

HODNOCENÍ DOJÍŽDKY DO ZAMĚSTNÁNÍ V MORAVSKOSLEZSKÉM KRAJ

Jiří HORÁK¹, Jan TESLA², Igor IVAN³

^{1,2,3} Institut Geoinformatiky, HGF, VŠB-TU Ostrava, 17. listopadu 15, 708 33 Ostrava, Česká republika

¹ jiri.horak@vsb.cz, ² jan.tesla@vsb.cz, ³ igor.ivan@vsb.cz

Abstrakt

K běžným zdrojům informací o dojížděce patří SLDB. Výsledky SLDB 2011 ukazují na poměrně významný podíl chybějících odpovědí, což komplikuje zpracování takových dat. Jako minimální opatření je možné provést korekci známých hodnot pro dosažení celkové konzistence toků. Vlastní hodnocení dojížděky do zaměstnání je provedeno pro Moravskoslezský kraj, na úrovni obcí, s využitím gravitačního modelu, který dovoluje pomocí velikosti reziduí vyhodnotit odchylky od celkového modelu. Pro modelování situace byl použit exponenciální typ regresního vztahu. Samostatně byly hodnoceny dojížděky pro vybrané typy ekonomických sektorů – zpracovatelský průmysl, obchod a služby, vzdělávání. Vedle známých skutečností (vyjíždka z Havířova, suburbanizace velkých měst) byly odhaleny některé méně zřejmé vazby, např. významnost dojížděky z Opavy do Hradce nad Moravicí nebo dojížděky z okolních měst do Frenštátu pod Radhoštěm.

Abstract

Evaluation of Commuting in the Moravian-Silesian Region: Census is considered as a usual source of information about commuting. Results of last Census show a significant share of missing answers which complicate data processing. Adjustment of received data to reinstall a data consistency is proposed as the basic possible solution. The evaluation of commuting to work is provided for a Moravian-Silesian region, for municipality level. The evaluation utilized gravity models which enable to use residuals in assessment of deviations from a common model. The exponential type of regression modelling has been applied. Following economic sectors has been evaluated: industry, trade, and education. Except of anticipated relationships (i.e. commuting from Havířov, suburbanisation influence in large cities) there are newly discovered links i.e. relatively important commuting from Opava to Hradec n.M., or commuting to Frenštát p.R. from surrounding towns.

Klíčová slova: dojíždka, gravitační modely, GIS, Ostrava

Keywords: commuting, gravity model, GIS, Ostrava

1. ÚVOD

Gravitační modely vyjadřují jednoduchou myšlenku, že síla vazby mezi 2 objekty je přímo úměrná jejich velikosti a nepřímo úměrná jejich vzdálenosti. Gravitační modely nacházejí řadu uplatnění v různých oborech. Teoretickým základem gravitačních modelů jsou maximalizace entropie systému (Wilson, 1967, Bailey, Gattrell, 1995) a teorie náhodné užitečnosti (random utility theory, Anas, 1983).

V ČR uvádí využití gravitačního modelu již např. Pavlík, Kühnl (1981) pomocí vztahu:

$$P_{ij} = \frac{M_i M_j}{d_{ij}^b}, \quad (1)$$

P_{ij}	síla vzájemného působení hmot
M_i, M_j	„hmoty“ v místě i a j, tj. velikost zdroje resp. cíle
d_{ij}	vzdálenost
b	koeficient vlivu vzdálenosti

V geografických aplikacích vystupuje v roli „hmoty“ (tj. velikosti) např. počet obyvatel, počet ekonomicky aktivních obyvatel i složitější faktory typu „počet obyvatel * průměrný příjem“. Vzdálenost může být vyjádřena

jako metrická, často se používá časová, vzdálenostní nebo cenová. Vliv vzdálenosti (b) se mění podle typu dopravního prostředku (Horák, 2013).

Způsob matematické formulace gravitačního modelu závisí především na vyjádření vzdálenostní funkce mezi 2 objekty či zónami. Je možné použít exponenciální funkci $e^{-\alpha(c_{ij})}$; mocninovou funkci c_{ij}^β ; Gamma funkci $\alpha \cdot e^{-\alpha(c_{ij})} \cdot c_{ij}^\beta$ (Celik, 2010), log-normální funkci (Shrewsbury, 2012), Box-Cox, Pareto funkci a jejich modifikace (Halás et al, 2014). Většina aplikací využívá exponenciální vzdálenostní funkci. Podle Uboe (2004) je právě exponenciální funkce výsledkem formulace problému maximalizace náhodné užitečnosti. Nicméně vhodný tvar této funkce by měl být pro konkrétní případ vždy ověřován (Fik, Mulligan, 1998).

Podle (Bailey, Gatrell, 1995) může být gravitační model vyjádřen následovně:

$$Y_{ij} = \alpha_i \cdot \beta_j \cdot e^{\gamma \cdot d_{ij}} + \varepsilon_{ij}, \quad (2)$$

α_i	sada parametrů popisujících vlastnost zdroje i generovat toky
β_j	sada parametrů popisujících vlastnost cíle j přitahovat toky
γ	popisuje vzdálenostní efekt
d_{ij}	vzdálenost mezi zdrojem i a cílem j
Y_{ij}	zjištěná hodnota toku mezi zdrojem i a cílem j
ε_{ij}	náhodná složka pozorování (chyby)

Základní model gravitačního zákona však nezabezpečí soulad se zjištěnými hodnotami toků. Řešení poskytuje oboustranně omezený gravitační model, který vyžaduje splnění následujících podmínek (Horák 2013):

- Suma toků ze zdroje i musí odpovídat zjištěné hodnotě

$$\sum_j \mu_{ij} = a_i, \quad (3)$$

- Suma toků do cíle j musí odpovídat zjištěné hodnotě

$$\sum_i \mu_{ij} = b_j, \quad (4)$$

- Celková cena cestování v systému je konstantní.

$$\sum_i \sum_j d_{ij} \cdot \mu_{ij} = c, \quad (5)$$

Kalibrace gravitačních modelů vyžaduje především dobrou reprezentaci toků, založenou na dostatečně velkém vzorku. Např. Celik (2010) ukázal, že velikost vzorku kolem 1000 pro každou kategorii účelu cestování je dostatečná.

Kalibrační metody mohou být založeny na iteračních procedurách (např. BPR přístup viz Viton 1995), odhadech maximální věrohodnosti, Hymanově kalibračním algoritmu (Williams, 1976), na interpolaci pomocí tříbodové racionální funkce (three-point rational function interpolation method, Williams 1977), procedurách stochastické heuristické optimalizace (Tsekeris, Stathopoulos 2006) a dalších. Tyto metody jsou obecně značně výpočetně náročné. Některé modely používají dodatečné parametry ke zlepšení kvality modelu. Optimalizace využívá různých konvergenčních kritérií, ale nejčastěji se aplikuje metoda nejmenších čtverců (RMSE).

Použitím vhodné transformace se usnadňuje řešení gravitačních modelů pomocí regresních vztahů. Transformace do poměru toků a parametrů zdroje a cíle umožňuje řešení jednoduchým regresním modelem Viton (1995), často se ale používají vícenásobné regresní modely, zejména v ekonomických vědách (např. Grange et al., 2009). Jejich výhodou je možnost vyhnout se skryté multikolinearitě mezi proměnnými a ocenit vliv jednotlivých proměnných na výsledné toky, což je využito při interpretaci výsledků.

Specifikace i charakteristiky gravitačních modelů jsou závislé na řadě faktorů. Podle (Celik, 2010) jde zejména o výběr vhodné míry prostorové separace, výběr dopravního módu, volba typu matice (např. vytváření – přitahování, zdroj-cíl), výběr časového intervalu.

Modely distribuce cest mohou být klasifikovány do dvou velkých skupin jako agregační a disagregační (Celik, 2010). Disagregační modely se snaží vysvětlit individuální chování ve výběru zdrojů a cílů, zatímco agregační modely analyzují celkové toky mezi zónami.

Detailní disagregační model pro příklad 1 konkrétního podniku připravil Vojta (2009), který porovnával skutečné a teoretické dojíždky z gravitačního modelu pro Lanex Bolatice.

Gravitační modely jsou vhodným teoretickým nástrojem pro ocenění prostorové interakce, vlastností a chování zdrojů a cílů, schopné predikovat a simulovat budoucí nebo podmíněné chování. Nicméně jejich schopnosti jsou omezovány a ovlivňovány negativními faktory jako:

- Časová heterogenita (změny gravitačních modelů v čase (Mikkonen, Luoma, 1999); změna distribuce cest během studovaného období (Tsekeris, Stathopoulos, 2006))
- Prostorová heterogenita (systematická změna parametrů odvozených na základě gravitačních modelů - Uboe 2004)
- Reálná geografická nebo dopravní omezení (např. omezená dostupnost nebo kapacita některých potenciálních destinací).
- Omezené prostorové rozlišení (vzdálenost mezi středy měst neodpovídá průměrné vzdálenosti mezi vnitřním a vnějším dojezděním – Uboe 2004)
- Heterogenita pracovní síly (rozdíly v kvalitaci pracovní síly, v reakci na vzdálenost - Uboe 2004)
- Pracovní heterogenita (ne všechny destinace nabízejí stejné zastoupení jednotlivých typů pracovních nabídek)
- Hierarchické pořadí potenciálních destinací a jejich soupeření (Fotheringen, O'Kelly, 1989, navržen model soupeřících cílů),

Uvedené problémy mohou vysvětlovat, proč pracovníci nemohou provádět libovolný výběr z pracovních možností (Uboe, 2004).

Gravitační modely jsou aplikovány nejen pro studie distribuce cest, ale také pro různé ekonomické aplikace jako hodnocení vzájemné obchodní výměny mezi zeměmi nebo regiony, studium turistických interakcí a pro geografické aplikace (Halás, Klapka 2010 pro hodnocení sfér vlivu pro česká města.

Preferovaný dvojnásobně omezený gravitační model může být nevhodný v podmínkách, kdy nejsou všechny cesty známy. Jedním z důvodů může být slabý datový zdroj. V případě SLDB 2011 podle sdělení pracovníků ČSÚ chybí odpovědi týkající se dojezdění asi u třetiny respondentů.

Cílem příspěvku je ukázat možnost zlepšení gravitačních modelů dopravních podmínek založených na alternativně oceněné velikosti zdrojů a cílů, včetně odpovídajících adjustací a korekcí.

2. POUŽITÁ DATA

Hlavním zdrojem dat je SLDB 2011, zejména toky mezi obcemi (všechny, denní, dojíždka do práce celková a podle hlavních ekonomických sektorů), agregované demografické, ekonomické a dojíždkové charakteristiky jednotlivých obcí (zejména počet zaměstnaných a počet dojíždějících).

Kvalitu SLDB 2011 bohužel ovlivňuje významný podíl chybějících odpovědí (asi 1/3 u dojíždkových proudů). Velikost tohoto problému byla oceněna srovnáním součtu všech známých jednotlivých toků s počtem dojíždějících zaměstnanců. Suma zaměstnanců je obvykle o 3-4% vyšší, ale některá města vykazují až 40% rozdíl (Budišovice) a v případě Ostravy je rozdíl 30%, což také nelze zanedbat. Proto byla původní data adjustována na chybějící hodnoty pomocí koeficientu reprezentujícího podíl chybějících odpovědí.

Distribuce zaměstnavatelů byla modelována pomocí dat z Firemního monitoru Albertina (AFM). Kromě adresy byly u každé firmy exportovány také údaje o ekonomickém sektoru, kategorie počtu zaměstnanců a institucionální forma. Data byly exportovány v březnu 2014.

Nejdříve bylo nutné zkontrolovat a vyloučit firmy, které mají indikaci likvidace nebo zrušení (vyloučeno bylo celkem 3405 firem z 231336, což je 1.5%). Dále bylo potřebné odhadnout počet zaměstnanců v každé velikostní kategorii. Na základě vzorku firem se známým počtem zaměstnanců byl ohodnocen průměr pro každou velikostní kategorii. Ukázalo se však, že asi 60% firem nemá uvedenou ani kategorii velikosti. Pro tyto případy jsme použili klasifikaci firem podle typu instituce (celkem 87 různých forem) – pro každý typ firmy byl vypočten průměrný počet zaměstnanců. Nakonec byl agregován počet zaměstnanců na každou cílovou obec.

Ukázalo se, že celkový počet je příliš vysoký a proto byla data adjustována pomocí známého počtu zaměstnanců v obcích poskytovaného ministerstvem financí.

Byla využita rovněž klasifikace firem podle hlavního ekonomického sektoru. Identifikace ekonomického sektoru u firem chybí pouze ve 3,3% případů, což lze zanedbat. Předpokládá se přímý vztah mezi klasifikací firmy a klasifikací jejich zaměstnanců – např. pokud je organizace vzdělávací institucí, předpokládá se, že všichni její zaměstnanci identifikují svoje pracovní zařazení do téhož sektoru. Naneštěstí jsou použity rozdílné klasifikační systémy. SLDB 2011 používá 12 ekonomických sektorů (a třída „ostatní“), zatímco toky dojížděcích jsou rozlišeny do 10 ekonomických tříd. AFM používá 21 tříd. Pro vyhodnocení byly použity následující sektory, kde by se vymezení sektorů mělo minimálně lišit a současně jsou zajímavé z hlediska dojíždění – zpracovatelský průmysl, obchod a vzdělávání.

Základem pro určení vzdáleností mezi obcemi byla síťová analýza pro silniční síť z Ředitelství silnic a dálnic. Současně však bylo využito databáze dopravních spojení (Horák et al., 2014), která obsahuje popis spojení VLD mezi jednotlivými obcemi. Z ní byly vybrány vzdálenosti mezi relevantními obcemi. Z obou vzdáleností (silniční a VLD) byla vybrána kratší vzdálenost. V 8,5% případů byla kratší vzdálenost VLD.

2.1 Metodika a výsledky

V gravitačních modelech byla použita následující data:

- Toky – dojíždka do zaměstnání v daném sektoru mezi obcemi (adjustovaná data SDLB 2011) (TRIPS).
- Zdroje – součet adjustovaných toků (v daném sektoru) ze zdrojové obce (ORIGINS, O),
- Počet zaměstnanců v daném sektoru SLDB 2011 (EMPLOYEES, E).
- Cíle (atraktivnost) – součet sum adjustovaných toků (v daném sektoru) ze zdrojové obce do cílové obce (DESTINATIONS, D),
- Počet pracovních míst v daném sektoru z AFM pro příslušnou obec adjustované daty z Ministerstva financí (JOBS, J).

Pro testování byly vybrány následující typy modelů: mocninný (PW), exponenciální (EXP), log-normální (LN). K linearizaci jednotlivých rovnic byla využita logaritmická transformace. Výsledné multilineární regresní modely byly optimalizovány v prostředí SPSS. Všechny modely byly vytvořeny ve 2 variantách – jako dvojnásobně omezený model s použitím proměnných ORIGINS a DESTINATIONS (OD modely) a neomezené modely využívající proměnné EMPLOYEES a JOBS (ED modely). Byly testovány také varianty smíšených modelů, kde vystupovaly proměnné OD i EJ, avšak ty podle očekávání ukazovaly velmi vysokou multikolinearitu (díky vysoké korelaci mezi O a E, a rovněž mezi D a J). Celkově tedy bylo hodnoceno následujících 6 typů gravitačních modelů pro každý ze sledovaných ekonomických sektorů:

- $EJPW Y_{ij} = \beta^0 * E_i^{\beta^1} * J_j^{\beta^2} * d_{ij}^{\beta^3}$, (6)
- $ODPW Y_{ij} = \beta^0 * O_i^{\beta^1} * D_j^{\beta^2} * d_{ij}^{\beta^3}$, (7)
- $EJLN Y_{ij} = \beta^0 * E_i^{\beta^1} * J_j^{\beta^2} * e^{(\beta^3 * \ln^2(d_{ij}))}$, (8)
- $ODLN Y_{ij} = \beta^0 * O_i^{\beta^1} * D_j^{\beta^2} * e^{(\beta^3 * \ln^2(d_{ij}))}$, (9)
- $EJEXP Y_{ij} = \beta^0 * E_i^{\beta^1} * J_j^{\beta^2} * e^{\beta^3 * d_{ij}}$, (10)
- $ODEXP Y_{ij} = \beta^0 * O_i^{\beta^1} * D_j^{\beta^2} * e^{\beta^3 * d_{ij}}$. (11)

Nejdříve byla provedena explorační analýza všech sledovaných proměnných a jejich logaritmických transformací. Kontrolovala se distribuce dat (především odchylky od normální distribuce). Vliv odlehlých hodnot byl testován pro vzdělávací sektor (mocninný a log-lineární modely pro OD i EJ proměnné) a bylo

zjištěno, že index determinace se zvýšil o 3-6% a střední chyba klesla o 9-11% (obr. 1 vlevo). Proto byly u všech gravitačních modelů odstraněny odlehlé hodnoty. Výsledky jednotlivých modelů jsou uvedeny v tab. 1.

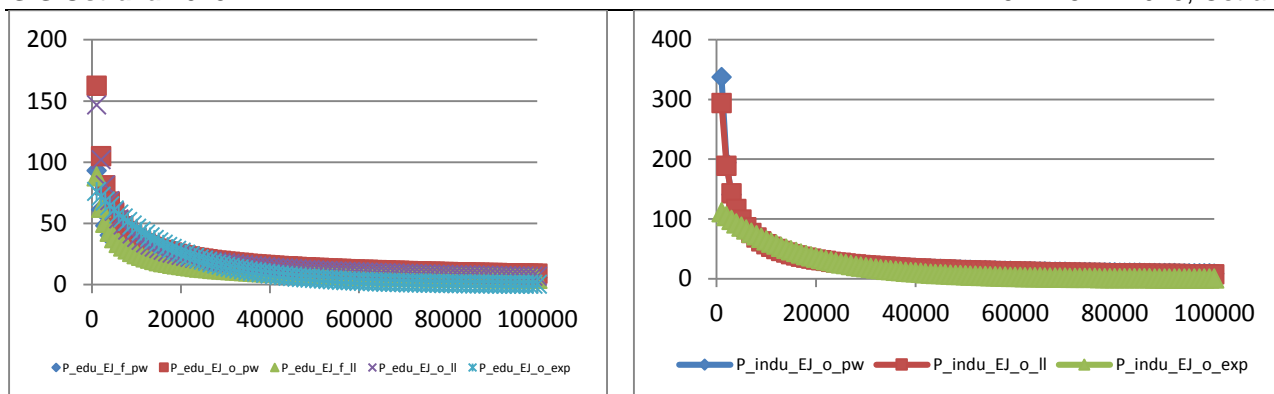
Tab. 1. Výsledky optimalizace vícenásobného lineárního regresního modelu pro průmysl (INDU), vzdělání (EDU) a obchod (RET)

Model	R ²	Střední chyba	Průměrná chyba	Dílčí korelace β^1	Dílčí korelace β^2	Dílčí korelace β^3
INDU-EJPW	0,466	43,09	-4,05	0,519	0,599	-0,453
INDU-ODPW	0,535	42,00	-4,98	0,538	0,648	-0,504
INDU-EJLN	0,474	42,80	-3,89	0,524	0,604	-0,462
INDU-ODLN	0,545	41,72	-4,98	0,544	0,654	-0,513
INDU-EJEXP	0,482	42,34	-4,09	0,533	0,604	-0,547
INDU-ODEXP	0,542	40,98	-4,84	0,547	0,645	-0,510
EDU-EJPW	0,520	8,54	-1,05	0,558	0,649	-0,454
EDU-ODPW	0,550	8,48	-1,40	0,580	0,656	-0,451
EDU-EJLN	0,530	8,55	-1,18	0,563	0,655	-0,464
EDU-ODLN	0,559	8,40	-1,36	0,584	0,661	-0,461
EDU-EJEXP	0,542	8,26	-0,96	0,565	0,660	-0,477
EDU-ODEXP	0,567	8,20	-1,31	0,585	0,663	-0,470
RET-EJPW	0,501	18,11	-2,08	0,496	0,636	-0,488
RET-ODPW	0,520	17,96	-2,50	0,499	0,645	-0,495
RET-EJLN	0,510	18,07	-2,14	0,501	0,641	-0,498
RET-ODLN	0,528	18,01	-2,68	0,503	0,650	-0,503
RET-EJEXP	0,512	17,75	-1,92	0,501	0,638	-0,499
RET-ODEXP	0,522	17,58	-2,31	0,501	0,643	-0,499

Všechny koeficienty β v regresních rovnicích a F statistiky pro ANOVA byly u všech modelů signifikantní ($p < 0.001$).

Modely pro proměnné OD a EJ ukazují podobné výsledky. Jedním z možných vysvětlení je skutečnost, že pracovní trh v regionu je relativně uzavřený (tj. méně ovlivněn dojížděnkou vně regionu) a proto EJ model reprezentuje vhodnou náhradu OD modelu (tj. např. suma pracovních míst se blíží či alespoň vysoce koreluje se sumami toků do jednotlivých cílů pracovní dojížděky). Přesto autoři upřednostňují použití EJ modelů, protože co je v průměru dobré nemusí být vhodné pro individuální situace a zejména se tam mohou objevit výrazné odchylky, zejména v situaci, kdy neznáme všechny toky.

Pro demonstraci průběhu vzdálenostních funkcí pro jednotlivé modely byl použit příklad, kdy $E=2000$ a $J=20000$, což přibližně simuluje podmínky dojíždění do Ostravy z okolních větších měst. V levé části obrázku 1 pro situaci ve vzdělávacím sektoru lze srovnat i výsledky modelů bez a s eliminací odlehlých hodnot (označení „o“ v názvu modelů identifikuje použití opravených dat, tj. bez odlehlých hodnot). Ukázalo se, že odstranění odlehlých hodnot vede ke zvýšení hodnoty toků, zejména pro krátké vzdálenosti. Při posuzování tvaru jednotlivých závislostí se ukázalo, že existují významné rozdíly zejména mezi exponenciálními modely na 1 straně a skupinou mocninných a log-lineárních modelů na straně druhé. Vzdálenostní funkce u exponenciálních modelů má příkřejší průběh (tj. síla interakce rychleji klesá). Podobně se křivky chovají také u dalších sledovaných ekonomických sektorů – viz obrázek 1 vpravo pro zpracovatelský průmysl (opět použity hodnoty $E=2000$, $J=20000$).



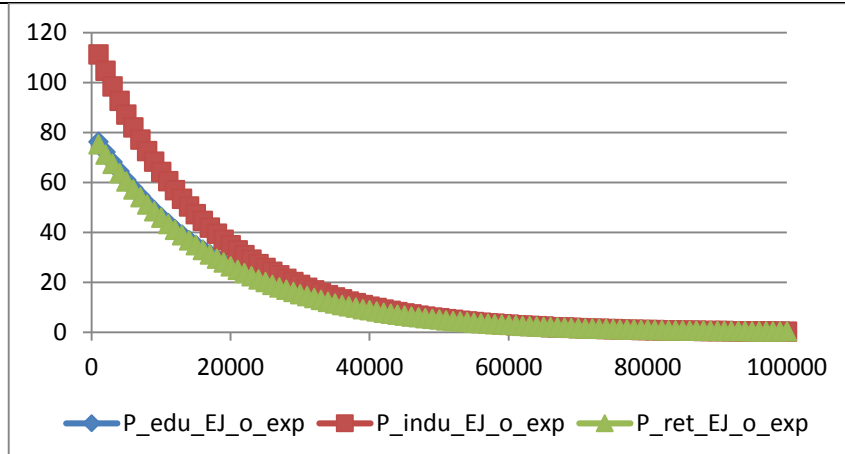
Obr. 1. Regresní modely EJ ($E=2000$, $J=20000$) pro zaměstnání ve vzdělávacím sektoru (vlevo) a zpracovatelském průmyslu (vpravo)

Na základě statistického zhodnocení (některé výsledky v tabulce 1), zhodnocení průběhu závislostí (obrázek 1) a preference těchto modelů i u dalších autorů byly pro vybrány pro modelování dojížděky exponenciální tvary rovnic. K hlavním důvodům patří (Horák et al., 2014):

- Nízké chyby (střední chyba i průměrná chyba),
- Relativně vysoký index determinace (relativně vůči ostatním modelům),
- Vyšší částečná (part, resp. semipartial) korelace,
- Uspokojivé rozložení reziduí regresních modelů,
- Lepší chování regresní křivky.

Naopak k možným nedostatkům patří vysoké odchylky od normální distribuce zejména pro proměnnou vzdálenost, jejíž distribuce je výrazně asymetrická.

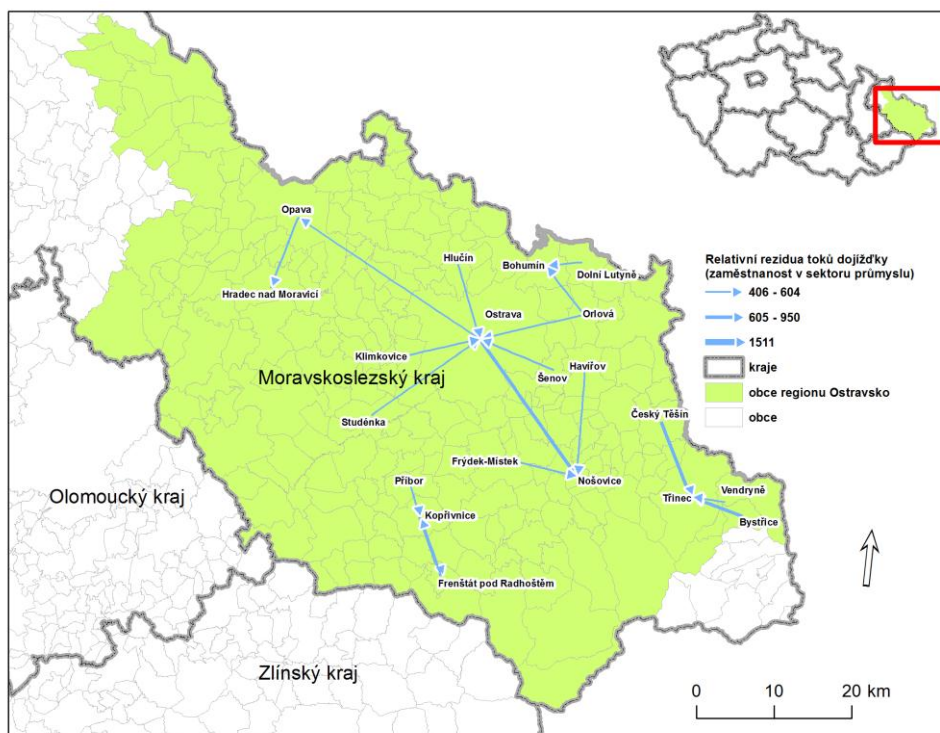
Pro všechny 3 vybrané ekonomické sektory byly optimalizovány gravitační modely s využitím exponenciálních rovnic, varianta neomezeného modelu s adjustací dat a odstraněním odlehlých hodnot (proměnné EJ, tj. cíle reprezentovány počtem pracovních míst podle AFM s okrajovým omezením podle dat z MF a zdroje reprezentovány počtem vyjíždějících pracujících v daném sektoru z jednotlivých obcí podle SLDB). Pro demonstraci průběhu závislosti toku na vzdálenosti byl opět použit příklad s $E=2000$ a $J=20000$ (obr. 2). Chování gravitačních modelů pro sektor vzdělávání a obchod je velmi podobné, což ukazuje na malé rozdíly v atraktivitě pracovních příležitostí. Naproti tomu sektor zpracovatelského průmyslu přitahuje toky mnohem více (křivka je mnohem strmější a ukazuje na přibližně o $\frac{1}{2}$ menší hodnoty v případě krátkých vzdáleností – tj. můžeme mluvit o 50% vyšší atraktivitě pracovních příležitostí ve zpracovatelském průmyslu). Výsledek koresponduje s představou výrazně vyšší mobility ve zpracovatelském průmyslu, kde jsou zaměstnanci více ochotni dojíždět než zaměstnanci v sektoru vzdělávání či obchod. Projevuje se rozdíl v platech zaměstnanců. V ostravském regionu jsou navíc významní zaměstnavatelé ve zpracovatelském průmyslu často umístěni mimo města, což pochopitelně generuje velké toky dojíždějících. Dalším podporujícím faktorem může být i to, že v ostravském regionu jsou zaměstnanci v tomto sektoru tradičně zvyklí na dojíždění na poměrně velké vzdálenosti.



Obr. 2. Exponenciální regresní EJ modely ($E=2000$, $J=20000$) pro sektor vzdělávání (EDU), zpracovatelského průmyslu (INDU) a obchodu (RET)

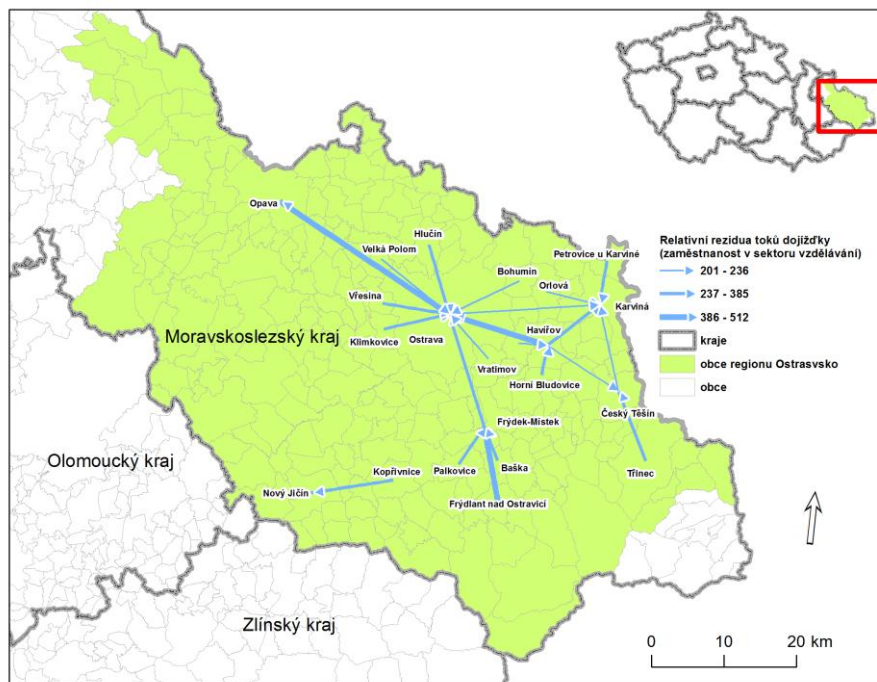
Kromě obecného porovnání parametrů modelů a tvarů jejich křivek se získanou interpretací byly také analyzovány extrémně malé a extrémně velké toky (tj. ty, které vykazovaly největší odchylky od teoretických toků získaných z gravitačních modelů).

V sektoru zpracovatelského průmyslu (obr. 3) se podle očekávání ukázaly největší rozdíly v případě toků Havířov→Ostrava a Havířov→Nošovice. Celkově abnormálně velké toky směřují do dominantních průmyslových center v kraji. Jedním z nich jsou Nošovice, kde je soustředěn zejména automobilový průmysl (Hyundai 3500 zaměstnanců, Mobis Automotive 850, Dymos CR 420) a který přitahuje zejména toky z Ostravy, Havířova a Frýdku-Místku. Dalším takovým centrem je Třinec, tradiční středisko hutnictví a strojírenství, nicméně rozdíl u něj je v tom, že přitahuje zejména toky z krátkých vzdáleností. Abnormálně velké toky přitahuje také Frenštát pod Radhoštěm, kde působí významné elektrotechnické společnosti jako Continental Automotive Czech Republic, Siemens (dříve Siemens Electromotors) a informační technologie (Logis), dále Kopřivnice, Opava a Bohumín. Zajímavostí je také nečekaně vysoká dojíždka z Opavy do Hradce nad Moravicí (zejména Brano).

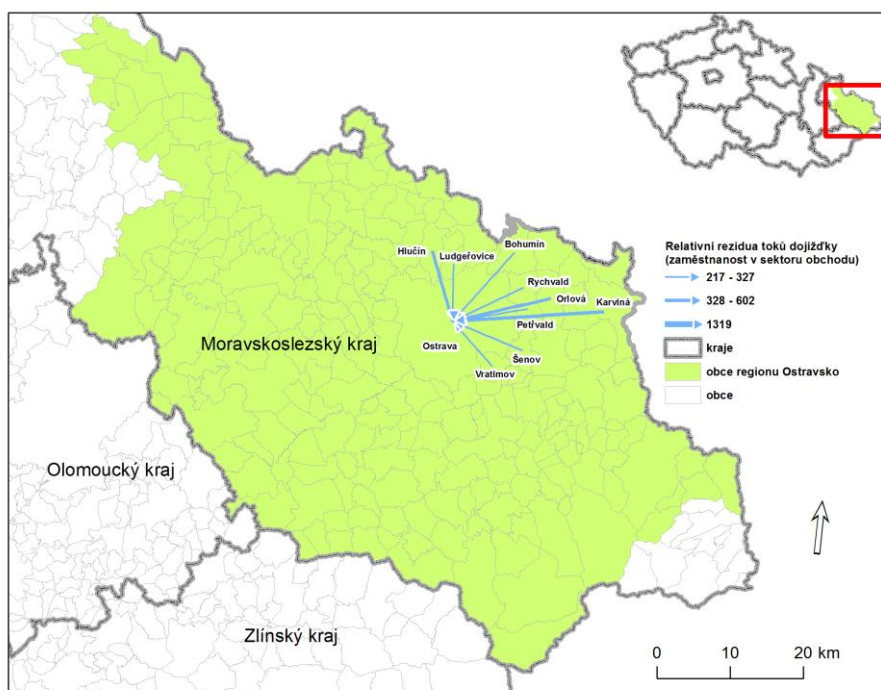


Obr. 3. Abnormální toky zaměstnanců ve zpracovatelském průmyslu s vysokými relativními rezidui (model INDU-EJEXP)

Dojíždění do zaměstnání ve vzdělávání ukazuje největší rozdíly mezi modelovanými a skutečnými toky v případě malých sídel kolem velkých měst (zejména Ostrava a Frýdek-Místek), což lze snadno vysvětlit suburbanizací (viz např. Burian et al., 2014). V obou případech je suburbanizace geograficky asymetrická. Neočekávaně vysoké jsou vzájemné toky mezi Ostravou a Opavou, což lze částečně vysvětlit přítomností vysokých škol a řady středních škol v obou městech a silným vzájemným dojížděním pedagogů. Velmi vysoké toky byly zaznamenány opět pro Havířov s více vzdálenými destinacemi jako jsou Ostrava, Karviná nebo Český Těšín. Naopak extrémně nízké toky byly zjištěny pro dojížděku z velkých měst do jejich zázemí. Jako logické vysvětlení se nabízí fakt, že velké vzdělávací instituce jsou situovány především ve velkých městech a regionálních centrech. Celkově jsou vzdálenosti dojíždění kratší než v případě zpracovatelského průmyslu.



Obr. 4. Abnormální toky zaměstnanců ve vzdělávání s vysokými relativními rezidui (model EDU-EJEXP)



Obr. 5. Abnormální toky zaměstnanců v obchodu s vysokými relativními rezidui (model RET-EJEXP)

V případě dojíždky do zaměstnání v obchodu (obr. 5) se jako neočekávaně velké ukázaly toky do Ostravy z jejího zázemí především severně a východně. Největší relativní kladné odchylky mají Karviná, Orlová a Hlučín.

3. ZÁVĚR

Na základě testování byla pro gravitační modelování vybrána varianta neomezeného exponenciálního vícenásobného regresního modelu s adjustací dat a odstraněním odlehých hodnot. Výsledky dobře dokumentují makrorozdíly v chování dojíždky do zpracovatelského průmyslu a vzdělávacích a obchodních společností.

Zajímavé výsledky poskytuje také mapování relativních reziduí modelovaných toků do zaměstnání v území, kde jsou zvýrazněny jak očekávané tak i nečekané interakce mezi jednotlivými sídly.

Příprava gravitačních modelů byla velmi náročná především z pohledu přípravy vstupních dat. Zejména správné ohodnocení velikosti zdrojů a cílů a dojíždkových proudů vyžaduje kontrolu více podmínek a provádění úprav dat.

Přesto se ukázalo, že výsledky stávajících modelů, používajících upravená data u neomezených modelů nejsou příliš odlišné od výsledků dvojnásobně omezených modelů, což si vysvětlujeme ještě stále vysokou chybovostí v datech.

Potvrzují to i poměrně nízké indexy determinace (0.46-0.56). V současnosti se pracuje na vylepšení těchto modelů.

Gravitační modely jsou jedním z nástrojů pro matematickou formulaci síly vzájemné interakce mezi zdroji a cíli dojíždění a jejich parametry budou využity při stochastických simulacích náhodných toků v regionu pro zlepšený popis dostupnosti a odhalování lokálních dopravních problémů v území.

PODĚKOVÁNÍ

Příspěvek byl podpořen grantem GAČR 14-26831S Prostorové simulační modelování dostupnosti.

LITERATURA

Anas, A. 1983. **Discrete choice theory, information theory and the multinomial logit and gravity models.** Transportation Research B, 17: 13–23.

Bailey, T.C.; Gatrell, A.C. 1995. **Interactive spatial data analysis.** Longman Scientific & Technical, Essex. 413 p.

Burian, J.; Zajickova, L.; Tucek, P.; Vozenilek, V.; Langrova, B.; Boori, M. 2014. **Traffic intensity changes and their influence on spatial distribution of suburbanization.** In 14th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2014.

Celik, H.M. 2010. **Sample size needed for calibrating trip distribution and behaviour of the gravity model.** Journal of Transport Geography, 18(2010): 183–190.

Fik, T. J.; Mulligan, G.F. 1990. **Spatial flows and competing central places: towards a general theory of hierarchical interaction.** Environment and Planning A. 22: 527–549.

Fotheringen, S.; O'Kelly, M.E. 1989. **Spatial Interaction Models: Formulations and Applications.** Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

Grange, L.; Troncoso, R.; Ibeas, A.; González, F. 2009. **Gravity model estimation with proxy variables and the impact of endogeneity on transportation planning.** Transportation Research Part A. 43 (2009), 105–116.

Halás, M.; Klapka, P.; Kladiivo, P. 2014. **Distance-decay functions for daily travel-to-work flows**. *Journal of Transport Geography*, 35(2014): 107–119.

Halás, M., Klapka P., 2010. **Regional division of Czechia on the basis of spatial interaction modelling**. *Geografie*, 115, No. 2, pp. 144–160.

Horák J. 2013: **Prostorová analýza dat**. 135 stran. VŠB-TU Ostrava. 5. vydání.

Horák, J.; Ivan, I.; Fojtík, D.; Burian, J. 2014. **Large scale monitoring of public transport accessibility in the Czech Republic**. In *Proceedings of ICCO 2014*, Velké Karlovice, 28-30.5.2014, pp. 1-7.

Khadaroo, J.; Seetanah, B. 2008. **The role of transport infrastructure in international tourism development: A gravity model approach**. *Tourism Management*, 29(2008): 831–840.

Mikkonen, M.; Luoma, M. 1999. **The parameters of the gravity model are changing - how and why?** *Journal of Transport Geography*, 7(1999): 277-283.

Pavlík, Z., Kühnl, K.: **Úvod do kvantitativních metod pro geografii**. Praha, SPN, 1981, 267 s.

Shrewsbury, J. 2012. **Calibration of trip distribution by generalised linear models**. Dostupné online: <http://www.nzta.govt.nz/resources/research/reports/473/docs/473.pdf>

Tsekeris, T.; Stathopoulos, A. 2006. **Gravity models for dynamic transport planning: Development and implementation in urban networks**. *Journal of Transport Geography*, 14(2006): 152–160.

Uboe, J. 2004. **Aggregation of gravity models for journeys to work**. *Environ. Plan. A*. 36 (4), 715–729.

Viton, P.A. 1995. **Calibrating the Gravity Model**. Dostupné online: <http://facweb.knowlton.ohio-state.edu/pvixon/courses2/crp5700/calibrating.pdf>

Vojta M. 2009. **Analýza dojíždění pro podniky Lanex a MSA**. DP, Institut geoinformatiky, HGF VŠB-TU Ostrava.

Vrtic, M.; Frohlich, P.; Schussler, N.; Axhausen, K.W.; Lohse, D.; Schiller, C.; Teichert, H. 2007. **Two-dimensionally constrained disaggregate trip generation, distribution and mode choice model: Theory and application for a Swiss national model**. *Transportation Research Part A*. 41(2007): 857–873.

Williams, I. 1976. A comparison of some calibration techniques for doubly constrained models with an exponential cost function. *Transportation Research* 10, 91–104.

Williams, I. N. 1977. **Algorithm 1: Three-point rational function interpolation for calibrating gravity models**. *Environment and Planning* 9A, 215–221.

Wilson, A.G. 1970. **Entropy in Urban and Regional Modeling**. Pion, London.