

# Analytický model dopravnej prognózy (AMDY)

Dopravný model SR 2025

Technické zhrnutie

december 2025

Verzia po recenznom konaní

## **Autori**

Materiál pod vedením Martina Haluša a Martina Kmeťka pripravili Daniel Buc a Rastislav Farkaš z Ministerstva financií SR a Lukáš Kováč z Ministerstva dopravy SR.

## **PodĎakovanie**

Za cenné konzultácie a pomoc ďakujeme Oliverovi Solenskému (stáž), pánom Jerome Ferry a Didier Revillon (obaja SETEC International), Simone Šulíkovej (World Bank), Petrovi Vanyovi, Petrovi Losovi, Stelle Košíkovej (MF SR), Romanovi Albertimu (NDS a.s.), Marekovi Drličiakovi (UNIZA) a ďalším.

## **Upozornenie**

Materiál prezentuje názory autorov a Útvaru hodnoty za peniaze (ÚHP), ktoré nemusia nutne odzrkadľovať oficiálne názory Ministerstva financií Slovenskej republiky. Cieľom publikovania analýz ÚHP je podnecovať a zlepšovať odbornú a verejnú diskusiu na aktuálne ekonomické témy. Citácie textu by preto mali odkazovať na ÚHP (a nie Ministerstvo financií Slovenskej republiky) ako autora týchto názorov. Chyby a opomenutia zostávajú zodpovednosťou autorov.

## OBSAH

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Zhrnutie.....                                                                                         | 6  |
| 1 Úvod do Analytického modelu dopravnej prognózy .....                                                | 7  |
| 2 Štruktúra AMDY .....                                                                                | 8  |
| 2.1 Zonácia.....                                                                                      | 8  |
| 2.2 Dopytové vrstvy.....                                                                              | 12 |
| 3 Model osobnej dopravy .....                                                                         | 21 |
| 3.1 Kto model tvorí – demografické, socio-ekonomické a mobilitné charakteristiky (produktivity) ..... | 21 |
| 3.2 Kam sa cestuje – pracovné miesta služby, školy aj univerzity (atraktivita) .....                  | 26 |
| 3.3 Spôsob agregovania dát do zón modelu .....                                                        | 28 |
| 4 Výpočtové kroky modelu .....                                                                        | 29 |
| 4.1 Generovanie ciest .....                                                                           | 29 |
| 4.2 Distribúcia ciest .....                                                                           | 32 |
| 4.3 Výber druhu dopravy .....                                                                         | 35 |
| 4.4 Pridelenie na sieť – výber konkrétnej trasy .....                                                 | 39 |
| 4.5 Iteračný cyklus.....                                                                              | 44 |
| 5 Model nákladnej dopravy .....                                                                       | 47 |
| 5.1 Ťažké nákladné vozidlá.....                                                                       | 47 |
| 5.2 Ľahké nákladné vozidlá.....                                                                       | 48 |
| 5.3 Pridelenie ľahkých a ťažkých nákladných vozidiel na cestnú sieť .....                             | 48 |
| 5.4 Nákladné vlaky .....                                                                              | 49 |
| 5.5 Pridelenie nákladných vlakov na železničnú sieť .....                                             | 49 |
| 6 Kalibrácia modelu.....                                                                              | 51 |
| 1. Kalibrácia osobnej dopravy .....                                                                   | 52 |
| 2. Kalibrácia nákladnej dopravy .....                                                                 | 54 |
| 7 Prognózy osobnej a nákladnej dopravy.....                                                           | 55 |
| 7.1 Prognóza osobnej dopravy.....                                                                     | 55 |
| 7.2 Prognóza nákladnej dopravy.....                                                                   | 59 |
| Zoznam skratiek.....                                                                                  | 60 |
| Prílohy.....                                                                                          | 61 |
| Príloha 1: Detailné spracovanie administratívnych registrov .....                                     | 61 |
| Príloha 2: Model výberu dopravy – doplnkové údaje.....                                                | 71 |
| Príloha 3: Spracovanie dát o ťažkých nákladných vozidlách.....                                        | 73 |
| Príloha 4: Elasticitný model vývoja populácie s automobíлом .....                                     | 76 |

**ZOZNAM TABULIEK**

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabuľka 1: Parametre zón pre Trip generation - Slovensko .....                     | 9  |
| Tabuľka 2: Definovanie zahraničných zón .....                                      | 11 |
| Tabuľka 3: Parametre zón pre Trip generation – zahraničie .....                    | 12 |
| Tabuľka 4: Charakterizovanie dopytových vrstiev .....                              | 13 |
| Tabuľka 5: Typy ciest .....                                                        | 16 |
| Tabuľka 6: Parametre VDF funkcií .....                                             | 18 |
| Tabuľka 7: Použité podklady pre vstupné dáta popisujúce zóny modelu .....          | 21 |
| Tabuľka 8: Hybnosť podľa poradia osôb v domácnosti a dní v týždni .....            | 25 |
| Tabuľka 9: Porovnanie hybností podľa typu a dňa vyplnenia prieskumu .....          | 25 |
| Tabuľka 10: Hybnosti dopytových vrstiev .....                                      | 29 |
| Tabuľka 11: Agregácia typov cestujúcich z prieskumu mobility SR .....              | 30 |
| Tabuľka 12: Agregovanie účelu cesty z prieskumu mobility SR .....                  | 30 |
| Tabuľka 13: Funkcie produktivity zón dopytových vrstiev (podľa účelu ciest) .....  | 31 |
| Tabuľka 14: Funkcie atraktivity zón dopytových vrstiev (podľa účelu ciest) .....   | 31 |
| Tabuľka 15: Koefficienty funkcie produkcie pohraničných zón .....                  | 32 |
| Tabuľka 16: Nastavenia parametrov funkcií trip distribution .....                  | 33 |
| Tabuľka 17: Porovnanie priemernej dĺžky cesty podľa dopytových vrstiev .....       | 35 |
| Tabuľka 18: Ukážka trénovacej databázy choice modelu .....                         | 36 |
| Tabuľka 19: Diagnostika pilotného modelu výberu druhu dopravy .....                | 36 |
| Tabuľka 20: Parametre funkcií výberu druhu dopravy podľa klasterov .....           | 37 |
| Tabuľka 21: Počet áut vyplývajúci z obsadenosti vozidiel (podľa dop. vrstvy) ..... | 39 |
| Tabuľka 22: Nastavenia parametrov equilibrium assignment (IAD) .....               | 41 |
| Tabuľka 23: Parametre a nastavenia Timetable assignment - časť 1 .....             | 42 |
| Tabuľka 24: Parametre a nastavenia Timetable assignment - časť 2 .....             | 44 |

**ZOZNAM GRAFOV**

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| Graf 1: Prognóza automobilizácie .....           | 57 |
| Graf 2: Očakávaný vývoj počtu ľudí s autom ..... | 58 |

**ZOZNAM OBRÁZKOV**

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| Obrázok 1: Zonácia Slovenska .....                                   | 10 |
| Obrázok 2: Zonácia zahraničia .....                                  | 11 |
| Obrázok 3: Grafická schéma dopravnej siete podľa teórie grafov ..... | 14 |

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Obrázok 4: Porovnanie distribúcie ciest podľa prieskumu mobility a AMDY .....                 | 34 |
| Obrázok 5: Klastrovanie dopytových vrstiev pre účely definovania parametrov mode choice ..... | 37 |
| Obrázok 6: Vizualizácia výpočtových krokov a kalibrácie modelu .....                          | 45 |
| Obrázok 7: Výstup regresného modelu celoslovenskej automobilizácie.....                       | 56 |
| Obrázok 8: Heatmapa matica relatívnej vzdialenosti medzi dopytovými vrstvami .....            | 71 |
| Obrázok 9: Porovnanie distribúcie ciest.....                                                  | 72 |
| Obrázok 10: Porovnanie výberu módu dopytových vrstiev podľa klastra.....                      | 72 |
| Obrázok 11: Ukážka databázy mýtnych dát.....                                                  | 73 |
| Obrázok 12: Ukážka určenia stavov po skončení algoritmu .....                                 | 74 |
| Obrázok 13: Ukážka databázy ciest.....                                                        | 75 |

## ZOZNAM BOXOV

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Box 1: Zvyčajné nedostatky cestných sietí používaných v dopravných modeloch ..... | 17 |
| Box 3: Timetable assignment - PTV Visum.....                                      | 42 |
| Box 4: Stochastic assignment v PTV Visum .....                                    | 49 |
| Box 5: Incremental assignment v PTV Visum .....                                   | 50 |
| Box 6: Štatistická odchýlka GEH.....                                              | 52 |

## Zhrnutie

---

**Dopravné modelovanie simuluje dopyt po dopravnej infraštruktúre. Analytický model dopravného prognózovania 2025 (AMDY) zahŕňa model súčasného stavu aj prognózu osobnej a nákladnej dopravy do roku 2050.** Cieľom dopravného modelu je optimalizovať dopravný systém, predvídať dopravné toky, identifikovať potenciálne problémy a podporiť rozhodovanie o plánovaní a riadení dopravy. Pomocou matematických vzťahov sú simulované presuny cestujúcich z miesta na miesto. Výstupy sú vyjadrené ako počty vozidiel na cestách a počty cestujúcich vo verejnej osobnej doprave, vrátane ich smerovania.

**Technický report k analytickému modelu dopravného prognózovania 2025 (AMDY) slúži ako technický manuál a príloha k netechnickému reportu.** Kým netechnický report zhrňuje hlavné ciele, plány a výsledky modelu v zrozumiteľnej podobe pre širšiu verejnosť a rozhodovaciu sféru, technický report poskytuje detailný opis použitých dát, metodiky, postupov a výpočtov. Taktiež sú zhrnuté a popísané jednotlivé výpočtové kroky 4-stupňového modelu, kalibračné metódy a popis tvorby dopravných prognóz. Spolu tieto dokumenty vytvárajú komplexný obraz o prístupe k dopravnému modelovaniu a zabezpečujú transparentnosť prognóz.

**Všetky vstupy, ktoré nebolo možné vložiť do jednoduchej tabuľky, vrátane krokov „Procedure sequence“ softvéru PTV Visum sú dostupné na vyžiadanie ako dátová príloha vo forme .xlsx.**

## 1 Úvod do Analytického modelu dopravnej prognózy

Tento dokument opisuje vývoj Analytického modelu dopravnej prognózy (AMDY), ktorý nahradí dopravný model Slovenska z roku 2015. Model vznikol interne pod vedením Ministerstva financií (MF) v spolupráci s Ministerstvom dopravy (MD), a bol čiastočne konzultovaný s dopravnými expertmi firmy SETEC pod záštitou Medzinárodného menového fondu. Cieľom bolo vybudovať interné know-how využiteľné pri regionálnom dopravnom plánovaní. Model rešpektuje slovenské<sup>1</sup> aj britské metodiky (najmä Web-TAG<sup>2</sup>) a sústreďuje sa na dopravné toky po diaľniciach, cestách a železniciach národného významu. Kladie dôraz na jednoduchosť – využíva 236 zón, zjednodušenú cestnú sieť a 17 dopytových vrstiev. Hlavným cieľom je poskytnúť prehľad o infraštruktúre krajiny a identifikovať kľúčové národné a medzinárodné väzby, najmä na hlavných dopravných koridoroch. Podrobnému modelovaniu lokálnych spojení sa nevenuje, keďže tieto sú v kompetencii regiónov. Tento prístup sa označuje ako makroskopický národný dopravný model.

**Analytický model dopravného prognózovania 2025 vznikol postupne od roku 2020.** Model bol vypracovaný na Útvare hodnoty za peniaze (ÚHP) v spolupráci s Inštitútom dopravnej politiky (IDP). Vykalibrovaná verzia (AMDY 2018) na referenčný rok 2018 bola dokončená v júni 2024. Následne boli aktualizované vstupné údaje na rok 2023 a upravené výpočtové kroky do súčasnej podoby AMDY. Súčasná verzia modelu bola finálne kalibrovaná v apríli 2025. Ďalší vývoj modelu bude zahŕňať scenáre vývoja dopravy na Slovensku, ako aj podrobnejšie výpočty prognóz nákladnej dopravy, založené na objeme prepravených a produkovaných komodít na Slovensku a v zahraničí.

**Dopravný model bude môcť slúžiť ako spoločný analytický nástroj pre viaceré inštitúcie pôsobiace v oblasti dopravného plánovania a investícií.** Národná diaľničná spoločnosť, Železnice Slovenskej republiky, Ministerstvo dopravy aj Ministerstvo financií ho budú môcť využívať ako podklad pri spracúvaní štúdií uskutočniteľnosti a vyhodnocovaní investičných projektov. Model poskytne kvantitatívne údaje o očakávaných dopravných tokoch, ktoré sú nevyhnutné pre objektívne posúdenie prínosov a efektívnosti jednotlivých projektov. Zároveň môže slúžiť ako pomocný nástroj pri tvorbe harmonogramu investícií a stanovení ich priorít v rámci národnej dopravnej stratégie, čím prispeje k efektívnejšiemu a dátovo podloženému rozhodovaniu v oblasti dopravnej infraštruktúry. Okrem toho bude model využívaný na dlhodobé plánovanie dopravnej infraštruktúry do roku 2050, čo umožní predvídať a analyzovať budúci vývoj dopravných tokov a potreby v oblasti investícií, a to na základe rôznych scenárov vývoja krajiny a jej hospodárstva.

<sup>1</sup> Metodika dopravného modelovania a dopravných prognóz

<sup>2</sup> <https://assets.publishing.service.gov.uk/media/666af22a50dca4553304f333/tag-unit-m1.1-principles-modelling-forecasting.pdf>

## 2 Štruktúra AMDY

**AMDY, ako makroskopický model dopravného prognózovania, bol vypracovaný s cieľom analyzovať úseky národného a medzi-regionálneho významu.** Z dôvodu makroskopického zamerania modelu bolo nevyhnutné zvoliť zjednodušený prístup k jeho štruktúre. Minimalizoval sa počet kategórií ciest, zón, socio-ekonomických skupín a vrstiev dopytu. Takýto prístup umožnil sústrediť sa na kľúčové vzťahy a trendy dopravného správania, pričom sa zachovala transparentnosť a interpretovateľnosť výsledkov. Kalibrácia modelu bola vykonaná s vopred definovanou množinou vstupných údajov a obmedzeným počtom parametrov, ktoré boli cielene dolaďované so zámerom dosiahnuť čo najlepšiu zhodu s pozorovanou realitou. Zjednodušenie modelu zároveň uľahčilo systematickú kalibráciu, pri ktorej bolo možné upravovať vybrané parametre dopravnej siete (kapacita, voľná rýchlosť, odpor), generovania ciest (produkcia a atrakcia v zónach) a distribúcie ciest. Tento prístup minimalizoval odchýlku modelu od pozorovanej reality a umožnil transparentné a opakovateľné výsledky.

### 2.1 Zonácia

**Zóny dopravného modelu základnými priestorovými jednotkami, do ktorých je rozdelené modelované územie.** Tieto zóny slúžia na zachytenie a analýzu pôvodu a cieľa cestujúcich a dopravy. Správna definícia zón a ich parametrov je kľúčová pre presnosť a funkčnosť dopravného modelu. Zóny predstavujú územia s homogénnymi charakteristikami z hľadiska:

- generovania a priťahovania dopravy (napr. bývanie, práca, služby),
- dostupnosti dopravnej infraštruktúry (napr. cesty, zastávky VOD),
- sociálno-demografických a ekonomických parametrov (napr. počet obyvateľov, zamestnanosť, počet domácností).

Zóny sú definované parametrami, ktoré slúžia ako vstupy pre výpočtové kroky dopravného modelu. Dobre definované zóny umožňujú realistickú simuláciu pohybu osôb a tovaru, identifikáciu dopravných problémov, plánovanie dopravnej infraštruktúry a politik, či hodnotenie vplyvu urbanistických zmien na dopravu. Tabuľka 1 obsahuje prehľad parametrov opisujúcich zónu vrátane členenia populácie podľa ekonomickej aktivity a vlastníctva auta, počtu študentov a žiakov, pracovných miest, mzdy, veľkosti a charakteristík územia. Tieto parametre vstupujú do funkcií tvorby a priťahovania ciest (Generovanie ciest).



Tabuľka 1: Parametre zón pre Trip generation - Slovensko

| Názov parametra    | Popis                                                 | Využitie                                                                |
|--------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| E_C                | Počet ekonomicky aktívnych ľudí s autom               | Dopytová vrstva                                                         |
| E_nC               | Počet ekonomicky aktívnych ľudí bez auta              | Dopytová vrstva                                                         |
| nE_C               | Počet ekonomicky neaktívnych ľudí s autom             | Dopytová vrstva                                                         |
| nE_nC              | Počet ekonomicky neaktívnych ľudí bez auta            | Dopytová vrstva                                                         |
| NUM_STUD_VS        | Počet študentov vysokej školy                         | Dopytová vrstva                                                         |
| NUM_PUP            | Počet detí a žiakov (MŠ/ZŠ/SŠ)                        | Dopytová vrstva                                                         |
| ADD_PROD_W         | Koeficient produktivity (práca)                       | Kalibračný koeficient                                                   |
| ADD_PROD_S         | Koeficient produktivity (služby)                      | Kalibračný koeficient                                                   |
| NOT_ZAHR           | Index domácej zóny                                    | Filtrovací parameter                                                    |
| AV_INCOME          | Priemerná mzda (okres) [€]                            | Parameter atraktivity pracovných ciest                                  |
| ADD_SALARY         | Koeficient úpravy mzdy                                | Kalibračný koeficient                                                   |
| ADD_ATT_W          | Koeficient atraktivity (práca)                        | Kalibračný koeficient                                                   |
| ADD_ATT_S          | Koeficient atraktivity (služby)                       | Kalibračný koeficient                                                   |
| NUM_PM_SMEAR       | Pracovné miesta – decentralizované [počet]            | Parameter atraktivity pracovných a ciest                                |
| NUM_PM             | Pracovné miesta - centralizované <sup>3</sup> [počet] | Parameter atraktivity pracovných a ciest                                |
| NUM_PUP_PLACES     | Počet miest na školách (MŠ/ZŠ/SŠ)                     | Definovanie produktivity ciest žiakov a študentov                       |
| NUM_STUD_VS_PLACES | Počet miest na vysokých školách                       | Definovanie produktivity ciest žiakov a študentov                       |
| POP_ZP             | Populácia zóny                                        | Parameter populácie zóny (produktivita aj atraktivita, SR a zahraničie) |
| POP_MAX_OBEC       | Populácia najväčšej obce zóny                         | Pomocný parameter atraktivity ciest                                     |
| PRENOC_SVK         | Prenocovania (Eurostat)                               | Atraktivita diaľkových ciest                                            |
| AREA               | Plocha zóny                                           | Definovanie intrazonálnych parametrov (čas a rýchlosť)                  |

Zdroj: ÚHP

**Územie je v modeli rozdelené na 236 zón – základných jednotiek modelu.** Každá zóna obsahuje jej charakteristické parametre, primárne demografické a socio-ekonomické údaje. Tie slúžia na odhad počtu začínajúcich (produktivita) a končiacich (atraktivita) ciest v danej zóne. Model obsahuje 202 funkčných a 34 doplnkových zón. Funkčné zóny sú rozdelené na 123 vnútroštátnych a 79 zahraničných zón. Pre každú zónu sú umiestnenia konektorov (Konektory) navrhnuté tak, aby zodpovedali reálnym možnostiam nástupu a výstupu cestujúcich, resp. nákladky a vykládky tovaru. Doplnkové zóny majú za úlohu definovať toky nákladnej dopravy z/do zahraničia ako aj špecifické počiatočné/koncové body nákladných vlakov (napr. Plaveč).

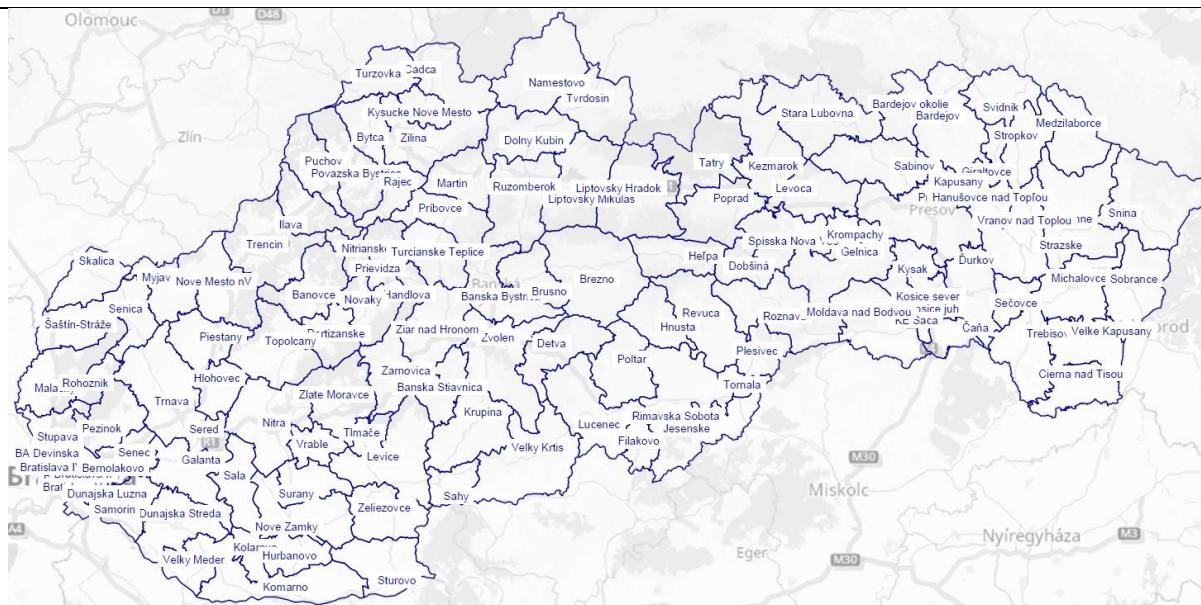
### 2.1.1 Slovensko

Zóny v rámci SR sú založené na okresoch SR, poprípade sú zložené zo skupiny obcí tak, aby boli zachytené výraznejšie vplyvy na medzi-zonálne dopravné toky v rámci okresov aj medzi nimi. Rozdelenie okresov na viac zón sa vo väčšine prípadov týka:

- okresov, ktoré obsahujú dve alebo viac miest s populáciou väčšou ako 5 000 obyvateľov (napr. okres Prievidza),
- okresov, ktoré obsahujú významnú priemyselnú oblasť (napr. okres Levice),
- okresov, ktorých celková plocha je výrazne vyššia od ostatných (napr. okres Brezno).

<sup>3</sup> Centralizované pracovné miesta vychádzajú z registra organizácií, kde sú viazané na sídla firiem a konkrétnu obec. Decentralizované pracovné miesta boli spracované postupom popísaným v kapitole 2 (Vstupné dáta – definovanie atraktivít).

Obrázok 1: Zonácia Slovenska



Zdroj: ÚHP

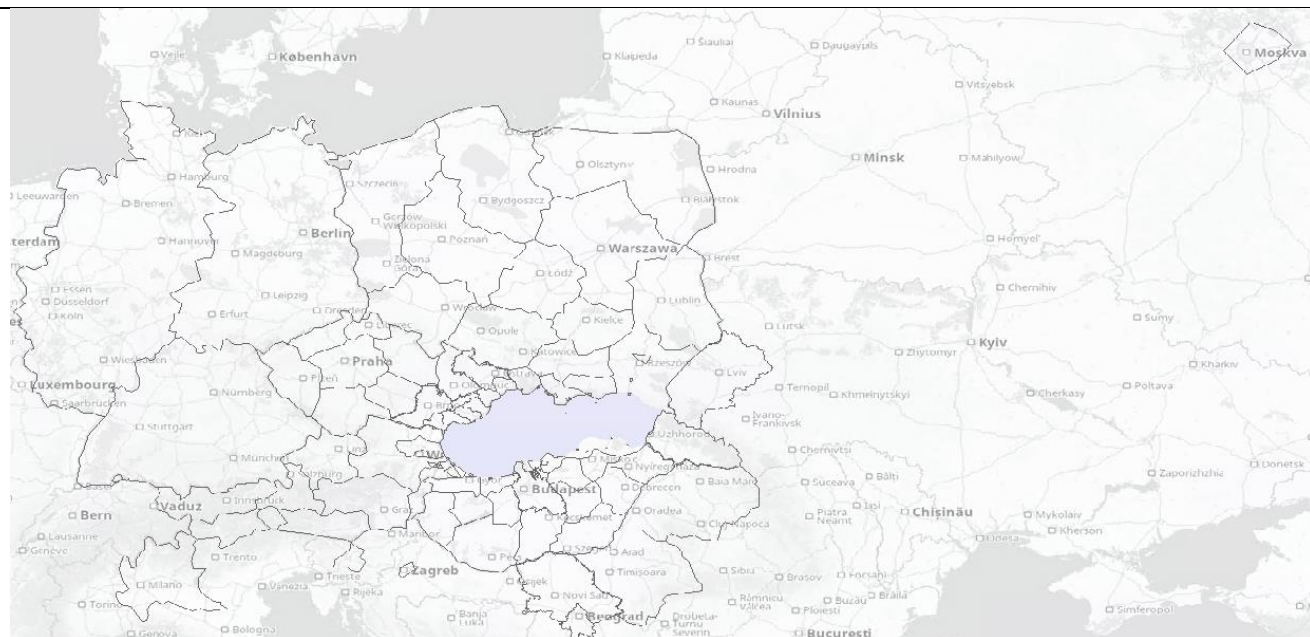
### 2.1.2 Zahraničné zóny

**Modelovanie zahraničia v AMDY umožňuje realistickejšie zachytiť dopravné toky, ktoré vznikajú v dôsledku obchodných, pracovných a kultúrnych väzieb medzi Slovenskom a susednými krajinami.** Veľkosť a hustota zahraničných zón závisí od vzdialenosti od Slovenska a od sily dopravných vzťahov s danou krajinou alebo regiónom. Na Slovensku sú najväčšie dopravné vzťahy s krajinami, ktoré majú najsilnejšie kultúrne a historické väzby (Česko, Rakúsko a Maďarsko) alebo ekonomické väzby (Nemecko a Poľsko). Jednotlivé rozdelenie zahraničných zón popisuje Tabuľka 2.

Mimo územia SR kvôli nedostupnosti údajov nie je možné štandardné modelovanie generovania a distribúcie ciest a výberu dopravného prostriedku. Z toho dôvodu bol zvolený zjednodušený princíp modelovania zahraničných zón a ciest, ktoré vyplývajú od predpokladaných kultúrnych, historických a ekonomických väzieb medzi danou krajinou a SR.

So susednými krajinami so silnými väzbami sa očakáva, že ľudia budú denne dochádzať za prácou (Viedeň, Győr alebo okresy Moravy). Z tohto dôvodu sú tieto regióny rozdelené na menšie jednotky (okresy). Zvyšné krajiny s pre Slovensko významnými obchodnými, zamestnaneckými alebo turistickými väzbami (Francúzsko, Španielsko, Benelux, Balkán a pod.) možno považovať za prepojené trasami prechádzajúcimi už uvedenými zónami, a preto nie je potrebné ich explicitné zobrazenie.

Obrázok 2: Zonácia zahraničia



Zdroj: ÚHP

Tabuľka 2: Definovanie zahraničných zón

| Krajina    | Počet zón | Delenie                              | Centrum zóny                         | Poznámka                                                                                                       |
|------------|-----------|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Česko      | 17        | Kraj (NUTS 3)                        | Okresné mesto                        | Pohraničie delené podľa okresov (LAU1)                                                                         |
| Rakúsko    | 11        | Spolkové krajiny (NUTS 2)            | Hlavné mesto spolkovej republiky     | Pohraničie delené podľa špecifických miest a im priľahlých oblastí, Vorarlberg a Tyrolsko spojené              |
| Maďarsko   | 21        | Regióny (NUTS3)                      | Sídlo župy/významné regionálne mesto | Pohraničie podľa väčších regionálnych miest a im priľahlých oblastí (LAU1), NUTS 3 zlúčené ďaleko od SR hraníc |
| Poľsko     | 16        | Regióny (NUTS2)                      | Okresné mesto/sídlo vojvodstva       | Pohraničie podľa väčších regionálnych miest a im priľahlých oblastí (LAU1), NUTS 2 zlúčené ďaleko od SR hraníc |
| Nemecko    | 3         | Bavorsko, východné a západné Nemecko | Mníchov, Berlín, Düsseldorf          |                                                                                                                |
| Ukrajina   | 2         | L'vov a Zakarpatská oblasť           | L'vov, Užhorod                       |                                                                                                                |
| Rumunsko   | 2         | Západ a Severo-západ krajiny         | Kluž, Temešvár                       |                                                                                                                |
| Srbsko     | 2         | Vojvodina a regióny okolo Belehradu  | Nový Sad, Belehrad                   |                                                                                                                |
| Chorvátsko | 1         | Záhreb a okolité regióny             | Záhreb                               |                                                                                                                |
| Slovinsko  | 1         | Celá Krajina                         | Ljubljana                            |                                                                                                                |
| Taliansko  | 2         | Severné regióny                      | Miláno, Bolzano                      |                                                                                                                |
| Rusko      | 1         | -                                    | Moskva                               |                                                                                                                |

Zdroj: ÚHP

Podobne ako pri vnútroštátnych zónach, aj zahraničné zóny dopravného modelu musia byť riadne definované. Tabuľka 3 bližšie popisuje parametre zahraničných zón a ich využitie pri kalibrácii zón ciest z/do zahraničia. Kalibrácia týchto ciest bola orientovaná tak, aby bol na hraničných priechodoch porovnateľný stav dopravy podľa Celoštátneho sčítania dopravy (CSD), či podľa sčítania cestujúcich vo vlakoch.

Tabuľka 3: Parametre zón pre Trip generation – zahraničie

| Premenná       | Popis                                            | Využitie                               |
|----------------|--------------------------------------------------|----------------------------------------|
| ZAHR_PROD_WORK | Koeficient produktivity (práca - pohraničie)     | Kalibračný koeficient pohraničných zón |
| ZAHR_PORD_SERV | Koeficient produktivity (služby - pohraničie)    | Kalibračný koeficient pohraničných zón |
| ZAHR_ATR_WORK  | Koeficient atraktivity (práca - pohraničie)      | Kalibračný koeficient pohraničných zón |
| ZAHR_ATR_SERV  | Koeficient atraktivity (služby - pohraničie)     | Kalibračný koeficient pohraničných zón |
| POP_ZP         | Populácia zóny                                   | Atraktivita/produktivita               |
| COUNTRY_ADD    | Koeficient produktivity/atraktivity (zahraničie) | Kalibračný koeficient zahraničných zón |
| ZAHR_SUSED     | Index pohraničnej zóny                           | Filtrovací parameter                   |

Zdroj: ÚHP

Vzhľadom na nedostatok presných informácií o zahraničí sú však zahraničné zóny definované zjednodušene. Z toho vyplýva aj otázka, do akej vzdialenosti možno predpokladať významné objemy pohybu osôb a tovaru v cestnej a železničnej doprave tak, aby mali reálny vplyv na rozsiahly dopravný model. S týmto súvisí aj spôsob definovania centroidov zahraničných zón a konektorov, ktorými sú tieto zóny napojené na sieť. Forma napojenia sa líši podľa významu zóny, dostupnosti diaľnic a typu prepojenia (napr. diaľničné napojenie, pohraničné cesty bez diaľničnej známky, alebo napojenie veľkých miest mimo diaľničnej siete).

## 2.2 Dopytové vrstvy

**Dopytové vrstvy predstavujú nástroj na podrobné rozčlenenie dopravného správania obyvateľstva podľa rôznych kritérií, ako sú účel cesty, ekonomická aktivita a spôsob dopravy.** V tomto modeli sa simuluje dopravné správanie počas priemerného pracovného dňa v týždni, bez osobitného rozlíšenia na rannú alebo popoludňajšiu špičku. Zároveň v softvéri PTV Visum dopytové vrstvy umožňujú aj uchovávanie a spracovanie matíc prepravných vzťahov medzi dopravnými zónami.

Pre detailnejší opis dopravného správania rôznych demografických skupín boli podľa účelu cesty a ekonomickej aktivity obyvateľov definované dopytové vrstvy.

Obyvateľstvo bolo kategorizované do nasledujúcich socio-ekonomických skupín:

1. Ekonomicky aktívny s autom (E\_C)
2. Ekonomicky aktívny bez auta (E\_nC)
3. Ekonomicky neaktívny s autom (NE\_C)
4. Ekonomicky neaktívny bez auta (Nn\_nC)
5. Študent (S)

ktoré mohli vykonať cestu za týmito účelmi:

- I. Cesta za prácou (Work)
- II. Cesta za službami (Service)
- III. Diaľková cesta (Long)
- IV. Zahraničná cesta (Foreign)
- V. Cesta do školy (School)

Kombinácie socio-ekonomických skupín a účelov ciest tvoria 17 dopytových vrstiev (Tabuľka 4). Tento prístup umožňuje presnejšie modelovať prepravné správanie obyvateľov počas bežného pracovného dňa a vyhodnocovať dopravné toky podľa sociálno-ekonomických charakteristík populácie.

Tabuľka 4: Charakterizovanie dopytových vrstiev

| Dopytová vrstva | Účel cesty            | Typ cestujúceho                    | Užívateľ osobného automobilu |
|-----------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------------|
| Work_E_C        | Pracovná cesta        | Ekonomicky aktívny                 | Áno                          |
| Work_E_nC       |                       |                                    | Nie                          |
| Work_nE_C       |                       | Ekonomicky neaktívny               | Áno                          |
| Work_nE_nC      |                       |                                    | Nie                          |
| Work_Stud       | Cesta za službami     | Študent vysokej školy <sup>4</sup> | -                            |
| Service_E_C     |                       | Ekonomicky aktívny                 | Áno                          |
| Service_E_nC    |                       |                                    | Nie                          |
| Service_nE_C    |                       | Ekonomicky neaktívny               | Áno                          |
| Service_nE_nC   |                       |                                    | Nie                          |
| Service_Stud    | Dialková cesta        | Študent vysokej školy              | -                            |
| Long_E_C        |                       | Ekonomicky aktívny                 | Áno                          |
| Long_E_nC       |                       |                                    | Nie                          |
| Long_nE_C       |                       | Ekonomicky neaktívny               | Áno                          |
| Long_nE_nC      |                       |                                    | Nie                          |
| Long_Stud       | Zahraničná doprava    | Študent vysokej školy              | -                            |
| Foreign         |                       | Zahraničný                         | -                            |
| School          | Dochádzka do/zo školy | Študenti a žiaci MŠ/ZŠ/SS/VŠ       | -                            |

Zdroj: ÚHP/IP

V kroku výberu dopravy (kap. 2.6) sú následne dopytové vrstvy delené aj podľa preferovaného spôsobu dopravy:

- Individuálna automobilová doprava (IAD) – súkromné vozidlá,
- Verejná doprava (VD) – autobusy, električky, vlaky.

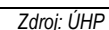
### 2.2.3 Infraštruktúra

**Doprava v AMDY využíva sieť cestných a železničných komunikácií dostupných v roku 2023.** Ide o všetky komunikácie typu železnica, diaľnica a rýchlostná cesta, cesty prvej triedy, cesty druhej triedy s výraznejšími dopravnými tokmi (viac ako odhadom 1 000 áut za deň podľa údajov z Celoštátneho sčítania dopravy) a vo výnimočných situáciách aj niekoľko ciest tretej triedy, ktoré sa vyznačovali vyššou dôležitosťou pre daný región a vykazovali dopravné intenzity približne 1 000 vozidiel denne. Komunikácie s nižšou dôležitosťou (nízke intenzity dopravných tokov) neboli v modeli zahrnuté.

**Infraštruktúra v dopravných modeloch vychádza z princípov teórie grafov, kde uzly predstavujú vrcholy a úseky hrany grafu.** Takto definovaná sieť umožňuje jednoznačne popísať priestorové a kapacitné vzťahy medzi prvkami dopravného systému a je základom pre výpočty priradenia dopytu a simuláciu dopravných tokov.

<sup>4</sup> To, že študenti VŠ využívajú autá je brané do úvahy v časti „obsadenosť vozidiel“ v kapitole 3. – Výpočtové kroky modelu, časť Pridelenie na sieť. Pre účel definovania dopytových vrstiev neboli študenti delení podľa vlastníctva osobného vozidla.





- Uzly (nodes) – body v sieti, kde sa stretávajú linky (napr. križovatky, zastávky, začiatky/konce ciest). Majú súradnice a atribúty (typ uzla, nadmorská výška, funkcia).
- Úseky (links) – úseky medzi dvoma uzlami. Definujú geometriu cesty/koľaje, počet pruhov, kapacitu, rýchlosť, smer (jednosmerný/obojsmerný).
- Konektory (connectors) – špeciálne úseky spájajúce zóny dopytu (centroidy) so sieťou. Slúžia na priradenie dopravného dopytu do siete.
- Odbočenia (turns) – povolené alebo zakázané prechody z jedného linku na iný v rámci uzla, môžu mať atribúty ako čas odbočenia alebo penalizácia.
- Linky VOD (Routes/Lines) – definované postupnosťou úsekov a zastávok, môžu mať grafikony a intervaly.
- Zastávky (Stops) – viazané na konkrétny úsek/link, majú polohu a obsluhu linkami.

**Pre správne navrhnutie dopravnej siete je potrebné definovať uzly.** V PTV Visum a v dopravnom modelovaní sú uzly miesta, kde sa spájajú alebo križujú linky dopravnej siete – typicky križovatky, konce úsekov ciest, zastávky alebo bodové objekty (napr. zastávky verejnej dopravy).

1. Vetvenie diaľnic, ciest I. a II. triedy
2. Štátne hranice
3. Napojenie na zóny, ak nie sú dostatočne blízko vyššie uvedeným typom vetvení

4. Hranice tunela (nižšia povolená rýchlosť)
5. Zastávky verejnej dopravy/vlakové stanice

Začiatky a konce obcí neboli vo všeobecnosti definované, pretože zmeny rýchlostí boli brané do úvahy na samotných úsekoch, ktoré cez obce prechádzali (s výnimkou väčších miest). Vyššie uvedené pravidlá boli porušené vo výnimočných situáciách, a to primárne na úsekoch, kde zmena vlastností dopravnej infraštruktúry výrazne ovplyvňuje priechodnosť úsekov (napr. horské priechody).

#### 2.2.3.2 Cestná sieť

**AMDY zahŕňa primárne cestnú sieť národného a medzinárodného významu (diaľnice, rýchlostné cesty a cesty I. triedy) a sieť regionálneho významu s dôrazom na vyťaženosť úsekov – cesty II. a III. triedy s intenzitami dopravy nad 1000 vozidiel denne.** Tento prístup zohľadňuje primárny účel AMDY, ktorým je modelovať dopravu na makroskopickú úroveň a zohľadňovať zmeny na dopravnej sieti, ktoré ovplyvnia dopravu medzi regiónmi, ideálne národného významu.

Pre AMDY bol navrhnutý zjednodušený prístup tvorby dopravnej siete:

1. Definovať vlastné kategórie ciest, ktoré zodpovedajú reálnym charakteristikám (rýchlosť, kapacita, využitie), nezávisle od formálnej klasifikácie. Tieto kategórie zohľadňujú približné, no reálne vlastnosti prostredia, zakrivenia a šírky ciest.
2. Pre každú kategóriu extrahovať priemernú rýchlosť zodpovedajúcu maximálnej rýchlosti v jednotlivých úsekoch na základe časov jazdy, ktoré možno získať z bežných služieb (napr. Google Maps, Waze alebo NSDI<sup>5</sup> dostupné na Slovensku).
3. Používať jednoduché, no konzistentné parametre pre funkcie závislosti zdržania od objemu dopravy, tzv. VDF funkcie (z ang. Volume Delay functions).
4. Úsek cesty sa rozdeľuje len v nevyhnutných prípadoch, ako sú križovatky, prepojenia zón alebo významnejšie mestské oblasti, a nie na začiatku či konci každého sídla.

Tabuľka 5 približuje typy ciest v AMDY:

<sup>5</sup> Národný systém dopravných informácií

Tabuľka 5: Typy ciest

| Názov                        | Popis                                                                         | Počet pruhov | Kapacita | Rýchlosť bez zaťaženia ( $V_0$ ) | VDF <sup>6</sup> |
|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------|----------------------------------|------------------|
| D-6                          | 3-pruhové diaľničné úseky                                                     | 3            | 35 000   | 105 km/h                         | 9                |
| D-4                          | Úseky D/R v plnom profile                                                     | 2            | 22 500   | 120 km/h                         | 2                |
| D-4 intra                    | Intrazonálne D/R                                                              | 2            | 25 000   | 90 km/h                          | 8                |
| D-2                          | Úseky D/R v polovičnom profile                                                | 1            | 10 000   | 90 km/h                          | 3                |
| I-4 intra                    | Cesta v obci s dvoma jazdnými pruhmi                                          | 2            | 12 500   | 55 km/h                          | 7                |
| I-3/4 extra                  | Cesta mimo obce s dvoma jazdnými pruhmi resp. s predbiehacím pruhom           | 2            | 12 500   | 85 km/h                          | 7                |
| I-2 extra                    | Extravilánová cesta                                                           | 1            | 7 500    | 85 km/h                          | 11               |
| I-2 extra sparse intravilan  | Extravilánová cesta prechádzajúca nízkym podielom intravilánu                 | 1            | 7 500    | 75 km/h                          | 11               |
| I-2 extra medium intravilan  | Extravilánová cesta prechádzajúca podobným podielom intravilánu a extravilánu | 1            | 7 500    | 65 km/h                          | 11               |
| I-2 extra dense intravilan   | Extravilánová cesta prechádzajúca vyšším podielom intravilánu                 | 1            | 7 500    | 55 km/h                          | 12               |
| I-2 extra fast mountain pass | Priamy horský priechod                                                        | 1            | 6 000    | 60 km/h                          | 6                |
| I-2 extra slow mountain pass | Horský priechod s ostrými, pomalými zákrutami                                 | 1            | 5 000    | 50 km/h                          | 6                |
| I-2 city/city-virtual        | Mestské cesty bez obmedzenej kapacity                                         | 1            | 99 999   | 45 km/h                          | 12               |
| I-2 village                  | Cesta v obci                                                                  | 1            | 5 000    | 45 km/h                          | 12               |
| I-2/4 city fast              | Rýchlejšia mestská cesta                                                      | 1            | 12 500   | 60 km/h                          | 7                |
| I-4 extra                    | Mimo-mestská cesta s dvoma alebo viacerými jazdnými pruhmi                    | 2            | 15 000   | 90 km/h                          | 7                |
| D-4_2030+                    | Diaľničné úseky, ktorých otvorenie je očakávané po roku 2030.                 | 2            | 22 500   | 120 km/h                         | 1                |

Zdroj: ÚHP

<sup>6</sup> Popis a definícia v časti „VDF funkcie“



**Box 1: Zvyčajné nedostatky cestných sietí používaných v dopravných modeloch**

Dopravné modely (DM) zvyčajne využívajú cestné siete poskytované orgánmi zodpovednými za údržbu ciest. Tieto siete však vykazujú niekoľko nedostatkov, najmä pre regionálne alebo národné dopravné modely:

Prebytok uzlov a prepojení, ktoré nie sú využívané, čo výrazne nároky na výpočtovú kapacitu.

Zahrnutie ciest nižšieho významu (napr. cesty III. triedy) pre národné dopravné modely. Cesty tretej triedy, často s koncami v lesných oblastiach, nie sú relevantným vstupom pre makroskopický model.

Klasifikácia ciest bez ohľadu na reálne využitie. Cesty môžu byť klasifikované na základe politických kritérií, čo je prípad Slovenska. Dôsledkom toho je, že cesty druhej triedy môžu mať aj tranzitný a celoštátny význam, pričom cesty prvej triedy môžu mať rovnaké parametre ako dvojprúdové rýchlostné komunikácie (R-katégoria).

Rýchlosti aj na prázdnych cestách, ktoré nezodpovedajú skutočnému pohybu vozidiel. Mimo mestských oblastí maximálna povolená rýchlosť nezohľadňuje drobné zakrivenia, spomalenie pred vstupom do urbanizovaných oblastí ani náhodné preferencie jazdy s nižšou rýchlosťou (napríklad kvôli toleranciam v tachometroch). Vo vnútri miest formálne stanovené rýchlosti nezohľadňujú kruhové objazdy alebo semafore, pričom ich zahrnutie by si vyžiadalo podstatne vyšší objem práce, než je potrebné pri modelovaní makroskopických dopravných vzťahov.

**2.2.3.3 Cestná sieť v zahraničí**

**V zahraničí sieť tvorí prevažne diaľničná infraštruktúra, doplnená len výnimočne o iné cesty nevyhnutné pre napojenie zahraničných zón.** Hustota siete sa zvyšuje s približovaním k územiu Slovenska a všetky relevantné hraničné priechody musia mať na zahraničnej strane priame pokračovanie v sieti.

Proces definovania uzlov a úsekov opísaný vyššie slúži predovšetkým na vytvorenie siete v rámci územia domácej krajiny, ohraničeného hraničnými úsekmi. Pre zahraničné úseky však, okrem údajov o čase cesty z Google Maps, nemáme k dispozícii dostatočné a spoľahlivé informácie o parametroch ciest (napr. kapacita, počet pruhov, skutočné rýchlosti).

**2.2.3.4 Kapacity**

**Kapacita úseku (road link capacity) predstavuje maximálny počet vozidiel, ktoré môžu prejsť daným úsekom za stanovený čas.** V prípade AMDY ide o priemerný deň a údaj sa vzťahuje na jeden smer jazdy. Kapacity úsekov slúžia primárne ako parameter VDF (Volume Delay Function) funkcií, čím ovplyvňujú rýchlosť po zaťažení, impedanciu a následne výber trasy a pridelenie na sieť (Časť IV. Pridelenie na sieť – Kapitola 3).

Kapacita linku je v PTV Visum využívaná ako:

- Preddefinovaná priepustnosť úseku (kapacita).
- Parameter vo VDF (Volume Delay Function) na určenie, ako sa mení cestovný čas pri približovaní sa alebo prekročení kapacity.

Kapacitu vo všeobecnosti ovplyvňuje:

- Počet jazdných pruhov (atribút Lanes).
- Typ cesty (diaľnica, mestská komunikácia, vidiecka cesta atď.), ktorý je naviazaný na kategóriu v katalógu typov ciest.
- Prevádzkové podmienky (intravilán/extravilán, obmedzenia, semafore).
- Smer jazdy (každý smer má vlastnú kapacitu).

Kapacity ciest v AMDY boli nastavené primárne podľa technických zásad normy STN 73 6101 spracovanej v blogu ÚHP „[Niekdie diaľnice urgentne chýbajú, inde zívajú prázdnotou](#)“. Tieto kapacity spolu so zvolenými počiatočnými rýchlosťami ( $v_0$ ) vstupujú priamo do VDF funkcií.

### 2.2.3.5 VDF funkcie

**VDF funkcia určuje, ako sa mení rýchlosť alebo cestovný čas na úseku cesty v závislosti od hustoty premávky.** Opisujú nárast cestovného času pri rastúcej hustote dopravy, najmä pri približovaní sa ku kapacite úseku alebo po jej prekročení, a zohrávajú kľúčovú úlohu pri statickom priradovaní dopravy a návrhu dopravných sietí.

VDF funkcie sú v PTV Visum definované nasledujúcim vzorcom:

$$t(q) = t_0(1 + \alpha \cdot \text{sat})^\beta$$

$$\text{sat} = \frac{q}{q_{\max} \cdot c}$$

kde:  $t_0$  – čas za ktorý vozidlo prejde daný úsek pri nulovom zaťažení úseku,

$q$  – zaťaženie úseku v čase  $t(q)$ ,

$\text{sat}$  - hodnota saturácie (maximálneho zaťaženia úseku),

$\alpha, \beta, c$  – parametre daného druhu cesty.

**Model AMDY využíva 12 VDF funkcií, ktoré opisujú špecifické druhy ciest podľa ich kategórie a prevádzkových parametrov.** Keďže VDF špecifické pre Slovensko nie sú k dispozícii, ich počiatočná kalibrácia bola vykonaná na základe údajov o čase cesty z Google Maps – mimo dopravnej špičky (okolo 4:00 ráno) a počas rannej špičky (7:00 – 8:00). Presné určenie parametrov  $\alpha$  a  $\beta$  si vyžaduje rozsiahly výskum, ktorý zatiaľ nie je dostupný, preto boli v prvom kroku odhadnuté jednotné hodnoty pre všetky typy úsekov:  $\alpha = 0,15$  a  $\beta = 4$ . Tieto parametre zodpovedajú miernemu nárastu cestovných časov pri objemoch dopravy blížiacich sa kapacite linku a výraznejšiemu nárastu po jej prekročení.

Konečné, kalibrované parametre pre všetky použité BPR funkcie boli následne určené na základe údajov o priemerných denných intenzitách dopravy a cestovných časoch na vybraných linkoch z Google Maps v čase špičky. Kompletný prehľad VDF funkcií a ich parametrov približuje Tabuľka 6.

**Tabuľka 6: Parametre VDF funkcií**

| Číslo VDF | Názov VDF                                                        | Parameter |         |      |
|-----------|------------------------------------------------------------------|-----------|---------|------|
|           |                                                                  | $\alpha$  | $\beta$ | $c$  |
| 1         | Default <sup>7</sup>                                             | 1         | 2       | 1    |
| 2         | Diaľnice                                                         | 1         | 5,2     | 1,45 |
| 3         | Traditional                                                      | 0,15      | 4       | 1    |
| 5         | Rýchla cesta II triedy.                                          | 1,1       | 5       | 1,1  |
| 6         | Pomalšia cesta II. Tiedy                                         | 1,05      | 5       | 1,05 |
| 7         | Cesta I. triedy - 3/4 pruh                                       | 0,35      | 3,5     | 1    |
| 8         | Diaľnica – intrazonal                                            | 0,5       | 5       | 1,2  |
| 9         | D-6                                                              | 0,85      | 6       | 1,35 |
| 11        | Cesta I. triedy (menší/rovnaký podiel extravilánu a intravilánu) | 0,8       | 3       | 1,4  |
| 12        | Cesta I. triedy – vyšší podiel intravilánu                       | 0,75      | 2       | 1,35 |

Zdroj: ÚHP

### 2.2.3.6 Železnice

**Železničná sieť v modeli zahŕňa väčšinu funkčných železničných tratí na Slovensku a hlavné zahraničné železničné koridory, ktoré zasahujú do zahraničného územia modelu.** Najdôležitejšie trate sú zakreslené pomerne presne podľa mapových podkladov, zatiaľ čo menej významné trate boli zakreslené len približne, tak aby správne zachytávali geografické a funkčné prepojenie jednotlivých úsekov.

<sup>7</sup> Funkcia default je preddefinovaná VDF funkcia v PTV Visum.

Parametre železničnej siete (napr. kapacita, rýchlosti, traťové triedy) sa v modeli explicitne nevyužívajú – v osobnej doprave sa výpočty riadia priamo podľa cestovných poriadkov a teda časy prepravy sa odvíjajú od nich. Pre nákladné vlaky boli priemerné rýchlosti na trati odhadované arbitrárne, podľa stupňa modernizácie a zakrivenia trate (od 35 po 105 km/h).

Model obsahuje aj železničné stanice, ktoré slúžia ako body napojenia zón na infraštruktúru. V osobnej doprave stanice reprezentujú reálny stav existujúcich nástupných a výstupných miest. Vybrané nákladné stanice, ktoré slúžili výlučne ako koncové body nákladných vlakov a boli súčasťou väčšej zóny (napr. Plaveč - zóna Stará Ľubovňa), boli popísané ako doplnkové zóny v sekcii *Zonácia*.

V zahraničí je železničná sieť reprezentovaná hlavnými koridorami a významnými traťami potrebnými na napojenie zahraničných zón a zabezpečenie plynulého pokračovania všetkých relevantných hraničných priechodov. Hustota siete sa zvyšuje s približovaním k územiu Slovenska a prioritne sa zachytávajú prepojenia na veľké mestá a logistické uzly.

## 2.2.4 Konektory

V PTV Visum sa konektory používajú na prepojenie zóny s infraštruktúrou a slúži ako virtuálna cesta medzi zónou a dopravnou sieťou – jeho účelom je realisticky preniesť dopravu zo zóny do siete. Ich základnými parametrami sú vzdialenosť a čas, ktorý musí priemerný cestujúci vynaložiť, aby sa dostal do významného dopravného uzla na sieti v rámci zóny – napr. na zastávku VOD, či čas medzi vyparkovaním a vjazdom na cestu. Vlastnosti konektorov sú úzko prepojené s intrazonálnymi vzdialenosťami, teda dĺžkami a časmi ciest vykonaných vnútri zóny. Dĺžka konektora  $d$  zóny  $i$  je vypočítaná ako polovica intrazonálnej vzdialenosti  $r$ :

$$d_i = \frac{r_i}{2}$$

kde  $r$  je polomer kružnice s rovnakou rozlohou ako má zóna:

$$r_i = \sqrt{\frac{S_i}{\pi}}$$

Plocha zóny  $S$  je vypočítaná ako súčet plôch katastrálnych území obcí nachádzajúcich sa v zóne.

Časy konektorov sú závislé od dopravného prostriedku. Pre vlaky a autobusy sú konštantné na úrovni 20 min pre zóny s dobre dostupnou<sup>8</sup> a 40 min pre zóny s menej dostupnou verejnou dopravou<sup>9</sup>. Konektory pre osobnú a nákladnú cestnú dopravu boli odhadované obdobne ako vzdialenosti, avšak s maximálnou hodnotou 10 min:

$$t_i^{\text{PrT}} = \min\left(\frac{\tau_i}{2}, \frac{1}{6}\right),$$

kde intrazonálny čas  $\tau$ :

$$\tau_i = \frac{r_i}{\omega_i}$$

je funkciou intrazonálnej rýchlosti  $\omega$ :

$$\omega_i = 50 - 35 \sqrt{\frac{\rho_i - \min_i \rho_i}{\max_i \rho_i - \min_i \rho_i}}$$

závislej od hustoty zaľudnenia  $\rho_i$ . Intrazonálna rýchlosť je v hodnote 50 km/h v zóne s najnižšou a 15 km/h v zóne s najvyššou hustotou obyvateľstva<sup>10</sup>. Pri ceste zóna-zóna tým pádom cestujúci cestuje po konektoroch zdrojovej a cieľovej zóny, zatiaľ čo pri intrazonálnych cestách cestujúci používa iba intrazonálnu vzdialenosť.

<sup>8</sup> Vlaková zastávka zóny sa nachádza v rámci mesta (najväčšej obce zóny), poprípade v rámci obce ležiacej na hlavnej železničnej trati (BA-KE, BA-BB a pod.), alebo má zóna v modeli dostupnú autobusovú dopravu.

<sup>9</sup> Železničná stanica zóny sa nachádza mimo obce alebo autobusová doprava s veľmi nízkou frekvenciou.

<sup>10</sup> Zóna Bratislava-Staré mesto bola vyňatá kvôli vysoko nadpriemernej hodnote, jej intrazonálna rýchlosť je konštantná v hodnote 5 km/h. Zahraničné zóny majú intrazonálne rýchlosti konštantné v hodnote 50 km/h.

## 2.2.5 Linky verejnej osobnej dopravy

V AMDY boli zastávky a cestovné poriadky verejnej osobnej dopravy spracované pre vlaky aj autobusy; vlakové spoje boli modelované na základe reálnych dát, zatiaľ čo autobusové linky a vybrané medzinárodné spojenia boli definované zjednodušene. Spojenia a cestovné poriadky verejnej osobnej dopravy boli tvorené na základe dvoch princípov:

1. Vlakové spojenia prechádzajúce územím SR<sup>11</sup> – zahrnuté boli všetky vlakové spojenia, ktoré v akomkoľvek bode obsluhujú územie Slovenska a tým pádom sú obsiahnuté v oficiálnom grafikonu vlakovej dopravy. Vlaky boli určené presným napárovaním dát grafikonu ZSSK s konkrétnymi stanicami a zastávkami tak, aby časové profily presne zachytávali reálne jazdy vlakov v roku 2023.
2. Medzinárodné vlaky: - vybrané medzinárodné vlaky, ktoré neprechádzajú územím Slovenska a teda sa v grafikonu nenachádzajú (napr. Budapešť – Viedeň, Viedeň – Varšava a pod.), no ich zahrnutie zabezpečuje napojenie veľkých zahraničných zón na verejnú hromadnú dopravu. Vlaky boli pridané ad-hoc, ale reálnosť spojenia bola overená pomocou portálu CP.sk.
3. Autobusové linky – tvorené boli ad hoc na základe týchto zásad:
  - Zóny bez vlakového spojenia boli doplnené autobusmi; ak autobus podľa CP.sk premával častejšie ako raz za 2 hodiny, bol v modeli nastavený na frekvenciu 1× za hodinu v čase od približne 6:00 do 22:00.
  - Zóny s intenzívnym spojením s okolitými veľkými mestami (napr. Stupava alebo Pezinok – Bratislava), ktoré de facto fungujú ako prímestské spoje, mali nastavenú vyššiu frekvenciu spojov (80+ za deň).
  - Zahrnuté boli aj diaľkové autobusové linky, najmä na trasách východ/stred Slovenska – Bratislava cez Nitru alebo Trnavu.
  - V zahraničí boli doplnené významné autobusové spoje, predovšetkým na trasách Praha – Brno – Bratislava a ďalších kľúčových medzimestských prepojeniach.

<sup>11</sup> Grafikon vlakovej dopravy 2023: Zdroj ZSSK

### 3 Model osobnej dopravy

Na spracovanie a validáciu vstupných údajov pre dopravný model Slovenska boli využité demografické a socio-ekonomické údaje z 13 administratívnych registrov. Tieto dáta slúžili na určenie produktivity (počet ciest generovaných obyvateľmi) a atraktivity (počet ciest smerujúcich do zóny) jednotlivých zón modelu.

Presné demografické a socio-ekonomické údaje Slovenska slúžia na určenie počtu ciest, ktoré jednotlivé zóny dopravného modelu dokážu generovať a absorbovať, čo je kľúčové pre správne modelovanie dopravných tokov. Pre tento cieľ sa použili dáta z 13 rôznych databáz a administratívnych registrov SR (Tabuľka 7). Kľúčové dáta pre definovanie generovania ciest sú v Tabuľka 1 označené v stĺpci Účel ciest ako Produktivita/Atraktivita zón. Nie všetky datasety boli použité priamo pri spracovaní („Doplnkové údaje“ v Tabuľka 1<sup>4</sup>). Doplnkové údaje slúžili výlučne na kontrolné účely (Register nezamestnaných a Register dôchodcov), iné boli použité ako podporné zdroje (Register zamestnancov a Zamestnanci – zdravotné poistenie).

**Tabuľka 7: Použité podklady pre vstupné dáta popisujúce zóny modelu**

| Názov                                 | Účel dát         | Popis                                                                                     |
|---------------------------------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Register fyzických osôb (RFO)         | Produktivita zón | Občania SR a zahraniční občania žijúci v SR (mimo občanov EU)                             |
| Register zdravotne poistených (ZP)    | Produktivita zón | Zdravotne poistené osoby v SR (vrátane zahraničných obyvateľov pracujúcich/žijúcich v SR) |
| Zamestnanci - sociálne poistenie (SP) | Produktivita zón | Pracujúci občania v SR, vrátane rodičovských dovolení                                     |
| Register vysokoškolských študentov    | Produktivita zón | Zoznam študentov vysokých škôl v SR                                                       |
| Register žiakov                       | Produktivita zón | Zoznam žiakov základných a stredných škôl v SR <sup>12</sup>                              |
| Register motorových vozidiel          | Produktivita zón | Motorové vozidlá registrované v SR                                                        |
| Register organizácií (RO)             | Atraktivita zón  | Firmy a neziskové organizácie registrované v SR                                           |
| Register vysokých škôl                | Atraktivita zón  | Zoznam vysokých škôl a univerzít registrovaných v SR                                      |
| Register škôl                         | Atraktivita zón  | Zoznam materských, základných a stredných škôl registrovaných v SR                        |
| Zamestnanci - zdravotné poistenie     | Doplnkové údaje  | Zoznam zamestnaných osôb podľa zdravotnej poisťovne spolu s mesačným platom               |
| Register zamestnancov                 | Doplnkové údaje  | Zoznam osôb zamestnaných v SR                                                             |
| Register nezamestnaných               | Doplnkové údaje  | Nezamestnané osoby registrované v SR                                                      |
| Register dôchodcov                    | Doplnkové údaje  | Zoznam občanov poberajúcich starobný a invalidný dôchodok v SR                            |

*Zdroj: Dáta štátnych registrov, spracované ÚHP*

**Pre stanovenie produktivity** boli kľúčové údaje z Registra fyzických osôb (RFO), ktoré boli očistené od nerelevantných záznamov a spojené s registrom zdravotne poistených (ZP), aby sa eliminovali osoby dlhodobo žijúce mimo SR. Doplnenie údajov pohraničných pracovníkov zohľadnilo cezhraničné dochádzanie. Ďalej boli identifikovaní ekonomicky aktívni obyvatelia pomocou dát o sociálnom poistení, študenti boli rozdelení podľa školských registrov. Hodnota automobilizácie bola vypočítaná cez prepojenie údajov o vozidlách a obyvateľoch. Populácia bola upravená podľa rozdielov medzi RFO a [Sčítaním obyvateľov](#) (SODB 2021)<sup>13</sup>, najmä v prípade migrujúcej mladej populácie.

**Pri určovaní atraktivity** sa zohľadnili pracovné miesta a študijné kapacity, pričom veľké organizácie a bezpečnostné zložky boli geograficky redistribuované. Na záver bola realizovaná validácia dát porovnaním s referenčnými zdrojmi, čím sa zabezpečila konzistentnosť a spoľahlivosť vstupných údajov pre model.

#### 3.1 Kto model tvorí – demografické, socio-ekonomické a mobilitné charakteristiky (produktivity)

**Produktivita v dopravnom modelovaní zodpovedá počtu ciest, ktoré začínajú v danej zóne podľa jednotlivých dopytových vrstiev a sú založené na špecifických charakteristikách zón za určité časové obdobie, v kontexte AMDY ide o priemerný deň.** Ide o základný parameter používaný pri odhade dopytu po doprave, konkrétne v prvej fáze tzv.

<sup>12</sup> Dochádzka do materských škôl je v AMDY považovaná za intrazonálnu (v rámci obce/okresu bydliska).

<sup>13</sup> Sčítanie obyvateľstva, domov a bytov SR 2021 (2023). Štatistický úrad SR

štvorstupňového modelu dopravy – generovaní ciest (trip generation). Produktivita umožňuje previesť demografické a socio-ekonomické charakteristiky územia (napr. počet obyvateľov) na konkrétny počet vzniknutých ciest.

V softvéri PTV Visum sa pojem produktivita využíva pri počte ciest, ktoré daná zóna vytvorí (je zdrojom). Je definovaná ako atribút zóny a vyjadruje počet ciest na jednotku (napr. na osobu alebo domácnosť) podľa typu cesty (napr. do práce, za službami). Počet produkovaných ciest v zóne sa vypočíta ako súčin hodnoty produktivity a počtu jednotiek produkcie.

### 3.1.1 Počet obyvateľov Slovenska

**Základným datasetom definície produktivity zón bol v prvom kroku upravený Register fyzických osôb (RFO).** Register fyzických osôb Slovenskej republiky obsahuje základné údaje o každej fyzickej osobe registrovanej na území SR. Medzi tieto údaje patria meno, priezvisko, rodné číslo, dátum narodenia, štátna príslušnosť a miesto trvalého, či prechodného pobytu. Register slúži ako centrálna evidencia pre správu identity osôb a ich základných demografických informácií.

RFO k septembru 2023 obsahoval 6 157 452 záznamov, no po úpravách bolo identifikovaných 5 190 737 osôb tvoriacich dopravné toky SR. Pre potreby dopravného modelu je však nutné odstrániť nerelevantné osoby:

- osoby s evidovaným dátumom úmrtia,
- osoby bez dátumu narodenia,
- osoby bez akéhokoľvek evidovaného pobytu,
- kategória „Občania SR bez trvalého pobytu na Slovensku“.

Aj po tejto úvodnej filtrácii zostáva v datasete veľké množstvo osôb, ktoré majú na Slovensku trvalý pobyt, avšak dlhodobo žijú a pracujú v zahraničí. Tieto osoby nepredstavujú aktívnych účastníkov denného dopravného systému v rámci Slovenska. Zároveň sa v datasete nachádzali osoby bez zadaného dátumu úmrtia, ktoré zjavne už nežijú (vek vyšší ako 130 rokov). Tieto údaje boli takisto vymazané z datasetu.

**Presnejšie definovanie ľudí žijúcich na území SR bolo možné prepojením RFO s Registrom zdravotne poistených (ZP) pomocou anonymizovaných rodných čísel.** Predpoklad sa opiera o logiku, že osoby žijúce a pracujúce mimo Slovenska nie sú aktívne registrované v slovenskom systéme zdravotného poistenia. Do ďalšieho spracovania boli ponechané iba tie záznamy z RFO, ktoré mali zároveň záznam v ZP.

#### 3.1.1.1 Zosúladenie údajov o počte obyvateľov so SODB 2021

**Po dokončení spracovania dát bol identifikovaný problém s údajmi o registrovanom pobyte obyvateľov v RFO, a preto bolo potrebné ich zosúladiť s výsledkami Sčítania obyvateľov 2021 (SODB).** Register fyzických osôb vychádza z evidencie trvalého a prechodného pobytu obyvateľstva, zatiaľ čo SODB vychádza z deklarovaného miesta pobytu. Pri porovnaní týchto údajov boli identifikované okresy s výraznými rozdielmi v počtoch obyvateľov. Typickým príkladom sú osoby presúvajúce sa z menej rozvinutých regiónov do väčších miest za pracovnými príležitosťami, pričom túto zmenu pobytu administratívne nezaznamenávajú. Tento jav spôsobuje výrazné rozdiely medzi oficiálnymi a skutočnými údajmi o počte obyvateľov, najmä vo väčších mestských aglomeráciách.

**Na elimináciu tohto skreslenia bola realizovaná korekcia dát úpravou údajov registra fyzických osôb (RFO) k referenčnému roku 2021 a následným porovnaním s výsledkami Sčítania obyvateľov, domov a bytov 2021 (SODB 2021).** Postup zahŕňal tieto kroky:

- 1) Porovnanie obyvateľov upraveného RFO 2023 a SODB2021 podľa okresov – výsledkom bolo identifikovanie významných disproporcií v počtoch obyvateľov, najmä vo vekovej skupine 20–35 rokov, v okresoch: Bratislava I–V, Košice I–IV, Banská Bystrica, Malacky, Pezinok, Hlohovec, Trnava, Senec, Žilina
- 2) Výpočet korekčných pomerov - každú päťročnú vekovú kohortu (0–90+) vypočítanie pomeru medzi počtom obyvateľov podľa SODB 2021 a RFO 2021.
- 3) Úprava údajov v okresoch s nadhodnotenou populáciou - v okresoch s nadmerným počtom obyvateľov vo veku 20–35 rokov aplikácia vypočítaného pomeru (bod 2) na zníženie počtu obyvateľov v danom okrese.



- 4) Nadbytok obyvateľov presunutý (redistribovaný) do okresov s podhodnotenou populáciou tak, aby sa dosiahol maximálny súlad s údajmi SODB 2021.
- 5) Doplnenie údajov o osobách zo zdravotných poisťovní (ZP) – k dátam sa doplnili osoby, ktoré nemali evidovaný pobyt v RFO, ale boli identifikované v databázach ZP. Priradenie týchto osôb k okresom podľa sídla ich zamestnávateľa (na základe prepojenia s registrom organizácií). Korekcia sa týkala najmä pohraničných regiónov a zlepšila súlad medzi RFO a SODB 2021.
- 6) Aplikácia postupu na upravený RFO 2023

### 3.1.1.2 Zvýšenie počtu obyvateľov v pohraničí

Metóda definovania generovania ciest na základe administratívnych registrov má svoje limitácie a môže dôjsť k výnimkám (napr. obyvatelia pohraničia pracujúci mimo SR), avšak bola zvolená ako najpraktickejšie riešenie vzhľadom na dostupnosť dát. Preto bolo potrebné doplniť skupinu pohraničných obyvateľov, ktorí majú trvalý pobyt na Slovensku, no denne dochádzajú za prácou do zahraničia a teda sa v ZP nenachádzajú. Boli definované pohraničné okresy s preukázaným trendom cezhraničného dochádzania:

**Bratislava I–V, Malacky, Senica, Skalica, Myjava, Nové Mesto nad Váhom, Trenčín, Ilava, Púchov, Považská Bystrica, Bytča, Čadca, Dunajská Streda.** Z týchto okresov bol do bázy doplnený 50 % podiel osôb (arbitrárne stanovený pomer) s evidovaným pobytom, no absentujúcich v ZP. Takto bolo pridaných **43 488 osôb** a výsledný dataset v tomto kroku obsahoval **5 171 794 osôb**.

Kvôli migrácii ľudí v rámci EÚ je potrebné zohľadniť aj **18 943 osôb**, ktoré sú evidované v ZP, ale absentujú v RFO. Ide pravdepodobne o občanov EÚ, ktorí nemajú povinnosť registrovať pobyt, no aktívne pracujú a odvádzajú poisťné. Vzhľadom na absenciu údajov o pobyte neboli zaradení do hlavnej bázy, ale budú zohľadnení v rámci modelovania sťahovania obyvateľov ako prídavná vrstva, ktorá bude popísaná v časti „*Sťahovanie podľa sčítania obyvateľstva*“.

Po aplikácii vyššie uvedených selekčných a doplňovacích pravidiel obsahuje upravený RFO (modelová báza) **5 190 737 osôb**, ktorí reprezentujú relevantnú populáciu pre potreby modelovania dennej dopravy v rámci SR.

Okrem toho sú do modelu ad hoc doplnené aj určité dopravné vzťahy medzi Slovenskom a pohraničnými oblasťami prostredníctvom koeficientov pohraničných zón, popísaných v kapitole 1, časť „*Zahraničné zóny*“. Tieto koeficienty zvyšujú produktivitu a atraktivitu pohraničných zón pre pracovné cesty a cesty za službami a ich hodnoty sú kalibrované tak, aby intenzity dopravy na hraničných prechodoch odrážali reálnu situáciu (na základe kalibračných údajov) v spojení s dopytovou vrstvou „*Zahraničie*“.

### 3.1.1.3 Rozdelenie obyvateľstva podľa ekonomickej aktivity

**Obyvatelia SR podľa ekonomickej aktivity boli definovaní spojením upraveného RFO s datasetom Zamestnanci – sociálne poistenie (SP) podľa toho, či vykazujú ekonomickú činnosť (zamestnanec/SZČO), alebo nie.** Každý zamestnanec v SR, vrátane SZČO, hradí sociálne poistenie<sup>14</sup> a teda by sa mal nachádzať v datasete SP. Pokiaľ išlo o zamestnancov bezpečnostných, či silových zložiek, tieto osoby často nefigurujú v databázach SP, keďže sú poistené cez samostatné systémy. Na identifikáciu tejto skupiny boli použité údaje zo ZP – konkrétne zamestnanci ministerstva obrany, vybraní zamestnanci ministerstva financií (Colná správa), Slovenskej informačnej služby, Národného bezpečnostného úradu a ministerstva vnútra – tí boli zapísaní v registri ZP a zároveň chýbali v SP.

Ekonomicky neaktívni obyvatelia boli určení ako rozdiel medzi celkovou populáciou danej zóny a súčtom ekonomicky aktívnych osôb a študentov. Alternatívna metóda, založená na kombinácii dát z registrov tak, ako pri definovaní ekonomicky aktívnych obyvateľov bola zamietnutá z dôvodu väčšej časovej náročnosti a vyššieho rizika nekonzistencií. Výsledná hodnota počtu ekonomicky neaktívnych z rozdielu celkovej populácie SR a ekonomicky aktívnych obyvateľov (1 670 309) bola porovnateľná s oficiálnymi údajmi o ekonomicky neaktívnych obyvateľoch (rozdiel -0,6 %), čo potvrdzuje validitu použitej metódy.

<sup>14</sup> SZČO v momentálnom nastavení systému v prvom roku nehradia sociálne poistenie a teda nie sú zahrnutí v datasete.

**Rozdelenie žiakov a študentov do zón bolo realizované na základe údajov z centrálnych registrov škôl, univerzít a študentov, zatiaľ čo ich bydlisko vyplývalo z údajov z RFO.** V prípade materských, základných a stredných škôl boli žiaci priradení k príslušnej vzdelávacej inštitúcii pomocou identifikačného kódu školy (EUID).

Osobitnou skupinou sú zahraniční študenti študujúci na Slovensku, ktorých identifikácia bola možná vďaka špecifickému formátu rodného čísla, ktorý však nie je kompatibilný s údajmi v RFO. Keďže o tejto skupine osôb je k dispozícii obmedzené množstvo informácií, bol im priradený pobyt totožný s miestom sídla univerzity, ku ktorej boli v registri univerzít priradení. Táto skupina nie je zahrnutá do výpočtov populácie ani do analýz ekonomickej aktivity, vrátane evidencie nezamestnanosti, vzhľadom na predpoklad minimálnej interakcie s medzizónnou dopravou a nízkeho dopravného dosahu mimo univerzitného areálu.

#### 3.1.1.4 Rozdelenie obyvateľstva podľa dostupnosti auta

**Pre opísanie odlišného dopravného správania obyvateľov bolo potrebné taktiež určiť, či obyvatelia SR sú užívateľmi osobných motorových vozidiel.** Dáta z prieskumu mobility ukazujú, že ľudia cestujú rozdielne podľa toho, či majú k dispozícii osobné auto – líšia sa v počte a dĺžke ciest, ako aj vo výbere dopravného prostriedku za daným účelom cesty.

Na určenie, či fyzická osoba využíva motorové vozidlo, boli údaje z Registra motorových vozidiel prepojené s údajmi o fyzických osobách a ich ekonomickej aktivite. Vozidlá evidované na právnické osoby a na SZČO (s výnimkou jednoosobových subjektov) boli agregované dokopy a následne rozdelené do územných jednotiek (zón) na základe populácii zón.

Záverečným krokom bolo prispôbenie počtu vozidiel k sťahovaniu obyvateľstva podľa SODB 21. Pri presune obyvateľov medzi zónami sa k nim priradil aj zodpovedajúci počet áut, ktorý vychádzal z celoslovenského priemeru automobilizácie. To znamená, že počet presťahovaných obyvateľov bol vynásobený priemernou hodnotou automobilizácie v SR a výsledok bol pripočítaný k pôvodnej automobilizácii danej zóny. Inými slovami, spolu s presunutými obyvateľmi sa „presunul“ aj odhadovaný počet osobných vozidiel, ktoré by títo obyvatelia vlastnili, aby sa zachovala konzistentnosť medzi sťahovaním obyvateľov a mierou automobilizácie. Výpočet ukázal, že približne 47 % presťahovaných obyvateľov si so sebou „zobrali“ aj auto – tento podiel vyplýva z priemernej automobilizácie SR 477 áut na 1 000 obyvateľov vypočítanej v predchádzajúcom kroku.

Na základe týchto dát bolo taktiež možno určiť hodnotu automobilizácie pre ďalšie kroky modelu (Prognóza automobilizácie SR). Hodnota automobilizácie pre jednotlivé zóny bola určená ako podiel počtu registrovaných vozidiel a počtu obyvateľov danej zóny.

#### 3.1.2 Prieskum mobility SR a hybnosť obyvateľov

**Na definovanie cestovného správania osôb bol využitý [Prieskum mobility SR](#) z roku 2015<sup>15</sup>, ktorý po očistení predstavoval vzorku cca 25 tisíc ciest a 10 tisíc osôb.** Prieskum mobility slúžil na odhadovanie a definovanie:

- hybností v modeli generovania ciest,
- parametrov kriviek v distribučnom modeli,
- klastrov pri klasifikácii dopytových vrstiev,
- koeficientov účelových funkcií v modeli výberu dopravného prostriedku,
- obsadenosti automobilov podľa dopytovej vrstvy.

Prieskum sa konal v roku 2015 na vzorke 10 tisíc domácností, pozostávajúcich z cca 15 tisíc respondentov. Opytovaná osoba vyplňala informácie o domácnosti, jej lokalite, vzdialenosti od najbližšej zastávky, o dopravných prostriedkoch, ktoré vlastní. Nasledovali informácie o osobách žijúcich v domácnosti, ich ekonomickej aktivite, pohlaví, veku, atď. Každý z členov domácností v dvoch skúmaných dňoch vyplňal dotazníky o svojich cestách, o ich čase, dĺžke, účele, využitých dopravných prostriedkoch, atď. Celkovo bolo vyplnených vyše 65 tisíc ciest. Respondenti boli vyberaní pomocou reprezentatívnej vzorky,

<sup>15</sup> Prieskum mobility (2015). AF&Partners



aby všetky socio-ekonomické skupiny mali zastúpenie. Pre každú cestu a osobu boli vypočítané prevažovacie koeficienty, aby zastúpenie skupiny vo vzorke bolo porovnateľné so zastúpením v celej populácii.

**V dopravnom modelovaní sa hybnosť definuje ako priemerný počet ciest uskutočnených jednou osobou za určitý časový úsek (zvyčajne za deň).** Ide teda o ukazovateľ cestovnej aktivity obyvateľstva, ktorý hovorí, koľko ciest v priemere pripadá na jedného obyvateľa danej populácie. Pre každú dopytovú vrstvu, teda kombináciu typu cestujúceho a účelu cesty bola odhadnutá hybnosť  $h$  cez pomer počtu ciest a počtu osôb:

$$h = \frac{\sum_i k_i^C}{\sum_j k_j^O},$$

kde  $k^C$  je koeficient cesty,  $k^O$  koeficient osoby.

Databáza ciest prešla dodatočným čistením a spracovaním. Jedným z problémov pôvodného spracovania bol štatisticky významne nižší počet ciest (hybnosť) u druhých a tretích osôb v domácnosti a počas druhého skúmaného dňa (Tabuľka 8).

**Tabuľka 8: Hybnosť podľa poradia osôb v domácnosti a dní v týždni**

| Osoba (poradie v domácnosti) | Deň (poradie) | Hybnosť ( $h$ ) |
|------------------------------|---------------|-----------------|
| 1                            | 1             | 2,75            |
|                              | 2             | 1,85            |
| 2                            | 1             | 1,72            |
|                              | 2             | 1,50            |
| 3                            | 1             | 1,56            |
|                              | 2             | 1,37            |
| <b>Celkom</b>                | -             | <b>2,06</b>     |

*Zdroj: Prieskum mobility SR 2025, spracované IDP*

Rozdiel v hybnostiach bol prítomný aj v rámci rovnakých skupín obyvateľov (**Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**).

**Tabuľka 9: Porovnanie hybností podľa typu a dňa vyplnenia prieskumu**

| Osoba                           | Deň 1 | Deň 2 |
|---------------------------------|-------|-------|
| Zamestnanec                     | 3,58  | 2,67  |
| Podnikateľ / SZČO / živnostník  | 3,89  | 2,94  |
| Študent / žiak                  | 3,3   | 2,66  |
| Materská / rodičovská dovolenka | 3,77  | 3,06  |
| V domácnosti                    | 4,21  | 2,53  |
| Dôchodca                        | 3,33  | 2,73  |
| Nezamestnaný                    | 3,56  | 2,76  |

*Zdroj: Prieskum mobility SR 2015, spracované IDP*

**Pri analýze sa zistilo, že denníky ciest neboli dôsledne vyplňané, čo spôsobilo veľký rozdiel medzi počtami ciest na osobu, ktorý v skutočnosti nemal reálne opodstatnenie.** Do výpočtov boli zahrnuté hlavne záznamy „prvej osoby v domácnosti“, zatiaľ čo záznamy „druhej a tretej osoby“ sa použili len v prípade, ak išlo o žiakov alebo študentov základných a stredných škôl.<sup>16</sup>

Okrem počtov ciest na osobu sa spochybnila aj dôveryhodnosť niektorých uvádzaných parametrov ciest. V dátach sa vyskytli nereálne kombinácie:

- zdroj a cieľ cesty, ktoré spolu logicky nesesedeli,
- dĺžka a čas cesty, ktoré neboli v súlade,

<sup>16</sup> Rozdiely v dopravnom správaní sa vyskytovali medzi osobami aj pri rovnakých ekonomických aktivitách (pracujúca osoba, dôchodok, materská dovolenka, atď.).

- nesprávny typ dopravného prostriedku.

Pre overenie hodnovernosti sa uvádzané vzdialenosti porovnali s najkratšou cestou medzi zdrojom/cieľom cesty po cestnej sieti. Ak bola deklarovaná vzdialenosť podobná<sup>17</sup> tejto najkratšej trase, údaje o zdroji a cieľi sa považovali za správne. V prípadoch, kde bol uvádzaný čas cesty nereálny, bol čas odhadnutý podľa dĺžky trasy a druhu dopravného prostriedku. Ak sa pri niektorej ceste nepodarilo nájsť žiadnu reálnu kombináciu času a vzdialenosti, respondent, ktorý ju uviedol, bol zo vzorky vyradený<sup>18</sup>. Po očistení dát sa vypočítali prevažovacie koeficienty pre osoby. Tieto koeficienty vyrovnávali podiel jednotlivých skupín obyvateľstva vo vzorke tak, aby zodpovedali aktuálnej štruktúre populácie SR<sup>19</sup>. Korekcia sa robila podľa regiónu, typu obce, pohlavia, oblasti, veku a ekonomickej aktivity. Podobný postup sa použil aj pri cestách – vytvorili sa koeficienty podľa typu dňa (pracovný deň, prázdniny, voľno) a podľa toho, ktorá osoba cestu vykonala.

### 3.2 Kam sa cestuje – pracovné miesta služby, školy aj univerzity (atraktivita)

**Atraktivita vyjadruje schopnosť zóny pôsobiť ako cieľ cestovania, teda prijať isté množstvo ciest, ktoré smerujú do danej lokality.** Vyjadruje sa ako počet ciest na jednotku atrakcie, ktorou môže byť napríklad počet pracovných miest, študijných kapacít alebo počet prenocovaní turistov. Tento ukazovateľ je dôležitý pri určovaní dopytu po doprave a pomáha modelovať, kam ľudia cestujú.

V prostredí PTV Visum sa atraktivita nastavuje ako zónový atribút podľa účelu cesty (napríklad zamestnanie, vzdelanie, služby) a vypočíta sa ako súčin hodnoty atraktivity na jednotku a počtu jednotiek atrakcie v zóne. Tieto údaje slúžia na určenie počtu ciest, ktoré zóna dokáže priťahovať, a sú základom pre ďalšie kroky modelovania prúdov medzi zónami.

V kontexte AMDY bola atraktivita zón pre pracovné cesty stanovená ako:

- Počet pracovných miest v danej zóne podľa administratívnych registrov, ktoré boli spracované na základe Identifikačného čísla organizácie (IČO).
- Pre samostatne zárobkovo činných osobách bez pevného pracoviska sa za pracovné miesto uvažoval ich trvalý pobyt.
- Zamestnanci veľkých organizácií s viacerými prevádzkami, ktorí sú administratívne vedení na centrálnej adrese (často v Bratislave), boli redistribuovaní do jednotlivých zón podľa počtu obyvateľov. Táto úprava sa týkala najmä:
  - bánk,
  - štátnych inštitúcií,
  - maloobchodných sietí,
  - personálnych agentúr

#### 3.2.2.1 Osobitný prístup bol zvolený pri zamestnancoch v bezpečnostných zložkách (polícia, hasiči, ozbrojené sily), pri ktorých nebolo možné spoľahlivo určiť geografickú lokalitu výkonu práce. Po ich zaradení medzi štátnych zamestnancov (Zosúladienie údajov o počte obyvateľov so SODB 2021)

Po dokončení spracovania dát bol identifikovaný problém s údajmi o registrovanom pobyte obyvateľov v RFO, a preto bolo potrebné ich zosúladiť s výsledkami Sčítania obyvateľov 2021 (SODB). Register fyzických osôb vychádza z evidencie trvalého a prechodného pobytu obyvateľstva, zatiaľ čo SODB vychádza z deklarovaného miesta pobytu. Pri porovnaní týchto údajov boli identifikované okresy s výraznými rozdielmi v počtoch obyvateľov. Typickým príkladom sú osoby presúvajúce sa z menej rozvinutých regiónov do väčších miest za pracovnými príležitosťami, pričom túto zmenu pobytu administratívne nezaznamenávajú. Tento jav spôsobuje výrazné rozdiely medzi oficiálnymi a skutočnými údajmi o počte obyvateľov, najmä vo väčších mestských aglomeráciách.

<sup>17</sup> Rozdiel do 20%.

<sup>18</sup> Ak by sa zahodila iba nedôveryhodná cesta a ostatné by boli ponechané, skresľovalo by to celkovú hybnosť obyvateľstva.

<sup>19</sup> Údaje o stave obyvateľstva podľa veku, regiónu, typu obce a pohlavia za rok 2018 prevzaté a spracované zo ŠÚ SR.

Na elimináciu tohto skreslenia bola realizovaná korekcia dát úpravou údajov registra fyzických osôb (RFO) k referenčnému roku 2021 a následným porovnaním s výsledkami Sčítania obyvateľov, domov a bytov 2021 (SODB 2021). Postup zahŕňal tieto kroky:

- 7) Porovnanie obyvateľov upraveného RFO 2023 a SODB2021 podľa okresov – výsledkom bolo identifikovanie významných disproporcií v počtoch obyvateľov, najmä vo vekovej skupine 20–35 rokov, v okresoch: Bratislava I–V, Košice I–IV, Banská Bystrica, Malacky, Pezinok, Hlohovec, Trnava, Senec, Žilina
- 8) Výpočet korekčných pomerov - každú päťročnú vekovú kohortu (0–90+) vypočítanie pomeru medzi počtom obyvateľov podľa SODB 2021 a RFO 2021.
- 9) Úprava údajov v okresoch s nadhodnotenou populáciou - v okresoch s nadmerným počtom obyvateľov vo veku 20–35 rokov aplikácia vypočítaného pomeru (bod 2) na zníženie počtu obyvateľov v danom okrese.
- 10) Nadbytok obyvateľov presunutý (redistribovaný) do okresov s podhodnotenou populáciou tak, aby sa dosiahol maximálny súlad s údajmi SODB 2021.
- 11) Doplnenie údajov o osobách zo zdravotných poisťovní (ZP) – k dátam sa doplnili osoby, ktoré nemali evidovaný pobyt v RFO, ale boli identifikované v databázach ZP. Priradenie týchto osôb k okresom podľa sídla ich zamestnávateľa (na základe prepojenia s registrom organizácií). Korekcia sa týkala najmä pohraničných regiónov a zlepšila súlad medzi RFO a SODB 2021.
- 12) Aplikácia postupu na upravený RFO 2023

### 3.2.2.2 Zvýšenie počtu obyvateľov v pohraničí

Metóda definovania generovania ciest na základe administratívnych registrov má svoje limitácie a môže dôjsť k výnimkám (napr. obyvatelia pohraničia pracujúci mimo SR), avšak bola zvolená ako najpraktickejšie riešenie vzhľadom na dostupnosť dát. Preto bolo potrebné doplniť skupinu pohraničných obyvateľov, ktorí majú trvalý pobyt na Slovensku, no denne dochádzajú za prácou do zahraničia a teda sa v ZP nenachádzajú. Boli definované pohraničné okresy s preukázaným trendom cezhraničného dochádzania:

**Bratislava I–V, Malacky, Senica, Skalica, Myjava, Nové Mesto nad Váhom, Trenčín, Ilava, Púchov, Považská Bystrica, Bytča, Čadca, Dunajská Streda.** Z týchto okresov bol do bázy doplnený 50 % podiel osôb (arbitrárne stanovený pomer) s evidovaným pobytom, no absentujúcich v ZP. Takto bolo pridaných **43 488 osôb** a výsledný dataset v tomto kroku obsahoval **5 171 794 osôb**.

Kvôli migrácii ľudí v rámci EÚ je potrebné zohľadniť aj **18 943 osôb**, ktoré sú evidované v ZP, ale absentujú v RFO. Ide pravdepodobne o občanov EÚ, ktorí nemajú povinnosť registrovať pobyt, no aktívne pracujú a odvádzajú poisťné. Vzhľadom na absenciu údajov o pobyte neboli zaradení do hlavnej bázy, ale budú zohľadnení v rámci modelovania sťahovania obyvateľov ako prídavná vrstva, ktorá bude popísaná v časti „*Sťahovanie podľa sčítania obyvateľstva*“.

Po aplikácii vyššie uvedených selekčných a doplnovacích pravidiel obsahuje upravený RFO (modelová báza) **5 190 737 osôb**, ktorí reprezentujú relevantnú populáciu pre potreby modelovania dennej dopravy v rámci SR.

Okrem toho sú do modelu ad hoc doplnené aj určité dopravné vzťahy medzi Slovenskom a pohraničnými oblasťami prostredníctvom koeficientov pohraničných zón, popísaných v kapitole 1, časť „*Zahraničné zóny*“. Tieto koeficienty zvyšujú produktivitu a atraktivitu pohraničných zón pre pracovné cesty a cesty za službami a ich hodnoty sú kalibrované tak, aby intenzity dopravy na hraničných prechodoch odrážali reálnu situáciu (na základe kalibračných údajov) v spojení s dopytovou vrstvou „*Zahraničie*“.

- ) boli následne distribuované rovnakou metodikou ako ostatné centralizované profesie.
- Pre cesty do školy bola atraktivita definovaná ako počet miest v školách a univerzitách, určený podľa identifikačného kódu školy (EDUID). Rozdelenie študentov do zón bolo realizované na základe údajov z centrálnych registrov škôl, univerzít a študentov. Definícia atraktivity škôl vychádzala z geografickej polohy škôl a počtu zapísaných študentov. Pri univerzitných študentoch bol aplikovaný obdobný prístup, avšak s dôrazom na korekciu geografickej lokácie študijného miesta v prípadoch, keď sa fakulty nachádzali v inom meste ako materská univerzita.

### 3.2.3 Validácia vstupných údajov

Za účelom overenia konzistentnosti a zmyslupnosti vstupných dát bola realizovaná systematická verifikáciu a porovnávanie s referenčnými štatistickými zdrojmi, aby bolo zaručené, že výsledky neobsahujú zásadné nezrovnalosti. Cieľom bolo zistiť, či nedochádza k nelogickým nárastom alebo poklesom populácie v jednotlivých zónach, a overiť, či celkové počty obyvateľov v okresoch približne zodpovedajú realite.

Postup zahŕňal:

- Porovnanie aktuálnych údajov (2023) s historickými verziami datasetov (2018, z predchádzajúceho modelu) za účelom identifikácie výrazných zmien v počtoch obyvateľov a miere automobilizácie.
- Overenie súladu s výsledkami Sčítania obyvateľov, domov a bytov 2021 (SODB 2021), so zameraním na premennú „súčasný pobyt“, pričom údaje boli spätne upravené na referenčný rok 2021, aby bola zabezpečená numerická porovnateľnosť.
- Kontrolu ďalších kľúčových ukazovateľov (zamestnanosť, počet dôchodcov, vlastníctvo vozidiel) voči oficiálnym štatistikám.

Za akceptovateľnú hranicu odchýlky medzi údajmi zo vstupov do AMDY a údajmi z roku 2018, ako aj s údajmi zo SODB 2021 bola stanovená hodnota  $\pm 10\%$ , pričom sa zohľadnil prirodzený nárast alebo pokles obyvateľstva v čase. Hodnoty prekračujúce hranicu boli považované za indikátor možného nesúladu a podnet na detailnejšiu analytickú revíziu alebo metodickú korekciu.

Po overení, že vstupné údaje sa nachádzajú v rámci definovanej odchýlky, bolo možné ich považovať za vhodné na určenie atribútov zón modelu. Cieľom porovnaní nebolo dosiahnuť úplnú zhodu s alternatívnymi zdrojmi, keďže tie vychádzajú z rozdielnych metodík a často obsahujú vlastné nepresnosti, ale identifikovať anomálie a disproporcie, ktoré by mohli skresľovať výsledky modelovania a analýz.

### 3.3 Spôsob agregovania dát do zón modelu

Dáta z administratívnych registrov boli po agregovaní parametrov (napr. obyvateľov/pracovných miest) do obcí v poslednom kroku agregované podľa kódu obce do zón dopravného modelu. Pri agregácii na zóny boli kľúčovými údajmi:

- Trvalý/prechodný pobyt podľa Registra fyzických osôb – produktivita zón
- Sídlo organizácie podľa Registra organizácií, sídlo školy (ZŠ/SŠ/VŠ) podľa Registra škôl a registra vysokých škôl – atraktivita zón

Prevodník, definujúci ktoré obce patria do jednotlivých zón, je možné nájsť v dátovej prílohe pod názvom „zony\_base“.

## 4 Výpočtové kroky modelu

AMDY je založený na princípe “4-stupňového” modelovania. Jednotlivé stupne sú:

- **generovanie ciest** - koľko ciest začína a končí v danej zóne podľa účelu (práca, servis, diaľková a zahraničná cesta a cesta do/zo školy) a typu cestujúceho (ekonomicky aktívny/neaktívny a s/bez auta, či študent), ktorý danú cestu vytvára,
- **distribúcie ciest** – koľko ciest je tvorených medzi konkrétnymi zónami. Distribučná funkcia určuje pravdepodobnosť vykonania cesty určitej dĺžky na základe účelu cesty a demografickej skupiny cestujúceho. Výstupom je tabuľka, OD-matica (origin-destination), ktorá zobrazuje počet ciest medzi konkrétnymi zónami, teda počet ciest vykonaných z miesta pôvodu do cieľovej zóny,
- **výber druhu dopravy (deľba prepravnej práce)** - aký druh dopravy si cestujúci zvolí pre vykonanie danej cesty (auto s/bez diaľničnej známky, verejná doprava),
- **pridelenie na sieť** - špecifický výber trasy modelom tak, aby bol čas/odpor vykonanej cesty minimalizovaný.

### 4.1 Generovanie ciest

**Generovanie ciest určuje zdroje a ciele ciest podľa vlastností modelových zón.** V tomto kroku sa demografické a socio-ekonomické údaje o zónach používajú ako premenné rovníc vytvárania a priťahovania ciest. Vygenerované cesty sa delia podľa toho, kto ich vykonáva a za akým účelom je daná cesta generovaná. Kombinácia účelov ciest a typu cestujúceho tvorí tzv. dopytové vrstvy. Tvorené sú kombináciou typu cestujúceho podľa ekonomickej aktivity, využitia osobného vozidla a toho, za akým účelom je cesta vykonaná. Výsledkom týchto kombinácií je 17 dopytových vrstiev, ktoré opisuje Tabuľka 10. Delenie na dopytové vrstvy umožňuje presnejšie opísať správanie modelovaných „cestujúcich“ a definovať ich hybnosť.

Tabuľka 10: Hybnosti dopytových vrstiev

| Dopytová vrstva  | Priemerná hybnosť<br>(Počet ciest/deň) |
|------------------|----------------------------------------|
| Work_E_C         | 0,86                                   |
| Work_E_nC        | 0,67                                   |
| Work_nE_C        | 0,08                                   |
| Work_nE_nC       | 0,02                                   |
| Work_Stud        | 0,03                                   |
| Service_E_C      | 1,32                                   |
| Service_E_nC     | 0,58                                   |
| Service_nE_C     | 1,55                                   |
| Service_nE_nC    | 0,57                                   |
| Service_Stud     | 0,45                                   |
| Long_E_C         | 0,08                                   |
| Long_E_nC        | 0,05                                   |
| Long_nE_C        | 0,06                                   |
| Long_nE_nC       | 0,03                                   |
| Long_Stud        | 0,08                                   |
| Foreign          | 0,19                                   |
| School (PUP)     | 0,32                                   |
| School (STUD_VS) | 0,16                                   |

Zdroj: ÚHP

Hybnosti boli odhadnuté na základe prieskumu mobility (Prieskum mobility SR a hybnosť). Typy cestujúcich a účely ciest v prieskume boli agregované do jednoduchšej kategorizácie modelu (Tabuľka 11).

Tabuľka 11: Agregácia typov cestujúcich z prieskumu mobility SR

| Typ cestujúceho – prieskum mobility                     | Typ cestujúceho – AMDY |
|---------------------------------------------------------|------------------------|
| 1 - Zamestnanec                                         | Ekonomicky aktívny     |
| 2 - Podnikateľ / SZČO / živnostník / slobodné povolanie |                        |
| 3 - Študent / žiak                                      |                        |
| 4 - Materská / rodičovská dovolenka                     | Ekonomicky neaktívny   |
| 5 - V domácnosti                                        |                        |
| 6 - Dôchodca                                            |                        |
| 7 - Nezamestnaný                                        |                        |
| 8 - Niečo iné                                           |                        |

Zdroj: Prieskum mobility SR 2015, spracované IDP

Cesty z prieskumu boli kategorizované podľa účelu a dĺžky cesty (Tabuľka 12). Kritérium dĺžky cesty 100 km bolo zvolené pre rozdelenie typov ciest podľa toho, či opisujú typické denné dochádzanie za daným účelom tak ako bolo definované v prieskume mobility. Nad 100 km šlo o cesty vykonávané nepravidelne, resp. sa dajú považovať za cesty, ktoré sú vykonávané za špecifických okolností (napr. služobné cesty, turizmus a pod.) a vykazujú iné vzdialenostné distribúcie než denné dochádzanie. Tieto kategórie, takisto ako aj agregované účely ciest vykazovali podľa prieskumu mobility podobné správanie (priemerná hybnosť, priemerná vzdialenosť a pod.).

Tabuľka 12: Agregovanie účelu cesty z prieskumu mobility SR

| Účel – prieskum mobility | Vzdialenosť | Účel – AMDY           |
|--------------------------|-------------|-----------------------|
| Bydlisko                 | do 100 km   | Cesta za službami     |
| Nákupy/služby            |             |                       |
| Služobne                 |             |                       |
| Sprievod                 |             |                       |
| Súkromné vybavovanie     |             |                       |
| Voľný čas                | do 100 km   | Dochádzka do/zo školy |
| Škola                    |             |                       |
| Práca                    |             |                       |
| Bydlisko                 | nad 100 km  | Diaľková cesta        |
| Nákupy/služby            |             |                       |
| Práca                    |             |                       |
| Služobne                 |             |                       |
| Sprievod                 |             |                       |
| Súkromné vybavovanie     |             |                       |
| Škola                    |             |                       |
| Voľný čas                |             |                       |

Zdroj: Prieskum mobility SR 2015, spracované IDP

#### 4.1.1 Funkcie produktivít - Slovensko

Po zadefinovaní účelov ciest bolo následne možné definovať konkrétne funkcie produktivít, ktoré vytvárajú cesty. Tieto funkcie sú bližšie popísané v Tabuľka 13. Jednotlivé parametre funkcií vychádzajú z parametrov zón (Kapitola 1 – Zonácia), z hybností a z počtu obyvateľov v konkrétnej dopytovej vrstve (napr. Ekonomicky aktívny s autom). Numerické koeficienty vychádzajú z kalibračných krokov (Kapitola 5 – Kalibrácia osobnej dopravy) a upravujú hybnosti konkrétnych ciest (napr.  $k_{služby} = 0,9$ ,  $k_{diaľkové\_cesty} = 0,2$ ) podľa účelu, alebo slúžia ako globálny koeficient zníženia hybnosti ( $k = 2,8$ ). Rovnice taktiež obsahujú binárne koeficienty (0 = nie, 1 = áno) NOT\_ZAHR, ktoré definujú, či zóna opisuje územie Slovenska, alebo nie.

Tabuľka 13: Funkcie produktivity zón dopytových vrstiev (podľa účelu ciest)

| Účel (Podľa dopyt. vrstvy) | Produktivita                                                                        |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Práca                      | $[ADD\_PROD\_W] * (h * ([E\_S]) * [NOT\_ZAHR]) / 2,8$                               |
| Služby                     | $[ADD\_PROD\_S] * (h * ([E\_S]) * [NOT\_ZAHR]) / 2,8 * 0,9$                         |
| Služby (Študenti)          | $[ADD\_PROD\_S] * (h * (0,5 * [NUM\_PUP] + [NUM\_STUD]) * [NOT\_ZAHR]) / 2,8 * 0,9$ |
| Diaľkové cesty             | $h * ([E\_S]) * [NOT\_ZAHR] / 2,8 * 0,2$                                            |
| Zahraničie                 | $h * [POP\_ZP] * [COUNTRY\_ADD]$                                                    |
| Škola (dochádzka)          | $(h * ([NUM\_PUP] + h * [NUM\_STUD\_VS]) * [NOT\_ZAHR]) / 2,8$                      |

Zdroj: ÚHP

Takisto bolo potrebné definovať konkrétne funkcie atraktivít podľa účelu ciest. Tieto funkcie podrobnejšie popisuje Tabuľka 14. Ich parametre vychádzajú zo zónových charakteristík (Kapitola 1 – Zonácia) a zo socio-ekonomických parametrov (napr. počet pracovných miest, priemerná mesačná mzda pod.). Číselné koeficienty a koeficienty označené ako „ADD“ sú určené na základe kalibrácie (Kapitola 5 – Kalibrácia osobnej dopravy) a upravujú intenzitu jednotlivých ciest podľa účelu (napr.  $k_{\text{služby}} = 0,4$ ).

Tabuľka 14: Funkcie atraktivity zón dopytových vrstiev (podľa účelu ciest)

| Účel (Podľa dopyt. vrstvy) | Atraktivita                                                                                           |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Práca                      | $[ADD\_ATT\_W] * [NUM\_PM\_SMEAR] * (1 + ([AV\_INCOME] * [ADD\_SALARY] - 1000) / 2700) * [NOT\_ZAHR]$ |
| Služby                     | $[ADD\_ATT\_S] * [NOT\_ZAHR] * ([POP\_ZP] + 0,4 * [NUM\_PM] + 2 * [POP\_MAX\_OBEC])$                  |
| Diaľkové cesty             | $(0,4 * [POP\_ZP] + 0,6 * ([NUM\_PM]) + 0,2 * [PRENOC\_SVK]) * [NOT\_ZAHR]$                           |
| Zahraničie                 | $4 * [POP\_ZP] * [COUNTRY\_ADD]$                                                                      |
| Škola (dochádzka)          | $h * [NUM\_PUP\_PLACES] + h * [NUM\_STUD\_VS\_PLACES]$                                                |

Zdroj: ÚHP

#### 4.1.2 Funkcie produktív - pohraničie

Čo sa týka produktív a atraktivít pohraničných zón (Kapitola 1 – Zonácia), do krokov funkcií produktív bolo potrebné doplniť (+) nasledovné funkcie, ktoré vytvárali cesty aj v pohraničných zónach mimo Slovenska:

Produktivita:

$$k * [POP\_ZP\_2022] * [ZAHR\_PROD\_WORK/SERVICE] * [ZAHR\_SUSED] / 100$$

Atraktivita:

$$([POP\_ZP] * [ZAHR\_ATR\_WORK/SERVICE] * [ZAHR\_SUSED] / 100)$$

Koeficienty  $k$  vo funkcií pohraničných produktív špecifikuje Tabuľka 15 a boli vypočítané na základe priemerného podielu danej socio-ekonomickej skupiny k celkovej populácii zóny SR, kde zvyšný podiel tvorili študenti, resp. obyvatelia, pri ktorých nebol predpokladaný výrazný podiel na tvorení dopravných tokov z pohraničných zón. Rovnice taktiež obsahujú binárne koeficienty (0 = nie, 1 = áno)  $ZAHR\_SUSED$ , ktoré definujú, či zóna opisuje pohraničné územie Slovenska, alebo nie.



Tabuľka 15: Koeficienty funkcie produkcie pohraničných zón

| Dopytová vrstva | Koeficient podielu obyvateľstva ( $k$ ) |
|-----------------|-----------------------------------------|
| E_C             | 0,18                                    |
| E_noC           | 0,22                                    |
| noE_C           | 0,23                                    |
| noE_noC         | 0,17                                    |

Zdroj: ÚHP

## 4.2 Distribúcia ciest

**Distribúcia ciest určí, ako sa počet vykonaných ciest mení v závislosti od vzdialenosti medzi dvoma bodmi.** Výstupom je matica, ktorá zobrazuje dopravné vzťahy medzi zónami, teda počet ciest medzi jednotlivými zónami v smere „z-do“. Matica ciest je modelovaná pomocou [gravitačného modelu](#) obmedzeného podľa produkcie<sup>20</sup>,

kde počet ciest  $T_{ij}$  zo zóny  $i$  do zóny  $j$  je definovaný ako:

$$T_{ij} = P_i \frac{A_j f(U_{ij})}{\sum_k A_k f(U_{ik})},$$

kde  $P$  je produktivita a  $A$  atraktivita zóny a  $f$  odporová (impedančná) funkcia:

$$f(U_{ij}) = e^{-cU_{ij}}$$

Kde  $U_{ij}$  je úžitková funkcia.

V prípade AMDY platí, že  $U_{ij} = t_{ij}$ ,

kde  $t_{ij}$  je minimálny cestovný čas medzi automobilom  $t(IAD)$  a verejnou dopravou  $t(VOD)$  zo zóny  $i$  do zóny  $j$ :

$$t_{ij} = \min(t_{ij}^C, t_{ij}^{PT}).$$

Koeficient  $c$  odporovej funkcie je špecifický pre každú dopytovú vrstvu modelu. Prvotne bol koeficient odhadovaný podľa dát pozorovaných časov a pravdepodobností zvolenej trasy na základe transformácie odporovej funkcie a regresie údajov o cestách z prieskumu mobility:

$$\log p = -ct$$

kde pravdepodobnosť cesty  $p$  je modelovaná na základe pozorovaných časov ciest  $\hat{t}$  a pozorovaných pravdepodobností ciest  $\hat{p}$  metódou [najmenšej odchýlky](#). Odhadované koeficienty  $c$  boli dosadené do distribučných funkcií softvéru PTV Visum (Tabuľka 16). Všetky dopytové vrstvy okrem zahraničných ciest sú modelované funkciou Combined, ktorá kombinuje rôzne typy impedancií, čím umožňuje presnejšie odhadnúť toky ciest medzi zónami podľa reakcie cestujúcich na vzdialenosť alebo čas cesty. Zahraničné cesty sú modelované lineárne, použitím funkcie Kirchhoff, ktorá zohľadňuje konkurenciu medzi alternatívnymi trasami a realisticky rozdeľuje toky ciest podľa kapacity a impedancie siete. Tieto funkcie sú v PTV Visum definované nasledovne:

1. Combined:  $f(U) = U^b * e^{(c*U)}$

<sup>20</sup> Produktivity zón predstavujú počty ciest generované obyvateľstvom. Atraktivity sú iba pomerové a bezrozmerné, preto používame obmedzenie podľa produktivit, aby suma ciest zo zóny dávala produktivitu zóny.

2. Kirchoff:  $f(U) = U^c$ 

Kde:  $U$  – úžitková funkcia (vstupná premenná)

$b/c$  – parametre funkcie (Tabuľka 16).

Parameter  $a$ , ktorý popisuje Tabuľka 16 je v PTV Visum preddefinovaný pre funkcie Combined a Kirchoff.

**Tabuľka 16: Nastavenia parametrov funkcií trip distribution**

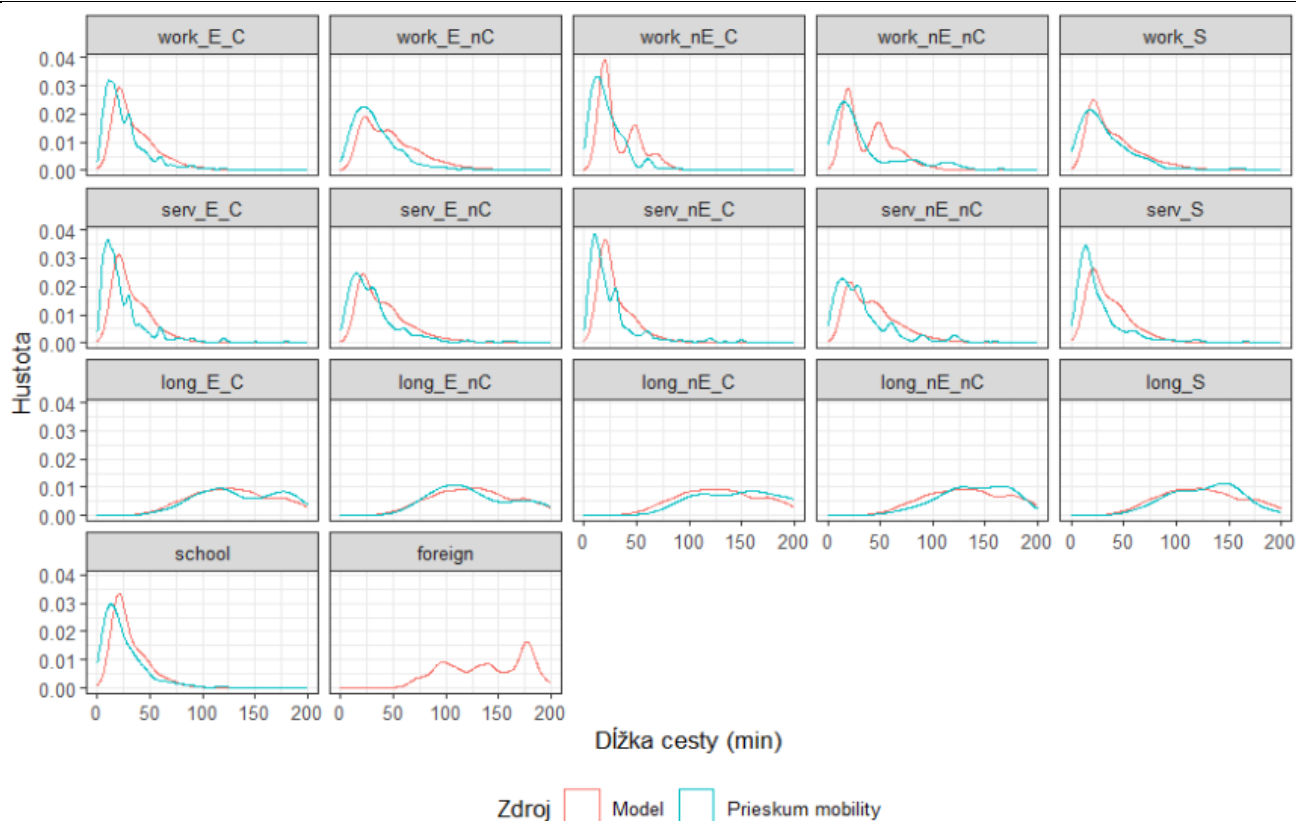
| Dopytová vrstva | Matica<br>(úžitková funkcia) | Smerovacie parametre                   | Parameter |      |        |
|-----------------|------------------------------|----------------------------------------|-----------|------|--------|
|                 |                              |                                        | a         | b    | c      |
| WORK_E_C        | t(IAD)                       | Attractions, Scaling: production total | 6,951     | 0    | -0,093 |
| WORK_E_noC      | min(t(IAD), t(VOD))          | Attractions, Scaling: production total | 6,047     | 0    | -0,05  |
| WORK_noE_C      | t(IAD)                       | Attractions, Scaling: production total | 3,686     | 0    | -0,455 |
| WORK_noE_noC    | min(t(IAD), t(VOD))          | Attractions, Scaling: production total | 3,484     | 0    | -0,435 |
| WORK_stud       | min(t(IAD), t(VOD))          | Attractions, Scaling: production total | 3,607     | 0    | -0,08  |
| SERV_E_C        | t(IAD)                       | Attractions, Scaling: production total | 7,102     | 0    | -0,085 |
| SERV_E_noC      | min(t(IAD), t(VOD))          | Attractions, Scaling: production total | 5,891     | 0    | -0,072 |
| SERV_noE_C      | t(IAD)                       | Attractions, Scaling: production total | 6,512     | 0    | -0,116 |
| SERV_noE_noC    | min(t(IAD), t(VOD))          | Attractions, Scaling: production total | 6,131     | 0    | -0,062 |
| SERV_stud       | min(t(IAD), t(VOD))          | Attractions, Scaling: production total | 5,789     | 0    | -0,073 |
| LONG_E_C        | min(t(IAD), t(VOD))          | Attractions, Scaling: attraction total | 3,157     | 4,50 | -0,026 |
| LONG_E_noC      | min(t(IAD), t(VOD))          | Attractions, Scaling: attraction total | 1,387     | 4,50 | -0,025 |
| LONG_noE_C      | min(t(IAD), t(VOD))          | Attractions, Scaling: attraction total | 1,622     | 4,50 | -0,021 |
| LONG_noE_noC    | min(t(IAD), t(VOD))          | Attractions, Scaling: attraction total | 1,162     | 4,50 | -0,025 |
| LONG_stud       | min(t(IAD), t(VOD))          | Attractions, Scaling: attraction total | 2,203     | 4,50 | -0,021 |
| FOREIGN         | min(t(IAD), t(VOD))          | Productions, Scaling: attraction total | 0         | 0    | 0      |
| SCHOOL          | min(t(IAD), t(VOD))          | Productions, Scaling: production total | 5,844     | 0    | -0,105 |

Zdroj: ÚHP/IDP

Nakoľko je model obmedzený produktivitami a atraktivitami zón a konečným diskretným počtom možných dĺžok ciest, výsledná distribúcia dĺžok ciest nezodpovedala krivke vychádzajúcej z prieskumu mobility. Distribúcia sa menila aj pri úpravách v modeli generovania ciest<sup>21</sup>. Koeficienty boli manuálne kalibrované, aby výsledná distribúcia modelu zodpovedala distribúcií z prieskumu mobility (Obrázok 4). Všetky funkcie rozdelenia ciest boli kalibrované v režime „double constrained“, ktorý zabezpečuje, že výsledná matica ciest je súčasne konzistentná s počtom ciest vychádzajúcich zo zdrojových zón (produkcie) aj s počtom ciest prichádzajúcich do cieľových zón (atrakcie). Tento prístup eliminuje disproporcie medzi vstupnými údajmi a výsledkami modelu.

<sup>21</sup> Teoreticky by model generovania ciest nemal ovplyvňovať distribučné krivky.

Obrázok 4: Porovnanie distribúcie ciest podľa prieskumu mobility a AMDY



Zdroj: Prieskum mobility SR; spracované IDP

Výpočet distribúcií ciest a kalibrácia boli realizované s využitím nastavenia „multi-parameters“, pričom maximálny počet iterácií bol obmedzený na 10 a kvalitatívny faktor bol nastavený na hodnotu 3, čo zabezpečilo dosiahnutie stabilného riešenia pri zachovaní primeranej výpočtovej náročnosti.

Okrem vizuálneho porovnania kriviek sa miery zhody distribúcie porovnávala pomocou váženého mediánu a váženého priemeru dĺžky ciest (Tabuľka 17).

Tabuľka 17: Porovnanie priemernej dĺžky cesty podľa dopytových vrstiev

| Dopytová vrstva | Priemerná dĺžka cesty - Model (min) <sup>22</sup> | Priemerná dĺžka cesty - Prieskum mob. (min) |
|-----------------|---------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| School          | 30,6                                              | 30,5                                        |
| Work_E_C        | 36,0                                              | 34,8                                        |
| Work_E_nC       | 49,3                                              | 48,1                                        |
| Work_nE_C       | 32,8                                              | 31,6                                        |
| Work_nE_nC      | 38,9                                              | 36,2                                        |
| Work_Stud       | 41,9                                              | 40,5                                        |
| Service_E_C     | 32,5                                              | 32,2                                        |
| Service_E_nC    | 41,6                                              | 42,2                                        |
| Service_nE_C    | 30,0                                              | 29,9                                        |
| Service_nE_nC   | 44,2                                              | 43,7                                        |
| Service_Stud    | 26,2                                              | 35,4                                        |
| Long_E_C        | 172,2                                             | 177,4                                       |
| Long_E_nC       | 174,2                                             | 191,4                                       |
| Long_nE_C       | 187,3                                             | 190,2                                       |
| Long_nE_nC      | 179,5                                             | 205,5                                       |
| Long_Stud       | 188,0                                             | 197,7                                       |
| Foreign         | 250,0                                             | -                                           |

Zdroj: ÚHP

Na základe porovnania priemerných dĺžok ciest medzi modelom a prieskumom mobility je možné pozorovať viaceré výraznejšie rozdiely – hlavne dopytové vrstvy Service\_Stud (- 35,1% voči prieskumu mobility) a Long\_nE\_nC (- 14,5% voči prieskumu mobility). Tieto rozdiely sú spôsobené predovšetkým tým, že výsledná distribúcia dĺžok ciest v modeli sa v niektorých prípadoch nezhodovala s teoretickou krivkou (popísané v odseku vyššie), čo viedlo k odchýlkam pri vybraných dopytových vrstvách. Špecifickým prípadom je zahraničná doprava, kde chýbajúca hodnota v prieskume vyplýva z nedostatku spoľahlivých údajov o zahraničných cestách.

### 4.3 Výber druhu dopravy

**Výber prostriedku (mode choice) v AMDY určuje, či si cestujúci zvolí cestu osobným autom (s alebo bez diaľničnej známky) alebo verejnou dopravou, pričom rozhodnutie závisí od parametrov ako napr. čas a vzdialenosť medzi zdrojom a cieľom cesty.** Mode choice je definovaný pomocou úžitkových funkcií, v ktorých sa porovnávajú parametre ciest (napr. cestovný čas, počet prestupov, vzdialenosť, frekvencia spojov) a citlivosť cestujúcich na ich zmenu. Aby model lepšie odrážal rôznorodosť správania cestujúcich, boli citlivosti modelované osobitne pre rôzne dopytové vrstvy. Trénovacou databázou modelu sú cesty z prieskumu mobility obohatené o parametre alternatívnych spôsobov dopravy. Výsledkom je pravdepodobnostné rozdelenie dopytu medzi osobnou automobilovou (C) a verejnou dopravou (PT).

Každý mód má definovanú úžitkovú funkciu  $U$ , ktorá popisuje preferenciu módu:

$$U_C = \beta_d^C d_C + \beta_t^C t_C,$$

$$U_{PT} = \alpha_{PT} + \beta_d^{PT} d_{PT} + \beta_t^{PT} t_{PT} + \beta_I I + \beta_f f,$$

kde  $d_i$  a  $t_i$  sú dĺžka, respektíve čas cesty módom  $i$ ,  $I$  je počet prestupov a  $f$  frekvencia spojov verejnej osobnej dopravy<sup>23</sup>. Koeficienty  $\alpha$  a  $\beta$  sú odhadované parametre, pričom  $\beta_i$  predstavuje citlivosť cestujúceho na zmenu atribútu  $i$ <sup>24</sup> a  $\alpha$  inherentnú preferenciu verejnej dopravy oproti osobnej automobilovej doprave.

Model výberu prostriedku použitý v AMDY vychádza z databázy ciest z prieskumu mobility doplnenej o databázu dostupností obcí<sup>25</sup>. Ku každej ceste z prieskumu mobility boli dopočítané parametre alternatívnych spôsobov dopravy (čas cesty, počet

<sup>22</sup> V údajoch sú zahrnuté aj intrazonálne cesty, ktoré sa neprideľujú na dopravnú sieť AMDY.

<sup>23</sup> Počet spojov za deň

<sup>24</sup> Napr. citlivosť na zmenu času cesty

<sup>25</sup> <https://idp.gov.sk/> karta "Dostupnosti"

prestupov, vzdialenosť atď.). Zoznam ciest slúži ako trénovacia databáza modelu (**Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**), na základe ktorej sú odhadnuté koeficienty úžitkových funkcií.

Tabuľka 18: Ukážka trénovacej databázy choice modelu

| ID cestujúceho | ID cesty | dist_C | time_C   | dist_PT | time_PT_in | int_PT | freq_PT | CHOICE |
|----------------|----------|--------|----------|---------|------------|--------|---------|--------|
| 1106           | 1        | 50,7   | 39,85    | 50,7    | 29         | 0      | 60      | 2      |
| 1106           | 2        | 50,7   | 40,85    | 50,7    | 28         | 0      | 60      | 2      |
| 2001           | 1        | 16,5   | 16,5     | 16,5    | 34         | 0      | 10      | 1      |
| 3152           | 1        | 45,4   | 41,91667 | 45,4    | 55         | 1      | 19      | 1      |
| 3152           | 2        | 45,4   | 41,75    | 45,4    | 55         | 1      | 17      | 1      |
| 224            | 1        | 301,1  | 214,6833 | 301,1   | 251        | 0      | 11      | 1      |

Zdroj: IDP

Model bol prvotne testovaný na celej databáze ciest po vyhodení ciest v rámci obce. Parametre úžitkových funkcií boli odhadnuté pomocou multinomiálnej logistickej regresie. Väčšina koeficientov nebola štatisticky významná a upravený koeficient determinácie<sup>26</sup> dosahoval hodnotu 0,15 (Tabuľka 20).

Tabuľka 19: Diagnostika pilotného modelu výberu druhu dopravy

Model diagnosis: successful convergence  
Runtime: 0.554 secs

Number of decision makers: 2501  
Number of observations: 5273

LL(null): -3654.965  
LL(init): -4173.983  
LL(final): -3122.246  
LL(choice): -3122.246  
Rho2: 0.1457522

AIC: 6258.49  
AICc: 6258.54  
BIC: 6304.48  
Estimated parameters: 7

Estimates:

|         | est     | se     | trat_0 | trat_1   | robse  | robtrat_0 | robtrat_1 | rob_pval0 | rob_pval1 |
|---------|---------|--------|--------|----------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| B_tC    | -0.0061 | 0.0043 | -1.41  | -233.29  | 0.0057 | -1.07     | -177.26   | 0.28      | 0         |
| B_dC    | -0.0052 | 0.0036 | -1.44  | -277.97  | 0.0048 | -1.09     | -211.38   | 0.27      | 0         |
| A_PT    | -1.5080 | 0.0988 | -15.26 | -25.38   | 0.1329 | -11.35    | -18.87    | 0.00      | 0         |
| B_dPT   | -0.0100 | 0.0040 | -2.48  | -250.99  | 0.0052 | -1.92     | -194.01   | 0.06      | 0         |
| B_tPTin | 0.0052  | 0.0030 | 1.73   | -329.38  | 0.0038 | 1.37      | -261.37   | 0.17      | 0         |
| B_I     | -0.1848 | 0.0864 | -2.14  | -13.71   | 0.1118 | -1.65     | -10.60    | 0.10      | 0         |
| B_F     | 0.0115  | 0.0006 | 18.10  | -1555.36 | 0.0010 | 12.08     | -1038.20  | 0.00      | 0         |

Zdroj: IDP

V závislosti od účelu cesty a skupiny obyvateľstva sa môžu preferencie módov a aj citlivosti na zmeny atribútov ciest meniť. Napríklad ekonomicky aktívni s autom budú viac preferovať osobný automobil a cesty do školy môžu byť menej citlivé na zmenu času. Pri aktualizácii modelu sa pristúpilo k podrobnejšiemu modelovaniu výberu prostriedku v závislosti od dopytovej vrstvy. Regresný model však vyžaduje dostatočný počet ciest na dôveryhodný odhad koeficientov, preto boli dopytové vrstvy kategorizované do piatich skupín (klastrov). Zlučovanie vrstiev prebiehalo pomocou hierarchického klastrovania (Obrázok 5).

Pre každú dopytovú vrstvu boli vypočítané nasledovné hodnoty:

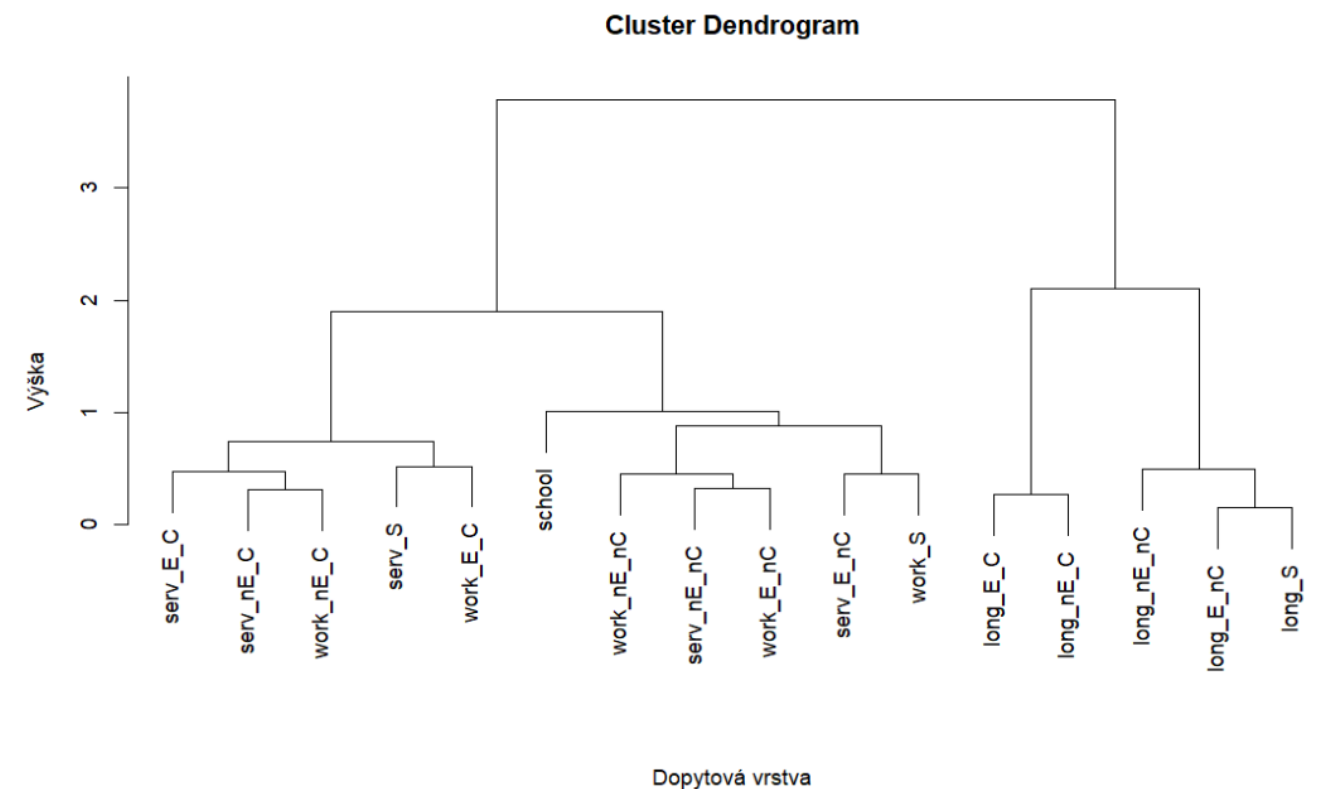
- Vážený priemer času cesty
- Vážený medián času cesty

<sup>26</sup> Koeficient dosahuje hodnoty medzi 0 a 1 a predstavuje schopnosť modelu vysvetliť variabilitu. Čím je hodnota bližšia k 1, tým lepšia je výpočtová schopnosť modelu.

- Podiel ciest do 15 min
- Podiel ciest vykonaných autom

Hodnoty boli preškáľované<sup>27</sup> do štandardnej podoby<sup>28</sup> a použitím Euklidovskej normy<sup>29</sup> bola vypočítaná matica vzdialeností<sup>30</sup> medzi dvoma dopytovými vrstvami (**Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**).

**Obrázok 5: Klastrovanie dopytových vrstiev pre účely definovania parametrov mode choice**



Zdroj: IDP

**Tabuľka 20: Parametre funkcií výberu druhu dopravy podľa klasterov**

| Klaster                                              | B_tC    | B_dC    | A_PT    | B_dPT   | B_tPTin | B_I     | B_F    | Npers | Ntrips |
|------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|-------|--------|
| long_E_C, long_nE_C                                  | -0,0104 | -0,01   | -0,9802 | -0,01   | -0,0062 | -0,4778 | 0,0011 | 153   | 207    |
| long_E_nC, long_S, long_nE_nC                        | -0,001  | -0,0191 | -0,129  | -0,0009 | -0,0142 | 0,0721  | 0,0175 | 112   | 156    |
| school                                               | 0,0275  | -0,0185 | 0,5247  | -0,0015 | 0,0215  | -0,6101 | 0,0078 | 277   | 489    |
| serv_E_C, serv_S, serv_nE_C, work_E_C, work_nE_C     | -0,0564 | -0,0001 | -2,6023 | -0,0199 | -0,0128 | 0,0007  | 0,0117 | 2768  | 6500   |
| serv_E_nC, serv_nE_nC, work_E_nC, work_S, work_nE_nC | -0,0236 | -0,0055 | -0,8072 | -0,0145 | 0,001   | -0,5154 | 0,0154 | 828   | 1749   |

Zdroj: IDP

**Výsledkom modelu je pravdepodobnosť výberu módov.** Metódou maximálnej vierohodnosti sú odhadnuté koeficienty  $\hat{\alpha}$  a  $\hat{\beta}$ . Preferencie nového cestujúceho sú vyčíslené dosadením údajov o ceste do účelových funkcií danej dopytovej vrstvy. Pravdepodobnosť zvolenia módu sa vypočíta ako pomer hodnôt exponenciál účelových funkcií ( $\hat{u}$ ):

$$\tilde{p}_i = \frac{e^{\hat{u}_i}}{\sum_j e^{\hat{u}_j}}$$

<sup>27</sup> Odčítaný priemer a predelenie štandardnou odchýlkou

<sup>28</sup> Priemer 0 a štandardná odchýlka 1

<sup>29</sup> Základná norma, predstavuje dĺžku úsečky medzi dvoma bodmi.

<sup>30</sup> Obrázok 9, Príloha 2

Pravdepodobnosti sú následne normalizované<sup>31</sup>:

$$\hat{p}_i = \frac{\tilde{p}_i}{\sum_j \tilde{p}_j}$$

Výsledný vektor  $[\hat{p}_C, \hat{p}_{PT}]$  vyjadruje pravdepodobnostné rozdelenie výberu cestujúceho.

**Odhadované parametre reprezentujú citlivosť cestujúcich na zmenu podmienok.** Koeficienty vplývajú na hodnoty účelových funkcií a môžu výrazne ovplyvniť preferencie jednotlivých prostriedkov. Predstavujú citlivosť cestujúcich na zmenu vstupných parametrov cesty. Koeficienty s kladným znamienkom<sup>32</sup> pozitívne vplývajú na preferencie módu, záporné koeficienty<sup>33</sup> znižujú preferenciu módu oproti ostatným.

### Obsadenosť vozidiel

**Obsadenosť vozidiel je ukazovateľ, ktorý vyjadruje priemerný počet osôb prepravovaných jedným automobilom.** Počíta sa ako podiel celkového počtu cestujúcich (osôb prepravených individuálnou automobilovou dopravou) a celkového počtu vozidiel (ciest uskutočnených autami) v danom území alebo časovom období. Tento parameter sa v dopravnom modelovaní využíva na prepočet medzi počtom osôb (osobokilometre) a počtom vozidiel (vozokilometre). Správne nastavenie obsadenosti je dôležité, pretože priamo ovplyvňuje odhad intenzít na cestnej sieti, emisií aj kapacitných obmedzení.

V modeli AMDY vstupuje obsadenosť vozidiel do procedúr výberu druhu dopravy. Keďže do výpočtov vstupujú modelované počty cestujúcich, je potrebné tieto hodnoty konvertovať na počet vozidiel podľa vzorca:

$$\text{počet áut} = \text{počet osôb} / \text{obsadenosť vozidla}$$

Hodnoty obsadenosti použité v modeli boli určené na základe prieskumu mobility, aby zodpovedali reálnemu správaniu cestujúcich.

Podobne ako pri údajoch o priemernej dĺžke ciest – pri zahraničnej doprave chýbajúca hodnota v prieskume vyplýva z nedostatku spoľahlivých údajov o zahraničných cestách a preto sa použila hodnota 1. Konkrétne parametre prepočtu uvádza Tabuľka 21:

<sup>31</sup> Úprava, aby pravdepodobnosti v súčte dosahovali hodnotu 1

<sup>32</sup> Napr. frekvencia spojov.

<sup>33</sup> Napr. čas cesty, počet prestupov.



Tabuľka 21: Počet áut vyplývajúci z obsadenosti vozidiel (podľa dop. vrstvy)

| Dopytová vrstva | Hodnota (1/obsadenosť auta) |
|-----------------|-----------------------------|
| Work_E_C        | 0,93                        |
| Work_E_nC       | 0,79                        |
| Work_nE_C       | 0,81                        |
| Work_nE_nC      | 0,85                        |
| Work_Stud       | 0,77                        |
| Service_E_C     | 0,73                        |
| Service_E_nC    | 0,77                        |
| Service_nE_C    | 0,71                        |
| Service_nE_nC   | 0,74                        |
| Service_Stud    | 0,75                        |
| Long_E_C        | 0,72                        |
| Long_E_nC       | 0,76                        |
| Long_nE_C       | 0,71                        |
| Long_nE_nC      | 0,79                        |
| Long_Stud       | 0,82                        |
| School          | 0,77                        |
| Foreign         | -                           |

Zdroj: Prieskum mobility SR; spracované IDP/ÚHP

Zároveň boli po vypočítaní výberu druhu dopravy v nasledujúcich procedúrach výsledné matice kroku mode choice (rozdelenie dop. vstiev podľa dopravného prostriedku) symetrizované podľa dopytových vrstiev:

$$A_{sym} = \frac{A + A^T}{2}$$

kde: A – pôvodná matica

$A^T$  – transponovaná matica

$A_{sym}$  – výsledná symetrická matica.

Keďže v AMDY ide o makroskopické modelovanie dopravy počas priemerného dňa, bolo potrebné zabezpečiť, aby každá cesta vykonaná v smere  $A \rightarrow B$  mala aj zodpovedajúcu cestu späť v smere  $B \rightarrow A$ . Inak povedané, ak cestujúci napríklad ráno vycestoval do práce, model musel zohľadniť aj jeho návrat domov.

#### Delenie na cestujúcich s alebo bez diaľničnej známky

**Na záver boli súčasťou procedúr výberu druhu dopravy aj rozdelenia áut na autá s/bez diaľničnej známky.** Tento krok bol vykonaný manuálne tak, že sa sčítali všetky cesty do práce ( $M_{práca} = \sum_i M_{práca}$ , kde  $i$  sú všetky dem. skupiny vykonávajúce cestu do práce) a za službami ( $M_{služby} = \sum_i M_{služby}$ , kde  $i$  sú všetky dem. skupiny vykonávajúce cestu za službami).

Tie sa následne počas kalibrácie (kapitola 5 – Kalibrácia osobnej dopravy) rozdelili tak, aby boli počty osobných áut na diaľniciach a im prislúchajúcich paralelných úsekoch súhlasili s kalibračnými dátami. Konkrétne boli určené pomery tak, aby 75 % ciest do práce a 70 % ciest za službami boli definované ako autá s diaľničnou značkou a teda mali povolený vstup na spoľatné úseky.

#### 4.4 Pridelenie na sieť – výber konkrétnej trasy

**Model na záver určuje výber konkrétnej trasy, ktorou sa cestujúci optimálne dostane z počiatočného do koncového bodu.** Do výberu trasy priamo vstupujú parametre dopravnej siete, ktoré sú špecifické pre konkrétnu cestu a typ cestujúceho. Každý úsek dopravnej siete (cesta/železnica) obsahuje informácie o dĺžke, maximálnej kapacite a povolenej rýchlosti na danom úseku. Tieto vlastnosti definujú tzv. impedanciu (náklad alebo odpor cesty, podľa ktorého model optimalizuje výslednú

trasu). Cieľom je, aby sa pre konkrétnu dopytovú vrstvu a konkrétnu cestu medzi zónami vybrala trasa s čo najmenším odporom, podľa druhu dopravného prostriedku. Tento proces sa vykonáva pre každú cestu medzi dvoma konkrétnymi zónami, pričom zohľadňuje typ dopravy (individuálna, nákladná, verejná, atď.) a konkrétny úsek siete. IAD bola pridelená v dvoch krokoch: najskôr boli pridelené diaľkové a zahraničné cesty a následne cesty do práce a za službami. Nákladná doprava bola pridelená na sieť ako prvá (pred osobnou dopravou) v osobitných krokoch pre ľahké nákladné autá, ťažké nákladné autá a nákladné vlaky. Po pridelení dopravy na sieť všetky úseky dopravnej siete obsahujú príslušné dopravné intenzity, ktoré odrážajú záťaž a využitie danej cesty medzi zónami.

#### 4.4.3 Individuálna automobilová doprava

**V AMDY sa na priradenie individuálnej automobilovej dopravy použil equilibrium assignment v dvoch krokoch.** Najskôr bol aplikovaný na zahraničné a diaľkové cesty, keďže sa pri nich predpokladá stabilnejší a racionálnejší výber trás a vyššia pravdepodobnosť využitia diaľnic a rýchlostných ciest. Následne bol rovnaký postup použitý aj pre pracovné cesty a cesty za službami, čím sa zabezpečila konzistentnosť v modelovaní pre všetky druhy dopravného dopytu. Konzistentnosť pridelenia dopravy a prípadné štatistické odchýlky boli minimalizované tým, že model pridelil dopravu v 10. iteráciách. Každá iterácia sa odvíjala od predošlého výsledku a zaručila, že výsledné pridelenie bude záležať od časovo najvýhodnejšej trasy. Detailné nastavenie parametrov pridelenia na sieť IAD v AMDY je popísané v Tabuľka 22.

##### Box 2: Equilibrium assignment - PTV Visum

Equilibrium assignment je metóda priradenia dopravy v PTV Visum a dopravnom modelovaní, ktorá vychádza z princípu Wardropovej prvej podmienky rovnováhy. Tá hovorí, že v dopravnej sieti v rovnováhe platí: žiadny vodič si nemôže znížiť svoje cestovné náklady (čas, vzdialenosť alebo kombináciu) zmenou trasy, pokiaľ ostatní vodiči zostanú na svojich trasách. Inými slovami, všetky používané trasy medzi rovnakým zdrojom a cieľom majú rovnaké minimálne cestovné náklady, zatiaľ čo nepoužívané trasy majú náklady vyššie. Equilibrium assignment sa často preferuje pred metódami ako incremental alebo stochastic z viacerých dôvodov, najmä keď cieľom je dosiahnuť stabilný a realistický model dopravných tokov v podmienkach, kde sa vodiči rozhodujú racionálne a majú dostatok informácií. Pri plánovaní nadregionálnych projektov ako diaľnice alebo rýchlostné cesty je dôležité modelovať správanie blízke ideálnemu racionálnemu výberu trasy, kde sa predpokladá, že vodiči vopred poznajú optimálnu cestu. V týchto prípadoch equilibrium assignment poskytuje výsledky, ktoré sú deterministické a opakovateľné.

Proces equilibrium assignmentu v PTV Visum je iteratívny:

- Na začiatku sa priradí doprava podľa najkratších trás pri počiatočných nákladoch.
- Po priradení sa zohľadní zaťaženie siete — vyššia intenzita premávky na úseku zvyšuje jeho cestovné časy podľa zvolených VDF funkcií.
- Aktualizované náklady sa opäť použijú na nové priradenie dopravy.

Tento cyklus pokračuje, kým sa rozdiely medzi po sebe idúcimi iteráciami nestanú zanedbateľnými, čím sa dosiahne rovnováha v rozložení tokov.

Tabuľka 22: Nastavenia parametrov equilibrium assignment (IAD)<sup>34</sup>

| Parameter (PTV Visum)                                | Popis                                                                                          | Vplyv                                                                                                                                                                     |
|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Use current assignment result as an initial solution | Model začína z existujúceho výsledku priradenia, nie od nulového stavu.                        | Rýchlejšia konvergencia, menej potrebných iterácií a stabilnejšie výsledky pri kvalitnom počiatočnom riešení; riziko zachovania chýb, ak počiatočný stav nie je presný.   |
| Max number of iterations = 10                        | Maximálny počet opakovaní aktualizácie cestovných časov a trás.                                | Skracuje čas výpočtu; pri nedostatočne vykalibrovanom stave môže limit zastaviť proces pred úplnou konvergenciou.                                                         |
| Maximum gap = 0,0001                                 | Gap (odchýlka) vyjadruje rozdiel medzi aktuálnym riešením a teoretickou rovnováhou.            | Vysoká presnosť výsledkov; cestovné časy na používaných trasách sú prakticky rovnaké; môže predĺžiť výpočet, ak počiatočné riešenie nie je blízko hodnoty konvergenencie. |
| Convergence statistics – všetky ≤ 1                  | Všetky ukazovatele konvergenencie (rozdiel intenzít, rozdiel časov medzi iteráciami) sú nízke. | Potvrdzuje dosiahnutie stabilného rozloženia tokov a minimalizuje riziko nedokončenej konvergenencie.                                                                     |

Zdroj: ÚHP/PTV Visum

#### 4.4.3.1 Impedancia

V PTV Visum sa impedancia úseku (link impedance) definuje ako číselná hodnota, ktorá vyjadruje „odpor“ cestného úseku voči jeho využitiu pri výbere trasy. Najčastejšie ide o cestovné náklady vyjadrené v jednotkách času (minúty), vzdialenosti (kilometre) alebo kombinácie týchto a iných faktorov (napr. mýto, cena paliva).

Impedancia sa používa ako vstup pri výpočte najkratších trás a následného pridelenia dopravy na sieť:

- Nižšia hodnota znamená atraktívnejší úsek, ktorý bude pravdepodobnejšie zaradený do optimálnej trasy.
- Vyššia hodnota znižuje pravdepodobnosť jeho využitia.

Hodnota impedancie sa môže vypočítať:

- Staticky – z pevných atribútov, ako je dĺžka úseku a povolená rýchlosť.
- Dynamicky – z aktuálnych alebo modelovaných cestovných časov, ktoré sa menia v závislosti od intenzity dopravy (volume-delay functions).

V rámci AMDY bola impedancia cestných úsekov definovaná kombináciou cestovného času a dodatočného parametra (AddValue1):

$$\text{Impedance} = 100 * t_{Cur\_PrTSYS}(C) + 1000 * \text{AddValue } 1$$

kde:

- $t_{Cur\_PrTSYS}(C)$  - aktuálny cestovný čas po sieti,
- AddValue 1 - ad hoc kalibračný koeficient,
- koeficienty 100 a 1000 boli nastavené tak, aby reflektovali relatívnu váhu času a dodatočných nákladov pri výpočte odporu úseku.

Takto definovaná impedancia bola použitá pri:

1. výpočte najkratších a najrýchlejších trás pre jednotlivé kategórie vozidiel,
2. kalibrácii modelu, kde sa parameter AddValue 1 upravoval tak, aby výsledné intenzity dopravy čo najlepšie zodpovedali dátam z Celoštátneho sčítania dopravy

#### 4.4.4 Verejná doprava

V AMDY sa na priradenie verejnej osobnej dopravy použil timetable assignment, pretože umožňuje využiť reálne cestovné poriadky. Vlakové spoje boli do modelu prevzaté priamo z grafikonu ZSSK 2023 a doplnené o vybrané

<sup>34</sup> Pri funkciách „assignment“ sú po anglicky v bodoch popísané konkrétne nastavenia tak, ako sa nachádzajú v PTV Visum.

medzinárodné vlaky, zatiaľ čo autobusové linky boli zjednodušené vytvorené podľa princípov pokrývania územia a zabezpečenia kľúčových prepojení. Tento prístup zabezpečil, že výsledné modelovanie zodpovedá skutočnej prevádzke a poskytuje realistický obraz dopravnej obsluhy. Výber výslednej trasy medzi dvoma zónami (OD-matica) závisel od najkratšieho času vnímaného cestujúcim (Perceived journey time), popísaného nižšie v bode *Impedancia*.

### Box 2: Timetable assignment - PTV Visum

Timetable assignment je metóda pridelenia dopravy v PTV Visum, ktorá zohľadňuje reálne cestovné poriadky liniek verejnej dopravy. Každá cesta cestujúceho sa počíta na základe presného odchodu a príchodu spojov, vrátane prestupov a čakania, pričom sa vyberá trasa s minimálnymi celkovými časovými nákladmi (napr. čas cestovania, čakanie na prestup, počet spojení a ich frekvencia). Tento prístup umožňuje presne modelovať situácie, kde ponuka dopravných spojení nie je kontinuálna, ale viazaná na konkrétne časy odchodov.

V porovnaní s metódami, ktoré pracujú s priemernými intervalmi (napr. *Headway based assignment*), poskytuje tento prístup presnejší obraz cestovania, najmä pri nízkofrekvenčných linkách alebo pri trasách s viacerými prestupmi. To je kľúčové pri posudzovaní atraktivity spojov, koordinácie prestupov a celkovej dostupnosti.

Proces timetable assignmentu v PTV Visum je nasledovný:

- Na základe vstupných údajov z cestovných poriadkov sa zostaví časovo orientovaný graf siete.
- Pre každého cestujúceho (resp. origin-destination (OD)-pár) sa vypočíta najrýchlejšia možná cesta podľa presného času odchodu.
- Do výpočtu sa započítavajú jazdné časy, časy čakania a prestupov, pričom sa optimalizuje celkový čas cesty.

Výsledkom je rozdelenie cestujúcich medzi jednotlivé spoje v konkrétnych časoch, ktoré odráža reálne časové obmedzenia ponuky dopravy.

Pre AMDY boli základné parametre timetable assignment verejnej dopravy nastavené nasledovne:

Tabuľka 23: Parametre a nastavenia Timetable assignment - časť 1

| Parameter (PTV Visum)                  | Hodnota                                                | Vplyv                                                                                               |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Basis                                  | Zapnutý výpočet skim matíc + výpočet frekvencie spojov | Presné vstupné údaje o dostupnosti a frekvencii, kľúčové pre priradenie cestujúcich                 |
| Časové obdobie                         | 00:00 – 24:00                                          | Zahŕňa všetky spoje a cestujúcich počas dňa, komplexný obraz využitia siete                         |
| Pre-assignment period                  | 0 min                                                  | Nepočítajú sa spoje pred polnocou; zjednodušenie výpočtu, možné vylúčenie nočných/diaľkových spojov |
| Post-assignment period                 | 24 h                                                   | Cesty začaté tesne pred polnocou sa dopočítajú do konca                                             |
| Určovanie trás                         | Vyhľadávanie spojení podľa cestovného poriadku         | Reálne časy odchodov/príchodov, nie priemerné intervaly                                             |
| Max. počet trás (Shortest path search) | 5                                                      | Zachytiť alternatívy, ale obmedzí nadbytočné možnosti → rýchlejší výpočet                           |
| Výber spojení                          | Min. impedance ( $1 \times JT + 10 \times NT$ )        | Preferuje rýchlejšie cesty s menším počtom prestupov                                                |
| Dominancia ekvivalentných spojení      | Povolená                                               | Znižuje počet rovnocenných trás, zrýchľuje výpočet                                                  |
| Pri rovnakých prestupoch               | Vyberá sa prvý                                         | Zabezpečuje deterministický a opakovateľný výsledok                                                 |

Zdroj: ÚHP/PTV Visum

#### 4.4.4.1 Impedancia

V modeli verejnej dopravy sa impedancia chápe ako „náklady cesty“ medzi dvomi bodmi. Nie sú to len minúty cestovania, ale kombinácia viacerých faktorov, ktoré ovplyvňujú voľbu trasy cestujúceho. V Timetable Assignment sa za impedanciu považuje matica Perceived Journey Time (PJT). Tá je počítaná na základe nasledujúceho vzťahu:

$$PJT = In\_vehicle\ time + PuT\_Aux\ ride\ time + Access\ time + Egress\ time + Walk\ time \\ + Origin\ wait\ time + Transfer\ wait\ time + 10min * Number\ of\ transfers$$

Preto je v tomto kroku zapnuté počítanie nasledovných skim matíc:

- Journey time - Výpočet celkového času cesty od nástupu po výstup vrátane prestupov a čakania. Matica poskytuje základný ukazovateľ rýchlosti spojenia.
- Journey time adapted - Výpočet upraveného času cesty s prípadnými korekciami (napr. penalizácie za prestupy). Matica lepšie odráža skutočný pocit cestujúceho z dĺžky cesty.
- In-vehicle time - Čas strávený vo vozidle bez započítania prestupov a čakania. Ten je dôležitý pre hodnotenie efektivity samotnej jazdy.
- Access time - Čas prístupu z východiskového bodu k zastávke. Matica zohľadňuje vzdialenosť a dostupnosť zastávok pre cestujúcich.
- Egress time - Čas od výstupu zo zastávky do cieľového bodu. Údaj dopĺňa úplný čas „od dverí k dverám“ a ovplyvňuje atraktivitu spojenia.
- Perceived journey time - Vnímaný čas cesty zahŕňajúci váženie jednotlivých zložiek cesty podľa komfortu a náročnosti. Tento čas presnejšie zachytáva preferencie cestujúcich, ktoré môžu byť často subjektívne a sú náročnejšie na popísanie.
- Number of transfers - Počet prestupov na trase. Presný počet prestupov je dôležitý ukazovateľ atraktivity spojenia, keďže cestujúci často preferujú menej prestupov.
- Service frequency - Frekvencia ponuky spojenia v zadanom období. Matica umožňuje posúdiť dostupnosť spojenia počas dňa.
- Journey distance - Celková prejdená vzdialenosť. Matica je dôležitá pre hodnotenie efektívnosti siete a environmentálnych dopadov.
- In-vehicle distance - Vzdialenosť precestovaná vo vozidle. Matica umožňuje oddeliť čas a vzdialenosť od prístupu a prestupov.
- Impedance - Výpočet celkovej impedance spojenia (kombinácia času, prestupov, atď). Matica slúži ako doplnkové kritérium v prípade, že odpory jednotlivých trás majú vplyv na výber spojení.
- Attribute for path leg skim - Záznam vybraného atribútu pre jednotlivé úseky cesty (path legs). Matica umožňuje podrobnú analýzu vlastností jednotlivých segmentov cesty.

Tabuľka 24: Parametre a nastavenia Timetable assignment - časť 2

| Parameter (PTV Visum)                                                     | Hodnota               | Vplyv                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Consider connections with deltaT > 0 if connections with deltaT = 0 exist | Zapnuté               | Umožňuje zachytiť alternatívne varianty spojení, ktoré môžu byť preferované napr. z dôvodu lepšieho komfortu či nižšej ceny.              |
| Preselection (PUT)                                                        | Bez PUT sa odstraňuje | Zostávajú len relevantné spojenia verejnej dopravy                                                                                        |
| Spojenia mimo obdobia                                                     | Odstrániť             | Skracuje výpočtový čas, menej nerelevantných trás                                                                                         |
| deltaT > 0 pri deltaT = 0                                                 | Povolené              | Zachytáva alternatívy, ktoré môžu byť komfortnejšie/lacnejšie                                                                             |
| Use impedance                                                             | Áno                   | Konzistentné výpočty trás aj rozhodovanie cestujúcich                                                                                     |
| Max. time slot                                                            | 1 h                   | Realistická tolerancia, obmedzenie nadbytočných alternatív                                                                                |
| Impact JT & fare                                                          | 1 (max)               | Silná penalizácia dlhého času alebo vysokej ceny                                                                                          |
| Impact high quality                                                       | 0,1                   | Preferencia moderných/komfortných spojov                                                                                                  |
| Impact low quality                                                        | 0,9                   | Silná penalizácia starších/pomalých spojov                                                                                                |
| Skim matrices                                                             | Len aktívne OD-páry   | Menej dát, rýchlejší výpočet, odstránenie nerelevantných párov                                                                            |
| Aggregation                                                               | Minimum PJT           | Reprezentuje najatraktívnejšiu alternatívu pre cestujúceho                                                                                |
| Extended consideration transport supply                                   | Vypnuté               | Vypnutie parametrov mierne zjednodušuje výpočet a znižuje jeho časovú náročnosť, pričom sa pracuje len so základnými údajmi o spojeniach. |

Zdroj: ÚHP/PTV Visum

**Choice – Model výberu (choice model): Kirchhoff**

Výber trasy cestujúcim sa riadi Kirchhoffovým modelom, kde pravdepodobnosť výberu závisí od relatívnej impedance jednotlivých spojení, čo znamená, že model zohľadňuje konkurenčné spojenia a priradzuje im podiely cestujúcich podľa atraktivity, nie striktne len najlepšiemu riešeniu. Model je definovaný nasledovne:

$$U = R^{-\beta}$$

kde: U – „užitočnosť“ konkrétnej trasy/spojenia pre cestujúceho

R – Impedancia spojenia

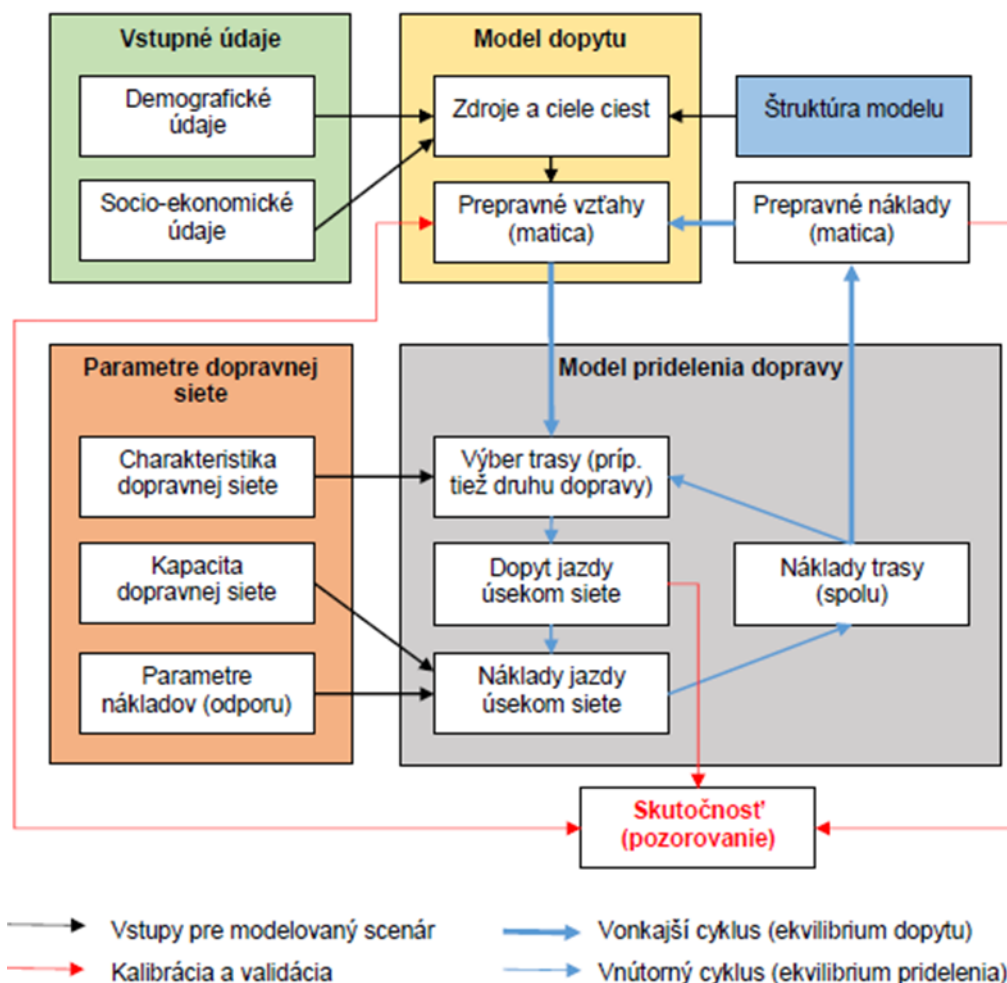
$\beta$  – koeficient, ktorý určuje citlivosť výberu na zmenu impedance

V prípade AMDY  $\beta = 4$ , kedy vyššia hodnota (4) znamená, že cestujúci silnejšie preferujú spojenia s nižšími nákladmi; menej atraktívne trasy sú rýchlo potlačené.

**4.5 Iteračný cyklus**

**Iteračný cyklus zabezpečuje, aby sa model opakovanými výpočtami ustálil do stabilného stavu, tzv. konvergenzie, pri ktorej je rozdelenie dopravy a trasovanie ciest optimálne.** Dopravné zaťaženie na cestách ovplyvňuje časy a rýchlosti presunu medzi zónami a medzi počiatočným a koncovým stavom výpočtov sú tieto časy rozdielne. To spôsobuje rozdiel v skim maticiach a teda vo výslednom trasovaní ciest, preto je potrebné výpočty viackrát opakovať, kým sa výsledky ustália – dosiahnu stabilný stav, takzvanú konvergenciu. Rozdiely v pridelení dopravy medzi cyklami nastávajú, pretože vyššie počty áut na ceste znižujú rýchlosť prejazdu danou cestou. Konvergencia modelu nastane vtedy, ak model v každom výpočtovom cykle prideli na sieť približne rovnaké hodnoty dopravných intenzít ako v predošlom t. j. odchýlka medzi pridelenými intenzitami na sieti je minimalizovaná. To znamená, že model našiel optimálne rozdelenie a trasovanie ciest a akékoľvek alternatívne trasy by nepriniesli výraznejšiu úsporu času. AMDY nedosahoval konvergenciu do maximálneho počtu iterácií (10). Najväčšie rozdiely v pridelení dopravy boli z dôvodu zahraničnej osobnej dopravy a zjednodušenej cestnej siete mimo SR, ktorá ponúkala na dlhšie vzdialenosti viac alternatívnych ciest s podobnými časovými nákladmi. Výpočtový cyklus modelu a nadväznosť jednotlivých krokov je zobrazený a detailnejšie opísaný v Obrázok 6.

Obrázok 6: Vizualizácia výpočtových krokov a kalibrácie modelu



Zdroj: Ministerstvo dopravy Slovenskej republiky (2014)

#### 4.5.5 Podmienky iteračného cyklu

Za uspokojivý výsledok modelu sa považuje stav, kedy sa v iteračnom cykle splní podmienka konvergenencie (definovaná nižšie) a teda výsledky modelu sa medzi iteráciami výrazne nelíšia. V rámci výpočtu dopravného modelu bol implementovaný iteratívny mechanizmus riadený procedúrou Go to procedure v PTV Visum. Táto procedúra slúži na zabezpečenie stability a konvergenencie výstupov modelu. Po ukončení všetkých výpočtových krokov sa model vráti na začiatok cyklu.

Iterácia je riadená nasledujúcimi parametrami:

- **Podmienka konvergenencie:** Konvergenca je považovaná za dosiahnutú v prípade, že absolútna zmena atribútu medzi dvoma iteráciami spĺňa podmienku:

$$|X(n) - X(n-1)| \leq \text{MIN} [1 * \text{MAX}(X(n), X(n-1)) + 300 ; 500]$$

kde:

$X(n)$  - hodnota sledovaného atribútu v aktuálnej iterácii,

$X(n-1)$  - hodnota toho istého atribútu v predchádzajúcej iterácii,

$\text{MIN}[]$  - minimum z dvoch porovnávaných hodnôt (výrazu v hranatých zátvorkách alebo čísla 500)

$\text{MAX}(X(n), X(n-1))$  - väčšia z hodnôt v aktuálnej a predchádzajúcej iterácii.

Táto podmienka zabezpečuje citlivosť na relatívnu aj absolútnu zmenu dopravného objemu a je vhodná najmä pri väčších modeloch s vysokou variabilitou v sieťových atribútoch.



- **Minimálny počet iterácií:** 1 – iteratívna slučka sa vždy vykoná aspoň raz, aj pri rýchlej konvergencii.
- **Maximálny počet iterácií:** 10 – bráni nadmernému opakovaniu výpočtov pri nedosiahnutí konvergenzie.
- **Konvergenčný atribút siete:** Vol\_OA\_convergence – ide o používateľsky definovaný atribút reprezentujúci objem dopravy v rámci SR pre porovnanie podmienky medzi dvoma iteráciami.

## 5 Model nákladnej dopravy

---

Nákladná doprava je modelovaná osobitne pre ľahké a ťažké nákladne vozidlá a nákladné vlaky na báze OD matíc, ktoré boli priamo priradené na dopravnú sieť, bez využitia postupov 4-stupňového modelu. V modeli sa preberajú existujúce dopravné toky nákladných vozidiel. Detailné zdroje a ciele ciest boli agregované do dopravných zón AMDY, čím vznikla vstupná OD matica. Nejde teda o syntetické modelovanie založené na populačných charakteristikách a atraktivite zón ako pri osobnej doprave, ale o tzv. statické modelovanie.

### 5.1 Ťažké nákladné vozidlá

**Údaje o cestách ťažkých nákladných áut vychádzali z dát o výskyte nákladných vozidiel na území SR z mýtného systému za rok 2023.** Tieto dáta vytvárali konkrétne OD-vzťahy, teda na ich základe boli určené presné počiatkové a koncové body ciest. Dáta boli agregované na existujúce zóny modelu a hraničné prechody podľa najbližšieho bodu vstupu na územie SR, ktoré ako doplnkové zóny (Kapitola 1 – Zonácia). Dáta o výskyte nákladných vozidiel boli ročné a teda dáta bolo potrebné upraviť na cesty za deň (vydeliť 365 dňami). Zároveň boli dáta normalizované koeficientom (0,92) tak, aby celkové vozokilometre na sieti boli správne voči kalibračným dátam. Detailný popis dát a ich spracovania sa nachádza v

## 5.2 Ľahké nákladné vozidlá

Ľahké nákladné vozidlá sú modelované ako kombinácia výsledkov modelovania osobných áut (do práce, za službami, diaľkové a zahraničné) a ťažkých nákladných vozidiel. OD matica ľahkých nákladných vozidiel je definovaná ako lineárna kombinácia ostatných OD matíc:

$$T_{LNV} = \frac{1}{\kappa} \sum_i k_i T_i$$

kde  $k_i$  sú hľadané váhy a  $\kappa$  normalizačný koeficient. Odhad váh prebiehal porovnaním počtov vozidiel po zaťažení na sieť s objemom ľahkých nákladných vozidiel podľa Celoštátneho sčítania dopravy. Koeficienty  $k$  boli rozdelené do diskretizačnej mriežky<sup>35</sup> a pre každú lineárnu kombináciu bola vypočítaná korelácia s ľahkými nákladnými vozidlami. Kombinácia s najvyššou koreláciou bola použitá ako odhad váh  $k$  pre výpočet OD matice ľahkých nákladných vozidiel. Pri kalibrácii bolo potrebné ohraničiť váhu zahraničnej osobnej dopravy ( $k_F$ ) tak, aby výsledné kalibračné hodnoty na hraničných priechodoch spĺňali podmienku GEH < 5 (Box 5). Výsledná OD matica je vypočítaná ako:

$$T_{LNV} = \frac{1}{34} (4,5T_F + 2T_L + 2,5T_S + 0,5T_W + 4,5T_{TNV})$$

kde:  $T_F$  – Matica zahraničných ciest

$T_L$  – Matica diaľkových ciest

$T_S$  – Matica ciest za službami

$T_W$  – Matica pracovných ciest

$T_{TNV}$  – Matica ťažkých nákladných vozidiel.

Normalizačný koeficient  $\kappa$  škáluje maticu tak, aby bol modelovaný objem vozokilometrov na sieti zhodný s objemom vozokilometrov podľa kalibračných intenzít<sup>36</sup> ľahkých nákladných vozidiel. Uvedený postup nie je v dopravnom modelovaní zaužívaný, avšak dosahoval vysokú presnosť (GEH) už pred kalibráciou modelu. Zároveň sa metódou podarilo eliminovať kľúčový nedostatok – obmedzenú dostupnosť údajov o ľahkej nákladnej doprave a o pôvode a cieľoch ciest.

## 5.3 Pridelenie ľahkých a ťažkých nákladných vozidiel na cestnú sieť

Pre nákladné vozidlá bol použitý tzv. **Stochastic assignment**, ktorý simuluje náhodné variácie v cestných nákladoch (napr. čas/vzdialenosť). Nákladné vozidlá boli na cestnú sieť pridelené osobitne – najskôr boli pridelené na sieť ľahké, následne ťažké nákladné vozidlá. Táto metóda sa používa aby sa realisticky modelovalo správanie vodičov pri výbere trás. Namísto výberu jednej najkratšej trasy sa pri každom simulovanom výbere zohľadňuje náhodná zložka nákladov, čím vzniká pravdepodobnostné rozdelenie trás. Rozdelenie trás sa odvíjalo primárne od skúmání času, vzdialenosti a od celkovej impedancie danej trasy.

<sup>35</sup> Každý koeficient  $k$  bol diskrétno rozdelený v intervale –5 až 5 v kroku 0,5 a vytvorená kombinácia s ostatnými ( $21^5$  kombinácií)

<sup>36</sup> Suma vozokilometrov podľa celoštátneho sčítania dopravy.

**Box 3: Stochastic assignment v PTV Visum**

Stochastic assignment je metóda priradenia dopravy v PTV Visum, ktorá zohľadňuje, že vozidlá si nemusia vždy vybrať striktne najkratšiu alebo najrýchlejšiu trasu, ale rozhodujú sa s istou mierou neistoty alebo preferencií. Namiesto jednej optimálnej cesty sa predpokladá, že časť vozidiel využíva aj alternatívne trasy, pričom pravdepodobnosť ich výberu závisí od atraktivity trasy (napr. času jazdy, nákladov, počtu prestupov).

V porovnaní s klasickým „all-or-nothing“ priradením, kde všetky vozidlá idú po jednej najlepšej trase, poskytuje stochastic assignment realistickejší obraz rozdelenia dopytu, keďže reflektuje rôznorodosť správania cestujúcich a znižuje nereálne preťaženie jednej cesty. Tento prístup je obzvlášť dôležitý v prípadoch, keď existuje viacero podobne výhodných trás.

Proces stochastic assignmentu v PTV Visum je nasledovný:

- Pre každý OD-pár sa najskôr určí množina alternatívnych trás, ktoré spĺňajú definované kritériá (napr. odchýlka od najlepšej trasy).
- Každéj trase sa priradí pravdepodobnosť výberu podľa jej atraktivity.
- Cestujúci sa následne rozdelia medzi dostupné trasy proporcionálne k týmto pravdepodobnostiam.

Stochastic assignment tiež umožňuje zahrnúť spätnú väzbu zo záťaže siete, teda, že vyššia premávka vedie k väčším časovým nákladom, čo ovplyvňuje ďalšie voľby trás v nasledujúcich iteráciách. Takýmto spôsobom sa model prispôbuje reálnym dopravným podmienkam a dosahuje konvergenciu v rozložení dopravných tokov.

Pri tomto procese sa pre daný počet iterácií, prípade AMDY ich bolo 7, generujú rôzne náhodné scenáre cestných nákladov a následne sa počíta najkratšia trasa pre každý scenár. Výsledkom je rozdelenie dopravných tokov podľa pravdepodobnosti výberu jednotlivých trás, ktoré lepšie odráža rozmanitosť skutočného správania vodičov. Všetky nastavenia priradenia LNV aj TNV na sieť boli v móde „default“ bez zmien pôvodných nastavení PTV Visum.

## 5.4 Nákladné vlaky

**Komplexné údaje o jazdách nákladných vlakov, vrátane ich východiskových a cieľových staníc, vychádzali z reálnych dát Železníc Slovenskej republiky (ŽSR) z roku 2018 a následne boli spracované ÚHP.** Dopravné body súpisu vlaku a cieľové dopravné body vlaku boli agregované podľa obcí/nákladných staníc súpisových/cieľových bodov na zóny modelu. Každý OD pár obsahoval počet vlakov za rok, ktoré vykonajú danú trasu. Z toho dôvodu bolo nutné maticu vydeliť 365 tak, aby bol určený počet vlakov medzi danými OD-vzťahmi za deň.

## 5.5 Pridelenie nákladných vlakov na železničnú sieť

**Pridelenie nákladných vlakov na sieť bolo uskutočnené tak, že celkový dopyt sa na sieť pridelí priamo.** V AMDY bola použitá zjednodušená verzia kroku Incremental assignment, tzv. all-or-nothing assignment, kedy všetky nákladné vlaky boli pridelené v prvom inkremente. Po každom kroku sa aktualizujú náklady vykonaných ciest (napríklad časové zaťaženie úsekov) na základe už priradeného objemu dopravy.

Táto metóda bola zvolená čisto z dôvodu nízkej časovej náročnosti výpočtov, keďže kapacity železníc nemajú v modeli vplyv na počet vypravených nákladných vlakov. Zároveň sú osobné vlaky pridelované na základe cestovných poriadkov, čo nijak neovplyvňuje pridelenie nákladných vlakov na sieť.

**Box 4: Incremental assignment v PTV Visum**

Incremental assignment je metóda priradenia dopravy v PTV Visum, ktorá postupne rozdeľuje dopyt po sieti do viacerých krokov. Proces funguje tak, že sa najskôr priradí časť vozidiel, následne sa prepočíta zaťaženie siete a aktualizujú sa jazdné časy, a až potom sa priraduje ďalšia časť dopytu. Tento proces sa opakuje, kým nie je priradený celý dopyt.

Výhodou incremental assignment je, že poskytuje realistickejší výsledok, pretože zohľadňuje vplyv dopravného zaťaženia na cestovné časy už počas procesu priradovania. Umožňuje tak lepšie simulovať postupné plnenie kapacity ciest a presmerovanie časti dopravy na alternatívne trasy.

Proces incremental assignmentu v PTV Visum je nasledovný:

- Celkový dopyt sa rozdelí do viacerých častí (napr. 25 %, 25 %, 25 %, 25 %).
- Prvá časť dopytu sa priradí metódou all-or-nothing podľa východiskových cestovných časov.
- Po priradení sa aktualizujú jazdné časy v sieti na základe nového zaťaženia.
- Ďalšie časti dopytu sa postupne priradujú na už zaťaženú sieť, pričom sa vždy používajú aktualizované cestovné časy.
- Tento postup pokračuje, až kým nie je priradený celý dopyt.

## 6 Kalibrácia modelu

---

**Model dosahuje presnosť 80 – 93 % podľa odchýlky GEH (Box 5) v závislosti od typu dopravy, čo zodpovedá všeobecnému štandardu dopravných modelov.** Presnosť modelu je v súčasnosti 85 % pre osobnú dopravu na cestách a 80 % vo vlakoch, 93 % pre ľahkú nákladnú dopravu na cestách a 91 % pre ťažkú nákladnú dopravu na cestách. Overenie správnosti modelu, teda jeho kalibrácia, prebiehalo v dvoch krokoch – porovnaním dopravných výkonov na makroúrovni a porovnaním modelovaných a reálnych dopravných tokov podľa kritéria GEH. Použité boli údaje z Celoštátneho sčítania dopravy a údaje o počte cestujúcich vo vlakoch. Kalibrácia znamená porovnanie odchýlok medzi modelovanými a nameranými intenzitami dopravy na cestných komunikáciách a následné doladenie modelu tak, aby sa modelované a reálne údaje zhodovali s čo najmenšími rozdielmi.

**Pre presnú porovnateľnosť údajov medzi CSD a modelom boli modelovaným úsekom priradené im geograficky prislúchajúce identifikačné kódy (ID) z CSD.** Niektoré úseky v modeli boli oproti prislúchajúcim úsekom v CSD rozdelené do viacerých úsekov. V týchto prípadoch sa primárne použil údaj úseku, ktorý prechádzal hranicou okresov, kde boli zaznamenané nižšie intenzity a teda lepšie odzrkadľovali medzi-zonálnu dopravu. Na kalibráciu IAD sa použili údaje CSD o osobných vozidlách.

**Odchýlka GEH je navrhnutá na kalibráciu hodinových intenzít, pričom v AMDY sa modelujú intenzity za priemerný deň. Preto bolo potrebné údaje prepočítať.** Bežným prístupom je použitie faktoru špičkovej hodiny alebo typickú hodinovú distribúciu. Špičková hodina zvyčajne predstavuje 8–12 % denného objemu dopravy, v AMDY bola odhadnutá na 10%.

**Box 5: Štatistická odchýlka GEH**

Štatistická odchýlka GEH (nazývaná aj GEH statistic) je štandardným nástrojom v dopravnom modelovaní, na kvantitatívne porovnanie modelovaných intenzít dopravy s intenzitami nameranými v teréne. Ide o metódu, ktorá kombinuje prvky absolútnej a relatívnej chyby a vďaka tomu je menej citlivá na veľmi malé alebo naopak veľmi veľké objemy dopravy než jednoduché percentuálne odchýlky. GEH tak poskytuje robustnejší nástroj na validáciu dopravných modelov, či už na úrovni celej modelovej siete (makroskopická validácia), alebo pri detailnom skúmaní problémových úsekov (mikroskopická analýza).

Metodika [Design Manual for Roads and Bridges](#)<sup>37</sup> (DMRB) odporúča tieto interpretačné prahy hodnôt GEH:

- $GEH < 5$  – výsledok sa považuje za dobrý, rozdiel medzi modelovanými a nameranými hodnotami je akceptovateľný,
- $5 \leq GEH \leq 10$  – úsek môže vyžadovať dodatočné preskúmanie možných príčin odchýlky (napr. nepresné vstupné dáta, zjednodušenia v sieti, nesprávne modelovanie dopravného správania),
- $GEH > 10$  – poukazuje na zásadný nesúlad, ktorý si vyžaduje podrobnú revíziu modelu, vstupných dát alebo samotnej reprezentácie infraštruktúry.

Podľa DMRB by mala aspoň 85 % modelovanej cestnej siete (jednotlivých úsekov) vykazovať hodnoty GEH menšie ako 5. V takom prípade možno model považovať za dostatočne presnú reprezentáciu reálnych dopravných podmienok v záujmovej oblasti.

Výpočet štatistickej odchýlky GEH je definovaný vzťahom:

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}}$$

kde:

- $M$  – modelovaný objem dopravy (voz/h),
- $C$  – nameraný (reálny) objem dopravy (voz/h).

Vzhľadom na svoj matematický základ sa GEH nepovažuje za štandardnú štatistickú veličinu (nie je to napr. t-test alebo  $\chi^2$ -test), ale za praktickú, empiricky overenú metriku, ktorá bola vyvinutá špecificky pre potreby dopravného modelovania. Jej výhodou je jednoduchý výpočet a dobrá interpretovateľnosť výsledkov v kontexte prevádzkových a plánovacích rozhodnutí.

## 1. Kalibrácia osobnej dopravy

**Cieľom kalibrácie bolo na základe kalibračných dát upraviť procedúry a parametre modelu tak, aby model zodpovedal reálnym dátam na cestnej a železničnej sieti SR.** Proces zahŕňal kalibráciu produktivít a atraktivít prostredníctvom špecifických koeficientov (Kapitola 1 – Zonácia), pričom následne sa prispôbovala distribúcia ciest ako reakcia na zmeny v generovaní trás. Výber druhu dopravy bol upravovaný zmenami parametrov funkcií, najmä váh a fixného koeficientu (Kapitola 3 – Výber druhu dopravy). V časti priradenia dopravy na sieť sa každý cestný úsek hodnotil pomocou parametra Add Value 1, ktorý ovplyvňoval odpor trás a tým aj výber konkrétnych trás, ktoré model v tomto kroku preferoval. Kalibrácia modelu prebiehala v iteratívnom cykle a po každej úprave parametrov bolo potrebné zopakovať výpočtové kroky modelu, až pokiaľ kalibrácia nedosiahla želané výsledky (85 % úsekov s  $GEH < 5$ ).

### Kalibračné dáta

**Na kalibráciu dopravných a prepravných výkonov, aj na kalibráciu podľa metriky GEH boli použité iba tie úseky (1207), na ktoré bol napárovaný kalibračný údaj z celoštátneho sčítania dopravy (CSD) SR za roky 2021/2022 alebo zo sčítania cestujúcich vo vlakoch za rok 2023.** Intravilán veľkých miest nebol do kalibrácie zahrnutý vzhľadom na to, že AMDY nie je určený na modelovanie intrazonálnej dopravy. Tento prístup umožnil sústrediť sa na úseky, kde je k dispozícii

<sup>37</sup> Design Manual for Roads and Bridges, Volume 12, Section 2 (2005). UK Highways Agency



spoľahlivý a porovnateľný kalibračný údaj, a minimalizovať vplyv možných nepresností spôsobených krátkymi cestami v rámci intravilánu.

Kalibračný cyklus zahŕňal opakovanie nasledovných krokov:

### 1. Kalibrácia na základe dopravných a prepravných výkonov

**Kalibrácia osobnej dopravy na makroskopickej úrovni sa zakladala na porovnaní celkových hodnôt najazdených osobokilometrov (km precestované všetkými osobami) a vozidlových kilometrov (km najazdené všetkými vozidlami) na celej sieti SR.** Tento krok umožnil overiť správnosť generovaného množstva ciest a delby dopravy medzi osobnou a verejnou dopravou. Aby model dosiahol pomer 1:1 medzi modelovanými a kalibračnými dopravnými a prepravnými výkonmi na cestách a železničiach, bolo potrebné upravovať celkovú hybnosť generovaných ciest (globálny koeficient = 2,8 - Kapitola 3, časti 1). Porovnávaním vozokilometrov (VZKM) a osobokilometrov (OSKM) sa okrem overenia celkových dopravných a prepravných výkonov na dopravnej sieti SR dosiahlo aj komplexnejšie nastavenie modelu – dopravné výkony boli použité na správne nastavenie výberu druhu dopravy medzi IAD a VOD (Kapitola 3, časť 3).

Kalibrácia dopravných výkonov individuálnej automobilovej dopravy bola vykonaná na základe údajov z celoštátneho sčítania dopravy (CSD) o počte osobných áut na jednotlivých úsekoch. Vozokilometre (VZKM) sa vypočítali ako súčin počtu osobných vozidiel v CSD a dĺžky príslušných úsekov, pričom tieto údaje boli porovnané s modelovými odhadmi, ktoré vychádzali zo súčinu modelovaných intenzít a dĺžky úsekov. A

Kalibrácia prepravných výkonov verejnej osobnej dopravy bola vykonaná na základe údajov sčítania prepravených osôb vo vlakoch SR. Osobokilometre (OSKM) sa vypočítali ako súčin počtu cestujúcich a dĺžky príslušných úsekov trate. Takto získané hodnoty boli porovnané s modelovými OSKM, ktoré boli získané súčinom počtami modelovaných cestujúcich a dĺžok príslušných železničných úsekov.

### 2. Kalibrácia intenzít IAD na zahraničných priechodoch

**Kalibrácia zahraničnej dopravy bola realizovaná porovnaním reálnych intenzít dopravy na hraničných priechodoch s modelovanými intenzitami.** Zložitosť spočívala v potrebe zabezpečiť presnú zhodu intenzít na všetkých hraničných priechodoch, čo si vyžadovalo detailné doladovanie modelu. Pri kalibrácii bolo nutné zohľadniť aj cestujúcich vo vlakoch, ktorých údaje pochádzali zo sčítania cestujúcich vo vlakoch. Absencia údajov od súkromných prepravcov, ako RegioJet a Leo Express, znamenala, že kalibračné údaje boli mierne podhodnotené, čo bolo treba brať do úvahy. Tento proces bol úzko prepojený s úpravami produktivity a atraktivity prihraničných zón mimo územia SR, definovaných v rámci časti generovania dopytu (Generovanie ciest).

### 3. Kalibrácia diaľkových ciest

**Kalibrácia diaľkových ciest (napr. Košice – Bratislava) bola založená primárne na úpravách hybností diaľkových ciest (Kapitola 2 – Definovanie produktív) a na využívaní parametra AddValue 1 upravujúceho impedancie konkrétnych úsekov.** V kombinácii so zahraničným tranzitom cez SR bola realizovaná porovnaním reálnych intenzít dopravy na horských priechodoch, čo znamená, že modelované dopravné toky bolo potrebné zosúladiť s kalibračnými údajmi z CSD. Tento krok bol dosiahnutý upravovaním impedancie úsekov (horských priechodov) pomocou parametra AddValue 1 ako aj pomocou hybností diaľkových ciest. Hybnosti diaľkových ciest boli upravované v kroku Generovanie ciest úpravami koeficientu  $K_{\text{diaľkové\_cesty}}$ . Tieto úpravy zabezpečili, že cesty vykonané v priemere vo vzdialenosti nad 100 km mali realistické rozloženie tokov, ktoré zodpovedalo reálnym dátam a očakávanému dopravnému správaniu – preferovaniu diaľnic a rýchlostných ciest.

### 4. Manuálne úpravy rozdelenia tokov medzi spoplatnené a nespoplatnené cesty

**Kalibrácia modelu osobnej dopravy zahŕňala manuálnu úpravu rozdelenia dopravných tokov medzi diaľnice a paralelné cesty I. a II. triedy na základe reálnych intenzít dopravy.** Tento krok bol realizovaný na základe rozdelenia výstupnej OD matice pre individuálnu automobilovú dopravu (Car) na dve samostatné OD matice – podľa vlastníctva diaľničnej známky, tak ako bolo popísané v časti Výber druhu dopravy, tak aby modelované intenzity na relevantných úsekoch (napr. Banská bystrica - Zvolen) zodpovedali reálnym hodnotám. Keďže vozidlá bez platnej diaľničnej známky nemajú prístup na spoplatnené úseky, bolo možné ich trasy nasmerovať výhradne na nespoplatnené cesty, čím sa výrazne zlepšila presnosť rozdelenia dopravných intenzít. Kalibrácia bola zároveň diferencovaná podľa účelov ciest (za prácou a za službami).

## 5. Kalibrovanie jednotlivých cestných úsekov

**Detailná kalibrácia intenzít na upravovaní jednotlivých krokov modelu tak, aby bola splnená kalibračná podmienka podľa štatistiky GEH.** Na dosiahnutie tohto stavu bolo potrebné upravovať produktivity a atraktivity pracovných ciest a ciest za službami jednotlivých zón, kde bolo potrebné použiť manuálne nastavené koeficienty hybností dopytových vrstiev (Kapitola 1. - Zonácia), ktoré fungovali ako multiplikátor hybnosti, produktivity a atraktivity. Tieto koeficienty mali stanovený limit maximálnej zmeny hybnosti a celkovej produktivity/atraktivity zóny najviac o 15 %, čím sa zabezpečilo, že modelované hodnoty sa odvíjali primárne od dát a nie od ad-hoc úprav.

V PTV Visum bolo ďalej potrebné upravovať impedancie na vybraných úsekoch prostredníctvom funkcie *Add Value 1*, čím sa preferované trasy v modeli buď zvýhodnili, alebo znevýhodnili – napríklad pri paralelných trasách alebo tranzitných variantoch (napr. Čertovica / Donovaly). Detailné kalibrovanie využívalo ako primárny ukazovateľ štatistickú odchýlku GEH, popísanú vyššie. Tu platila podmienka, že aspoň 85 % zohľadňovaných úsekov muselo mať hodnotu GEH nižšiu ako 5.

## 2. Kalibrácia nákladnej dopravy

### Kalibrácia cestnej nákladnej dopravy na základe intenzít dopravy

**Kalibrácia nákladnej dopravy sa primárne opierala o úpravy pridelenia dopravy a nastavenia impedancií úsekov tak, aby bola splnená kalibračná podmienka podľa štatistiky GEH.** Do kalibrácie boli zahrnuté len tie úseky (1194), pre ktoré existovali spoľahlivé údaje o intenzitách nákladných vozidiel z CSD. Kalibrácia sa zameriavala predovšetkým na diaľkové a regionálne trasy mimo husto urbanizovaných oblastí, kde je modelovanie intrazonálnych a krátkych ciest menej presné.

Porovnávanie bolo realizované medzi modelovanými intenzitami nákladných vozidiel (rozdelenými podľa kategórií – LNV a TNV) a sčítanými hodnotami. Výsledky boli priebežne kontrolované pomocou štatistického ukazovateľa GEH, pričom bola dodržaná podmienka, že minimálne 85 % linkových úsekov muselo vykazovať  $GEH < 5$ .

Osobitnú kategóriu predstavovali ľahké nákladné vozidlá, ktoré v modeli nevznikli nezávisle, ale boli odvodené z individuálnej automobilovej dopravy a ťažkej nákladnej dopravy na základe funkcie definovanej v kapitole 3 „*Model nákladnej dopravy*“.

Z tohto dôvodu mal iteračný proces kalibrácie osobnej dopravy priamy vplyv aj na intenzity ľahkých nákladných vozidiel, keďže zmeny v produktivite a atraktivite zón, ako aj v rozdelení ciest, sa spätne premietali do výstupov ľahkej nákladnej dopravy. Kalibrácia teda musela rešpektovať túto previazanú štruktúru a súčasne zabezpečiť realistické výsledky aj pre túto kategóriu dopravy.

### Kalibrácia nákladnej železničnej dopravy na základe počtu vlakov

**Kalibrácia nákladnej železničnej dopravy bola založená na overení a prípadnej úprave odporov na jednotlivých železničných úsekoch.** Počet vlakov na jednotlivých železničných tratiach boli získané z prevádzkových údajov ŽSR. Tie boli následne použité ako referenčná hodnota pre kalibráciu modelovaných intenzít železničných nákladných vlakov. Kalibrácia sa vykonávala na úrovni traťových úsekov a bola zameraná predovšetkým na hlavnú železničnú sieť vrátane medzinárodných koridorov. Aj v tomto prípade bola ako hlavný kontrolný ukazovateľ použitá štatistická odchýlka GEH, pričom platilo rovnaké pravidlo ako pri osobnej doprave – minimálne 85 % úsekov muselo dosiahnuť  $GEH < 5$ .

## 7 Prognózy osobnej a nákladnej dopravy

Pre vyhodnotenie návratnosti projektov a dlhodobé plánovanie investícií v doprave je potrebné čo najpresnejšie odhadnúť budúci dopyt po dopravnej infraštruktúre. Z tohto dôvodu je potrebné vypočítať prognózovaný stav zaťaženia dopravnej siete pre osobnú a nákladnú dopravu. Výstupy modelu sú prognózované do roku 2050 v 5- a 10-ročných intervaloch.

### 7.1 Prognóza osobnej dopravy

Do roku 2050 je očakávaný pokles osobnej dopravy o 6 % na cestách a o takmer 13 % na železničiach, čo zodpovedá demografickej prognóze SAV. Pokles dopravy sa bude týkať väčšiny územia SR, okrem regiónov na severe Slovenska (napr. Orava, Tatry, Šariš) a satelitných oblastí v okolí Bratislavy. Tieto zmeny priamo súvisia s vývojom demografie SR vyplývajúcim z [demografickej prognózy SR](#) (SAV) ako aj so zmenou automobilizácie SR.

Na základe kombinácie prognóz demografie, automobilizácie a zamestnanosti ([Ageing report 2024](#)) bola vytvorená prognóza obyvateľstva SR, ktorá reflektuje štruktúru AMDY. Kombináciou týchto prognóz a normalizáciou k datasetu „upravený RFO 2023“ ([Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.](#)) sa dosiahla komplexná prognóza demografie a socio-ekonomických skupín v AMDY.

#### 7.1.1 Prognóza demografie SR

Do roku 2050 klesne podľa demografickej prognózy SAV počet obyvateľov žijúcich na Slovensku o približne 4 %. Podľa demografickej prognózy SR, vypracovanej Slovenskou akadémiou vied (SAV), populácia SR starne a prirodzený prírastok sa znižuje, čo vedie aj k poklesu počtu ekonomicky aktívnych obyvateľov. Predpokladaný vývoj počtu obyvateľov Slovenska vychádza z demografickej prognózy Slovenskej akadémie vied (SAV) podľa okresov do roku 2040. Tá obsahovala prognózu populácie SR podľa vekových skupín, každá v rozsahu 5 rokov (napr. 20-25). Prognóza SAV bola pretransformovaná a následne metodicky predĺžená do roku 2050 a spracovaná pre potreby AMDY útvarom hodnoty za peniaze. Prognóza SAV bola pôvodne dostupná len do roku 2040, preto bola extrapolovaná do roku 2050 použitím funkcie FORECAST.ETS. Tento prístup zabezpečil, že nevznikli nereálne negatívne hodnoty populácie, hoci v roku 2041 došlo dôsledkom tohto postupu k miernemu umelému nárastu obyvateľstva, ktorý však nemá významný vplyv na prognózy. Výsledkom spracovania bol dataset obsahujúci vývoj obyvateľstva SR do roku 2050 po okresoch, rozdeleného podľa veku do 5 ročných skupín.

#### 7.1.2 Prognóza socio-ekonomických charakteristík obyvateľstva

Do roku 2050 klesne počet ekonomicky aktívnych ľudí s autom o približne 3 %, avšak počet ekonomicky neaktívnych ľudí s autom sa zvýši o takmer 74 %. Tieto hodnoty vyplývajú tak zo zmien zamestnanosti v čase (Ageing report 2024), ako aj z prirodzeného starnutia populácie SR. Z toho vyplýva presun ľudí do dôchodkového veku, t.j. zo skupiny ekonomicky aktívnych do skupiny ekonomicky neaktívnych. Prognóza ekonomickej aktivity obyvateľov Slovenskej republiky bola vytvorená kombináciou demografickej prognózy SR a predpokladaného vývoja pracovnej sily podľa Ageing Reportu 2024. Tento dokument obsahuje prognózu zamestnanosti obyvateľov SR vo veku 20–74 rokov (Employment (20–74y; millions)), vyjadrenú ako percentuálny podiel populácie v danom vekovom intervale, ktorá je ekonomicky aktívna. Keďže údaje Ageing Reportu sú spracované na úrovni krajín EÚ, odhadovaný percentuálny podiel ekonomicky aktívnych obyvateľov SR bol aplikovaný rovnakým pomerom na všetky okresy a následne aj na zóny dopravného modelu. Demografická prognóza SR, rozdelená do 5-ročných vekových kohort, bola agregovaná do celku obyvateľov vo veku 20–74 rokov. Spojením týchto datasetov bolo možné rozdeliť obyvateľov SR na ekonomicky aktívnu a neaktívnu časť populácie.

#### 7.1.3 Prognóza automobilizácie SR

Podľa prognózy automobilizácie SR do roku 2050 narastie počet áut na 1 000 obyvateľov o 36 %, zatiaľ čo počet ľudí využívajúcich auto narastie o približne 16 %. Dôvodom odlišného rastu je všeobecný pokles populácie, zmena pomerov ekonomicky aktívnej a neaktívnej populácie, ako aj zvýšený počet automobilov v jednej domácnosti, resp. vlastníkov viacerých automobilov. Prognóza automobilizácie vychádza z údajov o počte osobných vozidiel agregovaných podľa

okresných dopravných inšpektorátov medzi rokmi 2019 a 2024 a celkovom počte osobných vozidiel v rokoch 2000 až 2024. Počty vozidiel boli porovnané s počtom obyvateľov podľa okresu pre konkrétny rok a bol vypočítaný historický vývoj okresnej i celoslovenskej automobilizácie. Celoslovenská automobilizácia bola modelovaná logistickou regresiou:

$$\log \frac{A(r)}{\kappa - A(r)} = \beta_0 + \beta_1 r,$$

kde  $A(r)$  je automobilizácia v roku  $r$ ,  $\kappa$  úroveň saturácie a  $\beta_0, \beta_1$  odhadované koeficienty.

Saturácia je cieľová úroveň automobilizácie, pri ktorej je plne pokrytý dopyt populácie po automobiloch. Jej hodnota bola stanovená na úroveň 680 vozidiel na 1 000 obyvateľov, pričom táto hodnota bola určená porovnaním historického trendu rastu automobilizácie SR s Fínskom (Eurostat), ktoré má podobnú veľkosť populácie (cca 5,5 milióna) a porovnateľný vývoj miery automobilizácie ako Slovensko. Obe krajiny sa zároveň vyznačujú dominanciou individuálnej automobilovej dopravy, koncentráciou dopravného dopytu do hlavných miest, či väčších centier (napr. Košice/Turku) a riedkym osídlením mimo týchto centier v kombinácii s nepriechodným terénom a vyplývajúcim trasovaním infraštruktúry.

Celoslovenská automobilizácia je predikovaná ako:

$$A(r) = \kappa \frac{e^{\beta_0 + \beta_1 r}}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 r}},$$

kde je  $\beta_0$  odhadnutá na úrovni -145,93 a  $\beta_1$  v hodnote 0,07254<sup>38</sup> určené regresným modelom (Obrázok 7).

Obrázok 7: Výstup regresného modelu celoslovenskej automobilizácie.

```
Call:
lm(formula = logaut ~ rok, data = automob2)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.16337 -0.05720 -0.01055  0.05818  0.21588

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -1.459e+02  5.399e+00  -27.03  <2e-16 ***
rok          7.254e-02  2.683e-03   27.03  <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.09675 on 23 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9695,    Adjusted R-squared:  0.9682
F-statistic: 730.8 on 1 and 23 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Zdroj: IDP

Predikcia okresnej automobilizácie použila lineárnu regresiu:

$$o_i(r) = \beta_0^i + \beta_1^i r,$$

kde boli pre každý okres  $i$  odhadnuté koeficienty  $\beta$  na základe historického vývoja.

Miesto registrácie osobných automobilov nie je vždy identické s miestom využívania vozidla<sup>39</sup>, časť vozidiel bola preto presťahovaná tak, ako bolo popísané v časti **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.** Predikcia automobilizácie bola ďalej prešlávaná:

<sup>38</sup> Uvedené zaokrúhlené hodnoty, v reálnom výpočte koeficienty zaokrúhľované neboli.

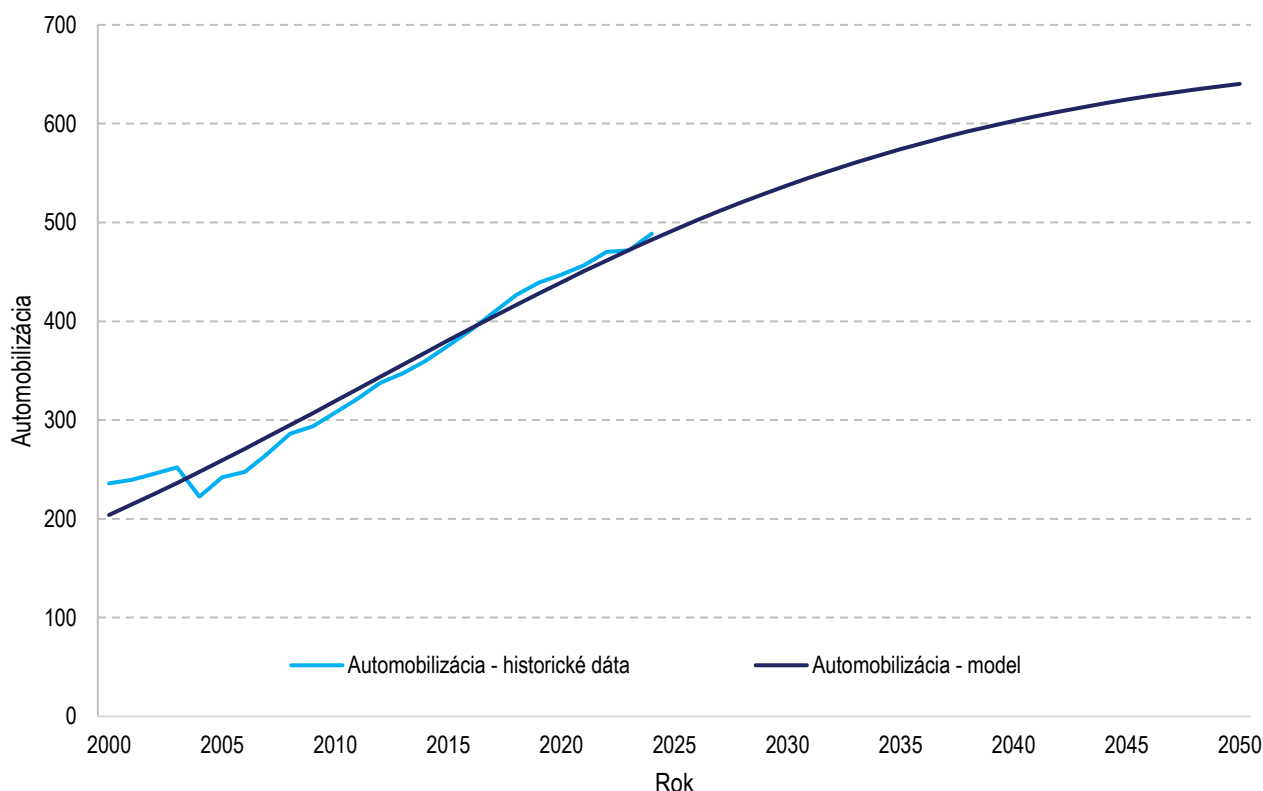
<sup>39</sup> Napr. Firemné vozidlá registrované na hlavné sídlo firmy.

$$\tilde{o}_i(r) = \frac{o_i(r)}{o_i(2023)} a_i^{23},$$

kde  $a_i^{23}$  je upravená automobilizácia k bazickému roku 2023. Finálna predikcia okresnej automobilizácie bola normalizovaná, aby v súčte dosahovala hodnotu celoslovenskej automobilizácie:

$$O_i(r) = \frac{\tilde{o}_i(r)}{\sum_j \tilde{o}_j(r)} A(r).$$

Graf 1: Prognóza automobilizácie



Zdroj: ÚHP/IDP

#### 7.1.4 Prognóza obyvateľov SR s dispozíciou automobilu

Nárast automobilizácie sa nemusí v celkovom objeme prejavíť na podiely populácie, ktorá má k dispozícii auto<sup>40</sup>. Rozdiel v náraste môže byť odlišný pre ekonomicky aktívnu a neaktívnu časť obyvateľstva (Graf 2). Odlišná citlivosť je modelovaná podielom populácie s autom lineárnou regresiou:

$$p_i^{E+} = \beta_0^E + \beta_1^E O_i^E,$$

$$p_i^{N+} = \beta_0^N + \beta_1^N O_i^N,$$

kde  $p_i^{E+}$  je podiel ekonomicky aktívnych s autom voči celej populácii v zóne  $i$  a  $O^N$  úroveň automobilizácie ekonomicky neaktívnych. Rozdiel v citlivosti je odhadnutý ako:

$$\mu = \frac{\beta_1^E}{\beta_1^N}.$$

Pomer  $\mu = 2,62$  znamená, že pri náraste automobilizácie rastie podiel ekonomicky aktívnych ľudí s autom 2,62-krát rýchlejšie ako podiel ekonomicky neaktívnych ľudí s autom. Pri výpočte zmeny populácie je použitý elasticitný model:

$$\Delta p^{E+} = \epsilon_E \Delta A,$$

<sup>40</sup> Časť nových vozidiel si môžu kúpiť obyvatelia, čo už vozidlo vlastní.

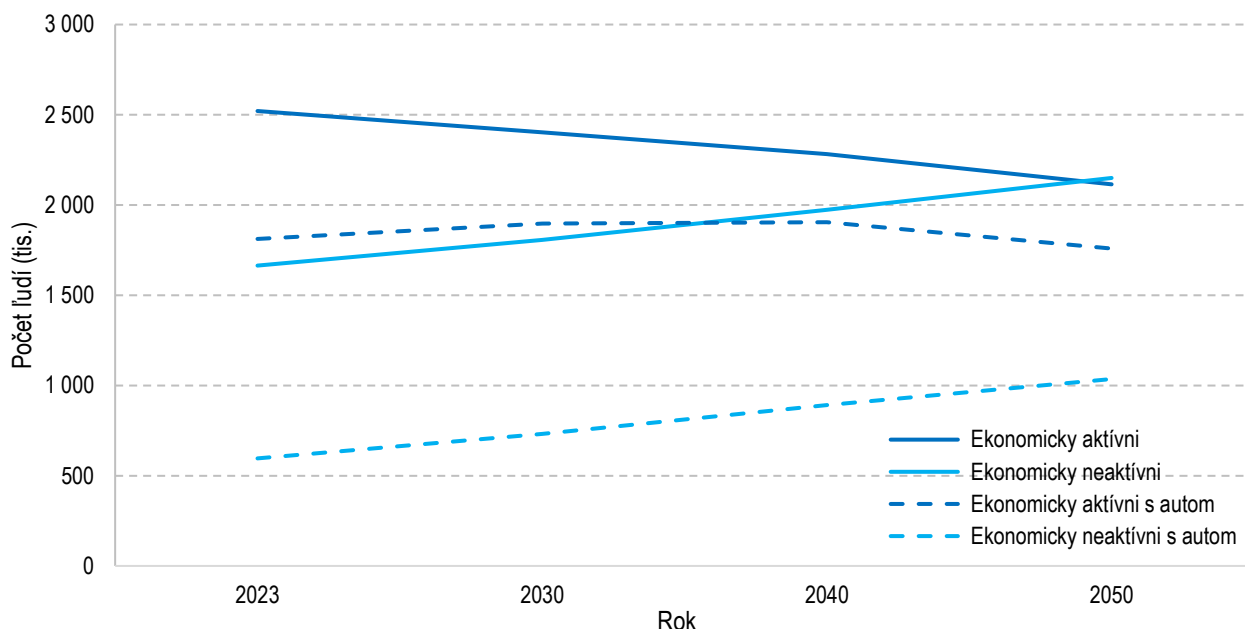
$$\Delta p^{N+} = \epsilon_N \Delta A,$$

kde zmena podielu populácie s autom je priamo úmerná nárastu automobilizácie

$$\Delta A = \frac{A(t_1) - A(t_0)}{A(t_0)}.$$

Bližší popis odhadu elasticity sa nachádza v **Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov..**

**Graf 2: Očakávaný vývoj počtu ľudí s autom**



Zdroj: ÚHP, IDP

### 7.1.5 Prognóza počtu obyvateľov AMDY

Výsledkom všetkých krokov bol dataset prognózovaného stavu populácie SR podľa socio-ekonomických charakteristík vo formáte AMDY. Dataset prognózy rovnako ako upravený RFO 2023 (**Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**), rozlišuje obyvateľov podľa štyroch demografických skupín:

- ekonomicky aktívni s autom,
- ekonomicky aktívni bez auta,
- ekonomicky neaktívni s autom,
- ekonomicky neaktívni bez auta.

Model AMDY teda potrebuje tieto štyri skupiny pre každú zónu. Prognózy boli vypočítané na základe percentuálnej zmeny oproti roku 2023, a to v dvoch krokoch:

1. **Výpočet rastových koeficientov** – pre každú zónu a demografickú skupinu sa určil rastový koeficient ako pomer hodnôt prognózovaného roku (napr. 2030) k roku 2023. Tieto koeficienty boli vypočítané pre roky 2030, 2040 a 2050.
2. **Aplikácia koeficientov** – vypočítané rastové koeficienty sa následne aplikovali na údaje z upraveného RFO 2023 (**Chyba! Nenašiel sa žiaden zdroj odkazov.**), čím sa získal finálny prognózovaný stav pre jednotlivé zóny a skupiny.



## 7.2 Prognóza nákladnej dopravy

**Z historických dát a elastického modelu založeného na raste HDP Slovenska sa do roku 2050 očakáva nárast počtu nákladných vozidiel na cestách o 71 % a nárast počtu nákladných vlakov o 43 % voči roku 2023.** Predpokladaný vývoj intenzít nákladnej dopravy je založený na historických dátach z Ročeníek dopravy, pôšt a komunikácií, ktoré sú následne prognózované pomocou koeficientu elasticity dopytu odvíjajúceho sa od predpokladaného rastu HDP Slovenska zaznamenaného Eurostatom. Predpokladaný rast dopravy sa počíta osobitne pre nákladnú dopravu na cestách a železniciach z dôvodu odlišného charakteru prepravovaných komodít a teda ich predpokladaného rastu. Využitím údajov o raste HDP Slovenska podľa Annual Ageing reportu Európskej komisie a elasticity rastu nákladnej dopravy voči rastu HDP určenej vo výške 1,25 pre cestnú a 0,83 pre železničnú dopravu. Výsledné rasty nákladnej dopravy sú zobrazené v grafe 3.

**Pre adresnosť boli osobitne počítané prognózy pre cestnú a osobitne pre železničnú nákladnú dopravu.** HDP sa zvyčajne používa ako ukazovateľ rastu celkového dopytu po doprave, bez ohľadu na to, aký druh dopravy sa použije. Historicky má železničná doprava nižšiu pružnosť (elasticitu) ako cestná, pretože prepravované tovary sú odlišné. Preprava tovarov ako napr. poľnohospodárske produkty a produkty ťažkého priemyslu, ktoré sa prepravujú hlavne po železnici, rástla pomalšie ako preprava tovarov po cestách. Na rozdiel vo vývoji môžu mať vplyv aj faktory ako ceny, kvalita železničnej siete a poskytovaných služieb. Do budúcnosti sa plánuje brať do úvahy fakt, že produkcia rôznych druhov tovarov rastie rôzne rýchlo, a preto bolo by lepšie odhadnúť samostatné elasticity pre jednotlivé skupiny tovarov. Tento prístup bude zároveň odzrkadľovať postupný presun ekonomiky z výroby tovaru na poskytovanie služieb, ktorý je očakávaný pri viac vyvinutých ekonomikách.

**Pri tvorbe prognózy intenzít nákladnej dopravy pre Slovensko sa predpokladalo, že odhadovaný rast dopravy nebude závisieť od regionálnych rozdielov v rámci krajiny a teda bude pre celé Slovensko rovnaký.** Použitím tohto zjednodušenia a považovaním Slovenska za jeden celok môžeme minimalizovať pravdepodobnosť nepresností, ktoré by vznikli pri podrobnejšom rozdelení na menšie zóny. Najväčším zdrojom chýb by mohla byť skutočnosť, že zatiaľ neexistujú spoľahlivé dlhodobé prognózy regionálnych HDP na Slovensku. Prognózy nákladnej dopravy na cestách a železniciach SR sa následne vypočítavajú na základe očakávaného ročného rastu HDP podľa Správy o starnutí obyvateľstva z roku 2021 (MMF) pre Slovensko (do roku 2050) a jeho najbližších susedov, pričom sa použijú elasticity medzi intenzitami nákladnej dopravy a HDP.

Elasticita medzi intenzitou nákladnej dopravy ( $I$ ) a hrubým domácim produktom (HDP) je definovaná nasledovne:

$$\eta = \frac{\% \Delta I}{\% \Delta HDP}$$

z čoho vyplýva, že percentuálny rast intenzít nákladnej dopravy nasleduje vzťah:

$$\% \Delta I = \eta * \% \Delta HDP$$

kde:

$\eta$  – elasticita medzi percentuálnym rastom intenzít a HDP v požadovanom referenčnom období,

$\% \Delta I$  – priemerný percentuálny rast intenzít nákladnej dopravy,

$\% \Delta HDP$  – priemerný percentuálny rast HDP.



## Zoznam skratiek

Zoznam skratiek nasleduje po bibliografii a je vo forme tabuľky, štandardne ohraničenej zhora aj zdola.

| Skratka    | Názov                                               |
|------------|-----------------------------------------------------|
| AMDY       | Analytický model dopravnej prognózy                 |
| ÚHP        | Útvar hodnoty za peniaze                            |
| MF SR      | Ministerstvo financií Slovenskej republiky          |
| MD SR      | Ministerstvo dopravy Slovenskej republiky           |
| IDP        | Inštitút dopravnej politiky                         |
| NDS        | Národná diaľničná spoločnosť                        |
| SAV        | Slovenská akadémia vied                             |
| EU         | Európska únia                                       |
| EC         | Európska komisia                                    |
| World Bank | Svetová banka                                       |
| RFO        | Register fyzických osôb                             |
| ZP         | Register zdravotne poistených                       |
| SP         | Sociálne poistenie (údaje o zamestnancoch)          |
| RO         | Register organizácií                                |
| SODB       | Sčítanie obyvateľov, domov a bytov                  |
| IČO        | Identifikačné číslo organizácie                     |
| EDUID      | Identifikačný kód školy                             |
| OD-matica  | Origin–Destination matica                           |
| GEH        | Štatistická odchýlka (Geoffrey E. H.)               |
| DMRB       | Design Manual for Roads and Bridges                 |
| CBA        | Cost-Benefit Analysis (analýza nákladov a prínosov) |
| HDP        | Hrubý domáci produkt                                |
| vzkm       | Vozidlový kilometer                                 |
| oskm       | Osobokilometer                                      |

## Prílohy

### Príloha 1: Detailné spracovanie administratívnych registrov

**AMDY vyžaduje demografické a socio-ekonomické dáta z rôznych zdrojov na správny výpočet O-D matic, generovanie trás a modelovanie priemernej dennej dopravy.** Cieľom bolo zozbierať, vyčistiť, spracovať a nakoniec aktualizovať tieto dáta pre rok 2023. Spôsob spracovania dát je popísaný v nasledujúcej časti s tým, že pri spracovaní dát bol kladený dôraz na konzistentnosť a overovanie správnosti dát tak, ako bolo popísané v Kapitole 2.1.

#### Zdravotné poistenie

##### Využitie

Zdravotné poistenie bolo na Slovensku povinné, preto sa predpokladalo, že každá fyzická osoba s dlhodobým pobytom relevantná pre model bola v tomto datasete zastúpená. Zahŕňalo žiakov, študentov, pracujúcich dospelých aj dôchodcov. Dataset zároveň umožnil filtrovať osoby s trvalým pobytom na Slovensku, ktoré však pracovali v zahraničí — tí v ňom neboli evidovaní. Zahraniční pracovníci z EÚ, ktorí neboli v RFO, ale pracovali na Slovensku, boli v datasete zahrnutí, hoci nie vždy správne označení.

##### Počiatočný stav

- **rč** (anonymizované rodné číslo) slúžilo na prepojenie medzi datasetmi.
- **cudzinec\_podla\_zp** (binárna premenná indikujúca cudzincov) bola po prepojení s Registrom fyzických osôb (RFO) vyhodnotená ako nepresná.

##### Čistenie dát

- Nezaznamenali sa duplikáty ani chýbajúce hodnoty, preto nebolo potrebné ďalšie čistenie, keďže dodatočné analýzy sa realizovali až po prepojení s RFO.

##### Prieskum dát

- Počet záznamov predstavoval 5 291 098 riadkov.
- Počet označených cudzincov bol 23 939.
- Formát rodných čísel bol jednotný.

##### Komplikácie

- Počet cudzincov neodpovedal údajom v RFO, preto sa preferovalo RFO ako presnejší zdroj.
- Počet osôb v RFO bol výrazne vyšší ako v zdravotnej poisťovni.
- Zdravotná poisťovňa obsahovala osoby, ktoré reálne pracovali na Slovensku (vrátane neregistrovaných občanov EÚ bez uvedenej adresy, cudzincov s dlhodobým pobytom), ale nezahrňala Slovákov pracujúcich v zahraničí ani neaktívnych cudzincov.
- Preto bolo vykonané mapovanie údajov z RFO na dáta zo zdravotnej poisťovne. Osoby so slovenským trvalým pobytom a zahraničnou prácou (najmä v pohraničných regiónoch) boli riešené samostatnou korekciou.

#### Register fyzických osôb

##### Využitie

Register fyzických osôb obsahoval údaje o slovenských občanoch a cudzincoch, ktorí nahlásili svoj pobyt na území Slovenska. Občania EÚ nemali povinnosť tento pobyt hlásiť, preto mohli v databáze chýbať. Dataset zahŕňal trvalý alebo prechodný pobyt jednotlivcov. Filtrácia osôb prebiehala podľa atribútu „typ\_osoby“. Osoby kategórie 2 boli vo väčšine prípadov irelevantné, pretože nemali trvalý pobyt na Slovensku, avšak približne 15 000 osôb tohto typu s prechodným pobytom mohli potenciálne na Slovensku bývať. Typy 1, 3 a 4 boli relevantné, avšak bolo potrebné ich

overiť prostredníctvom zdravotného poistenia (ZP), aby sa eliminovali osoby s pobytom na Slovensku, ktoré však skutočne žili a pracovali v zahraničí.

### Počiatočný stav

- **rč** (rodné číslo).
- **dn** (dátum narodenia), využívaný na výpočet veku.
- **du** (dátum úmrtia), slúžil na identifikáciu zosnulých.
- **typ\_osoby**, využívaný na klasifikáciu osôb:
  - 1 – občan s trvalým pobytom na Slovensku,
  - 2 – občan bez trvalého pobytu na Slovensku,
  - 3 – cudzinec s nahláseným pobytom na Slovensku,
  - 4 – cudzinec s udeleným azylovým právom na Slovensku.
- **rc\_man** (rodné číslo manžela/manželky).
- **tp2022** (trvalý pobyt – kód obce).
- **pp2022** (prechodný pobyt – kód obce).

### Čistenie dát

- Odstránili sa nerelevantné stĺpce.
- Vymazali sa záznamy s chýbajúcim alebo neplatným rodným číslom (hodnota 0).
- Skontrolovali a odstránili sa duplicitné záznamy (0 nájdených).
- Vymazali sa zosnulé osoby a osoby bez uvedeného roku narodenia.
- Zachoval sa iba rok narodenia (bez presného dátumu).
- Vymazali sa osoby bez evidovaného pobytu z dôvodu nemožnosti prepojenia.
- Vymazali sa osoby narodené v roku 2023.
- Zachovala sa iba jedna adresa pobytu na osobu (uprednostnil sa prechodný pobyt, ak bol uvedený, inak trvalý).

### Prieskum dát

- Najstaršia osoba bola narodená v roku 1915 (umelo stanovený limit).
- 206 875 osôb nemalo trvalý pobyt (väčšinou Slováci žijúci v zahraničí alebo cudzinci).
- 5 413 768 osôb nemalo prechodný pobyt – teda žije tam, kde má trvalý pobyt, poprípade prechodný pobyt nenahlásil (Slováci na Slovensku, azylanti; niektorí mohli žiť alebo pracovať v zahraničí, možná konfrontácia s údajmi ZP).
- 102 445 osôb malo trvalý aj prechodný pobyt (Slováci na Slovensku, prípadne niektorí v zahraničí).
- 293 456 osôb nemalo ani trvalý, ani prechodný pobyt (pomerne veľký počet):
  - 174 261 osôb typu 2 (Slováci žijúci v zahraničí),
  - 86 145 osôb typu 3,
  - 32 884 osôb typu 1 (po vymazaní osôb narodených v roku 2023 sa ich počet znížil na polovicu),
  - 166 osôb typu 4 (celkovo veľmi malý počet).

### Komplikácie

- Po základnom čistení zostalo v datasete stále 5 723 088 osôb, čo bolo nadmerné množstvo (SODB 21).

- Výrazný počet osôb bez evidovaného pobytu, pravdepodobne išlo o dočasných cudzincov.
- Nezahrnutie občanov EÚ, ktorí nemali povinnosť nahlásiť pobyt.
- Slovenskí občania s trvalým pobytom na Slovensku mohli žiť a pracovať v zahraničí.
- Osoby kategórie 2 mali zadaný trvalý pobyt, no väčšinou sa nachádzali mimo územia Slovenska.

### Poznámky

Dataset obsahoval všetkých slovenských občanov a registrovaných cudzincov. Vylúčení boli občania EÚ, ktorí neboli registrovaní v RFO, ale žili a pracovali na území Slovenska podľa údajov zdravotnej poisťovne. V datasete sa nachádzali aj osoby, ktoré nemali byť zahrnuté, konkrétne Slováci žijúci v zahraničí a cudzinci, ktorí už na Slovensku nežili.

Prítomnosť osôb bez evidovaného pobytu bola spôsobená najmä tým, že väčšina z nich boli Slováci žijúci v zahraničí, ktorých bolo možné pre účely AMDY ignorovať. Rovnako boli ignorovaní azylanti, nakoľko ich počet bol veľmi nízky. Zaznamenal sa však značný počet registrovaných cudzincov bez evidovaného pobytu.

Osoby s rokom narodenia 2023 tvorili skupinu 38 773 záznamov, pričom žiadna z nich nemala evidovaný pobyt a väčšina patrila do typu 1. Tieto záznamy boli vymazané. V datasete bolo tiež evidovaných 58 667 detí narodených v roku 2022, z toho 17 804 bez pobytu. Zaujímavým pozorovaním bolo, že každý rok až do roku 2010 bolo približne 5 000 osôb evidovaných bez pobytu.

### Zlúčenie RFO a údajov zo zdravotného poistenia

Na získanie dátovej množiny osôb relevantných pre model boli vytvorené dve kategórie, každá s dvomi možnosťami, na základe ktorých sa pôvodné dátové rámce rozdelili. Prvým kritériom bolo občianstvo, ktoré sa určilo podľa typu osoby uvedeného v RFO. Za Slovákov boli považované všetky osoby typu 1. Za cudzincov boli považované osoby typu 3 a 4. Osoby typu 2 boli vylúčené, nakoľko s vysokou pravdepodobnosťou nežili na území Slovenska a teda neprispievali k dopravnému zaťaženiu.

Druhým kritériom bolo zdravotné poistenie, určené podľa výskytu osoby v databáze ZP. Predpokladalo sa, že osoby so zdravotným poistením sú aktívne prítomné na Slovensku z dôvodu práce alebo štúdia. Osoby bez poistenia mohli byť napríklad tí, ktorí žijú a pracujú v zahraničí.

### Po zlúčení:

- Slováci so zdravotným poistením (podľa ZP): **4 987 122**
- Slováci bez zdravotného poistenia (ZP mapované na Slovákov): **412 659**
  - Títo Slováci sa pravdepodobne dlhodobo zdržiavajú v zahraničí
- Cudzinci so zdravotným poistením: **141 184**
- Cudzinci bez zdravotného poistenia: **166 564**

Všetky osoby so zdravotným poistením boli považované za dlhodobo prítomné na Slovensku, preto boli obe skupiny zlúčené a použitá bola ako základná množina pre modelovanie (celkovo **5 128 306** osôb).

### Komplikácie:

- **30 637** osôb sa nachádzalo v ZP, ale neboli v RFO. Pravdepodobne išlo o občanov EÚ alebo študentov, ktorí na Slovensku pracujú alebo študujú, ale ich bydlisko nebolo evidované.
- **5 128 306** osôb tvorí finálnu dátovú množinu, pričom pôvodný súbor ZP obsahoval **5 291 098** záznamov. Otázka: Čo sa stalo so **162 792** osobami?
  - Známe fakty:
    - **30 637** neboli v RFO
    - Približne **2 000** osôb typu 2 bolo vylúčených

- Ďalej:
  - **15 586** osôb typu 1, ktoré neboli mŕtve a nemali evidovaný pobyt
  - **4 950** osôb typu 2, ktoré neboli mŕtve a nemali evidovaný pobyt
  - **9 401** osôb typu 3, ktoré neboli mŕtve a nemali evidovaný pobyt
  - **100 239** osôb, ktoré boli mŕtve, ale stále evidované v ZP
- Vyššie uvedené skupiny spolu predstavujú **162 905** osôb, čo vysvetľuje rozdiel v počtoch.

#### Výstupné premenné:

- rc
- rc\_man
- rok\_nar
- pobyt

Výsledná množina nezahŕňa občanov EÚ, ktorí sa na Slovensku nezaregistrovali, hoci tu pracujú a žijú. V súčasnosti neexistuje spôsob, ako určiť ich miesto pobytu. Z analýzy boli tiež vylúčené osoby, ktoré žijú na Slovensku, ale pracujú v zahraničí.

Niektoré nedokonalosti súvisia aj s vylúčením osôb, ktoré nemali evidovaný pobyt na Slovensku, aj keď boli zdravotne poistené.

#### Register organizácií

##### Využitie

Register organizácií prepájal IČO (jedinečný identifikátor) s kódom obce podľa miesta registrácie organizácie. Názvy a právne formy organizácií boli ponechané pre jednoduchšiu manipuláciu s údajmi.

##### Počiatkový stav

- **ico**: IČO, jedinečný identifikátor každej organizácie
- **datvzn, datzan**: dátum vzniku, dátum zániku
- **forma**: právna forma organizácie
- **sidkrj, sidokr, sidobec**: kód kraja, okresu, obce

##### Čistenie údajov

- Odstránili sa záznamy s prázdnyim IČO alebo duplicitami
- Ponechali sa len existujúce organizácie
- Upravil sa formát kódu obce – ponechaných bolo len posledných 6 číslic
- Nepodstatné stĺpce boli vymazané
- Odstránili sa záznamy osôb s kódom obce „ZZZZZZ“

##### Preskúvanie údajov

- Pôvodný dataset obsahoval **1 857 706** záznamov
- Existujúce organizácie boli označené dátumom zániku **31.12.2500**
- **25** záznamov (všetky fyzické osoby) malo v poli kód obce len písmená „Z“
- Neexistovali žiadne prázdne kódy obcí
- Po vyčistení ostalo **959 253** záznamov

## Komplikácie

- V tomto štádiu sa nezaznamenali žiadne výrazné komplikácie

## Poznámky

Dataset zahŕňa všetky registrované organizácie na Slovensku. Potenciálne nemusí obsahovať štátne organizácie a úrady, čo môže byť relevantné pre model. V datasete sa nenachádzajú subjekty, ktoré by nemali byť súčasťou analýzy.

## Vysokoškolskí študenti

### Využitie

Register vysokoškolských študentov slúžil na identifikáciu študentov vysokých škôl, ktorí boli následne priradení k svojim univerzitám a považovaní za ekonomicky neaktívnych. Podarilo sa získať zoznam univerzít s ich kódmi a zodpovedajúcimi kódmi obcí, čo umožnilo priradenie každého študenta ku konkrétnej obci podľa sídla školy.

### Počiatočný stav

- **rc**: rodné číslo
- **endofstudy**: dátum ukončenia štúdia
- **university, universitycode**: univerzita
- **faculty, facultycode**: fakulta
- **studyform, studyformcode**: forma štúdia (denná alebo externá)
- **workplace, workplacecode**: alternatívne miesto výkonu štúdia

### Čistenie údajov

- Odstránili sa nepodstatné stĺpce
- Ponechali sa iba denní študenti
- Zlúčilo sa so zoznamom univerzít a odstránili sa nadbytočné stĺpce
- Upravili sa kódy obcí pre príslušné fakulty
- Študenti boli rozdelení na slovenských a zahraničných na základe hodnoty v poli rc
- Pridaný bol stĺpec student pre jednoduchšiu identifikáciu
- Študenti boli zoskupení podľa kódu obce a uložené boli samostatné dátové rámce pre každú skupinu

### Preskúmanie údajov

- **8 675** osôb malo zadane miesto výkonu štúdia, z toho **4 176** boli evidovaní ako denní študenti a viac ako **1 200** malo uvedené zahraničie
- Pred čistením dataset obsahoval **208 055** záznamov
- Všetky záznamy obsahovali rc a každý študent mal priradený školský kód
- Jeden záznam obsahoval nezmyselný dátum ukončenia štúdia (pred začiatkom), ktorý bol upravený, ale považovaný za irelevantný

## Komplikácie

- Osoby s uvedeným miestom výkonu štúdia pravdepodobne neštudovali v obci zodpovedajúcej sídlu univerzity
  - Počet takýchto prípadov bol nízky a otázka je aj ich pravidelná fyzická prítomnosť
- Externí študenti
  - Vzhľadom na predpokladanú zamestnanosť alebo štúdium na inej škole boli vylúčení

- Niektoré fakulty sídlili v inom meste ako univerzita
  - Tento problém bol vyriešený manuálnou úpravou – fakulty boli identifikované a priradené k správnejmu kódu obce
- Zahraniční študenti s rc začínajúcim na „ZAH“
  - Nebolo možné ich priradiť k RFO, predpokladalo sa však, že bývajú v meste, kde sídli univerzita
- Zistených bolo **25 358** duplikovaných záznamov (bez externých študentov)
  - Zdá sa, že každý študent mal maximálne jeden duplikát
  - Vyskytli sa prípady zmeny školy v roku 2022 (ukončenie jedného štúdia a začiatok ďalšieho – obe evidované), ako aj prípady paralelného štúdia na dvoch programoch – predpokladalo sa, že obidve prebiehali v tom istom meste
  - Zatiaľ bol ponechaný len posledný záznam, ako reprezentácia najaktuálnejšieho stavu (napr. ukončenie I. stupňa a začatie II. stupňa vysokoškolského vzdelania)

### Poznámky

Dataset zahŕňa všetkých evidovaných študentov vysokých škôl na Slovensku, avšak v datasete sa môžu nachádzať aj externí študenti, ktorí by nemali byť súčasťou analýzy, avšak ich filtrovanie by vyžadovalo dodatočné informácie.

### Výstupy

- **merged\_[SK/ZAH]:**
  - rc
  - university: kód obce príslušnej univerzity
  - student: príznak „1“
- **obce\_studenti\_[SK/ZAH]:**
  - university: kód obce univerzity
  - student: počet študentov

### Školy

#### Využitie

Register škôl slúžil na priradenie žiakov ku konkrétnym školám podľa miesta ich sídla a zároveň na určenie počtu študentov v jednotlivých obciach.

#### Východiskový stav

- **eduid:** jedinečné identifikačné číslo školy
- **typ\_sasz:** typ inštitúcie (typ školy, zahŕňa aj školské jedálne)
- **nazov:** názov inštitúcie
- **obec:** názov obce
- **stav\_sasz:** stav fungovania inštitúcie

#### Čistenie údajov

- Odstránili sa nepodstatné stĺpce
- Dataset bol zlúčený so zoznamom zón s cieľom previesť názov obce na číselný kód

#### Preskúmanie údajov

- V súbore sa nachádzali rôzne typy inštitúcií (jedálne, internáty)



- Predpokladalo sa, že môžu zostať, keďže študenti sú priradení výlučne školám
- Niektoré záznamy mali nešpecifikovaný typ, avšak platilo rovnaké pravidlo
- Niektoré inštitúcie boli označené ako nefunkčné
  - Rovnako platilo, že ak sú k nim priradení študenti, mohli zostať, inak sa odporúčalo ich vynechať
  - Z celkového počtu **19 860** bolo funkčných **16 680** inštitúcií

### Komplikácie

- Vyskytli sa duplicity v poli eduid, často s odlišnou lokalitou
  - Predstavovalo to zásadný problém, keďže išlo o externé alebo prídavné pracoviská hlavnej školy, často umiestnené v inej obci
  - Študenti navštevujúci tieto elokované pracoviská boli však priradení k hlavnej škole, čo skresľovalo lokalizáciu študentov podľa sídla školy
  - Existujú detailné kódy pre každú konkrétnu školu a jej súčasti, avšak nebol k nim zatiaľ zabezpečený prístup
  - Výsledkom bolo, že študenti boli často priradení k presnejším kódom, ktoré sa v registri škôl nenachádzali, čo spôsobilo nemožnosť spárovania – tento problém sa týkal približne **22 000** študentov
  - Existuje verejne dostupný zdroj s presnými údajmi o inštitúciách a ich kódoch
- Päť inštitúcií nemalo priradený okres
  - Vyžadovalo si to manuálnu úpravu

### Poznámky

Dataset obsahuje všetky registrované školy a s nimi súvisiace školské zariadenia na Slovensku. Relevantné subjekty chýbajúce v datasete nie sú identifikované. V datasete sa nachádzajú niektoré vedľajšie inštitúcie (napr. jedálne), ktoré však nepredstavujú zásadný problém pre analýzu. Priradenie špecifického kódu každému zariadeniu, ktoré by ho separovalo od agregovaných dát a odstránilo by duplicity EDUID si vyžaduje doplnenie údajov z externého zdroja.

### Výstup

- eduid
- kód obce

### Žiaci

#### Využitie

Register žiakov slúžil na priradenie jednotlivých žiakov ku školám, ktoré navštevujú, ako aj na zistenie počtu žiakov v jednotlivých obciach.

#### Východiskový stav

- **rc**: rodné číslo
- **obec\_pobytu**: kód obce, avšak v nezvyčajnom formáte
- **eduid**: identifikátor školy

#### Čistenie údajov

- Zachovali sa len stĺpce rc a eduid
- Odstránili sa záznamy s prázdnyim rc
- Pridaný bol stĺpec student s hodnotou 1
- Dataset bol zlúčený so zoznamom škôl na základe eduid

**Preskúmanie údajov**

- Pôvodne obsahoval súbor **1 015 865** záznamov
- Zistených bolo **1 832** záznamov s chýbajúcim rc
- Všetky záznamy obsahovali eduid

**Komplikácie**

- Kódy obcí boli vo zvláštnom formáte
  - Odporúčalo sa tieto hodnoty vynechať a doplniť po zlúčení údajov s RFO
- **22 268** žiakov nebolo po zlúčení priradených ku žiadnej škole
  - Vyžadovalo diskusiu o spôsobe opravy
  - Vo väčšine prípadov išlo o elokované pracoviská alebo špecifické typy inštitúcií, ktoré neboli zahrnuté v pôvodnom zozname škôl

**Výstup**

- rc
- eduid
- student
- KOD\_OBEC

**Autá****Využitie**

Register vozidiel slúžil na identifikáciu fyzických osôb, ktoré vlastnili alebo držali osobné vozidlá. Dataset bol rozdelený na dve časti – jedna obsahovala bežných občanov, druhá samostatne zárobkovo činné osoby (SZČO).

**Východiskový stav (len relevantné stĺpce)**

- drzitel\_ico: IČO držiteľa vozidla
- drzitel\_rc: rodné číslo držiteľa vozidla
- drzitel\_typ\_subjektu: typ držiteľa (fyzická osoba / právnická osoba)
- vlastnik\_ico: IČO vlastníka vozidla
- vlastnik\_rc: rodné číslo vlastníka vozidla
- vlastnik\_typ\_subjektu: typ vlastníka (fyzická osoba / právnická osoba)

**Čistenie údajov**

- Zachovali sa len osobné vozidlá (bežné automobily)
- Vytvorili sa dve skupiny držiteľov: bežní občania a SZČO
- Zachovali sa len relevantné stĺpce
- Zameralo sa výlučne na držiteľov vozidiel, nie na vlastníkov – držiteľ je osoba, ktorá automobil reálne používa

**Preskúmanie údajov**

- Zistené boli prípady osôb, ktoré držali veľký počet vozidiel (maximum bolo **715** vozidiel na jedného držiteľa)

**Komplikácie**

- Niektorí držiteľia vozidiel sa nenachádzali v RFO
  - Išlo pravdepodobne o zosnulé osoby alebo osoby bez evidovaného pobytu

## Doplnkové informácie

Dataset obsahuje všetky registrované vozidlá na Slovensku. Vozidlá neregistrované na Slovensku, ale vlastnené Slovákmi, pravdepodobne predstavujú zanedbateľný počet a nie sú zahrnuté. V datasete sa nachádzali rôzne kategórie, ktoré boli počas čistenia odstránené (veterány, motorky, atď.). Extrémne hodnoty (outlieri) si vyžadujú samostatné posúdenie podľa účelu použitia (napr. registrované pred rokom 1970).

## Výstup

- rc / ico
- aut: počet držaných vozidiel

## Typ zamestnania (Sociálne poistenie)

### Východiskový stav (len relevantné stĺpce)

- rc: rodné číslo
- ico: IČO zamestnávateľa
- statusDobrovoľnePO: Dobrovoľne poistená osoba
- statusDohodár: pravdepodobne zamestnanec na dohodu (časť. úväzok)
- statusMaterská: materská dovolenka
- statusZamestnanec: zamestnanecký pomer
- statusŽivnostník: samostatne zárobkovo činná osoba

## Použitie

Register sociálneho poistenia poskytoval informácie o pracovnom statuse jednotlivcov a zároveň ich prepájal s firmami, v ktorých pracovali. Záznamy umožňovali identifikovať typ pracovného vzťahu, aký daná osoba mala.

## Čistenie údajov

- Zatiaľ sa nevykonali žiadne úpravy

## Preskúvanie údajov

- Pôvodne **3 448 730** záznamov
- Všetci živnostníci mali IČO nastavené na „101“
- Žiadne chýbajúce hodnoty v rc a ico
- Počty podľa typu:
  - **254 671** samostatne zárobkovo činných osôb
  - **2 417 812** zamestnaných na plný úväzok
  - **66 920** na materskej/rodičovskej dovolenke
  - **766 543** zamestnaných na dohodu
  - **30 429** nezaradených (nutné zistiť význam statusu)
- Niektoré osoby mali v jednom riadku viacero statusov – išlo o súbežné pracovné pomery u toho istého zamestnávateľa, čo bolo považované za prípustné

## Komplikácie

- **829 568** duplicitných hodnôt pre rc
  - Rovnako ako pri zdravotnom poistení sa predpokladalo, že osoba pracuje v tej istej zóne, preto by bolo možné ponechať len jeden záznam

- Opätovne sa objavil problém s veľkými firmami a ich lokalizačným skreslením

### Poznámky

Dataset zahŕňa všetky osoby registrované v systéme sociálneho poistenia. Nezahŕňa osoby pracujúce nelegálne, ktoré by však mohli byť relevantné pre model. Prítomnosť osôb, ktoré by nemali byť zahrnuté, nie je jednoznačne určená.

### Body na ďalšie zlepšenie:

- Riešenie duplicitných záznamov v datasete.
- Spôsob zaobchádzania s osobami na materskej dovolenke.
- Presné určenie významu typu zamestnania „statusDobrovoľnePO“.
- Vysvetlenie rozdielu v počte osôb medzi registrom sociálneho poistenia a registrom zdravotného poistenia.<sup>41</sup>

---

<sup>41</sup> Pravdepodobne ide o silové zložky (polícia, armáda, colná správa – odhad približne 40 000 osôb)

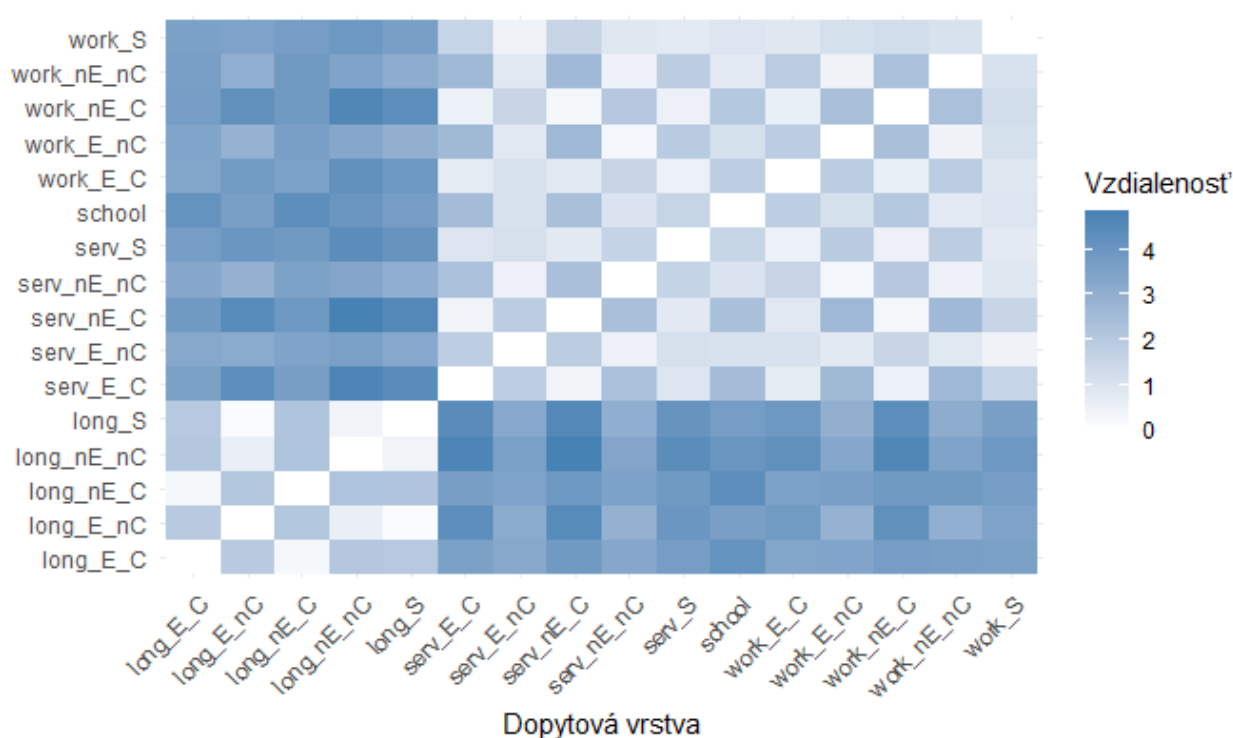
## Príloha 2: Model výberu dopravy – doplnkové údaje

Citlivosť na zmenu parametrov ciest môže byť závislá od účelu cesty a skupiny obyvateľstva. Model výberu dopravy (choice model) je preto vytvorený osobitne pre skupiny (klastre) dopytových vrstiev s podobným mobilným správaním. Mobilné správanie dopytových vrstiev porovnávame pomocou štyroch charakteristík ciest:

- Vážený priemer času cesty
- Vážený medián času cesty
- Podiel ciest do 15 min
- Podiel ciest vykonaných autom

Každý pár dopytových vrstiev má odhadnutú vzájomnú vzdialenosť, ako dĺžku normalizovaného vektora<sup>42</sup> charakteristík. Kombinácie vrstiev a ich vzájomné vzdialenosti sú uložené do matice vzdialeností (Obrázok 8).

**Obrázok 8: Heatmapa matice relatívnej vzdialenosti medzi dopytovými vrstvami**

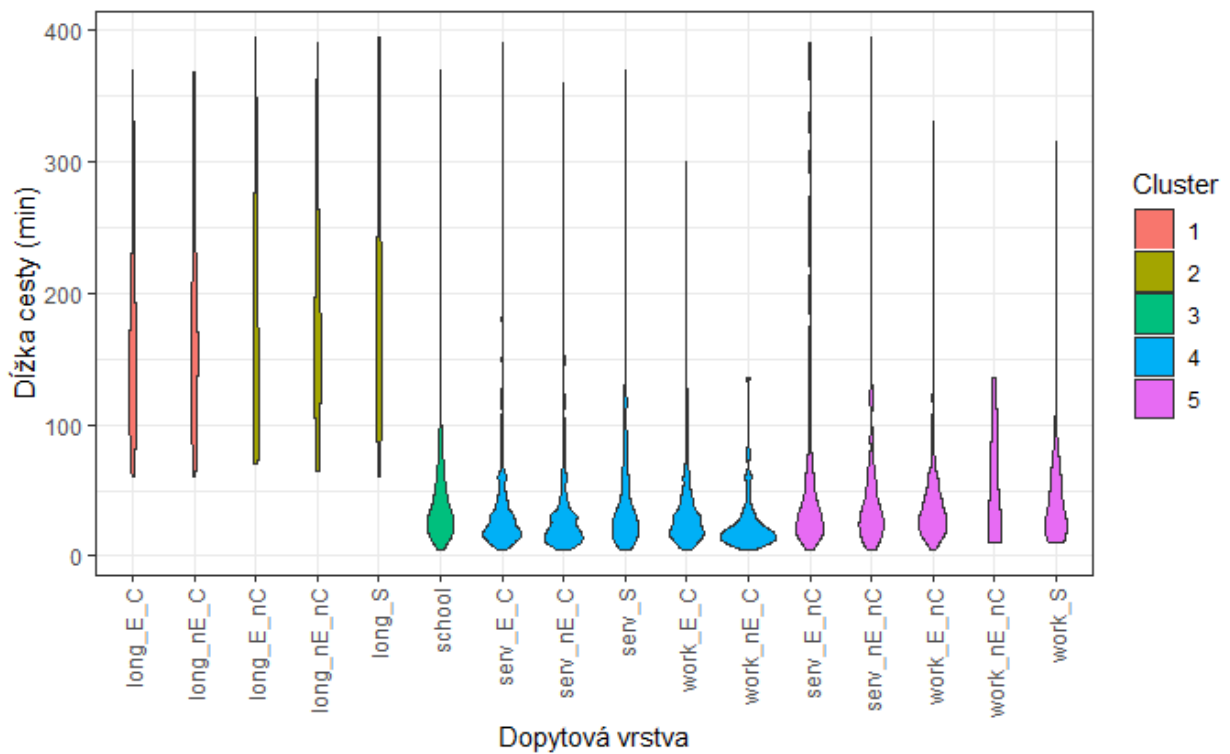


Zdroj: IDP

Hierarchické klastrovanie prebieha pomocou usporiadania dopytových vrstiev (listov) do stromovitej štruktúry na základe vzájomnej blízkosti (matice vzdialeností). Výsledný strom (Obrázok 5) sa “prereže” vodorovnou krivkou a vzniknuté “vetvy” predstavujú klastre. Strom bol “rozrezaný” na hodnote 1, čím vzniklo 5 klastrov. Zmyslupnosť klastrov bola overovaná porovnaním distribúcie (Obrázok 9) a výberu módu (Obrázok 10).

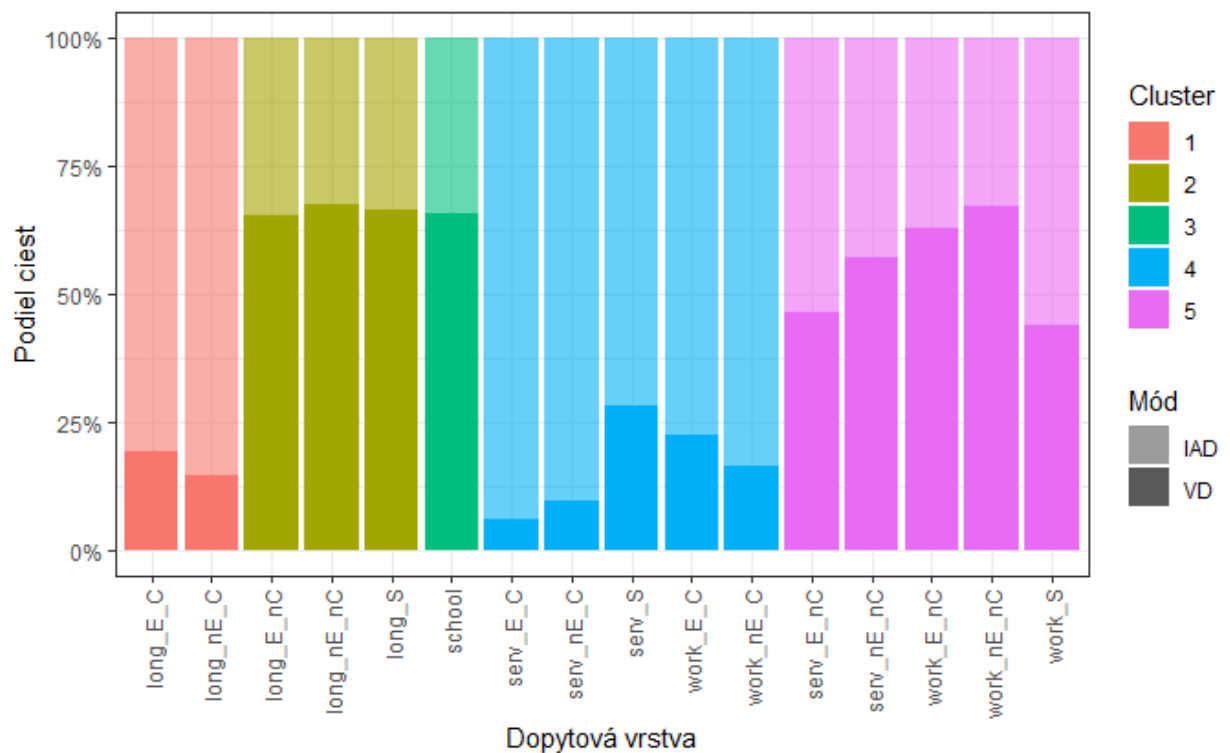
<sup>42</sup> Priemer 0 a štandardná odchýlka 1

Obrázok 9: Porovnanie distribúcie ciest



Zdroj: IDP

Obrázok 10: Porovnanie výberu módu dopytových vrstiev podľa klastra



Zdroj: IDP

## Príloha 3: Spracovanie dát o ťažkých nákladných vozidlách

Údaje pre model ťažkých nákladných vozidiel sú získané spracovaním mýtnych dát o výskyte nákladných vozidiel počas roku 2023. Výskyty vozidiel boli pospájané do ciest a bol identifikovaný ich zdroj a cieľ. K zdrojom a cieľom cesty bola priradená prislúchajúca zóna modelu. Agregovaním ciest bola získaná OD matica ťažkých nákladných vozidiel vstupujúca do modelu nákladnej dopravy.

V databáze sa nachádza cca 535 miliónov výskytov s presným časom, identifikátorom úseku a vozidla (Obrázok 11)

Obrázok 11: Ukážka databázy mýtnych dát

|   | vehicle_id<br>integer | segment_id<br>text | datetime<br>timestamp with time zone |
|---|-----------------------|--------------------|--------------------------------------|
| 1 | 399                   | 5000000400         | 2023-01-11 05:40:34+01               |
| 2 | 399                   | 5000000410         | 2023-01-11 05:42:29+01               |
| 3 | 399                   | 100690000          | 2023-01-11 05:48:27+01               |
| 4 | 399                   | 100700000          | 2023-01-11 05:50:46+01               |
| 5 | 399                   | 100710000          | 2023-01-11 06:03:18+01               |

Zdroj: IDP

Z dôvodu veľkého objemu dát sa pri spracovaní výskytov vozidiel do ucelených ciest údaje zoradili podľa id vozidla, dátumu a času výskytu. Následne boli využívané informácie iba z predošlého a nasledujúceho výskytu vozidla.

Pre účely algoritmu sme definovali:

- Blízky bod – výskyt vozidla do 30 minút od aktuálneho bodu
- Veľmi blízky bod – výskyt vozidla do 5 minút od aktuálneho bodu
- Ďaleký bod – výskyt vozidla nad 90 minút od aktuálneho bodu
- Okolie – Výskyty pred a za aktuálnym bodom

Každý výskyt vozidla dostal v rámci algoritmu jeden z nasledujúcich stavov:

- PZ – začiatok cesty
- S – stred cesty – vnútorný úsek cesty, kde vozidlo nezačínalo ani nekončilo jazdu
- PK – koniec cesty
- O – osamotený bod – nie je súčasťou žiadnej cesty a bude zahodený

Úvodná časť algoritmu výskytom vozidiel priradila alebo zakázala niektorý zo stavov na základe splnenia podmienok:

- Body, ktorých okolie sú ďaleké body alebo body s inými ID<sup>43</sup>, **sú O**
- Body, ktorých okolie sú veľmi blízke body s rovnakým ID, **sú S**
- Body, v ktorých okolí je veľmi vzdialený bod alebo bod s iným ID, **nie sú S**
- Body, ktorých okolie sú rovnaké segmenty<sup>44</sup>, pričom aspoň jeden z nich nie je blízko, **nie sú S**
- Body, ktoré nemajú pred sebou blízky bod alebo bod s rovnakým ID, **nie sú PK**
- Body, ktoré majú za sebou veľmi blízky bod s rovnakým ID, **nie sú PK**
- Body, ktoré majú pred sebou rovnaký segment, avšak nie blízko, **nie sú PK**
- Body, ktoré nemajú za sebou blízky bod alebo bod s rovnakým ID, **nie sú PZ**
- Body, ktoré majú pred sebou veľmi blízky bod s rovnakým ID, **nie sú PZ**
- Body, ktoré majú za sebou rovnaký segment, avšak nie blízko, **nie sú PZ**
- Body, v ktorých okolí je veľmi blízky bod s rovnakým ID, **nie sú O**
- Body, ktorých okolie sú rovnaké segmenty, a môžu byť O, **sú O**

<sup>43</sup> ID vozidla, teda ide o výskyt iného vozidla

<sup>44</sup> Rovnaký mýtny úsek



Ďalšia časť algoritmu využívala určenie stavov okolitých bodov z prvej časti algoritmu. Podmienky boli vyhodnocované cyklicky pokiaľ cyklus dokázal určiť nové stavy výskytov:

- Zaznamenanie stavov v okolí
- Body, ktoré majú pred sebou S alebo PZ a za sebou S alebo PK a môžu byť S, **sú S**
- Body, ktoré majú pred sebou S alebo PZ alebo majú za sebou S alebo PK, **nie sú O**
- Body, ktoré majú pred sebou O alebo PK alebo majú za sebou O alebo PZ, **nie sú S**
- Body, ktoré majú pred sebou S alebo PZ a za sebou O alebo PZ a môžu byť PK, **sú PK**
- Body, ktoré majú pred sebou O alebo PK a za sebou S alebo PK a môžu byť PZ, **sú PZ**
- Body, ktoré majú za sebou S alebo PK, **nie sú PK**
- Body, ktoré majú pred sebou S alebo PZ, **nie sú PZ**
- Body, ktoré majú pred sebou O alebo PK alebo nie blízky rovnaký segment a za sebou O alebo PZ alebo nie blízky rovnaký segment, **sú O**
- Ak je určený stav, ostatné stavy nie sú možné
- Ak je možný iba jeden stav, je to určite on
- Ak prišlo oproti predchádzajúcemu cyklu k určeniu nových stavov, zopakuj cyklus

Ak cyklus nenavýšil počet určených stavov, nasleduje ďalšia časť:

- Body, ktorých okolie sú blízke body s rovnakým ID, iným segmentom a môžu byť S, **sú S**
- Body, v ktorých okolí je nie blízky bod, **nie sú S**
- Body, v ktorých okolí je blízky bod s rovnakým ID a iným segmentom, **nie sú O**

Nasleduje opäť cyklická časť, po ktorej algoritmus uzavrie všetky cesty a dokončí určovanie stavov:

- Body, ktoré sú neurčené a majú pred sebou S alebo PZ a môžu byť PK, **sú PK**
- Body, ktoré sú neurčené a majú za sebou S alebo PK a môžu byť PZ, **sú PZ**

Algoritmus sa snaží čo najpresnejšie identifikovať zdroje a ciele ciest, pričom minimalizuje výpočtový čas. Výstupom algoritmu sú výskyty vozidiel s určenými stavmi (Obrázok 12), ktoré sú následne agregované do ciest so zdrojovým a cieľovým úsekom, časom začiatku a konca cesty a postupnosťou úsekov, po ktorých vozidlo prechádzalo (Obrázok 13).

Obrázok 12: Ukážka určenia stavov po skončení algoritmu

|     | vehicle_id<br><int> | segment_id<br><i64> |            | datetime<br><POSc> | stav<br><char> |
|-----|---------------------|---------------------|------------|--------------------|----------------|
| 1:  | 399                 | 5000000400          | 2023-01-11 | 05:40:34           | PZ             |
| 2:  | 399                 | 5000000410          | 2023-01-11 | 05:42:29           | S              |
| 3:  | 399                 | 100690000           | 2023-01-11 | 05:48:27           | S              |
| 4:  | 399                 | 100700000           | 2023-01-11 | 05:50:46           | S              |
| 5:  | 399                 | 100710000           | 2023-01-11 | 06:03:18           | S              |
| 36: | 399                 | 5500000620          | 2023-01-11 | 07:43:26           | S              |
| 37: | 399                 | 5500000630          | 2023-01-11 | 07:44:02           | S              |
| 38: | 399                 | 5500000640          | 2023-01-11 | 07:45:38           | S              |
| 39: | 399                 | 5500000650          | 2023-01-11 | 07:46:58           | S              |
| 40: | 399                 | 5500000660          | 2023-01-11 | 07:47:55           | S              |
| 41: | 399                 | 5100012000          | 2023-01-11 | 07:54:29           | PK             |
|     | vehicle_id          | segment_id          |            | datetime           | stav           |

Zdroj: IDP

Algoritmus identifikoval približne 25 miliónov ciest.

Obrázok 13: Ukážka databázy ciest

|    | IDcesty    | seg_path                                                | body | vehicle_id | O_time              | O_seg      | D_time              | D_seg      | trip_time  |
|----|------------|---------------------------------------------------------|------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|------------|
| 1  | T1-1       | 5000000400:5000000410:100690000:100700000:100710000:... | 41   | 399        | 2023-01-11 05:40:34 | 5000000400 | 2023-01-11 07:54:29 | 5100012000 | 133.916667 |
| 2  | T1-10      | 5100010140:5200000731                                   | 2    | 423        | 2023-01-25 06:32:31 | 5100010140 | 2023-01-25 06:58:48 | 5200000731 | 26.283333  |
| 3  | T1-100     | 590400000:59880210000:590050000:59880230000:5100012...  | 22   | 648        | 2023-01-05 07:18:41 | 590400000  | 2023-01-05 08:49:44 | 590400001  | 91.050000  |
| 4  | T1-1000    | 302600001:302970001:5100008500:10880520001:51000057...  | 6    | 3552       | 2023-01-31 04:09:59 | 302600001  | 2023-01-31 05:06:32 | 5200000561 | 56.550000  |
| 5  | T1-10000   | 290900001:29841370001:290890001:29841340001:3807600...  | 5    | 17789      | 2023-01-04 13:56:02 | 290900001  | 2023-01-04 14:04:03 | 380760001  | 8.016667   |
| 6  | T1-1000001 | 600190000:60880570000:600870000:60880590000:6002100...  | 45   | 5958677    | 2023-01-12 22:19:49 | 600190000  | 2023-01-13 01:46:14 | 590050000  | 206.416667 |
| 7  | T1-1000002 | 590050001:59880210001:590400001:59880390001:5900300...  | 47   | 5958677    | 2023-01-13 05:18:15 | 590050001  | 2023-01-13 08:32:03 | 600190001  | 193.800000 |
| 8  | T1-1000003 | 600190000:60880570000:600870000:60880590000:6002100...  | 48   | 5958677    | 2023-01-15 22:26:15 | 600190000  | 2023-01-16 01:22:51 | 590400001  | 176.600000 |
| 9  | T1-1000004 | 590030001:59880180001:5100012201:5100012191:2588448...  | 48   | 5958677    | 2023-01-16 05:16:34 | 590030001  | 2023-01-16 07:31:50 | 600190001  | 135.266667 |
| 10 | T1-1000005 | 5600000330:351420000:35881210000:5100011810:5100011...  | 27   | 5958677    | 2023-01-16 16:48:50 | 5600000330 | 2023-01-16 19:04:18 | 5100006461 | 135.466667 |

Zdroj: IDP

Pre každý počiatočný a koncový uzol úseku sme identifikovali obec a následne zónu, v ktorej sa nachádza. Agregovaním databázy ciest podľa zdrojovej a cieľovej zóny vznikla OD matica vstupujúca do modelu nákladnej dopravy.

## Príloha 4: Elasticitný model vývoja populácie s automobилом

Časť nových vozidiel si kupujú ľudia, ktorí už auto vlastnia, takže nárast počtu evidovaných vozidiel neznamená automaticky aj nárast počtu obyvateľov s autom. Preto sa tento prírastok nemusí prejavíť vo väčšom zaťažení cestnej siete.

Elasticita ekonomicky aktívnych na zmenu automobilizácie je odhadnutá ako:

$$\epsilon_E = \frac{\Delta p^{E+}}{\Delta A},$$

kde je nárast automobilizácie

$$\Delta A = \frac{A(t_1) - A(t_0)}{A(t_0)}$$

porovnávaný medzi rokmi 2022 a 2015, ku ktorým sú dostupné podrobné údaje o zložení obyvateľstva<sup>45</sup>, automobilizácii a objeme dopravy<sup>46</sup>.

Zmena podielu ekonomicky aktívnych s autom je definovaná ako pomer nových majiteľov auta  $\delta_E$  ku všetkým ekonomicky aktívnym obyvateľom  $n_E$ :

$$\Delta p^{E+} = \frac{\delta_E}{n_E}.$$

Za nových majiteľov  $\delta$  sú považovaní aktívni užívatelia vozidla, ktorí sa prejavia v celkových najazdených kilometroch na sieti. Ich nárast je odhadnutý porovnaním nárastu objemu:

$$\beta = \frac{V(t_1)}{V(t_0)}$$

Objem vozokilometrov odhadujeme ako súčin počtu obyvateľov  $n$  s ich priemernou dĺžkou cesty  $d$ . Celkový objem je odhadnutý ako:

$$V(t) = \sum_i n_i(t) d_i.$$

Priemerné dĺžky ciest sú odhadnuté z prieskumu mobility. Počet obyvateľov v čase  $t_1$  je možné vyjadriť ako:

$$n_{E+}(t_1) = n_{E+}(t_0) + \delta_E.$$

Potom<sup>47</sup>

$$\beta = \frac{\sum_i n_i d_i}{(n_{E+} - \delta_E) d_{E+} + (n_{E-} + \delta_E) d_{E-} + (n_{N+} - \delta_N) d_{N+} + (n_{N-} + \delta_N) d_{N-}},$$

kde využitím odlišnej citlivosti (Kapitola 6)

$$\delta_E = \mu \delta_N$$

a dosadením do vzorca elasticity dostávame

$$\epsilon_E = \frac{\beta - 1}{\beta} \frac{\sum_i n_i d_i}{n_E \Delta A \left( d_{E+} - d_{E-} + \frac{d_{N+} - d_{N-}}{\mu} \right)}.$$

Model používa zjednodušené predpoklady, že priemerné dĺžky ciest  $d$  sa v čase nemenia a podiel populácie s autom rastie lineárne s rastom automobilizácie.

<sup>45</sup> Počty obyvateľov podľa ekonomickej aktivity a vlastníctva automobilu k roku 2022.

<sup>46</sup> Celoštátne sčítania dopravy v rokoch 2015 a 2022.

<sup>47</sup> Pre zjednodušenie zápisu  $n = n(t_1)$