

VIZUALIZÁCIA PRIESTOROVÝCH PROCESOV POMOCOU ONLINE MAPOVEJ APLIKÁCIE FLOWMAP.BLUE

Loránt PREGI, Ladislav NOVOTNÝ, Štefan GÁBOR

Visualization of spatial processes using a web-based mapping application Flowmap.blue

Abstract: Appropriate cartographic interpretation and visualization of spatial flows are among the key components of the research addressing spatial processes. Dynamically developing geoinformation technologies and tools have created suitable conditions for the emergence of innovative ways and methods of cartographic representation of these processes. This paper focuses on the visualization of spatial processes using the online map application Flowmap.blue. Its aim is to present the particular functions and settings of the application, various possibilities of visualization of spatial data using Flowmap.blue and also to present the basic opportunities to employ it in research as well as in practice. We use the example of internal migration in Slovakia to illustrate these functions and possibilities. Flowmap.blue is a freely available interactive web application which, in addition to static cartographic interpretation, also enables dynamic simulation of origin – destination (O-D) flows in different time periods and according to various specified parameters. This map application enables effective and interactive visualisation even of the smallest O-D flows that could remain hidden in the static map form. It is easy use and technological solutions make the application suitable in scientific research and also commercial sphere and educational process.

Keywords: spatial processes, origin – destination flows, visualization, mapping application, Flowmap.blue

Úvod

Priestorovými procesmi sa zaoberá viacero vedných disciplín, výsledkom čoho je existencia niekoľkých rôznych prístupov chápania a vymedzenia tohto pojmu. Priestorové procesy možno vo všeobecnosti definovať ako zmeny priestorovej lokalizácie ľudí, hmoty či informácií z jedného miesta na druhé, bez ohľadu na periodicitu, účel, smer alebo vzdialenosť týchto pohybov (Jurčová, 2005; Klapka a Halás, 2016). Niektoré údaje o priestorových procesoch ako každodenné ľudské aktivity (dochádzka do zamestnania, do školy, za službami), migrácia, pohyb vozidiel sú vďaka moderným technológiám zohľadňujúcich polohu pomocou GPS dát čoraz dostupnejšie. V súčasnosti pomocou údajov od mobilných operátorov vieme pomerne detailne a presne identifikovať pohyb ľudí alebo dopravné toky (cf. Ahas et al., 2007; Caseres et al., 2007; Shahadat Iqbal et al., 2014; Alexander et al. 2015; Huang et al., 2018; Ni et al., 2018; Bachir et al., 2019; Jia et al., 2020). Analýza údajov o priestorových procesoch je veľmi dôležitá pre lepšie pochopenie zložitých systémov a ich dynamiky, a to v rôznych oblastiach ako urbánne plánovanie, plánovanie dopravných sietí, analýza dopravných tokov, logistika a dodávateľské reťazce, výskum migrácie a dochádzky do zamestnania alebo núdzový manažment.

Okrem analýzy priestorových procesov je v geografickom výskume dôležité tieto procesy kartograficky vhodným spôsobom interpretovať a vizualizovať, keďže zrozumiteľnosť rozsiahlych dát v tabuľkovej podobe je limitovaná. Napriek tomu, že súčasťou niektorých štúdií sú aj mapové znázornenia smeru a objemu vybraných priestorových tokov (Bezák, 2008; Jurčová, 2010; Kakaš

a Káčerová, 2012), v slovenskej geografii zatiaľ absentujú štúdie, ktoré by sa zaoberali vizualizáciou väčšieho množstva priestorových údajov.

V tomto príspevku sa zameriame na vizualizáciu priestorových tokov pomocou online mapovej aplikácie Flowmap.blue. Hlavným cieľom je predstaviť jednotlivé funkcie a nastavenia tejto aplikácie, rôzne možnosti vizualizácie priestorových údajov, a taktiež priblížiť základné možnosti jej využitia vo vedeckej, ako aj v komerčnej sfére.

1. Origin – destination (O-D) toky

Priestorový proces môžeme z geografického hľadiska chápať ako dvojstranný proces spájajúci priestorové jednotky, z ktorých určité toky vychádzajú (origin) a jednotky, do ktorých tieto toky smerujú (destination). V medzinárodnej literatúre (Caseres et al., 2007; Boyandin et al., 2011; Guo a Zhu, 2012, 2014; Koylu a Guo, 2017; Bachir et al., 2019; Yang et al., 2019; Halás et al., 2021) sa preto pri popise priestorových dát štandardne používa označenie origin – destination (O-D) toky, resp. origin – destination (O-D) matica. Voľný preklad označenia tohto typu priestorových interakcií by mohol byť východiskovo-cieľové toky, avšak vzhľadom na to, že aj v slovenskej geografickej literatúre sa udomácnilo označenie origin – destination, zachováme v ďalších častiach príspevku toto označenie. Súborný O-D údajov, ktoré sa často nazývajú aj “flow data”, obsahujú údaje o priestorových tokoch medzi dvoma priestorovými jednotkami alebo geografickými bodmi, ktoré sú vyjadrené formou geografických súradníc.

O-D údaje sú najčastejšie dostupné buď v tzv. “long form” podobe alebo ako O-D matica. V prvom prípade každý riadok predstavuje jeden O-D tok a každý stĺpec predstavuje jeden atribút (obr. 1). Prvý stĺpec je zvyčajne identifikačné číslo (ID) východiskového bodu alebo miesta a druhý stĺpec ID cieľa. Ďalšie stĺpce môžu predstavovať doplnkové atribúty ako počet tokov (napr. počet ciest, počet migrantov, počet vozidiel) alebo vzdialenosť medzi východiskovým a cieľovým bodom. Tiež môžu poskytnúť detailnejšiu informáciu o samotnom toku, ako napr. kedy bola cesta realizovaná – dátum, presný čas, účel cesty, spôsob cestovania, použitý dopravný prostriedok, vek, pohlavie, najvyššie dosiahnuté vzdelanie migranta alebo dochádzajúceho do zamestnania, atď.

“Long form” podoba O-D údajov			
Origin	Destination	počet tokov	doplňujúce atribúty
o_1	d_1	x	y
o_1	d_2	x	y
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
o_n	d_n	x	y

Obr. 1 Long form podoba O-D údajov

V prípade O-D matice každý riadok predstavuje východiskový a každý stĺpec cieľový bod. Priestorové vzťahy medzi administratívnymi jednotkami alebo geografickými bodmi sú teda vyjadrené ako interakčná matica Y (Fischer a Wang 2011):

$$Y = \begin{bmatrix} y(1,1) & \cdots & y(1,j) & \cdots & y(1,n) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y(i,1) & \cdots & y(i,j) & \cdots & y(i,n) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y(n,1) & \cdots & y(n,j) & \cdots & y(n,n) \end{bmatrix} \quad (1)$$

V nej $y(i, j)$ predstavuje počet tokov medzi východiskovým i ($i = 1, \dots, n$) a cieľovým bodom j ($j = 1, \dots, n$). Keďže vo väčšine prípadov $y(i, j) \neq y(j, i)$, interakčná matica je dostupná v upravenej podobe (obr. 2). Takáto podoba O-D údajov sa stáva nepraktickou, keď databáza obsahuje veľa východiskových a cieľových bodov alebo viacero ďalších atribútov.

Origin – destination matica tokov				
Destination/Origin	Origin 1	Origin 2	...	Origin n
Destination 1	$o_1 \rightarrow d_1$	$o_2 \rightarrow d_1$	...	$o_n \rightarrow d_1$
Destination 2	$o_1 \rightarrow d_2$	$o_2 \rightarrow d_2$	...	$o_n \rightarrow d_2$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$
Destination n	$o_1 \rightarrow d_n$	$o_2 \rightarrow d_n$	...	$o_n \rightarrow d_n$

Obr. 2 Origin-destination matica tokov (Žudelová, 2018)

2. Kartografická vizualizácia origin – destination tokov

O-D údaje sú kartograficky najčastejšie reprezentované metódou prúdových diagramov (obr. 3). Pri tejto metóde je veľkosť tokov medzi dvoma bodmi znázornená pomocou pruhov alebo čiar rôznej šírky. Táto metóda má však niekoľko nedostatkov a obmedzení. Podolák (2008) za najväčšiu výzvu pri kartografickej interpretácii priestorových tokov pomocou tejto tradičnej metódy považuje umiestnenie viacerých tokov do jednej mapy bez negatívneho dopadu na jej čitateľnosť. Na problematiku vizualizáciu veľkého počtu O-D tokov a na obmedzený priestor mapy upozorňuje niekoľko autorov aj v medzinárodnej literatúre (Tobler, 1987; Nielsen a Hovgesen, 2008; Guo, 2009; Rae, 2009; Wood et al., 2010, 2011; Guo a Zhu, 2012, 2014; Zhu a Guo, 2014; Koylu a Guo, 2017; Yang et al., 2017, 2019; Zhu et al., 2019). Ako uvádza Zhu et al. (2019), väčšina štúdií pri mapovom zobrazení O-D tokov buď pracuje iba s malým súborom údajov alebo zobrazuje len najdôležitejšie toky, čo spôsobuje nielen značnú stratu informácií, ale môže tiež vytvoriť zavádzajúce mapy.

V súčasnosti existuje niekoľko vizualizačných metód a mapových aplikácií, ktoré umožňujú O-D toky kartograficky alebo graficky interpretovať novými spôsobmi. Ide napr. o metódu Matrix-Based Representations (Ghoniem et al., 2004), metódu cirkulárnej vizualizácie (Abel a Sander, 2014; Wei et al., 2017; Abel a Heo, 2018; Emerson et al., 2018; Abel a Cohen, 2019; Bačík a Chvosteková, 2020), metódu Flowstrates (Boyandin et al., 2011) či metódu Maptrix (Yang et al., 2017). Vizualizáciu O-D tokov okrem v geografii a kartografii najčastejšie používaných komerčných (napr. ArcGIS, CartoMap) a open source softvérov (napr. QGIS, GRASS GIS) ponúka aj niekoľko ďalších aplikácií a softvérov, ako napr. Flowmap Blue, Gephi, Power BI Custom Visual, Tableau alebo Teralytics.

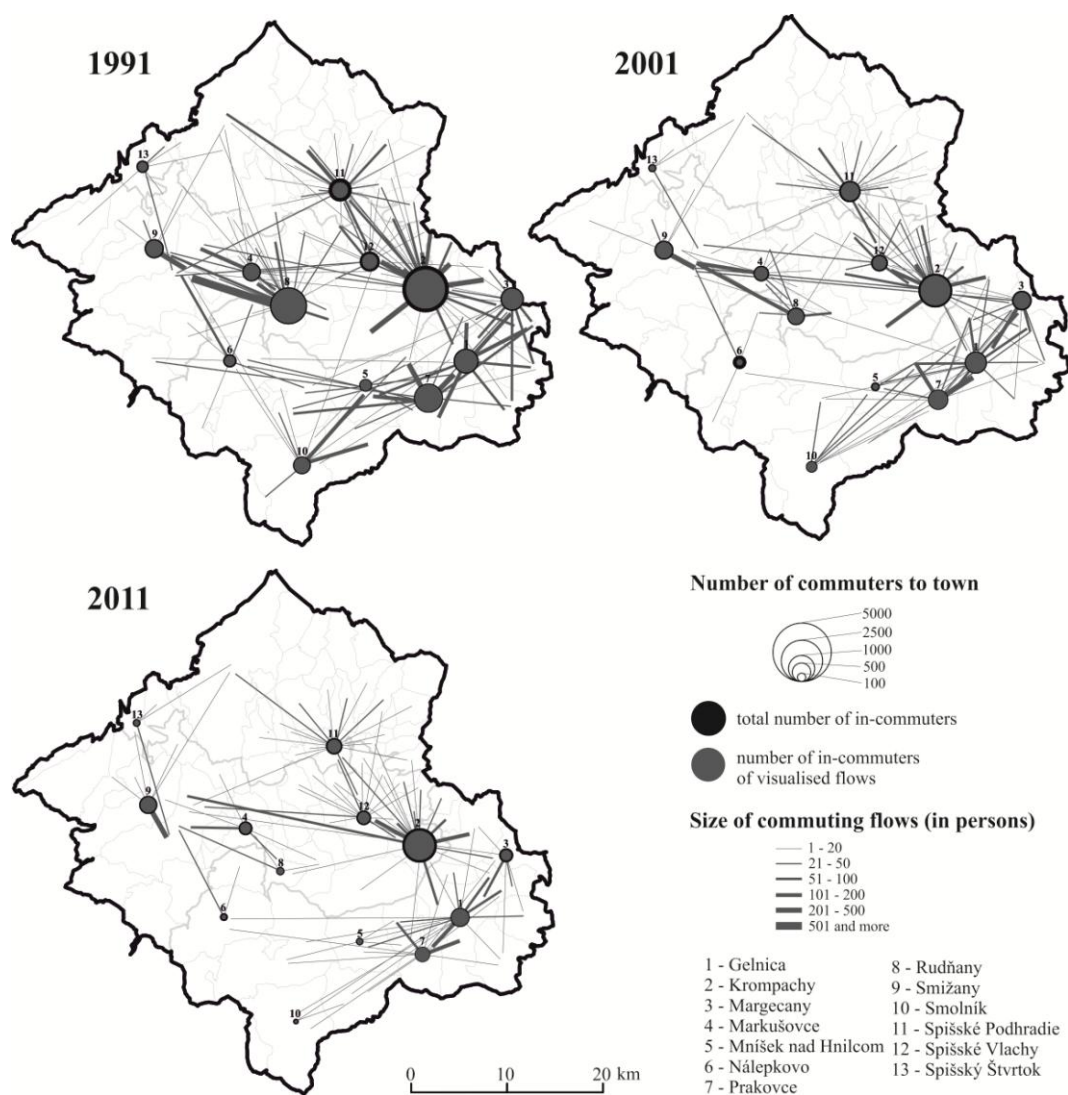
Súbory s O-D údajmi v závislosti od počtu východiskových a cieľových bodov a množstva interakcií medzi týmito bodmi môžu mať aj desiatky tisíc riadkov. Takéto veľké súbory údajov nie je možné úplne vizualizovať na jednom obrázku. Aby bol akýkoľvek nástroj alebo akákoľvek metóda na vizualizáciu O-D údajov užitočná, musí spĺňať základnú požiadavku, a to, aby výsledná mapa bola dostatočne čitateľná a informatívna. Jednou z možností, ako túto požiadavku zachovať, je vizualizácia priestorových procesov pomocou mapovej aplikácie Flowmap.blue. Najväčšou výhodou tohto nástroja je možnosť zobrazenia veľkého množstva O-D tokov, a to vo veľmi efektívnej vizuálnej podobe.

3. Vizualizácia origin – destination tokov pomocou Flowmap.blue

Flowmap.blue je voľne dostupná interaktívna webová aplikácia vytvorená v jazyku JavaScript na vizualizáciu priestorových údajov (Lovelace, 2021). Tvorcom mapovej aplikácie je ruský softvérový inžinier Ilya Boyandin (Boyandin, 2021c). Táto aplikácia okrem statickej kartografickej interpretácie umožňuje aj dynamickú simuláciu, resp. animáciu O-D tokov v rôznych časových obdobiach, a taktiež zobraziť aj najmenšie O-D toky, ktoré by mohli ostať v statickej mapovej podobe skryté.

3.1 Postup tvorby mapy

Tvorba mapy vo Flowmap.blue je používateľsky nenáročná a pomerne jednoducho a rýchlo realizovateľná priamo na webovej stránke mapovej aplikácie (Flowmap.blue, 2021). Postup tvorby mapy je nasledovný:



Obr. 3 Kartografická interpretácia O-D údajov pomocou metódy prúdových diagramov (Novotný et al., 2019)

- 1) V prvom kroku treba kliknúť v bode 1 na odkaz “*the template spreadsheet*”, ktorý používateľa presmeruje na šablónovú tabuľku (tabuľka Google) a následne treba vytvoriť jej kópiu. Je ale potrebné byť prihlásený vo svojom konte Google. Kópia predlohy sa vytvorí podľa krokov: súbor – vytvoriť kópiu. V novootvorenom okne “*Kopírovanie dokumentu*” treba nazvať súbor podľa potreby a potvrdiť tlačidlom OK.
- 2) V novom okne prehliadača sa otvorí editovateľná kópia šablónovej tabuľky, ktorá obsahuje tri hárky:
 - a) Hárak so základnými informáciami (hárak *properties*) - názov mapy, meno a emailová adresa autora, url adresa mapy, parametre, pomocou ktorých vieme nastaviť základné

vlastnosti výslednej mapy ako farebná škála, automatická animácia – áno/nie, automatická tvorba klastrov – áno/nie.

- b) Hárok s údajmi o polohe jednotlivých priestorových jednotiek (hárok *locations*) – identifikačné číslo, názov a súradnice priestorových jednotiek.
 - c) Hárok s údajmi o O-D tokoch v podobe long form (hárok *flows*) – identifikačné číslo východiskovej (stĺpec *origin*) a cieľovej priestorovej jednotky (stĺpec *dest*), počet O-D tokov (stĺpec *count*) a obdobie (stĺpec *time*).
- 3) Keď sú všetky hárký predlohovej šablóny vyplnené, je potrebné tento súbor zdieľať (kliknúť na tlačidlo *Zdieľať* – otvorí sa nové okno, v ktorom je potrebné zmeniť povolenie na získanie odkazu a vybrať si položku *Zmeniť na kohokoľvek s odkazom*) a následne skopírovať odkaz šablónovej tabuľky do potrebného okna na stránke Flowmap.blue. Po vložení sa objaví v pravej časti kolónky zelený symbol, ktorý zobrazuje vytvorenie nového mapového výstupu.
 - 4) Po kliknutí na odkaz aplikácia presmeruje používateľa do nového okna, kde sa automaticky vytvorí interaktívna O-D mapa.

V tomto príspevku O-D toky predstavujú migračné toky medzi jednotlivými obcami Slovenskej republiky v období rokov 2010 a 2014, pričom vychádzame z anonymizovaných mikrodát o jednotlivých migráciách, ktoré na vedecké účely poskytol Štatistický úrad SR (ŠÚ SR 2015). Databáza obsahuje údaje o obci pôvodného a nového trvalého pobytu (čísla obcí). Databáza je dostupná v long form podobe, čo znamená, že každý jeden riadok predstavuje jeden migračný tok medzi dvoma obcami.

Zdrojovú databázu bolo potrebné na účely vizualizácie vo Flowmap.blue spracovať do požadovanej podoby. Najprv sme k jednotlivým obciam pridelili identifikačné čísla a súradnice v súradnicovom systéme WGS 84 a následne sme tieto údaje prekopírovali do hárkú *locations* v šablónovej tabuľke. Keďže v zdrojovej databáze jednotlivé riadky predstavujú iba jednu migráciu medzi dvoma obcami, migračné toky bolo potrebné medzi týmito priestorovými jednotkami spočítať pre jednotlivé roky v období 2010 – 2014. Výsledkom sú upravené dáta v long form podobe s potrebnými atribútmi (ID východiskovej obce – *origin*, ID cieľovej obce – *dest*, počet migračných tokov medzi jednotlivými obcami – *count*, rok kedy sa uskutočnila daná migrácia – *time*). Upravené údaje boli následne prekopírované do šablónovej tabuľky do hárkú *flows*.

Pri príprave a vizualizácii O-D údajov je možné využiť aj tri nástroje, ktoré ponúka Flowmap.blue priamo na webovej stránke:

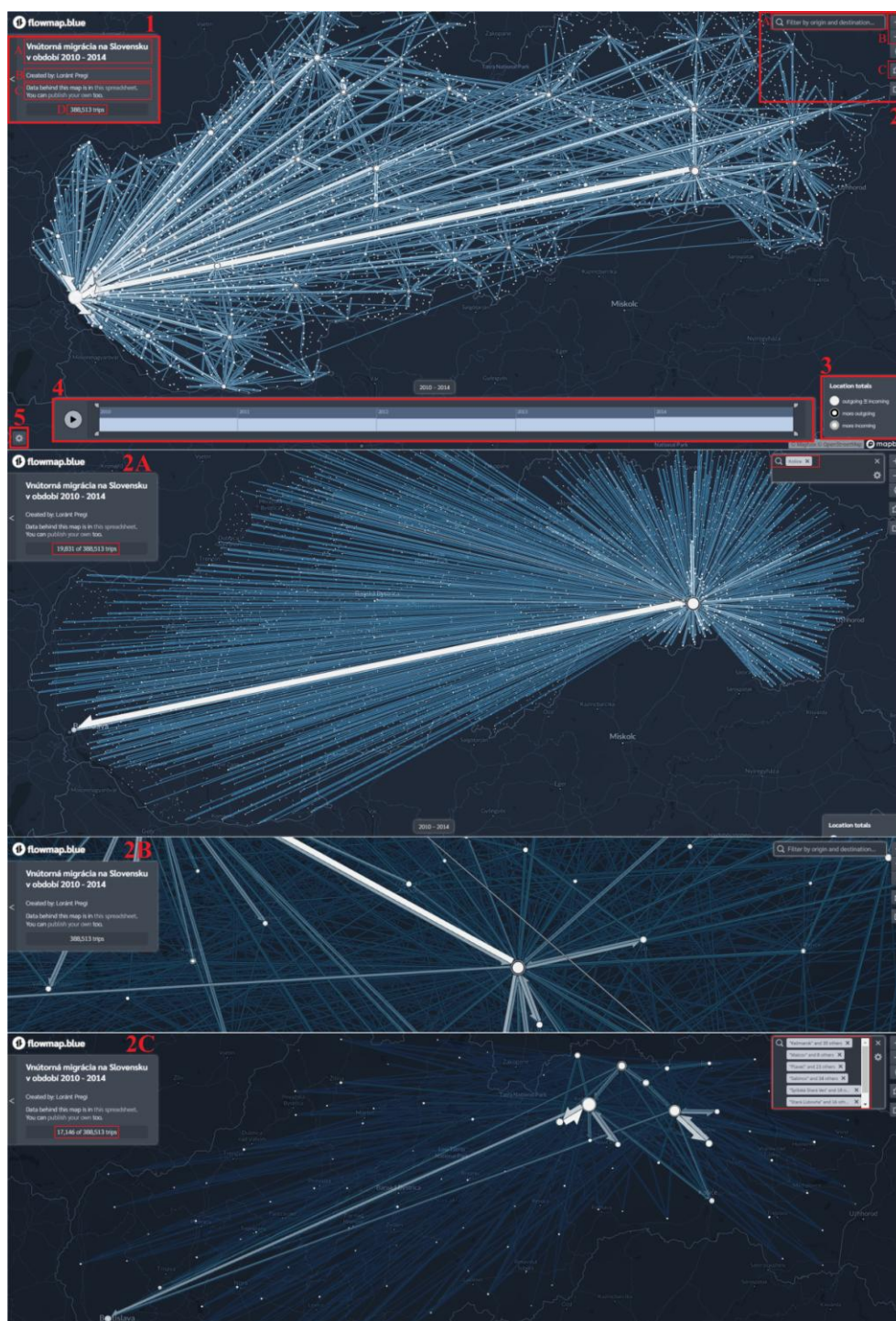
- 1) *geocoding tool* – nástroj umožňujúci vyhľadať geografické súradnice obcí, keď má používateľ k dispozícii iba ich názvy (prípade obcí s rovnakým názvom je možné doplniť adresný odkaz aj o názov okresu alebo o PSČ obce),
- 2) *OD-matrix convertor* – nástroj, pomocou ktorého je možné transformovať údaje do požadovanej long form podoby, keď má používateľ k dispozícii údaje ako O-D maticu,
- 3) *in-browser flow map* – nástroj, ktorý umožňuje kartografickú vizualizáciu O-D údajov priamo v internetovom prehliadači používateľa bez toho, aby musel nahrávať údaje do šablónovej tabuľky (tabuľka Google).

3.2 Interaktívna origin – destination mapa

Nami vytvorená interaktívna verzia mapy je dostupná s názvom Vnútorá migrácia na Slovensku v období 2010 – 2014 je dostupná na stránke Flowmap.blue (Pregi, 2021). Mapa znázorňuje 388 513 migračných tokov a 83 009 migračných väzieb medzi obcami Slovenskej republiky v období rokov 2010 – 2014, a to pomocou líniových znakov, kde hrúbka a farba čiary zobrazuje veľkosť toku. Okrem samotnej mapy používateľské prostredie obsahuje ešte nasledovné informácie a nástroje (obr. 4):

- 1) okno so základnými informáciami:

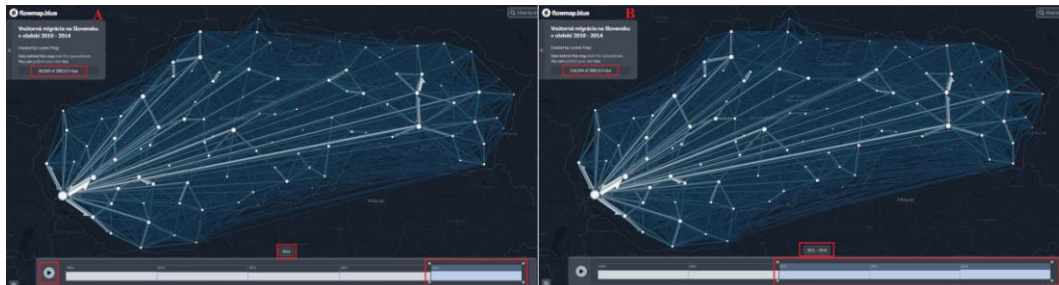
- A) názov mapy (Vnútorá migrácia na Slovensku v období 2010 – 2014),
- B) autor mapy (Loránt Pregi),



Obr. 4 Interaktívna mapa O-D tokov a základné nástroje mapovej aplikácie Flowmap.blue (Pregi, 2021)

- C) odkaz na tabuľku Google s údajmi – k tejto tabuľke má prístup každý s odkazom na on-line mapu (zdrojový dataset sa dá stiahnuť),
 - D) počet zobrazených O-D tokov (388 513).
- 2) okno so základnými nástrojmi:
- A) okno na vyhľadávanie územných jednotiek (v tomto prípade obcí) – po zadaní názvu obce do tohto okna alebo takisto po kliknutí na obec priamo v mape sa zobrazia O-D toky smerujúce len „z“ a „do“ danej obce (obr. 4-2A); do okna vyhľadávania môžeme zadať aj názvy viacerých obcí, následne sa zobrazia všetky O-D toky zadaných obcí,
 - B) možnosť priblíženia alebo oddialenia na mape – tento nástroj nám umožní zobrazit' aj najmenšie O-D toky, ktoré by boli skryté na statickej mape (obr. 4-2B),
 - C) možnosť označiť viacero obcí alebo väčšie územie pomocou polygónu – pomocou tohto nástroja vie používateľ označiť územie a následne sa zobrazia len O-D toky označeného územia (v našom prípade imigračné aj emigračné toky) (obr. 4-2C),
- 3) *legenda s tromi typmi kartodiagramov* – v prípade našej mapy vyrovnané migračné saldo, migračný úbytok, migračný prírastok; veľkosť kartodiagramov znázorňuje objem migrácie,
- 4) *obdobie, ktoré je zobrazené na interaktívnej mape*,
- 5) *ikona nastavenia*.

Užitočnou funkciou tejto mapovej aplikácie je, že O-D toky môžeme jednoduchým interaktívnym spôsobom vizualizovať nielen za celé obdobie, ale aj za konkrétne intervaly v rámci neho, napr. za jeden rok (2014) – 84 069 tokov (obr. 5-A) alebo za viacero vybraných rokov (2012 až 2014) – 234 294 tokov (obr. 5-B). V okne so základnými informáciami sa potom zobrazí počet O-D tokov (to platí aj vtedy, keď si vyberieme iba jednu alebo viacero obcí/väčšie územie – obr. 4-2A a 2C). V rámci tejto funkcie je možné aj pustiť dynamickú simuláciu O-D tokov, kedy sa postupne zobrazia O-D toky za jednotlivé roky.



Obr. 5 Možnosti nastavenia zobrazovaného obdobia v mapovej aplikácii Flowmap.blue (Pregi, 2021)

Okrem týchto základných funkcií a nástrojov Flowmap.blue ponúka aj niekoľko ďalších nastavení, ktoré umožnia efektívnejším spôsobom vizualizovať O-D údaje (obr. 6).

Tieto nastavenia môžeme rozdeliť do dvoch skupín. Prvú skupinu tvoria nastavenia, ktoré slúžia primárne na zvýšenie čitateľnosti a prehľadnosti výsledných máp. Patria sem nastavenia *Color scheme*, *Dark mode*, *Fade* a *Base map* (obr. 7), pomocou ktorých vieme:

- 1) nastaviť rôzne farebné škály O-D tokov (obr. 7-1A a 1B),
- 2) vypnúť alebo zapnúť tmavé pozadie,
- 3) vypnúť alebo zapnúť podkladovú mapu,
- 4) nastaviť prehľadnosť O-D tokov.



Obr. 6 Možnosti nastavenia vizualizácie O-D tokov v mapovej aplikácii Flowmap.blue (Pregi, 2021)

Ďalšia skupina zahŕňa pokročilejšie nastavenia – *Animate flows*, *Dynamic range adjustment*, *Location totals* a *Clustering*, ktoré umožňujú:

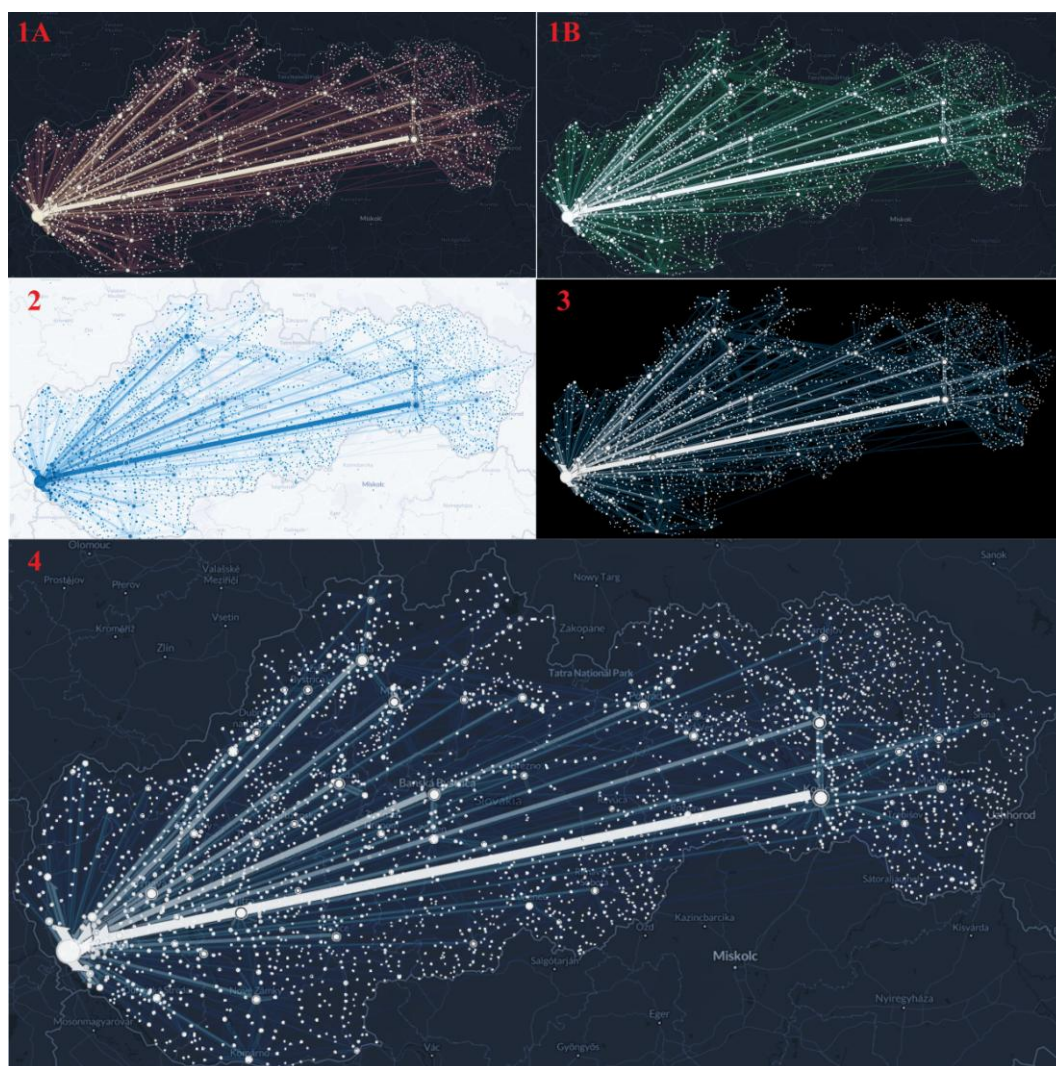
- 1) animovať O-D toky medzi jednotlivými obcami ,
- 2) zvýrazniť dominantné O-D toky a kartodiagramy znázorňujúce objem O-D tokov (obr. 8-2A) alebo naopak nezvýrazniť (obr. 8-2B),
- 3) zobrazíť (obr. 8-3A) alebo (obr. 8-3B) nezobrazíť kartodiagramy znázorňujúce objem O-D tokov,
- 4) klastrovanie O-D tokov.

Veľký potenciál využitia v grafickej interpretácii priestorových procesov v geografickom výskume má funkcia *Clustering* (obr. 9), ktorá spája O-D toky v rovnakom smere medzi väčšími oblasťami (agregujú sa sčítaním veľkosti tokov). Pri tejto funkcii sú tri možnosti: vypnúť zhlukovanie tokov, nastaviť automatické spájanie tokov alebo manuálne nastaviť úroveň klastrovania. Nevýhodou tejto funkcie je, že neumožňuje určiť územie (veľkosť územia, priestorové jednotky patriace do územia), medzi ktorými sa vytvárajú zhluky tokov. Jednotlivé úrovne zhlukovania tokov znázorňuje obr. 9.

Všetky vyššie uvedené nastavenia a nástroje sa dajú aj kombinovať, čo umožňuje značnú variabilitu zobrazovaného obsahu a formy (napr. poukázať len na dominantné O-D toky, alebo naopak aj na najmenšie O-D toky, zobrazíť toky len jednej obce, atď.).

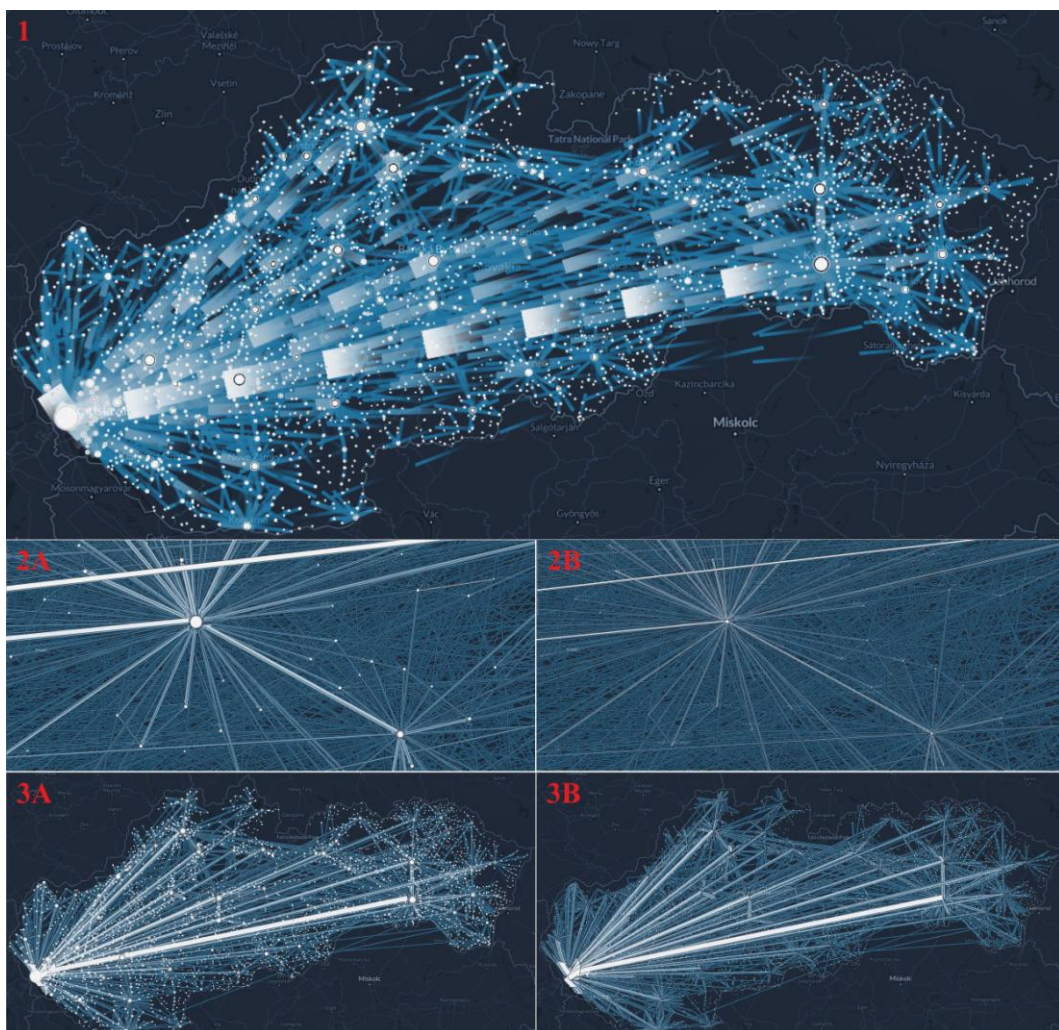
Z ďalších užitočných možností ešte považujeme za vhodné spomenúť, že:

- 1) označením konkrétneho toku sa zobrazí počet interakcií (migrácií, dopravných spojov, atď.) medzi dvoma územnými jednotkami, čo umožňuje identifikovať presné hodnoty, ktoré orientačne indikuje hrúbka zobrazovanej línie (obr. 10-A),
- 2) označením priestorovej jednotky sa zobrazia k nej prislúchajúce hodnoty – v prípade našej mapy počet imigrácií a emigrácií (obr. 10-B),
- 3) pri výbere jednej alebo viacerých obcí je možné nastaviť, aby sa na mape zobrazili všetky O-D toky (obr. 11-A), toky smerujúce do územnej jednotky (obr. 11-B) alebo len vychádzajúce z územnej jednotky (obr. 11-C).



Obr. 7 Vizualizácia O-D tokov po aplikácii funkcií Color scheme, Dark mode, Fade a Base map v mapovej aplikácii Flowmap.blue (Pregl, 2021)

Flowmap.blue okrem vizualizácie počtu O-D tokov podľa rokov, umožňuje zobrazit' O-D toky aj pomocou zadaných parametrov. V tomto prípade je však pre jednotlivé kategórie O-D tokov podľa požadovaných parametrov potrebné vytvoriť samostatné hárky v šablónovej tabuľke Google. Okrem toho, v hárku *properties* pri možnosti *flow.sheets* treba uviesť názvy týchto hárkov oddelených čiarkami. V používateľskom rozhraní sa následne objaví rozbaľovacia ponuka so zadanými parametrami (napr. 250 najvýznamnejších futbalových prestupov v období 2000 – 2018 podľa pozícií hráčov; Deulofeu Gomez, 2021).



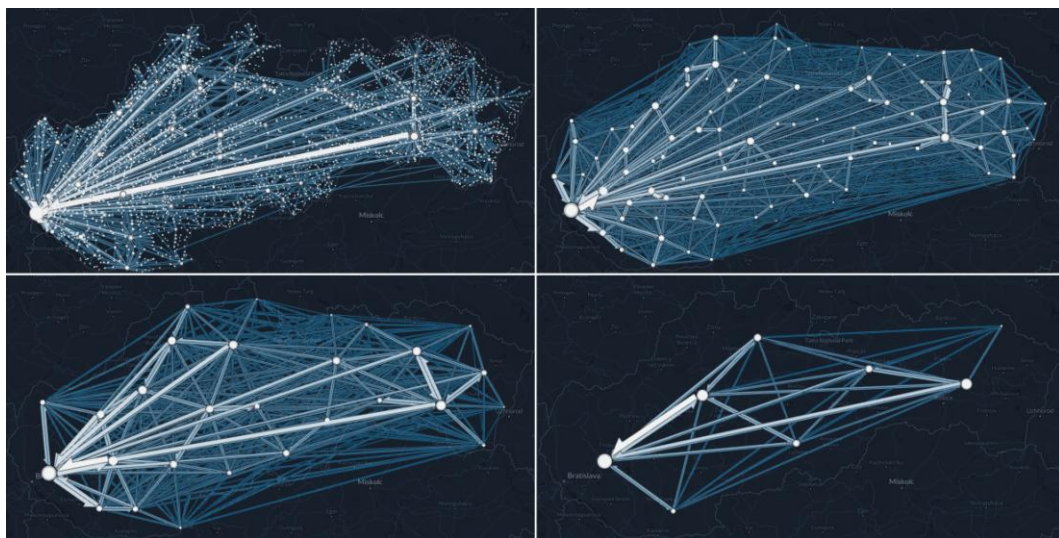
Obr. 8 Vizualizácia O-D tokov po aplikácii funkcií Animate flows, Dynamic range adjustment a Location totals v mapovej aplikácii Flowmap.blue (Pregi, 2021)

4. Diskusia

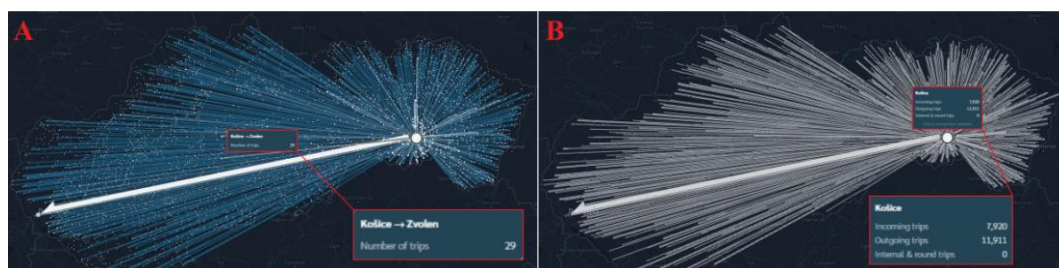
Kartografická vizualizácia O-D dát atraktívnou a prehľadnou formou je dôležitou súčasťou geografických a kartografických výskumov zameraných na analýzu priestorových procesov.

Najčastejšie sa Flowmap.blue využíva na vizualizáciu migračných tokov. Viacerí autori (Podolák, 2008; Drbohlav et al., 2010) upozorňujú, že vo výskume migrácie okrem procesov a trendov vzťahujúcich sa na konkrétnu priestorovú jednotku, je dôležité identifikovať a kartograficky interpretovať aj smer a objem migračných tokov, teda poznať odkiaľ a kam smerujú migračné toky a aké početné skupiny sa presúvajú. Charakteristiky migračných tokov poskytujú nielen informáciu týkajúcu sa určitej priestorovej jednotky, ale navyše informujú aj o priestorových väzbách (objeme, intenzite alebo smeroch) medzi konkrétnymi priestorovými jednotkami. Pri kartografickej interpretácii migračných tokov sa najčastejšie využíva agregácia údajov na základe priestorových

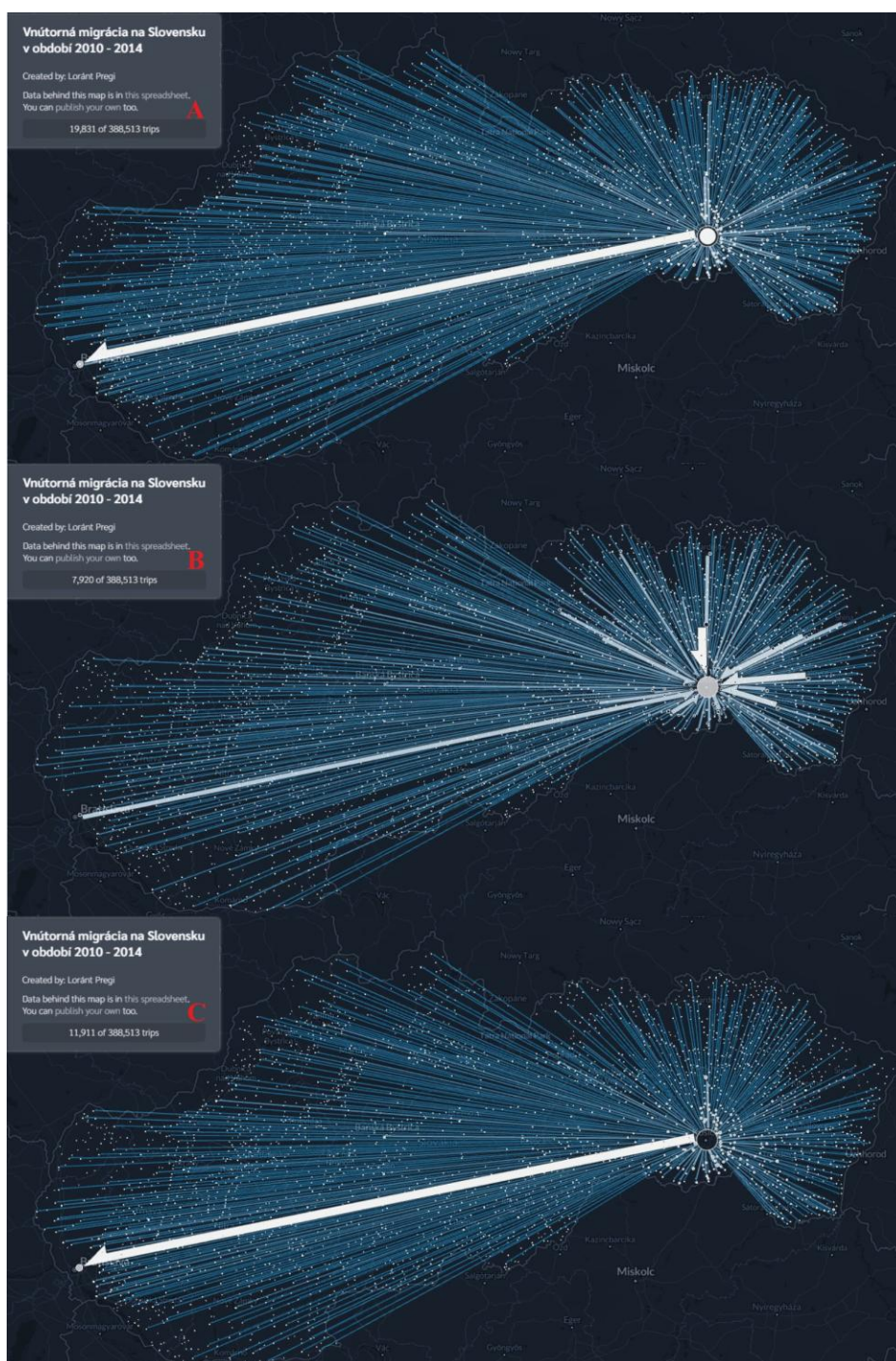
jednotiek alebo na základe samotných tokov. Agregáčna metóda usporiada priestorové jednotky do väčších oblastí alebo zhlukuje toky, čo podstatne znižuje počet tokov. Výsledné mapy však zobrazujú len najdôležitejšie migračné toky alebo toky medzi vybranými priestorovými jednotkami, tým pádom dochádza k významnej strate informácií. Vzhľadom na to, že Flowmap.blue umožňuje kartografickú interpretáciu všetkých migračných tokov na jednej mape, túto aplikáciu možno považovať za veľmi vhodný nástroj na vizualizáciu migračných väzieb, predovšetkým na lokálnej úrovni. O vhodnosti využitia Flowmap.blue svedčí aj množstvo existujúcich interaktívnych máp, ktoré sú zverejnené a dostupné priamo na stránke mapovej aplikácie, napr. vizualizácia vnútornej migrácie v USA období 2012 – 2016 (Boyandin, 2021e), v Indonézii v roku 2015 (Iqbal, 2021), vo Švajčiarsku v roku 2016 (Boyandin, 2021f) alebo vizualizácia zahraničnej migrácie vo svete vo vybraných rokoch (Escalona et al., 2021).



Obr. 9 Vizualizácia O-D tokov s rôznymi nastaveniami funkcie Clustering v mapovej aplikácii Flowmap.blue (Pregi, 2021)



Obr. 10 Možnosti zobrazenia informácií prislúchajúcich k jednotlivým O-D tokom alebo k priestorovým jednotkám v mapovej aplikácii Flowmap.blue (Pregi, 2021)



Obr. 11 Možnosti vizualizácie O-D tokov pre vybranú územnú jednotku v mapovej aplikácii Flowmap.blue ([Pregi, 2021](#))

Okrem vizualizácie migračných tokov sa Flowmap.blue často využíva aj na kartografickú interpretáciu dochádzkových tokov do zamestnania, napr. vizualizácia dochádzky do zamestnania vo Francúzsku v roku 2016 (Gaborit, 2021), v Kanade v roku 2016 (von Bergman, 2021) a na Novom Zélande v roku 2018 (Duhamel, 2021). Podobne ako pri analýze migračných tokov aj vo výskume dochádzky do zamestnania je dôležité identifikovať dochádzkové väzby medzi jednotlivými priestorovými jednotkami. Pomocou Flowmap.blue možno prehľadnou formou vizualizovať smer a objem dochádzkových tokov, poukázať na zmeny v priestorovom rozložení dochádzkových centier a dochádzkových tokov.

Potenciál vo využití tejto aplikácie možno vidieť okrem vedeckých výskumov a výstupov aj v komerčnej sfére. Vďaka možnosti zobrazenia veľkého množstva O-D tokov je Flowmap.blue vhodný mapový nástroj na analýzu a vizualizáciu dopravných tokov, či už medzinárodných (napr. vizualizácia leteckej dopravy v USA v roku 2018; Boyandin, 2021a), vnútroštátnych (napr. vizualizácia individuálnej dopravy vo Švajčiarsku v roku 2017; Boyandin, 2021d) ale aj vnútromestských (napr. vizualizácia bikesharingu v Montreale v roku 2019; Boyandin, 2021b). Zvyšujúci sa podiel individuálnej dopravy spôsobuje stále väčšie kapacitné problémy na pozemných komunikáciách. Prudký nárast cestujúcich a globalizáciu dopravy sledujeme v leteckej doprave (Halás et al., 2019) ako aj vo využití služieb zdieľanej mobility (Zhu et al. 2020). Pomocou Flowmap.blue je možné tieto zložité priestorové vzorce dopravných tokov identifikovať a prehľadne vizualizovať. Okrem dopravných tokov je pomocou Flowmap.blue možné vizualizovať napríklad aj šírenie informácií, finančných (napr. remitencie) alebo obchodných tokov (napr. vizualizácia export kávy v roku 2017; FAOSTAT, 2021).

Vďaka jednoduchému použitiu možno Flowmap.blue využiť aj vo vzdelávacom procese. Prostredníctvom tejto mapovej aplikácie môže vyučujúci podávať žiakom informácie o rôznych priestorových procesoch pútavou formou a interaktívne ich zapájať do priebehu vzdelávacieho procesu. Aplikácia ponúka možnosti využitia vo vzdelávacom procese na rôznych stupňoch štúdia a na rôznych predmetoch ako geografia, biológia alebo dejepis. Študenti sa okrem nadobudnutia základných poznatkov z učebných textov pomocou tejto aplikácie môžu naučiť vyhľadať, spracovať a jednoduchým spôsobom aj kartograficky vizualizovať rôzne priestorové procesy. V zmysle využitia jednotlivých organizačných foriem vyučovania môžu študenti vytvárať vlastné mapové výstupy a tak lepšie pochopiť základné trendy niektorých priestorových procesov, ako napríklad súčasné migračné trendy na Slovensku alebo vo svete, rôzne migračné vlny v minulosti (napr. vizualizácia transatlantického obchodu s otrokmi v rokoch 1516 až 1865; Bodnar, 2021) alebo migráciu živočíchov (napr. vizualizácia nočnej migrácie vtákov na základe údajov z európskej siete meteorologických radarov; Nussbaumer, 2021).

Funkciu vizualizácie pomocou zadaných parametrov možno využiť napríklad v prípade individuálnych migrácií alebo dochádzkových tokov s rôznymi atribútmi dotknutých osôb (vek, pohlavie, stupeň vzdelania, národnosť a podobne), kedy jednotlivé migračné toky môžeme rozdeliť a kategorizovať podľa vlastností migrantov či dochádzajúcich a následne tieto toky aj vizualizovať. Nevýhodou tejto funkcie však je, že O-D toky môžeme podľa zadaných parametrov vizualizovať iba v samostatných mapách a nemožno tieto parametre kombinovať (napríklad nemožno naraz vizualizovať migrantov s určitým stupňom vzdelania a v určitom veku). Vizualizáciu O-D tokov podľa rôznych zadaných parametrov umožňuje doplnková aplikácia query.flowmap.blue. Napríklad vizualizácia cyklistickej dopravy v New York City v roku 2018 podľa viacerých atribútov (query.flowmap.blue, 2021). Query.flowmap v súčasnosti podporuje iba ClickHouse ako svoj databázový backend, naopak nepodporuje tabuľky Google, tzn. že O-D toky nemožno vytvoriť pomocou šablónovej tabuľky Google. Navyše celý postup (od tvorby databázy až po tvorbu mapy) vyžaduje už pokročilejšie programátorské zručnosti.

Nevýhodou vizualizácie O-D dát vo Flowmap.blue je aj to, že na vytvorenie O-D máp je potrebné vstupné dáta zverejniť, čo pri určitých typoch databáz nie je možné a tým sa použitie aplikácie limituje.

Záver

Priestorové interakcie a procesy sa dynamicky menia a sú čoraz zložitejšie. Dôležitou a aktuálnou výzvou pre geografiu je preto popri analýze dostupné dáta aj primerane a zrozumiteľne kartograficky interpretovať. Vizualizáciu zložitých priestorových tokov umožňuje široká škála karto-

grafických metód, mapových aplikácii a softvérov. V tomto príspevku sme sa zamerali na online mapovú aplikáciu Flowmap.blue.

Príspevok detailne predstavuje postup tvorby interaktívnej mapy, jednotlivé nastavenia a funkcie mapovej aplikácie a taktiež možnosti vizualizácie rôznych priestorových procesov. Opiera sa pritom o príklad vizualizácie migračných tokov medzi jednotlivými obcami Slovenskej republiky v období rokov 2010 až 2014.

Oproti tradičným kartografickým metódam a mapovým softvérom je technológia Flowmap.blue efektívnejšia a flexibilnejšia vo viacerých smeroch. Mapová aplikácia je pre používateľov voľne dostupná na stránke Flowmap.blue. Okrem internetového prehliadača sa nevyžaduje inštalácia žiadneho ďalšieho softvéru alebo špecifického doplnku. Aplikácia je intuitívna, používateľsky nenáročná a vďaka svojmu jednoduchému použitiu umožňuje efektívnym spôsobom vytvárať a zdieľať interaktívne O-D mapy priamo z tabuliek Google. Flowmap.blue tak výrazne urýchľuje a zjednodušuje vizualizáciu dát o rôznych priestorových procesoch.

Veľkým prínosom tejto mapovej aplikácie je predovšetkým možnosť vizualizácie veľkého množstva O-D údajov, a to vo veľmi efektívnej vizuálnej podobe. Táto vizualizácia zároveň umožní používateľom získať jednoduchý pohľad na O-D dáta, ktoré sú v bežnej tabuľkovej podobe skryté alebo v statickej mapovej podobe menej prehľadné.

Za nevýhodu aplikácie možno považovať predovšetkým to, že priestorové toky je možné vizualizovať iba na základe jedného vybraného parametra a nemožno ich kombinovať. Použitie aplikácie limituje aj to, že okrem interaktívnej mapy sú zverejnené aj zdrojové údaje.

Predstavené možnosti Flowmap.blue naznačujú potenciál využitia aplikácie okrem vedeckých výskumov a výstupov aj praxi. Vďaka jednoduchému použitiu a svojim technologickým riešeniam možno Flowmap.blue využiť aj v komerčnej sfére alebo v rámci vzdelávacieho procesu.

Podakovanie: Príspevok vznikol v rámci projektu finančne podporeného grantom VEGA 1/0514/21: Priestorová redistribúcia ľudského kapitálu ako indikátor formovania regionálneho systému Slovenska.

Literatúra

- ABEL, G. J., HEO, N. (2018). Changing internal migration flows patterns in South Korea. *Regional Studies, Regional Science*, 5 (1), 78-80. DOI: 10.1080/21681376.2018.1431149
- ABEL, G. J., COHEN, J. E. (2019). Bilateral international migration flow estimates for 200 countries. *Sci Data*, 6 (82), 1-13. DOI: 0.1038/s41597-019-0089-3
- ABEL, G. J., SANDER, N. (2014). Quantifying global international migration flows. *Science*, 343 (6178), 1520-1522. DOI: 10.1126/science.1248676
- AHAS, R., AASA, A., MARK, Ü., PAE, T., KULL, A. (2007). Seasonal tourism spaces in Estonia: Case study with mobile positioning data. *Tourism Management*, 28, 898-910. DOI: 10.1016/j.tourman.2006.05.010
- ALEXANDER, L., JIANG, S., MURGA, M., GONZÁLEZ, M. (2015). Origin-destination trips by purpose and time of day inferred from mobile phone data. *Transportation Research Part C*, 58, 240-250. DOI: 10.1016/j.trc.2015.02.018
- BACHIR, D., KHODABANDELOU, G., GAUTHIER, V., EL YACOUBI, M., PUCHINGER, J. (2019). Inferring dynamic origin-destination flows by transport mode using mobile phone data. *Transportation Research Part C*, 101, 254-275. DOI: 10.1016/j.trc.2019.02.013
- BAČÍK, V., CHVOSTEKOVÁ, D. (2020). Cirkulárna vizualizácia dát dochádzky za prácou na príklade obcí Bratislavského samosprávneho kraja. *Geographia Cassoviensis*, 14 (1), 5-22. DOI: 10.33542/GC2020-1-01
- BEZÁK, A. (2008). Interregionálne migrácie na Slovensku v rokoch 2004 – 2006. *Geographia Cassoviensis*, 2 (1), 7-12.
- BODNAR, W. (2021). *Trans-Atlantic Slave Trade*. [online] [cit. 2021-12-08]. Dostupné na: https://flowmap.blue/19kZJ8t_jO1WmlnncuXqYHdf5nQAYLqPLdfXtWW-k8eE/22ec856?v=-4.876383%2C19.778484%2C2.09%2C0%2C0&a=0&as=1&b=1&bo=75&c=0&ca=1&d=1&fe=1<=1&lfm=ALL&t=15160101T000000%2C18630101T000000&col=PuRd&f=50

- BOYANDIN, I. (2021a). *Air passengers in the US in 2018*. [online] [cit. 2021-12-08]. Dostupné na: <https://flowmap.blue/13PZndO5uCtm88VBzdHcKX37NrGls8iWwXaSrtnJf?v=33.397687%2C54.357246%2C1.42%2C0%2C0&a=0&as=1&b=1&bo=75&c=1&ca=1&d=1&fe=1<=1&lfr=ALL&col=BuPu&f=47>
- BOYANDIN, I. (2021b). *BIXI Montréal*. [online] [cit. 2021-12-08]. Dostupné na: https://flowmap.blue/1mK1ZMxNmGtSSxMhtoKO5h7nxyDMXFC_3_u4eo4rtucg/e3131e8?v=45.513266%2C73.573425%2C12.18%2C0%2C0&a=0&as=1&b=1&bo=75&c=1&ca=1&d=1&fe=1<=1&lfr=ALL&col=Teal&f=45
- BOYANDIN, I. (2021c). *Credits*. [online] [cit. 2021-12-08]. Dostupné na: <https://flowmap.blue/credits>
- BOYANDIN, I. (2021d). *Personenverkehr in der Schweiz* [online] [cit. 2021-12-08]. Dostupné na: https://flowmap.blue/1_ujwdP2U4GnMzAEOI1cB-myk083SloVVREYU8_SQ7FU/6e029fb?v=46.480461%2C9.134348%2C8.76%2C0%2C0&a=0&as=1&b=1&bo=45&c=1&ca=1&cz=8&d=1&fe=1<=1&lfr=ALL&col=SunsetDark&f=45
- BOYANDIN, I. (2021e). *Relocations between Swiss cantons in 2016*. [online] [cit. 2021-12-08]. Dostupné na: <https://flowmap.blue/15kwLB4baXZ7jpi8q0JjgR6zDoS5Gt3gMLCTUAboQxk?v=46.719075%2C7.817990%2C7.51%2C0%2C0&a=0&as=1&b=1&bo=75&c=0&ca=1&d=1&fe=1<=1&lfr=ALL&col=Default&f=45>
- BOYANDIN, I. (2021f). *US County-to-County Migration 2012-2016*. [online] [cit. 2021-12-08]. Dostupné na: <https://flowmap.blue/1IRBIOBywJ9nNqBOF6VX0KXOmKMAc8c1dEr5qiu84TN8?v=28.269376%2C82.758607%2C4.21%2C0%2C0&a=0&as=1&b=1&bo=75&c=1&ca=1&d=1&fe=1<=1&lfr=ALL&f=45>
- BOYANDIN, I., BERTINI, E., BAK, P., LALANNE, D. (2011). Flowstrates: An approach for visual exploration of temporal origin-destination data. *Computer Graphics Forum*, 30 (3), 971-980. DOI: 10.1111/j.1467-8659.2011.01946.x
- CASERES, N., WIDEBERG, J.P., BENITEZ, F.G. (2007). Deriving origin-destination data from a mobile phone network. *IET Intelligent Transport Systems*, 1 (1), 15-26. DOI: 10.1049/iet-its:20060020
- DEULOFEU GOMEZ, R. (2021). *Top 250 Football transfers from 2000 to 2018*. [online] [cit. 2021-12-08]. Dostupné na: https://flowmap.blue/14wDsnZ6GQV4bNtxCcW2s_98402f9gK9BOqC5uLst68/c6f19be?v=16.747652%2C105.332685%2C1.97%2C0%2C0&a=0&as=1&b=1&bo=75&c=1&ca=1&d=1&fe=1<=1&lfr=ALL&t=20000101T000000%2C20190101T000000&col=Magma&f=50
- DRBOHLAV, D., MEDOVÁ, L., ČERMÁK, Z., JANSKÁ, E., ČERMÁKOVÁ, D., DZÚROVÁ, D. (2010). *Migrace a (i)migranti v Česku „Kdo jsme, odkud přicházíme, kam jdeme“*. Praha (Sociologické nakladatelství).
- DUHAMEL, T. (2021). *NZ Commuter Flows 2018*. [online] [cit. 2021-12-08]. Dostupné na: <https://flowmap.blue/1ySZqe2onnkehmflyXc4o3UqbyZq4RCk9AYcaAC-kWzA/96b0141?v=-35.612981%2C169.614016%2C5.47%2C0%2C0&a=0&as=1&b=1&bo=75&c=1&ca=1&d=1&fe=1<=1&lfr=ALL&col=Default&f=50>
- EMERSON, A. B., GUY, A., CAMPOS, J. (2018). Internal migration in Brazil using circular visualization. *Regional Studies, Regional Science*, 5 (1), 361-364. DOI: 10.1080/21681376.2018.1526649
- ESCOLANO, S., SALVADOR J. A., REQUÉS, P. (2021). *Stock of foreign migrants and origin-destination connections by country. 2000, 2005, 2010, 2015*. [online] [cit. 2021-12-08]. Dostupné na: <https://flowmap.blue/1RP9YEXuYJblZGjUuLdaNmKSyvXYPQ5tBjXX4CGBMjI/5b0927f?v=8.729650%2C11.252848%2C1.22%2C0%2C0&a=0&as=1&b=1&bo=75&c=1&ca=1&d=1&fe=1<=1&lfr=ALL&col=Emrld&f=50>
- FAOSTAT (2021). *Where Does Your Coffee Come From?* [online] [cit. 2021-12-08]. Dostupné na: https://flowmap.blue/1ND0cLhnGYNdllOWArsVw_LSlj1eOablas_COWLsNjC0?v=7.318013%2C10.942728%2C1.08%2C0%2C0&a=0&as=1&b=1&bo=76&c=1&ca=1&d=0&fe=1<=1&lfr=ALL&col=Oranges&f=36
- FISCHER, M., WANG, J. (2011). *Spatial data analysis models, methods and techniques*. Heidelberg (Springer).
- FLOWMAP.BLUE (2021). *How to make a flow map*. [online] [cit. 2021-12-08]. Dostupné na: <https://flowmap.blue/how-to-make-a-flow-map>
- GABORIT, G. (2021). *Mobilités domicile-travail entre EPCI (flux >=50). 2000, 2005, 2010, 2015*. [online] [cit. 2021-12-08]. Dostupné na: https://flowmap.blue/1B75NgT4vzOW86HZdIgKRv4lxE_GXDHalJW0vGfFqQY?v=46.816064,1.831957,5.55,0,0&a=0&as=1&b=1&bo=75&c=1&ca=1&cz=5&d=1&fe=1<=1&lfr=ALL&col=Magma&f=39
- GHONIEM, M., FEKETE, J. D., CASTAGLIOLA, P. (2004). A comparison of the readability of graphs using node-link and matrix-based representations. In *Proceedings of the 2004 IEEE Symposium on Information Visualization, Austin (IEEE)*, 17-24. DOI: 10.1109/INFVIS.2004.1

- GUO, D. (2009). Flow mapping and multivariate visualization of large spatial interaction data. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 15 (6), 1041-1048. DOI: 10.1109/TVCG.2009.143
- GUO, D., ZHU, X. (2012). Discovering Spatial Patterns in Origin-Destination Mobility Data. *Transaction in GIS*, 16 (3), 411-429. DOI: 10.1111/j.1467-9671.2012.01344.x
- GUO, D., ZHU, X. (2014). Origin-destination flow data smoothing and mapping. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 20 (12), 2043-2052. DOI: 10.1109/TVCG.2014.2346271
- HALÁS, M., BLAŽEK, V., KLAPKA, P., KRAFT, S. (2021). Population movements based on mobile phone location data: the Czech Republic. *Journal of Maps*, 17 (1), 116-122. DOI: 10.1080/17445647.2021.1937730
- HALÁS, M., KRAFT, S., KLAPKA, P. (2019). Global spatial organisation of air transport: The definition of functional airline regions. *The Geographical Journal*, 186 (1), 2-15. DOI: 10.1111/geoj.12313
- HUANG, Z., LING, X., WANG, P., ZHANG, F., MAO, Y., LIN, T., WANF, F.-Y. (2018). Modeling real-time human mobility based on mobile phone and transportation data fusion, *Transportation Research Part C*, 96, 251-269. DOI: 10.1016/j.trc.2018.09.016
- IQBAL, L. (2021). *Recent Migration in Indonesia*. [online] [cit. 2021-12-08]. Dostupné na: <https://flowmap.blue/1V8g6xe7hWLEUUIJDnSwq4XcHUuXZnlFCchRMLxkXJ3k?v=4.073862%2C112.431066%2C4.77%2C0%2C0&a=0&as=1&b=1&bo=75&c=0&ca=1&d=1&fe=1<=1&lfr=A&ll&col=Blues&f=50>
- JIA, J. S., LU, Y. Y., YUAN, Y., XZ, G., JIA, J., CHRISTAKIS, N. (2020). Population flow drives spatio-temporal distribution of COVID-19 in China. *Nature*, 525, 389-394. DOI: 10.1038/s41586-020-2284-y
- JURČOVÁ, D. (2005). *Slovník demografických pojmů*. Bratislava (INFOSTAT).
- JURČOVÁ, D. (2010). *Migračné toky v Slovenskej republike*. Bratislava (INFOSTAT).
- KAKAŠ, A., KÁČEROVÁ, M. (2012). Migračné trendy obyvateľstva Prešovského kraja. *Geographia Casoviensis*, 6 (2), 37-47.
- KLAPKA, P., HALÁS, M. (2016). Conceptualising patterns of spatial flows: Five decades of advances in the definition and use of functional regions. *Moravian Geographical Reports*, 22 (4), 2-13. DOI: 10.1515/mgr-2016-0006
- KOYLU, C., GUO, D. (2017). Design and evaluation of line symbolizations for origin– destination flow maps. *Information Visualization*, 16 (4), 309-331. DOI: 0.1177/1473871616681375
- LOVELACE, R. (2021). Open source tools for geographic analysis in transport planning. *Journal of Geographical Systems*, 23, 547-578. DOI: 10.1007/s10109-020-00342-2
- NI, L., WANG, X., CHEN, X. (2018). A spatial econometric model for travel flow analysis and real-world applications with massive mobile phone data. *Transportation Research Part C*, 86, 510-526. DOI: 10.1016/j.trc.2017.12.002
- NIELSEN, T., HOVGESSEN, H. (2008). Exploratory mapping of commuter flows in England and Wales. *Journal of Transport Geography*, 16 (2), 90-99. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2007.04.005
- NOVOTNÝ, L., KULLA, M., PREGI, L., CSACHOVÁ, S. (2019). Economic Transformation of Post-Socialist Small Towns: Case Study of the Lower Spiš Region, Slovakia. *DETUROPE*, 11 (1), 21-41.
- NUSSBAUMER, R. (2021). *Bird migration model*. [online] [cit. 2021-12-08]. Dostupné na: https://flowmap.blue/1icUMT7Q3V0DOPHBahXJlz7Mz_BYOgLv9InZUHX_5xIE?v=49.272478%2C5.910396%2C5.91%2C0%2C0&a=1&as=1&b=1&bo=75&c=0&ca=1&d=1&fe=1<=0&lfr=ALL&col=Sunset&f=24
- PODOLÁK, P. (2008). Kartografická prezentácia priestorového pohybu obyvateľstva. *Kartografické listy*, 16, 101-105.
- PREGI, L. (2021). *Vnútrošná migrácia na Slovensku v období 2010 – 2014*. [online] [cit. 2021-12-08]. Dostupné na: <https://flowmap.blue/1p6XNvTGSKj3oONHiS9KZekIB82YrtC3kp7BT5OS4qol>
- QUERY.FLOWMAP.BLUE (2021). *NYC Citibike trips 2018*. [online] [cit. 2021-12-08]. Dostupné na: <http://query.flowmap.blue:3001/citibike>
- RAE, A. (2009). From spatial interaction data to spatial interaction information? Geovisualisation and spatial structures of migration from the 2001 UK census. *Computers, Environment and Urban Systems*, 33, 161-178. DOI: 10.1016/j.compenurbsys.2009.01.007
- SHAHADAT IQBAL, M., CHOUDHURY, CH., WANG, P., GONZÁLEZ, M. (2014). Development of origin–destination matrices using mobile phone call data. *Transportation Research Part C*, 40, 63-74. DOI: 10.1016/j.trc.2014.01.002
- ŠÚ SR (2015). *Anonymizované mikrodáta o jednotlivých migráciách medzi obcami v rámci SR za obdobie 2010 – 2014*. Bratislava (Štatistický úrad Slovenskej republiky).

- TOBLER, W. R. (1987). Experiments in migration mapping by computer. *The American Cartographer*, 14 (2), 155-163. DOI: 10.1559/152304087783875273
- VON BERGMAN, J. (2021). *Commuter flow*. [online] [cit. 2021-12-08]. Dostupné na: <https://flowmap.blue/1Wz6ohj-PTWIQ7X9nu5dpdliqp9azSLWVPOCQoOpLvKQ>
- WEI, Q., GUY, A., MUTTARAK, R., SHENHE, L. (2017). Circular visualization of China's internal migration flows 2010–2015. *Environment and Planning A*, 49 (11), 2432-2436. DOI: 10.1177/0308518X17718375
- WOOD, J., DYKES, J., SLINGSBY, A. (2010). Visualisation of origins, destinations and flows with OD maps. *The Cartographic Journal*, 47 (2), 117-129. DOI: 10.1179/000870410X12658023467367
- WOOD, J., DYKES, J., SLINGSBY, A. (2011). Visualizing the dynamics of London's bicycle hire scheme. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 46 (4), 239-251. DOI: 10.3138/carto.46.4.239
- YANG, Y., DWYER, T., GOODWIN, S., MARRIOTT, K. (2017). Many-to-many geo-graphically-embedded flow visualisation: An evaluation. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 23 (1), 411-420. DOI: 10.1109/TVCG.2016.2598885
- YANG, Y., DWYER, T., JENNY, B., MARRIOTT, K., CORDEIL, M., CHEN, H. (2019). Origin-destination flow maps in immersive environments. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 25 (1), 693-703. DOI: 10.1109/TVCG.2018.2865192
- ZHU, R., ZHANG, X., KONDOR, D., SANTI, P., RATTI, C. (2020). Understanding spatio-temporal heterogeneity of bike-sharing and scooters mobility. *Computers, Environment and Urban Systems*, 81, 101483. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2020.101483
- ZHU, X., GUO, D. (2014). Mapping large spatial flow data with hierarchical clustering. *Transactions in GIS*, 18 (3), 421-435. DOI: 10.1111/tgis.12100
- ZHU, X., GUO, D., KOYLU, C., CHEN, CH. (2019). Density-based multi-scale flow mapping and generalization. *Computers, Environment and Urban Systems*, 77, 101359. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2019.101359
- ŽUDELOVÁ, M. (2018). Dochádzanie za prácou v SR: Interakčný priestorový ekonometrický model. *Forum Statisticum Slovaca*, 14 (1), 29-38.

Summary

Visualization of spatial processes using a web-based mapping application Flowmap.blue

The study deals with the visualization of spatial processes using the online map application Flowmap.blue. The aim of the paper is to introduce the particular functions and settings of this application, various possibilities of visualization of spatial data using Flowmap.blue and also to present the basic opportunities to employ it in research as well as in practice.

Flowmap.blue is a freely available online map application created in JavaScript to visualize complex spatial data. Creating an interactive map is user-friendly and relatively easy and fast to implement directly on the website of the map application. On the website, there are also three tools available for the preparation and visualization of origin – destination (O-D) data: the geocoding tool, the OD-matrix converter and the in browser flow map.

We illustrate the possibilities of application in the paper by migration flows between individual municipalities of the Slovak Republic in the period 2010-2014, based on anonymized microdata on individual migrations provided for scientific purposes by the Statistical Office of the Slovak Republic (ŠÚ SR 2015). The database contains information on the municipality of the original and new permanent residence of migrants in the individual years of the observed period. The database is available in long form, which means that each line represents one migration flow between two municipalities. The created interactive map (Pregi, 2021) shows 388,513 migration flows and 83,009 migration links between municipalities in Slovakia.

In addition to the interactive map (Fig. 5), the user interface contains a window with basic information (name and author of the map, a link to the Google table and the number of displayed O-D streams), a window with basic tools (window for searching territorial units, zooming in or out on the map, possibility to mark multiple municipalities or a larger area using a polygon), a legend with three types of map diagrams, the period that is displayed on the map and the settings icon. A useful function of the application is the ability to visualize O-D flows in various time intervals and according to various specified parameters. In addition to the basic functions and tools, Flowmap.blue also offers several other settings that enable visualization of O-D data in a more efficient way. Using the functions Color scheme, Dark mode, Fade and Base map (Fig. 7) it is possible to set different color scales of O-D flows, turn off or on the dark background or background map and to set the transparency of O-D flows. These settings are primarily intended to increase the readability and

clarity of the resulting maps. In addition to static cartographic interpretation, Flowmap.blue also enables dynamic simulation, i.e. animation of O-D flows (Fig. 8-1). Using the Clustering function, O-D flows can be aggregated (Fig. 9). The map application also offers a unique function of searching for information that belongs to one or more municipalities or particular spatial flow and subsequent display of results for selected spatial units or flows (Figs. 10 and 11).

The Flowmap.blue map application can be applied in several areas of research of various scientific disciplines. Thanks to its technological solution, it can also be used in the commercial sphere, in various areas such as transport network planning, traffic flow analysis, logistics and supply chains. Thanks to its relatively easy use, Flowmap.blue can also be used in the educational process.

Fig. 1 Origin-destination pairs (long form)

Fig. 2 Origin-destination flow matrix

Fig. 3 Cartographic interpretation of O-D data using the flow diagram method (Novotný et al., 2019)

Fig. 4 Interactive O-D flow map and basic tools of the web-based mapping application Flowmap.blue

Fig. 5 Options for settings the displayed period in the web-based mapping application Flowmap.blue

Fig. 6 Options for settings the visualization of O-D flows in the web-based mapping application Flowmap.blue

Fig. 7 Visualization of O-D flows after the application of functions Color scheme, Dark mode, Fade and Base map in the web-based mapping application Flowmap.blue

Fig. 8 Visualization of O-D flows after the application of functions Animate flows, Dynamic range adjustment and Location totals in the web-based mapping application Flowmap.blue

Fig. 9 Visualization of O-D flows with various settings of the Clustering function in the web-based mapping application Flowmap.blue

Fig. 10 Values related to a specific O-D flow (11-A) or spatial unit (11-B) in the web-based mapping application Flowmap.blue

Fig. 11 Visualization of O-D flows for a selected spatial unit in the web-based mapping application Flowmap.blue

Prijaté do redakcie: 12. január 2022

Zaradené do tlače: jún 2022