



**UNIWERSYTET IM. ADAMA MICKIEWICZA W POZNANIU**  
**WYDZIAŁ NAUK GEOGRAFICZNYCH I GEOLOGICZNYCH**  
**Instytut Geografii Fizycznej i Kształtowania Środowiska Przyrodniczego**

**Tymoteusz Horbiński**

**Wpływ responsywnego projektowania graficznego  
interfejsu użytkownika na efektywność mapy internetowej**

*The impact of responsive graphic user interface design on web map  
effectiveness*

**ROZPRAWA DOKTORSKA**

napisana w Zakładzie Kartografii i Geomatyki

pod kierunkiem prof. dr hab. Beaty Medyńskiej-Gulij

i dra inż. Pawła Cybulskiego

**Poznań 2020**

W tym miejscu składam serdeczne podziękowania  
Pani Prof. dr hab. Beacie Medyńskiej-Gulij  
oraz Panu dr inż. Pawłowi Cybulskiemu  
za nieocenioną pomoc okazaną podczas  
przygotowywania rozprawy doktorskiej.

Dziękuję również Bliskim i Znajomym,  
którzy darzyli mnie swoim wsparciem.

Niniejszą pracę dedykuję Joannie oraz  
Rodzicom – Justynie i Markowi

## SPIS TREŚCI

<b>1. Wstęp – problematyka, tezy, cele, metody badań i zawartość pracy.....</b>	<b>5</b>
<b>2. Mapa internetowa.....</b>	<b>12</b>
2.1. Definicja mapy internetowej.....	12
2.2. Środowisko technologiczne tworzenia map internetowych.....	13
2.3. Funkcje map internetowych.....	19
2.4. Graficzny interfejs użytkownika (GUI).....	22
<b>3. Responsywne projektowanie map internetowych.....</b>	<b>26</b>
3.1. Responsywność .....	26
3.2. Aplikacja mobilna jako forma responsywności.....	30
3.3. Użyteczność graficznego interfejsu użytkownika (GUI).....	31
<b>4. Metody kartograficznej prezentacji danych na mapach internetowych.....</b>	<b>33</b>
<b>5. Metody badań efektywności map internetowych.....</b>	<b>37</b>
<b>6. Badanie wpływu rozmieszczenia przycisków graficznego interfejsu użytkownika (GUI) na efektywność responsywnych map internetowych.....</b>	<b>42</b>
6.1. Etap koncepcyjny.....	45
6.1.1. Metody kartograficznej prezentacji internetowych map referencyjnych.....	45
6.1.2. Założenia wariantów układów graficznego interfejsu użytkownika (GUI) responsywnej mapy internetowej.....	46
6.1.3. Środowisko technologiczne.....	51
6.1.4. Metody pozyskiwania danych o efektywności responsywnych map internetowych.....	52
6.1.5. Uczestnicy badania.....	53
6.1.6. Metody analizy wyników.....	53
6.2. Etap opracowania responsywnych map internetowych.....	54
6.2.1. Zaprojektowanie ikon dla przycisków.....	54
6.2.2. Zaprogramowanie 6 funkcji dla przycisków.....	59
6.2.3. Przygotowanie 12 wariantów map internetowych.....	67
6.2.4. Przygotowanie wariantów kwestionariuszy badawczych.....	72
6.3. Etap badań z użytkownikami.....	74
6.3.1. Przeprowadzenie kwestionariusza badawczego.....	74
6.3.2. Przygotowanie danych do analizy statystycznej i eye-trackingowej.....	78

6.4. Etap analizy wyników i formułowania wniosków.....	80
6.4.1. Analiza statystyczna wyników badań.....	81
6.4.1.1. Wyliczenie wartości średnich parametrów czasowych.....	81
6.4.1.2. Czteropoziomowy test korelacji.....	85
6.4.1.3. Test zmienności w grupach.....	102
6.4.2. Analiza wyników eye-trackingowych.....	106
6.4.2.1. Eye-tracking na monitorze.....	106
6.4.2.2 Eye-tracking na smartfonie.....	110
6.4.3. Zestawienie wyników i dyskusja.....	112
6.4.3.1. Współczynnik efektywności GUI.....	112
6.4.3.2. Rekomendacje do projektowania responsywnego.....	113
6.4.3.3. Dyskusja.....	116
<b>7. Podsumowanie.....</b>	<b>120</b>
Literatura.....	124
Spis rycin.....	136

## 1. Wstęp – problematyka, tezy, cel, metody badań i zawartość pracy

Mapy internetowe takie jak Google Maps czy Open Street Map są rozpoznawanym produktem na całym świecie. Fenomen ten jest związany bezpośrednio z globalizacją kartografii (Skopeliti i Stamou, 2019), ponieważ nigdy wcześniej te same mapy nie były wykorzystywane codziennie przez ludzi na całym świecie w sposób tak różnorodny (planowanie wycieczek, nawigacja samochodowa, *storytelling*). Szeroki wybór portali publikujących mapy internetowe tworzy konkurencję, która prowadzi do ciągłego doskonalenia ich funkcjonalności, dostosowywania do technologicznych zmian oraz potrzeb użytkowników. Bezpośrednią przyczyną tak prężnego ulepszania map jest szybki rozwój i dostępność internetu, a także Systemów Informacji Geograficznej (GIS) (Wang, 2014).

Prezentacja danych o Ziemi i środowisku na mapach udostępnionych w internecie interesowała ludzi już od lat 90-tych. Początki tego procesu rozpoczęły się od krótkiego artykułu opublikowanego w *Sales and Marketing Management* zatytułowanego „*Pushpins Out, Computer Map in*” (Tom 145, strony 20-21, 03.1993), w którym zaprezentowano przewidywany wpływ komputerów na tworzenie map. Był to początek opracowywania map internetowych, oraz założeń tworzenia serwisów mapowych. Wallace (2011) jako przykład podaje proces wyznaczania trasy. Na mapach analogowych (papierowych) wyznaczanie odbywało się poprzez wbijanie szpilek w mapę, których połączenie tworzyło trasę. Szpilki te symbolizowały wybrane miejsca, przez które przechodzi trasa. Wraz z rozwojem technologicznym mapy internetowe wyparły mapy analogowe, a tradycyjne szpilki zostały zamienione na znaczniki (*Markers*), lecz ich sygnatura wciąż nawiązuje do tradycyjnych szpilek. Współcześnie na mapach podkładowych w internetowych serwisach mapowych głównym sposobem prezentacji danych przestrzennych jest metoda sygnaturowa (Medyńska-Gulij, 2007, 2010a, 2015). Mapy te można nazwać ogólnogeograficznymi (referencyjnymi). Prezentowane za pomocą kafelków (fragmentu mapy dopasowanego złożonością graficzną od odpowiedniego przybliżenia) z warstwowo ułożoną treścią stanowią podstawę każdej obecnej mapy internetowej.

Obecnie powszechną praktyką jest dystrybucja map nie tylko jako obrazów statycznych, ale również jako kodu źródłowego, który renderowany (*Rendering*) jest za pomocą przeglądarki internetowej (Bostock i Davies, 2013). Renderowanie w niniejszej rozprawie doktorskiej oznacza przedstawienie informacji zawartych w np. pliku HTML w formie najbardziej

właściwej dla danego rozszerzenia plikowego. W związku z szybkim tempem innowacji w kartografii internetowej, prawie codziennie pojawiają się nowe wersje lub znaczące aktualizacje w technologii tworzenia map internetowych (*Web mapping technologies*) (Haklay i in., 2008; Roth i Harrower, 2008). Jako technologie tworzenia i rozpowszechniania map internetowych rozumie się: interfejs API, frameworki, biblioteki, serwisy/usługi itp. Technologie Open Web Platform, czyli zbiór (nieodpłatnych) technologii, które umożliwiają korzystanie z internetu, wykorzystują głównie HTML (*Hypertext Markup Language*), CSS (*Cascading Style Sheets*), SVG (*Scalable Vector Graphics*), standardy sieciowe XML (*Extensible Markup Language*) oraz język programowania JavaScript.

Współczesne osiągnięcia technologiczne dostarczyły nowych narzędzi i technik do projektowania interfejsów i interakcji na stronach internetowych, a co za tym idzie, również na mapach internetowych. Z tego powodu zmienia się między innymi sposób komunikacji człowiek-mapa. Dzięki obecnym możliwościom Systemów Informacji Geograficznej istnieje pokaźna możliwość prezentacji treści map internetowych w różnych odwzorowaniach kartograficznych (Nivala i in. 2008). Ponadto mapy internetowe mogą być wyświetlane na różnych poziomach szczegółowości i być stosunkowo łatwo aktualizowane (Dillemath, 2005). Ta cecha sprawia, że potrzeba badań na tym polu nauki jest bardzo potrzebna. Jednym z kluczowych powodów może być to, że mapy internetowe są używane przez dużą liczbę osób, i choć mogą być szybko i łatwo aktualizowane nie zawsze spełniają wszystkie potrzeby i preferencje użytkowników np. rozmieszczanie przycisków (*Buttons*) w **graficznym interfejsie użytkownika** (*Graphic user interface – GUI*) (Horbiński i in., 2020). **GUI** w niniejszej rozprawie doktorskiej rozumiany jest jako sposób interakcji użytkownika z programem lub mapą internetową za pomocą przycisków.

Problem preferencji użytkowników może również dotyczyć urządzenia, na którym wyświetlana jest mapa internetowa. Obecnie jest wiele różnych map internetowych, które zmieniają układ graficzny użytkownika na różnych wyświetlaczach np. Google Maps (inny układ rozmieszczania przycisków na monitorze komputera stacjonarnego i smartfonie) oraz takie, które jedynie przekształcają istniejącą mapę internetową, od lat zaprojektowaną dla urządzeń nie mobilnych, na mapę mobilną. Do takich map należy m.in. OpenStreetMap (Horbiński i Cybulski, 2018). Dopasowanie się mapy do określonego wyświetlacza określamy responsywną mapą internetową. W zasadach responsywności (**responsywność** – zdolność mapy internetowej do dopasowania się do różnych urządzeń i rozdzielczości) zawarty jest schemat, który mówi, aby najpierw projektować mapy na urządzenia mobilne (z mniejszym

wyświetlaczem np. smartfon) i dopiero na bazie stworzonego projektu rozszerzać wyświetlanie i działanie na większe wyświetlacze np. monitor komputera stacjonarnego (Marcotte, 2010). Do tej pory nie badano efektywności map internetowych, które byłyby stworzone bezpośrednio na mniejsze wyświetlacze i skonfrontowane z istniejącymi schematami tworzenia map internetowych. **Efektywność** w pracy jest rozumiana jako zależność pomiędzy parametrami czasowymi (czas zauważanie, identyfikacji i rozwiązania) uwzględniając tylko poprawne odpowiedzi. Temat ten nie był podejmowany w literaturze przedmiotu, a jest istotny w kontekście rozwoju kartografii internetowej. Rozpatrywanie responsywności w kontekście graficznego interfejsu użytkownika map internetowych może odbyć się za pomocą wielu technik i metod. Do najważniejszych metod badań w kartografii należą metody ankietowe (Wielebski, 2015) oraz ocena użyteczności (Nivala i in., 2008, Wang, 2014). Jednak wraz z rozwojem technologii wypracowana została technika eye-trackingowa, która w swoim toku postępowania badawczego (kwestionariuszu badawczym) łączy metodę ankietową oraz ocenę użyteczności rozszerzając badanie o parametry wynikające z bezpośredniej obserwacji ruchu ludzkiego oka (Çöltekin i in., 2009). Wszystkie metody jako kwestionariusz badawczy mogą określić efektywności różnych rozwiązań stosowanych na mapach internetowych w kontekście responsywności oraz graficznego interfejsu użytkownika.

Powyższe obszary problemowe i luki badawcze skłoniły autora niniejszej rozprawy do podjęcia badań nad wpływem responsywnego projektowania graficznego interfejsu użytkownika na efektywność mapy internetowej.

### **Cele i tezy pracy**

Celem głównym niniejszej rozprawy jest określenie wpływu responsywnego projektowania graficznego interfejsu użytkownika na efektywność mapy internetowej.

Na podstawie studiów literatury oraz określeniu luk badawczych postawiono dwie tezy:

**Teza 1:** *Rozmieszczenie przycisków graficznego interfejsu użytkownika zaproponowane na podstawie preferencji użytkowników ma pozytywny wpływ na efektywność responsywnych map internetowych.*

**Teza 2:** *Czas identyfikacji przycisków graficznego interfejsu użytkownika map internetowych jest niezależny od wielkości urządzenia.*

Do weryfikacji postawionych tez oraz realizacji celu głównego autor przyjął następujące cele szczegółowe:

- analiza i synteza literatury z zakresu metod kartograficznej prezentacji, programowania, projektowania oraz metodologii badań rozpoznawalności i efektywności graficznego interfejsu użytkownika map internetowych;
- analiza globalnych map internetowych pod kątem rozmieszczenia, liczby i grafiki przycisków graficznego interfejsu użytkownika;
- zaprojektowanie ujednoliconych graficznie ikon dla wybranych przycisków oraz przypisanie im funkcji interaktywnych do komunikacji z mapą internetową;
- zaprogramowanie wariantów map internetowych wraz z graficznym interfejsem użytkownika przy wykorzystaniu biblioteki JavaScript – Leaflet.js;
- wykorzystanie metody kwestionariusza badawczego (metody ankietowej, metody oceny użyteczności oraz techniki eye-trackingowej) w ocenie efektywności GUI responsywnych map internetowych;
- zastosowanie metod analiz statystycznych oraz opracowanie schematu czteropoziomowej korelacji danych czasowych z preferencjami użytkowników;
- opracowanie współczynnika efektywności na podstawie danych o czasie zauważenia, czasie identyfikacji oraz czasie rozwiązania zadania;
- przedstawienie rekomendacji do projektowania map internetowych na różne urządzenia (monitor i smartfon) w kontekście responsywności.

Celem aplikacyjnym niniejszej rozprawy było zaproponowanie schematu badań, który można traktować jako uniwersalny ciąg postępowania badawczego podczas badania wpływu responsywnego projektowania graficznego interfejsu użytkownika na efektywność mapy internetowej. Sprawdzenie kilku rozwiązań w odpowiednich kombinacjach graficznego interfejsu użytkownika nasuwają płynące z badania wnioski, które jako cel użyteczny niniejszej rozprawy mogą stanowić rekomendacje dla przyszłych twórców map internetowych.

### **Metody badań**

Postępowanie badawcze przyjęte w niniejszej dysertacji polega na realizacji celu głównego oraz wyznaczonych celów szczegółowych w oparciu o przyjęte metody z zakresu kartografii, geowizualizacji, informatyki, statystyki oraz psychologii widzenia:

- zastosowanie zasad/reguł projektowania map;

- wybór środowiska technologicznego do zaprogramowania mapy internetowej i jej funkcji;
- wybór oprogramowania do projektowania ikon pod względem przydatności dla wybranego środowiska technologicznego;
- wybór metod badania efektywności graficznego interfejsu użytkownika mapy internetowej;
- wybór metod analizy statystycznej wyników badań;
- opracowanie autorskiego schematu badań wpływu responsywnego projektowania graficznego interfejsu użytkownika na efektywność mapy internetowej.

Na szczególną uwagę zasługuje opracowanie autorskiego schematu postępowania w badaniu wpływu rozmieszczenia przycisków graficznego interfejsu użytkownika na efektywność responsywnych map internetowych. Został on opracowany na podstawie przyjętych metod badawczych i stanowi autorski element metodyki.

### **Przedmiot badań**

Przedmiotem badań niniejszej dysertacji jest responsywna mapa internetowa, a w szczególności uwzględnienie graficznego interfejsu użytkownika. Mapa internetowa jako cyfrowa reprezentacja mapy ogólnogeograficznej służy ludziom na całym świecie. Towarzyszy w uzyskiwaniu informacji o fizycznych (przyrodniczych) cechach środowiska geograficznego jak i elementach antropogenicznych. Obecnie uzyskiwanie takich informacji odbywa się na wielu urządzeniach. Projektujący mapy internetowe radzą sobie z taką zmiennością nośników wykorzystując zasady responsywności. Najważniejszym elementem każdej mapy internetowej w kontekście użytkownika jest graficzny interfejs użytkownika, ponieważ użytkownicy używają interfejsów do komunikacji z mapą poprzez interakcję i to doświadczenie decyduje o sukcesie produktu interaktywnego (Norman, 1988).

Szybkość oraz poprawność uzyskania potrzebnych informacji na preferowanych urządzeniach określa efektywność responsywnej mapy internetowej, dlatego istotnym jest projektować interfejs tak, aby użytkownik intuicyjnie interpretował poszczególne znaczenie przycisków. Również rozmieszczenie przycisków oraz ich liczba wpływa na użytkowanie. Wielu autorów zwracało uwagę na projektowanie interfejsu przejrzystego z odpowiednią funkcjonalnością (Nivala i in., 2008; Wang, 2014), lecz nie zbadali jak rozmieszczenie i liczba przycisków wpływa na efektywność korzystania z responsywnej mapy internetowej. Wyżej

wymieniona luka badawcza stanowi podstawę do podjęcia badań w niniejszej rozprawie doktorskiej. Sprawdzenie efektywności różnych wariantów układów rozmieszczenia przycisków oraz ich liczby posłużyć może w rozwoju zasad projektowania w kartografii internetowej.

### **Zawartość pracy**

Niniejsza dysertacja składa się z czterech rozdziałów teoretycznych oraz z rozbudowanego rozdziału opisującego badania. Na końcu pracy umieszczone zostało podsumowanie, spis literatury, rycin i tabel.

W rozdziale drugim zostały przedstawione teoretyczne zagadnienia dotyczące mapy internetowej. Analizie została poddana definicja mapy internetowej oraz przedstawiono poszczególne zagadnienia związane ze środowiskiem technologicznym, funkcjami oraz graficznym interfejsem użytkownika map internetowych.

W rozdziale trzecim omówiono stan wiedzy dotyczący responsywności oraz responsywnego projektowania map internetowych. Przede wszystkim zaprezentowano standardy, które obowiązują w kontekście responsywnego projektowania. Opisano też znaczenie responsywności w kontekście adaptacyjności oraz omówiono inne sposoby responsywności. Na koniec poruszono temat interfejsu i doświadczeń użytkownika.

W rozdziale czwartym zawarto informacje dotyczące metod kartograficznej prezentacji danych na mapach internetowych. Ustalono, że podkładem każdej mapy internetowej jest mapa ogólnogeograficzna. Omówiono sposoby prezentowania treści dla wszystkich rodzajów geometrii obiektów oraz przedstawiono sposoby wykorzystania języków programowania.

W rozdziale piątym zaprezentowano metody badań efektywności map internetowych. Położono nacisk na metody związane z testowaniem map przez użytkowników takie jak: ocena użyteczności, technika eye-trackingowa oraz metoda ankietowa. Opisano sposób ich przeprowadzania w ramach jednego badania.

W rozdziale szóstym przedstawiono autorską metodę postępowania w badaniu wpływu responsywnego projektowania graficznego interfejsu użytkownika na efektywności mapy internetowej. Metoda ta jest oparta o schemat badawczy składający się z czterech głównych etapów.

Na pierwszym etapie, określono w sposób szczegółowy wybrano metodykę prezentacji kartograficznej, wskazano założenia redakcyjne, wybrano środowisko technologiczne, wybrano metody pozyskiwania danych, określono uczestników badania oraz wskazano metody analizy danych statystycznych. W drugim etapie przygotowano warianty map internetowych oraz warianty kwestionariusza badawczego, które stały się podstawą do przeprowadzenia eksperymentu według wcześniej przyjętych założeń. Na trzecim etapie przeprowadzono badanie z użytkownikami za pomocą kwestionariusza badawczego. Na tym etapie przygotowano również dane do analizy statystycznej i eye-trackingowej. Na ostatnim, czwartym etapie przeprowadzono analizę statystyczną wyników oraz analizę wyników eye-trackingowych zrealizowanego badania. Zestawiono wyniki dzięki wyliczonemu współczynnikowi efektywności, wystosowano rekomendacje do projektowania responsywnego oraz przedyskutowano otrzymane wyniki z wynikami innych autorów.

W rozdziale siódmym podsumowano przeprowadzone badania w odniesieniu do tez oraz celów postawionych we wstępie niniejszej rozprawy.

## 2. Mapa internetowa

### 2.1 Definicja mapy internetowej

Prawdopodobnie projektowanie map internetowych (*Web mapping*) jest tak długo praktykowane jak długo istnieje internet. Ta innowacja technologiczna została udostępniona do użytku w 1991 r. wraz z pojawieniem się pierwszej wersji WWW (*World Wide Web*) lub w 1993 r. wraz z uruchomieniem pierwszej przeglądarki obsługującej graficzny interfejs użytkownika (*GUI – Graphical User Interface*) (Peterson, 2008).

Obecnie w literaturze można spotkać się z wieloma terminami określającymi lub nawiązującymi do definicji mapy internetowej (*Web map*) m.in. *web-mapping platform* (Wallace, 2011), *public web mapping sites* (Mitchell, 2005; Wang, 2014), *online map services* (Skopeliti and Stamou, 2019), *Internet map* (Meng, 2005; Horbiński, 2019), *web map service* (Spallek i in., 2016, Horbiński i Cybulski, 2018), lecz autor nie natrafił na bezpośrednią definicję mapy internetowej. Dlatego w niniejszej dysertacji naukowej mapa internetowa rozumiana będzie jako *web map*, czyli w wolnym tłumaczeniu z języka angielskiego „mapa sieciowa”. Nie dotyczy ona bezpośrednio sieci, natomiast rozumieć przez to trzeba mapę, która działa w sieci, czyli w internecie. Działa ona jako globalne medium komunikacji człowiek – mapa. Posiada funkcję wyszukiwania obiektów przestrzennych, wyznaczania trasy i geolokalizacji. Mapa internetowa działająca jednocześnie na urządzeniach stacjonarnych i mobilnych posiada następujące atrybuty:

- Adaptacyjność (Reichenbacher, 2003; Friedmannová i in., 2006) – to możliwość dostosowania się mapy do np. systemu, oprogramowania (responsywność) lub zapewnienie narzędzi użytkownikowi, które umożliwiają mu zmianę właściwości (Oppermann, 1994) np. język w jakim jest wyświetlana mapa;
- Interaktywność (Andrienko i Andrienko, 1999; Roth, 2013) – pojęcie to definiuje się jako dialog między człowiekiem a mapą za pośrednictwem urządzenia komputerowego (Peterson, 1998; Cartwright, 1999; Beaudouin-Lafon, 2004; Yi i in., 2007);
- Mobilność (Clarke, 2004; Meng i in., 2005) – to zapewnienie użytkownikowi mapy internetowej możliwości jej obsługi podczas przemieszczania się, wspierając go nawigacją (Roth i in., 2018);
- Wieloskalowość (*Multiscale*) (Brewer i Battenfield, 2007; Roth i in., 2011) – to pojęcie mówiące o zastosowaniu interakcji kartograficznej w celu zmiany skali

mapy i związanego z nią poziomu szczegółowości informacji znajdujących się na niej (Roth, 2013);

- Aktualność (Boulos i Burden, 2007; Goldsberry, 2007) - aktualizowanie w czasie rzeczywistym, stwarzające możliwość reagowania na wydarzenia i procesy zachodzące w przestrzeni w miarę ich rozwoju np. natężenie ruchu drogowego.

### 2.2 Środowisko technologiczne tworzenia map internetowych

Na wczesnym etapie tworzenia map internetowych, twórcy opierali swoją pracę o otwarte standardy internetowe – Web 1.0 lub 2.0 (Peterson, 2008) i stosowali technologię wtyczek. Technologia ta wyróżnia się użyciem skomplikowanych skryptów jako modułów oprogramowania rozszerzających możliwości przeglądarki. Największą popularność zyskała pod koniec lat 90. XX wieku i na początku XXI wieku. Charakteryzuje się ona bardzo dobrą wydajnością i stabilnością. Godne uwagi rozwiązania wykorzystujące wtyczki do tworzenia map internetowych obejmowały aplikacje Tcl / Tk (np. Dykes, 1996, 1997; MacEachren i in., 1999; Masters i Edsall, 2000), ulepszone filmy QuickTime (np. Al-Kodmany, 2001; Cammack, 2003; Schwertley, 2003), i aplety Java (interakcje, które nie mogą być uzyskane przy stosowaniu HTML-u) (np. Herzog, 2003; Tsou, 2004; Hardisty i Robinson, 2011).

Flash Player był najpopularniejszą wtyczką do przeglądania map internetowych. Uruchamiał on pliki wykonywalne Shockwave Flash (SWF), wyprodukowane najpierw w środowisku Macromedia Director lub Flash, a później implementowane w rozszerzenia programu Adobe: Flash, Flex lub Flash Catalyst. W pewnym momencie 98% wszystkich komputerów osobistych miało zainstalowany Flash Player (Jenny i in. 2008). Aplikacje internetowe, mapy lub inne, polegające na technologiach wtyczek, są powszechnie określane jako bogate aplikacje internetowe (Tsou, 2011).

Technologia wtyczek dla przeglądarek miała kilka ważnych zalet, które uzasadniały ich popularność w tworzeniu map internetowych. Po pierwsze, technologie wtyczek zapewniały większą spójność między przeglądarkami. Kompatybilność między przeglądarkami była szczególnie ważna podczas „wojen przeglądarkowych” w latach 90. XX wieku (Peterson, 2005).

Po drugie, nastąpiło kompilowanie grafiki wektorowej na stosunkowo małe pliki binarne (format Shockwave Flash i inne pliki wykonywalne). Fakt ten, znacznie rozszerzył

potencjał jakości map internetowych opartych na warstwach wektorowych. Szeroko wykorzystywane obecnie standardy internetowe, takie jak SVG (*Scalable Vector Graphics*), w tamtym momencie były nieporęczne podczas ładowania i renderowania z powodu ograniczeń sprzętu i przepustowości internetu (Hu, 2008; Lienert i in., 2012). Jedną z kluczowych zalet globalnego wykorzystania technologii opartej na wtyczkach jest wykorzystanie w tym środowisku tylko jednego języka skryptowego. Oznacza to łatwiejszy rozwój, ponieważ pozwala to szerszemu gronu użytkowników uczenia się tej samej technologii tworzenia map internetowych oraz wykorzystania kodu źródłowego w różnych projektach.

Ważnym faktem jest ścisła integracja Adobe Flash z innymi programami tej firmy m. in. Adobe Illustrator oraz Adobe Photoshop. Mogło to również skutecznie podnosić popularność technologii wtyczek Adobe, ponieważ programy graficzne były nieodzownym elementem każdego kartografa. Pomimo zalet, wykorzystanie technologii opartej na wtyczkach zmniejszyło się pod koniec XX wieku. Wraz z końcem popularności technologii wtyczek użytkownicy zaczęli realizować swoje projekty w otwartych standardach internetowych (Pulsifer i in., 2008). Zauważyć można trzy główne drogi, które zostały obrane w kartografii internetowej w ostatnich latach:

- Pierwsza droga: to rok 2005 i wprowadzenie wersji BETA Google Maps na rynek (Horbiński, 2019). Nowością wykorzystywaną przez Googla było zastosowanie AJAX (*Asynchronous JavaScript and XML*) do tworzenia map internetowych. Połączeniu asynchronicznego JavaScript (nieregularne przesyłanie danych) oraz XML pozwoliło na komunikację klient-serwer bez konieczności odświeżania strony internetowej (Garrett, 2005; Tsuo, 2005). Przed pojawieniem się AJAX taka komunikacja pomiędzy klientem a serwerem wymagała technologii wtyczek. Rozwój map internetowych zapoczątkowany przez Google Maps umożliwił renderowanie na bieżąco całej zawartości mapy. Dzięki wykorzystaniu AJAX przesuwanie i powiększanie kafelków (kwadratowe fragmenty) mapy stało się codziennością. Możliwość przetwarzania i ładowania na żądanie kafelków dało początek wszechobecnej dzisiaj „śliskiej” mapie (*Slippy map*) (Haklay i in., 2008; Haklay i Weber, 2008). Do momentu wprowadzenia AJAX renderowanie i wyświetlanie kafli mapy było zbyt drogie (główną przyczyną był przesył danych) (Peterson, 2011). Użytkownicy mogli tworzyć własne zestawy danych geograficznych prezentowanych na mapach internetowych w postaci kafli lub mogli wykorzystać istniejące możliwości mapowania udostępnione przez Google Maps w postaci interfejsu programowania aplikacji (API) (Medyńska-Gulij, 2012; Horbiński,

2019). Udostępnienie to zawiera podzbiór zastrzeżonych funkcji do użytku publicznego (Plewe, 2007; Tsuo, 2011). Z biegiem czasu pojawiło się więcej serwisów oferujących API, za pomocą którego można tworzyć mapy internetowe. Przykładami takich serwisów są: MapBox, Bing Maps, HERE Maps lub Yandex Maps. Obecnie niestety firma Google w listopadzie 2018 roku wycofała się z darmowego udostępniania swojego API dla użytkowników publicznych. Mimo wycofania się Google Maps z darmowego udostępniania API, nadal najbardziej popularnymi rozwiązaniami do tworzenia stron internetowych jest wykorzystanie języka JavaScript oraz otwartych standardów internetowych.

- Druga droga: rozwój technologiczny pozwolił na polepszenie przepustowości internetu oraz ulepszenie sprzętu telekomunikacyjnego. Wzrost konsumpcji przyczynił się do rozpowszechnienia map na urządzenia mobilne, takie jak smartfony oraz tablety. Ciągła dostępności internetu ułatwia i zwiększa wykorzystanie map internetowych (Meng i in., 2005). W roku 2010 wraz z oświadczeniem firmy Apple Inc., która postanowiła zaprzestać obsługi technologii wtyczkowej Adobe Flash Player na urządzeniach mobilnych iPhone i iPad zakończył się etap tworzenia map internetowych za pomocą programów i dominacja firmy Adobe (Muehlenhaus, 2013). Za powód takich posunięć firma Adobe podała: poprawę standardów sieciowych; powiązanie niezawodności, bezpieczeństwa oraz wydajności; poprawioną żywotność baterii; obsługę ekranów dotykowych; oraz wprowadzenie polityki kontroli nad rozwojem aplikacji. Wszystkie zmiany wiązały się również z przejściem na nowy standard HTML5 (*HyperText Markup Language*) (Jobs, 2010). W tym samym czasie powstała dynamicznie rozwijająca się inicjatywa badawczo-rozwojowa dotycząca responsywnego projektowania stron internetowych (*RWD – Responsive Web Design*) (Marcotte, 2010). Inicjatywa ta w swoim użyciu przywiduje wykorzystanie Open Web Platform (Gardner, 2011). Rozwinięcie tej kwestii będzie szerzej omówione na stronach 26-30 w podrozdziale 3.1 zatytułowanym *Responsywność*.
- Trzecia droga: obecnie wielu kartografów-programistów opiera swoje działania o kod udostępniony darmowo przez różne grupy sympatyków. Grupy takie tworzą standardy projektowania map internetowych wykorzystywane globalnie. Należą do nich m. in. *Open Geospatial Consortium* (OGC, utworzone w 1994 roku, [www.opengeospatial.org](http://www.opengeospatial.org)) oraz *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo, [www.osgeo.org](http://www.osgeo.org)). Celem konsorcjum OGC było promowanie technologii

geoprzestrzennych. OGC, co wniosło znaczący wkład w tworzenie map internetowych poprzez: specyfikacja techniczna WMS (*Web Map Service*) – międzynarodowy standard do tworzenia i udostępniania map internetowych; specyfikacja techniczna WFS (*Web Feature Service*) – międzynarodowy standard usług sieciowych umożliwiających zarządzanie obiektami geograficznymi w internecie; oraz wykorzystanie SVG (*Scalable Vector Graphics*) – uniwersalny format dwuwymiarowej grafiki wektorowej (Peterson, 2011).

OGC w swoich działaniach głównie skupia się na standaryzacji, natomiast OSGeo pełni rolę promocyjną dla szerszego grona odbiorców i rozwija wykorzystanie danych geoprzestrzennych. Udostępnia darmowo oprogramowanie (np. Qgis) oraz narzędzia open-source. Dzięki tym dwóm grupom istnieje nieformalne grono projektantów map internetowych (kartografów-programistów), które prawdopodobnie dziś liczy dziesiątki tysięcy członków. Wszyscy oni przyczyniają się do misji OGC oraz OSGeo poprzez udostępnianie i aktualizowanie kodów źródłowych, publikowanie przykładowych map internetowych, czy również materiałów szkoleniowych służących początkującym twórcom. W dużej mierze dzięki wysiłkom tej otwartej społeczności tworzących i promujących mapy internetowe, istnieje obecnie wiele technologii służących projektowaniu map internetowych. Wszystkie te technologie posiadają strukturę o otwartym kodzie (*Open source*). Obecnie istnieje wiele takich technologii, które funkcjonują jako następstwo wtyczek SWF (Pulsifer i in., 2008). Technologie o otwartym kodzie źródłowym, dzięki prężnemu rozwojowi poprzez współpracę szerokiego grona programistów i kartografów, dają nadzieję na szybki i kompleksowy rozwój projektowania map ukierunkowany na potrzeby obecnego rynku.

W niniejszej rozprawie autor skupia się na bibliotekach JavaScript o otwartym kodzie z możliwością tworzenia map internetowych po stronie klienta (*Client-side*), a nie na po stronie serwera (*Serwer-side*) lub technologiach bazujących na chmurze (*Cloud-based technologies*). Do takich technologii (nazywanych również bibliotekami) o otwartym kodzie źródłowym należą m.in.: OpenLayers, Leaflet i D3. Poniżej autor niniejszej dysertacji wskaże najważniejsze cechy tych trzech technologii.

### OpenLayers

OpenLayers jest biblioteką JavaScript o otwartym kodzie obsługiwanym przez społeczność OSGeo. Pierwsze wydanie zostało opublikowane w 2006 r. OpenLayers udostępniany jest na 2-klauzulowej licencji BSD (*Berkeley Software Distribution Licenses*), która wymaga powiadomienia o prawach autorskich pod redystrybucją kodu i zwalnia twórców od wszelkiej odpowiedzialności, w przeciwnym razie biblioteka jest dostosowywana do ponownego użycia. Biblioteka ta charakteryzuje się długoterminową konserwacją i stabilnością (Roth i in., 2014). Obsługuje formaty danych: KML, GML, GeoJSON oraz implementuje standardy OGC – WMS i WFS.



**Ryc. 1** Fragment strony startowej biblioteki OpenLayers ([openlayers.org](https://openlayers.org))

### Leaflet

Biblioteka Leaflet jest otwartą biblioteką JavaScript utworzoną przez Vladimira Agafonkina. Dzięki aktualizacjom jest ciągle doskonała (Derrough, 2013; Peterson, 2014a; Brambilla i in., 2017; Farkas, 2017; Faustryjak i in., 2017). W momencie pisania rozprawy najnowszą wersją jest Leaflet 1.4.0 z dnia 30.12.2018r. Leaflet został zaprojektowany z myślą o prostocie, wydajności i użyteczności. Działa wydajnie na wszystkich głównych platformach komputerowych i mobilnych, może być rozszerzony o wiele wtyczek, posiada dobrze zaprojektowany interfejs API oraz prosty, czytelny kod źródłowy (<https://leafletjs.com/>) (Murray, 2017). Uważana jest za najlepszą bibliotekę do projektowania interaktywnych map na stronach internetowych dla urządzeń mobilnych (Peterson, 2014b) ze względu na niewielki rozmiar pliku oraz wspieranie interakcji dotykowych (*Support of touchbased interactions*) (Donohue i in., 2013; Roth i in., 2014). Przewagą biblioteki Leaflet, w porównaniu do innych bibliotek służących do tworzenia interaktywnych map, jest możliwość renderowania po stronie klienta plików SVG. Biblioteka została zaprojektowana do pracy z podkładem OpenStreetMap lecz radzi sobie bardzo dobrze z innymi podkładami map internetowych (Muehlenhaus, 2013) oraz ma możliwość odczytu rastrowych map w różnych układach współrzędnych.



an open-source JavaScript library  
for mobile-friendly interactive maps

[Overview](#) [Tutorials](#) [Docs](#) [Download](#) [Plugins](#) [Blog](#)



**Ryc. 2** Fragment strony startowej biblioteki Leaflet ([leafletjs.com](http://leafletjs.com))

### **D3 (Data-Driven Documents)**

D3 to otwarta biblioteka JavaScript, której pionierem i opiekunem jest Mike Bostock. Jest unikatową biblioteką, która nie opiera swojej funkcjonalności na kafelkach mapy, lecz umożliwia za pomocą SVG rzutować linie w postaci wektorów na różnego typu odwzorowania geograficzne. Ten sam SVG następnie można eksportować w celu obróbki w programach graficznych, co stanowi dużą zaletę i umożliwia proces projektowania kartograficznego. D3 w swojej funkcjonalności nie jest nastawione tylko i wyłącznie na renderowanie map. Obsługuje również inne alternatywne geowizualizacje niedostępne w innych bibliotekach. Biblioteka wydana jest na 3-klauzulowej licencji BSD, która uniemożliwia wykorzystanie D3 do promocji jakiegokolwiek produktu bez pisemnej zgody twórcy (Roth i in., 2014).



Ryc. 3 Fragment strony startowej biblioteki D3 (d3js.org)

### 2.3 Funkcje map internetowych

W niniejszym rozdziale dysertacji autor chciał zwrócić szczególną uwagę na możliwe funkcjonalności będące na wyposażeniu map internetowych. Rozróżniane są dwa rodzaje funkcjonalności: związanych z samą mechaniką mapy oraz z przypuszczalnym wykorzystaniem. Według Meng (2008) do najważniejszych funkcji związanych z mechaniką mapy internetowej (nazywanych również operacjami na mapie) należą:

- Przesuwanie (*Panning*) – użytkownik może stopniowo przesuwać mapę w różnych kierunkach;
- Zoomowanie (*Zooming*) – użytkownik może przybliżyć lub oddalić się do/od elementów mapy;
- Zoomowanie z LoD (*Zooming with LoD - level of detail*) – użytkownik może przybliżyć lub oddalić się do/od elementów mapy, renderowany jest nowy poziom szczegółowości, który jest wstępnie obliczany lub generowany w czasie rzeczywistym;
- Ukrywanie i ujawnianie (*Hiding and revealing*) – użytkownik może wizualnie ukryć lub podświetlić pewne obiekty lub klasy obiektów;
- Przełączanie (*Switching*) – użytkownik może wybrać różne uzupełniające style prezentacji;

- Wybieranie (*Focusing*) – użytkownik może kliknąć określony obiekt i przeglądać szczegółowe informacje przechowywane w bazie danych;
- Dostrajanie parametrów wizualizacji (*Tuning of visualisation parameters*) – Użytkownik może zmienić swój kąt widzenia i zmienną koloru, tekstury, rozmiaru symbolu i kontrastu itp. W dozwolonych zakresach wartości;
- Dialog (*Dialogue*) – Użytkownik może aktywować okno dialogowe i wprowadzić swoje dane osobowe;
- Zapytanie (*Query*) – Użytkownik może wyszukiwać określone obiekty lub klasy obiektów, podając jedno lub wiele kryteriów (obecnie funkcja wyszukaj - *search*).

Obecnie projektanci i programiści map internetowych zrezygnowali z niektórych wyżej wymienionych operacji. Miało to skutkować zwiększeniem interaktywności i personalizacji map. Aktualnie „przełączanie” jest możliwe tylko w wymiarze warstwy podkładowej (wybór warstw lub menu). „Dostrajanie parametrów wizualizacji”, „dialog” oraz „zapytanie” zostały zamienione w tzw. personalizację mapy. Działania takie opierają się o połączenie funkcji z kontem użytkownika (np. w serwisie Google) i poprzez personalizację wyszukiwania mapa dostosowuje się do potrzeb użytkowników (Horbiński, 2019).

Drugi podział związany jest z przypuszczalnym wykorzystaniem map na urządzeniach mobilnych typu smartfon. Meng (2008) wyróżnia dwa podstawowe działania:

- A. przemieszczanie się użytkownika z jednego miejsca do drugiego,
- B. pozostanie użytkownika tam, gdzie jest i rozglądanie się.

Dzisiejsze mapy internetowe (czy to w postaci strony internetowej lub aplikacji) zazwyczaj obsługują następujące zadania mobilne (Horbiński i Cybulski, 2018) m. in.:

- Znajdź rzeczywistą lokalizację użytkownika,
- Znajdź lokalizacje obiektów lub osób istotnych dla bieżącego użytkownika,
- Zaplanuj trasę,
- Przewodnik po mieście,
- Nawiguj i orientuj się w różnych trybach takie jak chodzenie, jazda na rowerze i jazda samochodem,
- Uzyskaj informacje o punkcie/miejscu

Obecnie dostępne mapy internetowe, zorientowane są głównie na funkcje, które można podzielić na następujące kategorie:

### I. Obsługa mobilności

- Funkcja „*You-will-go*” – wytyczana jest jedna lub wiele optymalnych tras między dwoma wskazanymi punktami i określana na podstawie dostępnych informacji o ruchu i różnych innych kryteriach, takich jak prędkość, odległość, bezpieczeństwo (Radoczky i Gartner, 2005) oraz możliwe środki lokomocji, którymi można pokonać trasy.
- Funkcja „*You-are-here*” – grafika mapy jest dynamicznie dostosowywana, aby rzeczywista lokalizacja użytkownika była zawsze wycentrowana (Sayda i in., 2002).
- Funkcja „*Find-next*” – Grafika mapy jest dynamicznie dostosowywana, tak aby widoczny był zarówno następny cel, jak i rzeczywista lokalizacja użytkownika (Klippel, 2003).
- Funkcja „*Way-finding*” – Trasa ze stacjami początkowymi, pośrednimi i końcowymi oraz niezbędnymi punktami orientacyjnymi w okolicy jest wizualizowana w skali mapy lub LoD odpowiedniej do widoku w ruchu (Bieber, 2004; Kolbe, 2004).
- Funkcja „*City guide*” – punkty wybrane przez użytkownika są wizualizowane za pomocą multimediiów (Paelke i in., 2005). Obszar sąsiedztwa jest wyświetlany w wyższym LoD niż obszar peryferyjny (Etz i Haist, 2005).

### II. Pozyskiwanie informacji

- Funkcja „*Event calendar*” – szereg wydarzeń związanych z personalizacją (lokalizacją i czasem), takich jak konferencje, wystawy itp. w obszarze zdefiniowanym przez użytkownika, jest klasyfikowany i wizualizowany (Hampe i in., 2005).
- Funkcja „*Tour suggestion*” – wycieczki uwzględniające osobiste preferencje (sport, rekreacja itp.). Są wyświetlane wraz z instrukcjami wyznaczania trasy (Holweg, 2004).
- Funkcja „*Land mark*” – informacje określające poszczególne obiekty wyświetlane lub ukryte na żądanie użytkownika (Elias i in., 2005).

### III. Komunikacja

- Funkcja „*Group diary*” – członkowie grupy mobilnej informują się nawzajem o swoich rzeczywistych lokalizacjach i wydarzeniach. Każdy poinformowany członek może zmodyfikować lub wzbogacić nowe informacje i przekazać go innym członkom grupy. W ten sposób informacje są dzielone przez grupę jako wspólna pamięć (Kopczyński i Sester, 2004; Schulz, 2005).

- Funkcja „*Group activity*” – grafika mapy jest dynamicznie dostosowywana, dzięki czemu różne lokalizacje poszczególnych członków grupy są widoczne. W zależności od trybu ruchu, orientacja mapy albo pozostaje stała, albo jest dynamicznie dostosowywana do kierunku oglądania lub kierunku ruchu każdego poszczególnego członka grupy (Cheverst i in., 2000).

Najważniejszymi funkcjami w kontekście map internetowych jest obsługa mobilności. Pozyskiwanie informacji straciło na znaczeniu w erze mediów społecznościowych (*Social media*). Integracja danych informacji o innych użytkownikach stała się zdecydowanie prostsza, a dzięki m. in. aplikacjom typu lokalizator, każdy użytkownik może udostępnić własne położenie przestrzenne dowolnej osobie. Co ciekawe udostępnione współrzędne odzwierciedlają rzeczywistą lokalizację w czasie i przestrzeni i mogą być wyświetlane na mapie.

### 2.4 Graficzny interfejs użytkownika (GUI)

Graficzny interfejs użytkownika (*Graphical User Interface – GUI*) stał się bardzo istotny w inżynierii oprogramowania (Qureshi i Nadeem, 2013) jak i programowania. GUI to miejsca (najczęściej symbolizowane za pomocą przycisków) interakcji użytkownika z programem lub mapą internetową. Jest to bardzo ważny element każdej mapy internetowej. Swoje działanie GUI opiera o intuicyjność użytkowników stosując w projektowaniu przycisków pewne symbole. Między innymi od wielu lat te same ikony (symbole) wykorzystuje najpopularniejsza mapa internetowa firmy Google. Google Maps posiada szerokie grono użytkowników, co czyni ich symbole bardzo rozpoznawalnymi (Horbiński i in., 2020).

Powstaje zatem pytanie czy ikony Google Maps mogą być zaakceptowane jako konwencja w tworzeniu graficznego interfejsu użytkownika w innych serwisach. Z pozoru jest to wygodne, jednak przyjęcie konwencji wiąże się z kompromisami. Te ikony rozumiane przez szeroką grupę użytkowników, mogą szybko stać się przestarzałe, jak np. ikona telefonu stacjonarnego. Jeszcze 15 lat temu była ona szeroko wykorzystywana, jednak obecnie zastępowana jest ikoną smartfonu (Muehlenhaus, 2013). Dodatkowo wykorzystywane ikony mogą być dyskusyjne politycznie lub religijnie. Przykładem jest problem prezentowania miejsc kultu, czasami niezależnie od religii. Ten przypadek został przeanalizowany przez projektantów Google Maps. Ich rozwiązanie polegało na stworzeniu jednej ikony dla budynku kultu niezależnie od religii. Ikona ta zawierałaby elementy architektoniczno-symboliczne

wszystkich miejsc kultu różnych religii. Jednak nawet to nie było dobrze odebrane, ponieważ rozwiązanie nie zostało przyjęte pozytywnie przez użytkowników (McEntee, 2010). Dlatego należy zwrócić uwagę na potencjalnie niewłaściwe skojarzenie użytych ikon (Wallace, 2011). Wielu autorów również zwraca uwagę na istotne aspekty związane z ikonami, a co za tymi idzie również z graficznym interfejsem użytkownika. Między innymi:

- Bertin (1983) dostrzegł problem polegający na stosowaniu ikon, stwierdzając, że akceptowane znaki „są jedynie wynikiem nabytych nawyków i nigdy nie można twierdzić, że są uniwersalne”.
- Muehlenhaus (2013) stwierdził, że symbolika stale się rozwija, oraz że jest zależna od epoki i odbiorców. Sugeruje, że jeśli istnieją pewne konwencje mapowania, nie powinno się projektować nowych symboli tylko ze względu na to, powinno się czerpać korzyści z wiedzy ludzi o tych symbolach.

Niektórzy autorzy doszli do wniosków na temat grafiki ikon w konkretnych badaniach:

- Nivala i in. (2005) zbadali intuicyjność ikon używanych na mapach internetowych na urządzeniach mobilnych (telefon komórkowy). Badacze sprawdzili, czy użytkownicy rozumieją znaczenie ikon reprezentujących różne obiekty, takich jak teatr, sklep, itp. Okazało się, że nie wszystkie zaprojektowane ikony były równie czytelne i intuicyjne. Główny wniosek był taki, że mapa internetowa powinna być zaprojektowana w taki sposób, aby uwzględnić odczucia respondentów, a interfejs i ikony powinny być tak proste, jak to możliwe, a jednocześnie zrozumiałe dla użytkownika końcowego.
- Stevens i in. (2013) przedstawiając zalecenia dotyczące projektowania ikon na urządzenia mobilne zaznaczyli, że dobrze zaprojektowana grafika ikony powinna stosować odpowiednio czarny i biały kolor lub inne kolory gdy ikony niosą ze sobą określone znaczenie.

Najważniejszym elementem GUI są przyciski, lecz należy również pamiętać o ich liczbie, rozmieszczeniu, funkcjonalności oraz wielkości. Wielu autorów podczas swoich badań zwraca szczególną uwagę na cechy jakimi powinny się wyróżniać graficzne interfejsy użytkownika na mapach internetowych. Wang (2014) zwraca uwagę na to, że:

- Zbyt wiele informacji na stronie startowej sprawia wrażenie nieuporządkowania, co może negatywnie wpływać na efektywność podczas korzystania z mapy;

- Strona startowa powinna być zrozumiała, aby użytkownicy mogli zacząć korzystać z mapy w krótkim czasie po wejściu na stronę internetową;
- Układ strony głównej powinien uwzględnić nawyki użytkowników;
- Funkcja wyszukaj powinna odgrywać istotną rolę w układzie mapy, ponieważ jest istotna podczas wyszukiwania obiektów. Jednak gdy nie jest ona kluczowa w GUI bardzo mocno wydłuża to czas wyszukiwania obiektów, co za tym idzie bardzo mocno spada efektywność mapy internetowej.

Nivala i in. (2008) stwierdzają, że:

- Mapy internetowe nie są projektowane dla poszczególnych grup użytkowników (np. turystów) tylko dla ogółu społeczeństwa i nie zawsze mogą spełniać wszystkie potrzeby;
- GUI mapy internetowej musi być uporządkowane w innym przypadku następuje spadek efektywności;
- Wyskakujące reklamy rozpraszają użytkownika;
- Konieczne jest dodawanie wskazówek ułatwiających użytkowanie mapy internetowej (np. *tooltip* – podpowiedź w formie pojawiających się okienka po najechaniu kursorem myszy na odpowiedni element interfejsu).

Autor niniejszej rozprawy w swoim badaniu graficznych interfejsów użytkownika zauważył, że:

- Rozmieszczenie przycisków GUI w dolnej części ekranu/wyświetlacza jest marginalne,
- Nawyk używania przycisków umieszczonych w górnej części ekranu jest tak silny, że ułatwienie w postaci przycisków umieszczonych bliżej kciuka na ekranie smartfona, może nie przynieść oczekiwanych rezultatów poprawy efektywności takiej mapy internetowej;
- W obecnej literaturze przedmiotu nie skonfrontowano różnych rozwiązań dotyczących liczby i rozmieszczenia przycisków GUI mapy internetowej;
- Projektowanie map internetowych powinno być zorientowane na użytkownika (Horbiński i Cybulski, 2018).

Dillemuth (2005) stwierdziła, że na urządzeniach mobilnych (smartfon), ze względu na ograniczenia wyświetlania, należy zmniejszyć złożoność mapy, aby prezentowane były tylko ważne informacje, ponieważ skuteczność map internetowej w dużej mierze zależy od

umiejętności samego użytkownika. Ważne jest również zapewnienie użytkownikowi możliwości dostosowania poziomu szczegółowości wyświetlanej mapy.

Ricker i Roth (2018) uważają, że przy istniejących funkcjach dwukrotnego dotknięcia (*Double-tap*) lub przeciągnięcia (*Grab-and-drag*) mapy internetowe nie powinny zawierać strzałek kompasu ani dużych pasków powiększenia. Tylko wtedy, gdy funkcja przybliżania i oddalania (*Pinch*) jest niedostępna, mapa internetowa na urządzeniach mobilnych typu smartfon powinna zawierać proste przyciski +/- . Podobne wnioski przedstawił autor w swoim badaniu dotyczących ewolucji serwisu Google Maps, który zaprzestał stosowaniu kompasu, ale wciąż wykorzystuje przyciski przybliżania i oddalania (Horbiński, 2019).

W swoim artykule Hegarty i in. (2009) zauważyli, że dobrze zaprojektowany interfejs pozwala na spersonalizowane eksplorowanie i interakcję z mapą internetową, umożliwiając użytkownikom manipulowanie mapą zgodnie z ich preferencjami, chociaż czasami preferencje użytkownika nie pokrywają się z najbardziej efektywnym wyświetlaniem. Griffin i in. (2017) zauważyli, że zarówno preferencje użytkownika, jak i dopasowanie ich do konkretnego ekranu wyświetlacza mogą skutkować lepszym wykorzystaniem mapy.

Na podstawie tak wielu wymienionych wyżej wytycznych dotyczących GUI: funkcjonalności poszczególnych przycisków, odpowiednich ikon, czytelności interfejsu – liczby przycisków, różnic pomiędzy interfejsem na małych i dużych urządzeniach czy uwzględnienia preferencji użytkowników – autor niniejszej dysertacji zauważa potrzebę zbadania graficznego interfejsu użytkownika map internetowych w kontekście różnych urządzeń uwzględniając preferencje użytkowników.

### 3. Responsywne projektowanie map internetowych

#### 3.1 Responsywność

Kluczowym momentem w historii tworzenia stron internetowych, jak również map internetowych był rok 2007. W tym roku został wypuszczony pierwszy iPhone firmy Apple z dotykowym ekranem (Horbiński, 2019). Od tego momentu programiści stanęli w obliczu wyzwań związanych z rosnącym wykorzystaniem stron internetowych na urządzeniach mobilnych. Koniecznością było dopasowanie treści nie tylko do zmieniającej się rozdzielczości ekranowej, ale również do samego urządzenia. W standardowym i stabilnym przypadku programista od wielu lat musiał budować stronę internetową na jeden wyświetlacz – monitor komputera stacjonarnego. W warunkach stałej rozdzielczości (około 75% monitorów posiadało rozdzielczość 1024px i 1280px – maj 2009 (Turan i Sahin, 2017)) i jednego możliwego urządzenia programiści mieli łatwe zadanie z tworzeniem stałych elementów o określonych parametrach wielkościowych.

W obliczu zmian i potrzeb dostosowania się do nowych możliwości sprzętowych i technologicznych pojawiła się nowa koncepcja tworzenia stron internetowych – responsywne projektowanie stron internetowych (*Responsive Web Design*). Koncepcja ta została zaproponowana przez Ethana Marcotte w 2010 r. Odnosił się w niej do zdolności strony internetowej podczas dostosowania się do różnych rozdzielczości i urządzeń, na których była wyświetlana treść (komputer stacjonarny, laptop, tablet, smartfon itd.). Według tej idei należy wcześniej rozpoznać urządzenie, na którym wyświetlana jest treść strony internetowej i reagować na preferencję użytkownika (Giurgiu i Gligorea, 2017). Jedną z takich preferencji jest możliwość obrotu ekranu w urządzeniach mobilnych i przy wykorzystaniu wbudowanego żyroskopu zmiany orientacji wyświetlania. Takie podejście jest pomocne dla tych projektantów map, którzy muszą wykonać wiele map internetowych na wielu rodzajach urządzeń. Wykorzystując ten sam kod i adres URL, responsywna witryna, może zapewnić optymalną możliwość przeglądania bez zbędnego przesuwania i przewijania treści (Baturay i Birtane, 2013).



**Ryc. 4** Przykład responsywnego projektowania (Źródło: <https://cerc.blackboard.com/domain/43>)

Responsywne projektowanie stron internetowych opiera się na standardach CSS do których należą (Ricker i Roth, 2018):

- **Elastyczna siatka (*Fluid Grid*):** responsywna strona internetowa składa się z blokującego się zestawu poziomych rzędów i pionowych kolumn, zwanych elastyczną siatką. Szerokość kolumny oparta jest na wartościach procentowych, przy czym wszystkie kolumny razem dają 100% szerokości przeglądarki internetowej. Dzięki zastosowaniu wartości procentowych, a nie dokładnych szerokości pikseli, elementy HTML (Znacznik `<div>`) umieszczone w elastycznej siatce zwiększają i zmniejszają się wraz z kolumnami, gdy zmieniają rozmiar na różnych urządzeniach (Mohamed i in., 2014);
- **Zapytania medialne (*Media Queries*):** Zapytanie medialne to reguła CSS zadeklarowana w nagłówku (`<head>`) pliku HTML lub osobnym pliku CSS, który wykrywa cechy urządzenia wyświetlającego, którego można użyć do ustawienia reguł stylu warunkowego odpowiednio do urządzenia, w szczególności rozmiaru jego ekranu. Podczas gdy zapytania medialne zwracają szereg atrybutów dotyczących urządzenia wyświetlającego, służą one przede wszystkim do określenia wymiarów obszaru wyświetlania w pikselach dostępnych do renderowania strony internetowej (Wiener i in., 2015);

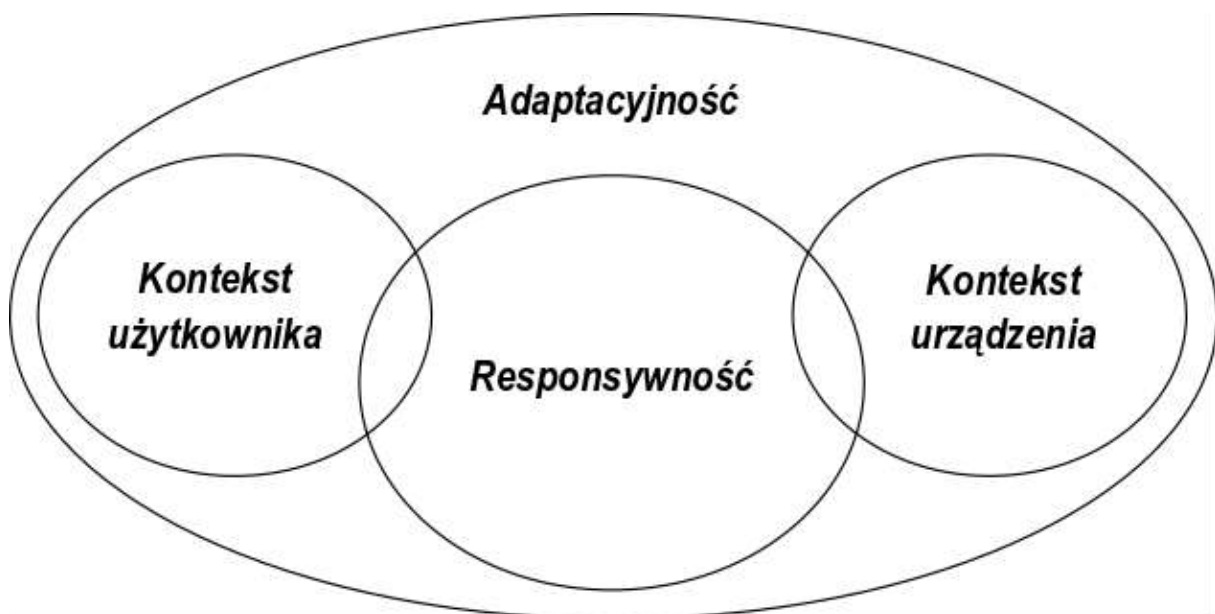
- Punkty przerwania (*Breakpoints*): Punkty przerwania uruchamiają reguły stylu, uwarunkowanego szerokością ekranu, z punktami przerwania wybranymi do przechwytywania różnych kategorii urządzeń. Powszechnie używane punkty przerwania to 320px lub 480px (smartfon na tablet), 768px (tablet na laptop) i 1024px (laptop na monitor zewnętrzny), chociaż konwencje dostosowują się do nowych technologii;
- Frameworki: Podczas gdy projektowanie responsywne można wdrożyć przy użyciu elastycznej siatki, zapytań medialnych i punktów przerwania, dostępnych jest coraz więcej gotowych skryptów kodu, które upraszczają projektowanie responsywne. Na przykład framework Bootstrap (<http://getbootstrap.com/>) opracowany przez Twitter renderuje zawartość przy użyciu dwunastu jednakowych rozmiarów kolumn i czterech punktów przerwania. Struktura zarządza następnie regułami elastycznych siatek, zapytań medialnych i stylem warunkowym punktu przerwania, a także obsługą różnych przeglądarek.

Coraz częściej aplikacje mobilne zawierają koncepcje responsywnego projektu, biorąc pod uwagę rosnącą gamę urządzeń mobilnych dla każdego systemu operacyjnego, zacierając rozróżnienie między responsywnym projektowaniem stron internetowych a zasadami projektowania aplikacji mobilnych. Obecnie responsywne projektowanie stron internetowych nie jest już nową techniką, a doskonalonym trendem technicznym (Giurgiu i Gligorea, 2017). W przypadku map internetowych rozwój ten jest najbardziej widoczny w dopasowaniu się do preferencji i potrzeb użytkownika. Jak wynika z badań samego autora (Horbiński i Cybulski, 2018) coraz więcej współczesnych map wprowadza zmiany w wyświetlaniu treści mapy na urządzeniach mobilnych w trybie dzień/noc (np. Google Maps, WeGo Here). Ułatwia to w znaczący sposób ich wykorzystanie między innymi podczas jazdy samochodem z włączoną nawigacją na danym urządzeniu. Jednym z kluczowych elementów zmieniających się wraz z wielkością wyświetlacza jest generalizacja treści mapy. Zabieg ten zwiększa czytelność mapy na mniejszych wyświetlaczach.

Oprócz zmian dotyczących treści mapy zmiany dosięgają również graficznego interfejsu użytkownika. Zmienia się m.in. grafika, wielkość, liczba i rozmieszczenie przycisków. W nielicznych przypadkach następuje również pozostawienie tylko najważniejszych przycisków lub zastąpienie ich intuicyjnymi interakcjami. Zmiany te nie są ściśle określone i są różne na każdej mapie internetowej m. in. przez skalowanie istniejącego

wariantu z monitorów komputera stacjonarnego (Knight, 2011) lub tworzenie specjalnych wariantów na urządzenia mobilne.

Responsywność może być również rozpatrywana w kontekście adaptacyjności. Adaptacyjność opisuje projektowanie map internetowych, które zmienia się w zależności od kontekstu użytkownika i użytkownika (Reichenbacher 2003, Griffin i in. 2017). Lokalizacja i urządzenie użytkownika to dwa aspekty istotne dla projektowania map internetowych, ale adaptacyjność uwzględnia również indywidualne różnice użytkowników, otaczające środowisko, sposób użytkownika i ich aktywność (Griffin i in. 2017). Adaptacyjność zbiega się z responsywnością, ponieważ mapy internetowe muszą działać na różnych urządzeniach (komputer stacjonarny – niemobilny, laptop, oraz mobilne - tablet, smartfon). Responsywność w kontekście preferencji użytkownika jako jego preferencji przejawia się w dostosowaniu do możliwej orientacji urządzenia, w wariantach krajobrazowym (poziomy) i portretowym (pionowy). Kontekst użytkownika określa również jego osobiste preferencje np. dotyczące ułożenia przycisków graficznego interfejsu lub liczby przycisków, których najczęściej używa.



**Ryc. 5 Umiejscowienie responsywności w kontekście adaptacyjności**

Zwykle użytkownik dysponuje urządzeniem mobilnym, którym posługuje się w konkretnym celu – zadaniu. Dlatego oczekuje od tego urządzenia spersonalizowanej usługi, która go wspiera zamiast rozpraszać. Z tego powodu najlepsze mobilne usługi (typu mapa internetowa) powinny mieć zdolność adaptacji i intuicyjność obsługi. Obecnie dostępne mapy internetowe (mobilne) umożliwiają dwie formy adaptacji:

- za pomocą technik sensorycznych – urządzenie mobilne uzyskuje rzeczywistą lokalizację, kierunek ruchu i prędkość poruszania się użytkownika za pomocą odbiornika GPS, kompasu cyfrowego lub innych dostępnych czujników urządzenia mobilnego. Jednocześnie grafika mapy jest automatycznie odświeżana, dzięki czemu użytkownik zawsze może uzyskać spersonalizowaną prezentację z wieloma wybranymi punktami orientacyjnymi w swoim polu widzenia.

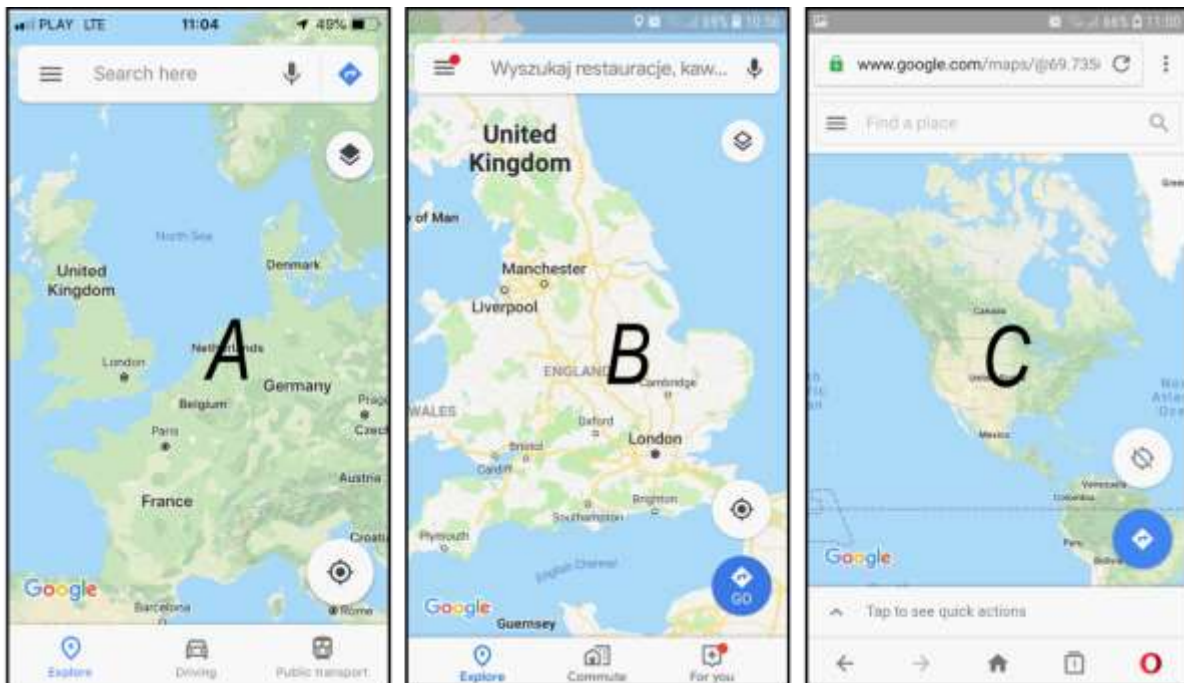
- za pomocą danych wprowadzanych przez użytkownika – system prosi użytkownika o wprowadzenie niektórych jego danych osobowych, takich jak grupa wiekowa, preferowany język, tryb ruchu itp. Styl prezentacji jest następnie automatycznie dostosowywany do tego konkretnego użytkownika lub grupy użytkowników (Sarjakoski i Sarjakoski, 2004; Reichenbacher, 2004).

W praktyce obie formy mogą być zintegrowane w jednym systemie, co umożliwia sterowanie adaptacją poprzez połączenie dynamicznych informacji sytuacyjnych z niektórymi statycznymi parametrami użytkownika. Należy jednak pamiętać, że responsywne projektowanie stron internetowych obsługiwane przez standardy CSS jest rozwiązaniem globalnym. W kontekście całego projektu strony czy mapy oddziałujemy na całość, a nie na poszczególne elementy osobno (Wiener i in., 2015).

### 3.2 Aplikacja mobilna jako forma responsywności

Jedną ze strategii w dzisiejszym projektowaniu map internetowych jest tworzenie aplikacji mobilnych. Tworzenie aplikacji mobilnych lub programów zainstalowanych w określonym mobilnym systemie operacyjnym możemy traktować jako formę responsywności (Ricker i Roth, 2018). Każdy system operacyjny na urządzeniach mobilnych oferuje własne indywidualne aplikacje map internetowych (Muehlenhaus, 2011). Istnieje szeroka gama niestandardowych aplikacji mobilnych, które pobierają informacje geograficzne i inne zasoby podczas instalacji, zmniejszając zależność od sieci i włączając tryb offline. Te mobilne aplikacje dla map internetowych (nazywane również mobilnymi aplikacjami mapowymi – *mobile map application* – Horbiński i in., 2020) mają również bezpośredni dostęp do pamięci i komponentów sprzętowych urządzenia mobilnego, co poprawia szybkość przetwarzania i interakcji. Aplikacje mobilne są jednak zależne od platformy — wymagające równoległego programowania na Androidzie i iOS lub korzystania z wieloplatformowego zestawu do tworzenia oprogramowania innych firm — i ograniczają użytkowanie niemobilne — uniemożliwiając większości aplikacji mobilnych działania na urządzeniach niemobilnych.

Wiele znanych firm jak np. Google Maps i WeGo Here radzą sobie z tym problemem tworząc trzy osobne mapy internetowe (Ryc. 6). Rozwiązanie to opisane jest w literaturze i nawiązuje do progresywnej ewolucji w projektowaniu map internetowych, czyli poprawianiu i ulepszaniu istniejącego produktu kartograficznego (Horbiński, 2019).



**Ryc. 6** Aplikacja mobilna Google Maps na systemach – A – iOS 12.1 (model telefonu – iPhone SE); B – Android 8 Oreo; i C – strona internetowa (model telefonu – Samsung Galaxy S7) –  
Źródło: Horbiński, 2019

Dotychczasowe doświadczenia i statystyki pokazały, że mapy internetowe pozostają najpopularniejszym językiem komunikacyjnym informacji przestrzennej również dla aplikacji mobilnych (Kölmel i Wirsing, 2002; Pammer i Radoczky, 2002; Anand i in., 2004). Coraz więcej usług opartych na lokalizacji jest zintegrowanych ze środowiskiem geograficznym (Gellersen, 2003), zwłaszcza w obszarach miejskich, gdzie chipy komputerowe są prawie wszechobecne. Mobilni ludzie, wyposażeni w urządzenia mobile posiadające mapy internetowe (w formie strony internetowej czy aplikacji), mogą być dokładnie i terminowo informowani o wydarzeniach w ich otoczeniu, dzięki czemu są dobrze przygotowani do swoich zadań przestrzennych.

### 3.3 Użyteczność graficznego interfejsu użytkownika (GUI)

Postępy w dziedzinie komputerów osobistych i technologii informatycznych zmieniły sposób tworzenia i korzystania z map internetowych (Roth, 2017). Interfejs użytkownika (*User interface*) /doświadczenie użytkownika (*User experience*) – UI/UX – opisuje zestaw pojęć,

wytycznych o projektowaniu i korzystaniu z interaktywnych produktów (Garrett, 2010), map itp. UI i UX nie są tożsamymi pojęciami. UI jest zestawem narzędzi umożliwiającym użytkownikowi kontrolowanie map i ich podstawowych informacji geograficznych. UX jest pojęciem szerszym niż UI i opisuje dwukierunkowe pytania i odpowiedzi między użytkownikiem a obiektem cyfrowym, w którym pośredniczy urządzenia komputerowe (Roth, 2012).

Norman i Nielsen (2014) zdefiniowali UX jako „*all aspect of the end-user's interaction with company, its services, and its products*” (wszystkie aspekty interakcji użytkownika końcowego z firmą, jej usługami i produktami). Tak więc UX nie obejmuje tylko tworzenia i projektowania systemów, stron internetowych czy aplikacji, ale także wszystkie aspekty, które dotyczą tych produktów, gdy docierają do użytkowników. Projektowanie map internetowych i jednocześnie badanie UX służy poprawie zadowolenia użytkownika, wydajności oraz efektywności. Aby zmaksymalizować użyteczność i efektywność produktu należy nie tylko uwzględnić doświadczenie użytkownika, ale również jego preferencje i problemy wynikające z użytkowania danego produktu lub produktów pokrewnych. Wykorzystanie UX zwiększa szansę zaistnienia produktu na rynku globalnym. Podczas fazy projektowania i budowy (aktualizacji) należy położyć szczególny nacisk na kilka czynników: dostępność (w kontekście urządzenia czy systemu), czynnik ludzki, zasady projektowania i wydajność.

Najważniejszym elementem każdej mapy internetowej w kontekście doświadczenia użytkownika jest graficzny interfejs użytkownika, ponieważ użytkownicy używają interfejsów, ale doświadczają interakcji i to doświadczenie decyduje o sukcesie produktu interaktywnego (Norman, 1988). W przypadku graficznego interfejsu użytkownika koncentrujemy się bezpośrednio na samym stylu interfejsu. Do stylu interfejsu możemy zaliczyć prezentację graficzną, liczbę i rozmieszczenie przycisków na wyświetlaczu danego urządzenia. Różne style interfejsu mogą doprowadzić użytkownika do tego samego celu, dlatego istotne jest, aby zbadać użyteczność poszczególnych interfejsów map internetowych.

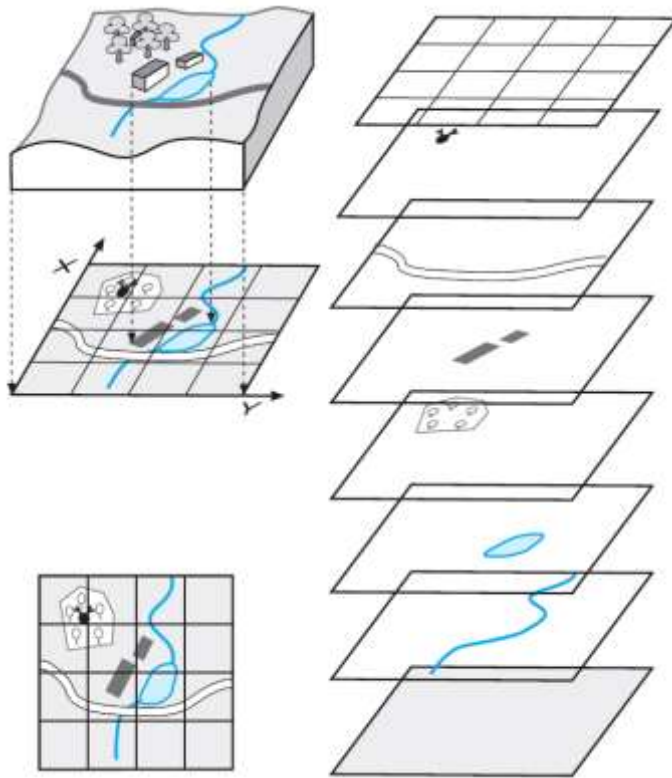
#### 4. Metody kartograficznej prezentacji danych na mapach internetowych

Zasadniczym kryterium podziału map jest kryterium treści mapy. Medyńska-Gulij (2015) dzieli je na dwie zasadnicze grupy: mapy ogólnogeograficzne i mapy tematyczne.

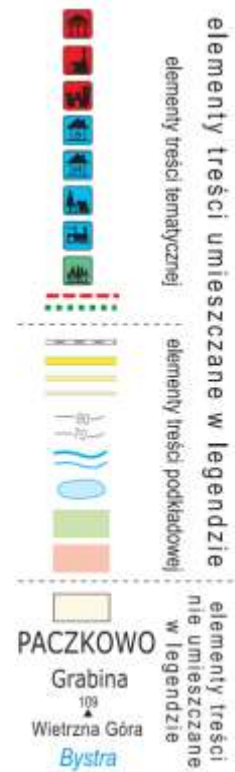
Mapy ogólnogeograficzne nazywane są również referencyjnymi. Cyfrową reprezentację mapy ogólnogeograficznej (referencyjnej) stanowi podkład mapy internetowej w odwzorowaniu kartograficznym Web Mercator (Pędzich, 2014) w układzie WGS84. Posiada on informacje o fizycznych aspektach środowiska geograficznego (przyrodniczego) jak i elementach antropogenicznych. Struktura mapy internetowej składa się z warstw. Najważniejszą rolę podczas projektowania odgrywa ich hierarchia (Medyńska-Gulij i Spallek, 2002) (Ryc. 7, 8, 9). Warstwy uporządkowane są tematycznie tzn. osobno przechowuje się obiekty związane siecią hydrograficzną, a osobno z siecią drogową. Relacje pomiędzy warstwami jako i obiektami tworzą związki przestrzenne. W kartografii cyfrowej istnieją różne możliwości zapisu struktury warstw i cech obiektów mapy ogólnogeograficznej.

Jednym z przykładów jest wykorzystanie plików .geojson, lub .topojson. Plik GeoJSON (*Geographic JavaScript Object Notation*). Przedstawia każdy element (obiekt) jako tablicę węzłów (długość i szerokość geograficzna – para współrzędnych) określające położenie punktów, położenie i długość linii oraz położenie i całkowitą zewnętrzną granicę poligonu (Donohue i in., 2013). Każdemu z elementów przypisane są atrybuty, które mogą posłużyć jako identyfikacja w późniejszym nadawaniu sygnatury kartograficznej. Sam plik w swojej strukturze uwzględnia odwzorowanie geograficzne (Horbiński i Lorek, 2020). Topograficznym odpowiednikiem GeoJSON jest TopoJSON (*Topographic JavaScript Object Notation*),. Różnicą pomiędzy tymi plikami widać poprzez zapis par współrzędnych oraz w możliwości uproszczenia geometrii pliku .topojson. TopoJson jest zapisem plikowym znacznie lżejszym niż GeoJSON, lecz sprawdza się w mniejszych opracowaniach (Bostock i Davies, 2013; Bostock i Metcolf, 2017). Pliki GeoJSON i TopoJSON to podzestaw JavaScript Object Notation (JSON), ponieważ JSON obsługiwany jest natywnie przez przeglądarki oraz wykorzystywany jest skutecznie i często przy tworzeniu map internetowych (Horbiński i Lorek, 2020; Butler i in., 2008, 2016).

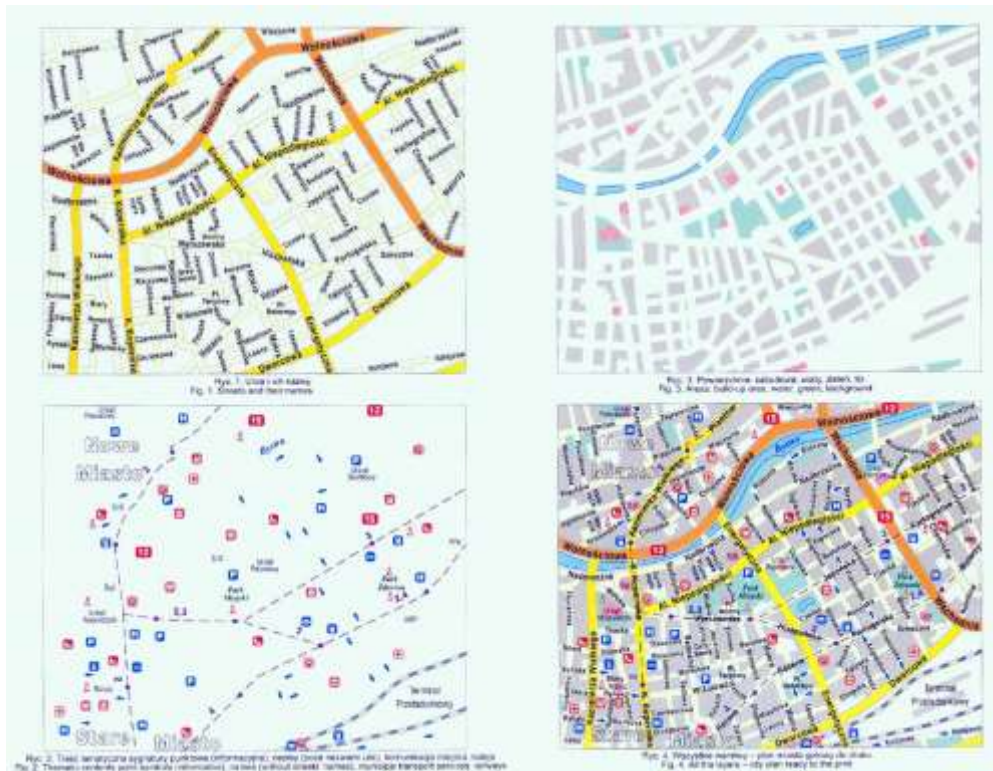
4. Metody kartograficznej prezentacji danych na mapach kartograficznych



Ryc. 7 Mapa w strukturze warstwowej (Medyńska-Gulij, 2015)



Ryc. 8 Pionowy układ elementów treści mapy (Medyńska-Gulij, 2007)



Ryc. 9 Warstwy pogrupowane według kolejnych poziomów czytania (Medyńska-Gulij, Spallek, 2002)

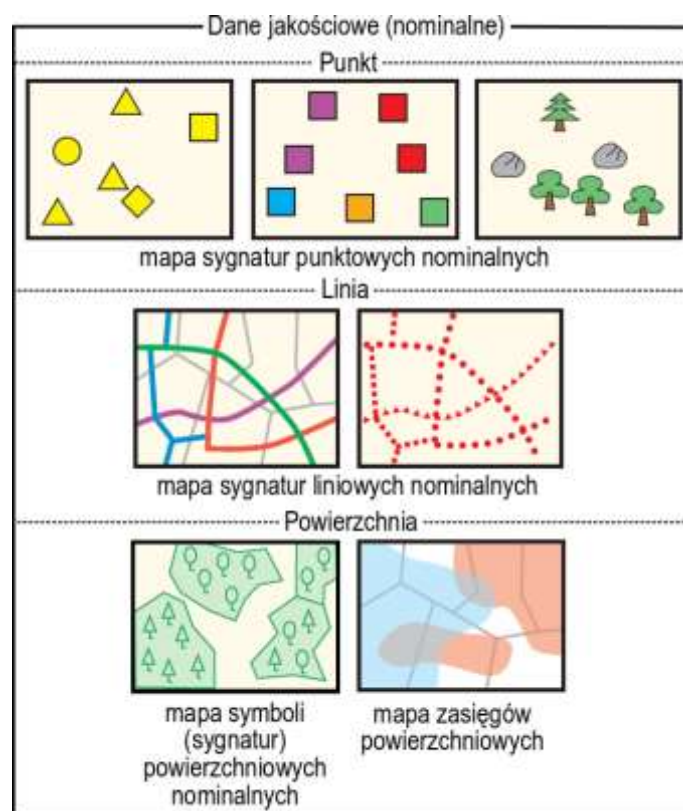
Pliki te mogą być wykorzystane przez wiele bibliotek mapowych: D3 (*Data Driven Documents*), Google Maps API (Boulos, 2005; Medyńska-Gulij, 2012; Muehlenhaus, 2013), OpenLayer, Leaflet czy Mapbox.

Częściej wykorzystywanym plikiem przy tworzeniu podkładu map internetowych jako cyfrowych odpowiedników map ogólnogeograficznych wykorzystuje się pliki SVG (*Scalable Vector Graphics*). SVG jest graficzną reprezentacją kodu XML w zapisie tekstowym. Wykorzystuje zapis współrzędnych XML i jako grafika wektorowa idealnie nadaje się do skalowania bez utraty jakości w dowolnej rozdzielczości (Muehlenhaus, 2013). Najskuteczniejszym sposobem wykorzystania treści mapy ogólnogeograficznej jako bazowego elementu mapy internetowej zapisanych w .geojson, .topojson czy .svg jest metoda kafelkowania treści (*map tiles*). Kafelki to wyznaczone obszary najczęściej w rozmiarze 256 px na 256 px, które reprezentują treść mapy dla danej szczegółowości, zgeneralizowaną do odpowiedniej skali, przypisaną do poziomu zoomu mapy internetowej co odpowiada klasycznie rozumianej skali (Muehlenhaus, 2013). W ten sposób osiąga się wrażenie oglądania jednej mapy, a tak naprawdę oglądamy szereg kafelków idealnie do siebie pasujących.

Każdy element mapy wyświetlany jest w wersji zgeneralizowanej do odpowiedniego zoomu. Odpowiednie obiekty rozróżniamy na podstawie ich geometrii oraz atrybutów i przypisujemy im właściwą metodę mapowania (Żyszkowska i in., 2012). Na podstawie Medyńska-Gulij (2015) rozróżniamy metody mapowania ze względu na geometrię i typ danych. Rozróżniamy trzy rodzaje geometrii: punkt (geometria 0-wymiarowa), linia (geometria 1-wymiarowa) i poligon (geometria 2-wymiarowa). Typ danych rozróżniamy na dane jakościowe (nominalne), ilościowe (porządkowe, interwałowe) oraz złożone. Mapy ogólnogeograficzne prezentują przede wszystkim dane nominalne (lokalizację). Dla punktów dane jakościowe prezentowane są jako mapa sygnatur punktowych nominalnych, dla linii jako mapa sygnatur liniowych nominalnych, a dla poligonów jako mapa symboli (sygnatur) powierzchniowych nominalnych i mapa zasięgów powierzchniowych (Ryc. 10).

Wszystkie powyżej wymienione mapy powstały za pomocą metody sygnaturowej dla danych nominalnych. Sygnatura inaczej w kartografii nazywana również znakiem lub symbolem jest to graficzna reprezentacja obiektów przestrzennych na mapie (Koch, 2007). Do prezentacji poszczególnych warstw mapy ogólnogeograficznej według Medyńskiej-Gulij (2015) stosowana jest metoda sygnaturowa. Cyfrową prezentację mapy ogólnogeograficznej jako podkładu mapy internetowej można zaobserwować w różnych serwisach m.in. Google

Maps czy OpenStreetMap. Choć ich podkłady mapowe różnią się przyjętą grafiką dla poszczególnych obiektów to wszystkie wykorzystują wskazane w tym rozdziale metody kartograficznej prezentacji. W niniejszej rozprawie doktorskiej kluczowym w kontekście wybranej metody kartograficznej prezentacji jest pierwszy widok mapy. W skład którego wchodzić będzie: początkowy widok mapy ustawiony na odpowiedni zoom z graficznym interfejsem użytkownika na pierwszym poziomie interakcji (Medyńska, 2010a, 2012, 2015).



**Ryc. 10** Typy map według metod mapowania dla danych jakościowych – punkt, linia, powierzchnia na podstawie Medyńska-Gulij, 2015 (według Freitag, 1992 i Medyńska-Gulij, 2010b)

## 5. Metody badań efektywności map internetowych

W języku polskim pojęcie „efektywności” występuje również w znaczeniu „skuteczności” lub „sprawności przekazu informacji” (Ratajski, 1970; Leonowicz, 2006). Pojęcie to również stanowi podstawę pragmatycznego kryterium tworzenia map (Medyńska-Gulij, 2010b). Pojęciem efektywności posługiwali się m.in.:

Wielebski (2015), który w swoich badaniach próbował określić efektywność metod prezentacji kartograficznych dostępności przestrzennej w modelu monocentrycznym. Podzielił on efektywność na rzeczywistą i postrzeganą. Efektywność rzeczywista opracowana została na podstawie metod prezentacji kartograficznych złożonych graficznie według typu geometrycznego elementu odniesienia. Jako typ geometrycznego elementu odniesienia uwzględniał punkt, linię oraz powierzchnię w wymiarach przestrzenny 2D i 3D metod prezentacji kartograficznej. Na jej podstawie Wielebski (2015) określał efektywność jako zależność poprawności odpowiedzi do czasu jej udzielenia. Zestawienie takie nazwane zostało efektywnością rzeczywistą całkowitą i zostało zobrazowane na wykresie zależności. Efektywność postrzegana kategoryzowała użyte metody prezentacji kartograficznych w kontekście subiektywnej oceny szacowania odległości drogowej. Na potrzebę wizualizacji wyników Wielebski (2015) posłużył się miernikiem efektywności (współczynnikiem). Miernik ten był zależnością liczby głosów pozytywnych do wyniku mnożenia głosów negatywnych i pozytywnych, aby uniknąć błędu wynikającego z możliwości nie oddania żadnego głosu pozytywnego, czy też negatywnego zwiększył on ich liczbę o jeden. W ten sposób określił która z analizowanych metod prezentacji kartograficznej jest najbardziej efektywna obiektywnie i subiektywnie.

Çöltekin i in., (2009), w swoim artykule porównywali efektywność dwóch atlasów internetowych. W tym celu posłużyli się testem użyteczności oraz techniką eye-trackingową. Efektywność została określona również jak u Wielebskiego (2015), jako stosunek poprawności odpowiedzi do czasu jej uzyskania. Dla potwierdzenia swoich założeń wykonali oni również jednokierunkową analizę wariancji wyników, która potwierdziła ich hipotezę, że użytkownicy na jednym z atlasów (uproszczony interfejs) są bardziej wydajni (szybsi), natomiast na drugim atlasie (o większej liczbie informacji) bardziej skuteczni (poprawni) w swoich odpowiedziach.

W przypadku map internetowych wyróżnia się trzy kluczowe metody badań efektywności należą do nich: ocena użyteczności, technika eye-trackingowa oraz metoda ankietowa.

## Ocena użyteczności

Termin użyteczność jest zdefiniowany przez ISO 9241 jako „skuteczność, wydajność i satysfakcja, z jaką określani użytkownicy osiągają określone cele w określonych środowiskach” (ISO/DIS 9241-11, 1998). Inną interpretacją jest definicja Nielsena (1993), jednego z pionierów w dziedzinie użyteczności, który określa użyteczność jako ocenę jakości, określającą łatwość użycia graficznego interfejsu użytkownika. Zgodnie z jego definicją użyteczność składa się z pięciu elementów jakości: łatwość uczenia się, wydajność (czas realizacji zadania), zapamiętywanie, błędy, satysfakcja.

Istnieje kilka metod oceny użyteczności graficznego interfejsu użytkownika. Ich głównym celem jest analiza jednego lub więcej mierników (elementów) użyteczności dążąc do osiągnięcia zwiększonej wydajności (Nielsen, 1993). Chociaż dyskusja nad różnicami w metodach, ich przydatności do poszczególnych przypadków byłaby ciekawym elementem niniejszej dysertacji, autor postanowił jedynie wymienić poszczególne z nich; są to metody: ocena heurystyczna (*Heuristic evaluation*), wytyczne recenzje (*Guideline reviews*), pluralistyczne solucje (*Pluralistic walkthroughs*), inspekcje spójności (*Consistency inspections*), inspekcje norm (*Standards inspections*), solucje poznawcze (*Cognitive walkthroughs*), formalne kontrole użyteczności (*Formal usability inspections*) i inspekcje funkcji (*Feature inspections*) (więcej szczegółów, patrz Nielsen, 1993). Najczęstszą jednak metodą wprowadzoną już w latach 80, jest test użyteczności (Shneiderman, 1998; Dix i in., 2004). Opiera się on na uzyskaniu danych poprzez analizę prototypu (Lin i in., 1997).

Dane te są bezpośrednio zbierane poprzez obserwację użytkowników i analizowane na podstawie czasu wykonania, dokładności oraz zadowolenia uczestnika z badanego produktu. Nośnikami takich danych mogą być zapiski wideo, dane systemowe lub bezpośrednio zapisy obserwatora badania. Nieodzowną metodą badań towarzyszącą technice użyteczności są kwestionariusze ankietowe (metoda ankietowa) (Shneiderman, 1998; Chien i in., 1988; Dix i in., 2004), które mogą być wykorzystane na dowolnym etapie badania służąc jako odpowiedź uczestników dotycząca oceny danego prototypu np. mapy internetowej. Metoda ta została wykorzystana bezpośrednio w badaniach map internetowych przez wielu autorów m.in. Davies i in. (2005), Skarlatidou i Haklay (2006), Haklay i Zafiri (2008), Nivala i in. (2008), Wang (2014).

W niniejszej rozprawie doktorskiej najistotniejszym elementem metody użyteczności jest wydajność (czas realizacji zadania) i poprawność wykonania zadania. Można

bezpośrednio połączyć te parametry ze słowami Żyszkowskiej (1993): „skuteczność odbioru mapy jest wprost proporcjonalna do ilości poprawnie odebranej informacji oraz odwrotnie proporcjonalna do czasu zużytego na uzyskanie tej informacji”. Dlatego, aby określić czas potrzebny na uzyskanie informacji o przyciskach, tj. ich ikonach oraz rozmieszczenia w GUI potrzeba zmierzyć, nie tylko jak szybko uczestnik wykonał poprawnie zadanie, ale również kiedy zauważył dany przycisk graficznego interfejsu użytkownika. Czas do zauważenia przycisku oraz czas poprawnej realizacji zadania są w stanie w pełni scharakteryzować efektywność mapy internetowej.

### **Technika eye-trackingowa (okulografia)**

Technika eye-trackingowa w języku polskim funkcjonuje pod nazwą okulografia. Polega na rejestrowaniu ruch gałek ocznych w celu uzyskania informacji na temat miejsc zainteresowania, ścieżki czytania i położenia wzroku na oglądanym obrazie lub przedmiocie (Marasek, 2006; Opach, 2011). Choć przez wiele lat uważana z metodę kosztowną (Duchowski, 2007; Çöltekin i in., 2009) w dzisiejszych czasach jest ona szeroko dostępna i wykorzystywana. Zyskała ona na popularności zwłaszcza w ocenie interfejsów programów komputerowych (Poole i Ball, 2005; Goldberg i Kotval, 1999), stron internetowych (Nielsen i Pernice, 2010; Bojko, 2006; Cowen i in., 2002) oraz stała się narzędziem badań efektywności map (Çöltekin i in., 2010; Fabrikant i in., 2010; Li i in., 2010; Çöltekin i in., 2009; Fabrikant i in., 2008). Wyniki tej techniki zapisywane jako dane tabularyczne, ale również w formie filmów, które mogą służyć jako wzrokowej ocenie ścieżek patrzenia. Należy również pamiętać, że eye-tracker jak każda maszyna działa w pewnym zakresie błędu. Wielkość tego błędu może wynikać z przeprowadzanej kalibracji człowiek – eye-tracker przed badaniem. Dlatego należy uwzględnić dokładność otrzymywanych danych (szerzej o tym aspekcie pracy zostanie wspomniane w rozdziale 6.3.1). Ważnym aspektem metody eye-trackingowej są również obszary zainteresowania (*area of interest* – AOI). Są to określone obszary, które mają na celu wyodrębnienie parametrów eye-trackingowych dla ważnych elementów obrazu, czy jak w przypadku niniejszej dysertacji przycisków GUI mapy internetowej. Parametrami jakie można uzyskać poprzez wyznaczenie AOI są: sumaryczny czas przebywania wzorkiem na danym elemencie (Holmquist, i in., 2011), czas do pierwszego zatrzymania (fiksacji) wzroku na danym elemencie, liczba fiksacji na danym elemencie lub czas do pierwszego kliknięcia prawym lub lewym przyciskiem myszy w obrębie AOI. W różnych badaniach motywuje się słuszność użycia AOI, lecz nie narzuca się kształtu ani wielkości takich obszarów (Hessels i in., 2016).

Oprócz parametrów uzyskanych z badania użyteczności, użycie narzędzi do śledzenia wzroku dodaje inny aspekt do pola użyteczności, ponieważ zapewnia obiektywne i ilościowe dowody procesów poznawczych użytkownika, takich jak wzrok i uwaga. Dzięki tej technice autor jest w stanie uzyskać kluczowy z punktu niniejszej pracy doktorskiej czas zauważenia przycisku, który jest podstawą identyfikacji przycisku.

### **Metoda ankietowa**

Metoda ankietowa opiera się na pozyskaniu informacji poprzez odpowiedzi uczestników badania na pytania umieszczone w kwestionariuszu. Jest to bardzo istotny i powszechnie wykorzystywany sposób uzyskiwania subiektywnych i obiektywnych danych. Oprócz tradycyjnie wykorzystywanych papierowych wersji, obecnie kwestionariusze ankietowe są opracowywane w wariantach elektronicznych. Wariant ten ułatwia zapis i przetwarzanie uzyskanych informacji. Metoda ankietowa współtowarzyszy bezpośrednio wyżej wymienionym metodom badań efektywności map internetowych, czyli ocenie użyteczności oraz technice eye-trackingowej.

Parametry czasowe uzyskane na podstawie oceny użyteczności oraz techniki eye-trackingowej zapewniają obiektywną miarę oceny efektywności graficznego interfejsu użytkownika mapy internetowej i można je bezpośrednio łączyć i korelować z subiektywnymi odpowiedziami pochodzącymi z kwestionariuszy ankietowych (metody ankietowej). Istotne korelacje pomiędzy tymi miarami mogą pomóc w analizie związków między obiektywną i subiektywną informacją (Hornbæk, 2006), i skutkować oceną efektywności zaproponowanych w niniejszej rozprawie doktorskiej wariantów map internetowych.

Przypadku pytań ankietowych, które będą grupować respondentów pod kątem ich odpowiedzi, konieczne będzie przeprowadzenie dodatkowej analizy. W tej analizie zgodnie ze wcześniejszymi badaniami eye-trackingowymi w kartografii może posłużyć test Kruskala-Wallisa (Brychtová i in., 2012). Jest to test dla grupy danych o charakterze nieparametrycznym. Rozkład zmiennych nie musi być zbliżony do rozkładu normalnego. W analizie porównywane są 3 lub więcej grup. Test nie posiada wymogu równej liczebności grup. Dane przypisane do każdej grup powinny mieć charakter liczbowy (mierzone przynajmniej w skali porządkowej). Jednym z kluczowych wymogów jest niezależność grup wobec siebie, co oznacza, że osoba będąca w jednej grupie nie może być również w innej porównywanej grupie (Kruskal i Wallis, 1952). Wyniki testu, które nie posiadają istotności statystycznej podtrzymują hipotezę zerową mówiącą o tym że pomiędzy wynikami dla każdej z grup nie istnieje znacząca różnica. Przy

osiągnięciu istotności statystycznej ( $p < 0.05$ ) dowiadujemy się o zaburzeniu jednorodności rozkładu danych. W takim przypadku odrzucamy hipotezę zerową i stawiamy hipotezę alternatywną, mówiącą o istotnych różnicach pomiędzy grupami.

W badaniach efektywności mapy internetowej z wykorzystaniem wyżej wymienionych narzędzi przeważnie prowadzi się badania na grupie 15-30 osób (na poszczególny przypadek). Najbardziej adekwatną grupą do tego typu badania są użytkownicy w wieku 21-25, którzy posługują się produktami mobilnymi w codziennym życiu (Brychtová i Çöltekin, 2014; Garlandini i Fabrikant, 2009; Wielebski i Medyńska-Gulij, 2019; Cybulski i Wielebski, 2019; Horbiński i in., 2020).

## **6. Badanie wpływu rozmieszczenia przycisków graficznego interfejsu użytkownika (GUI) na efektywność responsywnych map internetowych**

Podsumowaniem zagadnień teoretycznych z zakresu map internetowych, responsywnego projektowania, metod kartograficznej prezentacji oraz metod badań efektywności, jest zaproponowany przez autora **schemat badania wpływu rozmieszczenia przycisków graficznego interfejsu użytkownika na efektywność responsywnych map internetowych**. Jednocześnie stanowi on propozycję metody badawczej opartej o aktualną interdyscyplinarną wiedzę z zakresu przedstawionej literatury oraz na doświadczeniach wielu innych badaczy.

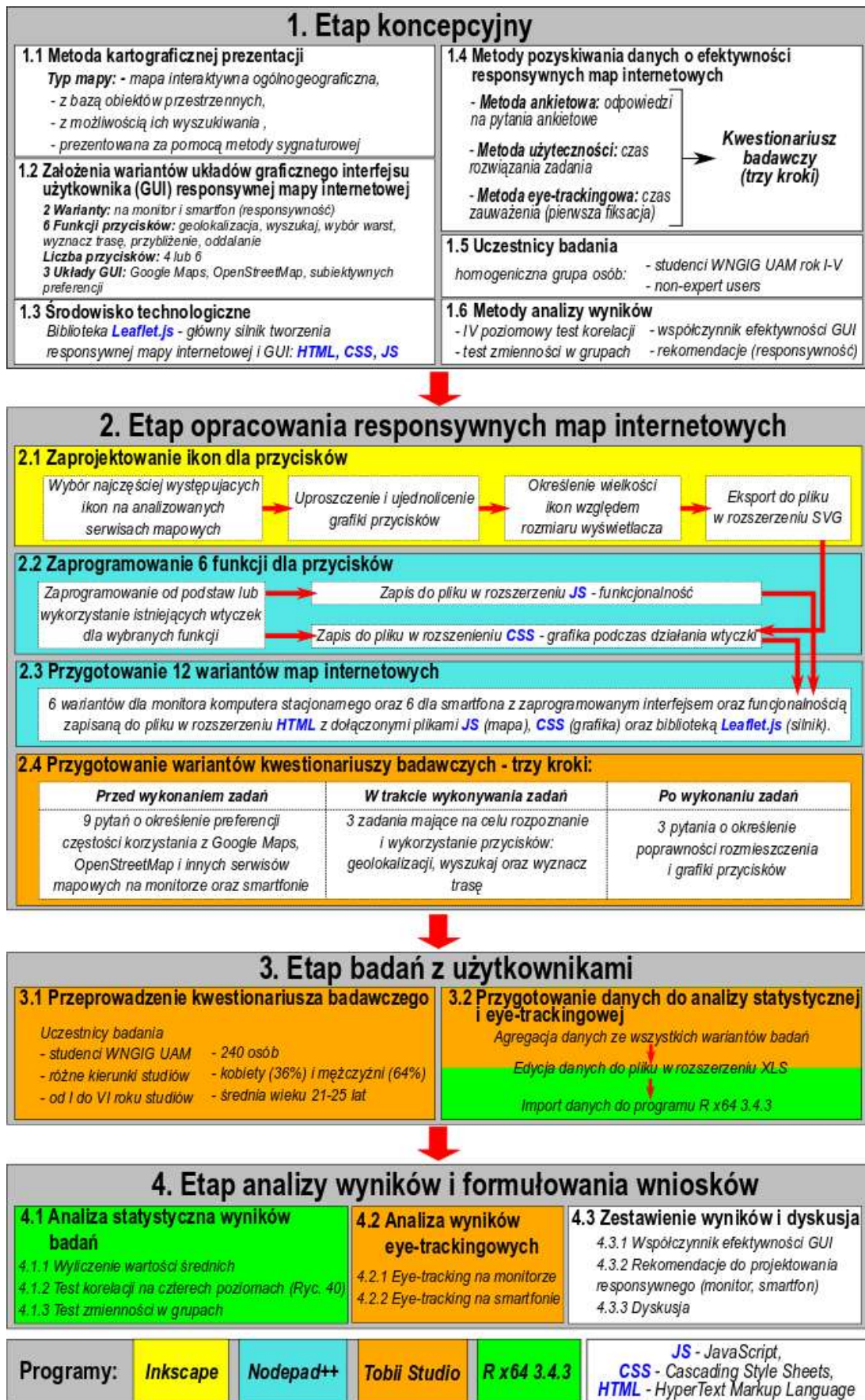
Opracowany schemat postępowania badawczego jest widoczny na rycinie 9. Składa się on z czterech głównych etapów. Pierwszym etapem jest etap koncepcyjny, w którym autor zawiera szczegółowe założenia dotyczące mapy internetowej – przedmiotu badań niniejszej rozprawy doktorskiej. Uwzględnia metody kartograficznej prezentacji map referencyjny w internetowych serwisach mapowych. Ponadto wybiera środowisko technologiczne, które posłużyło do zaprogramowania mapy internetowej i graficznego interfejsu użytkownika z uwzględnieniem założeń redakcyjnych w kontekście responsywności. Wybiera metody pozyskiwania danych o efektywności responsywnych map internetowych. Określa grupę uczestników badania oraz uwzględnia metody analizy wyników.

Drugim etapem było opracowanie mapy internetowej. W schemacie zostały zaznaczone programy komputerowe, które posłużyły podczas kolejnych prac. Etap ten autor rozpoczął od zaprojektowania ujednoliconych ikon dla przycisków. Zaprogramował funkcje dla odpowiednich ikon tworząc w ten sposób przyciski mapy internetowej. Następnie w oparciu o założenia redakcyjne w aspekcie responsywności oraz wybrane układy graficznego interfejsu użytkownika przygotował warianty map internetowych. Do zaproponowanych wariantów map internetowych opracowano kwestionariusz badawczy podzielony na trzy grupy pytań: przed wykonaniem zadań, w trakcie wykonywania zadań oraz po wykonaniu zadań.

Trzecim etapem było przeprowadzenie kwestionariusza badawczego. Badania te przeprowadzono uwzględniając responsywność (na monitorze komputera stacjonarnego oraz smartfonie). Przedstawiono sposób w jaki przeprowadzono badanie, uczestników oraz napotkane problemy. Ponadto omówiono sprzęt komputerowy i eye-trackingowy użyty w badaniu. Przeprowadzono, również wstępną obróbkę danych.

Czwartym, a więc ostatnim etapem schematu badawczego, była analiza wyników i formułowanie wniosków. W tym etapie przeprowadzono analizę statystyczną wyników badań

(odpowiedzi ankietowych i wyników eye-trackingowych) m.in. test normalności rozkładu danych, test korelacji współczynnikiem rho Spearmana (dwukierunkowy), test Kruskala-Wallisa. Przeprowadzono również analizę ścieżek patrzenia na monitorze i na smartfonie. Otrzymane wyniki stanowiły podstawę do formułowania wniosków, jak również do wyliczenia średniego współczynnika efektywności GUI. Współczynnik ten w połączeniu z wynikami i zauważonymi prawidłowościami stworzył wnioski, które zostały skonfrontowane z współczesnym stanem wiedzy i na ich podstawie sformułowano rekomendacje do projektowania responsywnego map internetowych. Na tym etapie podjęto również dyskusję z literaturą przedmiotu.



Ryc. 11 Schemat badania wpływu rozmieszczenia przycisków graficznego interfejsu użytkownika na efektywność responsywnych map internetowych

## 6.1 Etap koncepcyjny

Etap koncepcyjny składa się z kilku kroków, które stanowią wstęp do etapu opracowania responsywnych map internetowych. Pierwszym krokiem był wybór metod kartograficznej prezentacji map referencyjnych w internecie. Drugim krokiem był wybór oraz założenia redakcyjne wariantów układów graficznego interfejsu użytkownika responsywnej mapy internetowej. Następnie wybrano środowisko technologiczne, w którym zrealizowano założenia z dwóch wcześniejszych kroków. Kolejnym krokiem był wybór metod umożliwiających pozyskiwanie danych o efektywności responsywnych map internetowych. Kolejnym krokiem było zdefiniowanie grupy uczestników badania i przedstawienie założeń dotyczących grupy badawczej. Ostatnim etapem koncepcyjnym był etap wyboru metod analizy wyników. Kolejne podrozdziały będą omawiały szczegółowo wymienione kroki.

### 6.1.1 Metody kartograficznej prezentacji internetowych map referencyjnych

Omówione w rozdziale 4 metody kartograficznej prezentacji danych dla map ogólnogeograficznych jako cyfrowego podkładu map internetowych przyczyniło się do wyboru OpenStreetMap. Zgodnie z przyjętymi założeniami podkład OSM prezentuje punktowe dane jakościowe metodą sygnatur punktowych nominalnych, dla linii metodą sygnatur liniowych nominalnych, a dla poligonów metodą symboli (sygnatur) powierzchniowych nominalnych i metodą zasięgów powierzchniowych. Oprócz faktu, że podkład ten można wykorzystywać bez naruszenia praw autorskich, jest również kompatybilny z wybranym w rozdziale 6.1.3 środowiskiem technologicznym. Ważnym z programistycznego punktu widzenia jest fakt, iż oprócz prezentacji samej treści mapy referencyjnej w wielu skalach (zoomach) (Ryc. 12), temu podkładowi mapowemu współtowarzyszy przestrzenna baza danych. Baza ta zostanie przez autora wykorzystana podczas programowania funkcji przycisku wyszukaj w rozdziale 6.2.2. Mapie tej został określony widok początkowy jako miejsce nie znane grupie respondentów, z głównymi elementami mapy takimi jak: las, droga, rzeka (Medyńska-Gulij, 2010a, 2012, 2015).



Ryc. 12 Fragment podkładu OpenStreetMap z mapą ogólnogeograficzną (zoom: 16, współrzędne środka mapy:  $\lambda$  3.435499  $\phi$  52.171608)

### 6.1.2 Założenia wariantów układów graficznego interfejsu użytkownika (GUI) responsywnej mapy internetowej

W tym podrozdziale zostanie przedstawiony sposób wyboru oraz założeń redakcyjnych dwunastu układów graficznego interfejsu użytkownika responsywnej mapy internetowej. Będzie on dotyczył zarówno mapy prezentowanej na monitorze komputera stacjonarnego oraz wyświetlanej na smartfonie, co jest koniecznością w przypadku projektowania responsywnego.

Podczas przygotowywania wariantów map internetowych autor niniejszej rozprawy doktorskiej zdecydował się na skorzystanie z wyników własnych badań empirycznych zawartych w artykułach Horbiński i Cybulski (2018) oraz Horbiński i in. (2020) oraz z własnych obserwacji. Na podstawie wyników opisanych w Horbiński i Cybulski (2018) postanowiono stworzyć wariant GUI z czterema i sześcioma przyciskami. Wynika to z zauważonej prawidłowości, że najczęściej na monitorach komputera stacjonarnego występuje sześć przycisków, a czterech na smartfonie. Dlatego istotnym jest, aby w badaniu uwzględnić warianty sześciu przycisków na smartfonie i czterech przycisków na monitorze komputera stacjonarnego. Autor zauważył, że w wariacie z sześcioma przyciskami najczęściej występują: przybliżanie i oddalanie, wybór warstw, geolokalizacja, wyszukaj oraz wyznacz trasę. W wariacie czterech przycisków pomijane są przyciski do przybliżania i oddalania.

Po wyborze liczby przycisków, nastąpił wybór ikon dla każdego przycisku. Kierowano się głównie zasadami projektowania sygnatur kartograficznych (Medyńska-Gulij, 2011, 2015)

oraz doboru koloru według Stevens i in. (2013). Opierając się na wcześniejszych badaniach dotyczących zestawienia oraz analizy grafiki przycisków na najpopularniejszych mapach internetowych (Horbiński i Cybulski, 2018) oraz badaniach rozpoznawalności ikon wybranych map internetowych (Horbiński i in., 2020) stworzono zestaw sześciu ujednoczonych ikon dla przycisków mapy internetowej.

Po stworzeniu ikon dla przycisków GUI, podjęto decyzję o ich rozmieszczeniu. Pierwszym wybranym układem było rozmieszczenie przycisków według preferencji użytkowników (Horbiński i in. 2020). Układ zaproponowany na podstawie autorskich badań będzie nazywany w niniejszej dysertacji układem subiektywnym (Ryc. 13 i 14). Uczestnicy tego badania wyznaczali pozycję sześciu przycisków mapy internetowej na urządzeniu mobilnym typu smartfon (geolokalizacja, wybór warstw, pomierz, wróć do startowego zasięgu mapy, wyszukaj oraz wyznacz trasę). W niniejszej dysertacji nie uwzględniono przycisków z funkcją pomierz oraz wróć do startowego zakresu mapy. Są to funkcje najczęściej występujące w programach GIS-owych lub w geoportalach i jak wynika z dalszych badań autora (Horbiński i Cybulski 2018) nie stanowią podstawowych funkcji map internetowych. Wariant układu subiektywnego zaproponowany był dla smartfona z sześcioma przyciskami (cztery z nich będące przedmiotem badań niniejszej rozprawy), dlatego zdecydowano się dodać przyciski z funkcją zoomowania (przybliż i oddal), w zamian za przyciski z funkcją pomierz i wróć do startowego zakresu mapy. Tak uzyskane układy w wariancie z czterema i sześcioma przyciskami zostały przeniesione w niezmienionej formie na monitor komputera stacjonarnego. Układ subiektywny wyglądał następująco: geolokalizacja zlokalizowana w dolnym lewym rogu, pionowo nad nim przycisk wyszukaj, a powyżej wybór warstw, w lewym dolnym rogu umieszczono przycisk wyznacz trasę, a nad nim w wariancie z sześcioma przyciskami przyciski z funkcją oddal i przybliż.

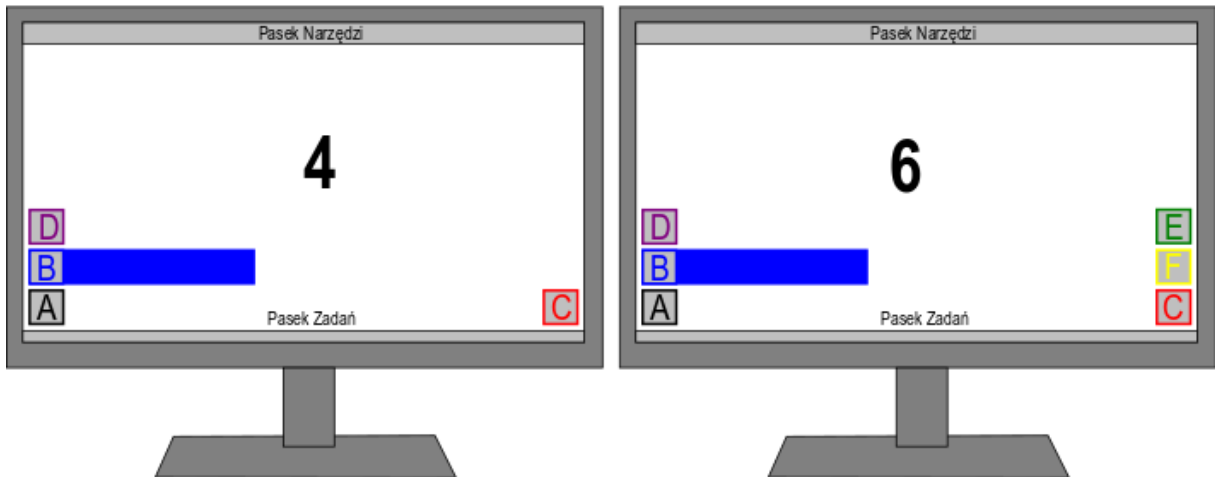
Następnie wybór padł na rozmieszczenie przycisków GUI według Google Maps (Ryc. 13 i 14). Autor wybrał ten układ, ponieważ jest on najbardziej rozpoznawalny i najczęściej wykorzystywany na świecie – globalna mapa internetowa. Jest on tworzony przez profesjonalistów (projektantów i programistów) na potrzeby komercyjne. Układ ten posiada również wszystkie analizowane funkcje mapowe w niniejszej dysertacji w wariancie na monitorze komputera stacjonarnego oraz cztery funkcje w wariancie na smartfonie (brak przycisków zoomowania). Brakujące funkcje zostały dodane na potrzebę stworzenia wariantu 6 przycisków na smartfonie. Ważnym zaznaczeniem jest fakt, iż warianty rozmieszczenia przycisków na monitorze oraz na smartfonie są różne. Układ Google Maps na monitorze

komputera stacjonarnego wyglądał następująco: w lewym górnym rogu zlokalizowany był przycisk wyszukaj, tuż przy nim po prawej stronie przycisk wyznacz trasę; w lewym dolnym rogu znajdował się przycisk wybór warstw; w prawym dolnym rogu umieszczono przycisk geolokalizacji, a w wariancie z sześcioma przyciskami pionowo nad nim umieszczono przyciski z funkcją oddal i przybliż. Na smartfonie układ Google Maps wyglądał następująco: w lewym górnym rogu przycisk wyszukaj (miejsce do wpisania zapytania rozciągnięte na szerokość wyświetlacza), pod nim z prawej strony wybór warstw, a pionowo pod wyborem warstw w wariancie z sześcioma przyciskami przycisk z funkcją przybliż oraz oddal; w prawym dolnym rogu zlokalizowany przycisk wyznacz trasę, a pionowo nad nim przycisk geolokalizacji.

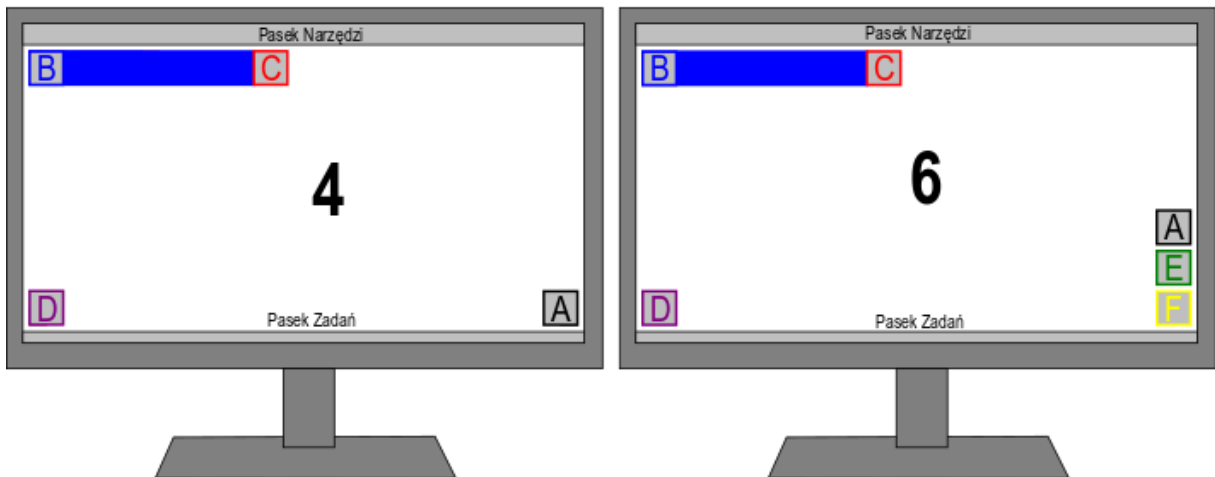
Ostatnim wybranym wariantem rozmieszczenia przycisków było rozmieszczenie według OpenStreetMap (Ryc. 13 i 14). Wybór padł na tę mapę internetową, ponieważ posiada ona na monitorze komputera stacjonarnego oraz smartfonie takie samo rozmieszczenie przycisków skoncentrowane w jednym miejscu (górny prawy róg). Układ ten posiada w obu wariantach wszystkie 6 analizowanych funkcji mapy internetowej. Wyglądał on następująco: w lewym górnym rogu przycisk wyszukaj; w prawym górnym rogu wyznacz trasę pod nim pionowo zlokalizowany przycisk geolokalizacji a następnie wybór warstw; w wariancie z sześcioma przyciskami przyciski z funkcją przybliż i oddal znajdowały się pomiędzy przyciskami wyznacz trasę i geolokalizacji.

Wszystkie wybrane warianty tworzą wspólnie 12 układów (Ryc. 13 i 14), które zostaną wykorzystane w następnych etapach badania.

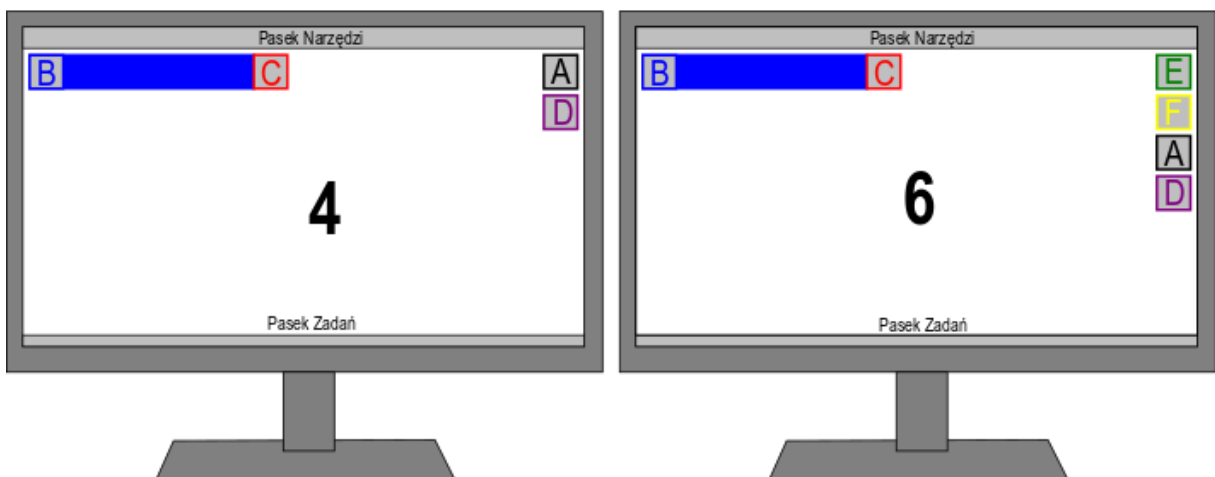
### Układ Subiektywny



### Układ wg Google Maps

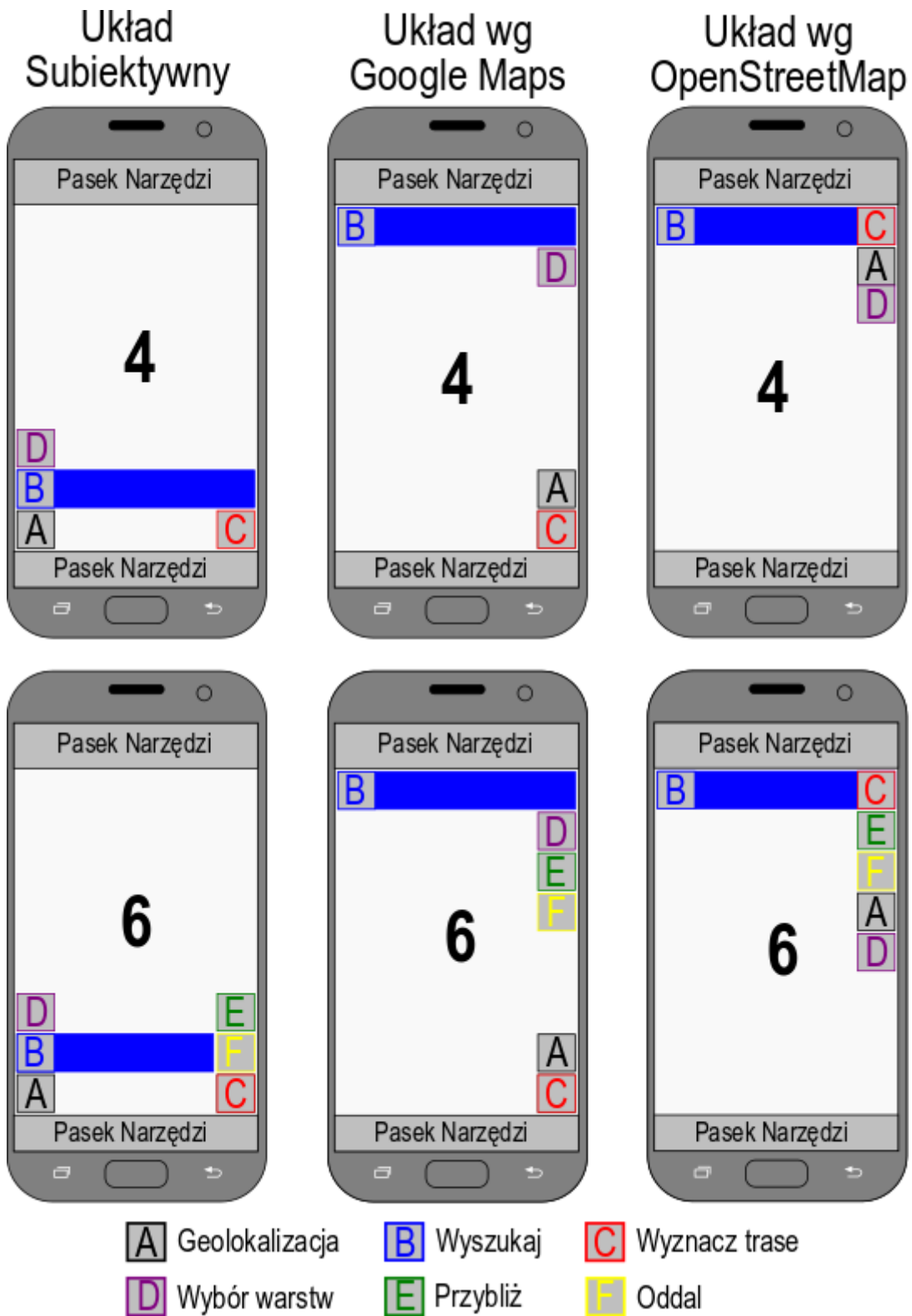


### Układ wg OpenStreetMap



- |                         |                   |                        |
|-------------------------|-------------------|------------------------|
| <b>A</b> Geolokalizacja | <b>B</b> Wyszukaj | <b>C</b> Wyznacz trasę |
| <b>D</b> Wybór warstw   | <b>E</b> Przybliż | <b>F</b> Oddal         |

Ryc. 13 Układy rozmieszczenia przycisków na monitorze komputera stacjonarnego



Ryc. 14 Układy rozmieszczenia przycisków na monitorze komputera stacjonarnego

### 6.1.3 Środowisko technologiczne

W tym podrozdziale przedstawione zostaną programy komputerowe oraz języki programowania służące przygotowaniu, obróbce i przetworzeniu danych na wszystkich etapach dysertacji. Oprócz oprogramowania przedstawiony zostanie również sprzęt badawczy, na którym zaprojektowano i wykonano mapy, interfejs, przeprowadzono rejestrację ruchu gałki ocznej oraz wykonano analizę i zestawienie wyników badań wpływu rozmieszczenia przycisków graficznego interfejsu użytkownika na efektywność mapy internetowej.

Na podstawie przedstawionych w rozdziale 2.2 bibliotekach umożliwiających tworzenie (programowanie) map internetowych autor zdecydował się na wykorzystanie biblioteki Leaflet.js. Jest to darmowo udostępniane środowisko technologiczne. Jako projekt typu *open-source* jest ciągle doskonalony i rozwijany (Derrough, 2013; Peterson, 2014a; Brambilla i in., 2017; Farkas, 2017; Faustryjak i in., 2017). Posiada prosty i przejrzysty kod źródłowy, a ponadto ma wysoką wydajność na wszystkich głównych platformach mobilnych. Dzięki wielu wtyczkom kartografowie-programiści są w stanie rozszerzyć działanie mapy internetowej o dodatkowe funkcje. Biblioteka ta wspiera wszystkie funkcje związane z dotykowymi urządzeniami mobilnymi (Donohue i in., 2013, Roth i in., 2014), co sprawia, że jest bardzo dobrym silnikiem dla responsywnych map internetowych. Jednak najważniejszą cechą jest to, że została ona zaprogramowana tak, aby renderowanie plików SVG pozostało po stronie klienta. Jest to kluczowy fakt w niniejszej dysertacji. Umożliwia on stworzenie ikon dla przycisków responsywnej mapy internetowej. W plikach SVG możliwe jest zapisanie grafiki wektorowej, która może być zmniejszana bądź zwiększana bez straty jakości podczas zmiany wyświetlania z komputera stacjonarnego na smartfon i odwrotnie.

Pliki SVG z ikonami graficznego interfejsu użytkownika będą tworzone w darmowym oprogramowaniu graficznym Inkscape. Natomiast do programowania funkcji tych przycisków wykorzystany został program Notepad++. W programie tym zakodowano jednocześnie funkcje przycisków (JavaScript), nadano im grafikę (CSS) oraz wkomponowano w mapę (Leaflet.js).

Opracowanie kwestionariusza badawczego oraz rejestracja ruchu gałki ocznej została zaprojektowana w oprogramowaniu Tobii Studio – pozwala ono na implementację przygotowanych map wraz zaprojektowanym GUI i zadaniami oraz pytań ankietowych. Natomiast do statystycznego przetwarzania danych wykorzystano program R w wersji 3.4.3, a w szczególności wtyczkę Rcmdr (R Commander) która umożliwiła przeprowadzenie wybranych testów oraz wyeksportowanie wykresów.

Badanie wykonano na dwóch urządzeniach: monitor – LG Falatron E2260T-PN (przekątna ekranu 21,5”, rozdzielczość 1920x1080) i smartfon - Samsung Galaxy S7 (przekątna ekranu 5,1”). Do rejestracji ruchu gałki ocznej posłużono się eye-trackerem – Tobii X2-60 oraz dodatkowo w przypadku badań map na smartfonie: MDS – Mobile Device Setup

### 6.1.4 Metody pozyskiwania danych o efektywności responsywnych map internetowych

W tym podrozdziale przedstawiono wybór trzech metod pozyskiwania danych o efektywności responsywnej mapy internetowej oraz ruchu gałki ocznej użytkownika, które zostały włączone w jeden kwestionariusz badawczy.

Na podstawie przedstawionych metodach badań efektywności map internetowych w rozdziale 5 autor postanowił wybrać wszystkie spośród nich. Metodą badań wykorzystaną przez autora niniejszej rozprawy doktorskiej jest metoda ankietowa. Jej podstawą jest ankieta cyfrowa stworzona do oceny wariantów GUI oraz ujednocionej grafiki przycisków przez uczestników. Ankieta zakłada charakterystykę uczestników (płeć, wiek, prawo lub leworęczność, częstość korzystania z map internetowych) oraz pytania obiektywne i subiektywne (Wielebski; 2015, Wielebski i Medyńska-Gulij, 2019; Cybulski i Wielebski, 2019; Horbiński i in., 2020). Do pytań obiektywnych zaliczać się będą zadania, które każdy z uczestników będzie wykonywał, natomiast do pytań subiektywnych należeć będzie ocena wykorzystanych wariantów układów rozmieszczenia przycisków, grafiki przycisków oraz preferencji używania map internetowych. Pytania zostały podzielone na wstępne (charakterystyka użytkownika), obiektywne (odpowiedzi na zadania) oraz subiektywne (ocena interfejsu). Wszystkie pytania muszą posiadać identyfikator, który umożliwi ich odnalezienie podczas przetwarzania danych do dalszych etapów. Z tego powodu zdecydowano się, aby pytaniom wstępnym oraz subiektywnym przypisać literę Q oraz numer pytania (np. Q4). Natomiast zadania były nazwane zadanie 1, 2, 3. Na pytania ankietowe przed i po wykonaniu zadań z powodów ograniczania sprzętowego autor zdecydował się na wariant cyfrowy (monitor komputera stacjonarnego) oraz papierowy (smartfon).

Drugą metodą wybraną do badań efektywności jest metoda oceny użyteczności. Metoda ta jest obiektywna i za pomocą parametrów uzyskanych przez respondentów podczas odpowiedzi na pytania obiektywne autor uzyska czas ukończenia zadania jako parametr wydajności (Nivala i in, 2008; Wang, 2014). Ostatnią metodą badań została wybrana metoda eye-trackingowa, która jednocześnie łączy się z dwiema poprzednimi metodami. Podczas przeprowadzenia badania dla metody eye-trackingowej można wykonać badanie ankietowe,

a uzyskane parametry czasowe posłużą w metodzie oceny użyteczności. Dzięki metodzie eye-trackingowej autor jest w stanie uzyskać informacje o miejscach i czasie zatrzymania wzroku (fiksacja) oraz kliknięcia myszką. Informacje te będą kluczowe dla przycisków czyli obszarów zainteresowania. Obszary te zostaną określone z uwzględnieniem dokładności rejestrowanych danych (o których więcej wspomniane będzie w rozdziale 6.3.2). Przedstawione metody badań będą podstawą oceny efektywności stworzonych wariantów map internetowych z uwzględnieniem responsywności (Garlandini i Fabrikant, 2009, Brychtová i Çöltekin, 2014).

### 6.1.5 Uczestnicy badania

Do udziału w kwestionariuszu badawczym przewidziano jednorodną grupę respondentów, o zbliżonym stopniu doświadczenia pracy z mapą internetową, należące do tej samej grupy wiekowej. Złożono że jeden wariant zadań związanych z mapą internetową będzie rozwiązywać 20 osób. Podstawą do przyjęcia takiej liczebności grup respondenckich była literatura kartograficzna. Według Ware (2004) większość eksperymentów odbywa się przy udziale 12-20 ankietowanych, jeśli wszystkie warunki eksperymentu pozwalają na jego przeprowadzenie na podobnej grupie respondentów. Natomiast badania, w których istnieje możliwość wystąpienia efektu uczenia się wymaga zwiększonej liczby uczestników. Również wiele przykładów badań efektywności prowadzonych przez innych autorów potwierdza takie liczby respondentów w grupach (Garlandini i Fabrikant, 2009; Brychtová i Çöltekin, 2014; Wielebski i Medyńska-Gulij, 2019; Cybulski i Wielebski, 2019; Horbiński i in., 2020). Najbardziej adekwatną grupą do tego typu badania są użytkownicy w wieku 21-25, którzy posługują się produktami mobilnymi w codziennym życiu. Przewiduje się, że w niniejszym badaniu weźmie udział 240 osób podzielanych na 12 grup.

### 6.1.6 Metody analizy wyników

Na potrzeby niniejszej rozprawy doktorskiej zdecydowano się wykorzystać test korelacji podczas analizy wyników czasowych oraz odpowiedzi na pytania ankietowe. Parametry czasowe uzyskane na podstawie oceny użyteczności oraz techniki eye-trackingowej zapewniają obiektywną miarę oceny efektywności graficznego interfejsu użytkownika mapy internetowej i można je bezpośrednio łączyć i korelować z subiektywnymi odpowiedziami pochodzącymi z metody ankietowej. Istotne korelacje pomiędzy tymi miarami mogą pomóc w analizie związków między obiektywną i subiektywną informacją (Hornbæk, 2006) i skutkować oceną efektywności zaproponowanych w niniejszej rozprawie doktorskiej wariantów map internetowych. Dla uzupełnienia analizy wyników wykorzystano również test Kruskala-

Wallisa, informujący o istotnych różnicach pomiędzy grupami. W przypadku tego badania zmienność w grupach kluczowa jest w przypadku parametrów czasowych i odpowiedzi na pytanie 12 (Q12), dotyczących preferencji urządzenia podczas korzystania z map internetowych. Analizowane będą również ścieżki patrzenia na monitorze oraz smartfonie. Analiza ta będzie oparta o uzyskane filmy prezentujące fiksacje i sakady, docięte do odpowiednich zadań (segmentów). Sumarycznie efektywność zostanie określona za pomocą autorskiego współczynnika efektywności GUI szerzej omówionego w podrozdziale 6.4.1.1. Na podstawie przeanalizowanych wyników czasowych zostaną wystosowane rekomendacje dla przyszłych twórców w kontekście projektowania responsywnych map internetowych.

### **6.2. Etap opracowania responsywnych map internetowych**

Etap opracowania responsywnych map internetowych składa się z czterech podstawowych kroków na które składają się zaprojektowanie ikon dla przycisków, które zostały wybrane na etapie koncepcyjnym; następnie przypisanie funkcji interaktywnych (komunikacyjnych) dla zaprojektowanych ikon; przygotowanie 12 wariantów map internetowych poprzez odpowiednie rozmieszczenie przycisków w graficznym interfejsie użytkownika; oraz przygotowanie dla każdego wariantu mapy odpowiedniego kwestionariusza badawczego.

#### **6.2.1. Zaprojektowanie ikon dla przycisków**

Celem tego etapu było opracowanie zestawu sześciu ikon dla przycisków graficznego interfejsu użytkownika responsywnej mapy internetowej – wyświetlanej na monitorze oraz smartfonie. Najważniejsze z punktu widzenia schematu badawczego było opracowanie jednolitych ikon na podstawie istniejących przycisków w globalnych serwisach mapowych. Również bardzo istotne było opracowanie zestawu ikon na monitor komputera oraz wyodrębnienie zestawu ikon na wyświetlacz smartfona.

Etap opracowywania map internetowych rozpoczął się od zaprojektowania jednolitych ikon dla przycisków. Autor w swoich działaniach skorzystał z wcześniejszych badań, w których zestawiono najpopularniejsze mapy internetowe i porównano grafikę przycisków (Horbiński i Cybulski, 2018) oraz badania nad rozpoznawalnością ikon w wybranych mapach internetowych (Horbiński i in. 2020). Na podstawie pierwszego artykułu autor wnioskował, iż grafika dla przycisków zoomowania w postaci plusa (przybliżanie) i minusa (oddalanie) jest taka sama we wszystkich mapach i na wszystkich urządzeniach (monitor komputera stacjonarnego, laptop, tablet oraz smartfon) (Ryc. 15), dlatego nie zdecydowano się na

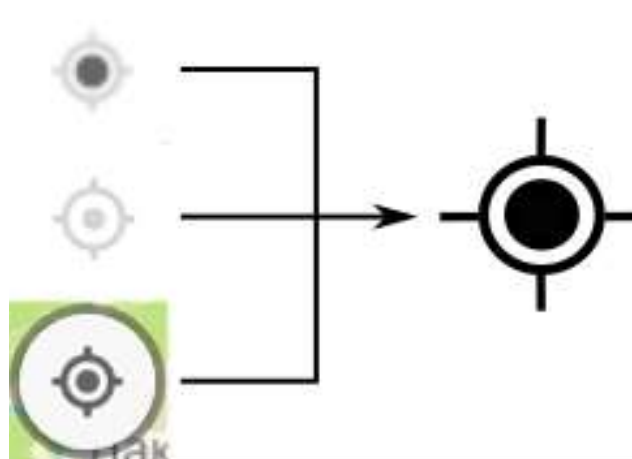
zaprojektowanie innych ikon dla tych przycisków, jedynie na umieszczenie ich w kwadracie (ryc. 20).

		Baidu Maps	Google Maps	Here WeGo	Bing Maps	Open Street Map	Map Quest	2Gis	Yandex Maps
Komputer, laptop, tablet	Przybliżenie								
	Oddalenie								
Smartfon	Przybliżenie								
	Oddalenie								

**Ryc. 15 Zestawienie ikon dla funkcji zoomowanie na podstawie Horbiński i Cybulski (2018) będących podstawą do opracowania ujednoczonej grafiki przycisków oddalania i przybliżania**

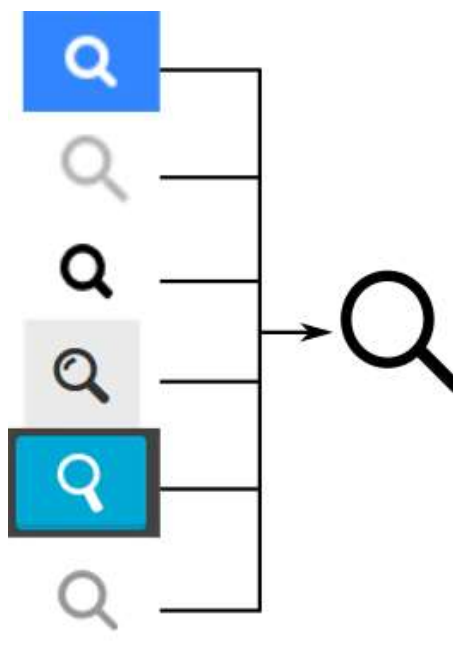
Grafikę dla przycisku geolokalizacji, wyboru warstw, wyznaczania trasy oraz wyszukaj zaprojektowano na podstawie artykułu Horbiński i in. (2020). Badanie opierało się o ankietę, w której uczestnicy przyporządkowywali ikonę do opisu przycisku. Ikony, które były najczęściej wybierane stały się podstawą do zaprojektowania graficznego przycisków GUI. Wybór ten był subiektywny, ale dał możliwość autorowi na stworzenie jednolitych przycisków na bazie najlepiej rozpoznawanej istniejącej dla nich grafiki.

Geolokalizacji przypisano grafikę „celownika” występującą na Google Maps (pierwsza od góry z lewej ryc. 16). Rozpoznawalność, czyli prawidłowe przypisanie ikony do przycisku mapy internetowej, osiągnęła 70%. Autor pogłębił tę analizę i odszukał na podstawie artykułu Horbińskiego i Cybulskiego (2018) podobieństw w grafice z innymi mapami internetowymi. Znalazł takie podobieństwo w serwisie WeGo HERE oraz MapQuest. Zestawiając wszystkie trzy ikony stworzył ujednoliconą grafikę (Ryc. 16) dla przycisku geolokalizacji.



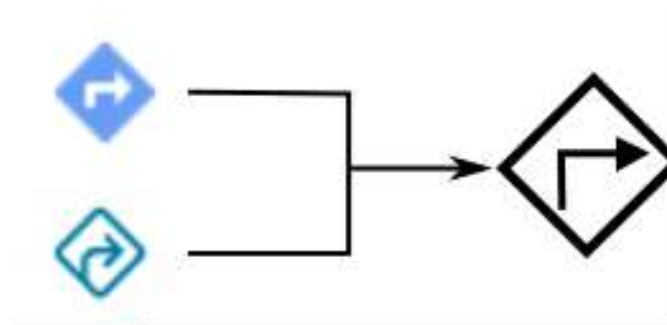
**Ryc. 16 Ujednolicenie ikony dla przycisku geolokalizacji na podstawie analizy innych serwisów mapowych prezentowanych w artykule Horbiński i Cybulski (2018)**

Kolejnym przyciskiem było wyszukiwanie, dla którego wybrana została ikona „lupy”. Lupa ta przechylona jest w lewą stronę. W badaniu Horbińskiego i in. (2020) użyto ikony lupy z serwisu Google Maps (druga z lewej ryc. 17). Rozpoznawalność osiągnęła 79% poprawności. W analizie zawartej w artykule Horbińskiego i Cybulskiego (2018) stwierdzono, że podobna ikona występuje również na Baidu Maps, WeGo HERE, 2Gis, MapQuest (monitor), Yandex (monitor), Bing Maps (Smartfon) oraz Google Maps (monitor). Zestawienie wszystkich ikon oraz ujednolicona ikona użyta w badaniu na potrzebę niniejszej rozprawy doktorskiej prezentowana jest na rycinie 17.



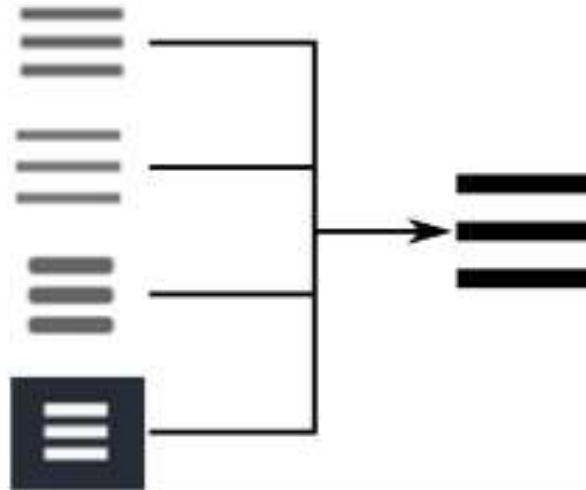
**Ryc. 17 Ujednolicenie ikony dla przycisku szukaj na podstawie analizy innych serwisów mapowych prezentowanych w artykule Horbiński i Cybulski (2018)**

Dla przycisku wyznaczą trasę przypisano symbol strzałki w prawo wpisanej w romb. W badaniu Horbińskiego i in. (2020) użyto podczas pytania dotyczącego ikony z serwisu Google Maps (górna ikona z lewej strony ryc. 18). Ikona ta używana jest również przez Bing Maps (Horbiński i Cybulski, 2018). Uczestnicy rozpoznawali ją z 51% poprawnością. Ujednolicona ikona, która zostanie wykorzystania w niniejszej dysertacji znajduje się po prawej stronie na rycinie 18.



**Ryc. 18 Ujednolicenie ikony dla przycisku wyznaczą trasę na podstawie analizy innych serwisów mapowych prezentowanych w artykule Horbiński i Cybulski (2018)**

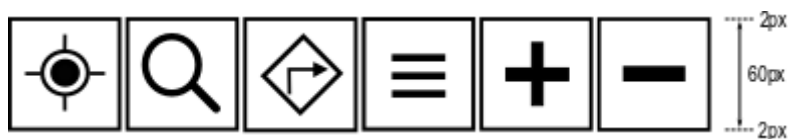
Jako ostatnią zaprojektowano ikonę dla przycisku wyboru warstw. W tym przypadku autor wykorzystał grafikę menu z map internetowych. Podczas badania Horbińskiego i in. (2020) dla pytania o wybór warstw autorzy posłużyli się ikonami bezpośrednio nawiązującymi do przycisku wyboru warstw, lecz pulę odpowiedzi uzupełnili o ikonę menu z serwisu Google Maps (pierwsza z lewej ryc. 19). Uczestnicy badania rozpoznawali ten przycisk jako wybór warstw (87%). Pogłębiając analizę ikona ta również występuje na WeGo HERE, OpenStreetMap, Bing Maps (monitor) oraz 2Gis (smartfon) (Horbiński i Cybulski, 2018). Zestawienie wszystkich ikon oraz ujednolicona ikona użyta w badaniu na potrzeby niniejszej rozprawy doktorskiej prezentowana jest na rycinie 19.



**Ryc. 19** Stworzenie ikony dla przycisku wyboru warstw na podstawie analizy innych serwisów mapowych prezentowanych w artykule Horbiński i Cybulski (2018)

Wszystkie zaprojektowane ikony widoczne w rycinie 18 zostały stworzone w programie graficznym Inkscape. Umieszczone zostały pośrodku kwadratu o wymiarach 64x64 pikseli o grubości ramki 2px. Wymiary te będą dostosowane do rozdzielczości monitora komputera stacjonarnego oraz urządzenia mobilnego za pomocą kodowania CSS. Zapisane zostały w pliku o rozszerzeniu SVG. Autor użył koloru jako zmiennej wizualnej (oraz jasności – 100% oraz orientacji – pionowa) (Medyńska-Gulij, 2011, 2015).

Jest to również zmienna rozróżniająca (Bertin, 1983; Bonin, 1989), która na poziomie organizacji zmiennych wizualnych posiada relację podobieństw i różnic (Bertin, 1971). Kolor jako zmienna wizualna została powszechnie zaakceptowana w podręcznikach kartografii (Żyszkowska i in., 2012). Stevens i in. (2013) przedstawiając zalecenia dotyczące projektowania ikon na urządzenia mobilne zaznaczył, że dobrze zaprojektowana grafika ikony powinna stosować odpowiednio czarny i biały kolor lub inne kolory gdy ikony niosą ze sobą określone znaczenie. Autor użył białego i czarnego koloru, ponieważ nie chciał ukierunkowywać skojarzeń zaprojektowanych ikon. Zaprojektowane ikony reprezentują przyciski, do których następnie przypisana będzie odpowiednia funkcja interaktywna w podrozdziale 6.2.3 (Medyńska-Gulij B., 2008, 2014).



**Ryc. 20** Zastawienie wszystkich ikon stworzonych na potrzebę opracowania map oraz graficznego interfejsu użytkownika

### 6.2.2. Zaprogramowanie 6 funkcji dla przycisków

W niniejszym podrozdziale przedstawione zostaną kroki programistyczne służące do stworzenia sześciu przycisków. Przyciski te będą służyły użytkownikowi do komunikacji z mapą internetową zarówno na monitorze komputera stacjonarnego oraz smartfonie. Opisany został schemat stworzenia struktury drzewa plików oraz prace programistyczne związane z projektowaniem poszczególnych funkcji interaktywnych.

Spośród funkcji wymienionych w rozdziale 2.3 do najczęściej występujących obecnie na mapach internetowych należą (Horbiński i Cybulski, 2018):

- Geolokalizacja,
- Wyszukaj,
- Wyznacz trasę,
- Przybliżanie,
- Oddalanie,
- Wybór warstw.

Prace nad zaprogramowaniem funkcji rozpoczęły się w programie Nodepad++ od stworzenia podstawowej struktury mapy internetowej. Autor skorzystał z biblioteki Leaflet, którą zaimplementował w sekcji <head> kodu HTML strony internetowej (index.html) dwóch plików: JavaScript (leaflet.js) oraz CSS (leaflet.css).

```
<link rel="stylesheet" href="./CSS/style.css" type="text/css">
<script type="text/javascript" src="./JavaScript/leaflet.js"></script>
```

**Ryc. 21 Kod HTML z zaimplementowaną biblioteką Leaflet**

Pobrane pliki z serwera zostały umieszczone w strukturze kodu HTML (Ryc. 21) oraz umieszczone w drzewie plików (Ryc. 22) (Horbiński i Lorek, 2020). Autor zdecydował się na taką metodę, ponieważ zaistniała potrzeba na bezpośrednie ingerowanie w niektóre funkcje i towarzyszącą im grafikę, tak aby odpowiadały one założeniom redakcyjnym i prawidłowo funkcjonowały w kontekście responsywności.

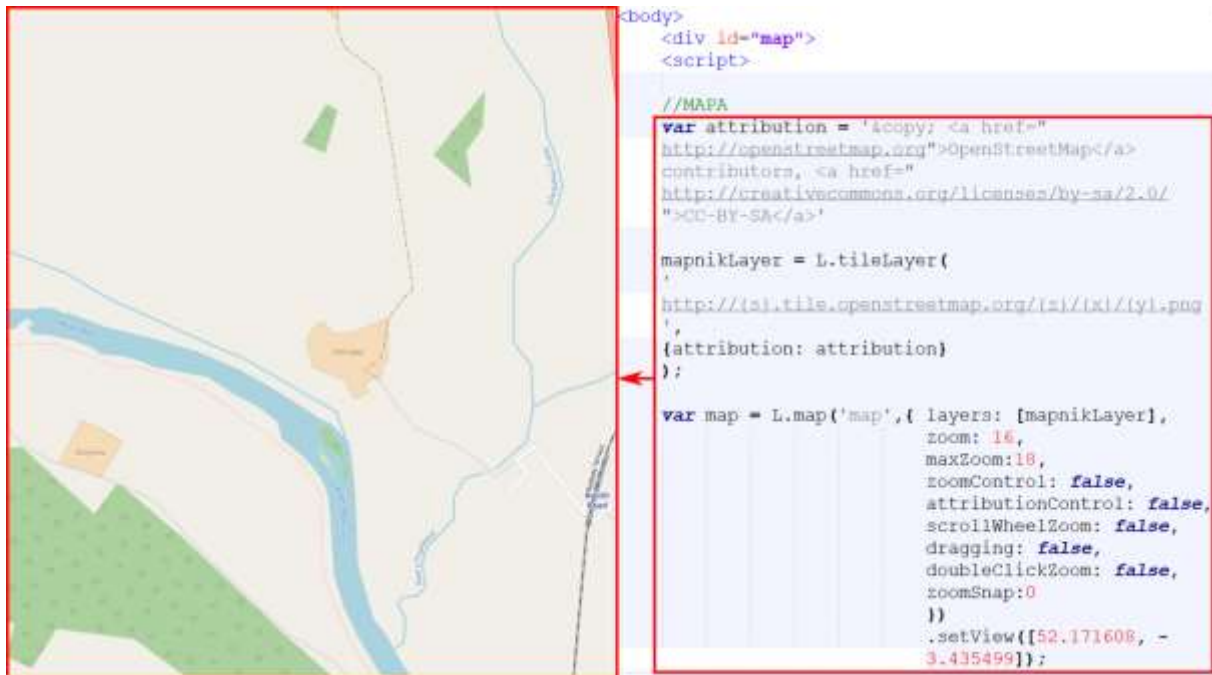
```

| index.html
|
+---CSS
| | leaflet-control-geocoder.css
| | leaflet-control-zoombar.css
| | leaflet-routing-machine.css
| | leaflet-search.css
| | leaflet.css
| | style.css
| |
| \---images
|     geolokalizacja.svg
|     trasa.svg
|     warstwy.svg
|     wyszukaj.svg
|     oddal.svg
|     przybliz.svg
|
\---JavaScript
| leaflet-control-geocoder.js
| leaflet-control-zoombar.js
| leaflet-routing-machine.js
| leaflet-search.js
| leaflet.js

```

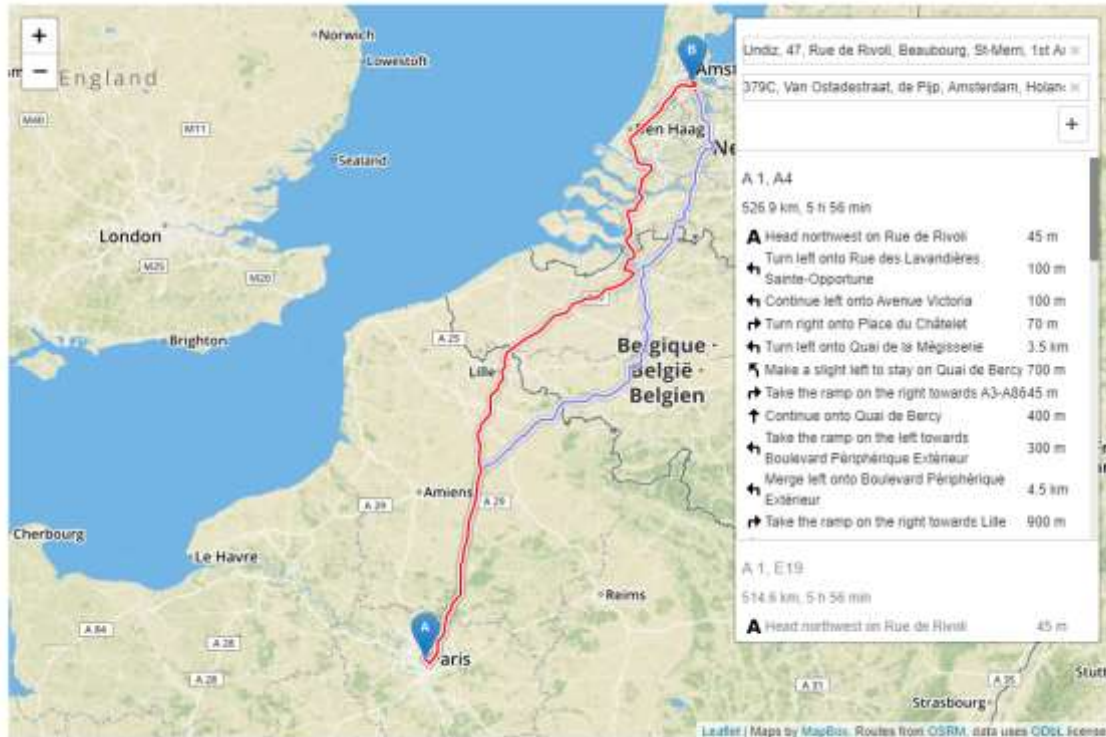
**Ryc. 22** Drzewo plików stworzonej mapy internetowej

Posiadając silnik budowy mapy internetowej (biblioteka Leaflet) rozpoczęto prace programistyczne. Na początku stworzono obszar mapy (`<div id="map"></div>`) w sekcji `<body>` strony internetowej w punkcie centralnym o współrzędnych geograficznych  $\lambda$  3.435499,  $\phi$  52.171608 i zoomie początkowym 16 (zakres zoomu od 0 do 18, z zablokowaną opcją `dragging`). Zdefiniowano również parametry CSS `height: 100%` i `width: 100%`. Celowo już na początku użyto miary relatywnej jaką są procenty, aby w późniejszym etapie łatwo dopasować obszar mapy na potrzeby różnych urządzeń. Następnie pomiędzy znacznikami `<script></script>` umieszczono odwołanie w języku JavaScript do stworzonego obszaru mapy. Nieodzownym elementem zaprogramowanym już na samym początku był wybrany w rozdziale 6.2.2 podkład mapowy OpenStreetMap. Podkład ten zdefiniowano z pomocą funkcji `L.tileLayer` (Ryc. 23). Funkcja ta pozwala na renderowanie w czasie rzeczywistym podkładu mapowego w postaci kafelków z serwera `openstreetmap.org`.



**Ryc. 23** Fragment kodu JavaScript prezentujący stworzenie pola mapy oraz włączenia w jej strukturę podkładu mapowego OpenStreetMap. Z punktem centralnym określonym współrzędnymi geograficznymi  $\lambda$  3.435499  $\phi$  52.171608 oraz zoomem 16

Pierwszą zaprogramowaną funkcją było **wyznaczenie trasy**. Autor skorzystał z istniejącej wtyczki dostępnej pod adresem <https://www.liedman.net/leaflet-routing-machine/>. Jednakże wtyczka posiadała zbyt rozbudowany interfejs oraz nie była wywoływana za pomocą przycisku (Ryc. 24). Wymuszała również wyznaczanie trasy poprzez przesuwanie na mapie wyznaczonych odgórnie markerów. Wywoływała niepotrzebne opcje jak nawigacja, długość i czas trasy.



Ryc. 24 Funkcja wyznacz trasę. Źródło: <https://www.liedman.net/leaflet-routing-machine/>

Dlatego autor zdecydował się uprościć funkcjonalność tej wtyczki usuwając w kodzie JavaScript opcje nawigacji, wyboru trasy za pomocą markerów, długość i czas trasy itp. Dodał funkcję, która stworzyła przycisk i dopiero po kliknięciu wywoływała okno decyzyjne umożliwiające wybór trasy pomiędzy większą liczbą miejscowości. Aby ułatwić działanie wtyczki dodano autouzupełnianie w formie podpowiedzi dla wyszukiwanych nazw miejscowości. Podczas wytyczania trasy wtyczka ta wykorzystywała możliwości biblioteki Mapbox. Uproszczenie wtyczki skutkowało funkcjonalnością znacznie bardziej naturalną, tj. zbliżoną do rzeczywistych narzędzi występujących w serwisach mapowych takich jak Google Maps czy OpenStreetMap.

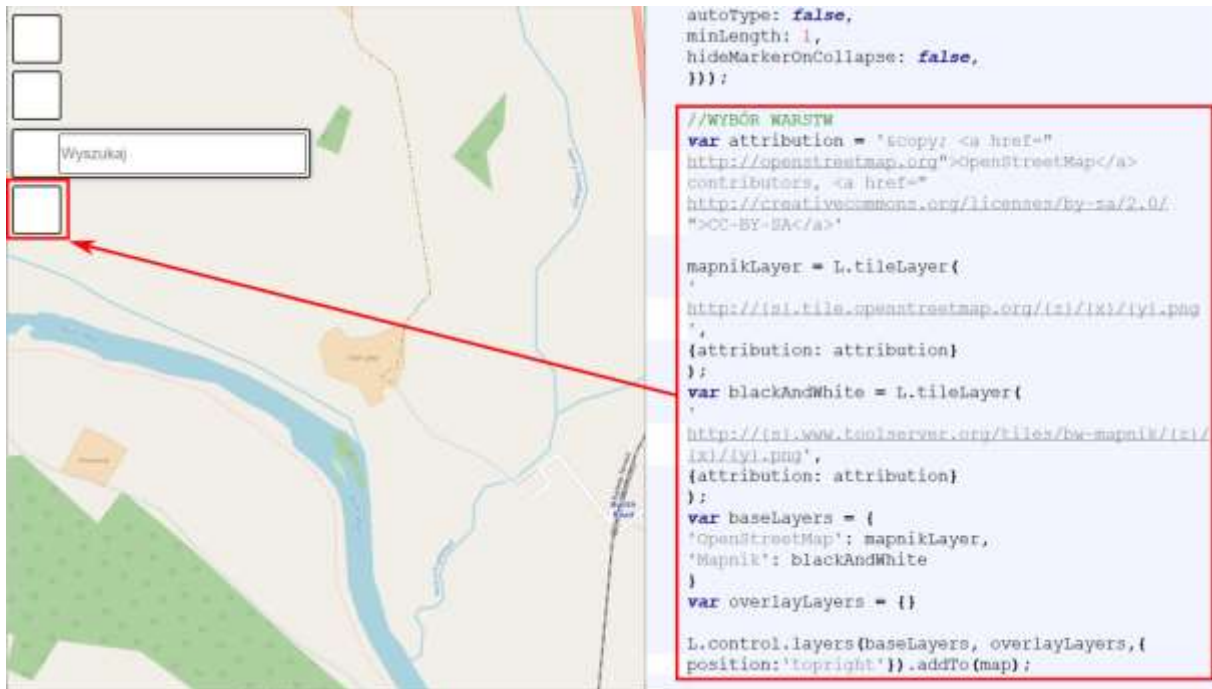






Ryc. 27 Fragment kodu JavaScript łączący mapę internetową i wtyczkę umożliwiającą wyszukiwanie

Kolejną zaprogramowaną funkcją przycisku mapy internetowej był **wybór warstw**. Autor podczas programowania tej funkcji nie wykorzystał żadnej istniejącej wtyczki. Posłużył się jedynie możliwościami biblioteki Leaflet. Do zaprogramowania funkcji istotne było dołączenie drugiego podkładu mapowego. Wybór padł na czarno-biały podkład mapowy Mapnik. Autor zdefiniował obydwa podkłady. W ten sposób wybór pomiędzy warstwami mógł odbywać się jedynie za pomocą przełączenia typu radio (*baseLayers*). Gwarantowało to wyświetlanie jednego podkładu mapowego. Funkcjonalność biblioteki Leaflet pozwala również na przełączanie typu checkbox (*overlayLayers*), dlatego autor zdecydował się na pozostawienie tej możliwości bez wpisanych parametrów, aby nie ingerować w działanie tej funkcji w kodzie źródłowym samej biblioteki (Ryc. 28).



Ryc. 28 Fragment kodu JavaScript łączący mapę internetową i wtyczkę umożliwiającą wybór warstw

Ostatnią zaprogramowaną funkcją było zoomowanie. Funkcja ta posiada dwa przyciski: **przybliżanie** oraz **oddalanie**. Zoomowanie jest opcją zaprogramowaną już w samej bibliotece Leaflet. Biblioteka Leaflet przypisuje przyciskom z różnymi funkcjami pozycję w graficznym interfejsie użytkownika oraz grafikę. Z tego powodu zaprojektowano osobną wtyczkę, która wyłączała funkcję zoomowania z ram zaprogramowanych w bibliotece Leaflet. Wtyczka *leaflet-control-zoombar.js* umożliwia zmianę położenia przycisków przybliżyć i oddal jako jednego elementu oraz ich grafiki. W swoim działaniu skrypt bazuje na innych wtyczkach tworzących z kilku przycisków jeden element. Podłączenie tej funkcji również zdefiniowano w drzewie plików (Ryc. 22) oraz połączono z mapą internetową (Ryc. 29).



**Ryc. 29** Fragment kodu JavaScript łączący mapę internetową i wtyczkę umożliwiającą zoomowanie

Opracowane w ten sposób przyciski wraz z przypisanymi funkcjami posłużyły jako podstawa do przygotowania wariantów graficznego interfejsu map internetowych.

### 6.2.3. Przygotowanie 12 wariantów map internetowych

W tej części przedstawione zostaną kroki, które złożyły się na opracowanie sześciu wariantów map w trzech układach z dwoma wariantami liczby przycisków na monitor komputera stacjonarnego oraz wyświetlacz smartfona, czyli łącznie 12 wariantów mapy internetowej. Pierwszym krokiem było podłączenie zaprojektowanych wcześniej ikon do zaprojektowanych funkcji interaktywnych, dzięki czemu powstały przyciski. Następnie ustalono tzw. momenty przerywania czyli wielkości dla których zaprojektowana mapa oraz przyciski będą się wyświetlać na monitorze bądź na smartfonie. Ostatnim krokiem na tym etapie było odpowiednie rozmieszczenie przycisków według założeń koncepcyjnych dotyczących poszczególnych układów.

Na podstawie założeń koncepcyjnych przedstawionych w podrozdziałach 6.1.2, 6.2.1, 6.2.2 opracowano warianty map internetowych. Prace rozpoczęto od połączenia w strukturze kodu stworzonych ikon i odpowiadającym im funkcji przycisków graficznego interfejsu mapy internetowej. Pliki SVG zostały dołączone jako folder *images* widoczny w drzewie plików na rycinie 22. Folder ten został umieszczony bezpośrednio w folderze CSS, w którym znajdowały

się pliki `.css` odpowiadające za wygląd mapy i przycisków. W każdym z plików odpowiadających za wygląd przycisków odszukano blok deklaracji dla źródła ikony i umieszczono tam docelową ścieżkę plikową `background-image: url('./images/wyszukaj.svg');`. Dla wszystkich przycisków ustalono na monitorze komputera stacjonarnego wymiary 60 px na 60 px, a na smartfonie 160 px na 160 px przy pomocy kodowania CSS.

Następnie zgodnie z przyjętymi założeniami względem responsywności w rozdziale 2.3 skorzystano z zapytań medialnych, aby ustalić punkty przerwania, w których analizowane warianty mapy internetowej powinny się pojawiać na monitorze komputera stacjonarnego oraz smartfonie. Według przyjętych założeń wynikających z literatury przedmiotu (Roth, 2018) punktami przerwania dla smartfona w widoku portretowym (pionowym) jest wielkość 480 px (pikseli) dolnej krawędzi ekranu, a dla monitora komputera stacjonarnego dla widoku krajobrazowego (poziomy) jest 1024 px. Fakt takich wielkości pikselowych dla smartfonów wynika z tak zwanego stosunku użytych pikseli realnych do wyświetlenia jednego piksela wirtualnego. Zabieg ten stosowany jest w dobie coraz większych rozdzielczości ekranowych smartfonów, które na 5 calowym ekranie o rozdzielczości np. 1440x2560 px nie były by w stanie czytelnie ukazać treści. Przykładem jest Samsung Galaxy s10 posiadający realną rozdzielczość 1080x1920 px z przelicznikiem 2,25 na rozdzielczość wirtualną. Na podstawie tych wartości oraz zapytaniach medialnych stworzono ramy dla odpowiednich wariantów (Ryc. 30).

```
@media screen and (min-width: 1024px)
and (orientation: landscape) {} /* monitor */

@media screen and (max-width: 480px)
and (orientation: portrait) {} /* smartfon */
```

### Ryc. 30 Zapytanie medialne z punktami przerwania dla przygotowanych wariantów map

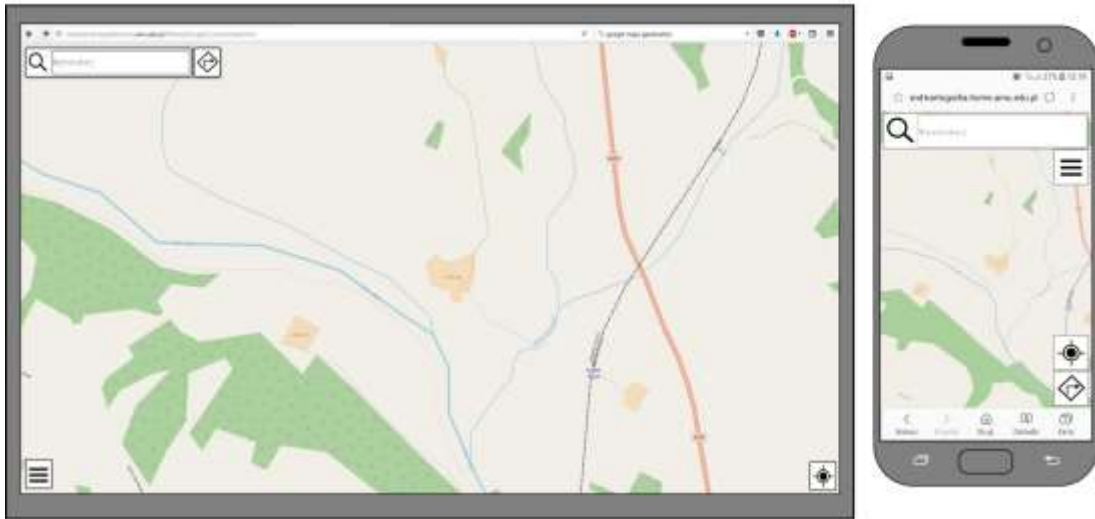
Na etapie zaprogramowania funkcji dla przycisków podczas tworzenia obszaru mapy wykorzystano wartości procentowe dla szerokości i wysokości. Wykorzystano w ten sposób zasadę responsywności – elastyczna siatka. Dzięki użyciu zapytań medialnych, punktów przerwania oraz elastycznej siatki, możemy mówić o responsywnej mapie internetowej.

Wykorzystując responsywne projektowanie autor utworzył po 4 warianty dla trzech zaproponowanych układów (warianty z czterema i sześcioma przyciskami na monitorze

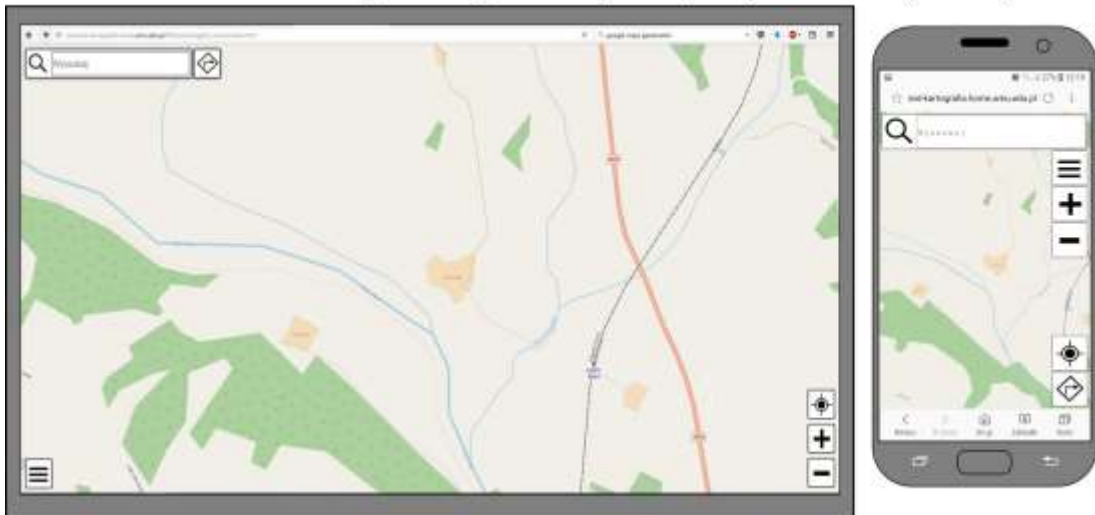
komputera stacjonarnego oraz smartfonie). Pojawił się problem podczas tworzenia wariantów, które pomiędzy monitorem a smartfonem zmieniały rozmieszczenie przycisków. Autor zdecydował się nie ingerować w kod JavaScript biblioteki Leaflet oraz stworzonych funkcji, dlatego za pomocą pozycjonowania elementów w strukturze kodu CSS zmienił położenie obiektów. Standardowo każdy element pozycjonuje się relatywnie względem poprzedniego, aby uniknąć tego efektu zmieniono ten parametr *display* na absolutny. Dzięki tej zmianie udało się stworzyć pozycje dla przycisków, bez ingerencji w kod JavaScript. Operowano jedynie parametrami lokalizacji (*top*, *bottom*, *right*, *left*) w wartościach procentowych.

W ten sposób powstało 12 wariantów map internetowych na monitor komputera stacjonarnego i smartfon, które posłużą dalej jako podstawa do badania eye-trackingowego i ankietowego. Wszystkie warianty zostały umieszczone na platformie hostingowej serwera Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu w domenie [kartografia.amu.edu.pl](http://kartografia.amu.edu.pl) strony internetowej Zakładu Kartografii i Geomatyki.

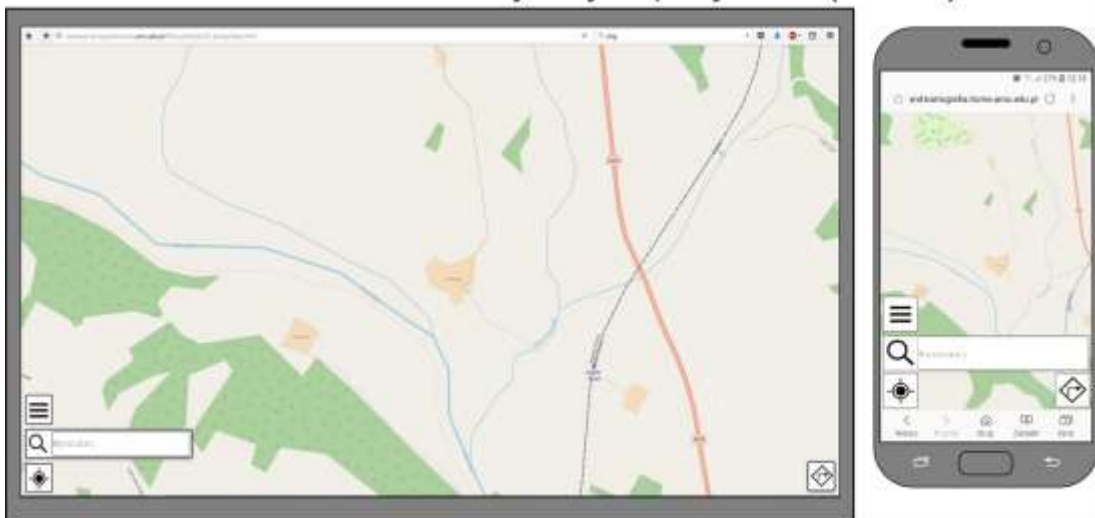
### Układ według Google Maps 4 przyciski (GM4)



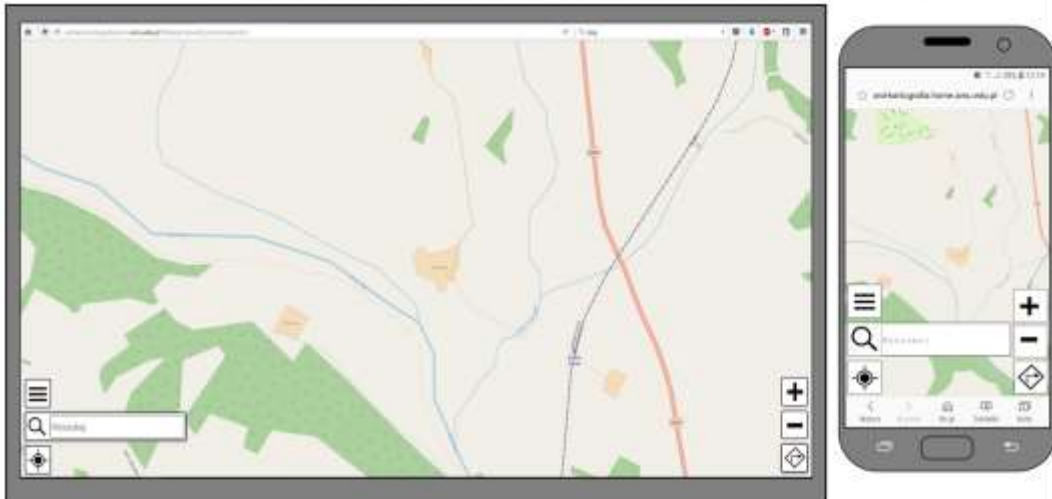
### Układ według Google Maps 6 przycisków (GM6)



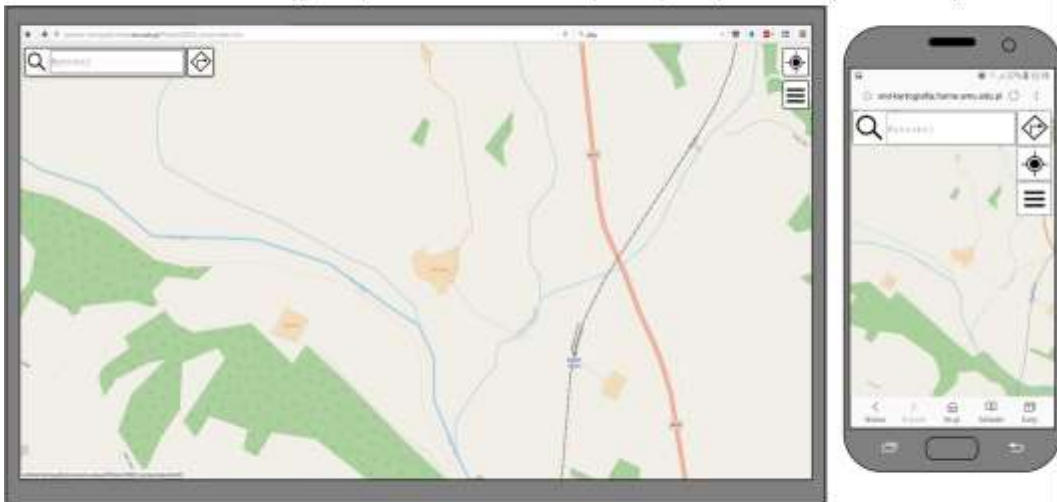
### Układ subiektywny 4 przyciski (SUB4)



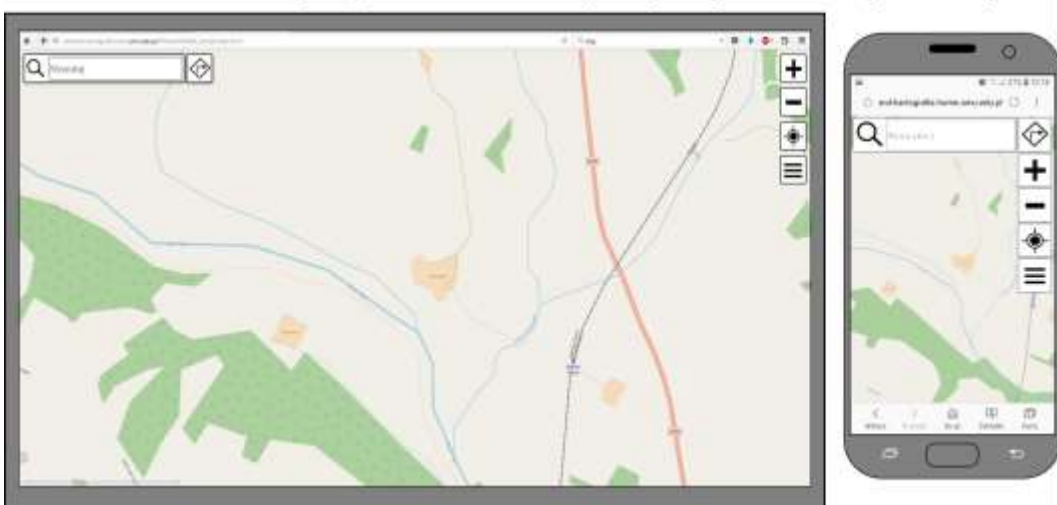
### Układ subiektywny 6 przycisków (SUB6)



### Układ według OpenStreetMap 4 przyciski (OSM4)



### Układ według OpenStreetMap 6 przycisków (OSM6)



Ryc. 31 Warianty graficznego interfejsu użytkownika na monitor komputera stacjonarnego oraz smartfon wraz z mapą podkładową.

#### 6.2.4. Przygotowanie wariantów kwestionariuszy badawczych

Podrozdział ten opisuje kroki, które doprowadziły do powstania kwestionariuszy badawczych, składających się z metody ankietowej, metody użyteczności oraz metody eye-trackingowej. Na początku przedstawiona będzie konstrukcja ankiety wraz z pytaniami wstępnymi. Następnie omówione będą zadania, które uczestnicy badania mieli wykonać w trakcie trwania kwestionariusza. Na końcu przedstawione będą pytania kończące dotyczące preferencji uczestników związanych z testowanym graficznym interfejsem użytkownika.

Na zestaw przygotowanych wariantów pytań ankietowych składały się trzy części: pytania przed badaniem eye-trackingowym, w trakcie badania eye-trackingowego oraz po badaniu eye-trackingowym. W sumie powstał zestaw 15 pytań. W pierwszej części pytań przed badaniem eye-trackingowym zapytano się o (pytania wstępne):

- płeć (Q1 – odpowiedzi kobieta lub mężczyzna),
- przedział wiekowy (Q2 - odpowiedzi 18-21, 22-25 i powyżej 26)
- częstość korzystania z map internetowej Google Maps na komputerze stacjonarnym z monitorem powyżej 15 cali (Q4) oraz smartfonie (Q5),
- częstość korzystania z map internetowej OpenStreetMap na komputerze stacjonarnym z monitorem powyżej 15 cali (Q6) oraz smartfonie (Q7),
- częstość korzystania z innych map internetowych na komputerze stacjonarnym z monitorem powyżej 15 cali (Q8) oraz smartfonie (Q9).

Odpowiedziami na pytania dotyczące częstości korzystania z map internetowych (Q4-Q9) podzielono na 4 możliwości:

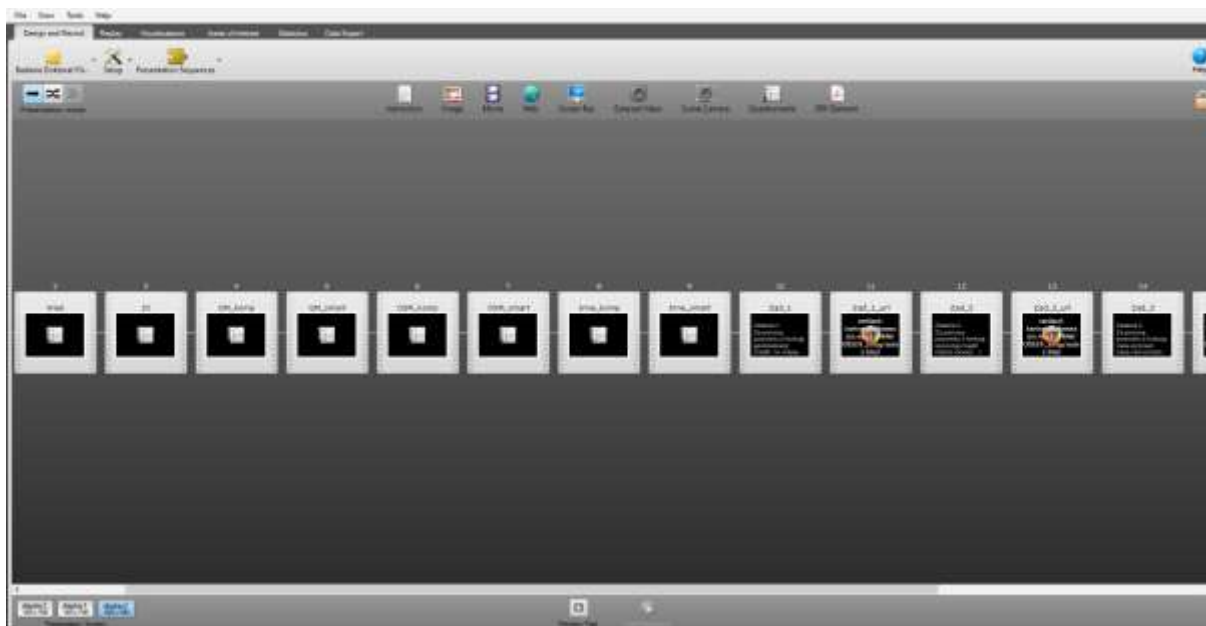
- Codziennie korzystam z tej mapy internetowej,
- Raz w tygodniu korzystam z tej mapy internetowej,
- Raz w miesiącu lub rzadziej korzystam z tej mapy internetowej,
- Nie korzystam z tej mapy internetowej.

Kwestionariusz ankietowy został zaimplementowany do oprogramowania umożliwiającego śledzenie ruchu gałki ocznej – Tobii Studio. Dzięki temu rozwiązaniu pytania mogły być bezpośrednio odniesione do treści mapy, a także powiązane z zarejestrowanym wzrokiem każdego użytkownika. W ten sposób mierzony był czas odpowiedzi (element oceny użyteczności).

Następnie opracowano zadania w oparciu o mapę, które w ocenie efektywności map internetowych były kluczowe. W ten sposób powstały trzy zadania obiektywne, które miały celu sprawdzenie efektywności i wydajności zaproponowanych układów rozmieszczenia oraz rozpoznawalności trzech głównych przycisków map internetowych tj. geolokalizacji, wyszukaj i wyznacz trasę. Zadanie pierwsze dotyczyło zlokalizowania swojego położenia za pomocą geolokalizacji. Zadanie drugie dotyczyło wyszukania miasta Żywiec z pomocą przycisku wyszukaj. W zadaniu trzecim uczestnik badania musiał poprawnie wyznaczyć trasę pomiędzy miastem Jasło a miastem Leżajsk. W zadaniu 2 i 3 wykorzystano nazwy miast z polskimi znakami aby zmniejszyć pulę wyników.

Ostatnią częścią prac nad przygotowaniem wariantów pytań ankietowych było stworzenie pytań po wykonaniu zadań – pytania podsumowujące. Powstały w ten sposób 3 pytania (Q10-12). Pierwsze dotyczyło oceny wariantu układu rozmieszczenia przycisków podczas wykonywania zadań. Do pytania powstało 6 odpowiedzi, że układ był: bardzo dobry, dobry, neutralny, zły, bardzo zły i nie posiadam opinii na ten temat. Kolejne pytanie dotyczyło oceny wykorzystanego projektu graficznego przycisków. Odpowiedzi jak w pytaniu wcześniejszym. Ostatnie pytanie dotyczyło preferencji uczestników odnośnie urządzenia, na którym korzystają z mapy internetowej. Odpowiedziami na to pytanie były warianty: na komputerze stacjonarnym, bez różnicy, na smartfonie.

Powstałe w ten sposób 15 pytań ankietowych zostało wykorzystane w następnych etapach badania (Ryc. 32).



**Ryc. 32** Kwestionariusz badawczy w programie Tobii Studio. W poszczególnych oknach znajdują się pytania kwestionariusza badawczego oraz adresy stron internetowych na których umieszczono warianty map internetowych.

### 6.3. Etap badań z użytkownikami

Etap badań u użytkownikami składa się z kilku podetapów takich jak przeprowadzenie kwestionariusza badawczego, w którym opisany jest przebieg zapraszania użytkowników, stanowisko badawcze, proces kalibracji, wypełniania ankiety oraz wykonania zadań. Drugi podrozdział dotyczy przetworzenia otrzymanych surowych danych do analizy statystycznej. Składało się na to przygotowanie scen i segmentów z nagrań ruchu gałki ocznej – był to szczególnie istotny krok w trakcie przygotowywania danych ze smartfona. Następnie przedstawiono proces tworzenia obszarów zainteresowania (AOI), a także zaprezentowano sposób eksportu danych o ruchu gałki ocznej.

#### 6.3.1. Przeprowadzenie kwestionariusz badawczego

Na podstawie stworzonych wariantów map internetowych oraz pytań ankietowych autor niniejszej dysertacji rozpoczął badania. Badania odbyły się na Uniwersytecie im. Adama Mickiewicza w Poznaniu w budynku Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych. W badaniu uczestniczyło 240 studentów od I do IV roku studiów głównie w przedziale wieku 18-25 lat. Każdemu uczestnikowi wyjaśniono cel badania, naukowy charakter oraz przeprowadzono wstępne zapoznanie z aparaturą eye-trackingową. Poproszono również

o staranne wykonanie zadań oraz wypełnienie pytań. Całe badanie było w pełni anonimowe i dobrowolne.

W badaniu wykorzystano następujący sprzęt i oprogramowanie:

- Smartfon - Samsung Galaxy S7 (przekątna ekranu 5,1”, rozdzielczość 1920x1080),
- Monitor – LG Falatron E2260T-PN (przekątna ekranu 21,5”, rozdzielczość 1920x1080),
- Eye-tracker – Tobii X2-60,
- Oprogramowanie - Tobii Studio 3.4,
- Przeglądarka internetowa – Mozilla Firefox,
- MDS – Mobile Device Setup,
- Laptop – ASUS.

Badanie na monitorze komputera stacjonarnego rozpoczęto od kalibracji, czyli oszacowaniu dokładnej pozycji wzroku na ekranie wyświetlacza (komputera). Uczestnik na ekranie monitora śledził ruch punktu, przy jak najmniejszym ruchu głowy – samym ruchem gałki ocznej, który zatrzymywał się w 9 punktach pomiarowych. Po pozytywnym wyniku kalibracji uczestnik badania przechodził do pytań ankietowych przed wykonaniem zadań. Jeżeli wyniki kalibracji były niezadowalające następowało ponowne kalibrowanie (rola autora – osoby przeprowadzającej badanie – stwierdzenie niepoprawnej kalibracji). Po udzieleniu odpowiedzi wyświetlono mapę i uczestnik wykonywał zadania z nią związane. Po wykonaniu zadań przechodził do pytań ankietowych po wykonaniu zadań. Całe badanie odbywało się bezpośrednio w oprogramowaniu Tobii Studio 3.4. Autor jako osoba przeprowadzająca nadzorował badanie. W przypadku badań eye-trackingowych na monitorze mierzony był czas pierwszej fiksacji, czas pierwszego kliknięcia w obszarze zainteresowania oraz ruch gałki ocznej.



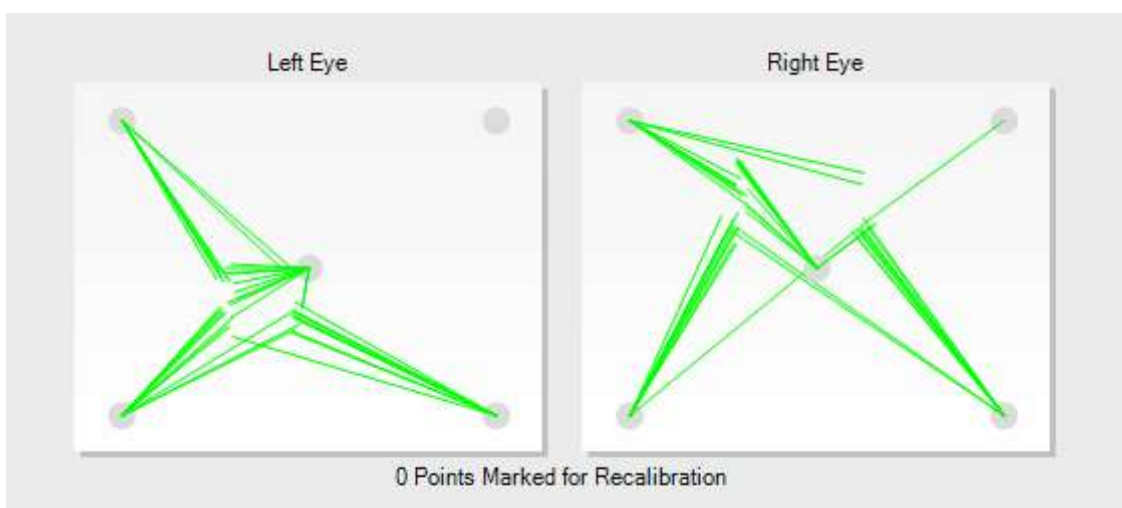
**Ryc. 33 Stanowisko badawcze wykorzystane podczas badań wariantów map internetowych na monitorze komputera stacjonarnego (przy laptopie autor kontrolujący przebieg badania, przy monitorze komputera stacjonarnego uczestnik badania)**

Podczas badania eye-trackingowego na smartfonie autor napotkał pewne trudności. Oprogramowanie Tobii Studio nie posiada bezpośrednio wariantu umożliwiającego podłączenie smartfonu jako dodatkowego ekranu. Zamiast tego wykorzystano MDS (*Mobile standing system*) – jest to statyw posiadający kamerę oraz miejsce na eye-traker umożliwiający badanie na urządzeniach mobilny (tablet, smartfon). W tym wariantcie uczestnicy badania najpierw odpowiadali na pytania przed wykonaniem zadań – pytania wstępne (w wersji papierowej), a następnie przystępowali do kalibracji. Kalibracja odbywała się w 5 punktach pomiarowych (tylko tak istniała możliwość dla smartfonu), uczestnicy obserwowali przez krótką chwilę wskazany przez autora punkt na specjalnie do tego przygotowanej podkładce umieszczonej w MDS. Po pozytywnym wyniku kalibracji uczestnik badania przechodził do wykonania 3 zadań. Po wykonaniu zadań odpowiadał na pytania końcowe (w wersji papierowej). W przypadku smartfonu mierzony był czas do pierwszej fiksacji oraz ruch gałki ocznej.



**Ryc. 34** Stanowisko badawcze wykorzystane podczas badań wariantów map internetowych na smartfonie (przy laptopie autor kontrolujący przebieg badania, przy smartfonie uczestnik badania)

W wielu przypadkach autor musiał wykonywać ponowną kalibrację. Wynikała ona z niepoprawnych wyników pierwotnej kalibracji, na które wpływ mogły mieć warunki oświetlenia lub wady wzroku uczestników badania. Autor zauważył, że okulary stanowiły duży problem podczas badań w słoneczne dni (ryc. 35). Zielone linie, które można zaobserwować na rycinie 35 oznaczają błąd kalibracji, aby kalibracja mogła być uznana za poprawną linia ta powinna znajdować się w środku szarych kół.



**Ryc. 35** Błędna kalibracja w słoneczne dni

Zabrane dane posłużyły w dalszej części analizy wyników. Dane te zapisane zostały w formie filmów oraz danych tekstowych.

### 6.3.2. Przygotowanie danych do analizy statystycznej i eye-trackingowej

Prace nad edycją danych wynikowych rozpoczęto od wprowadzenia do arkusza Excel danych z papierowych ankiet wypełnianych przez uczestników podczas badania na smartfonie. Następnie w programie Tobii Studio przeprowadzono analizę otrzymanych danych. Z otrzymanych filmów do analizy potrzebne były tylko segmenty dotyczące wykonywania zadań. Dlatego autor manualnie musiał wyciąć z 240 filmów segmenty dla każdego z zadań, aby otrzymywać wyniki czasowe tylko dla zadań. Zauważył również, że czas ładowania mapy internetowej był różny. Różnice te wynikały z przepustowości łącza m.in. na smartfonie czy w komputerze. Należało to uwzględnić podczas przygotowywania danych do analizy statystycznej. Z tego powodu autor na etapie wycinania segmentów brał również pod uwagę fragment wynikający z ładowania się mapy internetowej z serwera.

Podczas tworzenia segmentów (fragment filmu) dla filmów z smartfonu, autor musiał zaznaczyć pierwsze poprawne kliknięcie w każdym z zadań, ponieważ było to konieczne do dalszych działań. Wydzielone tak 720 segmentów należało przypisać do odpowiedniej sceny. Scena to statyczny obraz mapy internetowej. Dla wariantów na komputerze stacjonarnym potrzebna była tylko jedna scena dla odpowiedniego zadania. Problem pojawił się w przypadku segmentów pozyskanych z filmów obejmujących warianty odpowiedzi na smartfonie. Podczas badania smartfon był położony przez autora na MDS w ten sam sposób (horyzontalny), jednak pomiędzy poszczególnymi uczestnikami występowały minimalne różnice. Wynikało to z faktu, że smartfon utrzymywał się jedynie na gumowej podkładce bez dodatkowego mocowania. Różnice te należało zniwelować tworząc dla każdego segmentu odpowiadającą mu scenę. Posiadając wszystkie sceny oraz segmenty kolejnym etapem było stworzenie obszaru zainteresowania (AOI - *area of interest*).

Autor zdecydował, że AOI będą obejmowały swoim zasięgiem odpowiednie przyciski dla każdego z zadań. Wymiary obszaru zawierały wielkość przycisku oraz zostały powiększone z każdej ze stron na podstawie wyliczeń dotyczących dokładności rejestrowanego zapisu ruchu gałki ocznej.

$$D_z = 2D * tg\left(\frac{0,5}{2}\right) / PS \text{ [px]}$$

$D_z$  – dokładność zapisu ruchu gałki ocznej,  $D$  – średnia odległość gałki ocznej uczestnika badania od urządzenia,  $PS$  – szerokość monitora (cm)

**Wzór na dokładność zapisu ruchu gałki ocznej**

Dla obszarów zainteresowania na monitorze komputera stacjonarnego dokładność rejestrowanego zapisu ruchu gałki ocznej wyniosła 6 mm czyli 24px (1,25% szerokości ekranu monitora) (średnia odległość gałki ocznej uczestnika badania od monitora – 69 cm, szerokość monitora – 47,6 cm, rozdzielczość – 1920 px), a na smartfonie 4 mm czyli 72 px (6.66% szerokości ekranu smartfona) (średnia odległość gałki ocznej uczestnika badania od smartfonu – 49 cm, szerokość smartfonu – 6,3 cm, rozdzielczość 1080 px).

Ostatnią czynnością było wyeksportowanie danych do pliku .csv dla wybranych paramentów: czasu do pierwszej fiksacji, liczby fiksacji oraz czasu do pierwszego kliknięcia w obszarze zainteresowania. Niestety dane ze smartfonu nie posiadały czasu do pierwszego kliknięcia w obszarze zainteresowania, należało ten czas wyliczyć na podstawie zaznaczonych punktów prawidłowego dotknięcia przycisku w każdym zadaniu podczas tworzenia segmentów. Od czasu pierwszego kliknięcia odjęto czas w którym rozpoczynał się odpowiedni segment i uzyskanymi danymi uzupełniono braki w arkuszu Excel (wartość -999). Wyeksportowano również odpowiedzi z ankiet uczestników badanych na monitorze oraz połączono je z parametrami czasowymi w jednym pliku Excel. Tak połączone dane dla map internetowych analizowanych na monitorze komputera stacjonarnego oraz smartfonie posłużą w kolejnym etapie (Ryc. 36). Wartość 0 w tabeli sugeruje, iż fiksacja zauważona była już w momencie rozpoczęcia segmentu filmu dla poszczególnego zadania.

## 6. Badanie wpływu rozmieszczenia przycisków graficznego interfejsu użytkownika (GUI) na...

Układ	Częstość	Tpf_zadani	Tpf_zadani	Tpf_zadani	Tpk_zadani	Tpk_zadani	Tpk_zadani	Rozpoznaj	Rozpoznaj	Rozpoznaw
G4K01	Na monitorze (komputer lub laptop) powyżej 15"	0,96031	0,15229	1,80184	3,296	1,908	4,51	2,33569	1,75571	2,70816
G4K02	Oba sposoby są tak samo dobre	-999	0,54259	-999	10,80797	2,62839	1,62891	-999	2,0858	-999
G4K03	Na monitorze (komputer lub laptop) powyżej 15"	9,7279	0,05209	-999	10,26417	1,96618	17,34065	0,53627	1,91409	-999
G4K04	Oba sposoby są tak samo dobre	2,48447	1,11617	-999	3,631	1,55246	1,42766	1,14653	0,43629	-999
G4K05	Na monitorze (komputer lub laptop) powyżej 15"	0,76385	0,12112	-999	1,5981	1,35956	1,15558	0,83425	1,23844	-999
G4K06	Oba sposoby są tak samo dobre	-999	-999	-999	5,07502	1,17973	1,69917	-999	-999	-999
G4K07	Na smartfonie	8,09067	0,08338	0,37054	10,65382	0,61853	32,18655	2,56295	0,53515	31,81601
G4K08	Oba sposoby są tak samo dobre	23,24027	0,0786	0,20611	38,52225	2,68028	1,1428	15,28198	2,60168	0,93669
G4K09	Na monitorze (komputer lub laptop) powyżej 15"	1,29194	0	4,31971	8,66308	8,71992	13,77808	7,37114	8,71992	9,45837
G4K10	Na smartfonie	12,80382	0	0,18322	32,60451	2,69792	1,74307	19,80069	2,69792	1,55985
G4K11	Oba sposoby są tak samo dobre	-999	9,28156	27,83376	32,38281	10,25293	31,42637	-999	0,97137	3,59261
G4K12	Na monitorze (komputer lub laptop) powyżej 15"	9,4604	0,07651	-999	11,78551	4,51784	4,79272	2,32511	4,44133	-999
G4K13	Na smartfonie	2,2278	1,14594	8,49139	4,31092	1,85666	9,63718	2,08312	0,71072	1,14579
G4K14	Na smartfonie	8,04007	8,00038	2,1037	29,90872	33,51212	4,52092	21,86865	25,51174	2,41722
G4K15	Oba sposoby są tak samo dobre	10,83419	0,21346	-999	14,31238	2,71882	3,74191	3,47819	2,50536	-999
G4K16	Oba sposoby są tak samo dobre	8,27085	0	-999	9,65028	0,22149	0,9795	1,37943	0,22149	-999
G4K17	Na monitorze (komputer lub laptop) powyżej 15"	15,49305	2,85513	8,21794	17,78745	6,79773	9,02738	2,2944	3,9426	0,80944
G4K18	Na smartfonie	5,73554	0,301	3,28962	6,51344	0,7868	3,77664	0,7779	0,4858	0,48702
G4K19	Na monitorze (komputer lub laptop) powyżej 15"	-999	0,3734	-999	4,56289	1,40397	0,97896	-999	1,03057	-999
G6K00	Na monitorze (komputer lub laptop) powyżej 15"	-999	0	0,29332	7,49769	5,32368	5,68846	-999	5,32368	5,39514
G6K01	Oba sposoby są tak samo dobre	3,33751	0,51993	1,65711	3,90013	1,4168	2,53823	0,56262	0,89687	0,88112
G6K02	Na smartfonie	12,23015	0	-999	27,40172	1,87253	0,94311	15,17157	1,87253	-999
G6K03	Oba sposoby są tak samo dobre	12,83382	0	0,71389	14,53102	6,80784	6,53679	1,6972	6,80784	5,8229
G6K04	Na smartfonie	1,5583	0,09626	-999	2,8009	0,49254	0,51422	1,2426	0,39628	-999
G6K05	Oba sposoby są tak samo dobre	6,5094	0	-999	7,03888	0,27658	2,86969	0,52948	0,27658	-999
G6K06	Oba sposoby są tak samo dobre	-999	0,01238	-999	9,76001	0,57402	4,85708	-999	0,56164	-999
G6K07	Na smartfonie	-999	4,32977	0,53986	5,59504	5,95884	2,3362	-999	1,62907	1,79634
G6K08	Oba sposoby są tak samo dobre	5,06484	0	2,5487	5,94269	0,2097	4,28642	0,87785	0,2097	1,73772
G6K09	Na smartfonie	-999	0	0,61761	18,42275	0,84167	23,92598	-999	0,84167	23,30837
G6K10	Na monitorze (komputer lub laptop) powyżej 15"	25,1624	0,18566	-999	26,38658	2,32795	3,12316	1,22418	2,14229	-999
G6K11	Na smartfonie	8,41784	0	0	13,6272	1,50333	0,70319	5,20936	1,50333	0,70319
G6K12	Na monitorze (komputer lub laptop) powyżej 15"	7,84002	5,57006	2,36018	13,70349	9,16127	4,07071	5,86347	3,59121	1,71053
G6K13	Oba sposoby są tak samo dobre	15,90734	0	7,29009	31,19614	1,77733	9,12785	15,2888	1,77733	1,83776
G6K14	Na smartfonie	13,21751	0	8,5636	41,26705	8,39743	9,77383	28,04954	8,39743	1,21023
G6K15	Oba sposoby są tak samo dobre	-999	-999	-999	15,20878	1,10683	2,90971	-999	-999	-999
G6K16	Na monitorze (komputer lub laptop) powyżej 15"	5,10375	0	-999	9,18365	2,50172	1,99153	4,0799	2,50172	-999
G6K17	Na smartfonie	14,65029	4,89779	-999	14,17715	6,17581	1,32766	-999	1,27802	-999

Ryc. 36. Wyniki parametrów czasowych oraz odpowiedzi na pytanie 4 (Q4)

### 6.4. Etap analizy wyników i formułowania wniosków

Etap analizy wyników składał się z kilku kroków, których celem było sformułowanie wniosków na temat efektywności responsywnej mapy internetowej, a także graficznego interfejsu użytkownika. Równie istotne było opracowanie rekomendacji dotyczących efektywnego i nastawionego na użytkownika projektowania na map internetowych na monitor komputera stacjonarnego oraz na wyświetlacz smartfona. Pierwszym krokiem do tego celu było wyliczenie średnich wartości dla parametrów ruchu gałki ocnej na podstawie wszystkich nagrań użytkowników na monitorze komputera stacjonarnego oraz smartfonie. Następnie przedstawiono obliczenia średnich wartości współczynnika efektywności GUI na podstawie parametrów czasowych. Kolejnym krokiem było wykonanie cztero-poziomowego testu korelacji wartościami czasowymi ruchu gałki ocnej oraz odpowiedziami ankietowymi oraz czasem rozwiązania zadania. Trzecim krokiem było wykonanie testu zmienności w grupach. Czwartym krokiem była analiza ścieżek patrzenia na monitorze komputera stacjonarnego oraz smartfonie. Ostatnie kroki zakładały zestawienie map internetowych w kontekście

współczynnika efektywności, proponowane rekomendacje do projektowania responsywnego (na monitor i smartfon) i ostatecznie przedstawiono dyskusję z dotychczasowymi badaniami naukowymi.

### 6.4.1 Analiza statystyczna wyników badań

#### 6.4.1.1 Wyliczenie wartości średnich parametrów czasowych

Do udziału w badaniach ankietowych zaproszono studentów od I do IV roku studiów inżynierskich na kierunku Geodezja i Kartografia na Wydziale Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Łączna liczba respondentów wyniosła 240 osób w tym 154 mężczyzn (64%) oraz 86 kobiet (36%). Ponad połowa badanych (51,66%) w trakcie badania deklarował swój wiek w przedziale 18-21 lat, 42,92% w przedziale 22-25 lat natomiast 5,42% powyżej 26 roku życia.

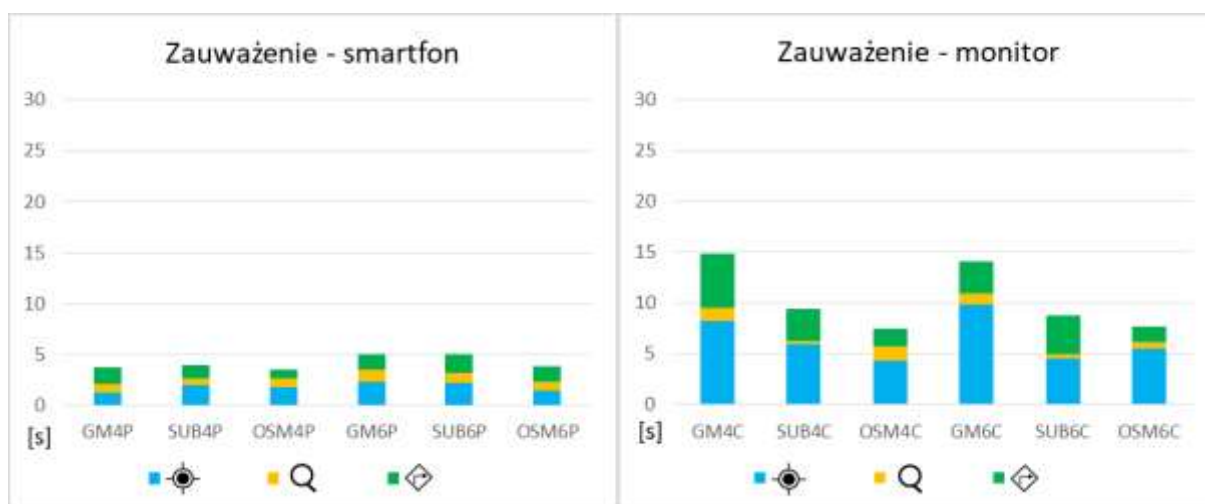
Wszystkie zadania zostały wykonane poprawnie a uzyskane parametry czasu do pierwszej fiksacji oraz czas do pierwszego kliknięcia w obszarze AOI dla zadań 1-3 posłużyły przy wyliczeniu średnich czasów identyfikacji przycisku w zadania. Czas do pierwszej fiksacji oznacza czas zauważenia. Czas ten określa w którym momencie uczestnik badania zauważył dany przycisk. Czas do pierwszego kliknięcia na przycisk (obszar AOI) oznacza czas rozwiązania zadania. Różnica pomiędzy czasem zauważenia a czasem rozwiązania opisana jest jako czas identyfikacji. Parametr ten określa ile czasu potrzebował uczestnik badania od momentu zauważenia przycisku do jego prawidłowego kliknięcia w poszczególnych zadaniach. Określony jest jako różnica pomiędzy czasem do pierwszego kliknięcia (rozwiązanie zadania), a czasem do pierwszej fiksacji (zauważenie przycisku).

Średni czas zauważenia przycisku geolokalizacji w zadaniu 1 na monitorze komputera stacjonarnego okazał się najkrótszy podczas korzystania z układu OpenStreetMap z czterema przyciskami (OSM4) – 4,27 s, natomiast najdłuższy podczas korzystania z układu Google Maps z sześcioma przyciskami (GM6) – 9,89 s. Dla zadania 1 rozwiązywanego na smartfonie najkrótszy średni czas zauważenia przycisku geolokalizacji okazał się dla układu Google Maps z czterema przyciskami (GM4) – 1,25 s, a najdłuższy dla układu subiektywnego z sześcioma przyciskami (SUB6) – 2,22 s.

W zadaniu 2 średni czas zauważenia przycisku wyszukaj na monitorze komputera stacjonarnego najkrótszy był dla układu subiektywnego z czterema przyciskami (SUB4) – 0,34 s, natomiast najdłuższy był dla układu OpenStreetMap z czterema przyciskami (OSM4) – 1,42

s. Na smartfonie średni czas zauważenia przycisku wyszukaj najkrótszy był dla układu subiektywnego z czterema przyciskami (SUB4) – 0,66 s, a najdłuższy był dla układu Google Maps z sześcioma przyciskami (GM6) – 1,16 s.

W zadaniu 3 najkrótszy średni czas zauważenia przycisku wyznacz trasę był dla układu subiektywnego z sześcioma przyciskami (SUB6) - 1,5 s, natomiast najdłuższy był dla układu Google Maps z czterema przyciskami (GM4) – 5,26 s. Średni czas zauważenia przycisku wyznacz trasę na smartfonie najkrótszy okazał się podczas rozwiązywania zadania 3 dla układu OpenStreetMap z czterema przyciskami (OSM4) – 0,93 s, natomiast najdłuższy okazał się dla układu Google Maps z czterema przyciskami (GM4) – 1,68 s. Zbiorcze zestawienie średnich czasów zauważenia przycisków geolokalizacji, wyszukaj oraz wyznacz trasę dla zadań 1-3 można zaobserwować na rycinie 37.



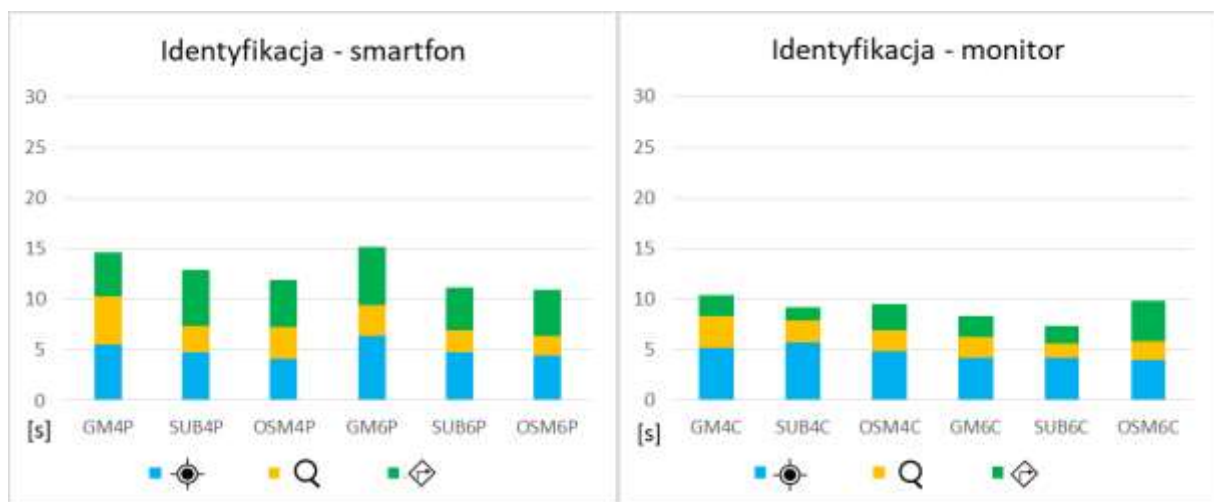
**Ryc. 37 Zbiorcze zestawienie średnich czasów zauważenia przycisków geolokalizacji (niebieski), wyszukaj (żółty) oraz wyznacz trasę (zielony)**

Średni czas identyfikacji przycisku geolokalizacji na monitorze komputera stacjonarnego podczas rozwiązywania zadania 1 okazał się najkrótszy dla układu Google Maps z sześcioma przyciskami (GM6) – 4,15 s, natomiast najdłuższy był dla układu subiektywnego z czterema przyciskami (SUB4) – 5,72 s. Na smartfonie w zadaniu 1 najkrótszy średni czas identyfikacji przycisku geolokalizacji okazał się dla układu Google Maps z czterema przyciskami (OSM4) – 4,16 s, a najdłuższy dla układu Google Maps z sześcioma przyciskami (GM6) – 6,36 s.

W zadaniu 2 na monitorze komputera stacjonarnego najkrótszy średni czas identyfikacji przycisku wyszukaj był dla układu subiektywnego z sześcioma przyciskami (SUB6) – 1,41 s, natomiast najdłuższy okazał się dla układu Google Maps z czterema przyciskami (GM4) – 3,17

s. Średni czas identyfikacji przycisku wyszukać w zadaniu drugim na smartfonie okazał się najkrótszy dla układu OpenStreetMap z sześcioma przyciskami (OSM6), a najdłuższy dla układu Google Maps z czterema przyciskami (GM4) – 4,77 s.

W zadaniu 3 na monitorze komputera stacjonarnego średni czas identyfikacji przycisku wyznaczyć trasę okazał się najkrótszy dla układu subiektywnego z czterema przyciskami (SUB4) – 1,33 s, a najdłuższy dla układu OpenStreetMap z sześcioma przyciskami (OSM6) - 3,94 s. Średni czas identyfikacji przycisku wyznaczyć trasę w zadaniu 3 na smartfonie najkrótszy był dla układu Google Maps z czterema przyciskami (GM4) – 4,25 s, natomiast najdłuższy okazał się dla układu Google Maps z sześcioma przyciskami (GM6) – 5,74 s. Zbiorcze zestawienie średnich czasów identyfikacji przycisków geolokalizacji, wyszukaj oraz wyznaczyć trasę dla zadań 1-3 można zaobserwować na rycinie 38.



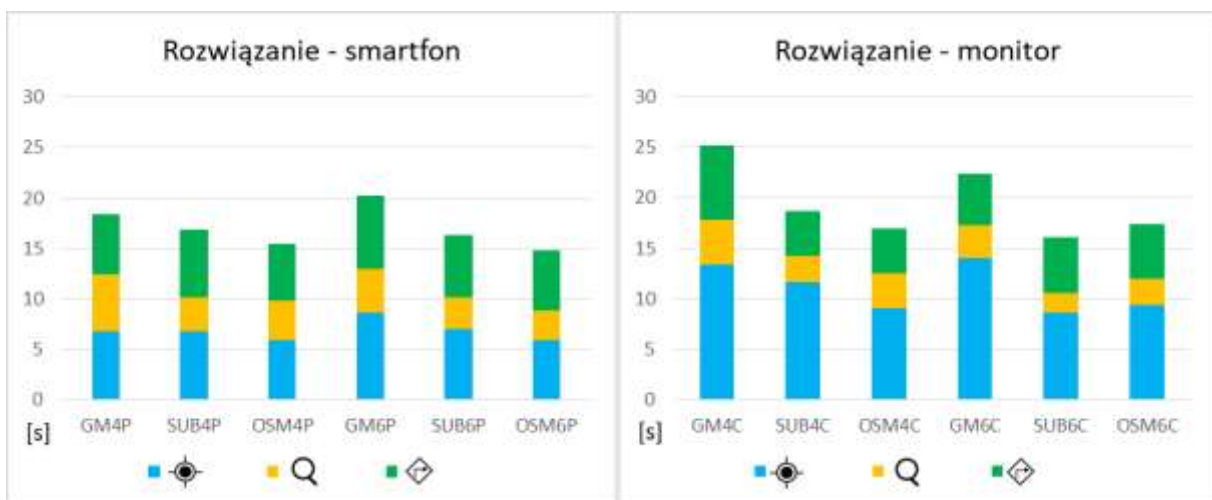
Ryc. 38 Zbiorcze zestawienie średnich czasów identyfikacji przycisków geolokalizacji (niebieski), wyszukaj (żółty) oraz wyznaczyć trasę (zielony)

Średni czas rozwiązania zadania 1 na monitorze komputera stacjonarnego okazał się najkrótszy dla układu subiektywnego z sześcioma przyciskami (SUB6) – 8,65 s, a najdłuższy dla układu Google Maps z sześcioma przyciskami (GM6) – 14,03 s. Natomiast na smartfonie najkrótszy średni czas rozwiązania zadania 1 był dla układu OpenStreetMap z sześcioma przyciskami (OSM6) – 5,88 s, a najdłuższy był dla układu Google Maps z sześcioma przyciskami (GM6) – 8,67 s.

W zadaniu 2 na monitorze komputera stacjonarnego najkrótszy średni czas rozwiązania był dla układu subiektywnego z sześcioma przyciskami (SUB6) – 1,89 s, natomiast najdłuższy był dla układu Google Maps z czterema przyciskami (GM4) – 4,46 s. Na smartfonie średni czas rozwiązania zadania 2 najkrótszy był dla układu OpenStreetMap z sześcioma przyciskami

(OSM6) – 2,93 s, a najdłuższy był dla układu Google Maps z czterema przyciskami (GM4) – 5,6 s.

Na monitorze komputera stacjonarnego najkrótszy czas rozwiązania zadania 3 okazał się dla układu OpenStreetMap z czterema przyciskami (OSM4) – 4,44 s, a najdłuższy dla narożnikowego z czterema przyciskami (GM4) – 7,37 s. Na smartfonie średni czas rozwiązania zadania 3 najkrótszy był dla układu górnego prawostronnego z czterema przyciskami (OSM4) – 5,59 s, natomiast najdłuższy był dla układu narożnikowego z sześcioma przyciskami (GM6) – 7,35 s. Zbiorcze zestawienie średnich czasów rozwiązania zadań 1-3 można zaobserwować na rycinie 39.



**Ryc. 39** Zbiorcze zestawienie średnich czasów rozwiązania zadań 1-3 - geolokalizacja (niebieski), wyszukaj (żółty) oraz wyznacz trasę (zielony)

Następnie autor wyliczył współczynnik efektywności graficznego interfejsu użytkownika. Jak w przypadku Wielebskiego (2015) współczynnik (miernik) efektywności ma za zadanie określić liczbowo, który z zaproponowanych układów rozmieszczenia przycisków mapy internetowej jest najlepszy. W niniejszych badaniach każdy z badanych uczestników odpowiedział poprawnie na każde z 3 pytań, dlatego poprawność odpowiedzi nie będzie brana pod uwagę przy wyliczaniu współczynnika. Autor spróbował powiązać ze sobą 3 wcześniej wyliczone średnie miary tj.: czas zauważenia, identyfikacji i rozwiązania zadania. Zaproponował on na ich podstawie wzór określający zależność pomiędzy analizowanymi czasami.

$$We = (t_z / t_i) / t_r \quad [1/s]$$

We – współczynnik efektywności

$t_z$  – czas zauważenia

$t_i$  – czas identyfikacji

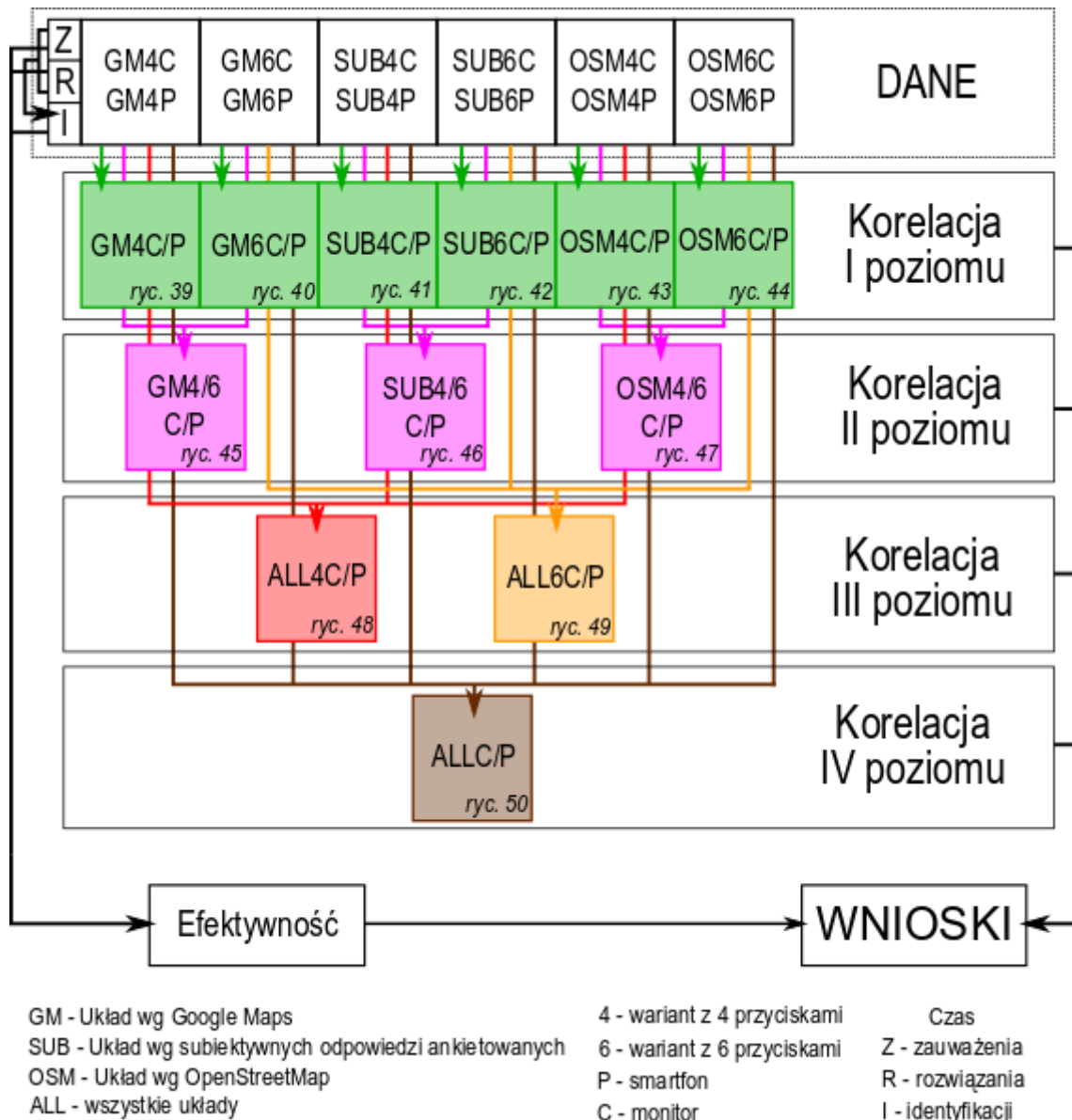
$t_r$  – czas rozwiązania zadania

**Wzór na współczynnik efektywności GUI**

#### **6.4.1.2 Czteropoziomowy test korelacji**

Autor niniejszej rozprawy doktorskiej na potrzebę analizy dalszych wyników przeprowadził test normalności danych przed podjęciem dalszych kroków. Na podstawie tego testu wyszło, iż dane nie posiadają rozkładu normalnego i zdecydował się w dalszych krokach wykorzystać testy dla danych nieparametrycznych.

Następnie stworzył autorski schemat korelacji danych liczbowych (wynikowych) z odpowiedziami ankietowanych (pytania od Q4-Q11). Dane wejściowe stanowią czas zauważenia, identyfikacji oraz rozwiązania zadania uzyskiwany przez respondentów na poszczególnych układach map internetowych. Pierwszym poziomem korelacji jest sprawdzenie czy istnieją zależności pomiędzy parametrami czasowymi a odpowiedziami na pytania ankietowe (Q4-Q11) dla każdego układu osobno. Następnie autor łączy w grupy rodzaje układów bez uwzględniania różnic w liczbie przycisków (drugi poziom korelacji). Kolejno sprawdza czy istnieją zależność pomiędzy parametrami czasowymi a odpowiedziami na pytania ankietowe dla układów z tą samą liczbą przycisków bez znaczenia który to jest układ (trzeci poziom korelacji). Na czwartym poziomie sprawdza wszystkie przypadki razem. Kolejno przechodząc przez poszczególne poziomy następuje uogólnienie analizowanych danych (Ryc. 40).

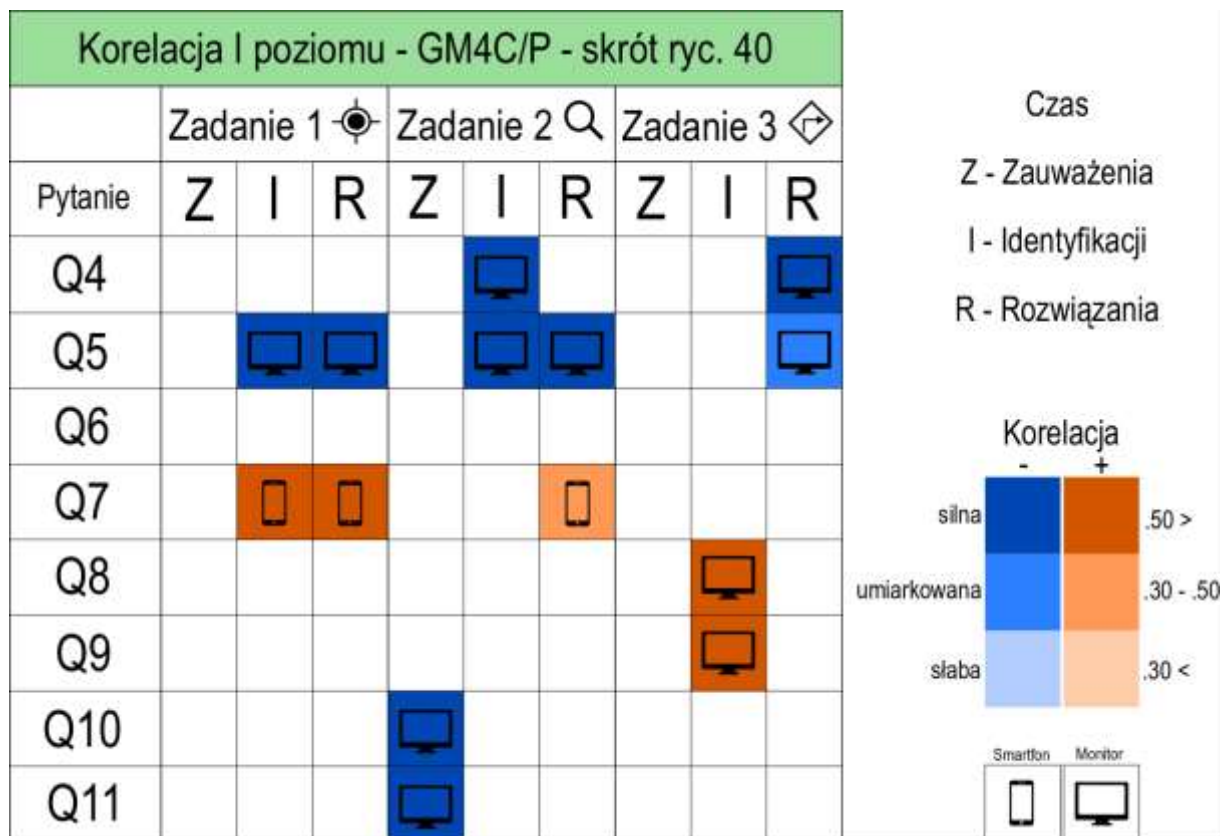


**Ryc. 40. Czteropoziomowy schemat korelacji otrzymanych wyników liczbowych z odpowiedziami ankietowanych**

Na początku autor przeprowadził test korelacji (I poziomu) dla poszczególnych wariantów map internetowych (monitor komputera stacjonarnego oraz smartfon). Test korelacji odbył w programie R x64 3.4.3. Na potrzebę testu wykorzystano pakiet Rcmdr. Bazując na literaturze przedmiotu omówionej w rozdziale 2.5 posłużono się dwukierunkowym współczynnikiem rho Spearmana ze względu na nieparametryczny rozkład danych. Dla poszczególnych odpowiedzi ankietowanych ustalono wartości liczbowe np. pytanie 4 odpowiedź – nie korzystam otrzymało wartość 0, a korzystam codziennie wartość 3. Podzielono korelację na trzy przedziały: silna powyżej 0.5, umiarkowana pomiędzy 0.3 a 0.5 oraz słaba poniżej 0.3 (Cohen, 1988). Przedstawiono tylko te wyniki, które są istotne statycznie ( $p < 0.05$ ).

**Korelacja I poziomu** dla wariantu układu Google Maps dla czterech przycisków na monitorze komputera stacjonarnego oraz smartfonie wykazała kilka pozytywnych i negatywnych korelacji (Ryc. 41). Korelacja ujemna czyli wartości czasowe maleją przy jednoczesnym wzroście wartości przypisanym odpowiedziom ankietowanych. O korelacji dodatniej mówimy wtedy, gdy obie wartości jednocześnie rosną. W przypadku niniejszej rozprawy doktorskiej pożądaną korelacją jest korelacja ujemna, która wpływa pozytywnie na współczynnik efektywności badanych wariantów układów rozmieszczenia przycisków. Silna korelacja ujemna zaobserwować można między częstością korzystania z Google Maps na monitorze komputera stacjonarnego a identyfikacją przycisku wyszukaj w zadaniu 2 ( $p = 0.02801$ ,  $r$  (współczynnik korelacji) =  $-0.5033997$ ) oraz rozwiązaniem zadania 3 ( $p = 0.01425$ ,  $r = -0.5387539$ ). Również silna korelacja ujemna widoczna jest w pytaniu Q5 dotyczącym częstości korzystania przez ankietowanych z Google Maps na smartfonach. Fakt ten wpływa na: szybszą identyfikację szukanego przycisku geolokalizacji w zadaniu 1 ( $p = 0.01282$ ,  $r = -0.6060705$ ), przycisku wyszukaj w zadaniu 2 ( $p = 0.0005978$ ,  $r = -0.7138538$ ), czas rozwiązania zadania 1 ( $p = 0.02388$ ,  $r = -0.50927078$ ), zadania 2 ( $p = 0.00001071$ ,  $r = -0.8176272$ ) oraz umiarkowaną korelację dla zadania 3 ( $p = 0.02611$ ,  $r = -0.4960604$ ) na monitorze komputera stacjonarnego.

Silną korelację dodatnią obserwujemy dla identyfikacji przycisku geolokalizacji w zdaniu 1 ( $p = 0.02215$ ,  $r = 0.5349941$ ) oraz czasu rozwiązania zadania 1 ( $p = 0.0002208$ ,  $r = 0.7352972$ ) i umiarkowaną korelację dla rozwiązania zadania 2 ( $p = 0.04642$ ,  $r = 0.4501377$ ) na smartfonie. Korelacje te wynikają z częstość korzystania z mapy internetowej OpenStreetMap na smartfonie. W identyfikacji przycisku w zdaniu 3 na monitorze ( $p = 0.02073$ ,  $r = 0.6822423$ ) oraz na smartfonie ( $p = 0.0173$ ,  $r = 0.6963106$ ) nie pomaga znajomość innych map internetowych. Pozytywna opinia w pytaniu 10 (dotycząca rozmieszczenia przycisków) i 11 (dotycząca zaprojektowanej grafiki) warunkowała krótszy czas (korelacja silna ujemna) zauważania przycisku wyznacz trasę w zadaniu 2 (Q10:  $p = 0.002918$ ,  $r = -0.6440906$ , Q11:  $p = 0.02151$ ,  $r = -0.5232462$ ).

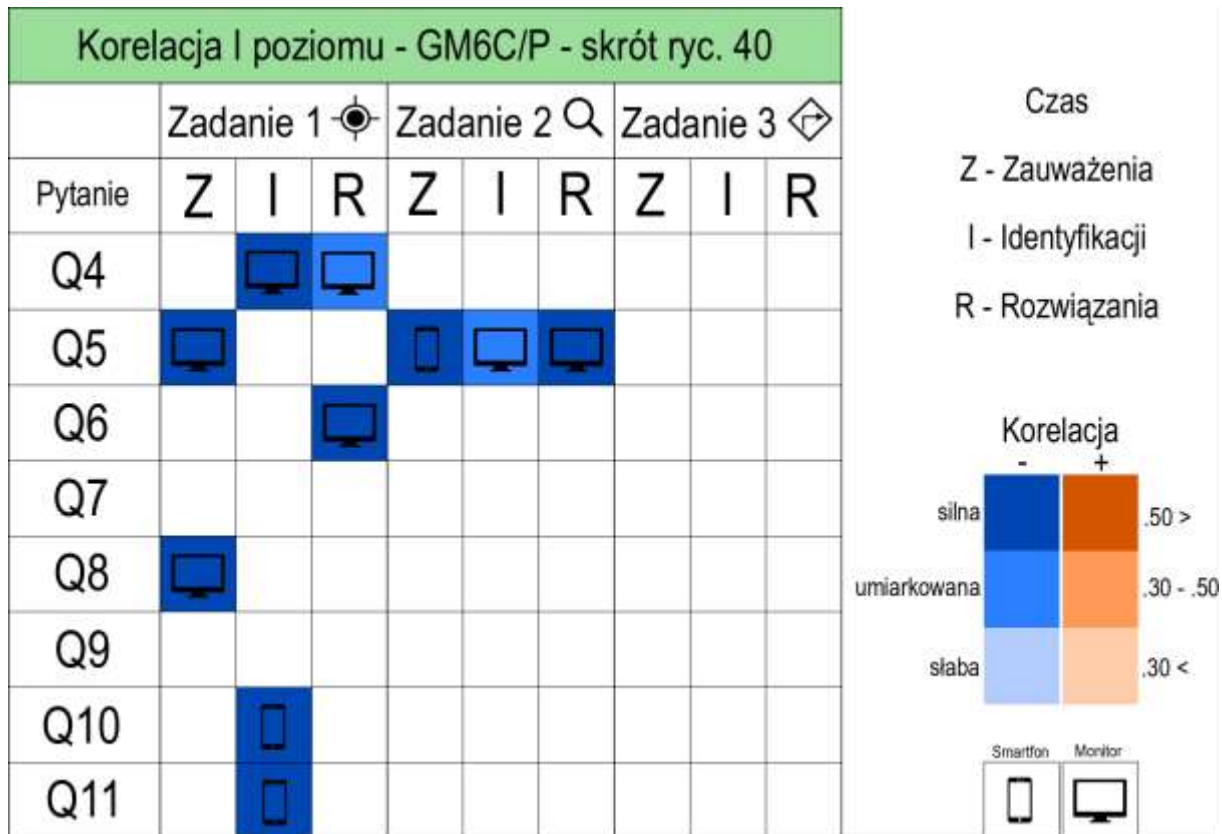


**Ryc. 41** Tabela korelacji I poziomu dla układu Google Maps (cztery przyciski – monitor komputera stacjonarnego i smartfon)

Wariant mapy internetowej dla układu narożnikowego (wg Google Maps) z sześcioma przyciskami na monitorze komputera stacjonarnego i smartfonie również wykazał kilka istotnie statystycznych korelacji I poziomu pomiędzy wynikami czasowymi a odpowiedziami ankietowanych (Ryc. 42). Największą uwagę należy zwrócić na fakt wpływu częstości korzystania z Google Maps na komputerze i identyfikacji przycisku geolokalizacji ( $p = 0.001019$ ,  $r = -0.7792573$  – korelacja silna) oraz czas rozwiązania zadania 1 ( $p = 0.03609$ ,  $r = -0.470951$  - korelacja umiarkowana) na monitorze. Subiektywna deklaracja użytkowników posługujących się często mapą internetową Google Maps na smartfonie ujemnie korelowała z zauważaniem przycisku geolokalizacji na monitorze ( $p = 0.01139$ ,  $r = -0.6527191$  – silna korelacja) i przycisku wyszukaj na smartfonie ( $p = 0.005161$ ,  $r = -0.7237531$  – silna korelacja) oraz szybkością identyfikacji ( $p = 0.03056$ ,  $r = -0.4965808$  – umiarkowana korelacja) i czasem rozwiązywania zadania 2 ( $p = 0.004421$ ,  $r = -0.6084046$  – silna korelacja) na komputerze.

Silnie ujemną relację można zauważyć pomiędzy częstością korzystania z OpenStreetMap na komputerze a czasem rozwiązania zadania 1 na monitorze ( $p = 0.01908$ ,  $r = -0.5188339$ ). W przypadku częstości korzystania z innych serwisów mapowych na

monitorze zaobserwować można silną korelację ujemną z czasem zauważania przycisku geolokalizacji w zadaniu 1 ( $p = 0.04242$ ,  $r = -0.5481438$ ). Również silne ujemną korelację można zaobserwować pomiędzy szybkością identyfikacji przycisku z funkcją geolokalizacji na smartfonie i odpowiedziami na pytanie Q10 ( $p = 0.02933$ ,  $r = -0.513369$ ) oraz Q11 ( $p = 0.003741$ ,  $r = -0.6464957$ ).

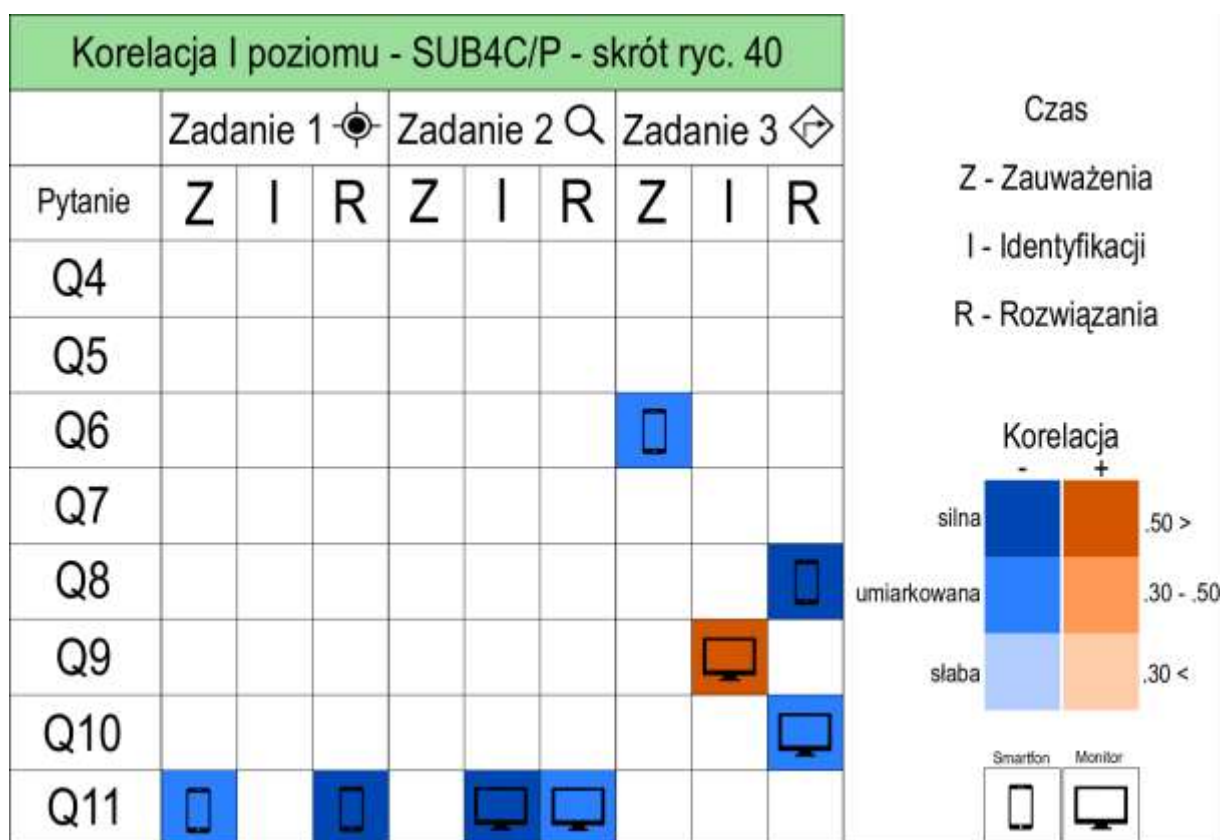


**Ryc. 42 Tabela korelacji I poziomu dla Google Maps (sześć przycisków – monitor komputera stacjonarnego i smartfon)**

Kolejne zależności pomiędzy wynikami badań a odpowiedziami użytkowników w ankietach przeanalizowano dla układ subiektywnego z czterema przyciskami dla monitora komputera stacjonarnego oraz smartfonu (Ryc. 43). Umiarkowanie ujemną zależność można zaobserwować pomiędzy częstością korzystania z OpenStreetMap na komputerze a zauważaniem przycisku wyznacz trasę w zadaniu 3 na smartfonie ( $p = 0.04497$ ,  $r = -0.464775$ ). Silnie ujemny wpływ na czas rozwiązania zadania 3 na smartfonie ma częstość korzystania z innych map internetowych na komputerach ( $p = 0.01869$ ,  $r = 0.520266$ ). Silną dodatnią korelację można zauważyć pomiędzy odpowiedziami na pytanie Q9 dotyczące częstości korzystania z innych map internetowych na smartfonach, a identyfikacją przycisku wyznacz trasę w zadaniu 3 na komputerze ( $p = 0.04554$ ,  $r = 0.5853694$ ). Czas rozwiązania

zadania 3 koreluje również z odpowiedziami na pytanie Q10 ( $p = 0.03645$ ,  $r = -0.470163$  – umiarkowana korelacja) dotyczące subiektywnej oceny układu rozmieszczenie przycisków na którym ankietowany rozwiązywał zadania.

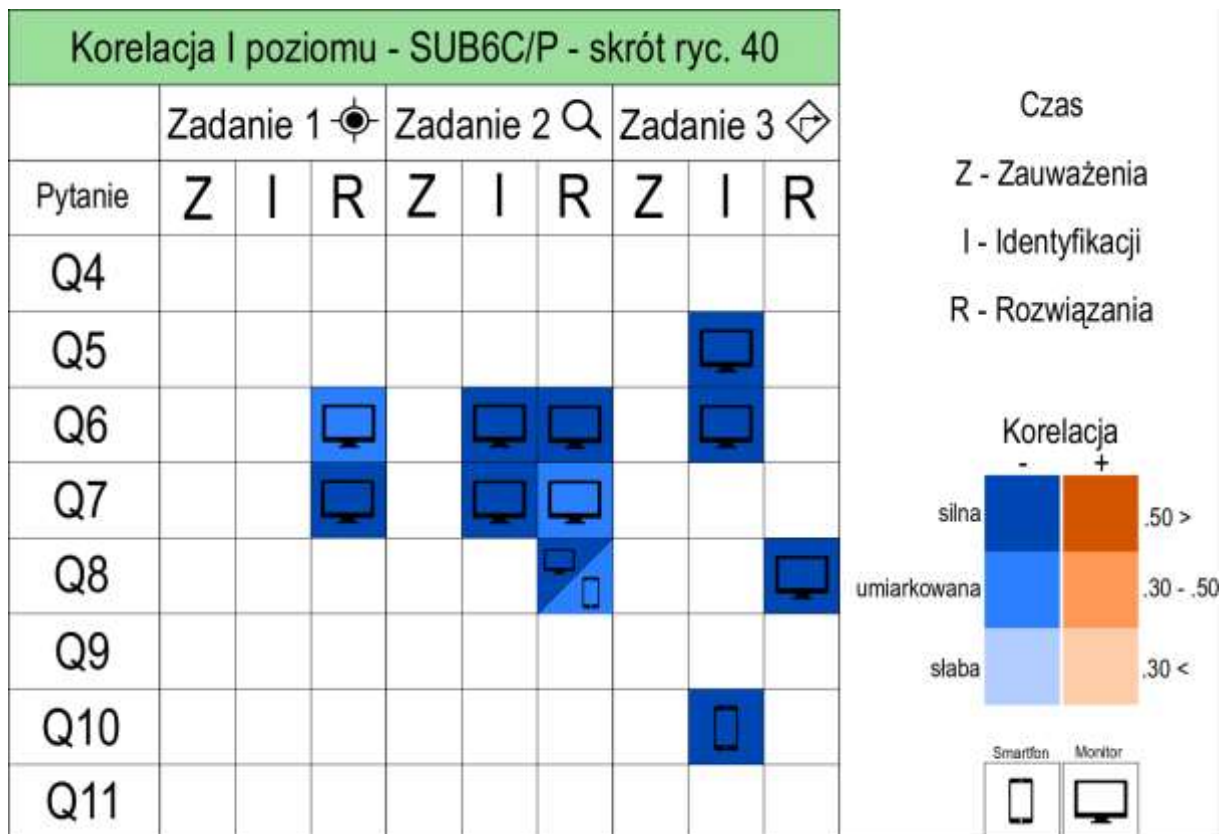
Ujemne zależności można zaobserwować pomiędzy subiektywnie dobrą oceną projektu graficznego przycisków a identyfikacją przycisku wyszukaj ( $p = 0.02016$ ,  $r = -0.5279555$  – korelacja silna) oraz czasem rozwiązania zadania 2 ( $p = 0.03212$ ,  $r = -0.4801962$  – korelacja umiarkowana) na komputerze. Podobną zależność można zauważyć w przypadku zauważania przycisku geolokalizacji ( $p = 0.01813$ ,  $r = -0.494137$  – korelacja umiarkowana) i czasem rozwiązania zadania 1 na smartfonie ( $p = 0.01384$ ,  $r = -0.5406763$  – korelacja silna).



Ryc. 43 Tabela korelacji I poziomu dla układu subiektywnego (cztery przyciski – monitor komputera stacjonarnego i smartfon)

Następnym przypadkiem w analizie korelacji I poziomu było zestawienie wyników ankietowych z czasowymi dla układu subiektywnego z sześcioma przyciskami w wariancie na monitorze komputera stacjonarnego oraz smartfonie (ryc. 44). Silną ujemną korelację ( $p = 0.01408$ ,  $r = -0.5996434$ ) można zaobserwować w przypadku identyfikacji przycisku wyznacz trasę na monitorze, na którą wpływ ma duża częstość korzystania z serwisu Google Maps na smartfonie. Wartość zauważenia prawidłowością jest ujemna korelacja pomiędzy częstością korzystania z OpenStreetMap na komputerze, a czasem rozwiązania zadania 1 ( $p = 0.03654$ ,

$r = -0.4699667$  – korelacja umiarkowana), czasem identyfikacji przycisku wyszukaj ( $p = 0.02627$ ,  $r = -0.5083042$  – korelacja silna) oraz czasem rozwiązania zadania 2 ( $p = 0.003112$ ,  $r = -0.6266223$  – korelacja silna) i identyfikacją przycisku wyznacz trasę w zadaniu 3 ( $p = 0.01257$ ,  $r = -0.6074376$  – korelacja silna) na monitorze. Kolejną ujemną zależność można zauważyć pomiędzy częstością korzystania z OSM na smartfonie i czasem rozwiązania zadania 1 ( $p = 0.005249$ ,  $r = -0.5990867$  – korelacja silna), identyfikacją przycisku wyszukaj ( $p = 0.009266$ ,  $r = -0.5798095$  – korelacja silna) oraz rozwiązaniem zadania 2 ( $p = 0.02511$ ,  $r = -0.498974$  – korelacja umiarkowana) na monitorze. Dla odpowiedzi na pytanie Q8 również można zaobserwować ujemne relacje między czasem rozwiązania zadania 2 na monitorze ( $p = 0.005185$ ,  $r = -0.5997699$  – korelacja silna) i smartfonie ( $p = 0.03494$ ,  $r = -0.4735368$  – korelacja umiarkowana) oraz czasem rozwiązania zadania 3 ( $p = 0.02065$ ,  $r = -0.513236$  – korelacja silna) na monitorze. Dla pytania Q10 w którym uczestnicy oceniali wariant układu rozmieszczenia przycisków wskazać można silną korelację ujemną dla identyfikacji przycisku wyznacz trasę w zadaniu 3 ( $p = 0,01813$ ,  $r = -0.5996826$ ) na smartfonie.

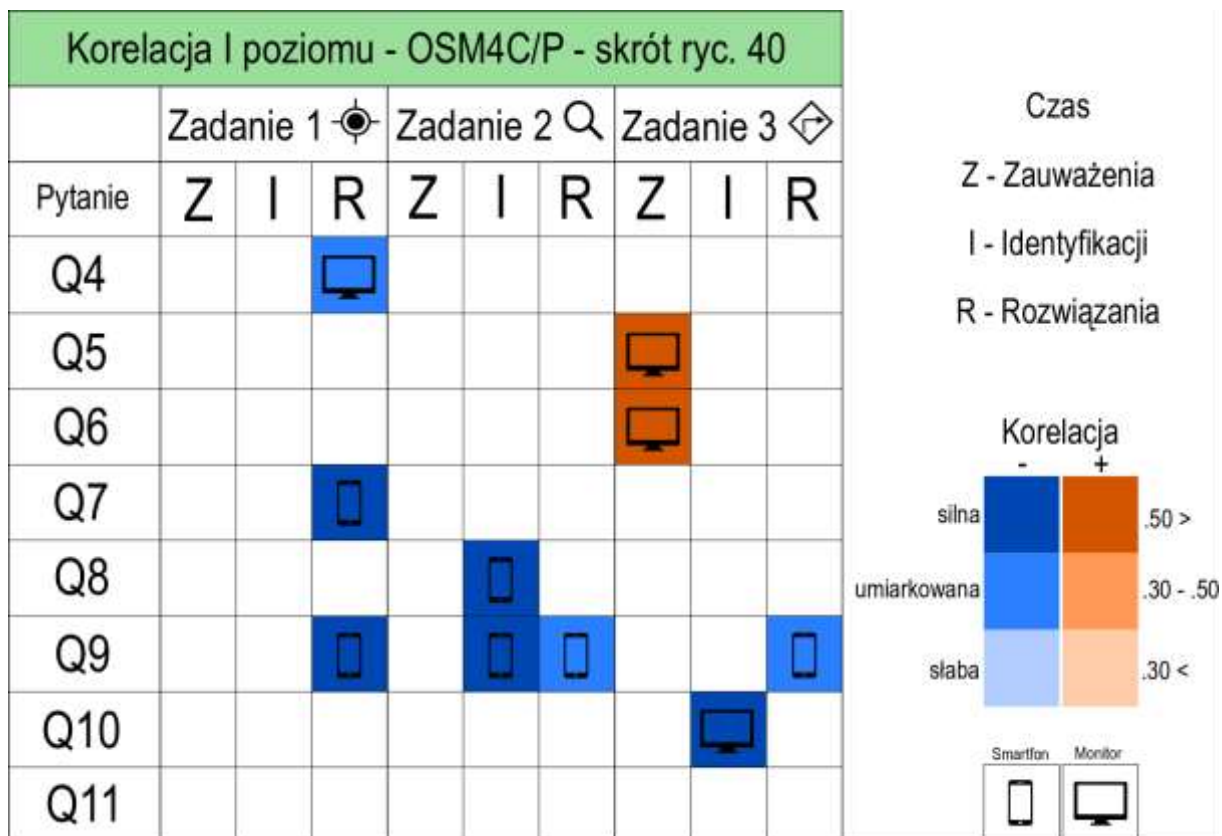


Ryc. 44 Tabela korelacji I poziomu dla układu subiektywnego (sześć przycisków – monitor komputera stacjonarnego i smartfon)

Przedostatnim przypadkiem korelacji I poziomu jest porównanie wariantu układu OpenStreetMap z czterema przyciskami – monitor komputera stacjonarnego i smartfon)

z wynikami badań ankietowych (Ryc. 45). Umiarkowana korelacja ujemna występuje w przypadku czasu rozwiązania zadania 1 na monitorze, a pytaniem Q4 dotyczącym częstości korzystania z Google Maps na komputerze stacjonarnym ( $p = 0.03881$ ,  $r = -0.4772268$ ). Silną dodatnią korelację można zaobserwować w przypadku czasu zauważenia przycisku wyznaczącego trasę w zadaniu 2 na monitorze a pytaniem Q5 i Q6 dotyczącym korzystania z Google Maps na monitorze ( $p = 0.007279$ ,  $r = 0.7839295$ ) i na smartfonie ( $p = 0.03252$ ,  $r = 0.6741999$ ). Kolejna silnie ujemna relacja widoczna jest pomiędzy czasem rozwiązania zadania 1 na smartfonie a pytaniem Q7 dotyczącym częstości korzystania z serwisu OSM na smartfonie ( $p = 0.003859$ ,  $r = -0.6155957$ ). Odpowiedzi na pytanie Q8 również posiadają silną ujemną zależność w tym przypadku z czasem identyfikacji przycisku wyszukaj w zadaniu 2 na smartfonie ( $p = 0.02319$ ,  $r = -0.5315631$ ).

Najwięcej ujemnych korelacji wystąpiło między odpowiedziami na pytanie Q9 a czasem rozwiązania zadania 1 ( $p = 0.01821$ ,  $r = -0.5221046$  – korelacja silna), czasem identyfikacji przycisku wyszukaj ( $p = 0.01011$ ,  $r = -0.5890294$  – korelacja silna), czasem rozwiązania zadania 2 ( $p = 0.04691$ ,  $r = -0.4492528$  – korelacja umiarkowana) oraz czasem rozwiązania zadania 3 ( $p = 0.03494$ ,  $r = -0.4735368$ ) na smartfonie. Subiektywne odpowiedzi dotyczące zaproponowanego wariantu układu rozmieszczenia przycisków silnie ujemnie oddziaływały na identyfikację przycisku wyznaczącego trasę ( $p = 0.03817$ ,  $r = -0.6937819$ ) na monitorze komputera stacjonarnego.

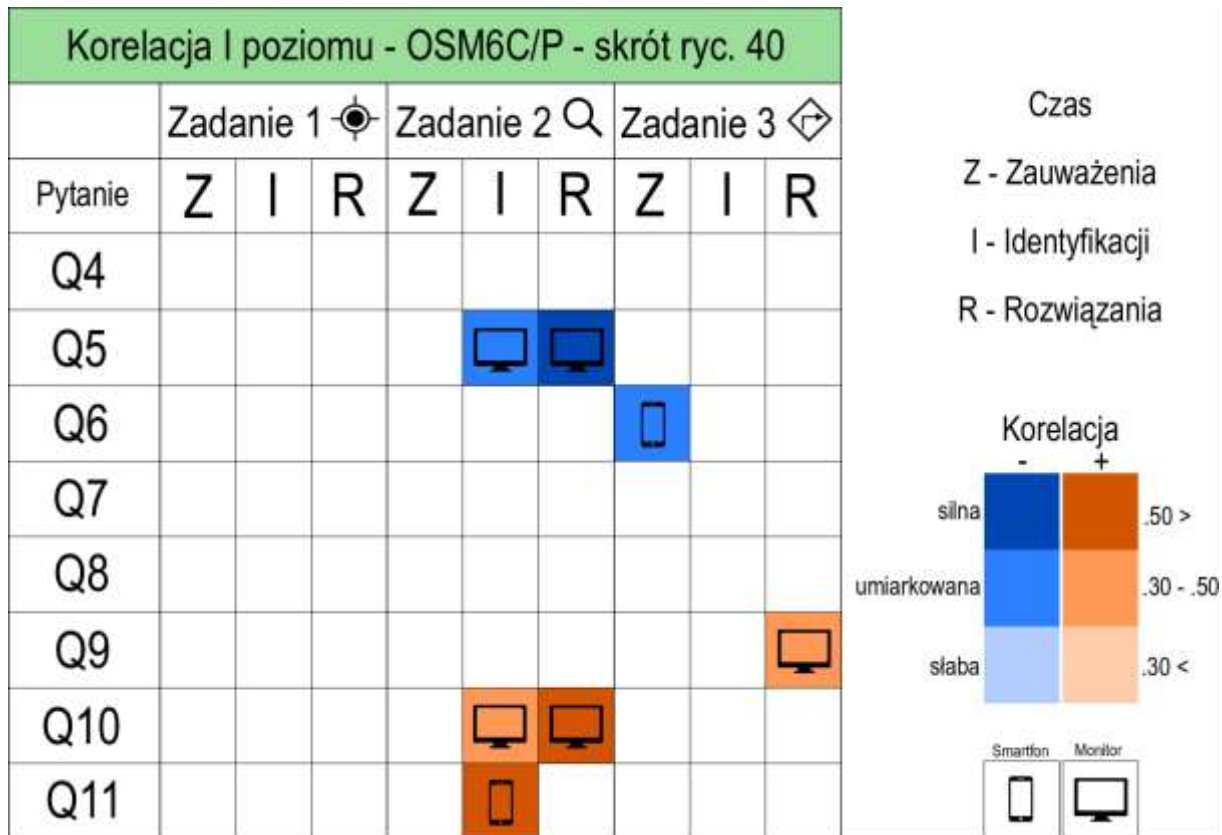


Ryc. 45 Tabela korelacji I poziomu dla układu OpenStreetMap (cztery przyciski – monitor komputera stacjonarnego i smartfon)

Ostatnim rozpatrywanym przypadkiem korelacji I poziomu jest zestawienie odpowiedzi ankietowanych z wynikami czasowymi zadań dla układu górnego prawostronnego z sześcioma przyciskami (monitor komputera stacjonarnego oraz smartfon) (Ryc. 46). Istotną relację jaką można zauważyć jest zależność pomiędzy czasem identyfikacji przycisku wyszukaj ( $p = 0.03094$ ,  $r = -0.495621$ ) oraz czasem rozwiązania zadania 2 ( $p = 0.001054$ ,  $r = -0.6765506$ ) na komputerze a pytaniem Q5 dotyczącym częstości korzystania z Google Maps na smartfonie. Umiarkowanie ujemną korelację zaobserwować można pomiędzy odpowiedziami na pytanie Q6 dotyczące częstości korzystania z OSM na komputerze a czasem zauważenia przycisku wyznacz trasę ( $p = 0.04605$ ,  $r = -0.4896362$ ) na smartfonie.

Większa częstość korzystania z innych serwisów mapowych na smartfonie (Q9) warunkuje dłuższe czasy rozwiązania zadania 3 ( $p = 0.0451$ ,  $r = 0.4525833$ ) na monitorze. W przypadku odpowiedzi na pytanie Q10 zauważyć można dwie korelacje dodatnie. Pierwsza z nich dotyczy czasu identyfikacji przycisku wyszukaj ( $p = 0.0313$ ,  $r = 0.4946838$  – korelacja umiarkowana) a druga czasu rozwiązania zadania 2 ( $p = 0.02087$ ,  $r = 0.5124697$  – korelacja silna) na monitorze komputera stacjonarnego. Pozytywna opinia uczestników dotycząca

projektu graficznego dla przycisków (Q11) użytych w badaniu silnie dodatnio koreluje z czasem identyfikacji przycisku wyszukaj w zadaniu 2 na smartfonie ( $p = 0.02243$ ,  $r = 0.6030262$ ).

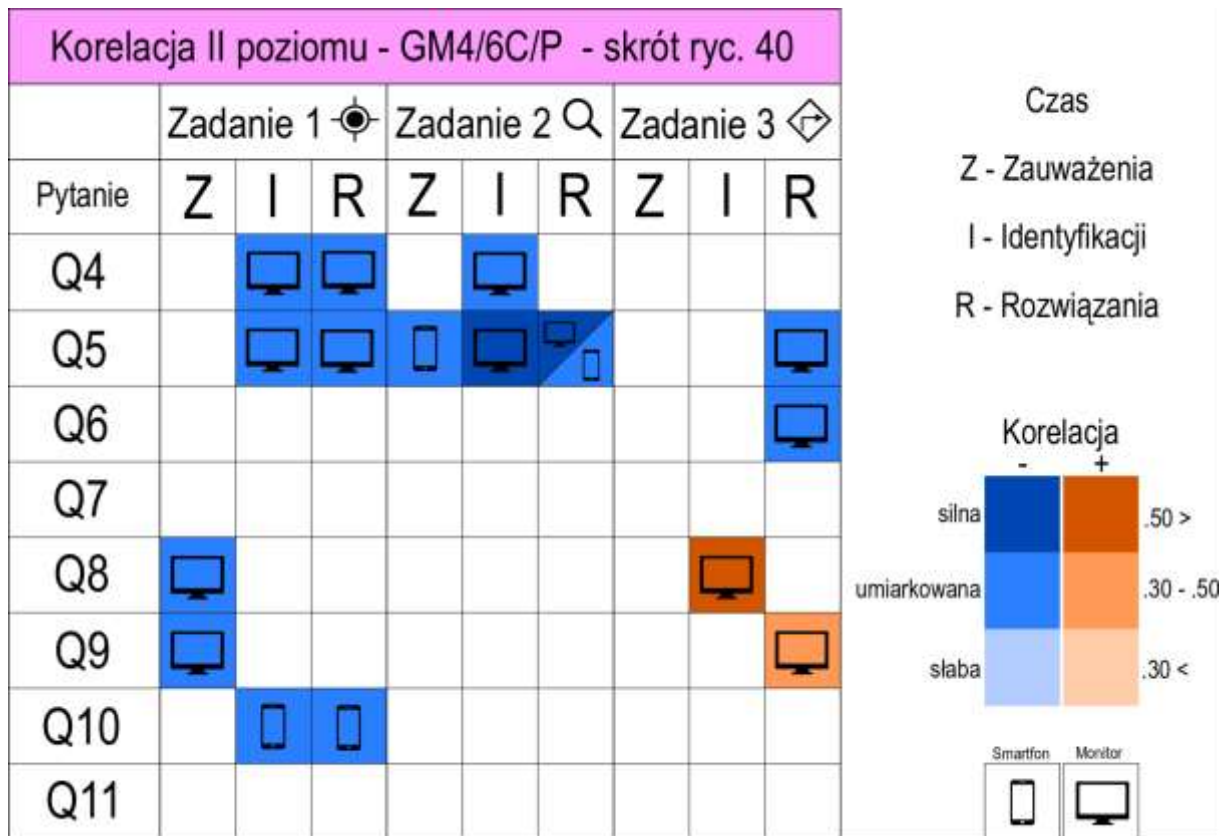


Ryc. 46 Tabela korelacji I poziomu dla układu OpenStreetMap (sześć przycisków – monitor komputera stacjonarnego i smartfon)

**Korelację II poziomu** rozpoczęto od analizy wariantu układu Google Maps dla czterech i sześciu przycisków (monitora komputera stacjonarnego oraz smartfonu) (Ryc. 47). Umiarkowaną korelację można zaobserwować pomiędzy pytaniem Q4 dotyczącym częstości korzystania z serwisu Google Maps na komputerze stacjonarnym a czasem identyfikacji przycisku geolokalizacji ( $p = 0.04588$ ,  $r = -0.3672662$ ), czasem rozwiązania zadania 1 ( $p = 0.00769$ ,  $r = -0.4153782$ ) oraz czasem identyfikacji przycisku wyszukaj ( $p = 0.007081$ ,  $r = -0.4297858$ ) na monitorze. Aż 7 korelacji można zauważyć pomiędzy pytaniem Q5, które dotyczyło częstości korzystania z serwisu Google Maps na smartfonie, a parametrami czasowymi dotyczącymi: identyfikacji przycisku geolokalizacji (monitor:  $p = 0.009288$ ,  $r = -0.4669261$  – korelacja umiarkowana), rozwiązaniem zadania 1 (monitor:  $p = 0.01336$ ,  $r = -0.3880379$  – korelacja umiarkowana), zauważeniem przycisku wyszukaj (smartfon:  $p = 0.01681$ ,  $r = -0.4262075$  – korelacja umiarkowana), identyfikacją przycisku wyszukaj

(komputer:  $p = 0.0000313$ ,  $r = -0.6214325$  – korelacja silna), rozwiązaniem zadania 2 (komputer:  $p = 0.00000002721$ ,  $r = -0.7110556$  – korelacja silna i smartfon:  $p = 0.03972$ ,  $r = -0.326568$  – korelacja umiarkowana) oraz rozwiązaniem zadania 3 (monitor:  $p = 0.00967$ ,  $r = -0.404293$  – korelacja umiarkowana).

Pytanie Q6 również umiarkowanie ujemnie korelowało z czasem rozwiązania zadania 3 ( $p = 0.03668$ ,  $r = -0.3314482$ ) na monitorze komputera stacjonarnego. Następną umiarkowaną korelacją ujemną widoczną jest pomiędzy odpowiedziami na pytanie Q8 dotyczące częstości korzystania z innych map internetowych na komputerze stacjonarnym a czasem zauważenia przycisku geolokalizacji ( $p = 0.01049$ ,  $r = -0.4602291$ ). Odpowiedzi na pytanie Q8 korelowały silnie dodatnio również z czasem identyfikacji przycisku wyznacz trasę ( $p = 0.00991$ ,  $r = 0.5261602$ ) na monitorze. Podobnie jak w przypadku pytania Q8 również pytanie Q9 umiarkowanie ujemnie korelowało z czasem zauważenia przycisku geolokalizacji ( $p = 0.03888$ ,  $r = -0.3790109$ ) na monitorze, ale też umiarkowanie dodatnia pojawiła się korelacja dla rozwiązania zadania 3 ( $p = 0.04988$ ,  $r = 0.3121655$ ) na monitorze. Umiarkowaną ujemną korelację można zauważyć pomiędzy subiektywną pozytywną oceną zaproponowanego układu rozmieszczenia przycisków, a czasem rozwiązania zadania 1 ( $p = 0.0387$ ,  $r = -0.341312$ ) i czasem identyfikacji przycisku geolokalizacji ( $p = 0.01099$ ,  $r = -0.3979608$ ) na smartfonie.

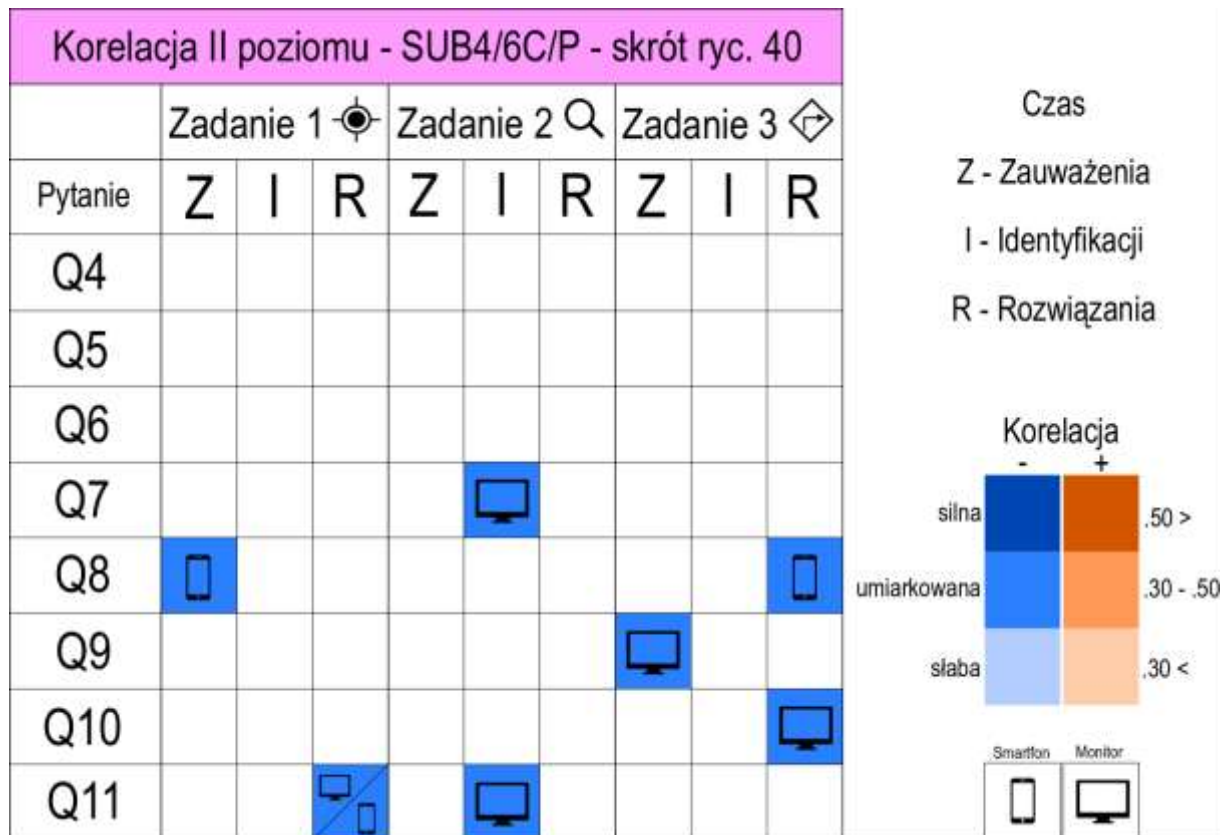


Ryc. 47 Tabela korelacji II poziomu dla układu Google Maps (cztery i sześć przycisków – monitor komputera stacjonarnego i smartfon)

Kolejno sprawdzono czy istnieją jakieś relacje pomiędzy odpowiedziami ankietowymi (Q4-Q11), a połączonymi wynikami czasowymi dla wariantów układu subiektywnego z czterema i sześcioma przyciskami (monitor komputera stacjonarnego i smartfon) (Ryc. 48). W tym przypadku autor zaobserwował tylko 8 takich korelacji i wszystkie były umiarkowanie ujemne. Korelacja wystąpiła pomiędzy odpowiedziami na pytanie Q7 dotyczącymi częstości korzystania z serwisu OpenStreetMap, a czasem identyfikacji przycisku wyszukaj w zadaniu 2 na komputerze ( $p = 0.009147$ ,  $r = -0.4172864$ ).

Kolejna zależność zaobserwować można pomiędzy odpowiedziami na pytanie Q8 i czasem zauważenia przycisku geolokalizacji w zadaniu 1 ( $p = 0.02921$ ,  $r = -0.3587701$ ) oraz czasem rozwiązania zadania 3 ( $p = 0.001965$ ,  $r = -0.4747753$ ) na smartfonie. Odpowiedzi na pytanie Q9 też korelowały w tym przypadku z czasem zauważenia przycisku wyznacz trasę ( $p = 0.01275$ ,  $r = -0.4645821$ ) na monitorze. Natomiast odpowiedzi na pytanie Q10 wykazały zależność z czasem rozwiązania zadania 3 ( $p = 0.03626$ ,  $r = -0.3321508$ ) również na monitorze. Odpowiedzi na pytanie Q11 dotyczące oceny użytych w badaniu ikon korelują się z czasem identyfikacji przycisku wyszukaj ( $p = 0.02492$ ,  $r = -0.363396$ ) oraz czasem rozwiązania zadania

1 na monitorze komputera stacjonarnego ( $p = 0.03763$ ,  $r = -0.3298948$ ) i na smartfonie ( $p = 0.005282$ ,  $r = -0.04327918$ ).

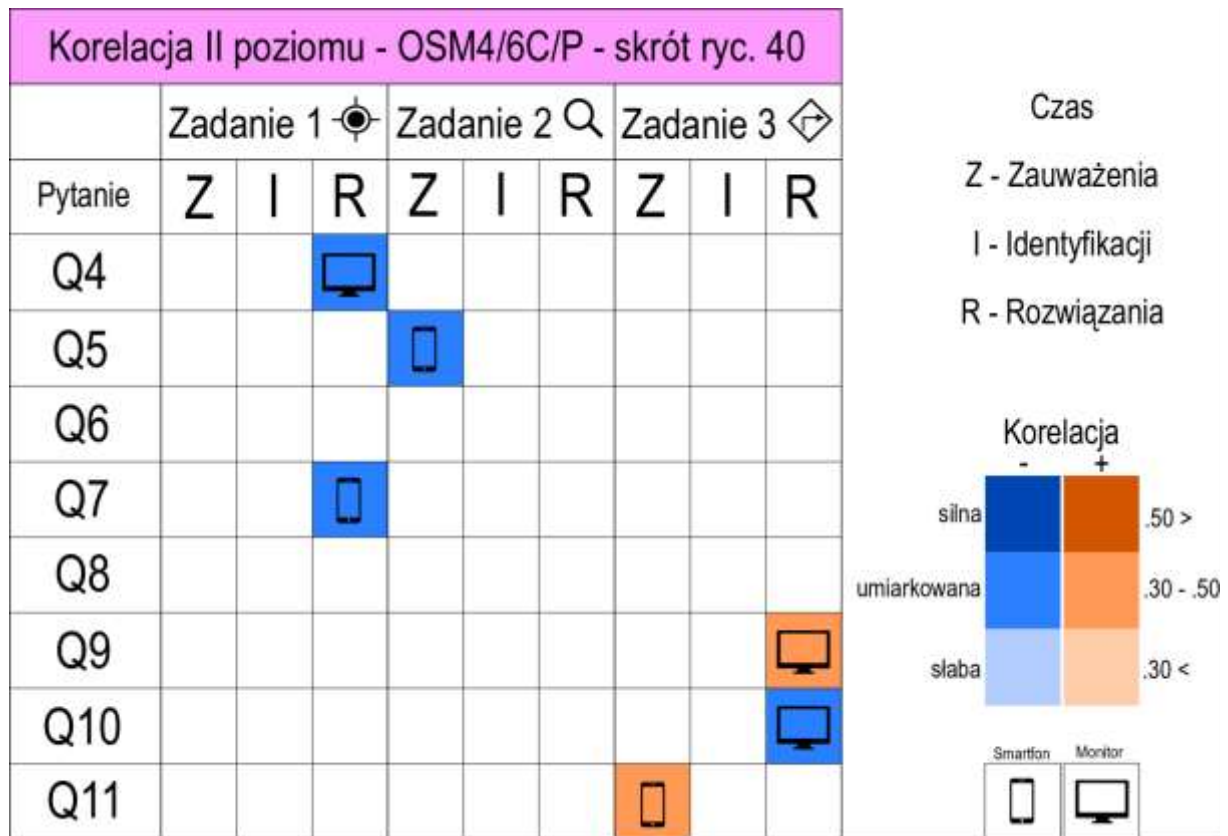


**Ryc. 48** Tabela korelacji II poziomu dla układu subiektywnego (cztery i sześć przycisków – monitor komputera stacjonarnego i smartfon)

Ostatnią korelacją II poziomu jest zestawienie wyników ankietowych dla pytań od Q4 do Q11 z wynikami czasowymi dla wariantu układu OpenStreetMap z czterema i sześcioma przyciskami (monitor komputera stacjonarnego oraz smartfon) (Ryc. 49). Autor zaobserwował jedynie sześć takich korelacji. Wszystkie z nich były istotne statystycznie - cztery z nich były umiarkowanie ujemnie, a dwie umiarkowanie dodatnie. Umiarkowanie ujemną relację pomiędzy danymi można zaobserwować dla odpowiedzi na pytanie Q4 dotyczące częstości korzystania z Google Maps na komputerze, a czasem rozwiązania zadania 1 na monitorze komputera stacjonarnego ( $p = 0.02824$ ,  $r = -0.3514615$ ). Kolejną ujemną korelację można zaobserwować między odpowiedziami na pytanie Q5 a czasem zauważenia przycisku wyszukaj ( $p = 0.03178$ ,  $r = -0.3802999$ ) na smartfonie.

Następną ujemną korelacją można zaobserwować między odpowiedziami na pytanie Q7, dotyczące częstości korzystania z OSM na smartfonie, a czasem rozwiązania zadania 1 również na smartfonie ( $p=0.008774$ ,  $r = -0.4090429$ ). Dla wyników czasowych związanych

z rozwiązaniem zadania 3 na monitorze wystąpiła jedna ujemna korelacja z odpowiedziami na pytanie Q10 ( $p = 0.03395$ ,  $r = -0.3361381$ ), w którym uczestnicy badania oceniali układ przycisków użyty podczas badania. Umiarkowanie dodatnia korelacja wystąpiła między odpowiedziami na pytanie Q9, dotyczące częstości korzystania z innych map internetowych na smartfonie, a czasem rozwiązania zadania 3 na komputerze ( $p = 0.02891$ ,  $r = 0.3456678$ ). Umiarkowanie dodatnią korelację można również zaobserwować pomiędzy czasem zauważania przycisku wyznacz trasę na smartfonie, a odpowiedziami na pytanie Q11 dotyczące oceny przez uczestników projektu ikon ( $p = 0.03338$ ,  $r = 0.3770756$ ).

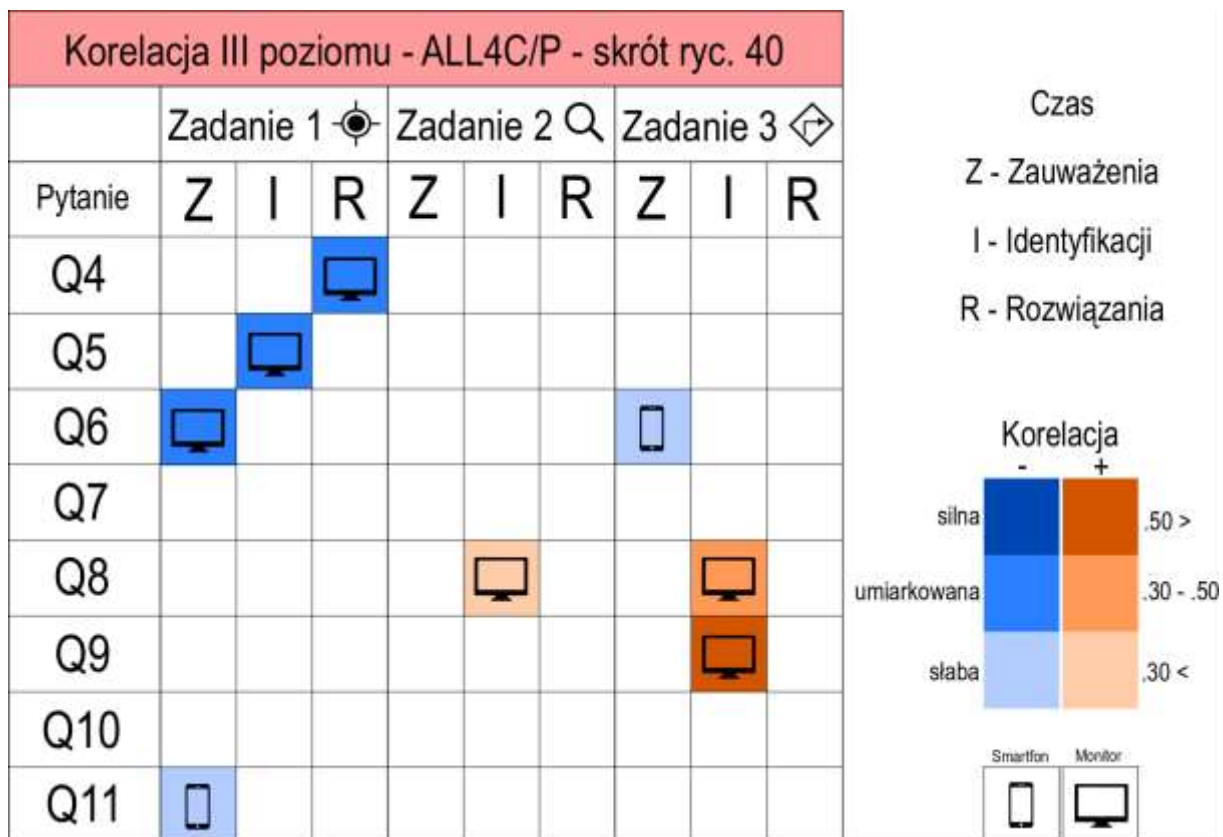


Ryc. 49 Tabela korelacji II poziomu dla układu OpenStreetMap (cztery i sześć przycisków – monitor komputera stacjonarnego i smartfon)

**Korelację III** poziomu dla badanych wariantów map internetowych autor rozpoczął od zestawienia wszystkich możliwych układów rozmieszczenia z czterema przyciskami (monitor komputera stacjonarnego oraz smartfon) z odpowiedziami uczestników badania na pytania Q4-Q11 (Ryc. 50). Czas rozwiązania zadania 1 ( $p = 0.01396$ ,  $r = -0.3184686$ ) umiarkowanie ujemnie koreluje z odpowiedziami na pytania Q4, dotyczące częstości korzystania z serwisu Google Maps na komputerze stacjonarnym. Również umiarkowanie ujemnie koreluje czas identyfikacji przycisku geolokalizacji ( $p = 0.02892$ ,  $r = -0.3258734$ ) na monitorze

z odpowiedziami na pytanie Q5 oraz czas zauważania przycisku geolokalizacji ( $p = 0.01705$ ,  $r = -0.3501727$ ) na monitorze z odpowiedziami na pytanie Q6. Dla odpowiedz na pytanie Q6 wystąpiła również korelacja w typ przypadku słaba ujemna dla czasu zauważania przycisku wyznacz trasę ( $p = 0.03673$ ,  $r = -0.2876783$ ) na smartfonie.

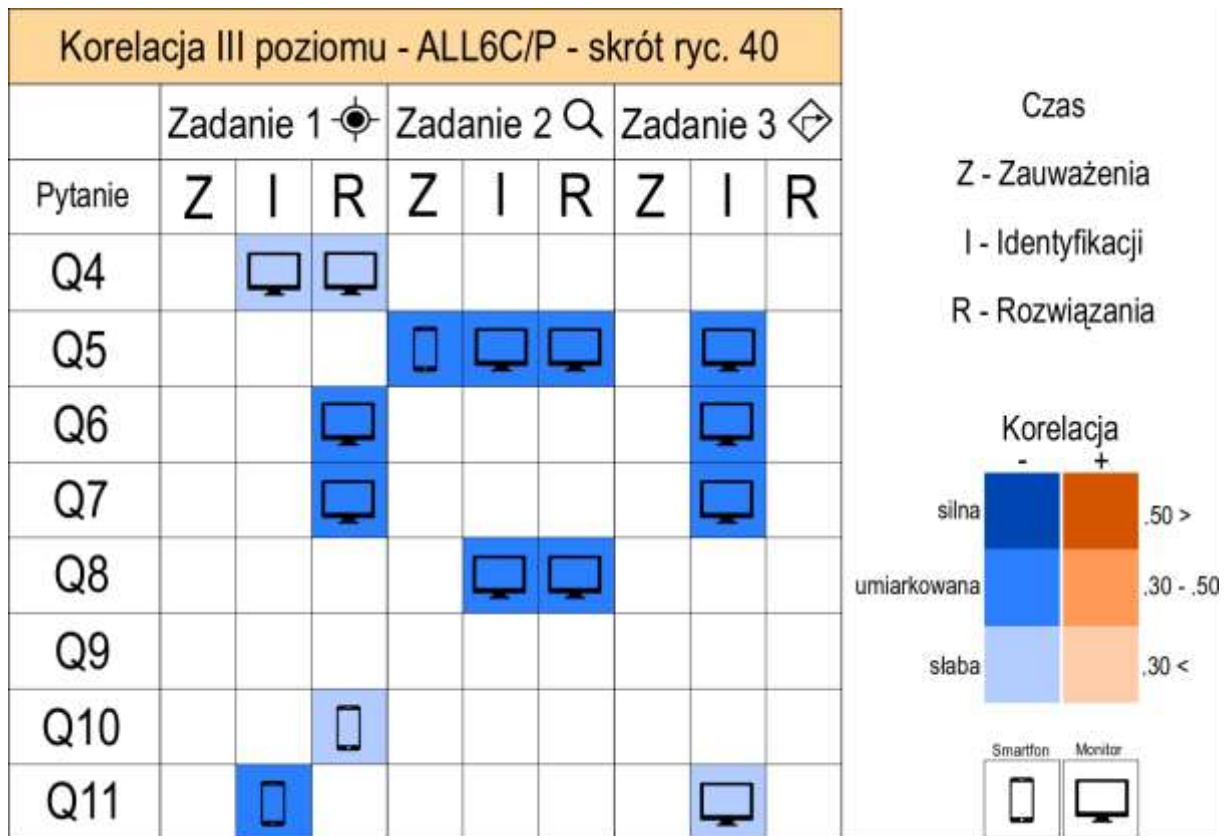
Kolejną zaobserwowaną zależnością jest relacja pomiędzy odpowiedziami na pytanie Q8, dotyczące częstości korzystania z innych map internetowych na komputerze stacjonarnym, a czasem identyfikacji przycisku wyszukaj ( $p = 0.03486$ ,  $r = 0.2776267$  – korelacja dodatnia słaba) oraz czasem identyfikacji przycisku wyznacz trasę ( $p = 0.01398$ ,  $r = 0.4302055$  – korelacja dodatnia umiarkowana) na monitorze. Następną zaobserwowaną korelacją zastawienia danych wynikowych jest zależność między odpowiedziami na pytanie Q9, dotyczącymi częstości korzystania z innych map internetowych na smartfonie, a czasem identyfikacji przycisku wyznacz trasę w zdaniu 3 ( $p = 0.002131$ ,  $r = 0.5230227$  – korelacja silnie dodatnia) na monitorze. Ostatnia zaobserwowana korelacja wystąpiła pomiędzy czasem zauważania przycisku geolokalizacji na smartfonie a odpowiedziami na pytanie Q11. Korelacja ta była słaba ujemna ( $p = 0.03728$ ,  $r = -0.2815884$ ).



Ryc. 50 Tabela korelacji III poziomu dla układu wszystkich układów (cztery przyciski – monitor komputera stacjonarnego i smartfon)

Korelację III poziomu wszystkich wariantów układów rozmieszczenia przycisków z sześcioma przyciskami (monitor komputera stacjonarnego i smartfon) wykonano również zestawienie danych uzyskanych z ankiet oraz wyników czasowych (Ryc. 51). Korelację słabą ujemną można zaobserwować pomiędzy odpowiedziami na pytanie Q4 z czasem identyfikacji przycisku geolokalizacji ( $p = 0.04489$ ,  $r = -0.2971882$ ) oraz rozwiązaniem zadania 1 ( $p = 0.03398$ ,  $r = -0.2742318$ ) na monitorze komputera stacjonarnego. Odpowiedzi na pytanie Q5 wykazały cztery korelacje dla czasu zauważania przycisku wyszukaj ( $p = 0.01231$ ,  $r = -0.374304$ ) na smartfonie, czasu identyfikacji przycisku wyszukaj ( $p = 0.002126$ ,  $r = -0.3987206$ ) na monitorze, czasu rozwiązania zadania ( $p = 0.00009201$ ,  $r = -0.4832192$ ) na monitorze oraz czasu identyfikacji przycisku wyznacz trasę ( $p = 0.01455$ ,  $r = -0.3883779$ ) na monitorze. Kolejną zaobserwowaną korelacją występuje pomiędzy odpowiedziami na pytanie Q6 a czasem rozwiązania zadania 1 ( $p = 0.006221$ ,  $r = -0.349346$ ) oraz czasem identyfikacji przycisku wyznacz trasę ( $p = 0.03971$ ,  $r = -0.3307678$ ) na monitorze. Dla czasu rozwiązania zadania 1 ( $p = 0.004205$ ,  $r = -0.3643939$ ) oraz identyfikacji przycisku wyznacz trasę ( $p = 0.02212$ ,  $r = -0.3655224$ ) na monitorze komputera stacjonarnego występuje również korelacja umiarkowanie ujemna z odpowiedziami na pytanie Q7, dotyczącymi częstości korzystania z OSM na smartfonie.

Czas identyfikacji przycisku wyszukaj ( $p = 0.01906$ ,  $r = -0.3096985$ ) i czas rozwiązania zadania 2 ( $p = 0.005173$ ,  $r = -0.3565237$ ) na monitorze umiarkowanie ujemni koreluje z odpowiedziami na pytanie Q8. Słabą ujemnie korelację zauważyć można pomiędzy odpowiedziami na pytanie Q10 i czasem rozwiązania zadania 1 ( $p = 0.04939$ ,  $r = -0.2548638$ ) na smartfonie. Dla odpowiedzi na pytanie Q11 wystąpiły dwie korelacje, pierwsza z nich umiarkowanie ujemna dla identyfikacji przycisku geolokalizacji ( $p = 0.009649$ ,  $r = -0.3492108$ ) na smartfonie, natomiast druga ujemnie słaba dla identyfikacji przycisku wyznacz trasę ( $p = 0.04533$ ,  $r = -0.2594187$ ) na monitorze.

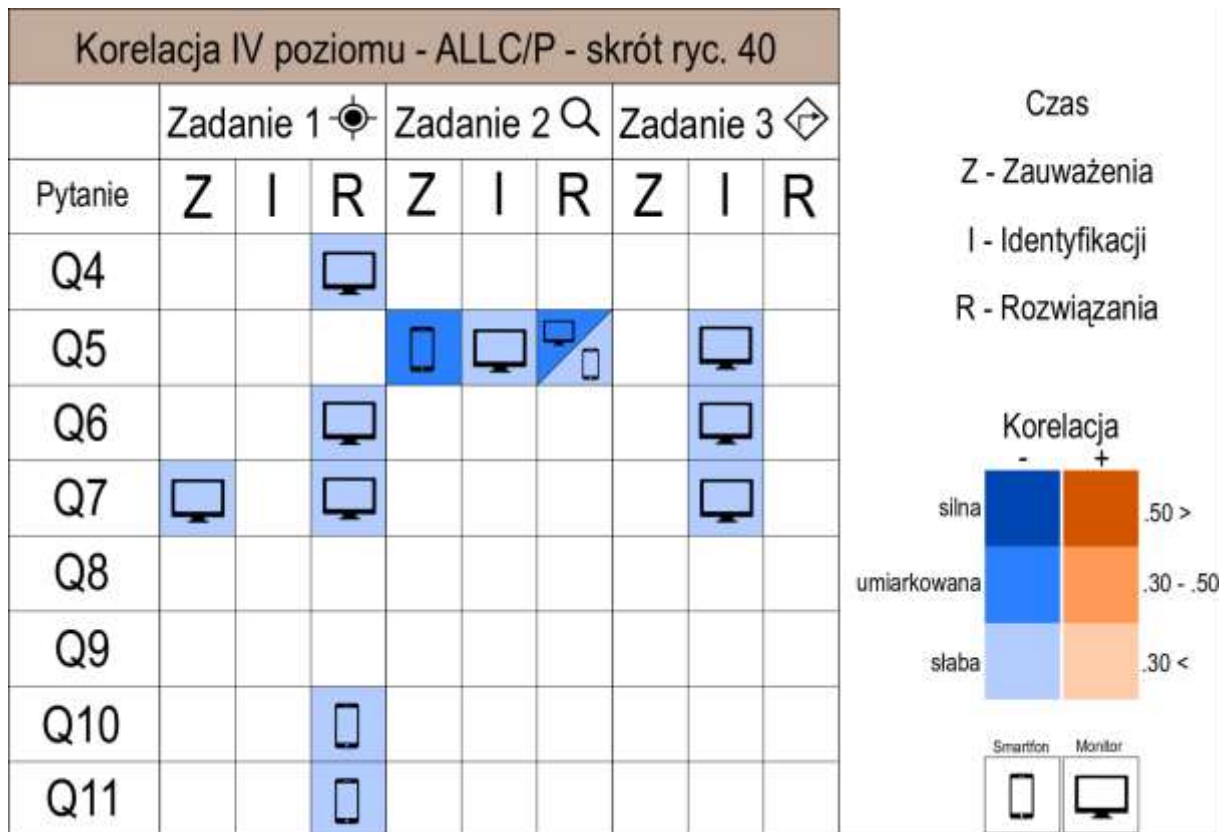


Ryc. 51 Tabela korelacji III poziomu dla układu wszystkich układów (sześć przycisków – monitor komputera stacjonarnego i smartfon)

Ostatnim, **czwartym (IV) poziomem korelacji** było zestawienie wszystkich wariantów rozmieszczenia przycisków razem (cztery i sześć przycisków, monitor komputera stacjonarnego oraz smartfon) z odpowiedziami uczestników badania na pytania od Q4 do Q11 (Ryc. 52). Słabą ujemną korelację zaobserwować można dla odpowiedzi na pytanie Q4 z czasem rozwiązania zadania 1 ( $p = 0.002193$ ,  $r = -0.2781423$ ) na monitorze komputera stacjonarnego. Dla odpowiedzi na pytanie 5 można zauważyć korelację z wynikami czasowymi zadań rozwiązywanych na monitorze: czasem identyfikacji przycisku wyszukaj ( $p = 0.03328$ ,  $r = -0.2013352$  – korelacja słaba ujemna), czasem rozwiązania zadania 2 ( $p = 0.0008488$ ,  $r = -0.3006354$  – korelacja umiarkowana ujemna), czasem identyfikacji przycisku wyznacz trasę ( $p = 0.01339$ ,  $r = -0.2922722$  – korelacja słaba ujemna) oraz na smartfonie: czasem zauważenia przycisku wyszukaj ( $p = 0.001767$ ,  $r = -0.308886$  – korelacja umiarkowana ujemna) i czasem rozwiązania zadania 2 ( $p = 0.02203$ ,  $r = -0.208901$  – korelacja słaba ujemna).

Dwie słabe ujemnie korelacje zaobserwować można dla odpowiedzi na pytanie Q6 z czasem rozwiązania zadania 1 ( $p = 0.03315$ ,  $r = -0.2531815$ ) oraz czasem identyfikacji przycisku wyznacz trasę ( $p = 0.0268$ ,  $r = -0.2030159$ ) na monitorze komputera stacjonarnego. Odpowiedzi na pytanie Q7 na monitorze komputera stacjonarnego posiadają korelację z czasem

zauważenia przycisku geolokalizacji ( $p = 0.02742$ ,  $r = -0.2299914$ ), czasem rozwiązania zadania 1 ( $p = 0,04717$ ,  $r = -0.1823407$ ) oraz czasem identyfikacji przycisku wyznacz trasę ( $p = 0.02033$ ,  $r = 0.2749172$ ) na monitorze. Wszystkie te korelacje są słabe ujemnie. Zaobserwowano również korelację czasu rozwiązania zadania 1 na smartfonie z odpowiedziami na pytanie Q10 ( $p = 0.00762$ ,  $r = -0.2424891$ ) oraz Q11 ( $p = 0.01568$ ,  $r = -0.2201591$ ).



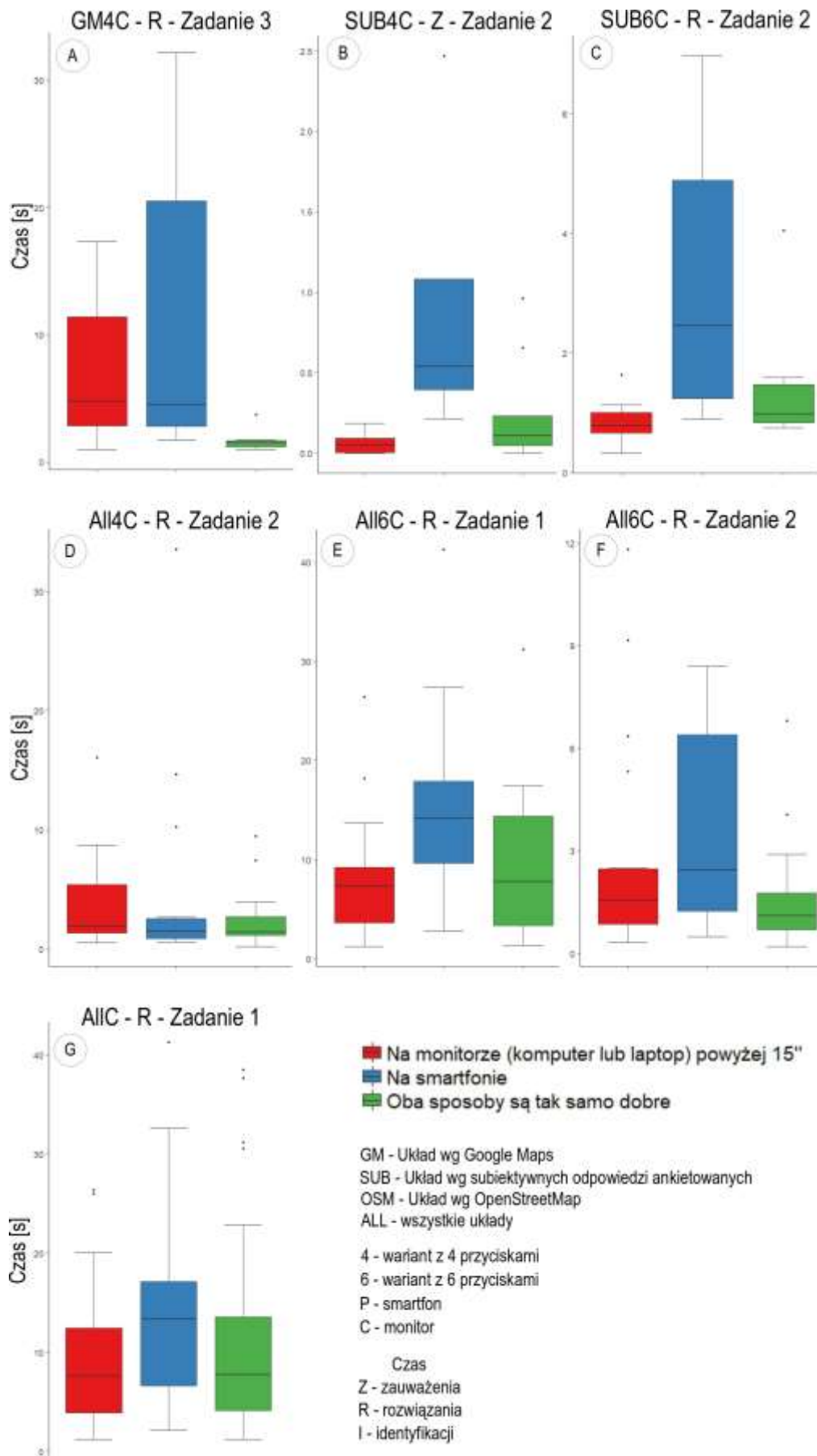
Ryc. 52 Tabela korelacji IV poziomu dla układu wszystkich układów (4 i 6 przycisków – monitor komputera stacjonarnego i smartfon)

#### 6.4.1.3 Test zmienności w grupach

Po zakończeniu analizy 4 poziomów korelacji autor niniejszej rozprawy doktorskiej przeszedł do wykonania testu statystycznego dla danych nieparametrycznych – Kruskal-Wallis. Test ten został wybrany, ponieważ analizowane pytanie Q12 posiada 3 odpowiedzi (grupy), czyli z więcej niż 2 porównywalne grupy. Został on wykonany dla wyników czasowych z zadań 1-3 oraz odpowiedzi na pytanie Q12. Pytanie to dotyczyło odpowiedzi uczestników odnośnie preferowanego urządzenia na jakim wolą korzystać z map internetowych.

Pierwszy istotnie statystyczny wynik ( $p = 0.03722$ ) autor zaobserwował dla czasu rozwiązania zadania 3 na monitorze komputera stacjonarnego (ryc. 53 A). Świadczy to o braku

jednorodności rozkładu danych pomiędzy grupami odpowiedzi. W ten sposób autor odrzuca hipotezę zerową (statystyczną) o braku różnic w wynikach czasowych i przyjmuje hipotezę alternatywną. Hipoteza ta oznacza, iż istnieją istotnie statystyczne różnice pomiędzy wynikami czasowymi dla czasu rozwiązania zadania 3 pomiędzy porównywanymi grupami odpowiedzi na pytanie Q12. Wartość testu Kruskala-Wallisa wyniosła 6.5816, jest ona znacząca. Oznacza to, że co najmniej jedna z grup różni się od co najmniej jednej z pozostałych. Na rycinie 53 zaobserwować możemy, że najbardziej odstające wartości czasu rozwiązania zadania 3 uzyskali uczestnicy, którzy deklarowali preferencję korzystania z map internetowych na smartfonach. Wyniki te najbardziej różnią się od wyników osób deklarujących oba urządzenia jako swoją preferencję.



Ryc. 53 Wykres pudełkowy wyników testu Kruskala-Wallis

Kolejnym istotnie statystycznym wynikiem ( $p = 0.03722$ ) testu Kruskala-Wallisa był czas zauważenia przycisku wyszukaj w zadaniu 2 na monitorze komputera stacjonarnego w stosunku do preferowanego urządzenia (Ryc. 53 B). Zadanie to było rozwiązywane dla układu subiektywnego czterema przyciskami. Siła testu wyniosła 6.5816. Największe różnice można zaobserwować pomiędzy odpowiedziami osób deklarującymi korzystanie z map internetowych na smartfonie, a resztą odpowiedzi.

Istotnie statystycznie okazał się również wynik testu Kruskala-Wallisa dla czasów rozwiązania zadania 2 na monitorze komputera stacjonarnego w stosunku do preferencji urządzenia ( $p = 0.02967$ ). Podczas rozwiązywania tego zadania użyty został układ subiektywny z sześcioma przyciskami (ryc. 53 C). Siła testu wyniosła 7.0354. Największe różnice można zaobserwować pomiędzy odpowiedziami osób deklarującymi korzystanie z map internetowych na smartfonie, a resztą odpowiedzi.

Dla wyników czasowych rozwiązania zadania 2 na monitorach komputera stacjonarnego we wszystkich układach z czterema przyciskami (ryc. 53 D) również zaobserwowano istotne statystycznie różnice ( $p = 0.04655$ ). Test Kruskala-Wallisa o sile 6.1346 wykazał różnice pomiędzy grupami. Grupa osób preferujących korzystanie z map internetowych na monitorze odstaje w swoich wynikach od reszty grup.

Dla wszystkich układów z sześcioma przyciskami zauważono istotnie statystyczny wynik testu Kruskala-Wallisa ( $p = 0.00994$ ). Różnicę w czasach odpowiedzi można było zauważyć dla rozwiązania zadania 1 na monitorze komputera stacjonarnego (ryc. 53 E). Siła testu wyniosła 9.2223. Największe różnice pomiędzy wynikami można zaobserwować dla grupy respondentów deklarujących smartfon jak urządzenie na którym wolą korzystać z map internetowych i resztą grup odpowiedzi.

Wszystkie układy z sześcioma przyciskami wykazały niejednorodność odpowiedzi również dla czasów rozwiązania zadania 2 na monitorze komputera stacjonarnego (ryc. 53 F). Potwierdza to istotnie statystyczny ( $p = 0.03018$ ) wynik testu Kruskal-Wallisa o sile 7.0014. Jak w większości przypadków odstające wyniki uzyskiwała grupa badanych preferująca korzystanie z map internetowych na smartfonach.

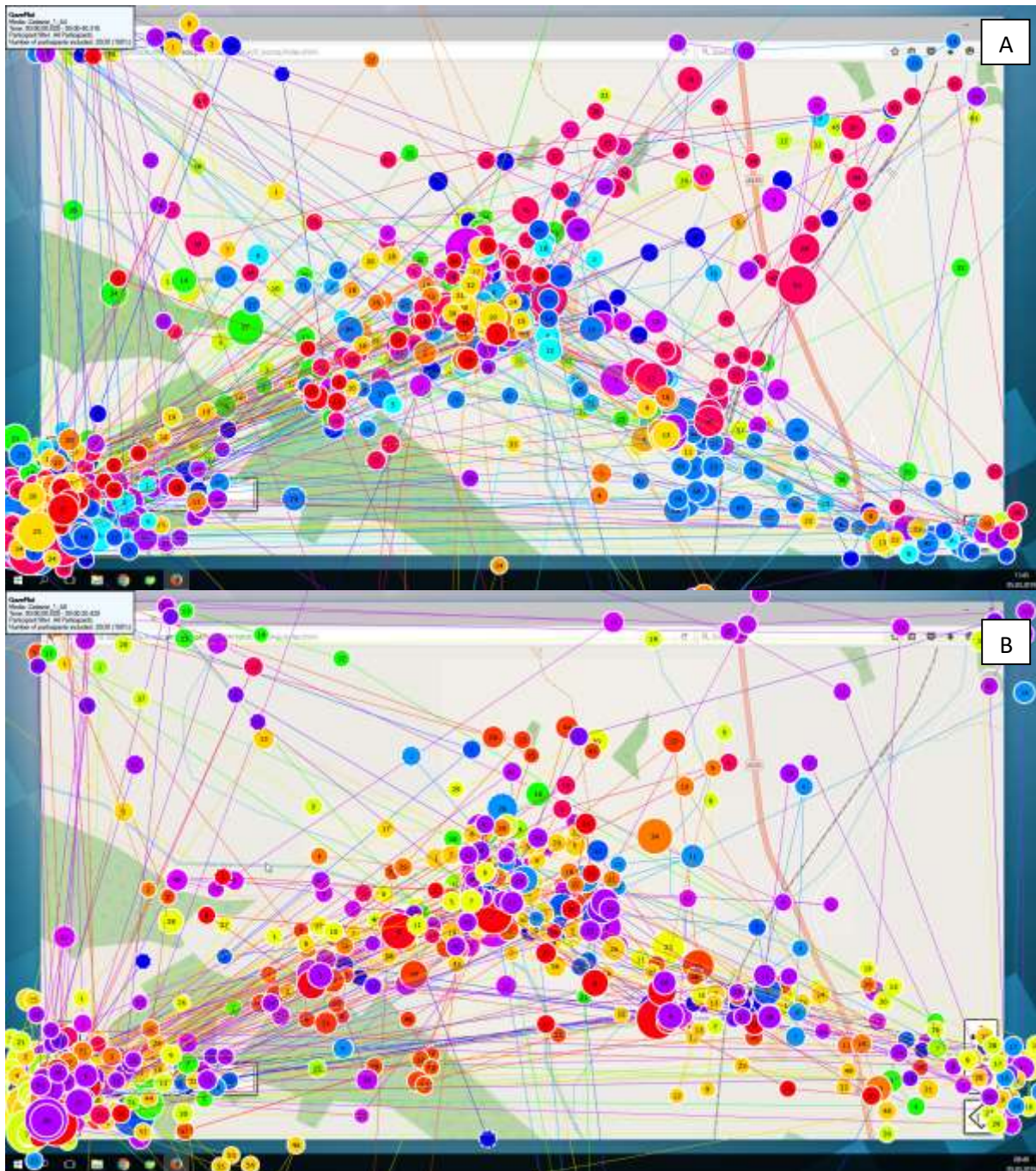
Ostatnim istotnie statystycznym ( $p = 0.04080$ ) wynikiem uzyskanym w teście Kruskala-Wallisa był czas rozwiązania zadania 1 na monitorze komputera stacjonarnego dla wszystkich układów z czterema i sześcioma przyciskami w kontekście preferencji urządzenia (Ryc. 53 G).

Siła testu wyniosła 6.3983. Patrząc na wykres wyniki wydają się zbliżone, lecz jak potwierdza to test jedna z grup nie zachowuje jednorodności z innymi.

## **6.4.2 Analiza wyników eye-trackingowych**

### **6.4.2.1 Eye-tracking na monitorze**

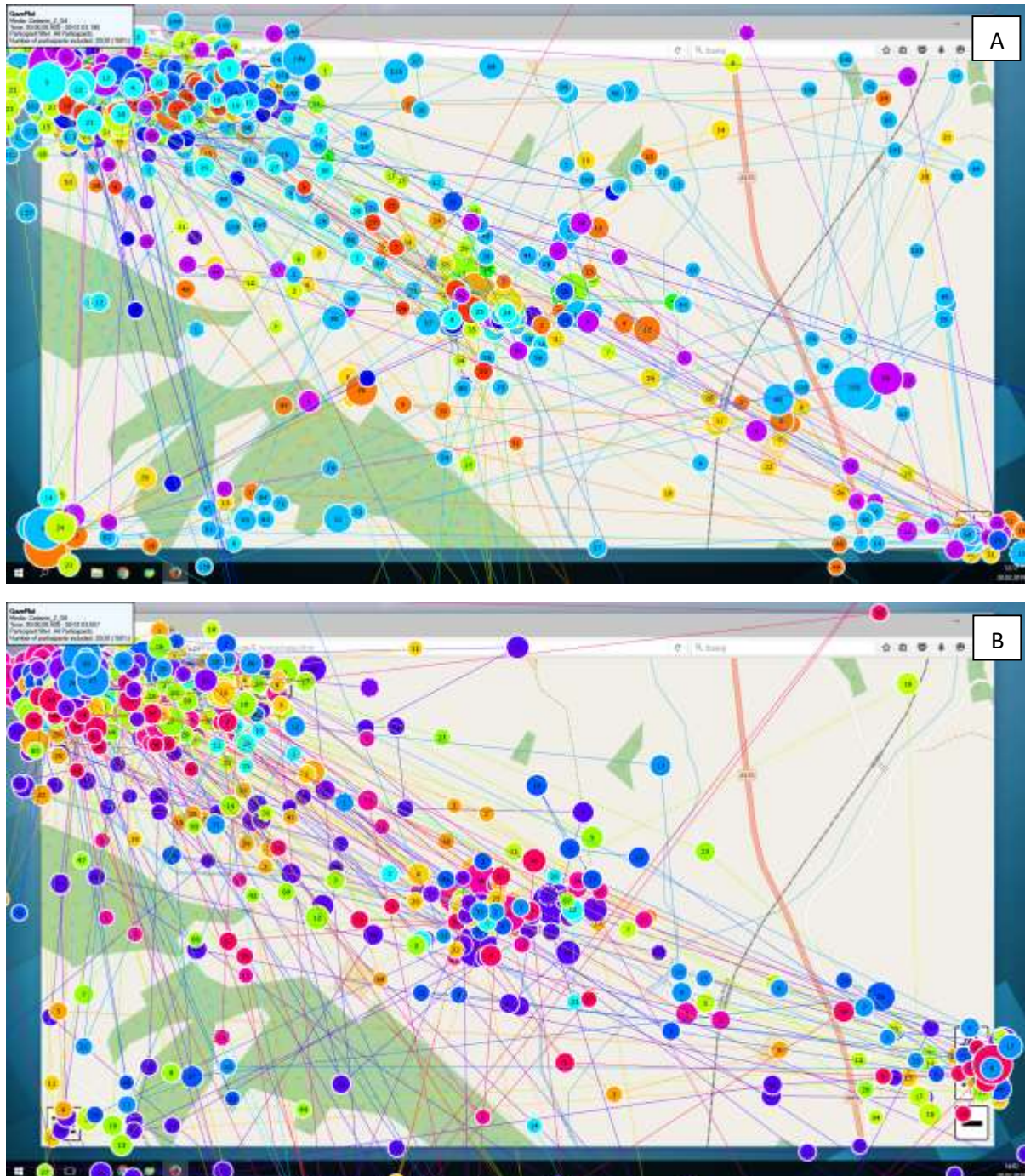
Po przeprowadzeniu testu Kruskala-Wallisa autor niniejszej rozprawy doktorskiej przeanalizował 720 filmów odpowiadającym segmentom uzyskanym w podrozdziale 6.3.2. Miało to na celu określenie ścieżek patrzenia jakie obierali respondenci. W przypadku zadania 1 na monitorze komputera stacjonarnego dla układu subiektywnego z czterema i sześcioma przyciskami najczęściej badani rozpoczynali patrzenie od środka mapy i kierowali swój wzrok ku lewemu dolnemu narożnikowi mapy (ryc. 54). W narożniku tym znajdował się cel rozwiązania zadania jakim był przycisk geolokalizacji. Podobny schemat można było zaobserwować dla zadania 2. Cel tego zadania, czyli przycisk wyszukaj również znajdował się w lewym dolnym rogu. W przypadku zadania 3 więcej osób rozpoczynało swoją ścieżkę patrzenia od lewego dolnego rogu kierując swój wzrok w prawy dolny róg gdzie znajdował się przycisk wyznacz trasę, czyli cel zadania. Na rycinie widzimy różnokolorowe kółka (wielkość kółka mówi nam o długości fiksacji) symbolizujące fiksacje oraz linie je łączące, czyli sakady.



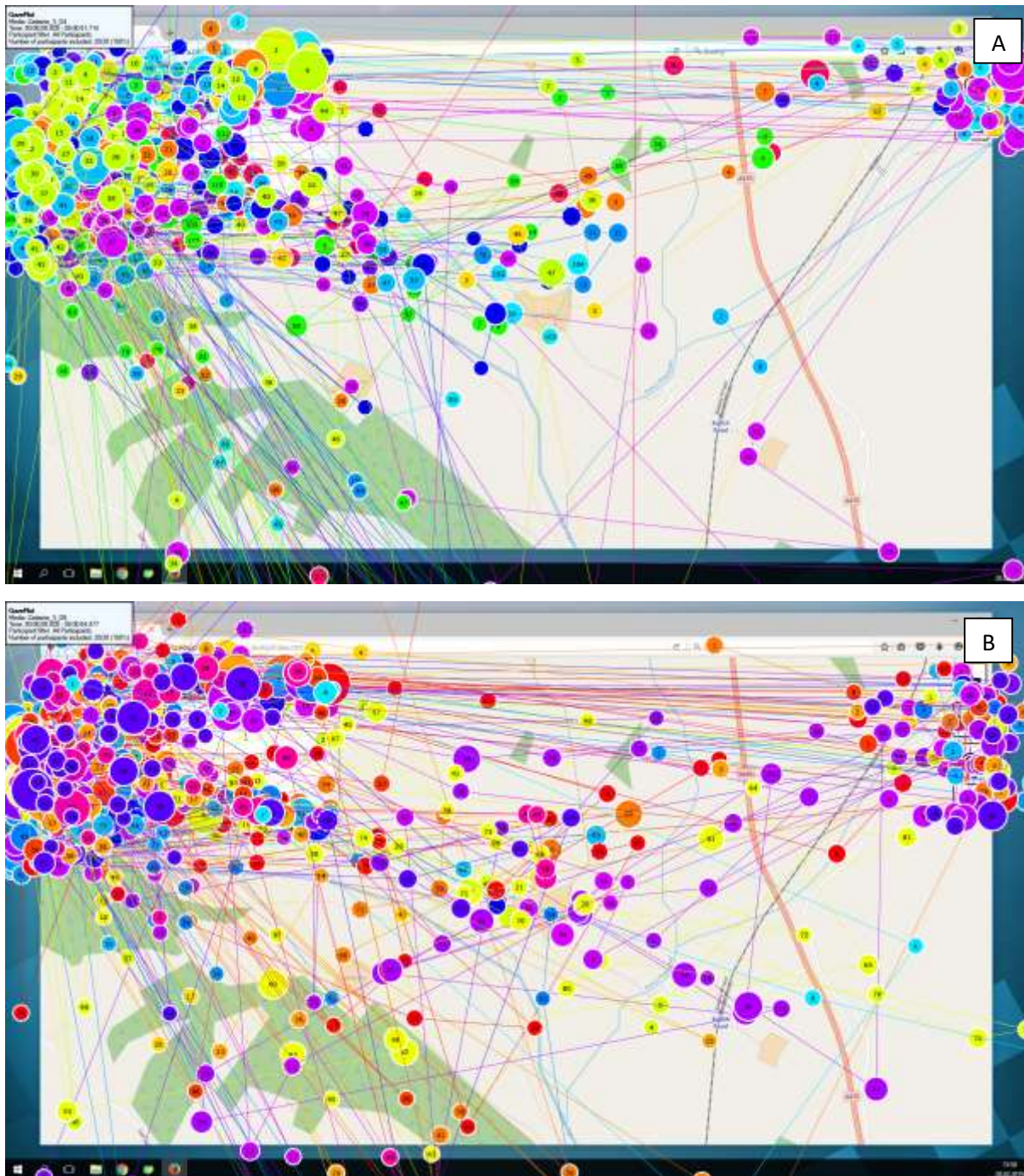
**Ryc. 54 Ścieżki patrzenia (GazePlot) uczestników badania przy rozwiązywaniu zadania 1 na monitorze komputera stacjonarnego dla układu subiektywnego z czterema (A) i sześcioma (B) przyciskami**

W przypadku układu Google Maps z czterema i sześcioma przyciskami rozwiązywanie zadania 1 uczestnicy rozpoczynali od środka mapy, a następnie koncentrowali swoją uwagę na wszystkich narożnikach, aż do momentu odnalezienia przycisku geolokalizacji zlokalizowanego w prawym dolnym rogu mapy. Najmniej uwagi poświęcali oni narożnikowi prawemu górnemu, w którym nie było żadnego przycisku. W zadaniu 2 widać dużą liczbę fiksacji w prawym narożniku mapy w którym został zlokalizowany przycisk wyszukaj (Ryc.

55). Schemat ten powtarza się również dla zadania 3 (przycisk wyznacz trasę zlokalizowany w lewym górnym rogu).



**Ryc. 55 Ścieżki patrzenia (GazePlot) uczestników badania przy rozwiązywaniu zadania 2 na monitorze komputera stacjonarnego dla układu Google Maps z czterema (A) i sześcioma (B) przyciskami**



**Ryc. 56 Ścieżki patrzenia (GazePlot) uczestników badania przy rozwiązywaniu zadania 3 na monitorze komputera stacjonarnego dla układu OpenStreetMap z czterema (A) i sześcioma (B) przyciskami**

Dla układu OpenStreetMap na monitorze komputera stacjonarnego z czterema i sześcioma przyciskami rozwiązanie zadania 1 rozpoczyna się od ruchu wzroku ku środkowi mapy, a następnie w kierunku prawego lub lewego górnego narożnika mapy. Wiąże to się z ulokowaniem przycisku geolokalizacji, który umieszczony został w prawym górnym rogu. W zadaniu 2 i 3 widzimy podobną tendencję jak w przypadku układu narożnikowego z tą różnicą, iż część uwagi również przykuwa prawy narożnik mapy (ryc. 56).

### 6.4.2.2 Eye-tracking na smartfonie

W przypadku zadań wykonywanych na smartfonie z powodu braku identycznych scen dla zadań 1-3 przedstawione zostaną pojedyncze wyniki dla ścieżek patrzenia. Wynika to z umieszczenia smartfonu w MDS nie zawsze tak samo. W przypadku układu subiektywnego z czterema przyciskami podczas rozwiązywania zadania 1 uczestnicy koncentrowali swój wzrok na środku mapy, a następnie podążali wzrokiem w miejsce docelowe ulokowania przycisku geolokalizacji jakim jest prawy dolny róg (Ryc. 57). W zadaniu 2 podobnie jak w 1 wzrok na starcie koncentruje się na środku mapy, a następnie przechodzi w dolną część gdzie zlokalizowany jest przycisk wyszukaj. Ścieżka wzroku dla zadania 3 najczęściej w momencie startu rozpoczyna się w dolnej części. Następuje przegląd wszystkich przycisków i wyszukanie celu zadania, jakim jest przycisk wyznacz trasę umieszczony w prawym dolnym rogu.



**Ryc. 57** Ścieżka patrzenia (GazePlot) uczestnika badania przy rozwiązywaniu zadania 1 na smartfonie dla układu subiektywnego z czterema (A) i sześcioma (B) przyciskami

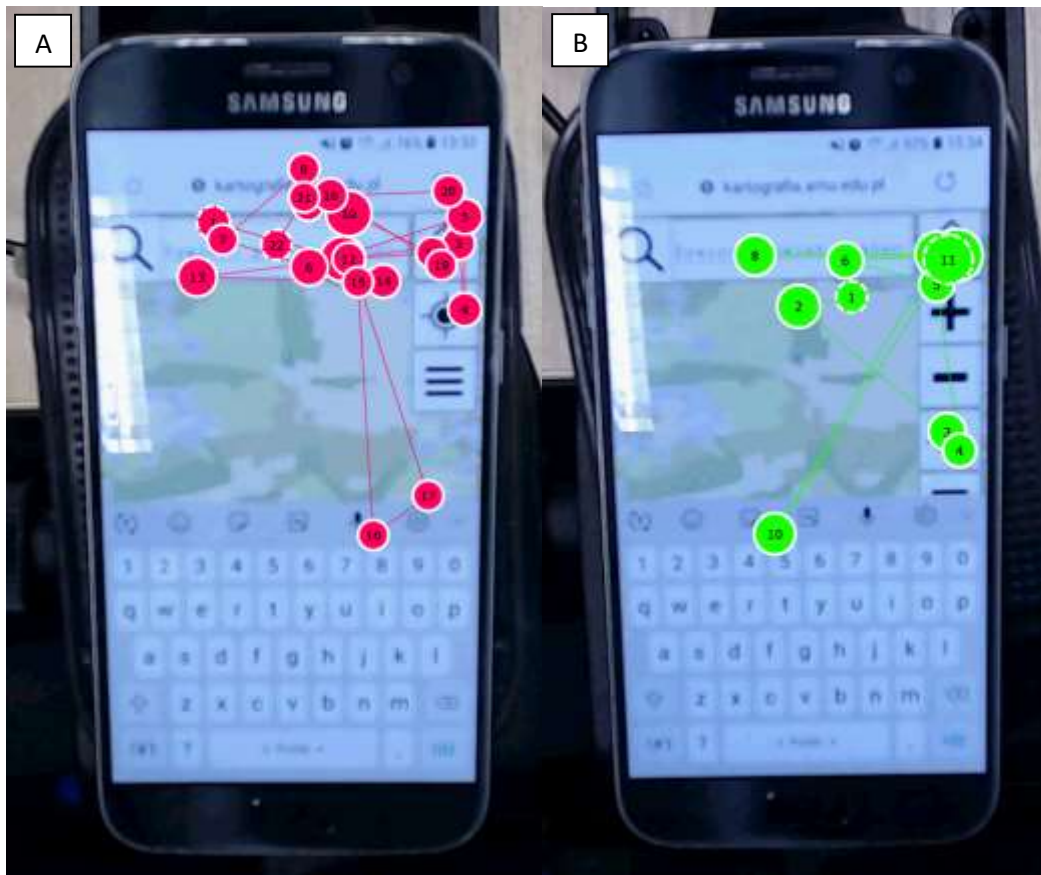
W przypadku układu Google Maps ścieżka patrzenia podczas rozwiązywania zadania 1 rozpoczyna się jak w większości przypadków od środka mapy. Następnie wzrok kierowany jest do prawej strony poniżej okna przycisku wyszukaj, następuje przejście wzrokiem po

przyciskach w dół i zlokalizowanie w dolnym prawym narożniku przycisku geolokalizacji. Zadanie 2 rozpoczynane jest przez uczestników badania od środka mapy w pobliżu przycisku geolokalizacji, a następnie wzrok przechodzi w górną część ekranu gdzie zlokalizowany jest przycisk wyszukaj wraz z oknem dialogowym (Ryc. 58). Ścieżka wzroku w zadaniu 3 przyjmuje podobny schemat jak dla zadania 1 z tą różnicą, iż następuje przejście przez przycisk wyszukaj z oknem dialogowym.



**Ryc. 58** Ścieżka patrzenia (GazePlot) uczestnika badania przy rozwiązywaniu zadania 2 na smartfonie dla układu Google Maps z czterema (A) i sześcioma (B) przyciskami

Schemat patrzenia dla układu OpenStreetMap podczas rozwiązywania zadania 1 rozpoczyna się od środka mapy, a następnie wzrok kierowany jest w górną część ekranu, aż do prawego górnego narożnika. Następuje zejście wzrokiem w dół po kolejnych przyciskach, aż do zlokalizowania przycisku geolokalizacji, czyli celu zadania. W przypadku zadania 2 następuje podobny schemat jak w przypadku układu Google Maps. Wzrok na starcie koncentrowany jest w środkowej części, a następnie przechodzi w górną część ekranu, gdzie zlokalizowany jest przycisk wyszukaj. Podobnie jest w przypadku zadania 3 gdzie wzrok w znacznej większości od razu koncentrowany jest na górze, a następnie przechodzi do prawego górnego narożnika gdzie zlokalizowany jest przycisk wyznacz trasę.

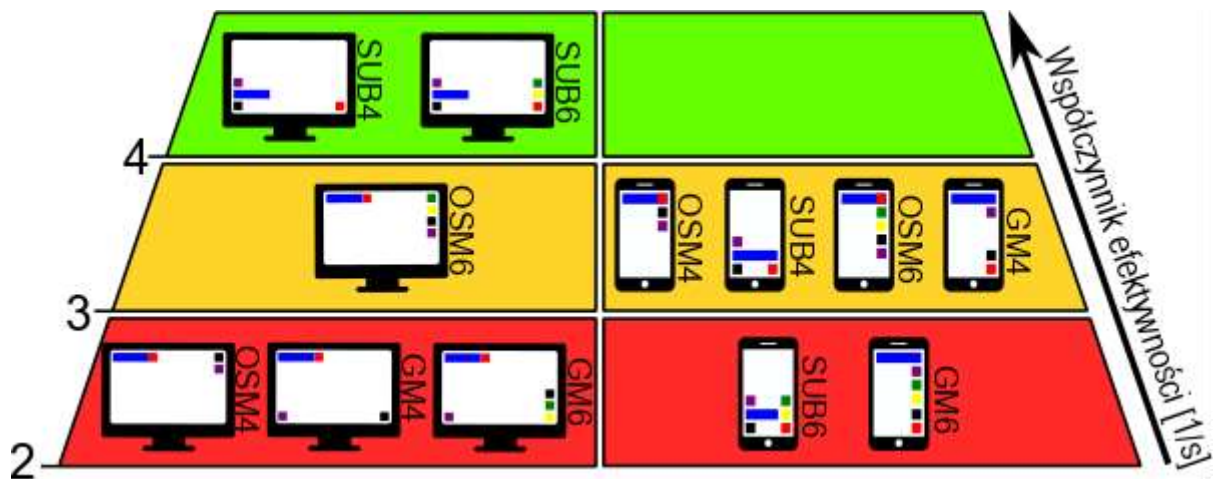


Ryc. 59 Ścieżka patrzenia (GazePlot) uczestnika badania przy rozwiązywaniu zadania 3 na smartfonie dla układu OpenStreetMap z czterema (A) i sześcioma (B) przyciskami

### 6.4.3 Zestawienie wyników i dyskusja

#### 6.4.3.1 Współczynnik efektywności GUI

Jak pokazują wyniki badań (Ryc. 60) efektywność zaproponowanych układów rozmieszczenia przycisków jest zróżnicowana w kontekście responsywności. Najbardziej efektywnym układem rozmieszczenia przycisków dla monitora komputera stacjonarnego okazał się układ subiektywny (Horbiński i in. 2020) w wariancie z czterema przyciskami (SUB4 – 4,83 1/s). Natomiast najmniej efektywny był układ Google Maps z czterema przyciskami (GM4 – 2,07 1/s). Układ bazowany na subiektywnych preferencjach ankietowanych okazał się również najbardziej efektywny na smartfonach *ex aequo* z układem OpenStreetMap - SUB4 i OSM4 – 3,60 1/s. Natomiast najniższy współczynnik efektywności osiągnął układ Google Maps z sześcioma przyciskami (GM6 – 2,57 1/s).



Ryc. 60 Graficzna prezentacja współczynnika efektywności badanych układów rozmieszczenia przycisków map internetowych

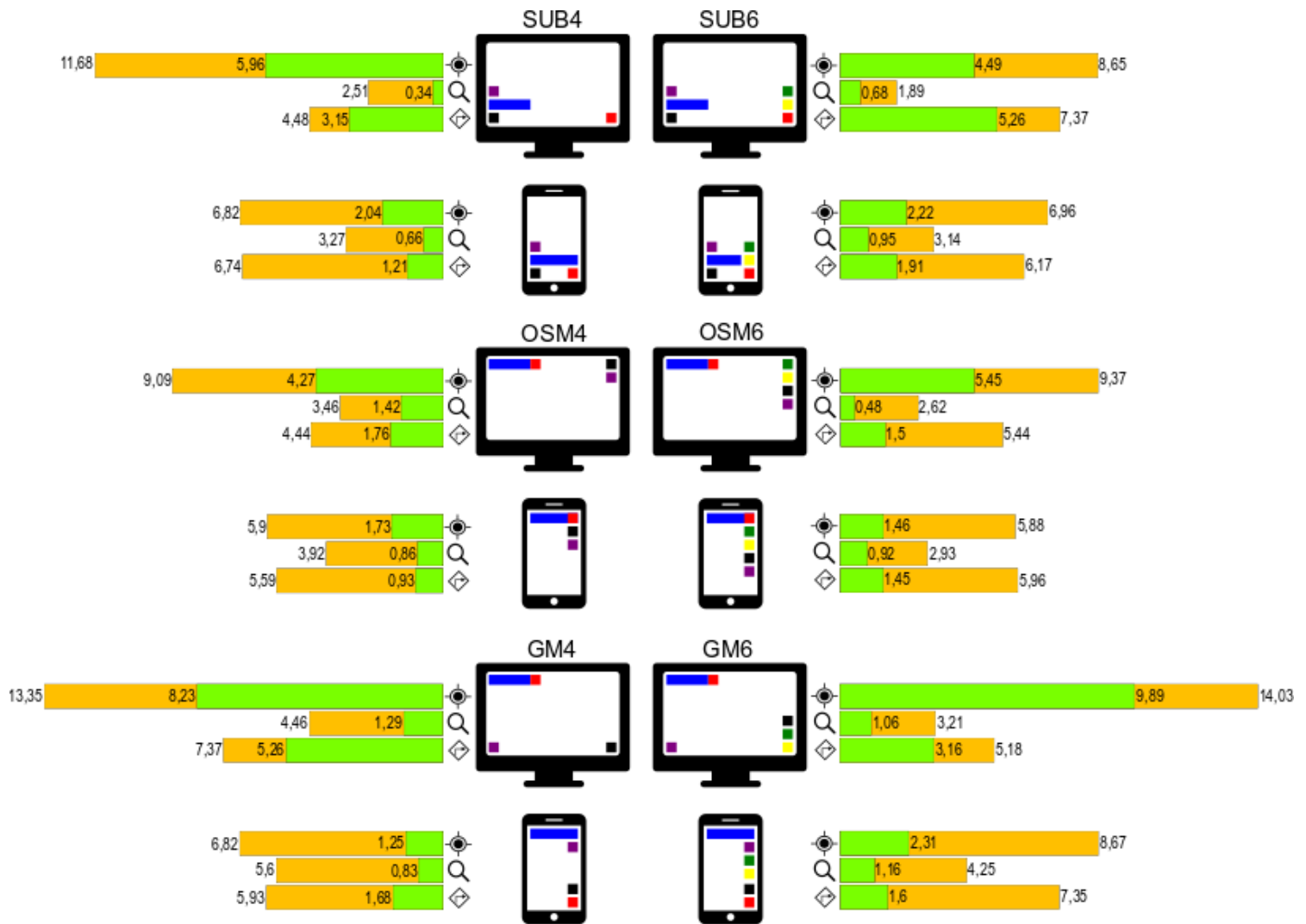
Ciekawą zależnością wynikającą z zestawienia współczynnika efektywności łącznie dla wariantów układów rozmieszczenia z czterema i sześcioma przyciskami jest to, że chociaż układ subiektywny był pierwotnie projektowany na smartfon to najefektywniejszy okazał się na monitorze komputera stacjonarnego (SUB4 – 4,83 1/s i SUB6 – 4,09 1/s). Natomiast sumarycznie najwyższy współczynnik efektywności na smartfonie osiągnął układ OpenStreetMap (OSM4 – 3,60 1/s i OSM6 – 3,41 1/s). Układ ten jest stworzony z myślą o monitorze komputera stacjonarnego i praktycznie bez większych zmian był wyświetlany na wyświetlaczu smartfona. Układ Google Maps rozmieszczenia przycisków chociaż posiada dwa różne układy dla monitora komputera stacjonarnego oraz smartfona wypadł w tym zestawieniu najgorzej (monitor komputera stacjonarnego – GM4 – 2,07 1/s i GM6 – 2,56 1/s, smartfon – GM4 – 3,23 1/s i GM6 – 2,57 1/s). Na podstawie tego wyniku dla układu Google Maps nasuwa

się wniosek, że pomimo szybkiej i częstej aktualizacji Google Maps preferencje użytkowników nie do końca są uwzględniane.

Oceniając w kontekście responsywności to najlepszym układem rozmieszczenia przycisków na monitorze komputera stacjonarnego oraz smartfonie jest układ subiektywny z czterema przyciskami (SUB4 – monitor komputera stacjonarnego – 4,83 1/s i smartfon – 3,60 1/s). Natomiast najmniej efektywnym układem przycisków jest układ Google Maps z sześcioma przyciskami (GM6 - monitor komputera stacjonarnego – 2,56 1/s i smartfon – 2,57 1/s). Co potwierdza słuszność wykorzystywania preferencji użytkowników w procesie aktualizacji istniejących responsywnych map internetowych, ale również rekomendowane jest to przy tworzeniu nowych map internetowych.

### 6.4.3.2 Rekomendacje względem responsywności (monitor, smartfon)

**Autor rekomenduje rozpoczynanie projektowania responsywnej mapy internetowej od funkcji wyszukaj, która powinna stanowić kluczowy przycisk graficznego układu użytkownika.** Potwierdzają to wyniki czasowe (Ryc. 61) dla poszczególnych zadań najszybciej zauważony i identyfikowany był przycisk wyszukaj (średnio 0,89 s). Wynik ten był niezależny od rozmieszczenia przycisków i urządzenia na którym była wyświetlana mapa internetowa. Wiązać może się to z ogólnie stosowanym symbolem lupy. Potwierdzają to autorskie badania Horbińskiego i in. (2020). Symbol lupy w zdecydowanej większości jest interpretowany jako wyszukaj w GUI mapach internetowych na monitorach komputera stacjonarnego. W niektórych przypadkach na smartfonie mamy do czynienia, również z wyświetlaniem jedynie pola do wpisania (z napisem „wyszukaj”), który sugeruje bezpośrednio funkcję (Horbiński i Cybulski 2018). Najmniej czasu uczestnicy badania potrzebowali na odnalezienie tej funkcji w układzie subiektywnym na monitorze komputera stacjonarnego z sześcioma przyciskami (Z – 0,68 s, R – 1,89 s). Najdłużej proces ten przebiegał na smartfonie z układem Google Maps z czterema przyciskami (Z – 0,83 s, R – 5,6 s). Przyglądając się zależności czasów dotyczących zadania 2 i wyników efektywności (ryc. 60) nasuwa się wniosek, iż kluczowym w układzie rozmieszczenia przycisków jest funkcja wyszukaj. Fakt ten potwierdzają również inne badania m. in. Nivala i in. (2008) i Wang (2014).



Ryc. 61 Zbiorcze zestawienie wyników (w sekundach) dla czasu zauważania - Z (zielony) i czasu rozwiązania -R (pomarańczowy) w zadaniach 1-3

Zdecydowanie najwięcej czasu uczestnicy potrzebowali na zlokalizowanie przycisku geolokalizacji. Wiązać się to może z tym, iż było to pierwsze zadanie w badaniu i następował proces poznawczy. Również fakt używania przez rozmaite mapy internetowe różnej grafiki reprezentującej tę funkcję nie pomaga w szybkiej interpretacji. Czas zauważenia i identyfikacji przycisku geolokalizacji jest zdecydowanie najdłuższy na układach rozmieszczenia Google Maps z czterema i sześcioma przyciskami na monitorze komputera stacjonarnego (GM4: Z – 8,23 s, R – 13,35 s; GM6: Z – 9,89 s, R – 14,03 s). Fakt ten dziwi, ponieważ znacząca większość badanych osób deklaruje regularne korzystanie z serwisu Google Maps na smartfonie i monitorze komputera stacjonarnego. Najszybciej zauważany przycisk geolokalizacji był na ekranie smartfona z układem Google Maps (GM4: Z - 1,25 s), lecz nie przekładało się to na szybką identyfikację przycisku i skutkowało długim czasem rozwiązania zadania (GM4: R –

6,82 s). Szybszy czas rozwiązania zadania uczestnicy osiągnęli m.in. na ekranie smartfonu z układem OpenStreetMap z sześcioma przyciskami (OSM6: R – 5,88 s).

W nielicznych przypadkach rozwiązanie zadania trzeciego (wyznac trasy) było dłuższe niż rozwiązanie zadania pierwszego (OSM6: R – Z1 – 5,88 s, Z3 – 5,96 s). Wynikać to może podobnie jak w przypadku przycisku geolokalizacji ze zmiennej ikony na istniejących mapach internetowych i przyzwyczajeniach użytkowników. Z obserwacji autora podczas przeprowadzonego badania oraz analizy zapisu wideo, wynika również, iż niektórzy uczestnicy są przyzwyczajeni najpierw do wyszukania obiektu (przycisk wyszukaj), a dopiero potem przejścia do wyznaczania trasy. Niektóre mapy internetowe gwarantują przejście do wyznaczania trasy już z zapisanym pierwszym punktem wyszukanym przez użytkownika. Niestety ta możliwość nie została uwzględniona w badaniu, a nawyki uczestników mogły wpłynąć na wyższe wyniki czasowe w zadaniu 3. Najszybciej zadanie to było rozwiązywane na monitorze komputera stacjonarnego z układem OpenStreetMap z czterema przyciskami (OSM4: R - 4,44 s). Interesujące z punktu widzenia przyszłych badań jest to, iż przycisk ten jest w tym samym miejscu również w wariantach układu Google Maps z czterema i sześcioma przyciskami, a wyniki czasów są dłuższe nawet o 3 sekundy (GM4: R – 7,37 s).

**Autor niniejszej dysertacji dochodzi do wniosku i rekomenduje umieszczenie przycisków w maksymalnie dwóch narożnikach.** Potwierdzają to wynik eye-trackingowe i analiza ścieżek ruchu wzroku. Umieszczenie kluczowych przycisków w dwóch najdalej od siebie oddalonych narożnikach (w układzie Google Maps) wydłuża sakady (ryc.55), a zarazem uzyskiwane czasy, co skutkuje spadkiem efektywności. Jest to najniższy wynik wśród wszystkich wariantów rozmieszczenia przycisków. Potwierdza to również wyliczony współczynnik efektywności dla układów. W przypadku tego badania najbardziej efektywne było umieszczenie przycisków w dwóch dolnych narożnikach (ryc. 60).

Autor również rekomenduje **wykorzystywanie preferencji użytkowników w projektowaniu GUI, która zdecydowanie wpływa na efektywność map internetowych** (ryc.60). Rekomendacja ta wynika z weryfikacji tezy pierwszej, która zostanie szerzej opisana w rozdziale 7.

Ostatnią rekomendacją płynącą z niniejszej dysertacji jest, **aby podczas projektowania ikon dla przycisków GUI map internetowych należy uwzględnić znajomość**

**użytkowników o już wykorzystywanych ikonach.** Rekomendacja ta wynika z weryfikacji tezy drugiej, która zostanie szerzej opisana w rozdziale 7.

### 6.4.3.3 Dyskusja

Wyniki badań efektywności zaproponowanych wariantów układów rozmieszczenia przycisków na mapach internetowych dość nieoczekiwanie wskazują, iż najbardziej efektywnym jest układ subiektywny. Choć grupa ankietowanych w artykule Horbińskiego i in. (2020) była niezależna od grupy uczestników badania w niniejszej dysertacji wyniki potwierdzają słuszność umieszczenia przycisków w lewym dolnym rogu ekranu monitora komputera stacjonarnego. W przypadku smartfonu nie możemy dojść do tak oczywistych wniosków, ponieważ zarówno układ przycisków w dolnej (SUB4) jak i górnej (OSM4) części ekranu uzyskał takie same wyniki.

Rozpatrując w kontekście responsywności układ subiektywny (SUB4) należy traktować jako najbardziej efektywny (ryc. 60). Posiada 4 przyciski z funkcjami: geolokalizacja, wyszukaj, wyznacz trasę oraz wybór warstw. Potwierdza to wcześniejsze badania dotyczące przejrzystości i czytelności GUI mapy w jej pierwszym widoku (Nivala i in., 2008, Wang, 2014). Według tych badań GUI mapy internetowej o wysokiej efektywności uważa się jako mało skomplikowany układ rozmieszczenia przycisków, który spowoduje szybkie i poprawne wykonywanie zadań. Większa liczba przycisków nie jest wykluczona, ale nie powinny one być prezentowane w pierwszym widoku mapy, lecz na głębszych poziomach interakcji (Medyńska-Gulij, 2012).

Jak wynika z autorskich badań (Horbiński i Cybulski, 2018) przycisk wyszukaj zdecydowanie najczęściej znajduje się w górnej części GUI, natomiast w układzie według preferencji użytkowników znajduje się on w dolnej części. Wy tłumaczyć to można za pomocą wniosków przedstawionych przez Wang (2014), który stwierdził, iż układ główny GUI mapy internetowej powinien uwzględniać nawyki i preferencje użytkowników, a najważniejszą rolę w tym układzie powinien odgrywać przycisk z funkcją wyszukaj. Nie stwierdził on, że pozycja tego przycisku powinna być wzorowana na istniejących mapach internetowych, dlatego umiejscowienie go przez użytkowników w dolnej części spełnia warunek uwzględnienia ich preferencji (i prawdopodobnie nawyków), a wyniki badań efektywności potwierdzają jego poprawną (kluczową) rolę w GUI. Dolne położenie kluczowego przycisku może wynikać również z tego, że mapa internetowa na smartfonie jest inaczej obsługiwana niż w przypadku

monitora komputera stacjonarnego. Telefony z dotykowym ekranem obsługuje się kciukiem, stąd preferencja użytkowników, aby lokalizować ten przycisk blisko kciuka (Marcotte, 2010).

Autor zdaje sobie sprawę, iż mapy internetowe na ogół tworzone są dla potrzeb użytkownika z całego świata, dlatego, aby zapewnić większą efektywność takich map preferowanym jest dodać wskazówki (Nivala i in., 2008). Wskazówki w formie *tooltipów* zwiększą szybkość korzystania z mapy internetowej, co wpłynie bezpośrednio na wzrost efektywności. W przypadku smartfonów projektanci zastosowali wprowadzenie wyjaśniające poszczególne przycisków. Jest jednorazowe wyjaśnienie w przypadku aplikacji.

W artykule Horbińskiego i Cybulskiego (2018) stwierdzono wątpliwość dotyczącą górnego i dolnego rozmieszczenia przycisków. Stwierdzono, że nawyk używania przycisków umieszczonych w górnej części ekranu jest tak silny, że ułatwienie w postaci przycisków umieszczonych bliżej kciuka na ekranie smartfona, może nie przynieść oczekiwanych rezultatów poprawy efektywności takiej mapy internetowej. Jak potwierdzają wyniki niniejszej rozprawy doktorskiej, umieszczenie przycisków w dolnej części (SUB4 – 3,6 1/s) ekranu sprawia, iż efektywność takiego rozwiązania jest porównywalna z przypadkami umieszczenia przycisków w górnej części GUI (GM4 – 3,23 1/s, OSM – 3,6 1/s). Dzięki odpowiedziom uczestników badania dotyczącym częstości korzystania z Google Maps oraz OpenStreetMap, można wnioskować, że nawyki związane z tymi mapami internetowymi (górny układ) nie przekładają się na zwiększoną efektywność, lecz wykazują silne korelacje z parametrami czasowymi w poszczególnych zadaniach.

Odnosząc się do wniosków Dilleuth (2005), w którym mowa jest o pozytywnym efekcie jaki może wywołać zmniejszenie złożoności mapy, a w konsekwencji samego GUI, należy potwierdzić słuszność tych wniosków. Wynik zarówno na monitorze komputera stacjonarnego jak i smartfonie osiągają układy o mniejszej złożoności (4 przyciski np. SUB4 – monitor – 4,83 1/s, smartfon – 3,6 w porównaniu do SUB6 – monitor – 4,09 1/s, smartfon – 2,57 1/s).

Autor przychyliła się do stwierdzenia Rickera i Rotha (2018), o nie dodawaniu przycisku zoomu (przybliżenie i oddalenie) gdy istnieje funkcja dwukrotnego dotknięcia, przeciągania lub skrolowania. Zauważono również, iż warianty układów rozmieszczenia przycisków nie posiadające funkcji zoomu osiągają średnio lepsze wyniki. Również analiza ścieżek patrzenia uczestników sugeruje (ryc. 54-59), iż dodatkowe powielenie funkcjonalności mapy

internetowej stanowi punkt rozpraszający użytkownika przez co zmniejsza się efektywność mapy.

Po analizie wyników badań autor nie może się zgodzić ze słusnością stwierdzenia Hegarty i in. (2009). W swoim artykule stwierdzili, iż czasami preferencje użytkownika nie pokrywają się z najbardziej efektywnym wyświetlaniem (ryc. 60). Wyniki niniejszej rozprawy doktorskiej udowadniają słusność używania preferencji użytkownika przy projektowaniu GUI co potwierdza słowa Griffin i in. (2017). Stwierdzili oni, iż wykorzystanie preferencji użytkowników może skutkować lepszym wykorzystaniem mapy (większą efektywnością).

## 7. Podsumowanie

Przedstawiona w niniejszej pracy autorska metoda badań wpływu responsywnego projektowania graficznego interfejsu użytkownika (GUI) na efektywność mapy internetowej umożliwiła sprawdzenie i potwierdzenie postawionych we wstępie dwóch tez. Autor stwierdza, że obie tezy zostały udowodnione w sposób empiryczny, a wytyczony cel główny oraz cele szczegółowe zostały osiągnięte.

W odniesieniu do pierwszej tezy dowiedziono zależności, iż rozmieszczenie przycisków graficznego interfejsu użytkownika zaproponowanego na podstawie preferencji użytkowników ma pozytywny wpływ na efektywność responsywnych map internetowych. Pomimo zaproponowanych w badaniu wariantów rozmieszczenia przycisków w graficznym interfejsie użytkownika wzorowanych na globalnych i popularnych mapach internetowych (Google Maps i OpenStreetMap), układ rozmieszczenia preferowany przez użytkowników okazał się najbardziej efektywny. **Wykorzystywanie preferencji użytkowników w projektowaniu GUI zdecydowanie wpływa na efektywność map internetowych, ale może również pomóc w doskonaleniu istniejących produktów kartograficznych.** Na ten pozytywny wynik układu subiektywnego rozmieszczania przycisków najbardziej według autora przeważało umiejscowienie przycisku wyszukaj. Szybki czas zauważenia, identyfikacji i rozwiązania zadania sprawiły, iż współczynnik efektywności okazał się najwyższy. Jest to bardzo ważna informacja z punktu widzenia osób, które bezpośrednio projektują, programują lub udoskonalają mapy internetowe.

W odniesieniu do drugiej tezy dotyczącej czasu identyfikacji przycisków na smartfonie oraz na monitorze komputera stacjonarnego, należy stwierdzić, iż czas ten jest niezależny od wielkości urządzenia. Dowodzi to postawionej tezy. W przypadku zastosowania ujednoliconych ikon we wszystkich wariantach rozmieszczenia przycisków na monitorze komputera stacjonarnego i smartfonie o czasie identyfikacji mogła decydować wielkość wyświetlacza i przycisku (monitor komputera stacjonarnego 60 px na 60 px, smartfon 160 px na 160 px). Choć można się spodziewać, iż większy przycisk oraz mniejszy ekran smartfonu spowodują, że przyciski te będą szybciej identyfikowane, postawiona przez autora teza okazała się trafna. Wyniki dowiodły, że choć uczestnicy na smartfonie zauważali przyciski szybciej to potrzebowali więcej czasu by zidentyfikować towarzyszącą im funkcję mapy internetowej (ryc. 61). Oznacza to, że **czas identyfikacji jest niezależny od wielkości wyświetlacza czy wielkości przycisku, a jedynie od znajomości danej ikony przez użytkownika**, ponieważ

błędny byłoby stwierdzenie, że im mniejszy przycisk i większy wyświetlacz tym krótszy czas identyfikacji. W dużej mierze do potwierdzenia tej tezy przyczyniły się wyniki testu korelacji. Opierając się o te wyniki zauważyć można kilka kluczowych zależności pomiędzy czasem identyfikacji przycisków a znajomością serwisu Google Maps. Jak się okazuje choć ikony zostały ujednolicone graficznie na potrzeby badania to w przypadku trzech kluczowych funkcji (geolokalizacji, wyszukaj oraz wyznacz trasę) niewiele różnią się od obecnie używanych w serwisie Google Maps. Potwierdza to równocześnie szereg pozytywnych (silnie ujemnych korelacji) wyników między częstością korzystania a czasem identyfikacji przycisków (ryc. 41-52). W przypadku zadania drugiego znajomość OpenStreetMap oraz innych serwisów mapowych też ma wpływ. Wynika to z faktu, że ikona wyszukaj jest praktycznie na każdej mapie internetowej taka sama.

Należy stwierdzić, iż postawiony cel główny oraz cele szczegółowe udało się osiągnąć, a na ich podstawie autor niniejszej pracy wyciągnął następujące wnioski:

- Zawarta metodyka w autorskim schemacie badawczym (ryc. 11) umożliwiła prawidłowe przeprowadzenie badania efektywności graficznego interfejsu użytkownika responsywnych map internetowych.
- Analiza globalnych serwisów mapowych umożliwiła opracowanie wariantów map internetowych użytych w badaniu (monitor i smartfon).
- Zaprojektowanie ujednoliconych graficznie ikon oraz przypisanie im funkcji przy pomocy biblioteki Leaflet pozwoliło na opracowanie przycisków do komunikacji z mapą internetową na monitorze i smartfonie.
- Biblioteka Leaflet okazała się właściwym narzędziem do zaprogramowania wariantów map internetowych na monitor i smartfon.
- Metoda ankietowa, test użyteczności oraz technika eye-trackingowa sprawdziły się jako narzędzia do przeprowadzania badań na temat wpływu responsywnego projektowania GUI na efektywność mapy internetowej zapewniając dane wysokiej jakości, a także przyspieszając proces gromadzenia i konwersji wyników na potrzebę analizy statystycznej.
- Zastosowany schemat czteropoziomowej korelacji (ryc.40) pozwolił na zweryfikowanie zależności między parametrami czasowymi a charakterystyką użytkowników.
- Opracowanie współczynnika efektywności pozwoliło na zróżnicowanie wariantów GUI i wskazanie najbardziej efektywnego układu na monitor i smartfon.

- Udało się wypracować kluczowe rekomendacje do projektowania map internetowych na różne urządzenia (monitor i smartfon) w kontekście responsywności. Rekomendacje te brzmią następująco:
  - Należy wykorzystywać preferencje użytkowników podczas projektowania GUI map internetowych.
  - Należy rozpoczynać projektowanie GUI map internetowych od przycisku wyszukaj i umieszczać go w kluczowym miejscu interfejsu.
  - Należy umieszczać przyciski w maksymalnie dwóch narożnikach mapy internetowej.
  - Podczas projektowania ikon dla przycisków GUI map internetowych należy uwzględniać znajomość użytkowników o już wykorzystywanych ikonach.

W związku z zaproponowaną metodyką autor zauważa, że zastosowanie aż trzech metod pozyskiwania danych (testu użyteczności, techniki eye-trackingowej oraz metody ankietowej) zwiększyło w znacznym stopniu zakres i jakość danych. Zwłaszcza wykorzystanie techniki eye-trackingowej w połączeniu z metodą ankietową realizowaną w jednym programie umożliwiło szybsze przetwarzanie danych oraz otrzymanie wyników czasowych.

Pewną nowością w przeprowadzonych badaniach było wykorzystanie smartfonu w kontekście responsywności mapy internetowej. Zbadanie tak wielu wariantów na różnych urządzeniach nigdy wcześniej nie było poruszane w publikacjach dotyczących kartografii internetowej. Dodatkowym aspektem, który został uwzględniony w badaniu to weryfikacja wariantu GUI mapy internetowej stworzonej jedynie na podstawie preferencji użytkowników. Na tle poprzednich badań niniejsza praca rozszerza badania na temat efektywności responsywnych map internetowych o kontekst rozmieszczania przycisków w graficznym interfejsie użytkownika.

Za osiągnięty cel aplikacyjny można uznać autorski schemat postępowania badawczego, który może być wykorzystywany jako uniwersalny. Porządkuje on proces zarówno tworzenia mapy internetowej, projektowania ikon dla przycisków jak i programowania funkcji. Uwzględnia w swoich poszczególnych etapach również zbierania, przygotowania oraz przetwarzania danych, zarówno danych statystycznych jak i eye-trackingowych.

Autor swoją pracą nie wyczerpuje tematu związanego z badaniem wpływu responsywnego projektowania graficznego interfejsu użytkownika na efektywność mapy

internetowej. Wśród zagadnień, które nie zostały w niniejszej pracy poruszone jest między innymi zbadanie innych układów rozmieszczenia przycisków GUI mapy internetowej, sprawdzenie innych ikon reprezentujących funkcje mapy internetowej czy zbadanie omawianych wariantów GUI na innych urządzeniach większych (telewizor) czy mniejszych (smartwach). Również jak wskazują wyniki testu Kruskala-Wallisa (ryc. 52) najczęściej odstającymi wynikami istotnymi statystycznymi uzyskuje grupa badanych preferująca korzystania z map internetowych na smartfonach. Stanowi to pole do dalszych badań. Przyjrzenie się tej grupie użytkowników i uszczegółowienie ich profilu i preferencji poprzez kolejne badania mogłyby wykazać różnice m.in. wynikające z modelu smartfonu jaki posiadają lub z jakiego korzystają systemu operacyjnego (iOS, Android, Windows Mobile).

**Literatura**

1. Al-Kodmany K., 2001 Bertin J., 1971 – Grafika. Przegląd Zagranicznej Literatury Geograficznej, 1-2: 9-31.
2. Supporting image ability of the World Wide Web: Lynch's five elements of the city in community planning. *Environment and Planning B* 28: 805–832.
3. Anand S., Ware J. M. i Taylor G. E., 2004 – Map generalization for OSMasterMap data in location based services & mobile GIS applications. *Proceedings of the 12th International Conference on Geoinformatics, Gavle, Sweden*, ed. by S. A. Brandt, 54– 60.
4. Andrienko G. L. i Andrienko N.V., 1999 – Interactive maps for visual data exploration. *International Journal of Geographical Information Science* 13(4): 355–374.
5. Baturay M. H. i Birtane M., 2013 – Responsive web design: a new type of design for web-based instructional content. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 106: 2275 – 2279.
6. Beaudouin-Lafon M., 2004 – Designing interaction, not interfaces. In *Advanced Visual Interfaces*. ACM, 15–22.
7. Bertin J., 1971 – Grafika. Przegląd Zagranicznej Literatury Geograficznej, 1-2: 9-31.
8. Bertin J., 1983 – *Semiology of Graphics*. Madison. WI: University of Wisconsin Press.
9. Bieber G., 2004 – Intelligente Tourenplanung für Fußgänger. *INI - GraphicsNet 2004: Verkehr und Mobilitätssicherung*, Impressum, 36-39.
10. Bonin S., 1989 – Poziomy czytania mapy. *Polski Przegląd Kartograficzny*, 21(2): 49-62.
11. Bostock M. i Davies J., 2013 – Code as Cartography. *The Cartographic Journal*, 50th Anniversary Special Issue, 50(2): 129-135.
12. Bostock M. i Metcalf C., 2017 – The TopoJSON format specification. <https://github.com/topojson/topojson-specification>.
13. Boulos M. N. K., 2005 – Web GIS in practice III: creating a simple interactive map of England's Strategic Health Authorities using Google Maps API, Google Earth KML, and MSN Virtual Earth Map Control. *International Journal of Health Geographics*, 4-22.
14. Boulos M. N. K. i Burden D., 2007 – Web GIS in practice V: 3-D Interactive and real-time mapping in Second Life. *International Journal of Health Geographics*, 6: 51.
15. Brambilla G., Amoretti M. i Zanichelli F., 2017 – Adgt.js: a web application framework for peer-to-peer location-based services. W: Desprez F., i in. (eds) *EUROPAR 2016: parallel processing workshops*. *Lecture Notes in Computer Science*, vol 10104. Springer, Cham.

16. Brewer C. A. i Buttenfield B. P., 2007 – Framing guidelines for multi-scale map design using databases at multiple resolutions. *Cartography and Geographic Information Science* 34(1): 3–15.
17. Brychtov A., Popelka S. i Dobesova Z., 2012 – Eye-tracking methods for investigation of cartographic principles. *Proceedings of SGEM 2012, 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, Volume II*, STEF92 Technology Ltd., Sofia, Bulgaria, 1041-1048s.
18. Brychtová A. i Çöltekin A., 2014 – An Empirical User Study for Measuring the Influence of Colour Distance and Font Size in Map Reading Using Eye Tracking. *The Cartographic Journal*, 53 (3): 202-212.
19. Butler H., Doly M., Doyle A., Gillies S., Hagen S. i Schaub, T., 2016 – The GeoJSON Format Specification (RFC 7946), <https://tools.ietf.org/html/rfc7946>.
20. Butler H., Doly M., Doyle A., Gillies S., Schaub T. i Schmidt C., 2008 – The GoeJSON Format Specification, <http://geojson.org/geojson-spec.html>.
21. Cammack R. G., 2003 – Cartography, virtual reality, and the Internet: Integrating abstract models of the environment via the Internet. In *Maps and the Internet*, edited by M. P. Peterson, 359–370. Amsterdam: Elsevier.
22. Cartwright W., 1999 – Extending the map metaphor using web delivered multimedia. *International Journal of Geographical Information Science*, 13(4): 335–353.
23. Cheverst K., Davies N., Mitchell, K., Friday A. i Efstratiou C., 2000 – Developing a Context- aware Electronic Tourist Guide: Some Issues and Experiences. *Proc. of CHI 2000*, ACM. Hague, the Netherlands, 17-24.
24. Chien J. P., Diehl V. A. i Norman K. L., 1988 – Development of an Instrument Measuring User Satisfaction of the Human– Computer Interface. *Proceedings CHI'88, Human Factors in Computing Systems*, ACM, 213–218.
25. Clarke K. C., 2004 – Mobile mapping and geographic information systems. *Cartography and Geographic Information Science* 31(3): 131–136.
26. Cohen J., 1988 – *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2nd ed. Lawrence Erlbaum Associates, 579.
27. Çöltekin A., Fabrikant S.I. i Lacayo M., 2010 – Exploring the efficiency of users' visual analytics strategies based on sequence analysis of eye movement recordings. *Intern. Journal of Geographical Information Science*, 24(10): 1559–1575.

28. Çöltekin A., Heil B., Garlandini S. i Fabrikant S.I., 2009 – Evaluating the effectiveness of interactive map interface designs: a case study integrating usability metrics with eye-movement analysis. *Cartography and Geographic Information Science*, 36(1): 5–17.
29. Cybulski P., Wielebski Ł., 2019 – Effectiveness of dynamic point symbols in quantitative mapping, *The Cartographic Journal*, 56(2): 146-160.
30. Davies C., Wood L. i Fountain L., 2005 – User-centred GI: hearing the voice of the customer. W: AGI 2005: People, Places and Partnerships, Annual Conference of the Association for Geographic Information, London, UK, November 8–10, 2005.
31. Derrough J., 2013 – Instant Interactive Map Designs with Leaflet JavaScript Library How-to. Packt Publishing, Ltd.
32. Dillemath J., 2005 – Map Design Evaluation for Mobile Display. *Cartography and Geographic Information Science*, 32: 285-301.
33. Dix A., Finlay J., Abowd G. D. and Beale R., 2004 – Human – Computer Interaction, 3rd ed. Pearson Education Limited: Harlow, England.
34. Donohue R. G., Sack C.M. i Roth R. E., 2013 – Time Series Proportional Symbol Maps with Leaflet and jQuery. *Cartographic Perspectives*, 76: 43-65.
35. Duchowski A.T., 2007 – Eye tracking methodology: Theory and practice. Second Edition. London: Springer-Verlag.
36. Dykes J., 1996 – Dynamic maps for spatial science: A unified approach to cartographic visualization. In *Innovations in GIS 3*, edited by D. Parker, 177–188. London: Taylor & Francis.
37. Dykes J. A., 1997 - Exploring spatial data representation with dynamic graphics. *Computers & Geosciences*, 23(4): 345–370.
38. Elias B., Hampe M. and Sester M., 2005 – Adaptive Visualisation of Landmarks using an MRDB. W: Meng L., Zipf A. & Reichenbacher T. (eds): *Map-based Mobile Services*. Springer, 73-86.
39. Etz M. i Haist J., 2005 – Mobile 3D viewer. W: *Computer Graphic - User-centered visualization and interface design*, 17:28.
40. Fabrikant S.I., Rebich-Hespanha S., Andrienko N., Andrienko G. i Montello, D.R., 2008 – Novel Method to Measure Inference Affordance in Static Small Multiple Displays Representing Dynamic Processes. *The Cartographic Journal*, 45(3).
41. Fabrikant S.I., Rebich-Hespanha S., i Hegarty M., 2010 – Cognitively inspired and perceptually salient graphic displays for efficient spatial inference making. *Annals of the Association of American Geographers*, 100(1): 13–29.

42. Farkas G., 2017 – Practical GIS. Packt Publishing, Birmingham.
43. Faustryjak D., Majchrowicz M. i Jackowska-Strumiłło L., 2017 – Application of the layered model management system in an interactive map of university campus. *Image Processing & Communications*, 22(4), 51-58.
44. Freitag U., 1992 – Basic Map Models, *Kartographische Konzeptionen (Konzeptionen/Cartographic)*. Berlin, Freie Universität Berlin, 132.
45. Friedmannová L., M. Konečný i K. Staněk., 2006 – An adaptive cartographic visualization for support of the crisis management. W: *Proceedings of AutoCarto*, 100–105. Vancouver, WA: Cartography and Geographic Information Society.
46. Gardner B. S., 2011 – Responsive web design: Enriching the user experience. *Sigma Journal: Inside the Digital Ecosystem*, 11(1): 13–19.
47. Garlandini S. i Fabrikant, S.I., 2009 – Evaluating Effectiveness and Efficiency of Visual Variables for Geographic Information Visualization. W: K. Hornsby, C. Claramunt, M. Denis, and G. Ligozat (Ed.), *Spatial Information Theory. COSIT 2009*; Berlin: Springer, 195-211.
48. Garrett J. J., 2005 – Ajax: A new approach to web applications. *Adaptive Path*. <http://www.adaptivepath.com/ideas/ajax-new-approach-web-applications>.
49. Gellersen H.-W., 2003 – Embedded interactive systems: toward everyday environments as the interface, *Mensch & Computer — Interaktion in Bewegung*, 25–28.
50. Giurgiu L., i Gligorea I., 2017 – Responsive web design techniques. *International Conference Knowledge-based organization*, XXIII(3).
51. Griffin A.L., White T., Fish C., Tomio B., Huang H., Sluter C.R., Bravo J.V.M., Fabrikant S.I., Bleisch S., Yamada M. i Picanço P., 2017 – Designing across map use contexts: A research agenda. *International Journal of Cartography*, 3(1): 61-89.
52. Goldberg J.H. i Kotval X.P., 1999 – Computer interface evaluation using eye movements: methods and constructs. *Intern. Journal of Industrial Ergonomics*, 24(6): 631–645.
53. Goldsberry K., 2007 – Real-Time Traffic Maps for the Internet. PhD Diss., University of California, Santa Barbara.
54. Haklay M., Singleton A. i Parker C., 2008 – Web mapping 2.0: The Neogeography of the GeoWeb. *Geography Compass* 2(6): 2011–2039.
55. Haklay M., i Weber P., 2008 – OpenStreetMap: User-generated street maps. *Pervasive Computing* 7(4): 12–18.
56. Haklay M. i Zafiri, A., 2008 – Usability Engineering for GIS: Learning from a Screenshot. *Special Issue on Use and User Issues of the Cartographic Journal*, 45(2): 87-97.

57. Hampe M., Hose K., Hatger C. i Katterfeld C., 2005 – A web based and time dependent visualisation of an event calendar. Proc. of International Cartographic Conference 2005, A Coruña, Spain.
58. Hardisty F., i Robinson A. C., 2011 – The GeoViz Toolkit: Using component-oriented coordination methods for geographic visualization and analysis. *International Journal of Geographical Information Science*, 25(2): 191–210.
59. Hegarty M., Smallman H. S., Stull A. T. i Canham, M. S., 2009 – Naïve cartography: How intuitions about display configuration can hurt performance. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 44(3): 171–186.
60. Herzog A., 2003 – Developing cartographic applets for the Internet. W: *Maps and the Internet*, edited by M. P. Peterson, 117–130. Amsterdam: Elsevier.
61. Hessels R. S., Kemner C., van den Boomen C., i Hooge I. T., 2016 – The area-of-interest problem in eyetracking research: A noise-robust solution for face and sparse stimuli, *Behavior Research Methods*, 48(4): 1694-1712.
62. Holmqvist K., Nyström M., Andersson R., Dewhurst R., Jarodzka H. i van de Weijer, J., 2011 – *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford: Oxford University Press.
63. Holweg D., 2004 – Mobile Fußgängerinformationssysteme. INI – GraphicsNet, Verkehr und Mobilitätssicherung, Impressum, 24-27.
64. Hornbæk K., 2006 – Current Practice in Measuring Usability: Challenges to Usability Studies and Research. *International Journal of Human–Computer Studies*. 64: 79–102.
65. Horbiński T. i Cybulski P., 2018 – Similarities of global web mapping services functionality in the context of responsive web design. *Geodesy & Cartography*, 67(2): 159-177.
66. Horbiński T., 2019 – Progressive Evolution of Designing Internet Maps on the example of Google Maps. *Geodesy & Cartography*, 68(1): 177-190.
67. Horbiński T., Cybulski P. i Medyńska-Gulij B., 2020 – Graphic design and placement of buttons in mobile map application. *The Cartographic Journal*.
68. Horbiński T. i Lorek D., 2020 – The use of Leaflet and GeoJSON for creating the interactive web map of the preindustrial state of the natural environment, *Journal of Spatial Science*.
69. Hu S. 2008 – Advances of web standards and techniques for developing hypermedia maps on the Internet. W: *International Perspectives on Maps and the Internet*, edited by M. P. Peterson, 115–124. Berlin-Heidelberg: Springer.

70. ISO/DIS 9241-11 Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) – Part 11: Guidance on usability, International Organization for Standardization (1998).
71. Jenny B., Jenny H., i Räber S., 2008 – Map design for the Internet. W: International Perspectives on Maps and the Internet, edited by M. P. Peterson, 31–48. Berlin-Heidelberg: Springer.
72. Jobs S., 2010 – Thoughts on Flash. Apple, Inc. Accessed September 30 2013. <http://www.apple.com/hotnews/thoughts-on-flash>.
73. Klippel A., 2003 – Wayfinding Choremes: Conceptualizing Wayfinding and Route Direction Elements. PhD thesis. Department of Mathematics and Informatics, University of Bremen.
74. Knight K., 2011 – Responsive web design: What it is and how to use it. Smashing Magazine, 12: 234–262.
75. Koch W. G., 2007 – Zum Wesen der begriffe Zeichen, Signatur und Symbol in der Kartographie. W: Begriffe zur wissenschaftlichen Kartographie/Contributions to scientific cartography, TUDpress, 53-64. Dresden.
76. Kolbe T., 2004 – Augmented panorama and videos for pedestrian navigation. In: Proc. 2nd Symposium on Location Based Services and TeleCartography 2004, Geowissenschaftliche Mitteilungen, TU Wien.
77. Kopczyński M. i Sester M., 2004 – Representation of Sketch Data for Localisation in Large DataSets, W: International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.
78. Kölmel B. i Wirsing M., 2002 – Nutzererwartungen an Location Based Services - Ergebnisse einer empirischen Analyse, in A. Zipf and J. Strobl (Eds.), Geoinformation mobil, Heidelberg: Wichmann Hüthig Verlag, 85-97.
79. Kruskal W. H., i Wallis W. A., 1952 – Use of ranks in one-criterion variance analysis. J. Am. Stat. Assoc., 47: 583-621.
80. Leonowicz A. M., 2006 – Kartogram jako forma prezentacji zależności zjawisk geograficznych, Polska Akademia Nauk, Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania im. Stanisława Leszczyckiego, Warszawa.
81. Li X., Çöltekin A. i Kraak M.-J., 2010 – Visual exploration of eye movement data using the space-time- cube. Lecture Notes of Computer Sciences, 6292: 295–309.

82. Lienert C., Jenny B., Schnabel O. i Hurni L., 2012 – Current trends in vector-based Internet mapping: A technical review. W: *Online Maps with APIs and Web Services*, edited by M. P. Peterson, 23–36. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag
83. Lin, X. H., Choong Y-Y. i Salvendy G., 1997 – A Proposed Index of Usability: A Method for Comparing the Relative Usability of Different Software Systems. *Behaviour and Information Technology*, 16(4/5): 267–278.
84. MacEachren A. M., Wachowicz M., Edsall R., Haug D. i Masters R., 1999 – Constructing knowledge from multivariate spatiotemporal data: Integrating geographical visualization with knowledge discovery in database methods. *International Journal of Geographical Information Science*, 13(4): 311–334.
85. Marasek K., 2006 – *Interfejs użytkownika. Kansei w praktyce*. Warszawa: Polsko-Japońska Wyższa Szkoła Technik Komputerowych.
86. Marcotte E. 2010 – Responsive web design. A List Apart. Accessed September 30 2013. <http://alistapart.com/article/responsive-web-design>.
87. Masters R., Edsall R., 2000 – Interaction tools to support knowledge discovery: A case study using Data Explorer and Tcl/Tk. W: *Proceedings of Visualization Development Environments*. Princeton, NJ.
88. McEntee C., 2010 – Google Map symbols headache for creator. Źródło: <http://www.stuff.co.nz/technology/digital-living/4098069/Google-Map-symbols-headache-for-creator>
89. Medyńska-Gulij B., i Spallek W., 2002 – Komputerowe opracowanie planu miasta a poziomy jego czytania, *Polski Przegląd Kartograficzny*, 29:189-195.
90. Medyńska-Gulij B., 2007 – Legenda i zasady gestaltyzmu w graficznym projektowaniu treści mapy. *Polski Przegląd Kartograficzny*, 39(2); 137-145.
91. Medyńska-Gulij B., 2008 – Point Symbols: Investigating Principles and Originality in Cartographic Design. *The Cartographic Journal* , 45/1:62-67
92. Medyńska-Gulij B., 2010a – Map compiling, map reading, and cartographic design in „pragmatic pyramid of thematic mapping”. *Quaestiones Geographicae* 29(1): 57-63.
93. Medyńska-Gulij B., 2010b – Wizualizacja kartograficzna na potrzeby ocen środowiska przyrodniczego. W: *Praktyczne aspekty ocen środowiska przyrodniczego*, Bródka S. (red.), *Studia i Prace z Geografii i Geologii*, 4, 174–196, Bogucki Wyd. Nauk., Poznań.
94. Medyńska-Gulij B., 2011 – *Kartografia i geowizualizacja*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

95. Medyńska-Gulij B., 2012 – Pragmatical cartography in Google Maps API [Pragmatische kartographie in Google Maps API]. *Kartographische Nachrichten*, 62(5): 250-255.
96. Medyńska-Gulij B., 2014 – Cartographic sign as a core of multimedia map prepared by non-cartographers in free map services, *Geodesy and Cartography*. 63:55-64.
97. Medyńska-Gulij B., 2015 – *Kartografia. Zasady i zastosowania geowizualizacji*. PWN Warszawa.
98. Meng L., 2005 – Egocentric Design of Map-Based Mobile Services - *The Cartographic Journal*, 42: 5-13.
99. Meng L., Reichenbacher T. i Zipf A., 2005 – *Mapbased Mobile Services*. Berlin-Heidelberg: Springer- Verlag.
100. Meng L., 2008 – The State of the Art of Map-Based Mobile Services. W: *Map-based Mobile Services*. L. Meng, A. Zipf, S. Winter (ed.), Berlin, Heidelberg: Springer, 1–12.
101. Mitchell T., 2005 – *Web Mapping Illustrated*, O'Reilly Media INC., Sebastopol, CA.
102. Mohamed A. A., Cheruiyot W. K., Rimiru R. i Ondago, C., 2014 – Responsive Web Design in Fluid Grid Concept Literature Survey. *The International Journal of Engineering and Science*, 3(7): 49-57.
103. Muehlenhaus I., 2011 – From print to mobile mApps: How to take Adobe Illustrator files, add pinch-to-zoom, and place them on the Android market. *Cartographic Perspectives*, 69: 55-66.
104. Muehlenhaus I., 2013 – *Web Cartography – Map Design for Interactive and Mobile Devices*, CRC Press, Boca Raton, FL.
105. Murray S., 2017 – *Interactive Data Visualization for the Web: An Introduction to Designing with*. O'Reilly Media, Inc.
106. Nielsen J., 1993 – *Usability Engineering*, San Diego, Academic Press.
107. Nielsen J., 1994 – *Guerilla HCI: Using Discount Usability Engineering to Penetrate the Inimidation Barrier*. [http://www.useit.com/papers/guerilla\\_hci.html](http://www.useit.com/papers/guerilla_hci.html)
108. Nielsen J., Pernice K., 2010 – *Eyetracking web usability*. Berkeley: New Riders.
109. Nivala A.-M., Sarjakoski L.T, Sarjakoski T., 2005 – User-Centred Design and Development of a Mobile Map Service. W: *ScanGIS'2005 – Proc. of the 10th Scandinavian Research Conference on Geographical Information Sciences*, 109-123, Stockholm, Sweden, June 13-15.
110. Nivala A.-M., Brewster S., Sarjakoski L. T., 2008 – Usability Evaluation of Web Mapping Sites. *The Cartographic Journal*, 45: 129-138.
111. Norman D., 1988 – *The Psychology of Everyday Things*. New York: Basic Books.

112. Norman D. i Nielsen J., 2014 – Definition of User Experience. Accessed at: <https://www.nngroup.com/articles/definition-user-experience/>
113. Opach T., 2011 – Zastosowanie okulografii (techniki eye-tracking) w kartografii. *Polski Przegląd Kartograficzny*, 43(2): 155-169.
114. Oppermaun R., (Ed.) 1994 – Adaptive User Support: Ergonomic Design of Manually and Automatically Adaptable Software, Computers, Cognition, And Work, Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum Associates.
115. Paelke V., Elias B. i Hampe M., 2005 - The CityInfo Pedestrian Information System - An Experiment with Content Creation and Presentation Techniques. Proc. International Cartographic Conference (CD-ROM), A Coruña, Spain.
116. Pammer A. i Radoczky V., 2002 – Multimediale Konzepte fu'r mobile kartenbasierte Fußgängeravigationssysteme', in *Geoinformation mobil*, ed. by Zipf, A. and Strobl, J., 117– 26, Wichmann.
117. Peterson G. N., 2005 – A decade of Maps and the Internet. W: *Proceedings of International Cartographic Conference*. A Coruna: International Cartographic Association.
118. Peterson G. N., 2008 – International Perspectives on Maps and the Internet: An Introduction. W: *International Perspectives on Maps and the Internet*, edited by M. P. Peterson, 3–10. Berlin-Heidelberg: Springer.
119. Peterson G. N., 2014a – GIS cartography. A guide to effective map design, 2nd edn. CRC Press, Boca Raton.
120. Peterson M. P., 1998 – That interactive thing you do. *Cartographic Perspectives* 29: 3–4.
121. Peterson M. P., 2011 – Travel log: Travels with iPad maps. *Cartographic Perspectives* 68: 75-82.
122. Peterson M. P., 2014b – Mapping in the cloud. Guilford, New York.
123. Pędzich P., 2014 – Podstawy odwzorowań kartograficznych z aplikacjami komputerowymi, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
124. Plewe B., 2007 – Web Cartography in the United States. *Cartography and Geographic Information Science* 34(2): 133–136.
125. Poole A., Ball L.J., 2005 – Eye tracking in human-computer interaction and usability research: Current status and future prospects. W: „Encyclopedia of human-computer interaction”, red. C. Ghaoui. Pennsylvania: Idea Group, Inc.
126. Pulsifer P., Hayes A., Fiset J. P. i Taylor D., 2008 – An open source development framework in support of cartographic integration. W: *International Perspectives on Maps and the Internet*, edited by M. P. Peterson, 165–185. Berlin-Heidelberg: Springer.

127. Pushpins Out, Computer Maps In. 1993 – Sales and Marketing Management, 145: 20-21.
128. Radoczky V. i Gartner G., 2005 – Extent and effectiveness of map abstraction for communicating routes in a LBS. Proc. International Cartographic Conference (CD-ROM), A Coruña, Spain.
129. Ratajski L., 1970 - Kartologia, Polski Przegląd Kartograficzny, 2(3): 97-110.
130. Ratajski L., 1973 – Metodyka kartografii społeczno-gospodarczej, Wyd. 2. Warszawa, PPWK.
131. Reichenbacher T., 2003 – Adaptive methods for mobile cartography.” In Proceedings of the International Cartographic Conference. Durban: International Cartographic Association.
132. Reichenbacher T., 2004 – Mobile cartography - Adaptive visualisation of geographic information on mobile devices. PhD thesis. Technical University of Munich.
133. Ricker B. i Roth R. E., 2018 – Mobile Maps and Responsive Design. The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge (2nd Quarter 2018 Edition), John P. Wilson (Ed).
134. Roth R. E. i Harrower M., 2008 – Addressing Map Interface Usability: Learning from the Lakeshore Nature Preserve Interactive Map. Cartographic Perspectives, 60: 46–66.
135. Roth R. E., Brewer C. A., Stryker M. S., 2011 – A typology of operators for maintaining legible map designs at multiple scales. Cartographic Perspectives 68: 29–64.
136. Roth R. E., 2012 – Cartographic interaction primitives: Framework and synthesis. The Cartographic Journal, 49(4): 376-395
137. Roth R., 2013 – Interactive maps: What we know and what we need to know. Journal of Spatial Information Science, 6: 59–115.
138. Roth E. R., Donohue R. G., Sack C. M., Wallace T. R. i Buckingham T. M. A., 2014 – A Process for Keeping Pace with Evolving Web Mapping Technologies. Cartographic Perspectives, 78: 25-52.
139. Roth R. E., 2017 – User Interface and User Experience (UI/UX) Design. The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge (2nd Quarter 2017 Edition), John P. Wilson (ed.).
140. Roth R.E., Young S., Nestel C., Sack C.M., Davidson B., Knoppke-Wetzel V., Ma F., Mead R., Rose C. i Zhang G., 2018 – Global landscapes: Teaching globalization through responsive mobile map design. The Professional Geographer.

141. Sarjakoski L.T., i Sarjakoski T., 2004 – A use case based mobile GI service with embedded map generalisation. ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation, August 20-21, Leicester.
142. Sayda F., Reinhardt W. i Wittmann E., 2002 – Positionsbezogene Dienste zur Unterstützung von Bergsteigern und Wanderern. W: A. Zipf / J. Strobl (Eds.): Geoinformation mobil. Wichmann, 127-137.
143. Schulz T., 2005 – Graphic- and sketch-based interaction for GIS applications. Computer Graphik Topics – Reports of the INI-GraphicsNet 1(17):13-14.
144. Schwertley W., 2003 – QuickTime virtual reality maps for the web. W: Maps and the Internet, edited by M. P. Peterson, 371–384. Amsterdam: Elsevier.
145. Shneiderman B., 1998 – Designing the User Interface: Strategies for Effective Human–Computer Interaction. (3rd ed). Addison Wesley Longman, Inc.
146. Skarlatidou A., Haklay M., 2006 – Public Web Mapping: Preliminary Usability Evaluation. In: Proceedings of GIS Research UK Conference, Nottingham, April 5-7.
147. Skopeliti A., Stamou L., 2019 – Online Map Services: Contemporary Cartography or a New Cartographic Culture. International Journal of Geo-Information, 8(5).
148. Spallek W., Wieczorek M., Szymanowski M., Niedzielski T., i Świerczyńska M., 2016 – Geovisualization in the HydroProg web map service. EGU General Assembly, 17-22 Kwiecień, Wiedeń.
149. Stevens J. E., Robinson A. C., MacEachren A. M., 2013 – Designing Map Symbols for Mobile Devices: Challenges, Best Practices, and the Utilization of Skeuomorphism. XXVI International Cartographic Conference, Dresden – Germany.
150. Qureshi I. A., i Nadeem A., 2013 – GUI Testing Techniques: A Survey. International Journal of Future Computer and Communication, 2(2).
151. Tsou M. H. 2004 – Integrating web-based GIS and image processing tools for environmental and natural resource management. Journal of Geographical Information Systems 6: 155–174.
152. Tsou M. H. 2005 – Recent development of Internet GIS. GISdevelopment. Accessed September 30 2013. [http://www.gisdevelopment.net/technology/gis/techgis\\_002pf.htm](http://www.gisdevelopment.net/technology/gis/techgis_002pf.htm).
153. Tsou M. H. 2011 – Revising Web Cartography in the United States: The rise of user-centered design. Cartography and Geographic Information Science 38 (3): 250–257.
154. Turan B. O. i Sahin K., 2017 – Responsive web design and comparative analysis of development frameworks. The Turkish Online Journal of Design, Art and Communication – TOJDAC, 7(1).

155. Wallace T., 2011 – A new map sign typology for the geoweb. Proceedings of 25th Annual International Cartographic Conference. Źródło: <http://icaci.org/files/documents/ICC-proceedings/ICC2011/Oral%20Presentations%20PDF/E1-Symbol,%20colors%20and%20maps%20design/CO-417.pdf>
156. Wang C. 2014 – Usability evaluation of public web mapping sites. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 60: 285-289.
157. Ware C., 2004 – Information visualization: Perception for design. San Francisco, CA: Morgan Kaufmann (The Morgan Kaufmann series in interactive technologies).
158. Wielebski Ł., 2015 – Wizualizacja kartograficzna dostępności przestrzennej w modelu monocentrycznym Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, 135.
159. Wielebski Ł., Medyńska-Gulij B., 2019 – Graphically supported evaluation of mapping techniques used in presenting spatial accessibility, Cartography and Geographic Information Science, 46(4): 311-333.
160. Wiener L., Ekholm T., i Haller P., 2015 – Modular Responsive Web Design using Element Queries.
161. Yi J. S., Kang Y. A., Stasko J. T., i Jacko J. A., 2007 – Toward a deeper understanding of the role of interaction in information visualization. Transactions on Visualization and Computer Graphics 13(6):1224–1231.
162. Źyszkowska W., 1993 – Złożoność jako właściwość obrazu kartograficznego i jej wpływ na odbiór mapy. Polski Przegląd Kartograficzny, 25(3): 116-125.
163. Źyszkowska W., Spallek W., Borowicz D., 2012 – Kartografia tematyczna. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

**Spis rycin**

<i>Ryc. 1 Fragment strony startowej biblioteki OpenLayers (openlayers.org)</i> .....	17
<i>Ryc. 2 Fragment strony startowej biblioteki Leaflet (leafletjs.com)</i> .....	18
<i>Ryc. 3 Fragment strony startowej biblioteki D3 (d3js.org)</i> .....	19
<i>Ryc. 4 Przykład responsywnego projektowania (Źródło: <a href="https://cerc.blackboard.com/domain/43">https://cerc.blackboard.com/domain/43</a>)</i> .....	27
<i>Ryc. 5 Umieszczenie responsywności w kontekście adaptacyjności</i> .....	29
<i>Ryc. 6 Aplikacja mobilna Google Maps na systemach – A – iOS 12.1 (model telefonu – iPhone SE); B – Android 8 Oreo; i C – strona internetowa (model telefonu – Samsung Galaxy S7) – Źródło: Horbiński, 2019</i> .....	31
<i>Ryc. 7 Mapa w strukturze warstwowej (Medyńska-Gulij, 2015)</i> .....	34
<i>Ryc. 8 Pionowy układ elementów treści mapy (Medyńska-Gulij, 2007)</i> .....	34
<i>Ryc. 9. Warstwy pogrupowane według kolejnych poziomów czytania (Medyńska-Gulij i Spallek, 2002)</i> .....	34
<i>Ryc. 10 Typy map według metod mapowania dla danych jakościowych – punkt, linia, poligon na podstawie Medyńska-Gulij, 2015 (według Freitag, 1992 i Medyńska-Gulij, 2010)</i> .....	36
<i>Ryc. 11 Schemat badania wpływu rozmieszczenia przycisków graficznego interfejsu użytkownika na efektywność responsywnych map internetowych</i> .....	44
<i>Ryc. 12 Fragment podkładu OpenStreetMap z mapą ogólnogeograficzną (zoom: 16, współrzędne środka mapy: <math>\lambda</math> 3.435499 <math>\phi</math> 52.171608)</i> .....	46
<i>Ryc. 13 Ryc. 13 Układy rozmieszczenia przycisków na monitorze komputera stacjonarnego</i> .....	49
<i>Ryc. 14 Układy rozmieszczenia przycisków na monitorze komputera stacjonarnego</i> .....	50
<i>Ryc. 15 Zestawienie ikon graficznych dla funkcji zoomowanie na podstawie Horbiński i Cybulski (2018) będących podstawą do opracowania ujednocionej grafiki przycisków oddalania i przybliżania</i> .....	55
<i>Ryc. 16 Ujednoczenie ikony dla funkcji geolokalizacji na podstawie analizy innych serwisów mapowych prezentowanych w artykule Horbiński i Cybulski (2018)</i> .....	56
<i>Ryc. 17 Ujednoczenie ikony dla funkcji wyszukaj na podstawie analizy innych serwisów mapowych prezentowanych w artykule Horbiński i Cybulski (2018)</i> .....	56
<i>Ryc. 18 Ujednoczenie ikony dla funkcji wyznacz trasę na podstawie analizy innych serwisów mapowych prezentowanych w artykule Horbiński i Cybulski (2018)</i> .....	57
<i>Ryc. 19 Stworzenie ikony dla funkcji wyboru warstw na podstawie analizy innych serwisów mapowych prezentowanych w artykule Horbiński i Cybulski (2018)</i> .....	58
<i>Ryc. 20 Zastawienie wszystkich ikon stworzonych na potrzebę opracowania map oraz graficznego interfejsu użytkownika</i> .....	58
<i>Ryc. 21 Kod HTML z zaimplementowaną biblioteką Leaflet</i> .....	59

Ryc. 22 Drzewo plików stworzonej mapy internetowej.....	60
Ryc. 23 Fragment kodu JavaScript prezentujący stworzenie pola mapy oraz włączenia w jej strukturę podkładu mapowego OpenStreetMap. Na powyższym przykładzie widoczna jest mapa o punkcie centralnym określonym współrzędnymi geograficznymi $\lambda$ 3.435499 $\varphi$ 52.171608 oraz zoomem 16.....	61
Ryc. 24 Funkcja wyznaczn trasy. Źródło: <a href="https://www.liedman.net/leaflet-routing-machine/">https://www.liedman.net/leaflet-routing-machine/</a> ..	62
Ryc. 25 Fragment kodu JavaScript łączący wyznaczanie trasy i mapę internetową.....	63
Ryc. 26 Fragment kodu JavaScript łączący wtyczkę umożliwiającą geolokalizację i mapę internetową.....	64
Ryc. 27 Fragment kodu JavaScript łączący mapę internetową i wtyczkę umożliwiającą wyszukiwanie.....	65
Ryc. 28 Fragment kodu JavaScript łączący mapę internetową i wtyczkę umożliwiającą wybór warstw.....	66
Ryc. 29 Fragment kodu JavaScript łączący mapę internetową i wtyczkę umożliwiającą zoomowanie.....	67
Ryc. 30 Zapytanie medialne z punktami przerwania dla przygotowanych wariantów map....	68
Ryc. 31 Warianty graficznego interfejsu użytkownika na monitor komputera stacjonarnego oraz smartfon wraz z mapą podkładową.....	71
Ryc. 32 Kwestionariusz badawczy w programie Tobii Studio. W poszczególnych oknach znajdują się pytania kwestionariusza badawczego oraz adresy stron internetowych na których umieszczono warianty map internetowych. ....	74
Ryc. 33 Stanowisko badawcze wykorzystane podczas badań wariantów map internetowych na monitorze komputera stacjonarnego (przy laptopie autor kontrolujący przebieg badania, przy monitorze komputera stacjonarnego uczestnik badania).....	76
Ryc. 34 Stanowisko badawcze wykorzystane podczas badań wariantów map internetowych na smartfonie (przy laptopie autor kontrolujący przebieg badania, przy smartfonie uczestnik badania).....	77
Ryc. 35 Błędna kalibracja w słoneczne dni.....	77
Ryc. 36. Wyniki parametrów czasowych oraz odpowiedzi na pytanie 4 (Q4).....	80
Ryc. 37 Zbiorcze zestawienie średnich czasów zauważenia przycisków geolokalizacji (niebieski), wyszukaj (żółty) oraz wyznaczn trasę (zielony).....	82
Ryc. 38 Zbiorcze zestawienie średnich czasów identyfikacji przycisków geolokalizacji (niebieski), wyszukaj (żółty) oraz wyznaczn trasę (zielony).....	83
Ryc. 39 Zbiorcze zestawienie średnich czasów rozwiązania zadań 1-3 - geolokalizacja (niebieski), wyszukaj (żółty) oraz wyznaczn trasę (zielony).....	81
Ryc. 40. Czteropoziomowy schemat korelacji otrzymanych wyników liczbowych z odpowiedziami ankietowanych.....	86

<i>Ryc. 41 Tabela korelacji I poziomu dla układu Google Maps (cztery przyciski – monitor komputera stacjonarnego i smartfon).....</i>	<i>88</i>
<i>Ryc. 42 Tabela korelacji I poziomu dla Google Maps (sześć przycisków – monitor komputera stacjonarnego i smartfon).....</i>	<i>89</i>
<i>Ryc. 43 Tabela korelacji I poziomu dla układu subiektywnego (cztery przyciski – monitor komputera stacjonarnego i smartfon).....</i>	<i>90</i>
<i>Ryc. 44 Tabela korelacji I poziomu dla układu subiektywnego (sześć przycisków – monitor komputera stacjonarnego i smartfon).....</i>	<i>91</i>
<i>Ryc. 45 Tabela korelacji I poziomu dla układu OpenStreetMap (cztery przyciski – monitor komputera stacjonarnego i smartfon).....</i>	<i>93</i>
<i>Ryc. 46 Tabela korelacji I poziomu dla układu OpenStreetMap (sześć przycisków – monitor komputera stacjonarnego i smartfon).....</i>	<i>94</i>
<i>Ryc. 47 Tabela korelacji II poziomu dla układu Google Maps (cztery i sześć przycisków – monitor komputera stacjonarnego i smartfon).....</i>	<i>96</i>
<i>Ryc. 48 Tabela korelacji II poziomu dla układu subiektywnego (cztery i sześć przycisków – monitor komputera stacjonarnego i smartfon).....</i>	<i>97</i>
<i>Ryc. 49 Tabela korelacji II poziomu dla układu OpenStreetMap (cztery i sześć przycisków – monitor komputera stacjonarnego i smartfon).....</i>	<i>98</i>
<i>Ryc. 50 Tabela korelacji III poziomu dla układu wszystkich układów (cztery przyciski – monitor komputera stacjonarnego i smartfon).....</i>	<i>99</i>
<i>Ryc. 51 Tabela korelacji III poziomu dla układu wszystkich układów (sześć przycisków – monitor komputera stacjonarnego i smartfon).....</i>	<i>101</i>
<i>Ryc. 52 Tabela korelacji IV poziomu dla układu wszystkich układów (4 i 6 przycisków – monitor komputera stacjonarnego i smartfon).....</i>	<i>102</i>
<i>Ryc. 51 Wykres pudełkowy wyników testu Kruskala-Wallisa.....</i>	<i>104</i>
<i>Ryc. 54 Ścieżki patrzenia (GazePlot) uczestników badania przy rozwiązywaniu zadania 1 na monitorze komputera stacjonarnego dla układu subiektywnego z czterema (A) i sześcioma (B) przyciskami.....</i>	<i>107</i>
<i>Ryc. 55 Ścieżki patrzenia (GazePlot) uczestników badania przy rozwiązywaniu zadania 2 na monitorze komputera stacjonarnego dla układu Google Maps z czterema (A) i sześcioma (B) przyciskami.....</i>	<i>108</i>
<i>Ryc. 56 Ścieżki patrzenia (GazePlot) uczestników badania przy rozwiązywaniu zadania 3 na monitorze komputera stacjonarnego dla układu OpenStreetMap z czterema (A) i sześcioma (B) przyciskami.....</i>	<i>109</i>
<i>Ryc. 57 Ścieżka patrzenia (GazePlot) uczestnika badania przy rozwiązywaniu zadania 1 na smartfonie dla układu subiektywnego z czterema (A) i sześcioma (B) przyciskami.....</i>	<i>110</i>
<i>Ryc. 58 Ścieżka patrzenia (GazePlot) uczestnika badania przy rozwiązywaniu zadania 2 na smartfonie dla układu Google Maps z czterema (A) i sześcioma (B) przyciskami.....</i>	<i>111</i>

*Ryc. 59 Ścieżka patrzenia (GazePlot) uczestnika badania przy rozwiązywaniu zadania 3 na smartfonie dla układu OpenStreetMap z czterema (A) i sześcioma (B) przyciskami.....112*

*Ryc. 60 Graficzna prezentacja współczynnika efektywności badanych układów rozmieszczenia przycisków map internetowych.....113*

*Ryc. 61 Zbiorcze zestawienie wyników (w sekundach) dla czasu zauważania - Z (zielony) i czasu rozwiązania -R (pomarańczowy) w zadaniach 1-3.....115*