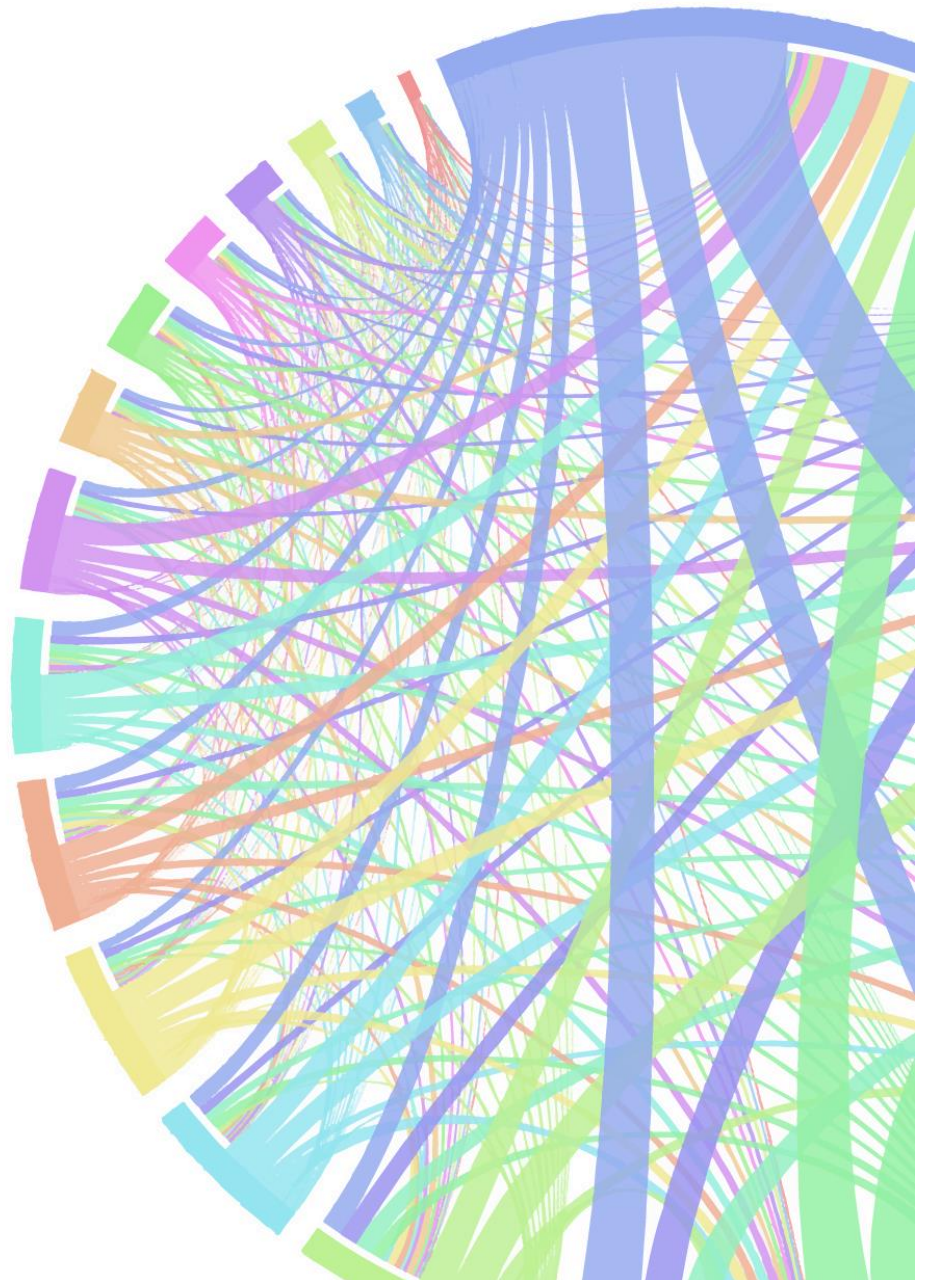


# **Denná priestorová mobilita v Bratislave s využitím lokalizačných údajov mobilnej siete**



# **Denná priestorová mobilita v Bratislave s využitím lokalizačných údajov mobilnej siete**

Manuál k databáze pre projekt *“Zber a spracovanie dát o demografickom správaní sa obyvateľstva v hlavnom meste SR v Bratislave”*, fáza II.

Spracovatelia: Peter Barlík<sup>1</sup>, Martin Bago<sup>1</sup>, Martin Šveda<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Market Locator SK s.r.o., 29. augusta 36/A, 811 09 Bratislava

<sup>2</sup>Katedra regionálnej geografie, ochrany a plánovania krajiny, Prírodovedecká fakulta Univerzity Komenského v Bratislave, Ilkovičova 6, 841 04 Bratislava

# Úvod

Poznanie toho, kde ľudia žijú a pracujú, ako aj ich každodenného pohybu v priestore sú kľúčovými vstupmi pre formulovanie rozmanitých potrieb v rámci územného plánovania, verejnej správy či manažmentu dopravy. Kým v minulosti sme sa mohli v analýzach opierať o údaje zo sčítania obyvateľstva, dnes sa tieto tradičné údajové zdroje javia ako nedostatočné pre zachytenie dennej priestorovej dynamiky obyvateľstva. V súčasnosti sa pracovné či privátne aktivity obyvateľov sa neviažu na jedno miesto tak pevne, ako tomu bývalo v minulosti a miesto trvalého pobytu, miesto bývania a miesto práce sa čoraz častejšie od seba odlišujú. Dôvodom je predovšetkým rastúca fluktuácia a mobilita obyvateľstva. K narastajúcej dynamike dennej mobility neprispieva len osobná automobilová doprava, ale aj fenomény súčasnej doby, ako sú flexibilná pracovná doba, práca z domu, či práca na čiastkové úväzky a pod. Nejde pritom však len o pracovné aktivity. Oproti minulosti sa mení aj spôsob, akým nakupujeme, vzdelávame sa, či trávime voľný čas. Osobitne sa táto dynamika prejavuje v urbánnom prostredí, kde sa prirodzene koncentrujú obyvatelia s pestrými a dynamicky sa meniacimi vzormi časovo-priestorového správania. Pohyby obyvateľstva sa stávajú pestrejšími, nadobúdajú nerutinný a nepravidelný charakter. V tomto kontexte sa potreba aktuálnych, presných a spoľahlivých údajov o priestorovej mobilite javí ako nanajvýš potrebná.

Využitie informačno-komunikačných technológií – najmä mobilnej komunikácie vytvára nové príležitosti pre sledovanie priestorovej mobility. Vďaka vysokej penetrácii mobilných telefónov v populácii a schopnosti sledovať ich pohyb na úrovni antén mobilnej siete môžeme prekonať viaceré limity, ktoré sa spájajú s tradičnými prístupmi, najmä čo sa týka frekvencie zisťovania populačných dát, rýchlosti ich spracovania a v neposlednom rade i ochoty obyvateľov poskytovať presné údaje. Bezprecedentný rozsah pokrytia populácie prostredníctvom mobilnej siete vytvára unikátny predpoklad pre komplexný prístup sledovania miest, čo je principiálne nemožné (a rovnako aj finančné náročné) s využitím tradičných foriem získavania dát.

Projekt Zber a spracovanie dát o demografickom správaní sa obyvateľstva v hlavnom meste SR v Bratislave má za cieľ poskytnúť správe mesta nové pohľady na denne prítomné obyvateľstvo optikou telekomunikačných dát. Lokalizačné údaje mobilných telefónov (SIM-kariet) predstavujú unikátny zdroj údajov, ktoré môžu obohatiť tradičné údajové zdroje o obyvateľstve (napr. Sčítanie obyvateľov, domov a bytov, Register obyvateľov), alebo o dopravných tokoch (napr. celoštátne sčítanie dopravy v SR). Vhodným spracovaním údajov z mobilnej siete môžeme získať pohľad na časovo-priestorové správanie užívateľov mesta, ktoré nám tradičné údajové zdroje nedokážu poskytnúť.

Vďaka spolupráci Magistrátu hlavného mesta SR Bratislavy, spoločnosti Market Locator SK, Prírodovedeckej fakulty UK a troch najväčších mobilných operátorov na Slovensku

(Slovak Telekom, Orange Slovensko a O2 Slovakia) vznikla unikátna databáza, ktorá zachytáva časovo-priestorový pohyb SIM-kariet v rozsahu, ktorý v Slovenskom prostredí nemá obdobu. Na rozdiel od podobných štúdií, ktoré vznikajú v zahraničí a spracúvajú väčšinou údaje iba jedného mobilného operátora, prípadne pracujú len s úzkou vzorkou užívateľov, predkladaná databáza zachytáva veľkú časť užívateľov mobilnej siete a poskytuje tak jedinečný analytický podklad pre štátnu a územnú správu.

## OBSAH

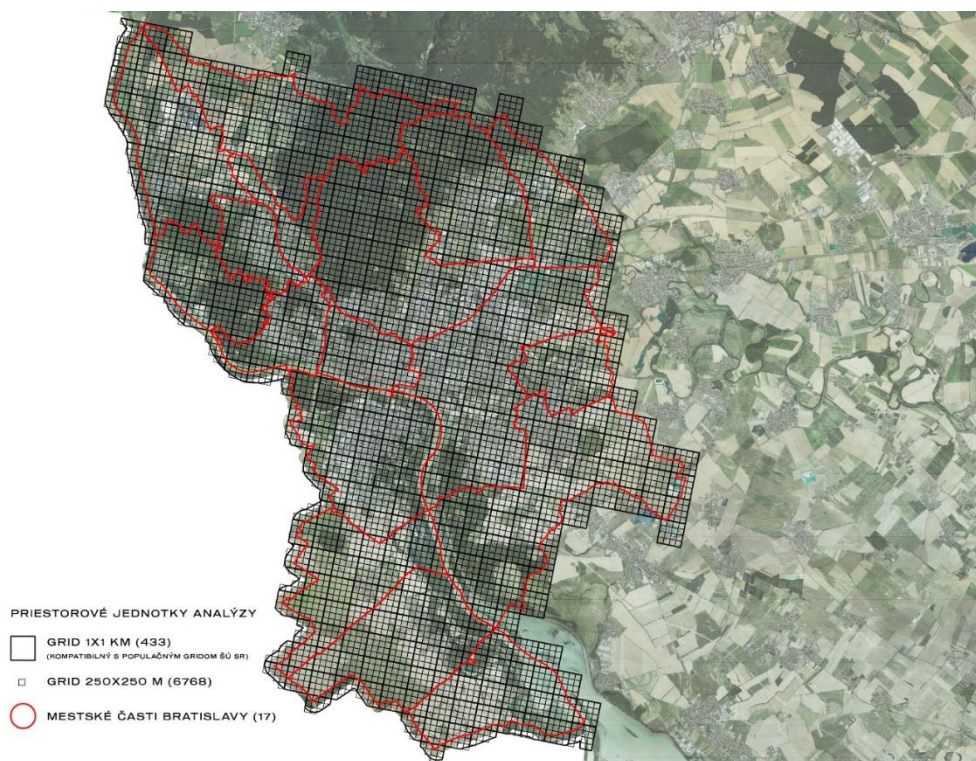
Úvod .....	2
Metodika .....	5
Časový a priestorový rámec analýzy.....	5
Základná charakteristika dátovej vzorky .....	6
Extrahovanie dennej a nočnej lokalizácie.....	8
Hodinové rezy lokalizačných údajov mobilnej siete.....	10
Konštrukcia dochádzkových tokov .....	12
Limity dátovej vzorky .....	13
Vybrané výstupy .....	14
Odporúčanie pre ďalšie spracovanie dát a ich interpretáciu .....	26
Zoznam výstupov .....	27
Tabuľkové výstupy .....	27
Grafické výstupy .....	27
Ostatné výstupy .....	28

# Metodika

## Časový a priestorový rámec analýzy

**Sledovaným obdobím** bolo 14 po sebe nasledujúcich dní od 26.11.2018 (0:00) do 9.12.2018 (23:59). Toto obdobie bolo vybrané s ohľadom na štátne sviatky, prázdniny, či iné okolnosti, ktoré by mohli ovplyvniť rutinné časovo-priestorové vzory správania obyvateľstva. Ide o bežné obdobie roka, počas ktorého prebieha základne, stredné aj vysokoškolské vyučovanie a nezasahujú štátne sviatky. Je to zároveň obdobie nízkej intenzity čerpania dovoleniek a je v dostatočnom predstihu voči predvianočnému obdobiu, ktoré je typické zvýšenou mobilitou (nákup darčiekov, návšteva blízkych a i.).

**Priestorový rámec** analýzy tvorí územie mesta Bratislava, ktoré je desagregované do troch úrovní. Prvou je úroveň mestských častí v hraniciach ich katastrálnych území. Druhú úroveň reprezentuje pravidelná mriežka s veľkosťou bunky 1000 x 1000 metrov. Tento grid je totožný s populačným gridom Štatistického úradu SR. Tretiu úroveň tvorí grid s veľkosťou bunky 250 x 250 metrov, ktorý je výsledkom rozčlenenia predchádzajúcej úrovne. Vzhľadom na kompatibilitu použitej mriežky s populačným gridom ŠÚ SR nie je mriežka orezaná podľa administratívnych hraníc a zahŕňa tak územie prilahlých obcí (obr. 1). Identifikácia konkrétneho gridu ako aj prepojenie tabuľkových záznamov s mapovým podkladom je možná prostredníctvom atribútu **ID\_GRID1km**, resp. **ID\_GRID250m**.



Obr. 1 - Priestorové jednotky analýzy na podklade ortofotomapy. Zdroj podkladovej ortofotomozaiky © GKÚ, NLC, r. 2017

## Základná charakteristika dátovej vzorky

Predkladaná databáza bola spracovaná na základe vzorky signalizačných údajov extrahovaných z mobilnej siete troch najväčších mobilných operátorov na Slovensku (Slovak Telekom, Orange Slovensko a O2 Slovakia).

**Signalizačné údaje mobilnej siete** predstavujú automaticky generované záznamy, ktoré produkuje mobilná sieť pri pravidelných kontrolách pripojených zariadení. Jednotlivé základňové stanice mobilných telekomunikačných sietí (tzv. BTS – *base transceiver station*) v pravidelných intervaloch (definovaných oblasťou/operátorom) vysielajú signál na všetky dostupné a prihlásené zariadenia. Na základe ich polohy a vyťaženia siete sa určí, ktorá BTS bude konkrétnemu zariadeniu poskytovať signál, čím sa zabezpečuje čo najlepšie pokrytie pre každé zariadenie v dosahu. Tieto záznamy vznikajú bez aktívnej interakcie užívateľa s mobilným zariadením. SIM karta vygeneruje záznam pri každej zmene BTS stanice, čím sa vygenerujú desiatky až stovky záznamov denne.

Štruktúru vstupných údajov zachytáva tab. 1, kde atribút **subscriber\_id** reprezentuje jedinečný identifikátor držiteľa SIM karty registrovanej u jedného z troch mobilných operátorov (anonymizovaný hashovacou funkciou, ktorú pozná len zdrojový operátor), **date** predstavoval dátum, kedy bol záznam o polohe SIM karty zaznamenaný, **hour** predstavuje hodinu, kedy bol záznam o polohe SIM karty zaznamenaný (t.j. interval 11:00 – 11:59) a **cell\_id** predstavuje identifikátor BTS stanice, na ktorej bol záznam o polohe SIM karty zaznamenaný.

Tab. 1 - Štruktúra signalizačných údajov mobilnej siete použitá v analýze.

<b>subscriber_ID</b>	<b>date</b>	<b>hour</b>	<b>cell_id</b>
a5gfh78b5trf	2018-11-29	11	13590
nj6j7kl9mn23	2018-12-03	13	34568
b5nh6sf7v35	2018-11-27	5	8742

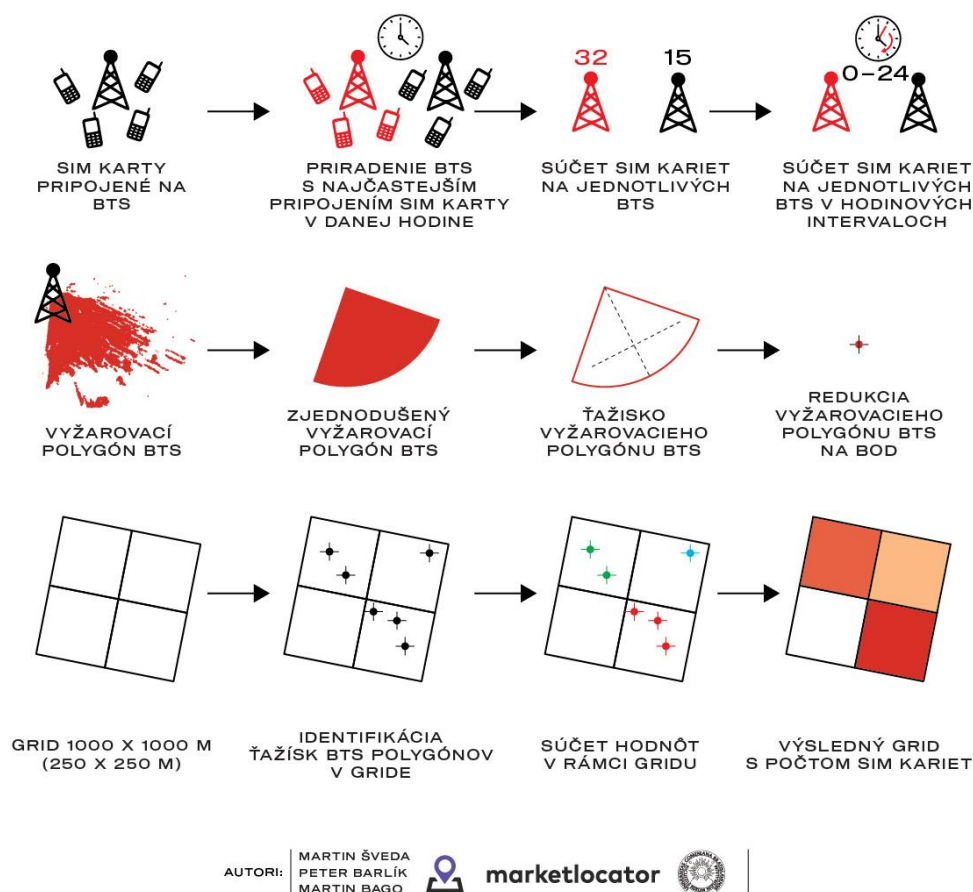
Pre každú SIM kartu (**subscriber\_id**) bola identifikovaná BTS stanica (**cell\_id**) s najväčším počtom záznamov v danej hodine. Údaj o počte SIM kariet na konkrétnej BTS stanici je tak výsledkom súčtu všetkých SIM kariet, ktoré mali na danej anténe najväčší počet záznamov v danej hodine (obr. 2).

Pre identifikáciu polohy SIM karty boli využité priestorové atribúty vyžarovacích polygónov BTS staníc. Vzhľadom na citlivý charakter údajov o polohe BTS staníc, ako



aj tvare a smerovaní ich vyžarovacieho polygónu, sme pristúpili k transformácii týchto údajov. Každý vyžarovací polygón bol redukovaný do bodu, ktorý reprezentuje jeho ťažisko (obr. 2). Dostali sme tak súbor vyše 8-tisíc bodov, ktoré vytvorili základnú priestorovú kostru analýzy.

Počty SIM kariet na jednotlivých bunkách mobilnej siete, sme agregovali na základe polohy ťažiska vyžarovacieho polygónu v rámci gridu (obr. 2). Výsledná mriežka s hodnotami počtu SIM kariet je základným štruktúrnym prvkom databázy.



Obr. 2 - Schematické znázornenie nápočtu SIM kariet na úrovni buniek mobilnej siete, ich redukcia na bodové záznamy a následná agregácia v rámci gridu.

Počas dvojtýždenného pozorovania bolo na území Bratislavy v infraštruktúre mobilnej siete troch mobilných operátorov zaznamenaných vyše 330 mil. záznamov. Vzhľadom na definované ciele, ktorými bola aproximácia počtu rezidentov, pracujúcich, návštevníkov a tranzitujúcich na území Bratislavy, sme navrhli a aplikovali filtračné algoritmy, ktorých úlohou bolo extrahovať tie záznamy o lokalizácii SIM kariet, ktoré by zodpovedali očakávaným časovo-priestorovým vzorom pohybu pre definované skupiny užívateľov mobilnej siete.

Vychádzame pritom z konceptu tzv. **kotevných bodov**. Kotevné body sú chápané ako hlavné uzly aktivít človeka, ktoré vytvárajú kostru jeho každodenných pohybov.



Použitím vhodného algoritmu môžeme z lokalizačných údajov mobilnej siete vyťažiť informácie o základných kotevných bodoch „domov“ a „práca“. V praxi ide predovšetkým o **identifikovanie miest dennej a nočnej lokalizácie**. Údaje o koncentrácii denných a nočných kotevných bodov nám umožňujú nielen spresniť priestorové rozloženie obyvateľstva (napr. koľko ľudí býva v danej lokalite), ale aj extrahovať údaje o predpokladaných denných dopravných tokoch (napr. koľko ľudí dochádza denne do lokality).

**Pre extrahovanie nočnej a dennej lokality** z lokalizačných záznamov mobilnej siete bolo potrebné najskôr identifikovať tie SIM karty, ktoré mali dostatočný počet lokalizácií (záznamov). Pre **nočnú lokalizáciu** to boli minimálne 3 lokalizácie počas 7 hodín (23:00 – 05:59). Túto podmienku bolo potrebné splniť v minimálne v 5 dňoch z 10 dní pozorovania (pracovné dni PO – PI počas dvojtýždňovej vzorky). Pre **dennú lokalizáciu** bolo potrebné identifikovať minimálne 3 lokalizácie počas 6 hodín (09:00 – 14:59). Túto podmienku bolo potrebné splniť v minimálne v 3 dňoch z 6 dní pozorovania (pracovné dni UT – ŠT počas dvojtýždňovej vzorky). Zámerom bolo čo v najväčšej miere eliminovať nerutinné lokalizácie SIM kariet a priblížiť sa očakávanému časovo-priestorovému profilu obyvateľov, ktorý v meste bývajú a pracujú. Dôvodom pre zúženie intervalu v prípade dennej lokalizácie je často odlišný režim dňa počas pondelka a piatka (cestovanie z/do mesta, práca z domu a pod.)

Pri porovnaní s predchádzajúcim štúdiami mapujúcimi počet SIM kariet s dennou a nočnou lokalizáciou je predkladaná analýza postavená na oveľa prísnejších kritériách. To však nerelativizuje predchádzajúce analýzy, ktoré sledovali odlišné ciele výskumu, predovšetkým interregionálnu mobilitu. Zámerom konzervatívnejšieho prístupu je poskytnúť podklady pre sledovanie intraurbánnej mobility a tomu je prispôsobená aj metodika extrahovania dennej a nočnej lokalizácie SIM kariet.

## Extrahovanie dennej a nočnej lokalizácie

Z lokalizačných údajov mobilnej siete sme nočnú a dennú lokalitu extrahovali nasledujúcim spôsobom (obr. 3):

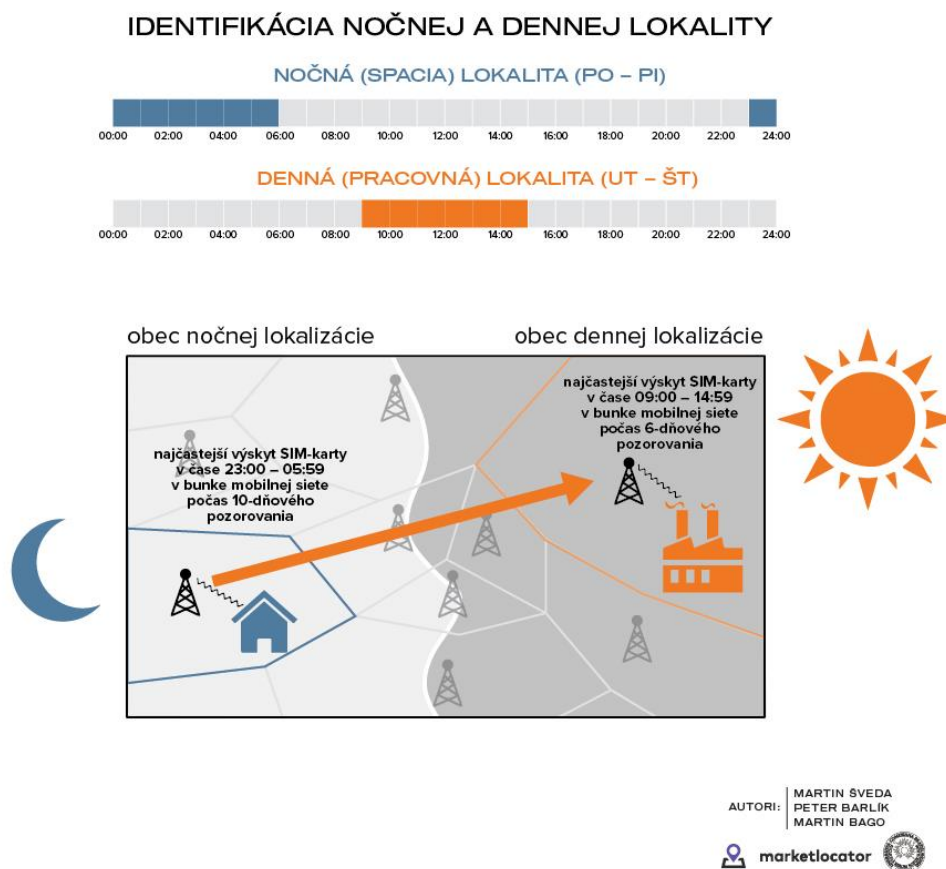
- **Nočná lokalita**

**Nočná (“spacia”) lokalita** je poloha BTS stanice, v ktorej bola SIM karta najčastejšie lokalizovaná počas pracovného týždňa (PO – PI) v čase od 23:00 do 5:59. Vzhľadom na dvojtýždenné pozorovanie sa nočná lokalita identifikovala zo súboru desiatich dní nasledujúcim spôsobom. Za každý hodinový agregát sme identifikovali BTS stanicu, kde mala SIM karta najčastejší výskyt. Vzhľadom na 10 dní pozorovania a 7 hodinových intervalov počas dňa sme získali 56 lokalizácií. Poloha ťažiska vyžarovacieho polygónu BTS stanice s najväčším počtom lokalizácií bola určená ako **nočná lokalita** danej SIM karty. Poloha BTS stanice v rámci administratívneho členenia, resp. v rámci mriežky 1000 x 1000 metrov (prípadne 250 x 250 metrov)

určila príslušnosť danej SIM karty do mestskej časti a konkrétneho gridu. Katastrálne územie mestskej časti, resp. bunku gridu následne považujeme za **nočnú lokalitu SIM karty**. Vzhľadom na pravidelnú lokalizáciu SIM karty na danej BTS stanici môžeme **nočnú lokalitu** použiť ako zmysluplnú aproximáciu priestorového rozmiestnenia rezidentov (pri rešpektovaní limitov databázy, viď nižšie).

- **Denná lokalita**

**Denná ("pracovná") lokalita** je poloha BTS stanice, v ktorej bola SIM karta najčastejšie lokalizovaná počas pracovného týždňa (UT – ŠT) v čase od 09:00 do 14:59. Vzhľadom na dvojtýždenné pozorovanie sa denná lokalita identifikovala zo súboru šiestich dní nasledujúcim spôsobom. Za každý hodinový agregát sme identifikovali BTS stanicu, kde mala SIM karta najčastejší výskyt. Vzhľadom na 6 dní pozorovania a 6 hodinových intervalov počas dňa sme získali 36 lokalizácií. Poloha ťažiska vyžarovacieho polygónu BTS stanice s najväčším počtom lokalizácií bola určená ako **denná lokalita** danej SIM karty. Poloha BTS stanice v rámci administratívneho členenia, resp. v rámci siete 1000 x 1000 metrov (príp. 250 x 250 metrov) určila príslušnosť danej SIM karty do mestskej časti a konkrétneho gridu. Katastrálne územie mestskej časti, resp. bunku gridu následne považujeme za **nočnú lokalitu SIM karty**.



*Obr. 3 - Identifikácia nočnej a dennej lokality v rámci sieťovej lokalizácie mobilných zariadení.*

Tab. 2 – Základné údaje o dennej a nočnej lokalizácii na území Bratislavy z lokalizačných údajov mobilnej siete (N= 822 165).

Počet lokalizačných záznamov na mobilnej infraštruktúre v sledovanom období	330 mil.
Počet unikátnych SIM kariet zaznamenaných na mobilnej infraštruktúre v sledovanom období, ktorým bolo možné priradiť dennú alebo nočnú lokalizáciu na území Bratislavy.	822 165
Počet SIM kariet s nočnou lokalitou na území Bratislavy	536 976
Počet SIM kariet s dennou lokalitou na území Bratislavy	754 257
Počet SIM kariet s nočnou lokalitou na území Bratislavy, ktorých denná lokalita (bunka BTS) je rozdielna od nočnej lokality = nestatické SIM karty	329 356
Počet SIM kariet s nočnou lokalitou na území Bratislavy, ktorých denná lokalita (bunka BTS) je rovnaká ako nočná lokalita = statické SIM karty	207 620
Počet SIM kariet, ktoré mali identifikovanú nočnú lokalitu na území Bratislavy, ale ich denná lokalita sa nachádzala mimo mesta	67 908
Počet SIM kariet, ktoré mali identifikovanú nočnú lokalitu mimo Bratislavy, ale ich denná lokalita sa nachádzala na území mesta	285 189

## Hodinové rezy lokalizačných údajov mobilnej siete

Uvedená operacionalizácia kotevných bodov vo forme nočnej a dennej lokality prináša možnosť ako rozčleniť SIM karty na dve elementárne kategórie:

- **rezident**

SIM karta, ktorej bolo možné na základe uvedenej metodiky priradiť nočnú lokalitu na území mesta Bratislava.

- **pracujúci**

SIM karta, ktorej bolo možné na základe uvedenej metodiky priradiť dennú lokalitu na území mesta Bratislava.

Priestorovú distribúciu týchto kategórií je možné sledovať aj v hodinových rezoch. Takéto pozorovanie je elementárnym vstupom pre porozumenie denného rytmu mesta (*urban rhythms*). Môžeme tak sledovať, ako sa mení počet **rezidentov** a **pracujúcich** v jednotlivých lokalitách mesta a v rozličných častiach dňa. Užívateľov mesta však netvoria len tieto dve kategórie, ale aj obyvatelia, ktorým nebolo možné z rozličných dôvodov priradiť dennú a nočnú lokalitu. Túto skupinu užívateľov reprezentuje kategória **návštevníkov** a **tranzitujúcich**. Diferenciačným kritériom týchto dvoch kategórií je dĺžka pobytu SIM karty na území mesta v daný deň.

- **Tranzitujúci**

SIM karta, ktorá na území mesta Bratislava bola prítomná minimálne v jednom a maximálne v dvoch hodinách počas dňa, pričom hodinové sloty nemuseli byť po sebe nasledujúce. Daná SIM karta musí zároveň spĺňať podmienku, že nemá na území mesta Bratislava priradenú dennú ani nočnú lokalitu.

- **Návštevník**

SIM karta, ktorá na území mesta Bratislava bola prítomná minimálne v troch hodinových slotoch počas dňa. Daná SIM karta musí zároveň spĺňať podmienku, že nemá na území mesta Bratislava priradenú dennú ani nočnú lokalitu.

Identifikácia vyššie uvedených dvoch kategórií bola realizovaná v dvoch dňoch pozorovania, tak aby zahŕňali pracovný deň (streda 5.12.2018) a víkendový deň (sobota 1.12.2018). Z dátovej vzorky boli extrahované tie SIM karty, ktoré boli v daný deň zaznamenané na území mesta. K týmto SIM kartám sme následne priradili nočnú a dennú lokalitu napočítanú z dvojtypovej vzorky podľa uvedenej metodológie, čím sme identifikovali skupinu **rezidentov** a **pracujúcich**. Pri tých SIM kartách, ktorým nebolo možné napočítať dennú alebo nočnú lokalitu, sme pristúpili k skúmaniu dĺžky ich pobytu na území Bratislavy. Na jej základe sme extrahovali skupinu **návštevníkov** a **tranzitujúcich**.

Vzhľadom na skutočnosť, že SIM karty môžu nadobúdať rôzne kombinácie kategórií "rezident" a "pracujúci" (SIM karta má napočítanú dennú aj nočnú lokalitu, SIM karta má napočítanú iba jednu z kategórií), pre potreby kvantifikácie prítomných SIM kariet v hodinových rezoch sme pristúpili k doplnkovej klasifikácii SIM kariet.

- **SIM karta s napočítanou dennou a zároveň nočnou lokalizáciou (D\_a\_N)**

Táto kategória reprezentuje SIM karty, ktoré mali napočítanú dennú a zároveň nočnú lokalizáciu na rovnakej BTS stanici a môže napríklad slúžiť na identifikáciu statických SIM v danej hodine. Tieto SIM karty sme podľa obvyklej metodológie agregovali do GRIDU.

- **SIM karta s napočítanou dennou alebo nočnou lokalizáciou (D\_alebo\_N)**

Táto kategória reprezentuje SIM karty, ktoré mali na rovnakej BTS stanici napočítanú iba jednu z uvedených kategórií a môže napríklad slúžiť na kvantifikáciu prieniku SIM kariet týchto dvoch kategórií. Tieto SIM karty sme podľa obvyklej metodológie agregovali do GRIDU.

- **Jedinečné SIM karty (vsetky\_kategorie\_spolu)**

Táto kategória reprezentuje jedinečné SIM karty prítomné na BTS za danú časovú jednotku a slúži na jedinečnú kvantifikáciu počtu SIM kariet bez ohľadu na kategóriu. Tieto SIM karty sme podľa obvyklej metodológie agregovali do GRIDU.

Na záver predstavenia vzorky údajov a ich spracovania je potrebné upozorniť že pomenovanie jednotlivých kategórií je len hrubým zovšeobecnením užívateľov mobilných telefónov. Je zrejmé, že jednoducho stanovené kritéria nemôžu spoľahlivo vyfiltrovať len pracujúcich užívateľov alebo rezidentov. Napríklad kategória **pracujúcich** bude zahŕňať aj študentov, či dôchodcov navštevujúcich počas dňa (od 09:00 do 14:59) pravidelne jednu lokalitu (napr. školu, stravovacie zariadenie či knižnicu).

## **Konštrukcia dochádzkových tokov**

Priradenie dennej a nočnej lokality umožňuje zostrojenie dochádzkových tokov s východiskom v mieste nočnej bunky lokalizácie (grid 1 x 1 km alebo 250 x 250 m) a cieľom v bunke dennej lokalizácie pre všetky SIM karty, ktorých denná a nočná lokalita bola rozdielna. Do konštrukcie tokov tak nevstupujú statické SIM karty, ktorých BTS bunka mobilnej siete nočnej lokalizácie je totožná s bunkou dennej lokalizácie. Výsledná matica tokov "domov-práca" reprezentuje predpokladané denné dopravné toky SIM kariet (užívateľov mobilnej siete), nezachytáva však reálne trajektórie pohybu.

V dôsledku eliminácie statických SIM kariet sa súčty alokovaných SIM kariet v matici dochádzkových tokov nerovnajú súčtu všetkých identifikovaných SIM kariet s dennou a nočnou lokalizáciou v obci alebo v gride.

## Limity dátovej vzorky

Pri interpretácii lokalizačných údajov mobilných zariadení v rámci sieťovej lokalizácie je dôležité si uvedomiť viaceré limity, ktoré vyplývajú z princípov prevádzky mobilnej siete a z právnych podmienok spracovania údajov jej užívateľov. Pokúsime sa upozorniť na tie najdôležitejšie:

- Počet SIM-kariet nie je možné stotožniť s počtom individuálnych užívateľov mobilnej siete, keďže nie je možné spoľahlivo vylúčiť osoby využívajúce viaceré SIM-karty. Čiastočnú elimináciu duplicitných SIM kariet sme však dosiahli vylúčením nehlasových a neaktívnych SIM kariet.
- Počet SIM-kariet nie je možné spoľahlivo stotožniť s počtom prítomného obyvateľstva. Dôvodom je skutočnosť, že nemôžeme predpokladať, že každý obyvateľ disponuje mobilným zariadením (deti, seniori).
- Priestorová presnosť lokalizácie závisí od architektúry mobilnej infraštruktúry, typu antén (2G, 3G, 4G) a reliéfu. V prípade mestského prostredia sa pohybuje rádovo v stovkách metroch, vo voľnej krajine dosahuje rádovo kilometre.
- Poloha ťažiska vyžarovacieho polygónu, ktorá je základom pre lokalizáciu SIM kariet v predkladanej analýze, nezodpovedá polohe BTS stanice ani polohe SIM karty. Agregácia údajov na základe polohy daného ťažiska v rámci administratívneho členenia, resp. mriežky 1000 x 1000 metrov, prináša skreslenie polohovej informácie. Vzhľadom na citlivý charakter polohových údajov BTS staníc je však táto generalizácia potrebná. Pri interpretácií koncentrácií SIM kariet v priestore je potrebné prihliadať na túto skutočnosť. Najmä v okrajových častiach sledovaného územia (poľnohospodárska krajina, lesy) je infraštruktúra mobilnej siete značne rozptýlená. To má vplyv aj na výslednú veľkosť buniek vyžarovacích polygónov a presnosť lokalizácie.
- Vzhľadom na citlivosť údajov sme pre zabezpečenie maximálnej ochrany súkromia užívateľov pristúpili k čiastočnej agregácii finálnych dátových výstupoch. Výstupné prechodové matice, ktoré zobrazujú súčet unikátnych SIM kariet v danej filtrácii (napr. počet „dochádzajúcich“ SIM z gridu X do gridu Y), nezobrazia kumulatívne číslo nižšie ako 10. Uvedenou agregáciou sa snažíme predísť nožnej identifikácii SIM karty na základe pohybu, prípadne ďalších atribútov.
- Pre zachovanie ucelenosti dátovej vzorky bolo u jedného z operátorov potrebné dopočítať chýbajúce záznamy o polohe SIM karty na BTS stanici v niektorých hodinových agregátoch a pri niektorých SIM kartách (napr. chýbajúce údaje medzi 16:00 – 22:00). Po konzultáciách s dátovým špecialistom od zdrojového operátora sme pristúpili k dopočítaniu chýbajúceho atribútu **cell\_id** podľa polohy bunky BTS, na ktorej mala daná SIM karta posledný záznam. Týmto spôsobom došlo k nápočtu približne 15% dátovej vzorky daného operátora.

## Vybrané výstupy

Počas dvojtýždňového pozorovania bolo v sledovanom území zaznamenaných vyše 822 165 aktívnych SIM kariet, ktoré mali aspoň jeden záznam na infraštruktúre mobilnej siete na území Bratislavy. Poloha SIM kariet bola definovaná ťažiskom vyžarovacieho polygónu danej BTS stanice (vyše 8000 bodov). Počet unikátnych SIM kariet a z nich identifikovaných kategórií zachytáva tab. 3. V nasledujúcej časti predstavujeme niektoré základné výstupy databázy vo forme rozmanitých vizualizácií. Zámerom je nielen prezentovať časovo-priestorové aspekty pohybu SIM-kariet na území Bratislavy, ale aj poukázať na niektoré interpretačné mantinely.

*Tab. 3 – Počet SIM kariet s identifikovanou dennou a nočnou lokalizáciou v mestských častiach Bratislavy.*

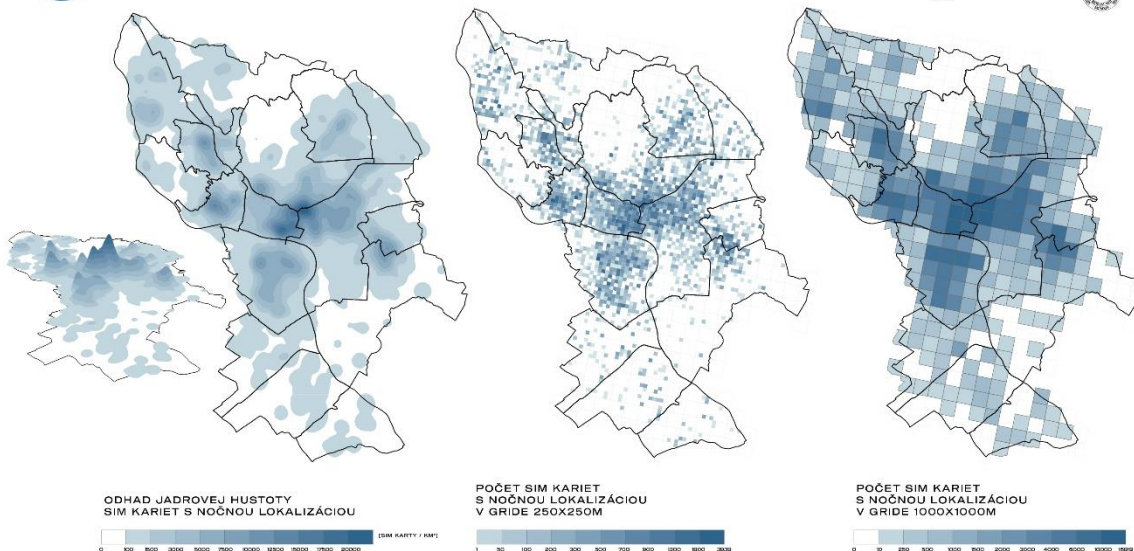
mestská časť Bratislavy	počet SIM kariet s nočnou lokalizáciou	počet SIM kariet s dennou lokalizáciou
Staré Mesto	76592	150319
Podunajské Biskupice	21147	25339
Ružinov	117698	179989
Vrakuňa	19897	18706
Nové Mesto	61647	91711
Rača	27535	31921
Vajnory	7969	10169
Devínska Nová Ves	24493	29916
Dúbravka	26058	25050
Karlova Ves	35519	44918
Devín	9855	11344
Lamač	8382	12443
Záhorská Bystrica	9486	12588
Čunovo	2456	2297
Jarovce	5597	6002
Petržalka	77535	96119
Rusovce	5110	5426
<b>SPOLU</b>	<b>536976</b>	<b>754257</b>



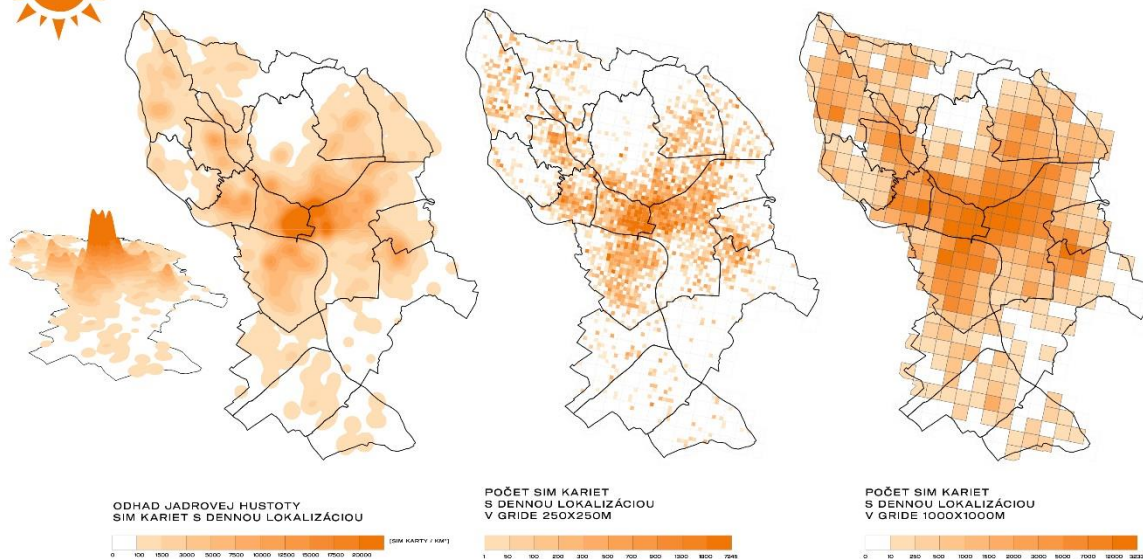


### NOČNÁ LOKALIZÁCIA SIM KARIET

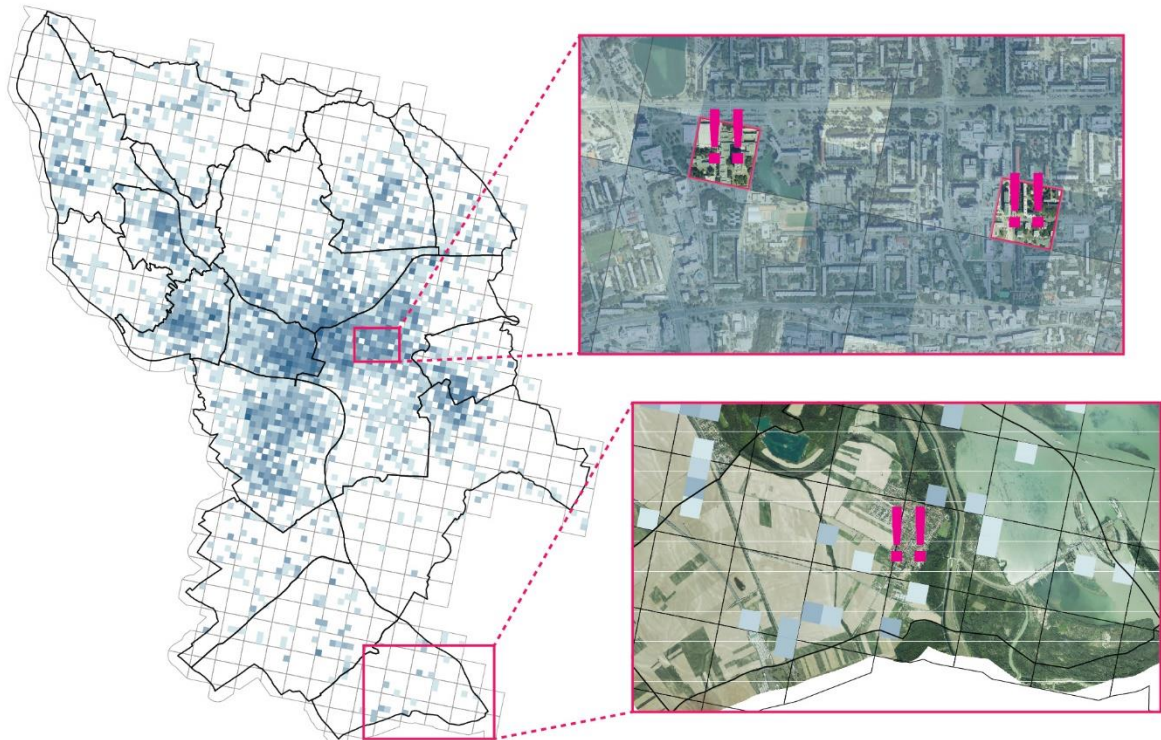
AUTORI: PETER BARLÍK  
MARTIN BAGO  
MARTIN ŠVEDA



### DENNÁ LOKALIZÁCIA SIM KARIET



Obr. 4 - Rôzne spôsoby vizualizácie priestorového rozmiestnenia SIM kariet s nočnou a dennou lokalizáciou (N= 822 165).

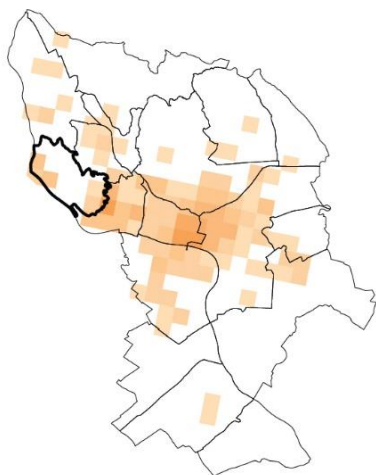


*Obr. 5 - Priestorové rozmiestnenie SIM kariet s nočnou lokalizáciou v gride 250 x 250 metrov. Mapové výrezy zachytávajú situácie "prázdnych" gridov v rámci urbanizovaného územia. V takýchto situáciách je potrebné si uvedomiť, že pri tejto mierke agregácie sú bunky mobilnej siete v mnohých prípadoch väčšie ako je zvolená mriežka a vyskytujú sa tak početné situácie, kedy sa v danom štvorci mriežky nemusí nachádzať ani jedno ťažisko vyžarovacieho polygónu BTS stanice. V okrajových častiach mesta (mestské časti s vidieckym charakterom) je táto úroveň agregácie osobitne problematická.*

DENNÁ LOKALIZÁCIA SIM KARIET S NOČNOU LOKALIZÁCIOU V MČ BRATISLAVA - DEVÍN

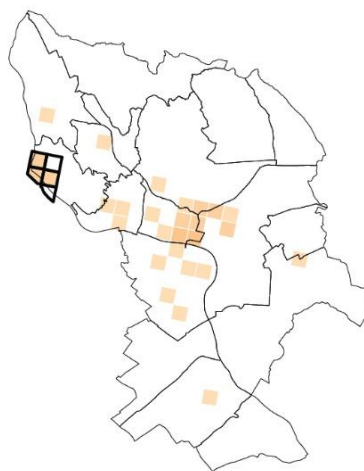
PRÍKLAD DVOCH SPÔSOBOV SELEKCIE

MČ BRATISLAVA - DEVÍN: 1636 OBYVATEĽOV (K 31.12.2018)



KATASTRÁLNE ÚZEMIE MČ DEVÍN  
ZACHYTÁVA AJ UŽÍVATEĽOV Z KARLOVEJ VSI

NOČNÝCH LOKALIZÁCIÍ SIM KARIET:	6098
ODCHADZAJUCICH SIM KARIET:	5731
Z TOHO DO MČ BRATISLAVY:	4685
Z TOHO MIMO BRATISLAVY:	1046

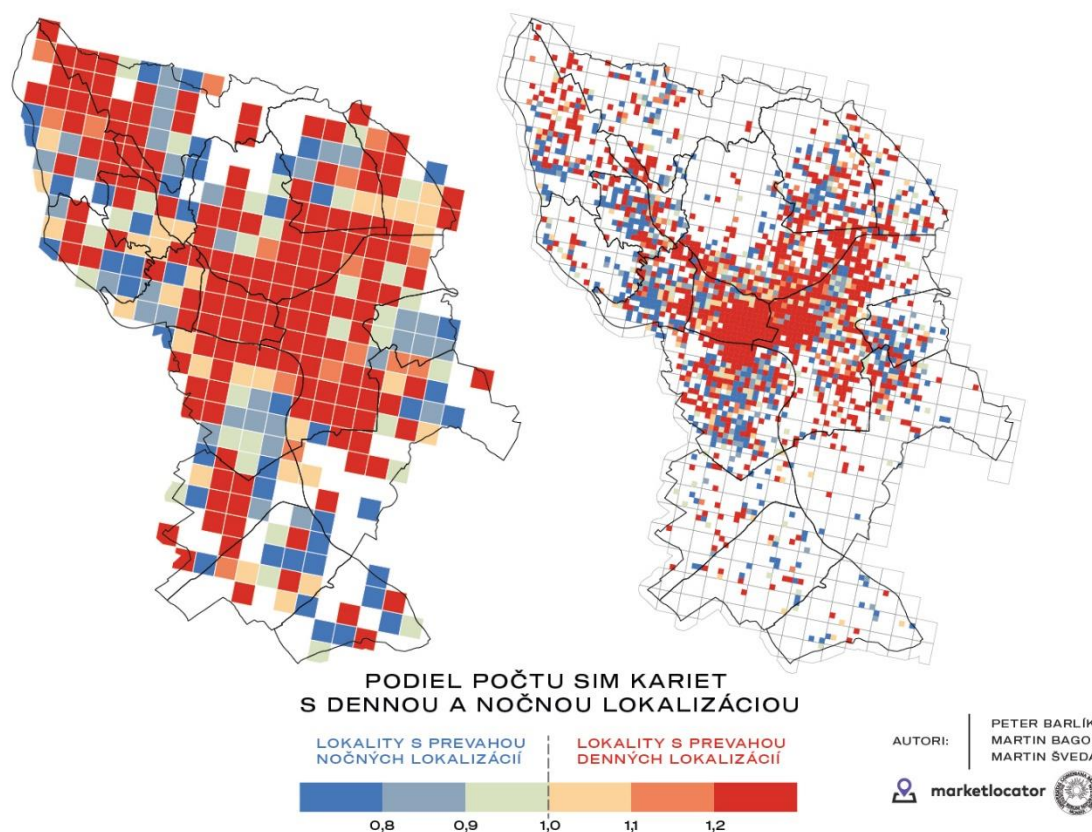


SELEKCIA ŠTVORCOV, KTORÉ  
REPREZENTUJÚ INTRAVILÁN MČ DEVÍN

NOČNÝCH LOKALIZÁCIÍ SIM KARIET:	1410
ODCHADZAJUCICH SIM KARIET:	1302
Z TOHO DO MČ BRATISLAVY:	1105
Z TOHO MIMO BRATISLAVY:	197

*Obr. 6 - Denná lokalizácia SIM kariet, ktoré majú nočnú lokalitu v mestskej časti Bratislava - Devín. Pri agregácii SIM kariet na úrovni katastrálneho územia mestskej časti sú zachytení užívatelia mobilnej siete susediacich mestských častí, v tomto prípade predovšetkým z Karlovej Vsi. Je preto vhodné vyselektovať len tie gridy, ktoré reprezentujú urbanizované územie danej mestskej časti a tým čiastočne eliminovať nápočty SIM kariet zo susedných mestských častí. Redukované územie MČ Devín (vpravo) sa objemom identifikovaných SIM kariet s nočnou lokalizáciou približuje oficiálnej populačnej veľkosti.*





*Obr. 7 – Podiel počtu SIM kariet s dennou a nočnou lokalizáciou. Tento zobrazenie umožňuje odlíšiť lokality na základe jednoduchého porovnania počtu denných a nočných lokalizácií. Lokality s prevahou denných lokalizácií predstavujú prevažne centrálné časti mesta, kde sú v najväčšej miere koncentrované pracovné (školské) aktivity obyvateľstva. Lokality s prevahou nočných lokalizácií reprezentujú časti mesta s prevažne rezidenčnou funkciou. Ide najmä o sídliská (Petržalka, Dlhé Diely, Vrakuňa a pod.). Je však potrebné upozorniť aj na limity takéhoto zobrazenia. Prevala denných lokalizácií v mestských častiach susediacich s Rakúskom a Maďarskom je spôsobená využívaním mobilnej siete obyvateľmi pracujúcimi v blízkom pohraničí, resp. bývajúcimi v prihraničných sídlach pričom SIM karta preferuje „domácu“ BTS pred roamingom v zahraničí.*

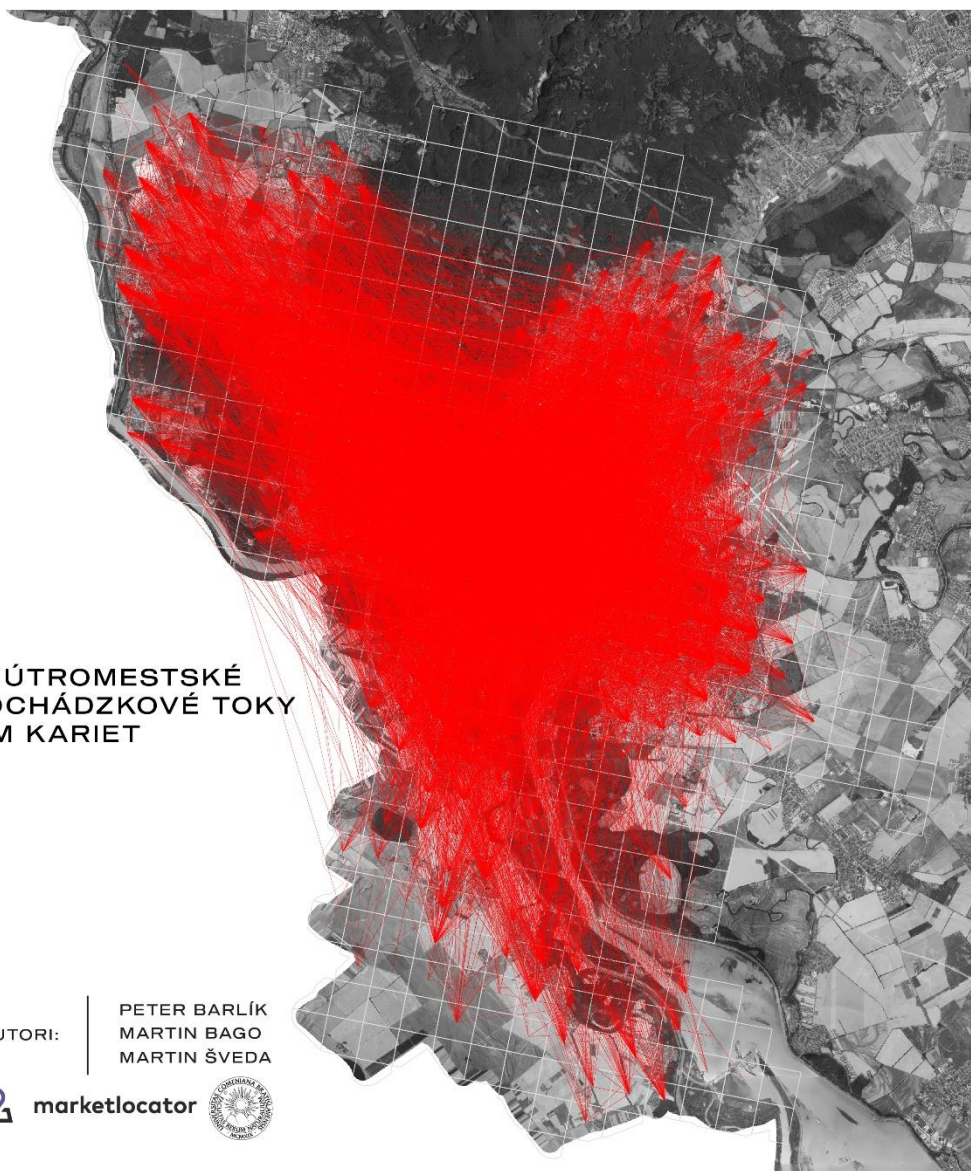
VNÚTROMESTSKÉ  
DOCHÁZKOVÉ TOKY  
SIM KARIET

AUTORI:

PETER BARLÍK  
MARTIN BAGO  
MARTIN ŠVEDA

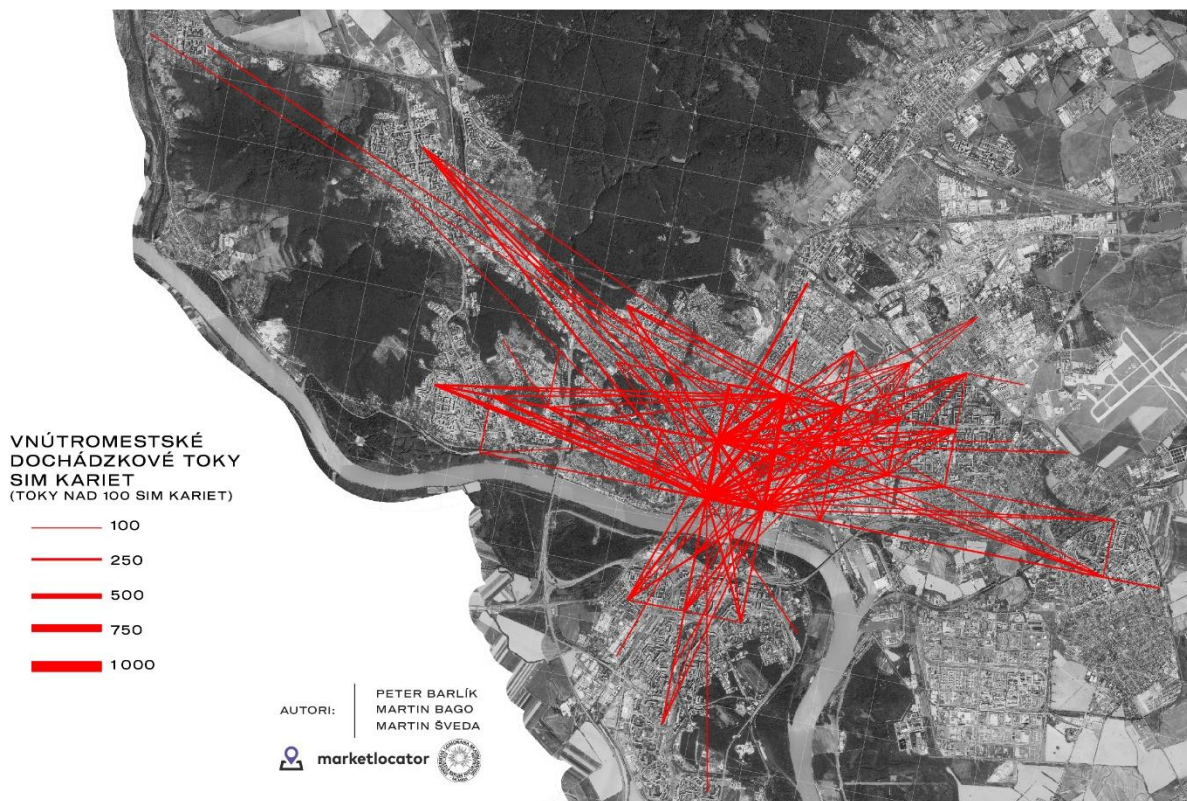


marketlocator

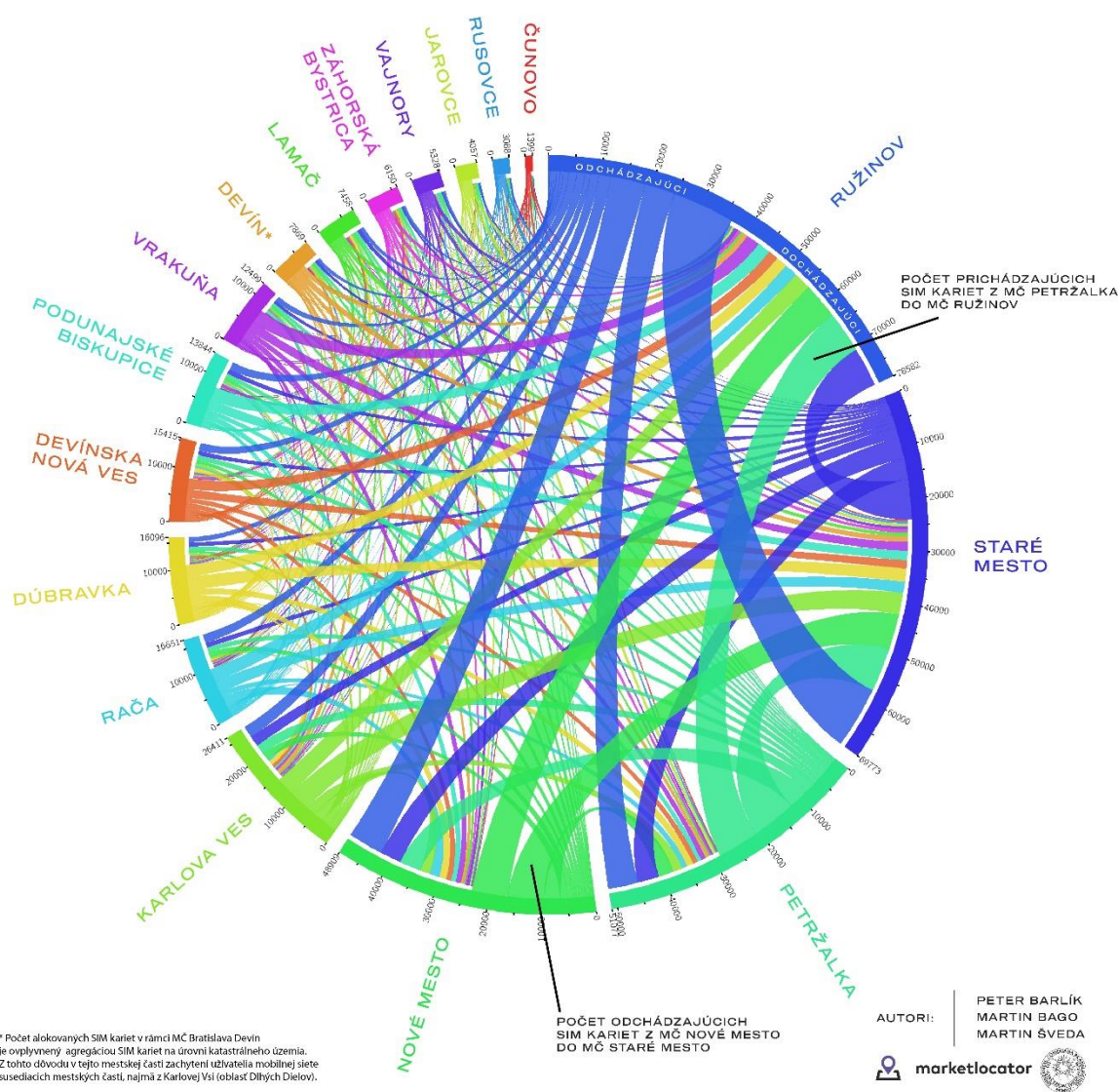


*Obr. 8 – Vizualizácia vnútromestských dochádzkových tokov na úrovni gridu 1000 x 1000 metrov. Toky sú ukotvené do ťažiska gridu a sú zobrazené bez ohľadu na ich veľkosť. Zdroj podkladovej ortofotomozaiky © GKÚ, NLC, r. 2017*



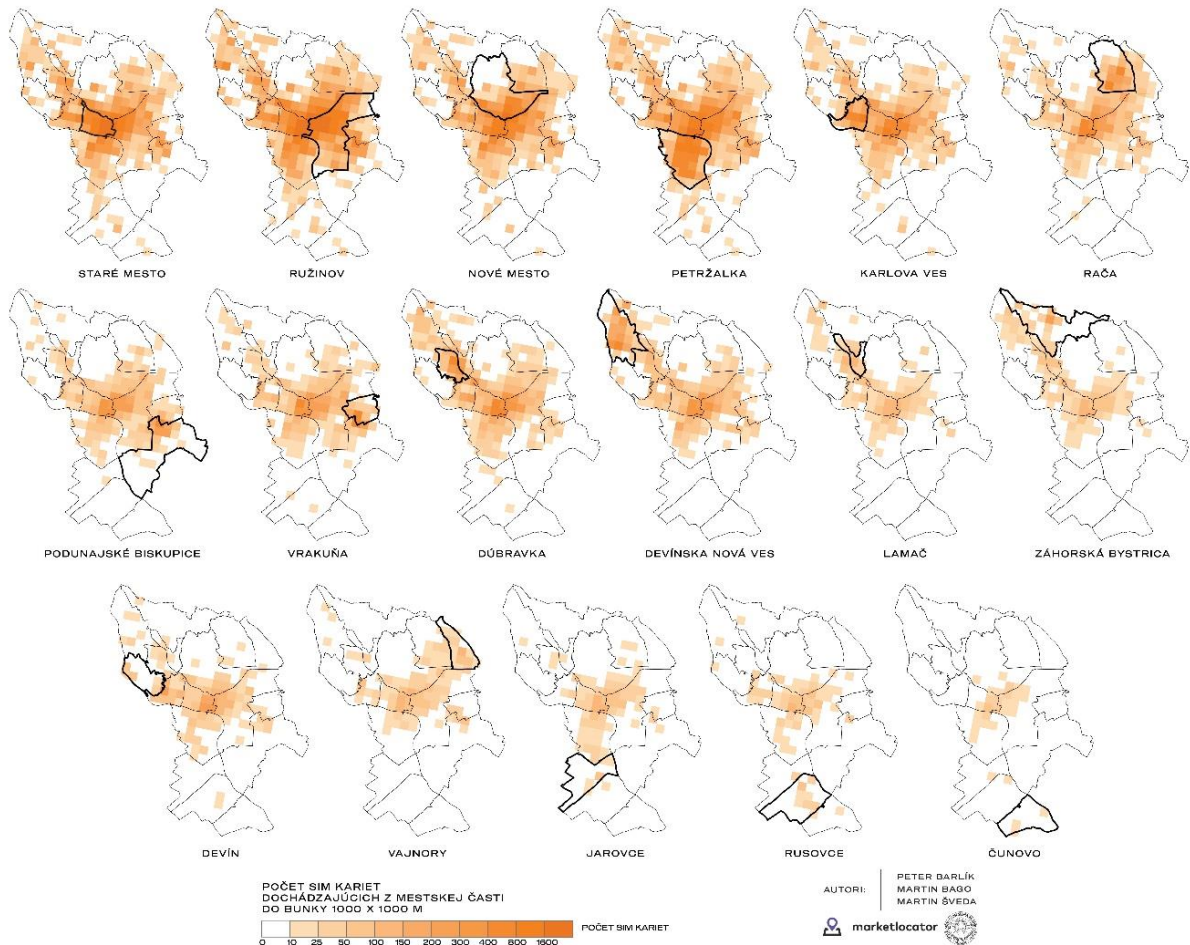


*Obr. 9 – Vnútromestské dochádzkové toky s veľkosťou nad 100 SIM kariet. Toky sú ukotvené do ťažiska gridu 1000 x 1000 metrov. Z vizualizácie je dobre čitateľné, že najväčšie toky sa nachádzajú v oblasti širšieho centra mesta. Z okrajových častí dominujú toky zo sídlisk ako napr. Dlhé Diely, Petržalka, Dúbravka, Ružinov, Devínska Nová Ves a Dolné Hony. Zdroj podkladovej ortofotomozaiky © GKÚ, NLC, r. 2017*

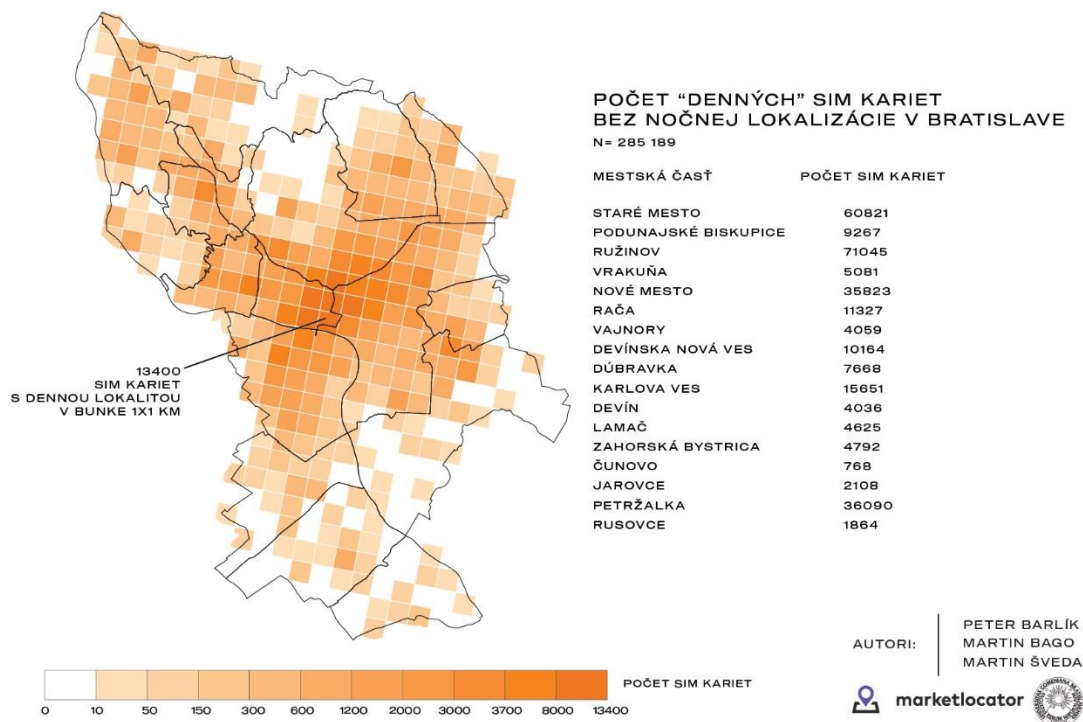


Obr. 10 – Vnútromestské dochádzkové toky SIM kariet na úrovni mestských častí Bratislavy. Východiskom pre konštrukciu dochádzkových tokov je identifikácia pravidelnej nočnej a dennej lokalizácie SIM karty v rámci infraštruktúry mobilnej siete. Zobrazené sú len nestatické SIM karty (t.j. ktoré mali dennú lokalitu odlišnú od nočnej lokality,  $N= 329\ 356$ ). Najväčší podiel odchádzajúcich na počet SIM kariet s nočnou lokalizáciou zaznamenala MČ Bratislava – Jarovce, kde z 3401 SIM kariet s nočnou lokalizáciou odchádza do inej obce 3250 SIM kariet. Z hľadiska celkového počtu dochádzajúcich SIM kariet je najatraktívnejším cieľom dochádzky MČ Bratislava Ružinov, do ktorej z iných obcí prichádza denne 113 236 SIM kariet (z toto je 71 045 bez nočnej lokalizácie v Bratislave). Je vhodné ešte poznamenať, že 67 908 SIM kariet malo dennú lokalitu mimo Bratislavy a vo vizualizácii nie sú znázornené.

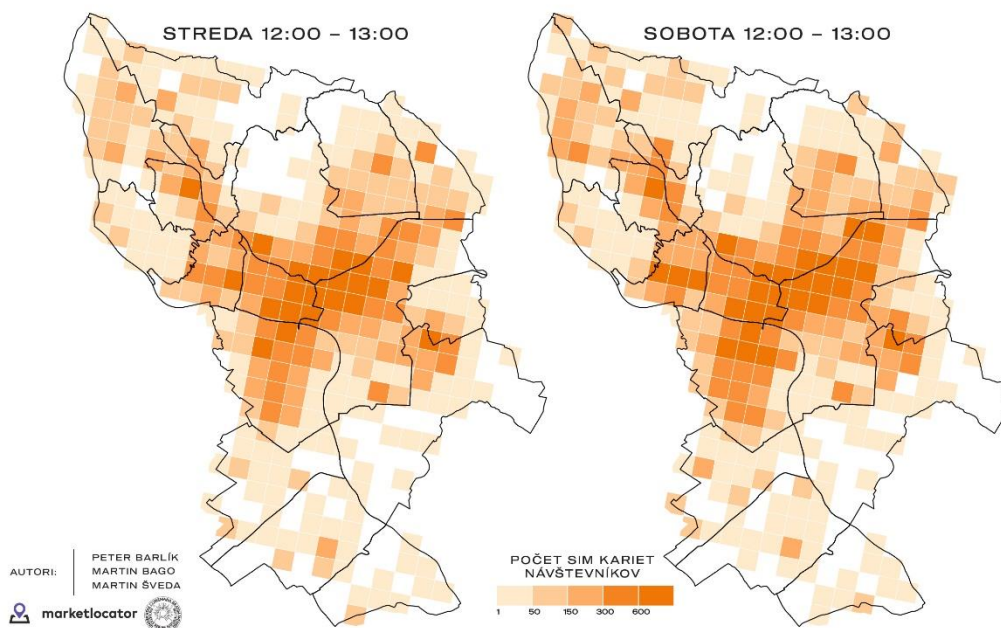




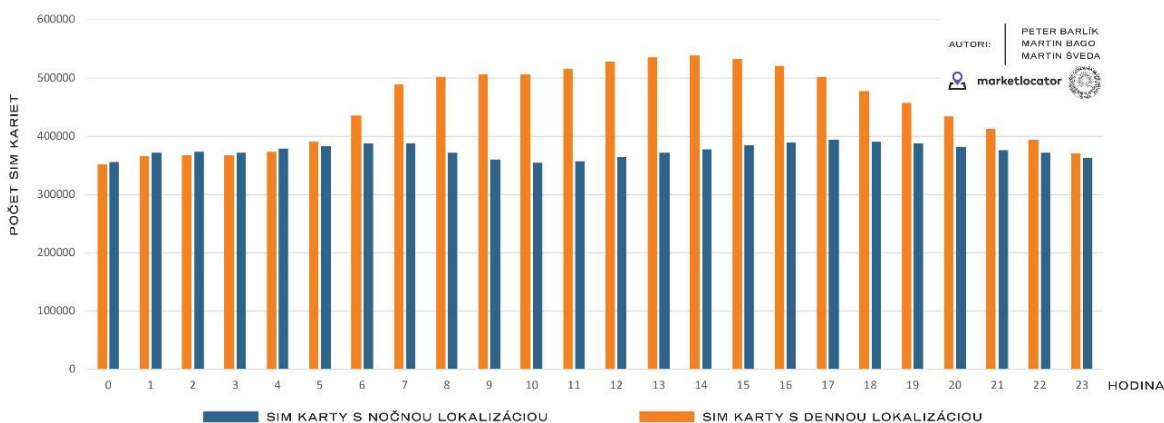
*Obr. 11 - Dochádzka SIM kariet z jednotlivých mestských častí v rámci gridu 1000 x 1000 metrov. Východiskom pre konštrukciu dochádzkových tokov je identifikácia pravidelnej nočnej a dennej lokalizácie SIM karty v rámci infraštruktúry mobilnej siete. Zobrazené sú len tie SIM karty, ktoré mali dennú lokalitu odlišnú od nočnej lokality (N= 329 356). Intenzita farebnej škály reprezentuje počet dochádzajúcich SIM kariet z danej mestskej časti do bunky. V prípade okrajových mestských častí je priestorová presnosť lokalizácie skreslená väčšou granularitou buniek mobilnej siete, ako aj presahom užívateľov mobilnej siete zo susediacich obcí.*



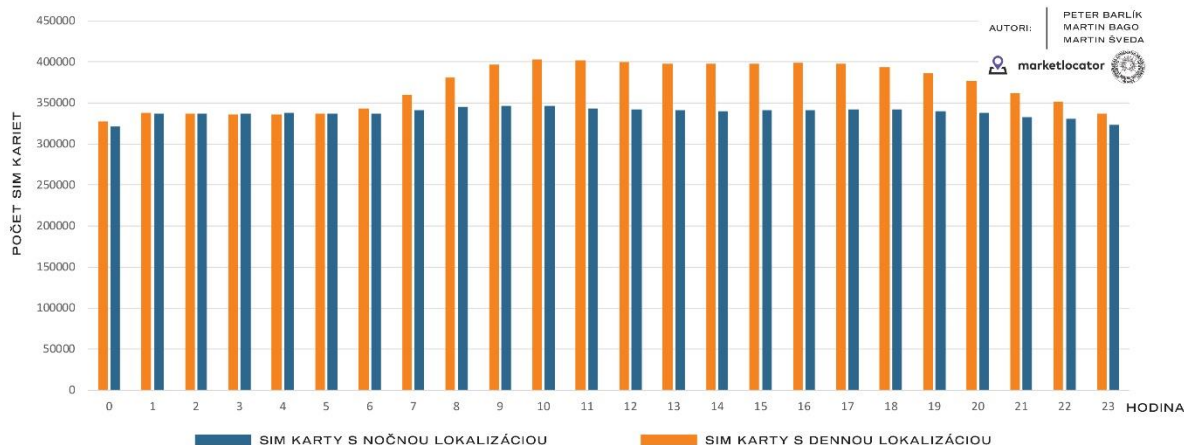
*Obr. 12 – Počet SIM kariet, ktoré mali identifikovanú dennú lokalitu, avšak bez nočnej lokalizácie na území Bratislavy (N=285 189). V realite môže ísť o rozličné situácie, ktoré spôsobili, že SIM karte nebola napočítaná denná lokalizácia. Predovšetkým ide o dochádzajúcich, ktorí bývajú mimo Bratislavy. Môže však ísť aj o užívateľov s nepravidelným časovo-priestorovým profilom.*



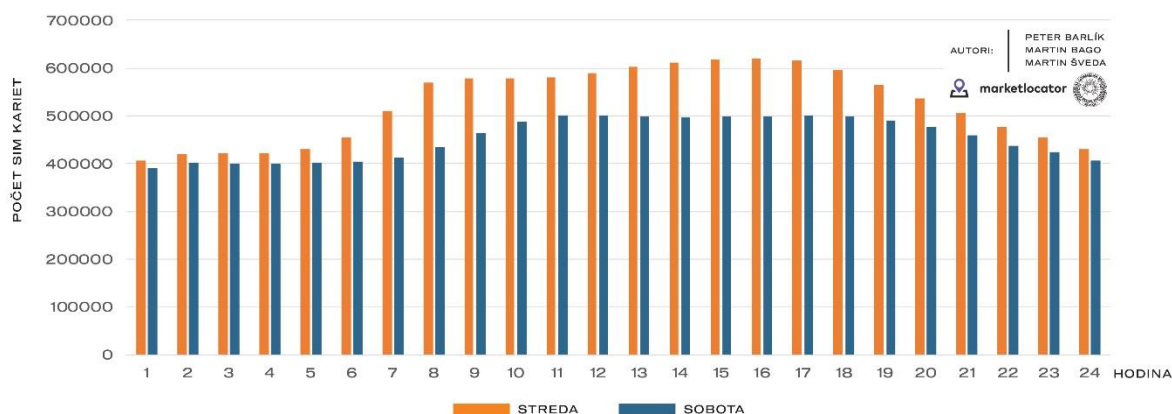
Obr. 13 – Porovnanie počtu SIM kariet s atribútom návštevník v stredu a sobotu od 12:00 do 13:00. Kým v stredu bolo možné priradiť atribút návštevník 53 957 SIM kartám, v sobotu a rovnakom čase to bolo 64 776 SIM kariet.



Obr. 14 – Priebeh počtu SIM kariet s nočnou a dennou lokalitou na území Bratislavy počas pracovného dňa (streda 5.12.2018). Nárast SIM kariet s dennou lokalizáciou počas dňa súvisí najmä s dochádzkou pracujúcich a študentov do Bratislavy, ktorých prítomnosť kulminuje v poobedňajších hodinách. Pokles SIM kariet s nočnou lokalizáciou počas dňa je výsledkom odchádzky rezidentov mimo Bratislavu.



Obr. 15 – Priebeh počtu SIM kariet s nočnou a dennou lokalitou na území Bratislavy počas víkendu (sobota 1.12.2018). Oproti pracovnému dňu je priebeh počtu SIM kariet s nočnou lokalizáciou vyrovnaný a dochádza len k menšiemu nárastu počtu SIM kariet s dennou lokalizáciou (nerezidentov).



Obr. 16 – Priebeh počtu jedinečných SIM kariet počas pracovného dňa (streda 5.12.2018) a víkendu (sobota 1.12.2018). Počas pracovného dňa bolo na území mesta Bratislava lokalizovaných o 20 % SIM kariet viac ako počas víkendu.

# **Odporúčanie pre ďalšie spracovanie dát a ich interpretáciu**

Hoci ide o unikátnu databázu založenú na rozsiahlej vzorke užívateľov mobilnej siete, je potrebné pristupovať k spracovaniu a interpretácii týchto údajov obozretne a s prihliadnutím na vyššie uvedené limity. Autori tejto štúdie považujú za potrebné upozorniť, že údaje o priestorovej koncentrácii SIM kariet by nemali nahradzovať tradičné údaje o populácii, keďže počet SIM-kariet nemožno spoľahlivo stotožniť s počtom osôb. Odporúčame s lokalizačnými údajmi mobilnej siete narábať ako s doplnkovým zdrojom údajov, ktorý môže obohatiť naše poznanie o priestorovej dynamike urbánneho prostredia.

# Zoznam výstupov

## Tabuľkové výstupy

### Počet prítomných SIM kariet podľa kategórie

- Počet prítomných SIM kariet podľa mestských častí (*pocet\_SIM\_MC*)
- Počet prítomných SIM kariet podľa GRIDU 1x1km (*pocet\_SIM\_GRID1km*)
- Počet prítomných SIM kariet podľa GRIDU 250x250m (*pocet\_SIM\_GRID250*)

### Matica tokov SIM kariet medzi dennou a nočnou lokalizáciou

- Matica tokov nestatických SIM kariet podľa mestských častí (*matica\_toky\_MC*)
- Matica tokov nestatických SIM kariet podľa GRIDU 1x1km (*matica\_toky\_GRID1km*)
- Matica tokov nestatických SIM kariet podľa GRIDU 250x250m (*matica\_toky\_250m*)

### Hodinové rezy počtu prítomných SIM kariet podľa kategórie

- Hodinové rezy počtu prítomných SIM kariet podľa GRIDU (GRID 1x1km a GRID 250x250m) za víkendový deň - sobota 1.12.2018 (*hodinove\_rezy\_sobota*)
- Hodinové rezy počtu prítomných SIM kariet podľa GRIDU (GRID 1x1km a GRID 250x250m) za pracovný deň - streda 5.12.2018 (*hodinove\_rezy\_streda*)

## Grafické výstupy

- Priestorové jednotky analýzy na podklade ortofotomapy (*obr\_1*)
- Schematické znázornenie nápočtu SIM kariet na úrovni buniek mobilnej siete, ich redukcia na bodové záznamy a následná agregácia v rámci gridu (*obr\_2*)
- Identifikácia nočnej a dennej lokality v rámci sieťovej lokalizácie mobilných zariadení (*obr\_3*)
- Rôzne spôsoby vizualizácie priestorového rozmiestnenia SIM kariet s nočnou a dennou lokalizáciou (N= 822 165) (*obr\_4*)
- Denná lokalizácia SIM kariet, ktoré majú nočnú lokalitu v mestskej časti Bratislava – Devín (*obr\_6*)
- Podiel počtu SIM kariet s dennou a nočnou lokalizáciou (*obr\_7*)
- Vnútromestské dochádzkové toky s veľkosťou nad 100 SIM kariet. Toky sú ukotvené do ťažiska gridu 1000 x 1000 metrov (*obr\_9*)

- Vnútromestské dochádzkové toky SIM kariet na úrovni mestských častí Bratislavy (*obr\_10*)
- Dochádzka SIM kariet z jednotlivých mestských častí v rámci gridu 1000 x 1000 metrov (*obr\_11*)
- Počet SIM kariet, ktoré mali identifikovanú dennú lokalitu, avšak bez nočnej lokalizácie na území Bratislavy (N=285 189) (*obr\_12*)
- Porovnanie počtu SIM kariet s atribútom návštevník v stredu a sobotu od 12:00 do 13:00 (*obr\_13*)
- Priebeh počtu SIM kariet s nočnou a dennou lokalitou na území Bratislavy počas pracovného dňa (streda 5.12.2018) (*obr\_14*)
- Priebeh počtu SIM kariet s nočnou a dennou lokalitou na území Bratislavy počas víkendu (sobota 1.12.2018) (*obr\_15*)
- Priebeh počtu jedinečných SIM kariet počas pracovného dňa (streda 5.12.2018) a víkendu (sobota 1.12.2018) (*obr\_16*)

## Ostatné výstupy

- Mapovacie tabuľky ID GRIDOV a ich priestorové informácie vo formáte .shp (*GRID\_Bratislava*)