

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

Katedra elektroenergetiky a ekologie

Diplomová práce

Simulační model elektrického vozidla

Anotace

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na vyhodnocení a zpracování dat z tachografu získaných během jízdy parciálního trolejbusu Škoda 26Tr a analýzu trati, kterou během jízdy trolejbus projel. V první části jsou uvedeny základní parametry trolejbusu a stručně popsány možnosti určení polohy a zpracování výškopisných dat. Ve druhé části jsou popisy algoritmů pro zpracování dat z GPS lokátoru, obou tachografů a počítačů cestujících. Kromě jednotlivých skriptů jsou zde uvedeny i dva postupy, kterými lze získat vstupní data pro simulátor, a to i v případě chybějících dat z GPS lokátoru pro konkrétní průjezd. Třetí část popisuje simulátor a výsledky simulace.

Klíčová slova

analýza výškopisu, hybridní trolejbus, Matlab, nadmořská výška, odpor sklonu, parciální trolejbus, simulátor, Škoda 26Tr, vozidlový odpor

Abstract

The presented diploma thesis is focused on the evaluation and processing of data from the tachograph obtained during the ride of the partial trolleybus Škoda 26Tr and the analysis of the track which the trolleybus passed during the ride. In the first part, the basic parameters of the trolleybus are given and the possibilities of determining the position and processing of elevation data are briefly described. The second part describes the algorithms for processing data from the GPS locator, both tachographs and passenger counters. In addition to the individual scripts, there are also two procedures that can be used to obtain input data for the simulator, even in the case of missing data from the GPS locator for a specific passage. The third part describes the simulator and the simulation results.

Keywords

Altitude analysis, hybrid trolleybus, Matlab, altitude, gradient resistance, partial trolleybus, simulator, Škoda 26Tr, vehicle resistance

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr magisterského studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software použitý při řešení této diplomové práce je legální.

.....
podpis

V Týně nad Vltavou dne 17.6.2020

Petr Eštok

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Martinu Jandovi, Ph.D. za metodickou pomoc a cenné rady při zpracování diplomové práce.

Obsah

1	Seznam symbolů a zkratk	7
2	Úvod	8
3	Charakteristika trolejbusu Škoda 26Tr	9
4	Možnosti získání profilu trasy	10
4.1	Použité souřadnicové systémy	10
4.1.1	Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální:	10
4.1.2	ETSR-89	11
4.1.3	WGS-84	12
4.2	Stanovení nadmořské výšky (ČUZK)	12
4.2.1	Geoportál ČUZK	12
4.2.2	Digitální model reliéfu České republiky	12
4.2.3	Porovnání datových sad DMP 1G, DMR 4G, DMR 5G	13
4.2.4	Analýza výškopisu	14
4.3	Stanovení nadmořské výšky (Mapy.cz)	14
4.4	Stanovení nadmořské výšky (Google maps)	16
5	Matlab	16
5.1	Výpočet	16
5.2	Zpracování vstupních dat	19
5.2.1	Zpracování dat z GPS lokátoru	19
5.2.2	Skript gps2gpx.m	26
5.2.3	Skript WebTrans.m	27
5.3	Spojení dat z GPS lokátoru	27
5.4	Zpracování dat z tachografu	29
5.5	Spojení dat z tachografu a GPS lokátoru vozidla	31
5.5.1	Zpracování nadmořské výšky	32
5.5.2	Propojení záznamů o obsazenosti se záznamy z tachografu	35
6	Odpory	36
6.1	Stanovení odporu sklonu	36
6.2	Stanovení odporu oblouku	38
6.3	Stanovení jízdního odporu	38
7	Simulace	38
7.1	Výpočet zrychlení	38
7.2	Výchozí parametry pro simulaci	41
7.3	Simulátor	42
7.4	Analýza výsledků	43
7.4.1	Konfigurace 1	44
7.4.2	Konfigurace 2	46
7.4.3	Konfigurace 3	48
8	Možnosti odhadu parametrů modelu z naměřených dat	49

9 Závěr	50
10 Zdroje informací	51

1 Seznam symbolů a zkratek

η_{Motor}	účinnost motoru	$[-]$
$\eta_{Pevodovka}$	účinnost převodovky	$[-]$
$\eta_{Trakmni}$	účinnost trakčního měniče	$[-]$
a	zrychlení	$[m \cdot s^{-2}]$
BL	bez lidí	
ČUZK	Český úřad zeměměřický a katastrální	
DMP 1G	Digitální model povrchu České republiky 1. generace	
DMR 4G	Digitální model reliéfu České republiky 4. generace	
DMR 5G	Digitální model reliéfu České republiky 5. generace	
$dF01$	odpor oblouku	$[-]$
$dFs1$	odpor sklonu	$[-]$
EBS	elektronický brzdňý systém	
EDB	elektrodynamická brzda	
Emer, $Em1$	celková energie měřená	$[kWh], [Ws]$
Ermer, $Erm1$	celková energie měřená rekuperovaná	$[kWh], [Ws]$
Ersim, $Ers1$	celková energie simulovaná rekuperovaná	$[kWh], [Ws]$
Esim, $Es1$	celková energie simulovaná	$[kWh], [Ws]$
ETRS89	European Terrestrial Reference System 1989	
$Fa1$	urychlující síla	$[N]$
$dFj1$	jízdní odpor	$[-]$
$Ft1$	tažná síla	$[kg]$
g	tíhové zrychlení, 9.81	$[m \cdot s^{-2}]$
ITRS	International Terrestrial Reference System	
I_{top}	proud odebíraný topením/klimatizací	$[A]$
I_{trol}	trolejový proud	$[A]$
K1 = konfigurace 1		
K2 = konfigurace 2		
MATLAB	Matrix laboratory	
MO	Ministerstvo Obrany České republiky	
m_0	hmotnost prázdného trolejbusu	$[kg]$
$m_{cestujících}$	hmotnost cestujících	$[kg]$
m_v	hmotnost prázdného trolejbusu	$[kg]$
m_{rot}	hmotnost rotujících hmot	$[kg]$
OS, O_{skl}	odpor sklonu	$[-]$
$Pdc1$	celkový stejnosměrný příkon	$[W]$
$PdcM1$	celkový stejnosměrný příkon	$[W]$
$\sin\alpha$	úhel sklonu	$[^\circ]$
S-JTSK	systém jednotné trigonometrické sítě katastrální	
SL	s lidmi	
TGF1	tachograf 1	
TGF2	tachograf 2	
U_{trol}	trolejové napětí	$[V]$
$vI1$	rychlost trolejbusu interpolovaná	$[\frac{m}{s}]$
WGS84	World Geodetic System 1984	
ZABAGED	Základní báze geografických dat České republiky	

2 Úvod

V této diplomové práci je řešena problematika analýzy dat ze záznamových jednotek trolejbusu (GPS lokátor, dva tachografy, počítadlo cestujících) zaznamenaných trolejbusem během jízdy. Z těchto dat je vypočtena celková spotřebovaná a rekuperovaná energie. Dále je vytvořen simulátor, který z údajů o rychlosti, kterou se trolejbus po trati pohyboval, a odporů, které během jízdy působily proti jeho pohybu, stanoví celkovou simulovanou energii spotřebovanou a rekuperovanou. Výstupem této práce je zhodnocení podobnosti celkové energie měřené a simulované a zhodnocení možnosti použití těchto dat pro stanovení dalších parametrů trolejbusu. Původní koncept výpočtu počítal s daty z GPS lokátoru (údaje o poloze a čas) jako s referenčními pro výběr vhodného rozsahu dat z tachografů a počítadla cestujících. Jako nejvhodnější pro práci se souřadnicemi zaznamenanými GPS lokátorem byl vybrán souřadnicový systém S-JTSK a to i přesto, že je omezený pouze na oblast České a Slovenské republiky a západní část Ukrajiny. Elektrická vozidla vyrobená na území České republiky i pro zahraniční zákazníky jsou obvykle v naší zemi i testována, a tak lze použít data právě z těchto testů. Pro simulaci byl vybrán úsek plzeňské trolejbusové linky č.15 mezi zastávkami NC Borská pole a Sokolská, který trolejbus projel dne 11.12.2017 v čase 05:26:18 - 05:47:52. Pro tento průjezd byla k dispozici data z obou tachografů, počítadla cestujících, ale ne z GPS lokátoru. Bylo tedy nutné přepracovat původní koncept výpočtu a jako referenční vzít časový údaj z počítadla cestujících a přijmout fakt, že dva průjezdy jednoho vozidla jednou trasou nejsou stejné (celkový rozdíl je 18m na trase dlouhé 6 558m). Mezi skripty `SK_VYPOCET.m` a `SK_VYPOCET2.m`, které slouží pro spuštění sekvence výpočtů je kromě rozdílných vstupních dat (GPS lokátor / Počítadlo lidí) také ještě jeden, na první pohled méně viditelný, rozdíl.

Části skriptu `SK_VYPOCET.m` byly psány s myšlenkou mít jeden velký výpočetní celek vyřešen jedním velkým skriptem, který navíc bude s ostatními podobnými skripty spojovat jedna centrální tabulka. Tento přístup se ukázal jako méně vhodný v případě, kdy je potřeba zpětně ladit nebo měnit části kódu. U `SK_VYPOCET2.m` byl v částech lišících se od `SK_VYPOCET.m` zvolen výpočet pomocí kratších skriptů a podsriptů, které jsou navzájem provázány větším množstvím tabulek. Věřím, že se velikost zmiňovaného „většího množství“ povedla zvolit tak, že to celkové přehlednosti výpočtu bylo ku prospěchu.

3 Charakteristika trolejbusu Škoda 26Tr

Dvounápravový nízkopodlažní parciální trolejbus Škoda 26Tr využívá pro pohon trakční síť se jmenovitým stejnosměrným napětím 600V a v případě její nedostupnosti trakční baterii o celkové využitelné kapacitě 40.8 kWh. Vyšetřovaný vůz č. 572 je vybavený GPS lokátorem pro určování polohy, počítadlem cestujících a dvěma tachografy.

Trolejbus pohání asynchronní trakční motor o jmenovitém výkonu 160 kW. Jmenovité napětí motoru je 520V, jmenovitý proud 230A a jmenovité otáčky $1920 \text{ ot}/\text{min}^{-1}$. Motor je napájen z trakčního měniče sestaveného z IGBT prvků, který je schopen plné rekuperace do obou polarit troleje. Jmenovitý výkon trakčního měniče je 260 kVa, jmenovitý výstupní střídavý proud 310A, výstupní trojfázové napětí je regulovatelné od 0 - 420V.

Vedle trakčního měniče trolejbus obsahuje ještě měnič pro pomocné pohony o jmenovitém výkonu 10 kVa s výstupním třífázovým napětím 400V a frekvencí 50Hz, který napájí asynchronní motory kompresoru, ventilátorů a pomocného čerpadla servořízení.

Trolejbus je vybaven třemi na sobě nezávislými brzdami a to brzdou provozní (elektrodynamickou), parkovací (pružinovou) a nouzovou (vzduchovou). Je vybaven asistenčním systémem EBS, který obsahuje systém blokování kol při brždění (ABS), proti skluzu kol při rozjezdu (ASR) a zároveň umožňuje brždění na konstantní brzdovou sílu tím, že automaticky kompenzuje snižující se účinnost elektrodynamické brzdy zvyšujícím se brzdícím momentem mechanické brzdy. Více informací viz [1]. Základní parametry trolejbusu jsou shrnuty v tabulce 3.1.

Tabulka 3.1: Výchozí nastavení simulace, konfigurace 1

celková hmotnost prázdného vozidla	13000	kg
celková hmotnost plně obsazeného vozidla	19000	kg
maximální počet cestujících	80	osob
maximální rychlost	65	km/h
napájecí napětí	400 - 700	V
napětí při rekuperaci	800	V
výkony pomocných motorů:		
pohon kompresoru	4	kW
pohon pomocného čerpadla posilovače	2,2	kW
Ventilace trakčního motoru	1,1	kW
ventilace střešní jednotky	2x0.28	kW

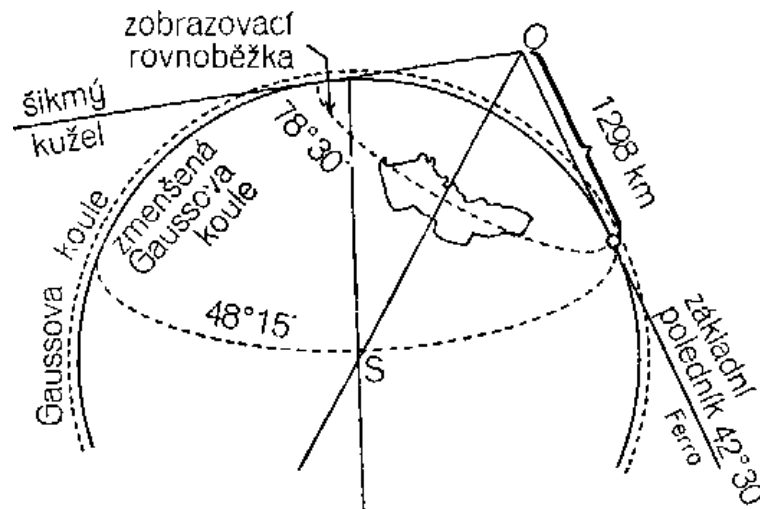
4 Možnosti získání profilu trasy

Pro stanovení odporu sklonu, odporu oblouku a případně odporu tunelu je potřeba znát co nejpřesnější parametry trati, po které trolejbus jel. Ze všech možností jsem vybral dva zdroje kartografických dat: jako referenční slouží kartografická databáze Českého úřadu zeměměřického a katastrálního, jako srovnávací jsou použita data služby Mapy.cz. Srovnávána byla také data z aplikace Google Earth, avšak během tvorby této práce došlo k omezení možností aplikace a výškopisná data již dále nelze z této aplikace oficiálně stáhnout.

4.1 Použité souřadnicové systémy

4.1.1 Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální:

S-JTSK je závazným geodetickým referenčním systémem na území ČR dle nařízení vlády č. 430/2006 Sb. v platném znění. Základem pro tento souřadnicový systém je tzv. Křovákovo zobrazení. Jedná se o zobrazení navržené v roce 1922 ing. Josefem Křovákem a jde o dvojitě kuželové konformní zobrazení v šikmé poloze převádějící Besselův elipsoid do roviny prostřednictvím referenční koule. Data S-JTSK jsou v metrech, formát: X Y Z (osa x, osa y, nadmoř. výška). Podrobnější informace dostupné v literatuře [4],[10],[11].



Obrázek 4.1: Vizualizace sestavy objektů pro Křovákovo zobrazení. [6]

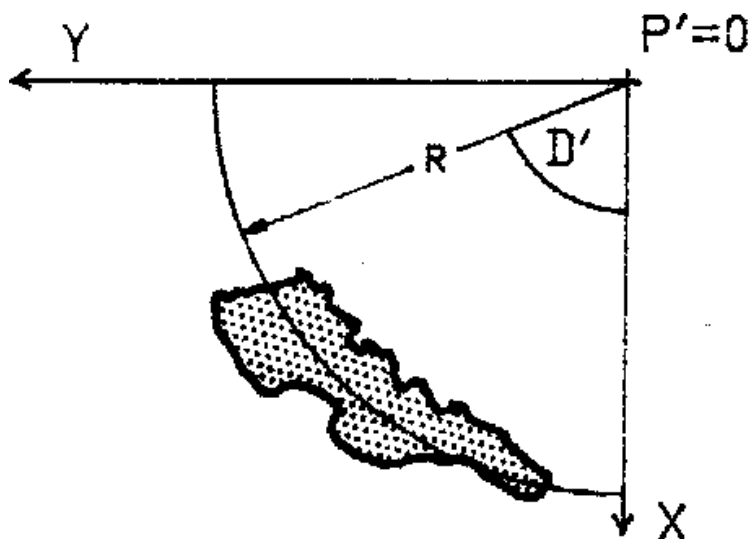
Osy jsou orientovány tak, aby území ČR (původně ČSR) leželo v prvním kvadrantu. Osa X směřuje od severu na jih, osa Y z východu na západ.

Matematický zápis transformace z ETSR-89 do S-JTSK:

$$\begin{aligned} (\varphi, \lambda, H)_{ETSR-89} &\rightarrow (X, Y, Z)_{ETSR-89} \rightarrow (X, Y, Z)_{S-JTSK} \rightarrow \\ &\rightarrow (\varphi, \lambda, H)_{S-JTSK} \rightarrow (X, Y)_{S-JTSK} + (h)_{Bpv} \end{aligned} \quad (4.1)$$

Postup transformace z WGS-84 do S-JTSK:

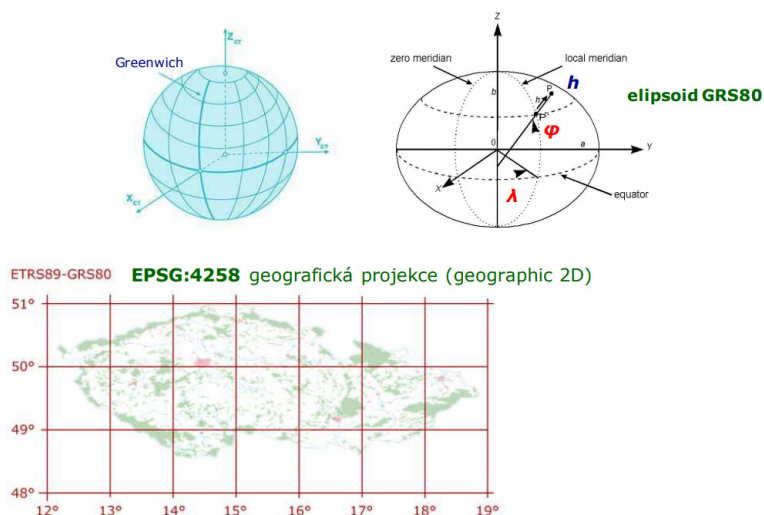
$$WGS-84 \rightarrow ETSR-89 \rightarrow S-JTSK \quad (4.2)$$



Obrázek 4.2: poloha ČSR v souřadnicovém systému S-JTSK [6]

4.1.2 ETRS-89

Systém ETRS-89 odvozený od systému ITRS je spojen s euroasijskou kontinentální deskou. Systém ITRS používá elipsoid GRS-80 (Geodetic Reference System 1980), jenž je svými parametry velice podobný elipsoidu WGS-84, proto je možno tyto elipsoidy při výpočtech zaměnit. Od roku 1994 je systém WGS-84 ztotožněn se systémem ITRS. Přesnost statických bodů je tedy (do určité míry) nezávislá na tom, zda se použije systém ETRS-89 nebo WGS-84. Ve skutečnosti se souřadnice ve WGS-84 a ETRS-89 v roce 2005 lišily až o 0,3 m. Při přesných výpočtech je proto nutné provést i transformaci mezi systémy WGS-84 a ETRS-89 v patřičné epoše. [13]



Obrázek 4.3: Systém ETRS98 s elipsoidem GSR80 [10]

4.1.3 WGS-84

WGS84 (World Geodetic System 1984, Světový geodetický systém 1984) je geodetický geocentrický systém armády USA, ve kterém pracuje globální systém určování polohy GPS a který je zároveň standardizovaným geodetickým systémem armád NATO. Jedná se o konvenční terestrický systém (CTRS) realizovaný na základě modifikace Námořního navigačního družicového systému (Navy Navigation Satellite System, NNSS). Modifikace spočívá v posunu počátku souřadnicové soustavy, rotaci a změny měřítka dopplerovského systému NSWC 9Z-2 tak, aby systém byl geocentrický a referenční nultý poledník byl identický se základním poledníkem definovaným Bureau International de l'Heure (BIH). [12]

- Počátek: těžiště Země
- osa X: průsečnice referenčního poledníku WGS84 a roviny rovníku vztaženého k CTP, referenční poledník je nultý poledník definovaný BIH.
- osa Y: doplňuje systém na pravotočivý pravoúhlý souřadnicový systém, směr kladné části osy je 90° východně vzhledem k ose X.
- osa Z: směr ke konvenčnímu terestrickému pólu (Conventional Terrestrial Pole, CTP, identický s CIO) definovanému BIH na základě souřadnic stanic definujících systém BIH.

Znázornění obdobné jako u ETRS-89.

4.2 Stanovení nadmořské výšky (ČUZK)

4.2.1 Geoportál ČUZK

Jedná se o internetové rozhraní pro přístup k prostorovým datům (elektronická data odkazující se na určitou polohu nebo zeměpisnou oblast) pořizovaným a aktualizovaným v resortu Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK). [4]

Informace o výškových poměrech terénního reliéfu, včetně staveb a rostlinného pokryvu České republiky shromažďuje a poskytuje jako výškopisná data Zeměměřický úřad. Tato data jsou rozčleněna do několika sad lišících se přesností a podrobností výškopisu. Zmíněny budou tři sady.

4.2.2 Digitální model reliéfu České republiky

je výstup společného projektu Českého úřadu zeměměřického a katastrálního, Ministerstva obrany České republiky a Ministerstva zemědělství České republiky s názvem „Projekt tvorby nového výškopisu České republiky“. Data pro digitální model byla získána technologií leteckého laserového skenování. Letoun typu L410 FG poskytnutý MO uskutečňoval skenování systémem leteckého laserového skeneru s autonomním určováním polohy z průměrné výšky 1200m nebo 1400m nad střední rovinou terénu. Velikost skenovaných bloků se měnila v závislosti na vegetaci, případně byla dána projektem. Převážná část bloků měla šířku cca 10km. Bloky s podobnou členitostí a výškovými poměry byly spojovány do větších, maximálně však 60 km širokých, bloků. Naskenováno bylo 100 % území ČR. [6]

DMP 1G zobrazuje zemský povrch jako digitální tvar pomocí nepravidelné sítě výškových bodů (TIN) s úplnou střední chybou výšky 0,4 m pro přesně vymezené objekty (budovy) a 0,7 m pro objekty přesně neohrazené (lesy a další prvky rostlinného pokryvu). Vznikal v letech 2009 - 2013. Je určený k analýzám terénních poměrů regionálního charakteru a rozsahu, např. při projektování rozsáhlých dopravních a vodohospodářských záměrů, modelování přírodních jevů, apod. [5]

DMR 4G zobrazuje zemský povrch jako digitální tvar ve formě výšek diskretních bodů v pravidelné síti (5 x 5 m) bodů o souřadnicích X,Y,H, kde H reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv) s úplnou střední chybou výšky 0,3 m v odkrytém terénu a 1 m v zalesněném terénu. Vznikl na základě dat získaných skenováním v letech 2009 - 2013, nově vygenerován byl v roce 2016 z dat pro DMG 5G. Dále aktualizován je v návaznosti na DMR 5G. Slouží k analýzám terénních poměrů regionálního charakteru a rozsahu, např. při projektování rozsáhlých dopravních a vodohospodářských záměrů, modelování přírodních jevů, apod. [6]

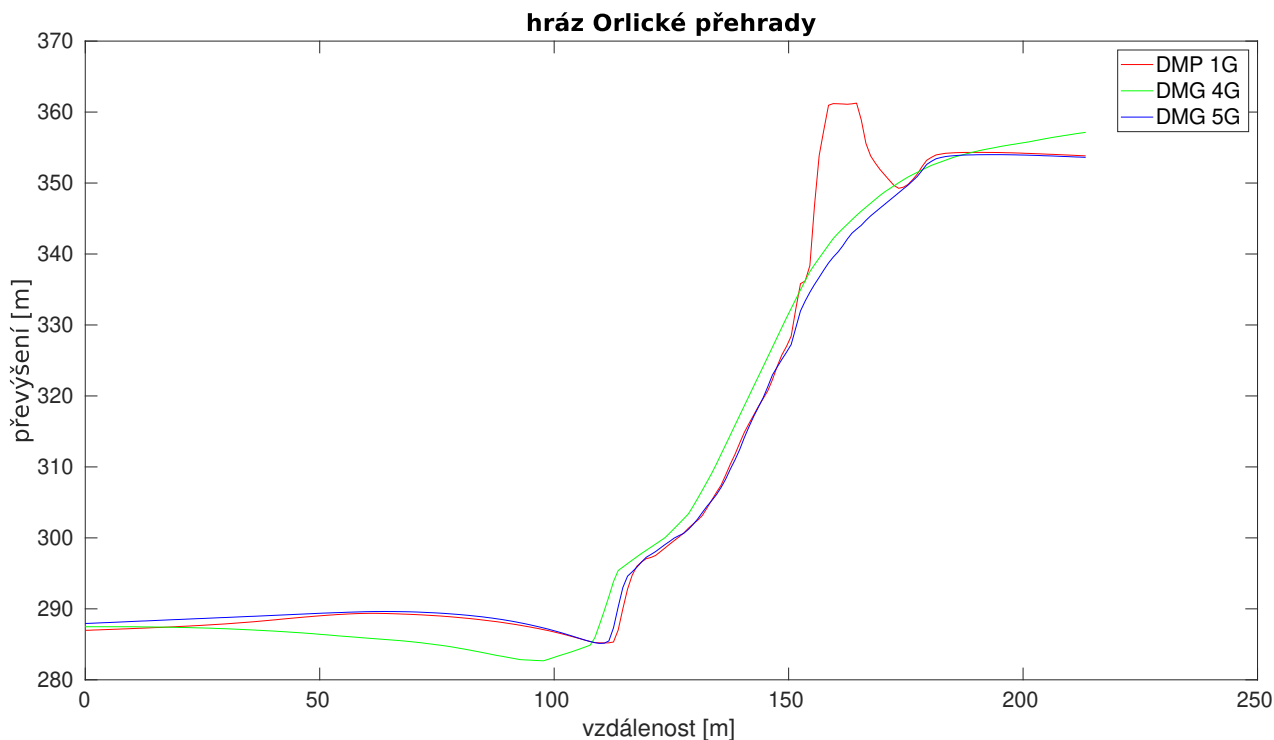
DMR 5G zobrazuje zemský povrch jako digitální tvar ve formě výšek diskretních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN) bodů o souřadnicích X,Y,H, kde H reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému Balt po vyrovnání (Bpv) s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu. Vznikl na základě dat získaných skenováním v letech 2009 - 2013, dokončen byl v roce 2016. Je určený k analýzám terénních poměrů lokálního charakteru a rozsahu, např. při projektování pozemkových úprav, plánování a projektování dopravních, vodohospodářských a pozemních staveb apod.[7]

4.2.3 Porovnání datových sad DMP 1G, DMR 4G, DMR 5G

Každá sada byla použita pro vykreslení převýšení stejné trasy. Pro porovnání byla pro svoji polohu a tvar vybrána hráz Orlické přehrady. Jedná se o pravidelný strmý objekt umístěný v hlubokém zalesněném údolí, díky čemuž bychom měli pracovat s daty s největší chybou. Trasa vedla od říční hladiny v prostoru výpusti přes hráz po hladinu přehrady. Jak je na obrázku 4.4 vidět, nejlépe profil hráze vykreslila datová sada DMP 1G - jako jediná zaznamenala hranu hráze. Naopak nejhorší vykreslení profilu v dané lokalitě bylo získáno pomocí datové sady DMR 4G. Nedošlo k zaznamenání hrany hráze, vykresluje hlubší řeku a hladina přehrady stále stoupá. Datová sada DMR 5G také nevykreslila hranu hráze, zbylé části trasy jsou ale věrohodné.

Pro další práci doporučuji datové sady DMP 1G a DMR 5G. Jejich použití ilustruje obrázek 4.5. Tento obrázek zobrazuje detail trasy vedoucí přes most v městské zástavbě. Část a) obrázku 4.5 zobrazuje profil trasy vedoucí pod mostem, část b) obrázku 4.5 profil trasy vedoucí po mostě. Jediná datová sada, která most zaznamenala, byla podobně jako u Orlické hráze, DMP 1G. Toto je klíčové pro popis městských tras. Budeme-li simulovat trasu vedoucí pod mostem, je nevhodné použít datovou sadu DMP 1G - most bychom v tomto případě museli z trasy odstraňovat. Sada DMR 4G má ve zhoršených podmínkách velkou chybu a zobrazuje profil nepřesně (viz výše), takže pro popis trasy vedoucí pod mostem je nejlepší použít

datovou sadu DMR 5G. Naopak při popisu trasy vedoucí po mostě je použitelnou datovou sadou pouze sada DMP 1G, protože ta jediná zaznamená most a nevykreslí místo něj díru.



Obrázek 4.4: Porovnání přesnosti datových sad DMP 1G, DMR 4G, DMR 5G.

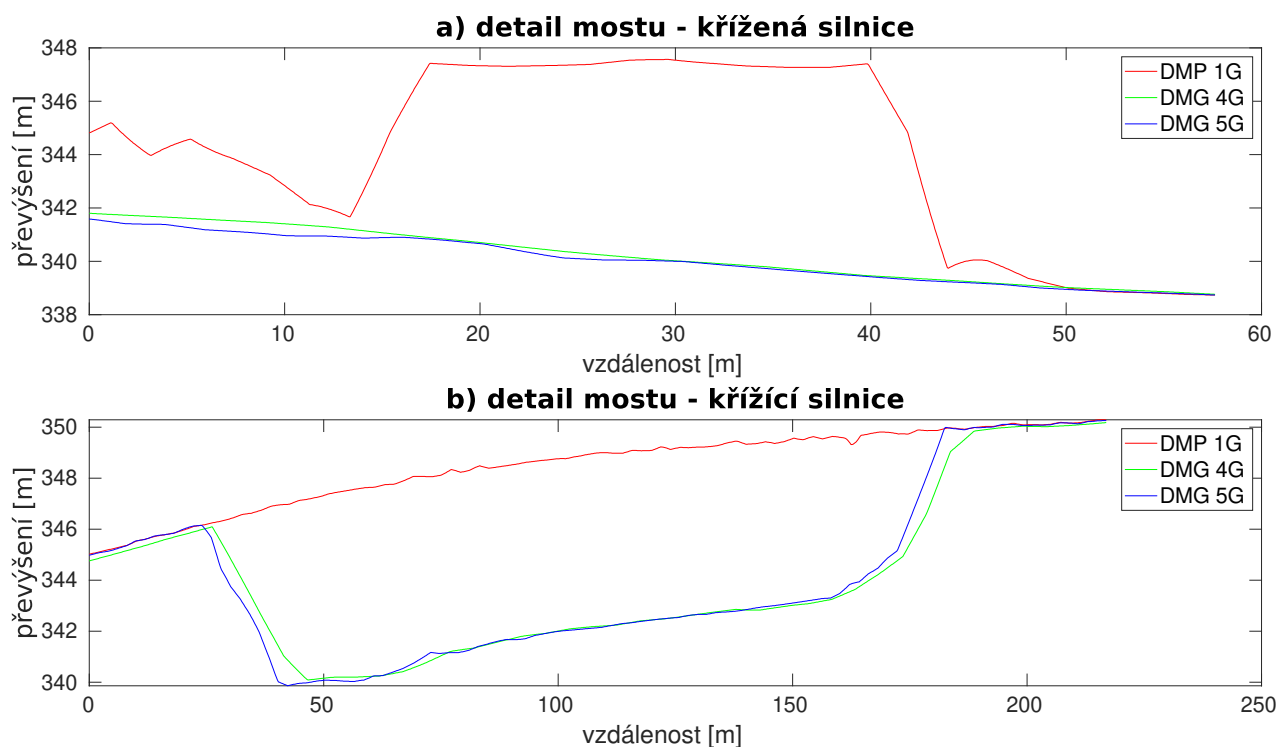
4.2.4 Analýza výškopisu

[8] Jedná se o webovou aplikaci, pomocí které získáme výškopisná data spravovaná Zeměměřickým úřadem. K dispozici jsou sady dat DMP 1G, DMR 4G, DMR 5G a dále pak sada ZABAGED pro výběr silnic. Data trasy lze kromě ručního výběru z mapy načíst ze souboru .shp a .gpx. Výstupem analýzy výškového profilu jsou soubory ve formátu .shp, .dgn, .dxf, .txt.

Pro zpracování v Matlabu jsem zvolil soubor ve formátu .txt. Obsahuje data v souřadnicovém systému S-JTSK, tedy data pro osy X, Y, Z doplněné o vzdálenost od počátku. Kromě datové sady lze pro výpočet výškového profilu nastavit i rozlišení výstupní linie, a to dvěma způsoby. Prvním způsobem je rozdělení celé délky trasy na pevně daný počet dílků (možnosti: 1000 dílků, 100 dílků). Druhou variantou je rozdělit trasu na dílky o známé délce (možnosti: 1m, 2m, 5m, 10m). Nastavení jsem volil tak, že do 1000m délky trasy jsem používal dělení na 1000 dílků a pro trasy delší než 1000m jsem používal dělení po metru.

4.3 Stanovení nadmořské výšky (Mapy.cz)

[15] Internetová aplikace Mapy.cz provozovaná společností Seznam.cz, a.s. obsahuje schematické zobrazení dopravní infrastruktury doplněné o zjednodušené zobrazení

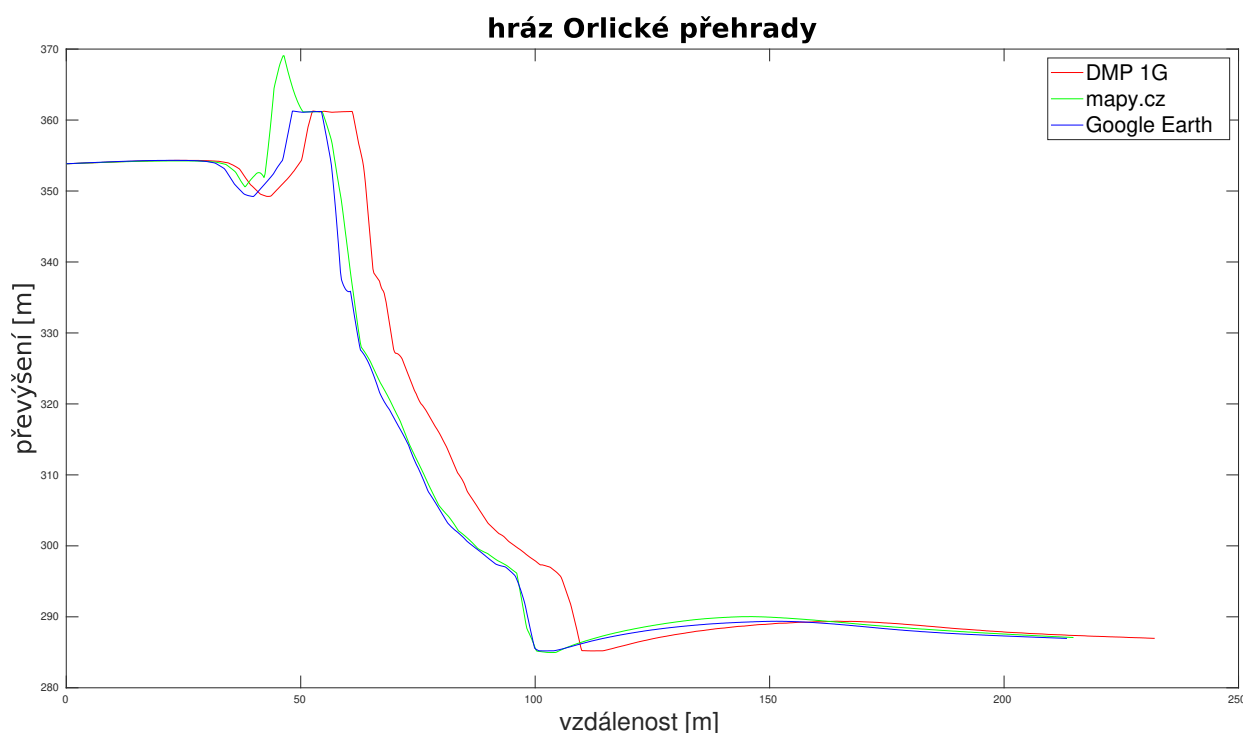


Obrázek 4.5: Zobrazení trasy vedoucí pod mostem a přes most pomocí datových sad DMP 1G, DMG 4G, DMG 5G

terénu, místních zajímavostí a měst, včetně dopravního značení. Zdroje dat pro Českou republiku a Slovensko pocházejí z kartografické redakce Mapy.cz. Zdrojem dat pro zbytek světa jsou www.openstreetmap.org. Aktualizace dat probíhá pro Českou republiku a Slovensko v pravidelných intervalech jednou týdně, pro zbytek světa jednou měsíčně.

Pro porovnání dat získaných na hrázi Orlické přehrady z portálu ČUZK s daty společnosti Seznam.cz, a.s. je potřeba v aplikaci Mapy.cz přepnout do plánování pro vodní turistiku, poté vyznačit trasu na řece/přehradě. Vyznačená trasa byla exportována do souboru s formátem .gpx. Tento soubor obsahující body se souřadnicemi společnosti Mapy.cz byl nahrán do aplikace Analýza výškopisu, kde bylo upraveno rozlišení na 1000 bodů s parametry datové sady DMP1. Takto získaná data z portálu Mapy.cz ve formátu .txt byla porovnána s datovou sadou DMP 1G.

Na obrázku 4.6 vidíme, že data ze serveru Mapy.cz na hrázi Orlické přehrady obsahují informace o osmimetrové, neexistující špičce. Jinak ale Mapy.cz vrcholek hráze zaznamenaly. Trend stoupání hráze se výrazně neodlišuje od dat ze sady DMP1. Poloha stěny hráze z Mapy.cz se od dat z DMP1 liší v průměru o 3 metry. Pro připomenutí uvádím, že se nejedná o geograficky jednoduchou lokalitu. Informace o zmiňovaném mostu zobrazují Mapy.cz bezchybně. To znamená, že trasa pod mostem je bez mostu, trasa po mostě je bez díry.



Obrázek 4.6: Porovnání přesnosti dat získaných ze služeb Mapy.cz a Google Earth s datovou sadou DMP1

4.4 Stanovení nadmořské výšky (Google maps)

5 Matlab

5.1 Výpočet

- **Název:** SK_VYPOCET.m
- **Vstupy:** tabulka DataLokator.mat, tabulka DataTacho.mat
- **Výstupy:** tabulka DataVozidlo

Smyslem tohoto skriptu je spouštět ostatní výpočty a filtry tak, jak mají jít za sebou, a tím celý proces zpřehlednit. Na rozdíl od dlouhých skriptů se malé, účelové .m soubory lépe ladí a jsou přehlednější ve chvíli, kdy je potřeba ve výpočtu něco změnit. Diagram¹ algoritmu výpočtu je na obrázku 5.1.

Pro správný chod skriptu je potřeba soubor s výstupními daty z GPS lokátoru převést do formátu .mat a přejmenovat na DataLokator.mat. Pak SK_FiltrTrasa.m načte a zpracuje vstupní data, vygeneruje, kromě jiného (kap. 5.2.1), soubor

¹Význam barev ve vývojovém diagramu:

červená: start, stop

modrá: vstup/výstup související s uživatelem (vygenerovaný soubor, uživatelský vstup atd.)

žlutá: vstup/výstup softwarový (zpracovaná data - tabulky proměnné atd.)

oranžová: proces

zelená: rozhodnutí

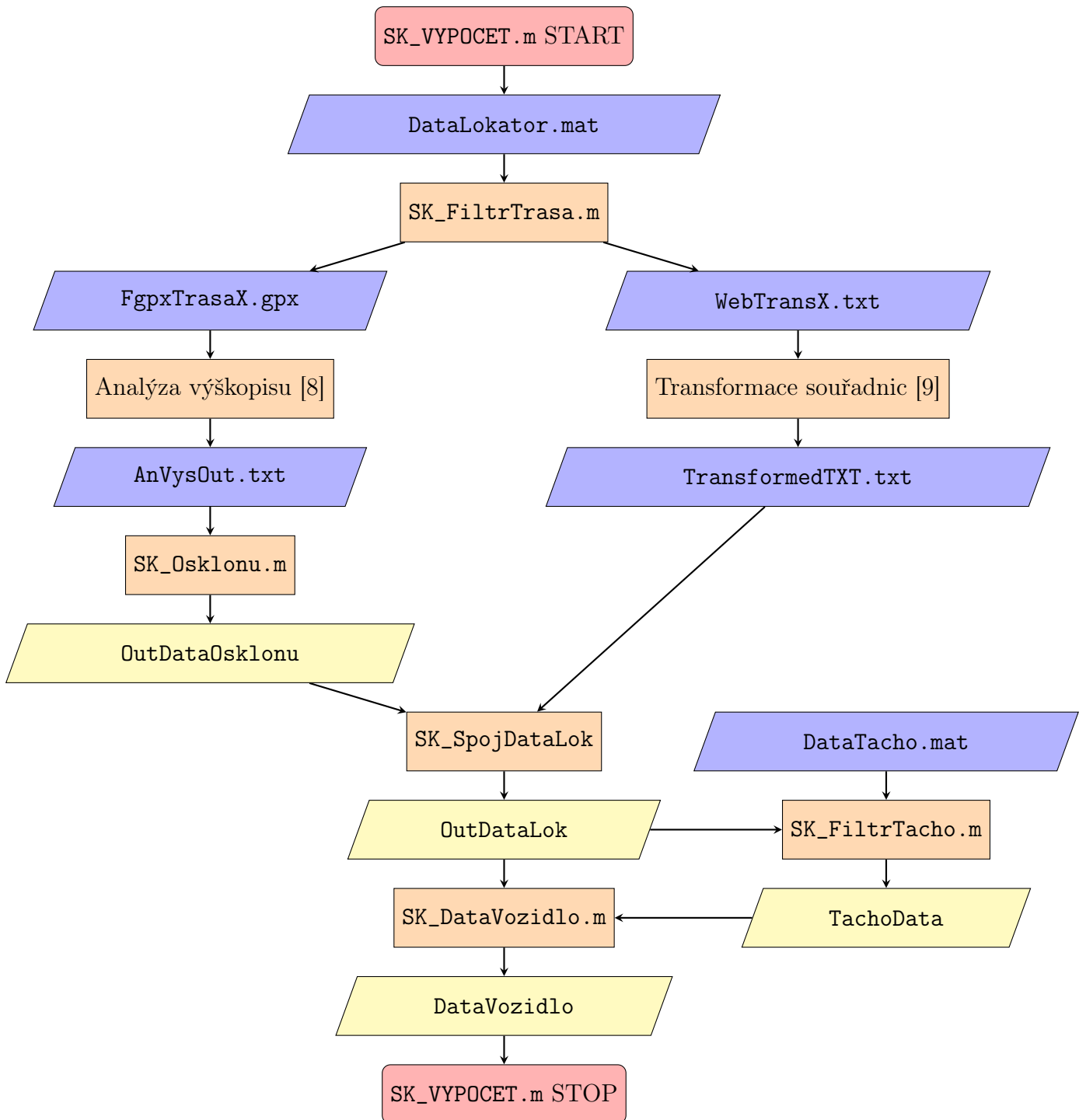
FgpxTrasaX.gpx (kap. 5.2.2) a WebTransX.txt (kap. 5.2.3).

Soubor FgpxTrasaX.gpx je určen pro analýzu pomocí on-line aplikace Analýza Výškopisu [8]. Výstup analýzy výškopisu je potřeba eportovat do .txt souboru (lze navolit v aplikaci) a po stažení a rozbalení soubor přejmenovat na AnVysOut.txt. Ze souboru je také potřeba odstranit čárky - nejjednodušeji pomocí funkce najít/-nahradit v libovolném textovém editoru.

Data v souboru AnVysOut.txt jsou nyní připravena ke zpracování skriptem SK_Osklonu.m. Ten data načte a postupem blíže vysvětleným v kapitole 6.1 je zpracuje do tabulky OutDataOsklonu. Druhý soubor WebTransX.txt obsahuje GPS souřadnice zapsané ve formátu zpracovatelným on-line aplikací Transformace souřadnic [9]. Po provedení transformace on-line aplikace vygeneruje soubor s názvem TransformedTXT.txt, který obsahuje pouze body z GPS lokátoru, ale transformované do systému S-JTSK. Na rozdíl od souboru AnVysOut.txt, který má hustotu bodů nastavenou uživatelem před transformací. Soubor WebTransX.txt bude využit ve skriptu SK_SpojData.m pro synchronizaci dat z GPS lokátoru a odporu sklonu. Tedy data z tabulky OutDataOsklonu a souboru TransformedTXT.txt skript SK_SpojData.m metodou nalezení pozice s nejbližší hodnotou v číselné řadě (obr. 5.9) spojí a vznikne tabulka OutDataLok, ve které jsou data z GPS lokátoru přiřazena hodnotám odporu sklonu na příslušné souřadnici.

Tato tabulka je spolu s daty staženými z tachografu uloženými v souboru DataTacho.mat vstupem pro SK_FiltrTacho (kap. 5.4). Ten podle času PrijezdGps z první souřadnice úseku a času OdjezdGps z poslední souřadnice úseku vybere z dat tachografu ta, která se týkají vyšetřované části tratě. Výsledek je uložen do tabulky TachoData.

Nyní tedy máme data z GPS lokátoru (tabulka OutDataLok i tachografu (tabulka TachoData a můžeme získat jejich spojením data z celého vozidla. To provede skript SK_DataVozidlo (kap. 5.5), výsledná tabulka má název DataVozidlo.

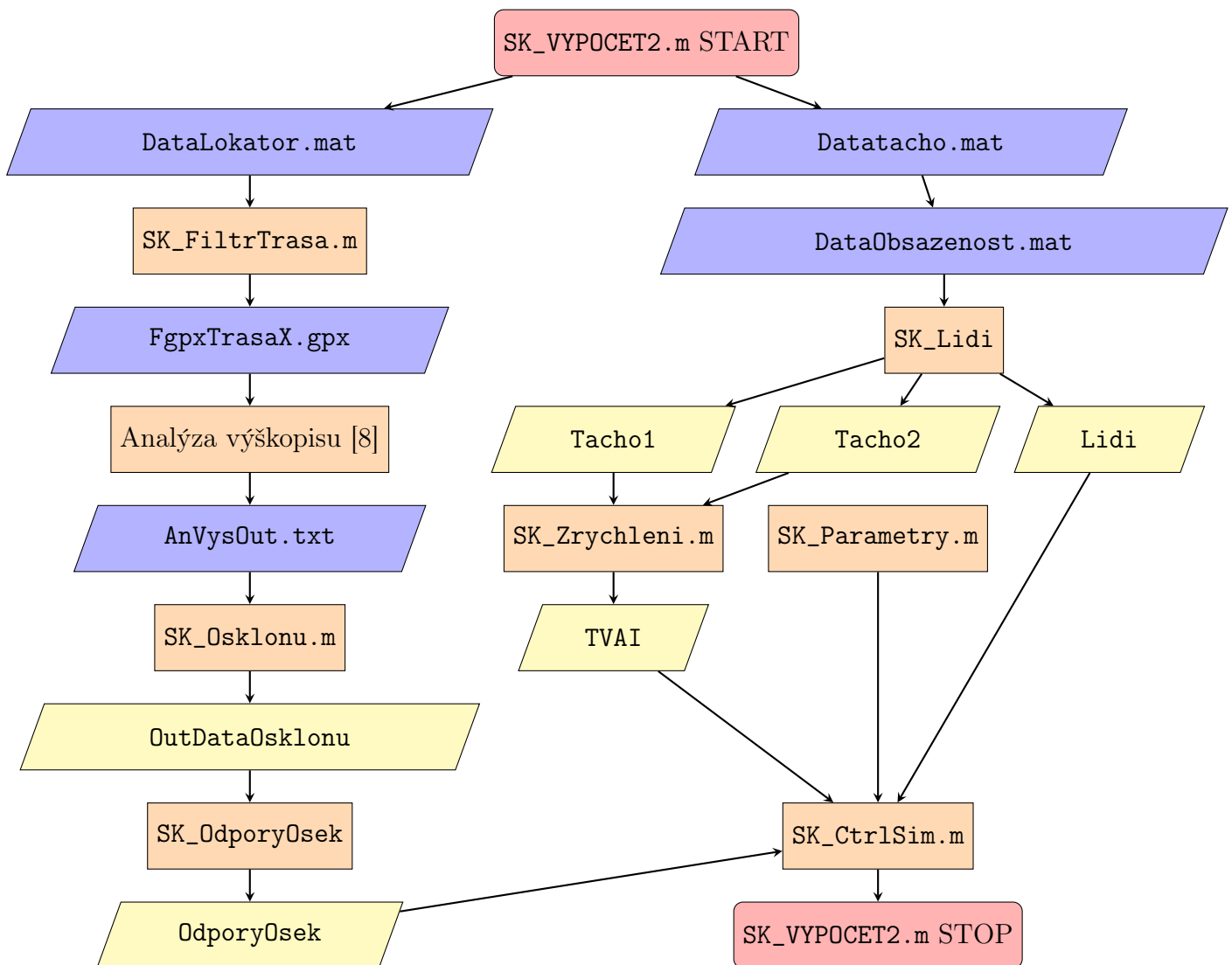


Obrázek 5.1: Diagram algoritmu výpočtu

Po analýze vstupních dat a rozhodnutí do simulace zapracovat i hmotnost cestujících byl vytvořen ještě alternativní postup výpočtu. V dostupných vstupních datech není shoda mezi výskytem dat z GPS lokátoru, tachografu a počítadla cestujících. Pro získání potřebných parametrů zkoumané trasy byl vytvořen skript SK_VYPOCET2.m, který reaguje na skutečnost, že není možné filtrovat data z tachografu podle času z GPS lokátoru a zároveň je schopný zapracovat data o počtu

cestujících. Jeho diagram je na obrázku 5.2.

Za SK_Osklonu.m je přidán SK_OdporyOsek.m, který umožňuje dodatečně upravit trasu podle délky změřené na grafu v aplikaci Analýza Výškopisu. Vznikl proto, že se v datech s obsazeností trolejbusu vyskytl problém s nevyhlášenými konečnými zastávkami a tím i s detekcí konce linky. Skript SK_Lidi.m vybere data z tachografu podle času v datech s obsazeností. Dále je zde zobrazeno i napojení simulátoru. Nejprve proběhne výpočet zrychlení, po té načtení SK_Parametry.m s technickými údaji o vozidle a následně je spuštěn skript SK_CtrlSim.m, který spustí simulaci dle svého aktuálního nastavení.



Obrázek 5.2: Diagram algoritmu alternativního výpočtu

5.2 Zpracování vstupních dat

5.2.1 Zpracování dat z GPS lokátoru

- Název: SK_FiltrTrasa.m

- **Vstupy:** data z GPS lokátoru (Linka, Cíl, Zastávka, GPS, Rychlos, Kurz, Příjezd, Stání, Odjezd, Čas)
- **Výstupy:** TprujezdX, TusekX, FgpxTrasaX.gpx, WebTransX.txt

Zpracování všech dostupných dat z GPS lokátoru najednou se ukázalo jako nevhodné hned z několika důvodů. Prvním důvodem je, že záznamy uložené v datové řadě GPS nám dávají informace pouze o tom, kde se vozilo v daný čas nacházelo. Informace o nadmořské výšce tohoto bodu, která je pro výpočet odporu sklonu zcela zásadní, tedy chybí a je nutno ji doplnit.

Jako referenční zdroj informací o nadmořské výšce pro vozilo pohybující se na území České republiky jsem zvolil data, která spravuje na svém geopotálu Český úřad zeměměřický a katastrální [4]. K datům z tohoto zdroje, která jsou dostupná v online aplikaci Analýza výškopisu [8], je dostupná ve srovnání se zdroji ostatními nejúplnější dokumentace, zahrnující mimo jiné i informace o chybě, s jakou byla data naměřena. Další vlastnosti dat poskytovaných tímto zdrojem jsou blíže popsány v kapitole 4.2.

Druhým důvodem pro vznik tohoto skriptu je omezení, na které jsem narazil během pokusu o zpracování velkého množství dat on-line aplikací [8]. Konkrétně jde o schopnost aplikace vygenerovat .txt soubor, který obsahuje informace z maximálně 100 000 bodů. Při větším množství vstupních dat je tedy nutné pro dodržení podmínky maximálního počtu vygenerovaných bodů zvolit řídicí členění trasy, čímž se zbytečně degradují možnosti aplikace.

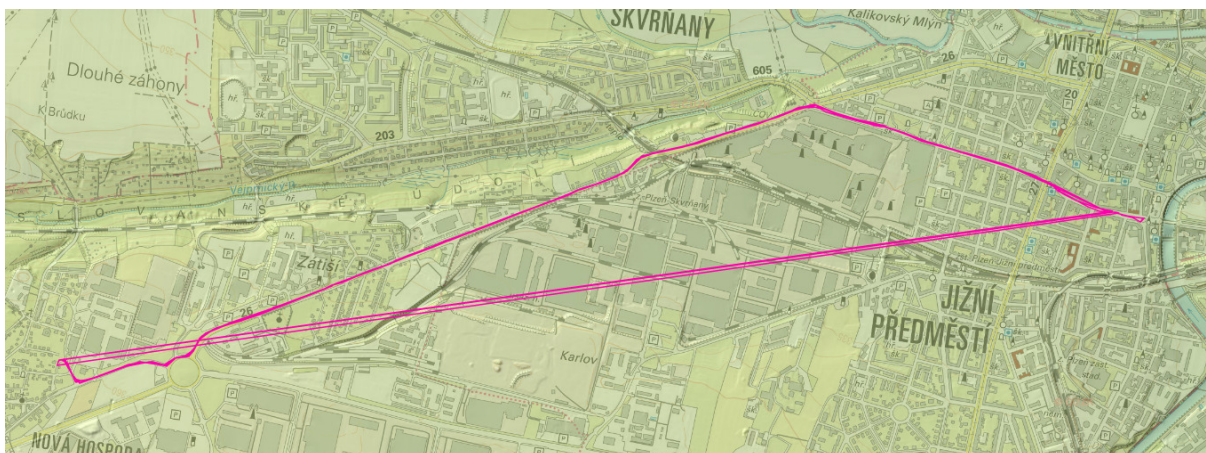
Dalšími důvody jsou celková nepřehlednost velkého množství dat a nutnost vybrat správnou datovou sadu pro jízdu vozidla po mostě nebo pod mostem. Získané nadmořské výšky při použití nevhodné datové sady mohou v oblastech mimoúrovňového křížení komunikací odskočit o výšku mostu a vnést do výpočtu chybu. Podrobněji je tato problematika popsána v kapitole 4.2.3, pro připomenutí jen zmiňuji, že pro část trasy vedoucí po mostě je vhodné použít datovou sadu DMP 1G, pro část trasy vedoucí pod mostem je vhodné použít datovou sadu DMR 5G.

Vznikla tedy potřeba získat nástroj, kterým bude uživatel moci jednoduše z velkého množství vstupních dat získat pouze ta, která jsou pro něj momentálně důležitá způsobem, který bude pokud možno co nejvíce automatizovaný. Prakticky okamžitě byla zavržena možnost filtrovat data pomocí MS Excel, a to z důvodu nízké přehlednosti filtrovaných dat (a zároveň i s tím spojené ověřování funkčnosti a kvality filtrů) a faktu, že pro navazující výpočty bude použit sw Matlab.

Vznikl skript SK_FiltrTrasa.m, který umí ve vstupních datech vyhledat, zobrazit časové údaje záznamů a dostupné linky, na kterých bylo vyšetřované vozidlo nasazeno. Dále umožní zvolit, která linka ze kterého dne bude vyšetřována, vyhledá a zobrazí konečné stanice zvolené linky a umožní volbu konečné, která zároveň definuje směr, kterým se vozidlo pohybovalo. Také skript umožní uživateli zvolit, jestli chce do výstupu data z celé linky, nebo jen jejího úseku (důležité např. pro mosty apod. na trati). Na závěr jsou skriptem vygenerovány soubory FgpxTrasaX.gpx (pro každý průjezd vozidla zvoleným úsekem jeden, X v názvu souboru je ve skutečnosti nahrazeno číslem, které reprezentuje pořadí průjezdu vozidla vybraným úsekem) a hodnoty ostatních datových řad ve zvoleném úseku uloží do tabulek TprujezdX (při volbě trasy od počátku na konečnou), nebo TusekX (při volbě pouze určitého úseku

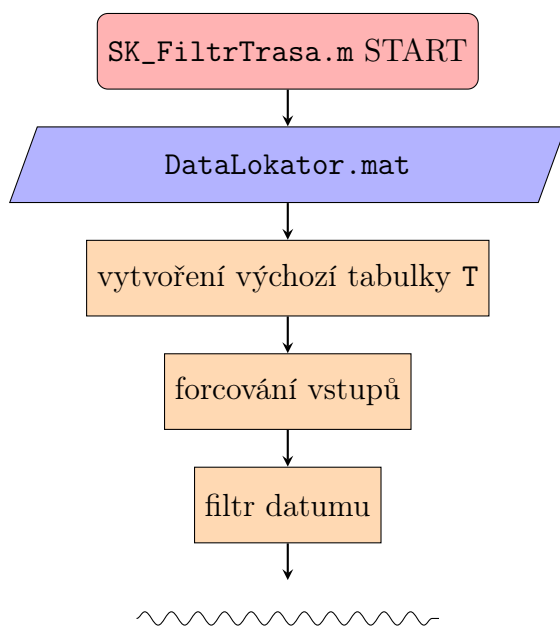
trasy). X v názvu tabulek opět reprezentuje pořadí průjezdu vozidla zvoleným úsekem trasy.

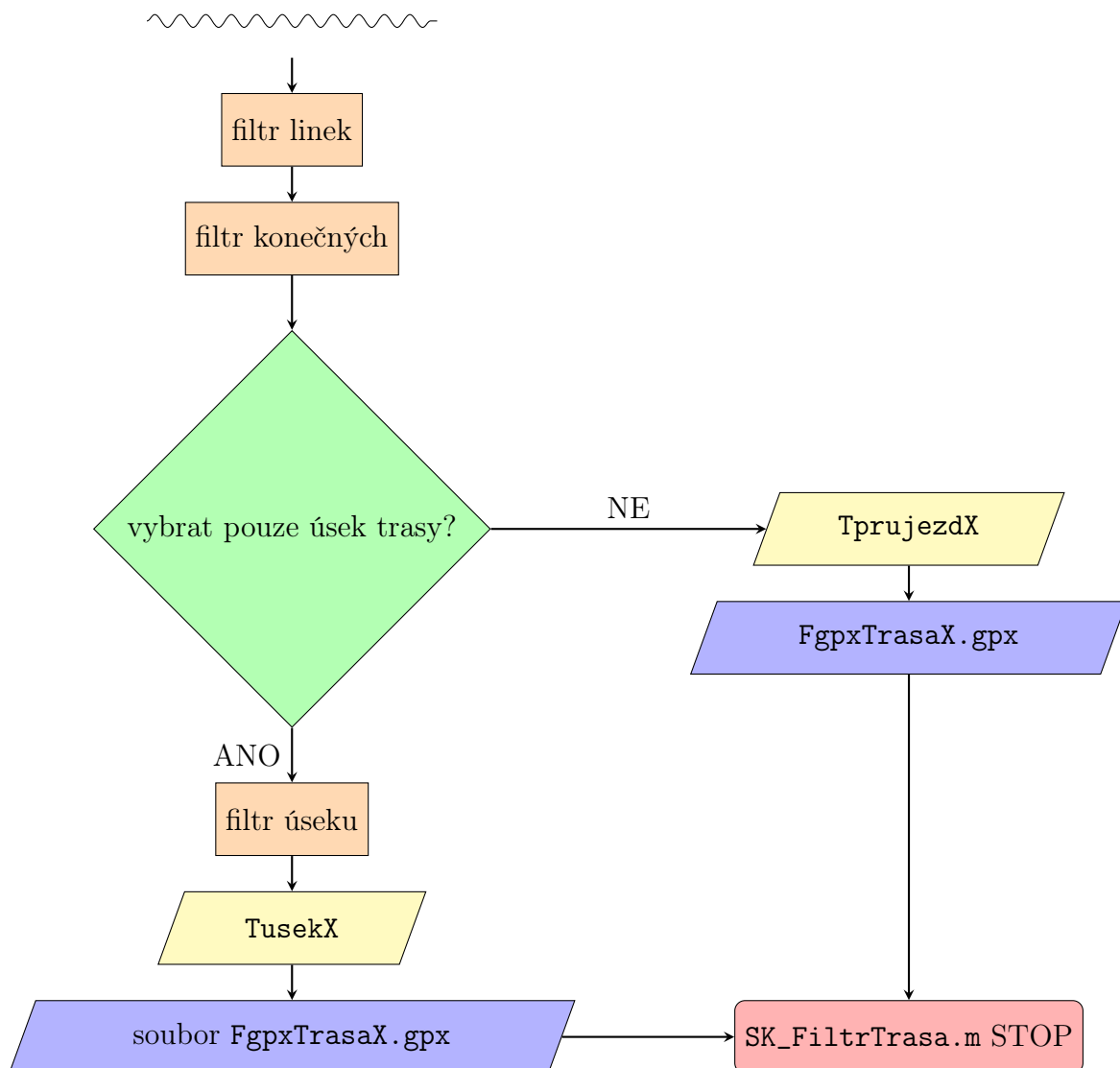
Data z každého průjezdu se generují do vlastního souboru/tabulky proto, že aplikace **Analýza výškopisu** při nahrání .gpx souboru obsahujícího data ze všech průjezdů vozidla zvoleným úsekem automaticky spojí koncovou a počáteční zastávku zvoleného úseku nejkratší možnou přímkou, která vyplní nespojitost v řadě souřadnic, ale zároveň je se souřadnicemi těchto přímek dále počítáno, a přímky tak vnášejí do výpočtu nechtěnou chybu. Tento jev je znázorněn na obázku 5.3.



Obrázek 5.3: Zobrazení přímek spojujících konečnou a počáteční stanici zvoleného úseku

Data stažená z GPS lokátoru nejprve převedeme do formátu zpracovatelného matlabem. Převodní tabulka 5.1 ukazuje, jakým způsobem během transformace surových dat z GPS lokátoru pojmenovat datové řady pro zpracovávání skriptem `SK_FiltrTrasa.m`. Takto připravení data importujeme do workspace Matlabu. Princip funkce skriptu je znázorněn na obrázku 5.4





Obrázek 5.4: Diagram skriptu pro analýzu dat z tachografu

Po spuštění skriptu `SK_FiltrTrasa.m` dojde k vytvoření tabulky `T`, která obsahuje všechny záznamy obsažené v připravených datových řadách. Skript je napsán tak, aby každý krok, který provádí výběr pouze určité skupiny dat, vybraná data uložil do vlastní tabulky. Výchozí data pro konkrétní krok tak zůstávají neporušená a lze je využít pro kontrolu, nebo další zpracování. Datovým řadám `T.cilGps` a `T.zastavkaGps` je přiřazen datový typ `categorical`, který umožňuje manipulace s nečíselnými hodnotami při zachování tvaru jejich zápisu.

Následuje volitelná funkce **FORCOVÁNÍ VSTUPŮ**, tj. možnost při opakovaném použití skriptu pro stejné parametry trasy pevně navolit vstupy z klávesnice zadávané uživatelem před spuštěním skriptu. Je-li forcovatelná proměnná prázdná (`=[]`) je uživatel vyzván k zadání hodnoty. Obsahuje-li číslo, popř. písmeno, je uživatelský vstup přeskočen. V případě potřeby není nutné forcovat všechny proměnné.

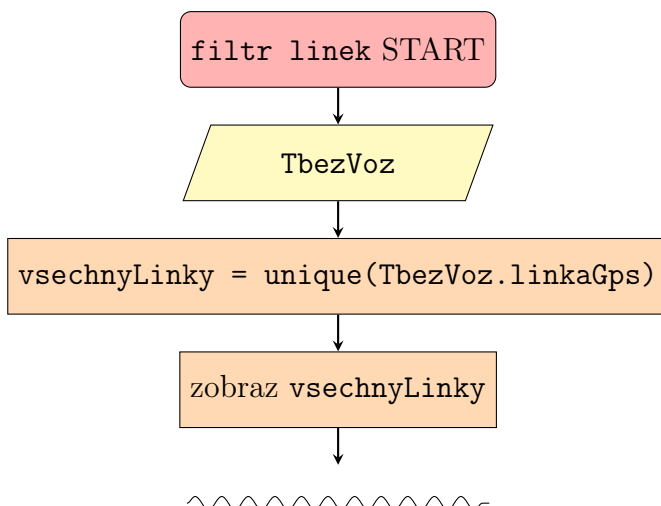
Během testování bylo zjištěno, že data ze zastávky `Vozovna` mají schopnost uskočit na špatné souřadnice (`N49,67|E13,22`). Děje se tak nejčastěji ve stavech po příjezdu

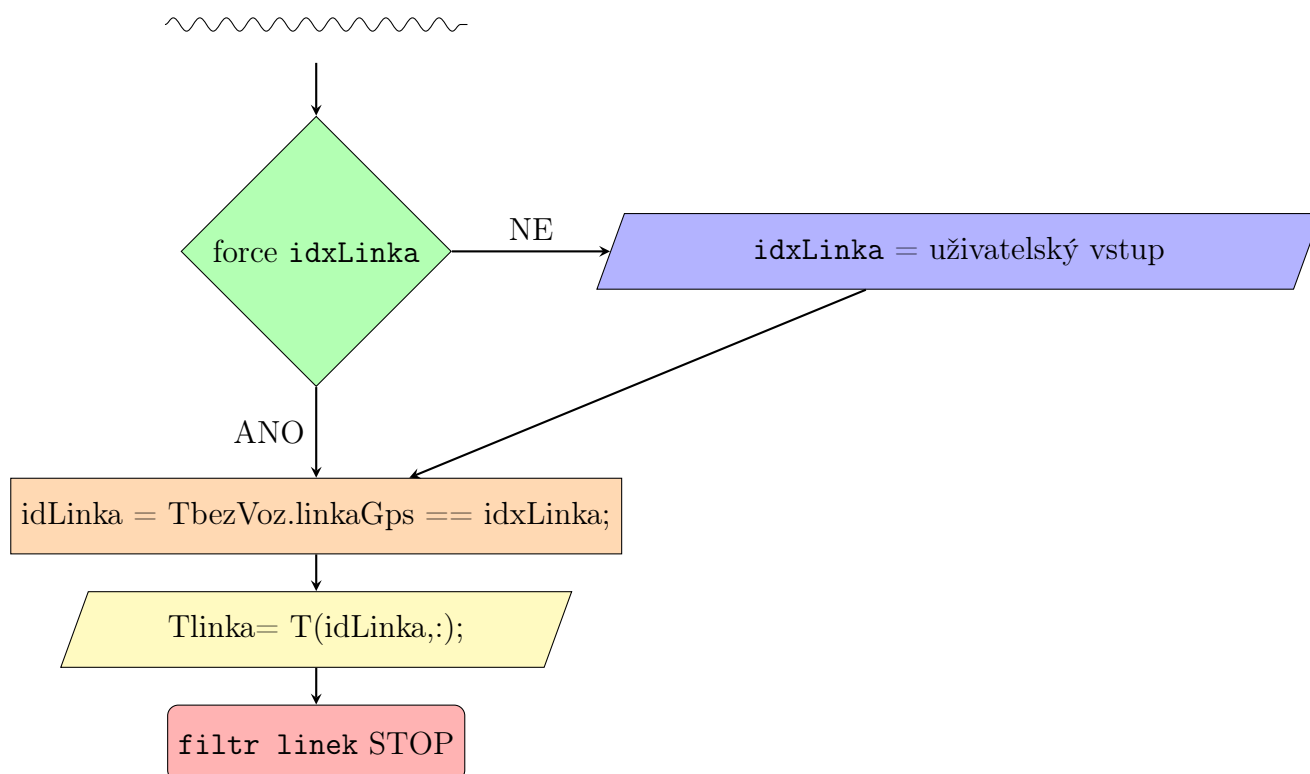
Tabulka 5.1: Zdrojová data pro SK_FiltrTrasa.m

Data GPS lokátor	Data Matlab	Význam
Linka	linkaGps	číslo linky
Cíl	cilGps	název konečné, do které trolejbus směřuje
Zastávka	zstavkaGps	název zastávky, poblíž které trolejbus je
GPS	latitudeGps	zeměpisná šířka, část hodnoty GPS
GPS	longtudeGps	zeměpisná délka, část hodnoty GPS
Rychlost	rychlostGps	rychlost změřená GPS lokátorem
Kurz	kurzGps	
Příjezd	prijezdGps	čas příjezdu do bodu GPS s přesností na sekundy
Stání	staniGps	počet sekund, který trolejbus strávil v bodě GPS
Odjezd	odjezdGps	čas odjezdu trolejbusu z bodu GPS s přesností na sekundy
Čas	casGps	čas přijetí informace o poloze dispečinek

vozidla do vozovny před jeho vypnutím. Před začátkem filtrování je tedy zmíněná zastávka spolu se všemi daty z ní z tabulky T vymazána. Pro její zachování je třeba zakomentovat část `vymaž zastavku vozovna + všechna její data` a v následující části proměnnou `vsechnyLinky` plnit daty z tabulky T místo tabulky `TbezVoz`.

V první části filtr umožňuje uživateli vybrat data z určitého dne a linky. Oba filtry fungují obdobně, schématické znázornění filtrování linky je na obrázku 5.5. Skript nejprve pomocí funkce `unique` detekuje linky, ze kterých má ve vstupních datech dostupné záznamy, uloží je do proměnné `vsechnyLinky` a obsah této proměnné zobrazí. Po té je uživatel vyzván, aby zadal číslo zvolené linky, a vznikne tabulka `Tlinka`, která obsahuje pouze záznamy z jízdy po vybrané lince.





Obrázek 5.5: Diagram filtru linek

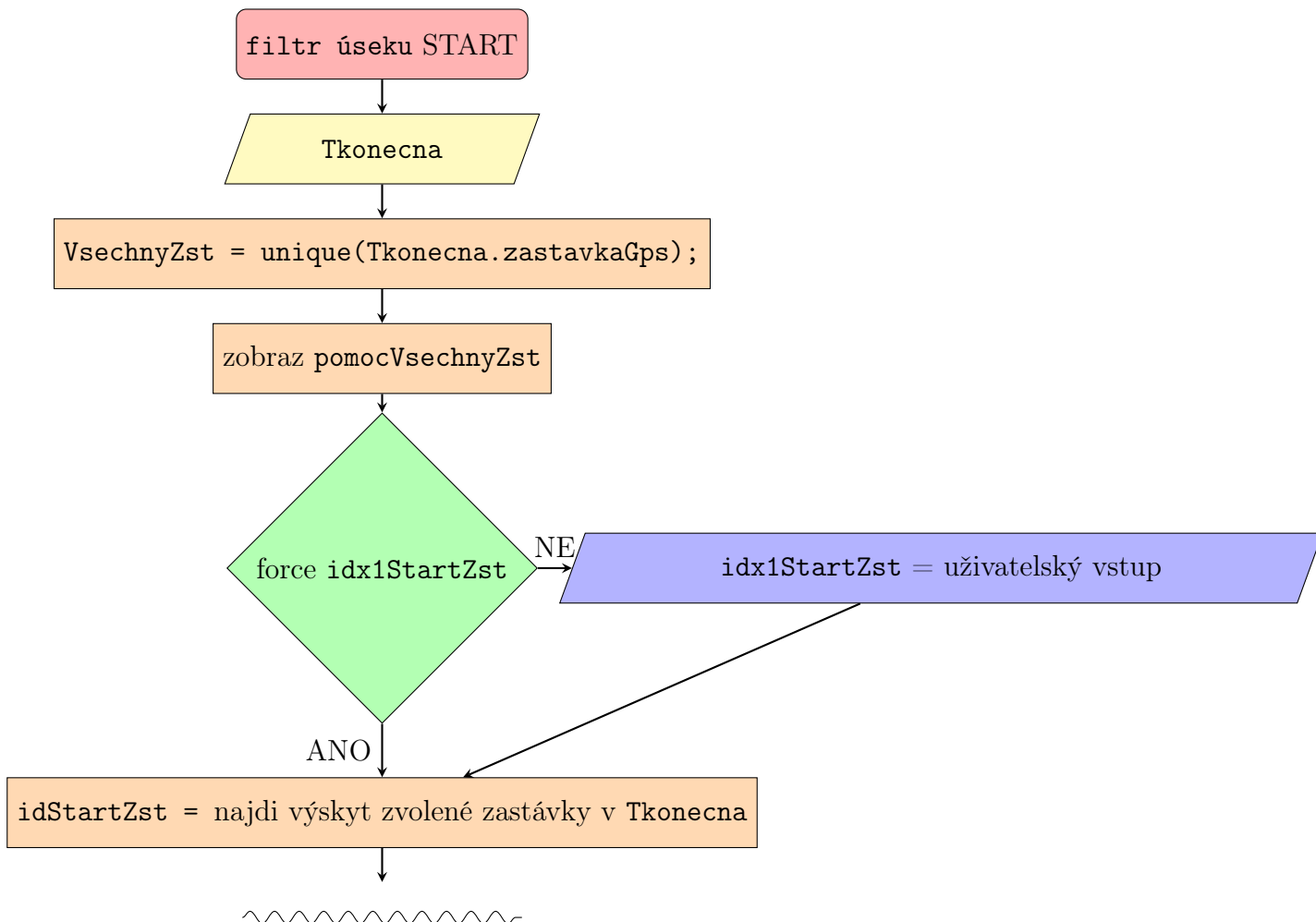
Obdobným způsobem funguje i třetí filtr, který má za úkol vybrat pouze data z vozidla jedoucího k jedné konečné. Ve vstupních datech pro tento filtr, tabulce `Tlinka`, jsou nalezeny a následně zobrazeny všechny konečné stanice. Při zobrazování dat je oproti filtrování linek rozdíl v tom, že je místo obsahu proměnné `vsechnyKonecne` zobrazena tabulka `pomocVsechnyKonecne`, která má v prvním sloupci čísla určující pořadí konečných zastávek zobrazovaných ve druhém sloupci. Uživatel následně zadává číslo řádku požadované konečné stanice a ne její celý název. Díky tomuto způsobu zadávání je filtr jednodušší - není třeba řešit vstup nečíselného datového řetězce a pro uživatele znamená rychlejší zadávání vstupních dat s nižším rizikem překlepu.

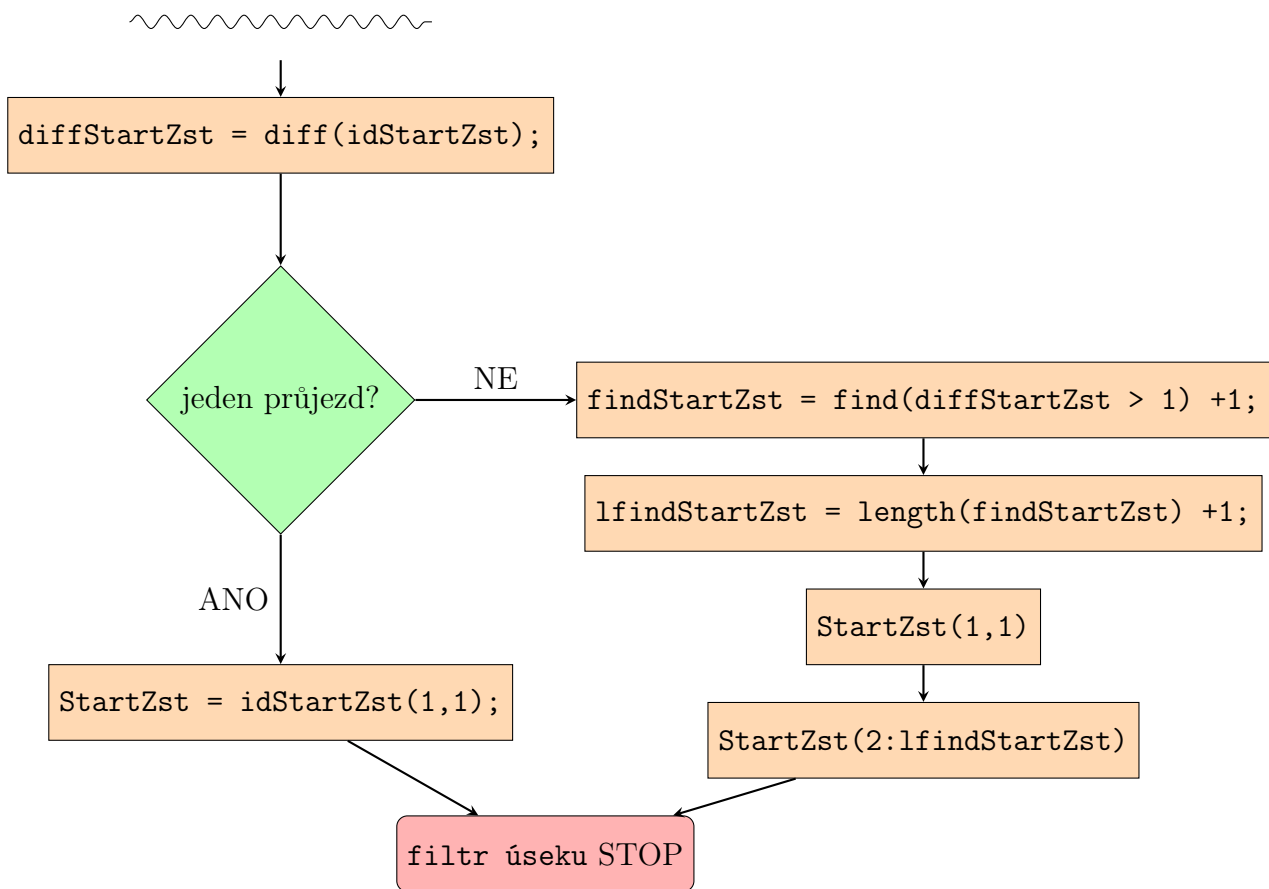
Po zobrazení dostupných konečných zastávek je provedena kontrola forcování proměnné `idx1konecna`. V případě, že je tato proměnná prázdná, dojde k načtení uživatelského vstupu z klávesnice. Výstupem filtru je tabulka `Tkonecna` obsahující informace o vozidle pohybujícím se po jedné lince jedním směrem bez dat ze zastávky `Vozovna`.

Dále skript umožní uživateli volbu mezi výstupy obsahujícími data z průjezdu vozidla celou linkou, tj. od počáteční zastávky po konečnou, a výstupy obsahujícími data z průjezdu vozidla pouze určitým úsekem linky. Vyhodnocuje se při tom stav forcovatelné proměnné `idxAN`. V případě, že `idxAN = N`, je každý detekovaný průjezd linkou uložen do tabulky `TprujezdX` (kde `X` = číslo průjezdu) a tato tabulka zpracována skriptem `gps2gpx` do souboru `FgpxTrasaX.gpx`.

Je-li `idxAN = A` spustí se filtr úseku, který je popsán v diagramu na obrázku 5.6

(resp. jeho část pro získání počáteční zastávky). Z tabulky `Tkonecna` jsou vypsané všechny zastávky (opět má každý řádek své číslo, které slouží pro uživatelský vstup, proměnná `pomocVsechnyZst`). Po kontrole forců názvu počáteční zastávky (proměnná `idx1StartZst`) jsou nalezena čísla řádků, na kterých se nachází vybraná počáteční zastávka. Během jednoho průjezdu trolejbusu okolo zastávky uloží GPS lokátor různé množství záznamů s hledanou zastávkou, takže není pravda, že by jeden výskyt názvu zastávky znamenal jeden průjezd. Oddělení jednotlivých průjezdů je provedeno pomocí funkce `find`, která najde čísla řádků s vyšetřovanou stanicí a funkce `diff`, která zjistí rozdíl mezi prvky nalezené číselné řady. Je-li tento rozdíl (prom. `diffStartZst`) roven jedné, jsou k dispozici záznamy pouze z jednoho průjezdu vozidla úsekem a první výskyt názvu je zároveň počátkem úseku. Je-li `diffStartZst > 1`, je počátkem úseku záznam na řádku, jehož pořadí je o jedna větší než pořadí řádku, na kterém byl funkcí `diff` detekován skok. Dále je ošetřen začátek prvního průjezdu a výsledek uložen do prom. `StartZst`. Obdobným způsobem skript hledá zastávku ohraničující konec úseku (prom. `EndZst`).





Obrázek 5.6: Diagram filtru úseku

5.2.2 Skript gps2gpx.m

- **Název:** gps2gpx.m
- **Vstupy:** proměnné lat a lon
- **Výstupy:** soubor FgpxTrasaX.gpx

Filtr `SK_FiltrTrasa.m` v rámci generování tabulek `TusekX` a `TprujezdX` vytvoří ještě proměnné `lat` a `lon`, do kterých uloží údaje o zeměpisné šířce (prom. `lat`) a zeměpisné délce (prom. `lon`). Z těchto proměnných je skriptem `gps2gpx` vytvořen soubor `FgpxTrasaX.gpx`, který je použit pro nahrání trasy do online aplikace pro analýzu výškopisu [8]. Tato aplikace následně vygeneruje soubor se souřadnicemi ve formátu S-JTSK odpovídajícími nahrané trase, která je ale popsána body s volitelnou vzájemnou vzdáleností (1,5,10m), což výrazně zvedne jejich celkový počet a jednotlivé body jsou doplněny informací o nadmořské výšce a vzdálenosti od počátečního bodu. Soubor `FgpxTrasaX.gpx` odpovídá formátu generovanému serverem `Mapy.cz` [15] a jedna zapsaná souřadnice vypadá následovně:

```
<?xml version="1.0"encoding="utf-8"?>
  <gpx creator="mapy.cz"version="1.1"xmlns="http://www.topografix.com/GPX/1/1"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"xsi:schemaLocation="
http://www.topografix.com/GPX/1/1 http://www.topografix.com/GPX/1/1/gpx.xsd»
  <trk>
    <name></name>
    <trkseg>
      <trkpt lat="49.743400"lon="13.377050»
        <ele>0.000000</ele>
        <name>49.743400, 13.377050</name>
      </trkpt>
    </trkseg>
  </trk>
</gpx>
```

5.2.3 Skript WebTrans.m

- **Název:** WebTrans.m
- **Vstupy:** proměnné lat a lon
- **Výstupy:** soubor WebTrans.txt

Získáním trasy, která je popsána body s vyšší hustotou, než kterou poskytují data z GPS lokátoru, máme možnost provést detailní výpočet odporu sklonu pro zvolenou trasu. Bohužel ale ztrácíme schopnost odpor sklonu navázat na další data. Vzniká tedy potřeba i souřadnice získané z GPS lokátoru převést do systému S-JTSK. K tomuto úkolu výborně poslouží další on-line aplikace dostupná z geoportálu ČUZK s názvem Transformace souřadnic [9]. Aplikace umožňuje i překlad více souřadnic najednou, je potřeba pouze dodržet správný formát jejich zápisu. Filtr SK_FiltrTrasa.m je tedy rozšířen o schopnost generovat soubor se souřadnicemi ve formátu pro zpracování aplikací [9]. Níže je ukázka pěti řádků souboru WebTransX.txt. V prvním sloupci je pořadí souřadnice, druhý a třetí odpovídá obsahům proměnných Lat a Lon, poslední sloupec je vyplněn nulou.

```
1 49.743400 13.377050 0
2 49.743400 13.377050 0
3 49.743380 13.377740 0
4 49.743360 13.378340 0
5 49.743200 13.378710 0
```

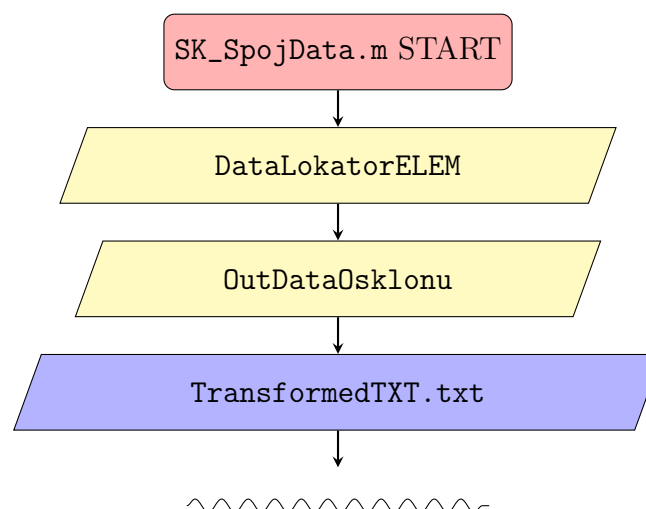
5.3 Spojení dat z GPS lokátoru

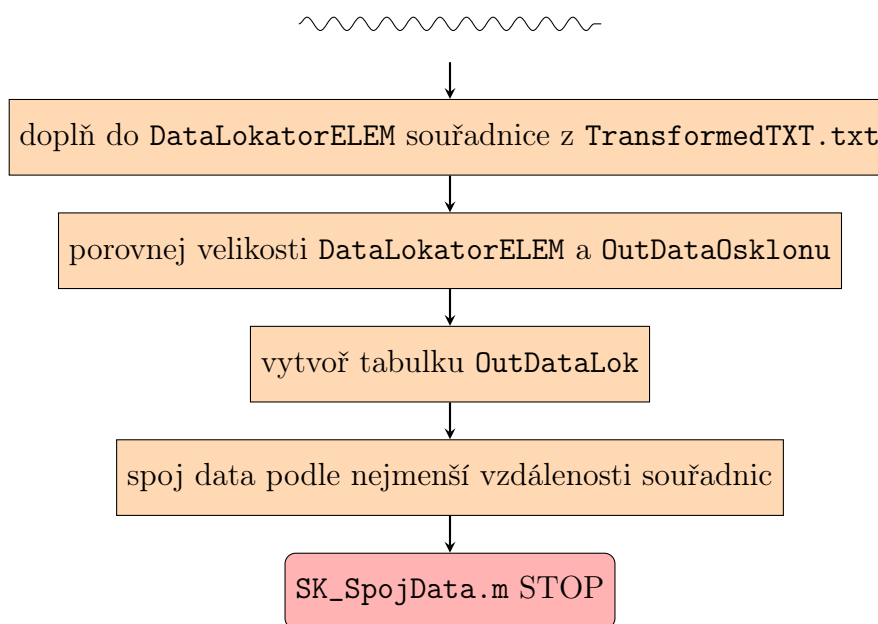
- **Název:** SK_SpojData.m
- **Vstupy:** soubor TransformedTXT.txt, tabulka OutDataOsklonu, tabulka DataLokatorELEM
- **Výstupy:** tabulka OutDataLok

Jak již bylo naznačeno výše, vypočtené hodnoty odporu sklonu je potřeba přiřadit ke zbylým datům z GPS lokátoru. Jinými slovy tabulku `OutData0sklonu` spojit tabulkou `DataLokatorELEM` tak, aby na správných řádcích byla i další data, a vzniklý celek `OutDataLok` bylo možné spojit se záznamy z tachografu. Zjednodušený princip funkce je na obrázku 5.7. Vstupní soubor `TransformedTXT.txt` obsahuje souřadnice ve formátu S-JTSK a je generován aplikací `Transformace souřadnic` [9]. Po načtení souboru jsou jeho data přiřazena jako sloupce `X` a `Y` tabulce `DataLokatorELEM`. Díky tomu jsme v další části skriptu schopni spojit obě vstupní tabulky.

Při vyhodnocování dat z krátkého úseku trati a zároveň volbě velké (10m) vzdálenosti mezi body může nastat i situace, kdy má tabulka `OutData0sklonu` méně řádků, než tabulka `DataLokatorELEM`. Proto je nejprve funkcí `size` porovnána velikost obou tabulek a větší z nich načtena do nové tabulky `OutDataLok`. Následně je `OutDataLok` rozšířena o sloupce z menší tabulky, do kterých jsou, zatím, uloženy funkcí `zeros` nuly na místo čísel a `NaN` (not a time) na místo datumů a časových údajů. Dále jsou porovnány vzdálenosti mezi souřadnicemi. Díky práci se souřadnicovým systémem S-JTSK získáme vzdálenost mezi body jednoduše pomocí funkce `norm`. Poté funkcí `min` nalezneme nejmenší vzdálenost mezi body (měla by být rovna nule) a funkcí `find` pozici řádku s touto hodnotou v tabulce `DataLokatorELEM`. Pro ověření správnosti je za tuto část vložena kontrola nelazených pozic - pomocí funkce `diff` je proveden rozdíl hodnot, a pokud je výsledná hodnota < 0 , je uživatel upozorněn hláškou `Možná chyba souřadnic` na možný chaos ve vstupních datech.

V poslední části skriptu dojde k úpravě dat ve sloupcích `prijezdGps` a `odjezdGps`. Jsou sice ve formátu `datetime`, ale obsahují pouze údaje o času. Pro plnohodnotnou práci je nutné doplnit časový údaj o rok, měsíc a den. To je provedeno jednoduše načtením data ze sloupce (a příslušného řádku) `casGPS` a následným uložením těchto informací k časům v `prijezdGps` a `odjezdGps`. V tuto chvíli máme všechna potřebná data k tomu, abychom do zatím dočasně obsazených sloupců tabulky `OutDataLok` na správná místa odporu sklonu nahrály správná data z GPS lokátoru. Přiřazení je provedeno pomocí proměnné `umisti`, do které se uloží číslo řádku, a proměnné `nf`, která z tabulky `DataLokatorELEM` vybere příslušný prvek.





Obrázek 5.7: Diagram skriptu pro spojení dat z GPS lokátoru

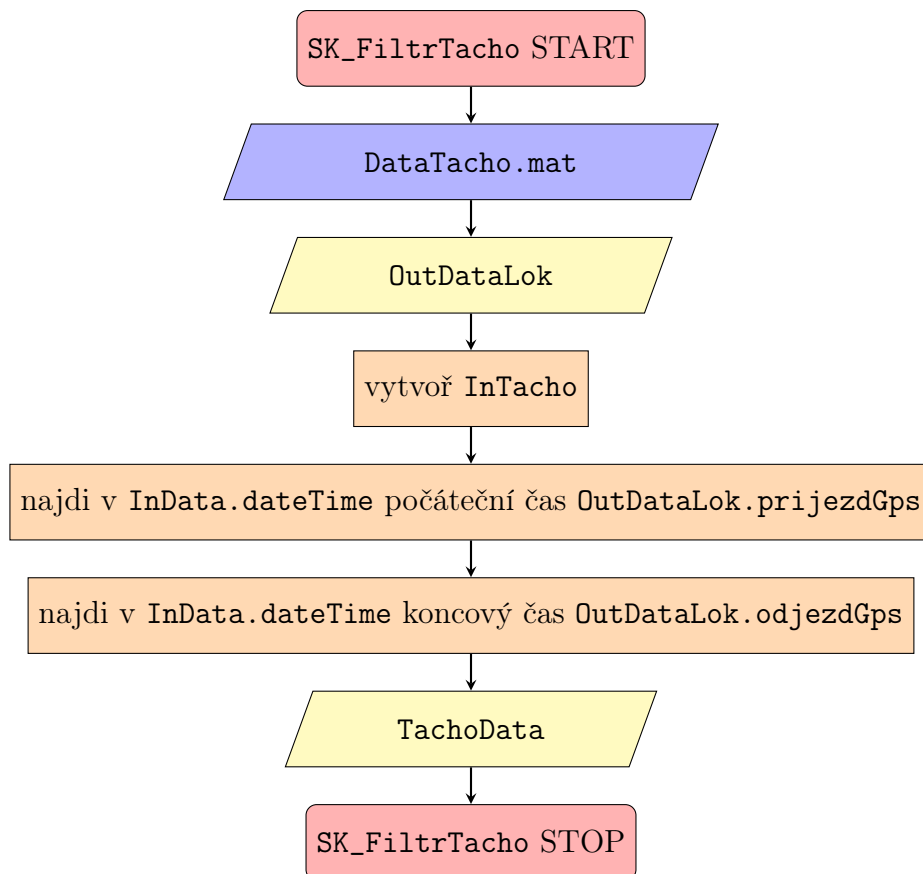
5.4 Zpracování dat z tachografu

- **Název:** SK_FiltrTacho.m
- **Vstupy:** OutDataLok, soubor DataTacho.mat
- **Výstupy:** tabulka TachoData

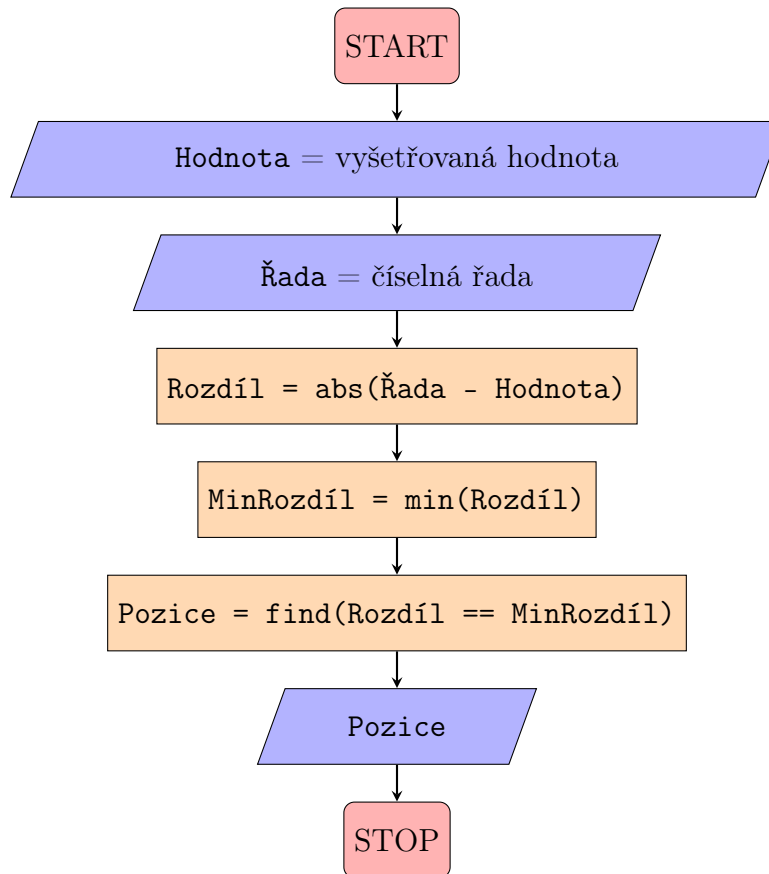
Tento skript fitruje data z tachografu podle času z GPS lokátoru, jeho diagram je na obrázku 5.8. Data stažená z tachografu (soubor DataTacho.mat) jsou načtena do proměnné InTacho. Pro použití skriptu jsou provedeny dvě korekce sloupce InTacho.dateTime. První se týká změny formátu zobrazovaného časového údaje - přidány milisekundy, druhá převrací pořadí prvků sloupce z konce na začátek (první řádek se stává posledním, druhý předposledním atd., realizováno příkazem `InTacho.dateTime = InTacho.dateTime(end:-1:1);`). Je to z toho důvodu, že s rostoucí vzdáleností se ve vstupních datech snižuje čas, zbylé hodnoty odpovídají. V dalším kroku je načten počáteční čas vyšetřovaného úseku z pozice `OutDataLok.prijezdGps(1)`, nalezen nejbližší čas v datové řadě `InData.dateTime` a číslo řádku s tímto časem je uloženo do proměnné `PoziceDatumStart`. Obdobným postupem skript nalezne i koncový čas vyšetřovaného úseku. Ten je uložen na pozici `OutDataLok.odjezdGps(end)`, opět vyhledán v `InData.dateTime` a uložen do `PoziceDatumEnd`. Na závěr je vytvořena tabulka `TachoData`, která obsahuje data z tabulky `InData` nacházející se v časovém úseku `PoziceDatumStart - PoziceDatumEnd`.

Výše zmiňuji nalezení nejbližšího času. Jedná se o jednoduchý algoritmus, který je použit nejen v tomto skriptu a jeho diagram je na obrázku 5.9. Úkolem algoritmu je v číselné řadě nalézt pozici s hodnotou nejbližší hodnotě vyšetřované. Znárodněn je obecný postup, kdy vstupními daty jsou proměnné `Hodnota` (reprezentuje

hodnotu, jejíž pozici hledáme) a *Řada* (reprezentuje skupinu prvků, ve které hledáme nejbližší číslo číslu *Hodnota*). Proměnné *Řada* a *Hodnota* od sebe odečteme a absolutní hodnotu výsledku (funkce `abs`) uložíme do proměnné *Rozdíl*. Díky absolutní hodnotě budeme nadále vyšetřovat jen vzdálenost prvků proměnné *Řada* od čísla *Hodnota* nezkreslenou případnými skutečnými výsledky menšími než 0. Následuje výběr nejmenší hodnoty proměnné *Rozdíl* použitím funkce `min`, vzniká vektor *MinRozdíl*. Na závěr je nejmenší hodnota nalezena funkcí `find` a uložena do proměnné *Pozice*.



Obrázek 5.8: Diagram skriptu pro filtrování dat z tachografu

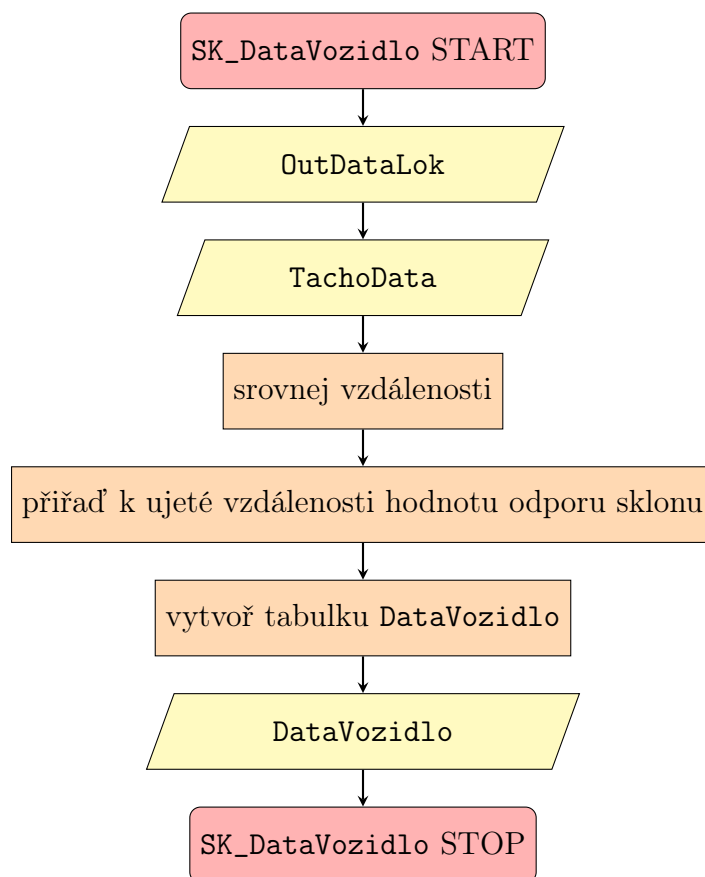


Obrázek 5.9: Diagram algoritmu pro nalezení pozice s nejbližší hodnotou v číselné řadě

5.5 Spojení dat z tachografu a GPS lokátoru vozidla

- **Název:** SK_DataVozidlo.m
- **Vstupy:** OutDataLok, TachoData.mat
- **Výstupy:** tabulka DataVozidlo

Data z GPS lokátoru jsou použita k výpočtu odporu sklonu a určení úseku vyšetřované trasy. Vyšetřovaná trasa je výstupem skriptu SK_FiltrTrasa, podle ní jsou filtrována skriptem SK_FiltrTacho data z tachografu. K těm jsou způsobem popsaným na diagramu 5.9 doplněny hodnoty odporu sklonu. Vznikne tabulka DataVozidlo, která obsahuje všechny podstatné informace z vozidla pro simulátor. Hodnoty reprezentující ujetou vzdálenost obsažené v TachoData.distance obvykle nezačínají nulou, pro porovnání se vzdáleností OutDataLok.S je nutné je vynulovat. Nulování je provedeno na začátku skriptu.



Obrázek 5.10: Diagram spojení dat z GPS lokátoru a tachografu vozidla

5.5.1 Zpracování nadmořské výšky

- **Název:** SK_VnM.m
- **Vstupy:** soubor vygenerovaný aplikací Analýza výškopisu [8],
- **Výstupy:** tabulka InDataCUZK

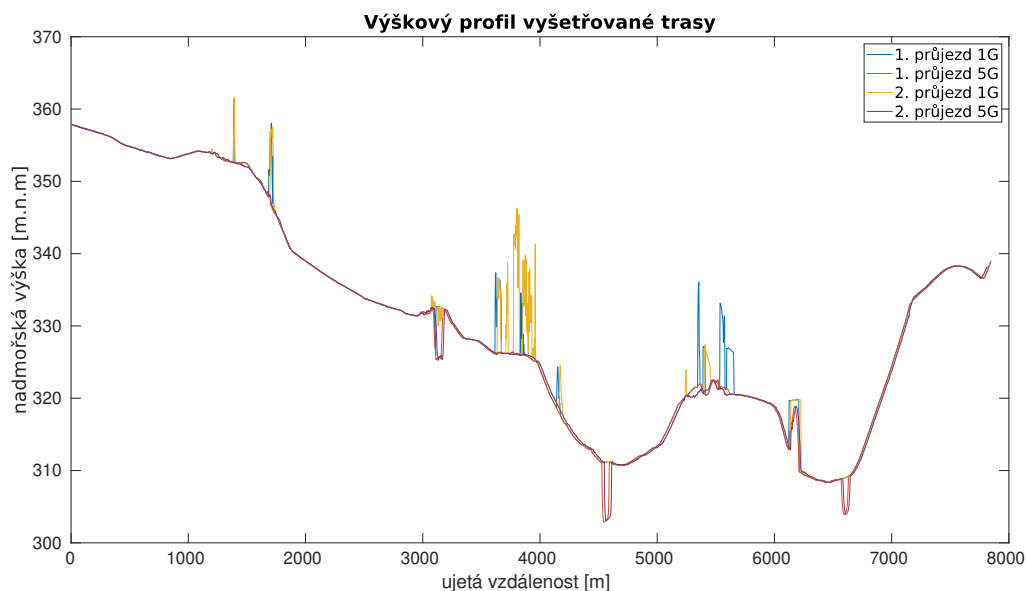
Jak již bylo popsáno v kapitole 4.2.3, výsledný výškový profil je ovlivněn volbou datové sady při analýze výškopisu. Profil vyšetřované trasy získaný z dat dvou průjezdů trolejbusu linkou č.15 ze zastávky U Nové Hospody do zastávky Lobzy je na obrázku 5.11. Modrou a žlutou barvou jsou zobrazeny křivky z datové sady DMP1G, červenou a fialovou barvou jsou zobrazeny křivky z datové sady DMP5G. Křivky na obrázku 5.11 mají vady odpovídající vlastnostem příslušné datové sady. První dvě špičky 1390 a 1708 m od začátku trasy způsobují dva potrubní mosty nacházející se mezi zastávkami Ke Karlovu a Karlov. Po té je trasa vykreslována v pořádku až k mostu na Jižním Předměstí. Zde vidíme, že červená a fialová více méně kopíruje terén pod vozovkou a křivky modrá a žlutá zde nezobrazují nic, z čeho by se dalo v dalších výpočtech vycházet. Zobrazený šum je s největší pravděpodobností způsobený nádražní budovou, která vystupuje ze dna koridoru až nad most. Toto místo je zvětšené na obrázku 5.12. Následují modré a žluté špičky v oblasti mezi zastávkou Jižní Předměstí, Tylova a U Práce způsobené nízkou hustotou GPS

souřadnic zaznamenaných GPS lokátorem. Při nedostatečně vykreslené zatáčce dojde ke spojení GPS bodů nejkratší možnou cestou, tedy i přes zástavbu, což DMP1 zaznamená. Dále je v tomto úseku hustá zástavba a relativně úzká vozovka, což má za následek nárůst chyby při určování polohy jedoucího trolejbusu.

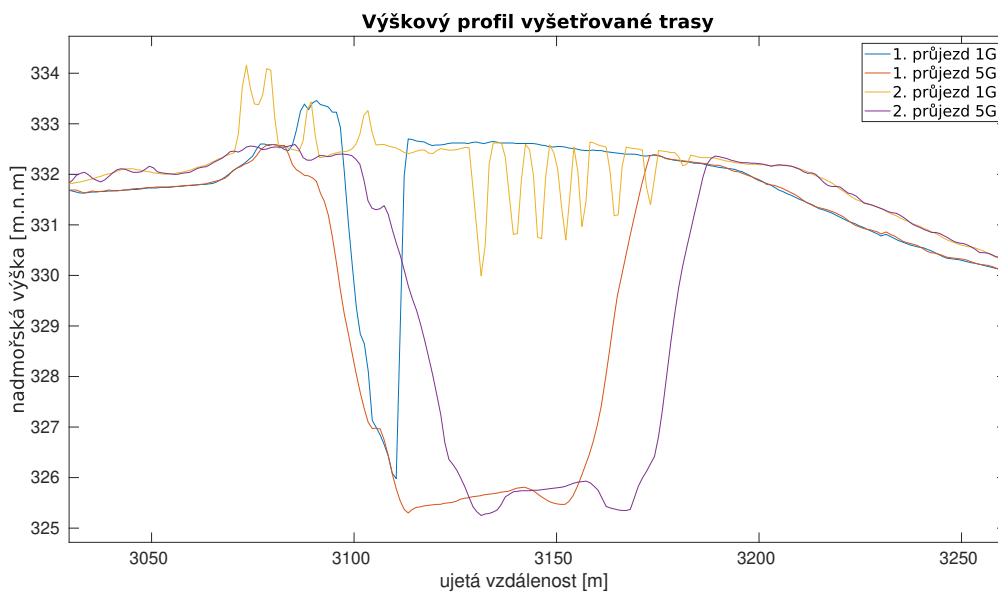
Následuje most přes řeku Radbuzu, cca 4548m od začátku úseku. Zde opět červená a fialová křivka kopírují dno řeky, zatímco modrá a žlutá křivka nyní již správně zobrazují mostovku. Špičky na modrých a žlutých křivkách zhruba 5484m od začátku trati jsou způsobeny mimoúrovňovou křižovatkou u zastávky Železniční Poliklinika. Za zastávkou Gambrinus v oblasti vzdálené 6225m od začátku trasy je výkyv způsobený železničním mostem, který v této lokalitě vede nad silnicí. Žlutá a modrá křivka zde správně vykresluje profil mostu. Poslední nerovnost - ve vzdálenosti cca 6602m od začátku trati - je způsobena mostem přes řeku Úslavu u zastávky Divadlo Alfa. Zde je opět mostovka zobrazena modrou a žlutou křivkou bez problémů.

Z grafu je také patrné vzájemné posunutí obou tras v některých místech trati, které je způsobeno nestejným průjezdem trolejbusu např. křižovatkou.

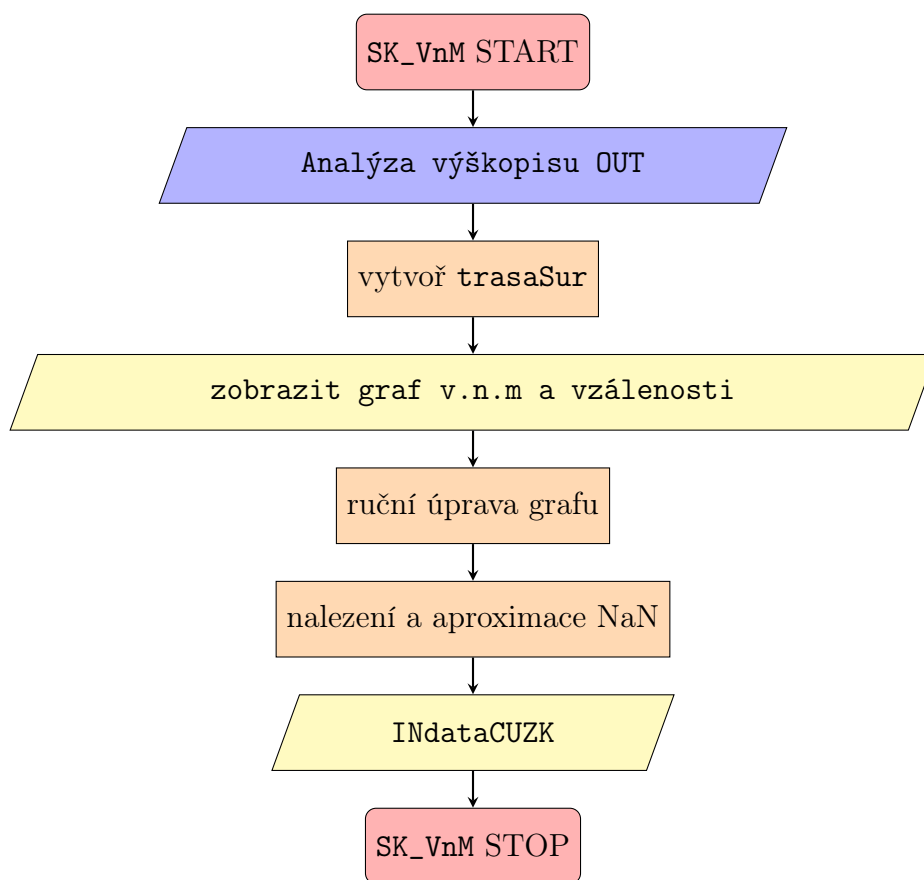
Původně jsem zamýšlel vzít jako výchozí datovou sadu DMR5G, ale její data tam, kde místo mostovky zobrazuje profil prostoru pod mostem, nahradit daty ze sady DMP1G. Bohužel, jak ukazuje obrázek 5.12, se na zobrazení mostovky sadou DMP1G nelze s jistotou spolehnout, a tak jsem se rozhodl mostovku aproximovat přímkou. Na vyšetřované trase nejsou mosty se složitým výškovým profilem, a proto bude vzniklý rozdíl v odporu sklonu reálného a aproximovaného minimální.



Obrázek 5.11: Zobrazení výškového profilu vyšetřované trasy s použitím datových sad DMP1G a DMR5G. Použity byly souřadnice ze dvou průjezdů.



Obrázek 5.12: Zobrazení výškového profilu mostu přes železniční trať u železniční stanice Plzeň-Jižní Předměstí



Obrázek 5.13: Diagram skriptu pro zpracování dat o nadmořské výšce

Před spuštěním skriptu je potřeba upravit název souboru se zdrojovými daty (před nahráním souboru je potřeba z něj odstranit čárky oddělující číselné hodnoty). Po té je vytvořena tabulka `trasaSur`, do které jsou uloženy proměnné `X`, `Y`, `Zsur`, `S` obsahující zdrojová data. Z proměnných `S` a `Zsur` je vytvořen graf, za `plot(S,Zsur)` je zakomentovaná funkce `pause`, která má využití pouze při prvním spuštění, když ještě není uložený zpracovaný graf. Jako výchozí byla zvolena sada DMP5G.

Ze zobrazeného grafu, který odpovídá červené křivce z obrázku 5.11, je nyní nutné odstranit deformace vozovky vytvořené mosty. Jako nejspolehlivější se mi osvědčila metoda využívající možnosti upravovat Matlabem zobrazovaný graf. Po aktivaci nástroje `Brush/Select Data` v pravém horním rohu nad grafem vybereme požadovanou oblast a pravým kliknutím na označenou část křivky vyvoláme nabídku, ve které zvolíme možnost `Replace with → NaNs`. Tím jsou problematické úseky nahrazeny hodnotou `NaN`. Takto upravený graf uložíme, jeho název změníme na řádku č.18, a v případě využití `pause` po přepnutí do `Command Window` stiskneme libovolné tlačítko, nebo spustíme celý skript znovu. Dojde k načtení dat z osy `Y` do proměnné `Znan` a z ní pomocí `fillmissing` lineární aproximace vznikne proměnná `Z`. Na závěr je vytvořena tabulka `INdataCUZK` obsahující proměnné `X,Y,Z,S`.

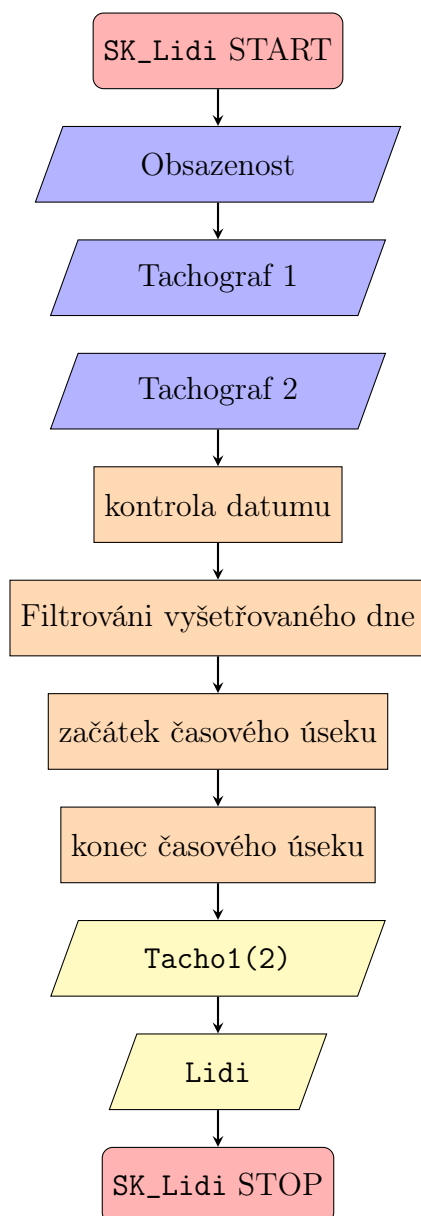
5.5.2 Propojení záznamů o obsazenosti se záznamy z tachografu

- **Název:** `SK_Lidi.m`
- **Vstupy:** tabulka s daty o obsazenosti vozu během jízdy, data z tachografu 1, data z tachografu 2
- **Výstupy:** tabulky `Lidi`, `Tacho1`, `Tacho2`

Tento skript lze využít pro získání dat z tachografu ve chvíli, kdy nejsou k dispozici data z GPS lokátoru pro určení časového intervalu, ve kterém se vozidlo pohybovalo po trati. Z dat obsazenosti vozidla získáme počet cestujících a časový interval, ve kterém trolejbus překonal sledovanou trasu ohraničenou zvolenými zastávkami. Data popisující projetou trať lze následně získat zpracováním trasy z jiného průjezdu (ke kterému chybí např. data o lidech).

Diagram `SK_Lidi` je na obrázku 5.14. Skript nejprve načte data o obsazenosti do tabulky `Lidi` a vytvoří proměnné `LidiStart` a `LidiEnd` ohraničující časový interval jízdy. V rámci této práce byla zpracovávána pouze data v rámci jednoho dne, k tomu jsou také uzpůsobeny části č.3 a č.4 skriptu. Kontrola datumu je provedena v části č.2. Následuje načtení dat z tachografů (při zakomentování příslušných částí skriptu jej lze použít i pro jeden libovolný tachograf) do proměnných `Tacho1sur` a `Tacho2sur`. Tyto proměnné jsou následně převráceny z důvodu „couvajícího“ času v originálních záznamech z tachografu. Pokud převrátíme pouze vektor `dateTime`, přestanou data z tachografu odpovídat.

Následuje část, ve které dojde k vyfiltrování vyšetřovaného dne. Tato část má největší význam při psaní nebo úpravách skriptu, protože umožňuje vyseknout z velkého množství dat tachografu jen ta důležitá pro další práci, čímž se zrychlí průběh skriptu. Po té dojde principem popsaným v diagramu 5.9 ke zpracování dat a vznikne tabulka `Tacho1` (`Tacho2`).



Obrázek 5.14: Diagram skriptu propoujícího záznamy o lidech se záznamy z tachografu

6 Odpory

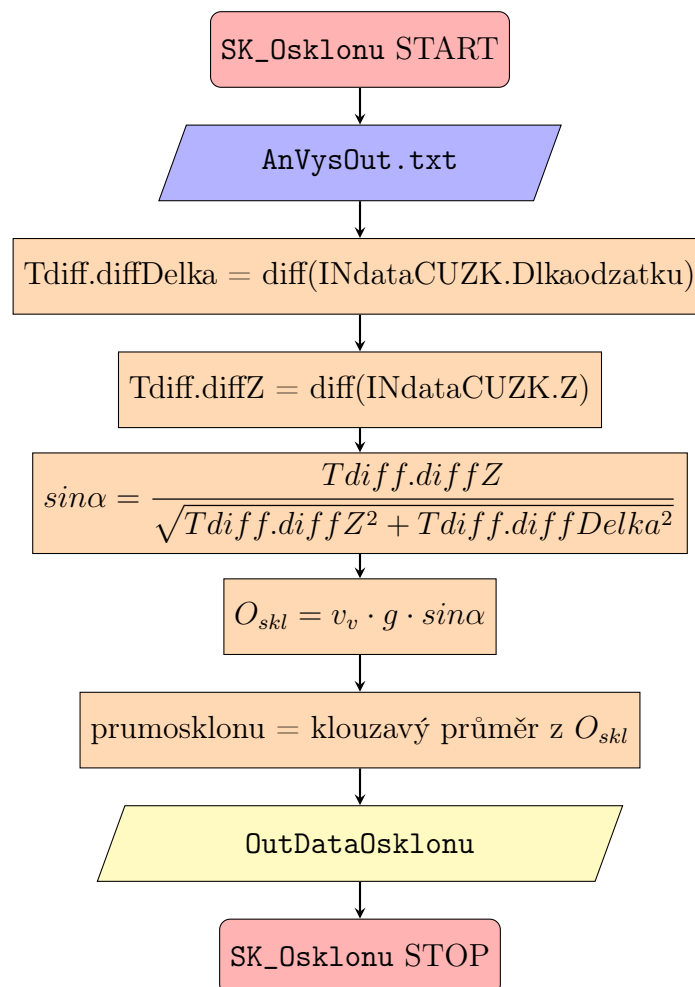
6.1 Stanovení odporu sklonu

- **Název:** SK_Osklonu.m
- **Vstupy:** soubor AnVysOut.txt,
- **Výstupy:** tabulka OutDataOsklonu

Zdrojem dat pro výpočet odporu sklonu je soubor AnVysOut.txt, z jehož obsahu je vytvořena proměnná datového typu `table` s názvem `INdataCUZK`. Jedná se o tabulku, která obsahuje data o trase, na které vyšetřujeme odpor sklonu,

zapsaná v souřadnicovém systému SJTSK vygenerovaná pomocí online aplikace [8]. Textový soubor stažený z [8] standardně obsahuje sloupce X,Y,Z a Délka od začátku. Sloupec s názvem Délka od začátku je ovšem matlabem načítán bez diakritiky a mezer, tedy jako Dlkaodzatku, skript s tímto počítá. Skript vypočte nejprve vzdálenost mezi dvěma body z INdataCUZK.Dlkaodzatku a výsledky uloží do Tdiff.diffDelka. Dále vypočte rozdíl mezi nadmořskými výškami těchto bodů z INdataCUZK.Z a výsledky uloží do Tdiff.diffZ. Velikosti úseček uložené v proměnných Tdiff.diffDelka a Tdiff.diffZ jsou na sebe kolmé, ve skriptu jsou použity jako odvěsny pravoúhlého trojúhelníku pro výpočet velikosti přepony pomocí Pythagorovy věty. Přepona v tomto případě reprezentuje část vyšetřované trasy. Následně skript vypočte sinus úhlu mezi přeponou a úsečkou vzdálenosti, tedy stanoví úhel sklonu trasy $\sin\alpha$ potřebný pro výpočet rovnice 6.1. V závěru je vypočítán ze vztahu 6.1 hrubý odpor sklonu, jehož hodnota je do výsledné proměnné prumosklonu zapsána pro eliminaci špiček jako klouzavý průměr sedmdesátipěti okolních hodnot. Diagram skriptu je na obrázku 6.1.

$$O_{skl} = m_v \cdot g \cdot \sin\alpha \quad (6.1)$$



Obrázek 6.1: Diagram skriptu pro výpočet odporu sklonu

6.2 Stanovení odporu oblouku

Odpor oblouku se projevuje nejvíce při ostré změně směru jízdy vozidla. K jeho stanovení je třeba určit poloměr oblouku, což umí skript `SK_Ooblouku.m` pomocí vnořené funkce `fit_circle_through_3_points.m`. Autorem funkce je Danylo Malyuta, a je dostupná z *MathWorks*.

6.3 Stanovení jízdního odporu

Jízdní odpory vozidel jsou závislé na mnoha činitelích, jejich velikost je závislá na rychlosti a v principu se skládají ze tří složek: valivého odporu, odporu tření v ložiscích a odporu prostředí. Pro stanovení velikosti jízdního odporu se využívá zmiňovaná závislost jednotlivých složek na rychlosti popsána empirickým vztahem 6.2.

$$dF_j = a + b \cdot v + C \cdot v^2 \quad (6.2)$$

Pro případ, že budeme potřebovat stanovit jednotlivé složky jízdního odporu nám stanovení valivého odporu pneumatik může ulehčit nařízení Evropské unie po kterého musí být všechny pneumatiky vyrobené od 1. července 2012 opatřeny informačním štítkem, který, mimo jiné, hodnotí třídu palivové účinnosti - valivý odpor. Jeho hodnoty jsou v tabulce 6.1. Hlubší popis odporů proti jízdě vozidla dostupný v literatuře [3].

Tabulka 6.1: Valivý odpor pneumatiky dle energetického štítku [17]

	osobní vozidla	lehké nákl. vozy	nákl. vozy
Třída	CR [kg/t]	CR [kg/t]	CR [kg/t]
A	≤ 6,5	≤ 5,5	≤ 4,0
B	6,6 - 7,7	5,6 - 6,7	4,1 - 5,0
C	7,8 - 9,0	6,8 - 8,0	5,1 - 6,0
D	-	-	6,1 - 7,0
E	9,1 - 10,5	8,1 - 9,2	6,1 - 7,0
F	10,6 - 12,0	9,3 - 10,5	≥ 8,1
G	≥ 12,1	≥ 10,6	-

7 Simulace

7.1 Výpočet zrychlení

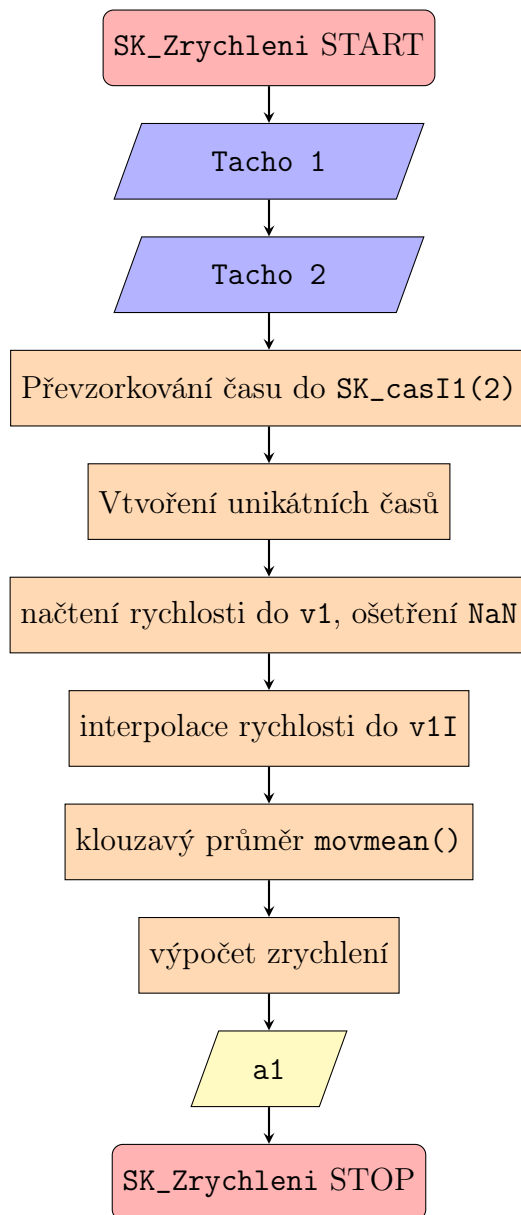
- **Název:** `SK_Zrychleni.m`
- **Vstupy:** tabulka `Tacho1`, `Tacho2`
- **Výstupy:** tabulka `TVAI`

Pro výpočet zrychlení použijeme tabulky `Tacho1` a `Tacho2` ze skriptu `SK_Lidi`. Skript (obr. 7.1) umí zpracovat data z obou tachografů během jednoho průběhu, princip zpracování obou je analogický. Pro každý průběh je nejprve převzorkován

čas. Do proměnných `casStart1` a `casEnd1` je načten počáteční a koncový čas z tabulky `Tacho1`, tento časový úsek je přerozdělen po částech 0,1s a uložen do proměnné `casI1`. Časy z této proměnné budou dále použity pro interpolaci časů a rychlosti v tabulce `Tacho1`. Záměrně nebyly použity proměnné `LidiStart` a `LidiEnd` ze skriptu `SK_Lidi`, protože ty mohou být z principu `SK_Lidi` jen blízké časům v tachografu. Následující část skriptu je vynucena funkcí `interp1` a faktem, že časy zaznamenané v tachografu nejsou unikátní. V datech `Tacho1` z druhého průjezdu trolejbusu vyšetřovanou tratí jsou na pozicích 5234, 5235, 5236, 5237 stejné údaje, i když se měřená napětí a proudy v dalších sloupcích těchto řádků mění. Nejčasteji se vyskytují dvě, případně tři po sobě stejné hodnoty, tyto případy jsou ošetřeny cyklem `for`, jehož kód je na obrázku 7.2. K vytvoření unikátních časů dojde přičtením 0.001s k času na vyšší pozici ve vektoru. Nejprve jsou porovnány časy `čas(n-1)` a `čas(n)` (detekce dvou po sobě jdoucích shod) a v případě, že se jejich hodnoty rovnají, dojde k porovnání časů `čas(n+1)` a `čas(n)` (detekce tří po sobě jdoucích shod). V případě tří po sobě jdoucích shod se pak na pozici `cas(n)` a `cas(n+1)` přičte hodnota 0.001. Při dalším průchodu cyklu je pak na původní pozici přičtena hodnota 0.001 ještě jednou a výsledkem jsou tři různé časy končící čísly .000, .001, .002. V případě zmiňované shody na čtyřech po sobě jdoucích pozicích jsem již nahrazoval příslušné hodnoty manuálně, z důvodu kontroly celkové integrity stejných dat. Příslušné pozice jsem našel pomocí funkcí `unique`, `ismember` a `find()`.

Následuje uložení hodnot `Tacho1.speed` převedených z km/h na m/s do proměnné `v1`, lineární aproximace `NaN`, interpolace `vI1 = interp1(CAS1, v1, casI1)`, klouzavý průměr z posledních deseti hodnot z výsledku a výpočet zrychlení podle rovnice 7.1.

$$a = \frac{dvI}{dt} \quad [m \cdot s^{-2}] \quad (7.1)$$



Obrázek 7.1: Diagram skriptu pro výpočet zrychlení

```

1 %vytvoreni rady unikatnich casu
2 CAS1 = datetime(Tacho1.dateTime, 'Format', 'dd-MMM-yyyy HH:mm:ss.SSS')
3 ;
4 Lcas1 = length(CAS1);
5 for nh = 2:1:Lcas1-1
6     cas01 = CAS1(nh);
7     Pcas1 = CAS1(nh-1);
8     Pcas12 = CAS1(nh+1);
9     if cas01 == Pcas1
10         if cas01 == Pcas12
11             cas01(2,1) = Pcas12+seconds(0.001);
12             CAS1(nh+1,1) = cas01(2,1);
13         else
14             CAS1(nh+1,1) = Pcas12;
15         end
16     cas01 = cas01+seconds(0.001);
17     CAS1(nh,1) = cas01(1,1);
18 end

```

Obrázek 7.2: Cyklus pro vytvoření unikátních časů

7.2 Výchozí parametry pro simulaci

- **Název:** SK_Parametry.m
- **Vstupy:** hmotnost prázdného vozidla, hmotnost rotujících hmot, koeficienty jízdních odporů A, B, C, účinnost převodovky, účinnost motoru, účinnost trakčního měniče.

Výstupy: m0, mRot, mCestujici, KoefA, KoefB, KoefC, nyPrevodovka, nyMotor, nyMenic,

SK_Parametry.m obsahuje zadané výchozí parametry pro simulaci. Pro účely výpočtu jsou ve skriptu rozděleny do částí KonfiguraceX, tak jak byly použity při simulaci.

Veličina	hodnota1	hodnota2	jednotky	poznámka
m0	13000	-	kg	-
mRot	1214	-	kg	cca 10% hmotnosti prázdného vozu
1 Cestujici	75	-	kg	-
KoefA	14.9952	6.6813	N/kN	-
KoefB	0	0.1283	-	N/kN
KoefC	0.000235098	0.0035	N/kN	-
nyPrevodovka	0.95	± 1%	-	-
nyMotor	0.91	± 1%	-	-
nyTrakcniMenic	0.985	± 1%	-	-

7.3 Simulátor

- **Název:** SK_Simulator.m
- **Vstupy:** tabulky TVAI, OutDataOdpory, Tacho1, Tacho2, Lidi, skript SK_Parametry
- **Výstupy:** tabulky Energie1, Energie2

Výchozím materiálem pro simulaci byla doporučená literatura [2]. Cílem SK_Simulator je spočítat energii, kterou vozidlo spotřebovalo pro průjezd zvoleným úsekem. Pro simulaci byl zvolený 8036.33m dlouhý úsek linky č.15 mezi zastávkami NC Borská Pole a Sokolská, po kterém jel trolejbus dne 11.12.2017, poprvé v čase 05:26:18.7 - 05:47:52.3 a podruhé v čase 06:41:57.7 - 07:07:55.3. K průjezdům v těchto dvou časech jsou k dispozici informace o obsazenosti vozidla, nejsou ale dostupná data z GPS lokátoru. Trasa byla převzata z průjezdu, který totožné vozidlo vykonalo stejného dne, ale v pozdějším čase 13:57:00 - 14:25:00. Zde tedy vzniká chyba, která se projeví v odporu sklonu, daná nestejným průjezdem vozidla stejnou trasou (viz obr. 5.11), a tedy možnými rozdíly v ujeté vzdálenosti, obzvláště v oblastech prudkých změn směru jízdy, např. při zatáčení na křižovatce. Skript opět umí zpracovat data z obou tachografů během jednoho průběhu a způsob zpracování dat obou tachografů je identický.

Po alokaci rozměru proměnné reprezentující celkový stejnosměrný příkon trolejbusu Pdc1 je spuštěn cyklus for, který po průchodu uloží do Sim1.Pdc1 hodnoty výkonu trolejbusu v tahu a v brzdě. Nejprve je podle vztahu 7.2 spočtena urychlující síla.

$$F_a = (m_0 + m_{rot} + m_{cestujici}) \cdot a \quad [N] \quad (7.2)$$

Následně jsou vyjádřeny jízdní a traťové odpory. Jízdní odpor dFj1 je vypočítán podle vztahu 7.3. Odpor sklonu dFs1 je načten z tabulky OutDataOdpory, pro odpor oblouku dFo1 je v simulátoru provedena pouze příprava, dosazován je nulový.

$$dFj1 = \frac{m_0 + m_{cestujicich}}{1000} \cdot 9.81 \cdot (A + B \cdot vI1 + C \cdot vI1^2) \quad (7.3)$$

Po stanovení jízdních odporů máme všechny parametry pro výpočet tažné síly Ft1 podle vztahu 7.4:

$$Ft1 = Fa1 + dFj1 + dFo1 + dFs1 \quad [N] \quad (7.4)$$

Z tažné síly můžeme rovnicí 7.5 vypočítat tažný výkon a ten pak rozdělit na celkový stejnosměrný příkon v tahu 7.6 a v brzdě 7.7.

$$Ptah1 = Ft1 \cdot vI1 \quad [W] \quad (7.5)$$

Ptah1 tažný výkon [W]

$$Pdc1 = Ptah1 / \eta_{Pevodovka} / \eta_{Motor} / \eta_{Traknmni} \quad [W] \quad (7.6)$$

$$Pdc1 = Ptah1 \cdot \eta_{Pevodovka} \cdot \eta_{Motor} \cdot \eta_{Traknmni} \quad [W] \quad (7.7)$$

V části 1.2 skriptu je proveden výpočet celkového naměřeného stejnosměrného příkonu. Nejprve je provedeno ošetření hodnot NaN ve zdrojových datech trolejového

proudu a napětí a topného proudu trolejbusu. Celkový naměřený stejnosměrný příkon trolejbusu je spočítán podle vztahu 7.8. Na závěr je příkon P_{dcM1} interpolován podle času $casI1$

$$P_{dcM1} = (I_{trol} - I_{top}) \cdot U_{trol} \quad [W] \quad (7.8)$$

Výpočet celkové energie simulované a měřené je v částech 1.3 a 1.4. Celková energie simulovaná odebraná a rekuperovaná je vypočítána podle vztahů 7.9–7.10. Celková energie měřená odebraná a rekuperovaná je vypočítána podle vztahů 7.11–7.12.

$$E_{s1} = \frac{\Sigma P_{dc1} < 0}{\Delta casI1} \quad [Ws] \quad (7.9)$$

$$E_{rs1} = \frac{\Sigma P_{dc1} > 0}{\Delta casI1} \quad [Ws] \quad (7.10)$$

$$E_{m1} = \frac{\Sigma P_{dcM1} < 0}{\Delta casI1} \quad [Ws] \quad (7.11)$$

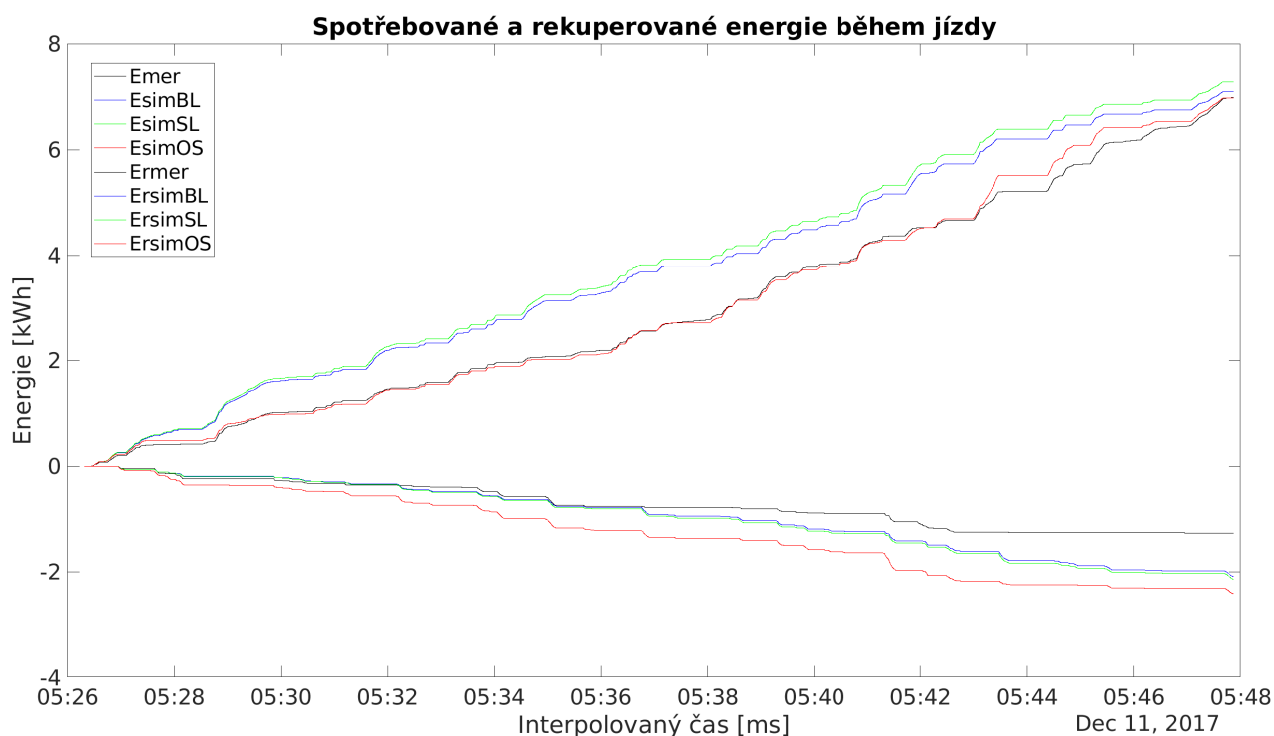
$$E_{rm1} = \frac{\Sigma P_{dcM1} > 0}{\Delta casI1} \quad [Ws] \quad (7.12)$$

7.4 Analýza výsledků

- **Název:** SK_CtrlSim.m, grafy.m
- **Vstupy:** workspace s proměnnými vytvořenými průchodem SK_VYPOCET2 po SK_Parametry včetně
- **Výstupy:** tabulky DataXXX dle aktuálního nastavení

Pro lepší kontrolu nad simulátorem byly výsledky simulace získávány pomocí SK_CtrlSim.m, který generuje data přímo pro grafy.m. SK_Simulator.m je v něm rozdělen pro každý tachograf zvlášť na SK_SimTacho1.m a SK_SimTacho2.m. Aktivování všech řádků poskytne výsledky simulace ze dvou průjezdů, pro každý průjezd ze dvou tachografů a ve třech variantách nastavení simulátoru: průjezd bez započítaných lidí a odporu sklonu (BL), s lidmi, ale bez odporu sklonu (SL) a s lidmi a započítaným odporem sklonu (OS).

Kontrolní graf na obrázku 7.3 zobrazuje spotřebovanou a rekuperovanou energii spočítanou z dat prvního tachografu během prvního průjezdu trolejbusu tratí. Jsou zde také zobrazeny simulované energie E_{simBL} a E_{simSL} a můžeme porovnat jejich velikost vůči simulované energii se započítanými lidmi a odporem sklonu E_{simOS} . Největší vypovídající hodnotu mají energie E_{merena} , $E_{rmerena}$, E_{simOS} , E_{rsimOS} , proto pro větší přehlednost grafů budou nadále zobrazovány a vyhodnocovány hodnoty jen těchto proměnných (tabulky DataXXX obsahují všechny energie zobrazené na obrázku 7.3).



Obrázek 7.3: Kontrolní zobrazení spotřeby trolejbusu

7.4.1 Konfigurace 1

Výchozí nastavení skriptu SK_Parametry zobrazuje tabulka 7.1

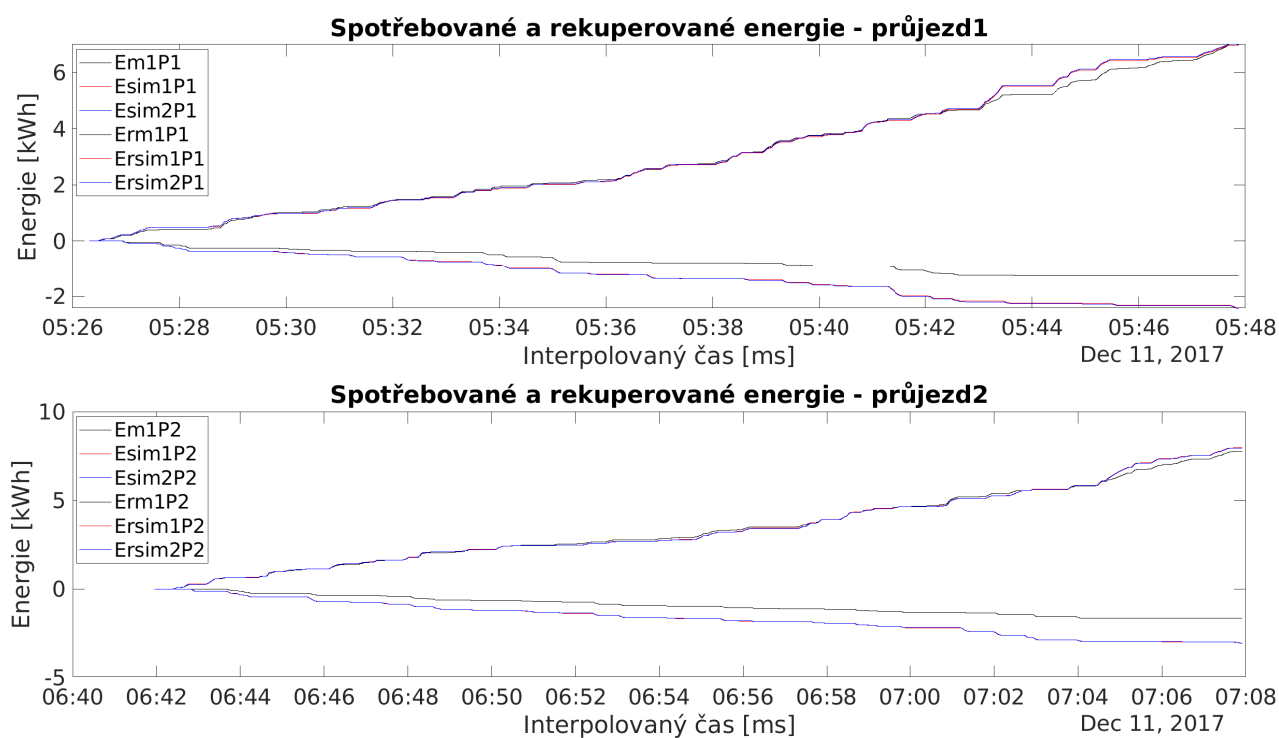
Tabulka 7.1: Výchozí nastavení simulace, konfigurace 1

m0	13000	kg
mRot	1214	kg
mCestujici	pocet · 75	kg
koefA	14.9952	N/kN
koefB	0	N/kN
koefC	0.000235098	N/kN
nyPrevodovka	0.95	-
nyMotor	0.91	-
nyTrakcniMenic	0.985	-

Výsledky získané průchodem skriptu s konfigurací 1 jsou vypsány v tabulce 7.2 a zobrazeny na obrázku 7.4. Je z nich patrné, že zahrnutí spotřeby pomocných pohonů do výpočtu energií z TGF2 nemá větší vliv na celkový rozdíl energií Esim1 a Esim2 (jedná se o 0.025753 kWh pro průjezd 1 a 0.01359 kWh pro průjezd 2). Dále je z průjezdů vidět, že se křivky Em1P1, Esim1P1, Esim2P1, Em1P2, Esim1P2 a Esim2P2 v poslední čtvrtině grafu rozcházejí, a to při každém průjezdu jinak. V případě prvního průjezdu je největší rozdíl 0.328kWh, v případě průjezdu 2 je tento

Tabulka 7.2: Výsledky simulace, konfigurace 1

	E. simulovaná [kWh]				E. měřená [kWh]			
	Esim		Ersim		Emer		Ermer	
	pr. 1	pr. 2	pr. 1	pr. 2	pr. 1	pr. 2	pr. 1	pr. 2
TGF1	6.97447	7.95684	-2.41781	-3.08232	6.98481	7.77036	-1.26694	-1.66086
TGF2	7.00022	7.94325	-2.43535	-3.07379	6.21093	7.07725	-0.57253	-0.71687
rozdíl	0.025753	0.01359	0.01754	0.00853	0.77388	0.69312	0.69441	0.94399



Obrázek 7.4: Srovnání energií, konfigurace 1

rozdíl 0.335 kWh. Simulované hodnoty spotřebované energie na konci průjezdu 1 jsou téměř totožné (rozdíl 0.025 kWh), u měřených je rozdíl 0.7738 kWh. Hodnota Emer1P1 odpovídá hodnotám Esim1P1 a Esim2P1, hodnota Emer2P1 se liší cca o 0.77 kWh od ostatních. Je to způsobeno tím, že tachograf 2 zaznamenává nulové hodnoty trolejového proudu v místech, kde tachograf 1 má proud kladný. Nejsnáze lze tento jev pozorovat na hodnotách z tachografů na konci průjezdu. Oblast se zmiňovaným rozdílem v energiích na grafu se nachází v místě největšího převýšení na trase mezi zastávkami Divadlo Alfa a U Pietasu. Rozdíl mezi křivkami energií simulovaných a měřených může být způsoben jednak nastavením simulátoru - zejména volbou koeficientů jízdního odporu (viz kap.7.4.3), ale také vlivy provozu, např. dojezdu do zastávky Letná a na následující světelnou křižovatku výběhem a zmiňovaným občasným vynecháním záznamu trolejového proudu tachografem 2. Z grafu dále vyplývá, že Ersim1,2 je u obou průjezdů větší než Erm1,2. Tento fakt přisuzují výše zmíněnému provozu vozidla ve výběhu (simulátor s ním nepočítá,

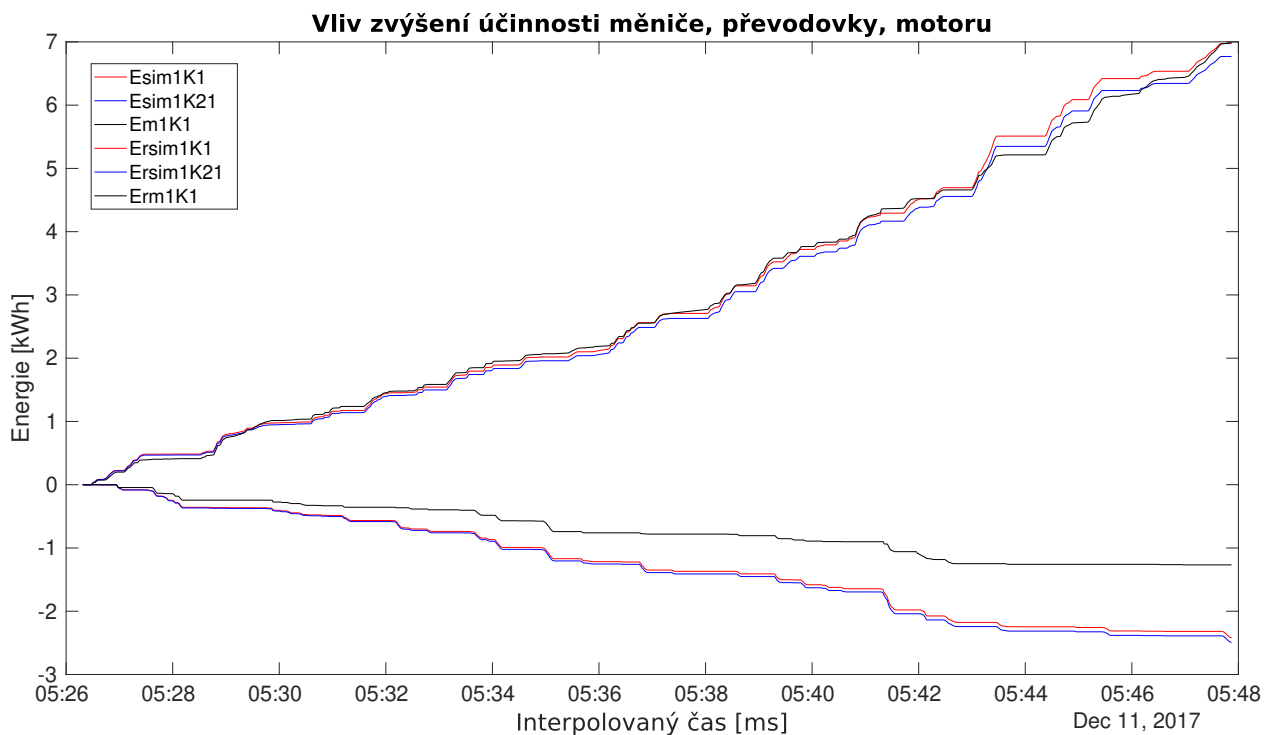
protože v dostupných datech nejsou záznamy o požadavku na tah, a tak při poklesu rychlosti energii rekuperuje), zafungování systému EBS, který automaticky udržuje konstantní brzdou sílu při klesající účinnosti EDB pomocí mechanických brzd (EDB vypíná při $v < 5 \text{ km/h}$, pak až do zastavení je vozidlo bržděno mechanicky), zanedbání odporu vstupní tlumivky v simulátoru, mařením přebytečné energie v brzdovém odporníku a změnou (poklesem) účinnosti soustavy motor - trakční měnič.

7.4.2 Konfigurace 2

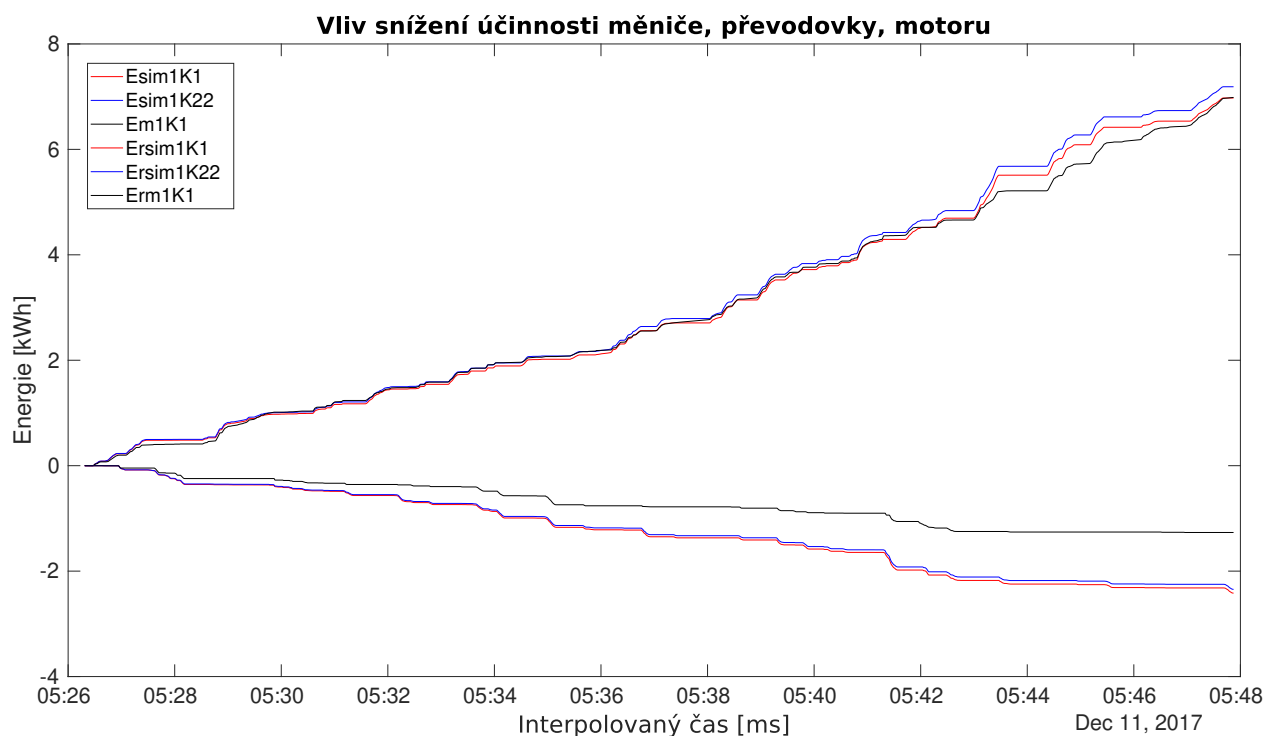
Oproti výchozímu nastavení 7.1 jsou zde upraveny hodnoty účinnosti převodovky, motoru a trakčního měniče. Hodnoty byly změněny o $\pm 1\%$ a jsou uvedeny v tabulce 7.3. Pro zvýšení přehlednosti grafů je výpočet proveden pro data z TGF1 prvního průjezdu, změna hodnot účinnosti se projeví ve všech částech simulace stejně.

Tabulka 7.3: Výchozí nastavení simulace, konfigurace 1

zařízení	výchozí	+1%	-1%
nyPřevodovka	0.95	0.9595	0.9405
nyMotor	0.91	0.9191	0.9009
nyTrakčníMěnič	0.985	0.99485	0.97515



Obrázek 7.5: Vliv zvýšení účinnosti trakčního měniče, převodovky, motoru



Obrázek 7.6: Vliv snížení účinnosti trakčního měniče, převodovky, motoru

Tabulka 7.4: Vliv změny účinnosti trakčního měniče, převodovky, motoru

změna	Em1K1	Erm1K1	Esim1K1	Ersim1K1	Esim1K2	Ersim1K2
K21 (+1%)	6.98481	-1.26694	6.97447	-2.41781	6.76935	-2.49107
K22 (-1%)	6.98481	-1.26694	6.97447	-2.41781	7.18796	-2.34599
Em1K1 - Esim1K21		0.21546	kWh	-	-	-
Erm1K1 - Ersim1K21		1.22413	kWh	-	-	-
Esim1K1 - Esim1K21		0.20512	kWh	-	-	-
Ersim1K1 - Ersim1K21		0.07326	kWh	-	-	-
Em1K1 - Esim1K22		-0.20315	kWh	-	-	-
Erm1K1 - Ersim1K22		1.07905	kWh	-	-	-
Esim1K1 - Esim1K22		-0.21349	kWh	-	-	-
Ersim1K1 - Ersim1K22		-0.07182	kWh	-	-	-

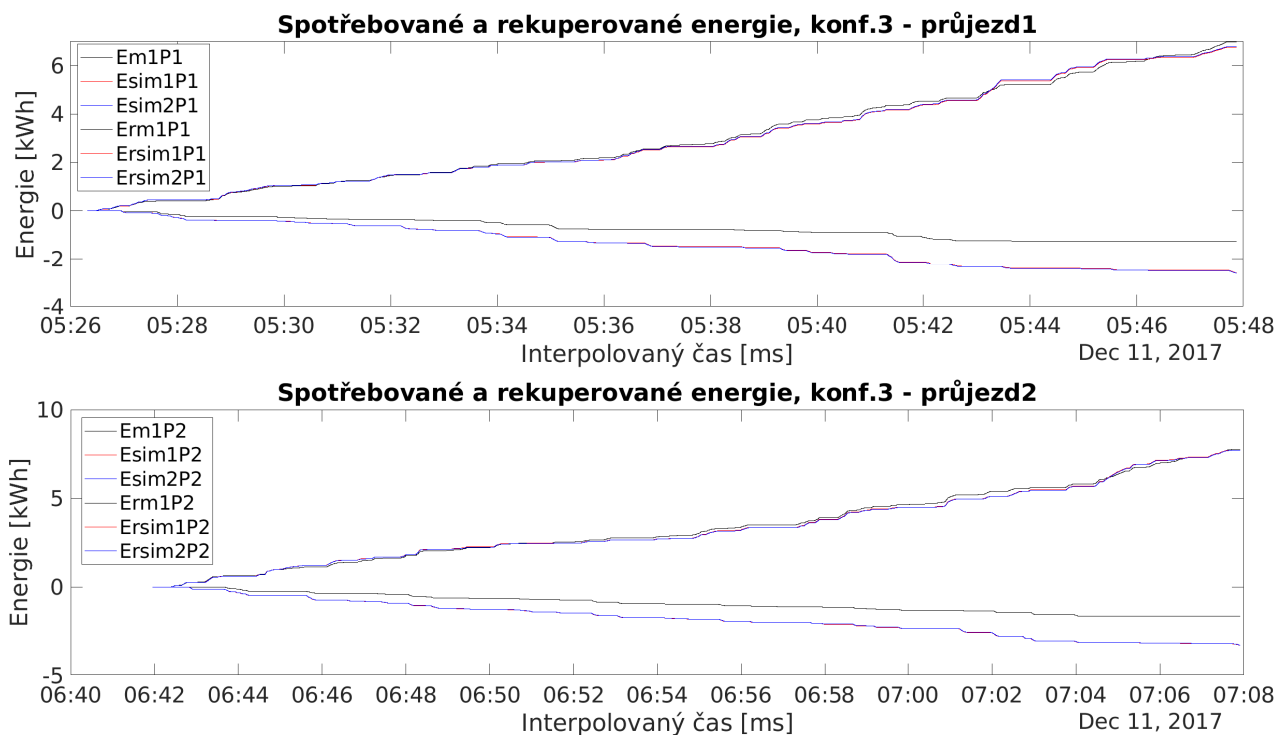
Výsledky získané průběhem simulátoru v konfiguraci K21 (+1%) a K22 (-1%) jsou zobrazeny na grafu 7.5 a 7.6 a zapsány v tabulce 7.4. Jak z grafu, tak z tabulky je patrné, že zvýšení účinnosti trakčního měniče, převodovky a motoru sníží celkovou spotřebovanou energii Esim1K21 a zvýší celkovou rekuperovanou energii Ersim1K21. Naopak snížením účinnosti zmiňovaných zařízení stoupne spotřebovaná energie Esim1K22 a klesne celková rekuperovaná energie Ersim1K22. Výsledky odpovídají předpokladům.

7.4.3 Konfigurace 3

V konfiguraci 3 byly oproti konfiguraci 1 změněny koeficienty A B C pro výpočet jízdního odporu tak, jak zobrazuje tabulka 7.5. Hodnoty účinností trakčního měniče, převodovky a motoru byly navrženy do výchozího stavu konfigurace 1.

Tabulka 7.5: Výchozí nastavení simulace, konfigurace 1

koeficient	hodnota	jednotky
koefA	6.6813	N/kN
koefB	0.1283	N/kN
koefC	0.0035	N/kN



Obrázek 7.7: Srovnání energií, konfigurace 3

Tabulka 7.6: Výsledky simulace, konfigurace 1

	E. simulovaná [kWh]				E. měřená [kWh]			
	Esim		Ersim		Emer		Ermer	
	pr. 1	pr. 2	pr. 1	pr. 2	pr. 1	pr. 2	pr. 1	pr. 2
TGF1	6.74866	7.71705	-2.59397	3.29289	6.98480	7.77036	-1.26694	-1.66086
TGF2	6.77257	7.69882	2.60979	-3.28158	6.21093	7.07725	-0.57253	-0.71687
rozdíl	0.02391	0.01823	0.01581	0.01130	0.77388	0.69311	0.69441	0.94399

Výsledky získané průběhem simulace s konfigurací 3 jsou zobrazeny na obrázku 7.7 a zapsány v tabulce 7.6. Koeficienty jízdního odporu v konfiguraci 3 oproti koeficientům v konfiguraci 1 snížily hodnotu celkové spotřebované energie E_{sim} o cca 0.25 kWh a zvýšily celkovou rekuperovanou energii E_{rsim} o cca 0.2 kWh. Tyto koeficienty sice téměř pohltily výkyvy celkové spotřebované simulované energie v úseku mezi zastávkami Divadlo Alfa a U Pietasu, ovšem na úkor celkového rozhození simulovaných hodnot energií od hodnot energií měřených.

8 Možnosti odhadu parametrů modelu z naměřených dat

Hlavním kritériem pro odhad parametrů modelu z naměřených dat je úplnost a dostatek vstupních informací. Jedná se o kompletní data z několika průjezdů vozidla stejným úsekem, přičemž k danému průjezdu je potřeba mít k dispozici data z GPS lokátoru, obou tachografů a nejlépe i data z počítačů cestujících. Po té při zpracování dat takovýchto průjezdů simulátorem nastaveným na stejnou konfiguraci můžeme na základě rozdílů energií simulovaných a rekuperovaných vůči energiím měřeným odhadnout, kolik zátěže navíc trolejbus vezl, a tedy určit jeho obsazenost a v případě existence dat z počítačů cestujících tuto obsazenost i ověřit.

Chyby do odhadu bude vnášet dopravní situace, během které trolejbus projížděl vyšetřovaný úsek, fakt, že každý člověk neváží předpokládaných 75kg, a dále také jízdní návyky konkrétního řidiče. Bude například patrný rozdíl mezi řidičem, který ze zastávky vyjede plným výkonem, aby v zápětí plným výkonem brzdil, a řidičem preferujícím plynulou jízdu.

Klíčová pro kvalitní odhad je schopnost zpřesnit nastavení simulátoru např. získáním dat z manipulační nebo zkušební jízdy. Podobně také poslouží data z vozidla určeného pro výcvik řidičů. Ta sice mohou obsahovat pro daný úsek neobvyklé výkonové špičky, ale jejich množství tuto nevýhodu vymaže. S těmito daty bude možné naladit hodnoty koeficientů jízdních odporů tak, aby simulované a měřené energie měnily s co nejpodobnějším trendem, následně v místech oblouků s malým poloměrem určit odpor oblouku a zbylé drobné rozdíly mezi simulovanou a měřenou energií minimalizovat optimalizací účinností.

9 Závěr

Před tvorbou simulátoru byla provedena analýza parciálního trolejbusu Škoda 26Tr, na základě které byla vyhotovena charakteristika základních parametrů a vlastností potřebných pro simulaci. Pro stanovení prostorového popisu trasy, kterou trolejbus projel, byla srovnána data z online aplikací Analýza výškopisu a Mapy.cz. Porovnání dat z portálu ČUZK ukázalo, že nejlepší pro zobrazování nadmořské výšky ve zhoršených podmínkách pro přesnou lokalizaci jsou datové sady DMP1G a DMR5G. DMP1G pro zobrazení detailních terénních úprav (jako například mosty) a DMR5G pro zobrazení trasy bez těchto úprav (trasa vedoucí pod mostem). Data získaná z portálu Mapy.cz se chovají na mostě jako DMP1G a pod mostem jako DMR5G, díky tomu obsahují v husté městské zástavbě velké množství nepřesných údajů o nadmořské výšce. Nicméně i u dat poskytovaných serverem ČUZK je třeba věnovat zvýšenou pozornost lokalitám v geograficky náročném terénu, neboť v těchto místech může docházet kvůli omezeným možnostem analýzy k nesmyslným výchybkám způsobeným např. domy, jak ukazují obrázky 5.11 a 5.12. Skripty připravující data pro simulátor byly vytvořeny tak, aby co možná nejvíce ulehčily analýzu dostupných dat a výběr požadovaných a správných záznamů. Jsou schopny vybrat data z GPS lokátoru, obou tachografů, zpracovat data z počítadla cestujících, připravit soubory pro transformaci souřadnic a z celkové hmotnosti prázdného vozidla stanovit odpor sklonu. Simulátor z takto připravených dat vypočte urychlující sílu, stanoví jízdní a traťové odpory, tažnou sílu a tažný výkon pro simulované parametry, tažný výkon měřený a z těchto dvou výkonů celkovou energii spotřebovanou a rekuperovanou měřených a simulovaných proměnných. Na závěr jsou demonstrovány vlivy změn jízdního odporu a účinnosti v nastavení simulátoru a zhodnoceny možnosti odhadu parametrů modelu z naměřených dat.

10 Zdroje informací

- [1] Trolejbus 26Tr[online]. Plzeň, Škoda Transportation a.s. [cit. 10.6.2020]. Dostupné z:<https://www.skoda.cz/reference/trolejbus-26-tr/?from=prod>
- [2] JANDA, M., Ševčík, J. Posouzení energetické spotřeby vlakové soupravy metra. Škoda Transportation, a.s., 2018
- [3] ŠIROKÝ, Jaromír. Mechanika v dopravě I - kolejová vozidla. Prosinec 2003. Ostrava, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy [cit. 20 listopadu 2019.]
- [4] Geoportál ČÚZK [online]. Praha, Zeměměřický úřad [cit. 24. února 2020]. Dostupné z: <https://geoportal.cuzk.cz>
- [5] DUŠÁNEK, Petr. Technická zpráva k digitálnímu modelu povrchu 1. generace (DMP 1G) [online]. Prosinec 2016. Praha, Zeměměřický úřad, pub. 1. prosince 2016, rev. 22. prosince 2016 [cit. 2. února 2020]. Dostupné z: https://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMP_1G.pdf
- [6] BRÁZDIL, Karel. Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 4. generace (DMR 4G) [online]. Prosinec 2016. Praha, Zeměměřický úřad, pub. 31. října 2010, rev. 22. prosince 2016 [cit. 2. února 2020]. Dostupné z: https://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_4G.pdf
- [7] BRÁZDIL, Karel. Technická zpráva k digitálnímu modelu reliéfu 5. generace (DMR 5G) [online]. Prosinec 2016. Praha, Zeměměřický úřad, pub. 24. dubna 2012, rev. 22. prosince 2016 [cit. 2. února 2020]. Dostupné z: https://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/TECHNICKA_ZPRAVA_DMR_5G.pdf
- [8] Analýzy výškopisu [online]. Praha, Zeměměřický úřad [cit. 25. února 2020]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/dmr/>
- [9] Transformace souřadnic [online]. Praha, Zeměměřický úřad [cit. 29. února 2020]. Dostupné z: [https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(e5r0xpdtdqh1cyd4s5huujvsw\)\)/Default.aspx?mode=Te](https://geoportal.cuzk.cz/(S(e5r0xpdtdqh1cyd4s5huujvsw))/Default.aspx?mode=Te)
- [10] ČADA, Václav. Tvar zemského tělesa a referenční plochy. Plzeň, Západočeská univerzita, Fakulta aplikovaných věd, Katedra matematiky [cit. 15. února 2020]. Dostupné z: <https://kgm.zcu.cz/studium/gen1/html/ch02s03.html>.
- [11] STACHOŇ, Zdeněk. Kartografie a Geoinformatika [online]. Brno, Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta, Geografický ústav [cit. 8. února 2020]. Dostupné z: <http://oldgeogr.muni.cz/ucebnice/kartografie/obsah.php>
- [12] KOSTELECKÝ, Jan. Kosmická geodézie [online]. Praha, 2008, České vysoké učení technické [cit. 17. února 2020]. Dostupné z: <http://www.asu.cas.cz/bezdek/prednasky/tg4/skripta/Kostelecky>
- [13] BARNET, Jiří. Určení přesnosti transformace souřadnic pro výzkum odchylek od ideální trajektorie vozidla [online]. Praha, 2008, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, Ústav řídicí techniky a telematiky [cit.

- 18.února 2020]. Dostupné z:
http://transformace.webst.fd.cvut.cz/BP_Barnet.pdf
- [14] ŘEZNIČEK,Jan. Souřadnicové systémy v geodatech resortu ČÚZK a jejich transformace [online]. Praha, 2018, Zeměměřický úřad [cit. 19. března 2019]. Dostupné z:
http://www.gepro.cz/wp-content/uploads/2018/10/23_Souradnicove_systemy__Reznicek.pdf
- [15] Mapové podklady [online]. Praha, Mapy.cz [cit. 20. února 2020] Dostupné z:
<https://napoveda.seznam.cz/cz/mapy/mapove-podklady/zakladni-mapovy-podklad/>
- [16] REICHL,Jaroslav - VŠETIČKA,Martin. Gravitační a tíhová síla (resp. zrychlení) [online]. [cit. 8. února 2020] Dostupné z:
<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/60-gravitacni-a-tihova-sila-resp-zrychleni>
- [17] Která kritéria hodnotí EU-štítek pro pneumatiky? [online].Pneu123.cz [cit 15.6.2020] Dostupné z: https://www.pneu123.cz/cgi-bin/ashop.pl?cart_id = &dsco = 31&txt = faq&Category1 = 865&Category2 = 869