a comprehensive analysis using eye-tracking to evaluate user interaction with web maps. *Cartography and Geographic Information Science* [online]. 2022-05-04,

- 49**(3), 252-270 [cit. 2025-03-15]. ISSN 1523-0406. Dostupné z: doi:10.1080/15230406.2021.2015721
- POSNER, Michael I., Steven E. PETERSEN, Peter T. FOX a Marcus E. RAICHLE, 1988. Localization of Cognitive Operations in the Human Brain. *Science* [online]. 1988-06-17, **240**(4859), 1627-1631 [cit. 2025-03-06]. ISSN 0036-8075. Dostupné z: doi:10.1126/science.3289116
- ŠAŠINKA, Čeněk, Kamil MORONG a Zdeněk STACHOŇ, 2017. The Hypothesis Platform: An Online Tool for Experimental Research into Work with Maps and Behavior in Electronic Environments. *ISPRS International Journal of Geo-Information* [online]. **6**(12) [cit. 2025-04-24]. ISSN 2220-9964. Dostupné z: doi:10.3390/ijgi6120407
- WEAVER, C., 2004. Building Highly-Coordinated Visualizations in Improvise. In: *IEEE Symposium on Information Visualization* [online]. IEEE, s. 159-166 [cit. 2025-03-08]. ISBN 0-7803-8779-3. Dostupné z: doi:10.1109/INFVIS.2004.12
- WEN, Wen, Atsushi YAMASHITA a Hajime ASAMA, 2016. Divided Attention and Processes Underlying Sense of Agency. *Frontiers in Psychology* [online]. 2016-01-28, **7** [cit. 2025-03-06]. ISSN 1664-1078. Dostupné z: doi:10.3389/fpsyg.2016.00035

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

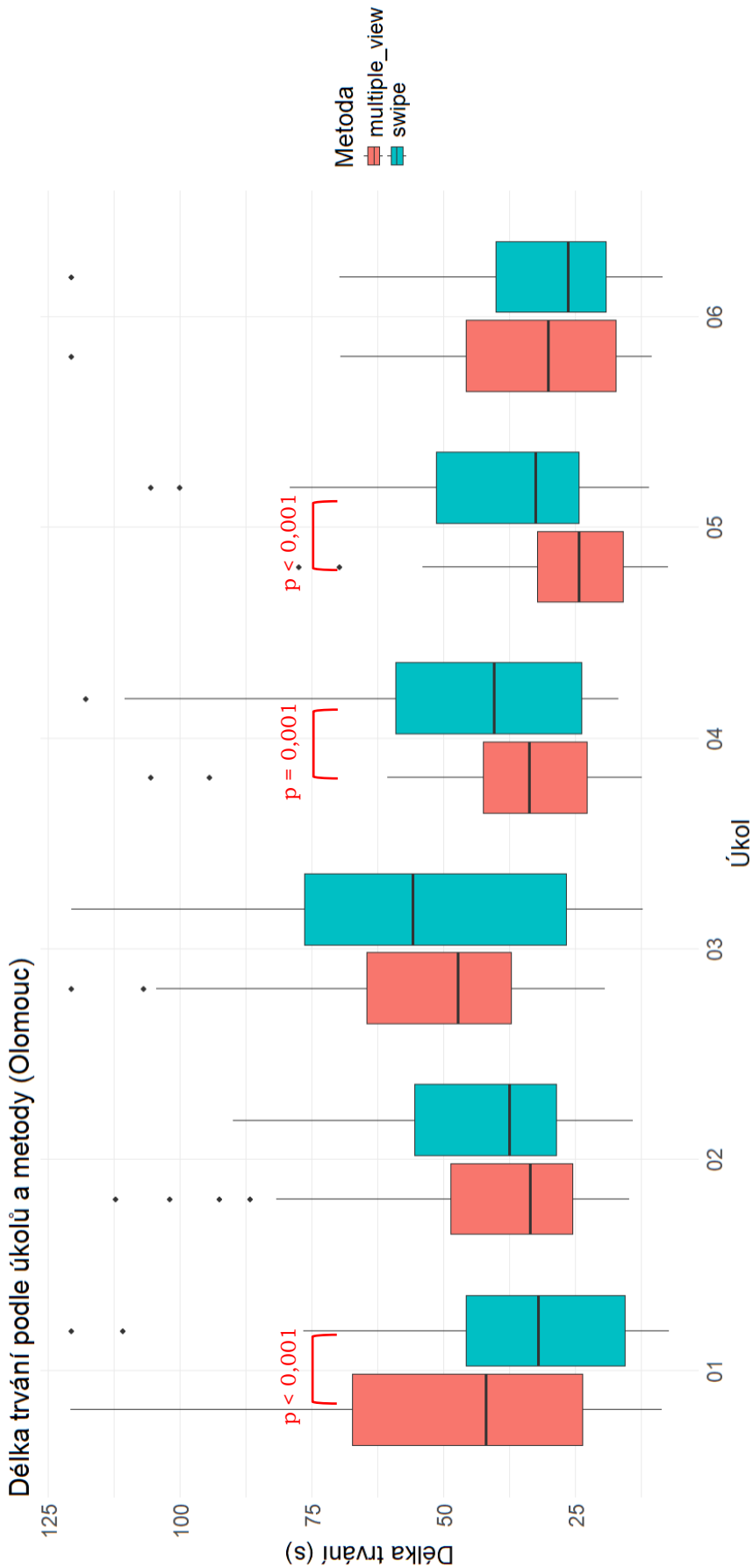
Vázané přílohy:

- Příloha 1 Délka trvání podle úkolů a metody (Česká republika)
- Příloha 2 Délka trvání podle úkolů a metody (Evropská unie)
- Příloha 3 Délka trvání úkolů podle skupin respondentů
- Příloha 4 Délka trvání úkolů podle skupiny (Česká republika)
- Příloha 5 Délka trvání úkolů podle skupiny (Evropská unie)
- Příloha 6 Délka trvání úkolů podle skupiny (Olomouc)

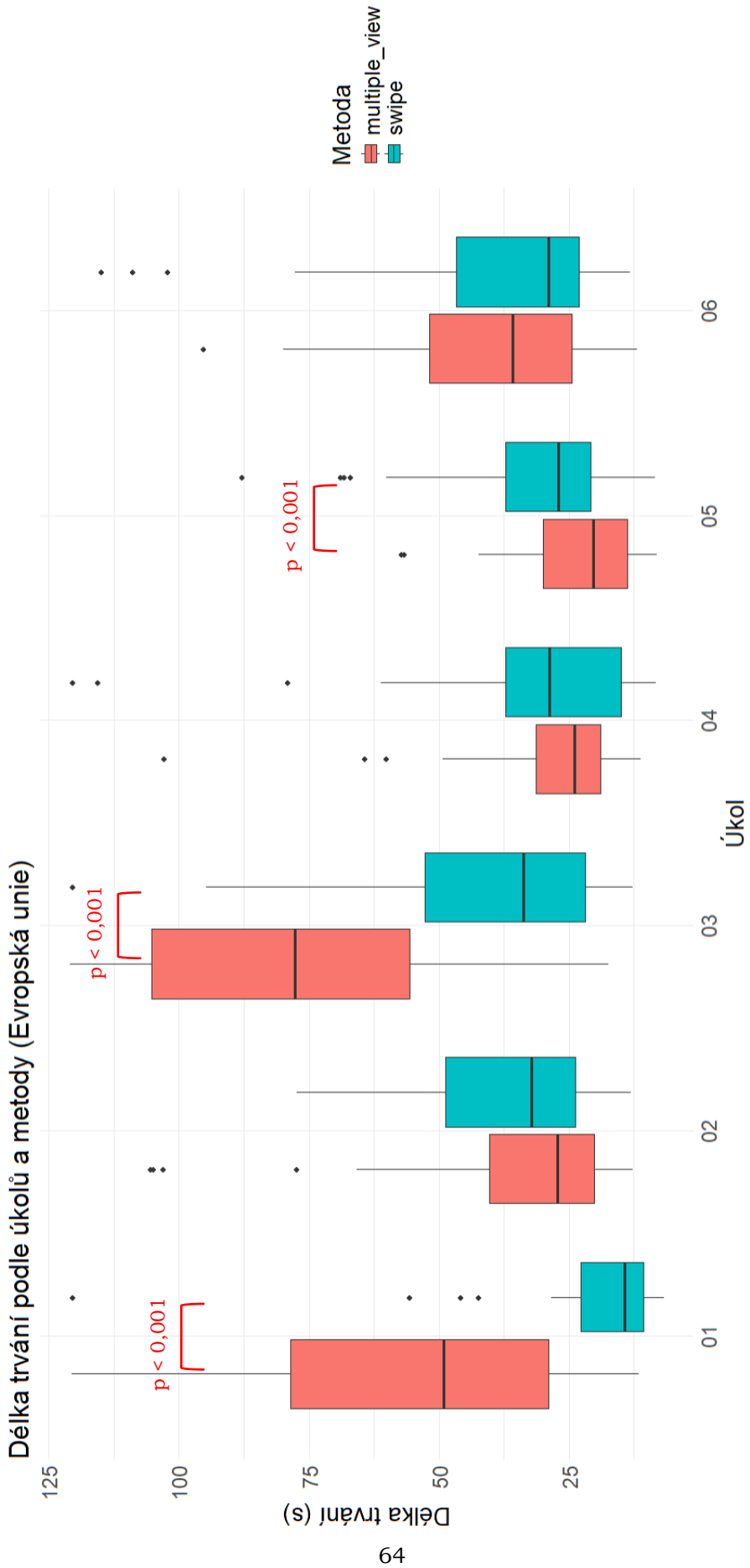
Volné přílohy

- Příloha 7 Poster
- Příloha 8 Web
- Příloha 9 Exportovaný projekt uložen v eye-tracking laboratoři katedry Geoinformatiky
- Příloha 10 Kompletní mapové aplikace vytvořené v rámci diplomové práce

Příloha 1 Délka trvání podle úkolů a metody (Česká republika)



Příloha 2 Délka trvání podle úkolů a metody (Evropská unie)



Příloha 3 Délka trvání podle úkolů podle skupin respondentů

(Česká republika)

Skupina Carto							
ČR	METODA	Median (s)	METODA	Median (s)	p-value	Významnost	Rychlejší metoda
Úkol 1	multiple view	52,8	swipe	15,5	0,006714	ANO	swipe
Úkol 2	multiple view	27,3	swipe	30,4	0,5614	NE	multiple view
Úkol 3	multiple view	43,9	swipe	59,4	0,6387	NE	multiple view
Úkol 4	multiple view	29,1	swipe	34,8	0,0946	NE	multiple view
Úkol 5	multiple view	21,2	swipe	34,9	0,005371	ANO	multiple view
Úkol 6	multiple view	25	swipe	19,5	0,006714	ANO	swipe
Skupina Random							
ČR	METODA	Median (s)	METODA	Median (s)	p-value	Významnost	Rychlejší metoda
Úkol 1	multiple view	32,7	swipe	31,8	0,3028	NE	swipe
Úkol 2	multiple view	34,7	swipe	37,4	0,8904	NE	multiple view
Úkol 3	multiple view	47,2	swipe	47	0,5245	NE	swipe
Úkol 4	multiple view	35	swipe	35,7	0,06372	NE	multiple view
Úkol 5	multiple view	19,7	swipe	32,4	0,01807	ANO	multiple view
Úkol 6	multiple view	37,2	swipe	28,4	0,9341	NE	swipe
Skupina Socio							
ČR	METODA	Median (s)	METODA	Median (s)	p-value	Významnost	Rychlejší metoda
Úkol 1	multiple view	46,4	swipe	45,3	0,4543	NE	swipe
Úkol 2	multiple view	43,7	swipe	50,2	0,3591	NE	multiple view
Úkol 3	multiple view	59,5	swipe	65,9	1	NE	multiple view
Úkol 4	multiple view	35,3	swipe	44,8	0,05536	NE	multiple view
Úkol 5	multiple view	26,2	swipe	32,3	0,1205	NE	multiple view
Úkol 6	multiple view	30,1	swipe	36,5	0,9341	NE	multiple view

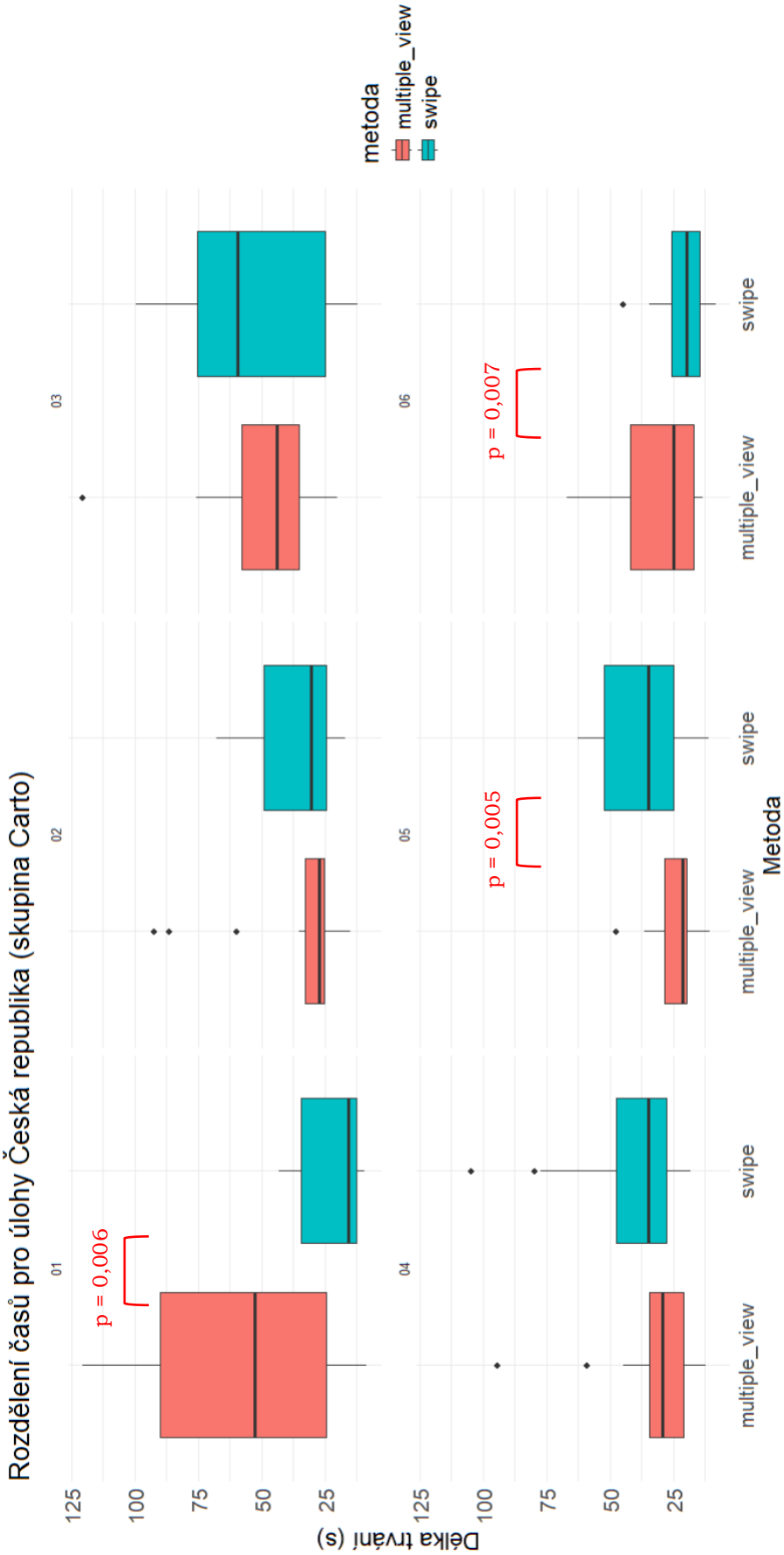
(Evropská unie)

Skupina Carto							
EU	METODA	Median (s)	METODA	Median (s)	p-value	Významnost	Rychlejší metoda
Úkol 1	multiple view	43,6	swipe	14	0,0008545	ANO	swipe
Úkol 2	multiple view	25,7	swipe	33,2	0,3591	NE	multiple view
Úkol 3	multiple view	71,2	swipe	24,8	0,0004272	ANO	swipe
Úkol 4	multiple view	21,2	swipe	29	0,5995	NE	multiple view
Úkol 5	multiple view	18,6	swipe	22,3	0,03534	ANO	multiple view
Úkol 6	multiple view	26,4	swipe	23,1	0,073	NE	swipe
Skupina Random							
EU	METODA	Median (s)	METODA	Median (s)	p-value	Významnost	Rychlejší metoda
Úkol 1	multiple view	49,1	swipe	14,1	0,01245	ANO	swipe
Úkol 2	multiple view	35,5	swipe	32,6	0,1876	NE	swipe
Úkol 3	multiple view	104	swipe	42,5	0,004272	ANO	swipe
Úkol 4	multiple view	25,2	swipe	24,9	0,4543	NE	swipe
Úkol 5	multiple view	21,9	swipe	25,6	0,02155	ANO	multiple view
Úkol 6	multiple view	40,2	swipe	39,4	0,4887	NE	swipe
Skupina Socio							
EU	METODA	Median (s)	METODA	Median (s)	p-value	Významnost	Rychlejší metoda
Úkol 1	multiple view	52,2	swipe	18,5	6.104e-05	ANO	swipe
Úkol 2	multiple view	31,3	swipe	29,5	0,6387	NE	swipe
Úkol 3	multiple view	88,3	swipe	45,8	0,00042	ANO	swipe
Úkol 4	multiple view	26,2	swipe	28,8	0,5995	NE	multiple view
Úkol 5	multiple view	24,5	swipe	34,5	0,03015	ANO	multiple view
Úkol 6	multiple view	48,1	swipe	35,5	0,8469	NE	swipe

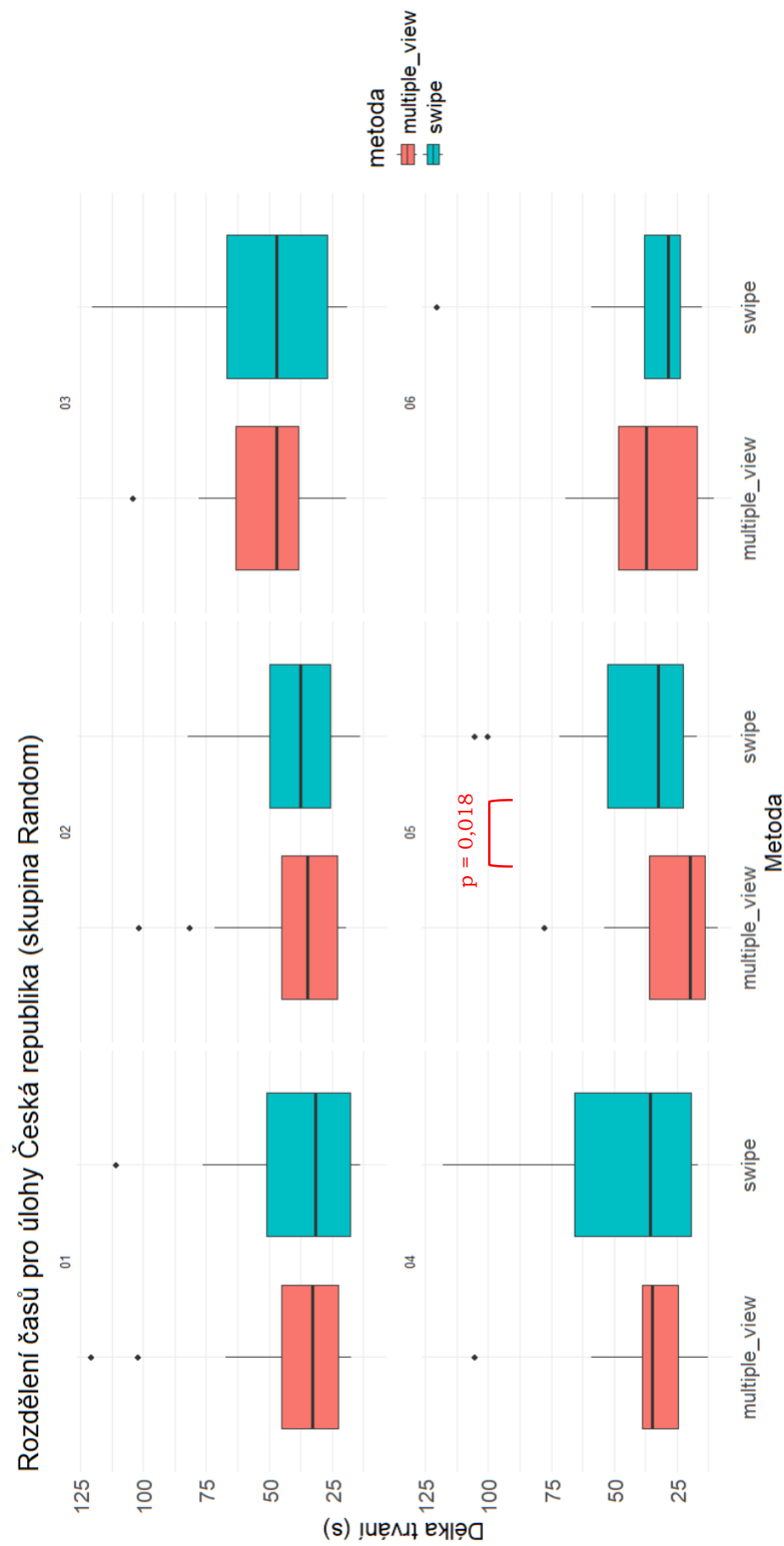
(Město Olomouc)

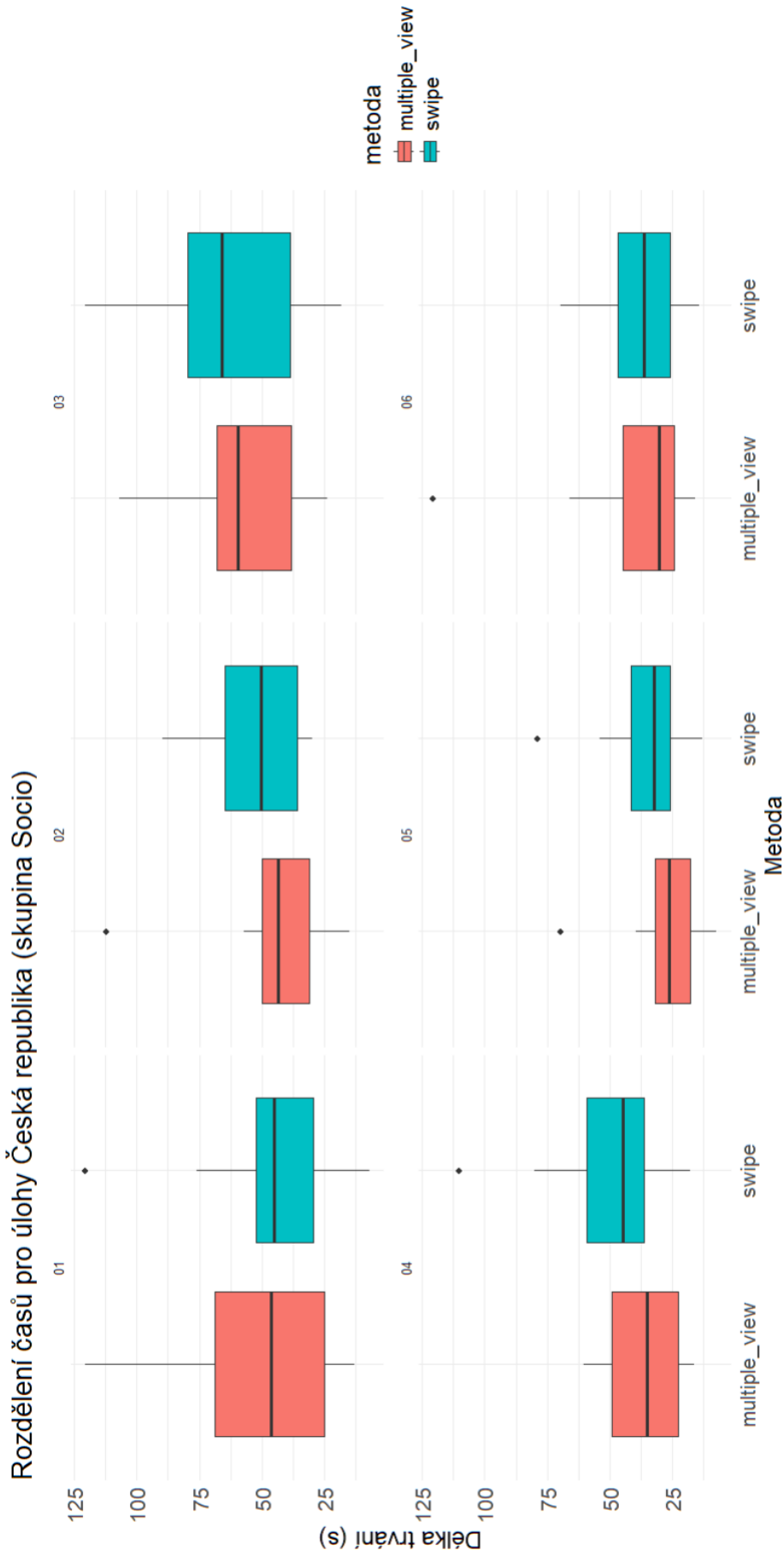
Skupina Carto							
OL	METODA	Median (s)	METODA	Median (s)	p-value	Významnost	Rychlejší metoda
Úkol 1	multiple view	43,3	swipe	22,2	0,002014	ANO	swipe
Úkol 2	multiple view	29,7	swipe	15,6	0,002014	ANO	swipe
Skupina Random							
OL	METODA	Median (s)	METODA	Median (s)	p-value	Významnost	Rychlejší metoda
Úkol 1	multiple view	48	swipe	28,5	0,00214	ANO	swipe
Úkol 2	multiple view	32,4	swipe	26,5	0,09	NE	swipe
Skupina Socio							
OL	METODA	Median (s)	METODA	Median (s)	p-value	Významnost	Rychlejší metoda
Úkol 1	multiple view	49,4	swipe	26,1	0,01245	ANO	swipe
Úkol 2	multiple view	49,4	swipe	18,1	0,01184	ANO	swipe

Příloha 4 Délka trvání úkolů podle skupiny (Česká republika)
(Česká republika, skupina Carto)

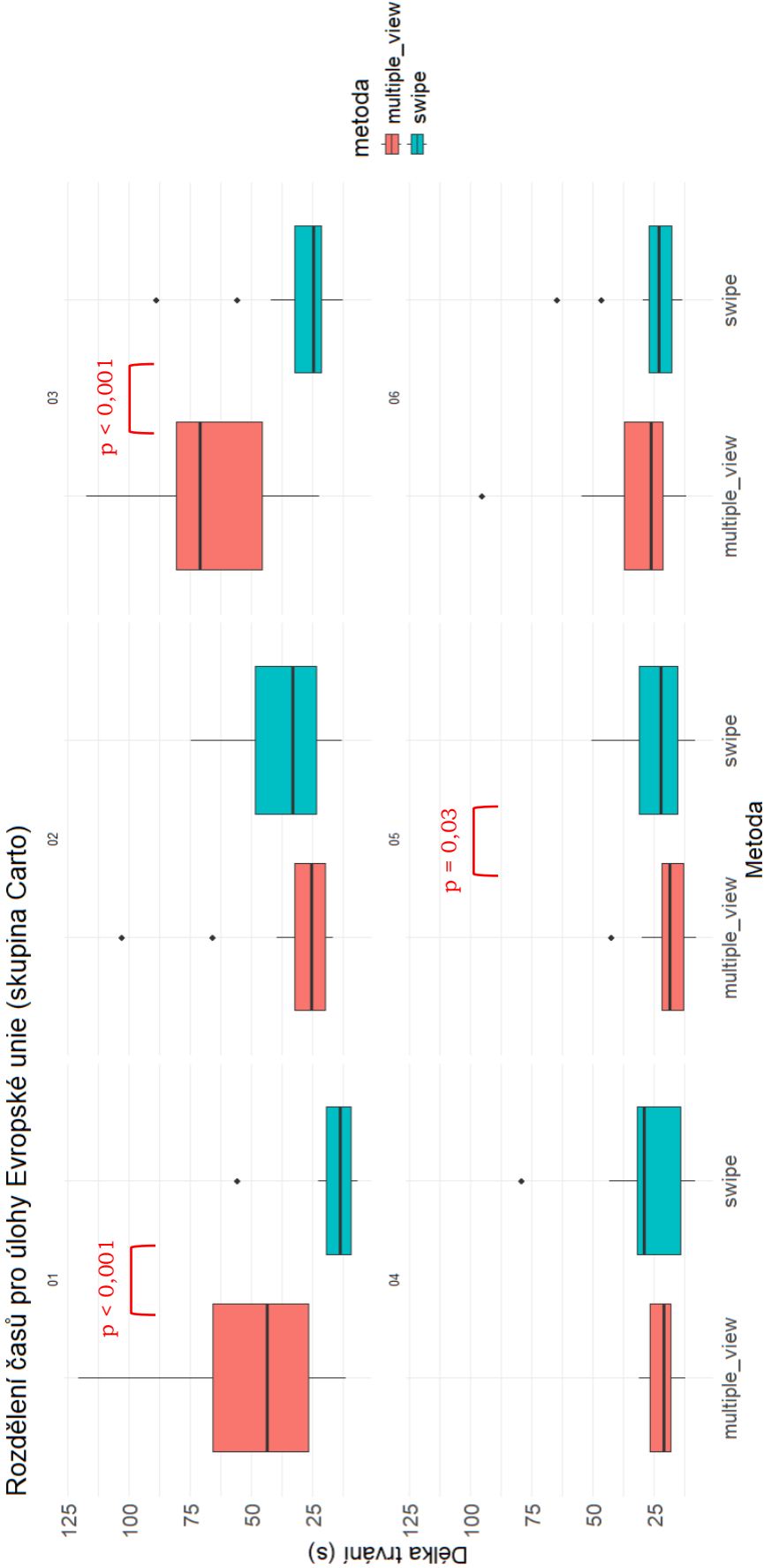


(Česká republika, skupina Random)

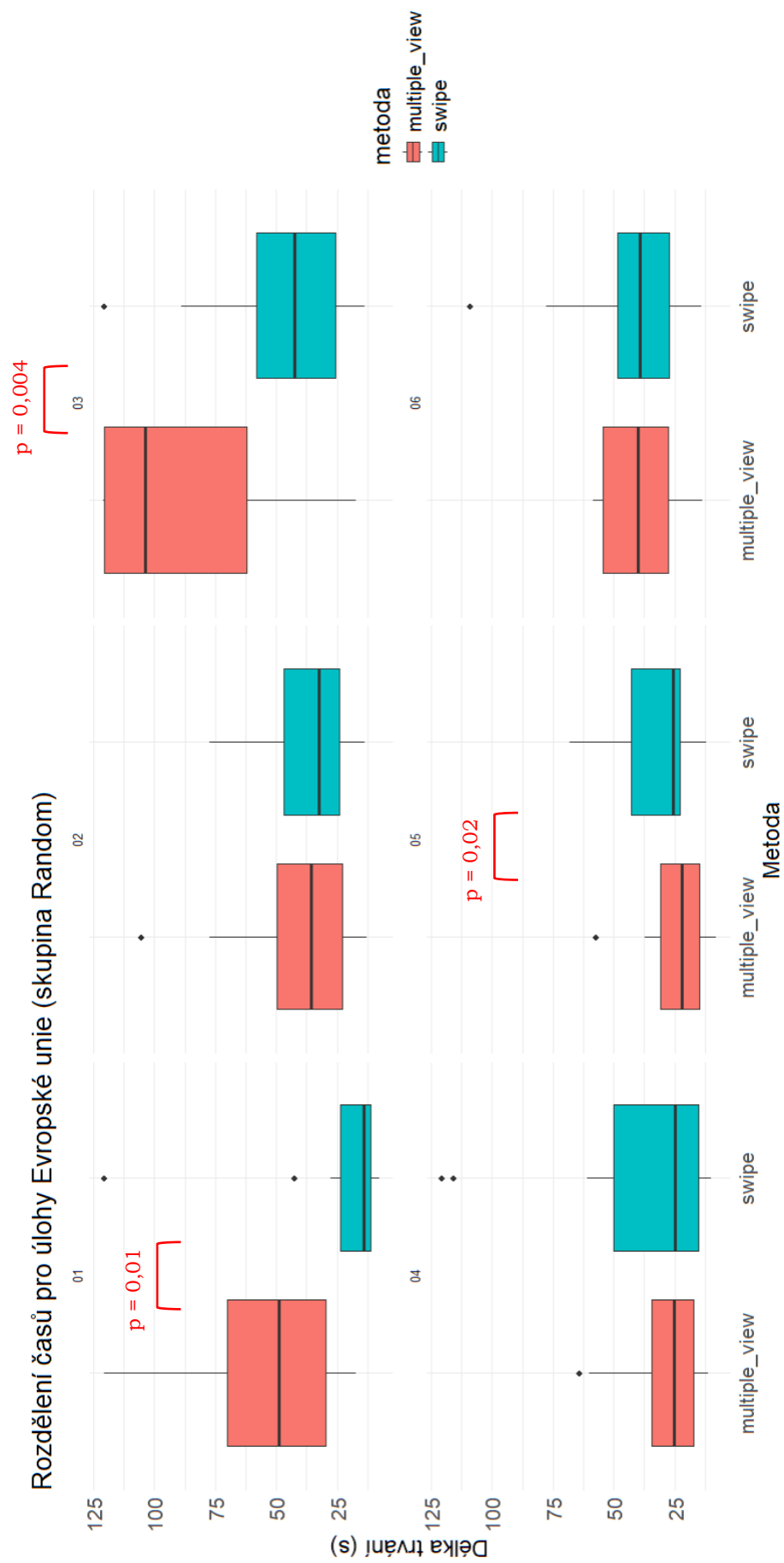




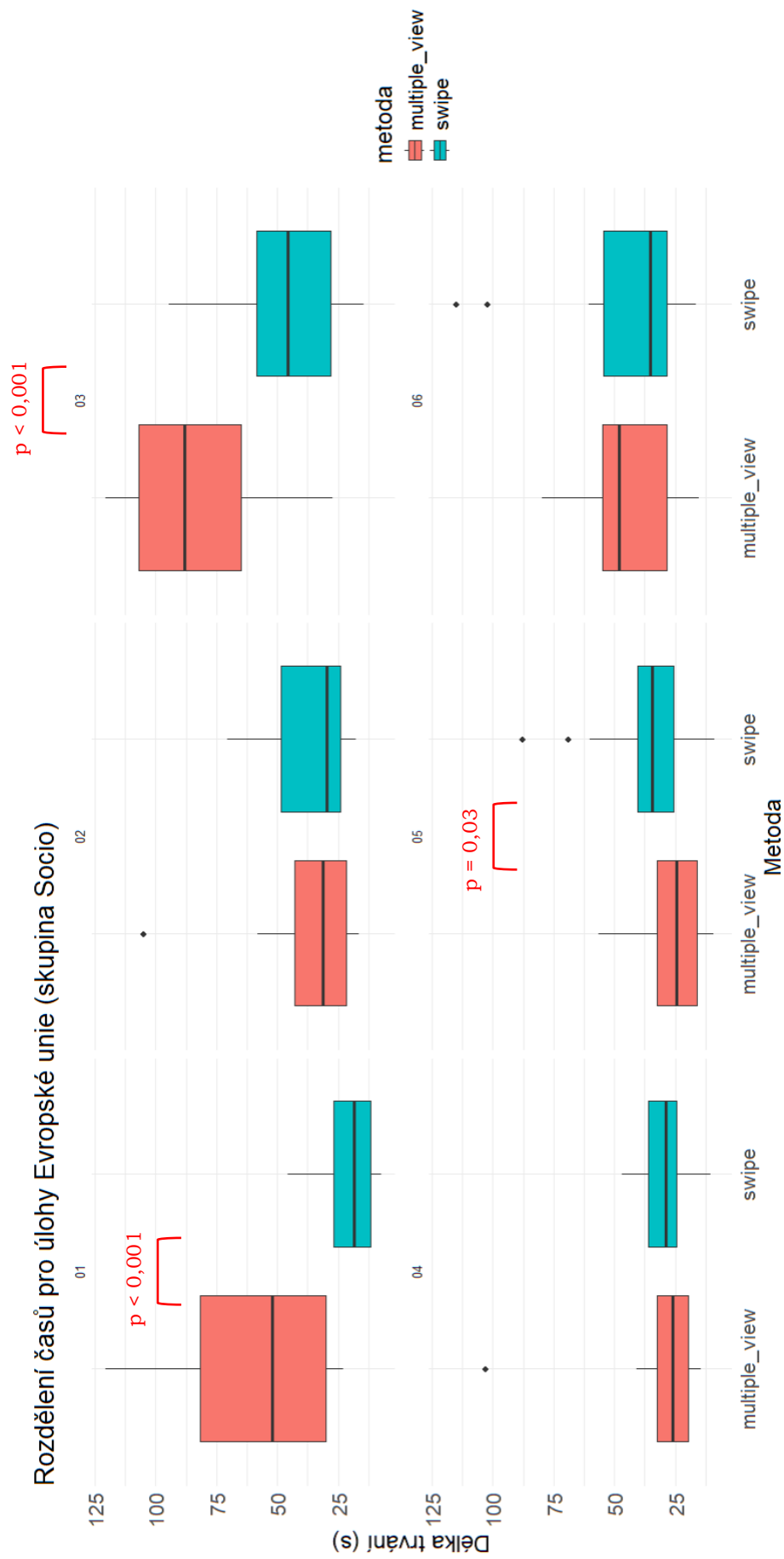
Příloha 5 Délka trvání úkolů podle skupiny (Evropská unie)
(Evropská unie, skupina Carto)



(Evropská unie, skupina Random)



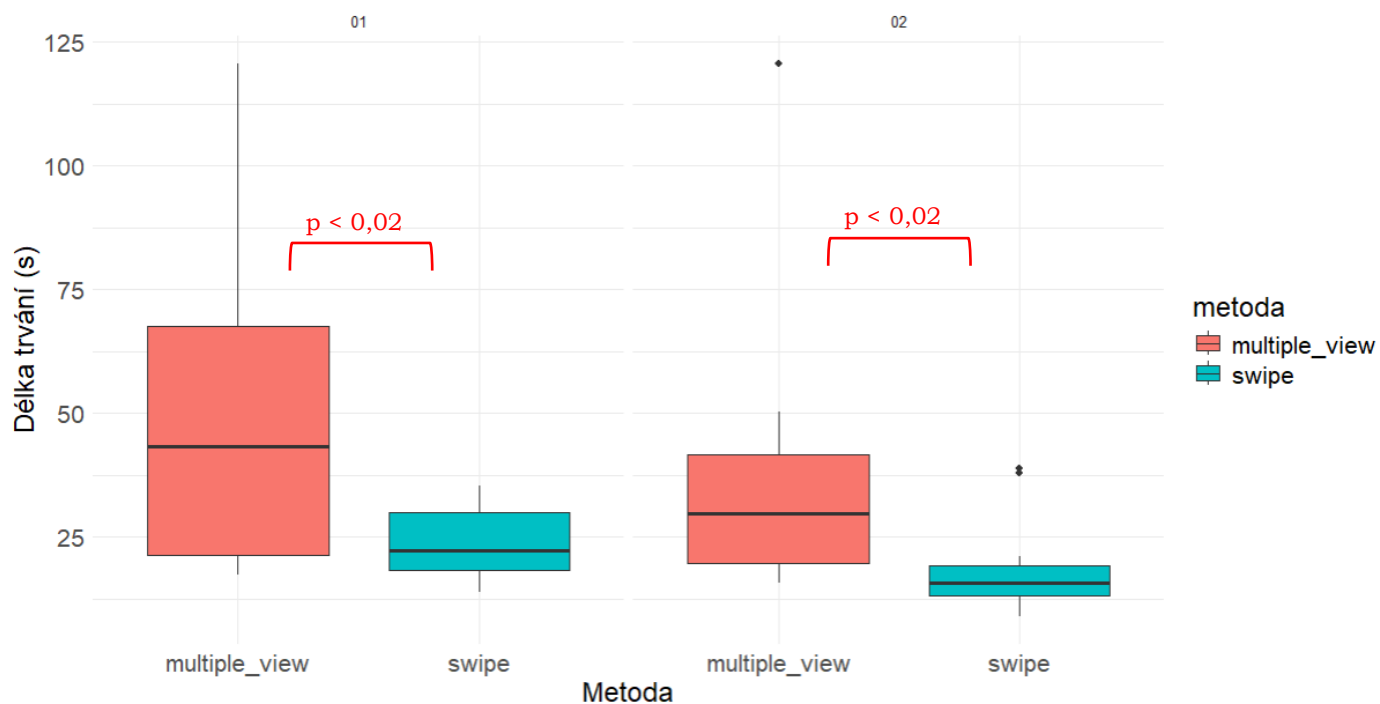
(Evropská unie, skupina Socio)



Příloha 6 Délka trvání úkolů podle skupiny (Olomouc)

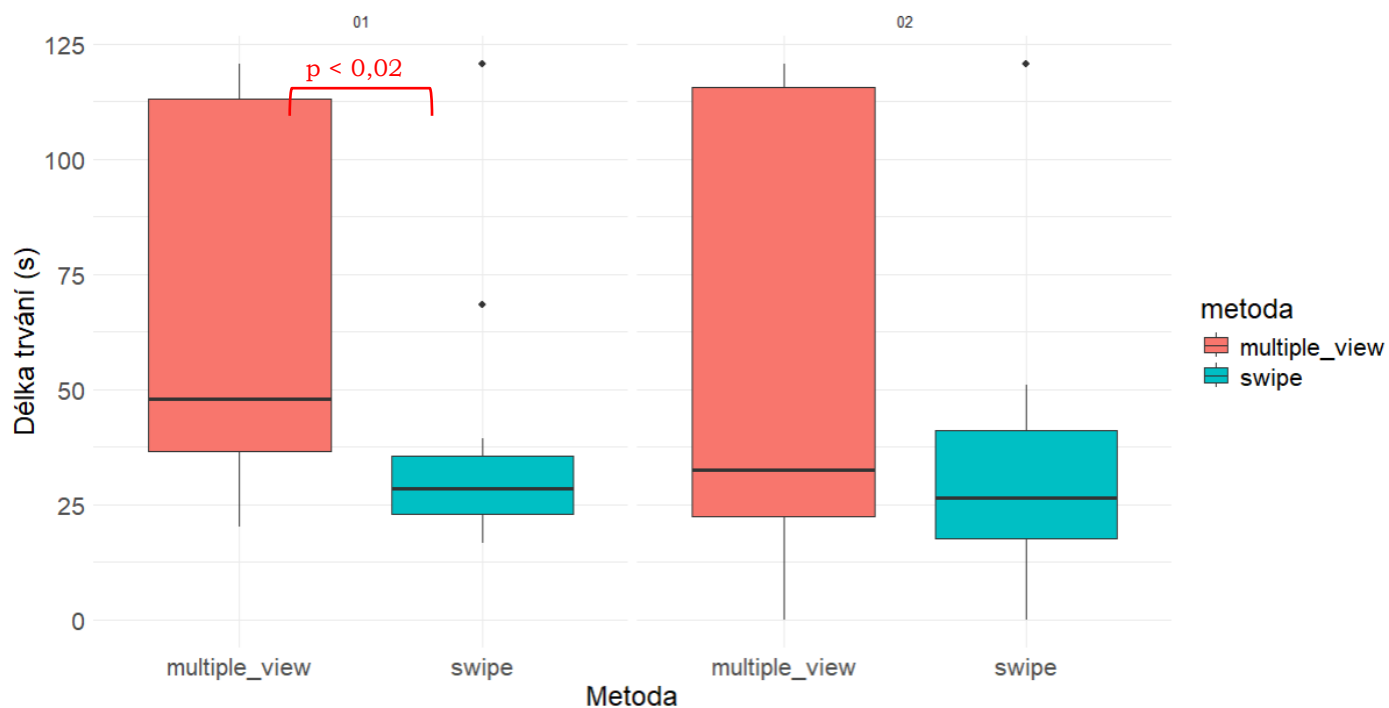
(Olomouc, skupina Carto)

Rozdělení časů pro úlohy města Olomouce (skupina Carto)



(Olomouc, skupina Random)

Rozdělení časů pro úlohy města Olomouce (skupina Random)



(Olomouc, skupina Socio)

Rozdělení časů pro úlohy města Olomouce (skupina Socio)

