

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Bc. Filip De Bolle

System predikce zpoždění spojů VHD
Diplomová práce

2021

Zadání



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **De Bolle** Jméno: **Filip** Osobní číslo: **465837**
Fakulta/ústav: **Fakulta dopravní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav dopravní telematiky**
Studijní program: **Technika a technologie v dopravě a spojích**
Studijní obor: **Inteligentní dopravní systémy**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Systém predikce zpoždění spojů VHD

Název diplomové práce anglicky:

Delay Prediction System for Public Transport

Pokyny pro vypracování:

Analýzujte zpoždění ve veřejné dopravě, včetně jeho příčin a průběhu. Uveďte způsoby jeho určování a využití. Uveďte související příklady ze současnosti. Analyzujte i možnosti predikce této veličiny. • Analyzujte data z dopravy týkající se zdržení/zpoždění, ať už se jedná o údaje z provozu VHD, tak o data z provozu na pozemních komunikacích. • Navrhněte systém pro predikci pro konkrétní případ z provozu VHD. Při návrhu postupujte formou běžného systémového návrhu ITS. • Implementujte svůj návrh do funkčního programového řešení. • Analyzujte funkčnost/spolehlivost navrženého systému a implementovaného řešení.

Seznam doporučené literatury:

V zadání blíže nespecifikován.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

Ing. Bc. Vladimír Faltus, Ph.D., Ústav dopravní telematiky,FD, CVUT

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **30.06.2020** Termín odevzdání diplomové práce: **09.08.2021**

Platnost zadání diplomové práce: _____

Ing. Bc. Vladimír Faltus, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

Ing. Zuzana Bělinová, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) katedry/katedry

doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 8. 8. 2021

.....

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ

Fakulta dopravní

SYSTÉM PREDIKCE ZPOŽDĚNÍ SPOJŮ VHD

diplomová práce
srpen 2021
Bc. Filip De Bolle

Úplná bibliografická identifikace

DE BOLLE, Filip. *Systém predikce zpoždění spojů VHD*. Praha: ČVUT FD, 2021.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá predikcí zpoždění ve veřejné hromadné dopravě. Úvod práce se věnuje výpočtu zpoždění a odhalování příčin zpoždění. Následuje rešerše predikce zpoždění, zobrazování zpoždění a architektura systému. Druhá část se věnuje návrhu systému a popisu jednotlivých vstupů. Následující část popisuje postup při implementaci návrhu pro konkrétní linku a porovnává predikované zpoždění se skutečnými hodnotami. Závěr se věnuje analýze spolehlivosti navrženého systému.

Abstract

Diploma thesis deals with delay prediction in public transportation. The introduction is dedicated to delay computation and investigates the causes of delay. Following part is the research of delay prediction methods, delay display and the system architecture. Second part is dedicated to system design and descriptions of individual inputs. The next part describes the implementation for a specific line and compares the predicted delay to real values. The last part is dedicated to reliability analysis of the system.

Klíčová slova

Predikce zpoždění, zpoždění, neuronová síť, veřejná hromadná doprava, autobusová doprava, historický model, model dopravy

Keywords

Delay prediction, delay, neural network, public transport, bus transport, historical model, transport model

Obsah

Seznam použitých zkratk	6
Slovník pojmů	7
Poděkování	8
Úvod	9
1 Zpoždění	10
1.1 Definice a výpočet	11
1.1.1 <i>Metody výpočtu</i>	11
1.1.2 <i>Určení skutečného času jízdy</i>	12
1.2 Zainterесované skupiny	12
1.2.1 <i>Cestující</i>	12
1.2.2 <i>Dopravce</i>	13
1.2.3 <i>Objednatel veřejné dopravy</i>	14
1.2.4 <i>Koordinátor</i>	14
1.3 Analýza příčin zpoždění	15
1.3.1 <i>Systémové příčiny</i>	15
1.3.2 <i>Plánované události</i>	17
1.3.3 <i>Mimořádné události</i>	18
1.3.4 <i>Vliv vnějších příčin</i>	20
1.4 Predikce zpoždění	23
1.4.1 <i>Příklady výpočtu predikovaného zpoždění</i>	25
1.4.2 <i>Zdroje dat</i>	27
1.5 Současné systémy pro zobrazování zpoždění	29
1.5.1 <i>PID lítačka</i>	31
1.5.2 <i>DPMBinfo</i>	32
1.5.3 <i>Mapa PID</i>	32
1.5.4 <i>DÚKapka</i>	33
1.5.5 <i>Google maps</i>	33
1.5.6 <i>Norikae Annai</i>	33
1.5.7 <i>Závěry z analýz</i>	34
1.6 Architektura systému	35
1.6.1 <i>Uživatelské potřeby</i>	35
1.6.2 <i>Funkční architektura</i>	36
1.6.3 <i>Informační architektura</i>	38
2 Návrh systému	42

2.1	Popis vybrané linky.....	42
2.2	Architektura	43
2.3	Vstupy.....	45
2.3.1	<i>Jízdní řády</i>	45
2.3.2	<i>Historická poloha vozidel</i>	46
2.3.3	<i>Počasí</i>	47
2.3.4	<i>Parametry dopravního proudu</i>	48
2.4	Model	51
2.4.1	<i>Historický model zpoždění</i>	53
2.4.2	<i>Nastavení parametrů neuronové sítě</i>	54
2.4.3	<i>Vstup aktuálního stavu dopravy</i>	55
2.4.4	<i>Vstup aktuálního stavu počasí</i>	56
2.4.5	<i>Závislost zpoždění na vstupech</i>	57
2.4.6	<i>Sestavení odhadu</i>	57
3	Implementace.....	59
3.1	Vstupy dat	59
3.1.1	<i>Neuronová síť</i>	61
3.2	Analýza zpoždění v jednotlivých dnech v týdnu.....	62
3.3	Analýza vstupů a jejich vztah se zpožděním v časové ose	63
3.3.1	<i>Rychlost a obsazenost</i>	63
3.3.2	<i>Srážky</i>	65
3.4	Závislost zpoždění na vstupech	66
3.5	Slučování	70
4	Testování implementovaného modelu	72
4.1	Vstupní data	72
4.2	Ukázky testování	72
5	Analýza spolehlivosti	74
	Závěr	76
	Seznam použitých zdrojů.....	78
	Seznam obrázků.....	82
	Seznam tabulek.....	83
	Seznam příloh.....	84

Seznam použitých zkratek

AVL	Automatic vehicle location	Automatické sledování polohy vozidla
BPNN	Back-propagation neural network	Neuronová síť se zpětnou propagací
CSV	Comma-separated values	Hodnoty oddělené čárkami
ČHMÚ		Český hydrometeorologický ústav
GNSS	Global Navigation Satellite	Globální družicový polohový systém
ID	Identifier	Identifikátor
ITS	Intelligent transport systems	Inteligentní dopravní systémy
JŘ		Jízdní řád
LCD	Liquid crystal display	Displej z tekutých krystalů
LED	Light-emitting diode	Světloemitující dioda
LSTM	Long short-term memory	Rekurentní neuronová síť
MHD		Městská hromadná doprava
NCDC	National Climatic Data Center	Národní centrum pro klimatická data
OSKM		Osobokilometr
PDF	Portable Document Format	Přenosný formát dokumentů
PID		Pražská integrovaná doprava
RBF	Radial basis function	Radiální bázové funkce
ROPID		Regionální organizátor pražské integrované dopravy
SGDM	Stochastic gradient descent with momentum	Stochastický gradientní sestup
SVM	Support vector machines	Metoda podpůrných vektorů
VHD		Veřejná hromadná doprava
WGS 84	World Geodetic System 1984	Světový geodetický systém 1984
XML	Extensible Markup Language	Rozšiřitelný značkovací jazyk

Slovník pojmů

Aktuální zpoždění	Zpoždění vypočítávané v mezizastávkovém prostoru
Číslo oběhu	Pořadové číslo konkrétního vozu unikátní v rámci linky a denního oběhu. Bývá vyznačeno na vozidle
Chronometráž	Stanovená délka mezizastávkového úseku v jednotkách času
Jízdní doba obsluhy linky	Délka jízdy z počáteční do konečné stanice
Model jízdy	Teoretický průběh jízdy spoje. Může se skládat z vybraných referenčních bodů nebo ze spojitě jízdy trasy
Naivní predikce zpoždění	Aplikace aktuálního zpoždění na celou trasu linky
Obratiště	Místo pro obrátku vozidel
Odometr	Zařízení měřící dráhu, kterou dopravní prostředek urazil.
Plánovaný čas jízdy	Čas průjezdu konkrétním místem, odjezdu ze zastávky nebo příjezdu do zastávky dle jízdního řádu nebo modelu jízdy odvozeného z jízdního řádu
Predikce zpoždění	Odhad budoucího zpoždění spoje
Skutečný čas jízdy	Čas průjezdu konkrétním místem, odjezdu ze zastávky nebo příjezdu do zastávky
Stanoviště	Místo pro nástup a výstup cestujících na autobusové zastávce. Může být označeno číslem či jiným způsobem
Zastávkové zpoždění	Zpoždění vypočítávané v zastávce
Zpoždění	Rozdíl mezi plánovaným časem jízdy a skutečným časem jízdy

Poděkování

V první řadě bych chtěl poděkovat vedoucímu mé bakalářské práce, panu Ing. Bc. Vladimíru Faltusovi, Ph.D., za odborné vedení práce, zajištění dat a za čas, který mé práci věnoval.

Dále bych chtěl poděkovat panu Ing. Oldřichu Kadavému za poskytnutá data z běžného provozu Pražské integrované dopravy.

Na závěr bych chtěl poděkovat mé rodině za podporu, trpělivost a cenné rady ke zpracování této práce.

Úvod

Predikce zpoždění ve veřejné dopravě je poměrně novým tématem. Díky rozvoji dopravní telematiky a dalších systémů je možné shromáždit velké množství dat se vztahem k veřejné dopravě. V současné době probíhá v této oblasti spíše teoretický výzkum než konkrétní aplikace.

Prvky dopravní telematiky také významným způsobem rozšířily možnosti předávání aktuálních informací o spojích veřejné dopravy. Ať už se jedná o možnost sledování aktuální polohy spoje nebo aplikace spojující dopravně informační a odbavovací funkci. Zastávkové panely a přenos informací o aktuální poloze vozidla umožňují předávání informace o aktuálním zpoždění či předpokládaném odjezdu spoje.

Na veřejnou dopravu má vliv také pandemie covidu-19, díky níž se situace neočekávaně mění a vyvolané změny mají vliv na informovanost cestujících. Dostupnost informace o zpoždění je významnou složkou, která přispívá ke komfortu a psychické pohodě cestujících. Cestující ovšem nezajímá pouze aktuální zpoždění spoje, ale také zpoždění v zastávce, ve které opouštějí dopravní prostředek. Dobrý odhad umožňuje zvýšení konkurenceschopnosti VHD. Při pohledu do budoucnosti je atraktivita VHD důležité téma, neboť se jedná o vhodný způsob dopravy z hlediska udržitelnosti vývoje společnosti

Hlavním cílem mé diplomové práce je nalezení měřitelných veličin, které mohou zpřesnit odhad zpoždění, a vytvoření modelu, který dokáže tyto vstupy zahrnout.

1 Zpoždění

V rámci trendu růstu mobility dochází k rozvoji nejen individuální automobilové, ale také veřejné dopravy v České republice. V Tab. 1 je možné vidět vývoj přepravního výkonu v přepravě osob a objemu osobní přepravy během let 2008-2018.

Během sledovaných deseti let je vidět nárůst zájmu o dopravu a přepravního objemu cestujících. Individuální automobilová doprava zaznamenala vzestup o 8 % a 11 %. Oproti tomu veřejná doprava zaznamenala 22% nárůst v osobokilometrech, zatímco počet osob klesl o 6 %.

Tab. 1: Trendy v dopravě v ČR. Zdroj tabulky: [19]

Přepravní výkon v přepravě osob v ČR (mil oskm)	2008	2010	2012	2014	2016	2018	% změna mezi roky 2008 a 2018
Železniční doprava (mimo MHD)	6 803,3	6 590,7	7 264,7	7 796,5	8 843,4	10 286,0	+51,19
Autobusová doprava (mimo MHD)	9 215,2	10 335,7	9 015,4	10 010,2	10 257,1	10 950,4	+18,83
Městská hromadná doprava	15 880,5	15 617,4	15 813,7	16 270,2	17 387,1	17 906,1	+12,76
Veřejná doprava celkem	42 665,3	43 458,6	42 722,6	43 854,3	46 702,4	51 996,2	+21,87
Individuální automobilová doprava	72 380,0	63 570,0	64 260,0	66 260,0	72 255,0	77 971,0	+7,72
Objem osobní přepravy v ČR (mil. osob)	2008	2010	2012	2014	2016	2018	% změna mezi roky 2008 a 2018
Železniční doprava (mimo MHD)	177,4	164,8	172,8	176,1	179,2	189,5	+6,82
Autobusová doprava (mimo MHD)	373,4	372,6	345,0	349,5	332,8	340,2	-8,89
Městská hromadná doprava	2 323,8	2 174,7	2 224,2	2 133,4	2 168,8	2 184,1	-6,01
Veřejná doprava celkem	2 882,6	2 720,4	2 749,0	2 665,9	2 687,6	2 721,9	-5,57
Individuální automobilová doprava	2 225,0	1 970,0	1 990,0	2 060,0	2 273,3	2 489,6	+10,63

Akční plán rozvoje ITS [18] se v rámci veřejné dopravy soustředí na řešení informačních, odbavovacích a řídicích systémů. V rámci řídicích systémů jsou mimo jiné zmiňovány

dispečerské řízení a preference vozidel MHD. U informačních systémů jsou zmiňovány aplikace pro cestující a systémy inteligentních zastávek. Tyto zmíněné systémy využívají informace o zpoždění spoje. V rámci řídicích systémů je snaha zpoždění minimalizovat, informační systémy mají za cíl předat co nejpřesnější informaci o zpoždění.

1.1 Definice a výpočet

Zpoždění je rozdíl mezi plánovanou a skutečnou jízdou spoje v konkrétním místě trasy. Tento vztah se dá jednoduše vyjádřit jako:

$$t_z = t_s - t_p \quad (1)$$

kde t_z je doba zpoždění, t_s skutečný čas jízdy (průjezdu konkrétním místem, odjezdu ze zastávky nebo příjezdu do zastávky) a t_p je plánovaný čas jízdy (ve stejném smyslu) dle jízdního řádu nebo modelu jízdy odvozeného z jízdního řádu.

V případě, že skutečný čas jízdy je nižší než plánovaný, a zpoždění je tedy záporné, hovoří se o takzvaném nadjetí spoje.

1.1.1 Metody výpočtu

Při výpočtu zpoždění se rozlišují dvě varianty. Pokud je zpoždění vypočítáváno pouze v zastávkách, bude se v tomto dokumentu používat pojem zastávkové zpoždění. V případě, že se počítá i v mezizastávkovém úseku, bude se hovořit o takzvaném aktuálním zpoždění.

Výpočet zastávkového zpoždění probíhá dle vzorce (2). Jelikož je známý plánovaný čas jízdy a skutečný čas jízdy (odjezdu nebo příjezdu) je možné určit, pak je získaná hodnota přesná a platí pouze pro danou zastávku. Konečnou hodnotu zastávkového zpoždění je možné určit až po odjezdu ze zastávky, respektive po příjezdu do zastávky; nicméně pokud již uplynul plánovaný čas jízdy a vozidlo ještě příslušný manévr nevykonalo, hodnota zpoždění inkrementálně narůstá a je odvozena ze vzorce

$$t_{z-prub} = t_{akt} - t_p \quad (2)$$

až do okamžiku vykonání tohoto manévru.

Pokud ovšem zpoždění nastane během jízdy mezi zastávkami, k cestujícímu by se při využití pouze těchto metod informace nedostala v období před plánovaným časem jízdy (příjezdu nebo odjezdu). Stejně tak se cestující nedozví, zda zpoždění z předchozí zastávky se vlivem jízdy změnilo.

Druhou variantou výpočtu zpoždění je výpočet úsekového zpoždění. Principem je porovnání skutečného času jízdy v konkrétním místě trasy s modelovým plánovaným časem jízdy podle vzorce (2). Skutečný čas jízdy je určen podle kapitoly 1.1.2. Modelem je možné myslet jak kompletní teoretický průběh jízdy v mezizastávkovém úseku, tak také pouze několik

referenčních bodů a časů v mezizastávkovém úseku. Přesnost této metody závisí na přesnosti určení polohy a času a přesnosti modelu jízdy.

V případě diskrétního modelu, který je tvořený referenčními body na trase a časem průjezdu, analogicky není možné přesně určit zpoždění před plánovaným časem v referenčním bodě. Pokud již uplynul plánovaný čas jízdy v referenčním bodě a vozidlo ještě referenčním bodem neprojelo, hodnota zpoždění opět inkrementálně narůstá dle vzorce (3) až do okamžiku průjezdu referenčním bodem.

1.1.2 Určení skutečného času jízdy

Určení skutečného času jízdy vychází ze sledování polohy vozidla. Automatické sledování polohy vozidla (AVL) využívá vyhledávání zastávek, inframajáků, ujeté vzdálenosti nebo GNSS.

Vyhlašování zastávek využívá informační systémy ve vozidle. Řidič při opuštění zastávky ohlásí opuštění zastávky a tato informace se poté odešle do systému. Takto je možné získat informaci o opuštění zastávky, ovšem ne o příjezdu nebo o poloze mezi zastávkami. Další nevýhodou je, že vyhledávání není automatické a přesnost je závislá na řidiči.

Inframajáky rozmístěné po trase cesty a v jednotlivých zastávkách umožní automatické přesné rozpoznání polohy vozu v čase. Identifikace proběhne pouze na místech s inframajákem, není tedy možné zjistit skutečný čas jízdy z celé trasy spoje, ale pouze z určitých vybraných bodů.

Další metodou je využití odometrů k určení ujeté vzdálenosti. Z vyměření délky trasy spoje lze určit místa pro zastávky, oproti předchozím metodám je také možné určit čas průjezdu libovolným bodem na trase.

Poslední zmíněnou metodou je využití GNSS systémů. Družicová navigace umožňuje velmi přesnou identifikaci polohy, díky detekci rychlosti je také možné poznat, zda spoj stojí v zastávce či nikoliv. Tato metoda tedy dokáže rozpoznat průjezd bodem na trati, odjezd ze zastávky i příjezd do zastávky.

1.2 Zainteresované skupiny

Skupiny uživatelů, které potřebují znát hodnoty zpoždění, se dají rozdělit do čtyř skupin: cestující, dopravci, objednatelé dopravy a koordinátoři.

1.2.1 Cestující

Data o reálné poloze spoje a s tím spojená data o zpoždění jsou velmi důležitá pro cestující. Pokud ví, jak dlouhé je případné zpoždění spoje, je pro ně lépe stravitelné čekat. Chybějící informace o zpoždění způsobí vyšší nervozitu i při krátkém čekání.

Studie z amerického Ohia ukázala, že při čekání na spoj cestující mírně nadhodnocují dobu čekání. Cestující byli při čekání na kampusový autobus, který neměl zveřejněné doby příjezdu, dotazováni, jak dlouho si myslí, že na spoj čekají. Zároveň byl pro porovnání měřen skutečný čas. [20]

Výsledky ukázaly rozdíl 5:46 sekund skutečného čekání proti 6:37 odhadovaného čekání. Čekání probíhalo v intervalech mezi 3-15 minutami, pro delší čekání je možné očekávat jiné chování cestujících.

Jiný průzkum byl provedený na železnici a týkal se tolerance délky zpoždění. Průzkum byl provedený v Brně a Vídni. Tab. 1 ukazuje, že cestující nejsou ochotní tolerovat delší zpoždění než 15 minut. Průměrná hodnota tolerovaného zpoždění byla 13 minut.

Tab. 2: Tolerance zpoždění. Zdroj: [11]

Stát	Jak velké zpoždění jste ochotni tolerovat									
	0	5	6	8	10	15	20	30	40	60
ČR	30	92	0	0	207	156	82	22	2	12
Rakousko	9	84	3	3	264	141	75	3	3	18

1.2.2 Dopravce

Zpoždění způsobuje komplikace také pro dopravce. V rámci zadávání zakázek ve veřejné dopravě se definuje kvalita poskytovaných služeb. Pokud ji dopravce nedodrží, jsou mu zadavatelem uděleny výrazné pokuty. Arriva musela za zpoždění na železnici zaplatit zhruba milion korun na pokutách v Libereckém a Zlínském kraji [7]. Co se týká autobusové dopravy, pokuty za více než milion korun dostaly BusLine nebo ČSAD Liberec, téměř 370 tisíc korun musela za prohřešky zaplatit ČSAD Česká Lípa.[8]

Za výrazné zpoždění přichází nárok na odškodné. V železniční dopravě má cestující nárok na 25% kompenzaci při zpoždění mezi 60-119 minutami a 50% kompenzaci při zpoždění nad 120 minut. Na kompenzaci ztrácí nárok, pokud by byla vyplacená částka pod 4€. V závislosti na smluvních podmínkách se může výše kompenzace lišit. České dráhy zaplatily v roce 2018 2,1 milionu korun. RegioJet vyplatil přes 5 milionů korun, tento dopravce poskytuje náhrady nad rámec povinných norem. [27]

Během jízdy spoje mohou zpoždění ovlivňovat dispečeri a řidiči. V případě, že spoj nabírá zpoždění, může řidič upravit svůj styl jízdy a zpoždění snížit. Také může nabádat cestující k rychlejšímu odbavování. Dispečeri mohou informovat řidiče o zpoždění a událostech na trase, které by mohly ovlivnit čas příjezdu do zastávky.

1.2.3 Objednatel veřejné dopravy

Objednatel určuje standardy kvality. Standard kvality určuje kritéria, která slouží ke zkvalitnění hromadné dopravy a pohodlí cestujících. V těchto standardech je mimo jiné popisována také míra přijatelného zpoždění v rámci přesnosti provozu.

Jedním z těchto standardů je standard kvality PID. V rámci přesnosti provozu se za přesný považuje tehdy, pokud je zpoždění v zastávce nižší než 179 sekund. Pokud se jedná o výchozí zastávku, zde je maximální hodnota odchylky 59 sekund. Je zde definováno také nadjetí spoje, které nezávisle na typu zastávky nesmí přesáhnout 59 sekund. Dodržování parametrů je vyhodnocováno každé čtvrtletí jak pro jednotlivé dopravce, tak pro dopravu jako celek. [24]

1.2.4 Koordinátor

V některých případech plní koordinátor částečnou roli dopravce anebo objednatele. V takových případech se koordinátora týkají i předchozí kapitoly.

Spoje jsou koordinátorem koncipovány s určitou úrovní návaznosti. Při zajištění obslužnosti jednotlivých oblastí jsou cestující sváženi do větších dopravních terminálů spojujících více druhů veřejné dopravy. Při zpoždění linek se taková návaznost může komplikovat. U některých spojů je návaznost garantována v jízdním řádu a v takovém případě musí být dodržena i při zpoždění původního spoje.

Ve standardu kvality PID jsou definovány také přestupní vazby. U linek s předepsanou návazností vyčkává spoj na městských linkách maximálně 179 sekund, u příměstských a nočních pak 299 sekund. Ve druhém případě může také zasáhnout koordinační dispečink PID nebo dispečink dopravce a protáhnout nebo naopak zkrátit dobu čekání na spoj. [24]

1.3 Analýza příčin zpoždění

Různé příčiny zpoždění mají různý vliv na kvalitu dopravy. Správná identifikace problému pomůže k nalezení optimálního řešení. O důležitosti identifikace příčin hovoří také Koncepce dopravy 2020-2025, kde je konstatováno, že se nedá mnoho zjistit o skutečných důvodech nepravidelností ve veřejné dopravě a že by bylo vhodné tato data, pokud existují, shromažďovat. [19]

Příčiny zpoždění je možné rozdělit do čtyř skupin – systémové příčiny, plánované události, mimořádné události a vliv vnějších příčin. Plánované a mimořádné události jsou časově omezené, k omezení jejich vlivu stačí dočasné řešení. Vliv vnějších příčin a systémové příčiny jsou časově neomezené, jejich vliv se sice může v průběhu času měnit, ovšem zcela nezmizí.

1.3.1 Systémové příčiny

Za systémové příčiny jsou pokládány běžné pravidelné vlivy dopravního provozu nebo vlivy konstrukce jízdního řádu. Tyto vlivy lze očekávat a poměrně přesně zohlednit jejich význam. Tyto příčiny nemusí vyvstat ihned po začátku jízdy dle jízdního řádu, ovšem jedná se o dlouhodobé problémy, které bez intervence nezmizí.

Nevhodně navržený jízdní řád

Jednou z příčin zpoždění může být nesprávně navržený jízdní řád. Mezi nejčastější důvody patří nedostatečný čas na jízdu mezi zastávkami a málo času pro odbavení cestujících v zastávce.

V případě jízdy mezi zastávkami může být zdržení pro daný spoj v daném čase v opakované dny přibližně pravidelné a cestující si mohou na pravidelná zpoždění zvyknout. Odchylna se může měnit v závislosti na denní době, na dni v týdnu a na dané lince. U nedostatečného času na odbavení cestujících je důvodem podcenění poptávky, která také může procházet změnami v průběhu dne, nebo komplikovaný systém odbavování cestujících. Toto zpoždění bude záviset na počtu cestujících a bude nabývat více proměnlivých hodnot oproti první variantě.

Řešením je oprava návrhu jízdního řádu, tedy úprava chronometráže a času v zastávkách. Pokud se jedná o vysoce proměnlivou situaci v závislosti na denní době, například z důvodů školních spojů či linky využívané pro příjezd a odjezd z práce, je třeba reflektovat tyto skutečnosti v časových sférách linky, tedy různých jízdních dobách pro různé časové úseky a dny v týdnu.

Pravidelné kongesce

Další příčinou zpoždění mohou být opakované kongesce na trase linky. Tento problém se nejčastěji týká linek v době ranní či odpolední špičky. Týká se tak pouze několika spojů v určitou denní dobu. Může se také týkat pouze jednoho směru, nikoliv všech spojů, které v daný čas jedou. Také se mohou dotýkat pouze určitých dnů, například pouze každého období pondělí–středa.

Z důvodů přehlednosti a pravidelnosti jízdních řádů nejsou kongesce zahrnovány, pokud zpoždění spoje nepřesahuje povolenou odchylku danou objednatelem ve standardech kvality. Kongesce také mohou začít vznikat až po zavedení jízdních řádů. V případě vyšší odchylky, než je uvedena objednatelem, je vhodné upravit chronometráž trasy linky a upravit jízdní řád.

Návaznost spojů

V některých případech je dopravcem či objednatelem garantována návaznost spojů. Může se jednat o vyčkání spojů s lokální dopravní obslužností umožňující plynulý pohyb po oblasti nebo vyčkání kratších linek na hlavní meziměstský či jinak významný centrální spoj. U linek s krátkým intervalem většinou ke garanci návaznosti nedochází, neboť cestující může v případě zdržení počkat na následující spoj.

Pokud dojde u jednoho ze spojů ke zpoždění, zdrží se odjezd i navazujících spojů. Ve standardech kvality a přepravních podmínkách je definována doba, po kterou je spoj s garancí návaznosti maximálně schopný čekat.

V případě častých zpoždění jednoho ze spojů je vhodné posoudit návaznost a případně přehodnotit. Další možnou změnou je změna časového čekacího intervalu na kratší či delší, dle požadavků cestujících.

Chování řidiče

Chování řidiče je dalším faktorem ovlivňujícím zpoždění spoje. Chováním se rozumí styl jízdy a práce s odbavovací technologií.

Při návrhu jízdních řádů se uvažuje o jednotném stylu jízdy pro všechny řidiče dané linky. V praxi se však najdou drobné rozdíly, které se mohou projevit různou dobou jízdy. V případě, že řidič je rychlejší než jízdní řád, může najet zpět ztráty z jiných úseků linky či zdržení v zastávce. Ovšem pokud je řidič pomalejší, může způsobovat nečekané časové ztráty.

Roli hrají také zkušenosti řidičů. Zkušenější řidiči pojedou efektivněji ve ztížených podmínkách pro jízdu, kterými jsou myšleny srážky, povětrnostní podmínky či vyšší intenzita dopravy. Svou roli hrají také zkušenosti se samotnou trasou linky. Řidiči, kteří trasu projíždějí

opakovaně, se budou díky svým zkušenostem lépe orientovat na trase a budou si vědomi potenciálních zdržení.

V případě odbavování cestujících hraje roli také schopnost práce s odbavovacím systémem. Časté zadání nesprávné jízdenky a celkově pomalá práce se systémem zajistí v zastávce delší zdržení, než předpokládá jízdní řád.

Jelikož v jízdním řádu nemůže být zakomponována speciální jízdní doba pro jednotlivé řidiče, nedá se takovými odchylkám od jízdního řádu zabránit. V případě nadjetí řidič vyčká v zastávce dle přepravních podmínek a podmínek objednatele dopravy, toto chování se nijak negativně na kvalitě dopravy neprojeví. V případě výrazného a opakovaného zdržení je problém řešen na personální úrovni u dopravce.

Vozidlová skladba

Na zpoždění spoje může mít vliv také vozový park dopravce. Pokud jezdí jednu linku více typů dopravních prostředků, které se liší výkonností, může se tento rozdíl projevit na době jízdy. Zejména v kopcovité krajině či při nutnosti častého přerušování jízdy se mohou rozdíly v jízdních vlastnostech výrazněji projevit.

Řešením je vhodná volba dopravních prostředků, nenasazování starších spojů na náročné linky a nevyužívání dopravních prostředků s různým výkonem na jedné lince.

1.3.2 Plánované události

Plánované události mají vliv na provoz veřejné dopravy v předem daném časovém a prostorovém úseku. S takovými událostmi se nedá počítat při návrhu jízdního řádu, je však nutné na ně reagovat. V případě takové události je nutné posoudit následky na kvalitu dopravy. Cestující by měli být informováni o době trvání, efektech na dopravu a o případných opatřeních.

Dlouhodobé omezení provozu

Při práci na silnici dojde k prodloužení doby jízdy. V případě uzavření celého jízdního pruhu dochází k přechodu na kyvadlovou dopravu řízenou světelnou signalizací. Zdržení spoje se tak odvíjí od nastaveného času průjezdu a doby čekání na možnost průjezdu.

V případě uzavření celé vozovky je nutné stanovit objíždňovou trasu. Délka zajižďky se projeví na delší výchylce od plánovaného času příjezdu. Na délce zpoždění se projeví také, zda jsou stále obsluhovány všechny zastávky.

Cestující jsou v takovém případě dopravcem upozorňováni na komplikace spojené s pracemi a na přibližnou maximální dobu zdržení. V případě dlouhodobých oprav je vhodná změna jízdního řádu. Zde se dají využít zkušenosti z předchozích oprav jako ukazatel odhadu následků na kvalitu provozu.

Jednorázové plánované události

V některých případech dochází k uzavírce trasy či zdržení spojů z důvodu konané události. Může se jednat o silniční závod, ohlášený protest či jinou akci konající se na pozemní komunikaci. V takovém případě mohou být spoje zrušeny nebo převedeny na objízdnou trasu. Pokud spoj zůstane na předem dané trase, pravděpodobně dojde k zastavení provozu na několik minut, dokud nebude bezpečně možné pokračovat v provozu.

Cestující jsou o těchto akcích předem informováni a je doporučováno využití alternativní dopravy, pokud to situace v lokalitě povoluje.

Další možností je pořádání jednorázové akce, po které účastníci cestují domů. Následuje krátkodobé zvýšení jak intenzity dopravy z individuální automobilové dopravy, tak z vyšší koncentrace cestujících ve VHD.

Takovéto zpoždění se projeví pouze na spojích, které se v dané oblasti objeví v čase ukončení akce. Délku zdržení ani postižené spoje tak není možné přesně určit. V případě, že se jedná o celodenní událost, je vhodné přizpůsobit provoz pro tento den.

1.3.3 Mimořádné události

Na mimořádné události se nedá reagovat předběžně úpravami v jízdním řádu. Dají se pouze snižovat následky těchto událostí operativním dispečinkovým řízením a vhodným informováním cestujících o nastalé situaci.

V případě, že se níže zmíněné situace vyskytují velmi často, je vhodné zavést opatření. Technickým problémům předchází pravidelná obměna vozového parku, problémy na trase je možné řešit změnou trasy.

Nehoda na trase

Možným zdrojem zdržení je i nehoda na trase linky. V takovém případě dochází k dopravním kongescím, kterým se spoj nevyhne. Dle závažnosti nehody a intenzity dopravy může docházet k mírné prodlevě nebo až k několikahodinovému zdržení.

V případě nehody může dojít k upozornění řidičů na danou situaci a pokud je to možné, poukázání na možnost objíždky.

Technická porucha vozu

Porucha vozu není sice častým zdrojem zpoždění, ovšem je velmi závažným. V takovém případě je nutné vypravit náhradní spoj, případně je spoj zrušen a cestující musí počkat na následný navazující spoj, pokud je to možné. Při vypravení náhradního spoje se čekání cestujících odvíjí od vzdálenosti depa od obsluhované linky a rychlosti vypravení.

V případě poruchy odbavovacího systému dojde ke zpomalení odbavování cestujících, následné zdržení je závislé na počtu odbavení. Výpadek informačních či sledovacích systémů se nemusí projevit na zpoždění během jízdy, ovšem po příjezdu na obratiště následuje výměna vozidla, ke které se může vztahovat výše zmíněný bod o vypravení náhradního vozu.

Jestliže porouchaný vůz neumožňuje následnou obslužnost dopravní zastávky či linky, musí cestující počkat na opravu. Zdržení v takové situaci se počítá v rámci desítek minut až hodin.

Cestující by měli být o poruše vozu upozorněni a informováni o očekávané délce čekání na náhradní spoj.

Výpadek nebo zpoždění jiného spoje VHD

V případě, že dojde k výpadku jednoho spoje a daná zastávka či oblast je obsluhována více typy VHD, může dojít ke zdržení i na těchto linkách. Cestující se přesunou na alternativní možnosti dopravy a při mimořádně velké poptávce může dojít na těchto linkách ke zdržení.

Problém může nastat i při zdržení předchozího spoje obsluhujícího danou zastávku. V takové situaci dochází k většímu shromáždění cestujících, kteří zpomalují nástup a případně i odbavení v dané zastávce. Tím se zvýší zpoždění spoje a nastává efekt sněhové koule, který situaci stále více zhoršuje. Naopak spoje jedoucí po zpožděném se setkávají s téměř prázdnou zastávkou a může docházet k nadjetí či souběhu s předchozím spojením téže linky.

Neplánované blokování průjezdu

Neočekávané prodloužení mezizastávkové jízdní doby může být způsobeno také překážkou na pozemní komunikaci. Může se jednat o vozidlo technických služeb zajišťující údržbu, kamion s nevhodnou výškou blokující podjezd, volný pohyb zvířat na silnici nebo pomalu jedoucí vozidlo, vlivem buď technických vlastností vozidla, anebo nevhodné jízdy řidiče.

V případě, že daná situace může ovlivnit i jízdu dalších spojů, je vhodné upozornit řidiče na problém, a pokud je to možné, vyhnout se tomuto místu. Pokud ne, cestující by měli dostat informaci o předpokládaném zdržení na trase.

Poškození pozemní komunikace

Zdržení spoje může být způsobeno také nevhodným stavem pozemní komunikace, kvůli kterému se zvýší doba jízdy mezi zastávkami. To může nastat v delším časovém úseku kvůli jízdě přetížených a nadrozměrných vozidel nebo vlivem katastrofické události. Může se jednat o živelnou pohromu, průmyslovou havárii, poruchu potrubních sítí nebo nehodu s nebezpečným nákladem.

V takové situaci je vhodná změna jízdního řádu, která reflektuje jízdu po novém stavu pozemní komunikace.

1.3.4 Vliv vnějších příčin

Vnější příčiny se přímo netýkají provozu na pozemních komunikacích a nemohou být nijak ovlivněny dopravcem. Vliv některých vnějších příčin lze částečně předvídat s využitím historických dat. Vnější příčiny se nemusí projevit při každé jízdě, jejich průběh je různý v čase a také v různých ročních obdobích.

Počasí

Počasí může mít významný vliv na čas příjezdu do zastávky. Největšího významu nabudou v zimních měsících, ovšem i dešťové srážky, mlha a extrémní povětrnostní podmínky během roku mohou způsobit výrazná zdržení veřejné dopravy.

Sníh a namrzlá vozovka způsobují zhoršení jízdních vlastností a s tím spojené prodloužení mezizastávkových jízdních dob. Řidič dopravního prostředku VHD je s ohledem na pohodlí cestujících veden k opatrné jízdě, navíc musí počítat se zhoršenými brzdnými vlastnostmi oproti většině ostatních účastníků provozu. Veřejná doprava je vzhledem k technickým vlastnostem dopravních prostředků závislá na zajištění sjízdnosti dopravních cest. V případě, že sjízdnost není zajištěna, není možné vypravit spoje.

Čas jízdy ovlivní také dopravní nehody. S příchodem sněhových srážek se zvýší nehodovost na silnicích a zejména v meziměstské dopravě se může spoj dostat do dopravní kongesce. Nehody postihují také samotné spoje VHD. V takovém případě může nastat několikahodinové zpoždění, jelikož se musí čekat na vypravení náhradního vozu.



Obr. 1: Zapadlý autobus. Zdroj fotografie: [31]

V některých případech může dojít i ke znemožnění obsluhy zastávek. Tato problematika se týká především kopcovitých oblastí. V případě autobusu či trolejbusu se může stát, že z důvodu technického řešení dopravního prostředku není možné vyjet sněhem pokrytý strmý kopec a prostředek je nucen změnit trasu. Tento problém se týká zejména kloubových autobusů a trolejbusů hnaných zadní nápravou, kde hrozí „zlomení“ prostředku v kloubu. Stejně tak je možné silnici pro těžší spoje z důvodu sjízdnosti zcela uzavřít. U tramvají a vlaků se největším problémem stávají výhybky. V příliš velké zimě mohou zamrznout a tím je znemožněno jejich použití.

Zpoždění ovlivněné počasím je možné částečně předvídat, nikoliv mu zabránit. V zajištění sjízdnosti je zcela závislé na externích faktorech. Dopravci tak pouze informují cestující skrz komunikační kanály o očekávaném zdržení a o případných rušeních spojů.

Chování cestujících

Dalším faktorem je chování samotných cestujících. Nejčastější důvody zdržení jsou při nástupu, odbavování nebo problematickém chování při jízdě.

Při nástupu cestujících působí zdržení osoby s omezenou schopností pohybu a orientace, nejčastěji vozíčkáři, pro které je třeba využít elektrickou plošinu. Zdržení ale způsobí také kočárky, větší objekty nebo nástup organizované skupiny, nejčastěji školní třídy, využívající pravidelnou linku.

U odbavování dochází ke zdržení při platbě, komunikaci s řidičem a obsluhou automatů na jízdenky. Zde může být problémem znovu nástup osoby s omezenou schopností pohybu a orientace, starší osoby či cizinců. Zejména v případě osobního odbavování u řidiče jsou cizinci nečasto odkázáni na pomoc dalších cestujících a proces odbavení je výrazně zpomalen.

Nerespektování přepravních podmínek během jízdy a upozorňování řidiče na jejich dodržení, případně i vykázaní cestujícího, se negativně projeví na dojezdovém čase spoje. Podobný význam může mít také nepatřičné chování při kontrole jízdních dokladů přepravním kontrolorem. Pokud dojde k výtržnictví či napadení mezi účastníky dopravy, může spoj vyčkat na příjezd policejní hlídky.

Chování cestujících je dalším nepředvídatelným faktorem na zdržení dopravy. Problémy s odbavením se dají omezit přehledností systémů a případnou pomocí řidiče, ovšem zejména v turisticky zajímavých lokalitách se nedají zcela vymýtit.

Zdržení spoje může být také způsobeno zdravotním či momentálním stavem cestujícího. V případě nevolnosti či potřeby návštěvy toalety může cestující požádat nebo jinak upozornit, například tlačítkem určeným k hlášení mimořádností, řidiče o zastavení vozidla.

1.4 Predikce zpoždění

V některých případech je možné informovat o potenciálních problémech ještě předtím, než se negativně projeví na času jízdy spoje. Pokud je zpoždění na trati pravidelné, je možné cestující upozornit při nástupu do dopravního prostředku, že během cesty nastane zdržení oproti jízdnímu řádu.

V kapitole 1.1 bylo popsáno, jak určit přesnou aktuální hodnotu zpoždění. Tato metoda určuje zpoždění pro všechna místa, kterými spoj již projel. Predikce umožňuje určit hodnoty zpoždění pro zastávky nebo úseky, které ještě spojem projety nebyly. Zároveň může pomoci při tvorbě jízdních řádů a budoucích úpravách chronometráže.

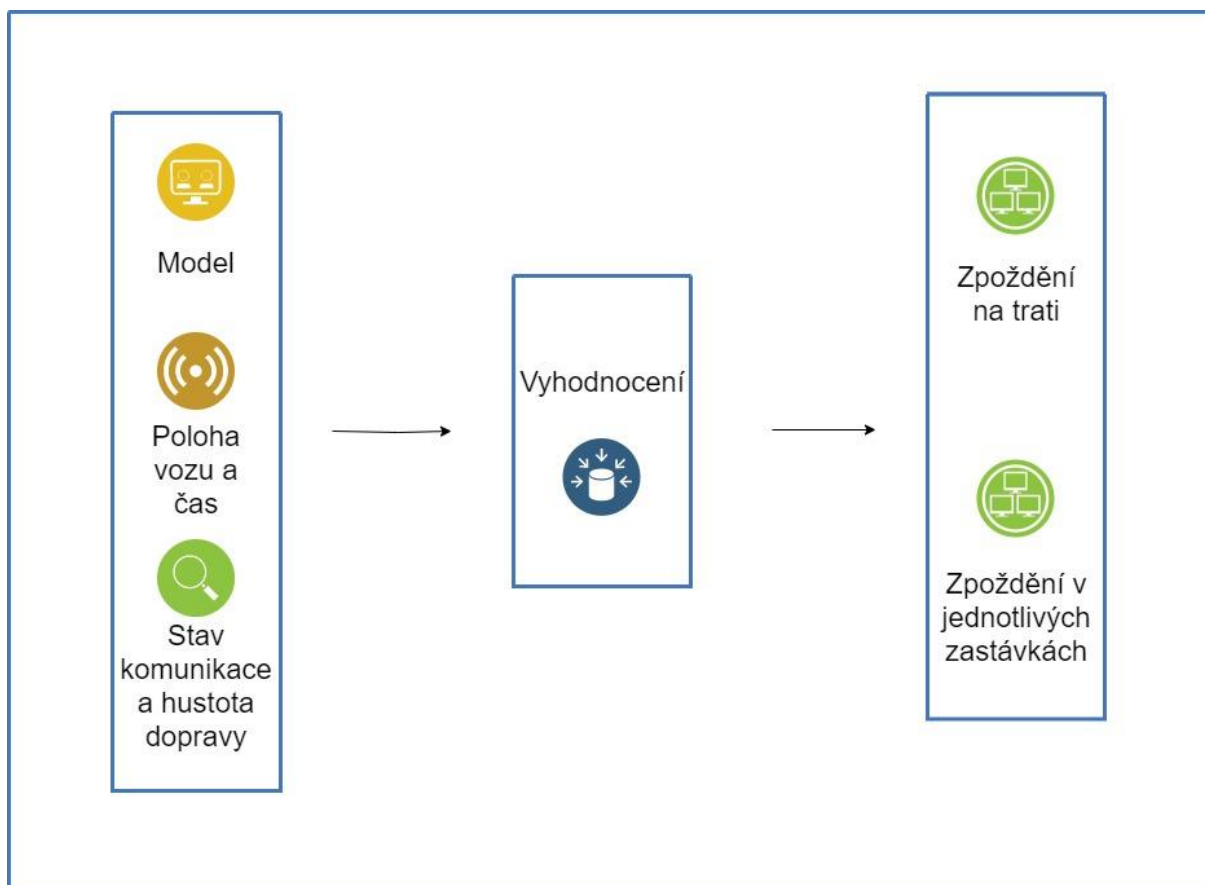
Zpoždění jde predikovat pro budoucí spoje na základě historických dat a tyto hodnoty upřesňovat po vyjetí spoje na trasu na základě aktuálního zpoždění. Nejjednodušším způsobem je takzvaná naivní predikce, kdy se hodnota aktuálního zpoždění přenáší na všechny následující úseky a zastávky spoje; to znamená, že není zohledněn další vývoj změny. Složitější systémy predikce umožňují predikovat i změnu zpoždění, ať již zvýšení nebo snížení, na základě historických dat a aktuálního stavu trasy, do které se spoj chystá.

Podle současných zkušeností autora cestující dnes nemá k dispozici informaci, zda zpoždění, které je mu předkládáno, je určeno naivní nebo jinou složitější predikcí. Například aplikace Můj vlak od Českých drah na webu [6] udává jako funkci predikce zpoždění pouze výstup naivní predikce zpoždění.

Cíle predikce:

1. Cestující dostane informaci o zpoždění a přizpůsobí své chování, ovšem spoj v průběhu cesty ztratí dojezd a do stanice přijede včas. Pokud se situace opakuje, je zbytečné informovat cestující o zpoždění, které před jejich zastávkou zmizí. Predikce v takovém případě zabrání předání zbytečné informace.

2. Dispečink může zajistit koordinaci návaznosti spojů. V případě predikovaného zpoždění může zdržet návazný spoj, podat přesnější informaci o délce čekání a případně pustit čekající spoj, pokud by zpoždění bylo příliš dlouhé.



Obr. 2: Schéma využití predikce

Další metodou predikce je vybudování modelu pomocí historických dat z minulých jízd. Model jízdy více odpovídá skutečné jízdě spoje, včetně změn rychlostí na různých úsecích trasy. Měl by tak reagovat i na případy, kdy spoj zpoždění dojíždí. Je tak přesněji možné identifikovat jízdy, při kterých vzniká zpoždění a upozornit cestující, že daný spoj bude zpožděný. Využití historických dat je účelnější, pokud je kalibrováno aktuálním zpožděním spoje nebo zpožděním předchozích spojů stejné linky v úseku, kam se daný spoj chystá.

Specifickou úpravou je využití nejen dat z předchozích spojů stejné linky, ale i spojů dalších linek projíždějících stejnou trasou. Pokud byl zpožděn předchozí spoj jiné linky projíždějící stejným úsekem trasy, pak se předpokládá, že obdobné zdržení nastane i pro sledovaný spoj.

Kromě dat o jízdě je možné využít také další relevantní data. Nejčastější zakomponovaná data jsou data o počtu cestujících ve voze a v budoucích zastávkách, data o hustotě provozu nebo o počasí.

Použití predikčních algoritmů se setkává s několika nevýhodami. Kvalita predikce je přímo úměrná kvalitě dat, ze kterých metoda výpočtu vychází, a objemu těchto dat. Chybějící či nepřesná data mohou kvalitu predikce výrazně negativně ovlivnit.

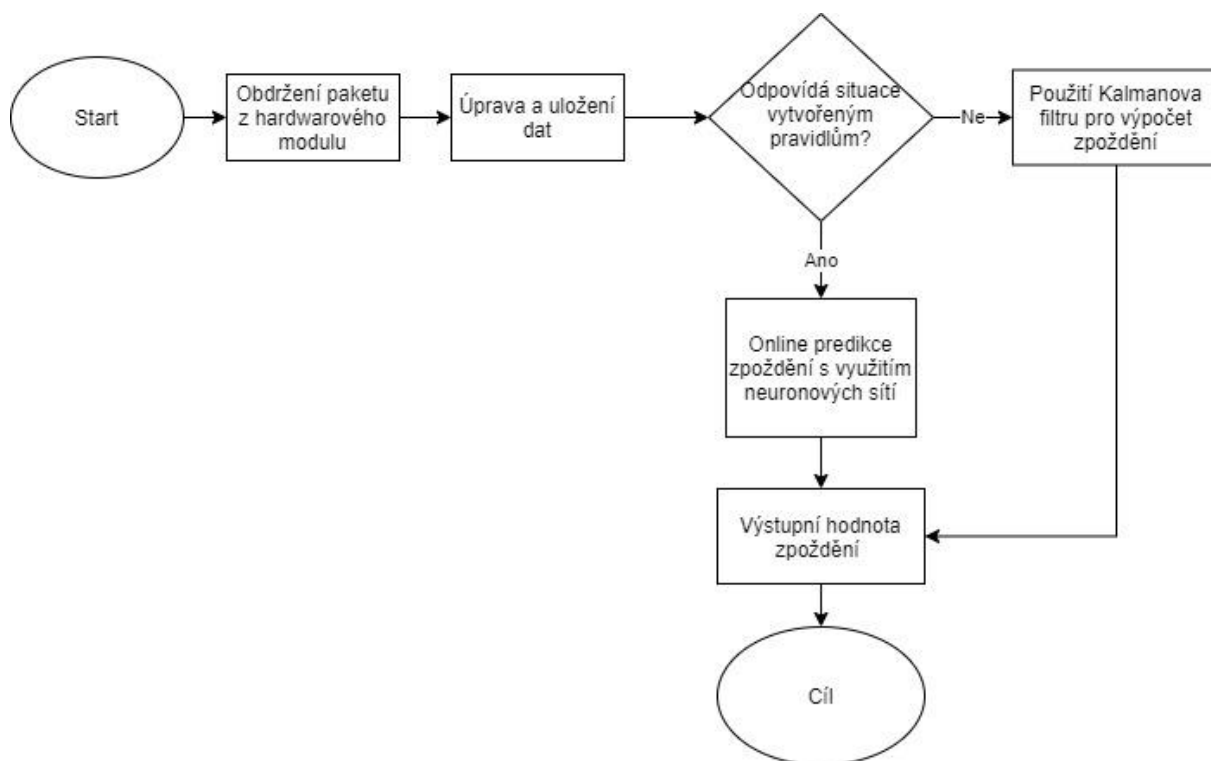
Článek [2] poukázal na nedostatky v pozorovaných studiích. Různé metody se v různých prostředích liší svojí efektivitou, nedá se tedy stanovit univerzálně správný postup. Chybějící standardizace a nezveřejňování dat, ze kterých řešení vychází, omezují možnosti porovnání efektivity metod. Chybí také jednotný standard pro určování přesnosti predikce, toto hodnocení si vždy autoři určovali sami.

Další nevýhodou je požadavek na vysokou přesnost. Poskytování nepřesných informací vede k rychlé ztrátě důvěry ze strany cestujících. Ti pak, i přes následné opravy, nebudou systému důvěřovat. Systém predikce také nemůže předvídat vzácné události s výrazným vlivem na zdržení spoje, může na ně pouze reagovat. V případě zásahu do infrastruktury či omezení na dopravní síti je možné očekávat negativní projevy na sledované spoje, jejichž nové chování půjde obtížně modelovat za využití starého modelu.

1.4.1 Příklady výpočtu predikovaného zpoždění

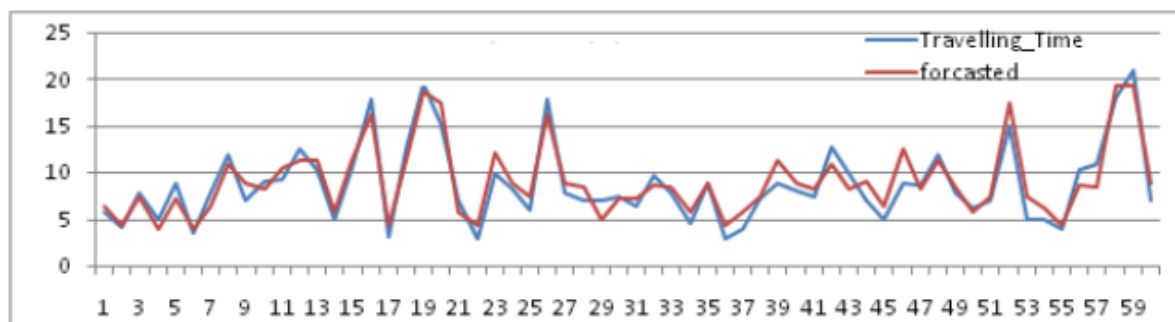
Pro výpočet predikovaného zpoždění je možné využití různých algoritmů založených na zpracování dat uvedených v kapitole 1.4. Podle článku [2] se jako univerzálně nejpřesnější ukazují algoritmy založené na umělých neuronových sítích a metodě podpůrných vektorů (SVM). V několika případech však dosahovaly přesnějších výsledků algoritmy založené na Kalmanových filtrech či lineární regresi [2]. Většina těchto metod se objevuje spíše ve vědeckých studiích.

Článek [33] z roku 2013 využívá, v souladu s předchozím odstavcem, při predikci dvě metody – umělé neuronové sítě a Kalmanův filtr. Neuronové sítě byly využity při tvorbě predikčního modelu a Kalmanův filtr sloužil k online výpočtům při velkém rozdílu mezi vypočítaným a skutečným zpožděním. Jako vstupní data sloužila historická data o provozu, kategorie dne, průměrná rychlost, počasí a stav dopravy. Schematický diagram postupu ukazuje Obr. 3



Obr. 3: Postup predikce zpoždění. Překresleno dle zdroje [33]

K simulaci byl využitý program MATLAB a výsledek je znázorněn na Obr. 4. Střední kvadratická chyba byla 1 minuta 12 sekund při celkové jízdě 37 minut. Kombinace s Kalmanovým filtrem snížila střední kvadratickou chybu na 1 minutu.

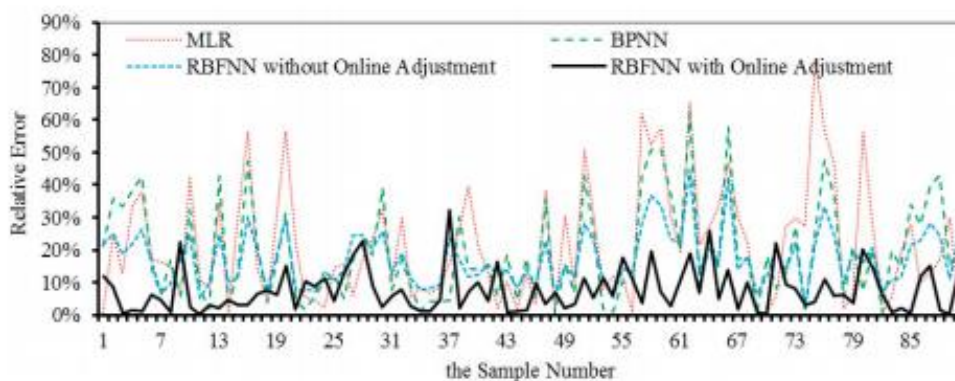


Obr. 4: Výsledky testování metody výpočtu predikce. Zdroj: [33]

Výsledkem byl návrh dvou režimů provozu. Normální režim využívá pouze neuronové sítě, zatímco režim kongescí přidává využití Kalmanových filtrů.

Další článek z roku 2013 [32] uvádí kromě historických dat o provozu také využití údajů o obsazenosti vozidla. Během experimentu byla nalezena nelineární závislost obsazenosti detektoru na délce jízdy a obsazenosti vozidla. Testováno bylo několik metod výpočtu: neuronové sítě RBF, neuronové sítě RBF s online korekcí s využitím Kalmanových filtrů, model využívající lineární regresi a neuronové sítě BPNN.

Výsledky experimentu provedeném na lince 21 ve městě Ta-lien ukazují Obr. 5.



Obr. 5: Výsledky testování metody výpočtu predikce. Zdroj: [32]

Nejlepších výsledků dle střední absolutní procentní chyby dosahovala metoda neuronových sítí RBF s online korekcí, která se pohybovala okolo 7,5 %. Všechny hodnoty jsou v Tab. 3:

Tab. 3: Hodnoty střední absolutní procentní chyby. Zdroj: [32]

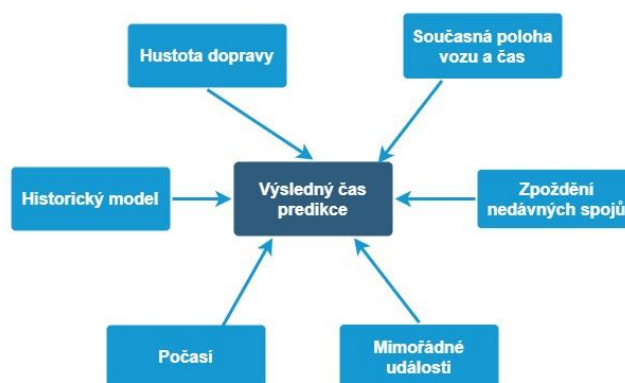
Metody	MLR	BPNN	RBFNN	Adjusted RBFNN
MAPE	6 803,3	6 590,7	7 264,7	7 796,5

1.4.2 Zdroje dat

Před jízdou



Během jízdy



Obr. 6: Data pro predikci

Data týkající se provozu linek veřejné dopravy jsou k dispozici v aplikacích a webových rozhraních, které jsou rozebrány níže. Historická data a data týkající se obsazeností spojů

nejsou volně k dispozici, přístup lze získat pouze přes dispečerská rozhraní a systémy jednotlivých dopravců.

Data o počasí jsou poskytována Českým hydrometeorologickým ústavem. Zde jsou k dispozici historická denní a měsíční data ze 31 stanic. Bezplatně jsou k dispozici v omezené formě, zpracovaná data jsou poskytována jako placená služba.

Dalším zdrojem dat je portál in-pocasi.cz, který nabízí v bezplatné formě větší množství dat, ovšem bez záruky kvality. Zdrojem dat je již zmíněný ČHMÚ a NCDC. Kromě dat ze 41 profesionálních stanic se zde nacházejí také data ze 273 klimatologických a soukromých stanic. [14]

Dění na pozemních komunikacích je možné sledovat na mapových serverech Mapy Seznam a Google maps. Zatímco první jmenovaný čerpá z dopravních hlášení a firemních plovoucích vozidel, Google maps získávají údaje od uživatelů chytrých telefonů. Další uživatelsky zaměřenou službou je Waze, která také získává data o hustotě od svých uživatelů.

Exaktní data o hustotě provozu poskytují strategické detektory. V současné době se ve většině krajských měst buď již nacházejí, nebo se plánuje jejich instalace. Tato data nejsou volně dostupná. Správci těchto dat jsou v některých případech správci pozemních komunikací, jako například v Brně, nebo organizace zajišťující řízení projektů Smart Cities, například Operátor ICT v Praze.

Informace o mimořádných událostech týkajících se dopravce a informace od řidičů poskytuje dispečink. Dalším zdrojem poskytujícím mimořádné informace je Jednotný systém dopravních informací pro ČR.

1.5 Současné systémy pro zobrazování zpoždění

Informace o zpoždění se k cestujícím může dostat třemi různými systémy: zastávkovým, vozidlovým a serverovým.

Zastávkové systémy sdělují informaci o určitém počtu nejbližších spojů obsluhujících danou zastávku. Využívají se LED panely, LCD displeje nebo elektronický papír.

Vozidlové systémy ukazují časy příjezdu do následující stanice, se kterým může být sděleno také zpoždění. V některých případech mohou ukazovat také časy odjezdů navazujících spojů. Vozidlové systémy většinou nemají online aktualizaci příjezdových časů, z toho důvodu jim v následující části kapitoly nebude věnováno více prostoru. Cestujícím je informace předána LCD displeji umístěnými ve vozech.

Serverové systémy využívají k distribuci dat cestujícím internetu. V rámci mobilní či webové aplikace se cestujícím poskytují data na městské, krajské či celorepublikové úrovni.

Varianty možného předání informace o zpoždění popisuje Tab. 4:

Tab. 4: Legenda pro zobrazování zpoždění

Varianta	Typ	Vysvětlení
1	Čas odhadovaného příjezdu a odjezdu	Čas odhadovaného příjezdu je zobrazení času, ve kterém je započítáno i zpoždění, a časový údaj se liší od toho uvedeného v jízdním řádu.
2	Předpokládaná doba do odjezdu	Předpokládaná doba do odjezdu je časový odpočet s přesností v rámci minut či vteřin dle provozních intervalů.
3	Pravidelný odjezd z příští zastávky a hodnota zpoždění	Pravidelný odjezd dle jízdního řádu a zpoždění obsahují oba údaje odděleně, cestující si tedy dopočítává skutečný čas příjezdu sám. Zpoždění může být zobrazováno přesně či v rámci daných intervalů.
4	Pravidelný odjezd z následujících stanic a hodnota zpoždění	Pravidelný odjezd dle jízdního řádu ze všech nebo pouze z nejdůležitějších následujících zastávek. Hodnota zpoždění zobrazena odděleně.
5	Aktuální poloha a aktuální zpoždění	Aktuální poloha spoje zobrazena v mapovém podkladu nebo textově a aktuální zpoždění.

Tab. 5 ukazuje vstupní data do modelů predikce využívaných v informačních systémech pro cestující. Bližšímu popisu typů se věnovala kapitola 1.4.1.

Tab. 5: Legenda pro metodu predikce zpoždění

Varianta	Typ
A	Pouze historická data
B	Aktuální poloha a historická data

C	Aktuální poloha, historická data a zahrnutí počasí
D	Aktuální poloha, historická data a zahrnutí hustoty dopravy
E	Aktuální poloha, historická data a zahrnutí obsazenosti

Tab. 6 ukazuje příklady aplikačních systémů z tuzemska i zahraničí. Z tabulky je patrné, že predikce zpoždění se stále nerozšířila jak na české, tak na celosvětové úrovni. V případě, že metoda predikce je proškrtnuta, předpokládá se použití zobrazovaného zpoždění ve smyslu naivní predikce.

Tab. 6: Příklady aplikačních systémů

Aplikace	Zobrazování zpoždění dle Tab. 4	Metoda predikce dle Tab. 5	Zdroj
IDOS	4	-	[13]
PID Lítačka	4	-	viz kapitola 1.5.1
mapa.pid	3,5	-	viz kapitola 1.5.3
DPMBinfo (Jihomoravský kraj)	2,4,5	-	viz kapitola 1.5.2
DÚKapka (Ústecký kraj)	4	-	viz kapitola 1.5.4
Google maps	4	-	viz kapitola 1.5.5
ODISapka (Moravskoslezský kraj)	1,4	-	[17]
BVG Fahrinfo (Berlín)	4	-	[3]
ZVV timetable (Curych)	3	-	[34]
Norikae Annai (Japonsko)	4	C	viz kapitola 1.5.6

Tab. 7 ukazuje zastávkové systémy. Jelikož se predikce na žádném z uvedených systémů nepoužívá, byl tento sloupec vyjmut. Pokud je sloupec Zdroj proškrtnut, pak se jedná o praktické pozorování autora.

Z příkladů je patrné, že metoda předpokládaného času do odjezdu je využívána nejčastěji u metra, zatímco u autobusové a vlakové dopravy převažuje oddělený čas a zpoždění.

Tab. 7: Příklady zastávkových systémů

Město a zastávky	Zobrazování zpoždění dle Tab. 4	Zdroj
Praha metro staniční	2	-

Praha vybrané zastávky tramvají	2	-
Praha Hlavní nádraží	3	-
Liberec Autobusové nádraží, Fügnerova	3	[22]
Lovosice Hlavní nádraží	1,2	-
Brno Zvonařka	3	[5]
Ostrava Hlavní nádraží	3	[28]
Lausanne metro	2	[2]
Paříž RATP	2	[30]

Následující podkapitoly se věnují vybraným výše zmíněným systémům.

1.5.1 PID lítačka

Aplikace PID lítačka obsahuje informace o Pražské integrované dopravě a umožňuje kromě nákupu jízdenek také vyhledání spojení. U vyhledání spojení je kromě zastávek, pásma a informací o bezbariérovosti a možnosti přestupu na metro možné sledovat, zda má spoj zpoždění či nikoliv. Zpoždění se ukazuje dle minut, jak je možné vidět na Obr. 7 a je získáváno z poslední projeté zastávky. Část MAPA ukazuje trasu linky bez současné polohy spoje.

ZASTÁVKY
MAPA

Bus 131 směr Hradčanská

Špitálka pásmo P	21:47
U Matěje pásmo P	21:48
...	
Sibiřské náměstí pásmo P	21:54
Hradčanská pásmo P	21:56
aktuální zpoždění 1 min	

přesun asi 5 min

Tram 1 směr Spojovací

Hradčanská pásmo P	22:05
Sparta pásmo P	22:07
...	
Strossmayerovo náměstí pásmo P	22:11
Vltavská pásmo P	22:13
aktuálně bez zpoždění	

Obr. 7: Ukázka aplikace PID Lítačka

1.5.2 DPMBinfo

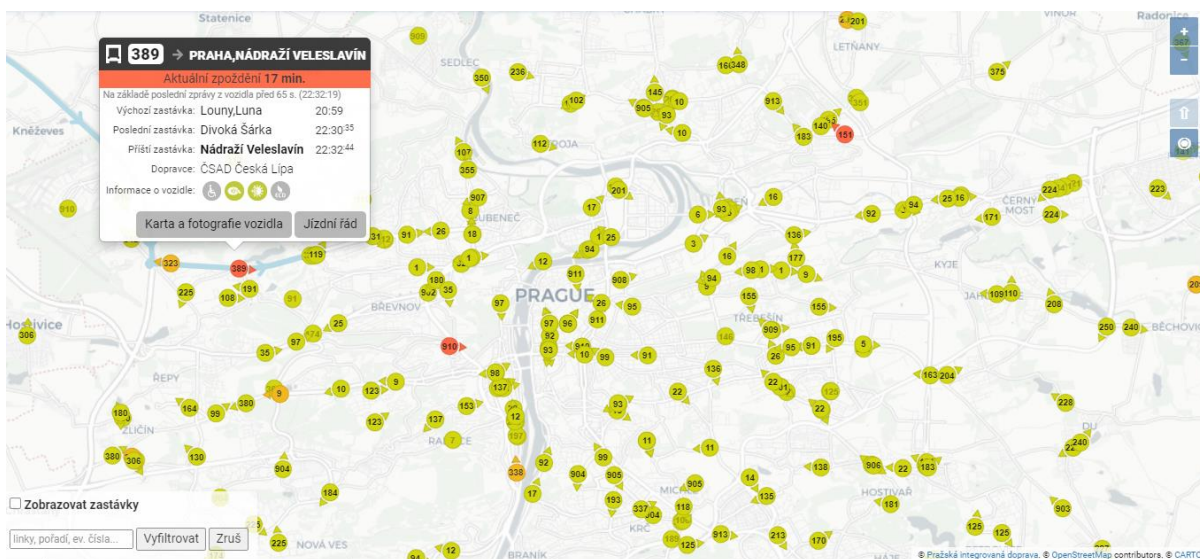
Aplikace DPMBinfo slouží cestujícím z Brna a okolí. Umožňuje vyhledávání spojů, ukazuje zastávkový panel a součástí aplikace je také online mapa pro sledování spojů v reálném čase. Na zastávkovém panelu jsou příjezdy spojů upraveny dle zastávkového zpoždění, kde se mění zobrazování z času příjezdu na čas do příjezdu ve chvíli, kdy do příjezdu zbývá půlhodina. V mapě se zobrazuje čas odjezdu, ve kterém je již započítáno zpoždění a čas tedy neodpovídá tomu uvedenému v jízdním řádu.

1.5.3 Mapa PID

V březnu 2020 byla do provozu uvedena webová aplikace <https://mapa.pid.cz/> umožňující sledování polohy spojů v reálném čase.

Aplikace ukazuje informace o vozidle, výchozí, poslední a příští zastávku, jízdní řád a aktuální zpoždění. To je oproti jiným aplikacím získáváno nejen z poslední zastávky, ale

také ze současné polohy. Do budoucna se plánuje využití také historických dat pro bližší zpřesnění informace.



Obr. 8: Ukázka webové aplikace

1.5.4 DÚKapka

DÚKapka poskytuje informace o spojích z Ústeckého kraje. Zprovozněna byla v dubnu 2021 a slouží především k nákupu jízdenek. U spojů je dostupná mapa a aktuální zastávkové zpoždění. Mapa slouží pouze k zobrazení trasy linky, a nikoliv aktuální polohy jednotlivých vozidel. [9]

1.5.5 Google maps

Mapy od společnosti Google umožňují v rámci navigace možnost vyhledat spoj hromadné dopravy. Kromě mimořádností a problémů na trase, které umožňují vyhledat alternativní spoj, nabízí také data o zpoždění.

Data o zpoždění se týkají železnice a autobusových spojů v rámci organizace ROPID [23]. Google také oznámil přidání funkce predikce zpoždění, založené na strojovém učení a datech od uživatelů, dosud však u nás není využívána [10].

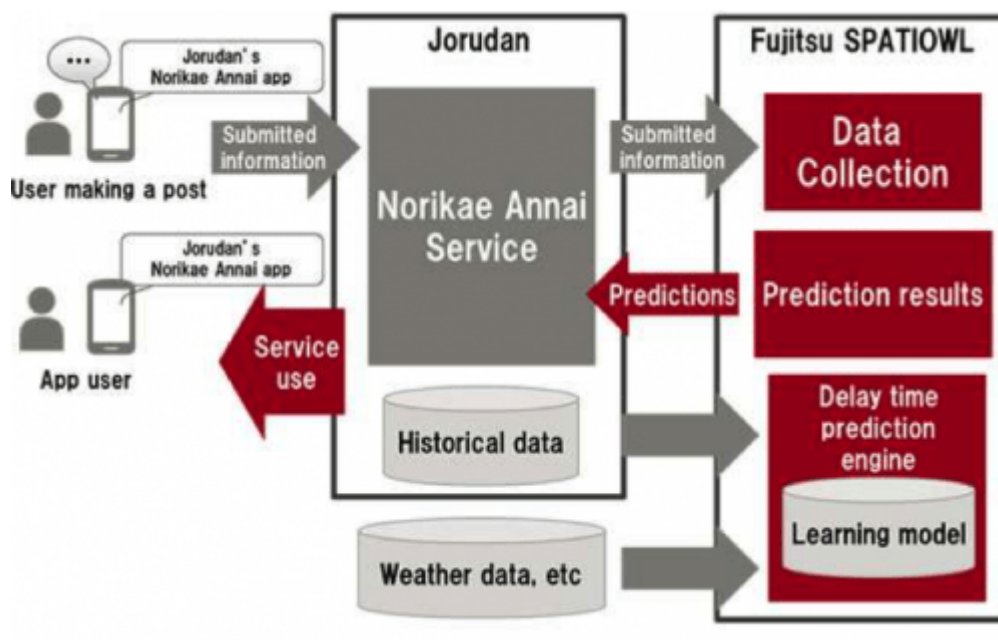
1.5.6 Norikae Annai

Japonská aplikace Norikae Annai, v anglické verzi Japan Transit Planner, je jednou z nejvíce používaných aplikací pro hledání spojů v Japonsku. Aplikace provozovaná společností Jorudan Co. slouží k vyhledání jak autobusů, tak vlaků.

V roce 2016 oznámila společnost Jorudan Co. spolupráci s firmou Fujitsu Limited ohledně implementace predikce zpoždění do této aplikace. Schéma je znázorněno na Obr. 9. Kromě historických dat o provozu zde mělo být zakomponováno také hlášení od cestujících přes

sociální sítě a data o počasí. Tato funkce neměla sloužit pouze k zobrazování zpoždění, ale také k efektivnějšímu doporučování spojů pro cestující. [26]

Bližší informace ohledně ukončení testovacího provozu a jeho výsledků nejsou známy.



Obr. 9: Princip predikce v aplikaci Norikae Annai. Zdroj obrázku: [26]

1.5.7 Závěry z analýz

V současné době se predikce příliš nevyužívá. Dá se předpokládat, že s rozvojem sledování aktuální polohy vozů se situace změní. Situace v zahraničí je srovnatelná se situací v Česku. Porovnávané aplikace, zejména zahraniční, se soustředily především na prodej jízdenek, informování cestujících bylo spíše vedlejším produktem.

Plánované implementace zahrnují především využití historických dat. O využití dalších potenciálních vstupů, jako například počasí, které bylo zahrnuto v pilotním programu v Japonsku, se zatím neuvažuje.

1.6 Architektura systému

Architektura systému slouží jako jednotný postup při tvorbě systému. Základem při tvorbě architektury jsou uživatelské potřeby. Na ně navazuje funkční architektura, která popisuje jednotlivé funkce systému. Informační tok mezi funkcemi popisuje informační architektura. Technologické řešení při tvorbě systému a komunikační média popisuje fyzická a telekomunikační architektura.

Uživateli systému predikce zpoždění jsou myšleni:

- Cestující
- Řidič
- Dispečink
- Objednatel
- Koordinátor
- Dopravce

1.6.1 Uživatelské potřeby

Výchozím úkolem při tvorbě systému je zjištění uživatelských potřeb. Jednotlivé potřeby popisuje Tab. 8:

Tab. 8: Uživatelské potřeby

Potřeba	Číslo potřeby	Uživatel	Popis
Znalost očekávaného zpoždění pro plánování cesty	1	Cestující	Při znalosti očekávaného zpoždění si cestující mohou lépe naplánovat cestu a vybrat takový spoj, který bude odpovídat jejich časovým požadavkům. V případě nutnosti přestupů při sdělení informace o očekávaném zpoždění mohou cestující změnit své chování a vybrat dřívější spoj či jiný navazující.
Průběžná znalost odhadovaného zpoždění v cílové stanici cestujícího	2	Cestující	V případě zpoždění na trase, například z důvodů kongesce, je systém predikce schopný odhadnout dobu čekání dle předchozích zkušeností. Naopak při možném dojetí zpoždění při cestě je cestující informován, že současná hodnota zpoždění se pravděpodobně sníží či zcela zmizí.
Průběžná znalost aktuálního zpoždění spoje	3	Cestující, Řidič	Cestující mohou kromě odhadovaného zpoždění požadovat aktuální zpoždění, a to z důvodů zvyklosti nebo zjednodušení podávané informace. Řidič může využít znalost aktuálního zpoždění k přizpůsobení stylu jízdy.
Informovanost o aktuálních přestupních možnostech	4	Cestující	V případě zpoždění některého z navazujících spojů cestující může změnit svůj současný plán jízdy. V případě přestupů je vhodné přidat informaci o délce přestupu v zastávce. Cestující může zjistit, zda je možné stihnout přestup.

Informace o předpokládaném odjezdu spoje ze stanice	5	Cestující	Týká se spojů, které teprve odjedou, a není tedy možné určit aktuální zpoždění.
Potvrzení o zpoždění spoje	6	Cestující	V případě nestihnutí navazujícího spoje mohou cestující požadovat potvrzení, díky kterému zůstane jejich jízdenka platná i na následující spoje. V případě zpoždění přesahujícího určitý čas daný smluvními podmínkami mají cestující nárok na finanční kompenzaci.
Kontinuální přehled o zpoždění všech obsluh spojů	7	Dopravce	Dopravce má přehled o všech aktuálně zpožděných spojích.
Kontrola kvality služby	8	Objednatel, Koordinátor	Dopravce má dostupná data o průběhu jízdy všech spojů pro předem danou dobu. Může vyhledávat zpožděné spoje a kontrolovat, jak často jsou spoje určité linky zpožděné.
Upozornění na výrazné zpoždění	9	Dispečink	Dispečer je upozorněn, pokud předpokládané zdržení přesáhne určitou hranici, případně pokud hrozí nadjetí spoje.
Upozornění na budoucí hrozbu způsobující zpoždění	10	Dispečink	V případě častého zdržení na určitém úseku trasy ve sledovaném časovém intervalu je dispečer upozorněn, že v dané lokalitě dochází ke zdržení. Dispečink tak může upozornit řidiče a cestující na předpokládané komplikace.
Snížení zpoždění formou preference MHD	11	Cestující, Dopravce	V rámci preference MHD je vhodné upřednostňovat zpožděné spoje ve snaze o snížení zpoždění na minimální hodnotu.
Kvalita predikovaného zpoždění	12	Cestující, Řidič, Dopravce, Dispečink	Uživatelé požadují přesnou predikci zpoždění, aby mohli predikované hodnoty využívat. Uživatelé také mají požadavky na dostupnost systému, aby mohli danou informaci získat a využít.

1.6.2 Funkční architektura

Funkční architektura popisuje hierarchicky členěné a uspořádané funkce systému. Základní funkce systému nazýváme makrofunkcemi. Pro popis je vždy jednotná forma ve tvaru: „Funkce zajišťuje (a následuje popis toho, co má funkce zajistit nebo poskytnout)“. Popis je velmi hrubý a pro zjednodušení popisu jsou funkce označeny dvoupísmennou zkratkou nebo číslem. Druhou vrstvu tvoří sub-funkce (F1.1; F1.2...), které vznikají dělením první vrstvy makrofunkcí. Je zde shodný formalizovaný popis a první číslo v označení odpovídá vyšší funkci. [1]

Tab. 9 popisuje jednotlivé makrofunkce a subfunkce systému. Také popisuje, na jakou potřebu je daná funkce reakcí. Makrofunkce jsou pro větší přehlednost vyznačeny v tabulce tučně.

Tab. 9: Funkce systému

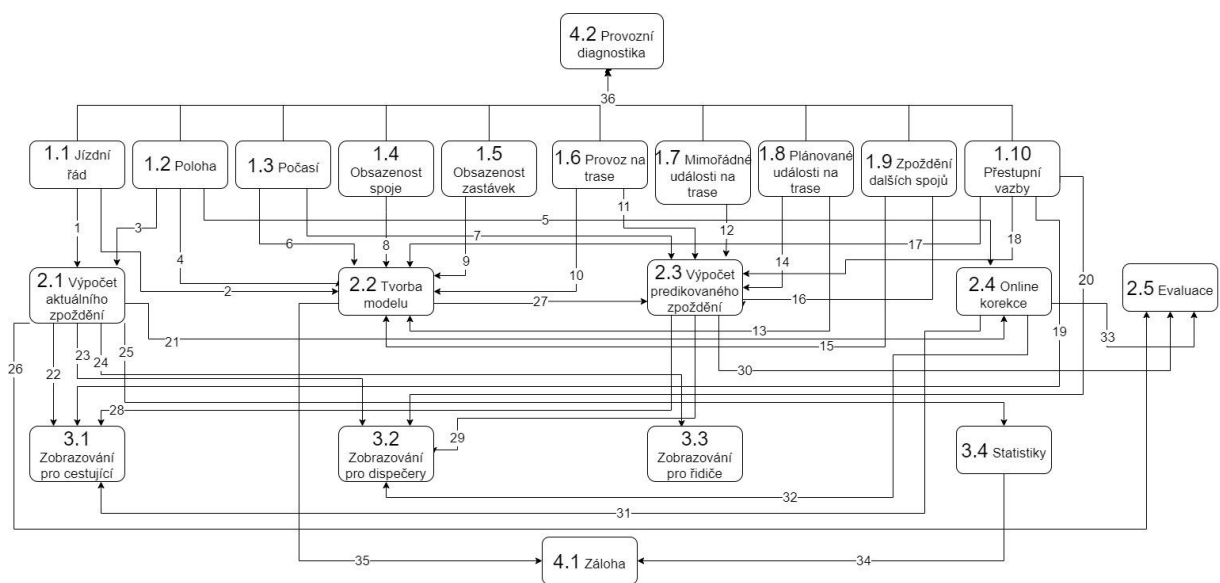
Číslo	Funkce systému	Reakce na potřebu	Bližší popis
1	Sběr dat	1,2,4,5	Funkce zajišťuje sběr dat potřebných k výpočtu a predikci zpoždění.
1.1	Jízdní řád	1,4,5	Funkce zajišťuje sběr dat ohledně plánovaných příjezdů a odjezdu ze stanic.
1.2	Poloha	1,2,4	Funkce zajišťuje sběr dat o poloze spoje.
1.3	Počasí	1,2,4,5	Funkce zajišťuje sběr dat o počasí.
1.4	Obsazenost spoje	1,2,4,5	Funkce zajišťuje sběr dat o obsazenosti spoje.
1.5	Obsazenost zastávek	1,2,4,5	Funkce zajišťuje sběr dat o počtu cestujících čekajících v zastávce.
1.6	Dopravní provoz	1,2,4,5	Funkce zajišťuje sběr dat o provozu veškeré dopravy na trase spoje.
1.7	Mimořádné události	1,2,4,5	Funkce zajišťuje sběr dat o mimořádných událostech, které mohou mít vliv na jízdu spoje.
1.8	Plánované události	1,2	Funkce zajišťuje sběr dat o plánovaných událostech, které mohou mít vliv na jízdu spoje.
1.9	Zpoždění dalších spojů veřejné dopravy	1,2	Funkce zajišťuje sběr dat o zpoždění předchozích spojů sledované linky nebo jiných spojů sdílejících část trasy se sledovanou linkou.
1.10	Přestupní vazby	4	Funkce zajišťuje sběr dat o přestupních vazbách a délce přestupu.
2	Výpočet zpoždění	1-5, 7-12	Funkce zajišťuje výpočet aktuálního zpoždění, tvorbu historického modelu a korekci výsledků dle současné situace.
2.1	Výpočet aktuálního zpoždění	3,4,7,9-12	Funkce zajišťuje výpočet aktuálního zpoždění.
2.2	Tvorba historického modelu	1,5	Funkce zajišťuje tvorbu historického modelu.
2.3	Výpočet predikovaného zpoždění	1,2,4,5	Funkce zajišťuje vložení vstupních dat do predikčního modelu a získání predikovaného zpoždění.
2.4	Rozšířená predikce a online korekce	1,2,4	Funkce zajišťuje využití aktuálních dat z průběhu jízdy vozidla pro výpočet nebo zpřesnění predikovaných hodnot.
2.5	Evaluace	8,12	Funkce zajišťuje porovnání aktuálního a predikovaného zpoždění s cílem získat odchylky a odhalit chybné hodnoty pro budoucí úpravy predikce.
3	Zobrazování a distribuce	1-10, 12	Funkce zajišťuje zobrazování informací o zpoždění.
3.1	Zobrazování pro cestující	1,2,3,4,5,6, 12	Funkce zajišťuje zobrazování zpoždění cestujícím, délku přestupů a případné zpoždění navazujících spojů.
3.2	Zobrazování pro dispečery	9,10, 12	Funkce zajišťuje zobrazování zpoždění v dispečerském rozhraní a upozornění na zpožděné spoje.
3.3	Zobrazování pro řidiče	3, 12	Funkce zajišťuje zobrazování zpoždění řidičům.
3.4	Statistiky	7,8	Funkce zajišťuje ukládání dat o zpoždění pro budoucí statistické vyhodnocení.
4	Řešení poruch a zajištění provozuschopnosti systému	1-12	Funkce zajišťuje upozornění na poruchy a jejich předcházení.

4.1	Záloha dat	7,8	Funkce zajišťuje zálohování dat.
4.2	Provozní diagnostika	1-12	Funkce zajišťuje upozornění uživatelů na zhoršenou funkčnost systému.
4.3	Opravy chyb a poruch	1-12	Zásah správce s cílem zajistit požadovanou funkčnost.

1.6.3 Informační architektura

Informační architektura popisuje informační toky mezi jednotlivými funkcemi systému nebo mezi systémem a okolím. Je definován zdroj a cíl informace a obsah informačního toku. Jednotlivé toky se uvádějí v tabulce datových toků, kde je každý tok popsán zdrojem, cílem a názvem. Následuje popis s jednotnou formou: „Tento datový tok přenáší informace od subsystému ...“. [1]

Datové toky popisuje Tab. 10. Schematicky jsou jednotlivé toky popsány na Obr. 10, kde je každý tok znázorněn jako šipka označená číslem, pod kterým je daný tok popsán ve výše uvedené tabulce.



Obr. 10: Tok informací v systému

Tab. 10: Datové toky v systému

Číslo	Zdroj a cíl	Název	Bližší popis
1	DF F1.1_F2.1	Data o JŘ	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Jízdní řád k subsystému Výpočet aktuálního zpoždění. Obsahuje data o příjezdech a odjezdech ze stanic dle jízdního řádu.
2	DF F1.1_F2.2	JŘ data	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Jízdní řád k subsystému Tvorba modelu. Obsahuje data o příjezdech a odjezdech ze stanic dle jízdního řádu.

3	DF F1.2_F2.1	Aktuální poloha	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Poloha k subsystému Výpočet aktuálního zpoždění. Obsahuje současnou polohu a čas průjezdu spoje.
4	DF F1.2_F2.2	Historická poloha	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Poloha k subsystému Tvorba modelu. Obsahuje historická data o poloze a času průjezdu spoje.
5	DF F1.2_F2.4	Korekční poloha	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Poloha k subsystému Rozšířená predikce a online korekce. Obsahuje současnou polohu a čas průjezdu spoje.
6	DF F1.3_F2.2	Počasí	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Počasí k subsystému Tvorba modelu. Obsahuje historické údaje o srážkách, rychlosti větru, viditelnosti a teplotě.
7	DF F1.3_F2.3	Aktuální počasí	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Počasí k subsystému Výpočet predikovaného zpoždění. Obsahuje aktuální údaje o srážkách, rychlosti větru, viditelnosti a teplotě.
8	DF F1.4_F2.2	Historická obsazenost spoje	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Obsazenost spoje k subsystému Tvorba modelu. Obsahuje historická data o obsazenosti spoje.
9	DF F1.5_F2.2	Historická obsazenost zastávek	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Obsazenost zastávek k subsystému Tvorba modelu. Obsahuje historická data o počtu cestujících nastupujících na jednotlivých zastávkách.
10	DF F1.6_F2.2	Historický stav dopravy	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Provoz na trase k subsystému Tvorba modelu. Obsahuje historická data o intenzitě dopravy na úsecích linky.
11	DF F1.6_F2.3	Aktuální stav dopravy	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Provoz na trase k subsystému Výpočet predikovaného zpoždění. Obsahuje současná data o intenzitě dopravy.
12	DF F1.7_F2.3	Mimořádné události	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Mimořádné události na trase k subsystému Výpočet predikovaného zpoždění. Obsahuje textový popis událostí a odhadovaný čas zdržení.
13	DF F1.8_F2.2	Plánované události	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Plánované události na trase k subsystému Tvorba modelu. Obsahuje dobu trvání události.
14	DF F1.8_F2.3	Plánované události na trase	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Plánované události na trase k subsystému Výpočet predikovaného zpoždění. Obsahuje textový popis a odhadovaný čas zdržení.
15	DF F1.9_F2.2	Historická zpoždění dalších spojů	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Zpoždění dalších spojů na trase k subsystému Tvorba modelu. Obsahuje historická data o zpoždění linek obsluhujících stejné úseky trasy.
16	DF F1.9_F2.3	Aktuální zpoždění dalších spojů	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Zpoždění dalších spojů na trase k subsystému Výpočet predikovaného zpoždění. Obsahuje aktuální zpoždění dalších linek obsluhujících stejné úseky trasy.
17	DF F1.10_F2.2	Zpoždění spoje s garantovanou návazností	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Přestupní vazby na trase k subsystému Tvorba modelu. Obsahuje historická data o zpoždění spoje s garantovanou návazností.
18	DF F1.10_F2.3	Aktuální zpoždění spoje	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Přestupní vazby k subsystému Výpočet

		s garantovanou návazností	predikovaného zpoždění. Obsahuje aktuální zpoždění spoje s garantovanou návazností.
19	DF F1.10_F3.1	Přestupní vazby	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Přestupní vazby k subsystému Zobrazování pro cestující. Obsahuje data o aktuálním zpoždění navazujících spojů a délku přestupu v jednotlivých stanicích.
20	DF F1.10_F3.2	Zpoždění navazujících spojů	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Přestupní vazby k subsystému Zobrazování pro dispečery. Obsahuje informace o návaznostech jednotlivých spojů a aktuální zpoždění.
21	DF F2.1_F2.4	Online korekce	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Výpočet aktuálního zpoždění k subsystému Rozšířená predikce a online korekce. Obsahuje současné zpoždění spoje.
22	DF F2.1_F3.1	Zpoždění pro cestující	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Výpočet aktuálního zpoždění k subsystému Zobrazování pro cestující. Obsahuje aktuální zpoždění spoje.
23	DF F2.1_F3.2	Zpoždění pro dispečery	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Výpočet aktuálního zpoždění k subsystému Zobrazování pro dispečery. Obsahuje aktuální zpoždění spoje.
24	DF F2.1_F3.3	Zpoždění pro řidiče	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Výpočet aktuálního zpoždění k subsystému Zobrazování pro řidiče. Obsahuje aktuální zpoždění spoje.
25	DF F2.1_F3.4	Zpoždění do statistik	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Výpočet aktuálního zpoždění k subsystému Statistiky. Obsahuje aktuální zpoždění spoje.
26	DF 2.1_F2.5	Zpoždění pro evaluaci	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Výpočet aktuálního zpoždění k subsystému Evaluace. Obsahuje aktuální zpoždění spoje.
27	DF F2.2_F2.3	Využití modelu	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Tvorba modelu k subsystému Výpočet predikovaného zpoždění. Obsahuje data o teoretické obsluze linky.
28	DF F2.3_F3.1	Predikované zpoždění pro cestující	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Výpočet predikovaného zpoždění k subsystému Zobrazování pro cestující. Obsahuje predikované zpoždění spoje.
29	DF F2.3_F3.2	Predikované zpoždění pro dispečery	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Výpočet predikovaného zpoždění k subsystému Zobrazování pro dispečery. Obsahuje predikované zpoždění spoje.
30	DF 2.3_F2.5	Predikované zpoždění pro evaluaci	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Výpočet predikovaného zpoždění k subsystému Evaluace. Obsahuje predikované zpoždění spoje.
31	DF F2.4_F3.1	Opravené zpoždění pro cestující	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Rozšířená predikce a online korekce k subsystému Zobrazování pro cestující. Obsahuje upravené predikované zpoždění spoje.
32	DF F2.4_F3.2	Opravené zpoždění pro dispečery	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Rozšířená predikce a online korekce k subsystému Zobrazování pro dispečery. Obsahuje upravené predikované zpoždění spoje.
33	DF F2.4_F2.5	Opravené zpoždění pro evaluaci	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Rozšířená predikce a online korekce k subsystému Evaluace. Obsahuje upravené predikované zpoždění spoje.

34	DF F3.4_F4.1	Záloha statistik	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Statistika k subsystému Záloha. Obsahuje kopii statistik.
35	DF F2.2_F4.1	Záloha modelu	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Tvorba modelu k subsystému Záloha. Obsahuje kopii vytvořeného modelu.
36	DF F1_F4.2	Kontrola vstupů	Tento datový tok přenáší informace od subsystému Sběr dat k subsystému Provozní diagnostika. Obsahuje potvrzení o přijetí vstupních dat.

Fyzická, komunikační a organizační architektura je specifikována v rámci jednotlivých implementací, proto zde není zadefinována obecně.

2 Návrh systému

Tato kapitola se věnuje návrhu systému predikce zpoždění pro jednu konkrétní linku hromadné dopravy, která je součástí Pražské integrované dopravy. Na úrovni DP není cílem vytvářet komplexní systém, nýbrž reagovat na nejdůležitější potřeby, které autor identifikoval.

Z potřeb, které jsou popsány v kapitole 1.6.1, autor identifikoval následující potřeby jako klíčové:

- Průběžná znalost odhadovaného zpoždění v cílové stanici cestujícího, potřeba označena číslem 1
- Průběžná znalost aktuálního zpoždění spoje, potřeba označena číslem 2
- Informace o předpokládaném odjezdu spoje ze stanice, potřeba označena číslem 5

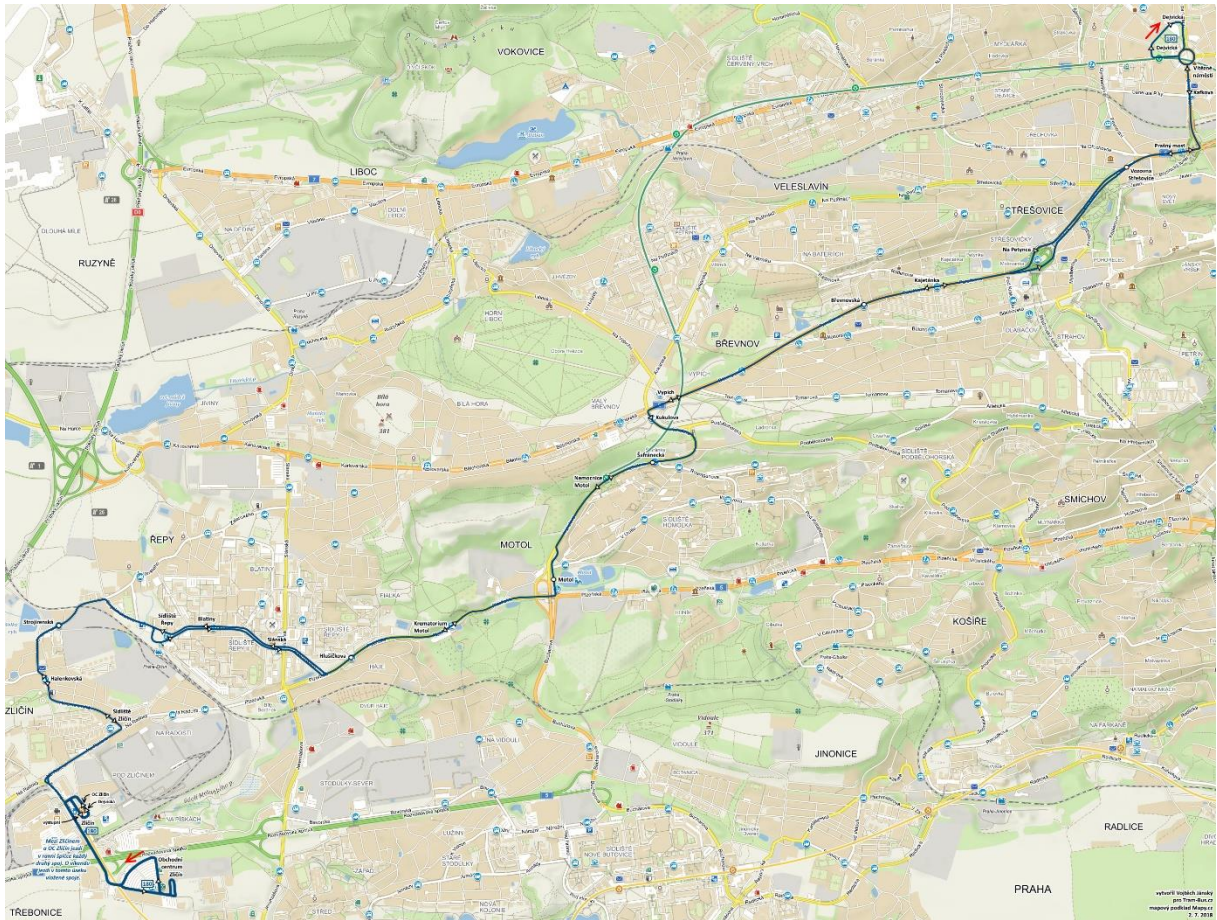
Z uvedeného výčtu plyne, že uživatelé navrhovaného systému jsou ve všech případech cestující.

Cílem práce je uspokojit výše uvedené potřeby vytvořením systému predikce založené na historických datech a některých aktuálních hodnotách, jako jsou hodnoty aktuálního provozu nebo počasí. Cílem práce není řešení způsobu informování cestujících o vypočtené hodnotě predikovaného zpoždění. Přehled způsobů je uveden v kapitole 1.5.

Výstup práce umožní získat model zpoždění podél celé trasy spoje, který lze následně snadno korigovat reálným aktuálním zpožděním spoje a získat tak poměrně přesný odhad příjezdu spoje do libovolné následující zastávky. Odhad je poté možné zobrazit cestujícím.

2.1 Popis vybrané linky

Vybranou linkou pro realizaci systému predikce zpoždění je pražská autobusová linka 180. Jedná se o linku s konečnými zastávkami Obchodní centrum Zličín a Dejvická. V ranních hodinách vyjíždí spoj také ze zastávek Vypich, Sídliště Řepy, Kukulova a Zličín. Linka obsluhuje 23 zastávek, ne všechny zastávky jsou obsluhovány v obou směrech. Mapu obsluhované trasy ukazuje Obr. 11:



Obr. 11: Trasa linky 180. Zdroj: [12]

Linka navazuje na další druhy přepravy. V zastávkách Zličín, Nemocnice Motol, Vítězné náměstí a Dejvická je možný přestup na linky A nebo B metra. V zastávkách Vítězné náměstí, Prašný most, Vozovna Střešovice, Vypich, Motol, Krematorium Motol, Hlušičkova, Slánská a Sídliště Řepy je možné přestoupit na linku tramvaje. Jízdní doba obsluhy linky při obsluze všech zastávek v jednom směru se pohybuje mezi 39-41 minutami.

Linka je provozována Dopravním podnikem města Prahy. Na provoz jsou nasazovány kloubové autobusy.

2.2 Architektura

V rámci architektury systému se tato práce bude věnovat pouze funkční a informační architektuře. Fyzická, technologická a organizační je specifikována v rámci konkrétní realizace systému.

Funkční architektura vychází z kapitoly 1.6.2. V navrhovaném systému jsou omezené některé vstupy a zobrazování je přizpůsobeno pouze jedinému uživateli systému. Navrhované funkce popisuje Tab. 11:

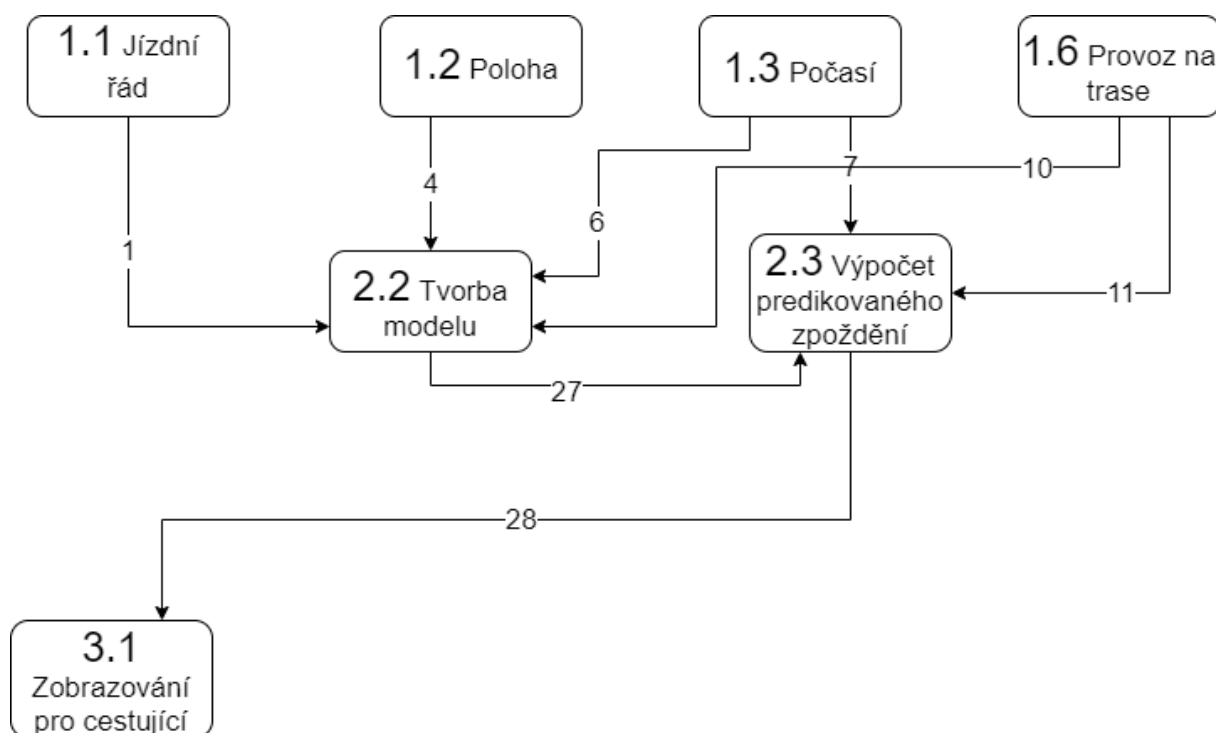
Tab. 11: Funkce navrhovaného systému

Číslo	Funkce systému	Reakce na potřebu
1	Sběr dat	1,2,5
1.1	Jízdní řád	1,5
1.2	Poloha	1,2
1.3	Počasí	1,2,5
1.6	Provoz na trase	1,2,5
2	Výpočet zpoždění	1,2,5
2.2	Tvorba modelu	1,5
2.3	Výpočet predikovaného zpoždění	1,2,5
3	Zobrazování a distribuce	1,2,5
3.1	Zobrazování pro cestující	1,2,5
4	Řešení poruch a zajištění provozuschopnosti systému	1,2,5
4.1	Záloha	1,2,5

Informační architektura vychází z kapitoly 1.6.3, ve které se nacházejí bližší popisy daných datových toků. Přehled datových toků popisuje Tab. 12, jejich struktura je k vidění na Obr. 12. Čísla uzlů jsou čísla jednotlivých funkcí, čísla u hran jsou čísla datových toků.

Tab. 12: Datové toky v navrhovaném systému

Číslo	Zdroj a cíl	Název
1	DF F1.1_F2.2	JŘ data
4	DF F1.2_F2.2	Historická poloha
6	DF F1.3_F2.2	Počasí
7	DF F1.3_F2.3	Aktuální počasí
10	DF F1.6_F2.2	Historický stav dopravy
11	DF F1.6_F2.3	Aktuální stav dopravy
27	DF F2.2_F2.3	Využití modelu
28	DF F2.3_F3.1	Predikované zpoždění pro cestující



Obr. 12: Tok informací v navrhovaném systému

2.3 Vstupy

Vstupem systému jsou příjezdy a odjezdy dle jízdního řádu, historická data o zpoždění vozidel, aktuální zpoždění spoje, historická a aktuální data o počasí a historické a aktuální parametry dopravního proudu.

2.3.1 Jízdní řády

Jízdní řády byly získány z oficiálních stránek Pražské integrované dopravy [25]. Jízdní řády jsou k dispozici ve formátu PDF. Obsahují časy příjezdů a odjezdů ze zastávek pro všechny spoje linky.

Kromě časů obsahuje také dobu platnosti a výchozí zastávku. Jelikož se na lince v průběhu dne mění výchozí zastávky, je třeba zohlednit tuto situaci při tvorbě modelu.

Další změny přicházejí mezi všedními dny, sobotami a nedělemi. Ve všedních dnech se intervaly během dne mění z 12 minut na nejdříve 10 minut a poté 7-8 minut ve špičce. Během soboty zůstávají pevné 15minutové intervaly a v neděli se v dopoledních hodinách objevují 20minutové.

Data z jízdních řádů slouží pro analytické potřeby. Konkrétní data o jízdním řádu budou importována do modelu ze zdrojů v kapitole 2.3.2.

2.3.2 Historická poloha vozidel

Historická data o pohybu byla získána z informačního systému MPV [21]. K dispozici jsou dva druhy souborů popisující obsluhu linky. Data jsou dostupná ve formě souboru XLSX.

První druh souboru obsahuje data o provozu za celý den. Ve hlavičce souboru je číslo linky a datum. Každý řádek obsahuje záznam o jedné jízdě spoje. Jednotlivé spoje jsou seřazeny dle jednotlivých oběhů a času jízdy. Samotná data obsahují číslo linky a spoje, které nemusí být vždy shodné s číslem linky ve hlavičce. Takové spoje jsou v úvodu souboru.

Následuje směr jízdy označený konečnou zastávkou, čas jízdy obsahující čas výjezdu na trasu a příjezdu do konečné zastávky ve formátu „hh:mm - hh:mm“, číslo oběhu a evidenční číslo vozu s registrační značkou. Dále je zde prostor pro poznámky (textové vysvětlení mimořádností) a zaokrouhlené hodnoty zpoždění na celé minuty pro jednotlivé zastávky. Hodnoty jsou barevně rozlišeny: zelené pro jízdu včas, modře zpožděné a červeně nadjeté. Pokud je hodnota přeškrtnutá, pak se jedná o nakopírovanou předchozí hodnotu zpoždění. Tato situace nastává zejména u zastávek na znamení. Jednotlivé zastávky nejsou označeny názvy, ale konkrétní zastávku je možné určit z jízdních řádů (pořadí hodnoty v tabulce odpovídá pořadí zastávky pro konkrétní spoj). Ukázka souboru z linky 180 ze dne 29. 3. je na Obr. 13:

Provoz v číslech - linky 180

seřazeno podle oběhu a času odjezdu z výchozí zastávky
29. 3. 2021

Linka/spoj	NAD	Ve směru	Čas jízdy	Oběh	Vůz	RZ	Poznámka	Odchyly spoje v zastávkách																							
180/14		Dejvická (ul. Šolínova)	17:06 - 17:47	180/1	N	5046		1	0	0	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	2
180/15		Obchodní centrum Zličín	17:58 - 18:39	180/1	N	5046		0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	2	1	0	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	0
180/16		Dejvická (ul. Šolínova)	18:57 - 19:36	180/1	N	5046		1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	0
180/17		Obchodní centrum Zličín	20:07 - 20:46	180/1	N	5046		0	0	0	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	5	6	5	5	5	5	5	5	4	2	
180/18		Dejvická (ul. Šolínova)	21:05 - 21:39	180/1	N	5046		0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Obr. 13: Struktura prvního souboru s polohou vozidel

Druhý druh souboru popisuje konkrétní jízdu spoje, tedy jeden řádek z předchozí tabulky. Soubor je dostupný pro každý spoj zvlášť. Soubor obsahuje shodnou hlavičku s předchozím souborem. Jednotlivé řádky souboru odpovídají jednomu záznamu o poloze, která může být v zastávce nebo v mezizastávkovém úseku. Poloha je označena geografickými souřadnicemi ve stupních s přesností 5 desetinných míst a časovým záznamem ve formátu dd:mm:rrrr hh:mm:ss. Poloha je udávána v referenčním systému WGS 84.

Zbylé sloupce se vyplňují pouze v zastávce (u ostatních řádků nejsou položky vyplněny). Je zde uveden název zastávky, stanoviště označené písmenem či číslem. Další sloupec obsahuje čas příjezdu do zastávky dle jízdního řádu ve formátu hh:mm a skutečný čas příjezdu ve formátu hh:mm:ss. Pokud nebyl zaznamenán skutečný příjezd, je zde nakopírována hodnota z jízdního řádu a v sousedním sloupci je uvedeno „nezjištěno“.

Následující sloupec obsahuje jednoslovný textový popis skutečného příjezdu a barevné rozlišení shodné s předchozí tabulkou na Obr. 13. Nezjištěné hodnoty jsou odlišené šedou barvou. Následuje odchylka s přesností na celé vteřiny. Ukázka souboru je na Obr. 14:

Detail spoje 180/119 včetně zpráv						
vůz 6947 na oběhu 180/7						
29. 3. 2021						
Zastávka	Stanoviště	Čas JŘ	Odchylka	vůz 6947	souřadnice	
					T 29.03.2021 15:56:11	50,04999 14,29926
					T 29.03.2021 15:56:51	50,04999 14,29926
					T 29.03.2021 15:57:31	50,04999 14,29926
					T 29.03.2021 15:58:11	50,04999 14,29926
					T 29.03.2021 15:58:51	50,04999 14,29926
					T 29.03.2021 15:59:31	50,04999 14,29926
					T 29.03.2021 16:00:12	50,04999 14,29926
					T 29.03.2021 16:00:52	50,04999 14,29926
					T 29.03.2021 16:01:32	50,04999 14,29926
					T 29.03.2021 16:02:12	50,04999 14,29926
					T 29.03.2021 16:02:52	50,04999 14,29926
					T 29.03.2021 16:03:32	50,04999 14,29926
					T 29.03.2021 16:04:12	50,05038 14,29889
					T 29.03.2021 16:04:52	50,04936 14,29889
					T 29.03.2021 16:05:33	50,05035 14,29772
Obchodní centrum Zličín	B	16:06	16:06:00	nezjištěn		

Obr. 14: Struktura druhého souboru s polohou vozidel

Jako vstup do modelu bude sloužit první soubor. Využitými daty jsou směr, čas jízdy a jednotlivé zpoždění v zastávkách.

2.3.3 Počasí

Počasí bylo získáno z webu in-pocasi z meteostanice Praha 4 Krč [15]. Data jsou poskytována na webu v grafické formě a ve formě tabulky. Tento zdroj byl zvolen z důvodu dostupnosti dat.

V záhlaví tabulky jsou uvedeny jednotlivé měřené veličiny. Tabulka obsahuje čas měření ve formátu hh:mm, dále teplotu v °C s přesností jednoho desetinného místa. Další měřenou veličinou je rychlost větru v celých km/h, zároveň je zde uveden směr jak šipkou (sever dolů, jih nahoru) tak jednopísmenným či dvojpísmenným kódem. Dále obsahuje vlhkost v celých procentech, tlak v hektopascalech a srážky v milimetrech s přesností jednoho desetinného čísla.

Jednomu řádku v tabulce odpovídá jedno měření. Měření probíhají v intervalu 30 minut s minutovými odchylkami.

Data je možné nakopírovat do tabulkového editoru k dalšímu zpracování. Pro potřeby systému se využívají sloupce Čas měření, Teplota a Srážky (dnes). Příklad poskytovaných dat ukazuje Obr. 15:

Čas měření	Teplota	Vítr	Vlhkost	Tlak	Srážky (dnes)
00:59	6.6 °C	↗ JZ, 0 km/h	74 %	1029 hPa	0 mm
01:30	6.3 °C	↑ J, 0 km/h	75 %	1030 hPa	0 mm
01:59	6.4 °C	↗ JZ, 0 km/h	75 %	1030 hPa	0 mm
02:30	6.4 °C	↗ JZ, 0 km/h	74 %	1030 hPa	0 mm
02:59	6.5 °C	↑ J, 0 km/h	74 %	1030 hPa	0 mm
03:29	6.4 °C	↑ J, 0 km/h	74 %	1030 hPa	0 mm
03:59	6.5 °C	↑ J, 0 km/h	74 %	1030 hPa	0 mm

Obr. 15: Poskytovaná data o počasí, měřena v lokalitě Praha-Krč

2.3.4 Parametry dopravního proudu

Parametry dopravního proudu jsou získávány ze strategických detektorů. Na sledované trase se nachází celkem pět detektorů a šestý se nachází v okolí trasy linky. Poloha je znázorněna na Obr. 16. Pět detektorů je bodových a jsou označeny bodem, který měří oba směry. Šestým zdrojem dat je lokalita úsekového měření, která je označena červeným pruhem (v každém směru zvlášť je instalována dvojice detektorů). Data o úsekovém měření jsou poskytována ve formátu XML (textový soubor se strukturou XML), data z bodových detektorů ve formátu CSV. Se soubory obou formátů je možné dále pracovat v Microsoft Excel.

V případě bodového měření se jedná o videodetekční systém a úsekové měření je zajišťováno na bázi párování snímků s identifikací registrační značky vozidla.



Obr. 16: Poloha detektorů. Zdroj podkladů: Operátor ICT



Obr. 17: Ukázka videodetektorů 4.

Úsekové měření

Jeden řádek v poskytovaném souboru odpovídá pětiminutovému intervalu měření. Každý řádek obsahuje 11 sloupců. První dva sloupce obsahují ID detektoru a jeho typ. Další dva obsahují údaj o začátku a konci měření ve formátu rrrr-mm-m hh:mm:ss

Zbylé sloupce obsahují naměřená data, všechna poskytována v celých číslech. Pokud se v některém z těchto sloupců objevuje hodnota -1, pak proběhla při měření chyba. Následujících pět sloupců obsahuje data o počtu zaznamenaných vozidel za daný časový interval. První sloupec obsahuje celkový počet, další slouží k rozdělení na kategorie:

- kategorie 0: Vyplněna pouze v případě, že nebylo možné určit kategorii. Pokud proběhlo měření správně, tento sloupec obsahuje hodnotu 0.
- kategorie 1: Osobní automobily
- kategorie 2 a 3: Nákladní automobily a autobusy

Předposlední sloupec obsahuje údaj o rychlosti v kilometrech za hodinu. Poslední sloupec je obsazenost detektoru, udávána v procentech. Ukázka takového souboru je na Obr. 18:

1	Detector id	Detector type	Time start	Time stop	Count all	Count class 0	Count class 1	Count class 2	Count class 3	Speed	Occupancy all
2	SDDU_PB-PO_2	SDDU	2019-04-08 00:00:00+02:00	2019-04-08 00:05:00+02:00	8	0	8	0	0	60	1
3	SDDU_PB-PO_2	SDDU	2019-04-08 00:05:00+02:00	2019-04-08 00:10:00+02:00	8	0	8	0	0	53	1
4	SDDU_PB-PO_2	SDDU	2019-04-08 00:10:00+02:00	2019-04-08 00:15:00+02:00	9	0	7	0	2	48	2
5	SDDU_PB-PO_2	SDDU	2019-04-08 00:15:00+02:00	2019-04-08 00:20:00+02:00	12	0	9	1	2	48	3
6	SDDU_PB-PO_2	SDDU	2019-04-08 00:20:00+02:00	2019-04-08 00:25:00+02:00	12	0	11	1	0	52	1
7	SDDU_PB-PO_2	SDDU	2019-04-08 00:25:00+02:00	2019-04-08 00:30:00+02:00	10	0	8	1	1	51	2
8	SDDU_PB-PO_2	SDDU	2019-04-08 00:30:00+02:00	2019-04-08 00:35:00+02:00	8	0	7	0	1	54	1
9	SDDU_PB-PO_2	SDDU	2019-04-08 00:35:00+02:00	2019-04-08 00:40:00+02:00	6	0	6	0	0	53	1
10	SDDU_PB-PO_2	SDDU	2019-04-08 00:40:00+02:00	2019-04-08 00:45:00+02:00	4	0	4	0	0	58	0
11	SDDU_PB-PO_2	SDDU	2019-04-08 00:45:00+02:00	2019-04-08 00:50:00+02:00	5	0	5	0	0	49	0
12	SDDU_PB-PO_2	SDDU	2019-04-08 00:50:00+02:00	2019-04-08 00:55:00+02:00	5	0	3	1	1	76	1
13	SDDU_PB-PO_2	SDDU	2019-04-08 00:55:00+02:00	2019-04-08 01:00:00+02:00	6	0	6	0	0	50	0
14	SDDU_PB-PO_2	SDDU	2019-04-08 01:00:00+02:00	2019-04-08 01:05:00+02:00	7	0	5	0	2	49	2
15	SDDU_PB-PO_2	SDDU	2019-04-08 01:05:00+02:00	2019-04-08 01:10:00+02:00	3	0	3	0	0	50	0
16	SDDU_PB-PO_2	SDDU	2019-04-08 01:10:00+02:00	2019-04-08 01:15:00+02:00	12	0	10	2	0	50	2
17	SDDU_PB-PO_2	SDDU	2019-04-08 01:15:00+02:00	2019-04-08 01:20:00+02:00	6	0	5	1	0	51	1

Obr. 18: Poskytovaná data z úsekového detektoru

Zkušební data z roku 2019 pro úsekové měření, zobrazená na Obr. 18 byla poskytnuta ze zdrojů ústavu K620 Fakulty dopravní ČVUT v Praze.

Z naměřených dat jsou do modelu importovány údaje o čase měření, počtu všech vozidel, rychlosti a obsazenosti detektorů.

Bodové měření

Bodové měření probíhá v pětiminutových intervalech. Jednomu měřenému intervalu odpovídá sedm řádků souboru. První tři řádky popisují rychlost, obsazenost a počet všech vozidel v daném jízdním pruhu, další dva řádky popisují počet vozidel a průměrnou rychlost osobních automobilů a poslední dva se věnují počtu a průměrné rychlosti nákladních automobilů.

Jednotlivé sloupce popisují ID detektoru, které obsahuje číslo a směr měření, začátek a konec měřeného intervalu ve formátu rrrr-mm-m hh:mm:ss, kategorie shodné s úsekovým měřením, měřené veličiny a hodnoty, id měření a kdy byla data exportována v již zmíněném časovém formátu. Ukázka dat ze souboru je na Obr. 19:

R501575-V2	10.06.2021 9:36	10.06.2021 9:41	1 occupancy	4	10.06.2021 11:45
R501575-V2	10.06.2021 9:36	10.06.2021 9:41	1 speed	60	10.06.2021 11:45
R501575-V2	10.06.2021 9:36	10.06.2021 9:41	2 count	17	10.06.2021 11:45
R501575-V2	10.06.2021 9:36	10.06.2021 9:41	2 speed	60	10.06.2021 11:45
R501575-V2	10.06.2021 9:36	10.06.2021 9:41	3 count	9	10.06.2021 11:45
R501575-V2	10.06.2021 9:36	10.06.2021 9:41	3 speed	60	10.06.2021 11:45
R501575-V2	10.06.2021 9:41	10.06.2021 9:46	1 count	25	10.06.2021 11:50
R501575-V2	10.06.2021 9:41	10.06.2021 9:46	1 occupancy	3	10.06.2021 11:50
R501575-V2	10.06.2021 9:41	10.06.2021 9:46	1 speed	63	10.06.2021 11:50
R501575-V2	10.06.2021 9:41	10.06.2021 9:46	2 count	19	10.06.2021 11:50
R501575-V2	10.06.2021 9:41	10.06.2021 9:46	2 speed	64	10.06.2021 11:50
R501575-V2	10.06.2021 9:41	10.06.2021 9:46	3 count	6	10.06.2021 11:50
R501575-V2	10.06.2021 9:41	10.06.2021 9:46	3 speed	60	10.06.2021 11:50
R501575-V2	10.06.2021 9:46	10.06.2021 9:51	1 count	30	10.06.2021 11:55
R501575-V2	10.06.2021 9:46	10.06.2021 9:51	1 occupancy	4	10.06.2021 11:55
R501575-V2	10.06.2021 9:46	10.06.2021 9:51	1 speed	64	10.06.2021 11:55
R501575-V2	10.06.2021 9:46	10.06.2021 9:51	2 count	23	10.06.2021 11:55
R501575-V2	10.06.2021 9:46	10.06.2021 9:51	2 speed	65	10.06.2021 11:55
R501575-V2	10.06.2021 9:46	10.06.2021 9:51	3 count	7	10.06.2021 11:55
R501575-V2	10.06.2021 9:46	10.06.2021 9:51	3 speed	62	10.06.2021 11:55

Obr. 19: Poskytovaná data z bodových detektorů

Z naměřených dat jsou do modelu importovány údaje o čase měření, počtu všech vozidel, rychlosti a obsazenosti detektorů.

2.4 Model

Výstupem predikčního modelu mají být hodnoty zpoždění v jednotlivých zastávkách linky 180.

Princip modelu vychází z posledního známého odjezdu spoje z libovolné zastávky. Následně je odhadováno zpoždění po jednotlivých zbývajících úsecích až k zastávce, pro kterou je zpoždění odhadováno. Během jízdy spoje je prováděna korekce dle skutečných hodnot příjezdů a odjezdů spoje z dalších zastávek a případných změn dalších vstupů do modelu. V případě, že spoj nevyjel, dochází k predikci pouze dle historických hodnot.

Podrobnost odhadů modelu je v intervalech 15 minut. Velikost časového okna byla zvolena z důvodu intervalů spojů ve slabších provozních obdobích tak, aby se v okně nacházel během pracovních dní pokaždé alespoň jeden spoj.

Aby to bylo možné, potřebujeme sledovat přírůstkové změny zpoždění podél trasy. Výpočet přírůstkového zpoždění t_{BA} mezi zastávkami B a A popisuje vzorec (4):

$$t_{BA} = t_B - t_A \quad (3)$$

Hodnota je počítána ze zpoždění t_A v zastávce A a t_B v zastávce B. Vzorce vycházejí z definic z kapitoly 1.1.

Přírůstkové zpoždění je možné vypočítat pro každý úsek na trase linky. Pokud je přírůstkové zpoždění t_{BA} kladné, pak v daném úseku narostlo zpoždění, případně vzniklo zpoždění či snížení nadjetí. Pokud je záporné, pak se zpoždění snížilo, případně vzniklo nebo se zvýšilo nadjetí. Přírůstkové zpoždění tvoří datový základ historického modelu změn zpoždění (přírůstkového zpoždění).

Odhadované zpoždění t je sumou odhadovaných přírůstkových zpoždění \widetilde{t}_{BAi} na trase linky sečtenou s posledním známým zastávkovým zpožděním spoje t_p . Index i odpovídá úseku mezi zastávkou s posledním známým odjezdem a zastávkou, kde dochází k odhadu. Index n odpovídá počtu odhadovaných úseků.

$$t = t_p + \sum_{i=1}^n \widetilde{t}_{BAi} \quad (4)$$

V případě, že není známo t_p , tak $t_p = 0$ a odhadované zpoždění t je tvořeno pouze sumou odhadovaných přírůstkových zpoždění.

Odhadované zpoždění se zaokrouhluje na celé minuty z důvodu zobrazení v dalších systémech. Odhadované zpoždění t se počítá jednotlivě pro každý spoj s tím, že hodnota může vycházet z modelu, který při výpočtech nemusí rozlišovat jednotlivé spoje.

Využití přírůstkového zpoždění na jednotlivých úsecích trasy místo zpoždění v zastávkách linky je dáno možností promítnout vliv různých faktorů. Rozdělení na dílčí úseky umožňuje přesnější odhad výsledného zpoždění a zohlednění různého vlivu faktorů v různých úsecích trasy.

Odhad predikčního modelu (hodnoty t_{BA} pro jednotlivé úseky na lince) je založen na

1. Historickém modelu změn zpoždění
2. Aktuálním stavu dopravy
3. Aktuálním stavu počasí

Historický model vychází z dat o historických hodnotách přírůstkového zpoždění. Pro jednotlivé směry je každému úseku přidělena průměrná hodnota přírůstkového zpoždění pro typický den za daný časový interval. Tyto hodnoty se mohou lišit dle jednotlivých dnů nebo sezónního období. V případě nedostatku dat z dalších zdrojů plní historický model změn zpoždění funkci predikčního modelu.

Aktuální stav dopravy ovlivňuje hodnoty změn zpoždění, a proto je jednou ze složek predikčního modelu. Parametry rychlosti a obsazenosti jsou vázány v určitém bodě či úseku, ovšem mohou mít vliv i na navazující (okolní) úseky.

Aktuální stav počasí také ovlivňuje výsledné zpoždění ve smyslu hustšího a pomalejšího provozu na trase, a tedy vyššího zpoždění v období srážek, na celou trasu. Oproti lokálním měřením dopravního provozu je v případě počasí uvažován globální (celoměstský) zdroj měření. Vliv srážek je možné zpozorovat i v parametrech stavu dopravy s očekávanou nižší rychlostí a vyšší obsazeností.

Hodnoty aktuálních stavů, jejich význam a využití popisují kapitoly 2.4.3 a 2.4.4.

2.4.1 Historický model zpoždění

Historický model zpoždění využívá data z předchozího provozu a pomocí nich stanovuje průměrnou změnu zpoždění ve všech mezizastávkových úsecích. Hodnota změny zpoždění t_{HM} je vypočítána dle vzorce:

$$t_{HM} = \sum_{i=1}^n t_{BAi} \quad (5)$$

kde t_{BAi} je hodnota přírůstkového zpoždění mezi dvěma určitými zastávkami a n je počet měřených týdnů. Jedná se tedy o aritmetický průměr všech naměřených změn zpoždění.

V rámci zpracování dat pro tvorbu historického modelu byly jednotlivé spoje rozděleny do 15minutových okének, pro které daná predikce vznikala. Časová poloha v modelu je určena dle platného jízdního řádu, nikoliv dle skutečného příjezdu. Jako typický den byl zvolen každý den týdne zvlášť a s ohledem na data z května a června roku 2021 nebyly zahrnuty sezónní vlivy. Srovnání jednotlivých dnů v týdnu je předmětem analýzy v kapitole 3.1.1

Data o zpoždění byla rozdělena do dvou souborů, jeden pro každý směr linky. Byly odstraněny provozní informace o oběhu, registrační značce a poznámkách, čas jízdy byl rozdělen na čas začátku a konce jízdy linky a byl přidán číselný údaj o dni, kde 1 znamená pondělí až 7 neděli. Také byly odstraněny řádky s chybějícími hodnotami zpoždění. Údaje o zpoždění ze zastávek byly upraveny tak, aby každý sloupec odpovídal jednomu konkrétnímu úseku linky a jednotlivé hodnoty zpoždění v zastávce byly převedeny na přírůstkové zpoždění dle vzorce (4). Ukázka upravených dat je na Obr. 20

Linka/spoj	Ve směru	Den	Čas	Jízdy	Odchyly spoje v zastávkách																										
180/3	Dejvická (ul. Šolínova)	6	8:03	8:40		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
180/5	Dejvická (ul. Šolínova)	6	9:48	10:25	1	0	1	0	0	-1	0	1	-1	0	1	0	0	0	-1	2	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2
180/7	Dejvická (ul. Šolínova)	6	12:01	12:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	-1	-1	-1	
180/9	Dejvická (ul. Šolínova)	6	14:01	14:40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2	
180/11	Dejvická (ul. Šolínova)	6	16:01	16:40	1	0	0	1	0	-1	1	0	-1	0	2	0	0	0	-1	1	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	-2	
180/13	Dejvická (ul. Šolínova)	6	18:01	18:40	1	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	-1	0	1	0	1	0	0	0	-1		
180/15	Dejvická (ul. Šolínova)	6	19:46	20:25	0	0	2	0	0	0	0	1	-1	0	1	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	
180/17	Dejvická (ul. Šolínova)	6	21:43	22:19	0	0	0	0	1	-1	0	1	-1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	-1	-1	
180/21	Dejvická (ul. Šolínova)	6	5:02	5:32		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	
180/23	Dejvická (ul. Šolínova)	6	6:38	7:12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	
180/25	Dejvická (ul. Šolínova)	6	8:18	8:55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	-1	-1		
180/27	Dejvická (ul. Šolínova)	6	10:16	10:55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	-1		
180/29	Dejvická (ul. Šolínova)	6	12:16	12:55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1	
180/31	Dejvická (ul. Šolínova)	6	14:16	14:55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	
180/33	Dejvická (ul. Šolínova)	6	16:31	17:10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	-1	1	-1	0	-1	0	2	0	0	0	0	0	-2		
180/35	Dejvická (ul. Šolínova)	6	18:16	18:55	0	0	0	0	3	0	1	-1	0	1	0	0	0	-1	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	
180/37	Dejvická (ul. Šolínova)	6	20:03	20:40	0	1	0	0	0	-1	0	1	-1	0	2	-1	0	0	-1	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	
180/39	Dejvická (ul. Šolínova)	6	4:21	4:32		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
180/41	Dejvická (ul. Šolínova)	6	5:18	5:52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
180/43	Dejvická (ul. Šolínova)	6	6:58	7:32	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	1	-1	
180/45	Dejvická (ul. Šolínova)	6	8:33	9:10	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	1	-1	1	0	0	0	0	0	0	-2		

Obr. 20: Upravená data o zpoždění

Data pro tvorbu historického modelu jsou použita z období, které začíná přechodem z prázdninového jízdního řádu na běžný provoz. Přechod proběhl 11. 5. 2021 z důvodu uvolnění opatření během pandemické situace. Koncem sledovaného období byla poslední neděle v červnu, tedy 27. 6. 2021, před začátkem letních prázdnin.

Pro tvorbu modelu a zpracování dat, včetně vstupů aktuálního stavu dopravy a počasí, byly využity programy MATLAB a Microsoft Excel.

2.4.2 Nastavení parametrů neuronové sítě

Neuronová síť slouží jako sekundární možnost pro tvorbu historického modelu. Využití neuronových sítí při tvorbě modelu se věnovala již kapitola 1.4.1.

Pro vyhodnocení dat z dopravy jsou vhodné LSTM sítě, které slouží ke zpracování časových řad. Jejich nejčastější využití je řešení klasifikačních a regresních úloh. [29]

V rámci programu MATLAB, rozšíření Deep Learning Toolbox, je možné vytvořit jednotlivé vrstvy sítě a nastavit jednotlivé vlastnosti. Příkaz `trainingoptions` umožňuje nastavení parametrů, jako například:

- Optimalizační algoritmus – na výběr Stochastický gradientní sestup (SGDM), RMSprop či Adam. Výběr optimalizačního algoritmu záleží na typu a velikosti vstupních dat
- Počet trénovacích epoch
- Velikost jednotlivých částí (mini-batch), po kterých nastává aktualizace koeficientů
- Počáteční míra učení – bez změny uživatelem je nastavena pro RMSprop a Adam na 0,001, pro SGDM 0,01
- Možnost zvyšování a snižování míry učení v průběhu tréninku

2.4.3 Vstup aktuálního stavu dopravy

Data o dopravním provozu na trase byla přiřazena k jednotlivým intervalům. Data ze strategických detektorů měla interval měření pět minut, pro přiřazení k jednotlivým spojům byla zprůměrována tři měření.

Operátorem ICT byla poskytnuta čerstvá data z detektorů 4, 5 a 6 zmíněných v kapitole 2.1. Detektory 1-3 nejsou Operátorem ICT zpracovávány. Data ze strategických detektorů začínají 7. 6. 2021 a končí shodně s historickým modelem. Detektor 4 ve směru na sever nenaměřil ve zkoumaném časovém úseku žádná data, z detektoru 5 byla získána data v obou směrech.

Pro další zpracování byly jako vstupní veličiny vybrány průměrná úseková rychlost a obsazenost. Obě veličiny dokážou podat informaci o stavu provozu na pozemní komunikaci. V případě vysoké průměrné rychlosti se vždy jedná o plynulý provoz, stejně tak u nízké obsazenosti detektorů. Naopak nízká průměrná rychlost a vysoká obsazenost může znamenat potenciální zdržení spoje. Z poskytnutých dat by bylo možné vypočítat i jiné dopravní veličiny, nabízí se intenzita dopravy. Ta však nemá sama o sobě vypovídající hodnotu. Nízká intenzita dopravy může nastat za plynulého provozu i během kongesce.

Data byla redukována z původních 6 řádků dat pro jeden měřený interval na jeden řádek pro měřený interval. Výsledky jednotlivých typů vozidel byly sečteny a byla vypočítána průměrná rychlost všech vozidel během měřeného intervalu z rychlosti a počtu vozidel. Také byly odstraněny sloupce s ID detektoru, datum začátku měřeného intervalu a exportování výsledků. Datum konce měřeného intervalu bylo převedeno pouze na údaj o čase ve formátu hh:mm:ss.

Ukázka výsledných upravených dat je v Tab. 13:

Tab. 13: Ukázka upravených dat z provozu

Čas	Rychlost 1. týden	Rychlost 2. týden	Rychlost 3. týden	Obsazenost 1. týden	Obsazenost 2. týden	Obsazenost 3. týden
12:22:00	60,25581	72,03084	67,97788	9,666667	9,333333	8,666667
12:27:00	60,1629	72,48696	68,29204	10	9,333333	8,666667
12:32:00	65,20548	72,34722	68,30556	8,666667	8,666667	8,333333
12:37:00	69,02183	72,54113	69,71889	8,333333	9,333333	8,333333
12:42:00	70	77,08772	68,17917	8,666667	9,666667	9,333333
12:47:00	70,32766	74,80165	69,68571	8,666667	10,33333	9,333333
12:52:00	69,68421	69,74107	67,34902	9	9,333333	10
12:57:00	69,5782	73,77729	67,02811	8,333333	8,666667	10
13:02:00	65,86667	74,9	65,94961	9	8,333333	11
13:07:00	50,11005	78,0123	66,60526	14,66667	9,666667	11,33333

Rychlost je uvedena v km/h, obsazenost v %.

2.4.4 Vstup aktuálního stavu počasí

Data o počasí byla získána ze zdroje [15] popsaného v kapitole 2.3.3.

Webová data byla exportována do Excelu, načítané veličiny byly redukovány pouze na číselné hodnoty a upraveny z desetinných teček na čárky. Dále byl přidán sloupec s intervaly, který sloužil pro třídění dat do 15minutových oken. Čas intervalu odpovídá polovině času mezi jednotlivými měřeními, aby byl rozdíl mezi časem měření a časem intervalu co nejnižší.

Data o počasí na trase byla přiřazena k jednotlivým intervalům. Období měření vstupních dat o stavu počasí pochází z časového úseku shodného s historickým modelem, tedy od 11.5. 2021 do 27.6. 2021. Ukázka upravených dat je v Tab. 14:

Tab. 14: Ukázka upravených dat o počasí

Čas intervalu	Čas měření	Teplota	Vítr	Vlhkost	Tlak	Srážky
5:45	6:00	2,3 °C	JZ, 0 km/h	97%	1012 hPa	0
6:15	6:30	2,3 °C	JZ, 0 km/h	97%	1013 hPa	0
6:45	6:59	2,3 °C	JZ, 0 km/h	97%	1013 hPa	0
7:15	7:30	2,3 °C	JZ, 0 km/h	97%	1013 hPa	0,2
7:45	8:00	2,3 °C	JZ, 0 km/h	97%	1013 hPa	0,2
8:15	8:30	2,3 °C	JZ, 0 km/h	97%	1013 hPa	0,2
5:45	6:00	2,3 °C	JZ, 0 km/h	97%	1012 hPa	0
6:15	6:30	2,3 °C	JZ, 0 km/h	97%	1013 hPa	0
6:45	6:59	2,3 °C	JZ, 0 km/h	97%	1013 hPa	0
7:15	7:30	2,3 °C	JZ, 0 km/h	97%	1013 hPa	0,2

Jako vstupní veličina jsou uvažovány pouze srážky. Vlhkost, tlak ani vítr nemají běžně vliv na zvýšení poptávky po VHD, resp. IAD, nebo na délku jízdy. U teploty by bylo možné předpokládat vliv na chování cestujících. Vzhledem k vlivu času na teplotu by mohlo docházet k falešné korelaci s časem, která by mohla negativně ovlivňovat výstup modelu.

2.4.5 Závislost zpoždění na vstupech

Důležitou částí při tvorbě modelu je nalezení závislosti mezi vstupními veličinami a výstupem (změnou zpoždění). Závislost je hledána v konkrétních úsecích linky, mezi rychlostí a změnou zpoždění, obsazeností a změnou zpoždění, srážkami a změnou zpoždění.

V případě dopravních dat je závislost hledána nejen v úsecích, na kterých se nachází detektor, ale i v okolních úsecích, kde se detektor nenachází. V případě počasí je uvažováno jedno místo měření relevantní pro celou trasu, ovšem vliv na výsledné přírůstkové zpoždění se může lišit v různých úsecích.

V rámci zachycení vlivu sledovaných veličin je možné specifikovat pouze určité časové oblasti nebo určité hodnoty. Například u počasí je vhodné zkoumat úseky s naměřenými srážkami, u dopravních dat je možné specifikovat pouze změny během dopravní špičky nebo naopak během večerních hodin. Stejně tak je možné se zaměřit na specifické dny v týdnu.

Vliv srážek se bere jako dílčí rozdělení historického modelu na stav s deštěm a bez deště. Za stavu bez deště není vliv srážek nijak uvažován. V případě uvažování tohoto vstupu lze relevantní změnu zpoždění vypočítat na základě průměrné hodnoty zpoždění dle vzorce:

$$t_{Si} = \sum_{i=1}^n t_{BA Si} \quad (6)$$

kde $t_{BA Si}$ je hodnota změny zpoždění, ke které došlo během vyšší srážkové intenzity.

Vliv rychlosti a obsazenosti je dán korelační křivkou měřených hodnot s hodnotami změn zpoždění. V případě uvažování tohoto vstupu lze relevantní změnu zpoždění vypočítat na základě regresní křivky. Lineární regresní křivku je možné popsat dle následujících vzorců:

$$t_{Vi} = a * v + b \quad (7)$$

$$t_{Oi} = a * \kappa + b \quad (8)$$

kde v je průměrná úseková rychlost a κ je obsazenost v procentech. Koeficienty a , b jsou dány dle parametrů na jednotlivých úsecích a věnuje se jim kapitola 3.4.

2.4.6 Sestavení odhadu

Vyhodnocení odhadu predikčního modelu je zajištěno sloučením výsledků z historického modelu změn zpoždění a výsledků korelačních závislostí. Pro úseky, kde není žádná korelace zjištěna, je výstupem predikčního modelu pouze výstup historického modelu.

Hodnoty budou naladěny na základě vyhodnocení modelu s reálnou situací. Metoda vyhodnocení bude posouzena dle výsledků korelace.

Vztah pro výpočet úsekové změny zpoždění v případě zjištěné korelace s dopravou nebo počasím se dá zapsat pomocí vzorce (9):

$$t_{BA} = t_{HM} * w_{HM} + \sum_{i=1}^n t_{Vi} * w_{Vi} + \sum_{i=1}^n t_{Oi} * w_{Oi} + t_S * w_S \quad (9)$$

$$w_{HM} + \sum_{i=1}^n w_{Vi} + \sum_{i=1}^n w_{Oi} + w_S = 1$$

kde t_{HM} je zpoždění z historického modelu, t_{Di} je zpoždění dle dopravní situace určené z n detektorů a t_S je zpoždění dle srážek.

Koeficienty w jsou váhy jednotlivých vstupů. Hodnoty jednotlivých koeficientů se liší v jednotlivých úsecích a v čase. Jsou závislé na získaných hodnotách korelačního koeficientu. V případě, že jsou k dispozici pouze data z historického modelu, je hodnota w_{HM} rovna 1 a ostatní koeficienty mají hodnotu 0.

Korelační koeficienty budou v úvodním kroku zjišťovány pro typická období a pro všechny časové intervaly a úseky linky.

3 Implementace

3.1 Vstupy dat

Jak již bylo zmíněno v kapitole 2.4.1, operační interval dat je od 11. 5. 2021 do 27. 6. 2021. Data ze dnů 28. 6. 2021–30. 6. 2021 slouží pro validaci modelu.

Data jsou rozdělena do jednotlivých týdnů. Intervaly pro jednotlivé dny začínají ve 4:30 z důvodu výjezdu prvního spoje.

Intervaly byly získány v programu MATLAB pomocí for cyklů, které porovnávaly čas jízdy a horní mez intervalu. Jízda spoje byla přiřazena k intervalu, pokud byla horní mez vyšší než čas jízdy. Stejný algoritmus byl použit i pro data z meteostanice. Data o dopravě byla z důvodů nekompletních dat zpracována autorem a následně zprůměrována v Excelu příkazem PRŮMĚR.

Jedno 15minutové okno tedy obsahuje čas začátku intervalu, průměrnou změnu zpoždění všech spojů za interval, počet spojů obslužených během intervalu, teplotu, srážky, obsazenost a průměrnou rychlost na detektorech. Výsledné intervaly byly vyexportovány do Excel souborů po jednotlivých zastávkách se samostatnými soubory pro dopravní data a počasí.

Následující tabulky ukazují formát jednotlivých vstupů. V Tab. 15 se nacházejí data o změnách zpoždění z úseku Na Petynce – Kajetánka ze dne 14. 6. v dopoledne. Sloupec „Počet spojů“ slouží k analýze spolehlivosti, které se věnuje kapitola 5 a do modelu nevstupuje. Jednotlivé změny zpoždění jsou uvedeny v minutách, jelikož data z provozu jsou poskytována pouze v celých minutách.

Tab. 15: Ukázka zpracovaných dat o zpoždění

Čas	Změna zpoždění	Počet spojů
11:45:00	0,5	2
12:00:00	2	1
12:15:00	2	1
12:30:00	1	1
12:45:00	2	2
13:00:00	2	1
13:15:00	1	2
13:30:00	1,5	2
13:45:00	2	1

Tab. 16 ukazuje část výstupů z historického modelu. Jedná se o data pro pondělí dopoledne. Pro každý úsek je stanovena hodnota predikovaného úsekového zpoždění. Pro přehlednost nebyly uvedeny všechny hodnoty, kompletní tabulka obou směrů se nachází v příloze číslo 5.

Tab. 16: Ukázka predikovaných zpoždění z historického modelu

Úsek	7:00	7:15	7:30	7:45	8:00	8:15	8:30	8:45	9:00	9:15
Dejvická	-0,05	-0,05	0,16	0,21	0,09	-0,05	-0,06	0,09	0,23	0,08
Dejvická – Kafkova	0,00	0,05	0,57	0,43	0,36	0,64	0,43	0,29	0,43	0,14
Kafkova – Prašný most	0,00	0,07	-0,24	-0,29	-0,14	-0,43	0,00	0,14	0,14	-0,07
Prašný most – Vozovna Střešovice	0,10	0,07	0,33	0,07	0,07	0,29	0,36	0,43	0,14	0,14
Vozovna Střešovice – Na Petynce	-0,07	0,00	0,00	0,00	-0,14	0,14	0,00	-0,36	0,14	-0,14
Na Petynce – Kajetánka	0,79	1,48	1,71	1,57	1,50	2,36	1,71	1,79	1,57	1,29
Kajetánka – Břevnovská	0,14	0,14	0,21	0,21	0,07	0,07	0,14	0,00	0,14	-0,14
Břevnovská – Vypich	-0,21	-0,38	-0,07	0,10	-0,36	0,43	0,14	0,00	-0,21	0,29
Vypich – Kukulova	0,50	0,00	0,10	-0,07	0,07	0,29	0,29	0,29	0,00	0,00
Kukulova – Šafránecká	0,29	0,29	0,19	0,14	0,26	0,43	0,29	0,14	0,14	0,14
Šafránecká – Nemocnice Motol	-0,71	-0,50	-0,67	-0,64	-0,79	-0,86	-1,00	-0,93	-0,71	-1,00
Nemocnice Motol – Motol	-0,29	-0,05	-0,21	-0,33	-0,14	-0,50	-0,43	-0,36	-0,14	-0,14
Motol – Krematorium Motol	0,36	0,79	0,24	0,64	0,45	0,50	0,57	0,43	0,43	0,86
Krematorium Motol – Hlušičkova	0,00	0,21	0,33	0,14	0,14	0,64	0,14	0,71	0,14	0,14
Hlušičkova – Slánská	-0,02	-0,29	-0,36	-0,50	-0,64	-0,50	-0,50	-0,71	-0,36	-0,29
Slánská – Blatiny	0,07	0,52	0,36	0,48	0,29	0,36	0,43	0,29	0,36	0,29
Blatiny – Sídliště Řepy	0,14	0,05	0,00	-0,05	0,07	-0,14	0,07	0,00	-0,07	0,14
Sídliště Řepy – Strojírenská	0,07	1,00	0,24	0,14	0,19	0,79	0,00	-0,07	-0,14	0,43
Strojírenská – Halenkovská	-0,57	-0,10	0,02	-0,36	-0,21	-0,45	-0,43	-0,43	-0,43	-0,57

Halenkovská – Sídliště Zličín	0,50	0,36	0,36	0,57	0,43	0,48	0,29	0,43	0,43	0,57
Sídliště Zličín – Zličín	-0,36	-0,07	-0,05	-0,07	-0,05	0,00	-0,57	-0,29	-0,29	-0,57
Zličín – OC Zličín	-1,00	-1,57	-1,43	-1,14	-1,79	-1,86	-1,00	-1,43	-1,29	-1,21

Tab. 17 ukazuje zpracovaná data z dopravního detektoru 4 ve středu 9. 6., 16. 6. a 23. 6. v daných časových intervalech. Rychlost je uvedena v km/h, obsazenost v %.

Tab. 17: Ukázka zpracovaných dat z dopravy

Čas	Rychlost 1. týden	Obsazenost 1. týden	Rychlost 2. týden	Obsazenost 2. týden	Rychlost 3. týden	Obsazenost 3. týden
15:45:00	62,93	13,78	61,35	13,89	68,70	9,44
16:00:00	65,64	12,00	67,90	11,33	65,63	10,44
16:15:00	63,16	11,67	64,34	10,33	67,62	10,00
16:30:00	62,03	10,44	64,20	10,11	67,81	10,11
16:45:00	58,59	9,22	68,04	7,89	68,82	8,78
17:00:00	66,53	7,22			72,04	6,89
17:15:00	67,64	7,22			67,16	7,33
17:30:00	66,17	6,33	68,07	6,78	69,01	6,44
17:45:00	70,10	6,00	69,9	5,67	69,76	5,44
18:00:00	73,18	5,00	69,73	5,78	71,93	5,00

Tab. 18 ukazuje data o počasí. Nachází se zde teplota ve °C a srážky v milimetrech. Zobrazená data jsou z 21. 6., což je den s největším množstvím naměřených srážek během sledovaného intervalu.

Tab. 18: Ukázka zpracovaných dat z počasí

Čas	Teplota	Srážky
6:45:00	17,2	30,6
7:00:00	17,4	30,6
7:15:00	17,4	30,6
7:30:00	17,6	30,6
7:45:00	17,6	30,6
8:00:00	18,6	30,6
8:15:00	18,6	30,6
8:30:00	19,2	30,6
8:45:00	19,2	30,6
9:00:00	19,9	30,6

3.1.1 Neuronová síť

Jako alternativní metoda oproti aritmetickému průměru pro tvorbu historického modelu slouží neuronová síť s parametry blíže popsány v kapitole 2.4.2.

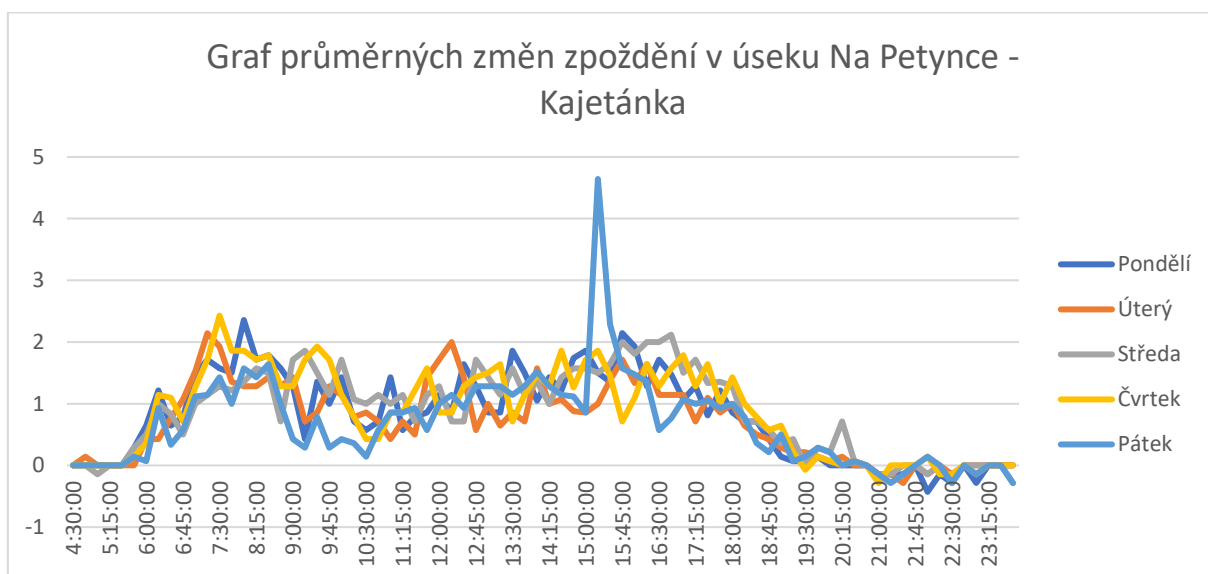
Navržená síť se skládá ze čtyř vrstev: vrstva vstupů, LSTM vrstva se zadaným počtem jednotek, propojené vrstvy a regresní vrstvy. Parametry neuronové sítě byly dle výsledků testování vybrány:

- Optimalizační algoritmus Adam
- Počáteční míra učení 0,005
- 250 trénovacích epoch
- Rozdělení dat na části(mini-batch) o 64 prvcích
- Jedno promíchání dat na začátku učení
- Snížení míry učení po 125 epochách, velikost snížení o 0,2násobek

3.2 Analýza zpoždění v jednotlivých dnech v týdnu

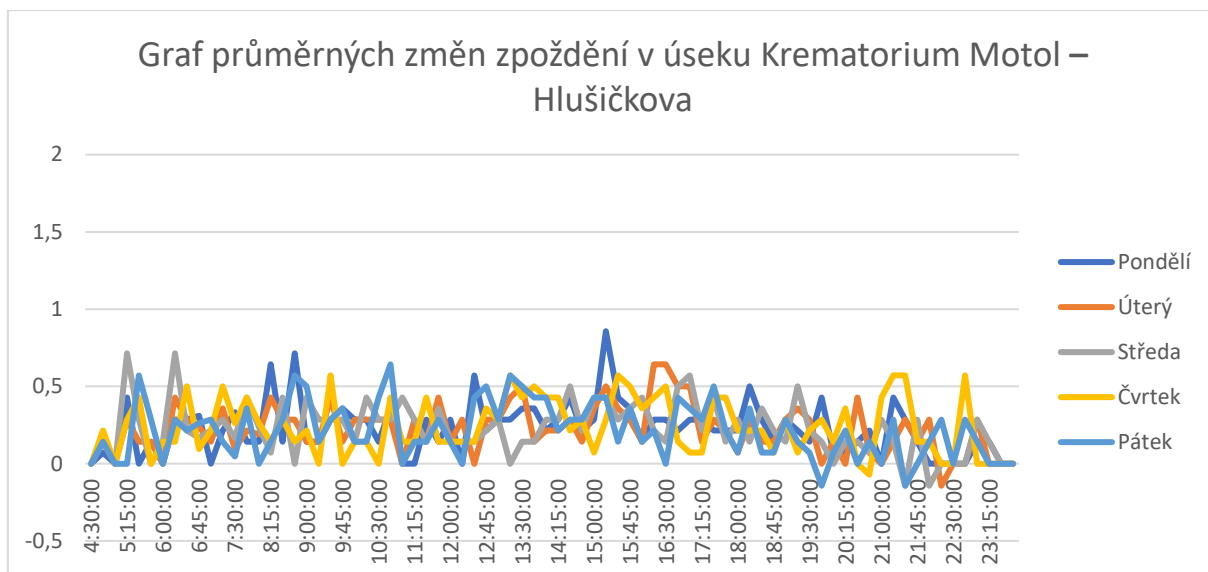
Pro potřeby modelu byla data rozdělena na jednotlivé dny. Jak ukazují následující grafy průměrných změn zpoždění z celého sledovaného období, změna přírůstkového zpoždění v jednotlivých úsecích se během pracovních dní mírně mění.

Na úsecích s vyššími změnami zpoždění, jako je například úsek Na Petynce – Kajetánka zobrazený na Obr. 21, rozdíl hodnot z jednotlivých dní v týdnu může přesáhnout minutu v ranní i odpolední špičce.



Obr. 21 Úseková změna zpoždění v jednotlivých pracovních dnech

Pokud jsou úsekové změny zpoždění blízké nule, jako například v úsecu Krematorium Motol – Hlušičkova, pak ani rozdíly mezi dny nemohou být příliš výrazné. Tento úsek, zobrazený na Obr. 22, se nachází ve směru na Sídliště Řepy a je zde možné spatřit mírný páteční nárůst zpoždění, zejména pak v odpoledních až večerních hodinách.



Obr. 22 Úseková změna zpoždění v jednotlivých pracovních dnech

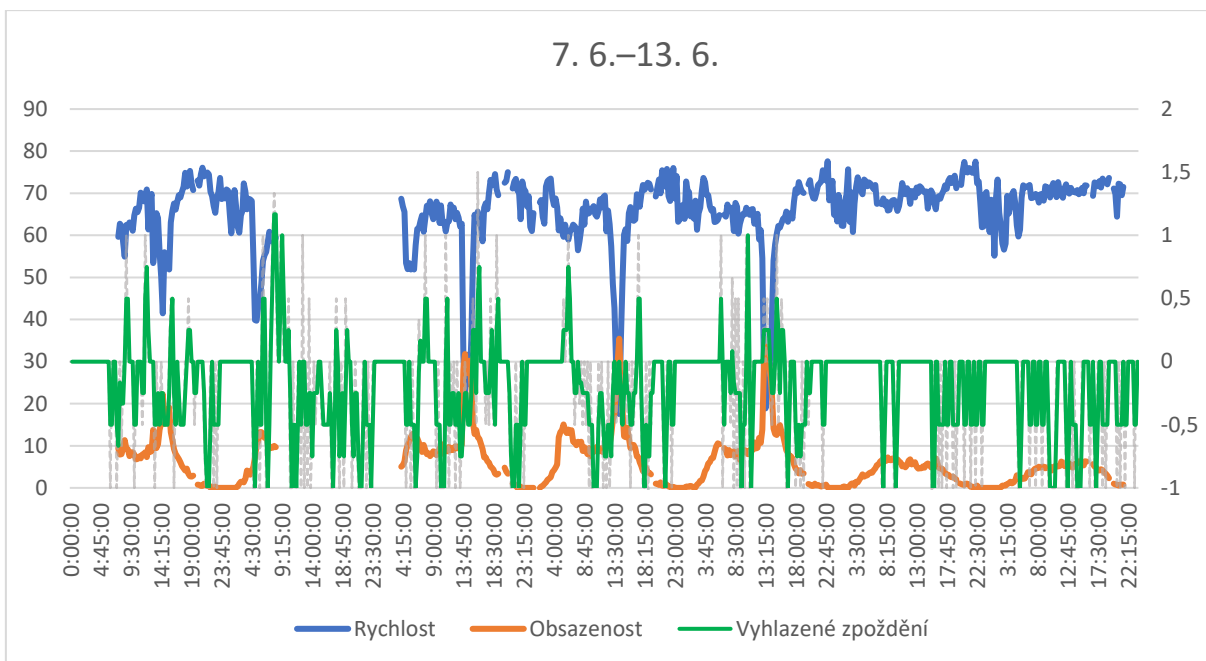
V rámci modelu se budou rozlišovat jednotlivé dny v týdnu. Zejména pak z důvodu výrazných rozdílů v hodnotách změn zpoždění jako na Obr. 21 ,neboť podobné rozdíly nastávají i u jiných úseků. Ve druhém případě sice nemusí nastat výrazné zpřesnění modelu díky rozlišení dní, nicméně je vhodné využít univerzální metodu na všechny úseky dané linky.

3.3 Analýza vstupů a jejich vztah se zpožděním v časové ose

Tato kapitola se věnuje orientačnímu přehledu vstupů z dopravních detektorů a meteostanice a jejich vlivu v čase na změny zpoždění.

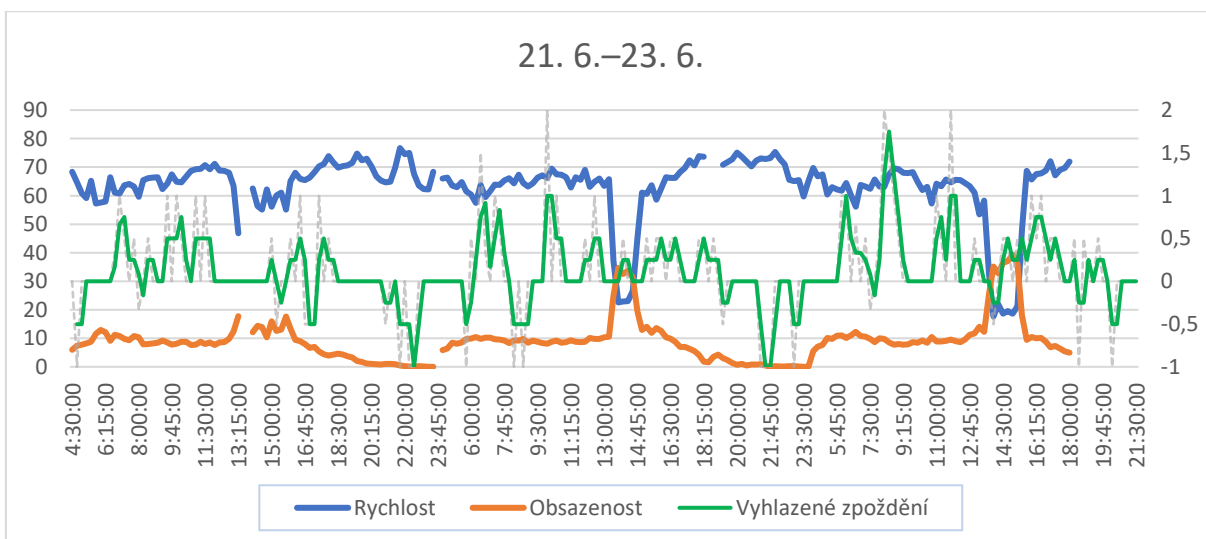
3.3.1 Rychlost a obsazenost

Na úseku Kukulova – Šafránecká v týdnu 7. 6.–13. 6. je možné spatřit nárůst zpoždění, jak ukazuje Obr. 23, pokud průměrná rychlost klesne pod 40 km/h nebo obsazenost detektoru přeroste 10 %.



Obr. 23 Závislost změny zpoždění na rychlosti

Obr. 24 ukazuje stejný úsek ve dnech 21. 6.–23. 6. s podobným chováním jako na předchozím grafu. Nárůst změny zpoždění koresponduje s poklesem rychlosti a s nárůstem obsazenosti.

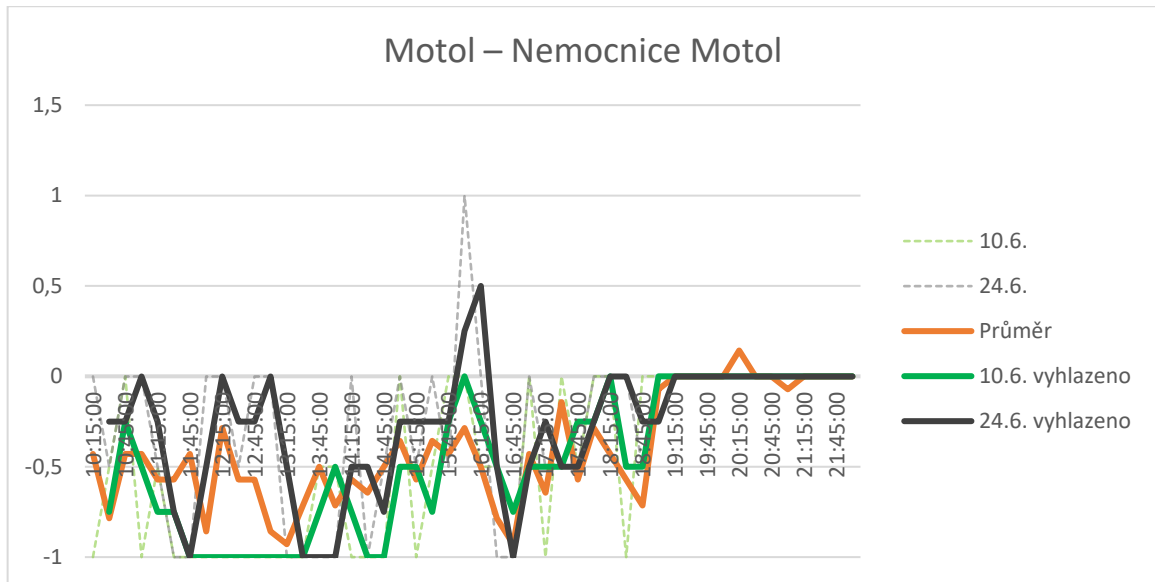


Obr. 24 Závislost změny zpoždění na rychlosti

Na grafech je možné ve všech případech spatřit nárůst změn zpoždění jak během, tak po zhoršení dopravní situace. K výkyvům ve změnách zpoždění dochází i během plynulého provozu z důvodů nezávislých na dopravní situaci. Matematický popis závislosti nabízí kapitola 3.4.

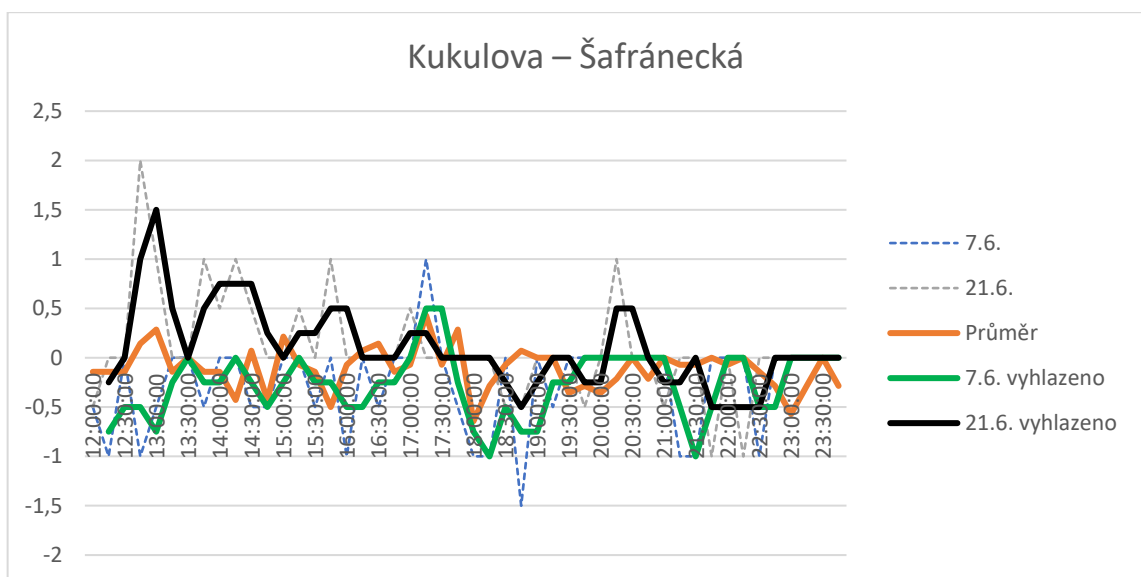
3.3.2 Srážky

Obr. 25 ukazuje rozdíl mezi průměrnou hodnotou změny zpoždění a hodnotou pro nízké srážky, znázorněné zelenou barvou, a husté srážky, znázorněné černou barvou. Na úseku Motol – Nemocnice Motol je možné spatřit mírný nárůst v odpoledních a večerních hodinách při hustém dešti.



Obr. 25 Závislost změny zpoždění na srážkách v úseku Motol – Nemocnice Motol

Na úseku Kukulova – Šafránecká je možné pozorovat významný nárůst změn zpoždění u vysokých srážek. Jak ukazuje Obr. 25, oproti průměrným hodnotám jsou ranní hodnoty změny zpoždění výrazně vyšší.



Obr. 26 Závislost změny zpoždění na srážkách v úseku Kukulova-Šafránecká

Z uvedených grafů je patrné, že existuje vztah mezi vysokými srážkami a změnou zpoždění. Pro nižší úroveň srážek se podobná závislost nedá určit. Tyto grafy tak potvrzují, že vhodným řešením je rozlišit stav s vyššími přeháňkami a bez nich.

3.4 Závislost zpoždění na vstupech

Cílem kapitoly je identifikovat závislost změn zpoždění na rychlosti a obsazenosti detektorů, zároveň za pomoci matematických vztahů identifikovat funkční vztah mezi sledovanými veličinami. Přítomnost závislosti je určena pomocí korelačních koeficientů. V případě, že bude zjištěna relevantní závislost, bude vytvořena regresní křivka pro výpočet hodnot změn zpoždění.

Korelační koeficienty jsou získány pomocí funkce `corrcoef(X,'rows', 'complete')` v programu MATLAB, kde X je vektor změn zpoždění na daném úseku a naměřených hodnot rychlostí či obsazeností. Funkce zajišťuje, že korelace bude zjišťována pouze v neprázdných časových intervalech.

Uvažujeme data z jednoho typického dne. Kdyby byly využity kratší úseky, například pouze úsek ranní a odpolední špičky, je možné, že přesnost bude vyšší. Byla by však potřeba data z delšího časového úseku.

Koeficienty pro jednotlivé úseky jsou v Tab. 19. Jednotlivé řádky jsou tvořeny jednotlivými úseky linky 180. Sloupce jsou tvořeny korelačními koeficienty pro rychlost a obsazenost získanou z jednotlivých detektorů popsaných v kapitole 2.4.3.

Tab. 19: Korelační koeficienty

Popis úseku	R4	O4	R5 V	O5 V	R5 Z	O5 Z	R6	O 6
Dejvická	0,004	0,050	0,019	0,133	0,077	0,105	0,079	0,085
Dejvická – Kafkova	0,058	0,146	0,004	0,221	0,157	0,180	0,076	0,126
Kafkova – Prašný most	0,111	0,238	0,055	0,290	0,253	0,218	0,019	0,029
Prašný most – Vozovna Střešovice	0,015	0,075	0,008	0,100	0,066	0,039	0,001	0,037
Vozovna Střešovice – Na Petynce	0,034	0,103	0,025	0,171	0,117	0,136	0,090	0,094
Na Petynce – Kajetánka	0,150	0,280	0,164	0,441	0,402	0,347	0,052	0,050
Kajetánka – Břevnovská	0,119	0,215	0,055	0,212	0,181	0,170	0,024	0,078
Břevnovská – Vypich	0,050	0,106	0,007	0,164	0,172	0,082	0,034	0,003
Vypich – Kukulova	0,058	0,104	0,074	0,135	0,121	0,144	0,053	0,010
Kukulova – Šafránecká	0,018	0,155	0,035	0,252	0,125	0,209	0,027	0,024

Šafránecká – Nemocnice Motol	0,214	0,349	0,230	0,461	0,428	0,360	0,069	0,117
Nemocnice Motol – Motol	0,079	0,158	0,006	0,190	0,137	0,147	0,052	0,034
Motol – Krematorium Motol	0,099	0,157	0,010	0,197	0,165	0,141	0,052	0,058
Krematorium Motol – Hlušičkova	0,114	0,184	0,051	0,186	0,128	0,167	0,015	0,013
Hlušičkova – Slánská	0,032	0,010	0,024	0,049	0,026	0,059	0,037	0,037
Slánská – Blatiny	0,093	0,153	0,072	0,211	0,182	0,166	0,040	0,047
Blatiny – Sídliště Řepy	0,016	0,009	0,002	0,032	0,020	0,035	0,014	0,003
Sídliště Řepy – Strojírenská	0,046	0,093	0,021	0,078	0,015	0,060	0,034	0,050
Strojírenská – Halenkovská	0,149	0,298	0,105	0,356	0,313	0,314	0,005	0,043
Halenkovská – Sídliště Zličín	0,102	0,196	0,070	0,226	0,215	0,188	0,004	0,030
Sídliště Zličín – Zličín	0,030	0,012	0,007	0,036	0,002	0,015	0,028	0,036
Zličín – OC Zličín	0,083	0,226	0,078	0,306	0,266	0,236	0,007	0,011
OC Zličín	0,037	0,002	0,042	0,073	0,048	0,064	0,050	0,066
OC Zličín – Zličín	0,110	0,129	0,161	0,197	0,301	0,190	0,041	0,054
Zličín – Sídliště Zličín	0,134	0,244	0,037	0,304	0,200	0,222	0,039	0,061
Sídliště Zličín – Halenkovská	0,108	0,200	0,113	0,237	0,205	0,192	0,013	0,040
Halenkovská – Strojírenská	0,007	0,071	0,069	0,138	0,073	0,129	0,023	0,012
Strojírenská – Sídliště Řepy	0,150	0,309	0,189	0,444	0,394	0,348	0,032	0,076
Sídliště Řepy – Blatiny	0,052	0,067	0,041	0,061	0,037	0,048	0,016	0,016
Blatiny – Slánská	0,003	0,082	0,018	0,131	0,139	0,094	0,021	0,026
Slánská – Hlušičkova	0,027	0,024	0,047	0,009	0,008	0,010	0,002	0,020
Hlušičkova – Krematorium Motol	0,024	0,022	0,022	0,017	0,015	0,006	0,026	0,008
Krematorium Motol – Motol	0,062	0,131	0,126	0,189	0,199	0,188	0,031	0,081
Motol – Nemocnice Motol	0,185	0,295	0,279	0,407	0,403	0,380	0,049	0,105
Nemocnice Motol – Šafránecká	0,020	0,028	0,045	0,059	0,055	0,050	0,027	0,030
Šafránecká – Vypich	0,116	0,194	0,123	0,238	0,224	0,200	0,029	0,073
Vypich –	0,006	0,065	0,084	0,126	0,158	0,120	0,025	0,029

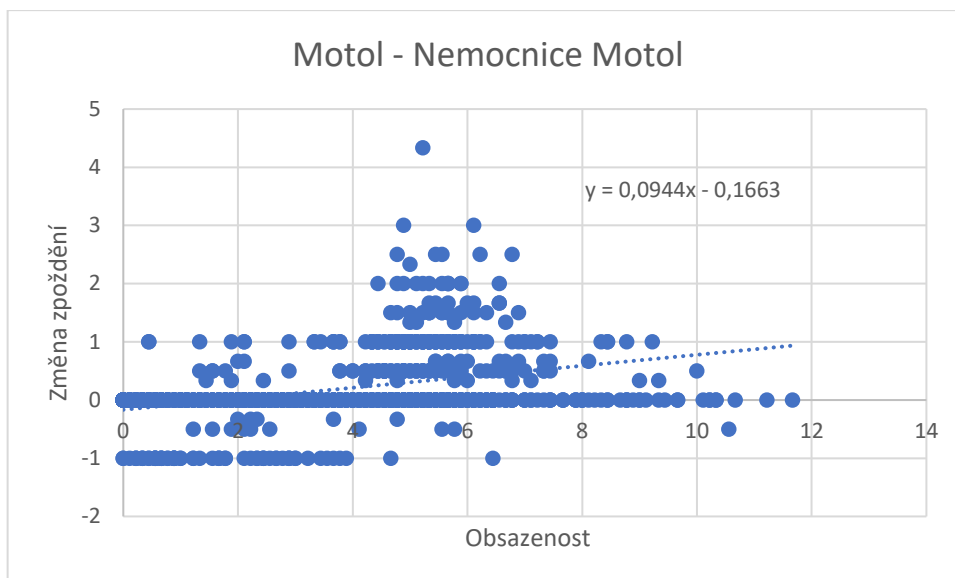
Břevnovská								
Břevnovská – Kajetánka	0,118	0,215	0,049	0,290	0,217	0,238	0,028	0,042
Kajetánka – Na Petynce	0,110	0,197	0,064	0,272	0,213	0,217	0,084	0,077
Na Petynce – Vozovna Střešovice	0,062	0,096	0,011	0,101	0,090	0,092	0,034	0,047
Vozovna Střešovice – Prašný most	0,184	0,250	0,132	0,291	0,236	0,235	0,029	0,044
Prašný most – Vítězné náměstí	0,001	0,003	0,046	0,100	0,078	0,104	0,035	0,041
Vítězné náměstí – Dejvická	0,085	0,173	0,094	0,249	0,210	0,237	0,014	0,010

Sloupce jsou označeny číslem jednotlivých detektorů a označením pro rychlost (R) nebo obsazenost (O). V případě detektoru 5 je uvedeno, zda se jedná o měření směrem na východ či západ. U ostatních detektorů se vždy jedná o měření směrem na jih.

Pro nízké hodnoty korelace budou korelační koeficienty zaokrouhleny na 0. Pro další zpracování se budou uvažovat pouze úseky s vyšším koeficientem než 0,4.

Data z detektorů 4 a 6 tedy nebudou využita v žádném úseku. Detektor 5 ve směru na západ bude využitý ve čtyřech případech, ve směru na východ ve třech případech.

Pro těchto sedm případů byla vytvořena regresní křivka vztahu změny zpoždění a obsazenosti nebo rychlosti. Ukázka závislosti v úseku Motol – Nemocnice Motol je na Obr. 27:



Obr. 27: Graf závislosti obsazenost – změna zpoždění

Se stoupající obsazeností roste na tomto úseku i změna zpoždění. Seznam všech rovnic je v Tab. 20:

Tab. 20: Regresní křivky pro vztah změny zpoždění a dat z detektoru 5

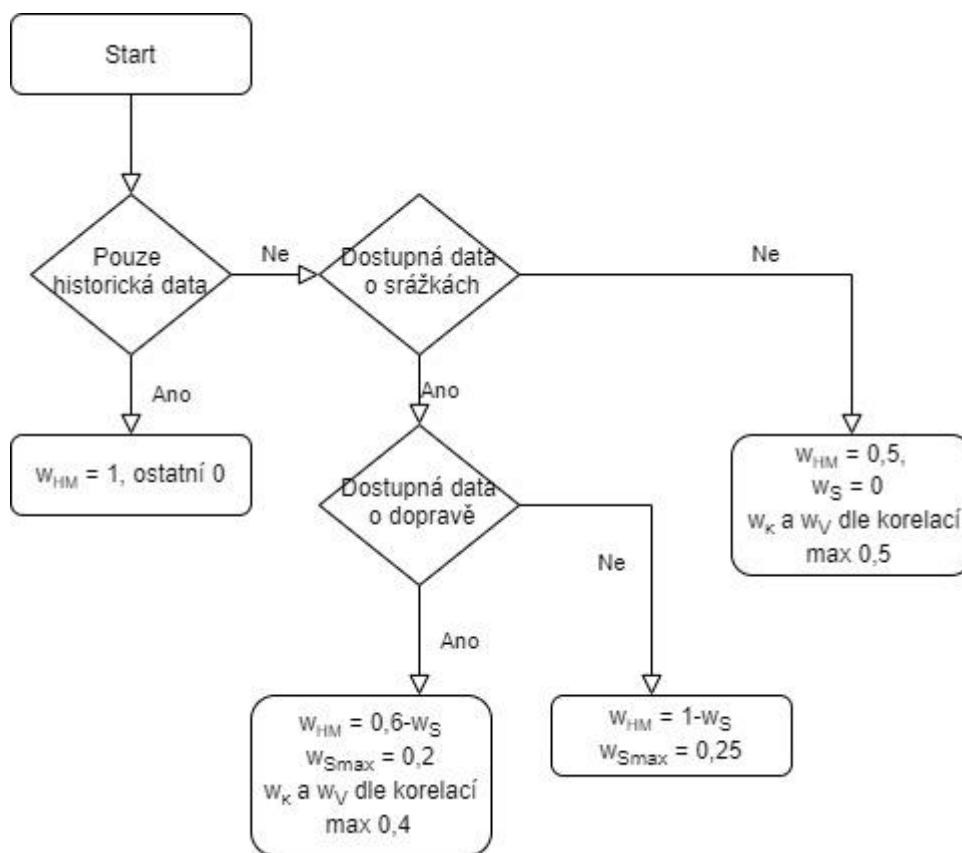
Popis úseku	Koeficient	Veličina	Rovnice
Motol – Nemocnice Motol	0,403	Rychlost	$t_{BA} = -0,0466v + 3,1481$
Šafránecká – Nemocnice Motol	0,428	Rychlost	$t_{BA} = 0,0244v - 1,804$
Na Petynce – Kajetánka	0,441	Rychlost	$t_{BA} = -0,0438v + 3,4078$
Motol – Nemocnice Motol	0,407	Obsazenost	$t_{BA} = 0,0944k - 0,1663$
Šafránecká – Nemocnice Motol	0,461	Obsazenost	$t_{BA} = -0,0588k - 0,0338$
Na Petynce – Kajetánka	0,402	Obsazenost	$t_{BA} = 0,1362k + 0,1161$
Strojírenská – Sídliště Řepy	0,444	Obsazenost	$t_{BA} = -0,1089k - 0,1826$

Těchto sedm vztahů pro výpočet úsekového zpoždění bude dosazeno do finálového odhadu úsekového zpoždění pro dané úseky.

Vliv srážek na velikost změny zpoždění je možné určit na celé trase linky. Hodnota t_{si} je získána z dat ovlivněnými vyšším množstvím srážek. Jelikož není pokrytí všech dní v týdnu, budou hodnoty zprůměrovány a z nich vytvořen typický dešťový den. Celkem se jedná o tři dny: 11. 5. (úterý), 22. 6. (úterý) a 24. 6. (čtvrtek).

3.5 Slučování

Pro slučování jednotlivých vah a odhadů zpoždění z různých zdrojů je použit vzorec z kapitoly 2.4.6. Přidělování jednotlivých vah je uvedeno na diagramu Obr. 28:



Obr. 28: Diagram přidělování vah

Pro hodnoty w_K a w_V se uvažují všechny vhodné kombinace detektorů a veličin, tedy takové, kde korelace se změnou zpoždění ve sledovaném úseku je minimálně 0,4. Pokud taková vhodná kombinace existuje alespoň jedna, tak platí, že celková váha dat z detektorů pro tento úsek bude 0,5. Dílčí rozdělení této váhy pro jednotlivé vhodné kombinace detektorů a veličin bude v poměru korelačních koeficientů pro tyto kombinace.

Pokud úsek není ovlivňován naměřenými hodnotami z dopravních detektorů, platí koeficienty pro nedostupná data o dopravě. Finální koeficient pro srážky se mění s velikostí naměřených srážek. Pro výpočet koeficientu pro srážky je použit vztah:

$$w_{Si} = \frac{s_i}{s_{max}} * w_{smax} \quad (10)$$

kde w_{si} jsou finálové hodnoty koeficientu, s_{max} označuje maximální velikost srážek v milimetrech, která je pro sledovaný časový úsek 30 mm, a w_{smax} je daná velikost váhy srážek.

Hodnota s_{max} byla stanovena na 30 mm z důvodů maximálních srážek ve sledovaném intervalu. V případě, že by byl model tvořen pro více časových období, měnila by se i hodnota s_{max} i w_{smax} . Například pro zimní měsíce by byla maximální váha srážek vyšší a hodnota maximálních srážek nižší, což by vedlo k vyššímu vlivu srážek.

4 Testování implementovaného modelu

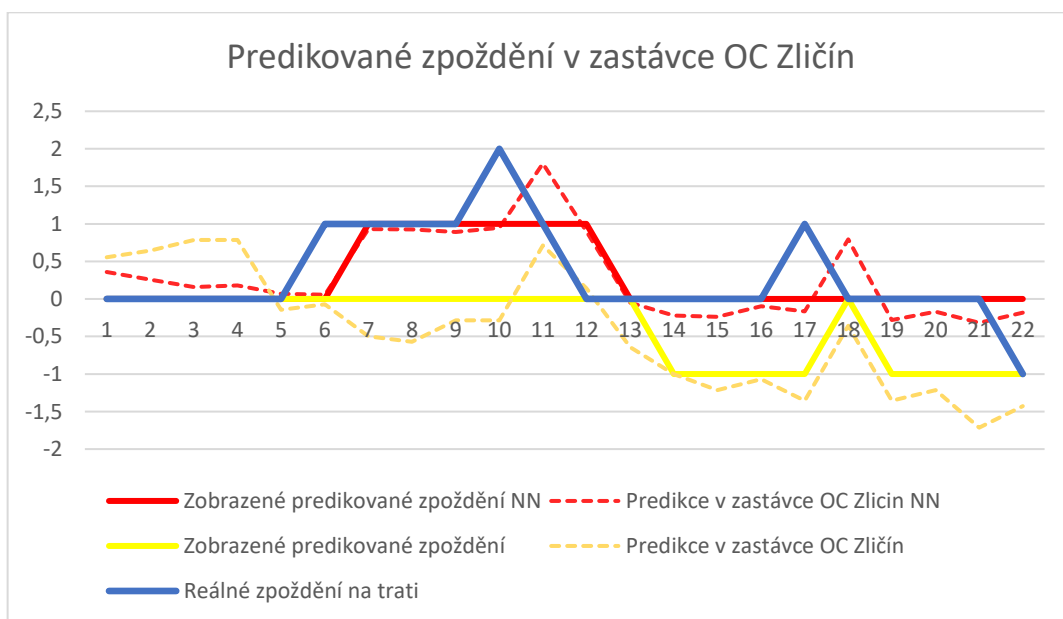
4.1 Vstupní data

Pro testování byla vyčleněna data z 28. 6. 2021–30. 6. 2021. Data z provozu a o počasí jsou k dispozici během celého intervalu. Data z dopravy jsou k dispozici od 29. 6. od 15:47. Otestována tak bude funkce modelu jak při dispozici dat z dopravy, tak bez nich.

Během testování bude simulován běžný chod linky. Odhadované zpoždění bude predikováno pro jednotlivé spoje před vyjetím na linku a následně bude simulováno zpřesňování odhadu během provozu. Pro účely testy hrají roli aktuálních dat historická data z výše zmíněného časového úseku.

4.2 Ukázky testování

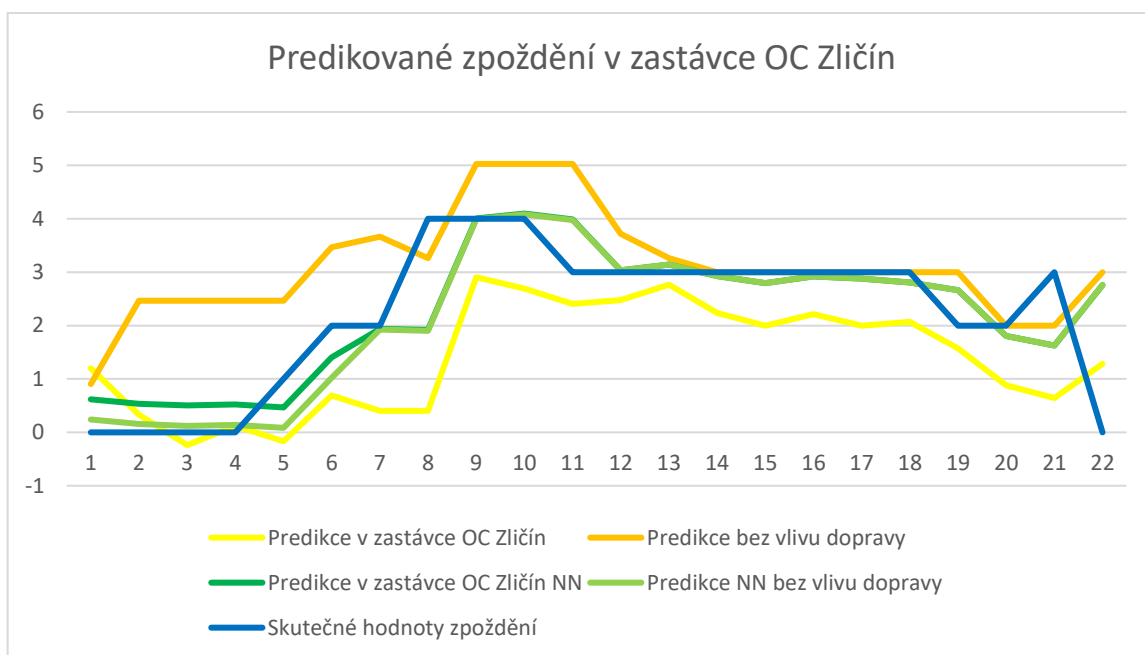
Ukázku predikovaného zpoždění v zastávce OC Zličín ukazuje následující Obr. 29. V tomto případě byl použitý pouze historický model, neboť ostatní data nebyla k dispozici. Spoj je z 28. 6. a ze zastávky Dejvická vyjel v 14:13. Na vodorovné ose je zaznamenána poloha vozu, na svislé jsou hodnoty zpoždění. Plnou čarou je zobrazováno zaokrouhlený odhad zpoždění, čárkovaně nezaokrouhlené výstupy z modelu.



Obr. 29: Predikované zpoždění v zastávce OC Zličín

Ve grafu je možné spatřit, že model očekával vyšší zpoždění na začátku linky. Ve chvíli, kdy k němu nedošlo, začal predikovat najetí spoje, a to i přes růst zpoždění během trasy. Okolo zastávky Hlušičkova, ve grafu označena číslem 14, už správně predikuje minutové nadjetí spoje. Oproti tomu neuronová síť nedosahuje tak přesných výsledků a odhaduje pouze nepatrné nadjetí.

Druhý příklad ukazuje vliv dopravy na ranní spoje. Obr. 30 ukazuje vývoj predikovaného zpoždění v zastávce OC Zličín u spoje ze středy 30. 6. vyjíždějícího na trasu linky v 7:32. Na vodorovné ose je zaznamenána poloha vozu, na svislé jsou hodnoty zpoždění.



Obr. 30: Predikované zpoždění v zastávce OC Zličín

V grafu jsou zobrazeny predikce s vlivem i bez vlivu dopravy. Predikce bez vlivu dopravy zde ukazuje nižší hodnoty o 30 sekund. Výsledek predikce je ovlivněný nárůstem zpoždění v předposledním úseku trasy. Neuronová síť zde spíše se zpožděním kopíruje průběh zpoždění.

5 Analýza spolehlivosti

Spolehlivost a kvalita výstupu odpovídá kvalitě modelu a vstupů. Navržený princip umožňuje pracovat s historickým modelem, který je vždy k dispozici. Je tedy vždy garantován výstup, pouze se mění přesnost modelu.

Historický model, díky rozdělení na 15minutové intervaly, zároveň umožňuje využití modelu i v případě změn chronometráže a s tím spojených změn jízdního řádu, ovšem pouze na úsecích, které zůstaly beze změny délky jízdy.

K výpadkům dat docházelo nejčastěji u vstupu z dopravních detektorů. Data o počasí byla poskytována v celém období a nedocházelo k žádným výpadkům.

Data z provozu byla získána z každého dne, během kterých docházelo k částečným výpadkům. K nim docházelo nejčastěji v ranních a dopoledních hodinách, jen vzácně chyběl celý oběh spoje.

Tab. 21: Data o provozu

Interval	Počet spojů celkem	Pondělí	Úterý	Středa	Čtvrtek	Pátek	Sobota	Neděle
10.5.-16.5.	1286 (86 %)	217 (89 %)	222 (91 %)	240 (99 %)	192 (79 %)	217 (89 %)	120 (82 %)	78 (55 %)
17.5.-23.5.	1426 (95 %)	237 (98 %)	240 (99 %)	203 (84 %)	243 (100 %)	228 (94 %)	140 (96 %)	135 (96 %)
24.5.-30.5.	1445 (96 %)	239 (98 %)	243 (100 %)	232 (95 %)	240 (99 %)	230 (95 %)	141 (97 %)	120 (85 %)
31.5.-6.6.	1396 (93 %)	238 (98 %)	235 (97 %)	238 (98 %)	229 (94 %)	217 (89 %)	101 (69 %)	138 (98 %)
7.6.-13.6.	1411 (94 %)	218 (90 %)	243 (100 %)	238 (98 %)	230 (95 %)	241 (99 %)	112 (77 %)	129 (91 %)
14.6.-20.6.	1446 (96 %)	239 (98 %)	238 (98 %)	235 (97 %)	238 (98 %)	227 (93 %)	131 (90 %)	138 (98 %)
21.6.-27.6.	1359 (90 %)	217 (89 %)	234 (96 %)	228 (94 %)	208 (86 %)	219 (90 %)	137 (94 %)	116 (82 %)
Průměr	1396 (93 %)	229 (94 %)	236 (97 %)	231 (95 %)	226 (93 %)	226 (93 %)	126 (86 %)	122 (87 %)
Skutečný počet spojů	1502	243	243	243	243	243	146	141

V průměru bylo zpracováno přes 220 spojů v pracovní dny, což odpovídá 110 spojům v každém směru. Během víkendů bylo spojů méně a také byla nižší procentuální kompletnost dat. Ve třech dnech byla k dispozici data ze všech spojů daného dne.

Následující tabulka ukazuje počet týdnů, ze kterých se průměrně čerpala data do historického modelu.

Tab. 22: Počet dní pro vyhodnocení historického modelu

Počet týdnů	0	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7	Celkem
Počet intervalů	232	3	20	2	1	50	273	2585	188	3354
Podíl z celku	7	0	1	0	0	1	8	77	6	100

Z tabulky plyne, že v modelu se z dat z více než 5 týdnů čerpalo v 91 % případů. Ve 232 případech neobsahoval model žádná data. Jedná se o ranní a noční úseky, ve kterých spoj danou linku v daném intervalu neobsahuje. Ranní a noční spoje linek mají v některých případech jinou počáteční a konečnou stanici, díky čemuž mohou nastávat zmíněné případy.

Data z dopravních detektorů měla několik výpadků, které popisuje Tab. 23. Prázdné buňky v tabulce odpovídají dnům, ve kterých nenastal žádný výpadek. Výpadky vždy nastaly ve stejný časový okamžik u všech tří detektorů. Jedná se pravděpodobně o chybu s přenosem nebo ukládáním dat.

Tab. 23: Výpadky dat z dopravy

	7.6. –13.6.	14.6. –20.6.	21.6. –27.6.
Pondělí	7.6. 4:30–7:15	14.6. 0:00–6:30 14.6. 8:30–12:30	
Úterý	8.6. 8:30–23:45	15.6. 4:30–8:30	
Středa		16.6. 4:30–11:00	23.6. 18:15–23:45
Čtvrtek		17.6. 4:30–15:00 17.6. 16:45–23:00	24.6. celý den
Pátek			25.6. celý den
Sobota		19.6. 4:30–13:15	26.6. celý den
Neděle	13.6. 21:30–23:45		27.6. celý den

Během sledovaného časového úseku nastalo 23 krátkých výpadků, tedy výpadků kratších než 2 hodiny. Krátké výpadky trvající okolo 15 minut nastávaly často okolo 19:30. V tuto dobu docházelo k západu slunce, a jelikož se jedná o videodetekci, pak právě západ slunce mohl způsobit tyto potíže.

Výpadky datových zdrojů nevadí, algoritmus je na ně připraven. V takové situaci bude využitý pouze historický model. Bude ovlivněna pouze přesnost odhadu.

V případě konkrétní aplikace, například uvedené informační systémy pro cestující v kapitole 1.5, záleží na spolehlivosti jednotlivých komponent.

Závěr

Cílem práce bylo vytvoření modelu na predikci zpoždění ve veřejné dopravě. V rámci pokynů zpracování práce bylo provedení analýzy příčin zpoždění ve veřejné dopravě, analýza dat z dopravy týkající se zdržení/zpoždění a analýza funkčnosti a spolehlivosti. Všechny tyto cíle byly splněny. Byl vytvořen systém pro predikci zpoždění, do kterého vstupují kromě historického modelu zpoždění také další měřené veličiny ovlivňující výslednou velikost zpoždění.

V teoretické části bylo definováno zpoždění a uveden princip výpočtu. Dále byla provedena analýza různých příčin dopravy a zainteresovaných skupin, které jsou zpožděním ovlivňovány. V dalším kroku byla provedena rešerše metod využívaných v současné době při predikci zpoždění, které sloužily jako inspirace pro další kroky. V závěru teoretické části byl průzkum současného zobrazování zpoždění v rámci zastávkových panelů nebo aplikací, a to jak v České republice, tak v zahraničí.

V praktické části byla navržena architektura systému predikce zpoždění pro konkrétní linku. Byl proveden rozbor zdrojů dat pro autobusovou linku 180 Pražské integrované dopravy a následně byl definován historický model změn úsekového zpoždění, které je závislé na méně faktorech, a tudíž by ho mělo být jednodušší predikovat. Kromě historického modelu byl zkoumán i vliv dalších prvků, jakými jsou srážky, průměrná úseková rychlost a obsazenost na vybraných detektorech. Pro rozbor jednotlivých vlivů byly provedeny korelace a pro vybrané úseky následně vytvořeny korelační křivky.

V rámci implementace bylo predikováno zpoždění pro několik reálných spojů linky 180. Predikované zpoždění je velmi ovlivňováno aktuálním zpožděním. Vznikly dva historické modely, jeden na principu aritmetického průměru a druhý s využitím neuronových sítí. Navržený model si i přes výkyvy aktuálního zpoždění dokáže udržovat trend, tedy zda se dá očekávat nárůst či naopak pokles zpoždění. Ukázalo se, že pro úsekové zpoždění není neuronová síť příliš vhodným řešením a aritmetický průměr historických hodnot dosahuje lepších výsledků.

Vytvořený systém dokáže predikovat zpoždění v libovolné zastávce linky. Vliv dopravních dat a srážek tvoří netriviální složku výsledného odhadovaného zpoždění. Takto navržený model umožňuje zkoumání vlivu i dalších faktorů bez výrazných změn struktury.

Závěrečnou částí byla analýza spolehlivosti, ve které byla provedena analýza kompletnosti vstupů. Jelikož se v historickém modelu nenachází problémy s nedostatkem dat, je možné vždy predikovat zpoždění historickým modelem, a to i při výpadku dalších zdrojů dat.

Tato práce mi umožnila si prohloubit své znalosti ohledně provozu veřejné hromadné dopravy. Práci je možné rozvíjet, například přidáním dalších vstupů a analýzou jejich vlivu. Praktické využití této práce by zlepšilo doposud používanou naivní predikci. Vhodné způsoby predikce by bylo možné zahrnout do standardů kvality, a tím zajistit větší spokojenost cestujících.

Seznam použitých zdrojů

Knihy

- [1] PŘIBYL, P. Svítek, M: Inteligentní dopravní systémy. Praha: BEN -technická literatura, 2001,543 s. ISBN 80-7300-029-6.

Internetové zdroje

- [2] ALSTOM. ALSTOM and Lausanne, Switzerland, are partners in communication on the M2 metro project [online]. [cit. 2021-05-20] Dostupné z: <https://www.alstom.com/press-releases-news/2004/8/ALSTOM-and-Lausanne-Switzerland-are-partners-in-communication-on-the-M2-metro-project-20040802>
- [3] BERLINER VERKEHRSBETRIEBE. BVG Fahrinfo-App [online]. [cit. 2021-05-21] Dostupné z: <https://www.bvg.de/en/Travel-information/Mobile>
- [4] BUDKA, Marcin, ROBBINS, Derek, HULBERT David a REICH Thilo. Survey of eta prediction methods in public transport networks [online]. [cit. 2021-04-12] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/332342499_Survey_of_ETA_prediction_methods_in_public_transport_networks
- [5] BUSPORTAL. Bustec dodal informační panely na autobusové nádraží Zvonařka v Brně [online]. [cit. 2021-05-20] Dostupné z: <https://www.busportal.cz/modules.php?name=article&sid=17093>
- [6] ČESKÉ DRÁHY. Mobilní aplikace Můj vlak [online]. [cit. 2021-06-12] Dostupné z: <https://www.cd.cz/typy-jizdenek/jak-koupit-jizdenku/-26327/>
- [7] ČTK. Další pokuta pro Arrivu. Za zpoždění a jízdenky zaplatí Zlínskému kraji statisíce [online]. [cit. 2021-04-16] Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/doprava/dalsi-pokuta-pro-arrivu-za-zpozdzeni-a-jizdenky-zaplati-zlins/r~64daee8a320611eaa24cac1f6b220ee8/>
- [8] ČTK. Státisícová pokuta pro Arrivu. Zaplatí za zpoždění [online]. [cit. 2021-04-16] Dostupné z: [https://www.tyden.cz/rubriky/domaci/staticova-pokuta-pro-arrivu-zaplati-za-zpozdeni_537942.html](https://www.tyden.cz/rubriky/domaci/staticova-pokuta-pro-arrivu-zaplati-za-zpozdzeni_537942.html)
- [9] DOPRAVA ÚSTECKÉHO KRAJE. Představení aplikace [online]. [cit. 2021-07-11] Dostupné z: <https://www.dukapka.cz/aplikace-dukapka>

- [10] FABRIKANT, Alex. Predicting Bus Delays with Machine Learning [online]. [cit. 2021-08-08]. Dostupné z: <https://ai.googleblog.com/2019/06/predicting-bus-delays-with-machine.html>
- [11] HRUBAN, Ivo, MOLKOVÁ, Tatiana. Průzkumy kvality služeb při zpoždění v osobní železniční dopravě u ČD a ÖBB [online]. [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://vts.cd.cz/documents/168518/195438/3502.pdf/7005c3ec-7f68-4644-a28b-73ca4cf6c652>
- [12] CHOUR, Martin. Linka 180 [online]. [cit. 2021-06-14] Dostupné z: <https://www.tram-bus.cz/mhd-praha/autobusy/linky-autobusu/denni/linky-150-199/linka-180/>
- [13] IDOS.CZ. Nápořveda [online]. [cit. 2021-05-20] Dostupné z: <https://idos.idnes.cz/napoveda/>
- [14] IN-POČASÍ. Archivní data [online]. [cit. 2021-06-28] Dostupné z: <https://www.in-pocasi.cz/archiv/klimaticka-data.php>
- [15] IN-POČASÍ. Praha 4 - Krč [online]. [cit. 2021-06-28] Dostupné z: https://www.in-pocasi.cz/aktualni-pocasi/praha_krc/
- [16] KILIÁN, Karel. Mapy Google ukážou zpoždění prostředků MHD i to, jestli se budete muset mačkat [online]. [cit. 2021-05-20] Dostupné z: <https://www.zive.cz/clanky/mapy-google-ukazou-zpozdeni-prostredku-mhd-i-to-jestli-se-budete-muset-mackat/sc-3-a-199141/default.aspx>
- [17] KOORDINÁTOR ODIS S.R.O. ODISapka – nová mobilní aplikace pro cestování v ODIS [online]. [cit. 2021-05-21] Dostupné z: <https://www.kodis.cz/cz/archiv/613/odisapka-nova-mobilni-aplikace-pro-cestovani-v-odis.html>
- [18] MINISTERSTVO DOPRAVY ČR Akční plán rozvoje inteligentních dopravních systémů (ITS) v ČR do roku 2020 (s výhledem do roku 2050) [online]. [cit. 2021-03-11] Dostupné z: <https://www.databaze-strategie.cz/cz/md/strategie/akcni-plan-rozvoje-inteligentnich-dopravnich-systemu-its-v-cr-do-roku-2020-s-vyhledem-do-roku-2050?typ=download>
- [19] MINISTERSTVO DOPRAVY ČR. Koncepce veřejné dopravy 2020-2025 s výhledem do roku 2030 [online]. [cit. 2021-03-11] Dostupné z: <https://www.mdcr.cz/getattachment/Dokumenty/Verejna-doprava/Pravni-predpisy/Zelena-a-bila-kniha-koncepce-verejne-dopravy/Koncepce-verejne-dopravy.pdf.aspx>

- [20] MISHALANI, Rabi G. a kolektiv. Passenger Wait Time Perceptions at Bus Stops: Empirical Results and Impact on Evaluating Real – Time Bus Arrival Information [online]. [cit. 2021-05-14] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/234163997_Passenger_Wait_Time_Perceptions_at_Bus_Stops_Empirical_Results_and_Impact_on_Evaluating_Real_-_Time_Bus_Arrival_Information
- [21] MPVNET. Monitorování provozu vozidel Pražské integrované dopravy [online]. [cit. 2021-08-08] Dostupné z: <https://pid.mpvnet.cz/>
- [22] MPVNET. IDOL [online]. [cit. 2021-05-20] Dostupné z: <http://www.mpvnet.cz/idol>
- [23] PRAŽSKÁ INTEGROVANÁ DOPRAVA. Jízdní řády a zpoždění v síti pid na mapách google [online]. [cit. 2021-04-12] Dostupné z: <https://pid.cz/jizdni-rady-zpozdeni-siti-pid-mapach-google/>
- [24] PRAŽSKÁ INTEGROVANÁ DOPRAVA. Standardy kvality PID [online]. [cit. 2021-04-07] Dostupné z: <https://pid.cz/standardy-kvality/>
- [25] PRAŽSKÁ INTEGROVANÁ DOPRAVA. Jízdní řád linky 180 [online]. [cit. 2021-05-12]. Dostupné z: <https://pid.cz/zastavkove-jizdni-rady/?cid=180&from=1626300000&type=bus>
- [26] REDAKCE EEWEB. Japan's efficient rail system now uses AI to predict train delays [online]. [cit. 2021-06-13] Dostupné z: <https://www.eeweb.com/japans-efficient-rail-system-now-uses-ai-to-predict-train-delays/>
- [27] REDAKCE ELOGISTKA.INFO. ČD i RegioJet loni vyplatily rekordní odškodnění za zpoždění [online]. [cit. 2021-04-07] Dostupné z: <https://www.elogistka.info/cd-i-regiojet-loni-vyplatily-rekordni-odskodneni-za-zpozdeni/>
- [28] REDAKCE MHD-OSTRAVA.CZ. „Inteligentní zastávky“ v Ostravě [online]. [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: http://mhd-ostrava.cz/?s=inteligentni_zastavky_ov
- [29] REDAKCE SCIENCEMAG.CZ. Deep learning vs. signály a časové řady [online]. [cit. 2021-08-08]. Dostupné z: <https://sciencemag.cz/deep-learning-vs-signaly-a-casove-rady/>
- [30] RÉGIE AUTONOME DES TRANSPORTS PARISIENS. Real-time information and times [online]. [cit. 2021-05-20] Dostupné z: <https://www.ratp.fr/en/aide-et-contact/programmez-votre-trajet/real-time-information-and-times>

- [31] TEPLICKYDENIK.CZ. Nehoda: nákladní vůz a autobus skončil v poli [online]. [cit. 2021-08-07] Dostupné z: <http://mhdteplice.cz/2010/12/11/nehoda-nakladni-vuz-a-autobus-skoncil-v-poli/>
- [32] WANG, Lei, ZUO, Zhongyi a FU, Junhao. Bus Arrival Time Prediction Using RBF Neural Networks Adjusted by Online Data [online]. [cit. 2021-04-12] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/265016007_Bus_Arrival_Time_Prediction_Using_RBF_Neural_Networks_Adjusted_by_Online_Data
- [33] ZAKI, Mohamed a kolektiv. Online bus arrival time prediction using hybrid neural network and Kalman filter techniques [online]. [cit. 2021-04-12] Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/306527837_Online_bus_arrival_time_prediction_using_hybrid_neural_network_and_Kalman_filter_techniques
- [34] ZÜRCHER VERKEHRSVERBUND. ZVV timetable app [online]. [cit. 2021-05-21] Dostupné z: <https://www.zvv.ch/zvv/en/service/apps/timetable-app.html>

Seznam obrázků

Obr. 1: Zapadlý autobus. Zdroj fotografie: [31]	21
Obr. 2: Schéma využití predikce	24
Obr. 3: Postup predikce zpoždění. Překresleno dle zdroje [33]	26
Obr. 4: Výsledky testování metody výpočtu predikce. Zdroj: [33]	26
Obr. 5: Výsledky testování metody výpočtu predikce. Zdroj: [32]	27
Obr. 6: Data pro predikci.....	27
Obr. 7: Ukázka aplikace PID Lítačka.....	32
Obr. 8: Ukázka webové aplikace.....	33
Obr. 9: Princip predikce v aplikaci Norikae Annai. Zdroj obrázku: [26]	34
Obr. 10: Tok informací v systému	38
Obr. 11: Trasa linky 180. Zdroj: [12].....	43
Obr. 12: Tok informací v navrhovaném systému	45
Obr. 13: Struktura prvního souboru s polohou vozidel.....	46
Obr. 14: Struktura druhého souboru s polohou vozidel	47
Obr. 15: Poskytovaná data o počasí, měřena v lokalitě Praha-Krč.....	48
Obr. 16: Poloha detektorů. Zdroj podkladů: Operátor ICT	49
Obr. 17: Ukázka videodetektorů 4.....	49
Obr. 18: Poskytovaná data z úsekového detektoru	50
Obr. 19: Poskytovaná data z bodových detektorů	51
Obr. 20: Upravená data o zpoždění	54
Obr. 21 Úseková změna zpoždění v jednotlivých pracovních dnech.....	62
Obr. 22 Úseková změna zpoždění v jednotlivých pracovních dnech.....	63
Obr. 23 Závislost změny zpoždění na rychlosti	64
Obr. 24 Závislost změny zpoždění na rychlosti	64
Obr. 25 Závislost změny zpoždění na srážkách v úseku Motol – Nemocnice Motol	65
Obr. 26 Závislost změny zpoždění na srážkách v úseku Kukulova-Šafránecká	65
Obr. 27: Graf závislosti obsazenost – změna zpoždění.....	69
Obr. 28: Diagram přidělování vah	70
Obr. 29: Predikované zpoždění v zastávce OC Zličín	72
Obr. 30: Predikované zpoždění v zastávce OC Zličín	73

Seznam tabulek

Tab. 1: Trendy v dopravě v ČR. Zdroj tabulky: [19]	10
Tab. 2: Tolerance zpoždění. Zdroj: [11]	13
Tab. 3: Hodnoty střední absolutní procentní chyby. Překresleno dle zdroje: [32]	27
Tab. 4: Legenda pro zobrazování zpoždění	29
Tab. 5: Legenda pro metodu predikce zpoždění	29
Tab. 6: Příklady aplikačních systémů	30
Tab. 7: Příklady zastávkových systémů	30
Tab. 8: Uživatelské potřeby	35
Tab. 9: Funkce systému	37
Tab. 10: Datové toky v systému	38
Tab. 11: Funkce navrhovaného systému	44
Tab. 12: Datové toky v navrhovaném systému	44
Tab. 13: Ukázka upravených dat z provozu	55
Tab. 14: Ukázka upravených dat o počasí	56
Tab. 15: Ukázka zpracovaných dat o zpoždění	59
Tab. 16: Ukázka predikovaných zpoždění z historického modelu	60
Tab. 17: Ukázka zpracovaných dat z dopravy	61
Tab. 18: Ukázka zpracovaných dat z počasí	61
Tab. 19: Korelační koeficienty	66
Tab. 20: Regresní křivky pro vztah změny zpoždění a dat z detektoru 5	69
Tab. 21: Data o provozu	74
Tab. 22: Počet dní pro vyhodnocení historického modelu	75
Tab. 23: Výpadky dat z dopravy	75

Seznam příloh

Příloha č. 1	MATLAB kód pro zpracování dat o zpoždění a počasí
Příloha č. 2	Ukázka zpracovaných dat o počasí
Příloha č. 3	MATLAB kód pro výpočet korelačních koeficientů
Příloha č. 4	MATLAB kód pro vytvoření neuronové sítě a zapsání odhadovaného zpoždění
Příloha č. 5	Historický model