

VYUŽITIE INTERAKČNÉHO MODELOVANIA PRI PROGNÓZOVANÍ DOCHÁDZKY DO ZAMESTNANIA V ROKU 2030 A 2040 – PRÍKLAD BRATISLAVY A KOŠÍC

Pavol Ďurček

Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra ekonomickej a sociálnej geografie, demografie a územného rozvoja, e-mail: pavol.durcek@uniba.sk

Abstract: Our study focuses on forecasting commuting flows to Slovakia's two largest cities – Bratislava and Košice – for the years 2030 and 2040, using interaction modeling, specifically an origin-constrained model. The model was calibrated using data from the 2021 Population and Housing Census and subsequently applied to demographic forecast up to 2040. The results reveal regional variations in model accuracy, with Bratislava showing higher predictive precision over shorter distances compared to Košice. Our results suggests a slight increase in commuting to Bratislava by 2030, followed by a decline by 2040, while Košice is expected to experience a decrease already by 2030, continuing through 2040. These trends are primarily driven by population ageing in a peripheral districts and immigration, particularly within economically active age group to the nearby hinterland of cities. The study also highlights the need to enhance model approaches by incorporating behavioral factors and improving data accuracy, which could increase the practical applicability of interaction models for strategic planning in mobility, transportation, and regional development.

Keywords: spatial interaction, commuting, urban mobility, population forecast, demographic ageing

1 ÚVOD

Hlavným cieľom štúdie je odhadnúť objem dochádzky do zamestnania do dvoch najväčších slovenských miest – Bratislavy a Košíc. Horizont prognózy je rok 2040, avšak aby sme plastickejšie zhodnotili zmeny v čase, uvedieme aj výsledky pre rok 2030. Pri napĺňaní hlavného cieľa sa opierame o gravitačný model, ktorého základy položil astronóm John Stewart už v roku 1948, keď ho po prvý raz využil v spoločenských vedách. Jeho prístup, spájajúci poznatky z viacerých disciplín, viedol k vzniku novej oblasti výskumu označenej ako sociálna fyzika (Stewart, 1948). Na jeho prácu nadviazal geograf Edward Ullman, ktorý v roku 1954 zaviedol pojem priestorová interakcia a poukázal na potenciál kombinovania fyzikálnych

a geografických prístupov (Ullman, 1954). Gravitačný model neskôr rozvíjal Warntz (1960; 1989), ktorý ho aplikoval na analýzu priestorového rozloženia obyvateľstva USA a definoval tzv. interakčný potenciál. Významný príspevok k teoretickému rozvoju modelov priestorovej interakcie priniesol Alan Wilson, ktorý v roku 1971 odvodil a systematizoval základné triedy modelov (Wilson, 1971). Medzi často využívané GIS aplikácie patrí aj Huffov model, ktorý umožňuje odhadnúť pravdepodobnosť nákupného správania spotrebiteľov na základe ich priestorového rozmiestnenia voči polohe viacerých konkurenčných maloobchodných prevádzok (Huff, 1963).

Vo všeobecnosti fungujú priestorové interakčné modely na základe predpokladu, že veľkosť interakcie medzi dvomi lokalitami je tým väčšia, čím objemnejšia je ich populácia (vo fyzike ekvivalent hmotnosti) a tým menšia, čím sú tieto lokality vzdialenejšie (vo fyzike ekvivalent impedancie/odporu). Tieto interakcie nemusia reprezentovať výlučne pohyb obyvateľov, ale môžu zahŕňať aj prepravu tovaru, telefonické spojenia, migračné toky a rôzne ďalšie formy sociálnych a ekonomických väzieb, ako sú dochádzka do zamestnania, nákupné cesty, návštevy škôl alebo trávenie voľného času (Rich, 1980). Interakčné modely teda slúžia na opis pohybov (tokov) ľudí, tovarov, informácií, alebo iných entít medzi rôznymi územnými celkami (Paulov, 1993). Existuje viacero typov týchto modelov, pričom ich konkrétna podoba závisí od dostupných údajov a cieľa, ktorý má modelovanie sledovať. Vo všeobecnosti ich však možno zaradiť do štyroch hlavných kategórií (Wilson, 1971):

1. Neohraničený interakčný model
2. Východiskovo ohraničený interakčný model
3. Cieľovo ohraničený interakčný model
4. Východiskovo a cieľovo ohraničený interakčný model.

V našej analýze využívame východiskovo ohraničený interakčný model. Ako začiatkový vstup figuruje celkový počet osôb odchádzajúcich do zamestnania z územnej jednotky – to predstavuje východiskové ohraničenie. Naš hlavný cieľ, ktorým je odhad objemu dochádzkových tokov v roku 2040, dosiahneme tak, že na reálnych dátach (údaje zo SODB 2021) nakalibrujeme model (celkovo dva modely – jeden pre Bratislavu a jeden pre Košice). Následne takto „nastavený“ model naplníme údajmi z demografickej prognózy pre roky 2030 a 2040. Vďaka tomu dostaneme odhadované objemy dochádzkových tokov v budúcnosti.

Na tomto mieste je dôležité diskutovať ďalšie možnosti merania priestorovej mobility. Populačné cenzy, ktoré sú síce vyčerpávajúcimi (úplnými) zisťovaniami, prebiehajú len každých 10 rokov a nezaznamenávajú celkovú mobilitu, ale len dochádzku do škôl a zamestnania. V nasledujúcom rešerši sme sa rozhodli uviesť tri ďalšie prístupy.

Prvým z nich sú dáta o priestorovom pohybe SIM kariet. Takéto údaje (charakteru Big Data) umožňujú merať dochádzkové toky v intercenálnom období. Zároveň umožňujú pomerne efektívne sledovať konkrétne časové polohy počas dňa alebo vybrané dni (víkendy, sviatky) (Jaroš, 2023). Nevýhodou týchto dát je problematickosť rozlišovania účelu dochádzania. Inak povedané, je ťažké rozlíšiť zamestnanca od pravidelného zákazníka, pacienta v nemocnici, či študenta. Isté riziko

presnosti môže predstavovať duplicita SIM kariet u obyvateľov, resp. ich nevlastnenie u najmladšej populácie.

Druhým špecializovanejším zdrojom údajov o priestorovej mobilite sú dáta z prieskumov v prostriedkoch verejnej dopravy (vlak, regionálne autobusy, mestská verejná doprava). Tieto dáta umožňujú v rámci časových polôh presnejšie identifikovať intenzitu priestorového pohybu. Je zároveň možné identifikovať to či sa využíva viacero módov dopravy alebo len jeden (Imam, 2014). Nevýhodou je, že tieto dáta majú hlavne charakter výberového zisťovania. Čiže prieskumu sa zúčastní len vzorka cestujúcich. Zároveň údaje z takýchto prieskumov prakticky vôbec neobsahujú osoby využívajúce individuálne spôsoby prepravy – bicykel, auto, cesta pešo. Problémom je aj rozdielna časová periodicitu týchto prieskumov. Avšak v praxi platí, že spojením tohto zdroja a princípov interakčného modelovania je možné zostaviť model verejnej dopravy (Centrum dopravného výskumu, 2015). Tieto údaje sa často využívajú aj na nadimenzovanie kapacít verejnej dopravy (Hluško et al., 2024).

Tretím, už pomerne tradičným druhom dát je sčítanie dopravnej kapacity vybraných cestných úsekov. Umožňujú zmerať intenzitu prepravy v kľúčových bodoch cestnej siete (Stanek et al., 2021). Keďže tieto údaje len obmedzene umožňujú odlišovať tranzit od ostatnej prepravy (sledovanie EČV), je využitie tohto zdroja vhodné hlavne na posudzovanie kapacity vybraných cestných úsekov. Spojením tohto zdroja a princípov interakčného modelovania je tiež možné zostaviť dopravný model cestnej siete. Tým je možné odhadnúť zdrojové a koncové miesto priestorového pohybu. Problémom je aj rozdielna časová periodicitu týchto prieskumov.

Na tomto mieste musíme upozorniť na to, že našu štúdiu by nebolo možné uskutočniť, ak by sme nemali údaje o budúcom populačnom vývoji. Konkrétne využívame v súčasnosti najnovšie výsledky z demografickej prognózy za okresy Slovenskej republiky (SR) s horizontom v roku 2050 (Vaňo et al., 2024). Táto prognóza nadväzuje na celú radu štúdií vytvorených za územie SR, či jeho regióny, využívajúc kohortno-komponentnú metódu predpovedania demografickej budúcnosti (Bleha et al., 2013a; Bleha et al., 2013b; Bleha et al., 2018; Šprocha et al., 2019; Šprocha et al., 2024). Priestorovo veľmi podrobnou populačnou prognózou zameranú na vnútromestský priestor obsahuje aj publikácia Bratislava 2050: Demografický potenciál, sociálna a ekonomická geografia, scenáre rozvoja hlavného mesta SR Bratislavy do roku 2050 (Bleha et al., 2023). Za mestské časti Bratislavy a zázemie hlavného mesta bola vytvorená aj projekcia Ďurček (2020). Vyššie uvedené prognostické práce sa v princípe zhodujú v tom, že na Slovensku bude dochádzať k intenzívnemu starnutiu. Podľa prognózy OSN bude dokonca Slovenská republika patriť k najintenzívnejšie starnúcim populáciám Európy (United Nations, 2024). Avšak samotné starnutie bude na regionálnej úrovni akcelerovať alebo brzdiť migrácia. Migračne najaktívnejšími sú spravidla osoby relatívne mladé – prvá polovica produktívneho veku. Zároveň sa tieto osoby silne zúčastňujú pracovného procesu a tým pádom sú aj významnými účastníkmi dochádzky do zamestnania. Keďže najintenzívnejší vek migrácie sa kryje aj s vekom najsilnejšej fertility, tak dokonca môže vďaka narodeným deťom migrantov dochádzať až k mladnutiu niektorých lokalít (Ďurček, 2020). Preto často zmeny v objeme dochádzkových tokov do dvoch

najväčších slovenských miest budeme vysvetľovať premenami vekovej štruktúry v dôsledku procesov migrácie a čiastočne aj plodnosti.

2 METODIKA

Pri dosahovaní hlavného cieľa práce, ktorým je odhad dochádzkových tokov do Bratislavy a Košíc sme postupovali podľa nasledujúcich krokov.

1. Príprava údajov vhodných na nakalibrovanie interakčného modelu
2. Nakalibrovanie dvoch modelov na základe údajov o dochádzke do škôl a zamestnania v roku 2021:
 - a) Model pre dochádzku do zamestnania z okresov Slovenska do Bratislavy.
 - b) Model pre dochádzku do zamestnania z okresov Slovenska do Košíc.
3. Odhad počtu zamestnaných v roku 2030 a 2040. Pre tento odhad sú kľúčové výsledky z demografickej prognózy.
4. Výsledný odhad objemu dochádzkových tokov na základe nakalibrovaných interakčných modelov po dosadení odhadovaného počtu zamestnaných a študujúcich v roku 2030 a 2040.

Príprava údajov vhodných pre nakalibrovanie interakčného modelu

Nastavenie príslušných interakčných modelov potrebujeme nasledujúce dátové zdroje:

- 1) *Dáta z populačných censov týkajúce sa dochádzky do zamestnania.* Konkrétne sa analyzovali údaje z SODB a 2021 (ŠÚ SR, 2022). Dáta za úroveň okresov SR (bratislavské a košické mestské okresy sú zlúčené do jedného územia) neobsahujú počty odchádzajúcich do zahraničia a takých, ktorí neurčili miesto výkonu práce. Preto možno očakávať isté diskrepancie práve v prihraničných okresoch. Tiež nerozlišujeme medzi dennou a nedennou dochádzkou. To môže tiež vytvárať potenciálne rozdiely medzi modelovými a reálnymi údajmi.
- 2) *Euklidovská (priama/vzdušná) vzdialenosť.* Tie údaje sa netýkajú priamo dochádzky, ale vzdialenosť používame na vyjadrenie úrovne odporu/brzdneho efektu, ktorý musí obyvateľstvo prekonať pri dochádzke do zamestnania (viď metodika). Konkrétne sme použili vzdialenosť medzi okresmi SR vyjadrenú ako priamu vzdialenosť medzi centroidmi okresných miest. Vzdialenosti vo vnútri okresov sú určené „na tvrdo“ = 7 km – je to o jeden kilometer menej ako je najmenšia vzdialenosť medzi dvojicami okresných miest. Mestské okresy Bratislavy a Košíc boli spojené do jedného „spoločného“ okresu. Zdroj: (GKÚ, 2022; OSM, 2022).

Kalibrovanie modelu dochádzky do zamestnania z okresov SR do Bratislavy a Košíc

V tejto podkapitole uvedie matematický zápis modelu, ktorý používame na odhad celkovej dochádzky do zamestnania z okresov SR do Bratislavy a SR. Tento zápis je síce univerzálny pre obe analyzované mestá, ale vo výsledku boli vytvorené

dva modely. Bratislava a Košice líšia v kalibračných parametroch modelov. Univerzálne znenie modelu je nasledujúce:

$$T_{ij}^{ok} = A_i^{ok} O_i^{ok} W_j^{ok} f^{ok}(c_{ij}) \quad ,$$

kde:

T_{ij}^{ok} – počet odchádzajúcich do zamestnania z okresu i do okresu j (bez dochádzky do zahraničia). Mestské okresy Bratislavy a Košíc boli spojené do jedného „veľkého“ okresu,

O_i^{ok} – počet pracujúcich/študujúcich za okres i ,

W_j^{ok} – atraktivita: počet dochádzajúcich pracujúcich/študentov do príslušného okresu j ,

$f^{ok}(c_{ij})$ – vzdialenosť medzi okresmi i a j upravená príslušnou funkciou vzdialenosti. Testované boli nasledujúce funkcie: mocninová, exponenciálna, kvadratická exponenciálna – Gausova, Tanenerova. Viac o roznych funkciách vzdialenosti a celkovo o interakčných modeloch je uvedené v prácach Fotheringham a O'Kelly (1989) a Paulov a Bezák (2017).

A_i^{ok} – Vyrovnávajúci koeficient pre okres j – pozri vzorec nižšie

$$A_i^{ok} = 1 / \sum_j W_j^{ok} f^{ok}(c_{ij}) \quad .$$

Výsledné kalibrovanie modelov sme robili na základe dvoch mier a tým je index nepodobnosti a koeficient determinácie. Takýto postup je použitý napríklad v práci Fotheringham a O'Kelly (1989). V nasledujúcej tabuľke 1 uvádzame výsledky týchto mier a typ a parametre funkcie vzdialenosti pre finálne nakalibrované interakčné modely. Ako najpresnejšie funkcie vzdialenosti sa v oboch modeloch ukázala pomerne jednoduchá mocninová funkcia. Pre model Bratislavy to bola funkcia s parametrom b o hodnote 1,8 a pre Košice mal príslušný parameter 2,2. Na základe použitých mier presnosti môžeme povedať, že model pre Košice je funguje presnejšie ako model pre Bratislavu. V prípade testovacích situácií, kde sú zaznamenané toky len do príslušných miest bol index nepodobnosti menší ako 10 %, čo znamená, že len menej ako 10 % objemu dochádzkových tokov treba presmerovať, aby sa dosiahla úplná zhoda medzi modelom a reálnymi dochádzkovými tokmi.

Postup odhadu celkového počtu zamestnancov a študentov v roku 2030 a 2040 v okrese

Odhad celkového počtu zamestnancov v príslušnom okrese časti sa uskutočnil na základe nasledujúceho vzorca:

$$O_z^{2030/2040} = \frac{O_z^{2021}}{P_{20-64}^{2021}} \cdot P_{20-64}^{2030/2040} \quad ,$$

kde:

$O_z^{2030/2040}$ – je počet zamestnancov v okrese v roku 2030/2040

O_z^{2021} – je počet zamestnancov v okrese v roku 2021

P_{20-64}^{2021} – je počet obyvateľov vo veku 20 až 64 rokov v okrese v roku 2021
 $P_{20-64}^{2030/2040}$ – je počet obyvateľov vo veku 20 až 64 rokov v okrese v roku 2030/2040

Tabuľka 1 Vyhodnotenie presnosti nakalibrovaných interakčných modelov pre Bratislavu a Košice

		Výsledný model pre:	
		Bratislavu	Košice
Typ najpresnejšie funkcie		Mocninová	Mocninová
Zápis funkcie		$f(c_{ij}) = c_{ij}^{-b}$	$f(c_{ij}) = c_{ij}^{-b}$
Parameter b		1,80	2,20
Index nepodobnosti	Všetky medziokresné dochádzkové toky v SR	27 %	17 %
	Iba dochádzkové toky smerujúce do Bratislavy/Košíc	9 %	6 %
Koefficient determinácie	Všetky medziokresné dochádzkové toky v SR	0,96	0,98
	Iba dochádzkové toky smerujúce do Bratislavy/Košíc	0,97	0,98

Zdroj: ŠÚ SR 2022, Vaňo et al., 2024, vlastné výpočty:

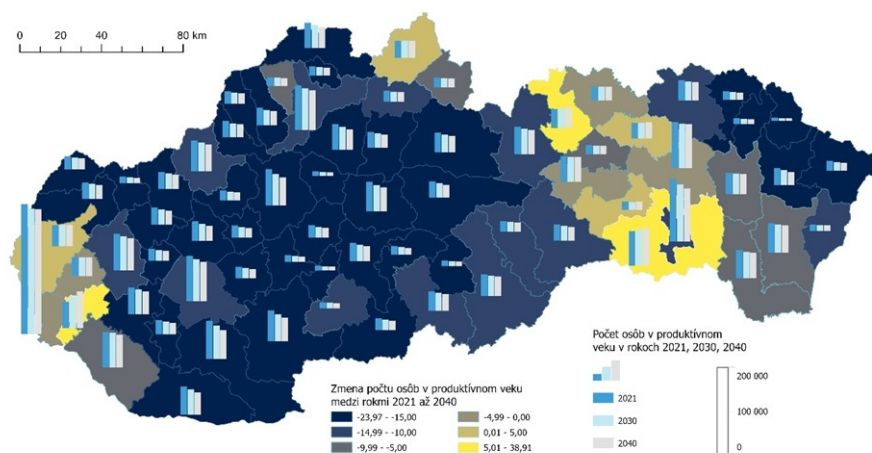
Poznámka:

- 1) Index nepodobnosti sa interpretuje ako percento interakcii (veľkosti tokov), ktoré treba presmerovať, aby sa dosiahla úplná zhoda modelových tokov s reálnymi tokmi.
- 2) Koefficient determinácie možno interpretovať ako podobnosť vo variabilite reálnych a modelových dochádzkových tokov. Výsledkový interval <0 ; $1>$. 0 je maximálna rozdielnosť a 1 je úplná podobnosť.

Dolnú hranicu produktívneho veku sme zvýšili na hodnotu 20 rokov, pretože do tohto veku sa populácia dominantne vzdeláva. Konkrétne vo veku 20 rokov pracuje menej ako tretina osôb. V 19-rokoch pracuje len približne 15 % populácie. Do 18 rokov je počet pracujúcich úplne zanedbateľný (3,2 %). Toto dokazujú dáta o ekonomickej aktivite vzhľadom na vek z SODB 2021 (SODB, 2021).

Hodnoty počtu obyvateľov vo vekových kategóriách a 20 až 64 v okresoch Slovenska pre budúce roky 2030 a 2040 pochádzajú z publikácie „*Populačná prognóza krajov a okresov Slovenska (2023-2050)*“ (Vaňo et al., 2024).

Z vyššie uvedeného vzorca vyplýva, že kľúčovým prvkom pre odhad počtu odchádzajúcich do zamestnania je počet osôb v produktívnom veku. Preto na obrázku 1 zobrazujeme počet osôb vo veku 20-64 v rokoch 2021, 2030, 2040 a zároveň relatívnu zmenu početnosti v tomto veku medzi prahom a horizontom našej projekcie, čiže rokmi 2021 a 2040. Z obrázku 1 jasne vyplýva, že intenzívne starnutie sa prejaví poklesom relatívneho ako aj absolútneho počtu osôb vo väčšine okresov Slovenska. Stabilizované alebo mierne rastové hodnoty si zachovávajú len zázemné okresy Bratislavy a Košíc (predovšetkým kvôli imigrácii) ako aj niektoré okresy severného a východného Slovenska (predovšetkým z dôvodu vyšších hodnôt pôrodnosti v posledných 30 rokoch) (Vaňo et al., 2024). Tieto efekty sa následne prejavajú aj na obehoch modelovaných dochádzkových tokov do zamestnania.



Obrázok 1 Počet osôb v produktívnom veku v okresoch SR v roku 2021, 2030 a 2040 a ich relatívna zmena medzi rokmi 2021 až 2040. Zdroj: ŠÚ SR 2022, Vaňo et al., 2024, vlastné výpočty

Postup odhadu výsledného objemu dochádzkových tokov pre roky 2030 a 2040

Výsledný odhad objemu dochádzkových tokov pre roky 2030 a 2040 sme realizovali na základe dosadenia odhadovaného počtu pracujúcich do nakalibrovaných interakčných modelov. Následne sme získali odhady príslušných dochádzkových tokov a výsledky vizualizovali pomocou máp a tabuliek.

Mapy boli vytvorené v software ArcGis Pro. Všetky výpočty ako aj tvorba výsledných tabuliek prebehla v tabuľkovom kalkulatore Microsoft EXCEL 365.

3 POROVNANIE REÁLNYCH A MODELOVÝCH VÝSLEDKOV PRE ROK 2021

Aby sme porovnali reálne a modelované hodnoty, tak sme vytvorili tabuľky 2 a 3, kde zobrazujeme absolútne, ako aj relatívne rozdiely v najobjemnejších dochádzkových prúdoch. Pre Bratislavu sú to toky väčšie ako 1000 osôb (modelové alebo reálne). V prípade Košíc sme zvolili nižšiu hranicu a to 500 dochádzajúcich do zamestnania (tiež modelových alebo reálnych). Zároveň sme vypracovali aj sériu máp na obrázku 2, kde sú metódou čiarového diagramu zobrazené spomínané najpočetnejšie dochádzkové toky. Ďalej pomocou kartogramu zobrazujeme podiel odchádzajúcich do zamestnania do Bratislavy resp. do Košíc zo všetkých pracujúcich v okrese. Práve kartogramové zobrazenie nám umožní porovnať celkový priestorový rozsah procesu dochádzky do týchto dvoch najväčších slovenských miest a porovnať model s reálnou dochádzkou do zamestnania.

Tabuľka 2 Reálny a modelový počet odchádzajúcich do zamestnania do Bratislavy (len toky nad 1000)

Názov okresu	Počet dochádzajúcich do zamestnania		Rozdiel	
	SODB 2021	Model 2021	abs.	v %
Bratislava *	172 584	170 485	-2 099	-1%
Malacky	13 515	13 265	-250	-2%
Pezinok	12 929	17 202	4 273	33%
Senec	26 536	23 333	-3 203	-12%
Dunajská Streda	11 748	11 155	-593	-5%
Galanta	5 747	6 365	618	11%
Hlohovec	1 283	1 685	402	31%
Piešťany	1 241	1 831	590	48%
Senica	2 732	3 245	513	19%
Skalica	906	2 084	1 178	130%
Trnava	6 670	6 926	256	4%
Myjava	347	1 016	669	193%
Nové Mesto nad Váhom	756	1 392	636	84%
Prievidza	985	1 038	53	5%
Trenčín	1 290	1 440	150	12%
Komárno	1 123	2 534	1 411	126%
Levice	1 121	1 360	239	21%
Nitra	2 968	2 864	-104	-4%
Nové Zámky	3 456	2 812	-644	-19%
Šaľa	2 296	2 174	-122	-5%
Topoľčany	906	1 370	464	51%
Žilina	1 124	602	-522	-46%

Zdroj: ŠÚ SR 2022, Vaňo et al., 2024, vlastné výpočty

Poznámky: *Bývajúci a pracujúci v Bratislave,

Šedou farbou je označená situácia, keď je objem toku pod 1000 dochádzajúcich

Na základe porovnania počtu reálnych a modelových dochádzajúcich do Bratislavy, môžeme poukázať na viacero zaujímavých zistení (viď tabuľka 2). Model poskytuje pomerne presné výsledky pre okresy vyššieho hierarchického rádu, ktoré predstavujú jadrá širších regiónov (najmä Bratislava, Trnava, Nitra). Naopak, vo vzdialenejších a menších okresoch je model často nepresný, buď podhodnocuje intenzitu dochádzky (napr. Žilina), alebo ju výrazne nadhodnocuje (napr. Komárno, Skalica). Predovšetkým pre okresy Skalica a Komárno platí, že značný počet pracu-

júcich z týchto okresov vykonáva zamestnanie mimo SR, čo však náš model nezo-
hľadňuje. Zaujímavým prípadom podhodnocovania je okres Žilina. Model zachytil
len 54 % reálne dochádzajúcich. Tu sa naplno prejavuje vlastnosť modelu, ktorá
zvyšuje bližšie lokality voči vzdialenejším. Ani populačná veľkosť Žiliny
nedokázala kompenzovať tento nedostatok v modeli. Vlastnosť zvyšovania bliž-
ších lokalít sa naplno prejavila aj v okresoch Senica, Piešťany, Myjava, Nové Mesto
nad Váhom. Zaujímavé sú aj hodnoty za okres Pezinok a Senec. Model pozíciu Pe-
zinku nadhodnocuje a okres Senec naopak podhodnocuje. Dôvodom je to, že tieto
okresy sú pomerne blízko Bratislavy a veľmi citlivo reagujú na hodnotu vzdialenos-
ti, ktorou sú si oba okresy podobné a iba mála zmena tejto premennej vie výrazne
meniť objem dochádzky. Celkovo však možno označiť model za Bratislavu za nad-
hodnocujúci v bližších okresoch (cca do 120 km euklidovskej vzdialenosti) a pod-
hodnocujúci vo väčšej vzdialenosti. To nám potvrdzujú kartogramové mapy pre
Bratislavu z obrázku 2. Celkovo model len veľmi obmedzene zachytáva dochádzku
z väčších vzdialeností resp., nedennú dochádzku. V zmysle týchto vlastností modelu
pre Bratislavu treba vnímať aj výsledky našej prognózy pre roky 2030 a 2040.

Tabuľka 3 Reálny a modelový počet odchádzajúcich do zamestnania do Košíc (len toky nad 500)

Názov okresu	Počet dochádzajúcich do zamestnania		Rozdiel	
	SODB 2021	Model 2021	abs.	v %
Bardejov	364	703	339	93%
Humenné	287	821	534	186%
Prešov	3 572	3 542	-30	-1%
Sabinov	411	1 022	611	149%
Vranov nad Topľou	618	1 273	655	106%
Gelnica	1 098	1 863	765	70%
Košice *	61 179	59 677	-1 502	-2%
Košice – okolie	20 770	22 695	1 925	9%
Michalovce	776	1 252	476	61%
Rožňava	457	913	456	100%
Spišská Nová Ves	553	765	212	38%
Trebišov	3 286	2 533	-753	-23%

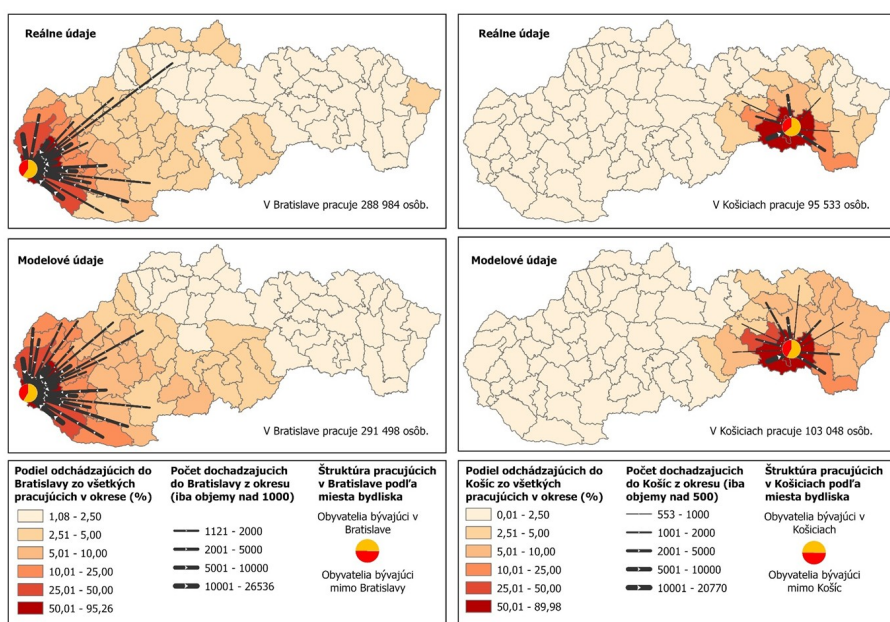
Zdroj: ŠÚ SR 2022, Vaňo et al., 2024, vlastné výpočty

Poznámky: *Bývajúci a pracujúci v Košiciach,

Šedou farbou je označená situácia, keď je objem toku pod 500 dochádzajúcich

Ešte si popíšme situáciu v Košiciach. Na základe tabuľky 3 môžeme povedať,
že interakčný model pomerne presne, určuje počty odchádzajúcich a pracujúcich
v samotnom meste Košice ako aj v okresoch, s ktorými sú najsilnejšie dochádzkové

toky a to s okresom Košice-okolie a Prešov. Výraznejšie podhodnotené modelové hodnoty sú len za okres Trebišov. Ostatné okresy sú v modeli pomerne výrazne nadhodnotené. Jedná sa predovšetkým o okresy Humenné, Sabinov, Vranov nad Topľou, Rožňava a Bardejov. Tu sa predovšetkým prejavuje pomerne veľký nesúlad medzi euklidovskou vzdialenosťou použitou v modeli a reálnou vzdialenosťou v sieti železničných alebo cestných komunikácií. Základnou vlastnosťou modelu pre mesto Košice vyplývajúcou z mapového zobrazenia (obrázok 2) je, že predpokladá vyššie objemy dochádzky zo vzdialenejších lokalít. Model zatláča do úzadia predovšetkým dochádzku do krajského mesta Prešov, ku ktorému v realite viac spádujú okresy Sabinov, Bardejov a čiastočne aj Vranov na Topľou. Aj v prípade Košíc treba brať výsledky projekcie v kontexte vyššie popísaných vlastností naparametrizovaného interakčného modelu.



Obrázok 2 Reálny a modelový počet odchádzajúcich do zamestnania do Bratislavy a Košíc. Zdroj: ŠÚ SR 2022, Vaňo et al., 2024, vlastné výpočty

4 ODHADOVANÝ POČET DOCHÁDZAJÚCICH DO ZAMESTNANIA V ROKOCH 2030 A 2040

V nasledujúcej kapitole popíšeme výsledky nášho projekčného odhadu pre roky 2030 a 2040. Zároveň výsledky projekcie porovnáme z modelovými hodnotami pre rok 2021, aby sme vystihli zmeny spojené s populačným starnutím resp., s procesmi migrácie, či pôrodnosti. Za týmto účelom sme vytvorili tabuľky 4 a 5 a mapové zobrazenia na obrázku 3.

Tabuľka 4 Modelový počet odchádzajúcich do zamestnania do Bratislavy v rokoch 2021, 2030, 2040 (len toky nad 1000)

Názov okresu	Modelový počet dochádzajúcich do zamestnania			Rozdiel voči 2021			
				abs.	v %	abs.	v %
	2021	2030	2040	2030	2030	2040	2040
Bratislava *	170 485	169 241	168 571	-1 244	-1%	-1 914	-1%
Malacky	13 265	13 696	13 501	431	3%	236	2%
Pezinok	17 202	17 691	17 424	489	3%	222	1%
Senec	23 333	29 260	32 721	5 927	25%	9 388	40%
Dunajská Streda	11 155	10 966	10 377	-189	-2%	-778	-7%
Galanta	6 365	5 969	5 442	-396	-6%	-923	-14%
Hlohovec	1 685	1 535	1 390	-150	-9%	-294	-17%
Piešťany	1 831	1 673	1 520	-158	-9%	-311	-17%
Senica	3 245	3 039	2 766	-207	-6%	-479	-15%
Skalica	2 084	1 962	1 786	-122	-6%	-298	-14%
Trnava	6 926	6 591	6 207	-334	-5%	-719	-10%
Myjava	1 016	895	787	-121	-12%	-229	-23%
Nové Mesto nad Váhom	1 392	1 303	1 193	-89	-6%	-199	-14%
Prievidza	1 038	910	807	-128	-12%	-231	-22%
Trenčín	1 440	1 356	1 264	-84	-6%	-176	-12%
Komárno	2 534	2 295	2 023	-238	-9%	-511	-20%
Levice	1 360	1 214	1 062	-146	-11%	-298	-22%
Nitra	2 864	2 700	2 518	-164	-6%	-345	-12%
Nové Zámky	2 812	2 486	2 160	-326	-12%	-652	-23%
Šaľa	2 174	1 950	1 720	-224	-10%	-454	-21%
Topoľčany	1 370	1 223	1 079	-146	-11%	-290	-21%
Žilina	602	573	544	-29	-5%	-57	-10%

Zdroj: ŠÚ SR 2022, Vaňo et al., 2024, vlastné výpočty

Poznámky: *Bývajúci a pracujúci v Bratislave

Šedou farbou je označená situácia, keď je objem toku pod 1 000 dochádzajúcich

Celkovo môžeme povedať, že z priestoru najintenzívnejšej dochádzky (priestor okresov s odchádzkovým tokom nad 1000 osôb) možno očakávať pokles počtu dochádzajúcich do Bratislavy (tabuľka 4). Čiastočne bude tento jav viditeľný už v roku 2030, ale naplno sa prejavy až v ďalšom desaťročí do roku 2040. Pokles počtu odchádzajúcich do Bratislavy voči roku 2021 zaznamená väčšina okresov. Najvyšším relatívnym poklesom sa budú vyznačovať okresy ako Nové Zámky, Myjava, Levice,

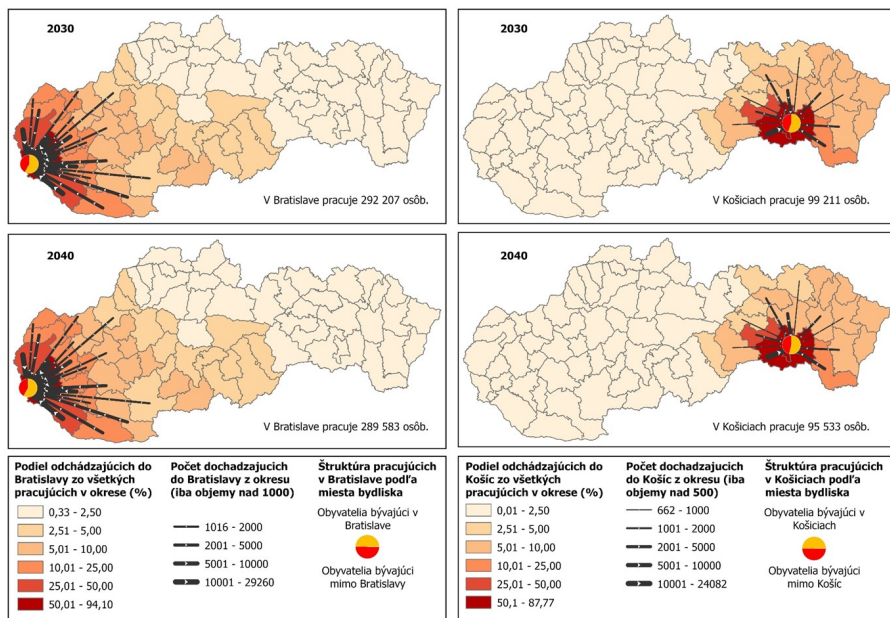
Šaľa, Topoľčany a Komárno. Jedná sa o okresy, kde bude prebiehať intenzívne proces starnutia. Ten sa okrem iného bude prejavovať výrazným poklesom počtu osôb v produktívnom veku (Vaňo et al., 2024). Veľmi silne sa starnutie bude prejavovať v okresoch Myjava a Prievidza. Produktívna zložka v týchto okresoch sa zníži natoľko že počet odchádzajúcich do zamestnania v Bratislave poklesne pod psychologickú hranicu 1000 osôb (porovnanie obrázkov 2 a 3). Avšak mimo celkový trend sa bude vyvíjať situácia v najbližšom zázemí Bratislavy a to v okresoch Malacky, Pezinok a Senec. V okresoch Malacky a Pezinok sa mierne zvýši počet odchádzajúcich do zamestnania v Bratislave. K tomuto nárastu dôjde predovšetkým do roku 2030. Až extrémnym rastom sa bude vyznačovať okres Senec. Do roku 2030 sa počet odchádzajúcich pracujúcich do Bratislavy zvýši o 25 % a do roku 2040 to bude nárast až o 40 % v porovnaní s rokom 2021. Tu svoju pozitívnu rolu zohrá predovšetkým migrácia, ktorá má podľa populačnej prognózy smerovať do okresu Senec a v menšej miere tiež do okresov Malacky a Pezinok (Vaňo et al., 2024). Práve nárast počtu odchádzajúcich z okresov v bezprostrednom susedstve hlavného mesta v spojitosti s relatívne stabilizovaným počtom pracujúcich a bývajúcich v samotnej Bratislave spôsobí mierny nárast dochádzajúcich do zamestnania do roku 2030 (o 708 osôb t. j. +0,2 %). Do roku 2040 v porovnaní s rokom 2021 poklesne počet odchádzajúcich o 1 914, čo predstavuje úbytok o -0,6 %.

Tabuľka 5 Modelový počet odchádzajúcich do zamestnania do Košíc v rokoch 2021, 2030, 2040 (len toky nad 500)

Názov okresu	Modelový počet dochádzajúcich do zamestnania			Rozdiel voči 2021			
				abs.	v %	abs.	v %
	2021	2030	2040	2030	2030	2040	2040
Bardejov	703	662	630	-41	-6%	-72	-10%
Humenné	821	731	652	-89	-11%	-169	-21%
Prešov	3 542	3 453	3 430	-88	-2%	-112	-3%
Sabinov	1 022	1 046	1 091	24	2%	70	7%
Vranov nad Topľou	1 273	1 236	1 212	-37	-3%	-61	-5%
Gelnica	1 863	1 851	1 897	-12	-1%	34	2%
Košice *	59 677	55 355	51 325	-4 322	-7%	-8 352	-14%
Košice – okolie	22 695	24 082	25 012	1 387	6%	2 317	10%
Michalovce	1 252	1 204	1 147	-48	-4%	-105	-8%
Rožňava	913	845	797	-69	-8%	-117	-13%
Spišská Nová Ves	765	758	749	-6	-1%	-16	-2%
Trebišov	2 533	2 395	2 290	-139	-5%	-243	-10%

Zdroj: ŠÚ SR 2022, Vaňo et al., 2024, vlastné výpočty

Poznámky: *Bývajúci a pracujúci v Košiciach



Obrázok 3 Modelový počet odchádzajúcich do zamestnania do Bratislavy a Košíc v roku 2030 a 2040. Zdroj: ŠÚ SR 2022, Vaňo et al., 2024, vlastné výpočty

Aj keď starnutie a migrácia sa bude prejavovať aj v dochádzkovom priestore Košíc, situácia tohto mesta (viď. tabuľka 5) je mierne odlišná voči Bratislave. Už do roku 2030 tú dôjde k poklesu počtu dochádzajúcich o 3 678 osôb (-3,7 %). Medzi rokmi 2021 až 2040 tento negatívny rozdiel dosiahne hodnotu 7 568 osôb (-7,3 %). Najvýraznejší pokles objemu dochádzajúcich do Košíc zaznamená okres Humenné (-21 %). Tento okres bude v priestore východného Slovenska patriť medzi najrýchlejšie starnúce okresy (aj z dôvodu negatívneho migračného salda), čo výrazne zredukuje počet obyvateľov v produktívnom veku (Vaňo et al., 2024), ktorí sú najčastejšími účastníkmi dochádzky do zamestnania. Starnutie, posilňované emigráciou do zázemia, sa prejaví aj na objeme dochádzajúcich do práce v samotných Košiciach, keďže tu dôjde k poklesu pracujúcich a bývajúcich v samotnom meste až o 14 %. Tento fakt predstavuje jeden z dvoch základných rozdielov v porovnaní s Bratislavou, ktorá zaznamená približne nezmenené počty bývajúcich a zároveň pracujúcich v samotnom meste. U väčšiny najvýznamnejších dochádzkových tokov do Košíc (viac ako 500 osôb) dôjde do roku 2040 k poklesu o 10 a menej percent. Tento pokles bude časovo približne rovnomerne rozložený na obdobie do roku 2030 ako aj na nasledujúce desaťročie. Vo väčšine týchto okresov bude starnutie zmierňované vyššími hodnotami pôrodnosti z minulosti, ktoré budú dopĺňať produktívnu zložku. Jedná sa predovšetkým o okresy Spišská Nová Ves, Prešov, Trebišov, Vranou nad Topľou (Vaňo et al., 2024). Kombinácia imigrácie a dlhodobo vyššej plodnosti sa

prejaví nárastom dochádzky do roku 2040 v okresoch ako Sabinov, Gelnica, Košice – okolie. Z posledne spomenutého okresu sa očakáva najväčší prírastok počet dochádzajúcich do Košíc. Medzi rokmi 2021 a 2030 sa jedná o nárast o 6 % a porovnanie rokov 2021 až 2040 predstavuje nárast až o 10 % objemu dochádzky. Druhý zásadný rozdiel medzi Bratislavou a Košicami vyplýva z porovnania máp v pre prognózované roky 2030 a 2040 (obr. 3). Dochádzkovej oblasti Košíc chýba typologicky taký okres akým je Senec pre Bratislavu. Čiže okres, kde smeruje veľmi silná migrácia, jednak so samotného centra funkčného regiónu, jednak z iných okresov SR, ktorá môže výrazne posilniť počet potenciálne odchádzajúcich do zamestnania v produktívnom veku.

5 ZÁVER

Hlavným cieľom štúdie bolo odhadnúť objem budúcich dochádzkových tokov do Bratislavy a Košíc pre roky 2030 a 2040. Naše zistenia možno zhrnúť do štyroch odsekov. V prvých dvoch odsekoch rozdiskutujeme presnosť nakalibrovaných interakčných modelov pre obe analyzované mestá. Práve táto časť predstavuje kritické zhodnotenie nami použitej metódy pre predpovedanie budúcich dochádzkových tokov. V treťom odseku zosumarizujeme výsledky prognostického odhadu pre roky 2030 a 2040. V poslednom odseku ponúkame ďalšie výskumné zámery, takto ladeného výskumu a možné aplikácie do praxe.

Na základe porovnania reálnych a modelových údajov z roku 2021 možno vyzdvihnúť niekoľko zásadných poznatkov, ktoré vypovedajú o výkonnosti a limitoch použitých interakčných modelov dochádzky do zamestnania, ako aj o odlišnostiach v dochádzkovom priestore Bratislavy a Košíc. V prípade Bratislavy model pomerne presne reprodukuje situáciu v bezprostredne priľahlých okresoch a v regiónoch vyššieho hierarchického rádu. Platí to najmä pre samotnú Bratislavu, Malacky, Trnavu či Nitru. Presnosť modelu však klesá s narastajúcou vzdialenosťou. Vzdialenejšie okresy sú často buď nadhodnotené (napr. Komárno, Skalica), alebo podhodnotené (napr. Žilina). V niektorých prípadoch je odchýlka dôsledkom špecifických okolností, ako je napríklad vynechanie cezhraničnej dochádzky do Česka či Maďarska, ktorú model nezachytáva. Významné odchýlky vidno aj v prípade okresov Senec a Pezinok, ktoré sú síce podobne vzdialené od Bratislavy, ale citlivo reagujú na malé zmeny vo vstupných parametroch – rozdiely medzi modelom a realitou sú tu výrazné aj napriek geografickej blízkosti.

V Košiciach vykazuje model najlepšie výsledky pre samotné mesto a priľahlý okres Košice-okolie. V ostatných prípadoch je vidieť silnejšie nadhodnotené objemy dochádzky zo vzdialenejších lokalít (napr. Sabinov, Bardejov, Vranov nad Topľou). Model tu precenil dochádzkový potenciál okresov, ktoré sú v realite viac naviazané na Prešov ako na Košice. Tento nesúlad je spôsobený najmä tým, že model pracuje s euklidovskou vzdialenosťou, ktorá nereflektuje reálnu dopravnú dostupnosť a infraštruktúrne prekážky. Aj napriek týmto obmedzeniam možno oba modely pre

Bratislavu a Košice považovať za relatívne použiteľný nástroj pre zachytenie základných trendov dochádzky, najmä na kratšie vzdialenosti.

Z hľadiska budúceho vývoja do roku 2030 a 2040 sa ukazuje, že populačné starnutie a zmeny v migračných tokoch ovplyvnia intenzitu dochádzky rozdielne v Bratislave a v Košiciach. V Bratislave očakávame mierny nárast dochádzky do roku 2030, najmä vďaka migračnému prírastku v zázemí (najmä okres Senec), zatiaľ čo vzdialenejšie okresy zaznamenajú pokles. Do roku 2040 však bude dochádzať k celkovému útlmu dochádzky v dôsledku demografického starnutia. V Košiciach dôjde k poklesu dochádzky skôr a výraznejšie – už do roku 2030 očakávame zníženie objemu dochádzky o takmer 4 %, do roku 2040 až o viac než 7 % v porovnaní s rokom 2021. Aj tu bude kľúčovým faktorom najmä starnutie obyvateľstva a pokles počtu pracujúcich v produktívnom veku.

Tieto zistenia podčiarkujú význam uvažovania o demografických, migračných a dopravných parametroch pri budovaní modelov mobility a ich interpretácii. V kontexte prognóz na roky 2030 a 2040 je potrebné chápať výstupy modelu nielen ako výsledok matematických vzťahov, ale ako nástroj (územného) plánovania, ktoré si vyžaduje dôkladné poznanie priestorového kontextu a špecifik jednotlivých regiónov. Naša štúdia je len kýmisi vstupom do tejto nesporne zložitej problematiky, ktorá ponuka hneď viacero možností na ďalší výskum. Jedným z budúcich výskumných smerov by mohlo byť presnejšie kalibrovanie modelov prostredníctvom hľadania výstižnejších funkcií vzdialenosti a presnejšieho vyjadrenia atraktivity resp. propulzivitu. Preto sa ponúka rozšírenie interakčných modelov o behaviorálne a preferenčné faktory, ktoré ovplyvňujú dochádzkové rozhodovanie. Zároveň je potrebné zlepšiť dostupnosť a presnosť dát, napríklad využitím údajov z mobilných sietí. Takto obohatené interakčné modely by následne mohli byť využité ako praktický nástroj pre strategické plánovanie dopravy, bývania a rozvoja mestských zázemí, obzvlášť s ohľadom na meniacu sa demografickú štruktúru a regionálne rozdiely.

PodĎakovanie

Príspevok vznikol v rámci projektu APVV-23-0062 s názvom „Depopulácia a destabilizácia? Prognózy a simulácie demografického vývoja SR do konca 21. storočia a modelovanie jeho vybraných dopadov „a projektu VEGA 1/0252/23 s názvom „Odolnosť priestorových systémov – jej faktory, diferenciácia a dôsledky“.

Literatúra

- BLEHA, B., ŠPROCHA, B., BUČEK, J., KÁČEROVÁ, M., ĎURČEK, P., HORŇÁK, M., ONDOŠ, S. 2023. *Bratislava 2050: Demografický potenciál, sociálna a ekonomická geografia, scenáre rozvoja hlavného mesta SR Bratislavy do roku 2050*. Bratislava, Mestský metropolitný inštitút.
- BLEHA, B., ŠPROCHA, B., VAŇO, B. 2013a. *Prognóza vývoja obyvateľstva v okresoch SR do roku 2035*. Bratislava, INFOSTAT – Výskumné demografické centrum.
- BLEHA, B., ŠPROCHA, B., VAŇO, B. 2013b. *Prognóza populačného vývoja Slovenskej republiky do roku 2060*. Bratislava, INFOSTAT – Výskumné demografické centrum.

- BLEHA, B., ŠPROCHA, B., VAŇO, B. 2018. *Prognóza obyvateľov Slovenska do roku 2060*. Bratislava, INFOSTAT – Výskumné demografické centrum.
- CENTRUM DOPRAVNÍHO VÝZKUMU. 2015. *Územný generel dopravy hl. mesta SR Bratislavy*. Bratislava, Hlavné mesto SR Bratislava.
- ĎURČEK, P. 2020. Demografická projekcia malých územných celkov: aplikácia na obce bratislavského funkčného mestského regiónu. *Geografický časopis*, 72, 3, 275-291.
- FOTHERINGHAM, A., O'KELLY, M. 1989. *Spatial interaction models: formulations and applications*. Dordrecht, Kluwer academic publishers.
- GKÚ. 2022. *Geoportál - Územné a správne usporiadanie*. [Online] [cit.: 2022-12-09]. Dostupné na: <<https://www.geoportal.sk/sk/zbis/na-stiahnutie/>>
- HLUŠKO, R., STANEK, R., ĎURČEK, P., KUSEDOVÁ, D. 2024. Urban public transport system accessibility for different groups of residents: Case of Bratislava city. *Case Studies on Transport Policy*, 16, 101200.
- HUFF, D. 1963. A Probabilistic Analysis of Shopping Center Trade Areas. *Land Economics*, 39, 1, 81-90.
- IMAM, R. 2014. Measuring public transport satisfaction from user surveys. *International Journal of Business and Management*, 9, 6, 106-114.
- JAROŠ, V. 2023. May. Geolocation data as a research tool for the organization of the settlement system and mobility mapping – case study of the spatial mobility model in Czechia. In: *International Symposium on AI, Data and Digitalization*, Springer Nature, 1-15.
- OSM. 2022. OpenStreetMap Data Extracts. [Online] [cit.: 2022-12-09]. Dostupné na: <<https://download.geofabrik.de/>>
- PAULOV, J. 1993. *Entropia v urbánnej a regionálnej analýze: konceptuálny rámec a základy aplikácie*. Bratislava, Geografický ústav SAV.
- PAULOV, J., BEZÁK, A. 2017. Constraints as factors reducing the entropy of distributions: an entropy-maximizing spatial interaction model as an example. *Przegląd Geograficzny*, 89, 4, 517-533.
- RICH, D. C. 1980. *Potential models in human geography (Concepts and techniques in modern geography)*. Norwich, Geo Abstracts.
- STANEK, R., KUSEDOVÁ, D., HORŇÁK, M. 2021. Metodika tvorby modelu dostupnosti územia Slovenska na báze dennej intenzity automobilovej dopravy s využitím geoinformačných nástrojov. *Geografický časopis*, 73, 1, 63-81.
- STEWART, J. 1948. Demographic Gravitation: Evidence and Applications. *Sociometry*, 11, 1, 31-58.
- ŠPROCHA, B., BLEHA, B., VAŇO, B. 2024. *Kmeňová populačná prognóza Slovenska (2022-2080)*. Bratislava, INFOSTAT – Výskumné demografické centrum.
- ŠPROCHA, B., VAŇO B., BLEHA, B. 2019. *Kraje a okresy v demografickej perspektíve. Populačná prognóza do roku 2040*. Bratislava, SAV Prognostický ústav.
- ŠÚ SR, 2022. *Sčítanie obyvateľov, domov a bytov 2021*. [Online] [cit.: 2024-12-09]. Dostupné na: <<https://www.scitanie.sk/>>
- ULLMAN, E. 1954. Geography as spatial interaction. Interregional Linkages. *Proceedings of the Western Committee on Regional Economic Analysis*, 41, 1, 63-71.
- UNITED NATIONS. 2024. *World Population Prospects 2024*. [Online] [cit.: 2024-12-09]. Dostupné na: <<https://population.un.org/wpp/>>
- VAŇO, B., PILINSKÁ, V., ŠPROCHA, B., BLEHA, B. 2024. *Kraje a okresy v demografickej perspektíve. Populačná prognóza krajov a okresov Slovenska (2023-2050)*. Bratislava, SAV Prognostický ústav.
- WARNTZ, W. 1960. A new map of the surface of population potentials for the United States. *Geographical Review*, 54, 2, 170-184.
- WARNTZ, W. 1989. Newton, the newtonians, and the geographia generalis varenii. *Annals of the Association of American Geographers*, 79, 2, 165-191.

WILSON, A. 1971. A family of spatial interaction models, and associated developments. *Environment and Planning A*, 3, 1, 1-32.

The use of interaction modeling in the forecasting of work attendance in 2030 and 2040 - the example of Bratislava and Košice

Summary

Our study focuses on forecasting commuting flows to the two largest Slovak cities – Bratislava and Košice – for the years 2030 and 2040. The methodological foundation lies in interaction models, which have evolved significantly since their inception in the 1960s. Originally inspired by Newtonian gravity models, these models were first applied in geography and regional science to estimate flows of people, goods, or information between spatial units based on the principle that interaction intensity is positively related to the “mass” (e.g., population or economic size) of locations and negatively related to the “distance” between them. Over time, interaction models have been refined to include various constraints (e.g., origin- or destination-specific), more sophisticated distance decay functions, and improved calibrations using real-world data. In this study, we apply a origin-constrained interaction model, calibrated with data from the 2021 Population and Housing Census, and integrate it with the most recent demographic forecast for Slovak districts (Vaňo et al., 2024). The model's aim is to estimate future commuting flows while accounting for anticipated demographic ageing and migration trends, which are expected to significantly reshape mobility patterns across Slovakia in the coming decades.

Model construction paid close attention not only to technical calibration but also to validation using real data from 2021. The results show that the interaction model reliably captures commuting patterns, especially for shorter distances and in areas with well-defined functional ties to urban cores. In the case of Bratislava, the model performs with high accuracy for adjacent districts (Malacky, Senec, Trnava), while accuracy diminishes with distance – resulting in overestimations (e.g., Komárno) and underestimations (e.g., Žilina). A similar pattern appears in Košice, where the model is accurate within the city and its immediate surroundings but significantly overestimates commuting from more distant districts such as Sabinov or Bardejov. These deviations stem mainly from the model’s inability to reflect real transport accessibility and the competitive role of Prešov as a regional center.

The our calculation for 2030 indicate a modest increase in commuting to Bratislava, primarily due to population growth in its hinterland – especially driven by migration to the Senec district. However, by 2040, this trend is expected to reverse, as population ageing leads to a decline in commuting intensity. In Košice, the shift occurs sooner and more markedly: already by 2030, a 4% decline in commuting is projected, deepening to a 7% drop by 2040 compared to 2021 levels. This development is mainly due to a shrinking working-age population and the weaker migratory attractiveness of eastern Slovakia.

Based on our findings, we would like to the importance of incorporating demographic, migratory, and transport-related factors when modeling mobility. Also is important the value of combining traditional statistical sources (census data, transport surveys) with modern datasets, such as mobile network data or public transport surveys. Despite certain limitations of our procedure – such as the use of Euclidean distance – both interaction models have proven to be a promising tool for forecasting commuting flows.

Our study is just the beginning and opens several research avenues, including the search for more accurate distance decay functions, better quantification of destination attractiveness, and the integration of individual behavioral preferences. The use of Big Data, such as anonymized data from mobile network operators, appears especially promising for tracking actual population movements more precisely. In the long run, such enhanced models may serve as a valuable input for strategic planning in transport, infrastructure, and housing, particularly in the context of Slovakia's changing demographic structure and growing regional disparities.