



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

INSTITUTE OF ROAD STRUCTURES

STROJOVÉ ZPRACOVÁNÍ ČASOPROSTOROVÝCH DAT PRO POTŘEBY ÚZEMNÍHO PLÁNOVÁNÍ.

MACHINE PROCESSING OF SPACE-TIME DATA FOR SPATIAL PLANNING.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Brožek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ APELTAUER, Ph.D.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3656 Městské inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program
Studijní obor	3656T025 Městské inženýrství
Pracoviště	Ústav pozemních komunikací

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Jan Brožek
Název	Strojové zpracování časoprostorových dat pro potřeby územního plánování.
Vedoucí práce	Ing. Jiří Apeltauer, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2019
Datum odevzdání	10. 1. 2020

V Brně dne 31. 3. 2019

doc. Dr. Ing. Michal Varaus
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Dokumentace jazyka R

Dokumentace softwaru Qgis

Digitální podklady řešené lokality

Reálná nebo simulovaná GPS data o pohybu vozidel

Celostátní sčítání dopravy 2016 – ŘSD

ČSN 736101, 736110

TP 135, 188, 189, 234

Další odborná literatura a články relevantní danému tématu

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Strojovou analýzou časoprostorových dat v podobě GPS souřadnic (reálných nebo simulovaných) získáte dopravně inženýrské informace o sledované oblasti, které je možné použít jako územně plánovací podklady. Jedná se zejména o matici zdrojů a cílů dopravy nebo profilové intenzity na významných komunikacích.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Jiří Apeltauer, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá zpracováním surových dat ze sledování vozidel pomocí GPS za účelem získání dopravních veličin, jako možného zdroje dat pro dopravní průzkumy a následné analýzy v oblasti modelování dopravy.

KLÍČOVÁ SLOVA

GPS, síť pozemních komunikací, analýza, dopravní veličiny, Brno

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the processing of raw data from vehicle tracking by means of GPS in order to obtain traffic quantities as a possible source of data for traffic surveys and subsequent analysis in the field of traffic modeling.

KEYWORDS

GPS, road network, analysis, traffic quantities, Brno

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Jan Brožek *Strojové zpracování časoprostorových dat pro potřeby územního plánování..*
Brno, 2019. 40 s., 7 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta
stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí práce Ing. Jiří Apeltauer, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Strojové zpracování časoprostorových dat pro potřeby územního plánování*. je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 9. 1. 2020

Bc. Jan Brožek
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Strojové zpracování časoprostorových dat pro potřeby územního plánování*. zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9.1.2020

Bc. Jan Brožek
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval v prvé řadě rodině za podporu, nejen při těžkých chvílích při psaní této diplomové práce. Také Ing. Jiřímu Apeltauerovi, Ph.D. za vedení této práce.

Dále Ing. Filipu Týci, řediteli odboru silniční databanky a NDIC, a Mgr. Aleně Zemanové ze společnosti CEDA za vstřícnost při poskytování vstupních dat pro účel zpracování diplomky.

Poděkování také patří mým spolužákům a spolužačkám, kteří mě provázeli od začátku do konce studia a se kterými byla radost studovat.

OBSAH

1	ÚVOD	3
2	VSTUPNÍ DATA	4
2.1	Měření vozidel pomocí GPS.....	4
2.2	Vektorová síť pozemních komunikací – CEDA	6
3	ZPRACOVÁNÍ DAT	10
3.1	Software	10
3.1.1	Příkazový řádek	10
3.1.2	R-studio	10
3.1.3	Qgis.....	11
3.1.4	Excel	11
3.2	Sloučení souborů .csv.....	12
3.3	Omezení dat podle polohy	13
3.4	Zpracování dat v softwaru Qgis.....	17
3.4.1	Import záznamů z měření vozidel.....	17
3.4.2	Referenční síť pozemních komunikací	18
3.4.3	Vlastnosti záznamů z měření	20
3.5	Analýza v softwaru MS Excel	23
4	ŘEŠENÁ OBLAST – VELKÝ MĚSTSKÝ OKRUH BRNO	24
4.1	Základní informace.....	24
4.2	Tvorba referenční sítě	25
4.3	Analýza dat.....	26
4.3.1	Celodenní intenzita na jednotlivých úsecích.....	26
4.3.2	Skladba dopravního proudu	29
4.3.3	Rychlost dopravního proudu.....	30
4.3.4	Směrový průzkum.....	31
4.4	Tomkovo náměstí.....	34
4.4.1	Matice zdrojů a cílů	35
5	VYUŽITÍ PRO ÚZEMNÍ PLÁNOVÁNÍ	38
5.1	Sledování vozidel pomocí GPS.....	39
6	ZÁVĚR	40
7	PŘÍLOHY	41
7.1	Navigační Systém	41

7.2	Satelitní navigace	41
7.3	GNSS.....	42
7.3.1	Historický vývoj	43
7.3.2	Segmenty GNSS	45
8	POUŽITÁ LITERATURA.....	48
	SEZNAM TABULEK	49
	SEZNAM OBRÁZKŮ	50
	SEZNAM GRAFŮ.....	52

1 ÚVOD

Získání vstupních dat pro dopravní průzkumy je náročné na čas a zdroje. V této práci je představen možný jiný zdroj těchto dat, a to data získaná z polohového záznamu vozidel pomocí satelitního navigačního systému.

Cílem práce je tato data zpracovat pomocí dostupných softwarových nástrojů a na základě provedení analýz posoudit oblasti jejich možného použití v závislosti na vypovídající schopnosti tohoto dílčího vzorku dat.

2 VSTUPNÍ DATA

2.1 MĚŘENÍ VOZIDEL POMOCÍ GPS

Jednou sekcí uživatelského segmentu navigačního systému jsou zařízení GPS ve vozidlech, využívající polohové určení vozidla jako součást zabezpečovacího systému.

Pro zjištění aktuálního stavu dopravního proudu je potřeba mít aktuální vstupní data, dle kterých lze danou dopravní situaci vyhodnotit. Jedním druhem vstupních dat jsou data z měření palubních jednotek GPS ve vozidlech. Sběr těchto dat probíhá ze vzorku vozidel, tzv. plovoucí flotily, čítající přibližně 140 000 vozidel, která představují zhruba 5 % celkového dopravního proudu. Tato vozidla jsou registrována na Ředitelství silnic a dálnic ČR, Odboru silniční databanky a NDIC, kde jsou také shromažďovány záznamy z GPS nejen o jejich poloze. Datová sada z tohoto měření obsahuje tyto základní údaje o vozidle:

- 1) ID vozidla,
- 2) čas měření polohy vozidla,
- 3) poloha na svislé ose souřadnicového systému,
- 4) poloha na vodorovné ose souřadnicového systému,
- 5) směr pohybu vozidla,
- 6) rychlost vozidla,
- 7) kategorie vozidla dle zákona,
- 8) čas ukončení měření.

Identifikační kód je vozidlům přidělován náhodně a nemá žádnou trvalou spojitost s měřeným vozidlem, tedy spojitost ID s vozidlem trvá pouze po dobu daného jednoho měření. Další vlastností tohoto kódu je jeho anonymizace, která zajišťuje střídání kódu přibližně jednou za hodinu. Cílem této vlastnosti je zamezit sledování vozidla v celém rozsahu své jízdy a tímto respektující nařízení Evropské unie o ochraně osobních údajů (GDPR). Ze sbíraných dat je také vynechán určitý počáteční úsek jízdy pod novým identifikačním kódem, aby v souladu s nařízením jízdy, zejména těch kratších než jedna hodina, nebylo možno přesně vysledovat její průběh od začátku do konce.

Poloha z GPS je zaznamenávána v souřadnicích světového systému WGS 84, přičemž dvě hodnoty určující polohu na Zemi jsou zeměpisná šířka a délka, měřené ve stupních.

Směr pohybu je měřen jako úhel, který svírá vodorovná osa a přímká ve směru pohybu vozidla, určený proti směru pohybu hodinových ručiček.

Označení kategorie vozidla je dáno zákonem č. 56/2001 Sb. o podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích. Data z měření palubních jednotek GPS obsahují dvě základní kategorie vozidel: *M* a *N*, které se dělí do tří podskupin. Kategorie *M* označuje motorová vozidla, která mají nejméně čtyři kola, kategorie *N* označuje motorová nákladní vozidla, která mají nejméně čtyři kola. Podrobnější popis kategorií je v následující tabulce.

Tabulka 2.1 Kategorie měřených vozidel

M1	Vozidla, která mají nevyšší osm míst k přepravě osob.
M2	Vozidla, která mají více než osm míst k přepravě osob a hmotnost max. 5000 kg.
M3	Vozidla, která mají více než osm míst k přepravě osob a hmotnost převyšující 5000 kg.
N1	Vozidla, jejichž nevyšší přípustná hmotnost nepřevyšuje 3500 kg.
N2	Vozidla, jejichž nevyšší přípustná hmotnost je rozsahu od 3500 kg po 12000 kg.
N3	Vozidla, jejichž nevyšší přípustná hmotnost převyšuje 12000 kg.

Ukázkový vzorek dat z plovoucích vozidel v rozsahu okresů Brno-město a Brno-venkov, který ŘSD ČR poskytlo pro účely této diplomové práce, je ze dne 11.11. 2019. Jedná se o pracovní den, pondělí, takže lze očekávat výskyt kongescí v ranní a odpolední dopravní špičce.

Měřená data jsou z celého dne (24 hodin), přičemž záznam z každého v danou chvíli měřeného vozidla je uložen každých 10 sekund do souboru pro danou minutu dne. Celkem je tedy během dne vytvořeno 1440 souborů s výše zmíněnými údaji (atributy datové sady) ve formátu *.csv* o celkové velikosti přesahující 3 GB.

Jednoduchý souborový formát *.csv* (z anglického *Comma-Separated Values*) je určen zejména pro tabulková data. Jedná se o soubor sestávající se z řádků, ve kterých jsou jednotlivé hodnoty odděleny čárkou. V některých jazycích, včetně češtiny, se čárka ovšem používá i pro oddělení desetinného místa. Z tohoto důvodu se jako oddělovač hodnot ve formátu *.csv* může použít středník nebo tabulátor namísto čárky. [1]

2.2 VEKTOROVÁ SÍŤ POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ – CEDA

Pro polohové určení a třídění dat z měření vozidel k úsekům pozemních komunikací je využita vektorová mapa sítě komunikací pro řešenou oblast, tedy okresy Brno-město a Brno-venkov, z produktu StreetNet od Společnosti CEDA.

Společnost CEDA Maps a.s. spravuje databázi mapových podkladů Česka a Slovenska a poskytují konzultační služby v oblasti informačních systémů zaměřených na dopravu a také řeší projekty zaměřené na lokalizaci a navigaci nejen motorových vozidel.

Mezi hlavní produkty společnosti CEDA patří:

- vektorové mapy,
 - StreetNet
 - Global Network
- rastrové mapy,
- zájmové body (POI),
- mobilní mapování,
- mobilní navigace,
- a další.

StreetNet je síť pozemních komunikací a 14 dalších topologických vrstev a vrstev administrativního členění. Prvky každé vrstvy jsou popsány několika desítkami atributů. Nejvíce informací je obsaženo ve vrstvě pozemních komunikací – údaje evidenční (číslo, mezinárodní číslo a třída komunikace, název ulice a další), atributy popisující technický a funkční stav jednotlivých úseků a základní atributy pro pohyb po síti.

Přesnost vektorových dat se liší v závislosti na významu komunikace. Pro komunikace v intravilánu, dálnice, silnice I.-III. třídy a místní komunikace je přesnost < 5 m, pro účelové komunikace a extravilán < 10 m a pro neudržované účelové komunikace, např. lesní a polní cesty, je přesnost < 15 m.

Použitá vektorová vrstva referenční sítě pozemních komunikací – StreetNet společnosti CEDA a.s. v rozsahu okresů Brno-město a Brno-venkov je ve formátu *.shp* (shapefile), datovém formátu pro ukládání prostorových dat pro geografické informační systémy (GIS).



Obrázek 2.1 Síť všech pozemních komunikací v zájmovém území, *Zdroj: CEDA Maps a.s.*

Poskytnutí dat a podmínky jejich využití pro diplomovou práci jsou s firmou CEDA a.s. řešeny uzavřenou smlouvou.

K datovému formátu *.shp* jsou přidruženy další soubory:

.cpk – využití specifikace kódové ... pro správnou identifikaci znaků

.dbf – databázová tabulka s atributy jednotlivých prvků, každý záznam v tabulce odpovídá jednomu prvku

.prj – soubor ukládající informaci o souřadnicovém systému a projekci

.sbn a *.sbx* – prostorové indexy prvků

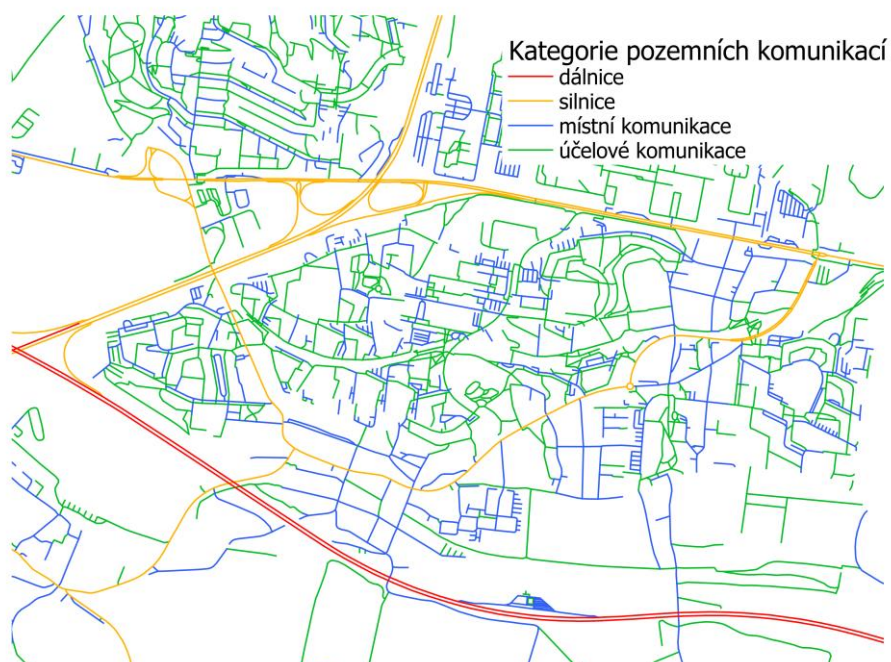
.xml – metadata ve formátu XML podle zvoleného standardu

.shx – indexový soubor, který propojuje prvek v hlavním souboru *.shp* se záznamem v atributové tabulce.

Soubory *.shp*, *.dbf* a *.shx* jsou nezbytné pro správné otevření a zobrazení dat v geografickém informačním systému.

Prostorové informace referenční sítě pozemních komunikací byly zobrazeny a dále zpracovávány v QGISu (volně dostupný software firmy ESRI) pro práci s geograficky umístěnými daty.

Výhodou referenční sítě komunikací od firmy CEDA a.s. byla na základě podrobných atributů jednotlivých prvků možnost filtrace jednotlivých typů komunikací (dálnice, silnice I. až III. třídy, místní komunikace, komunikace, pěší stezky atp.).



Obrázek 2.2 Třídění pozemních komunikací dle kategorie, Zdroj: CEDA Maps a.s.

Takto byla připravena data z měření sledování vozidel a referenční síť pozemních komunikací. Pro lepší orientaci a prezentaci výstupů z jejich analýzy byla využita také vrstva ortofota s využitím služby WMS z geoportálu Českého zeměměřického a katastrálního úřadu (ČÚZK), prostřednictvím připojení této služby do Qgisu. Webová mapová služba WMS (Web Map Service) umožňuje sdílet geografické informace ve formě vektorových nebo rastrových georeferencovaných map v prostředí internetu.

3 ZPRACOVÁNÍ DAT

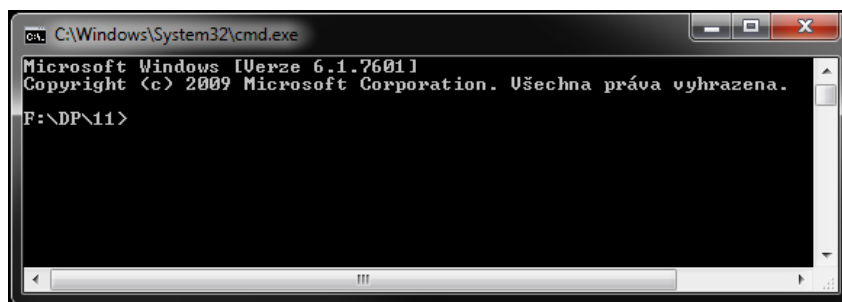
3.1 SOFTWARE

Z důvodu, že analýza se sestává z několika specifických fází, které se povahou přístupu liší, bylo za účelem zpracování těchto dat využito hned několik dostupných softwarů pro specifickou fázi analýzy dat. K vybraným softwarům patří:

- Příkazový řádek,
- R-Studio,
- Qgis,
- Excel.

3.1.1 Příkazový řádek

Příkazový řádek (zkratka CLI, z anglického *Command Line Interface*) je jednoduché uživatelské rozhraní, ve kterém je možnost komunikace s programy, nebo operačním systémem pomocí příkazů, bez použití myši. Rozhraní příkazového řádku poskytuje tzv. *shell* s názvem *cmd.exe*, který lze spustit napsáním „cmd“ do vyhledávacího pole operačního systému, nebo adresního řádku složky, se kterou je v úmyslu dále pracovat. [2]



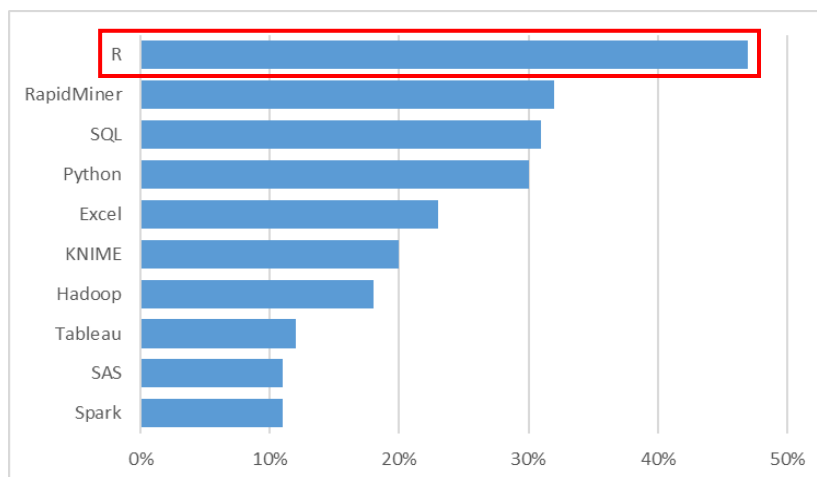
Obrázek 3.1 Příkazový řádek

3.1.2 R-studio

R-studio o software umožňující práci v programovacím jazyce R v uživatelsky příjemném prostředí. Mezi funkce, kterými R-studio zpříjemňuje práci v tomto programovacím jazyce, patří zvýraznění syntaxe, doplnění a nabídka doplnění kódu, přehledná správa souborů a složek, snadné vyhledávání a procházení v kódu, vyhledávat v historii, export grafických či datových souborů v různých formátech, integrovaná nápověda k jednotlivým funkcím, tedy bez potřeby otevírání externího okna nápovědy. [3]

Jedná se o *free and open-source* (svobodné a otevřené) vývojové prostředí určené zejména pro statistické analýzy a grafické výstupy. *Free and open-source* znamená, že ho může kdokoliv volně nejen stahovat, využívat a kopírovat, ale také je k dispozici jeho zdrojový kód, který může být upravován a vylepšován. Existuje přes 9000 dodatkových balíků rozšiřujících základní vlastnosti R-studia, které lze taktéž bezplatně využít. [4]

Dle průzkumu mezi experty v oblasti analýzy dat je právě R nejpoužívanějším programovacím jazykem. [5]



Graf 3.1 Četnost využití různých softwarů a programovacích jazyků pro analýzu dat [5]

3.1.3 Qgis

Qgis je *open source* geografický informační systém (GIS), který umožňuje prohlížení, editování a analýzu geoprostorových dat a následný export ve formě různých datových typů, zejména grafických.

Hlavní výhodou softwaru Qgis je jeho bezplatné využití a tvoří tak konkurenci ke komerčnímu softwaru ArcGIS.

3.1.4 Excel

Microsoft Excel je tabulkový procesor s dominantním postavením v této oblasti. Je součástí kancelářského balíku Microsoft Office.

I když velmi populární a uživatelsky přívětivý pro práci s velkým množstvím dat má svá omezení. Maximální počet řádku na jednom listě je 1 048 576 [6], což se může zdát jako velké množství, pro úpravu surových dat v případě této práce to však nestačí.

3.2 SLOUČENÍ SOUBORŮ .CSV

Jak bylo zmíněno, surová vstupní data obsahují 1440 samostatných souborů typu *csv*, které je nutné pro další analýzu sloučit do jednoho, aby jednotlivé trajektorie vozidel nebyly rozdělené do jednotlivých minut ve dni.

Existuje několik metod na sloučení tohoto typu dat od online služeb po kódy v různých programovacích jazycích. Ovšem jedna z nesnadnějších metod, která nevyžaduje dalších externích programů a je k dispozici v rámci operačního systému, je použití příkazu v příkazovém řádku.

Pokud jsou všechny požadované soubory ke sloučení v jedné složce, je možno příkazový řádek spustit napsáním „cmd“ do adresního řádku dané složky. Tímto krokem se automaticky nastaví cesta k daným souborům, a tedy je možné přeskočit krok kopírování adresy složky do příkazového řádku.

V dalším kroku je využití příkazu *copy* s následující syntaxí:

1	2	3	4
F:\DP\11>copy *.csv merge.csv			

kde:

- 1) adresa složky, ve které se nachází soubory, které budou sloučeny,
- 2) příkaz „*copy*“, tedy „kopírovat“, který je možné v kontextu s následujícím bodem použít pro sloučení souborů stejného formátu,
- 3) zde příkaz vybere všechny soubory požadovaného formátu ke sloučení,
- 4) název a přípona výsledného souboru.

Po stisknutí klávesy *enter* se příkaz spustí. V závislosti na počtu a velikosti vstupních souborů a výkonu počítače tato operace může trvat několik i několik minut.

```
1573516260.csv
1573516320.csv
1573516380.csv
1573516440.csv
1573516500.csv
1573516560.csv
1573516620.csv
1573516680.csv
1573516740.csv
Zkopírované soubory:      1
F:\DP\11>
```

Obrázek 3.2 Dokončení operace slučování

Výsledný soubor je následně uložen do stejné složky, ve které byl příkazový řádek spuštěn.

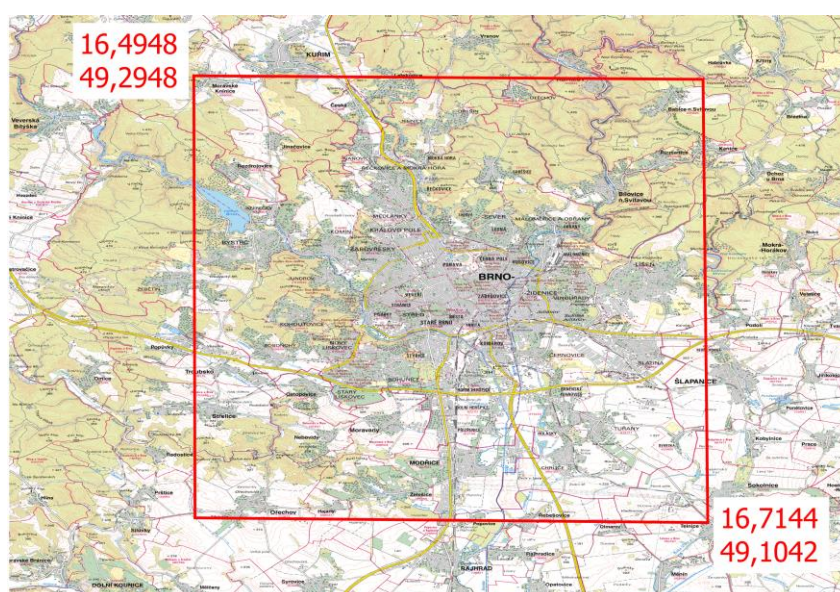
Pro případ dat ze sledování vozidel, sloučením 1440 souborů, ve kterých jsou obsaženy data z celého dne z celé České republiky, vznikne výsledek, jež obsahuje 27 155 908 záznamů z měření v souboru o velikost téměř 3 GB.

3.3 OMEZENÍ DAT PODLE POLOHY

Omezit vstupní data o takové velikosti na určité řešené území není zcela jednoduchý úkol. Pro polohovou restrikcí by se nabízel geografický software jako je Qgis. Ovšem při takové velikosti vstupního souboru import do tohoto softwaru je téměř nemožný. Možnou variantou je využití Rstudia, které je stavěno i na takto velké soubory a pomocí kódu je schopný vyselektovat záznamy podle požadovaných kritérií.

Nejprve je nutné získat ona kritéria pro primární selekci dle územního rozsahu, tedy pro polohová data hraniční souřadnice řešené oblasti. Pro získání těchto souřadnic bylo využito softwaru Qgis.

Prvním krokem je vytvoření hranice v podobě ortogonálního polygonu v prostředí souřadnicového systému WGS84 s identifikačním kódem EPSG:4326. Tento souřadnicový systém je využit proto, aby korespondoval se souřadnicovým systémem použitým ve vstupních datech z GPS sledování vozidel. V této fázi je cílem získat souřadnice protilehlých bodů, které lze snadno odečíst z okénka souřadnic ve spodní liště při ukázání kurzorem myši přibližně do míst rohových bodů. Další možností je přes editaci nově vytvořeného polygonu a při kliknutí pravým tlačítkem na libovolný vrchol při zvolené funkci „nástroj na lomové body“ se zobrazí tabulka vrcholů s jejich souřadnicemi.



Obrázek 3.3 Krajní souřadnice v systému WGS 84 hranice zájmové oblasti

Prvním krokem je import onoho souboru *csv* vytvořený sloučením všech dílčích souborů. V Rstudiu jsou různé možnosti jak tento krok vykonat. Buď vypsáním příkazu *read.csv* přímo do okna konzole, kde je potřeba znát syntaxe argumentů tohoto příkazu, nebo v záložce *Environment* pomocí nástroje *Import dataset*. Po vybrání požadovaného souboru se zobrazí dialogové okno, kde možno upravit podmínky importu, zejména jestli mají sloupce vstupních dat hlavičku, nebo typ oddělovače. Software tyto parametry dokáže rozpoznat, tudíž toto okno je spíše kontrolním bodem před vlastním importem, který může trvat několik minut, jako tomu je v případě této práce.

Využitím tohoto nástroje se automaticky vytvoří a spustí kód v okně konzole.

```
ČR <- read.csv("F:/DP/11/merge.csv", header=FALSE, sep=";")
```

Nyní jsou data importována pod názvem „ČR“. Na obrázku 4.5 je zobrazeno prvních pět záznamů a atributy v osmi sloupcích V1 až V8.

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
1	cdm1a2ea7fb9-81a1-4414-b449-e6358e1d5a23	10-11-2019T23:59:14Z	50.34348	14.54101	69	12	M1	10-11-2019T23:59:56Z
2	cdm1a2ea7fb9-81a1-4414-b449-e6358e1d5a23	10-11-2019T23:59:24Z	50.34293	14.53848	69	12	M1	10-11-2019T23:59:56Z
3	cdm1a2ea7fb9-81a1-4414-b449-e6358e1d5a23	10-11-2019T23:59:34Z	50.34288	14.53679	69	1	M1	10-11-2019T23:59:56Z
4	cdm1a2ea7fb9-81a1-4414-b449-e6358e1d5a23	10-11-2019T23:59:44Z	50.34331	14.53428	69	350	M1	10-11-2019T23:59:56Z
5	cdm1a2ea7fb9-81a1-4414-b449-e6358e1d5a23	10-11-2019T23:59:54Z	50.34406	14.53166	69	343	M1	10-11-2019T23:59:56Z

Obrázek 3.4 Importovaná data

Pro snadnější další práci s těmito daty je vhodné využít funkce *attach*, tedy přiřadit či připojit, která umožní přímo vyhledávat a dále pracovat s atributy uvnitř databáze, takže například sloupec V3, který je uvnitř databáze BRNO může být dosažen přímo a nemusí se při psaní kódu dále specifikovat ve které databázi leží.

```
attach(ČR)
```

Nyní jsou data připravena pro další analýzu. Může být tedy uplatněn prostorový limit získaný z Qgisu pomocí následujícího kódu.

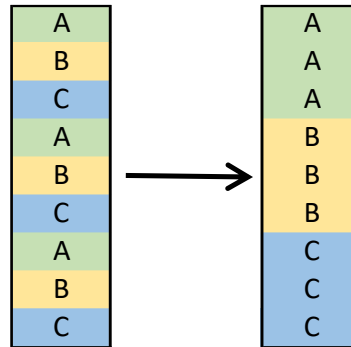
```
BRNO <- ČR[V3>49.1042 & V3<49.2948 & V4>16.4948 & V4<16.7144, ]
```

Pod názvem „*Brno*“ jsou v tuto chvíli vyselektována data, která odpovídají podmínkám uvedených před čárkou uvnitř hranatých závorek. Ve sloupcích „*V3*“ a „*V4*“ jsou uvedeny údaje o zeměpisné šířce, respektive délce. Pole za čárkou v hranatých závorkách je prázdné, aby byly vybrány všechny sloupce, tj. všechny atributy pro vybrané prvky.

Při nepoužití funkce *attach* musí být u sloupců V3 a V4 specifikováno jejich umístění, tedy v databázi ČR, jak je znázorněno v kódu:

```
BRNO <- ČR[ČR$V3>49.1042 & ČR$V3<49.2948 & ČR$V4>16.4948 & ČR$V4<16.7144, ]
```

Z povahy způsobu slučování souborů typu *.csv*, kdy se následující soubor prostě zařadí za předchozí, vyplývá, že jednotlivé trajektorie vozidel jsou rozděleny do nesouvislých bloků, které je vhodné pro pozdější analýzu seskupit.



Obrázek 3.5 Schéma seskupení dat

To je možné v Rstudiu udělat pomocí následujícího kódu, kde seřazená databáze je uložena pod názvem *BRNO_Final*.

```
BRNO_Final <- BRNO[order(BRNO$V1),]
```

Zde nebyla využita funkce *attach* a je tedy nutné specifikovat umístění sloupce V1, podle kterého se data seskupují. Při použití funkce *attach* kód pro seřazení může vypadat takto:

```
attach(BRNO)
BRNO_Final <- BRNO[order(V1),]
```

Závěrečný krok v Rstudiu je export finálního výběru zpět do formátu *csv* pomocí následujícího příkazu.

```
write.csv2(BRNO_Final, file = "BRNO_Final.csv", row.names = F)
```

Funkce *write.csv2* je speciální verze pro export dat ve formátu *csv* pro evropské země, kde čárka se používá pro desetinná místa a pro oddělení atributů je použit středník.

Výsledný soubor s názvem *BRNO_Final.csv* je uložen do aktuálního pracovního adresáře, jehož adresu je možno získat pomocí příkazu *getwd()*.

```
getwd()
```

Použité řádky kódů lze uložit do souhrnného skriptu, které je možno použít pro další práci s dalšími daty z dalších dnů pro řešenou oblast.

```
ČR <- read.csv("F:/DP/11/merge.csv", header=F, sep = ";")
attach(ČR)
BRNO <- ČR[V3>49.1042 & V3<49.2948 & V4>16.4948 & V4<16.7144, ]
BRNO_Final <- BRNO[order(BRNO$V1),]
write.csv2(BRNO_Final, file = "BRNO_Final.csv", row.names = F)
```

V tomto formátu je zapotřebí kontrola pojmenování vstupního souboru, který se například pro data z ostatních dnů může lišit. V tomto případě je vstupní soubor pojmenován *merge.csv*. Úpravou kódu lze zajistit, aby výběr vstupního souboru probíhal interaktivně přes vyskakovací okno průzkumníka souborů. To je zajištěno pomocí funkce *choose.files()* v následující syntaxi.

```
ČR <- read.csv(file = choose.files(), header=F, sep = ";")
```

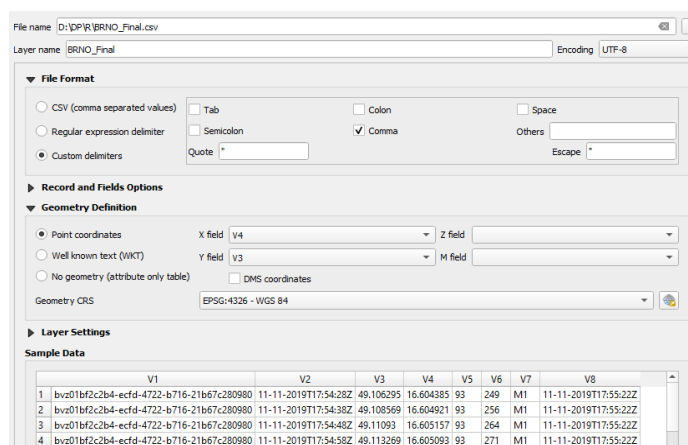
Po otevření dialogového okna lze standartně vybrat vstupní soubor.

3.4 ZPRACOVÁNÍ DAT V SOFWARU QGIS

3.4.1 Import záznamů z měření vozidel

Hlavní důvodem omezení dat v softwaru jako je R-studio je skutečnost, že Qgis jen stěží umožňuje otevřít soubor o velikost téměř 3 GB. Omezením dat na zájmové území města Brna a jeho okolí je redukce velikosti dat o 95,7 % na konečných necelých 157 MB, která mohou být snadno zobrazena v Qgisu.

Import dat ve formátu `.csv` je umožněn dedikovanou funkcí v záložce pro přidání nové vrstvy. Po spuštění této funkce se zobrazí dialogové okno, ve kterém je možnost výběru požadovaného vstupního souboru s možnostmi specifikování vlastností uspořádání dat. Vzhledem k tomu, že se jedná o polohově určená data, která v sobě nesou informaci o poloze ve formě souřadnic, je zde možnost určení, ve kterém sloupci je zapsána souřadnice X a ve kterém sloupci souřadnic Y.



Obrázek 3.6 Dialogové okno pro import souborů csv

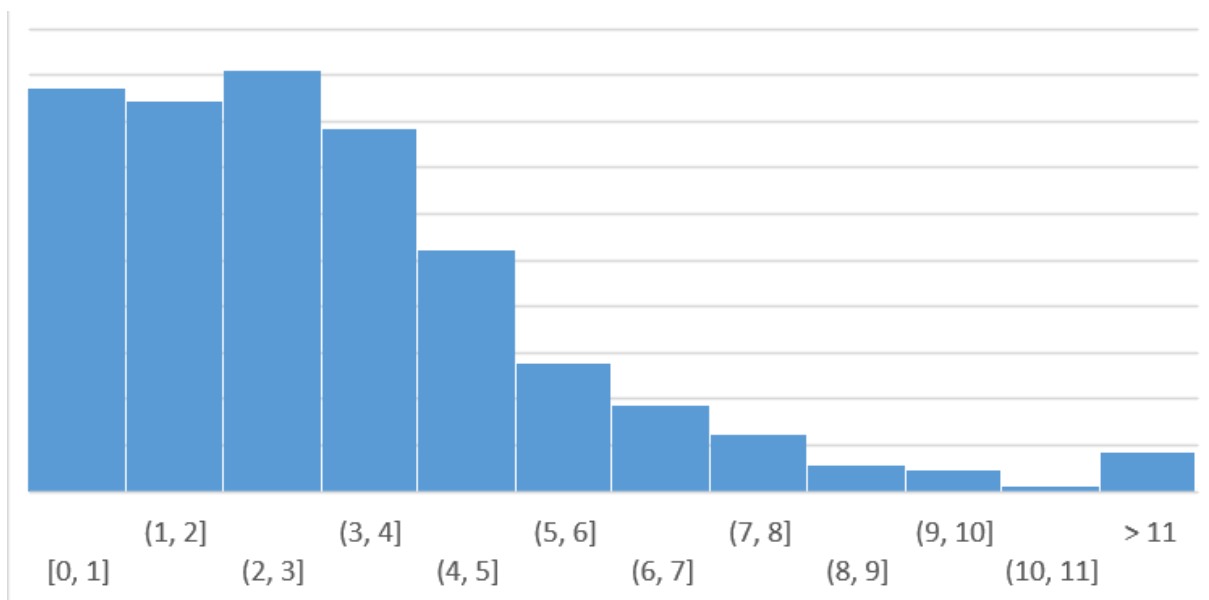
Data z měření vozidel obsahují nejprve ve sloupci V3 údaje o zeměpisné šířce – poloha na svislé ose Y - a ve sloupci V4 údaje o zeměpisné délce – poloha na vodorovné ose X. Je tedy nutné zvolit správný sloupec pro odpovídající souřadnici.

I když souřadnice vstupních dat jsou v systému WGS 84 a pracovní prostředí softwaru Qgis je nastaveno na systém S-JTSK, nepředstavuje toto žádný problém, protože transformace souřadnic je prováděna automaticky a body jsou zobrazeny na správném místě, bez ohledu na souřadnicový systém pracovního prostředí.

3.4.2 Referenční síť pozemních komunikací

Pro testování způsobu zobrazení a zpracování map byla vybrána v první fázi prostorově omezená dílčí oblast městské části Brna-Bohunice, kde jsou typově zastoupeny všechny třídy komunikací. Byl připraven testovací mapový podklad s vrstvami ortofota, síť pozemních komunikací a dat záznamů z GPS sledování vozidel – geografické omezení na zvolenou testovací městskou část bylo provedeno v QGISu pomocí funkce *Select attributes by location* (výběr prvků podle umístění), ohraničujícími daty byla vrstva polygonů katastrálních území z geoportálu ČÚZK (VMS služba).

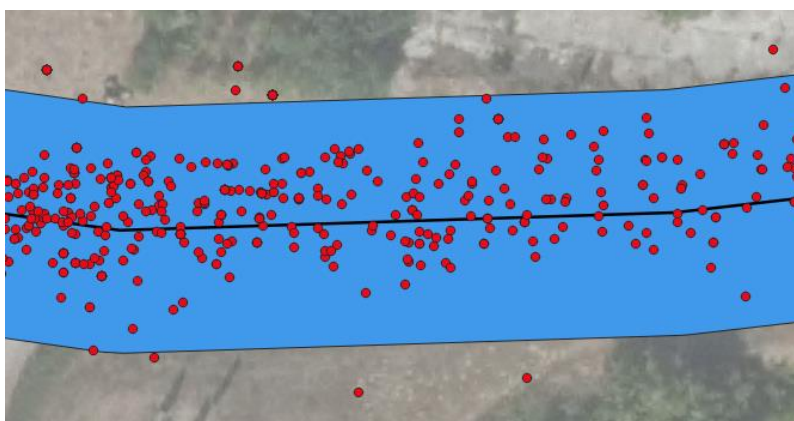
Jednotlivé záznamy GPS sledování vozidel přitom vykazují s ohledem na limitovanou přesnost souřadnic GPS normální rozdělení kolem osy komunikace s tím, že většina záznamů vykazuje odchylku do 10 m od osy komunikace.



Graf 3.2 Četnost záznamů z měření v intervalech vzdáleností od osy komunikace

Aby bylo možné záznamy z měření GPS vozidel přiřadit příslušnému úseku pozemní komunikace, je nutné tento záznam přiřadit příslušného úseku (bodu z měření GPS sledování vozidel přiřadit identifikační číslo odpovídajícího úseku) a současně zajistit co nejmenší chybovat takto vázaných dat.

Možným způsobem řešení je vytvoření obalové křivky osy komunikace v celkové šíři 20 m, a to pomocí nástroje buffer (obalová křivka) v softwaru QGIS. Při využití této funkce vytvořený polygon přebírá veškeré atributy původního prvku, tj. tedy i identifikační číslo úseku.



Obrázek 3.8 Obalová křivka okolo osy komunikace zahrnující většinu záznamů z měření vozidel

V tomto kroku byla věnována pozornost typu ukončení obalové křivky (specifikace v dialogovém okně nástroje buffer), kde byl zvolen typ *flat* (rovné zakončení), jako nejvhodnější pro další postup. Avšak s ohledem na návaznost jednotlivých komunikací v místech uzlů (různé úhly napojení, vyšší počet napojovaných komunikací apod.) nedojde zcela k odstranění překrývajících se obalových křivek, ale k minimalizaci těchto problémových míst.

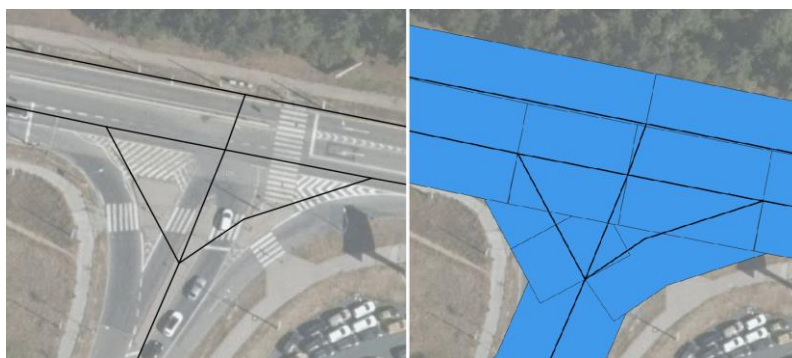
Pomocí funkce *join attributes by location* (připojit atributy dle polohy) je možné vybrané atributy kopírovat k požadovaným bodům na základě jejich vzájemné polohy.

Nyní jsou data připravena se všemi požadovanými atributy na export zpět do formátu *.csv* pro další analýzu v tabulkovém softwaru Excel.

3.4.3 Vlastnosti záznamů z měření

Při zpracování dat na mapovém podkladě vyvstalo několik problémů, které mohou značně ovlivňovat výsledné hodnoty dopravních veličin při tomto způsobu zpracování dat z měření GPS:

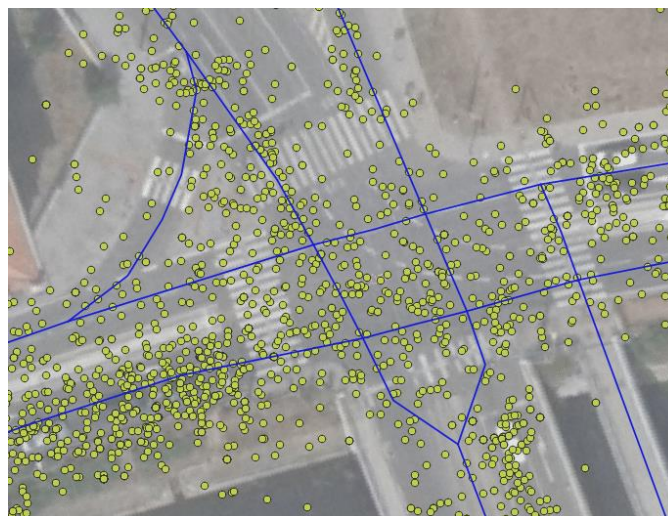
1) Jak bylo naznačeno výše, při použití obalové křivky, jakožto způsobu přiřazení bodu z měření k příslušnému úseku komunikace, nastává v místech křižovatek a v místech husté sítě pozemních komunikací kolize obalových křivek, které se v těchto místech navzájem překrývají.



Obrázek 3.9 Problémové místo křižovatek s překrývajícími se obalovými křivkami,
Zdroj sítě komunikací: CEDA Maps a.s.

Navíc při použití funkce pro připojení atributů dle vzájemné polohy se body, které leží v průniku těchto obalových křivek, duplikují podle počtu překrývajících se křivek.

2) Prostory křižovatek, zejména průsečných, jsou taktéž místa, kde by musela být provedena podrobnější analýza záznamů polohy vozidel, aby bylo zřejmé, ke které větvi křižovatky záznamy náleží.



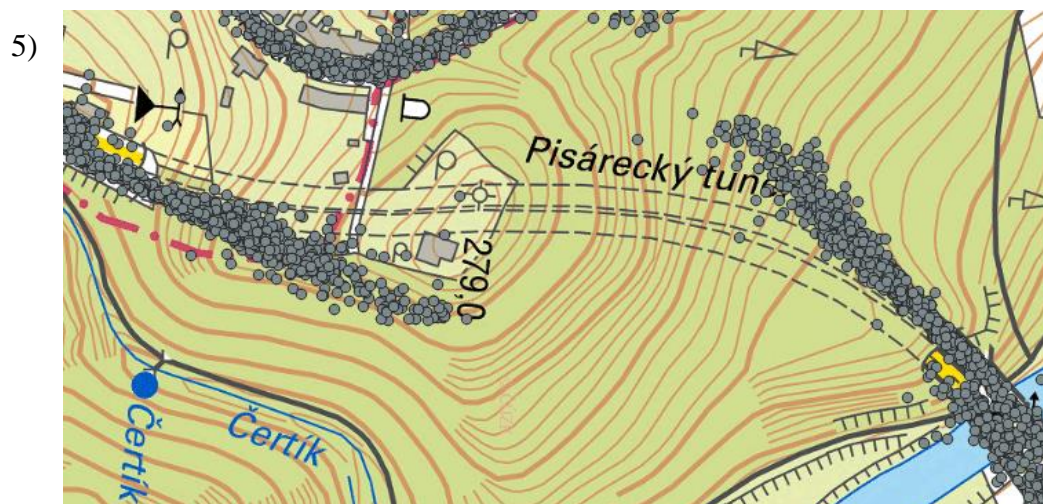
Obrázek 3.10 Distribuce bodů v prostoru křižovatky,
Zdroj sítě komunikací: CEDA Maps a.s.

3) Také mimoúrovňové křížení komunikací vyvolává problém z hlediska přiřazení bodů ke správnému úseku. Jelikož body jsou polohově určeny pouze ve dvourozměrné rovině, nastává v těchto místech kolize a není možné ze shluků bodů jednoznačně vysledovat záznamy pro požadovaný úsek komunikace.



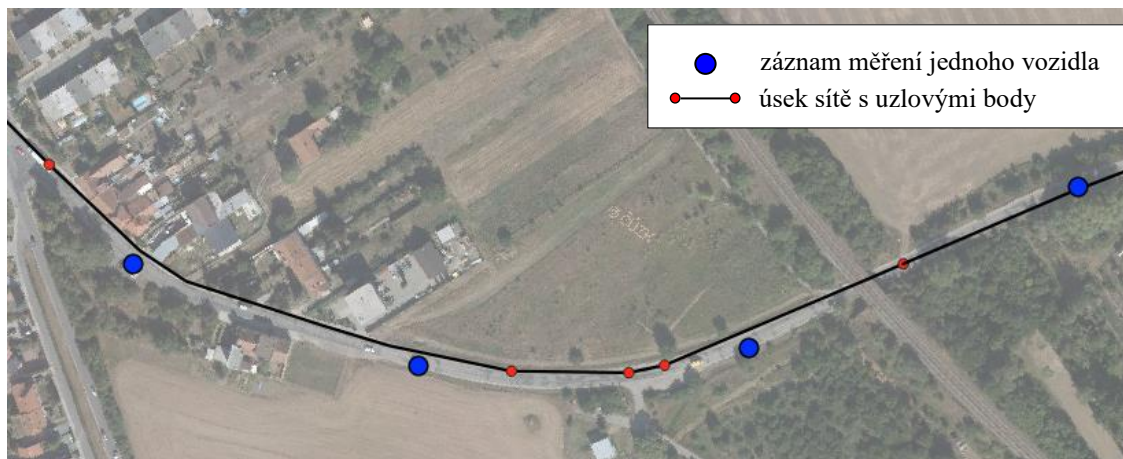
Obrázek 3.11 Distribuce bodů ze sledování vozidel v místě mimoúrovňového křížení komunikací

4) Z povahy měření časoprostorových dat pomocí GPS, kdy přijímací zařízení vyžaduje přímý kontakt alespoň se čtyřmi vysílacími satelity, jsou záznamy přerušeny v místech tunelů. Výskyt bodů v tunelovém prostoru však není nulový. V určitém délkovém úseku při vjezdu do tunelu se záznamy objevují, avšak směr těchto dat zcela neodpovídá skutečnému směrovému vedení komunikace v tunelu.



Obrázek 3.12 Distribuce bodů při vjezdech do Pisáreckého tunelu v Brně

Záznam o poloze vozidla a dalších atributech je uskutečněn každých 10 sekund. Za tuto dobu vozidlo ujede určitou vzdálenost závisící na jeho rychlosti. Proto, aby měření bylo zaznamenáno v každém úseku, které vozidlo projelo, musí mít úseky sítě pozemních komunikací určitou minimální délku. Tato vzdálenost je označena jako délka kritická, která je pro zobecnění vypočtena z maximální povolené rychlosti na daném úseku.



Obrázek 3.13 Distribuce bodů z měření jednoho vozidla ve vztahu k četnosti úseků sítě pozemních komunikací StreetNet, *Zdroj sítě komunikací: CEDA Maps a.s.*

Aby byla tedy omezena chyba, že záznamy průjezdu vozidla vynechají některý úsek komunikace, musí úseky referenční sítě minimální délku danou následující tabulkou.

Tabulka 3.1 Hodnoty kritických délek úseku

Rychlost [km/h]	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
Kritická délka úseku [m]	83	111	139	167	194	222	250	278	306	333	361	389

3.5 ANALÝZA V SOFTWARE MS EXCEL

Výsledná analýza byla provedena v softwaru MS Excel za použití jeho základních funkcí, zejména kontingenční tabulky. Tento nástroj umožňuje rychle a snadno třídit a selektovat záznamy, včetně vytvoření seznamu unikátních záznamů identifikačních kódů vozidel. Tato vlastnost je důležitá proto, že záznam o poloze vozidla se může vyskytovat více než jednou, a tedy značně ovlivňovat výsledné hodnoty dopravních veličin.

Vyžitím filtru podle úseku lze ihned zjistit celodenní intenzity na daném úseku a např. také skladbu dopravního proudu. Nutno zdůraznit, že tyto veličiny vzhledem k rozsahu sledovaných vozidel reprezentují pouze procentuální vzorek ze skutečného celkového dopravního proudu.

Více vypovídající veličinou získanou přímo z této analýzy je zaznamenaná rychlost vozidla. Údaj o rychlosti vozidla vypovídá, že pokud je rychlost výrazně nižší, než je maximální povolená rychlost, reprezentuje tento údaj skutečnou zvýšenou hustotu provozu na daném úseku bez ohledu na dílčí vzorek sledovaných vozidel.

Poslední využitelný analyzovaný údaj je informace o směru jízdy vozidla, který může být využit pro rozdělení záznamů do jednotlivých směrů na komunikaci při jednoznačné definici orientace celé komunikace (úseku). Tuto hodnotu o směru úseku je pro zjednodušení možno získat pouze hrubým měřením nad mapovým podkladem. Následně je tato hodnota porovnána s hodnotou směru vozidla a záznamy rozříděny.

Tabulka 3.2 Ukázka vztahu průměrné rychlosti na úseku v jednotlivých hodinách

	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24
1	64	65	65	64	58	59	52	54	60	52	55	55	57	59	56	56	61	56	64	88	57	63		
2	64	77	63	61	61	55	52	52	55	54	53	48	50	52	54	58	54	56	66	60	56			57
3	64	73	46	34	62	60	57	59	57	55	54	57	57	57	58	58	54	60	67	65	58	68		52
4	68	76	61	50	68	64	61	62	62	61	58	62	60	63	62	62	60	63	77	69	62	68		61
5	72	79	60	45	73	65	67	65	59	60	67	63	65	62	62	62	62	68	56	75		67		
6	72	72	62	64	72	61	62	64	65	63	64	66	66	62	65	66	60	68	67		65	64	74	69
7	72	80	62	59	71	65	55	58	62	59	59	62	55	57	58	62	58	58	63	86				
8	72	80	70	58	62	54	44	54	58	54	57	60	57	55	56	57	56	56	59	82	62	36	51	52

4 ŘEŠENÁ OBLAST – VELKÝ MĚSTSKÝ OKRUH BRNO

4.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE

Pro aplikování poznatků o chování dat ze sledování vozidel pomocí GPS byl vybrán Velký městský okruh v Brně. Tato silnice I. třídy I/42 je ve městě Brně velmi důležitou komunikací z hlediska dopravní propustnosti uvnitř území města a také z hlediska převodu tranzitní dopravy zejména ve směru sever – jih.

Tato komunikace na řadě míst svými technickými parametry, zejména šířkovým uspořádáním vozovky, nerespektuje současné dopravní zatížení a v souvislosti s tím vznikají v ranních a odpoledních špičkách v mnoha místech dopravní kongesce.

Celková délka silnice v současného stavu činí 17,705 km (dle staniční ŘSD ČR). Dostavba velkého městského okruhu je ve městě Brně velmi diskutovaným tématem. Po dokončení dostavby velkého městského okruhu délka okruhu bude cca 20,500 km s výraznou změnou trasování v jeho jižní a východní části.



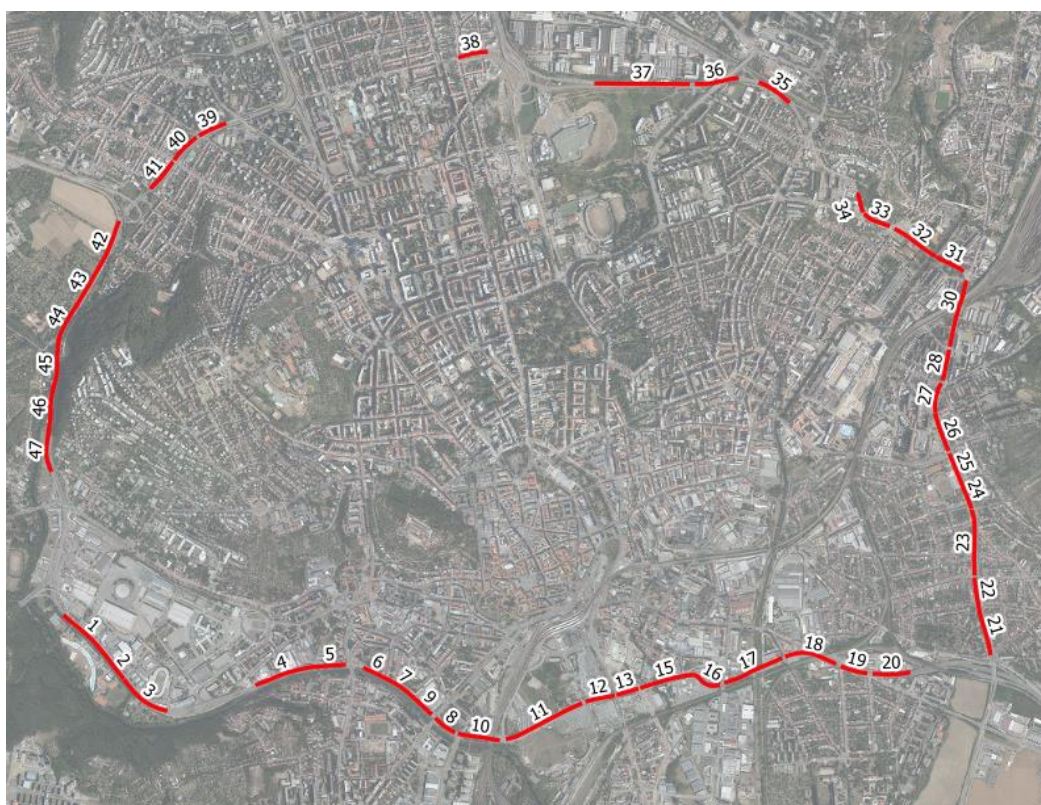
Obrázek 4.1 Návrhový stav velkého městského okruhu (šedě stav současný) [7]

4.2 TVORBA REFENČNÍ SÍTĚ

Vzhledem k tomu, že vstupní testování prokázalo, že úseky komunikační sítě StreetNet jsou pro analýzu dat v rozsahu diplomové práce příliš krátké a síť příliš podrobná, byla vytvořena vlastní linie sledované trasy VMO nad vrstvou ortofota, pokud možno respektující podmínky pro úseky pro analýzu dat ze sledování vozidel pomocí GPS za účelem eliminace chyb.

Byly vynechány prostory křižovatek, zejména mimoúrovňových, tunelové úseky a místa mimoúrovňového křížení s jinou komunikací.

Úseky byly označeny pracovními identifikačními čísly, počínající u mimoúrovňové křižovatky Hlinky, číslováno proti směru hodinových ručiček.



Obrázek 4.2 Rozdělení VMO na pracovní úseky

Přiřazení záznamů k úsekům bylo provedeno pomocí obalové křivky s primární šířkou 20 m, který byla manuálně upravena s ohledem na měnící se šířkové uspořádání v jednotlivých částech velkého městského okruhu.

4.3 ANALÝZA DAT

Pro velký městský okruh jako celek byly vytvořeny následující výstupy.

4.3.1 Celodenní intenzita na jednotlivých úsecích



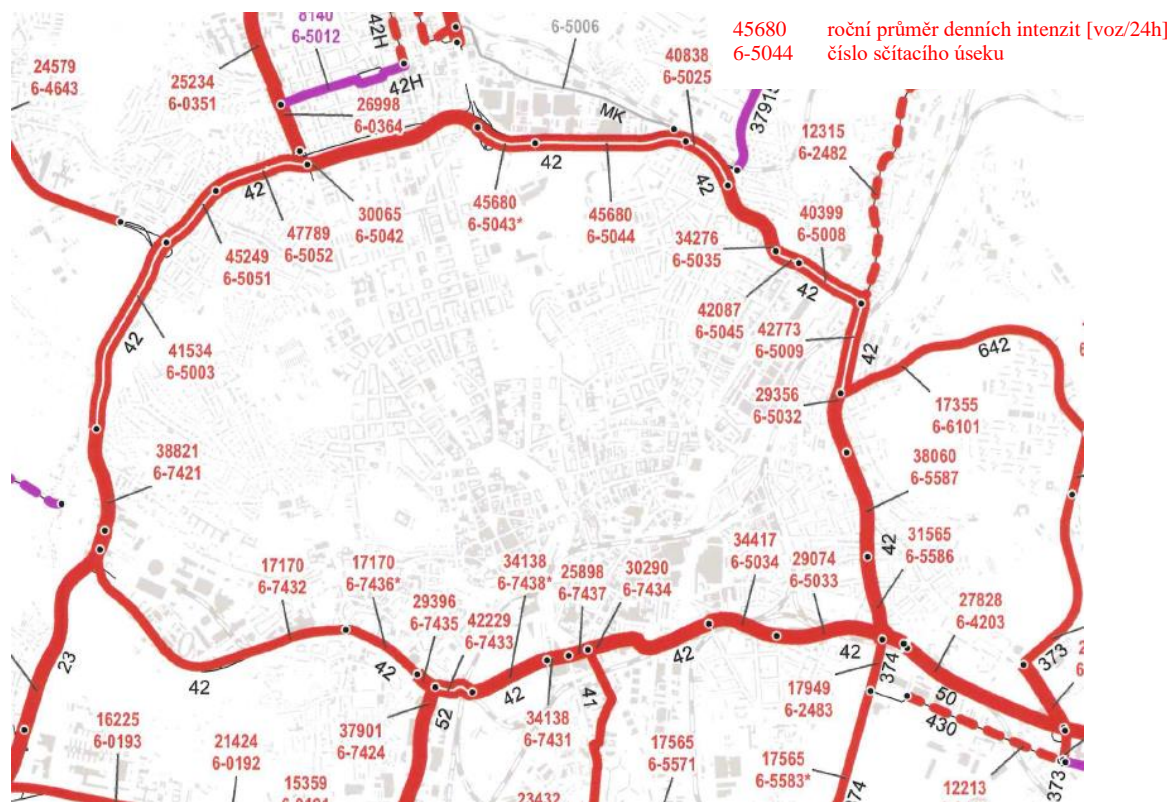
Obrázek 4.3 Denní intenzity na úsecích VMO

Nutno zdůraznit, že se nejedná o hodnoty skutečných intenzit, ale pouze o určité procento ze skutečné intenzity dopravního proudu. Pro velký městský okruh, jakožto silnici první třídy jsou k dispozici hodnoty skutečných intenzit ze celostátního sčítání dopravy z roku 2016. Následující tabulka ukazuje rozdíl hodnot intenzit získaných z analýzy měření vozidel pomocí GPS a z celostátního sčítání dopravy.

Tabulka 4.1 Porovnání výsledných intenzit na jednotlivých úsecích, kde A - hodnota zjištěná analýzou dat, B - hodnota získaná sčítáním dopravy z roku 2016, C - procentuální vyjádření podílu A/B

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
A	736	480	684	771	676	396	603	928	570	1314	1090	900	768	1026	776	1015	1202	942	851	1118	850	1262	924
B	18648	18648	18648	18648	18648	18648	33001	18648	45794	37155	37155	28131	32957	32957	32957	37423	37423	31554	34547	41615	41615	41615	41615
C	3,9%	2,6%	3,7%	4,1%	3,6%	2,1%	1,8%	5,0%	1,2%	3,5%	2,9%	3,2%	2,3%	3,1%	2,4%	2,7%	3,2%	3,0%	2,5%	2,7%	2,0%	3,0%	2,2%
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
A	831	1061	941	1377	1172	1787	1322	1548	1320	826	995	1102	1679	355	884	962	983	1259	1271	1192	1259	1175	1028
B	32196	32196	46613	46613	46613	46613	44095	44095	45979	37390	44610	49700	49700	32768	50836	48086	48086	44170	44170	44170	44170	44170	41261
C	2,6%	3,3%	2,0%	3,0%	2,5%	3,8%	3,0%	3,5%	2,9%	2,2%	2,2%	2,2%	3,4%	1,1%	1,7%	2,0%	2,0%	2,9%	2,9%	2,7%	2,9%	2,8%	0,0%

Průměrný podíl plovoucí flotily vozidel vůči celkovému dopravnímu proudu činí ve sledované oblasti **2,8 %**.



Obrázek 4.4 Hodnoty ročních průměrů denních intenzit z celostátního sčítání dopravy z roku 2016 [8]

Analýzou směrů jízdy jednotlivých vozidel lze určit také procentuální zastoupení vozidel v jednotlivých směrech komunikace.



Obrázek 4.6 Procentuální zastoupení dopravního proudu na VMO, po směru hodinových ručiček



Obrázek 4.5 Procentuální zastoupení dopravního proudu na VMO, proti směru hodinových ručiček

4.3.2 Skladba dopravního proudu

Tabulka 4.3 Procentuální zastoupení jednotlivých kategorií vozidel na úsecích VMO

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
M1	80	82	80	80	81	80	81	79	82	78	79	79	80	81	82	81	82	82	82	75	77	76	76
M2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N1	13	9	13	13	12	12	12	14	11	17	15	15	14	15	14	15	14	14	13	19	18	19	19
N2	5	6	5	5	5	6	5	5	5	4	5	5	4	4	3	4	3	3	4	4	3	4	4
N3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1

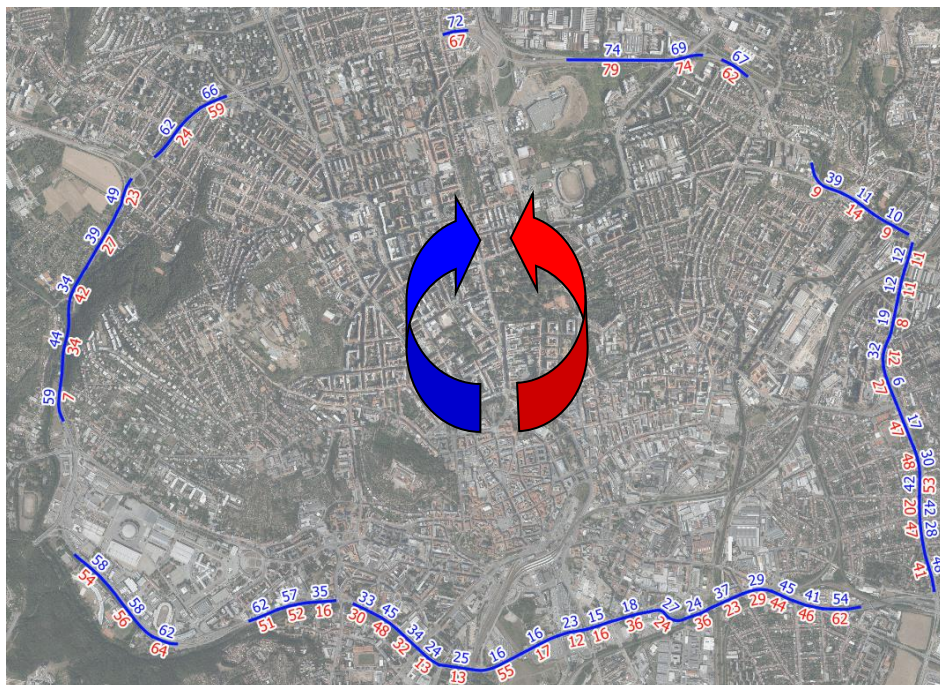
	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
M1	79	78	77	79	78	78	81	80	79	82	82	81	80	85	81	82	82	82	82	81	80	82	80
M2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
M3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N1	17	17	17	17	18	18	16	17	16	14	14	15	16	9	13	12	12	11	11	12	12	12	12
N2	3	3	5	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	4	4	5	5	5	4	5
N3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3

Automobilová má v datech z měření GPS průměrné zastoupení 80 % a nákladní 20 %. Při porovnání těchto hodnot s hodnotami ze sčítání vozidel je tento průměr velmi ovlivněn ve prospěch nákladních vozidel, která dle sčítání zaujímají pouze 2,5 % z celkového dopravního proudu, a tedy automobilová doprava má mnohem dominantnější postavení oproti výsledkům ze satelitního měření vozidel.

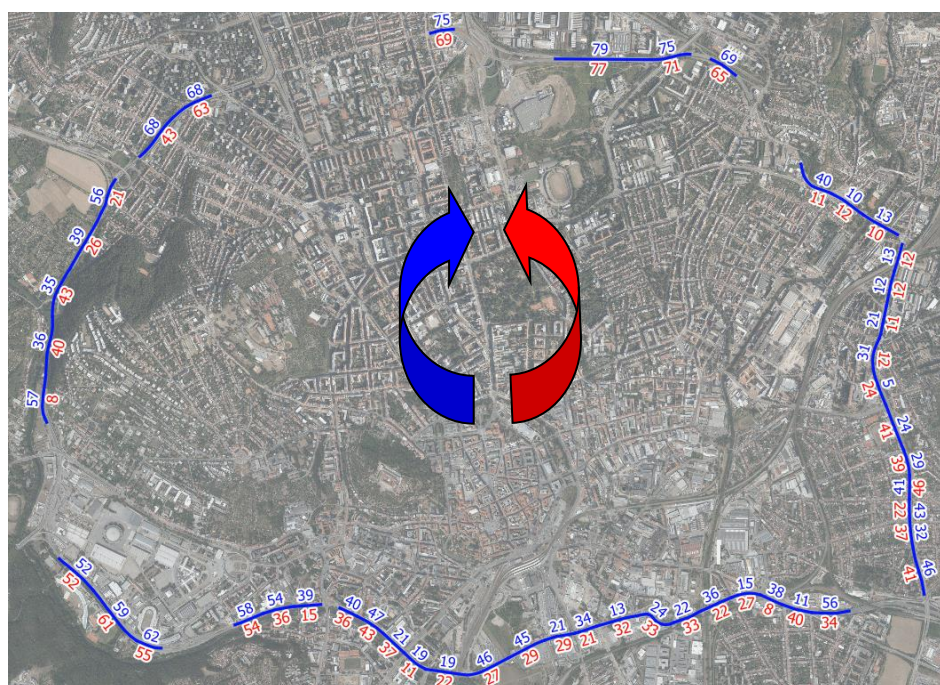
Tento údaj je ovlivněn podílem nákladních a osobních vozidel ve sledované plovoucí flotile, což může být dáno tím, že firmy sledují zejména nákladní vozy.

4.3.3 Rychlost dopravního proudu

Při analýze rychlosti byl kladen důraz na vliv kongescí při ranní a odpolední dopravní špičce, kdy na určitých úsecích dochází k výraznému poklesu rychlosti dopravního proudu.



Obrázek 4.7 Průměrná rychlost vozidel na VMO při odpolední ranní špičce (7-8h)



Obrázek 4.8 Průměrná rychlost vozidel na VMO při odpolední dopravní špičce (15-16h)

4.3.4 Směrový průzkum

Výhodou těchto dat ze satelitního měření je možnost rychle a snadno udělat směrový průzkum i na takto rozlehlém území se spoustou sledovaných komunikací.



Obrázek 4.9 Sledované připojující se komunikace na VMO s jejich pracovním ID

Ovšem mimo jiné kvůli anonymizaci dat, kdy na takto velkém území nastává problém změny identifikačního kódu vozidla v průběhu jízdy po VMO a vozidlo je identifikováno pouze na jednom vjezdu. Podíl takovýchto záznamů vozidel činí 43 %.

Naopak jsou tu i vozidla (14 %), která jsou zaznamenána na více než 2 vjezdech a při tomto způsobu zpracování velmi výrazně ovlivňují výsledné hodnoty. Ze zpracování jsou tedy vyloučena.

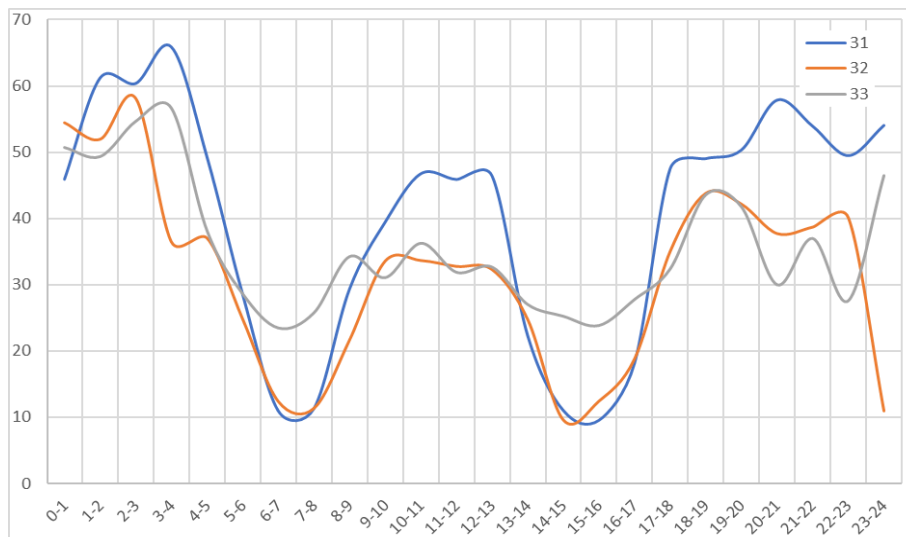
Tyto skutečnosti značně znehodnocují výsledné směrové intenzity a musí být k nim přihlíženo pouze jako k orientačním z hlediska procentuálního rozložení jednotlivých tras jízdy vozidel.

4.4 TOMKOVO NÁMĚSTÍ

Tomkovo náměstí v Brně-Husovicích je rozlehlá průsečná křižovatka v severovýchodní části VMO, kde kromě automobilové dopravy projíždí i tramvajová linka č.4, trolejbusové linky č. 25 a 26 a autobusové linky č. 44, 57 a 84. Pravidelně v ranních a odpoledních špičkách zde nastávají kongesce, které samozřejmě výrazně ovlivňují i vozidla městské hromadné dopravy. Díky záznamům z měření vozidel pomocí GPS je možno na vybraných úsecích analyzovat dopravní proud.



Obrázek 4.10 Tomkovo náměstí s vyznačenými řešenými úseky a jejich pracovním označením



Graf 4.1 Denní průběh průměrné rychlosti vozidel na vybraných úsecích

Na grafu 5.1 je jasně patrný vliv kongescí na rychlost vozidel, kdy během ranní (od 6:00 do 8:00) a odpolední (od 14:00 do 17:00) dopravní špičky klesá hodnota průměrné rychlosti až k 10 km/h.

4.4.1 Matice zdrojů a cílů

Matice zdrojů a cílů je ideální nástroj pro určení dopravních směrů zejména v prostoru křižovatek, kde se mísí různé směry jízdy vozidel, a proto byla tato místa doposud vyloučena z analýzy.

Principem vytvoření této matice je nalezení shodných identifikačních kódů vozidel v měřených profilech, v případě dat z měření pomocí GPS v oblastech na větvích křižovatky.



Obrázek 4.11 Oblasti pro identifikaci ID vozidel pro potřeby tvorby matice s jejich pracovním označením

Oblast „B“ je odsunuta dále, protože bezprostředně na řešené území navazuje Husovický tunel, kde záznamy z GPS chybí. Taktéž pro stanovení matice zdrojů a cílů musí mít úseky v oblasti délku větší, než je délka kritická.

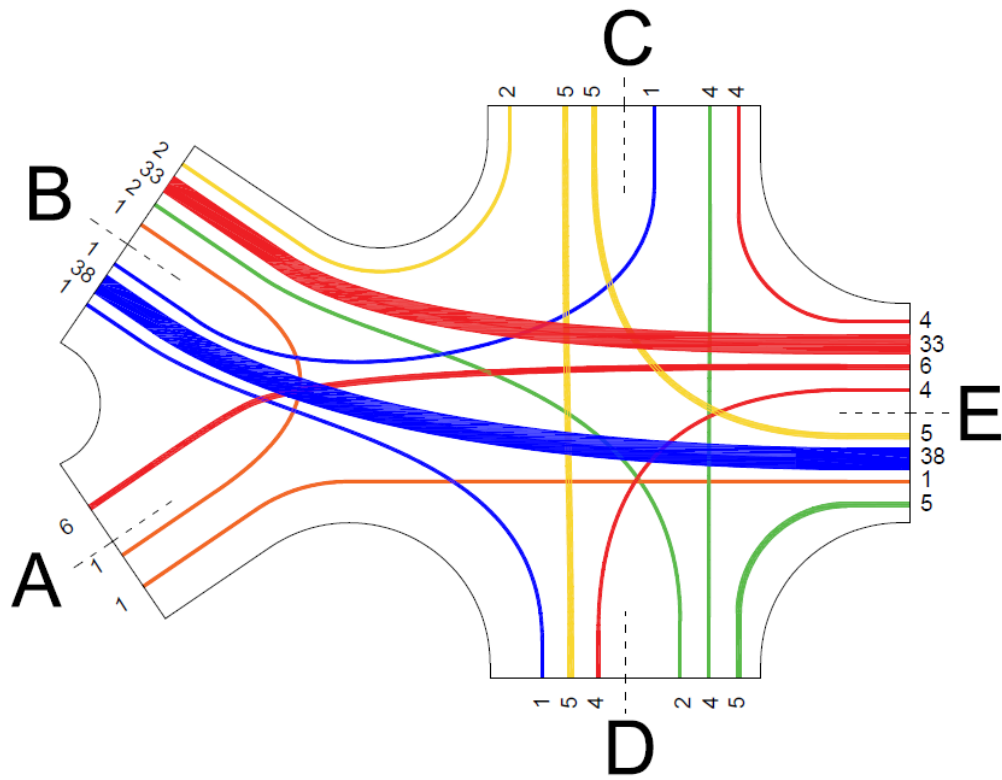
Tabulka 4.7 Matice zdrojů a cílů

7-8h	A	B	C	D	E	15-16h	A	B	C	D	E
A	X	1	0	0	1	A	X	0	0	0	0
B	0	X	1	1	38	B	0	X	4	1	29
C	0	2	X	5	5	C	0	7	X	4	2
D	0	2	4	X	5	D	0	1	7	X	4
E	6	33	4	4	X	E	7	22	2	3	X

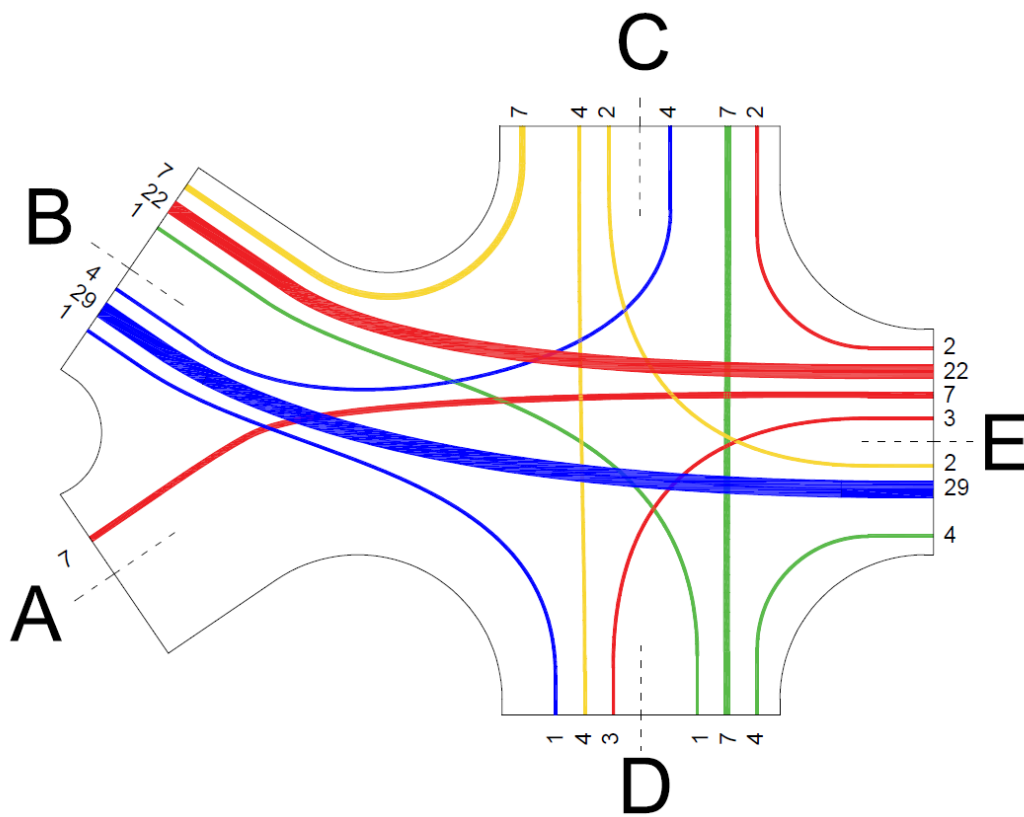
Tabulka 4.9 Matice zdrojů a cílů v procentuálním vyjádření

7-8h	A	B	C	D	E	15-16h	A	B	C	D	E
A	X	50%	0%	0%	50%	A	X	0%	0%	0%	0%
B	0%	X	3%	3%	95%	B	0%	X	12%	3%	85%
C	0%	17%	X	42%	42%	C	0%	54%	X	31%	15%
D	0%	18%	36%	X	45%	D	0%	8%	58%	X	33%
E	13%	70%	9%	9%	X	E	21%	65%	6%	9%	X

Z těchto matic je patrný převládající dopravní proud mezi B a E, tedy pohyb vozidel na velkém městském okruhu.



Obrázek 4.12 Pentlogram dopravy (7-8h)



Obrázek 4.14 Pentlogram dopravy (15-16h)

5 VYUŽITÍ PRO ÚZEMNÍ PLÁNOVÁNÍ

Podle odst. 1 §43 zákona č. 183/2006 Sb. O územním plánování a stavebním řádu (Stavební zákon), ve znění pozdějších předpisů, územní plán stanoví základní koncepci rozvoje území obce ochrany jeho hodnot, jeho plošného a prostorového uspořádání, uspořádání krajiny a koncepci veřejné infrastruktury.

Jeho podkladem pro řešení dopravní infrastruktury mohou být různé dopravní průzkumy, modely dopravy, dopravní studie, generely dopravy a jiné analýzy. Pro modely i generely dopravy jsou vstupními daty intenzity dopravy na stávající síti pozemních komunikací (celostátní sčítání dopravy) doplněné o další metody získání vstupních dat:

- směrové průzkumy,
- profilové průzkumy,
- křižovatkové průzkumy.

Metody získání dopravních veličin použité pro modely dopravy a dalších analýzy jsou popsány v technických podmínkách TP 189 Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích.

Intenzita dopravy na pozemní komunikaci se zjišťuje těmito způsoby:

1. Využití výsledků předchozích dopravních průzkumů.
 - a. Celostátní sčítání dopravy (CSD) – je základní informací o intenzitách automobilové dopravy v ČR. Výsledné hodnoty intenzit dopravy jsou stanoveny na základě výsledků krátkodobých průzkumů prováděných na sledovaném úseku komunikace v průběhu roku. Intenzity jsou uváděny jako odhad ročního průměru denních intenzit (RPDI).
 - b. Dlouhodobé automatické sčítání dopravy – Sčítání se provádí automatickými technickými prostředky, které jsou umístěny především na komunikacích vyššího dopravního významu.
 - c. Využití výsledků jiných dopravních průzkumů – na některých komunikacích, zejména v obcích, se pravidelně nebo účelově provádí dopravní průzkumy motorové, cyklistické i pěší dopravy.

2. Provedením a vyhodnocením vlastního dopravního průzkumu.
 - a. Ruční – výhodou je operativnost a možnost přesnějšího rozlišení druhu vozidel, nevýhodou ovlivnění měření lidským faktorem a obtíže při vysokých intenzitách.
 - b. Průzkumy pomocí automatických technických prostředků – vhodné pro dlouhodobé průzkumy.
 - detektory zabudované nebo připevněné k vozovce
 - radarové a infračervené detektory
 - videodetekce
 - c. Kombinovaný – například videozáznam provozu s ručním vyhodnocením.

5.1 SLEDOVÁNÍ VOZIDEL POMOCÍ GPS

Tato metoda získání dopravních veličin by mohla být dalším zdrojem informací z automatických technických prostředků pro dopravní průzkumy.

Její výhodou je celodenní sběr dat na území celé České republiky a schopnost reflektovat aktuální změny v dopravě. Oproti celostátnímu sčítání dopravy je výhodou, že data zahrnují celou komunikační síť, tj. nejen dálnice a silnice, ale i veškeré místní komunikace. Je nutné však respektovat podmínky pro analýzu dat, tj. skutečnost, že se jedná pouze o vzorek z celkového dopravního proudu. Výsledky jsou tedy orientační, pro přepočítání na skutečné intenzity dopravy by bylo vhodné provést opakovanou analýzu pro několik dní a tyto výsledky porovnat s existujícími způsoby měření.

Vzhledem k nutné anonymizaci dat sledování vozidel pomocí GPS se jeví užití dat pro směrové dopravní průzkumy vhodnější pro menší územní celky, kde lze předpokládat, že jízda vozidla ze zdroje do cíle cesty bude kratší než jedna hodina.

6 ZÁVĚR

Strojové zpracování dat z měření polohy vozidel pomocí GPS může být uskutečněno pomocí dostupných softwarů, prezentovaných v diplomové práci, tj. R-studio, QGIS, MS Excel, a získaná data jsou s přihlédnutím na omezující faktory, uvedené v diplomové práci, možným zdrojem informací o veličinách dopravního proudu.

Pro modelovou komunikaci – silnici I/42, Velký městský okruh v Brně (VMO), byly analýzou dat získány úsekové intenzity dopravy, jejich distribuce do jednotlivých směrů, směrový průzkum i skladba dopravního proudu.

Výstupem je také srovnání získaných hodnot s hodnotami intenzit dopravy - ročního průměru denních intenzit [voz/24h] (RPDI) z celostátního sčítání dopravy, kdy získaná intenzita dopravy z dat sledování vozidel pomocí GPS na VMO průměrně činí 2,8 % z RPDI.

Zjištěná skladba dopravního proudu je ovlivněna velkým zastoupením nákladních vozidel ve sledovaném vzorku vůči reálnému podílu nákladních vozidel v dopravním proudu a při použití těchto dat by muselo být k této skutečnosti přihlédnuto.

Dále byly získány analýzou dat rychlosti dopravního proudu, a to konkrétně v hodinách ranní a odpolední dopravní špičky, kdy dochází vlivem kongescí k výraznému zpomalení dopravy – modelově řešeno v oblasti Tomkova náměstí v Brně. Pro tuto problematiku křižovatku byla sestavena i matice zdrojů a cílů, která prokázala, že přibližně 60 % dopravy tvoří pohyb vozidel po VMO, 40 % vozidla v křižujícím směru.

Cílem práce bylo ukázat tento zdroj dat jako doplňující zdroj informací pro potřeby zpracování dopravních průzkumů a jejich analýz jako podkladu pro územní plánování.

Vzhledem k omezenému rozsahu měřených vozidel je nutné k výsledkům analýz přistupovat jako k datům doplňujícím, která mohou jiné dopravní průzkumy doplnit o atributy dopravního proudu, které tyto dopravní průzkumy nesledují (např. rychlost dopravního proudu) tj. atributy, o kterých lze předpokládat, že nejsou ovlivněny velikostí vzorku. Pro ostatní dopravní veličiny by bylo vhodné analýzy provést pro větší časový rozsah s cílem eliminace statistické chyby.

7 PŘÍLOHY

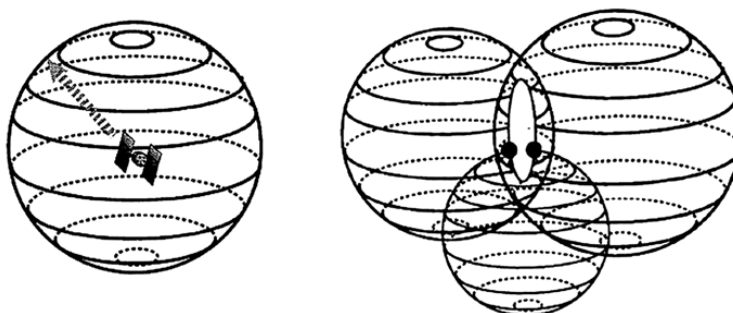
7.1 NAVIGAČNÍ SYSTÉM

Navigace je definována jako věda o přepravě zboží a osob z jednoho místa na druhé. Každý z nás dennodenně používá nějakou formu navigace, ať už na bázi nejzákladnějších typů navigace, při jízdě do práce nebo chůze do obchodu. U těchto aktivit postačí naše běžné smyslové vnímání prostoru například podle významných orientačních bodů v krajině. Pro přesnější určení polohy, rychlosti, trasy nebo času, za který dorazíme k cíli, je zapotřebí sofistikovanější technologie. [9]

7.2 SATELITNÍ NAVIGACE

Nejmodernější je systém pro získání těchto veličin je systém soustav navigačních družic obíhajících zemi ve výšce přibližně 20 200 km. V těchto satelitních systémech působí satelity jako referenční body a vzdálenosti k nim jsou měřeny pro určení trojrozměrné pozice (šířka, délka a výška, nebo X,Y a Z). [10]

Koncept určení polohy spočívá v měření času, který trvá signálu absolvovat cestu od vysílače k přijímači. Vynásobením této časové prodlevy rychlostí signálu (rychlost světla) je získána konkrétní vzdálenost. Tato vzdálenost vytváří kulovou plochu okolo daného satelitu, tedy možnou polohu cíle na této ploše. Přidáním měření z dalších satelitů, tedy dalších kulových ploch a následným vyhledání jejich průsečíků je vypočtena 3D poloha cíle.



Obrázek 7.1 Princip určení 3D polohy pomocí satelitů

Poloha cíle je celosvětově standartně určována v geodetickém systému WGS 84 (World Geodetic System 1984), kde souřadnice vycházejí ze souřadnic zeměpisných, zeměpisné šířky a délky a nadmořské výšky. Podle potřeby mohou být tyto souřadnice transformovány do lokálních souřadnicových systémů, např.: S-JTSK na území České republiky.

7.3 GNSS

Služba umožňující prostorové určování polohy s celosvětovým pokrytím se nazývá *Globální družicový polohový systém* známý pod zkratkou *GNSS* (z anglického výrazu Global Navigation Satellite System). Jedná se o velmi přesnou a nepřetržitou technologii vysílání radiového signálu, jejíž funkčnost zcela nezávisí na klimatických podmínkách.

Každý satelit GNSS vysílá radiový signál ve dvou nebo více frekvencích (1–2 GHz) s vlnovou délkou okolo 20 cm. Kromě určování polohy v čase mohou být sledování ze satelitů GNSS společně se sledováním z pozemních stanic GNSS použity pro měření různých veličin atmosférických jevů na zemi, např. rychlost a směr větru nad oceánem nebo tloušťku sněhu a ledu. [11]

Služba GNSS je poskytována několika navigačními systémy. Kromě systémů celosvětového rozsahu (tabulka 1.1) existují i systémy regionálního rozsahu (tabulka 1.2).

Tabulka 7.1 Globální polohové a navigační systémy [12][13][14]

Název	Provozovatel	Počet satelitů
NAVSTAR GPS	Spojené státy americké	31
GLONASS	Rusko	24
Galileo	Evropská Unie	22
BeiDou	Čína	33

Σ 110

Tabulka 7.2 Regionální polohové a navigační systémy [9]

Název	Provozovatel	Počet satelitů	Rozsah
IRNSS (NAVIC)	Indie	7	Indie + 1500 až 6000 km za hranicemi
QZSS	Japonsko	4	Japonsko a Oceánie

Σ 11

7.3.1 Historický vývoj

GPS

První předchůdce dnešních satelitních systémů byl vyvinut ve Spojených státech amerických v šedesátých letech minulého století. Několik vládních organizací se v té době zajímalo o vývoj satelitních systémů pro určení polohy v trojrozměrném prostoru. Plánované vlastnosti měly být následující: celosvětové pokrytí, provoz za jakýchkoliv klimatických podmínek a vysoká přesnost. [9]

V roce 1964 by zprovozněn systém *Transit* využívaný americkým námořnictvem. Měl ovšem svá omezení. Přesnou pozici určoval pouze ve dvojrozměrném prostoru a trvalo desítky minut, než nová pozice byla vypočtena. Tato skutečnost příliš nevalila v námořní dopravě, kde rychlosti jsou relativně malé, ale pro např. leteckou dopravu již tento systém vhodný nebyl. Proto záhy byly snahy tento systém vylepšit a rozšířit tak jeho použití.

Kancelář ministerstva obrany v roce 1969 založila program DNSS (Defence Navigation Satellite System), který měl za úkol sloučit snahy jednotlivých vojenských složek do jednoho sdíleného systému. Memorandem Ministerstva obrany USA ze dne 17. 4. 1973 se na základě předchozích výzkumných programů metod družicové navigace *Timation* a *621 B* zrodil systém *NAVSTAR GPS*, systém, jež známe ze současnosti jako GPS a je pro veřejnost synonymem k celému konceptu satelitní navigace GNSS.

Poté co korejské letadlo bylo sestřeleno, když ztratilo orientaci nad územím sovětského svazu, v roce 1983 byl systém GPS povolen pro civilní účely. Na konci osmdesátých let byl předveden první ruční přijímač a od března roku 1966 byla služba GPS učiněna bezplatnou pro běžné uživatele.

Roku 1999 vláda Spojených států amerických oznámila modernizaci GPS, jež přineslo přidání dalších dvou signálů. V 21. století se spolu s rapidním technologickým pokrokem vyvíjí i systém GPS. Jedná se o zlepšení přesnosti polohové i časové, systém řešení integrity, schopnost mezisatelitního síťového spojení s vysokou kapacitou dat a posílení signálu pro vojenské účely.

GLONASS

Ruský globální družicový systém GLONASS (z ruského **Г**ЛОбальная **Н**Авигационная **С**путниковая **С**истема) je primárně využíván ruskou armádou a část služeb s omezenou přesností je poskytnuta civilnímu obyvatelstvu. [12]

Vývoj započat roku 1976 v Sovětském svazu s první vypuštěnou testovací družicí roku 1982. Spuštění provozu v plném rozsahu se systém dočkal až roku 2010, kdy bylo pokryto území Ruska. Následný rok byl dosah funkčnosti systému rozšířen na celou planetu a zajištěna kompatibilita s ostatními systémy, a tedy GLONASS mohl být začleněn do seznamu poskytovatelů služby GNSS.

Galileo

V roce 1998 se Evropská unie usnesla vytvořit satelitní navigační systém, který bude nezávislý na existujícím systému GPS a bude primárně zaměřen na civilní obyvatelstvo s celosvětovým pokrytím. [9]

Dne 28. prosince 2005 byla do vesmíru vyslána první navigační testovací družice. V době, kdy proběhlo první zaměření cíle na zemském povrchu s přesností 10 – 15 m bylo na oběžné dráze již 10 družic. Od roku 2014 jejich počet stále narůstal až na současných 22 družic. [13]

Po dokončení systém Galileo poskytuje několik úrovní poskytovaných služeb. [9]

1. Otevřená služba bez přímých uživatelských poplatků s polohovou přesností lepší než 4 m a přesností výškovou lepší 8 m.
2. Komerční služba, která spojí data s přidanou s polohovací službou vysoké přesnosti.
3. Služba Safety-of-life (SOL), která je kódovaná s důrazem na integritu a bezpečnost.
4. Veřejná regulovaná služba výhradně pro uživatele oprávněné vládou vyžadující vyšší úroveň ochrany.
5. Podpora pátrání a záchrany.

BeiDou

Plány na vývoj samostatného čínského systému satelitní navigace pochází z osmdesátých let minulého století a z hlediska následného vývoje je budování rozděleno do ří etap. [14]

První etapa BeiDou-1, započatá v roce 2000, spočívala ve vyslání tří družic na oběžnou dráhu, geostacionárně umístěných nad územím Číny. Rozsah pokrytí byl tedy pouze regionální.

V roce 2012 s ukončením etapy první byla spuštěna etapa druhá, která nabízí širší pokrytí, od Kazachstánu po Nový Zéland. Přesnost tohoto systému je 10 metrů pro civilní použití a až 10 centimetrů pro vojenské účely.

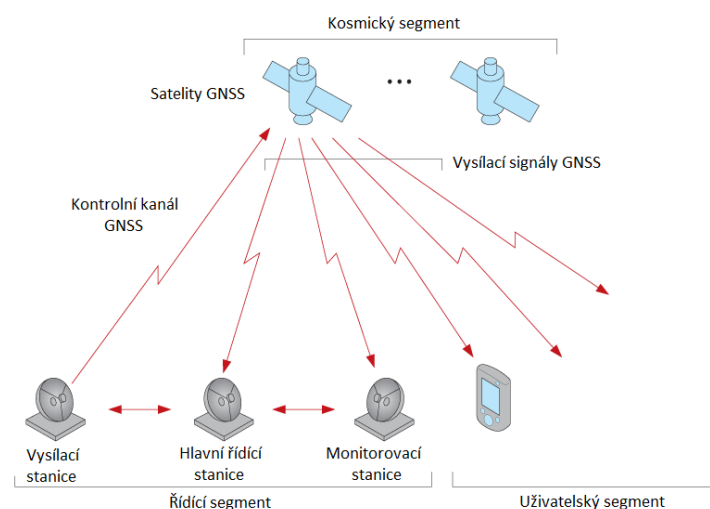
Třetí fáze vývoje spočívá ve vylepšování předchozího systému a 27. prosince 2018 navigační systém BeiDou poskytuje celosvětové pokrytí.

7.3.2 Segmenty GNSS

Funkčnost navigačního satelitního systému je zajištěna pomocí tří segmentů. [15]

1. kosmický segment
2. řídicí segment
3. uživatelský segment

Tato přesně definovaná struktura byla navržena Spojenými státy americkými (GPS) a Sovětským svazem (GLONASS) a je také následně použita i zbylými navigačními systémy (Galileo a BeiDou).

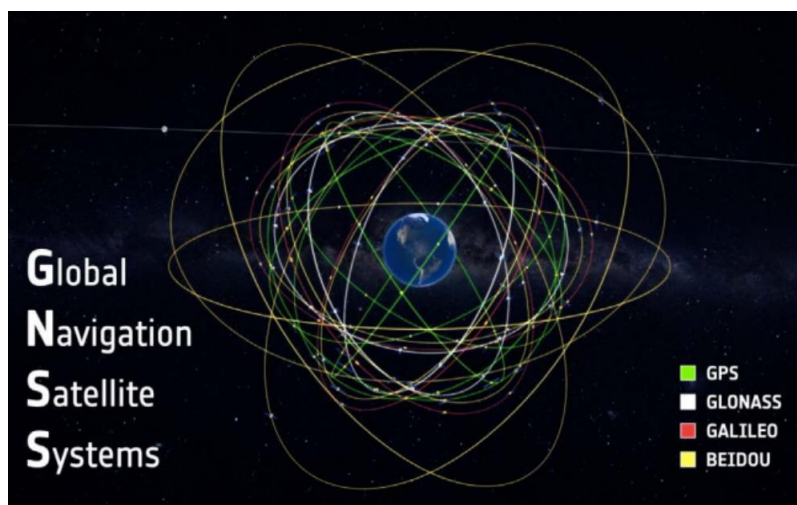


Obrázek 7.2 Segmenty GNSS [15]

Kosmický segment

Tento segment je složen z konstelací navigačních satelitů vybavených navigačními přístroji a anténami, velmi přesnými atomovými hodinami a dalších systémů jako kontrolní mechanismy teplotní ochrany, pohonu a oběžné dráhy družice, řídicí a komunikační jednotka a vlastní pohon. [11]

Konstelace je navržena tak, aby byly byla umožněna dostupnost nejméně čtyř satelitů na jakémkoliv místě na zemi v libovolném čase. Satelity jsou rozmístěny v různých hladinách oběžné dráhy ve výšce 20 000 – 30 000 km nad povrchem Země.



Obrázek 7.3 Satelitní konstelace jednotlivých systémů GNSS [16]

Řídicí segment

Tento segment se skládá ze sítě pozemních hlavních řídicích stanic, vysílacích stanic a monitorovacích stanic rozmístěných po celém světě.

Monitorovací stanice tvoří síť 16 jednotek, které zaznamenávají satelity při průletu nad nimi a sbírají navigační data, atmosférická data a data z dalších měření. Tyto data dále předává hlavní řídicí stanici, která je analyzuje a vypočte korekce dráhy a času.

Řídicí stanice jsou dvě, jedna primární a jedna záložní, umístěné na území Spojených států amerických. Řídicí stanice mimo jiné zajišťuje:

- velení a řízení konstelace satelitů,
- využívá globální data z monitorovacích stanic pro výpočet přené jejich polohy,
- sleduje satelitní vysílání a řeší údržbu satelitů z hlediska odchylek pro zajištění optimální konstelace. [11][17]

Vysílací stanice, jak z názvu vyplývá, vysílají data zpracované řídicí stanicí směrem k satelitům. Síť vysílací stanic se skládá ze čtyř pozemních antén, určené výhradně pro navigační systém. [17]

Uživatelský segment

Uživatelský segment se skládá ze zařízení, která dokážou zpracovat vysílaný signál ze satelitů GNSS a následně určit požadované informace. [15]

Základními funkcemi navigačních přijímačů jsou: zaměření polohy a nadmořské výšky, zaměření okamžité, průměrné a maximální rychlosti pohybu, určení směru pohybu a přesného času. Pokud je definován cíl trasy, přístroj počítá vzdálenost do cíle směr k němu, zbývající čas a čas dojezdi do cíle a odchylku od požadovaného směru. [10]

Přijímač je tvořen anténou, radiofrekvenční jednotkou, mikroprocesorem, komunikační jednotkou, pamětí a zdrojem napětí. Anténa je doplněna předzesilovačem, protože signály jsou slabé. [10]

Existuje celé škála takovýchto zařízení od chytrých telefonů a ručních přijímačů používaných turisty, přes navigační jednotku v dopravních prostředcích, po sofistikované a specializované přijímače pro přesnou geodézii a mapovací aplikace. [15]



Obrázek 7.4 Ukázky navigačních GPS přijímačů [10]

8 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] CSV [online]. 2019 [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/CSV>
- [2] *Příkazový řádek* [online]. 2019 [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/P%C5%99%C3%ADkazov%C3%BD_%C5%99%C3%A1dek
- [3] *RStudio* [online]. 2020 [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://rstudio.com>
- [4] *Free and open-source software* [online]. 2020 [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Free_and_open-source_software
- [5] *R Programming Tutorial - Learn the Basics of Statistical Computing* [online]. 2019 [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: https://www.youtube.com/watch?v=_V8eKsto3Ug&t=7s
- [6] *Specifikace a omezení Excelu* [online]. 2020 [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://support.office.com/cs-cz/article/specifikace-a-omezení-excelu-1672b34d-7043-467e-8e27-269d656771c3>
- [7] *Velký městský okruh Brno* [online]. 2019 [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <http://www.mestsky-okruh-brno.cz>
- [8] *Celostátní sčítání dopravy 2016* [online]. 2017 [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <http://scitani2016.rsd.cz/pages/informations/default.aspx>
- [9] ELLIOTT D., Kaplan a Hegarty CHRISTOPHER J. *Understanding GPS* [online]. 2006 [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: https://d1.amobbs.com/bbs_upload782111/files_33/ourdev_584835O21W59.pdf
- [10] ČÁBELKA, Miroslav. Úvod do GPS. *Docplayer* [online]. 2008 [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/18769279-Uvod-do-gps-miroslav-cabelka.html>
- [11] *Introduction to Global Navigation Satellite Systems and Its Errors* [online]. 2016 [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/303494970_Introduction_to_Global_Navigation_Satellite_Systems_and_Its_Errors
- [12] *GLONASS* [online]. 2019 [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/GLONASS>
- [13] *Navigační systém Galileo* [online]. 2019 [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Navigační_systém_Galileo
- [14] *BeiDou* [online]. 2020 [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/BeiDou>
- [15] *An Introduction to GNSS* [online]. [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://www.novatel.com/an-introduction-to-gnss/chapter-1-gnss-overview/section-1/>
- [16] *Improve your GNSS position thanks to multi-constellation and multi-frequency* [online]. [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://drotek.com/improve-gnss-position-multi-constellation-multi-frequency/>
- [17] *Control Segment* [online]. 2018 [cit. 2020-01-08]. Dostupné z: <https://www.gps.gov/systems/gps/control/>

SEZNAM TABULEK

Tabulka 2.1 Kategorie měřených vozidel	5
Tabulka 3.1 Hodnoty kritických délek úseku.....	22
Tabulka 3.2 Ukázka vztahu průměrné rychlosti na úseku v jednotlivých hodinách.....	23
Tabulka 4.1 Porovnání výsledných intenzit na jednotlivých úsecích, kde A - hodnota zjištěná analýzou dat, B - hodnota získaná sčítáním dopravy z roku 2016, C - procentuální vyjádření podílu A/B.....	26
Tabulka 4.3 Procentuální zastoupení jednotlivých kategorií vozidel na úsecích VMO	29
Tabulka 4.5 Matice zdrojů a cílů pro VMO [voz/24h] - část 1.....	32
Tabulka 4.6 Matice zdrojů a cílů pro VMO [voz/24h] - část 2.....	33
Tabulka 4.7 Matice zdrojů a cílů.....	36
Tabulka 4.9 Matice zdrojů a cílů v procentuálním vyjádření	36
Tabulka 7.1 Globální polohové a navigační systémy [12][13][14]	42
Tabulka 7.2 Regionální polohové a navigační systémy [9]	42

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1 Sít' všech pozemních komunikací v zájmovém území, <i>Zdroj: CEDA Maps a.s.</i> ..	7
Obrázek 2.2 Třídění pozemních komunikací dle kategorie, <i>Zdroj: CEDA Maps a.s.</i>	8
Obrázek 3.1 Příkazový řádek	10
Obrázek 3.2 Dokončení operace slučování	12
Obrázek 3.3 Krajiní souřadnice v systému WGS 84 hranice zájmové oblasti	13
Obrázek 3.4 Importovaná data	14
Obrázek 3.5 Schéma seskupení dat	15
Obrázek 3.6 Dialogové okno pro import souborů csv	17
Obrázek 3.8 Obalová křivka okolo osy komunikace zahrnující většinu záznamů z měření vozidel	19
Obrázek 3.9 Problémové místo křižovatek s překrývajícími se obalovými křivkami, <i>Zdroj sítě komunikací: CEDA Maps a.s.</i>	20
Obrázek 3.10 Distribuce bodů v prostoru křižovatky, <i>Zdroj sítě komunikací: CEDA Maps a.s.</i>	20
Obrázek 3.11 Distribuce bodů ze sledování vozidel v místě mimoúrovňového křížení komunikací	21
Obrázek 3.12 Distribuce bodů při vjezdech do Pisáreckého tunelu v Brně	21
Obrázek 3.13 Distribuce bodů z měření jednoho vozidla ve vztahu k četnosti úseků sítě pozemních komunikací StreetNet, <i>Zdroj sítě komunikací: CEDA Maps a.s.</i>	22
Obrázek 4.1 Návrhový stav velkého městského okruhu (šedě stav současný) [7]	24
Obrázek 4.2 Rozdělení VMO na pracovní úseky	25
Obrázek 4.3 Denní intenzity na úsecích VMO	26
Obrázek 4.4 Hodnoty ročních průměrů denních intenzit ze celostátního sčítání dopravy z roku 2016 [8]	27
Obrázek 4.5 Procentuální zastoupení dopravního proudu na VMO, proti směru hodinových ručiček	28
Obrázek 4.6 Procentuální zastoupení dopravního proudu na VMO, po směru hodinových ručiček	28
Obrázek 4.7 Průměrná rychlost vozidel na VMO při odpolední ranní špičce (7-8h)	30
Obrázek 4.8 Průměrná rychlost vozidel na VMO při odpolední dopravní špičce (15-16h)	30
Obrázek 4.9 Sledované připojující se komunikace na VMO s jejich pracovním ID	31
Obrázek 4.10 Tomkovo náměstí s vyznačenými řešenými úseky a jejich pracovním označením	34
Obrázek 4.11 Oblasti pro identifikaci ID vozidel pro potřeby tvorby matice s jejich pracovním označením	35
Obrázek 4.12 Pentlogram dopravy (7-8h)	37

Obrázek 4.14 Pentlogram dopravy (15-16h).....	37
Obrázek 7.1 Princip určení 3D polohy pomocí satelitů	41
Obrázek 7.2 Segmenty GNSS [15]	45
Obrázek 7.3 Satelitní konstelace jednotlivých systémů GNSS [16]	46
Obrázek 7.4 Ukázky navigačních GPS přijímačů [10]	47

SEZNAM GRAFŮ

Graf 4.1 Četnost využití různých softwarů a programovacích jazyků pro analýzu dat [23]....	11
Graf 4.2 Četnost záznamů z měření v intervalech vzdáleností od osy komunikace	18
Graf 5.1 Denní průběh průměrné rychlosti vozidel na vybraných úsecích	34