

**Univerzita Palackého v Olomouci**

**Přírodovědecká fakulta**

**Katedra geoinformatiky**

**AUTOMATICKÉ ZPRACOVÁNÍ DAT PRO  
VYTVÁŘENÍ EVROPSKÝCH PŘESHraniČNÍCH  
PROFILŮ**

**Diplomová práce**

**Bc. Pavel MAJZLÍK**

**Vedoucí práce: doc. Ing. Zdena Dobešová, Ph.D.**

**Olomouc 2026**

**Geoinformatika a kartografie**

## **ANOTACE**

Diplomová práce se zaměřuje na automatizaci zpracování dat pro přeshraniční oblasti v Evropě s hlavním tématem dopravní infrastruktury. Jsou využita data z databáze OpenStreetMap poskytující silniční síť a sídla, data z portálu GISCO poskytující administrativní jednotky NUTS 3. V teoretické části se práce zabývá dopravní dostupností v Evropě, přeshraničními regiony a indikátory hodnocení dopravní infrastruktury. Pro hodnocení dopravní efektivity byl zvolen indikátor Network Efficiency Ratio, který porovnává skutečné cestovní časy s teoretickými a zohledňuje počet obyvatel v cílových sídlech. Výpočet indikátoru je realizován pomocí toolboxu Road Efficiency on EU cross borders, který obsahuje šest navazujících skriptů v jazyce Python s využitím knihovny ArcPy pro software ArcGIS Pro. Toolbox pokrývá pracovní postup od vymezení přeshraniční oblasti a stažení dat až po výpočet efektivity silniční sítě a je volně dostupný na platformě GitHub společně s testovacími daty a nápovědou. Funkčnost naprogramovaných skriptů je ověřena na čtyřech případových studiích. Výsledky ukázaly výrazné rozdíly v hodnotách efektivity silniční sítě mezi jednotlivými regiony, které odrážejí vliv geografických podmínek a kvalitu dopravní infrastruktury.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Přeshraniční regiony, dopravní infrastruktura, efektivita silniční sítě, automatické zpracování dat

Počet stran práce: 62

Počet příloh: 7

## **ANNOTATION**

*The thesis focuses on the automation of data processing for cross-border areas in Europe with the main topic of transport infrastructure. Data from the OpenStreetMap database providing the road network and settlements, and data from the GISCO portal providing NUTS 3 administrative units, are used. In the theoretical part, the thesis deals with transport accessibility in Europe, cross-border regions and indicators for assessing transport infrastructure. The Network Efficiency Ratio indicator was chosen to assess transport efficiency, which compares actual travel times with theoretical ones and takes into account the number of inhabitants in target settlements. The indicator is calculated using the Road Efficiency on EU cross borders toolbox, which contains six consecutive scripts in Python using the ArcPy library for ArcGIS Pro software. The toolbox covers the workflow from defining the cross-border area and downloading data to calculating the efficiency of the road network and is freely available on the GitHub platform together with test data and documentation. The functionality of the programmed scripts is verified on four case studies. The results showed significant differences in road network efficiency values between individual regions, reflecting the influence of geographical conditions and the quality of transport infrastructure.*

## **KEYWORDS**

Cross-border regions, transport infrastructure, road network efficiency, automated data processing

Number of pages 62

Number of appendices 7

**Prohlašuji, že**

- diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracoval(a) samostatně a uvedl(a) jsem všechny použité podklady a literaturu.

- jsem si vědom(a), že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo,

- beru na vědomí, že Univerzita Palackého v Olomouci (dále UP Olomouc) má právo nevydělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užívat (§ 35 odst. 3),

- souhlasím, že údaje o mé bakalářské/diplomové práci budou zveřejněny ve Studijním informačním systému UP,

- v případě zájmu UP Olomouc uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít výsledky a výstupy mé diplomové práce v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,

- použít výsledky a výstupy mé diplomové práce nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem UP Olomouc, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly UP Olomouc na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

Děkuji vedoucí práce doc. Ing. Zdeně Dobešové Ph.D. za podněty a připomínky při vypracování práce, a také své rodině za podporu a pomoc.

# UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Akademický rok: 2024/2025

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Bc. Pavel MAJZLÍK  
Osobní číslo: R240573  
Studijní program: N0532A330009 Geoinformatika a kartografie  
Téma práce: Automatické zpracování dat pro vytváření Evropských přeshraničních profilů  
Zadávající katedra: Katedra geoinformatiky

### Zásady pro vypracování

Cílem diplomové práce je připravit sadu programů, které budou sloužit ke zpracování dat pro přeshraniční profily v Evropě. Programy budou řešit jak preproceing dat z různých zdrojů evropských států či databází, tak následné prostorové analýzy. Programy budou realizovány jako Python skripty s využitím knihovny arcpy pro software ArcGIS Pro buď ve formě toolboxu nebo Jupyter notebooků. Bude sestaveno minimálně pět funkčních programů včetně ukázkových dat. Jedním z vybraných témat bude dopravní infrastruktura přeshraničních regionů.

Text práce student zpracuje v souladu se závaznou šablonou pro kvalifikační práce KGI. O diplomové práci student vytvoří webovou stránku a poster. Celou práci (text, přílohy, výstupy, zdrojová a vytvořená data, poster a web) odevzdá student v digitální podobě na datové úložiště katedry. Do evidence STAG student odevzdá úplný text práce s přílohami, které určí vedoucí práce. Fyzicky student odevzdá pouze přílohy určené vedoucím práce.

Rozsah pracovní zprávy: max. 50 stran  
Rozsah grafických prací: dle potřeby  
Forma zpracování diplomové práce: elektronická

#### Seznam doporučené literatury:

Brons M., Lewis D., Nicolás J., Poelman H. (2022) Road infrastructure in Europe: Road length and its impact on road performance, WP 03/2022, DG Regional and Urban Policy, Publications Office of the European Union, Luxembourg  
Cristodoulou A., Christidis P., Dijkstra L., Poleman H. (2019) Road Accessibility in border regions, WP 01/2019, DG Regional and Urban Policy, Publications Office of the European Union, Luxembourg  
Cristodoulou A., Christidis P. (2018) Cross-border transport infrastructure in the EU: A methodology to assess the role of cross-border road networks, EUR 29565 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-98380-1, doi:10.2760/040279, JRC113364.  
Tóth A. (2024) Tvorba ArcGIS Notebooks pro zpracování dat evropských měst a států, diplomová práce, Katedra geoinformatiky PŘF UP, Olomouc  
Tóth A. (2022) Možnosti výpočtu charakteristik dopravní sítě států a měst, bakalářská práce, Katedra geoinformatiky PŘF UP, Olomouc  
Zandbergen P. A. (2020) Advanced Python Scripting for ArcGIS Pro, Esri, ISBN 9781589486188

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Zdena Dobešová, Ph.D.  
Katedra geoinformatiky

Datum zadání diplomové práce: 9. prosince 2024

Termín odevzdání diplomové práce: 4. května 2026

L.S.

---

prof. RNDr. Martin Kubala, Ph.D.  
děkan



---

prof. RNDr. Vilém Pechanec, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Olomouci dne 10. prosince 2024

# OBSAH

<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....</b>	<b>10</b>
<b>ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>1 CÍLE PRÁCE .....</b>	<b>12</b>
<b>2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY .....</b>	<b>13</b>
2.1 Dopravní dostupnost v Evropě.....	13
2.2 Přeshraniční rozvoj dopravy .....	15
2.3 Indikátory dostupnosti .....	16
2.4 Silniční infrastruktura v Evropě .....	19
<b>3 METODY A POSTUP ZPRACOVÁNÍ .....</b>	<b>22</b>
3.1 Výpočet dopravní efektivity v přeshraničních regionech.....	22
3.1.1 Definice přeshraničního regionu .....	22
3.1.2 Network efficiency ratio - $NER_i$ .....	23
3.2 Datové zdroje .....	24
3.3 Použité programy .....	26
3.3.1 ArcGIS Pro .....	26
3.3.2 Python a Visual Studio Code.....	26
3.3.3 Microsoft Excel.....	26
<b>4 TOOLBOX ROAD EFFICIENCY ON EU CROSS BORDER REGIONS .....</b>	<b>27</b>
4.1 Vymezení přeshraniční oblasti na základě státní hranice .....	27
4.2 Stažení dat z OpenStreetMap .....	29
4.3 Průjezdnost kruhových objezdů.....	31
4.4 Geoprocessing dat pro síťovou analýzu .....	32
4.5 Vytvoření síťového modelu.....	34
4.6 Výpočet $NER$ .....	35
<b>5 PŘÍPADOVÉ STUDIE.....</b>	<b>40</b>
5.1 Česko – Slovensko.....	40
5.1.1 Charakteristika území .....	40
5.1.2 Sídelní a populační struktura .....	42
5.1.3 Dopravní infrastruktura .....	43
5.1.4 Analýza efektivity silniční sítě pomocí indikátoru $NER$ .....	45
5.2 Belgie - Nizozemsko .....	48
5.2.1 Charakteristika území .....	48
5.2.2 Sídelní a populační struktura .....	49
5.2.3 Dopravní infrastruktura .....	51
5.2.4 Analýza efektivity silniční sítě pomocí indikátoru $NER$ .....	52
5.3 Německo – Polsko .....	54
5.3.1 Charakteristika území .....	55
5.3.2 Sídelní a populační struktura .....	56
5.3.3 Dopravní infrastruktura .....	58
5.3.4 Analýza efektivity silniční sítě pomocí indikátoru $NER$ .....	59

5.4	Francie – Itálie .....	61
5.4.1	Charakteristika území .....	62
5.4.2	Sídelní a populační struktura .....	62
5.4.3	Dopravní infrastruktura .....	64
5.4.4	Analýza efektivity silniční sítě pomocí indikátoru NER.....	65
<b>6</b>	<b>VÝSLEDKY .....</b>	<b>68</b>
6.1	Toolbox Road Efficiency on EU cross borders .....	68
6.1.1	Define cross border area .....	68
6.1.2	Download OSM data .....	69
6.1.3	Roundabout flow improvement .....	69
6.1.4	Geoprocessing data .....	69
6.1.5	Create network dataset.....	69
6.1.6	Calculate NER.....	69
6.2	Případové studie .....	70
<b>7</b>	<b>DISKUZE .....</b>	<b>71</b>
<b>8</b>	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>73</b>
	<b>POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE</b>	
	<b>PŘÍLOHY</b>	

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.

<b>Zkratka</b>	<b>Význam</b>
CZ	Česká republika
BE	Belgické království
EU	Evropská unie
FR	Francouzská republika
GE	Německá spolková republika
GISCO	Geographic Information System of the Commission
IT	Italská republika
LI	Location Indicator (Indikátor polohy)
NE	Nizozemsko
NER	Network Efficiency Ratio
NUTS	Nomenclature of Territorial Units for Statistics
OSM	Open Street Map
PA	Indikátor potenciálu
PL	Polská republika
SK	Slovenská republika

# ÚVOD

Přeshraniční regiony tvoří významnou část území v Evropské unii, ve kterém žije přibližně 13 % obyvatel EU. Jedná se o desítky milionů lidí, kteří v těchto oblastech žijí a pracují a jejich každodenní život je ovlivněn pohybem přes hranice. Pro tyto obyvatele je klíčová kvalitní přeshraniční dopravní infrastruktura, která ovlivňuje jejich přístup k pracovním příležitostem, vzdělání nebo zdravotním službám na obou stranách hranice. Přeshraniční regiony jsou důležitým faktorem v rámci nejen dopravy, ale také v socioekonomickém rozvoji. EU se snaží dlouhodobě podporovat rozvoj těchto regionů, přesto však dopravní infrastruktura v přeshraničních regionech často zaostává za vnitrostátními regiony. Důvodem je historický vývoj, kdy jednotlivé státy budovaly dopravní sítě především pro vlastní potřeby a spojení se sousedními zeměmi nebylo prioritou. To se projevuje nižší hustotou silniční sítě, menším počtem hraničních přechodů a delšími cestovní časy mezi sídly.

Na tuto problematiku navazuje tato diplomová práce, která se zaměřuje na hodnocení dopravní infrastruktury v přeshraničních regionech. Důraz je kladen na automatizované zpracování dat a možnosti vyhodnocení dopravní dostupnosti. K tomu se využívá indikátor Network Efficiency Ratio (NER), neboli efektivita silničních sítí. Ve výpočtu se porovnávají skutečné cestovní časy mezi sídly na obou stranách hranice s teoretickými časy mezi sídly. Roli hraje také počet obyvatel v cílových sídlech, který je ve výpočtu také zahrnut. Efektivita silniční sítě je realizována jako součást nástroje v ArcGIS Pro.

Výsledkem práce je toolbox vytvořený v jazyce Python pro software ArcGIS Pro, který automatizuje zpracování dat z evropských zdrojů dat. Jedná se o sadu programů, jejich náplní je od stažení dat přes úpravu dat až po výpočet efektivy silniční sítě. Skripty jsou přizpůsobeny výpočtu NER. Funkčnost nástroje byla ověřena na vybraných případových studiích v rámci EU, na kterých byly vidět rozdíly v rámci efektivy silniční sítě. Existuje několik faktorů, které ve výpočtu hrají roli. Jedná se o počet dálnic, jejich propojení přes hranice, přírodní bariéry na hranicích nebo geografická charakteristika přeshraničního regionu.

Hodnocení efektivy dopravní infrastruktury formou vytvořeného toolboxu v přeshraničních regionech může přispět k pochopení prostorových rozdílů a identifikaci problémových oblastí v EU. Nástroj pro automatické zpracování dat a prostorovou analýzu umožňuje vyhodnotit libovolný přeshraniční region v rámci EU. Zároveň usnadňuje také provádění opakovatelných analýz bez nutnosti větších manuálních zásahů uživatele. Toolbox je navržen tak, aby byl uživatelsky přístupný a snadno použitelný. Získané výsledky mohou být využity při plánování a rozvoji dopravní infrastruktury.

# **1 CÍLE PRÁCE**

Cílem diplomové práce je připravit sadu programů, které budou sloužit ke zpracování dat pro přeshraniční profily v Evropě. Programy budou řešit jak preprocesing dat z různých zdrojů evropských států či databází, tak následné prostorové analýzy. Programy budou realizovány jako Python skripty s využitím knihovny ArcPy pro software ArcGIS Pro buď ve formě toolboxu nebo Jupyter notebooků. Bude sestaveno minimálně pět funkčních programů včetně ukázkových dat. Jedním z vybraných témat bude dopravní infrastruktura přeshraničních regionů.

## 2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V této části diplomové práce je zkoumána dopravní dostupnost a infrastruktura v Evropě a přeshraničních regionech Evropy. Byly analyzovány relevantní vědecké studie zabývající se touto problematikou. Tato kapitola je založena na odborné literatuře.

### 2.1 Dopravní dostupnost v Evropě

Dopravní dostupnost je významným tématem v regionální plánovací politice napříč Evropou. Kvůli rozšiřování Evropské unie a zavedení Fondu soudržnosti byly vypracovány řady studií o dostupnosti v evropském měřítku (Bruinsma a Rietveld, 1993); (CEDRE, 1993); (Gutiérrez a Urbano, 1996); (Keeble et al., 1988); (Simmonds a Jenkinson, 1995). Velké množství ukazatelů dostupnosti uváděných v literatuře (De Bartolomé a De Cáceres, 1992); (Keeble et al., 1988); (Linneker a Spence, 1992); (Pooler, 1995); (Vickerman, 1974)) je založeno na absolutních měřeních prostorové separace mezi lokalitami. Ve výzkumu od Gutiérrez et al., 1998 je formulován ukazatel, který vyjadřuje přístup na relativních pojmech. Byl testován na Španělském infrastrukturním plánu a k jeho realizaci byl použit geografický informační systém, v němž byly namodelovány dopravní sítě a prováděna analýza dostupnosti. Hodnocení efektivity sítě bylo založeno na dvou hlediscích – sociálním a prostorovém.

Výstavba nové dopravní infrastruktury zlepšuje dostupnost a tím zkracuje cestovní časy. Tento jev označil Janelle (1969) jako **časoprostorovou konvergenci**, tedy stav, kdy se zdánlivě zmenšuje vzdálenost mezi místy. Jak uvádějí ve svém výzkumu Spiekermann a Wegener (1994), vytváří se zmenšený prostor, v němž se neustále mění vzájemné vztahy mezi jednotlivými lokalitami. Tento proces však neprobíhá rovnoměrně; některé oblasti z něj těží více, naopak některé méně. Důvodem je poloha daného místa a kvalita dopravní sítě. Největší výhody mají velká města, která jsou mezi sebou rychle a efektivně propojena. Z tohoto pohledu se stává nová perspektiva, která posouvá klasický problém mezi jádrem města a periferií na nerovnováhu mezi velkými městy a jejich okolími (Plassard, 1992); (Vickerman, 1995a).

**Dostupnost** v podstatě označuje, jak snadno lze z daného místa dosáhnout určitých aktivit konkrétním dopravním systémem (Morris et al., 1979). Při měření dostupnosti bývají použity ukazatele založené na ekonomickém potenciálu (Geertman a Ritsema van Eck, 1995); (Harris, 1954); (Keeble et al., 1988); (Linneker a Spence, 1992); (Spence a Linneker, 1994)), na potenciálních nákladech na dopravu (Botham, 1980); (Harris, 1954); (Linneker a Spence, 1992) nebo na vážených průměrných vzdálenostech (Gutiérrez a Urbano, 1996); (Gutiérrez et al., 1996). Všechny indikátory kombinují vzdálenost k destinacím a jejich vliv do jednoho indexu. Některé ukazatele berou v potaz pouze vzdálenost, aniž by zohledňovaly vliv jednotlivých lokalit ((Allen et al., 1993); (Ingram, 1971); (Lutter et al., 1992)). Ve všech typech vstupuje do výpočtů vzdálenost a tím pádem je výsledek založen na vzorci jádro-periferie (Vickerman, 1995b), kde periferie je interpretována jako indikátor odlehlosti nebo nedostupnosti (Ball, 1996). Tyhle modely jsou užitečné při studiích ekonomického rozvoje ((Clark et al., 1969); (Harris, 1954); (Keeble et al., 1988)).

Ukazatele dostupnosti jsou silně ovlivněny geografickou polohou míst, což je činí nevhodnými pro zkoumání dopravní infrastruktury jednotlivých regionů. Pro odborníky na dopravní plánování je třeba rozlišit, zda rozdíly v dostupnosti vyplývají z kvality infrastruktury nebo z polohy daných lokalit. Nutností bylo ve studii od Gutiérrez et al. (1998) definovat indikátor dostupnosti, který omezí vliv geografické polohy. K tomu bylo

potřeba nahradit spojení vzdálenosti a času jiným ukazatelem, který by vyjadřoval přístupnost v relativních jednotkách – **efektivitou sítě**.

$$A_i = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{N_{ij}}{E_{ij}} M_j}{\sum_{j=1}^n M_j}, \quad (1)$$

- $A_i$  znamená, jak je dané sídlo  $i$  dostupné z více míst  $j$ , kde  $j$  nabývá hodnot 1 až  $n$
- $N_{ij}$  vyjadřuje „obtížnost konkrétní cesty“ po skutečné síti (čas, vzdálenost nebo náklady) mezi místem  $i$  a cílovým centrem  $j$
- $E_{ij}$  představuje ideální vzdálenost „vzdušnou čarou“, tedy nejkratší možnou cestu, pokud by byla infrastruktura dokonalá
- $M_j$  ukazuje význam cílového ekonomického centra (například podle jeho velikosti nebo příjmů)

Pro každé místo se vypočítá vážený průměr mezi tím, jak dlouho trvá cesta po reálné síti silnic ( $N_{ij}$ ) a jak dlouho by trvala po ideální přímé trase ( $E_{ij}$ ), přičemž váhou je ekonomický význam cílového místa ( $M_j$ ). Čím je hodnota poměru nižší, tím je místo lépe dostupné a reálná trasa se přibližuje ideální hodnotě. Délka cesty po síti zahrnuje všechny překážky a zatáčky, naopak ideální trasa se odhaduje například jako čas jízdy po dálnici mezi dvěma body. Každé propojení bylo hodnoceno podle toho, jak důležité je cílové ekonomické centrum.

Indikátor byl zaměřen na efektivitu sítě mezi místy a hlavními ekonomickými centry, bez ohledu na skutečné vzdálenosti. Ukazuje, o kolik je reálná trasa delší než ideální trasa – čím nižší hodnota, tím je místo lépe dostupné. Region, který je podle ekonomického potenciálu periferní, může být podle efektivity sítě dobře dostupný. Indikátor se hodí pro rozhodování o investicích do dopravy, ale je vhodný pouze pro rozsáhlá území (například Evropa). V těchto případech se místo přímé linie mezi body uvažuje nejkratší trasa s hypoteticky kvalitní infrastrukturou.

Inspirací pro indikátor efektivity sítě je ukazatel **route factor**, který měří zakřivení jednotlivých úseků. Jedná se o poměr skutečné délky cesty mezi dvěma body k přímé vzdálenosti mezi nimi. Čím vyšší poměr, tím méně přímá a efektivní je trasa ((Chapman, 1979); (Haggett a Chorley, 1969)). Tento přístup byl využit, ale musel být upraven. Místo vzdálenosti byla použita náročnost cesty (impedance) a význam každého vztahu byl hodnocen podle ekonomického významu cílového místa. Každá cesta byla počítána jako nejkratší možná trasa, která byla součtem času potřebného k projetí jednotlivých úseků silnice a penalizací (například za hraniční přechody). Čas jízdy byl základní proměnná, ale byly zohledněny aspekty jako kvalita, typ silnice a intenzita dopravy. Dálnice dostaly bonus v úspoře 20 % času, běžné silnice byly brány bez úprav, ostatní silnice dostaly penalizaci 20 %. Hustý provoz mohl trasu prodloužit o desítky procent (například silnice s 125 000 auty denně, z toho polovinu tvořili kamiony, měla penalizaci 57 %). Pro potřeby výpočtu byla počítána přímá linie vzdušnou čarou, kdy byla brána rychlost 120 km/h a nejlepší kvalita silnice.

Pro ověření funkčnosti indikátoru byla provedena případová studie Gutiérrez et al. (1998), která porovnávala stav dostupnosti silniční sítě před a po realizaci Španělského národního plánu infrastruktury 1993 – 2007. Tento plán zahrnoval výstavbu 5 300 km dálnic a rychlostních silnic, 1 400 km napojovacích komunikací. Analýza se zaměřila na vliv infrastruktury, nikoliv na nabídku dopravních služeb.

Výpočty proběhly mezi 450 uzly a 30 nejvýznamnějšími ekonomickými centry Španělska. Pro porovnání byla hodnota ekonomického významu centrem ponechána konstantní v obou letech. Výsledky ukázaly, že před realizací plánu byly nejlépe dostupné oblasti podél hlavních dálničních tahů z Madridu do různých částí Španělska a také na místech, kde se tahy sbíhají. Dobrou dostupnost vykazovaly i menší města, pokud leží na důležitých křižovatkách dálnic (Benavente). Horší dostupnost naopak vykazovaly okrajové a hornaté oblasti například Pyreneje (Somport) nebo severozápadní region Galicie (La Coruna, Vigo), kde byla impedance sítě přibližně dvojnásobná oproti ideální přímé trase. Po realizaci plánu se obecně zlepšila dostupnost, zejména na západě země, kvůli nové dálniční infrastruktuře. Hodnoty dostupnosti se zlepšily například u Viga (z 2,1 na 1,59), La Coruni (z 1,9 na 1,48). Salamanca (z 1,78 na 1,52). Hlavní ekonomická centra jako Madrid a Barcelona se nezměnila, protože už byla dostatečně dostupná.

Ve studii Gutiérrez et al. (1998) byl vytvořen **indikátor dostupnosti**, který vyjadřuje, jak je dané místo dobře nebo špatně napojeno na dopravní síť. Zaměřil se na vliv infrastruktury a díky němu lze rozlišit snadno dostupné dopravní koridory od hůře dostupných. Výsledky se liší od tradičních modelů pro výpočet potenciálu. Nejlépe dostupné uzly se většinou nacházejí kolem velkých měst, ale mohou jimi být i menší města v řídké osídlených oblastech. Výhodou indikátoru je snadná interpretace. Nejlepší možná hodnota 1 odpovídá ideální trase z bodu A do bodu B vzdušnou čarou. Ukazatel také dobře zachytil rozdíly mezi hlavními uzly sítě a jejich okolím. Například u **indikátoru ICON**, který měří dostupnost k síti samotné, tak by vyhodnotil města La Coruna a Vigo jako dobře dostupná díky existující dálnici v regionu. Indikátor efektivity sítě je naopak vyhodnotil jako špatně dostupné, protože dálniční síť není dobře propojena s ostatní sítí v zemi (Gutiérrez et al., 1998).

## 2.2 Přeshraniční rozvoj dopravy

Evropská komise dlouhodobě prosazuje rozvoj přeshraničních regionů v EU. Přijala návrh s názvem Posílení růstu a soudržnosti v přeshraničních regionech EU (Evropská komise, 2017) který by měl řešit problémy v přeshraničních oblastech. Byly také navrženy konkrétní opatření k řešení přeshraniční spolupráce. V podstatě se jedná o způsoby, jakými mohou členské státy snížit složitost, dobu a náklady přeshraničních cest a podporovat sdílení služeb kolem hranic. Snížením těchto překážek by mohlo pomoci k lepšímu socioekonomickému rozvoji a integraci přeshraničních regionů, což vyjadřuje například růst podílu populace v přeshraničních regionech (Brakman et al., 2012). Studie Jacobs-Crisioni a Koomen (2017) analyzovala vývoj dostupnosti populace v západní Evropě za období 50 let. Z výsledků vyplynulo, že zlepšení dálniční sítě vylepšilo možnosti přeshraničního propojení více než populační růst obyvatelstva v přeshraničních regionech. Trans-evropská dopravní síť hraje důležitou roli při rozvoji dopravy v EU, ale sama o sobě nestačí na pokrytí nedostatků v přeshraničních regionech, které mají často slabou a nerovnoměrnou infrastrukturu. Mezi hlavní překážky v přeshraničních oblastech se řadí právní bariéry (např. vymáhání smluv (Rodrik, 2000), jazykové a kulturní bariéry (Persyn a Torfs, 2016). Jako třetím největším problémem byl označen fyzický přístup Commission (2016). Na nižším rozvojem infrastruktury stojí často její povaha v důsledku nízkého počtu obyvatel a nízkého počtu ekonomických aktivit, aby se investice do dopravy vyplatily (Condeço-Melhorado a Christidis, 2018). López et al. (2009) upozorňují na chybějící síť, které podle výzkumu od Maggi et al. (1992) vznikají tím, že každý stát řeší vlastní dopravní potřeby izolovaně, bez koordinace a spolupráce.

## 2.3 Indikátory dostupnosti

Vztah mezi dostupností a rozvojem byl zkoumán v řadě studií. Existuje mnoho definic a indikátorů dostupnosti, které jsou zaměřeny na různé potřeby hodnocení. Geurs a Van Wee (2004) a Geurs a Ritsema van Eck (2001) zveřejnili čtyři druhy rozdělení indikátorů – **indikátory založené na infrastruktuře, lokalitě, osobě a užitku**. Volba závisí na dostupnosti dat, typu analýzy a cílech studie. Většina studií se zaměřovala na konkrétní země nebo regiony a pracovala s prostorovou agregací.

Celé území Evropy bylo analyzováno ve zprávě Cross-border transport infrastructure in the EU, A methodology to assess the role of crossborder road networks autorů Christodolou a Christidis (2018), pod hlavičkou Joint Research Centre (JRC), the European Commission's science and knowledge service. Tato zpráva byla výchozím materiálem pro řešení diplomové práce. Druhým důležitým podkladovým dokumentem pro diplomovou práci byl Working Paper-WP 01/2019 Road Accessibility in Border Regions publikovaný Evropskou komisí a jejím Directorate-General for Regional and Urban Policy. Working paper navazuje na výše zmiňovanou zprávu a širší autorský kolektiv byl veden stejným autorem, a to Arisem Christodolou.

Christodolou a Christidis (2018) zmiňují, že pro přeshraniční regiony s nízkou populací je klíčové se zaměřit na dostupnost základních služeb. Při hodnocení přeshraničních regionů je důležité sledovat data na malé ploše, aby bylo možné přesně identifikovat problémy. Analýza využívala gridové buňky o velikosti 1 x 1 km, kde byla cílová místa vybrána podle atraktivity a blízkosti ke hranicím. Tato metoda velmi dobře eliminuje problémy s určováním bodů v síti a umožňuje měřit dostupnost po celé dopravní síti. Indikátor efektivity sítě porovnává skutečnou dopravní síť s ideální, s ohledem na čas cestování

a počet obyvatel cílových lokalit. Hodnocení dopravní infrastruktury přeshraničních regionů se provádí prostřednictvím dostupnosti a porovnáním národní a přeshraniční dostupnosti, které umožňuje odhalit problémy způsobené existencí hranic.

Různé indikátory dostupnosti se zaměřují na odlišné dimenze vztahu místa k jeho okolí. Pro účely studie od Christodolou a Christidis (2018) jsou použity tři hlavní typy:

**Indikátor lokality** – měří propojenost regionu

**Potenciální indikátor** – měří přístup k příležitostem

**Efektivita sítě** – měří kvalitu silničních propojení

Indikátory založené na infrastruktuře hodnotí kvalitu dopravní služby – čas, cestování, zácpy, ale neřeší charakter cílových míst. **Indikátory lokalit** zahrnují dostupné příležitosti v cílových oblastech i vzdálenost či náklady na cestu. **Potenciální indikátory** navíc berou v potaz citlivost na cestovní náklady. Pro studii od Christodolou a Christidis (2018) byly nejrelevantnější indikátory lokalit, protože umožňují analýzu silniční sítě s ohledem na význam cílových míst.

Nejprve bylo ve studii od Christodolou a Christidis (2018) třeba definovat území, které má být analyzováno. Bod zájmu (sídlu) je považován za součást přeshraniční oblasti ve vzdálenosti do 25 km od mezinárodní hranice, dále 75 km kolem každého bodu zahrnuje většinu oblastí, které jsou z hlediska přeshraničních interakcí relevantní.

Pro hodnocení dostupnosti využili Christodolou a Christidis **tři zdroje dat**: populační grid 1 × 1 km (Eurostat, JRC, DG REGIO), sídla s více než 5 000 obyvateli a detailní silniční síť TomTom. Z gridu do 25 km od hranic byly vybrány osídlené body, ke kterým byla určena

pětice největších domácích i zahraničních sídel v okruhu 75 km. Následně byly vypočteny nejkratší cesty, délky tras, doby jízdy a vzdálenosti vzdušnou čarou. Z těchto údajů vznikly ukazatele dostupnosti, které byly následně agregovány s váhou počtu obyvatel.

### Indikátor polohy (LI)

Indikátor polohy LI měří průměrný čas potřebný k dosažení několika významných sídel  $j$  ze zdrojového sídla  $i$ , kdy je čas vážen příslušným počtem obyvatel cílového místa.

$$LI_i = \frac{\sum_{j=1}^n t_{ij} P_j}{\sum_{j=1}^n P_j} \quad (2)$$

kde:

- $t_{ij}$  – čas cesty z buňky  $i$  do sídla  $j$
- $P_j$  – populace cílové oblasti  $j$
- $n$  – počet sídel zahrnutých do výpočtu

Cesta je počítána po silniční síti pomocí algoritmu pro výpočet nejkratší trasy. Populace sídel je použita jako váha, protože reprezentuje ekonomické interakce. Pro výpočet bylo zvoleno 5 největších sídel s více než 5 000 obyvateli do 75 km od každé buňky. Méně sídel by vedlo k nestabilitě výsledků. Indikátor ukazuje, jak dlouho průměrně trvá cesta k hlavním bodům v okolí 75 km. Časy byly počítány zvlášť pro národní a mezinárodní dostupnosti. Medián indikátoru vyšel pro národní cíle 49 minut a pro mezinárodní 59 minut. Poměr mezi mezinárodní a národní dostupností vyšel 1,2. Ve výsledku to znamená, že průměrný čas pro cestu přes hranice je o 20 % delší. Vyšší hodnoty indikátoru (přes 2 hodiny) jsou typické pro izolované oblasti kvůli geografickým překážkám (Alpy, Pyreneje).

### Indikátor potenciálu (PA)

Druhým indikátorem je potenciální dostupnost, který je založen na tzv. gravitační přístupu. Bere v potaz dobu cestování a jeho vliv lze zesílit parametrem  $a$ , který určuje, jak moc hraje roli vzdálenost nebo čas mezi výchozím a cílovým bodem. Ve studii Christodoulou a Christidis byla nastavena lineární závislost ( $a = 1$ ).

$$PA_i = \frac{\sum_{j=1}^n P_j}{\sum_{j=1}^n t_{ij}^a} \quad (3)$$

kde:

- $t_{ij}$  – cestovní čas z buňky  $i$  do cílové oblasti  $j$
- $P_j$  – populace cílové oblasti  $j$
- $n$  – počet cílových bodů zahrnutých do výpočtu
- $a$  – parametr řídicí vliv vzdálenosti

Indikátor měří ekonomický potenciál místa, tedy kolik obyvatel je z dané buňky dosažitelných nebo dostupných za jednotku času (většinou za hodinu). Čím jsou buňky více vzdáleny od hranice, tím mají vyšší potenciál na národní úrovni než na mezinárodní, protože obyvatelé žijí více uvnitř vlastního státu. Ve studii od Christodoulou a Christidis (2018) byla vypočítána pro Španělsko národní úroveň průměrná hodnota indikátoru 923 tisíc osob/h, medián 416 tisíc osob/h. Pro mezinárodní úroveň vyšel průměr 379 tisíc osob/h, medián 191 tisíc osob/h. Analýza ukázala tři typy přeshraničních oblastí. První byly buňky s nízkým potenciálem jak na národní, tak na mezinárodní úrovni (izolované oblasti kolem hranic). Druhým buňky s vysokým potenciálem národně, ale nízkým mezinárodně (místa daleko od hranic). Třetí nejzajímavějším typem jsou oblasti s nízkým národním a vysokým mezinárodním potenciálem. Na tomto příkladu je vidět, že infrastruktura přes hranici může mít velký dopad.

### **Efektivita sítě (NE<sub>i</sub>)**

Indikátory efektivity sítě byly původně navrženy Gutiérezem a Monzónem (1998) jako rozšíření tzv. route factor, který se využívá k měření zakřivených úseků. Hlavní myšlenkou bylo omezit závislost na geografické poloze, tedy eliminovat vliv geografické polohy a zároveň lépe vyhodnotit potřeby či potenciál dopravní infrastruktury v daném regionu. Indikátor efektivity dopravní sítě byl použit pro vliv geografické polohy při hodnocení dostupnosti dopravní infrastruktury v jednotlivých regionech. Je založen na porovnávání existující sítě s ideální sítí.

$$NE_i = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{t_{ij}}{t_{ij}'} P_j}{\sum_{j=1}^n P_j} \quad (4)$$

kde:

- $t_{ij}$  - skutečná doba jízdy mezi dvěma místy
- $t_{ij}'$  - teoretická doba cesty vzdušnou čarou při 120 km/h
- $P_j$  - počet obyvatel v cílovém místě
- $n$  - počet cílových míst ve výpočtu

Protože  $t_{ij}'$  představuje ideální čas, hodnota  $NE_i$  se blíží 1 s rostoucí dostupností. Hodnota efektivity sítě  $NE$  roste výrazně nad hodnotu 1 se zhoršováním dostupnosti. **Inverzní ukazatel  $NER_i$**  nabývá hodnot mezi 0 a 1 – hodnoty blízké se 1 znamenají vysokou efektivitou sítě, zatímco hodnoty blízké se 0 svědčí o nízké efektivitě. V původní metodě Gutiéreze a Monzona byla poměrná váha cestovních časů určována podle příjmů ekonomických center, protože ekonomická aktivita může být lepším ukazatelem atraktivity než samotná populace. Získání těchto dat je však velmi obtížné, proto byla pro studii Christodoulou a Christidis (2018) použita hodnota populace jako přímý ukazatel atraktivity cílového místa. Analýza proběhla na úrovni mřížky o velikost 1 x 1 km kombinující data o populaci, sídlech a silniční sítě. Indikátor zohledňuje vlastnosti sítě tím, že obsahuje proměnnou reprezentující ideální dobu cestování. Tedy čas potřebný k cestě z bodu A do bodu B při maximální rychlosti. Rychlost závisí na typu silnice

Indikátor **NER** se ukázal dle studie Christodoulou a Christidis (2018) jako nejlepší pro hodnocení a porovnávání dopravní infrastruktury v přeshraničních oblastech. Kombinuje dobu cestování, atraktivitu destinací (velikost populace) a obsahuje parametr ideálního výkonu sítě. Je zaměřen na charakteristiky sítě a není ovlivněn fyzickou vzdáleností mezi výchozím a cílovým bodem a velikost populace je využita k vážení cestovního času. Národní a mezinárodní efektivita sítě byla počítána zvlášť pro každý pár sousedících zemí. Národní

se počítá vůči pěti nejlidnatějším sídlům ve stejné zemi v okruhu do 75 km a mezinárodní vůči pěti nejlidnatějším sídlům v sousední zemi. Při zvyšování počtu cílových míst nebyla prokázána větší změna, kromě dvojnásobného času výpočtu. Pro hodnocení byl využit okruh 75 km od každé buňky, což umožňuje zachytit místa s lepší přesností. Průměrná doba cestování k sídlům vyšla 68 km a 55 minut. Výchozí body jsou ve středu buněk 1 x 1 km a cílové body jsou středy sídel s více než 5 000 obyvateli. Cestovní časy byly počítány po síti pomocí algoritmu A\* a z dat o rychlosti. Hodnoty efektivity sítě se liší v závislosti na místních podmínkách. Vyšší hodnoty mezinárodní efektivity odpovídají oblastem blízko hraničním přechodům s dálnicemi, nejnižší hodnoty oblastem s přírodními překážkami, kde se kombinuje velká vzdálenost k hraničnímu přechodu a nízká cestovní rychlost. Korelace mezi národní a mezinárodní efektivitou má lineární vztah. Geografické podmínky ovlivňující efektivitu mají podobný dopad na obou stranách hranic. Nízké hodnoty NER na obou stranách hranice se vyskytují typicky v horských oblastech.

Christodoulou a Christidis porovnali tři indikátory: lokalizační, potenciální dostupnost a efektivitu sítě. Každý z nich měří jiný aspekt dostupnosti, proto je nelze přímo srovnat. U lokalizačního indikátoru se cestovní čas váží na populaci, u potenciální dostupnosti je to počet obyvatel dosažitelný s ohledem na cestovní čas a u efektivity sítě to je porovnání skutečného času s ideálním. Z výsledků analýzy studie bylo zjištěno, že přeshraniční dostupnost je obecně nižší než národní dostupnost. Potenciální dostupnost byla silně ovlivněna velikostí populace cílových sídel, proto v některých regionech vyšly velmi vysoké hodnoty, přestože silniční síť zde není příliš kvalitní. Nejvyšší hodnoty u všech indikátorů se vyskytují v místech, kde je kombinace dobré silniční sítě, blízkosti dálnic a dosahu velkých měst ve vzdálenosti 75 km (například hranice Nizozemska a Německa). Naopak výsledky ukázaly řadu oblastí, které jsou izolované podle všech indikátorů. Tyto oblasti mají málo obyvatel v okolí, špatnou síť a dlouhé cestovní časy (horské nebo řídké osídlené regiony). Z výsledků lze také potvrdit, že indikátory spolu nekorelují – každý zdůrazňuje jiný aspekt dostupnosti (Christodoulou a Christidis, 2018).

## 2.4 Silniční infrastruktura v Evropě

Podle studie Brons et al. (2022) Evropská unie utratí každý rok přes 300 miliard eur za dopravu, z toho více než třetinu tvoří investice do silnic. Silniční doprava je považována za zásadní službu pro obyvatelstvo, a proto i malé zlepšení v efektivitě investic v této oblasti může přinést velký užitek. Hlavním úkolem silniční sítě je propojovat místa rychle a přímo. Při plánování je potřeba brát v úvahu více faktorů, jako jsou například bezpečnost, ochrana obytných zón, vliv na životní prostředí a náklady na stavbu a údržbu. Proto jsou využívány metody, které hledají optimální kompromis. Ve studii Brons et al. (2022) jsou silnice rozděleny na dálnice, sekundární silnice a místní cesty. Zkoumá se **délka silnic na obyvatele**, rozdíl mezi městy a venkovem a vztah mezi délkou silnic a počtem lidí, které má silnice obsloužit za určitý čas.

Studie Brons et al. (2022) používá nová data pro celou Evropu o silniční infrastruktuře, která je rozdělena do tří kategorií (dálnice a hlavní tahy, sekundární silnice, místní silnice). Data pochází z databáze TomTom a po sloučení činí celková délka 6,5 milionu km. Celkový poměr těchto druhů silnic v EU je – dálnice 2 %, sekundární silnice 32 % a místní silnice 66 %. Silnice jsou zkoumány na úrovni gridu 1 km x 1 km a poté jsou agregovány podle stupně urbanizace jednotlivých regionů. Pro hodnocení byl využit ukazatel **road performance**, který vyjadřuje poměr mezi počtem obyvatel dosažitelných do 90 minut jízdy a počtem obyvatel v okruhu 120 km. Dá se tvrdit, že se jedná o poměr dostupnosti k blízkosti. Tento indikátor měří efektivitu silniční sítě v poskytování skutečné dostupnosti.



Obr. 1 Hustota hlavních silnic v přeshraničních regionech EU (Christodoulou et al., 2019).

Délka silnic na obyvatele ukazuje ekonomický pohled na infrastrukturu, protože souvisí s investicemi a náklady na údržbu. Hodnoty se výrazně liší mezi jednotlivými státy. Od velmi vysokých hodnot ve Švédsku až po velmi nízké v Rumunsku, Maltě a Lotyšsku. Některé země mají nadprůměrné hodnoty u všech kategorií silnic (Francie, Švédsko), jiné naopak podprůměrné (Rumunsko, Malta). V některých státech se zaměřili pouze na určitý typ silnic. Například Irsko má extrémně vysoký podíl místních silnic na obyvatele, ale naopak průměrné dálnice. V řídko osídlených zemích je délka silnice na obyvatele zpravidla vyšší (Švédsko, Finsko, Irsko, Estonsko, Lotyšsko), naopak u hustě osídlených zemích jsou hodnoty nízké (Belgie, Nizozemsko). Výjimkou jsou východoevropské regiony (Rumunsko, Polsko, Litva), které mají jak nízkou hustotu obyvatelstva, tak nízkou délku silnic, což bývá vysvětlováno nižší ekonomickou úrovní.

Míra urbanizace rozlišuje města, městské oblasti i venkov. Přibližně 97 % rozlohy EU je klasifikováno jako venkovské oblasti, 2,5 % zaujímají města a předměstí a pouze 0,8 % tvoří městské oblasti. Přesto je počet obyvatel ve městech podobný počtu obyvatel ve venkovských oblastech a předměstích díky vyšší hustotě obyvatelstva. Rozložení silniční sítě podle urbanizace je více zkruseno pro počet obyvatel, o něco méně pro rozlohu. 80 % celkové délky silnic se nachází ve venkovských oblastech, kde žije pouze 32 % populace. V důsledku rozdílného osídlení potřebují venkovské oblasti výrazně více silnic na obyvatele. Délka místních silnic na obyvatele je na venkově desetkrát vyšší než ve městech (19 vs 1,8 km na obyvatele). Města a předměstí mají střední hodnoty. Velmi podobné výsledky se vyskytují u dálnic a sekundárních silnic na obyvatele ve venkovských oblastech. Délka silnic na obyvatele v okruhu 120 km kolem sídel je vyšší u vesnic a nižší u měst, přičemž města a předměstí se nacházejí mezi těmito hodnotami. Rozdíly oproti stupni urbanizace jsou menší, protože je brána v úvahu kombinace všech tří typů oblastí. V některých zemích (Švédsko, Francie, Finsko) jsou rozdíly mezi typy sídel výraznější kvůli hustotě obyvatel ve venkovských oblastech.

Dostupnost a výkonnost silniční sítě závisí na kvalitní infrastruktuře, která obsahuje hustou a rychlou silniční síť, která propojuje obyvatele. Další faktory jsou rozložení populace, efektivita uspořádání sítě a geografické překážky. Obecně však platí, že vyšší délka silnic na obyvatele spolu s dostatečným počtem dálnic zvyšuje dostupnost. **Silniční výkon** je podle Bronse (2022) měřen pomocí tří indikátorů:

1. Dostupnost (accessibility) – počet obyvatel, které lze obsloužit do 90 minut jízdy.
2. Blízkost (proximity) – počet obyvatel v okruhu 120 km, který charakterizuje prostorové rozložení destinací.
3. Výkonnost dopravy (transport performance) – poměr dostupné populace k populaci v okruhu 120 km, vyjádřený v procentech. Hodnota 100 % znamená vysoký výkon, hodnota blízko nuly znamená nízký výkon.

Tyto indikátory se počítají pro každou 1 km<sup>2</sup> buňku v EU, EFTA, Velké Británii a západním Balkánu a agregují se na regionální a národní úroveň váženým průměrem podle počtu obyvatel.

Výsledky studie Brons et al. (2022) ukazují, že vyšší silniční výkon mají hustě osídlené oblasti severozápadní Evropy, nižší výkon pak oblasti severní a východní Evropy. Hlavní a městské oblasti mají obecně vyšší výkon než venkovské, přičemž rozdíl mezi východními a západními regiony EU je patrný. Silniční výkon se neřídí přímo délkou silnic na obyvatele – ve městech totiž stačí kratší síť k zajištění vysokého výkonu.

Analýza od Brons et al. (2022) na úrovni regionů NUTS 3 ukázala, že existuje pozitivní vztah mezi délkou silnic na obyvatele a silničním výkonem. Podle výsledků je zřejmé, že 10 % navýšení délky silnic na obyvatele je spojeno s přibližně 1,7 % zlepšením výkonu silniční sítě. Tento vztah je silnější převážně v městských regionech než ve venkovských. Zajímavý je rozdíl mezi typy silnic. Dálnice sice mají nižší podíl na délce sítě, ale jejich vliv na výkon je násobně vyšší. Navýšení délky dálnic má v průměru 27krát větší efekt než stejné navýšení u ostatních typů silnic. Přesto se v městských regionech podílí nejvíce na zlepšení výkonu sekundární a místní silnice, které obslouží větší počet obyvatel.

Délka silnic na obyvatele pozitivně ovlivňuje silniční výkon v regionech EU, přičemž efekt je nejvyšší ve městech a urbanizovaných oblastech. Ve venkovských regionech je síť delší na obyvatele, ale její vliv na výkon je menší. Dálnice mají na silniční výkon mnohem větší dopad než ostatní typy silnic a efektivita sítě závisí také na její úplnosti a kvalitě. Investice do silnic mají největší přínos v regionech s podprůměrným výkonem, přičemž plánování by mělo zohlednit i alternativní dopravu a environmentální aspekty (Brons et al., 2022).

### 3 METODY A POSTUP ZPRACOVÁNÍ

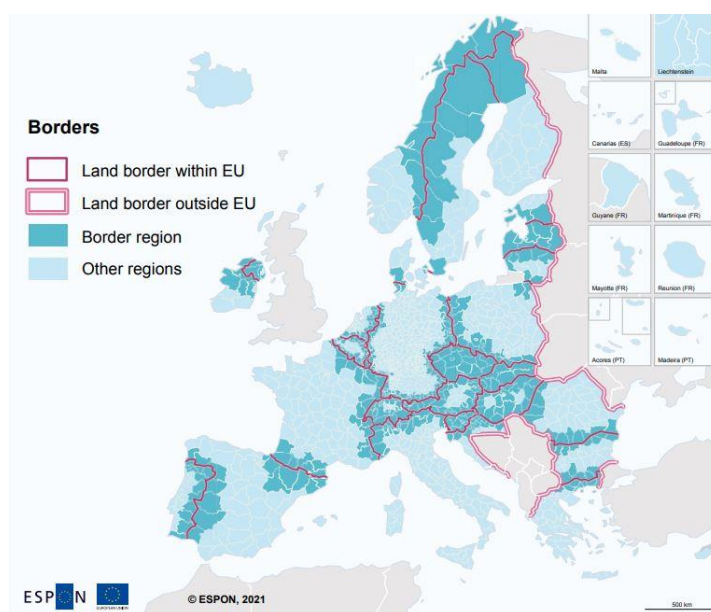
V této kapitole je popsána metodika výpočtu silniční efektivity v přeshraničních regionech, definice přeshraničního regionu, datové zdroje a použité programy. V diplomové práci byly primárně využívány programy ArcGIS Pro a Visual Studio Code.

#### 3.1 Výpočet dopravní efektivity v přeshraničních regionech

V Evropské unii se nachází 38 vnitřních pevninských přeshraničních regionů. Z geografických důvodů bývají tyto regiony často upozaděny kvůli tomu, že většina států EU se zaměřila na rozvoj uvnitř center států a do okrajových oblastí se nedostávaly investice pro rozvoj infrastruktury. To vedlo k přesunu obyvatel do centrálních oblastí, což způsobilo další úbytek ekonomických prostředků v periferiích a významnost těchto oblastí dále klesala. Dalšími problémy přeshraničních oblastí jsou historické, kulturní a jazykové bariéry, které omezují další spolupráci mezi státy a přilehlými regiony. Dva hlavní trendy – vnitřní a přeshraniční izolovanost mají za důsledek, že velká část EU má omezený přístup k příležitostem. Přeshraniční regiony hrají zásadní roli v posilování provázanosti napříč členskými státy EU. Potvrzuje to různorodost v oblasti dopravní infrastruktury. Lepší propojení těchto oblastí by mohlo významně přispět k rozvoji lokálnímu nebo regionálnímu (Christodoulou et al., 2019).

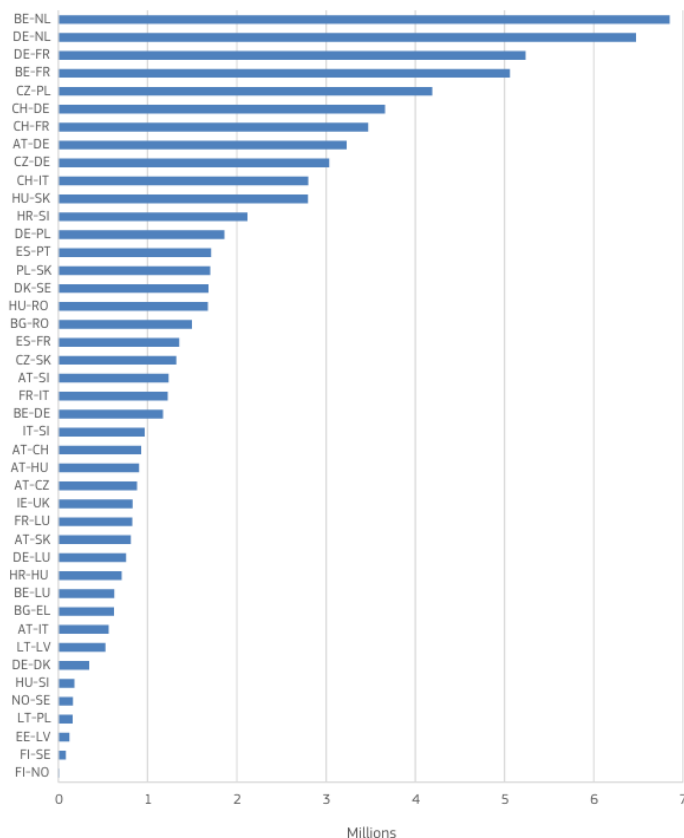
##### 3.1.1 Definice přeshraničního regionu

Přeshraniční regiony jsou definovány **dvěma způsoby**. V rámci první definice, jsou to regiony vymezené podle NUTS 3 (Nomenklatura územních statistických jednotek) regionů, které se využívají pro statické analýzy a porovnávání regionů uvnitř EU (Obr. 2). Celá problematika NUTS regionů je součástí metodiky od Eurostatu a rozlišuje různé úrovně územních jednotek. NUTS 1 – hlavní socio – ekonomické regiony, NUTS 2 – základní regiony pro regionální politiku, NUTS 3 – malé regiony pro specifické analýzy. Pro přeshraniční oblasti se používají územní jednotky NUTS 3.



Obr. 2 Přeshraniční regiony NUTS 3 v EU (ESPON, 2021).

**Druhá definice přeshraničního regionu je** oblastí ležící do 25 km od státních hranic. V těchto regionech žije 13 % obyvatel EU, Norska a Švýcarska. Počet obyvatel v těchto oblastech je znázorněn na Obr. 3. Nejvíce obyvatelstva se nachází podél hranice Belgie a Nizozemska, kde žije 6,8 milionu obyvatel. Dalším významným regionem je Německo – nizozemská hranice. Díky jazykové a kulturní blízkosti nabízí velké možnosti pro přeshraniční spolupráci.



Obr. 3 Počet obyvatel v přeshraničních regionech (Christodoulou et al., 2019).

### 3.1.2 Network efficiency ratio - $NER_i$

Indikátory efektivity sítě byly původně navrženy ve studii od Gutiérrez et al. (1998) jako rozšíření tzv. route factor, který se využívá k měření zakřivených úseků. Hlavní myšlenkou bylo omezit závislost na geografické poloze, tedy eliminovat vliv geografické polohy a zároveň lépe vyhodnotit potřeby či potenciál dopravní infrastruktury v daném regionu. V této diplomové práci se používá indikátor  $NER_i$  (Network Efficiency Ratio), který je inverzní hodnotou indikátoru  $NE_i$  (Network Efficiency).

- $NE_i$  je definována jako:

$$NE_i = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{t_{ij}}{t_j} P_j}{\sum_{j=1}^n P_j} \quad (4)$$

kde:

- $t_{ij}$  – skutečná doba jízdy mezi místy  $i$  a  $j$
- $t_{ij}^0$  – teoretická doba cesty vzdušnou čarou při 120 km/h
- $P_j$  – počet obyvatel v cílovém místě  $j$
- $n$  – počet cílových míst ve výpočtu

- **NER<sub>i</sub>** je její převrácená hodnota:

$$NER_i = \frac{1}{NE_i} \quad (5)$$

Protože  $t_{ij}^0$  představuje ideální čas, hodnota **NE<sub>i</sub>** se blíží 1 s rostoucí dostupností a klesá s jejím zhoršováním. Inverzní ukazatel **NER<sub>i</sub>** (NER) nabývá hodnot mezi 0 a 1 – hodnoty blízké se 1 indikují vysokou efektivitu sítě, zatímco hodnoty blízké se 0 svědčí o nízké efektivitě.

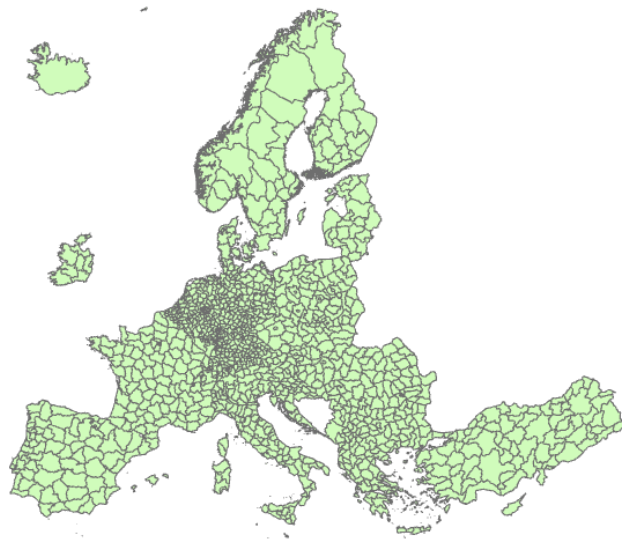
V této diplomové práci byl přístup od Christodoulou et al., 2019 upraven. Místo populačního gridu 1×1 km jsou jako výchozí i cílové body použita přímo urbánní sídla s více než 5 000 obyvateli nacházející se v pásmu do 25 km od hranice, přičemž jsou zohledněna všechna taková sídla v tomto pásmu, nikoliv pouze pět nejlidnatějších. Na rozdíl od původní studie, která používala okruh 75 km pro výběr cílových sídel, jsou v této práci jako cílová místa brána pouze sídla ve stejném přeshraničním pásmu 25 km na druhé straně hranice. Tento přístup vychází z předpokladu, že hlavními zdroji přeshraničních dopravních interakcí jsou urbánní centra koncentrující ekonomické aktivity a služby. Výhodou je výrazně nižší výpočetní náročnost a jednodušší interpretace výsledků. Omezením oproti gridovému přístupu je skutečnost, že výsledky nepodchytí dostupnost pro obyvatele žijící mimo tato sídla, tedy zejména obyvatele menších obcí a venkovských oblastí v přeshraničním regionu. Práce se soustředí pouze na mezinárodní neboli přeshraniční efektivitu sítě.

## 3.2 Datové zdroje

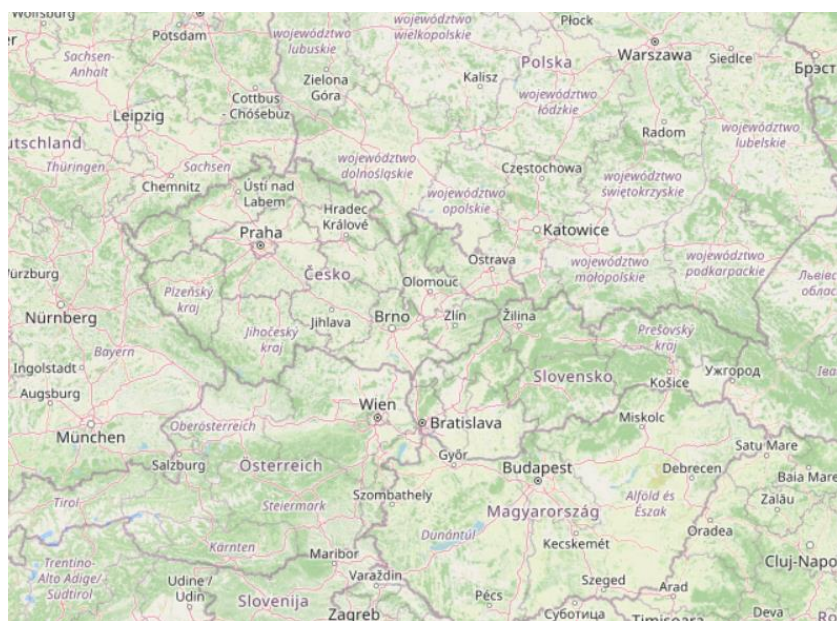
Databáze **OpenStreetMap (OSM)** byla zvolena pro diplomovou práci jakožto hlavním zdrojem prostorových dat. Je spravována a upravována komunitou dobrovolníků, organizací a institucí, kteří přidávají a aktualizují data po celém světě. OSM tvoří otevřená data, to znamená, že mohou být užívány, upravovány nebo sdíleny pro libovolný účel, pokud je uvedeno autorství OpenStreetMap a jeho komunity. Hlavní výhodou je aktuálnost databáze, vysoká úroveň detailu a otevřená licence, která umožňuje využití dat pro vědecké účely. Nevýhodou je neúplnost a regionální variabilita kvality dat v méně obydlených oblastech. Například lépe je zmapovaná západní část Evropy než ta východní a jižní. Data OSM jsou poskytována standartně v souřadnicovém systému WGS 84 (EPSG:4326). Co se týče konkrétních vrstev a prvků, tak byla použita liniová vrstva silniční sítě a bodová vrstva sídel.

Administrativní jednotky **NUTS 3** z databáze **GISCO** z roku 2024 (Geographic Information System of the Commission, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco/geodata/statistical-units/territorial-units-statistics>) od Eurostatu byly použity k vymezení analyzovaných přeshraničních regionů.

Geografická databáze GISCO poskytuje prostorová data pro statistické a analytické účely v rámci Evropské unie. Klasifikace NUTS představuje hierarchický systém členění administrativních územích. Úroveň NUTS 3 odpovídá nejmenším jednotkám, které jsou vhodné pro tuto diplomovou práci. V případě České republiky odpovídá tato úroveň krajům. Data jsou poskytována ve třech souřadnicových systémech (EPSG:4326, EPSG:3035, EPSG:3857) a v pěti měřítkách od jednoho milionu k šedesáti milionům ku jedné. V rámci výběru formátu Eurostat nabízí celkem šest – Geopackage, SHP, TopoJSON, GeoJSON, PBF, SVG. Nomenklatura územních statistických jednotek se aktualizuje každé tři roky. Nejaktuálnější verze je z roku 2024 a ta byla použita pro zpracování. Pro diplomovou práci jsou použita data ve formátu Geopackage v měřítku 1 : 1 000 000 a v souřadnicovém systému WGS84 (EPSG:4326).



Obr. 4 NUTS 3 regiony v EU.



Obr. 5 Výřez z OpenStreetMap.

## **3.3 Použité programy**

### **3.3.1 ArcGIS Pro**

Pro zpracování a analýzu prostorových dat byl zvolen ArcGIS Pro vyvinutý společností Esri. Tento software sloužil k přípravě vstupních dat, jejich prostorovému omezení na zájmové území a k realizaci síťových analýz. V prostředí ArcGIS Pro (verze 3.6) byl vytvořen a spravován síťový dataset na základě dat silniční infrastruktury, který byl následně využit pro výpočet dopravní dostupnosti a další prostorové analýzy. Také v něm probíhala automatizace procesů formou skriptů v uživatelském toolboxu, který tvoří velkou část této diplomové práce. V rámci analýzy byly rovněž vytvořeny kartografické vizualizace.

### **3.3.2 Python a Visual Studio Code**

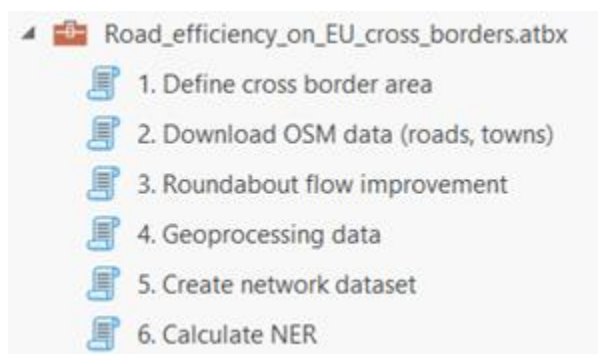
Visual Studio Code je editor programového kódu od společnosti Microsoft, který je dostupný bezplatně. Umožňuje psaní, ladění a správu zdrojového kódu v různých jazycích. V této práci byl využit k vytváření skriptů v jazyce Python. Skripty byly následně implementovány do ArcGIS Pro jako součást nově vytvořeného uživatelského toolboxu *Road efficiency on EU cross borders.atbx*.

### **3.3.3 Microsoft Excel**

Tabulkový procesor, který je součástí balíčku Microsoft Office 365 se používá pro tuto diplomovou práci k zapsání cestovních časů mezi dvojicemi sídel, filtrování přeshraničních dvojic a zápisu výsledků efektivity silniční sítě v přeshraničních regionech. Využívá se také pro tvorbu tabulek a vizualizace výsledků.

## 4 TOOLBOX ROAD EFFICIENCY ON EU CROSS BORDER REGIONS

Pro analýzu dopravní dostupnosti v přeshraničních regionech bylo vytvořeno 6 skriptů, které jsou součástí toolboxu **Road Efficiency on EU cross borders** pro přeshraniční data v Evropě. V následující kapitole 4 jsou detailně popsány jednotlivé skripty pro výpočet přeshraniční dopravní dostupnosti. Skripty jsou napsány kompletně v anglickém jazyce a je pro ně vytvořena nápověda.



Obr. 6 Náhled do toolboxu Road Efficiency on EU cross borders.

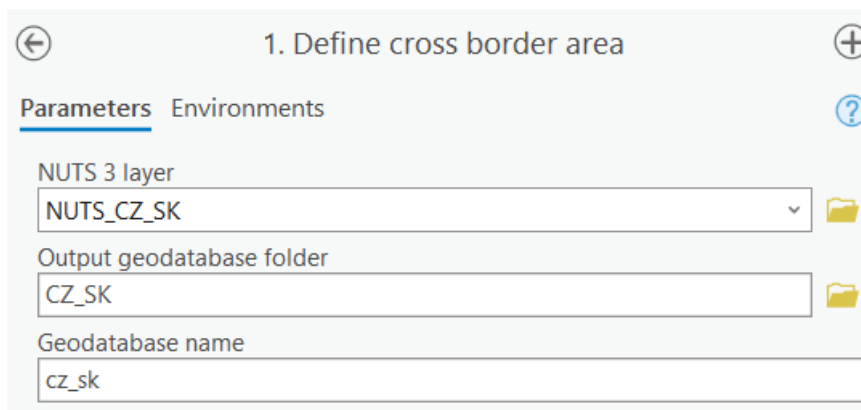
### 4.1 Vymezení přeshraniční oblasti na základě státní hranice

První skript s názvem **Define cross border area** slouží k vytvoření přeshraničních oblastí definovaných vzdáleností 25 km od státní hranice. Výsledkem zpracování je obalová zóna oblasti, pro kterou se v dalším skriptu stahuje silniční síť pro následnou analýzu. Jednotlivé funkce skriptů jsou v následujícím textu ilustrovány na příkladu přeshraničního regionu mezi Česko – Slovensko.



Obr. 7 NUTS 3 na hranicích CZ – SK.

Vstupním parametrem je polygonová vrstva administrativních jednotek NUTS 3 (ze služby Eurostatu GISCO) obsahující atribut CNTR\_CODE, který identifikuje stát, ke kterému daný polygon náleží. Skript očekává, že uživatel má lokálně nachystané příslušné NUTS 3 jednotky přiléhající ke společné hranici dvou zvolených států. Druhým vstupním parametrem je geodatabáze, do které mají být výsledky uloženy. Skript nejprve získá informace o vstupní vrstvě, včetně například souřadnicového systému, aby bylo zajištěno, že výsledná výstupní data budou ve stejném souřadnicovém systému.



Obr. 8 Vstupní parametry skriptu Define cross border area.

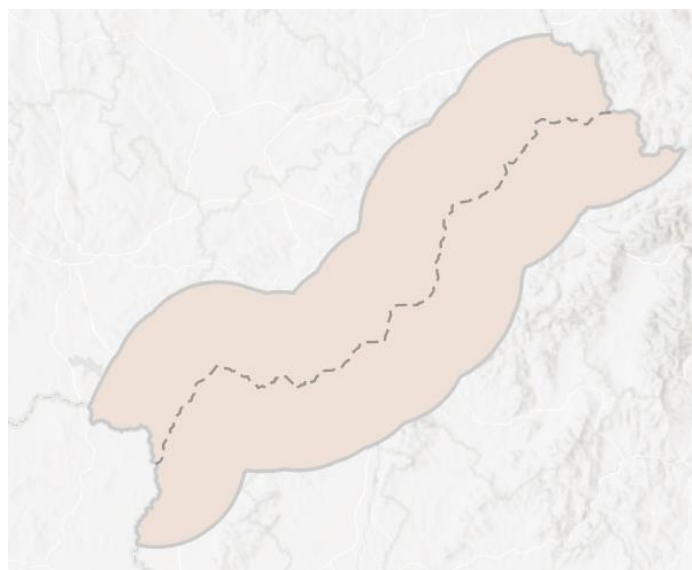
V první fázi jsou polygony převedeny na liniové prvky pomocí funkce *Polygon to Line* s identifikací sousedních polygonů, které se vzájemně dotýkají. Tenhle krok je zásadní, protože dočasně vytvoří atributy LEFT\_FID a RIGHT\_FID, které slouží k identifikaci soudních polygonů na pravé a levé straně linie. Díky těmto atributům je možné určit úseky představující hranice mezi různými státy.

Následně skript vytvoří výběr na základě identifikátoru polygonů (atribut OID) a jejich státní příslušnosti (atribut CNTR\_CODE). Pomocí výběru jsou z liniové vrstvy vybrány pouze úseky, u kterých náleží pravá a levá část hranice různým státům. Vybrané liniové úseky jsou uloženy do nové liniové vrstvy představující výslednou hranici mezi sousedními státy.

Hraniční úseky jsou poté sloučeny nástrojem *Dissolve* do jedné souvislé geometrie. Nad vzniklou linií hranice dvou sousedních států je vytvořena obalová zóna o šířce 25 km. Zóna je vytvořena na obě strany hranice a jednotlivé části jsou sloučeny do jednoho polygonu. Aby nedocházelo k přesahu bufferu mimo rozsah analyzovaného území (např. do sousedního třetího státu), je na konec provedeno ořezání podle vstupní vrstvy polygonů NUTS 3. Výsledkem je polygonová vrstva přeshraniční oblasti, která odpovídá definované vzdálenosti od společné státní hranice a zároveň nepřesahuje hranice více než dvou států.

Výsledkem zpracování prvního skriptu jsou dvě výstupní vrstvy – liniová vrstva státní hranice a polygonová vrstva přeshraniční oblasti v šíři 25 km od hranice. Vrstva přeshraniční oblasti tvoří základ pro další analýzy dopravní infrastruktury v přeshraničních regionech. Velkým úskalím bylo vyřešit problém, který vzniká při doteku více než dvou státních hranic v jednom místě. To se podařilo na základě atributu CNTR\_CODE, který vstupní data musí obsahovat. Tento skript může být aplikován například pouze na dva polygony NUTS 3 (po jednom z každého státu), které mají společnou

hranici, nebo, jak je na příkladu uvedeno, i na celé státní hranice mezi Českou a Slovenskou republikou.

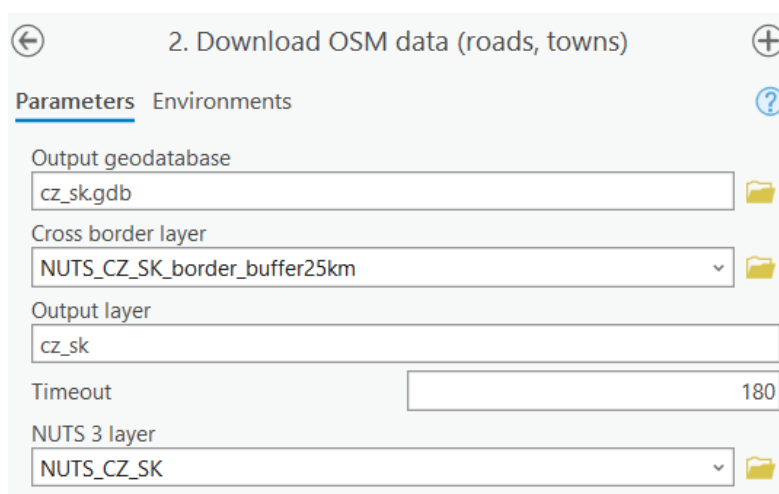


Obr. 9 Výsledek prvního skriptu – přeshraniční region CZ – SK.

## 4.2 Stažení dat z OpenStreetMap

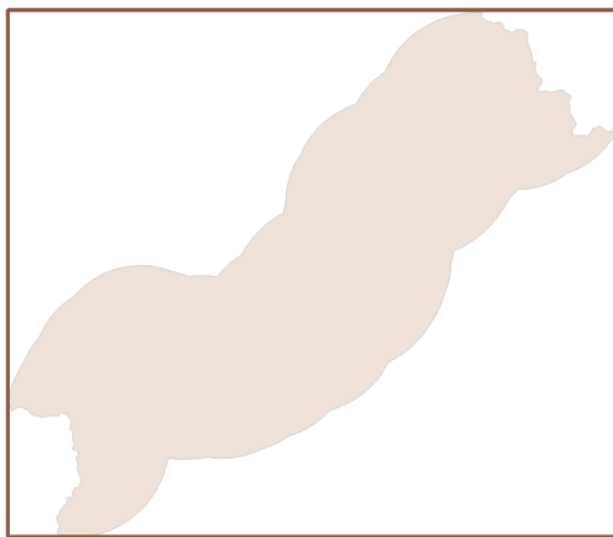
Pro účely diplomové práce byla zvolena silniční síť z databáze **OpenStreetMap** (OSM), která pokrývá celé území Evropy, je volně dostupná a pravidelně aktualizovaná. Nevýhodou těchto dat je jejich proměnlivá topologická kvalita, kdy některé liniové prvky nejsou správně topologicky propojeny, což může způsobovat problémy při tvorbě síťového modelu a následných síťových analýzách. Z tohoto důvodu bylo nutné data nejen stáhnout, ale také připravit do vhodné struktury pro další zpracování v prostředí ArcGIS Pro.

Pro automatizaci tohoto procesu byl vytvořen Python skript s názvem **Download OSM data**, který stahuje silniční síť a sídla z OpenStreetMap na základě polygonu přeshraniční oblasti vytvořené v předchozím kroku. Skript využívá rozhraní **Overpass API**, které umožňuje selektivní přístup k datům OpenStreetMap pomocí definovaného prostorového dotazu, a zároveň zajišťuje jejich transformaci do formátu geodatabáze ArcGIS Pro.



Obr. 10 Vstupní parametry skriptu Download OSM data.

Vstupními parametry skriptu jsou výstupní geodatabáze, polygonová vrstva zájmového území – přeshraniční region (získaná prvním skriptem), název výstupní vrstvy, maximální časový limit pro provedení dotazu na Overpass API a vrstva NUTS 3, která předává atribut státní příslušnosti sídlům. V prvním kroku skript získá geografický rozsah polygonu ve formě ohraničujícího obdélníku (bounding box), který je definován minimálními a maximálními souřadnicemi vstupní vrstvy přeshraničního regionu (druhý parametr). Použití bounding boxu je nezbytné, protože Overpass API nepodporuje přímé dotazy pomocí polygonové geometrie v prostředí ArcGIS a umožňuje prostorové dotazy pouze pomocí obdélníkového rozsahu. Na Obr. 11 je vidět příklad bounding boxu pro přeshraniční region CZ – SK. U rozsáhlejších území se stahuje větší množství dat a může docházet k neúspěchu nebo k vypršení časového limitu stahování.



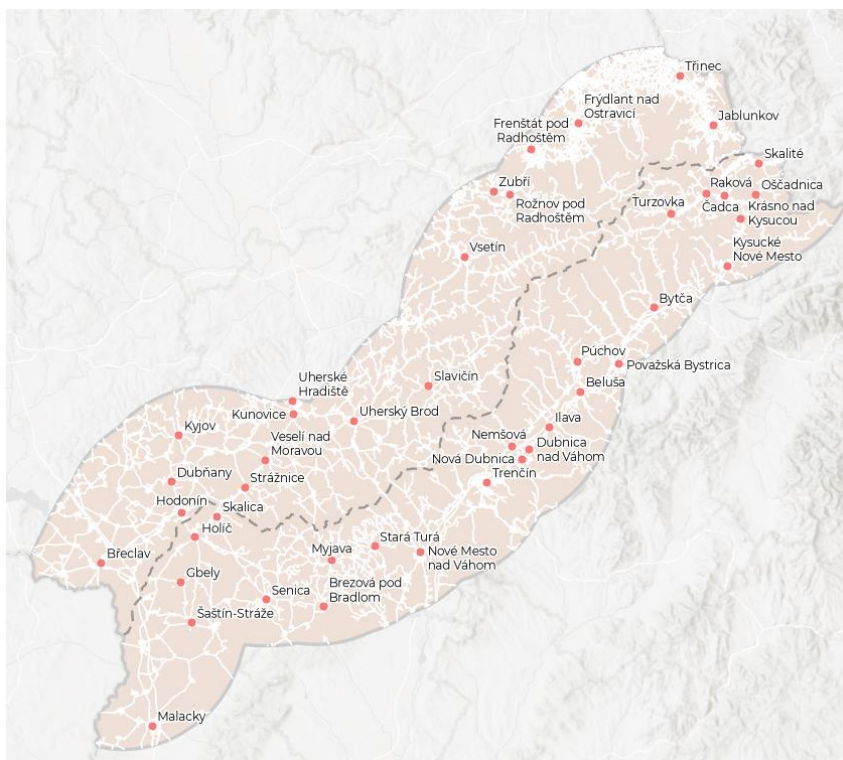
Obr. 11 Příklad bounding boxu na stažení dat v přeshraničním regionu CZ – SK.

Na základě definovaného bounding boxu skript odešle dotaz na Overpass API, pomocí kterého jsou stažena prostorová data obsahující **liniové prvky silniční** sítě identifikované atributem *highway* a **prvky sídel** identifikované atributem *place*, včetně informací o počtu obyvatel. Podle hodnot atributu *highway* u silnic nejsou staženy nevhodné kategorie silnic, které jsou např. pěší trasy, nezpevněné zemědělské komunikace. Tyto kategorie nejsou vhodné pro analýzu efektivity silniční sítě. Zůstaly tedy pouze kategorie *motorway*, *motorway\_link*, *trunk*, *trunk\_link*, *primary*, *primary\_link*, *secondary*, *secondary\_link*, *tertiary*, *tertiary\_link*, *living\_street* a *residential*. Stažená data jsou ve formátu JSON a obsahují seznam uzlů a liniových prvků, které je potřeba převést do odpovídající geometrie.

Po stáhnutí všech dat jsou vytvořeny dvě nové vrstvy ve výstupní databázi – **liniová vrstva silniční sítě** a **bodová vrstva sídel**. Název vrstvy silnic zadává uživatel přímo v toolboxu (např. *cesko\_slovensko*) a vrstvě sídel je přidána přípona *\_places* (*cesko\_slovensko\_places*). Obě vrstvy jsou ve stejném souřadnicovém systému WGS84 (EPSG:4326), který je stejný jako referenční systém dat z OpenStreetMap. Pro vrstvu **silnic** jsou staženy pouze dva atributy – identifikátor prvku (*osm\_id*) a typ komunikace (*highway*). Pro **sídla** byla stažena čtyři atributová pole – *identifikátor*, *typ sídla*, *název* a *počet obyvatel*. Zbytek atributů, které nabízí OSM, není brán v potaz z důvodu velké datové zátěže a nepotřebnosti k dalším analýzám. Vybrána a vyfiltrována jsou podle metodiky pro

analýzu pouze ta, která obsahují více než 5 000 obyvatel. Přidán byl také atribut státní příslušnosti na základě prostorové operace Spatial Join ke staženým sídlům.

Poslední důležitou operací je ořezání silniční sítě a sídel podle zadané přeshraniční oblasti v šíři 25 km, protože jsou data stažena podle ohraničujícího obdélníku. Pokud vstupní polygon není ve stejném souřadnicovém systému, tak skript provede transformaci do souřadnicového systému WGS84, aby byla zajištěna konzistence a všechna data byla ve stejném souřadnicovém systému. Poslední částí skriptu je mazání dočasných vrstev a uložení finálních vrstev do výstupní geodatabáze. Celý proces stažení a filtrování dat je plně automatizován pomocí externí knihovny *requests* pro komunikaci s Overpass API.



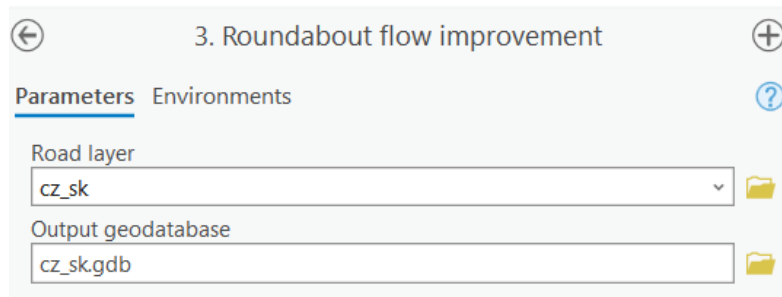
Obr. 12 Výsledek druhého skriptu – stažené silnice a sídla z OSM.

### 4.3 Průjezdnost kruhových objezdů

V silniční síti z OSM byly zjištěny topologické chyby v neprůjezdnosti kruhových objezdů, které řeší skript **Roundabout flow improvement**. Problém spočívá v tom, že kruhové objezdy jsou v datech uloženy jako uzavřené linie, které se kříží s napojujícími komunikacemi, ale nejsou s nimi topologicky spojeny. Chybí skutečné uzly v průsečících kruhových objezdů se silnicemi. Bylo podstatné vyřešit tento problém, protože by nemohly být prováděny další kroky výpočtu.

Vstupními parametry jsou vrstva sídel a geodatabáze pro uložení nově vzniklé vrstvy silniční sítě. V počátku skript načtl vstupní vrstvu silnic a vytvořil z ní dočasnou vrstvu. Z dat OSM vybral pomocí dotazu všechny prvky z atributu *junction*, které měly hodnoty *roundabout* nebo *circuit*. Ke kruhovým objezdům byly vybrány všechny silnice, které se s nimi protínají ve vzdálenosti 0,001 metrů. Vzdálenost byla stanovena testováním nástrojem *Planarize*, který provádí rozdělení linie v průsečících, ale pracuje v přímé editaci vrstvy, a proto se nehodí pro automatické zpracování. Místo nástroje *Planarize* zde skript využil nástroj **Feature To Line**, který je vhodnější pro automatizaci, protože nepracuje

v editačním režimu a lépe se implementuje do skriptů. *Feature To Line* rozdělil všechny vybrané silnice v místě jejich průsečíků s kruhovými objezdy a vytvořil nové topologické uzly. Vzniklo mnoho nových liniových prvků, než bylo v původní vstupní vrstvě. Atributy jsou přenášeny prostřednictvím operace Spatial Join (připojení na základě umístění), kde každý nově vzniklý úsek získá atributy *osm\_id*, *highway*, *junction* z původní vrstvy.



Obr. 13 Vstupní parametry skriptu Roundabout flow improvement.

Současně byly vybrány všechny silnice, které se kruhových objezdů nedotýkají. Proběhl jejich export a následně sloučení s upravenými prvky nástrojem *Append* do výsledné výstupní vrstvy s příponou *\_edited*. Na konci skriptu byly odstraněny všechny dočasné datasety, s nimiž se v tomto skriptu hojně pracovalo. Po tomto kroku byla silniční síť topologicky v pořádku a mohla být použita k dalším krokům ve zpracování.

```
def feature_to_line_selected(layer):
    """
    Exports the selected features, converts them to planarized lines using Feature To Line and transfers attributes through Spatial Join.
    Returns paths to all three temporary datasets.
    """
    arcpy.AddMessage("Exporting selected features")
    temp_input = os.path.join(workspace, "temp_input_all")
    arcpy.management.CopyFeatures(layer, temp_input)

    arcpy.AddMessage("Feature To Line")
    temp_output = os.path.join(workspace, "temp_output_all")
    arcpy.management.FeatureToLine(temp_input, temp_output, planarize_tolerance, "ATTRIBUTES")

    arcpy.AddMessage("Spatial Join - transferring attributes")
    temp_joined = os.path.join(workspace, "temp_joined_all")
    arcpy.analysis.SpatialJoin(
        target_features=temp_output,
        join_features=temp_input,
        out_feature_class=temp_joined,
        join_operation="JOIN_ONE_TO_ONE",
        join_type="KEEP_ALL",
        match_option="HAVE_THEIR_CENTER_IN",
        search_radius=search_distance
    )
    return temp_input, temp_output, temp_joined
```

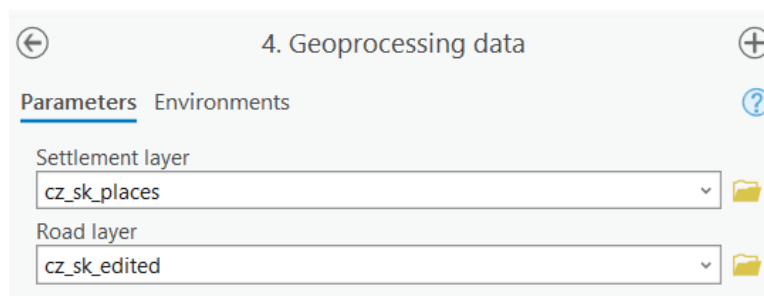
Obr. 14 Náhled do skriptu průjezdnosti kruhových objezdů.

## 4.4 Geoprocessing dat pro síťovou analýzu

K výpočtu efektivity silniční sítě bylo potřeba přidat do dat informaci o maximální rychlosti a vypočítat podle ní cestovní časy. Dalším problémem byla skutečnost, že bodová vrstva sídel neleží přímo na silnicích. Z tohoto důvodu byl vytvořen skript s názvem **Geoprocessing data**, který zajišťuje doplnění potřebných atributů silniční sítě a připojení sídel na silniční síť.

Vstupními parametry jsou pouze vrstva sídel a vrstva silnic stažených druhým skriptem z OSM a uložených v geodatabázi. V počátku pomocí funkce doplnil skript do silniční sítě nový atribut *speed\_kmh*, který reprezentuje cestovní rychlost v kilometrech za hodinu.

Hodnota byla přiřazena na základě atributu o typu silnice (highway), který je klasifikován už v databázi OSM. Pro jednotlivé typy silnic byly definovány rychlostní limity – pro dálnice 130 km/h, pro silnice první třídy 90 km/h, pro silnice druhé třídy 90 km/h nebo pro místní komunikace 50 km/h. Z důvodu přiblížení reálným dopravním podmínkám byly všechny rychlosti následně ve skriptu násobeny koeficientem 0,9, který zohledňuje faktory jako jsou např. dopravní omezení, křižovatky nebo hustý provoz. Nové rychlosti jsou tedy nižší než maximální rychlostní limity.



Obr. 15 Vstupní parametry skriptu Geoprocessing data.

V dalším kroku skriptu se vytvořila další atributová pole *length\_km* a *TravelTime* sloužící pro uložení délky jednotlivých úseků silniční sítě a odpovídajícího cestovního času. Na základě vypočítané délky a přiřazené rychlosti byl vypočten cestovní čas pro každý úsek silniční sítě podle vztahu  $TravelTime = (length\_km / speed\_kmh) * 60$ , kde výsledná hodnota představuje cestovní čas v minutách. Tento atribut je klíčový při síťové analýze dopravní dostupnosti, protože umožňuje analyzovat dostupnost podle času místo pouhé vzdálenosti.

Pro bodovou vrstvu sídel se vyřešil problém prostorového připojení na síť pomocí operace snapování. Skript využívá hierarchický přístup, ve kterém jsou sídla postupně připojována k nejbližším silnicím podle jejich dopravního významu. Primárně jsou vyhledávány silnice vyšších tříd a teprve následně silnice nižších tříd. Pro každé sídlo je vyhledán pomocí analýzy *Near* nejbližší silniční úsek v definovaném poloměru 250 metrů. Zároveň byla nastavena maximální povolená vzdálenost 500 metrů, aby nedošlo k většímu posunu bodu z centra sídla. Pokud je nalezena vhodná silnice, tak dochází k přesunu bodu přímo na silnici a je vhodné jako vstupní bod pro síťovou analýzu.

Výsledkem skriptu **Geoprocessing data** je upravená silniční síť obsahující atributy rychlosti, délky a cestovního času a upravená vrstva sídel, která leží topologicky správně na silniční síti. Takto připravená data představují základ pro vytvoření silničního datasetu a provedení analýzy efektivity silniční sítě v přeshraničních oblastech.

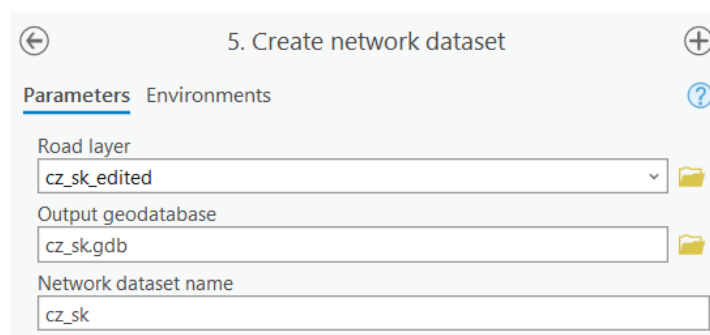
OBJECTID *	Shape *	osm_id	highway	Shape_Length	speed_kmh	TravelTime	length_km
1	Polyline	4083864	motorway	0,035467	117	1,663206	3,243251
2	Polyline	4210837	motorway	0,009144	117	0,521333	1,016599
3	Polyline	4210840	motorway	0,001098	117	0,052537	0,102448
4	Polyline	4213680	tertiary	0,000341	45	0,034313	0,025735
5	Polyline	4214035	residential	0,001034	45	0,103906	0,07793
6	Polyline	4214123	residential	0,010734	45	1,051484	0,788613
7	Polyline	4214124	residential	0,000898	45	0,130653	0,09799
8	Polyline	4214125	residential	0,002624	45	0,375581	0,281686

Obr. 16 Výsledek čtvrtého skriptu – napočítané rychlostní limity a cestovní čas u linií silnic.

## 4.5 Vytvoření síťového modelu

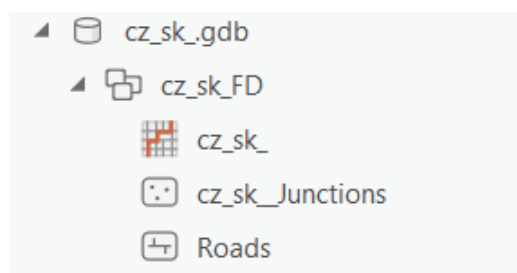
Po stažení a přípravě dat silnic a sidel bylo potřeba vytvořit Python skript pro vytvoření a naplnění síťového datasetu daty. Pro tento účel byl vytvořen skript s názvem **Create network dataset**, který automatizuje vytvoření síťového datasetu a naplnění daty. Tento krok byl nezbytný, aby uživatel nemusel manuálně vytvářet nový síťový dataset a kopírovat do něj prvky.

Vstupními parametry skriptu jsou *liniová vrstva silniční sítě*, *geodatabáze pro vytvoření datasetu* a *název výsledného síťového datasetu*. K tomu, aby mohla být využita síťová analýza, se nejprve testuje přítomnost rozšíření *Network Analyst* pro ArcGIS Pro na straně uživatele. Když rozšíření není dostupné, skript končí chybovou hláškou. Po kontrole skript pokračuje ověřením podmínky vstupní vrstvy, která musí být ve formátu Polyline, což je základní požadavek pro vytvoření síťového datasetu. Kontroluje se dále i souřadnicový systém, který musí být stále konzistentní ve všech analyzovaných datových sadách (EPSG: 4326). Pokud je vrstva silnic v jiném systému, tak je transformována do WGS84.



Obr. 17 Vstupní parametry skriptu Create network dataset.

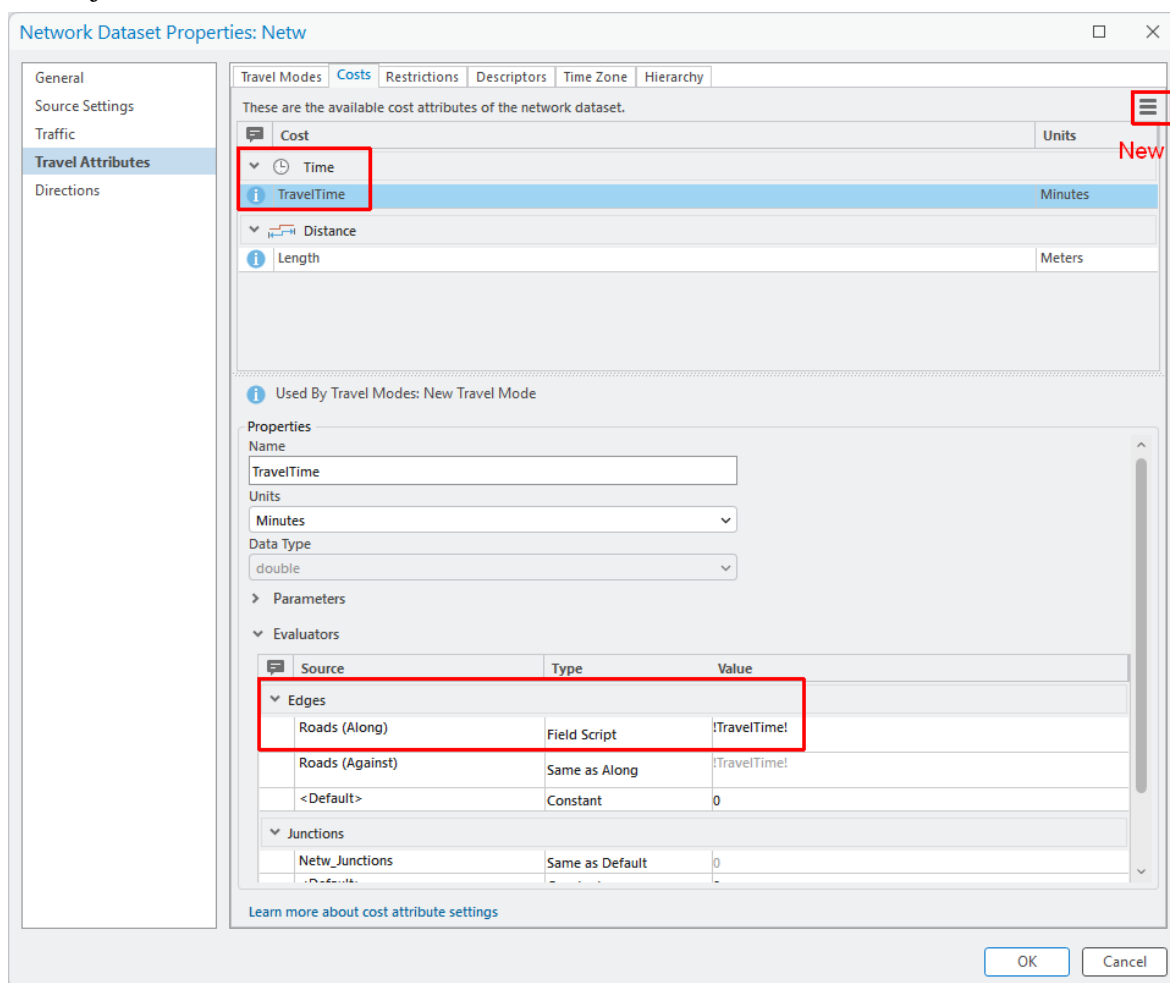
Síťový dataset je v prostředí ArcGIS Pro uložen uvnitř datasetu prvků (Feature Dataset), který je součástí geodatabáze. Z tohoto důvodu uživatel zadá parametrem geodatabázi, do které má být nový Feature Dataset vytvořen. Před jeho vytvořením probíhá kontrola, jestli již existuje v dané geodatabázi dataset požadovaného jména. Každá geodatabáze může obsahovat pouze jeden dataset unikátního jména. Pokud se v zadané databázi už vyskytuje Feature Dataset, tak skript končí chybovou hláškou a uživatel musí zadat jinou geodatabázi. V dalším kroku je do Feature Datasetu nakopírována vrstva silnic, která tvoří zdrojová data pro síťový dataset. Vytvořením síťového datasetu se spustí proces sestavení sítě (Build Network), který vytvoří topologické vazby mezi prvky a připraví síťový dataset pro analýzy silniční sítě.



Obr. 18 Výsledek pátého skriptu – vytvoření síťového datasetu se silniční sítí.

Posledním krokem je nastavení cestovního času v síťovém datasetu. Tento krok je nutné provést ručně v nastavení sítě, protože ArcGIS potřebuje vědět, který údaj má používat pro výpočet doby jízdy mezi jednotlivými místy.

Zjednodušeně řečeno, silnice v databázi již obsahují informaci o tom, jak dlouho trvá projet každý jejich úsek (atribut *TravelTime*). Síťový dataset však tuto informaci automaticky nepoužívá, dokud jej uživatel výslovně neoznačí jako vstupní údaj pro výpočty. Uživatel proto otevře vlastnosti síťového datasetu a v části určené pro cestovní náklady (*Travel Attributes – Costs*) přidá nový atribut, který představuje cestovní čas. Následně se nastaví, aby tento atribut využíval hodnoty z pole *TravelTime*, konkrétně zvolí zdroj typu hran možnost *Field Script* a vyplní tam název atributu (!TravelTime!) a potvrdí tuto možnost a uloží. Posledním krokem je znovu postavit aktualizovanou síť pomocí geoprocessingového nástroje *Build Network*.



Obr. 19 Manuální přidání cestovních časů do síťového datasetu.

Krok nastavení cestovních nákladů se bohužel nepodařilo vyřešit skriptem a zůstal tak na částečné manuální práci uživatele. Po tomhle nastavení sítě už jsou data připraveny k pokročilým síťovým analýzám ve formě dopravní dostupnosti v přeshraničních regionech.

## 4.6 Výpočet NER

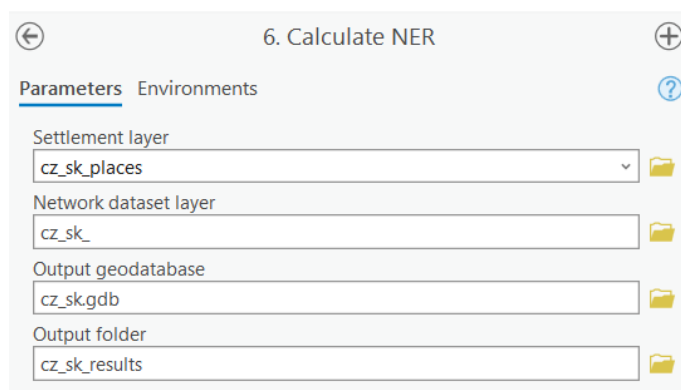
Poslední skript z toolboxu s názvem **Calculate NER** se věnuje samotnému výpočtu indikátoru NER, který slouží k hodnocení efektivity silniční sítě v přeshraničních regionech, konkrétně v sídlech přes 5 000 obyvatel. Vzorec pro indikátor je popsán

v kapitole věnující se metodice (kapitola 3). Do výpočtu vstupují celkem 4 proměnné – skutečná doba jízdy mezi dvěma místy, teoretická doba cesty vzdušnou čarou při 120 km/h, počet obyvatel v cílovém místě, počet cílových míst ve výpočtu.

První proměnná, skutečná doba jízdy mezi dvěma místy, se vypočítala pomocí síťové analýzy *OD Cost Matrix*, která je založena na výpočtu nákladů, jako je čas nebo vzdálenost, mezi množinou výchozích bodů (Origins) a cílových bodů (Destinations) na základě definované dopravní sítě. Výsledkem je matice vzájemných nákladů mezi jednotlivými dvojicemi bodů, umožňující hodnotit prostorové vztahy mezi lokalitami. V rámci výpočtu v této diplomové práci se vypočítá **skutečný čas dojezdu** mezi jednotlivými dvojicemi bodů v přeshraničních regionech a poté slouží k porovnání s teoretickými časy dojezdu.

Druhou proměnnou ve vzorci je **teoretická doba cesty** vzdušnou čarou při 120 km/h. Ta je určena pomocí jednoduché funkce ve skriptu, která spočítá vzdálenost mezi dvojicemi sídel vzdušnou čarou (Euklidovská vzdálenost), vydělí ji stanovenou konstantou 120 a nakonec se teoretická doba přečte na minuty.

Třetí proměnná je **počet obyvatel** v cílovém místě, která je stažená z OSM dat ve druhém skriptu v tomto toolboxu. Poslední proměnou je **počet cílových míst ve výpočtu**, která je určena počtem sídel na jedné nebo druhé straně hranice.



Obr. 20 Vstupní parametry skriptu Calculate NER.

Vstupními parametry jsou *vrstva sídel*, *vrstva síťového datasetu*, *geodatabáze a adresář*, kde jsou ukládány výstupy ve formě tabulek. Skript začíná vytvořením vrstvy OD Cost Matrix využívající nástroj *MakeODCostMatrixLayer*, který vytvoří síťovou vrstvu sloužící k výpočtu minimálních cestovních nákladů mezi výchozími a cílovými body (mezi všemi sídly v přeshraničním regionu). Jako impedanční atribut je použit cestovní čas (atribut *TravelTime*), který byl vypočítán ve skriptu 4 Geoprocessing data a uložen do síťové vrstvy ve skriptu 5 Create network dataset. Výsledkem této operace je vrstva obsahující podvrstvy s výchozími a cílovými body. Poté co se přidaly lokality, tak následná funkce *add\_locations\_to\_od\_matrix* přidává jednotlivá sídla jako výchozí i cílové body analýzy. Následně je spuštěn samotný výpočet pomocí funkce *solve\_od\_matrix*, která využívá nástroj *Solve* z knihovny ArcPy. Tento nástroj provede síťovou analýzu, spočítá minimální cestovní čas mezi všemi dvojicemi sídel na základě dopravní sítě a vytvoří spojnice mezi sídly. Po provedení síťové analýzy je kontrolována úspěšnost výpočtu a při nižší úspěšnosti, která je zde stanovena 80 %, vyskočí varovná hláška. Funkcí *export\_actual\_times\_to\_excel* jsou načteny a vyexportovány výsledky síťové analýzy ve formě souboru Excelu, který obsahuje výchozí sídla, cílová sídla a jejich skutečný cestovní čas. Jsou exportovány všechny dvojice i na stejné straně hranice, filtrování pouze na přeshraniční probíhá až u teoretických časů.

K získání teoretických časů dojezdu bylo potřeba načíst souřadnice sídel pomocí funkce *get\_settlement\_coordinates* a pokud byly souřadnice uloženy v geografickém souřadnicovém systému, byly exportovány do metrického souřadnicového systému ETRS89 / LAEA Europe (EPSG: 3035), aby bylo možné provádět přesné výpočty vzdáleností. Šlo o převedení souřadnic z geografického do metrického systému. Na základě souřadnic v metrickém systému byl vypočten teoretický čas pomocí funkce *calculate\_theoretical\_times* mezi všemi dvojicemi sídel. Výpočet je založen na euklidovské vzdálenosti mezi sídly a předpokladem je konstantní rychlost 120 km/h. Výsledkem je tabulka s dvojicemi sídel teoretických časů, která vyjadřuje cestu po ideální síti mezi sídly bez omezení. Tabulka je poté vyexportována funkcí *export\_theoretical\_times* ve stejné formě jako skutečné časy – výchozí sídlo, cílové sídlo a teoretický čas v minutách. Počet obyvatel a příslušnost k státům jednotlivých sídel byla vyřešena funkcí *get\_population\_data*, která načte počet obyvatel a kód státu každého sídla.

Samotný výpočet indikátoru NER je realizován funkcí *calculate\_ner*, která kombinuje skutečné cestovní časy, teoretické cestovní časy a velikost populace jednotlivých sídel. Výpočet probíhá samostatně pro každé výchozí sídlo a jsou zohledněny pouze dvojice sídel nacházející se v různých státech. Nejprve se načtou dvě tabulky – první obsahuje teoretické časy ve formátu City1 – City2 – Theoretical, druhá obsahuje skutečné cestovní časy ve formátu City1 – City2 – Actual. Současně skript načte slovník s velikostí populace u sídel se státní příslušností, který byl vytvořen z vrstvy sídel. Indikátor je počítán iterativně pro každé výchozí sídlo *i*, kdy skript prochází všechna ostatní sídla *j*, která jsou brána jako potenciální cílové lokality. V této situaci jsou vyloučeny dvojice sídel ve stejném státě, aby bylo zajištěno, že výpočet zahrnuje pouze přeshraniční vztahy. Pro každou dvojici sídel se vyhledává odpovídající hodnotu teoretického času a skutečného cestovního času. Zároveň se načítá populační velikost cílového sídla. Pokud jsou tyto hodnoty nenulové, tak se vypočítá poměr skutečného a teoretického času. Hodnota, která se blíží číslu 1 znamená, že skutečný čas odpovídá ideálnímu stavu, zatímco vyšší hodnota značí nižší efektivitu dopravní infrastruktury. Poté je tento poměr násoben populační velikostí cílového sídla. Tohle se zopakuje pro každé cílové sídlo u daného výchozího, aby se potom mohl vydělit **čítatel** – poměr skutečného a teoretického času a **jmenovatel** – součet všech hodnot populace cílových sídel. Vznikne číselná hodnota, která vyjadřuje průměrnou relativní neefektivitu dopravního spojení z výchozího sídla do všech relevantních cílových sídel. Výsledný indikátor NER je vypočten jako převrácená hodnota tohoto poměru. Výsledky indikátoru jsou exportovány opět jako tabulka ve formě sloupců City – Country – Population – NER. Výsledný Excel NER\_results lze joinovat s vrstvou sídel přes atributy name a City a následně vizualizovat výsledky.

Příkladem bude československá hranice a slovenské sídlo Beluša, pro které byla počítána efektivita silniční sítě. Bylo nalezeno celkem 16 cílových českých sídel. V následující tabulce jsou znázorněny hodnoty teoretického, skutečného času, velikost populace a poměr mezi skutečným a teoretickým cestovním časem.

Tabulka 1 Výpočet efektivit silniční sítě pro slovenské sídlo Beluša.

<b>Cílové sídlo</b>	<b>Teoretický</b>	<b>Skutečný</b>	<b>Populace</b>	<b>Poměr</b>
Trinec	36.3	68.17	34 222	1,877
Uherský Brod	25.0	49.39	14 597	1,975
Kunovice	31.5	61.32	5 152	1,946

<b>Cílové sídlo</b>	<b>Teoretický</b>	<b>Skutečný</b>	<b>Populace</b>	<b>Poměr</b>
Zubří	23.9	56.31	5 365	2,356
Vsetín	19.5	38.77	28 785	1,988
Rožnov p. R.	22.9	53.73	17 845	2,346
Slavičín	16.6	32.89	5 473	1,981
Jablunkov	32.6	58.74	5 934	1,801
Frydlant n. O.	29.4	60.35	8 781	2,052
Frenštát p. R.	27.0	61.29	10 850	2,270
Břeclav	55.7	95.20	19 502	1,709
Veselí n. M.	35.3	64.64	10 410	1,831
Strážnice	38.2	71.21	5 983	1,864
Dubňany	45.8	84.96	6 661	1,855
Kyjov	44.2	80.54	11 774	1,822
Uherské Hradiště	31.5	61.33	21 737	1,946
Hodonín	45.6	79.41	27 361	1,741

Podle vzorce (4) jsou v čitateli spočteny všechny sumy poměru vynásobené populací cílových sídel a ve jmenovateli jsou sečteny všechny populace cílových sídel. Výsledné hodnoty se podělí a vyjde číslo, které vyjadřuje relativní neefektivitu dopravní sítě. Převrácením, respektive *hodnota efektivity dopravní sítě = 1/dopravní neefektivita*.

**Čítatel** – suma (poměr \* populace):

Tabulka 2 Výpočet čitatele ve vzorci efektivity silniční sítě.

<b>Poměr</b>	<b>×</b>	<b>Populace</b>	<b>=</b>	<b>Poměr × Populace</b>
1,877	×	34 222	=	64 234,7
1,975	×	14 597	=	28 829,1
1,946	×	5 152	=	10 025,8
2,356	×	5 365	=	12 639,9
1,988	×	28 785	=	57 224,6
2,346	×	17 845	=	42 042,8
1,981	×	5 473	=	10 842
1,801	×	5 934	=	10 687,1
2,052	×	8 781	=	18 018,6
2,270	×	10 850	=	24 629,5
1,709	×	19 502	=	33 328,9
1,831	×	10 410	=	19 060,7
1,864	×	5 983	=	11 152,3
1,855	×	6 661	=	12 356,1
1,822		11 774	=	21 452,2
1,946	×	21 737	=	42 300,2
1,741	×	27 361	=	47 635,5
<b>Suma</b>			<b>=</b>	<b>466 459,9</b>

**Jmenovatel** – suma populace:

Tabulka 3 Výpočet jmenovatele ve vzorci efektivity silniční sítě.

**Populace**

34 222  
14 597  
5 152  
5 365  
28 785  
17 845  
5 473  
5 934  
8 781  
10 850  
19 502  
10 410  
5 983  
6 661  
11 77  
21 737  
27 361

**Suma = 240 432**

$$\mathbf{NE}_i = 466\,459,9 / 240\,432 = 1,94$$

$$\mathbf{NER} = 1 / 1,94 = 0,515$$

NER = 0,515 znamená, že skutečný cestovní čas je přibližně 1,94 delší než teoretický ideální čas vzdušnou čarou při 120 km/h. Čím blíže je NER hodnotě 1, tím efektivnější je dopravní infrastruktura. Hodnota 0,515 značí průměrnou přeshraniční dopravní efektivitu z pohledu sídla Beluša.

## 5 PŘÍPADOVÉ STUDIE

Byly vybrány celkem čtyři případové studie v rámci Evropy demonstrujících nasazení toolboxu **Road Efficiency on EU cross borders** na výpočet efektivity silniční sítě. Jedná se o přeshraniční regiony **Česko – Slovensko, Belgie – Nizozemsko, Německo – Polsko** a **Francie – Itálie**. V této kapitole jsou jednotlivé studie detailně popsány v samostatných podkapitolách. Text obsahuje charakteristické znaky přeshraničních regionů, dopravní infrastruktury a výslednou analýzu efektivity dopravní sítě.

Pro vizualizaci hodnot efektivity silniční sítě v intervalu 0 až 1 pro bodový znak sídel byla použita stejná barevná škála odstínů modré barvy uvedená na Obr. 21, a to v rámci všech případových studií.



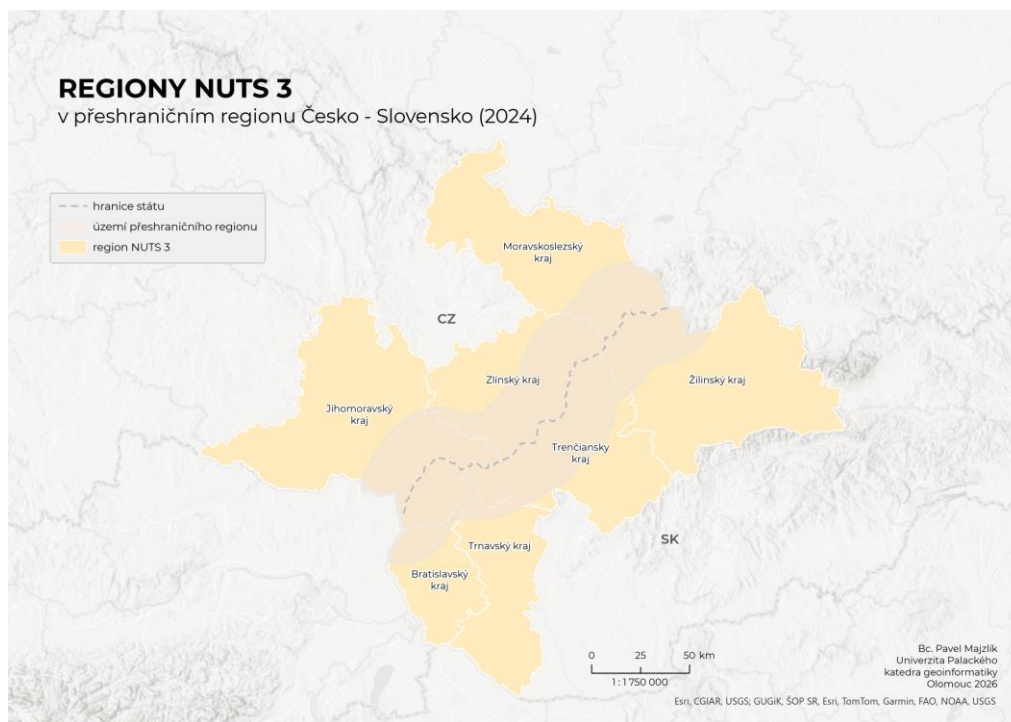
Obr. 21 Barevná stupnice bodového znaku pro efektivitu silniční sítě sídel.

### 5.1 Česko – Slovensko

Jako byla první studie byl vybrána hranice mezi Českou a Slovenskou republikou. Nachází se ve střední Evropě a představuje dva státy, které dlouhou dobu tvořily území jednoho státního celku. Společnou státní hranici mají od roku 1993, kdy byly založeny dva samostatné státní celky. Obě země spolu sdílí společnou historii, kulturní blízkost i podobnou sídelní strukturu. Výběr tohoto přeshraničního regionu byl proveden také s ohledem na jeho blízkost a dobrou znalost území ze strany autora diplomové práce. Díky tomu byla také možnost průběžně ověřovat funkčnost skriptů a správnost dílčích výsledků výpočtů efektivity silniční sítě. Na této přeshraniční oblasti byla i postupně testována funkčnost skriptů.

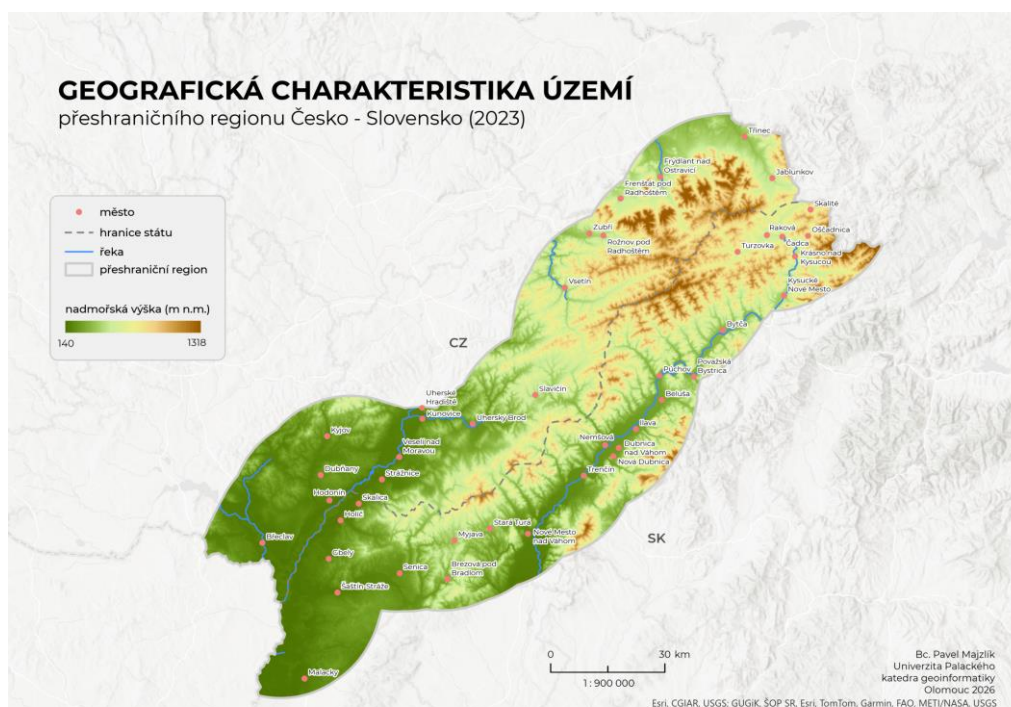
#### 5.1.1 Charakteristika území

Hranice se nachází na pomezí střední a východní Evropy a je dlouhá 252 km. Do přeshraniční oblasti vymezené 25 km zónou kolem hranice zasahuje celkem sedm NUTS 3 regionů. Z Česka jsou to konkrétně regiony s názvy – Jihomoravský, Zlínský, Moravskoslezský kraj a ze Slovenska – Bratislavský, Trenčianský, Žilianský a Trnavský kraj.



Obr. 22 Regiony NUTS 3 v přeshraničním regionu CZ – SK.

Terén přeshraničního regionu je členitý, protože hranice prochází pohořím Karpat, konkrétně Bílými Karpaty, Javorníky a Moravskoslezskými Beskydy, které tvoří přirozenou přírodní bariéru mezi oběma státy. Hornatý terén ovlivňuje silniční síť a nižší počet přeshraničních spojení mezi státy. V těchto oblastech se hojně nacházejí lesy, což negativně ovlivňuje prostupnost krajiny a rozvoj dopravního spojení. Nižší nadmořské výšky se vyskytují v oblasti Dolnomoravského úvalu, kde je terén rovinatější, a tudíž příznivější pro rozvoj silniční infrastruktury. V jižní části území tvoří přirozenou hranici mezi státy významná řeka Morava, která se později vlévá do Dunaje.



Obr. 23 Geografická charakteristika území přeshraničního regionu CZ – SK.

### 5.1.2 Sídlní a populační struktura

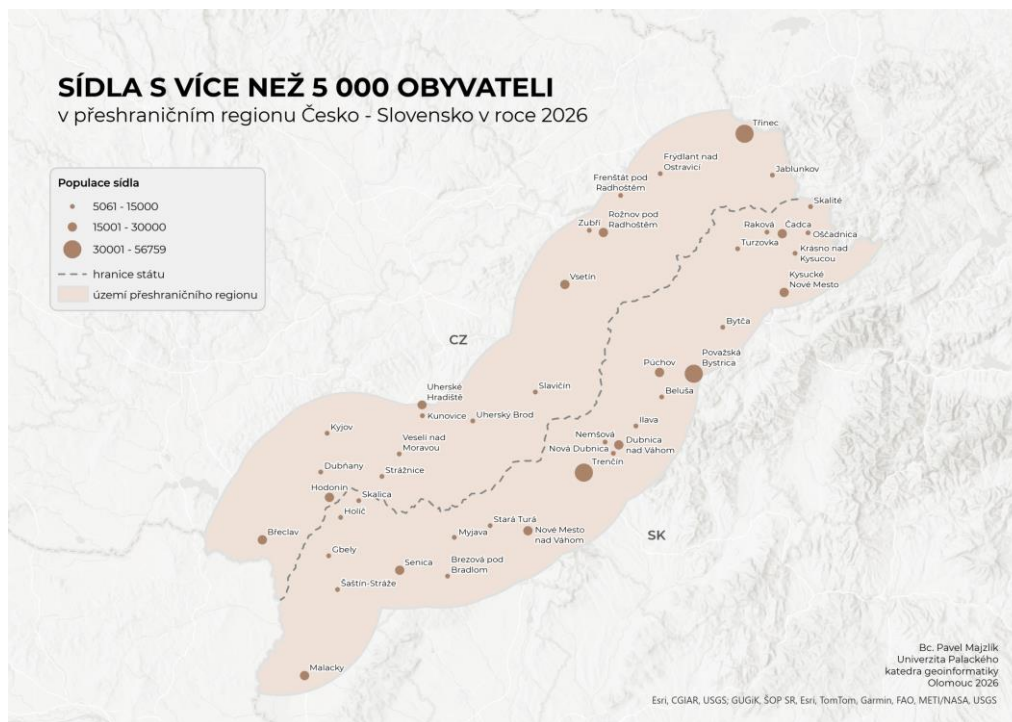
V přeshraničním regionu Česko-Slovensko žije přibližně 1,3 milionu obyvatel (Christodoulou et al., 2019). Mezi sídla s největším počtem obyvatel patří Trenčín, Považská Bystrica, Třinec, Vsetín a Hodonín. Celkem tato oblast obsahuje 43 sídel, které mají přes 5 000 obyvatel a vstupují do analýzy. Jedná se o 17 českých sídel a 36 slovenských sídel. Největším českým sídlem z hlediska rozlohy je Třinec (přibližně 85 km<sup>2</sup>) a slovenským Považská Bystrica (přibližně 90 km<sup>2</sup>). Přehled sídel vstupujících do analýzy je uveden v tabulce 4.

Tabulka 4 Přehled sídel v přeshraničním regionu CZ – SK.

Sídlo	Stát	Populace
Břeclav	CZ	19 502
Dubňany	CZ	6 661
Frenštát pod Radhoštěm	CZ	10 850
Frýdlant nad Ostravicí	CZ	8 781
Hodonín	CZ	27 361
Jablunkov	CZ	5 934
Kunovice	CZ	5 152
Kyjov	CZ	11 774
Rožnov pod Radhoštěm	CZ	17 845
Slavičín	CZ	5 473
Strážnice	CZ	5 983
Třinec	CZ	34 222
Uherské Hradiště	CZ	21 737
Uherský Brod	CZ	14 597
Veselí nad Moravou	CZ	10 410
Vsetín	CZ	28 785
Zubří	CZ	5 365
Beluša	SK	6 043
Brezová pod Bradlom	SK	5 419
Bytča	SK	11 600
Čadca	SK	24 315
Dubnica nad Váhom	SK	25 263
Gbely	SK	5 153
Holíč	SK	11 688
Ilava	SK	5 503
Krásno nad Kysucou	SK	6 790
Kysucké Nové Mesto	SK	15 132
Malacky	SK	17 887
Myjava	SK	12 652
Nemšová	SK	6 328
Nová Dubnica	SK	11 932

Nové Mesto nad Váhom	SK	20 505
Oščadnica	SK	5 715
Považská Bystrica	SK	41 936
Púchov	SK	18 592
Raková	SK	5 176
Senica	SK	20 723
Skalica	SK	14 948
Skalité	SK	5 183
Stará Turá	SK	9 842
Šaštín-Stráže	SK	5 061
Trenčín	SK	56 759
Turzovka	SK	7 754

Osídlení je soustředěno převážně v údolích řek a nižších údolích regionu, například kolem Dolnomoravského úvalu. Naopak nízké osídlení je v hornatých oblastech Bílých Karpat a Moravskoslezských Beskyd, což se odráží v nízkém počtu větších sídel v těchto oblastech. Průměrná hodnota obyvatelstva sídel na české straně je 14 143 obyvatel na sídlo a na slovenské straně hranice je to 14 534 obyvatel na sídlo. Jedná se o vybraná sídla nad 5 000 obyvatel. Pro každé slovenské sídlo se počítá efektivitu vůči 17 českým cílovým sídlům. Naopak, pro česká sídla je počítána efektivita vůči 26 slovenským sídlům.



Obr. 24 Sídla s více než 5 000 obyvateli v přeshraničním regionu CZ – SK.

### 5.1.3 Dopravní infrastruktura

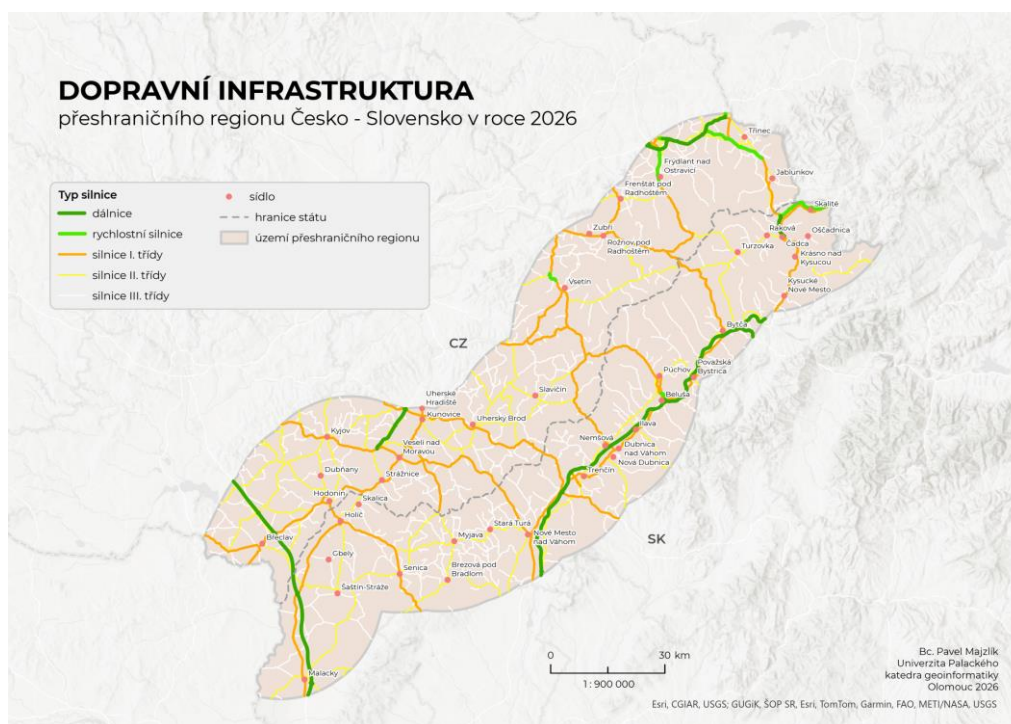
Význam přeshraničních dopravních vazeb se proměnil po rozpadu Československa v roce 1993, kdy se původně vnitrostátní komunikace staly mezinárodními hraničními přechody.

Dalším milníkem byl rok 2004, kdy obě země vstoupily do Evropské unie a následně v roce 2007 do Schengenského prostoru, který byl důležitý z hlediska zrušení povinných hraničních kontrol. Díky tomu došlo k zjednodušení pohybu osob i zboží mezi oběma státy.

Dopravní infrastruktura česko-slovenského přeshraničního regionu je výrazně ovlivněna hornatým terénem Bílých Karpat, Javorníků a Moravskoslezských Beskyd, který omezuje počet možných přeshraničních silničních spojení.

V dálniční infrastruktuře je patrný rozdíl mezi oběma zeměmi na první pohled. Na slovenské straně prochází regionem několik dálničních úseků – dálnice D1/E75 procházející od Nového Města nad Váhom až po sídlo Bytča, dálnice D2 propojující jižní část regionu a dálnice D3 napojující se u sídla Čadca na polskou dálnici. Na české straně dálniční infrastruktura zasahuje do regionu pouze v menší míře v jižní části u Břeclavi a na severovýchodě u Třince a u Frýdlantu nad Ostravicí. Střední část českého území úplně postrádá přímé dálniční napojení, což by se mělo projevit v nižších hodnotách indikátoru NER v této oblasti.

Nejvýznamnějším silničním přechodem v regionu je Lanžhot – Kúty, který propojuje českou dálnici D2 vedoucí z Brna s dálniční sítí na slovenské straně směrem na Bratislavu. Jedná se o jediný hraniční přechod propojující přímo českou dálniční síť se slovenskou. Je to dáno především hornatým terénem ve střední přeshraniční části regionu, který výstavbu dálniční infrastruktury výrazně komplikuje a prodražuje. Ostatní hraniční přechody jsou vedeny po silnicích nižší kategorie procházející horskými průsmyky.



Obr. 25 Dopravní infrastruktura v přeshraničním regionu CZ – SK.

Mimo dálniční koridor na jihu jsou pro oblast významné přechody na silnicích první třídy. Mezi ně patří další významné přechody jako Starý Hrozenkov – Drietoma nebo Vlárský průsmyk. Lepší dálniční propojení by se v tomto přeshraničním regionu mělo stát v budoucnu prioritou. Investice do rychlostních komunikací by zlepšila dopravní dostupnost a komfort pro obyvatele a zároveň přispěla ke snížení tranzitní kamionové dopravy v sídlech.

Kromě silniční infrastruktury hraje významnou roli také železniční doprava. Přeshraniční železniční spojení je zajištěno na tratích spojujících Moravu s údolím řeky Váh. Příkladem může být trať Vsetín – Púchov nebo Bylnice – Horné Srnie. Na jihu přeshraniční oblasti jsou železniční tratě součástí transevropské dopravní sítě, která propojuje střední Evropu s regionem Podunají a Balkánem. Jedná se zejména o železniční koridor procházející přes sídla Břeclav, Kúty a Bratislavu.

Přeshraniční dopravní spojení v regionu neslouží jen tranzitní dopravě, ale jsou důležitá i pro každodenní pohyb obyvatel. Lidé žijící u hranic využívají silniční i železniční spojení při dojíždění za prací, do škol nebo za službami na obě strany hranice. Přestože je jižní část regionu dobře napojena na hlavní dopravní tahy, dopravní propojení není v celém přeshraničním prostoru rovnoměrné. Některé oblasti, zejména v centrální části Bílých Karpat, Javorníků a Beskyd, vykazují znaky dopravní perifernosti. Členitý reliéf zde omezuje hustotu dopravní sítě a prodlužuje cestovní vzdálenosti i časovou dostupnost mezi jednotlivými sídly. To se může následně promítat i do dostupnosti pracovních příležitostí a veřejných služeb v těchto částech regionu.

#### 5.1.4 Analýza efektivity silniční sítě pomocí indikátoru NER

Efektivita silniční sítě je pro přeshraniční region počítána pro 43 sídel v zóně 25 km od hranice na obě strany. Výpočet se provádí pomocí posledního skriptu v toolboxu Road Efficiency on EU cross borders. Nejprve byla provedena síťová analýza OD Cost Matrix, kdy se spočítala skutečná cestovní rychlost mezi jednotlivými dvojicemi sídel v přeshraničním regionu. Poté byl proveden výpočet teoretických časů, který je založen na euklidovské vzdálenosti mezi sídly a předpokladem je konstantní rychlost 120 km/h. Výsledkem je tabulka s dvojicemi sídel s teoretickými časy, která vyjadřuje ideální dopravní dostupnost mezi sídly bez omezení.

Posledním krokem bylo dosažení do vzorce ve skriptu vypočtené proměnné a vynásobení hodnoty počtem populace cílových sídel. Ke každému sídlu se spočítalo tolik dvojic, kolik sídel bylo na opačné straně hranice. Pro každé české sídlo bylo vypočítáno celkem 26 dvojic a pro každé slovenské sídlo bylo spočítáno 17 dvojic. Podle vzorce byly dosazeny hodnoty a spočítána dopravní neefektivita a převrácením dopravní efektivity. Výsledky jsou zobrazeny v tabulce 5.

Tabulka 5 Výsledky efektivity silniční sítě v přeshraničním regionu CZ – SK.

Sídlo	Stát	Populace	NER
Jablunkov	CZ	5 934	0,562
Třinec	CZ	34 222	0,551
Břeclav	CZ	19 502	0,548
Hodonín	CZ	27 361	0,544
Kyjov	CZ	11 774	0,537
Kunovice	CZ	5 152	0,524
Veselí nad Moravou	CZ	10 410	0,524
Dubňany	CZ	6 661	0,523
Uherské Hradiště	CZ	21 737	0,521
Strážnice	CZ	5 983	0,510
Vsetín	CZ	28 785	0,508
Uherský Brod	CZ	14 597	0,499
Frýdlant nad Ostravicí	CZ	8 781	0,497
Slavičín	CZ	5 473	0,474

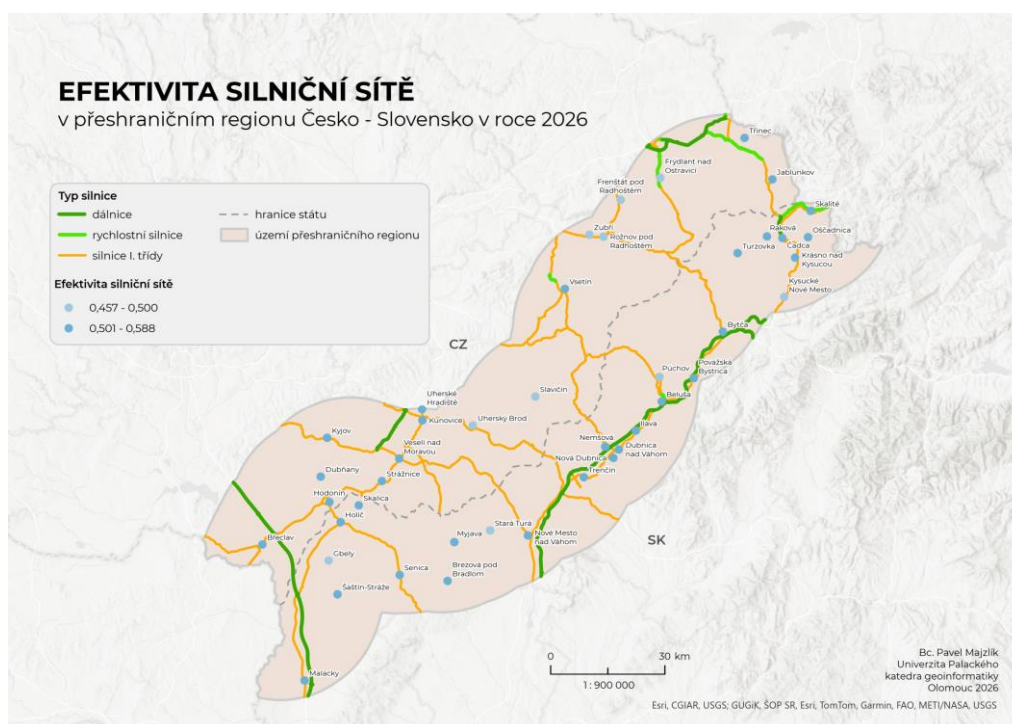
Frenštát pod Radhoštěm	CZ	10 850	0,470
Rožnov pod Radhoštěm	CZ	17 845	0,467
Zubří	CZ	5 365	0,458
Malacky	SK	17 887	0,588
Šaštín-Stráže	SK	5 061	0,551
Holíč	SK	11 688	0,547
Nové Mesto nad Váhom	SK	20 505	0,544
Čadca	SK	24 315	0,544
Oščadnica	SK	5 715	0,529
Raková	SK	5 176	0,529
Považská Bystrica	SK	41 936	0,527
Bytča	SK	11 600	0,526
Senica	SK	20 723	0,522
Dubnica nad Váhom	SK	25 263	0,519
Krásno nad Kysucou	SK	6 790	0,519
Turzovka	SK	7 754	0,519
Beluša	SK	6 043	0,516
Nemšová	SK	6 328	0,513
Brezová pod Bradlom	SK	5 419	0,513
Skalité	SK	5 183	0,512
Ilava	SK	5 503	0,510
Nová Dubnica	SK	11 932	0,510
Myjava	SK	12 652	0,509
Skalica	SK	14 948	0,509
Trenčín	SK	56 759	0,505
Stará Turá	SK	9 842	0,490
Gbely	SK	5 153	0,487
Púchov	SK	18 592	0,480
Kysucké Nové Mesto	SK	15 132	0,457

Výsledky se pohybují od hodnoty 0,457 (Kysucké Nové Mesto) po 0,588 (Malacky), s průměrnou hodnotou NER za celý přeshraniční region **0,516**. Tyto hodnoty naznačují **střední úroveň** efektivity dopravní sítě v česko-slovenském přeshraničním regionu.

Nejvyšší hodnoty byly vypočteny u sídel Malacky (0,588), Jablunkov (0,562), Šaštín-Stráže (0,551), Břeclav (0,551) a Třinec (0,550). Malacky, Břeclav a Šaštín-Stráže leží v nížinných oblastech s méně členitým reliéfem. Zároveň se nachází v blízkosti významného hraničního přechodu Lanžhot – Kúty, přes který vede rychlostní komunikaci propojující oba státy. Třinec a Jablunkov dosahují vysokých hodnot díky dobře rozvinuté silniční infrastruktuře v severní části regionu. Dopravní síť je v těchto oblastech relativně efektivní a skutečné trasy mezi sídly se více přibližují přímé vzdálenosti.

Nejnižší hodnoty byly zaznamenány u sídel Kysucké Nové Mesto (0,457), Zubří (0,458), Rožnov pod Radhoštěm (0,467) a Frenštát pod Radhoštěm (0,468). Kysucké Nové Město leží v přeshraniční oblasti, kde je odříznuto od zbytku Slovenska kvůli tomu, že silnice propojující sídlo se zbytkem Slovenska leží mimo oblast definovanou 25 km bufferem od hranic. Česká sídla v této skupině se nacházejí v členitém terénu v oblasti Javorníků a Moravskoslezských Beskyd. Tím se prodlužují skutečné cestovní časy mezi dvojicemi sídel, což se odráží v nižších hodnotách dopravní efektivity.

Z hlediska hodnot indikátoru dopravní efektivity lze pozorovat rozdíly mezi jednotlivými částmi přeshraničního regionu. V jižní části regionu se nachází nejvíce sídel nad 5 000 obyvatel a je zde nejlepší dopravní napojení v celém přeshraničním regionu. Pomáhá tomu oblast neobsahující hornatý terén. Tato oblast obsahuje nejvíce hraničních přechodů z celého regionu. Střední část přeshraničního regionu z české strany od sídla Slavičín po Rožnov pod Radhoštěm vychází nejhůře z hlediska efektivity dopravní sítě, z důvodu málo osídlené oblasti, slabému rozvoji silniční infrastruktury a horskému terénu, který komplikuje rozvoj této oblasti. Ve střední části na slovenské straně naopak prochází od Trenčína až po sídlo Bytča dálniční síť, která je vystavěna pouze pro vnitrostátní účely, a tak jsou hodnoty indikátoru pro sídla na dopravním koridoru dálnice průměrná. Relativně dobře je na tom i nejsevernější část regionu, kde se na české straně nachází sídla Trinec a Jablunkov a na slovenské straně Čadca a Raková. Tato oblast těží z dobře rozvinuté silniční infrastruktury na obou stranách hranice, včetně rychlostních komunikací, které zajišťují efektivní přeshraniční propojení i napojení na polskou dálniční síť.



Obr. 26 Efektivita silniční sítě v přeshraničním regionu CZ – SK.

Sídla na obou stranách hranice nevykazují žádné velké rozdíly. V průměru je hodnota efektivity sítě  $NER$  v České republice 0,513 a na Slovensku 0,518. To naznačuje, že státní hranice v přeshraničním regionu ČR – Slovensko nemá zásadní vliv na efektivitu silniční sítě v tomto regionu. Při porovnání hodnot  $NER$  s velikostí sídel měřenou počtem obyvatel není patrná jednoznačná závislost. Relativně nízké hodnoty  $NER$  u výrazně většího Trenčína (56759 obyvatel,  $NER = 0,505$ ) oproti menším sídlům s vyššími hodnotami naznačují, že samotná velikost sídla není určujícím faktorem dopravní efektivity. Z vypočtených údajů  $NER$  lze konstatovat, že použitá metoda výpočtu odráží skutečnost týkající se dopravní dostupnosti v tomto regionu.

Celkově lze říct, že výsledky efektivity dopravní sítě v česko-slovenském přeshraničním regionu jsou ovlivněny především kvalitou silniční infrastruktury a geografickými podmínkami. Velmi důležitá je také přítomnost rychlostních komunikací, které zkracují

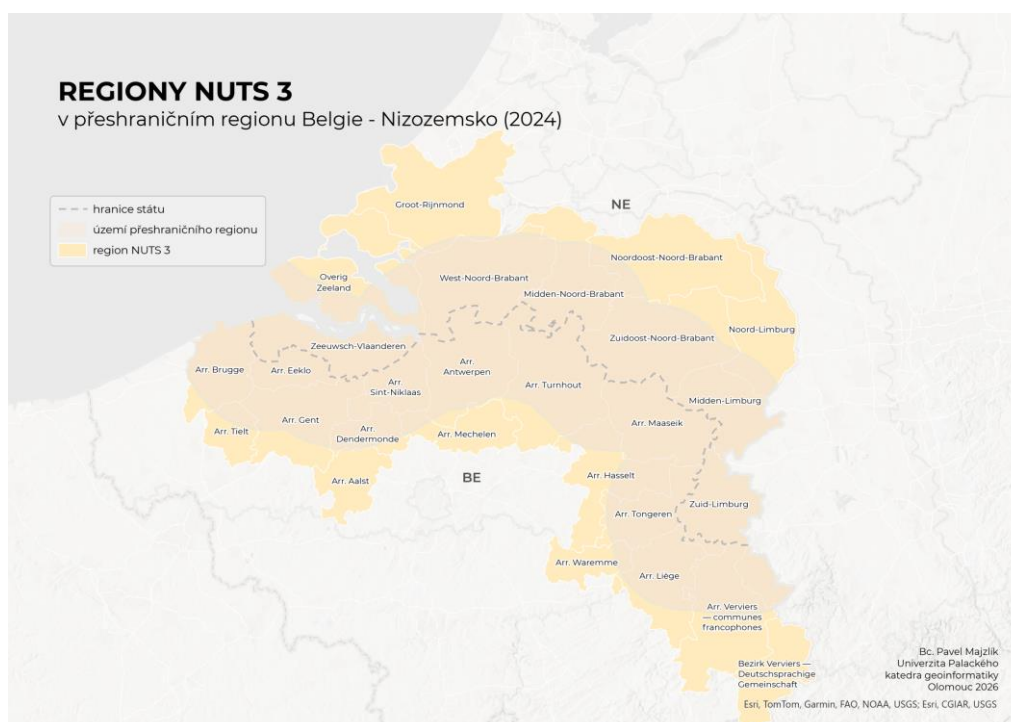
skutečné cestovní časy. Nedílnou součástí je také počet hraničních přechodů. Slovenskými sídly sice prochází dálniční síť, ale není s výjimkou hraničního přechodu Lanžhot – Kúty napojená přes hranice do Česka. Naopak ze strany Česka není dálniční síť v tomto regionu dostatečně rozvinuta. Srovnatelné průměrné hodnoty NER potvrzují, že lokální dopravní efektivita je podmíněna spíše dopravní infrastrukturou než národní příslušností jednotlivých sídel.

## 5.2 Belgie - Nizozemsko

Jako druhé území pro přeshraniční analýzu byla vybrána hranice Belgie s Nizozemskem nacházející se v severozápadní Evropě. Nizozemsko i Belgie jsou konstituční monarchie – v obou zemích je hlavou státu král, skutečnou moc však drží vláda v čele s premiérem. Belgie se od Nizozemska liší tím, že je federativním státem, což znamená, že je vnitřně rozdělena na autonomní regiony a jazykové oblasti. Společnou hranici v současné podobě mají od roku 1839, kdy bylo Belgické království uznáno jako samostatný stát. Přeshraniční oblast se vyznačuje hustým osídlením, rozvinutou dopravní infrastrukturou a velmi silnými přeshraničními vazbami.

### 5.2.1 Charakteristika území

Hranice se nachází v severozápadní Evropě a je dlouhá přibližně 450 km. Do přeshraniční oblasti zasahuje celkem 26 regionů NUTS 3. Z belgické strany to jsou regiony – Antwerpen, Mechelen, Turnhout, Tielt, Tongeren, Hasselt, Maaseik, Dendermonde, Eeklo, Gent, Sint-Niklaas, Brugge, Bezirk Verviers — Deutschsprachige Gemeinschaft, Liège, Waremme, Verviers — communes francophones. Nizozemskou stranu reprezentují regiony Midden-Noord-Brabant, Noordoost-Noord-Brabant, Noord-Limburg, Midden-Limburg, Zuid-Limburg, Zeeuwsch-Vlaanderen, Overig Zeeland, Groot-Rijnmond, West-Noord-Brabant, Noord-Limburg, Midden-Limburg, Zuid-Limburg, Zuidoost-Noord-Brabant.



Obr. 27 Regiony NUTS 3 v přeshraničním regionu BE – NE.

Terén přeshraničního regionu je převážně rovinný, což usnadňuje rozvoj dopravní infrastruktury a budování přeshraničních vazeb. Velká část území leží v nížinách, které jsou z velké části tvořeny zemědělskou půdou a hustou sítí vodních kanálů. Vedle zemědělské půdy se nacházejí rozsáhlé urbanizované plochy kolem sídel. Jižní část v oblasti Limburg je mírně členitější, ale rozdíly v nadmořské výšce jsou malé. Nejvýznamnějším vodním tokem v regionu je řeka Maas protékající jak Belgií, tak Nizozemskem.



Obr. 28 Geografická charakteristika území přeshraničního regionu BE – NE.

### 5.2.2 Sídelní a populační struktura

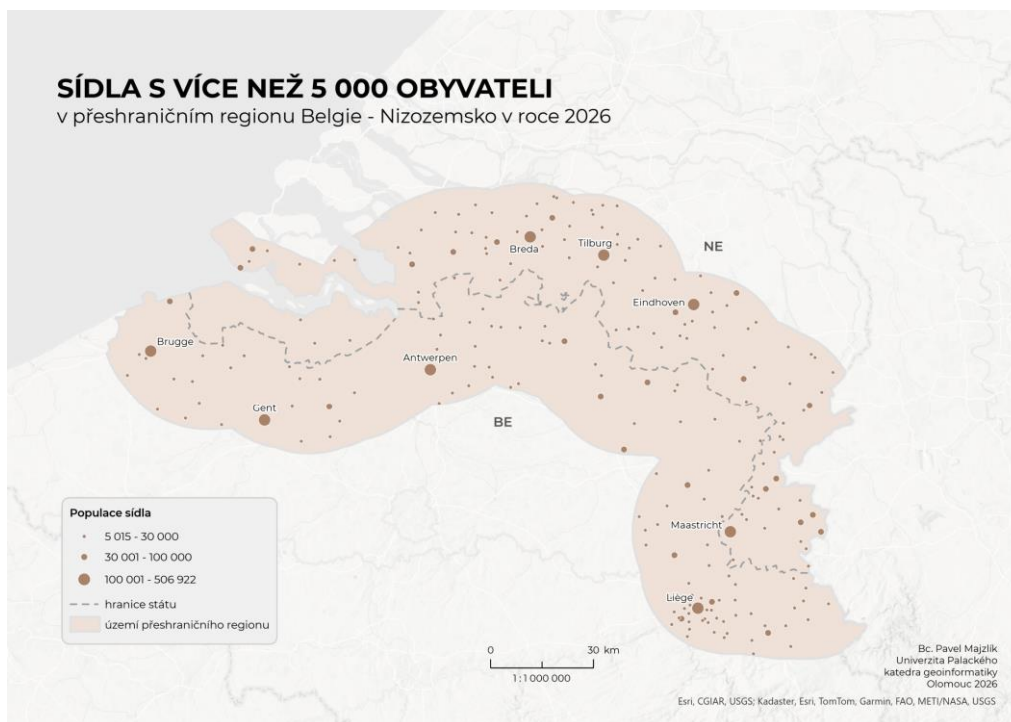
V přeshraničním regionu Belgie – Nizozemsko žije přibližně 5,3 milionu obyvatel, což je nejvíce ze všech přeshraničních regionech v Evropské unii. Mezi sídla s největším počtem obyvatel patří Antwerpen, Gent, Liège, Eindhoven a Tilburg. Celkem tato oblast obsahuje 231 sídel, která mají přes 5 000 obyvatel a vstupují do analýzy. Jedná se o 115 nizozemských a 116 belgických sídel. Přehled nejlidnatějších sídel je uveden v tabulce 6.

Tabulka 6 Přehled nejlidnatějších sídel v přeshraničním regionu BE – NE.

Sídlo	Stát	Populace
Antwerpen	BE	506 922
Gent	BE	272 657
Eindhoven	NL	235 923
Tilburg	NL	199 128
Liège	BE	197 013
Breda	NL	150 008
Maastricht	NL	120 105

Brugge	BE	117 639
Helmond	NL	90 609
Heerlen	NL	67 943
Roosendaal	NL	67 390
Genk	BE	65 000
Seraing	BE	64 609
Verviers	BE	56 127
Bergen op Zoom	NL	51 834
Lokeren	BE	50 312
Oosterhout	NL	49 483
Kerkrade	NL	45 643
Veldhoven	NL	44 724
Beringen	BE	43 975
Etten-Leur	NL	43 027
Turnhout	BE	42 008
Roermond	NL	41 225
Herstal	BE	40 834
Weert	NL	40 534
Middelburg	NL	40 345
Sittard	NL	37 534
Landgraaf	NL	37 456
Mol	BE	37 021
Knokke-Heist	BE	34 034
Lommel	BE	33 744
Vlissingen	NL	33 625
Geleen	NL	31 970
Tongeren	BE	30 650
Waalwijk	NL	29 385
Best	NL	29 180
Geldrop	NL	28 767
Brunssum	NL	28 358
Ans	BE	27 813

Osídlení je rovnoměrně rozloženo po celém území odpovídající rovinaté oblasti v celém přeshraničním regionu kromě belgické nejvýchodnější oblasti. Tam je velká koncentrace sídel na relativně malém území. Hustota zalidnění je zde vyšší než v případě česko-slovenské přeshraniční oblasti. Je to dáno vyšší urbanizací v severozápadní Evropě oproti střední až východní Evropě. Průměrný počet obyvatel sídla je na nizozemské straně 21 152 obyvatel na sídlo a na belgické straně je to 25 480 obyvatel na sídlo. Z hlediska vlivu na analýzu efektivity silniční sítě mají sídla na obou stranách hranice stejný vliv, protože počet sídel na nizozemské a belgické straně je téměř vyrovnaný.



Obr. 29 Sídla s více než 5 000 obyvateli v přeshraničním regionu BE – NE.

### 5.2.3 Dopravní infrastruktura

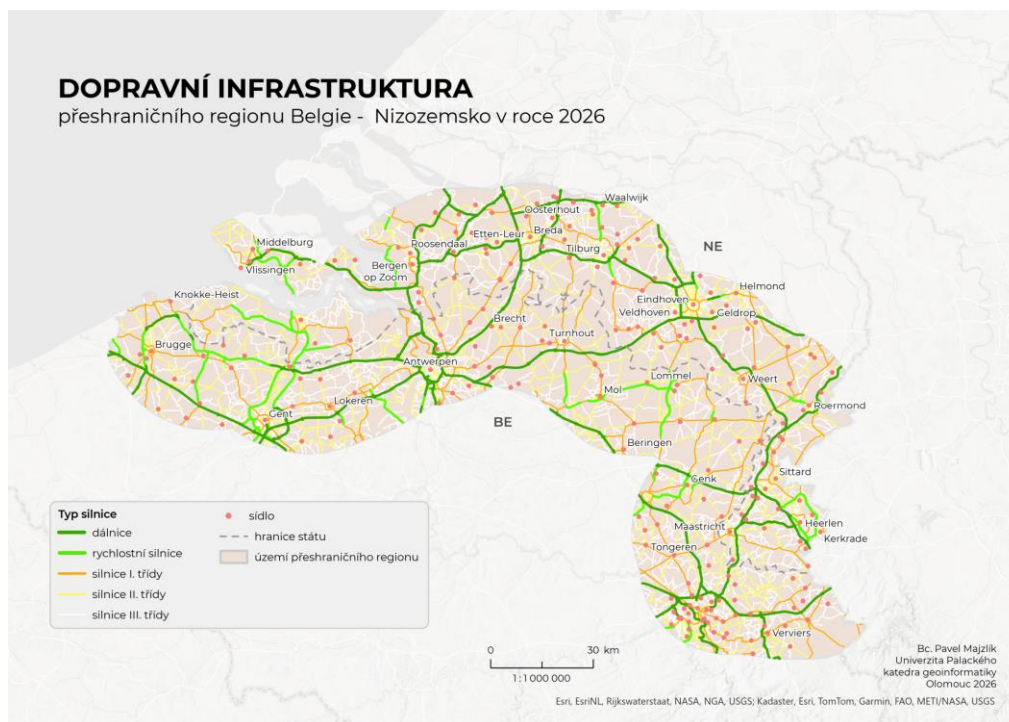
Přeshraniční dopravní vazby mezi Belgií a Nizozemskem mají dlouhou historii. V průběhu 20. století byla podepsána dohoda o Beneluxu, která deklarovala zrušení hraničních kontrol mezi oběma zeměmi ještě před vznikem Schengenského prostoru. Vstoupení do Schengenu volný pohyb osob pouze potvrdil.

Hustá a dobře rozvinutá dopravní infrastruktura přeshraničního regionu Belgie – Nizozemsko staví na dobrých předpokladech. V celém regionu je rovinnatý terén a k tomu se přidává vysoká hustota zalidnění. Na rozdíl od česko-slovenského regionu zde nejsou žádné přirozené terénní bariéry, které by překážely výstavbě nových dopravních uzlů.

Rychlostní komunikací prochází celým přeshraničním regionem mnoho a je důležité, že propojují obě země. Klíčovým dálničním koridorem propojujícím oba státy je dálnice A1/E19 spojující Brusel přes Antwerpen s nizozemskou Bredou. Jedná se o součást evropského koridoru směrem na Rotterdam. Dalším významným koridorem je A2/E25 propojující Maastricht s Liège, který propojuje východní části přeshraničního regionu. Vnitřní část regionu na nizozemské straně obsahuje významnou komunikaci E34, která zajišťuje dobré vnitrostátní spojení.

Dopravní infrastruktura regionu je charakteristická vysokou hustotou silniční sítě nižších kategorií, která umožňuje bezproblémové překračování hranice. Na rozdíl od jiných přeshraničních regionů zde státní hranice nepředstavuje bariéru pro každodenní pohyb obyvatelstva. Hustá síť umožňuje dobré propojení měst a obcí na obou stranách hranice a také řeší problém kapacity silnic.

Železniční síť je zde také velmi hustá a dobře rozvinutá. Region se může pochlubit vysokorychlostními tratěmi nacházejícími se v obou zemích. Nejvýznamnější trasa obsluhuje obyvatele na trase Amsterdam – Rotterdam – Antwerpen – Brusel.



Obr. 30 Dopravní infrastruktura přeshraničního regionu BE – NE.

Důležitým prvkem v dopravě regionu je hustá síť vodních toků a kanálů. Vnitrozemská vodná doprava má velkou roli v nákladní dopravě. Řeky a kanály propojují přístavy a průmyslové oblasti. Mezi nejdůležitější vodní toky patří řeky Maas a Schelde.

Rovinatý reliéf, vysoká hustota dopravní infrastruktury a dlouhodobá spolupráce v budování dopravního propojení v přeshraničním regionu řadí belgicko-nizozemský region mezi oblasti s nejlepšími podmínkami dopravního propojení. Příznivé podmínky by se měly projevit v hodnotách dopravní efektivity sítě v další podkapitole.

#### 5.2.4 Analýza efektivity silniční sítě pomocí indikátoru NER

Do analýzy efektivity silniční sítě vstupuje 231 sídel a síťovou analýzou ODCostMatrix bylo vytvořeno přes 50 000 dvojic sídel, ze kterých bylo později vyfiltrována polovina kvůli tomu, že byla vyřazena města na stejné straně hranice.

Po skutečných časech následoval výpočet teoretických, které už byly očištěny pouze na přeshraniční dvojice. Pomocí skriptu byla vypočítána efektivita silniční sítě a výsledky byly zapsány do tabulky. Před výpočtem byly očekávány vysoké hodnoty indikátoru v této oblasti. Část výsledků s nejvyššími hodnotami indikátoru je zobrazena v tabulce 7.

Tabulka 7 Přehled nejvyšších hodnot efektivity silniční sítě v přeshraničním regionu BE – NE.

Sídlo	Stát	Populace	NER
Roermond	NL	41 225	0,742
Aalst	NL	10 195	0,740
Eindhoven	NL	235 923	0,738
Reuver	NL	10 991	0,737
Swalmen	NL	8 634	0,735
Asten	NL	13 214	0,735
Meijel	NL	6 190	0,731

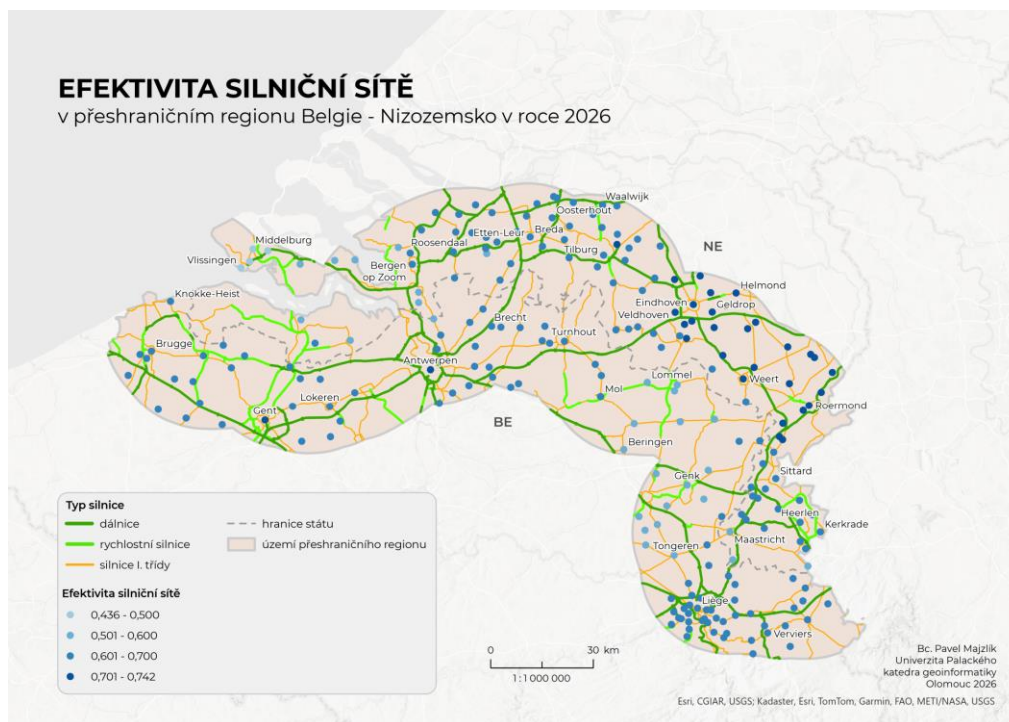
Helmond	NL	90 609	0,728
Herten	NL	7 543	0,728
Nederweert	NL	8 559	0,726
Helden	NL	6 290	0,726
Geldrop	NL	28 767	0,723
Someren	NL	11 980	0,723
Maasbracht	NL	6 955	0,722
Heeze	NL	9 775	0,721
Heythuysen	NL	6 475	0,720
Veldhoven	NL	44 724	0,720
Panningen	NL	7 290	0,715
Waalre	NL	6 690	0,715
Nuenen	NL	19 930	0,713
Son en Breugel	NL	16 626	0,713
Maarheeze	NL	5 177	0,712
Antwerpen	BE	506 922	0,712
Best	NL	29 180	0,711
Mierlo	NL	10 493	0,709
Echt	NL	7 573	0,707
Weert	NL	40 534	0,706
Pey	NL	7 060	0,704
Gent	BE	272 657	0,703
Berkel-Enschot	NL	12 325	0,700
Valkenswaard	NL	20 342	0,700

Výsledky indikátoru se pohybují od 0,435 (Vlissingen, Nizozemsko) do hodnoty 0,742 (Roermond, Nizozemsko) s průměrnou hodnotou pro přeshraniční region **0,646**. Hodnoty představují **vysokou úroveň** efektivity silniční sítě.

Nejvyšší hodnoty byly vypočteny pro sídla Roermond (0,742), Aalst (0,740), Eindhoven (0,738), Asten (0,737), Swalmen (0,735). Jsou to sídla, která se nacházejí na nizozemské východní části přeshraničního regionu. Prvním belgickým sídlem je až na 22. místě v pořadí Antwerpen s hodnotou 0,712.

Nejnižší hodnoty se vyskytují u sídel Vlissingen (0,436), Oost-Souburg (0,454), Middelburg (0,463), Arnemuiden (0,490). Tyto sídla se nachází v nejzápadnější části Nizozemska v oblasti provincie Zeeland. Jedná se o specifické území, které je odříznuto a odděleno od zbytku pevniny vodními plochami, což vede k nižším hodnotám indikátoru. V oblasti je sice rozvinutá dálniční infrastruktura, sídla jsou vzdušnou čarou od sebe blízko, ale kvůli vodním plochám se mezi nimi nedá cestovat přímo. Při počítání cestovních časů na belgickou stranu hranice se musí trasa objíždět, což prodlužuje dobu jízdy.

V přeshraničním regionu lze pozorovat rozdíly mezi hodnotami indikátoru NER. Nejvyšší hodnoty se nachází ve východní oblasti na nizozemské straně od sídla Maasbracht až po sídlo Eindhoven, kde hodnoty neklesnou pod 0,7. Naopak na východní straně belgické části jsou hodnoty indikátoru průměrné až podprůměrné, jedná se o oblast od sídla Tongeren po Dessel. V této oblasti se vyskytuje sice dálnice, ale přeshraniční oblast nezasahuje definovaná vzdáleností 25 km od hraniceobsahuje tuto dálnici. Tudíž jsou zde hodnoty NER nižší. Kromě oblasti kolem sídla Middelburg se nevyskytují velké rozdíly mezi jednotlivými částmi regionu.



Obr. 31 Efektivita silniční sítě v přeshraničním regionu BE – NE.

Srovnání průměrů u sídel vychází lépe pro nizozemskou část hranice s průměrem 0,652, oproti tomu belgická strana 0,639. Rozdíl je tedy malý a ukazuje to na dobré propojení hranice z obou stran. Velkou roli zde hraje hustá síť dálničních a rychlostních komunikací. Hodnoty indikátoru jsou vysoké a pouze 32 sídel se nachází pod hodnotou 0,6. Zároveň se 168 sídel z 231 pohybuje v hodnotách od 0,6 do 0,7, což značí velkou vyrovnanost v celém přeshraničním regionu.

Z výsledků je také patrné, že velikost a počet obyvatel sídla sama o sobě není rozhodujícím faktorem pro hodnoty indikátoru. Větší roli hraje poloha sídla v rámci napojení na silniční síť a ta může mít pozitivní i negativní vliv na okolní sídla. Příkladem pozitivního ovlivnění je druhé největší sídlo podle počtu obyvatel Eindhoven, který má hodnotu 0,738, což značí výbornou efektivitu dopravní sítě. Zároveň má pozitivní vliv na menší sídla v okolí, která mají také vysoké výsledky (Aalst – počet obyvatel 10 195, NE – 0,740 nebo Nuenen – 19 930 obyvatel, NE – 0,713). Příkladem negativního vlivu je sídlo Maastricht, které má hodnotu indikátoru 0,595, přestože má přes 120 000 obyvatel a je sedmým nejlidnatějším sídlem v přeshraničním regionu. Ovlivňuje také menší sousední sídla, která mají podobnou hodnotu indikátoru. Dalším faktorem, který ovlivňuje kvalitu dopravní infrastruktury je rovinatý terén, který umožnil postavit dálniční koridory bez přírodních bariér a omezení. Husté osídlení také přispívá k potřebě budovat kvalitní dopravní infrastrukturu v regionu.

Celkově přeshraniční region Nizozemsko – Belgie potvrdil předpoklady a reprezentuje ideálně fungující dopravní infrastrukturu.

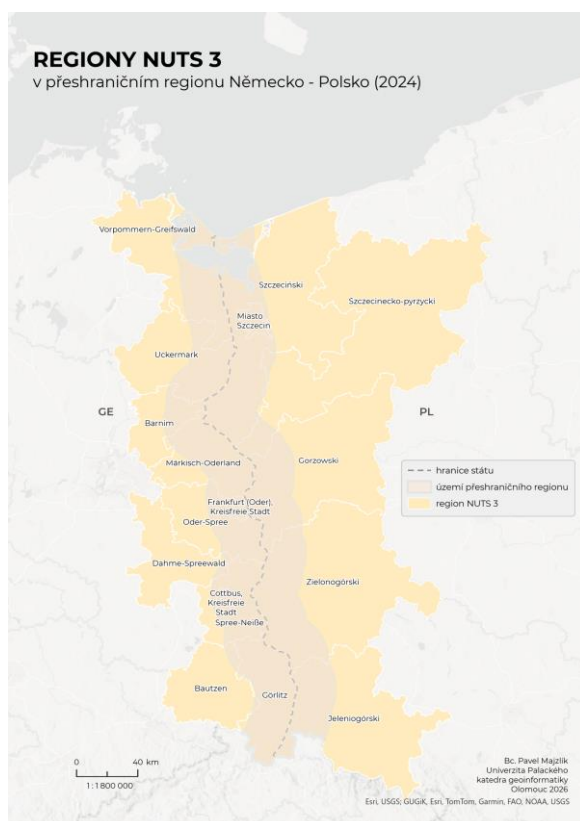
### 5.3 Německo – Polsko

Jako třetí studie byla vybrána hranice mezi Polskou republikou a Spolkovou republikou Německo, která se nachází ve střední Evropě. Současnou podobu má od konce druhé světové války. V období studené války v druhé polovině 20. století to byla hranice oddělující dva státy východního bloku. Po politických změnách v roce 1989 a následném sjednocení

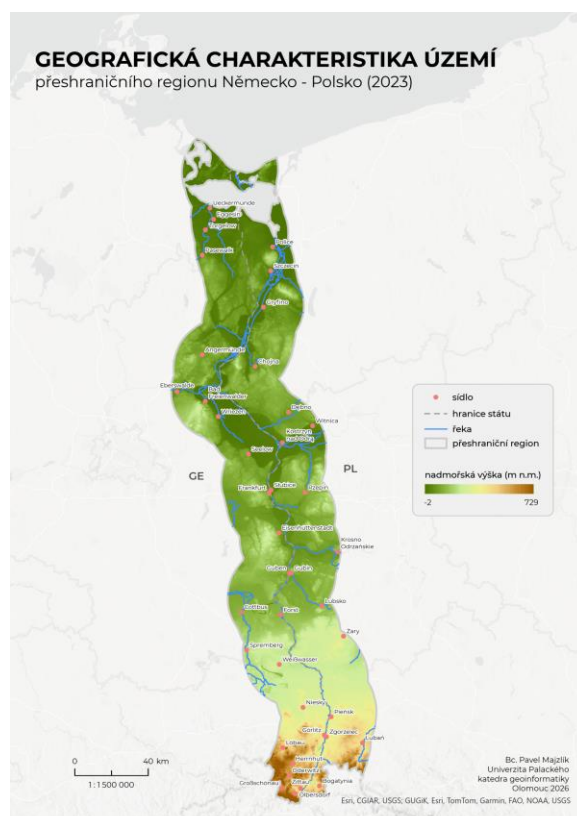
Německa se charakter hranice změnil a postupně se zde začala rozvíjet přeshraniční spolupráce. Pro tuto diplomovou práci byla vybrána z důvodu řek Odry a Lužické Nisy, které tvoří přírodní hranici po celé délce až k Baltskému moři.

### 5.3.1 Charakteristika území

se nachází ve střední až severní části Evropy a je dlouhá 467 km. Do přeshraniční oblasti vymezené 25 km zónou kolem hranice zasahuje celkem 17 oblastí. Konkrétně jde o regiony z Německa – Vorpommern-Greifswald, Görlitz, Märkisch-Oderland, Cottbus, Kreisfreie Stadt, Frankfurt (Oder), Kreisfreie Stadt, Oder-Spree, Barnim, Spree-Neiße, Uckermark a z Polska – Miasto Szczecin, Szczecinecko-pyrzycki, Szczeciński, Gorzowski, Zielonogórski, Jeleniogórski.



Obr. 33 NUTS 3 regiony v přeshraničním regionu GE – PL.



Obr. 32 Geografická charakteristika území přeshraničního regionu GE – PL.

Přeshraniční region se vyznačuje rovinatým charakterem území a je součástí střeoevropské nížiny. Jediným místem s výskytem hornatého regionu je území u hranic s Českou republikou, kde nadmořské výšky dosahují hodnot kolem 700 m n.m. Přirozenou hranici zde tvoří dvě řeky – Odra a Lužická Nisa pramenící v České republice a tekoucí přes jižní část německo-polské hranice až k německému sídlu Ratzdorf, kde se vlévá do větší Odry. Ta teče po zbývající délce hranice, kde se vlévá do Baltského moře. Větší lesní porosty se nacházejí spíše v jižní části regionu. Členitost terénu nebrání rozvoji dopravní infrastruktury v přeshraniční oblasti, ale nachází se zde přírodní bariéra, která má významný vliv.

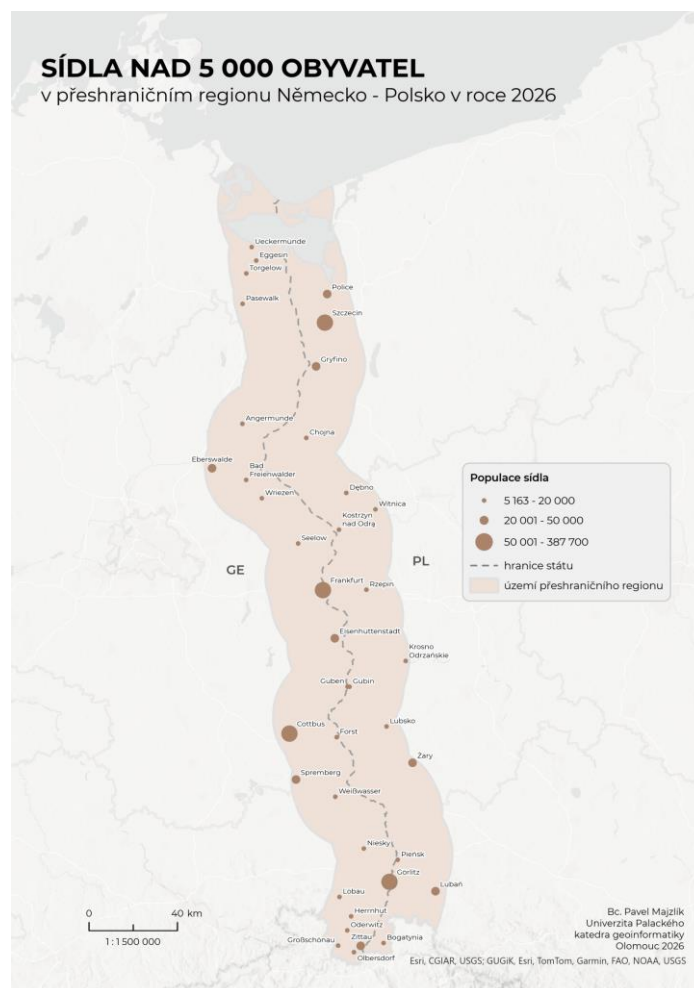
### 5.3.2 Sídlní a populační struktura

Necelé 2 miliony obyvatel žijí v německo-polském přeshraničním regionu, čímž se řadí v celoevropském měřítku na 13. příčku ze 38 regionů (Christodoulou et al., 2019). Nejlidnatějšími sídly jsou zde Szczecin (368 770), Cottbus (98 693), Frankfurt (61 969) a Görlitz (57 427). V přeshraniční zóně do 25 km od hranic bylo nalezeno 43 sídel, které měly vstupovat do analýzy. Dvě sídla byla vyřazena z důvodu špatného napojení na silniční síť. Zbýlých 41 sídel bylo zahrnuto do analýzy efektivity silniční sítě. Jedná se o 24 německých sídel, které mají průměrný počet obyvatel 21 029. Na polské straně zbylo 17 sídel s průměrem 38 603 obyvatel. Přehled sídel je uveden v tabulce 8.

Tabulka 8 Přehled sídel v přeshraničním regionu GE – PL.

Sídlo	Stát	Populace
Angermünde	DE	13 600
Bad Freienwalde	DE	12 403
Cottbus	DE	98 693
Eberswalde	DE	38 844
Eggesin	DE	6 098
Eisenhüttenstadt	DE	30 234
Forst	DE	19 053
Frankfurt	DE	61 969
Görlitz	DE	57 427
Großschönau	DE	5 163
Guben	DE	17 655
Herrnhut	DE	5 695
Löbau	DE	15 531
Niesky	DE	8 956
Oderwitz	DE	5 300
Olbersdorf	DE	6 250
Pasewalk	DE	10 047
Seelow	DE	5 316
Spremberg	DE	21 140
Torgelow	DE	8 618
Ueckermünde	DE	8 846
Weißwasser	DE	15 002
Wriezen	DE	7 379
Zittau	DE	25 499
Bogatynia	PL	18 030
Dębno	PL	13 291
Gryfino	PL	20 297
Gubin	PL	16 114
Chojna	PL	7 340
Kostrzyn nad Odrą	PL	17 899

Krosno Odrzańskie	PL	10 905
Lubań	PL	20 096
Lubsko	PL	13 240
Pieńsk	PL	5 938
Police	PL	30 623
Rzepin	PL	6 447
Słubice	PL	16 495
Szczecin	PL	387 700
Witnica	PL	6 524
Żary	PL	36 004
Zgorzelec	PL	29 313



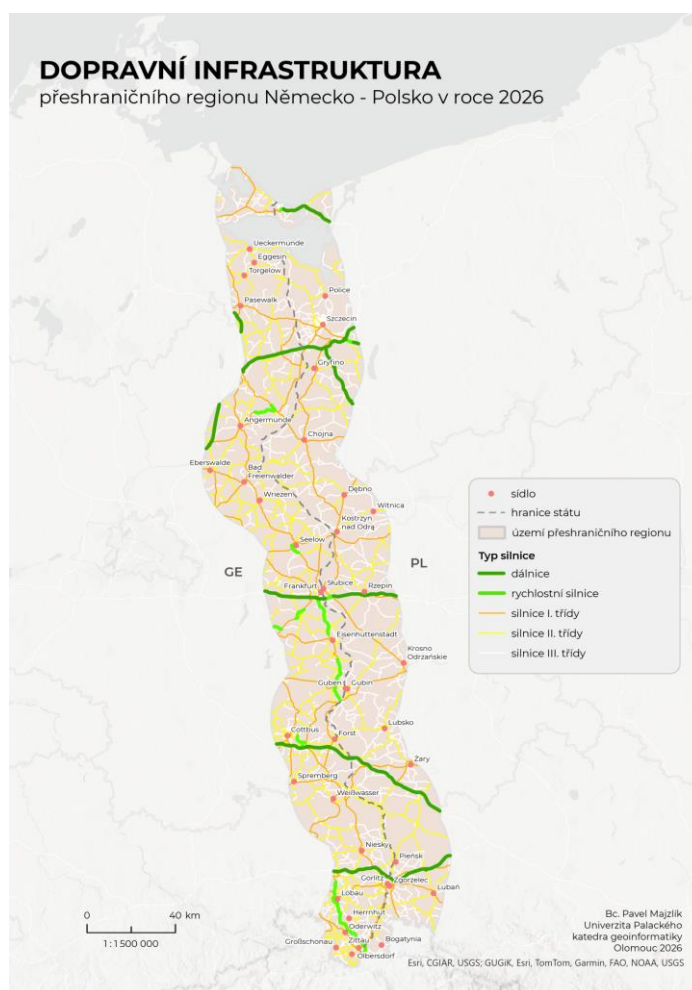
Obr. 34 Sídla nad 5 000 obyvatel v přeshraničním regionu GE – PL.

I přes dlouhou hranici mezi Německem a Polskem se zde nevyskytuje velký počet sídel s více než 5 000 obyvateli. Je to dáno menší urbanizací regionu oproti například západní Evropě. Osídlení je rovnoměrně rozprostřeno po celé délce hranice, kde na německé straně hranice se nachází více sídel menšího charakteru, a naopak na polské straně menší počet sídel významnějšího charakteru. Nejvýznamnějším sídlem je Szczecin, jak svou rozlohou,

tak počtem obyvatel. Nachází se v severní části přeshraničního regionu a výrazně ovlivňuje ekonomiku celého přeshraničního regionu.

### 5.3.3 Dopravní infrastruktura

Do roku 1989 byla přeshraniční doprava v tomto regionu omezena a hraniční přechody fungovaly jen na málo místech pro oficiální obchodní a státní účely. Pohyb osob a zboží byl regulován kontrolami a cestování bylo možné pouze s povolením od státních orgánů. V těchto letech nebyly rozvinuté žádné navazující dopravní koridory propojující obě země. Po roce 1989 bylo možno cestovat mezi zeměmi s platným pasem. Po vstupu obou zemí do Schengenského prostoru byly navíc zrušeny hraniční kontroly a zjednodušení přeshraniční dopravy.



Obr. 35 Dopravní infrastruktura v přeshraničním regionu GE – PL.

Region obsahuje celkem 4 dálniční koridory, které propojují obě země. Nejvýznamnějším je dálnice A11/A6 propojující Berlín s polským sídlem Szczecin a dále severněji Koszalin. Dalším koridorem je dálnice A2/E30, která propojuje Poznaň s německým hlavním městem Berlin. Posledním je spojení polského sídla Wroclaw s německými sídly Cottbus a Dresden. Jedná se o dálnice A18/A15 (Wroclaw – Cottbus) a A4 (Wroclaw – Dresden). Dálniční infrastruktura je zde velmi dobře napojená v přeshraniční oblasti, a kromě jednoho případu (na polskou S3 navazuje na německé straně silnice první třídy) na sebe rychlostní komunikace navazují.

Důležitým tématem jsou silniční přechody přes přirozenou hranici tvořenou řekou. , Kromě dálničního propojení je také důležitá četnost propojení na silnicích nižších tříd. Ta by měla zajišťovat dobré dopravní napojení i v místech, kde se dálniční síť nenachází. Kromě čtyř dálničních koridorů se zde nachází pouze 7 hraničních přechodů na silnicích první třídy a 9 přechodů na silnicích druhé třídy. Počet přechodů je nízký, a to ovlivňuje přeshraniční dopravu obyvatel. Kvůli nedostatku mostů obyvatelé musí často zajíždět několik desítek kilometrů, aby se dostali přes hranice země.

Nedostatek mostů nekomplikuje pouze dopravu po silnicích, ale také nedostatek přeshraničních železničních spojení. Mezi nejvýznamnější železniční koridory patří Frankfurt – Ślubice, který propojuje Berlín s polským Szczecinem a zajišťuje nákladní i osobní přepravu po železnici. Mezi další železniční koridory patří například Guben – Gubin nebo Forst – Zasięki, které slouží více k regionální dopravě. Celkově se na celé hranici nachází pouze 10 železničních přechodů, což je velmi málo a opět se potvrzuje nedostatek mostů k propojení mezi oběma státy. Je to zapříčiněno historicky, kdy byly tratě po druhé světové válce zničeny a musely být vybudovány znovu. Některé trasy byly po válce obnoveny ale pouze do vnitrozemí pro vnitrostátní účely.

Zlepšení přeshraniční infrastruktury by vyžadovalo investice do výstavby nových mostů přes řeky Odru a Nisu a také rozšíření dopravních spojení přes německo-polskou hranici. I když jsou v regionu dobře propojené rychlostní komunikace, kvůli nedostatku mostů by zde hodnoty efektivity silniční sítě podle předpokladů měly vykazovat spíše průměrné hodnoty.

### 5.3.4 Analýza efektivity silniční sítě pomocí indikátoru NER

Indikátor efektivity silniční sítě byl vypočítán pro 41 sídel nacházející se v německo-polské přeshraniční oblasti. Opět byl využit toolbox Road Efficiency on EU cross borders a jeho skripty. Výpočet proběhl stejně jako v předcházejících případových studiích, tedy počátkem síťové analýzy ODCostMatrix přes výpočet teoretického času a následného dosazení do vzorce. Výsledky jsou zapsány do tabulky 9.

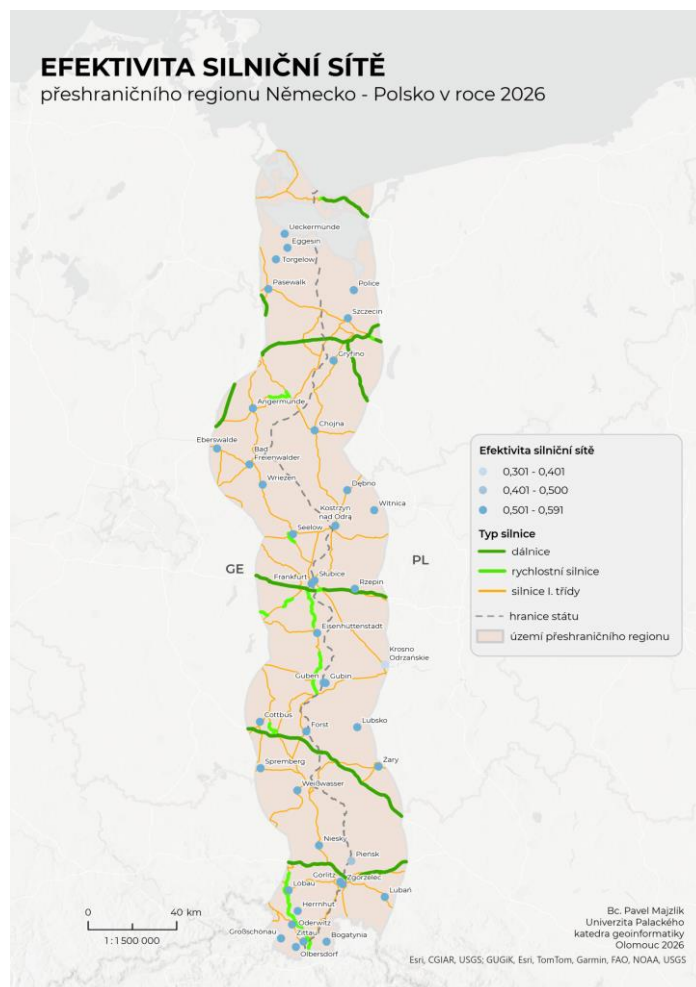
Tabulka 9 Výsledky efektivity silniční sítě v přeshraničním regionu GE – PL.

Sídlo	Stát	Populace	NER
Žary	PL	36 004	0,591
Lubań	PL	20 096	0,591
Eberswalde	DE	38 844	0,587
Angermünde	DE	13 600	0,579
Pasewalk	DE	10 047	0,574
Kostrzyn nad Odrą	PL	17 899	0,570
Dębno	PL	13 291	0,570
Löbau	DE	15 531	0,563
Szczecin	PL	387 700	0,562
Niesky	DE	8 956	0,562
Forst	DE	19 053	0,561
Chojna	PL	7 340	0,561
Großschönau	DE	5 163	0,560
Olbersdorf	DE	6 250	0,560
Eisenhüttenstadt	DE	30 234	0,560
Cottbus	DE	98 693	0,559
Weißwasser	DE	15 002	0,559

Zittau	DE	25 499	0,558
Gryfino	PL	20 297	0,557
Frankfurt	DE	61 969	0,556
Gubin	PL	16 114	0,556
Eggesin	DE	6 098	0,555
Oderwitz	DE	5 300	0,555
Bad Freienwalder	DE	12 403	0,554
Police	PL	30 623	0,553
Herrnhut	DE	5 695	0,552
Ślubice	PL	16 495	0,552
Spremberg	DE	21 140	0,550
Bogatynia	PL	18 030	0,548
Lubsko	PL	13 240	0,546
Zgorzelec	PL	29 313	0,546
Guben	DE	17 655	0,545
Görlitz	DE	57 427	0,543
Witnica	PL	6 524	0,542
Ueckermünde	DE	8 846	0,537
Wriezen	DE	7 379	0,534
Seelow	DE	5 316	0,524
Rzepin	PL	6 447	0,516
Torgelow	DE	8 618	0,507
Pieńsk	PL	5 938	0,498
Krosno Odrzańskie	PL	10 905	0,379

Přeshraniční sídla na německo-polské hranici vykazují hodnoty od 0,498 do 0,591 a celý region má průměrnou hodnotu **0,550**. Jedná se o **střední úroveň** efektivity silniční sítě. Nejvyšší hodnoty byly spočítány u polských sídel Lubań (0,591) a Żary (0,591), následují německá sídla Eberswalde (0,587), Angermünde (0,579) a Pasewalk (0,574). Polská sídla se nacházejí na jižní části přeshraničního regionu, zatímco německá sídla leží na severu. Nejnižší hodnoty byly vypočteny pro sídla Krosno Odrzańskie (0,397) a Pieńsk (0,498). Pieńsk se nachází přímo u hranice poblíž dálničního koridoru Wrocław – Dresden, ale nemá k dispozici žádný přímý silniční přechod a trasa tak není přímá, jak by mohla být. Krosno Odrzańskie leží ve střední části přeshraničního regionu a v jeho blízkosti se nenachází žádná rychlostní komunikace a kvůli tomu je zde hodnota indikátoru nižší. Jedná se o menší sídla, která neleží přímo na dálničních koridorech a jsou omezeny nízkým počtem hraničních silničních přejezdů přes řeku Odru nebo Nisu. Absence přímého silničního spojení a nižší dostupnost rychlostních komunikací přispívají k nižší aktivitě silniční sítě v těchto sídlech.

Z hlediska rozmístění sídel po přeshraničním regionu vyšla lépe německá sídla s průměrem 0,554 než polská sídla s průměrem 0,544 a to kvůli sídlu Krosno Odrzańskie, které se jako jediné výrazněji odchyloje od průměru. Jinak jsou rozdíly mezi hodnotami efektivity silniční sítě vyrovnané. Rovnoměrně rozvinutá a propojená dálniční infrastruktura zde hraje větší roli než menší počet silničních přechodů přes hranice. Tento fakt potvrzuje, že důležitým faktorem pro hodnotu indikátoru efektivity silniční sítě není pouze kvalita národní dopravní infrastruktury, ale především míra propojení silnic mezi sousedními státy.



Obr. 36 Efektivita silniční sítě v přeshraničním regionu GE – PL.

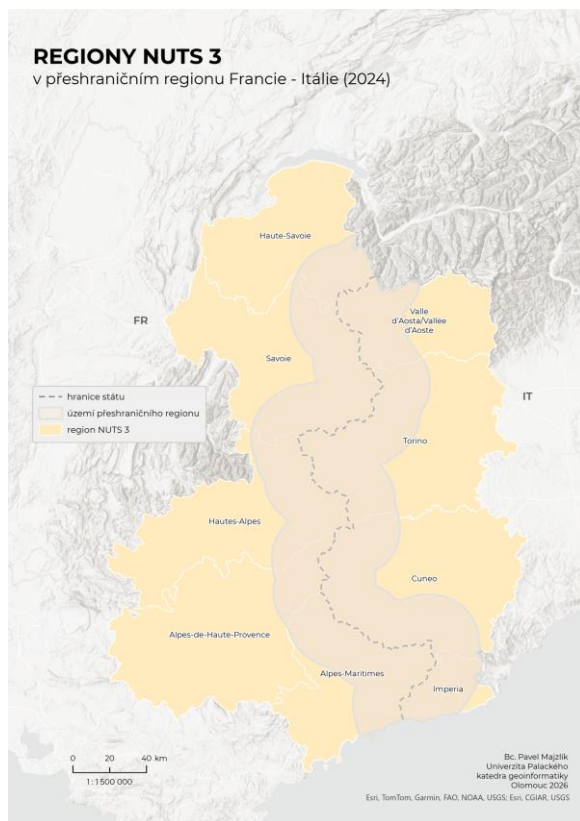
Přeshraniční region Německo-Polsko se svou přírodní bariérou tvořenou řekami Odrou a Nisou vykazuje navzdory předpokladům poměrně dobrou efektivitu silniční sítě. Největším vlivem na dobrý výsledek měla dobře rozvinutá národní silniční infrastruktura v obou zemích, na kterou navazují čtyři dálniční dopravní koridory. Geografická přírodní bariéra, která by mohla být překonána rozvojem mostní infrastruktury, což by zlepšilo dopravní dostupnost menších měst a vesnic, které neleží v blízkosti dálniční sítě. Výstavba mostů byla historicky ovlivněna událostmi během a po druhé světové válce, kdy byly původní mosty zničeny a musely být znovu budovány. Navzdory předpokladům nebyl vliv počtu hraničních přechodů na hodnoty indikátoru velký.

## 5.4 Francie – Itálie

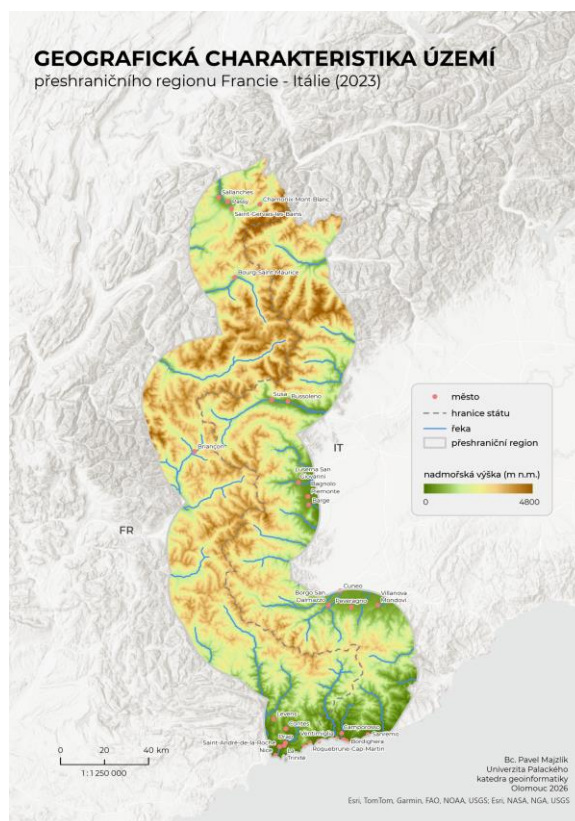
Čtvrtou analyzovanou oblastí byl zvolen přeshraniční region Francie – Itálie, který se nachází v západní Evropě. Tato hranice je tvořena přirozenou bariérou, kterou tvoří z velké části pohoří Alp s nejvyšším evropským vrcholem Mont Blanc. Na rozdíl od jiných evropských hranic byla v moderní historii politicky stabilní a součástí západního bloku. Pro tuto diplomovou práci byla oblast vybrána z důvodu prozkoumání vlivu reliéfu na dopravní propojení obou států.

### 5.4.1 Charakteristika území

Přeshraniční region se nachází v západní části Evropy a celková délka hranice činí 488 km. Do oblasti zasahuje celkem 9 administrativních jednotek NUTS 3, z francouzské strany to jsou Savoie, Haute-Savoie, Alpes-de-Haute-Provence, Hautes-Alpes, Alpes-Maritimes a z italské strany Valle d'Aosta/Vallée d'Aoste, Imperia, Torino a Cuneo.



Obr. 38 Regiony NUTS 3 v přeshraničním regionu FR – IT.



Obr. 37 Geografická charakteristika území v přeshraničním regionu FR – IT.

Celým územím prochází největší evropské pohoří Alpy s nejvyšším vrcholem Mont Blanc 4 805 m n.m. Reliéf je zde velmi členitý s výraznými hřebeny, které významně ovlivňují dopravní dostupnost (Obr. 37). Pohoří prochází po celé hranici od severu až k jihu, přičemž v jižní části území dochází k postupnému snižování nadmořské výšky. Horské prostředí je charakteristické velkým podílem lesních porostů a skalnatých oblastí. Významnou roli zde hrají horská údolí, která představují hlavní oblasti osídlení. Jediným místem, kde je souvislý rovinatý terén, je oblast úplně na jihu u Středozemního moře, kde se nadmořská výška pohybuje do 500 m n.m. Vodní síť je tvořena řekami pramenícími v Alpách, například řeka Roya, která překračuje francouzsko-italskou hranici a vlévá se do Středozemního moře.

### 5.4.2 Sídelní a populační struktura

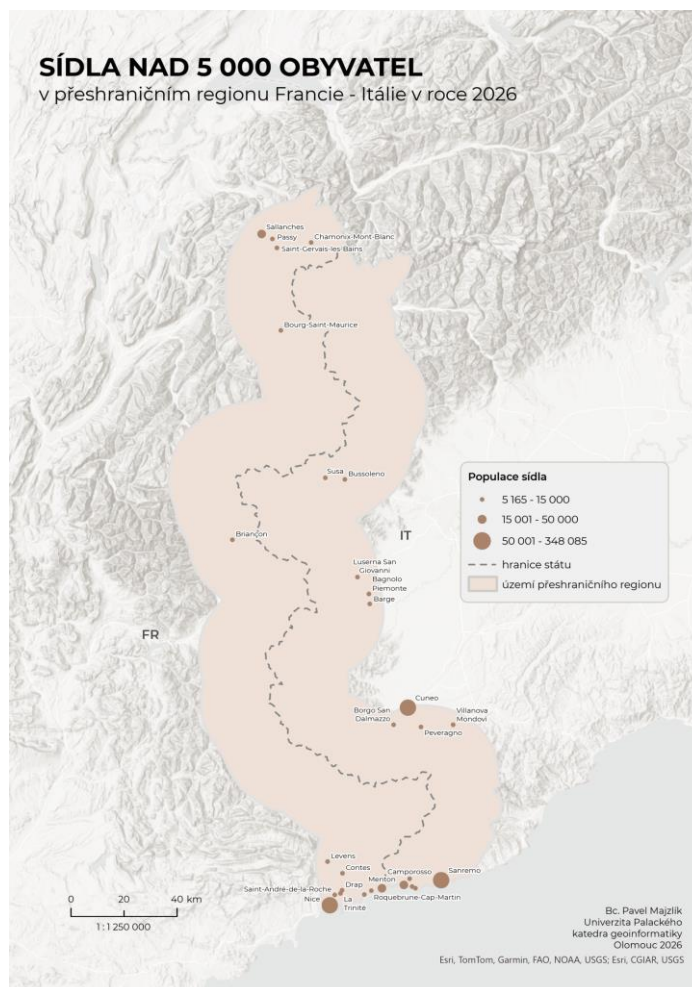
Populační strukturu přeshraničního regionu Francie – Itálie tvoří přibližně 1,2 milionu obyvatel. Sídelní strukturu tvoří sídla menšího charakteru a jediným velkým sídlem je Nice s velikostí populace 348 085. V přeshraničním regionu je celkem 29 sídel přesahující hodnotu 5 000 obyvatel a vstupuje do analýzy efektivity silniční sítě. Jedná se o 14 italských sídel s průměrem 15 280 a 15 francouzských sídel s průměrem 33 182 obyvatel.

Bez nejlidnatějšího sídla Nice by byl průměr velikosti francouzských sídel 10 689 obyvatel. Přehled sídel je zobrazen v tabulce 10.

Tabulka 10 Přehled sídel v přeshraničním regionu FR – IT.

<b>Sídlo</b>	<b>Stát</b>	<b>Populace</b>
Beausoleil	FR	12 674
Bourg-Saint-Maurice	FR	7 187
Briançon	FR	10 561
Contes	FR	7 544
Drap	FR	5 238
Chamonix-Mont-Blanc	FR	8 642
La Trinité	FR	10 276
Levens	FR	5 165
Menton	FR	30 412
Nice	FR	348 085
Passy	FR	11 068
Roquebrune-Cap-Martin	FR	12 371
Saint-André-de-la-Roche	FR	5 782
Saint-Gervais-les-Bains	FR	5 602
Sallanches	FR	17 133
Bagnolo Piemonte	IT	5 431
Barge	IT	7 211
Bordighera	IT	10 456
Borgo San Dalmazzo	IT	11 274
Bussoleno	IT	6 457
Camporosso	IT	5 427
Cuneo	IT	55 939
Luserna San Giovanni	IT	7 866
Peveragno	IT	5 551
Sanremo	IT	54 807
Susa	IT	6 686
Vallecrosia	IT	7 182
Ventimiglia	IT	24 189
Villanova Mondovi	IT	5 445

Osídlení regionu je výrazně ovlivněno reliéfem regionu – hustější osídlení se nachází v údolích a v nižších horských oblastech, zatímco vysokohorské oblasti jsou téměř neosídlené. 14 z 29 sídel se nachází v rovinaté oblasti u Středozemního moře. Sídla často plní roli turistických center v okolí horských oblastí nebo rekreačních center u pobřeží Středozemního moře. Celková hustota osídlení není příliš vysoká, ať už kvůli Alpám nebo je dána historickým rozvojem sídel u dopravních koridorů.



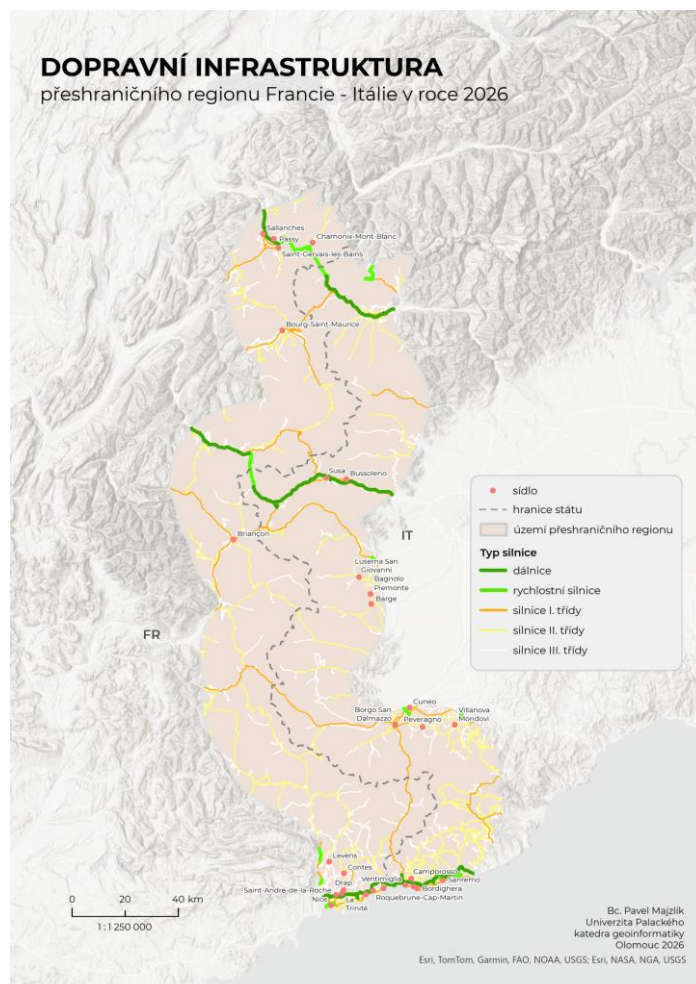
Obr. 39 Sídlá nad 5 000 obyvatel v přeshraničním regionu FR – IT.

### 5.4.3 Dopravní infrastruktura

Horský charakter území ovlivňuje velmi výrazně dopravní infrastrukturu v přeshraničním regionu. Hlavní dopravní koridory silniční nebo železniční vedou podél údolí Alp a horských průsmyků, kde je možnost zajistit prostupnost terénu. Během 20. století platily hraniční kontroly mezi státy, ale existovaly výjimky a v některých oblastech byl pohyb osob volný. Formálně bez hraničních kontrol na celé hranici se cestovalo až po vstupu obou zemí do Schengenského prostoru na konci 20. století.

Ačkoli je oblast omezena přírodní bariérou, tak se zde nachází 3 dálniční koridory, které na sebe navazují (Obr. 40). Mezi nejvýznamnější dopravní spojení mezi Francií a Itálií patří dálniční koridor A8/A10 propojující pobřeží Středomoří od Janova až po Aix-en-Provence. V oblasti Alp je přeshraniční propojení zajištěno prostřednictvím tunelů a horských průsmyků, které jsou napojeny na dálniční síť. Například Mont Blanc Tunnel, který prochází hranici pod horou Mont Blanc hraje důležitou roli v dopravním spojení obou zemí, kde je z italské strany napojen na dálnici A5 a na francouzské straně se napojuje na dálnici A40. Dalším tunelem, který významně zajišťuje dopravní propojení je Fréjus Tunnel procházející ve střední části přeshraniční oblasti a opět spojuje dálniční koridor mezi oběma zeměmi, konkrétně z italského Turína do francouzského Saint-Jean-de-Maurienne. Tunely výrazně zkracují cestovní časy a bez nich by se nedalo cestovat mezi Francií a Itálií v horském terénu.

Železniční síť není tak hustá jako silniční a zajišťuje většinou vnitrostátní dopravu. V horských oblastech je trať vedena přes tunely a viadukty, které překonávají členitý terén. Přeshraniční spojení je na severní a střední části hranice vedeno podél hlavních silničních tahů v údolích a dále jsou přes tunely napojeny na druhou stranu hranice. Celkem se nachází v hornaté oblasti přes Alpy pouze 2 železniční přejezdy přes hranice, kdy nejvýznamnějším vede přes tunel Fréjus. V rovinaté oblasti na jihu je železniční síť hustější kvůli příznivým geografickým podmínkám a vyššímu osídlení. Železniční trať vedoucí kolem pobřeží spojuje italská a francouzská sídla.



Obr. 40 Dopravní infrastruktura v přeshraničním regionu FR – IT.

Četnost silničních přechodů přes hranice je kromě 3 tunelů napojených na dálnice tvořena 7 silnicemi první třídy a 3 silnicemi druhé třídy. Stavba tunelů by umožnila ještě lépe propojení silniční sítě, ale jejich velká ekonomická nákladnost omezuje a komplikuje jejich výstavbu. Celková dopravní situace není v přeshraničním regionu tak špatná, jak by se na první pohled mohlo zdát. Přes velkou přírodní bariéru jsou zde vystavěny tunely, přes které mohou obyvatelé cestovat do obou zemí.

#### 5.4.4 Analýza efektivity silniční sítě pomocí indikátoru NER

Efektivita silniční sítě byla vypočítána pro 29 sídel v přeshraničním regionu Francie – Itálie prostřednictvím toolboxu Road Efficiency on EU cross borders. Výsledky jsou zobrazeny v tabulce 11.

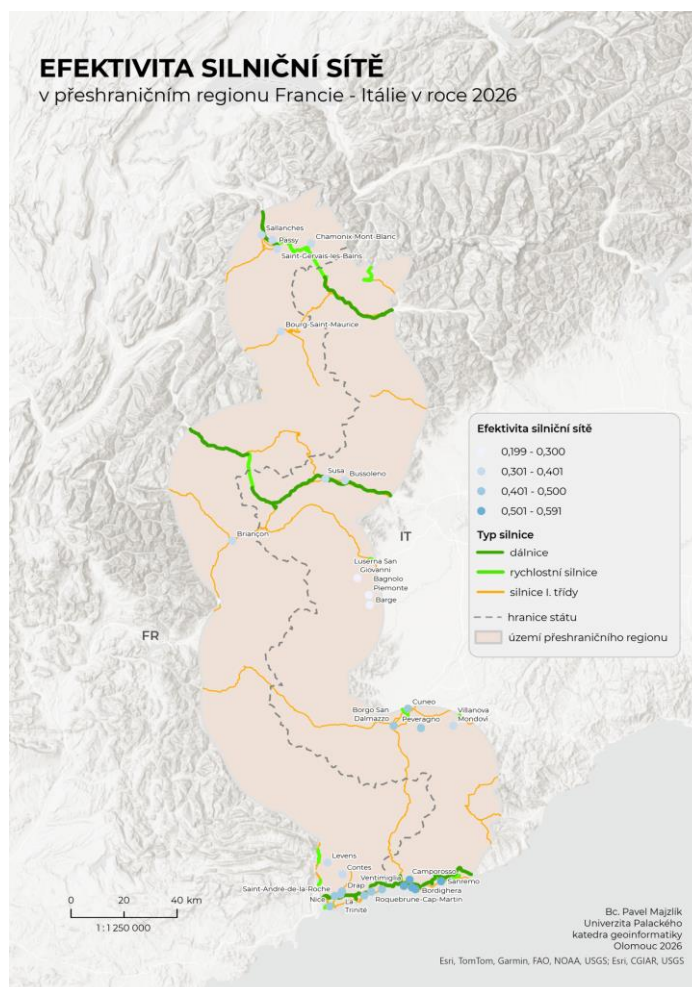
Tabulka 11 Výsledky efektivity silniční sítě v přeshraničním regionu FR – IT.

Sídlo	Stát	Populace	NER
Sanremo	IT	54 807	0,591
Ventimiglia	IT	24 189	0,570
Vallecrosia	IT	7 182	0,566
Bordighera	IT	10 456	0,563
Camporosso	IT	5 427	0,538
Nice	FR	348 085	0,461
Saint-André-de-la-Roche	FR	5 782	0,460
La Trinité	FR	10 276	0,434
Cuneo	IT	55 939	0,432
Borgo San Dalmazzo	IT	11 274	0,425
Menton	FR	30 412	0,424
Beausoleil	FR	12 674	0,421
Drap	FR	5 238	0,419
Roquebrune-Cap-Martin	FR	12 371	0,417
Peveragno	IT	5 551	0,409
Villanova Mondovì	IT	5 445	0,394
Briançon	FR	10 561	0,380
Contes	FR	7 544	0,370
Levens	FR	5 165	0,362
Susa	IT	6 686	0,344
Bussoleno	IT	6 457	0,340
Chamonix-Mont-Blanc	FR	8 642	0,333
Bourg-Saint-Maurice	FR	7 187	0,332
Sallanches	FR	17 133	0,330
Passy	FR	11 068	0,328
Saint-Gervais-les-Bains	FR	5 602	0,322
Luserna San Giovanni	IT	7 866	0,237
Bagnolo Piemonte	IT	5 431	0,207
Barge	IT	7 211	0,200

Výsledky indikátoru efektivity silniční sítě se pohybují v rozmezí 0,200 až 0,591 a celý přeshraniční region má průměr **0,400**. Jedná se o **nízkou úroveň** efektivity silniční sítě. Nejvyšší hodnoty byly vypočítány pro sídla Sanremo (0,591), Ventimiglia (0,570), Vallecrosia (0,566) a Bordighera (0,563). Všechna sídla se nachází na italské straně hranice a jedná se o sídla, která leží nejjihněji u Středozemního moře, kde je nejlépe rozvinutá infrastruktura v celém přeshraničním regionu. Nejnižší hodnoty jsou u sídel Barge (0,200), Bagnolo Piemonte (0,207), Luserna San Giovanni (0,237). Sídla se nachází ve středu přeshraničního regionu v údolí s horším napojením na jižní část kvůli nedostatku vybudovaných silničních přechodů. Tím se prodlužují cestovní časy a snižuje se efektivita silniční sítě.

Rozmístění sídel z hlediska efektivity silniční sítě je dáno geografickými podmínkami, kdy sídla na severu s nejvyšší nadmořskou výškou dosahují hodnot kolem 0,3. Směrem k jižní části regionu hodnoty efektivity silniční sítě postupně rostou. Výjimku tvoří skupina tří italských sídel, která vykazují nižší hodnoty v důsledku horšího napojení na silniční hraniční přechody. V jižní části italské strany se nachází skupina čtyř sídel – Cuneo,

Peverango, Borgo San Dalmazzo a Villanova Mondovi, jejichž hodnoty se pohybují kolem 0,4. Na nejnižší straně přeshraničního regionu se nachází sídla s nejvyššími hodnotami efektivity silniční sítě. Na francouzské straně se vyskytují hodnoty od 0,36 po 0,46 a na italské straně od 0,53 po 0,59. Celkově vykazuje lepší výsledky italská strana hranice s průměrem 0,416 než francouzská strana hranice s průměrem 0,386. Hlavním faktorem je lepší rozmístění italských sídel (kromě těch s nejnižším NER) vůči silničním přechodům přes hranice, které v tomto hornatém přeshraničním regionu nejvýrazněji ovlivňují dopravní dostupnost.



Obr. 41 Efektivita silniční sítě v přeshraničním regionu FR – IT.

Celkově přeshraniční region Francie – Itálie vykazuje nízké hodnoty efektivity silniční sítě, která je zde omezoována přírodní bariérou v podobě Alp. Ke zvýšení hodnot efektivity by pomohlo rozšíření počtu silničních přechodů přes hranici, to znamená více tunelů pod hornatým terénem. Výstavba by mohla být zároveň doplněna stavbu a modernizaci dálničních komunikací uvnitř jednotlivých států, které by zkrátily cestovní časy mezi sídly a zlepšily přeshraniční napojení. Tyto projekty jsou však limitovány vysokými finančními náklady zejména realizace stavby tunelů v horském prostředí.

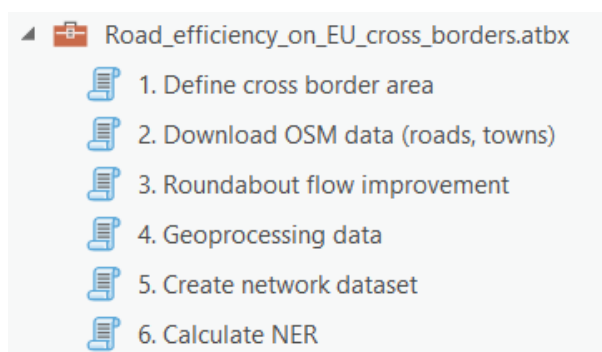
## 6 VÝSLEDKY

Cílem diplomové práce bylo vytvořit sadu minimálně pěti programů na automatické zpracování dat pro přeshraniční profily v Evropě. Nad přeshraničními daty měly být následně prováděny prostorové analýzy. Programy měly být realizovány jako Python skripty s využitím knihovny ArcPy pro software ArcGIS Pro ve formě toolboxu nebo Jupyter notebooků. Hlavním tématem byla dopravní infrastruktura v přeshraničních regionech.

V této kapitole jsou shrnuty výsledky práce vzhledem k jejich cílům. Hlavním výstupem je toolbox Road Efficiency on EU cross borders, který obsahuje šest dílčích skriptů od stažení dat, preprocessingu, přípravy dat, síťových analýz po výpočet efektivity silniční sítě v přeshraničních regionech, která byla zvolena jako komplexní indikátor hodnocení dopravní infrastruktury. Dalším výstupem jsou čtyři případové studie vybraných přeshraničních regionů. U každé studie bylo vytvořeno pět mapových výstupů od geografické charakteristiky přes dopravní infrastrukturu po vizualizace výsledků efektivity silniční sítě. Dále je v textu detailně popsána poloha regionu, jeho přírodní bariéry, sídelní a dopravní infrastruktura a hodnocení z hlediska NER.

### 6.1 Toolbox Road Efficiency on EU cross borders

Očekávaným hlavním výstupem diplomové práce je toolbox Road Efficiency on EU cross borders, který zastřešuje šest dílčích skriptů v jazyce Python. Skripty jsou vytvořeny nad dvěma zdroji dat. Prvním zdrojem je evropský portál GISCO, a to konkrétně polygonová vrstva NUTS 3 regionů tvořící základ pro definování přeshraničních 25 km zón na obě strany hranice. Druhým datovým zdrojem byla zvolena databáze OpenStreetMap, ze které byla využita silniční síť a sídelní infrastruktura. Oba zdroje dat jsou volně dostupné pro uživatele. Vytvořený toolbox je volně k dispozici na portále GitHub, kde je umístěn společně s testovacími daty (přeshraniční regiony BE – NE a FR – IT).



Obr. 42 Toolbox Road efficiency on EU cross borders.

#### 6.1.1 Define cross border area

První skript slouží k vytvoření přeshraniční oblasti definované 25 km obalovou zónou na obě strany hranice. Vstupují do něj NUTS 3 regiony, které se dotýkají státní hranice na obou stranách. Polygony jsou nejprve převedeny na linie a pomocí atributů LEFT\_FID a RIGHT\_FID identifikuje úseky, které tvoří hranice mezi dvěma různými státy. Hraniční úseky jsou spojeny a uloženy do jedné geometrie. Na základě výsledné hranice mezi dvěma státy je vytvořena obalová zóna 25 km na obě strany. Posledním krokem je ořezání podle vstupních polygonů, aby buffer nepřesahoval do třetího státu. Výstupem jsou dvě vrstvy – liniová vrstva hranice přeshraniční oblasti a polygonová vrstva přeshraniční oblasti.

### 6.1.2 Download OSM data

Dalším skriptem po získání přeshraniční oblasti byla automatizace stažení dat z OpenStreetMap. Do skriptu vstupují dvě hlavní vrstvy – přeshraniční oblast a NUTS 3 kvůli přidání informace o státní příslušnosti. Ke stažení bylo využito rozhraní Overpass API, přes které byly staženy vybrané typy silnic a ze sídel vybrána pouze ta s více než 5 000 obyvateli. Také byly vybrány nejpodstatnější atributy kvůli úspoře dat. Prostorový dotaz probíhá přes ohraničující obdélník, protože API neumožňuje pracovat s polygonovou geometrií. Výsledná data jsou ořezána podle přeshraniční oblasti a u sídel je doplněn atribut o státní příslušnosti. Výsledné dvě vrstvy jsou uloženy do uživatelem zvolené geodatabáze – vrstva silniční sítě a vrstva sídel nad 5 000 obyvatel.

### 6.1.3 Roundabout flow improvement

Po řadě testování průjezdnosti silniční sítě z OSM byl zjištěn problém s neprůjezdností u velké části kruhových objezdů. Bylo nutné vytvořit skript, který problém vyřeší. Kruhové objezdy byly spojeny s příjezdovými komunikacemi, ale v místě dotyku neexistoval uzel a při síťové analýze nebylo možno projet a trasa z výchozího do cílového bodu se prodlužovala. Nejprve jsou identifikovány všechny kruhové objezdy z atributu staženého v předchozím skriptu a také všechny silnice, které se dotýkají kruhových objezdů. Ve skriptu se používá nástroj *Feature To Line*, který rozřezává silnice v místě křížení a přidává topologické uzly. Atributy jsou následně přiřazeny přes Spatial Join a upravené úseky jsou sloučeny s ostatními silnicemi, které se kruhových objezdů nedotýkají. Vzniká nová topologicky správná vrstva silniční sítě pro další zpracování.

### 6.1.4 Geoprocessing data

K topologicky správné síti bylo potřeba připravit data do podoby, aby s nimi šlo dělat síťové analýzy. To znamená, přiřadit rychlostní limity všem úsekům, vypočítat cestovní časy a změnit polohu sídel přesně na silniční síť. Vstupem byly dvě vrstvy – silniční síť a sídla. Rychlostní limity jsou přiřazovány na základě informace o typu silnice (atribut *highway*), která byla stažena ve druhém skriptu. Limity jsou násobeny koeficientem 0,9 pro přiblížení reálným podmínkám. Dalším krokem je spočítání cestovních časů v minutách podle vzorce  $\text{čas} = (\text{rychlost} / \text{délka}) * 60$ . Přesun bodových znaků sídel na silniční síť je prováděn podle hierarchického řazení, kde se nejprve hledají v blízkosti 250 metrů silnice první třídy, později druhé, třetí, rezidenční oblasti a nakonec dálnice. Pokud by se v tomto okolí nenašla ani jedna varianta, hledá se oblasti 500 metrů.

### 6.1.5 Create network dataset

Předposledním skriptem se automatizuje vytvoření síťového datasetu v ArcGIS Pro, aby to uživatel nemusel vytvářet manuálně. Před vytvořením síťového datasetu se nejprve ověří dostupnost rozšíření Network Analyst, správný formát vstupní vrstvy silniční sítě a souřadnicový systém. Poté se vytvoří Feature Dataset v zadané geodatabázi, nakopíruje se do něj silniční síť a spustí se proces k sestavení sítě.

### 6.1.6 Calculate NER

Poslední skript číselně počítá efektivitu silniční sítě v přeshraničních regionech pro každé sídlo. Síťovou analýzou je zjištěn skutečný cestovní čas mezi všemi dvojicemi sídel v přeshraničním regionu a zapsán do tabulky v Excelu ve formátu City1 – City2 – Actual. Pro srovnání je potřeba vypočítat také teoretický čas, který je definován euklidovskou

vzdáleností při rychlosti 120 km/h. Je vypočítán pouze pro přeshraniční dvojice sídel a zapsán ve stejném formátu do tabulky v Excelu. Pro naplnění vzorce NER se získává hodnota populace sídel, která v pozdější fázi vstupuje do výpočtu. Dále jsou načteny přeshraniční dvojice a podle vzorce jsou vyděleny skutečné cestovní časy teoretickými a následně násobeny hodnotou populace. Proces je prováděn pro jedno sídlo vůči všem cílovým sídlům. V čitateli jsou násobeny hodnoty poměru skutečného a teoretickému času počtem obyvatel cílového sídla a následně sečteny. Ve jmenovateli se sčítá populace všech cílových sídel k jednomu výchozímu. V posledním kroku proběhne dělení čitatele jmenovatele, čímž vznikne hodnota neefektivitativy silniční sítě. Hodnota indikátoru NER je získána podílem 1 a tohoto průměru. Stejný princip se ve skriptu aplikuje na každé sídlo. Výsledné hodnoty se pohybují v rozmezí mezi 0 a 1., Čím více se hodnota blíží 1, tím je silniční spojení z daného sídla s přeshraničními sídly efektivnější.

## 6.2 Případové studie

Pro ověření funkčnosti skriptů a analýzu vybraných přeshraničních oblastí byly vypracovány čtyři případové studie, které se výrazně liší. Každá oblast je specifická, např. region Francie – Itálie je z velké části tvořen pohořím Alpy nebo v regionu Německo – Polsko tvoří řeka přirozenou hranici mezi státy. Pro každou případovou studii byla detailně rozebrána její poloha, geografická charakteristika, sídelní a dopravní infrastruktura a analýza efektivity silniční sítě. Pro každou ze čtyř studií bylo vytvořeno pět mapových výstupů, celkem tedy 20.

Tabulka 12 Přehled hodnot indikátoru NER u čtyřech případových studií.

Přeshraniční region	Průměr. NER A	Průměr. NER B	Min. NER	Max. NER
CZ – SK	0,513 CZ	0,518 SK	0,457 Kysucké N. Mesto	0,588 Malacky
BE – NE	0,639 BE	0,652 NE	0,436 Vlissingen	0,742 Roermond
GE – PL	0,554 GE	0,544 PL	0,397 Krosno Odrzańskie	0,591 Lubaň
FR – IT	0,386 FR	0,416 IT	0,200 Barge	0,591 Sanremo

## 7 DISKUZE

Na začátku tvorby diplomové práce po vypracování rešerše bylo nutné postupně promýšlet funkčnost toolboxu a zvolit vhodné datové sady pokrývající Evropu. Volba datových sad se odvíjela také od definice přeshraničního regionu – zda použít přímo regiony NUTS 3, anebo užší 25 km obalovou zónu na obě strany hranice. Použití celých území regionů NUTS 3 by představovalo velkou datovou zátěž pro uživatele a také výpočetně náročnější zpracování, proto byla zvolena 25 km zóna, která je datově a výpočetně méně náročná. Vhodné vymezení přeshraničního regionu bylo důležité i pro vymezení oblastí, ze které se mají získat data silniční sítě. Regiony NUTS 3 z evropského portálu GISCO se staly tedy základním datovým zdrojem pro vymezení přeshraničních oblastí. Jako hlavní zdroj prostorových dat byla vybrána databáze OpenStreetMap, která je volně dostupná a pravidelně aktualizovaná.

Výběr datové sady z OpenStreetMap s sebou nesl nejistotu v kvalitě topologie silniční sítě, která se potvrdila. Byl zjištěn problém v neprůjezdnosti kruhových objezdů, kdy v místě napojení příjezdových komunikací chyběly topologické uzly. V praxi to znamenalo, že síťová analýza nemohla propojit silnice přes kruhové objezdy a trasy se prodlužovaly nebo vedly zbytečně oklikou. Řešením bylo vytvoření skriptu s názvem Roundabout flow improvement, který přidává uzly v průsečíků kruhových objezdů s dotýkajícími se silnicemi. Datová sada z OSM rovněž neobsahuje rychlostní limity u silnic, což bylo následně řešeno jednoduchým výpočtem v dalším dílčím skriptu.

Výpočet indikátoru NER vychází ze studie Christodoulou et al. (2019), avšak metodika byla pro účely této práce upravena. Původní přístup pracoval s populačním gridem o velikosti buňky 1x1 km a jako cílová místa vybíral pět nejlidnatějších sídel v okruhu 75 km. Výpočet se tak prováděl pro každou buňku přeshraniční oblasti. V této diplomové práci jsou místo gridu jako výchozí a cílové body sídla s více než 5 000 obyvateli, která se nacházejí v přeshraničním pásmu 25 km. Zároveň jsou zohledněna všechna dostupná sídla, ne jenom pět nejlidnatějších ve vzdálenosti 75 km. Tato úprava výrazněji přispěla k nižší výpočetní náročnosti a také k jednodušší interpretaci výsledků práce. Negativním faktem oproti gridovému přístupu je skutečnost, že se neberou v potaz menší obce, které mají méně než 5 000 obyvatel. Analýza nepodchytila nejmenší sídla a venkovské oblasti, ale naopak přinesla zajímavé výsledky o větších sídlech.

Dílčí cíl, který se v práci nepodařilo splnit, byla kompletní automatizace tvorby síťového datasetu. Pátý skript s názvem *Create network dataset* automaticky vytvoří Feature dataset v databázi, vytvoří do něj síťový dataset, který ale neobsahuje informaci o cestovních časech. Uživatel musí tuto informaci přidat manuálně v nastavení síťového datasetu a následně postavit síť (Build network). Jedná se sice pouze o dva úkony, ale narušuje to plnou automatizaci celého pracovního postupu. Nastavení cestovního času jako cestovního nákladu nebylo možné provést pomocí knihovny ArcPy ani žádných dalších knihoven.

Hodnoty efektivity silniční sítě jsou v rozmezí od 0 do 1 a obecně lze říci, že čím vyšší hodnota, tím lépe rozvinutá dopravní infrastruktura pro dané sídlo nebo region. Závisí nejenom na rozvinuté dopravní infrastruktuře v přeshraničním regionu, ale také na počtu silničních přejezdů přes hranice, geografické poloze sídla vzhledem k dálnicím nebo rychlostním komunikacím a také na propojení dálnic přes hranice obou zemí. Jde o kombinaci těchto faktorů, které potvrzují případové studie. Například v případové studii Francie – Itálie je špatná geografická poloha sídel na severu regionu a také málo silničních přejezdů v podobě postavených tunelů a nepřiliš hustá silniční síť. Všechny faktory se odráží v tomhle případě na nízkých hodnotách efektivity silniční sítě. V oblasti Nizozemsko

– Belgie, kde je dobře rozvinutá dopravní infrastruktura a velký počet dálnic napojených přes hranice se potvrdilo tvrzení, že přítomnost menších sídel u většího může mít negativní nebo naopak pozitivní efekt v hodnotě indikátoru efektivity silniční sítě. Na příkladu sídla Eindhoven a Maastricht se tento efekt ukázal. Eindhoven má jedno z nejvyšších hodnot NER a pozitivně ovlivňuje sousední sídla, naopak Maastricht má v regionu průměrnou hodnotu a negativně ovlivňuje sídla kolem něj.

Výsledky toolboxu – efektivity silniční sítě v případových studiích jsou v souladu se závěry odborné literatury. Přeshraniční region Belgie – Nizozemsko s průměrnou hodnotou 0,646 odpovídá předpokladům pro hustě osídlené a dobře propojené regiony západní Evropy (Christodoulou et al., 2019, Brons et al., 2022). Region Francie – Itálie s průměrem NER 0,400 potvrzuje tvrzení ze studie Gutiérrez a Urbano, 1996, která se zabývala vlivem hornatého terénu na dopravní dostupnost. Přírodní bariéra v podobě Alp omezuje počet přeshraničních silničních přechodů a prodlužuje cestovní časy. V dalších dvou studiích – Česko – Slovensko (NER 0,516) a Německo – Polsko (NER 0,550) byl vliv přírodních bariér (řeka Odra a Nisa v regionu Německo – Polsko) a hornatého terénu na hranicích (pohoří Beskydy a Javorníky v regionu Česko – Slovensko) částečně významný.

Je třeba zmínit, že na výsledné hodnoty NER může mít vliv i striktní vymezení zóny 25 km od hranice. Může nastat případ, kdy těsně za hranicí existuje silnice nebo dálnice, která dobře propojuje sídla. Nebo dochází oříznutím k přerušení souvislé silnice. Skript ale tyto silnice těsně za hranicí neuvažuje a spočítá tedy nižší hodnoty NER, než by byly reálné hodnoty. Tyto případy se vyskytují řídkce a je třeba identifikovat při detailním zpracování konkrétních přeshraničních oblastí.

Kompletní řešení v podobě toolboxu může být aplikováno na libovolnou přeshraniční oblast, kde jsou dostupná data NUTS 3 z portálu GISCO. Do budoucna by bylo možné ho rozšířit v podobě analýzy železniční sítě nebo veřejné dopravy a nástroj by mohl sloužit k více komplexní analýze v přeshraničních regionech. Toolbox je volně dostupný na platformě [GitHub](https://github.com/pmajzlik/Road_Efficiency_on_EU_cross_borders.git) společně s testovacími daty ([https://github.com/pmajzlik/Road\\_Efficiency\\_on\\_EU\\_cross\\_borders.git](https://github.com/pmajzlik/Road_Efficiency_on_EU_cross_borders.git)).

Výhodou členění vytvořeného toolboxu na jednotlivé nástroje je možnost použít dříve stažená data a vytvořená data a počítat jen například NER. Jedná se zejména o případ, kdy by byla použita data o silniční síti z jiného (placeného) zdroje. Stačí potom jen upravit odpovídající strukturu dat silnic, aby se mohla vytvořit pouze síť a počítat NER. Výhodou členění na jednotlivé skripty je i možnost kontroly mezivýsledků jednotlivých skriptů. Dílčí skripty tak nabízí univerzálnější využití.

## 8 ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo vytvořit sadu minimálně pěti programů, které budou zpracovávat data pro přeshraniční oblasti v Evropě. Bylo naprogramováno celkem šest programů v jazyce Python pro software ArcGIS Pro, které využívají knihovnu ArcPy. Programy byly realizovány ve formě toolboxu, který byl zveřejněn na platformě GitHub společně s testovacími daty. Dílčím cílem bylo stanovení, že skripty budou řešit jak přípravu dat z různých evropských zdrojů dat a také provádět prostorové analýzy na téma dopravní infrastruktura v přeshraničních regionech. Výsledné skripty využívají dva hlavní zdroje pro evropská data – databázi OpenStreetMap a evropský portál GISCO, které jsou volně dostupné. Z OSM jsou využívány vrstvy silnic a sídel, z portálu GISCO regiony NUTS. Pro posouzení dopravní infrastruktury v přeshraničních regionech byl vybrán indikátor Network Efficiency Ratio, který počítá efektivitu propojení dopravní sítě vzhledem k počtu obyvatel v oblasti. Tomu byly přizpůsobeny všechny dílčí skripty, které tvoří součást toolboxu s názvem Road Efficiency on EU cross borders.

Toolbox se skládá z šesti skriptů, které na sebe postupně navazují. První skript Define cross border area vymezuje přeshraniční oblast jako 25 km obalovou zónu na obě strany hranice. Druhý skript Download OSM data automatizuje proces stažení vybraných dat z databáze OpenStreetMap – vybraných typů silniční sítě a sídel s více než 5 000 obyvateli. Třetí skript Roundabout flow improvement řeší problém s neprůjezdností kruhových objezdů a přidává na průsečík objezdu se silnicí topologické uzly. Čtvrtý skript Geoprocessing data přiřazuje rychlost k úsekům silnic podle jejich typu a počítá cestovní čas. Pátý skript Create network dataset automatizuje tvorbu síťového datasetu v ArcGIS Pro. Poslední šestý skript Calculate NER provádí výpočet efektivnosti silniční sítě pro každé sídlo v přeshraničním regionu podle vzorce – výpočet skutečných cestovních časů mezi sídly, teoretických časů a vážení podle populace cílových sídel.

Funkčnost skriptů v toolboxu byla ověřena na čtyřech případových studiích – Česko – Slovensko, Belgie – Nizozemsko, Německo – Polsko a Francie – Itálie. V textu je každá studie detailně rozebrána a pro každou z nich bylo vytvořeno pět mapových výstupů – geografická charakteristika území, regiony NUTS 3 v přeshraniční oblasti, sídla nad 5 000 obyvatel, dopravní infrastruktura a efektivita silniční sítě v daném přeshraničním regionu. Mapy jsou vloženy přímo v textu i v přílohách. Nejvyšší hodnoty u indikátoru NER vykazoval region Belgie – Nizozemsko s výbornou dopravní infrastrukturou a velkým počtem propojených rychlostních komunikací napříč celou oblastí. Naopak nejnižší hodnoty byly vypočítány pro region Francie – Itálie, kterým prochází pohoří Alpy a omezuje počet přeshraničních silničních spojení. Uprostřed mezi zmíněnými oblastmi vyšly regiony Česko – Slovensko a Německo – Polsko, u kterých nehrály tak velkou roli přírodní bariéry a hornatý terén.

Přínos práce spočívá ve funkčním nástroji pro hodnocení dopravní efektivnosti v přeshraničních regionech Evropy, který je volně dostupný pro širokou veřejnost na portálu GitHub. Toolbox je aplikovatelný na jakoukoli přeshraniční oblast v Evropě, pro kterou jsou dostupná data NUTS 3 z portálu GISCO a data z OpenStreetMap. Oba datové zdroje jsou volně dostupné, ani používání toolboxu není omezeno licenčními podmínkami. Toolbox tvoří základ pro další rozvoj hodnocení dopravní dostupnosti v přeshraničních regionech Evropy.

## POUŽITÁ LITERATURA A INFORMAČNÍ ZDROJE

ALLEN, W. Bruce; LIU, Dong a SINGER, Scott, 1993. Accessibility measures of U.S. metropolitan areas. *Transportation Research Part B: Methodological*. Roč. 27, č. 6, s. 439-449. ISSN 0191-2615. Dostupné z: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0191-2615\(93\)90016-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0191-2615(93)90016-4).

BALL, Rick, 1996. Local sensitivities and the representation of peripherality. *Journal of Transport Geography*. Roč. 4, č. 1, s. 27-36. Dostupné z: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0966-6923\(95\)00036-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0966-6923(95)00036-4).

BOTHAM, R W, 1980. The regional development effects of road investment. *Transportation Planning and Technology*. Roč. 6, č. 2, s. 97-108. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/03081068008717180>.

BRAKMAN, Steven; GARRETSEN, Harry; MARREWIJK, Charles a OUMER, Abdella, 2012. The Border Population Effects of EU Integration. *Journal of Regional Science*. Roč. 52. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.2011.00752.x>.

BRONS, Martijn; DIJKSTRA, Lewis; IBÁÑEZ, Juan Nicolás; POELMAN, Hugo a STADTENTWICKLUNG, Europäische Kommission Generaldirektion Regionalpolitik und, 2022. *Road infrastructure in Europe: road length and its impact on road performance: road length and its impact on road performance*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Dostupné z: <https://doi.org/10.2776/21558>.

BRUINSMA, Frank a RIETVELD, Piet, 1993. Urban Agglomerations in European Infrastructure Networks. *Urban Studies*. Roč. 30, č. 6, s. 919-934. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/00420989320080861>.

CEDRE, 1993. *Etude Prospective des Régions Atlantiques*. Centre Européen du Développement Régional Strasbourg.

CLARK, C; WILSON, F a BRADLEY, J, 1969. Industrial location and economic potential in Western Europe. *Regional Studies*. Roč. 3, č. 2, s. 197-212. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/09595236900185201>.

COMMISSION, European, 2016. Overcoming obstacles in border regions. ISBN 9789279573569. Dostupné z: <https://doi.org/10.2776/92723>.

CONDEÇO-MELHORADO, Ana a CHRISTIDIS, Panayotis, 2018. Road Accessibility in Border Regions: a Joint Approach: a Joint Approach. *Networks and Spatial Economics*. Roč. 18, č. 2, s. 363-383. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s11067-017-9362-1>.

DE BARTOLOMÉ, Rafael Izquierdo a DE CÁCERES, Andrés Monzón, 1992. La accesibilidad a las redes de transporte como instrumento de evaluación de la cohesión económica y social. *TTC: Revista del Ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones*. Č. 56, s. 33-56.

ESPON, 2021. *Policy brief: Cross-border monitoring and observation in Europe*. Dostupné také z: <https://archive.espon.eu/sites/default/files/attachments/Cross-border%20monitoring%20and%20observation%20%20in%20Europe%20-%20ESPON%20Policy%20Brief.pdf>.

EVROPSKÁ KOMISE, 2017. *SDĚLENÍ KOMISE RADĚ A EVROPSKÉMU PARLAMENTU Podpora růstu a soudržnosti v přeshraničních regionech EU, SWD(2017) 307 final, 2017*. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:52017DC0534>.

GEERTMAN, Stan a RITSEMA VAN ECK, Jan, 1995. GIS and Models of Accessibility Potential: An Application in Planning: An Application in Planning. *International Journal of*

*Geographical Information Systems*. Roč. 9, s. 67-80. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/02693799508902025>.

GEURS, Karst a RITSEMA VAN ECK, Jan, 2001. Accessibility Measures: Review and Applications: Review and Applications.

GEURS, Karst T a VAN WEE, Bert, 2004. Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions: review and research directions. *Journal of Transport Geography*. Roč. 12, č. 2, s. 127-140. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2003.10.005>.

GUTIÉRREZ, Javier a URBANO, Paloma, 1996. Accessibility in the European Union: the impact of the trans-European road network: the impact of the trans-European road network. *Journal of Transport Geography*. Roč. 4, č. 1, s. 15-25. Dostupné z: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0966-6923\(95\)00042-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0966-6923(95)00042-9).

GUTIÉRREZ, Javier; GONZÁLEZ, Rafael a GÓMEZ, Gabriel, 1996. The European high-speed train network: Predicted effects on accessibility patterns: Predicted effects on accessibility patterns. *Journal of Transport Geography*. Roč. 4, č. 4, s. 227-238. Dostupné z: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0966-6923\(96\)00033-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0966-6923(96)00033-6).

GUTIÉRREZ, Javier; MONZÓN, Andrés a PINÉRO, J, 1998. Accessibility, Network Efficiency, and Transport Infrastructure Planning. *Environment and Planning A*. Roč. 30, s. 1337-1350. Dostupné z: <https://doi.org/10.1068/a301337>.

HAGGETT, P a CHORLEY, R J, 1969. *Network Analysis in Geography*. Edward Arnold. ISBN 9780713157468. Dostupné také z: <https://books.google.cz/books?id=dH-IFKMtIf4C>.

HARRIS, Chauncy D, 1954. The Market as a Factor in the Localization of Industry in the United States. *Annals of the association of American geographers*. Roč. 44, č. 4, s. 315-348.

CHAPMAN, K, 1979. *People, Pattern and Process: An Introduction to Human Geography: An Introduction to Human Geography*. Edward Arnold. ISBN 9780713162424. Dostupné také z: <https://books.google.cz/books?id=rE1qQgAACAAJ>.

CHRISTODOLOU, Aris a CHRISTIDIS, Panayotis, 2018. *Cross-border transport infrastructure in the EU – A methodology to assess the role of cross-border road networks*. Publications Office. Dostupné z: <https://doi.org/doi/10.2760/040279>.

CHRISTODOULOU, Aris; CHRISTIDIS, Panos; DIJKSTRA, Lewis; POELMAN, Hugo a ACKERMANS, Linde, 2019. *Road Accessibility in Border Regions*. ISBN 9279983911.

INGRAM, D.R., 1971. The concept of accessibility: A search for an operational form: A search for an operational form. *Regional Studies*. Roč. 5, č. 2, s. 101-107. ISSN 0034-3404. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/09595237100185131>.

JACOBS-CRISIONI, Chris a KOOMEN, Eric, 2017. Population growth, accessibility spillovers and persistent borders: Historical growth in West-European municipalities: Historical growth in West-European municipalities. *Journal of Transport Geography*. Roč. 62, s. 80-91. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.05.008>.

JANELLE, Donald G, 1969. Spatial Reorganization: A Model and Concept: A Model and Concept. *Annals of the Association of American Geographers*. Roč. 59, č. 2, s. 348-364. Dostupné také z: <http://www.jstor.org/stable/2561635>.

KEEBLE, David; OFFORD, John a WALKER, Sheila, 1988. Peripheral regions in a community of twelve member states. (*No Title*).

LINNEKER, B. J. a SPENCE, N. A., 1992. Accessibility measures compared in an analysis of the impact of the M25 London Orbital Motorway on Britain. *Environment & Planning A*. Roč. 24, č. 8, s. 1137-1154. Dostupné z: <https://doi.org/10.1068/a241137>.

- LÓPEZ, Elena; MONZÓN, Andrés; ORTEGA, Emilio a MANCEBO QUINTANA, Santiago, 2009. Assessment of Cross-Border Spillover Effects of National Transport Infrastructure Plans: An Accessibility Approach: An Accessibility Approach. *Transport Reviews*. Roč. 29, č. 4, s. 515-536. ISSN 0144-1647. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/01441640802627974>.
- LUTTER, Horst; PÜTZ, Thomas a SPANGENBERG, Martin, 1992. Accessibility and peripherality of community regions: The role of road-, long-distance railway-and airport networks: The role of road-, long-distance railway-and airport networks. In: . CEC.
- MAGGI, R; MASSER, I a NIJKAMP, P, 1992. Missing networks in European transport and communications. *Transport Reviews*. Roč. 12, č. 4, s. 311-321. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/01441649208716825>.
- MORRIS, J M; DUMBLE, P L a WIGAN, M R, 1979. Accessibility indicators for transport planning. *Transportation Research Part A: General*. Roč. 13, č. 2, s. 91-109. Dostupné z: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0191-2607\(79\)90012-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0191-2607(79)90012-8).
- PERSYN, Damiaan a TORFS, Wouter, 2016. A gravity equation for commuting with an application to estimating regional border effects in Belgium. *Journal of Economic Geography*. Roč. 16, č. 1, s. 155-175. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/jeg/lbv003>.
- PLASSARD, François, 1992. L'impact territorial des transports a grande vitesse. *Espace et dynamiques territoriales, Paris, Economica*. S. 243-322.
- POOLER, James A, 1995. The use of spatial separation in the measurement of transportation accessibility. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. Roč. 29, č. 6, s. 421-427. Dostupné z: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0965-8564\(95\)00013-E](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0965-8564(95)00013-E).
- RODRIK, Dani, 2000. How Far Will International Economic Integration Go? *Journal of Economic Perspectives*. Roč. 14, č. 1, s. 177-186. Dostupné z: <https://doi.org/10.1257/jep.14.1.177>.
- SIMMONDS, D C a JENKINSON, N, 1995. The impact of changing transport services in Europe. *PTRC-PUBLICATIONS-P*. S. 121-134.
- SPENCE, Nigel a LINNEKER, Brian, 1994. Evolution of the motorway network and changing levels of accessibility in Great Britain. *Journal of Transport Geography*. Roč. 2, č. 4, s. 247-264. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/0966-6923\(94\)90049-3](https://doi.org/10.1016/0966-6923(94)90049-3).
- SPIEKERMANN, K a WEGENER, Michael, 1994. The shrinking continent: new time - space maps of Europe: new time - space maps of Europe. *Environment and Planning B: Planning and Design*. Roč. 21, s. 653-673. Dostupné z: <https://doi.org/10.1068/b210653>.
- VICKERMAN, R W, 1974. Accessibility, Attraction, and Potential: A Review of Some Concepts and Their Use in Determining Mobility: A Review of Some Concepts and Their Use in Determining Mobility. *Environment and Planning A: Economy and Space*. Roč. 6, č. 6, s. 675-691. ISSN 0308-518X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1068/a060675>.
- VICKERMAN, R W, 1995a. The regional impacts of Trans-European networks. *The Annals of Regional Science*. Roč. 29, č. 2, s. 237-254. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/BF01581809>.
- VICKERMAN, Roger, 1995b. Location, accessibility and regional development: the appraisal of trans-European networks: the appraisal of trans-European networks. *Transport Policy*. Roč. 2, č. 4, s. 225-234. Dostupné z: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0967-070X\(95\)00013-G](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0967-070X(95)00013-G).

## **PŘÍLOHY**

## **SEZNAM PŘÍLOH**

- Příloha 1 Toolbox Road Efficiency on EU cross borders s Python skripty
- Příloha 2 Případová studie přeshraničního regionu Česko – Slovensko
- Příloha 3 Případová studie přeshraničního regionu Belgie – Nizozemsko
- Příloha 4 Případová studie přeshraničního regionu Německo – Polsko
- Příloha 5 Případová studie přeshraničního regionu Francie – Itálie
- Příloha 6 Text práce
- Příloha 7 Poster