

Exploring Visual Variables for Effective Web Cartography

Nikoleta NIKOLOVA

University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Department of Photogrammetry and Cartography, bul. „Hristo Smirnenski“ 1, 1046 g.k. Lozenets, Sofia, Bulgaria
nikoletan765@gmail.com

Abstract: Theoretical research in cartography has recently gained increasing momentum, primarily due to technological advancements that allow for the convenient use of various traditional methodological approaches. For example, method for tracking user behavior can provide deep insights into the process of map reading, especially in the case of simple tasks. Visual search is one of the primary tasks users encounter when working with cartographic signs and sign systems. The main method described in the article aims to analyze the interaction with cartographic signs through selection and evaluation of cartographic signs. In this study, a set of non-scaled cartographic symbols was designed, incorporating various visual variables and their combinations. These combinations were used to create a web map, which was tested by 84 participants using a traditional click-based method for identifying cartographic symbols. The study examines how different visual variables influence the encoding of information and how the position of point symbols within the map affects visual search performance. The main objective is to identify which variables improve the speed and accuracy with which users can read and interpret cartographic data.

Keywords: web cartography, visual variables, interaction, subjectivity, accuracy, duration

1 Introduction

Visual variables are fundamental elements used for visually conveying information in graphic and visual media such as maps, charts, and diagrams. The term was introduced by the Frenchman Jacques Bertin in his classic study on cartographic semiotics, where he describes how various visual aspects can intuitively convey complex data.

These variables include categories such as color, size, shape, orientation, texture, and color hue. Each of them plays a specific role in how information is perceived, structured, and interpreted by the map reader. For example, color and shape are more effective for categorization and comparison.

The study of visual variables is crucial for understanding and improving visualizations. It brings together various disciplines such as graphic design, cartography, perception psychology, and computer science. The

main goal is to create visualizations that not only look aesthetically appealing but also facilitate the interpretation and analysis of data.

In today's world of increasing data volume and the need for effective communication, the proper use of visual variables is especially important. They provide a toolkit for designing cartographic signs that enhance understanding, support decision-making, and minimize cognitive load. This article explores the key aspects of visual variables and their practical application in the contemporary context of web mapping. Reading a map is a complex process that can be broken down into different levels of complexity. One of the most basic tasks when working with a map is visual searching, when the participant needs to identify the required target by Nelson et al. (1997). According to Bertin, no more than three variables, to which a specific meaning is assigned, should be combined in a single image. Gaze tracking has been used to study visual variables, such as in

Istraživanje vizualnih varijabli za učinkovitu web-kartografiju

Nikoleta NIKOLOVA

Sveučilište za arhitekturu, građevinarstvo i geodeziju, Odjel za fotogrametriju i kartografiju, bul. Hristo Smirnenki 1, 1046 g.k. Lozenets, Sofija, Bugarska
nikoletan765@gmail.com

Članak je na hrvatski jezik preveo V. Lapaine.
The paper was translated into Croatian by V. Lapaine.

Sažetak: Teorijska istraživanja u kartografiji u posljednje vrijeme dobivaju sve veći zamah, prvenstveno zahvaljujući tehnološkom napretku koji omogućuje praktično korištenje različitih tradicionalnih metodoloških pristupa. Na primjer, metoda praćenja ponašanja korisnika može pružiti uvid u proces čitanja karte, posebno u slučaju jednostavnih zadataka. Vizualno pretraživanje jedan je od primarnih zadataka s kojima se korisnici susreću pri radu s kartografskim znakovima i znakovnim sustavima. Glavna metoda opisana u članku ima za cilj analizirati interakciju s kartografskim znakovima putem njihova odabira i evaluacije. U ovom istraživanju dizajniran je skup neskalinanih kartografskih znakova koji sadrži različite vizualne varijable i njihove kombinacije. Te su kombinacije korištene za izradu web-karte koju je testiralo 84 sudionika koristeći tradicionalnu metodu identificiranja kartografskih znakova temeljenu na klikovima. Istražuje se kako različite vizualne varijable utječu na kodiranje informacija i kako položaj točkastih znakova unutar karte utječe na performanse vizualnog pretraživanja. Glavni cilj istraživanja bio je utvrditi koje varijable poboljšavaju brzinu i točnost kojom korisnici mogu čitati i interpretirati kartografske podatke.

Ključne riječi: web kartografija, vizualne varijable, interakcija, subjektivnost, točnost, trajanje

1. Uvod

Vizualne varijable su temeljni elementi koji se koriste za vizualno prenošenje informacija u grafičkim i vizualnim medijima kao što su karte, grafikoni i dijagrami. Pojam je uveo Francuz Jacques Bertin u svojoj klasičnoj studiji o kartografskoj semiotici, gdje opisuje kako različiti vizualni aspekti mogu intuitivno prenijeti složene podatke.

Te varijable sadrže kategorije poput boje, veličine, oblika, orijentacije, teksture i nijanse boje. Svaka od njih igra specifičnu ulogu u načinu na koji čitatelj karte percipira, strukturira i interpretira informacije. Na primjer, boja i oblik učinkovitiji su za kategorizaciju i usporedbu.

Proučavanje vizualnih varijabli ključno je za razumijevanje i poboljšanje vizualizacije. Okuplja različite discipline poput grafičkog dizajna, kartografije, psihologije

percepcije i računarstva. Glavni cilj je stvoriti vizualizacije koje ne samo da izgledaju estetski privlačno, već i olakšavaju interpretaciju i analizu podataka.

U današnjem svijetu sve veće količine podataka i potrebe za učinkovitom komunikacijom, pravilna upotreba vizualnih varijabli posebno je važna. One pružaju skup alata za dizajniranje kartografskih znakova koji poboljšavaju razumijevanje, podržavaju donošenje odluka i minimiziraju kognitivno opterećenje. Ovaj članak istražuje ključne aspekte vizualnih varijabli i njihovu praktičnu primjenu u suvremenom kontekstu web-kartografije.

Čitanje karte složen je proces koji se može podijeliti na različite razine složenosti. Jedan od najosnovnijih zadataka pri radu s kartom je prema Nelsonu i suradnicima (1997) vizualno pretraživanje pri kojem sudionik treba identificirati traženu metu. Prema Bertinu, u jednoj slici

the classic study by MacEachren et al. (2012), which explores the influence of changes in four visual variables: size, color value, color hue, and orientation.

2 Cartosemiotics

Cartosemiotics is a scientific discipline that studies maps as sign systems. It analyzes how signs and graphic elements convey information about objects and phenomena, assisting in the interpretation of spatial data. Cartosemiotics includes three main sections: cartographic syntax, cartographic semantics, and cartographic pragmatics (Berlyant 2003). A cartographic sign consists of a graphic sign, meaning, and location (Vasilev 2012).

A sign is a fundamental graphic symbol (or group of graphic signs) in semiotics and cartography, representing the connection between an object and its meaning. It acts as an intermediary, and thanks to its assigned meaning and specific location on the map, it has the ability to convey information about a given object or phenomenon. Thus, each sign carries significant information that makes the map useful, accurate, and easy to understand. Cartographic signs inherit the meanings of the graphic signs and primitives that make them up. But in addition, they have their own meaning.

A sign possesses subjective value, which depends on how it is perceived by the map readers: their visual abilities, concentration, and prior knowledge of the map. This value arises from perception and from the specific goals with which the map is used, and ultimately affects the entire process of cartographic communication and map interpretation.

A key question is how a specific form of cartographic visualization affects the effectiveness of cartographic communication (Konečný et al. 2011, Kolacny 1969, Staněk et al. 2010). An inappropriate method not only reduces performance but also imposes various requirements that correspond to the type of cartographic visualization, different types of users, and tasks (Lokka, Çöltekin 2016, Šašinka et al. 2019). Kubiček et al. (2017) show that size and colour hue individually and as a combination are faster and more effective for interpreting cartographic data compared to the combination of shape and colour value. Characteristics of users, such as cartographic skills (Ooms, De Maeyer, Fack, Van Assche, Witlox 2012, Ooms, De Maeyer, Fack 2014) and the type of task (Rautenbach, Coetsee, Çöltekin 2017, Roth 2012), should be considered when conducting empirical studies on the performance of alternative visualizations. Olson (1981) emphasized that maps are considered highly valuable visual stimuli in experimental psychology, as the variables they represent can be precisely controlled.

Empirical research on visual variables plays an important role among cartographic research methods (Herman et al. 2018, Juřík et al. 2017, Juřík et al. 2020, Kubíček et al. 2017). Kraak and Ormeling (2010) argue that when using cartographic methods, not only the scale of data representation should be considered, but also their geographic distribution. Last but not least, it is important to consider whether the boundaries of the depicted objects are clearly defined or not.

Differences in cognitive processing are linked to the theory of selective attention, which specifies that only a limited number of elements can be processed at the same time. The aspect of perception can be explained according to the theory of preliminary visual processing (Treisman, Gelade 1980). Some visual elements, called preliminary, can be detected at a glance and thus serve as central components of the visualization.

The design of the map is influenced by both objective and subjective factors (Voženílek et al. 2011). Objective factors include the theme of the map, its purpose, and the technical means used to create it. Subjective factors reflect the knowledge, experience, and personal preferences of the cartographer when using methods of visualizing geographic data (Brychtová, Popelka 2012).

3 Visual Variables

Visual variables (shape, size, color, color hue, texture, and orientation) are characteristics of the graphic primitives that make up the signs. When a sign consists of only one primitive, it inherits its visual variables. Through visual variables (static), cartographers can encode qualitative or quantitative characteristics into each sign. The strengths of the developed system of visual variables lie in its adaptability and ease of use (Monmonier 2018). The variety of signs used in different maps is vast. However, all of them are composed of a limited number of (visual) variables, which represent elementary graphic means.

Korycka-Skorupa and Golebiowska (2021) conducted an empirical study comparing three solutions for mapping four variables: two types of multivariate maps (exogenous and endogenous) and a simple universal variant serving as a baseline for comparison. The results show that experts used all the tested maps with similar results in terms of response time and accuracy, even when using intrinsic (endogenous) maps with four variables. The comparison of the proportion of time spent looking at the map versus the legend provided similar results to those of Šašinka et al. (2021). The four-variable intensive map caused the greatest effort. It was confirmed that the intensive (endogenous) design is a challenge even for experienced users.

ne bi trebalo kombinirati više od tri varijable kojima je dodijeljeno određeno značenje. Praćenje pogleda korišteno je za proučavanje vizualnih varijabli, kao npr. u klasičnoj studiji MacEachrena i suradnika (2012), koja istražuje utjecaj promjena u četiri vizualne varijable: veličini, vrijednosti boje, nijansi boje i orijentaciji.

2. Kartosemiotika

Kartosemiotika je znanstvena disciplina koja proučava karte kao znakovne sustave. Analizira kako znakovi i grafički elementi prenose informacije o objektima i pojavama, pomažući u interpretaciji prostornih podataka. Kartosemiotika se sastoji od tri glavna dijela: kartografska sintaksa, kartografska semantika i kartografska pragmatika (Berlyant 2003). Kartografski znak sastoji se od grafičkog znaka, značenja i lokacije (Vasilev 2012).

Znak je temeljni grafički simbol (ili skupina grafičkih znakova) u semiotici i kartografiji koji predstavlja vezu između objekta i njegovog značenja. Djeluje kao posrednik i zahvaljujući dodijeljenom značenju i specifičnom položaju na karti ima sposobnost prenošenja informacija o danom objektu ili pojavi. Dakle, svaki znak nosi značajne informacije koje kartu čine korisnom, točnom i lako razumljivom. Kartografski znakovi nasljeđuju značenja grafičkih znakova i primitiva koji ih čine. Ali osim toga, imaju i vlastito značenje.

Znak posjeduje subjektivnu vrijednost, koja ovisi o tome kako ga percipiraju čitatelji karte: njihove vizualne sposobnosti, koncentracija i prethodno znanje o karti. Ta vrijednost proizlazi iz percepcije i specifičnih ciljeva s kojima se karta koristi te u konačnici utječe na cijeli proces kartografske komunikacije i interpretacije karte.

Ključno je pitanje kako određeni oblik kartografske vizualizacije utječe na učinkovitost kartografske komunikacije (Konečný i sur. 2011, Kolacny 1969, Staněk i sur. 2010). Neodgovarajuća metoda ne samo da smanjuje performanse već i nameće različite zahtjeve koji odgovaraju vrsti kartografske vizualizacije, različitim vrstama korisnika i zadacima (Lokka, Çöltekin 2016, Šašinka i sur. 2019). Kubiček i suradnici (2017) pokazuju da su veličina i nijansa boje pojedinačno i kao kombinacija brži i učinkovitiji za interpretaciju kartografskih podataka u usporedbi s kombinacijom oblika i vrijednosti boje. Karakteristike korisnika, poput kartografskih vještina (Ooms i dr. 2012, Ooms i dr. 2014) i vrsta zadatka (Rautenbach i dr. 2017, Roth 2012), treba uzeti u obzir prilikom provođenja empirijskih istraživanja o izvedbi alternativnih vizualizacija. Olson (1981) naglašava da se karte smatraju vrlo vrijednim vizualnim podražajima u eksperimentalnoj psihologiji, jer se varijable koje predstavljaju mogu precizno kontrolirati.

Empirijska istraživanja vizualnih varijabli igraju važnu ulogu među kartografskim istraživačkim metodama

(Herman i sur. 2018, Juřík i sur. 2017, Juřík i sur. 2020, Kubiček i sur. 2017). Kraak i Ormeling (2010) tvrde da pri korištenju kartografskih metoda ne treba uzeti u obzir samo mjerilo prikaza podataka, već i njihova geografska rasprostranjenost. Na kraju, ali ne i najmanje važno, treba uzeti u obzir jesu li granice prikazanih objekata jasno definirane ili nisu.

Razlike u kognitivnoj obradi povezane su s teorijom selektivne pažnje, koja specificira da se istovremeno može obraditi samo ograničen broj elemenata. Aspekt percepcije može se objasniti prema teoriji preliminarnog vizualne obrade (Treisman, Gelade 1980). Neki vizualni elementi, nazvani preliminarni, mogu se otkriti na prvi pogled i stoga služe kao središnje komponente vizualizacije.

Na dizajn karte utječu i objektivni i subjektivni čimbenici (Voženílek i sur. 2011). Objektivni čimbenici uključuju temu karte, njezinu namjenu i tehnička sredstva korištena za njezinu izradu. Subjektivni čimbenici odražavaju znanje, iskustvo i osobne preferencije kartografa pri korištenju metoda vizualizacije geografskih podataka (Brychtová, Popelka 2012).

3. Vizualne varijable

Vizualne varijable (oblik, veličina, boja, nijansa boje, tekstura i orijentacija) karakteristike su grafičkih primitiva koji čine znakove. Kada se znak sastoji samo od jednog primitiva, on nasljeđuje njegove vizualne varijable. Pomoću vizualnih varijabli (statičkih), kartografi mogu kodirati kvalitativne ili kvantitativne karakteristike u svaki znak. Snage razvijenog sustava vizualnih varijabli leže u njegovoj prilagodljivosti i jednostavnosti korištenja (Monmonier 2018). Raznolikost znakova korištenih na različitim kartama je ogromna. Međutim, svi su oni sastavljeni od ograničenog broja (vizualnih) varijabli, koje predstavljaju elementarna grafička sredstva.

Korycka-Skorupa i Golebiowska (2021) provele su empirijsko istraživanje u kojem su usporedile tri rješenja za kartiranje četiriju varijabli: dvije vrste multivarijantnih karata (egzogene i endogene) i jednostavnu univerzalnu varijantu koja služi kao osnova za usporedbu. Rezultati pokazuju da su stručnjaci koristili sve testirane karte sa sličnim rezultatima u smislu vremena odziva i točnosti, čak i kada su koristili intrinzične (endogene) karte s četiri varijable. Usporedba udjela vremena provedenog gledajući kartu u odnosu na tumač znakova dala je slične rezultate kao što su oni Šašinke i suradnika (2021). Intenzivna karta s četiri varijable uzrokovala je najveći napor. Potvrđeno je da je intenzivni (endogeni) dizajn izazov čak i za iskusne korisnike.

Koristan pristup pri radu s web-kartama je postavljanje područja interesa. Na taj se način mogu primijeniti

A useful approach when working with web maps is to place areas of interest. This way, different analyses can be applied to the signs that fall into each zone, making it easier to reach summarized conclusions. For example, through the analysis of Stachoň et al. (2020), it is revealed that the relative position of the map sign within the map field is significant. Their results demonstrate the advantage of signs placed in the center of the map.

4 Research Questions and Hypotheses

During the preparation of the tests and the web map, a set of research questions was developed. These questions focus on the effectiveness of visual variables, spatial positioning, and user perception in cartographic tasks. For clarity, the research questions are grouped thematically as follows:

- **Visual Variable Saliency**

RQ1: Is size or color the most noticeable visual variable in a combined task involving both?

H1: Color is expected to be more salient than size, resulting in faster and more accurate identification.

RQ2: Will color lead to the shortest completion time?

H2: Color will result in the shortest task time due to its high perceptual saliency.

- **Cognitive Load**

RQ3: Does the combination of four visual variables double the difficulty of the task compared to two variables?

H3: Tasks involving four visual variables will take significantly more time and yield more errors than tasks with two variables.

RQ4: Is the most complex task (four variables) perceived as the most difficult by users?

H4: Participants will rate tasks with four visual variables as most difficult.

- **Task Accuracy**

RQ5: Are tasks with only one visual variable performed without errors?

H5: Tasks involving only one visual variable will result in minimal or no errors due to their simplicity.

5 Methodology

The goal of the research is a detailed study of the visual search task performed on the designed set of point-based non-scalable signs. The empirical study consists of cartographic tasks with a combination of several variables. Several usability indicators were used

in the analysis: *response time, accuracy of answers, and subjective assessment of the task's difficulty.*

6 Participants and Equipment

A total of eighty-four voluntary students from the University of Architecture, Civil Engineering, and Geodesy (UACEG) in Sofia, Bulgaria, participated in the study. These students were from the 1st year (Geodesy – 35 students), 2nd year (Geodesy – 29 students), and 5th year (Geodesy, specializing in Cartography and GIS – 20 students). The participants had studied in different high school profiles, including construction (38), language (21), mathematics (13), and other fields (12).

The average age of the participants in this statistical sample was determined using the arithmetic mean ($M = 22.4$) and the median ($Med = 22$), which represents the central value in the ordered data. The gender distribution was balanced with a male-to-female ratio of $m: 44 / f: 40$. The data was collected immediately before the start of the cartographic tests and was stored in a database until the results were processed, with written consent from all participants.

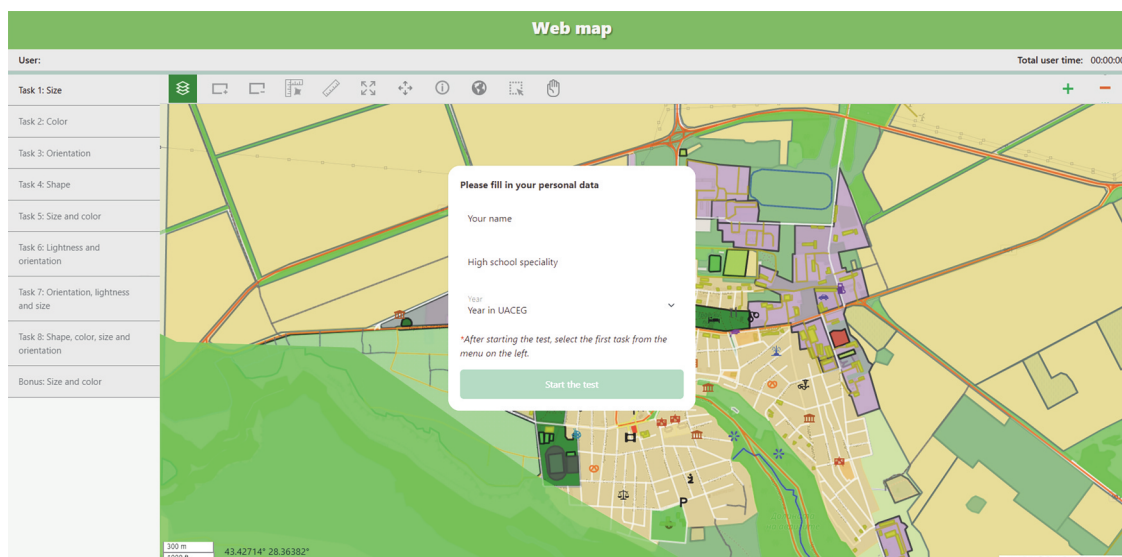
A total of 6% of the data collected from the web map was excluded from the study. The analysis identified two cases of exceptionally long and irregular response times, which were excluded from further analysis.

7 Technology

The test was conducted using various laptops. Participants used the ACER TravelMate desktop computer, 75 Hz, with a resolution of 1366×768 . Mobile devices such as phones, tablets, and iPads were not intended for use. Participants were allowed to use both a mouse (wired or wireless) and a touchpad on the keyboard to select their answers.

To collect data on user interaction, a test web map was created using the JavaScript programming language with Vue JS, in combination with the Leaflet.js library (an alternative option was the Google Maps API). The user interface was built using Bootstrap, along with custom-developed components. PHP and MySQL were used to conduct and record the data from the tests. The research project was hosted on a shared hosting platform with a dedicated domain, allowing students to access it regardless of their location. Figure 1 demonstrates the initial view of the test web map.

All data collected from the conducted tests (total user time, user clicks on cartographic signs, time for each individual click, and subjective user feedback) is stored on the used server in the relational MySQL database.



Slika 1. Izgled testne web-karte.

Fig. 1 View of the test web map.

različite analize na znakove koji spadaju u svaku zonu, što olakšava donošenje sažetih zaključaka. Na primjer, analizom Stachoña i suradnika (2020) otkriveno je da je relativni položaj znaka na karti unutar polja karte značajan. Njihovi rezultati pokazuju prednost znakova postavljenih u središte karte.

4. Istraživačka pitanja i hipoteze

Tijekom pripreme testova i web karte razvijen je skup istraživačkih pitanja. Ta se pitanja usredotočuju na učinkovitost vizualnih varijabli, prostornog pozicioniranja i percepcije korisnika u kartografskim zadacima. Radi jasnoće, istraživačka pitanja su tematski grupirana na sljedeći način:

- **Istaknutost vizualne varijable**

IP1: Je li veličina ili boja najuočljivija vizualna varijabla u kombiniranom zadatku koji uključuje oboje?

H1: Očekuje se da će boja biti istaknutija od veličine, što će rezultirati bržom i točnijom identifikacijom.

IP2: Hoće li boja dovesti do najkraćeg vremena završetka?

H2: Boja će rezultirati najkraćim vremenom izvršavanja zadatka zbog svoje visoke perceptivne istaknutosti.

- **Kognitivno opterećenje**

IP3: Udvostručuje li kombinacija četiriju vizualnih varijabli težinu zadatka u usporedbi s dvije varijable?

H3: Zadaci koji uključuju četiri vizualne varijable trajat će znatno više i rezultat će s više pogrešaka nego zadaci s dvije varijable.

IP4: Percipiraju li korisnici najsloženiji zadatak (četiri varijable) kao najteži?

H4: Sudionici će zadatke s četiri vizualne varijable ocijeniti kao najteže.

- **Točnost zadatka**

IP5: Izvode li se zadaci sa samo jednom vizualnom varijablom bez grešaka?

H5: Zadaci koji uključuju samo jednu vizualnu varijablu rezultat će minimalnim ili nikakvim pogreškama zbog svoje jednostavnosti.

5. Metodologija

Cilj istraživanja je detaljna studija zadatka vizualnog pretraživanja izvedenog na dizajniranom skupu točkastih znakova. Empirijsko istraživanje sastoji se od kartografskih zadataka s kombinacijom nekoliko varijabli. U analizi se koristilo nekoliko pokazatelja upotrebljivosti: *vrijeme odziva, točnost odgovora i subjektivna procjena težine zadatka.*

6. Sudionici i oprema

U istraživanju su sudjelovala osamdeset i četiri studenta volontera sa Sveučilišta za arhitekturu, građevinarstvo i geodeziju (UACEG) u Sofiji u Bugarskoj. Studenti su bili s 1. godine (geodezija – 35 studenata), 2. godine (geodezija – 29 studenata) i 5. godine (geodezija, specijalizacija kartografije i GIS-a – 20 studenata). Sudionici su imali različite srednjoškolske profile, uključujući građevinarstvo (38), jezik (21), matematiku (13) i druga područja (12).

8 Design of cartographic signs

The composition of the sign system for the map base consists of 63 point signs, 24 linear classes, and 11 territory categories represented by area signs (Figure 2). The formed sign system can be grouped into the following categories:

- Culture and Education
- Shops, fountains, drinking fountains, etc.
- Linear signs for transport objects, such as different road types – main streets, collector roads, pedestrian paths, and others.
- Area signs for different types of territories, including arable land, forested areas, orchards, vineyards, lavender fields, and more.

To define the web functionality of the created web map, customized buttons for zooming were implemented. These two buttons, used for increasing and decreasing the map content, adjust the map's level of detail. They provide interactivity, distinguishing the web map from static maps. The study objects include an additional set of 15 signs placed on the map (Figure 2).



Fig. 2 Airplane pictogram.
Slika 2. Piktogram zrakoplova.

These signs are represented as non-scaled pictogram-style airplane icons. The students were instructed to find and select the correct sign on the map as quickly as possible, based on a specific condition that the sign must fulfill.

9 Structure of the Experiment

The following flowchart (Figure 3) visually demonstrates the experiment flow and user interaction.

This web map was designed so that a participant begins by entering data including name and type of high school profile they completed (if a prior cartographic experience exists or not). The participants are students from the University of Architecture, Civil Engineering, and Geodesy. Once they have submitted the information and log in to a web based map interface, it triggers the total experiment timer. Participants search on the map for the airplane sign specified in the description.

Table 1 Category of users' opinions..

Tablica 1. Kategorije mišljenja korisnika.

1:	<i>Difficult/ Teško</i>	I encountered significant difficulties./ Naišao sam na značajne poteškoće.
2:	<i>Somewhat difficult/ Donekle teško</i>	There were some difficulties, but I managed to handle them./ Bilo je nekih poteškoća, ali sam ih uspio riješiti
3:	<i>Average/ Srednje</i>	Neither easy nor difficult, it was acceptable./ Ni lako ni teško, bilo je prihvatljivo.
4:	<i>Somewhat easy/ Donekle lako</i>	I handled it easily, but there were minor difficulties./ Lako sam se snašao, ali bilo je manjih poteškoća.
5:	<i>Easy/ Lako</i>	I encountered no difficulties./ Nisam naišao na poteškoće.

The moment they click any target icon, their difficulty rating (Table 1) and the unique sign ID are stored into a MySQL database.

Once they have rated the task, they are automatically advanced to the next one, which unlocks immediately. This process repeats seamlessly through all nine tasks. No fixed time limit is set for completing the tasks.

10 Results

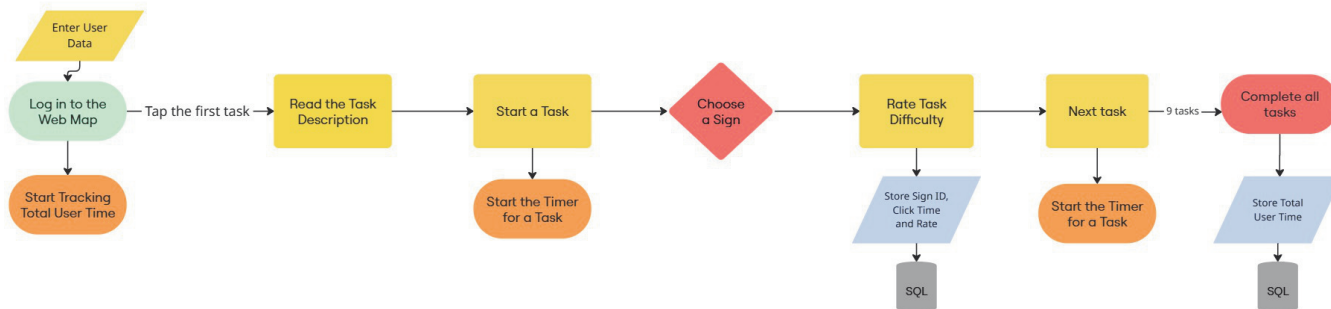
The data was collected at multiple levels. The time, accuracy, and click data were recorded and analyzed. Several indicators were used to evaluate the results. Behavioral correctness, reaction time, and user click metrics were also examined.

10.1 General Statistics for Participants

According to the gender of the participants, with 44 males and 40 females, the data for the overall user performance on all tasks of the test is shown in Figure 4.

The difference is not significant (24 seconds), which is not a meaningful indicator for drawing final conclusions about task perception based on gender differences.

The total user time includes both the time spent understanding/reading the condition and the time for visually searching and evaluating the task. A deeper analysis revealed that women require approximately



Slika 3. Dijagram toka eksperimenta.

Fig. 3 Flowchart shows the structure of the experiment.

Prosječna dob sudionika u ovom statističkom uzorku određena je s pomoću aritmetičke sredine ($M = 22,4$) i medijana ($Med = 22$), koji predstavlja središnju vrijednost u uređenim podacima. Spolna distribucija bila je uravnotežena s omjerom muškaraca i žena m:44 / ž:40. Podaci su prikupljeni neposredno prije početka kartografskih testova i pohranjeni su u bazi podataka do obrade rezultata, uz pisani pristanak svih sudionika.

Ukupno 6% podataka prikupljenih s web-karte isključeno je iz istraživanja. Analiza je identificirala dva slučaja iznimno dugog i nepravilnog vremena odziva, koja su isključena iz daljnje analize.

7. Tehnologija

Test je proveden korištenjem različitih prijenosnih računala. Sudionici su koristili stolno računalo ACER TravelMate, 75 Hz, s rezolucijom od 1366×768 . Mobilni uređaji poput telefona, tableta i iPada nisu bili namijenjeni za korištenje. Sudionicima je bilo dopušteno koristiti i miš (žični ili bežični) i dodirnu plohu na tipkovnici za odabir odgovora.

Za prikupljanje podataka o interakciji korisnika, izrađena je testna web-karta s pomoću programskog jezika JavaScript s Vue JS-om, u kombinaciji s bibliotekom Leflet.js (alternativna opcija bio je Google Maps API). Korisničko sučelje izgrađeno je s pomoću Bootstrapa, uz posebno razvijene komponente. PHP i MySQL korišteni su za provođenje i bilježenje podataka iz testova. Istraživački projekt smješten je na platformi dijeljenog hostinga s namjenskom domenom, što studentima omogućuje pristup bez obzira na njihovu lokaciju. Slika 1 prikazuje početni prikaz testne web-karte.

Svi podaci prikupljeni provedenim testovima (ukupno vrijeme korisnika, klikovi korisnika na kartografske znakove, vrijeme za svaki pojedinačni klik i subjektivne povratne informacije korisnika) pohranjeni su na poslužitelju u relacijskoj bazi podataka MySQL.

8. Dizajn kartografskih znakova

Sastav znakovnog sustava za kartografsku osnovu sastoji se od 63 točkastih znakova, 24 linearnih i 11 teritorijalnih kategorija predstavljenih površinskim znakovima (slika 2). Formirani znakovni sustav može se grupirati u sljedeće kategorije:

- Kultura i obrazovanje
- Trgovine, fontane, česme za piće itd.
- Linearni znakovi za prometne objekte, kao što su različite vrste cesta – glavne ulice, ceste, pješačke staze i drugo.
- Površinski znakovi za različite vrste teritorija, uključujući obradivo zemljište, šumska područja, voćnjake, vinograde, polja lavande i drugo.

Kako bi se definirala funkcionalnost kreirane web-karte, primijenjeni su prilagođeni gumbi za zumiranje. Dva gumba, koja se koriste za povećanje i smanjenje sadržaja karte, prilagođavaju razinu detalja karte. Oni pružaju interaktivnost, razlikujući web-kartu od statičnih karata. Objekti proučavanja sadrže i dodatni skup od 15 znakova postavljenih na karti (slika 2).

Znakovi su prikazani kao ikone zrakoplova u piktogramskom stilu bez mjerila. Studenti su dobili zadatak da što brže pronađu i odaberu ispravan znak na karti, na temelju određenog uvjeta koji znak mora ispunjavati.

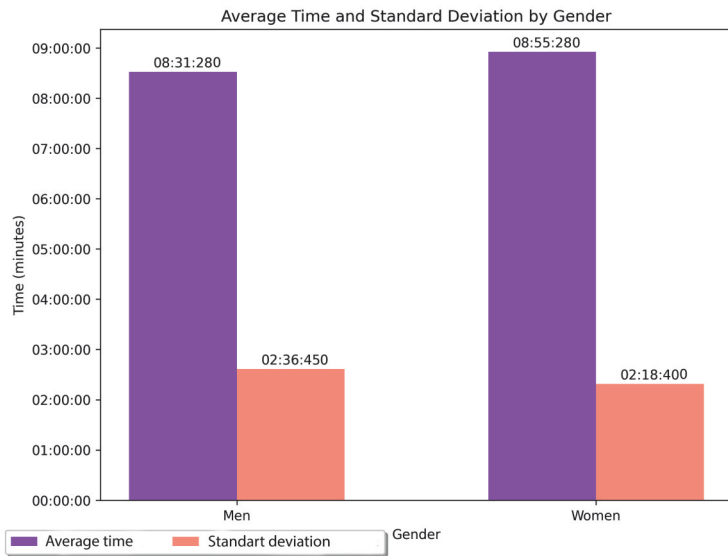


Fig. 4 Average time and standard deviation by gender.

Slika 4. Prosječno vrijeme i standardna devijacija po spolu.

10% more individual time (or time for a specific task) to understand the condition.

The purpose of collecting data on the high school profile is based on one of the hypotheses before creating the test, which suggests that students coming from a construction profile with intensive study of geodesy and cartography are expected to perform faster on the cartographic test compared to those coming from other profiles, such as language, mathematics, biology, and others. The test results contradict this hypothesis, as seen in Figure 5, where the students who studied languages intensively performed the fastest.

The second rejected hypothesis, related to the participants' course of study in the experiment, suggested that fifth-year students would perform faster and more accurately than second- and first-year students. The results show that the fastest and most accurate answers were provided by second-year students from the University of Architecture, Civil Engineering, and Geodesy (UACEG). According to the distribution of total user time for the entire test, the most common value was 8 minutes and 50 seconds to complete all tasks.

10.2 Average Time for Each Task

The average time required to complete the 8 visual search tasks (excluding task 1 – this task is of a different

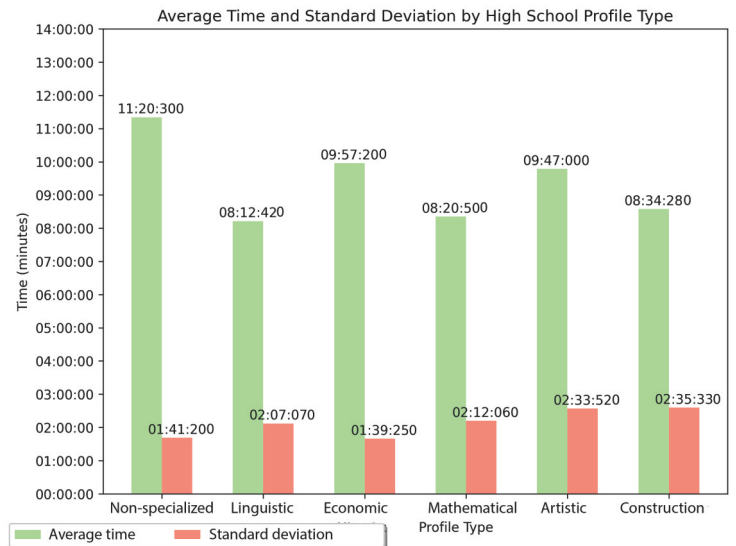


Fig. 5 Average time and standard deviation by high school profile type.

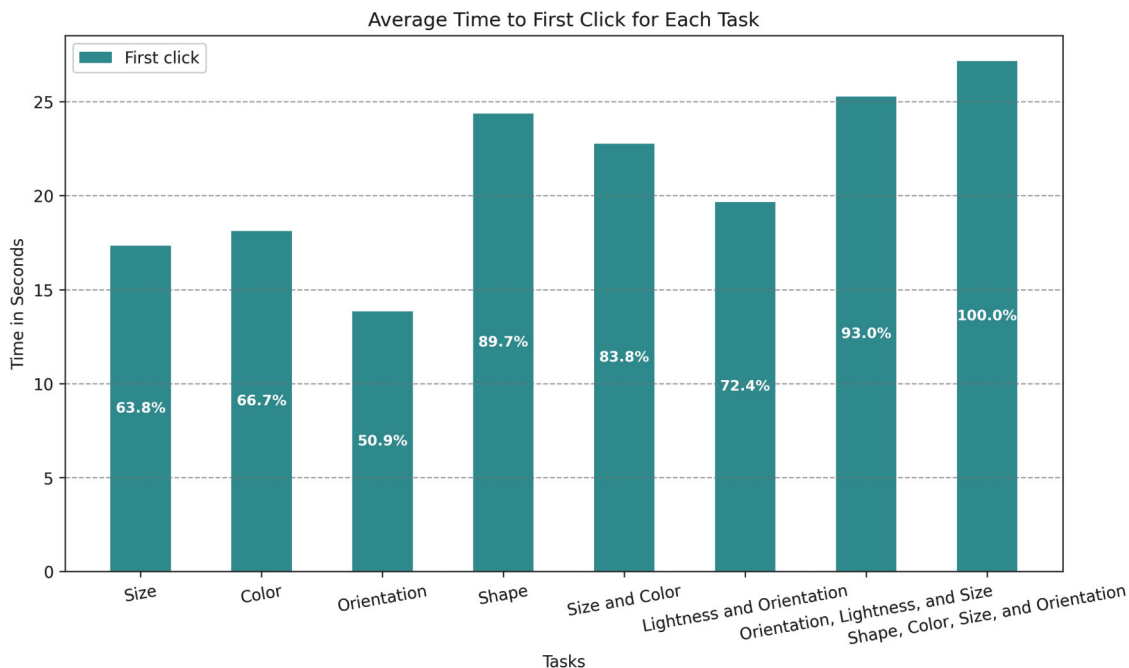
Slika 5. Prosječno vrijeme i standardna devijacija prema vrsti profila srednje škole.

nature, as all 10 signs are clicked and moved, not just one selected) ranges from 14 seconds to 27 seconds. The differences are presented in Fig. 6. Information about the individual time spent on a task will allow the determination of the amount of attention allocated in searching for the correct sign on the web map.

The times spent on the searches have been converted into percentages. The graph shows the ratio of the time spent after the instructions (the reading of the conditions for each task are not included in the visual search process) relative to each of the eight tasks.

The results also indicate that the type of task (i.e., whether it involves one, two, or more variables) affects performance, which aligns with the statement (regarding third variables) that task performance partly depends on the number of graphical variables encoding the information in the task. The results of the current study show that when there are more visual variables in the symbol, the user attempts to perceive and process the two or more different variables sequentially, subsequently “assembling” them in their working memory while solving the task. While one variable is stored at the moment in working memory, tasks involving two or more variables, as shown in the graph, did not delay the users in perceiving the information in them.

The above results seem to indicate that the conditions are not so complex that the time spent on searching for



Slika 6. Vrijeme za prvi kliknuti znak za svaki zadatak.

Fig. 6 Time for the first clicked sign for each task.

9. Struktura eksperimenta

Sljedeći dijagram toka (slika 3) vizualno prikazuje tijek eksperimenta i interakciju korisnika.

Web-karta dizajnirana je tako da sudionik započinje unosom podataka, uključujući naziv i vrstu srednjoškolskog profila koji je završio (postoji li prethodno kartografsko iskustvo ili ne). Sudionici su studenti sa Sveučilišta za arhitekturu, građevinarstvo i geodeziju. Nakon što unesu podatke i prijave se na web-sučelje karte, pokreće se ukupno mjerenje vremena eksperimenta. Sudionici na karti traže znak aviona naveden u opisu. U trenutku kada kliknu na bilo koju ikonu cilja, njihova ocjena težine (tablica 1) i jedinstveni ID znaka pohranjuju se u bazu podataka MySQL.

Nakon što ocijene zadatak, automatski prelaze na sljedeći, koji se odmah otključava. Taj se postupak ponavlja kroz svih devet zadataka. Nije postavljeno fiksno vremensko ograničenje za dovršavanje zadataka.

10. Rezultati

Podaci su prikupljeni na više razina. Vrijeme, točnost i podaci o klikovima zabilježeni su i analizirani. Za procjenu rezultata korišteno je nekoliko pokazatelja.

Također su ispitani pokazatelji ispravnosti ponašanja, vremena reakcije i klikova korisnika.

10.1. Opća statistika za sudionike

Prema spolu sudionika, s 44 muškarca i 40 žena, podaci o ukupnoj korisničkoj učinkovitosti na svim zadacima testa prikazani su na slici 4.

Razlika između spolova je mala (24 sekunde), što nije značajan pokazatelj za donošenje konačnih zaključaka o percepciji zadatka na temelju spolnih razlika.

Ukupno vrijeme korisnika uključuje i vrijeme provedeno u razumijevanju/čitanju stanja i vrijeme za vizualno pretraživanje i procjenu zadatka. Dublja analiza otkrila je da ženama treba otprilike 10% više individualnog vremena (ili vremena za određeni zadatak) da bi razumjele stanje.

Svrha prikupljanja podataka o srednjoškolskom profilu temelji se na jednoj od hipoteza prije izrade testa, koja sugerira da se od studenata koji dolaze iz građevinskog profila s intenzivnim studijem geodezije i kartografije očekuje brži rezultat na kartografskom testu u usporedbi s onima koji dolaze iz drugih profila, poput jezika, matematike, biologije i drugih. Rezultati testa proturječe toj hipotezi, kao što se vidi na slici 5, gdje su učenici koji su intenzivno učili jezike postigli najbrže rezultate.

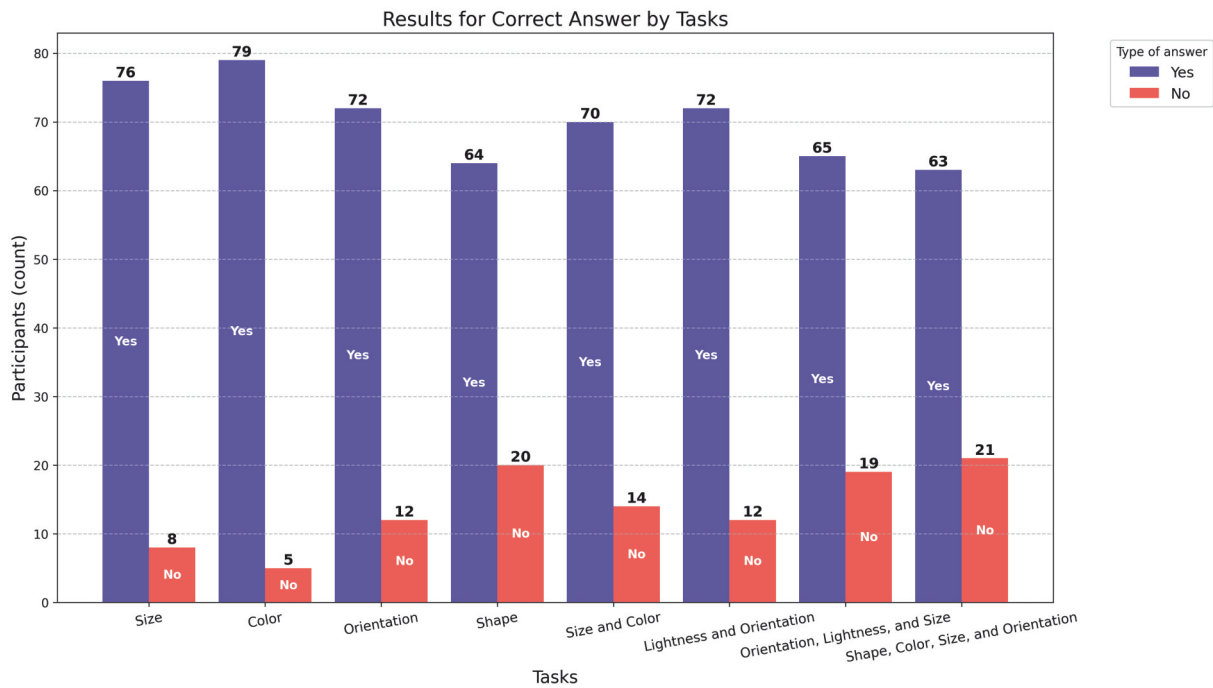


Fig. 7 Results for the number of correct and incorrect answers per task.

Slika 7. Broj točnih i netočnih odgovora po zadatku.

the signtakes several times longer than the other tasks. As seen in the graph, the combination of four visual variables does not multiply the cartographic visual search task compared to the combination of two visual variables. However, such a trend can be observed for a task with four variables and a task with only one, if the signs differ solely by orientation. The hypothesis suggested that orientation would be the most challenging variable, but the results refuted this statement. The surprising result can be justified by the fact that orientation is easy to detect due to its connection with geography and world directions. The participants are students either at the beginning or the end of studying the professional field of geodesy, which shows that they have already started thinking spatially, studying directions and coordinates. The percentage for visual search tasks with a combination of two visual variables compared to a combination of four variables is 22.5%.

The comparison of the effectiveness of three and four static variables, which include orientation, confirmed greater efficiency and effectiveness of this type of encoding information in a symbol. The surprising result comes from the task with one visual variable, color, which did not register the lowest time. The time required to detect the sign is similar when the variable is size.

10.3 Sign's Accuracy

The analysis of reaction time includes both correct and incorrect responses (Figure 7). The correctness of the response is one of the key parameters observed in tasks related to the map. The difficulty of the created test also depends on a set of interacting factors, including the type of correct answer, the selected distractors – other non-scaled cartographic signs, as well as the visualized territory (background).

In addition to being the fastest identified visual variable and its content in tasks with two, three, or four variables, significantly speeding up the reading of the sign, orientation is also among the most accurate tasks (top three). The same is true for the number of correct answers in the Light and Orientation task. This can easily be explained by the presence of orientation as a second element in sign recognition. The results with the orientation variable support the theory that users perceive information in chunks. They first try to break the sign into its constituent variables, rely on the easiest to recognize, assume which sign is correct, and then assemble and confirm their final choice.

Druga odbačena hipoteza, vezana uz studijski program sudionika u eksperimentu, sugerirala je da će studenti pete godine postići brže i točnije rezultate od studenata druge i prve godine. Rezultati pokazuju da su najbrže i najtočnije odgovore dali studenti druge godine Sveučilišta za arhitekturu, građevinarstvo i geodeziju. Prema raspodjeli ukupnog vremena korisnika za cijeli test, najčešća vrijednost bila je 8 minuta i 50 sekundi za dovršetak svih zadataka.

10. 2. Prosječno vrijeme za svaki zadatak

Prosječno vrijeme potrebno za dovršetak osam zadataka vizualnog pretraživanja (isključujući zadatak 1 – taj je zadatak drugačije prirode, jer se klikne i pomiče svih 10 znakova, a ne samo jedan) kreće se od 14 sekundi do 27 sekundi. Razlike su prikazane na slici 6. Informacije o pojedinačnom vremenu utrošenom na zadatak omogućit će određivanje količine pažnje posvećene traženju ispravnog znaka na web-karti.

Vremena utrošena na pretraživanja pretvorena su u postotke. Grafikon prikazuje omjer vremena utrošenog nakon uputa (čitanje uvjeta za svaki zadatak nije uključeno u vizualni proces pretraživanja) u odnosu na svaki od osam zadataka.

Rezultati također pokazuju da vrsta zadatka (tj. sadrži li jednu, dvije ili više varijabli) utječe na izvedbu, što je u skladu s tvrdnjom (u vezi s trećim varijablama) da izvedba zadatka djelomično ovisi o broju grafičkih varijabli koje kodiraju informacije u zadatku. Rezultati ovog istraživanja pokazuju da kada u znaku postoji više vizualnih varijabli, korisnik pokušava percipirati i obraditi dvije ili više različitih varijabli sekvencijalno, potom ih "sastavljajući" u svojoj radnoj memoriji dok rješava zadatak. Dok je jedna varijabla trenutno pohranjena u radnoj memoriji, zadaci koji uključuju dvije ili više varijabli, kao što je prikazano na grafu, nisu odgodili percipiranje informacija u njima.

Navedeni rezultati ukazuju na to da uvjeti nisu toliko složeni da vrijeme utrošeno na traženje znaka traje nekoliko puta dulje nego kod ostalih zadataka. Kao što se vidi na grafu, kombinacija četiri vizualne varijable ne umnožava kartografski zadatak vizualnog pretraživanja u usporedbi s kombinacijom dvije vizualne varijable. Međutim, takav se trend može uočiti za zadatak s četiri varijable i zadatak sa samo jednom, ako se znakovi razlikuju isključivo po orijentaciji. Hipoteza je sugerirala da će orijentacija biti najzazovnijia varijabla, ali rezultati su opovrgnuli tu tvrdnju. Iznenađujući rezultat može se opravdati činjenicom da je orijentaciju lako otkriti zbog njezine povezanosti s geografijom i kardinalnim smjerovima. Sudionici su bili studenti na početku ili kraju studija geodezije, što pokazuje da su već počeli prostorno razmišljati, proučavati smjerove i koordinate. Postotak za zadatke vizualnog pretraživanja s

kombinacijom dvije vizualne varijable u usporedbi s kombinacijom četiri varijable iznosi 22,5%.

Usporedba učinkovitosti triju i četiriju statičkih varijabli koje sadrže orijentaciju, potvrdila je veću učinkovitost i djelotvornost te vrste kodiranja informacija u znaku. Iznenađujući rezultat dolazi iz zadatka s jednom vizualnom varijablom, bojom, koja nije zabilježila najniže vrijeme. Vrijeme potrebno za detekciju znaka slično je kada je varijabla veličina.

10. 3. Znakovna točnost

Analiza vremena reakcije sadrži i točne i netočne odgovore (slika 7). Ispravnost odgovora jedan je od ključnih parametara koji se promatraju u zadacima vezanim uz kartu. Težina kreiranog testa također ovisi o skupu međudjelujućih čimbenika, uključujući vrstu točnog odgovora, odabrane distraktore – druge neskalarane kartografske znakove, kao i vizualizirani teritorij (pozadina).

Osim što je najbrže identificirana vizualna varijabla i njezin sadržaj u zadacima s dvije, tri ili četiri varijable, značajno ubrzavajući čitanje znaka, orijentacija je također među najtočnijim zadacima (prva tri). Isto vrijedi i za broj točnih odgovora u zadatku Svjetlo i orijentacija. To se lako može objasniti prisutnošću orijentacije kao drugog elementa u prepoznavanju znakova. Rezultati s varijablom orijentacije podupiru teoriju da korisnici percipiraju informacije u dijelovima. Prvo pokušavaju razbiti znak na njegove sastavne varijable, oslanjaju se na najlakše prepoznatljive, pretpostavljaju koji je znak točan, a zatim sastavljaju i potvrđuju svoj konačni izbor.

Hipoteza da su zadaci s jednom vizualnom varijablom bez grešaka nije potvrđena. Zanimljiva situacija nastaje s varijablom oblika. U kreiranom testu korišteni su znakovi zrakoplova, a za razlikovanje po obliku kreirano je nekoliko vrsta krila i različitih vrsta trupova. Jasno je da kada znak ne koristi geometrijske elemente za definiranje svog oblika, stvaranje znaka koji se ističe personaliziranim elementima izuzetno je teško.

Testirano je postoji li korelacija između vremena prvog klika (na znak) i postotka točnih odgovora (slika 8). Dobivena vrijednost je $r = -0,81$, što ukazuje na jaku negativnu korelaciju. To znači da se s povećanjem vremena prvog klika postotak točnih odgovora smanjuje. Korelacija je jaka i ima značajan negativan učinak, ali nije savršena. Vrijednost $-0,81$ je blizu -1 , što znači da ne postoji 100%-tna linearna veza.

Podaci o ponašanju sadrže vrijeme odgovora i točnost odgovora. Ako prva četiri zadatka grupiramo u jednu skupinu, a preostala četiri u drugu skupinu te izračunamo postotni porast netočnosti odabranih znakova, rezultat pokazuje da u drugoj skupini ima 46,7% više netočnih

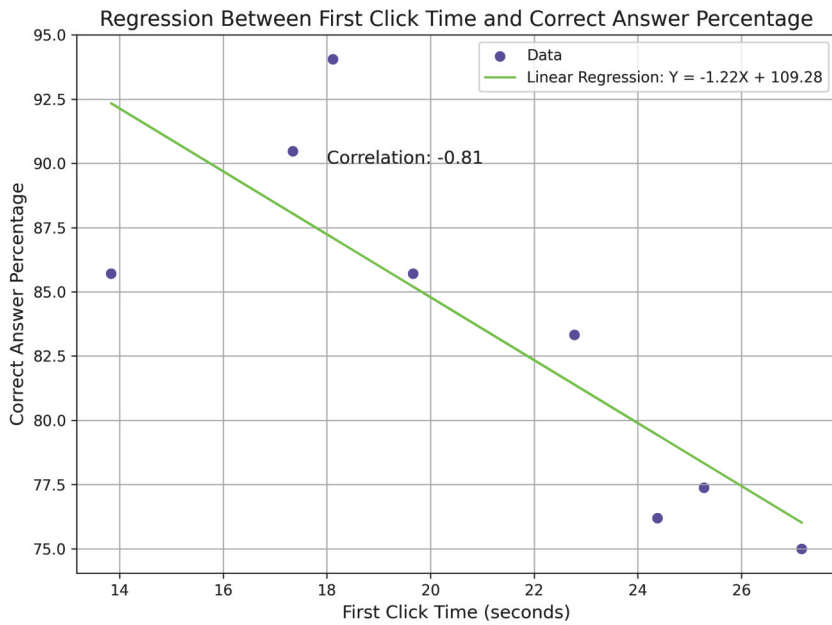


Fig. 8 Regression between time for first click and percentage of correct answers.

Slika 8. Regresija između vremena prvog klika i postotka tačnih odgovora.

The hypothesis that tasks with a single visual variable are error-free is not confirmed. An interesting situation arises with the variable of shape. In the created test, aircraft signs were used, and to differentiate by shape, several types of wings and different types of fuselages were created. Clearly, when a sign does not use geometric elements to define its shape, creating a sign that stands out with personalized elements is extremely difficult.

It was tested whether there is a correlation between the time of the first click (on a sign) and the percentage of correct answers (Figure 8). The obtained value is $r = -0.81$, which indicates a strong negative correlation, meaning that as the time for the first click increases, the percentage of correct answers tends to decrease. The correlation is strong and has a significant negative effect, but it is not perfect. The value of -0.81 is close to -1 , meaning there is no 100% linear relationship.

Behavioral data include response time and the correctness of the answers. If we group the first four tasks into one group and the remaining four into a second group, and calculate the percentage increase in the incorrectness of the selected signs, the result shows that in the second group, there are 46.7% more incorrect answers compared to the first group. There is no progressive increase in the time taken to determine the correct cartographic sign.

10.4 Subjective opinion of the participants

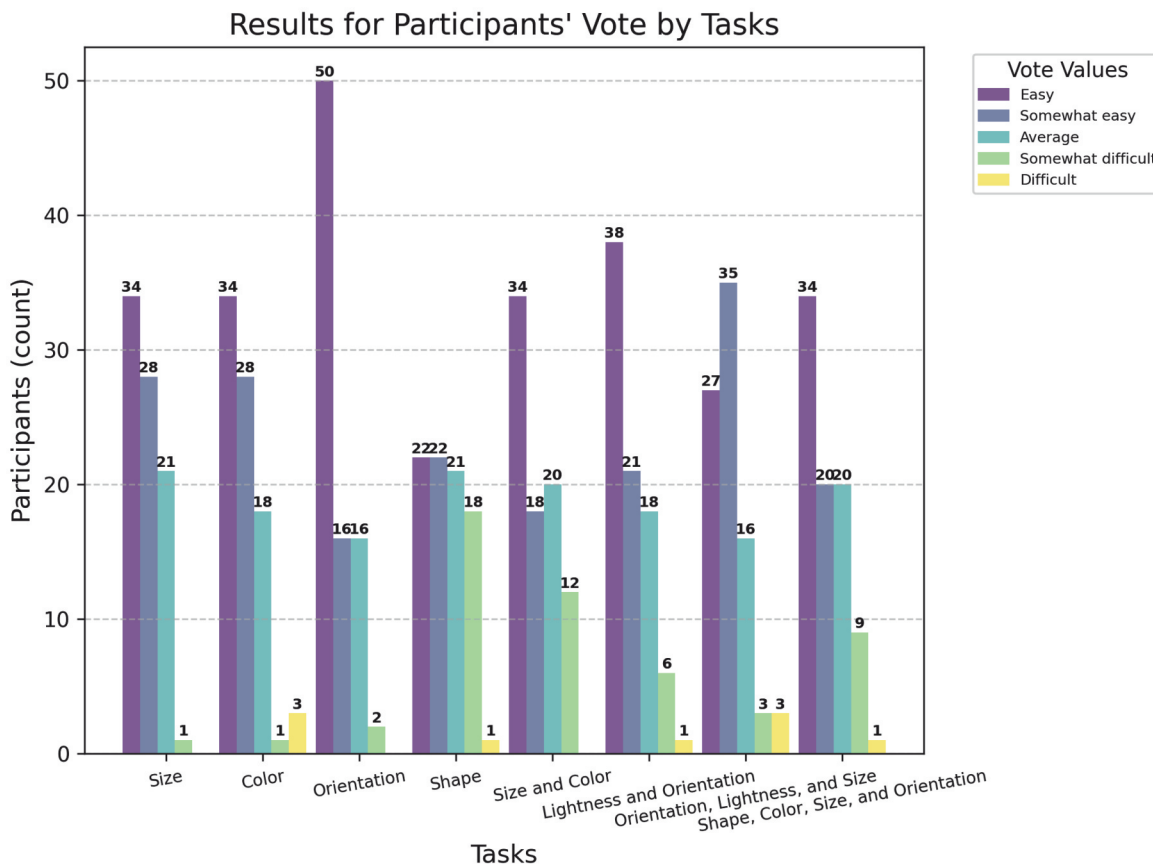
A hypothesis was formed that, according to the subjective opinion of the students, the most difficult task is the cartographic search for a sign with the highest semantic load (with four variables). It turned out that the most difficult task was the one related to shape, as the students' choice was supported by the results for average time and task accuracy (Figure 9). After that, the task with four and three visual variables ranked as more difficult. The conclusion is that the non-use of geometric shapes to define different forms in the sign, and instead relying on personalization, is extremely unclear and difficult for map users, even harder than encoding many more pieces of information in the sign.

It is evident that not only the objective results supporting orientation as the fastest to identify and among the top three most accurate variables, but it is also categorically the easiest task with a variable according to 50 out of 84 participants. It is an undisputed leader in terms of ease, followed again by tasks that include it.

The Pearson correlation coefficient from the graph in Figure 10 is $r = 0.60$ between the vote and the percentage of correct answers, showing a moderate positive correlation between the two variables. This means that as the task rating (vote) increases, the percentage of correct answers tends to rise as well, but this relationship is not very strong.

In summary, it can be concluded that the students did not face significant difficulty with the tasks, as evidenced by the high number of "Easy" votes (40.5%) and "Somewhat easy" (28.2%), "Average" (22.3%), "Somewhat difficult" (7.7%), and "Difficult" (1.3%).

The next graph (Figure 11) shows the relationship (correlation) between the time participants took to make the first click (on the vertical axis, in seconds) and their "Vote" for the task (on the horizontal axis). A negative slope is visible on the red regression line, with a correlation value of $r = -0.77$. This indicates a strong negative correlation: when the "Vote" (task rating) is higher (the task is perceived as easier), the time for the first click is shorter, and conversely, when the "Vote" is lower (the task is perceived as more difficult), the time for the first click is longer.



Slika 9. Subjektivno mišljenje sudionika za svaki zadatak.
 Fig. 9 Participants' subjective opinion for each task.

odgovora u usporedbi s prvom skupinom. Nema progresivnog povećanja vremena potrebnog za određivanje ispravnog kartografskog znaka.

10. 4. Subjektivno mišljenje sudionika

Postavljena je hipoteza da je, prema subjektivnom mišljenju studenata, najteži zadatak kartografska potraga za znakom s najvećim semantičkim opterećenjem (s četiri varijable). Pokazalo se da je najteži zadatak bio onaj vezan uz oblik, budući da je izbor studenata objašnjen rezultatima za prosječno vrijeme i točnost zadatka (slika 9). Nakon toga, zadatak s četiri i tri vizualne varijable rangiran je kao teži. Zaključak je da je nekorištenje geometrijskih oblika za definiranje različitih oblika u znaku, a umjesto toga oslanjanje na personalizaciju, izuzetno nejasno i teško za korisnike karte, čak i teže od kodiranja mnogo više informacija u znaku.

Očito je da ne samo objektivni rezultati podupiru orijentaciju kao najbrže prepoznatljivu i među tri najtočnije varijable, već je to i kategorički najlakši zadatak

s varijablom prema 50 od 84 sudionika. To je neosporni lider u smislu lakoće, a slijede ga zadaci koji je sadrže.

Pearsonov koeficijent korelacije iz grafa na slici 10 iznosi $r = 0,60$ između glasanja i postotka točnih odgovora, što pokazuje umjerenu pozitivnu korelaciju između dvije varijable. To znači da s porastom ocjene zadatka (glasanje) raste i postotak točnih odgovora, ali ta veza nije jako jaka.

Ukratko, može se zaključiti da ispitanici nisu imali značajnih poteškoća sa zadacima, što dokazuje velik broj glasova "Lako" (40,5%) i "Donekle lako" (28,2%), "Prosječno" (22,3%), "Donekle teško" (7,7%) i "Teško" (1,3%).

Sljedeći graf (slika 11) prikazuje odnos (korelaciju) između vremena potrebnog sudionicima za prvi klik (na vertikalnoj osi, u sekundama) i njihovog "Glasa" za zadatak (na horizontalnoj osi). Na crvenoj regresijskoj liniji vidljiv je negativni nagib, s vrijednošću korelacije $r = -0,77$. To ukazuje na jaku negativnu korelaciju: kada je "Glas" (ocjena zadatka) viši (zadatak se doživljava kao lakši), vrijeme za prvi klik je kraće, i obrnuto, kada je "Glas" niži (zadatak se doživljava kao teži), vrijeme za prvi klik je dulje.

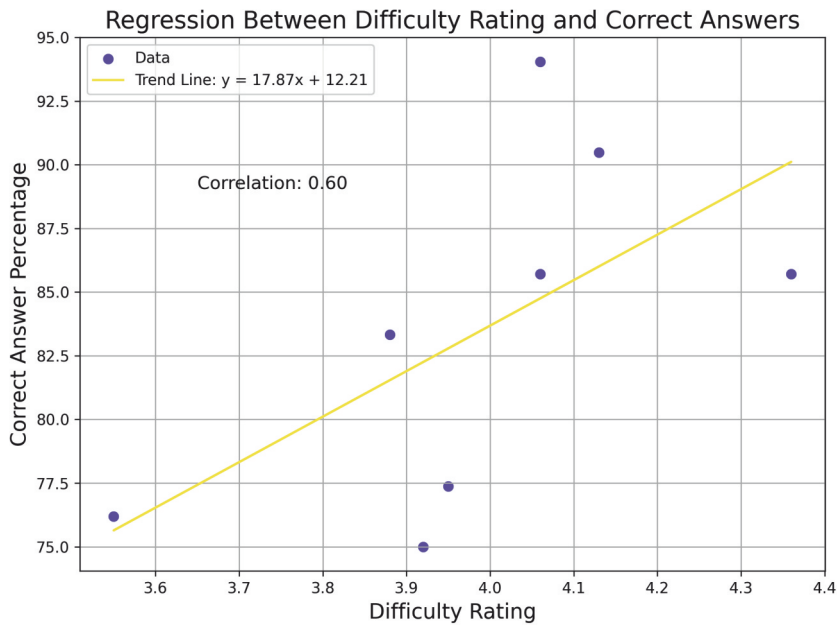


Fig. 10 Correlation between the vote and the percentage of correct answers.
Slika 10. Korelacija između glasanja i postotka tačnih odgovora.

10.5 Bonus: Size and Color

The last task is of a somewhat different nature. On the web map, signs of the pictogram type representing airplanes are displayed, with varying sizes and colors (blue and green). The green signs (52 first selections) are 15% larger than the blue ones (32 first selections). Two polygons in different colors, symbolizing airports, are also shown on the map. Each airplane needs to be moved to its corresponding airport (matching the airplane's color). The goal is to check, on the one hand, whether the central positions of the signs provide an advantage in search tasks, and on the other hand, whether size or color is the more noticeable visual variable in a combined task with two variables.

The sequence diagram shows the visited signs, determined by the clicks on each airplane. It shows the time between individual clicks on the signs (participants are allowed to click on a sign only once). The most frequent path starting with the signs begins with the green sign located in the center of the map (selected first 22 times). The clicks continue with signs from the eastern sectors 3 and 6. In Figure 12, the frequency of each sign's first selection by the map users is positioned near each sign.

It should be noted that the effect of positioning on digital maps also depends on the scalability functionality.

The functionality of the web map allows a sign to be clicked only once to move the airplane. The same airplane cannot be moved a second time to avoid duplication of signs.

Furthermore, something can be concluded from this task (Figure 13). The green sign was selected 52 times on the first click (from 84 participants), which is 61.9% more than any other blue sign (the blue sign was selected only 32 times on the first click).

Although both blue and green are equally located in the "cold" part of the light spectrum, they have a different effect due to their size. It has been proven that size has a stronger influence on the initial recognition of the sign, despite the color differences. The smaller blue sign, even though it has a brighter and more contrasting color against the background, was discovered later (on the first click) because its size is smaller. It can be concluded that size is a more significant factor in visual search tasks than color. This concept can be explained by the fact that larger objects are noticed first, as they are a stronger indicator of attention attraction.

The results demonstrate the advantage of the central position of the cartographic sign in the map field only if the size of the sign is larger than the other signs in the same sector. The larger signs on web maps improve recognition speed for users. This is due to the reduction of cognitive load which is crucial for users who are navigating or searching map data.

11 Conclusion

Integrating multiple features into the design of cartographic signs - particularly in the context of conjunctive search tasks, where users must identify a target based on a combination of visual variables - aims to increase the efficiency of map reading. By combining two or more features, it was proven how quickly and accurately users find and understand these elements effectively. The results showed that focusing on the visual variable of orientation (both alone and in combination with other variables) improves the overall usability of the map. Additionally, this conclusion was confirmed by collecting and analyzing user time during work with the web map. Among other easily, quickly, and more accurately detected variables are color and size. Based on the results, it was concluded that if the web map would be used for visual searching, the use of shape as a variable in the sign should not be emphasized. If this is still the

10. 5. Bonus: Veličina i boja

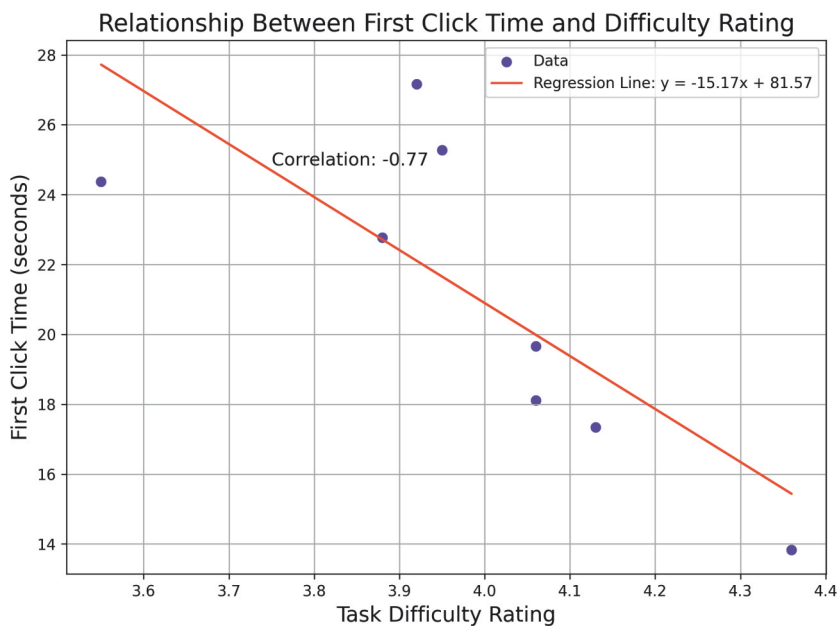
Posljednji zadatak bio je nešto drugačije prirode. Na web-karti prikazani su znakovi piktoGRAMSKOG tipa koji predstavljaju zrakoplove, različitih veličina i boja (plava i zelena). Zeleni znakovi (52 prva odabira) su 15% veći od plavih (32 prva odabira). Na karti su prikazana i dva poligona u različitim bojama koji simboliziraju zračne luke. Svaki zrakoplov treba premjestiti na odgovarajući aerodrom (koji odgovara boji zrakoplova). Cilj je provjeriti, s jedne strane, pružaju li središnji položaji znakova prednost u zadacima pretraživanja, a s druge strane, je li veličina ili boja uočljivija vizualna varijabla u kombiniranom zadatku s dvije varijable.

Dijagram toka prikazuje posjećene znakove određene klikovima na svaki avion. Prikazuje vrijeme između pojedinačnih klikova na znakove (sudionici smiju kliknuti na znak samo jednom). Najčešći put koji počinje sa znakovima počinje zelenim znakom koji se nalazi u središtu karte (odabran prvi 22 puta). Klikovi se nastavljaju sa znakovima iz istočnih sektora 3 i 6. Na slici 12, učestalost prvog odabira svakog znaka postavljena je blizu svakog znaka. Treba napomenuti da učinak pozicioniranja na digitalnim kartama ovisi i o mogućnosti promjene mjerila. Funkcionalnost web-karte omogućuje da se na znak klikne samo jednom za pomicanje aviona. Isti avion ne može se pomicati drugi put kako bi se izbjeglo dupliranje znakova.

Nadalje, iz ovog zadatka može se još nešto zaključiti (slika 13). Zeleni znak je odabran 52 puta pri prvom kliku (od 84 sudionika), što je 61,9% više od bilo kojeg drugog plavog znaka (plavi znak je odabran samo 32 puta pri prvom kliku).

Iako se i plava i zelena podjednako nalaze u "hladnom" dijelu svjetlosnog spektra, imaju drugačiji učinak zbog svoje veličine. Dokazano je da veličina ima jači utjecaj na početno prepoznavanje znaka, unatoč razlikama u boji. Manji plavi znak, iako ima svjetliju i kontrastniju boju u odnosu na pozadinu, otkriven je kasnije (pri prvom kliku) jer je njegova veličina manja. Može se zaključiti da je veličina značajniji faktor u zadacima vizualnog pretraživanja od boje. Taj koncept može se objasniti činjenicom da se prvi uočavaju veći objekti, jer su jači pokazatelj privlačenja pažnje.

Rezultati pokazuju prednost središnjeg položaja kartografskog znaka u polju karte samo ako je veličina znaka veća od ostalih znakova u istom sektoru. Veći znakovi na web-kartama poboljšavaju brzinu prepoznavanja za korisnike. To je zbog smanjenja kognitivnog opterećenja



Slika 11. Korelacija između glasanja i vremena prvog klika.

Fig. 11 Correlation between the vote and the time for the first click.

što je ključno za korisnike koji navigiraju ili pretražuju podatke na karti.

11. Zaključak

Integriranje više značajki u dizajn kartografskih znakova – posebno u kontekstu zadataka takvog pretraživanja pri kojem korisnici moraju identificirati cilj na temelju kombinacije vizualnih varijabli – ima za cilj povećanje učinkovitosti čitanja karte. Kombiniranjem dviju ili više značajki dokazano je koliko brzo i točno korisnici učinkovito pronalaze i razumiju te elemente. Rezultati su pokazali da fokusiranje na vizualnu varijablu orijentacije (i samostalno i u kombinaciji s drugim varijablama) poboljšava ukupnu upotrebljivost karte.

Osim toga, taj zaključak potvrđen je prikupljanjem i analizom vremena korisnika tijekom rada s web-kartom. Među ostalim lako, brzo i točnije detektiranim varijablama su boja i veličina. Na temelju rezultata zaključeno je da ako bi se web-karta koristila za vizualno pretraživanje, korištenje oblika kao varijable u znaku ne bi trebalo biti naglašeno. Ako je to i dalje preferencija kartografa, preporučuje se korištenje klasičnih geometrijskih elemenata (krug, trokut, kvadrat itd.) za strukturiranje znakova. Stvaranje kartografskog znaka koji se ističe prilagođenim oblicima predstavlja izazov, jer oni mogu izgubiti jasnoću i otežati prepoznavanje u različitim mjerilima i kontekstima.



Fig. 12 Scanpath diagram of the most visited sign pattern.

Slika 12. Dijagram skeniranja najposjećenijeg znaka.

cartographer's preference, it is recommended to use classic geometric elements (circle, triangle, square, etc.) for structuring the symbol. Creating a cartographic sign that stands out through custom shapes is a challenge, as they may lose their clarity and complicate recognition at different scales and contexts.

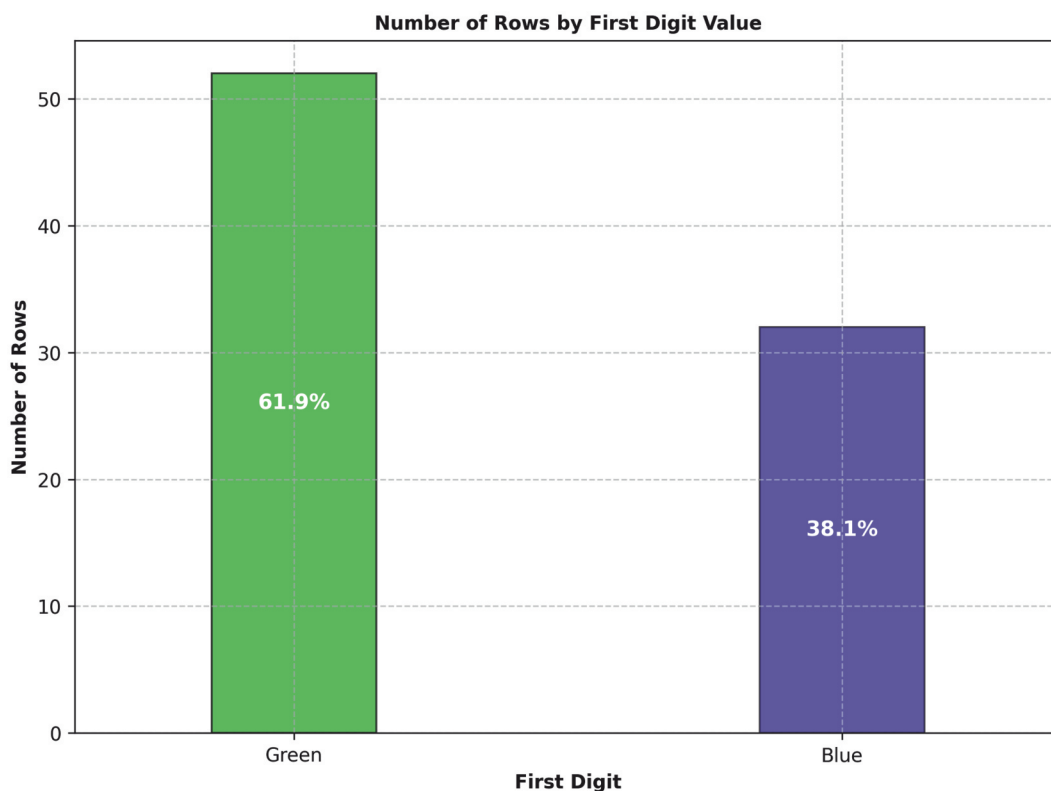
The sample size and its composition (students from the University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Sofia) did not deviate from the standard practice in the field of research and allowed for good conclusions and findings. The significance of the experiment lies in providing recommendations for optimizing the signs used on maps, based on quantitative results from user tests, to improve signcomprehension. These tests are directly related to the study of the sign system of web maps, as they explore different ways of visualizing information. The created experiments allow for the extraction of the most useful combinations of variables in cartographic communication.

A possible future extension of the study could focus on other combinations of variables (static and dynamic), as well as the application of user differences such as cultural background of participants, experience in cartography,

gender and age differences, and others. In particular, the effect of different techniques for "catching" clicks during user interaction with the map product, which could lead to diverse strategies for analyzing visual search.

12 Limitation

Although the study involved a relatively large participant pool of 84 individuals, I acknowledge the limitation that all participants were from a single university. For future research, it would be valuable to include additional participant groups, such as international students and faculty members from the university. This would help assess whether the results are consistent across a more diverse sample, reflecting a wider range of cultural, educational, and professional backgrounds. Furthermore, expanding the participant base to include a broader variety of task types would provide deeper insights into how different groups engage with cartographic signs and tasks, ultimately strengthening the generalizability and validity of the study's conclusions.



Slika 13. Omjer prvog kliknutog znaka prema boji.

Fig. 13 Ratio of the first clicked sign according to the color.

Veličina uzorka i njegov sastav (studenti sa Sveučilišta za arhitekturu, građevinarstvo i geodeziju u Sofiji) nisu odstupali od standardne prakse u području istraživanja te su omogućili dobre zaključke i nalaze. Značaj eksperimenta leži u pružanju preporuka za optimizaciju znakova korištenih na kartama na temelju kvantitativnih rezultata korisničkih testova radi poboljšanja razumijevanja znakova. Ti su testovi izravno povezani s proučavanjem znakovnog sustava web-karata, jer istražuju različite načine vizualizacije informacija. Izrađeni eksperimenti omogućuju izdvajanje najkorisnijih kombinacija varijabli u kartografskoj komunikaciji.

Moguće buduće proširenje istraživanja moglo bi se usredotočiti na druge kombinacije varijabli (statičkih i dinamičkih), kao i na primjenu korisničkih razlika poput kulturne pozadine sudionika, iskustva u kartografiji, spolnih i dobnih razlika i drugih. Posebno, učinak različitih tehnika za "hvatanje" klikova tijekom interakcije

korisnika s kartografskim proizvodom, što bi moglo dovesti do različitih strategija za analizu vizualnog pretraživanja.

12. Ograničenja

Iako je istraživanje obuhvatilo relativno velik broj sudionika (84 osobe), priznajem ograničenje da su svi sudionici bili s jednog sveučilišta. Za buduća istraživanja bilo bi vrijedno uključiti dodatne skupine sudionika, poput međunarodnih studenata i članova drugih fakulteta sa sveučilišta. To bi pomoglo u procjeni jesu li rezultati dosljedni u raznolikijem uzorku, odražavajući širi raspon kulturnih, obrazovnih i profesionalnih sredina. Nadalje, proširenje baze sudionika kako bi se uključio širi raspon vrsta zadataka pružilo bi dublji uvid u to kako različite skupine koriste kartografske znakove i zadatke, što bi u konačnici ojačalo generalizaciju i valjanost zaključaka istraživanja.

References / Literatura

- Berlyant A M (2002) Cartography. Aspect Press Publishing House, Moscow (Берлянт, А.М. 2002. Картография. Издательство „Аспект Пресс“, Москва)
- Brychtova A, Popelka S, Dobesova Z (2012) Eye—Tracking methods for investigation of cartographic principles. In Proceedings of the 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference and EXPO, Varna, Bulgaria, https://www.researchgate.net/publication/265756285_Eye_-_Tracking_methods_for_investigation_of_cartographic_principles. Accessed 27 Feb 2025
- Herman L, Juřík V, Stachoň Z, Vrbík D, Russnák J, Řezník T (2018) Evaluation of User Performance in Interactive and Static 3D Maps. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(11), 1–25, <https://doi.org/10.3390/ijgi7110415>
- Juřík V, Herman L, Šašínska Č, Stachoň Z, Chmelík J (2017) When the Display Matters: A Multifaceted Perspective on 3D Geovisualizations. *Open Geosciences*, 9(1), 89–100, <https://doi.org/10.1515/geo-2017-0007>
- Juřík V, Herman L, Snopková D, Galang A, Stachoň Z, Chmelík J, Kubíček J, Šašínska Č (2020) The 3D hype: Evaluating the potential of real 3D visualization in geo-related applications. *PLOS ONE*, 15(5), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233353>
- Kolacny A (1969) Cartographic information: A fundamental concept and term in modern cartography. *Cartographic Journal*, 6(1), 47–49
- Konečný M, Kubíček P, Stachoň Z, Šašínska Č (2011) The usability of selected base maps for crises management: users' perspectives. *Applied Geomatics*, 3, 189–198, https://www.researchgate.net/publication/225476133_The_usability_of_selected_base_maps_for_crises_management_-_Users'_perspectives. Accessed 29 Jan 2025
- Korycka-Skorupa J, Golebiowska I (2021) Multivariate mapping for experienced users: comparing extrinsic and intrinsic maps with univariate maps. *Miscellanea Geographical*, 25(4), 000010247820200068, <https://doi.org/10.2478/mgrsd-2021-0006>
- Kraak M, Ormeling F (2010) Cartography: Visualization of Spatial Data (3rd ed.). London: Pearson Education, <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9781315847184/cartography-menno-jan-kraak-ormeling>. Accessed 22 Oct 2024
- Kubíček P, Šašínska Č, Stachoň Z, Štěrba Z, Apeltauer J, Urbánek T (2017) Cartographic Design and Usability of Visual Variables for Linear Features. *Cartographic Journal*, 54(1), 1–11, https://www.researchgate.net/publication/301204397_Cartographic_Design_and_Usability_of_Visual_Variables_for_Linear_Features. Accessed 20 Sep 2024
- Lokka I, Çöltekin A (2016) Simulating Navigation with Virtual 3D Geovisualizations—A focus on memory-related factors, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLI-B2, 671–673, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B2-671-2016>, 2016
- MacEachren A M, Roth R E, O'Brien J, Li B, Swingley D, Gahegan M (2012) Visual Semiotics & Uncertainty Visualization: An Empirical Study. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 18(12), 2496–2505, <https://doi.org/10.1109/TVCG.2012.279>
- Monmonier M (2018) How to Lie with Maps (3rd ed.). University of Chicago Press, <https://press.uchicago.edu/ucp/books/book/chicago/H/bo27400568.html>. Accessed 24 Feb 2025

- Nelson E, S Dow David, Lukinbeal C, Farley R (1997) Visual search processes and the multivariate point symbol. *Cartographica*, 34(4), 19–33, https://www.researchgate.net/publication/250196315_Visual_Search_Processes_and_the_Multivariate_Point_Symbol. Accessed 11 Feb 2025
- Olson J (1981) Spectrally Encoded Two-Variable Maps. *Annals of the American Association of Geographers*, 71, 259–276, <https://doi.org/10.1111/j.1467-8306.1981.tb01352.x>
- Ooms K, De Maeyer P, Fack V (2014) Study of the attentive behavior of novice and expert map users using eye tracking. *Cartography and Geographic Information Science*, 41, 37–54, <https://doi.org/10.1080/15230406.2013.860255>
- Ooms K, De Maeyer P, Fack V, Van Assche E, Witlox F (2012) Interpreting maps through the eyes of expert and novice users. *International Journal of Geographical Information Science*, 26, 1773–1788, https://www.researchgate.net/publication/233857874_Interpreting_maps_through_the_eyes_of_expert_and_novice_users. Accessed 14 Oct 2024
- Rautenbach V, Coetzee S, Çöltekin C (2017) Development and evaluation of a specialized task taxonomy for spatial planning—A map literacy experiment with topographic maps. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 127, 16–26, https://www.researchgate.net/publication/305363651_Development_and_evaluation_of_a_specialized_task_taxonomy_for_spatial_planning_-_A_map_literacy_experiment_with_topographic_maps. Accessed 7 Jul 2024
- Roth R (2012) Cartographic Interaction Primitives: Framework and Synthesis. *Cartographic Journal*, 49, 376–395, https://www.researchgate.net/publication/271078335_Cartographic_Interaction_Primitives_Framework_and_Synthesis. Accessed 1 Feb 2025
- Šašinka Č, Stachoň Z, Čeněk J, Šašinkova A, Popelka S, Glitz P, Lacko D (2021) A comparison of the performance on extrinsic and intrinsic cartographic visualizations. *PLoS ONE*, 16(4), <https://psycnet.apa.org/record/2021-39802-001>
- Šašinka Č, Stachoň Z, Kubíček P, Tamm S, Matas A, Kukaňová M (2019) The Impact of Global/Local Bias on Task-Solving in Map-Related Tasks. *Cartographic Journal*, 56, 175–191, <https://www.phil.muni.cz/vyzkum/publikace/prehled/1489048>. Accessed 30 Nov 2024
- Staněk K, Friedmannová L, Kubíček P, Konečný M (2010) Selected issues of cartographic communication optimization for emergency centers. *International Journal of Digital Earth*, 3, 316–339, <https://doi.org/10.1080/17538947.2010.484511>
- Stachoň Z, Kubíček P, Šašinka Č, Popelka S, Lacko D (2020) An eye-tracking analysis of visual search task on cartographic stimuli. In *8th International Conference on Cartography & GIS: Proceedings Vol 1*, Nessebar, Bulgaria, https://www.researchgate.net/publication/349537330_An_eye-tracking_analysis_of_visual_search_task_on_cartographic_stimuli. Accessed 11 Oct 2024
- Treisman A, Gelada G (1980) A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97–136, [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(80\)90005-5](https://doi.org/10.1016/0010-0285(80)90005-5)
- Vasilev S (2012) *The Topographic SignSystem*. Sofia
- Voženílek V, Kaňok J, collective (2011) *Metody tematické kartografie – Vizualizace prostorových jevů*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, <https://www.geoinformatics.upol.cz/publikace/metody-tematicke-kartografie-vizualizace-prostorovych-jevu/>. Accessed 22 Jul 2024