

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA DOPRAVNÍ



**Síťová časová koordinace spojů
městské hromadné dopravy v Třebíči**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Aleš Novák

2020

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

děkan

Konvíčská 20, 110 00 Praha 1



K617 **Ústav logistiky a managementu dopravy**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Aleš Novák

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – LA – Logistika a řízení dopravních procesů

Název tématu (česky): **Síťová časová koordinace spojů městské hromadné dopravy v Třebíči**

Název tématu (anglicky): **Nets Time Coordination Public Transportation in Třebíč**

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte následujícími pokyny:

- analýza přestupních vazeb ve vybrané části linkové sítě veřejné hromadné dopravy v Třebíči,
- identifikace základních provozních faktorů ovlivňujících časovou koordinaci spojů v podmínkách města Třebíč,
- obecná charakteristika optimalizačních přístupů vhodných pro řešení problému,
- návrh matematického modelu pro síťovou časovou koordinaci spojů veřejné hromadné dopravy v podmínkách města Třebíč,
- výpočetní část - výpočetní experimenty s navrženými matematickými modely,
- zhodnocení výsledků dosažených ve výpočetních experimentech,
- návrh implementace výsledků do reálného provozu.

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího diplomové práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Černá, A.; Černý, J.: Teorie řízení a rozhodování v dopravních systémech. Institut Jana Pernera, Praha, 2004


Surovec, P.: Tvorba systému mestskej hromadnej dopravy. Žilinská univerzita v Žiline, Žilina, 1999

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Dušan Teichmann, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **10. dubna 2020**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **17. května 2021**

- a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia



doc. Ing. Tomáš Horák, Ph.D.

vedoucí

Ústavu logistiky a managementu dopravy



doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.

děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.



Bc. Aleš Novák

jméno a podpis studenta

V Praze dne10. dubna 2020

Poděkování

Rád bych zde poděkoval všem, kteří mi poskytli materiály a rady při vypracování této diplomové práce. Poděkování patří panu doc. Ing. Dušanu Teichmannovi, Ph. D. za vedení mé závěrečné práce. Jeho odborné znalosti a zkušenosti z této oblasti dopravy mi vypracování ulehčily. Obrovské díky bych také rád vyjádřil rodině a přátelům za jejich nekončící podporu, trpělivost, ochotu a pomoc při řešení nejnepříjemnější situace během celého studia. Bez nich bych tohoto cíle nikdy nedosáhl.

Prohlášení

Já, níže podepsaný Aleš Novák, předkládám k posouzení a obhajobě diplomovou práci, která byla zpracována na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

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

Nemám závažný důvod proti užívání 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 Třebíči dne 10. 8. 2020



podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

SÍŤOVÁ ČASOVÁ KOORDINACE SPOJŮ MĚSTSKÉ HROMADNÉ DOPRAVY V TŘEBÍČI

diplomová práce

srpen 2020

Bc. Aleš Novák

Abstrakt

Tématem diplomové práce je síťová časová koordinace spojů městské hromadné dopravy v Třebíči. Nejprve je provedena analýza současného stavu, díky níž jsou definovány požadavky na zlepšení provozu, ale také omezující podmínky. Primárním cílem je zefektivnit přestupní vazby mezi autobusy MHD a vlaky v přestupním uzlu Železniční stanice. K tomu je vytvořen matematický model pomocí lineárního programování, který je následně upraven a vložen do optimalizačního softwaru Xpress-IVE. Na základě získaných dat je vypracována koncepce víkendového provozu MHD v Třebíči.

Abstract

The topic of this diploma thesis is net time coordination of public transportation in Třebíč. At first, an analysis of current situation has been done. Based on the analysis, demands for traffic improvements have been defined, as well as its limiting conditions. The primary task was to make the transfers between buses and trains in the interchange station at the train station more efficient. To achieve that, a mathematical model has been formulated, which then has been edited and implemented into optimization software Xpress-IVE. Based on the results, a conception of a weekend traffic of public transportation in Třebíč has been developed.

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

SÍŤOVÁ ČASOVÁ KOORDINACE SPOJŮ MĚSTSKÉ HROMADNÉ DOPRAVY V TŘEBÍČI

diplomová práce

srpen 2020

Bc. Aleš Novák

Klíčová slova

Městská hromadná doprava, Třebíč, linky, takt, přestupní vazby, přestupní uzly, optimalizace, matematický model, minimalizační funkce, omezující podmínky, software Xpress-IVE

Key words

Public transportation, Třebíč, lines, tact, transfer linkages, interchange stations, optimization, mathematical model, minimization function, limiting conditions, software Xpress-IVE

Obsah

Seznam použitých zkratk	8
1 Úvod	9
2 Přestupní uzel Karlovo náměstí	11
2.1 Prostorové uspořádání	11
2.2 Přestupy mezi páteřními linkami	12
2.3 Plánované změny na Karlově náměstí	13
3 Přestupní uzel Železniční stanice	14
3.1 Umístění přestupního terminálu	14
3.2 Popis nástupišť a zastávek	16
3.3 Obsluha městskou hromadnou dopravou	17
3.3.1 Linka č. 1	17
3.3.2 Linka č. 4	18
3.3.3 Linka č. 10	19
3.3.4 Linka č. 13	20
3.4 Železniční doprava v uzlu Třebíč	21
3.4.1 Relace Třebíč – Brno a zpět	22
3.4.2 Relace Třebíč – Jihlava a zpět	22
4 Autobusové nádraží	24
4.1 Prostorové uspořádání	24
4.2 Vjezd a výjezd	25
4.3 Využití autobusového nádraží	26
4.4 Budoucnost autobusového nádraží	26
5 Technologie provozu MHD v Třebíči	28
5.1 Denní potřeba vozidel	29
5.2 Oběhy vozidel a směny řidičů	29
5.2.1 Oběhy vozidel v pracovní dny	29
5.2.2 Víkendy a státní svátky	31
5.3 Jízdní doby mezi zastávkami	31
6 Specifikace provozu o víkendech a státních svátcích	34
6.1 Přestupní vazby na Karlově náměstí a vzájemná závislost linek	34
6.2 Spojení Karlova náměstí s železniční stanicí v Třebíči	36
6.2.1 Linka č. 1	36
6.2.2 Linka č. 4	36

6.2.3 Linka č. 10	36
6.2.4 Linka č. 14	37
7 Optimalizační software Xpress-IVE.....	38
7.1 Úvodní obrazovka.....	38
7.2 Zadání matematického modelu	39
7.3 Výstupy programu.....	41
8 Matematický model přestupních vazeb mezi vlaky a autobusy MHD.....	42
8.1 Zadání a požadavky	42
8.2 Vstupní veličiny a proměnné.....	42
8.3 Označení vstupních veličin a proměnných	43
8.4 Účelová funkce.....	45
8.5 Omezující podmínky.....	45
8.6 Text programu v softwaru Xpress-IVE.....	48
8.7 Komentář k modelu v softwaru Xpress-IVE	52
8.8 Ukázka aplikace výsledku optimalizačního procesu	52
9 Matematický model zohledňující počet přestupujících cestujících na Karlově náměstí.....	56
9.1 Zadání.....	56
9.2 Vstupní veličiny a proměnné.....	56
9.3 Označení vstupních veličin a proměnných	57
9.4 Účelová funkce.....	58
9.5 Omezující podmínky.....	59
9.6 Rovnice pro výpočet optimálního řešení	61
9.7 Text programu v softwaru Xpress-IVE.....	61
9.8 Komentář k nalezenému řešení.....	65
10 Experimenty s navrženým modelem.....	66
10.1 Úprava časových poloh vlakových spojů	66
10.1.1 Text programu v softwaru Xpress-IVE	66
10.1.2 Komentář k nalezenému řešení	70
10.2 Úprava přestupní doby, jízdních dob a dob obrátů	71
10.2.1 Text programu v softwaru Xpressu-IVE	71
10.2.2 Komentář k nalezenému řešení	75
11 Alternativní přestupní uzel MHD.....	77
11.1 Úprava modelu pro přestupní uzel na autobusovém nádraží.....	77
11.2 Text programu v softwaru Xpress-IVE	78
11.3 Komentář k nalezenému řešení	82

11.4 Možná omezení v prostoru autobusového nádraží	83
12 Návrh úpravy jízdních řádů.....	86
12.1 Úprava víkendového provozu	86
12.2 Časová poloha páteřních linek v přestupním uzlu Železniční stanice.....	86
12.3 Časová poloha páteřních linek v přestupním uzlu Karlovo náměstí.....	87
12.4 Časová poloha doplňkových linek v přestupním uzlu Karlovo náměstí	88
12.5 Jízdní řády jednotlivých linek	88
12.5.1 Linka č. 1	89
12.5.2 Linka č. 4	89
12.5.3 Linka č. 5	90
12.5.4 Linka č. 10	91
12.5.5 Linka č. 11	93
12.5.6 Linka č. 12	93
12.5.7 Linka č. 14	94
12.5.8 Linka č. 31	95
12.6 Komentář k navržené koncepci	97
12.6.1 Pozitiva navrženého řešení	98
12.6.2 Negativa navrženého řešení.....	99
13 Porovnání současného a navrhovaného stavu	100
13.1 Časová ztráta přestupujících cestujících při platném jízdním řádu v roce 2020.....	100
13.2 Časová ztráta přestupujících cestujících při navrženém stavu	102
14 Vize a možné úpravy do budoucna.....	103
14.1 Krátkodobý horizont úprav	103
14.2 Střednědobý horizont úprav.....	105
14.3 Dlouhodobý horizont úprav	106
15 Závěr.....	108
16 Zdroje.....	110
16. 1. Literatura.....	110
16. 2. Internetové zdroje.....	110
Seznam tabulek	112
Seznam obrázků.....	114

Seznam použitých zkratek

MHD – městská hromadná doprava

VDV – Veřejná doprava Vysočiny

IDS – integrovaný dopravní systém

XX:MM – časová poloha: každá hodina, MM minut

SS:MM – časová poloha: sudá hodina, MM minut

LL:MM – časová poloha: lichá hodina, MM minut

DC – směr jízdy: do centra

ZC – směr jízdy: z centra

1 Úvod

Městská hromadná doprava v Třebíči funguje od roku 1954. Za tu dobu prošla třemi zásadními změnami. První nastala v 80. letech 20. století, v období významného nárůstu počtu obyvatel v souvislosti se stavbou a zprovozněním Jaderné elektrárny Dukovany. Tehdy se počet občanů města téměř zdvojnásobil a širší centrum města prošlo zásadní změnou, neboť došlo ke zkapacitnění průtahu městem a také k výstavbě rozsáhlého autobusového nádraží na Komenského náměstí. Provoz MHD byl rozšířen a byly vytvořeny páteřní linky, které obsluhovaly největší trebičské městské části – Borovinu, Horka-Domky a Hájek. Zároveň byly zavedeny tzv. rozjezdy z přestupního uzlu na Karlově náměstí, aby byly zajištěny přestupní vazby mezi spoji. Druhou výraznou změnou byl rok 2012, kdy došlo k optimalizaci MHD, přečíslování linek a úpravě linkového vedení. Po několika desítkách let se jednalo o první výraznější změnu provozu trebičské MHD. Linkové vedení bylo rozšířeno např. do městských částí mimo městskou zástavbu nebo do přilehlých obcí, které se na zajištění veřejné dopravy finančně podílejí. Posledním důležitým milníkem bylo vybudování a zprovoznění přestupního terminálu u železniční stanice. Cílem této investice bylo lépe propojit městskou a příměstskou autobusovou dopravu s železniční. A právě tato problematika je stěžejním tématem diplomové práce. [2, 3]

Poté, co byl v roce 2015 uveden do provozu přestupní terminál, se ukázalo, že zvolený provozní koncept není příliš vhodný. Do zastávky Železniční stanice zajížděly pouze některé linky, mnohdy jen vybrané spoje, u kterých byl údajně předpokládán přestup mezi autobusy MHD a vlaky. Zároveň je výrazně omezena obsluha této zastávky příměstskými autobusy, neboť ve srovnání s jinými městy nedošlo ke kompletnímu přesunutí příměstské autobusové dopravy z autobusového nádraží na přestupní terminál, ale byly pouze prodlouženy nebo zkráceny některé linky. Využití a charakter autobusového nádraží zůstaly z velké části zachovány. [2, 3]

Diplomová práce se zaměřuje na čas a vlaky a volně navazuje na Bakalovou koordinaci autobusových spojů MHD na vlaky a volně navazuje na bakalářskou práci autora nazvanou Analýza úrovně časové koordinace veřejné dopravy v Třebíči. Ačkoliv uběhlo již 5 let od chvíle, kdy byl zprovozněn nový přestupní uzel u železniční stanice, neproběhly žádné relevantní změny v jízdních řádech linek MHD tak, aby byly zlepšeny přestupy mezi jednotlivými druhy veřejné dopravy.

Od železničního grafikonu 2019/2020 došlo k výrazným změnám v oblasti železniční dopravy v Kraji Vysočina a úpravě časových poloh osobních vlaků, spěšných vlaků i rychlíků na trati č. 240, která prochází Třebíčí. Ani v tomto případě však časové polohy příjíždějících

a odjíždějících spojů autobusů městské hromadné dopravy nebyly upraveny. V roce 2020 tak lze pozorovat nevhodně nastavené jízdní řády autobusů MHD, které vlakové spoje nereflektují. Je tak znemožněno nebo výrazně znehodnoceno využívání přestupů v zastávce Železniční stanice, což způsobuje občanům města i ostatním potenciálně přestupujícím cestujícím komplikace. Často jsou tak jimi na úkor veřejné dopravy využity jiné druhy dopravy, jako jsou individuální automobilová, cyklistická nebo pěší. [1]

Hlavním cílem předložené diplomové práce je zefektivnit přestupní vazby mezi autobusovými spoji MHD a vlakovými spoji v přestupním terminálu vybudovaném u železniční stanice v Třebíči. K nalezení optimálního řešení bylo využito lineárního programování a byl vytvořen matematický model pro reálné podmínky z provozu trebičské MHD. Po náležitých úpravách byly účelová funkce a omezující podmínky transformovány do optimalizačního softwaru Xpress-IVE, pomocí kterého bylo vypočítáno optimální řešení. Výhodou použité metody je fakt, že lineární programování je univerzálním řešícím přístupem, který lze po příslušných úpravách využít i při řešení jiného zadání. Je možné upravovat omezující podmínky nebo vstupní hodnoty. Na základě těchto změn, které mohou trvat pouze několik minut, může být nové optimální řešení nalezeno během několika sekund. Pakliže se zásadním způsobem nemění kritérium reprezentované účelovou funkcí a omezujícími podmínkami, lze metodu lineárního programování úspěšně a efektivně opakovaně využívat.

Zároveň je třeba podotknout, že vedlejším cílem diplomové práce je poukázat na již zmíněnou univerzálnost zvolené metody. Poté záleží na podrobnosti zpracování omezujících podmínek nebo vstupních hodnot, které ovlivní kvalitu výsledného optima. Ačkoliv program Xpress-IVE vygeneruje optimální řešení dle daných vstupních podmínek, není vyloučena následná úprava získaného řešení, která by v maximální možné a požadované míře reflektovala reálnou situaci. Díky nenáročným změnám vstupních hodnot tak lze provádět experimenty, jež pomohou určit slabé stránky systému. Na základě navrženého modelu je možné pracovat na jejich odstranění.

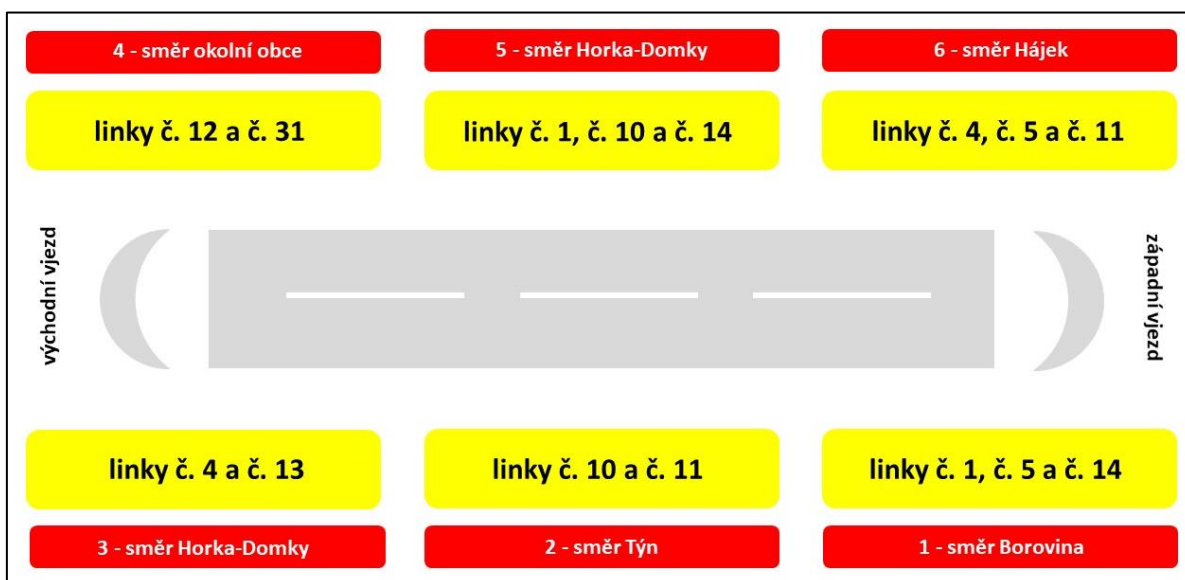
Výstupy diplomové práce jsou tak na jedné straně matematický model, který lze dále upravit, na druhé konkrétní návrh řešení provozu MHD o víkendech a státních svátcích, jež přispívá ke zlepšení přestupních vazeb mezi autobusovými spoji MHD a vlakovými spoji. V následujících kapitolách jsou popsány faktory ovlivňující veřejnou dopravu, důvody omezujících podmínek zanesených do modelu, pozitiva i negativa navrženého řešení, ale také možné úpravy do budoucna, které vychází ze zjištění při výpočetních experimentech nebo z dlouhodobého pozorování městské hromadné dopravy v Třebíči.

2 Přestupní uzel Karlovo náměstí

V Třebíči se nachází třetí největší náměstí v České republice. I to byl jeden z důvodů, proč byly do jeho východní části ve 2. polovině 20. století umístěny zastávky MHD. V roce 2020 tvoří jediný přestupní uzel v rámci MHD. Jeho význam roste během přepravního sedla v pracovní dny, poté ve večerních hodinách a o víkendech a státních svátcích. Důvodem je nižší frekvence spojů na jednotlivých linkách a z toho plynoucí vyšší poptávka po přestupních vazbách. [3]

2.1 Prostorové uspořádání

Pro vjezd do prostoru zastávek a výjezd z něj lze využít dvě komunikace – na východní a západní straně. Na Karlově náměstí se nachází dvě nástupiště s celkem 6 zastávkovými označníky. Na severní straně jsou umístěny 3 zastávkové označníky. Nástupiště č. 1 slouží pro linky odjíždějící ve směru do sídliště Borovina – linky č. 1, 5 a 14, nástupiště č. 2 pro linky do sídliště Týn – linky č. 10 a 11, nástupiště č. 3 pro linky do sídliště Horka-Domky – linky č. 4 a 13. Na jižní straně jsou rovněž umístěny tři zastávkové označníky. Nástupiště č. 4 slouží pro linky ve směru do městských částí Třebíče nebo okolních obcí – linky č. 12 a 31, nástupiště č. 5 pro linky ve směru Horka-Domky – linky č. 1, 10 a 14, nástupiště č. 6 pro linky ve směru Hájek – linky č. 4, 5 a 11. Schémata přestupního uzlu Karlovo náměstí jsou k vidění na obrázku č. 1 a 2.



Obrázek 1: Schéma přestupního uzlu Karlovo náměstí



Obrázek 2: Schéma přestupního uzlu Karlovo náměstí doplněné o letecký pohled ([12], úpravy - autor)

2.2 Přestupy mezi páteřními linkami

Při tzv. rozjezdech se do přestupního uzlu sjíždí páteřní linky č. 1, 4 a 5 a mohou nastat dvě varianty přestupů. Ty se odvíjí od směru, kam spoje každé ze tří linek následně směřují.

Varianta A:

Linka č. 1 jede ve směru Horka-Domky, linka č. 4 ve směru Hájek a linka č. 5 ve směru Borovina. V této variantě dochází k následujícím přestupům:

linka č. 1 → linka č. 4	nástupiště č. 5 → nástupiště č. 6
linka č. 4 → linka č. 5	nástupiště č. 6 → nástupiště č. 1
linka č. 5 → linka č. 1	nástupiště č. 1 → nástupiště č. 5

Varianta B:

Linka č. 1 jede ve směru Borovina, linka č. 4 ve směru Horka-Domky a linka č. 5 ve směru Hájek. Zde jsou realizovány přestupy takto:

linka č. 1 → linka č. 5	nástupiště č. 1 → nástupiště č. 6
linka č. 4 → linka č. 1	nástupiště č. 3 → nástupiště č. 1
linka č. 5 → linka č. 4	nástupiště č. 6 → nástupiště č. 3

2.3 Plánované změny na Karlově náměstí

V roce 2020 byly započaty přípravy na revitalizaci Karlova náměstí, která se zásadně dotkne také jednotlivých nástupišť linek MHD. Plán je takový, že bude v každém směru umístěn pouze jeden zastávkový označník pro všechny linky. Autobusy jednotlivých linek tak budou na náměstí zastavovat v náhodném pořadí podle aktuálního příjezdu do přestupního uzlu. Zároveň dojde k přemístění nástupišť. Zastávková stání umístěná v původní variantě v severní části budou posunuta o několik desítek metrů východním směrem. Naopak autobusy, které nyní zastavují v jižní části, budou mít přesunutá nástupiště o několik desítek metrů severněji a západněji. Autobusy by tak měly zastavovat „dveřmi k sobě“, ovšem jejich vzdálenost bude několik desítek metrů. Princip je patrný z obrázku 3. [15, 20]

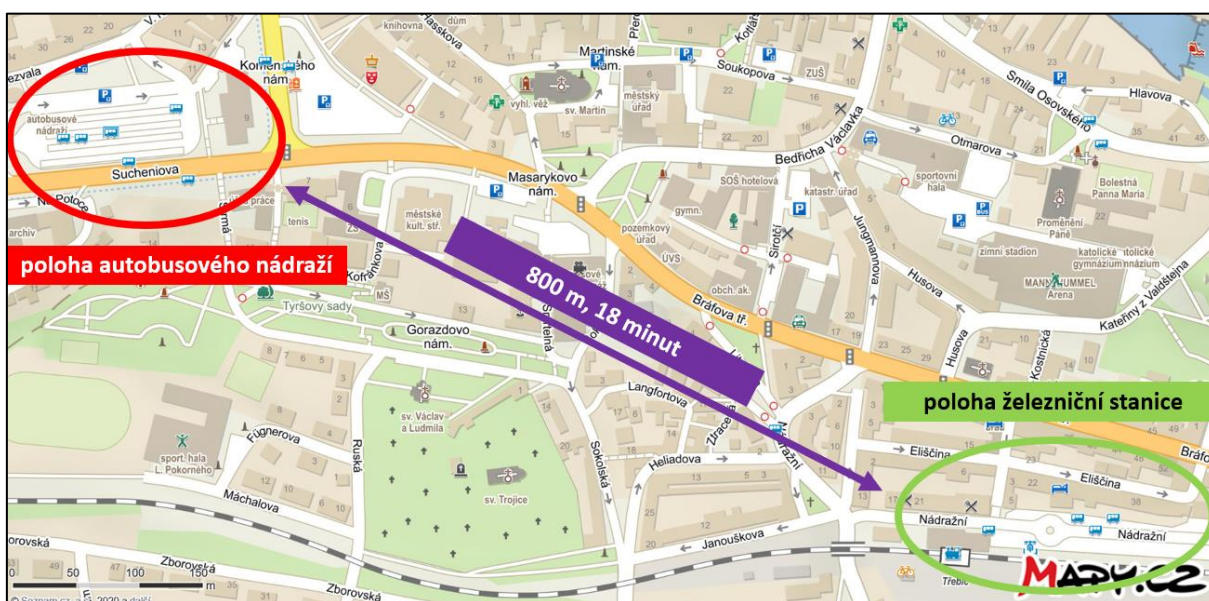


Obrázek 3: Vizualizace budoucí podoby přestupního uzlu Karlovo náměstí [20]

3 Přestupní uzel Železniční stanice

Přestupní terminál v Třebíči, který se nachází v sousedství železniční stanice, byl dokončen v roce 2015. Všechny zastávky v areálu přestupního terminálu, jak pro městskou, tak pro příměstskou autobusovou dopravu, jsou pojmenovány Železniční stanice.

Motivací pro vybudování této stavby bylo zlepšení přestupních vazeb mezi jednotlivými druhy veřejné dopravy – železniční, příměstskou a městskou autobusovou dopravou. Dosud využívané autobusové nádraží totiž leží v poměrně velké docházkové vzdálenosti od železniční stanice v Třebíči. Ta činí přibližně 800 m, což je značné na obrázku 4. Pro zajištění pohodlných přestupních vazeb mezi železniční a příměstskou autobusovou dopravou je toto řešení zcela nevhodné. V případě přestupů mezi železniční a městskou hromadnou dopravou se využívaly nejbližší zastávky u železniční stanice. Ani v tomto případě nelze přestupní vazby označit jako pohodlné, proto už samotná výstavba přestupního terminálu znamenala kvalitativní zlepšení přestupních vazeb. K navazujícím úpravám jízdních řádů MHD zohledňující vlakové spoje však nedošlo.

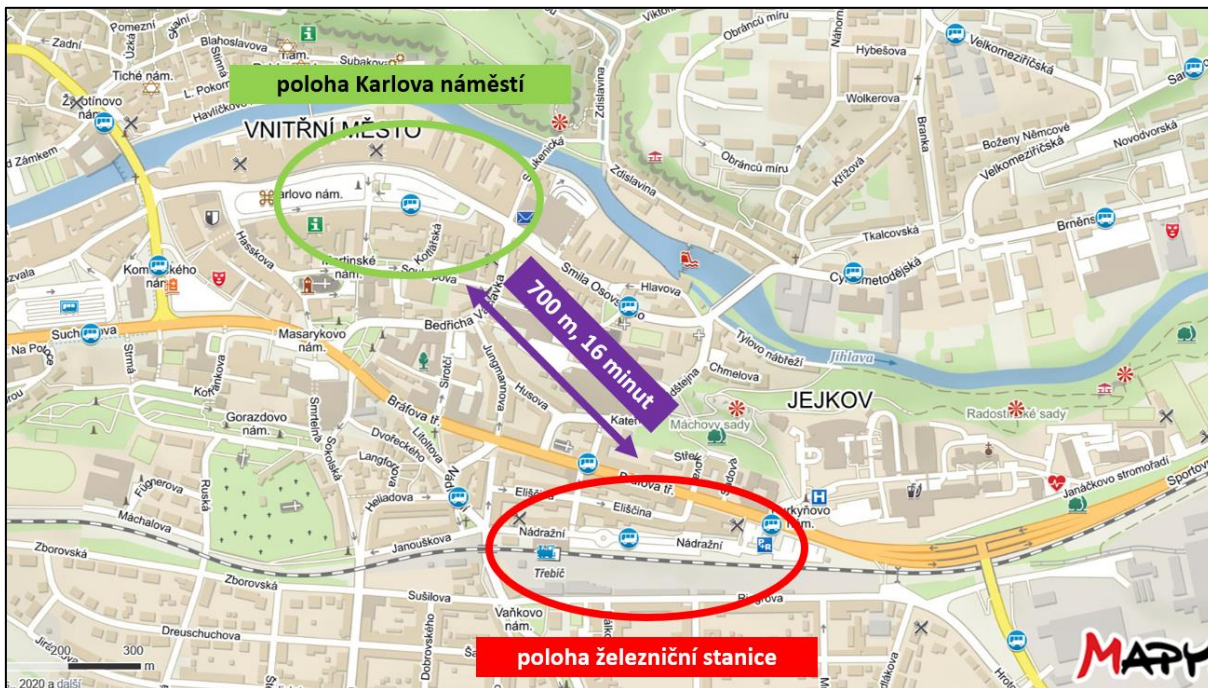


Obrázek 4: Ukázka polohy autobusového nádraží a železniční stanice ([12] úprava - autor)

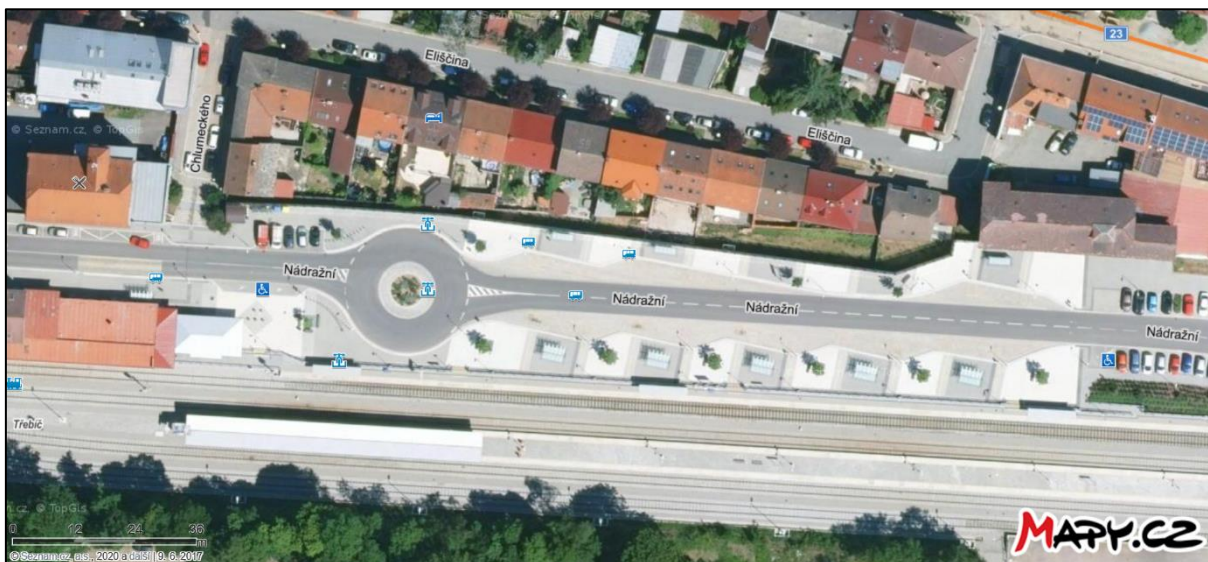
3.1 Umístění přestupního terminálu

Areál přestupního terminálu je situován v širším centru města, konkrétně na ulici Nádražní, což je patrné z obrázku 5. Prostor je obsluhován dvěma komunikacemi, z nichž jedna se nachází na východní straně a ústí do křižovatky Bráfova třída x Purkyňovo náměstí x Sportovní. Druhá vede do křižovatky ulic Nádražní x Oldřichova x Janouškova. Především

západní napojení přestupního terminálu na silniční síť je problematické, neboť je křižovatka nepřehledná, složitá a vytížená, což vzhledem k její neřízenosti způsobuje problémy především v době dopravní špičky. Přibližně v polovině přestupního terminálu je vytvořeno obřatiště pro autobusy i osobní automobily. To je možné vidět na obrázku 6.



Obrázek 5: Poloha Karlova náměstí a železniční stanice ([12] úprava – autor)



Obrázek 6: Letecký pohled na přestupní terminál u železniční stanice [12]

3.2 Popis nástupišť a zastávek

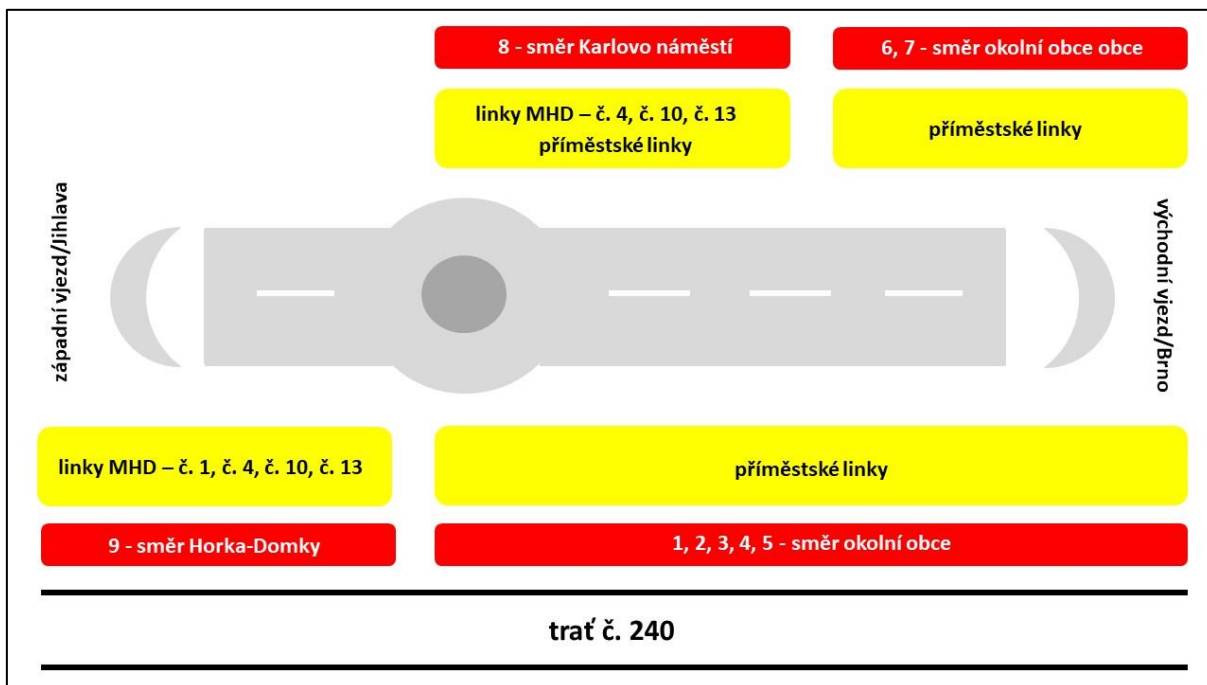
V roce 2020 jsou pro potřeby osobní železniční dopravy k dispozici dvě nástupiště a tři koleje. První a třetí kolej je umístěna u ostrovního nástupiště označeného číslem 2, které je s prostorem přestupního terminálu propojeno podchodem, druhá kolej se nachází u nástupiště umístěného u staniční budovy a označeného číslem 1. V případě nástupiště č. 1 a druhé koleje dochází ještě k rozdělení na levou a pravou část. Tato kolej je využívána především pro osobní vlaky. Druhého nástupiště a první koleje je využíváno zpravidla pro rychlíky. Třetí kolej nacházející se u nástupiště č. 2 je využívána podle potřeby, většinou však pro osobní vlaky během dopravní špičky. Všechna nástupiště jsou uzpůsobena pro nástup do bezbariérového vozidla. Výška nástupišť činí 550 mm. Pro bezbariérový přístup na nástupiště č. 1 jsou vybudovány bezbariérové rampy, nástupiště č. 2 disponuje výtahem. Pohled na nástupiště nabízí obrázek 7.



Obrázek 7: Pohled na železniční stanici v Třebíči a část přestupního terminálu (foto – autor)

Autobusy veřejné dopravy mají k dispozici celkem devět nástupišť, která jsou bezbariérová a pro jejichž vybudování byly využity tzv. kasselské obrubníky umožňující těsné najetí nízkopodlažního vozidla k nástupní hraně. Nástupiště č. 1 až 7 jsou využívány výhradně pro potřeby příměstské autobusové dopravy, nástupiště č. 8 je vyhrazeno pro příměstské autobusy i autobusy městské hromadné dopravy a nástupiště č. 9 slouží pouze spojům městské hromadné dopravy. To je schematicky znázorněno na obrázku 8.

Zastávky č. 1 až 8 jsou umístěny východně od obratiště v areálu. Tři z nich jsou umístěny severně od středové komunikace, pět z nich jižně. Všechna nástupiště ve východní části jsou koncipována jako stupňovitá bez couvání. Nástupiště č. 9 se jako jediné nachází západně od obratiště a jako jediné je podélné a umístěné přímo v jízdním pruhu. [6, 7]



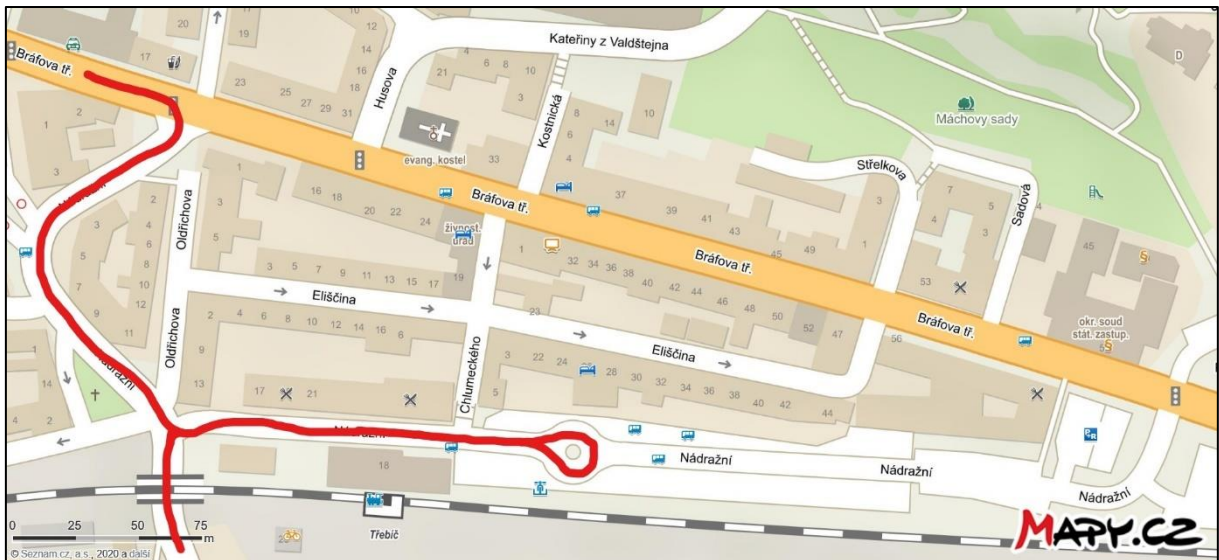
Obrázek 8: Schéma přestupního terminálu u železniční stanice

3.3 Obsluha městskou hromadnou dopravou

Linky MHD zajíždějí do prostoru přestupního terminálu od jeho zprovoznění, tedy od roku 2015. Využívají nástupiště č. 8 a č. 9. V případě výluk jsou operativně využívána i jiná nástupiště. Zastávku Železniční stanice mají ve svém jízdním řádu celkem 4 linky, konkrétně linky č. 1, 4, 10 a 13.

3.3.1 Linka č. 1

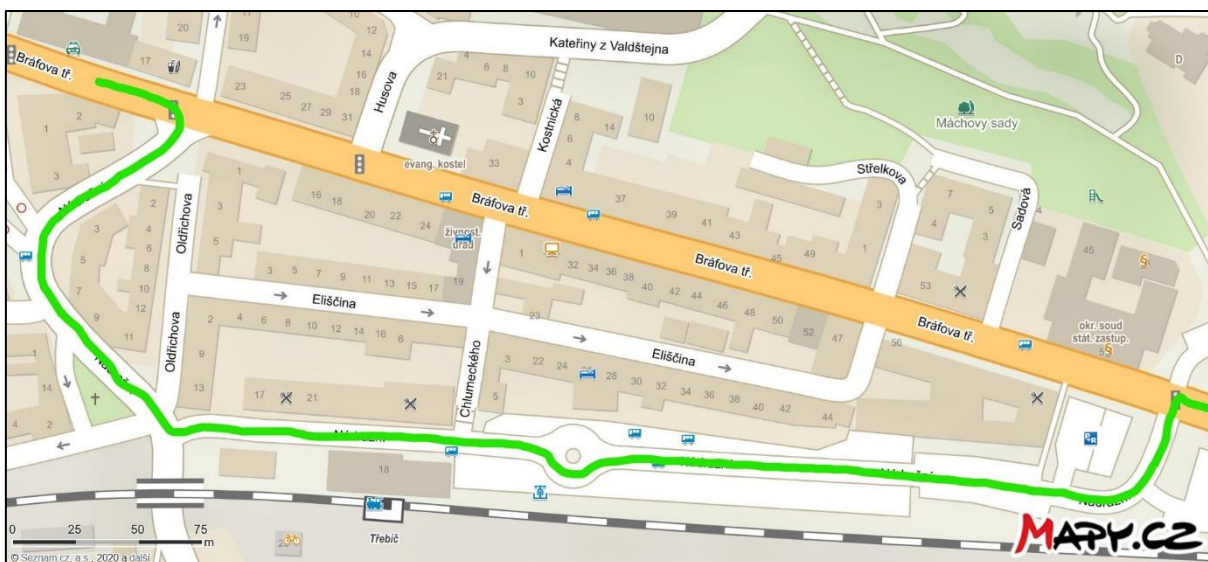
Páteřní linka č. 1 je vedena v trase Poliklinika Vltavínská – Železniční stanice – Karlovo náměstí – Za Rybníkem. Do prostoru přestupního terminálu vjíždí z ulice Nádražní a v obou směrech zastavuje u nástupišti č. 9. Zároveň využívá obratiště, neboť zastávka Železniční stanice je v jejím případě koncipována jako závlek. Vozidlo se tak musí vrátit do „původní trasy“ na ulici Nádražní, jak ukazuje obrázek 9. Přes zastávku Železniční stanice jsou vedeny všechny spoje této linky jak v pracovní dny, tak o víkendech a státních svátcích. V pracovní dny je ve špičce provozována v intervalu 15 minut, v sedle 30 minut, ve večerních hodinách, o víkendech a státních svátcích 60 minut. [13, 18]



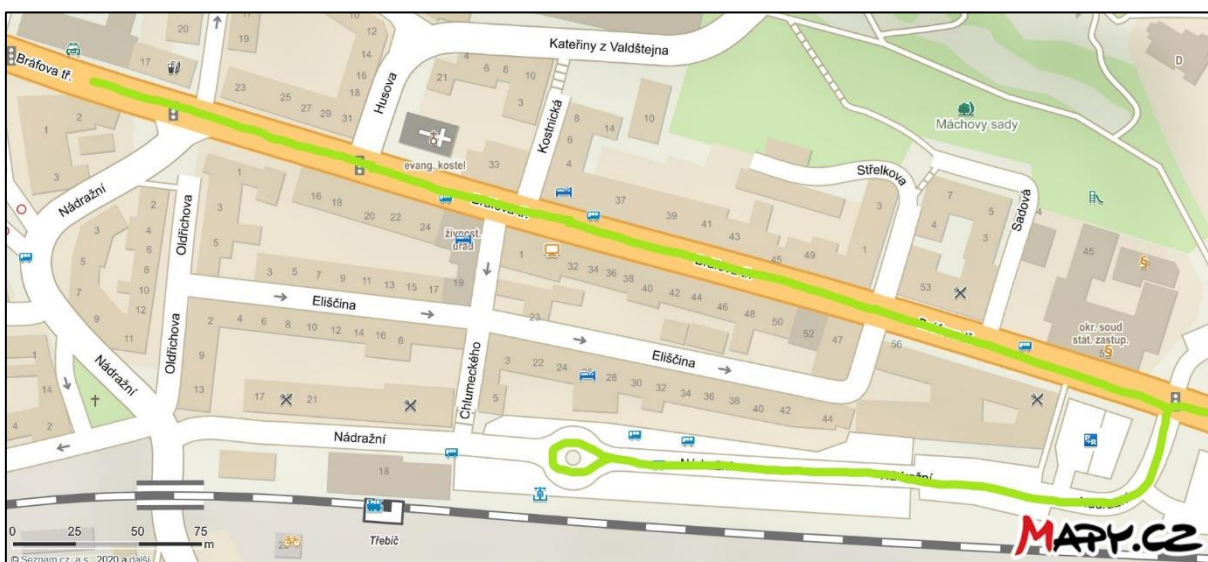
Obrázek 9: Trasa linky č. 1 v blízkosti zastávky Železniční stanice ([12], úpravy - autor)

3.3.2 Linka č. 4

Provozní koncept u linky č. 4 je složitější a linkové vedení je následující. Linka má dva směry – A a B. Pro směr A platí trasa Poliklinika Vltavínská – Železniční stanice – Nemocnice – Brávoa – Karlovo náměstí – Hotel Atom. Směr B je veden takto: Hotel Atom – Karlovo náměstí – Železniční stanice – Nemocnice – Poliklinika Vltavínská. Ve směru A jsou do zastávky Železniční stanice, konkrétně na nástupiště č. 8, vedeny spoje z východního směru závkem z ulice Sportovní a s využitím obratiště se trasa linky vrací na Brávovu třídu, která navazuje na Sportovní ulici. Takto jsou však ve všední dny vedeny pouze spoje, u kterých se předpokládá přestup mezi autobusem MHD a vlakem. Zbývající spoje tuto zastávku neobsluhují a zastavují na zastávce Nemocnice, vzdálené v docházkové vzdálenosti téměř 200 m, a následně na zastávce Brávova. O víkendech a státních svátcích jsou do zastávky Železniční stanice vedeny všechny spoje. V opačném směru spoje vjíždí do prostoru přestupního terminálu z ulice Nádrazní, zastavují u nástupišti č. 9, projedou areál a opouští jej východním vjezdem. V tomto směru jsou do zastávky Železniční stanice vedeny všechny spoje. Trasy pro jednotlivé směry jsou znázorněny na obrázcích 10 a 11. Ve směru A je ve všední den vedena do zastávky Železniční stanice cca třetina všech spojů, u nichž stanovit jednotný interval v průběhu dne. Ve večerních hodinách k železniční stanici nezajíždí žádný spoj, naproti tomu o víkendech a svátcích všechny. V opačném směru jsou intervaly shodné s linkou č. 1. [13, 18]



Obrázek 10: Trasa linky ř. 4 v blízkosti zastávky Źelezniřní stanice, smřer z centra ([12] řupavy - autor)

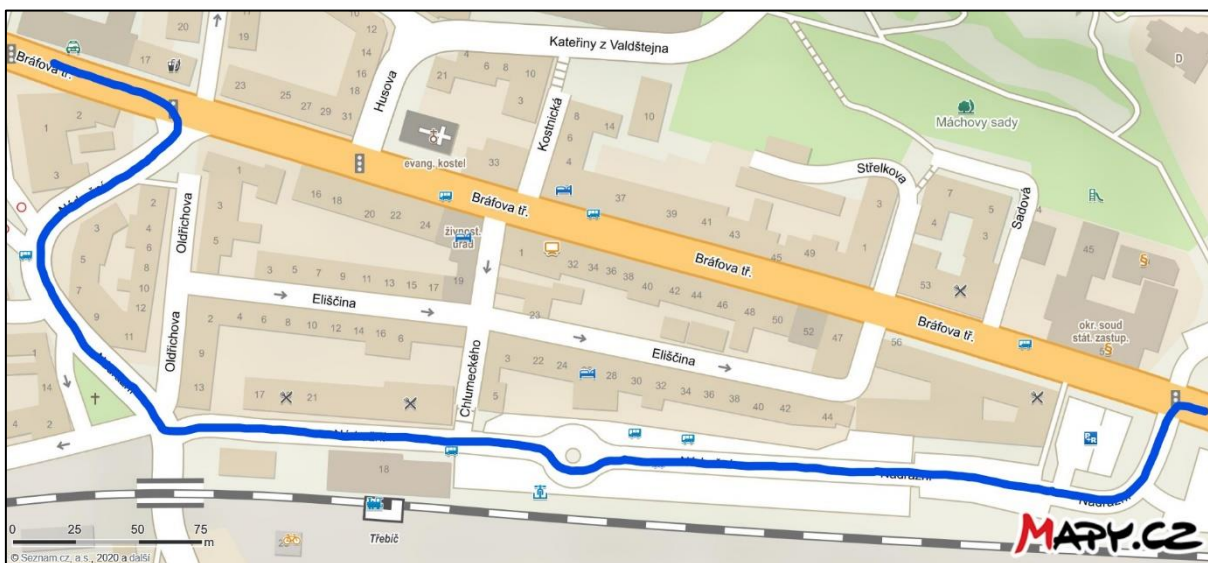


Obrázek 11: Trasa linky ř. 4 v blízkosti zastávky Źelezniřní stanice, smřer do centra ([12] řupavy - autor)

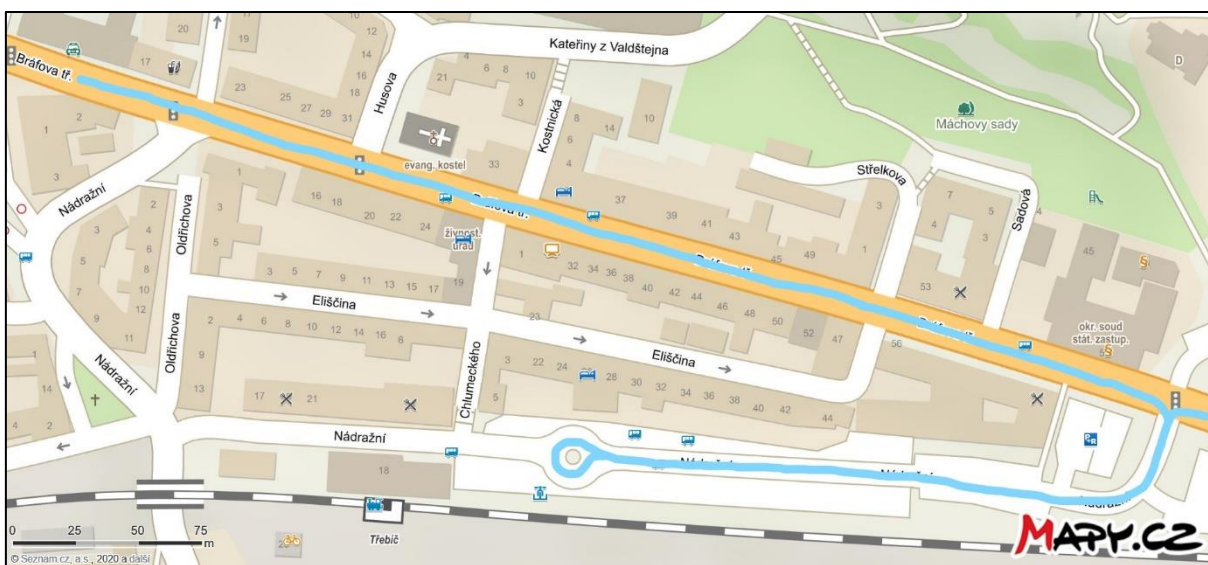
3.3.3 Linka ř. 10

Zastávku Źelezniřní stanice obsluhuje také doplřková linka ř. 10, která má rovnřer dva smřery – A a B. Ve smřeru A je trasa linky vedena následovně: Poliklinika Vltavřnská – Źelezniřní stanice – Nemocnice – Brařova – Karlovo námřstř – U Hřbitova. Ve smřeru B pak přes zastávky U Hřbitova – Karlovo námřstř – Źelezniřní stanice – Nemocnice – Poliklinika Vltavřnská. Provoznř koncept i využitř nřstupiřř jsou podobnř jako u linky ř. 4 s vřjimkou vřkendovřho provozu a střtnř svřtkř. V tyto dny nezajřždř do prostoru přestupnřho terminálu řždnř spoje. Ve smřeru A i B je zastávka Źelezniřní stanice obsluhovřna pouze v dobř rannř a odpolednř řpiřky pracovnř dnř, zpravidla v intervalu 30 minut. Mimo řpiřky autobusy zastavujř pouze

na zastávkách Nemocnice a Bráfova. Trasování linky v obou směrech ukazují obrázky 12 a 13. [13, 18]



Obrázek 12: Trasa linky č. 10 v blízkosti zastávky Železniční stanice, směr z centra ([12] úpravy - autor)

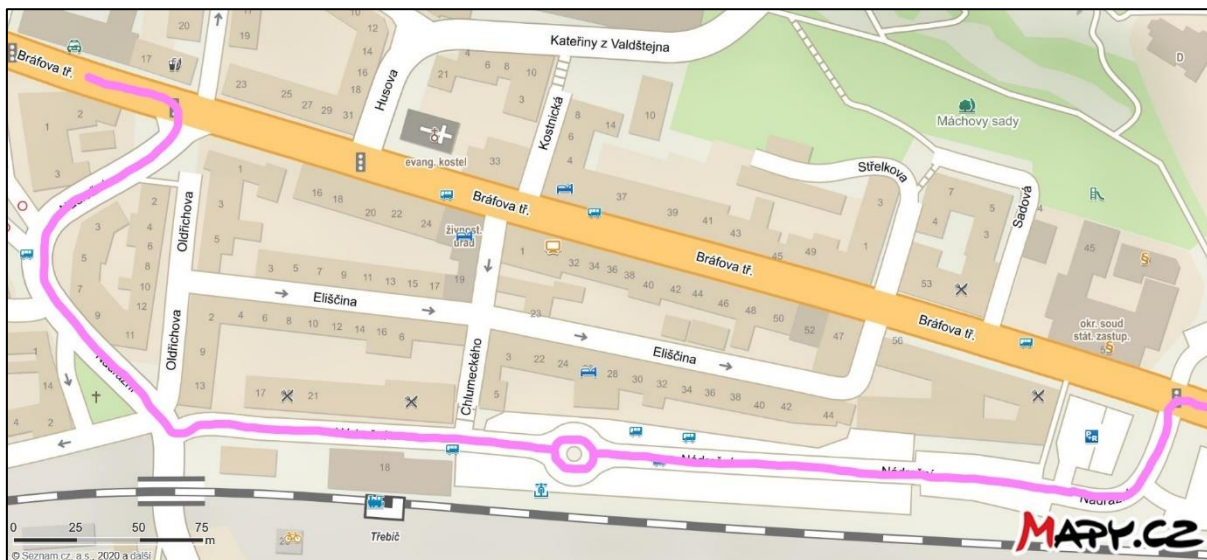


Obrázek 13: Trasa linky č. 10 v blízkosti zastávky Železniční stanice, směr do centra ([12] úpravy - autor)

3.3.4 Linka č. 13

Linka č. 13 je provozována pouze ve všední dny a všechny její spoje obsluhují zastávku Železniční stanice. Autobusy jsou vedeny v trase Jitona – Železniční stanice – Karlovo náměstí a zpět. Ve směru do centra města autobusy vjíždí do areálu přestupního terminálu z východního směru, zastavují na nástupišti č. 8 a pokračují dále skrz areál k západnímu výjezdu. V opačném směru slouží západní směr pro vjezd do přestupního terminálu, vozidla

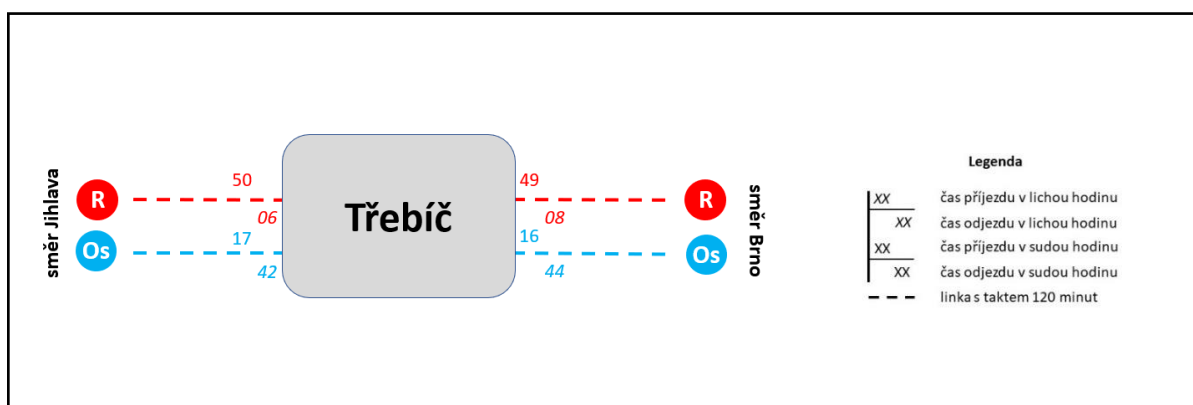
zastavují na nástupišti č. 9 a prostor opouští východním výjezdem. Obrázek 14 trasu linky č. 13 zobrazuje. Intervaly mezi spoji jsou během dne náhodné, neboť linka slouží především pro obsluhu části průmyslové zóny v jihovýchodní části města. [13, 18]



Obrázek 14: Trasa linky č. 13 v blízkosti zastávky Železniční stanice ([12] úpravy - autor)

3.4 Železniční doprava v uzlu Třebíč

Okamžikem platnosti grafikonu 2019/2020 došlo k výrazným změnám na železniční trati č. 240 Brno – Jihlava. Nejvýznamnějšími impulsy byly změna časové polohy rychlíkové linky R11, jejíž provoz objednává a organizuje Ministerstvo dopravy, a zavádění integrovaného systému Kraje Vysočina s názvem Veřejná doprava Vysočiny. Posuny časů příjezdů a odjezdů všech spojů na zmíněné trati výrazně ovlivnily přestupní vazby mezi vlaky a autobusy MHD v přestupním terminálu. Na obrázku 15 je k vidění síťová grafika provozu železniční dopravy v roce 2020.



Obrázek 15: Síťová grafika provozu železniční dopravy v roce 2020 [1]

3.4.1 Relace Třebíč – Brno a zpět

Dopravu z Třebíče do Brna a zpět zajišťují rychlíky, spěšné vlaky a osobní vlaky. Rychlíky jezdí ve dvouhodinovém taktu. Spěšné vlaky plní roli posily rychlíků v ranní špičce ve směru do Brna a v odpolední špičce zpět. Společně s rychlíky tak v tomto období vytvářejí hodinový takt. Spojení do Brna a zpět je doplněno osobními vlaky taktéž ve dvouhodinovém taktu, které jsou v období přepravních špiček posíleny dalšími spoji. V úseku Náměšť nad Oslavou – Brno je vytvořen hodinový takt, který je v úseku Zastávka u Brna – Brno ve špičce snížen na 30 minut. Část osobních vlaků je v obou směrech ukončena v Náměšti nad Oslavou, kde je třeba přestoupit na navazující spoj. Ve stanici Studenec je umožněn přestup na železniční trať č. 252 Studenec – Křižanov a ve stanici Střelice na železniční trať č. 244 Brno – Hrušovany nad Jevišovkou/Oslavany. Časové polohy jednotlivých kategorií vlaků k dispozici v tabulkách 1 a 2. [1]

Tabulka 1: Časy odjezdů vlakových spojů z Třebíče do Brna [1]

Kategorie	Výchozí stanice	Čas odjezdu	Cílová stanice	Čas příjezdu
R	Třebíč	L:08	Brno	S:14
Sp	Třebíč	5:04, 6:06	Brno	6:11, 7:11
Os	Třebíč	L:44	Brno	L:09

Tabulka 2: Časy odjezdů vlakových spojů z Brna do Třebíče [1]

Kategorie	Výchozí stanice	Čas odjezdu	Cílová stanice	Čas příjezdu
R	Brno	L:41	Třebíč	S:49
Sp	Brno	14:38, 16:38	Třebíč	15:50, 17:50
Os	Brno	S:44	Třebíč	S:16

3.4.2 Relace Třebíč – Jihlava a zpět

Spojení z Třebíče do Jihlavy tvoří na rozdíl od opačného směru pouze rychlíky a osobní vlaky. Jelikož přepravní poptávka do Jihlavy a z ní není tak vysoká, nebylo přistoupeno k zavedení posilových spěšných vlaků v období ranní a odpolední přepravní špičky. I v tomto směru jsou rychlíkové spoje vedeny ve dvouhodinovém taktu. Ty jsou doplněny osobními vlaky, které jezdí rovněž ve dvouhodinovém taktu. Taktéž platí, že v ranní a odpolední špičce je provoz nepravidelně posílen dalšími osobními vlaky. Ve stanici Okříšky mohou cestující přestoupit na

spoje železniční tratě č. 241 Okříšky – Znojmo. Příjezdy a odjezdy vlaků směrem do Jihlavy a zpět jsou k vidění v tabulkách 3 a 4. [1]

Tabulka 3: Časy odjezdů vlakových spojů z Třebíče do Jihlavy [1]

Kategorie	Výchozí stanice	Čas odjezdu	Cílová stanice	Čas příjezdu
R	Třebíč	S:50	Jihlava	L:33
Os	Třebíč	S:17	Jihlava	L:11

Tabulka 4: Časy odjezdů vlakových spojů z Jihlavy do Třebíče [1]

Kategorie	Výchozí stanice	Čas odjezdu	Cílová stanice	Čas příjezdu
R	Jihlava	S:26	Třebíč	L:06
Os	Jihlava	L:43	Třebíč	S:35

4 Autobusové nádraží

V Třebíči k roku 2020 funguje také autobusové nádraží, které se nachází na Komenského náměstí v centru města. To je patrné z obrázku 16. Původně bylo na autobusovém nádraží k dispozici pět nástupišť s přibližně třiceti zastávkami. Po zprovoznění přestupního terminálu v roce 2015 došlo k úpravě veřejného prostranství a nahrazení pátého nástupiště parkovacími stánkami pro osobní automobily. [2, 3]



Obrázek 16: Pohled na širší centrum města s vyznačením autobusového nádraží a přestupního uzlu Karlovo náměstí ([12] úpravy - autor)

4.1 Prostorové uspořádání

Autobusové nádraží tvoří v roce 2020 celkem čtyři nástupiště, která jsou uspořádána paralelně. Na třech nástupištích je umístěno 6 zastávek, na čtvrtém 7. Všechna jsou kryta souvislým přístřeškem.

Na ulici Sucheniova, která leží v těsné blízkosti autobusového nádraží, se nachází v každém směru zastávka pro příměstskou a dálkovou autobusovou dopravu. Název zastávek zní U Autobusového nádraží. Tyto zastávky jsou využívány pro několik spojů linek především menších dopravců.

4.2 Vjezd a výjezd

Pro obsluhu autobusového nádraží slouží jeden vjezd a jeden výjezd. Vjezd se nachází v západní části areálu a ústí do křižovatky Sucheniova x Vítězslava Nezvala. Výjezd z prostoru je realizován na ulici Vítězslava Nezvala v severovýchodní části autobusového nádraží. V závislosti na směru linek autobusy při vjezdu využívají trasu přes ulici Sucheniova nebo Vítězslava Nezvala. V případě výjezdu jedou autobusy po ulici Vítězslava Nezvala, ovšem v závislosti na trase linky využijí její západní, nebo východní část. Tento výjezd je zobrazen na obrázku 17. Naopak vjezd do areálu je k vidění na obrázku 18. Podobu autobusového nádraží v roce 2020 ukazuje obrázek 19.



Obrázek 17: Pohled na severní výjezd z autobusového nádraží (fotografie – autor)



Obrázek 18: Pohled na západní vjezd na autobusové nádraží (fotografie – autor)



Obrázek 19: Fotografie zachycující stav autobusového nádraží v roce 2020 (fotografie – autor)

4.3 Využití autobusového nádraží

Areál autobusového nádraží v Třebíči pravidelně využívají pouze linky příměstské a dálkové autobusové dopravy. Linky městské hromadné dopravy do prostoru autobusového nádraží nezajíždí. Jejich zastávky na Komenského náměstí jsou vzdáleny přibližně 100 metrů. Autobusové nádraží však zpravidla slouží jako náhradní plocha pro umístění zastávek Komenského náměstí a Karlovo náměstí v případě jejich uzavření.

Do roku 2015, kdy byl zprovozněn přestupní terminál u železniční stanice, se jednalo o jediný významný uzel meziměstské dopravy v Třebíči. Poté došlo k úpravě tras některých linek objednaných Krajem Vysočina a přemístění jejich výchozí nebo cílové zastávky do prostoru přestupního terminálu s označením Železniční stanice. Jednalo se především o linky směřující severně či východně od města Třebíče. Tím se částečně snížilo využití stávajícího autobusového nádraží. Přesto však zůstal jeho provoz z větší části zachován. Nedošlo tak k situaci, jež nastala ve většině měst a obcí, které vybudovaly nové autobusové nádraží u železniční stanice. Původní autobusová nádraží zcela přestala plnit původní funkci a spoje byly přesunuty do nově vzniklého přestupního uzlu.

4.4 Budoucnost autobusového nádraží

Areál autobusového nádraží je dlouhodobě, již od 90. let 20. století, kdy došlo k omezení počtu autobusů zajišťující dopravu zaměstnanců z Třebíče do Jaderné elektrárny Dukovany, naddimenzovaný a ze současných 25 nástupišť by k pokrytí provozu stačilo 15 nástupišť. Tato hodnota vychází z jízdních řádů linek využívajících autobusové nádraží. Od roku 2020 je

k dispozici studie, jež má naznačit možnosti budoucího využití prostoru. Jednou z posuzovaných variant je ponechání především dopravní funkce tomuto prostranství. S úplným zánikem zastávek pro příměstskou a dálkovou autobusovou dopravu se však nepočítá. [8]

5 Technologie provozu MHD v Třebíči

Technologii MHD je možné chápat jako soustavu navzájem souvisejících a organizovaných způsobů pohybu dopravních prostředků, které ve městech umožňují přemísťování osob a věcí mezi požadovanými místy v požadovaném čase. Způsoby pohybu jsou řízeny z hlediska prostoru a času. [4, 7]

Provoz MHD v Třebíči je v roce 2020 zajišťován pouze jedním typem dopravního prostředku, a tím jsou autobusy. Na přelomu 80. a 90. let 20. století však byla situace odlišná, neboť město plánovalo zavedení trolejbusové dopravy, která měla převzít většinu přepravního výkonu ve městě. Vozidla s nezávislou trakcí, tedy autobusy, měly být využívány pro linky mimo kompaktní část města a měly tvořit provozní zálohu v případě výpadků trolejbusové sítě. [3]

V roce 2020 je vozidlový park tvořen celkem 23 nízkopodlažními autobusy značek Mercedes-Benz nebo MAN. 21 autobusů je standardní délky pro cca 90 cestujících, zbývající část tvoří 2 minibusy s kapacitou 19 osob určené pro méně vytížené linky. Dva zástupci vozidel zajišťující třebíčskou MHD jsou zachyceny na obrázku 20.



Obrázek 20: Fotografie dvou typů vozidel zajišťujících provoz MHD v Třebíči – autobus a minibus (fotografie – autor)

5.1 Denní potřeba vozidel

Je nutné od sebe odlišit potřebu vozidel v pracovní dny a o víkendech a státních svátcích. V pracovní dny dopravce pro zajištění provozu využívá všech 23 vozidel. 22 vozidel je využito na linkách MHD, jedno vozidlo slouží jako záloha pro případ provozních komplikací. O víkendech je potřeba pro zajištění provozu celkem 8 vozidel. Z tohoto počtu slouží jeden autobus po většinu dne jako záloha, ale i přesto během dne pravidelně obslouží několik spojů MHD.

5.2 Oběhy vozidel a směny řidičů

V následujících podkapitolách bude popsána technologie oběhů vozidel v Třebíči. Ty fungují na principu pevné vazby mezi řidičem a vozidlem. Řidič absolvuje denní službu zpravidla na jednom vozidle, není-li z mimořádných důvodů nutné tento postup změnit. Pro zajištění provozu MHD jsou u řidičů autobusů využívány ranní, odpolední a celodenní směny. Oběhy vozidel jsou rozdílně koncipovány v pracovní a víkendové dny.

5.2.1 Oběhy vozidel v pracovní dny

Oběhy vozidel během pracovních dnů mají jednu základní vlastnost. Autobusy zpravidla nejsou provozovány na jedné lince, ale v rámci jejich provozní doby dochází k přejezdům mezi jednotlivými linkami. Většina oběhů je rozdělena na dvě skupiny.

V první kategorii dochází ke střídání páteřních linek č. 1, 4, 5. Ty tvoří základní obsluhu největších městských částí, které spojují s centrem města. Linka č. 1 je vedena v trase Poliklinika Vltavínská – Karlovo náměstí – Za Rybníkem. Linka č. 4 má linkové vedení následující: Poliklinika Vltavínská – Karlovo náměstí – Hotel Atom. Linka č. 5 je trasována takto: Za Rybníkem – Karlovo náměstí – Na Holečku. Ze zjednodušeně popsaného linkového vedení je patrné, že existují dvě konečné zastávky, které jsou společné dvěma ze zmíněných linek. Jedná se o zastávku Poliklinika Vltavínská, kterou obsluhují linky č. 1 a 4, a zastávka Za Rybníkem, která je výchozí či cílovou zastávkou linek č. 1 a 5. Linky č. 4 a č. 5 společnou konečnou zastávku nemají, k jejich propojení je však možné využít linku č. 1, k čemuž v rámci oběhů dochází. Na následujícím příkladě je tento princip popsán prakticky

Vozidlo A odjíždí z výchozí zastávky Na Holečku jako linka č. 5 v 10:15 a přijíždí na konečnou zastávku Za Rybníkem v 10:42 minut. Ze zastávky Za Rybníkem dále pokračuje v 10:48 jako linka č. 1 do zastávky Poliklinika Vltavínská, s příjezdem v 11:10. Následuje obsluha spoje na lince č. 4, který začíná v zastávce Poliklinika Vltavínská v 11:14 a do cílové zastávky Hotel

Atom je příjezd naplánován v 11:47. Jelikož se v tomto případě jedná o konečnou zastávku, která není propojena s linkou č. 5, vozidlo vyčká do odjezdu linky č. 4 v 11:57 a do cílové zastávky Poliklinika Vltavínská přijede v 12:30. Opět následuje obsluha spoje linky č. 1 z výchozí zastávky Poliklinika Vltavínská ve 12:34, který do cílové zastávky Za Rybníkem přijíždí v 12:57. Ve 13:03 je autobus nasazen na spoj linky č. 5 a ve 13:30 přijíždí do cílové zastávky Na Holečku. Tím se vozidlo dostává do místa, odkud vyjelo v roce 10:15. Provozní koncepci lze zjednodušeně zobrazit v tabulce 5.

Tabulka 5: Vzor oběhů vozidel na páteřních linkách v pracovní dny

Číslo linky	Výchozí zastávka	Čas odjezdu	Cílová zastávka	Čas příjezdu
5	Na Holečku	10:15	Za Rybníkem	10:42
1	Za Rybníkem	10:48	Poliklinika Vltavínská	11:10
4	Poliklinika Vltavínská	11:14	Hotel Atom	11:47
4	Hotel Atom	11:57	Poliklinika Vltavínská	12:30
1	Poliklinika Vltavínská	12:34	Za Rybníkem	12:57
5	Za Rybníkem	13:03	Na Holečku	13.30

Tento systém přechodů mezi linkami byl nastaven v roce 2012, kdy došlo k optimalizaci MHD, a měl za cíl minimalizovat celkovou délku pobytu vozidel v jednotlivých konečných a snížit počet vozidel a řidičů potřebných pro zajištění provozu. U většiny autobusových oběhů, které obsahují páteřní linky, je využíváno výše popsaného systému. Jsou však také výjimky, kdy vozidla po dobu dvou až tří hodin, především v době ranní a odpolední špičky, zůstávají na jedné konkrétní lince a k přejezdům nedochází, neboť i při ponechání vozidla na jedné lince jsou čekací doby mezi jednotlivými spoji na konečných zastávkách pouze několik minut. [2, 9]

V druhém případě dochází k přechodům mezi doplňkovými linkami, především č. 11, 12, 13 a 31. Spoje těchto linek mají zpravidla společnou výchozí či cílovou zastávku, kterou je Karlovo náměstí. K přechodům mezi linkami může docházet kvůli tomu, že spoje na těchto linkách jezdí spíše nepravidelně. Jelikož jich je podstatně méně než v případě páteřních linek, jsou jejich příjezdy do přestupního uzlu na Karlovo náměstí a odjezdy z něj směřovány na minuty 00, 15, 30, 45. I v tomto případě je cílem minimalizovat čekání v konečných zastávkách před obsluhou dalšího spoje. Příklad je následující.

Autobus B odjíždí z výchozí zastávky na Karlově náměstí jako linka č. 11 v 9:17 a do stejnojmenné cílové zastávky přijíždí v 9:45. V 9:47 opět vyjíždí z Karlova náměstí jako linka č. 11 a vrací se v 10:15. Následně odjíždí z výchozí zastávky Karlovo náměstí jako linka č. 13 do zastávky Jitona, kam přijede v 10:28. Ze zastávky Jitona odjíždí zpět v 10:32 a na Karlovo náměstí autobus přijíždí v 10:45. V 10:47 vozidlo odjíždí jako linka č. 11 z Karlova náměstí a vrací se v 11:15. V 11:17 opět odjíždí z výchozí zastávky jako linka č. 11 do cílové zastávky Karlovo náměstí, kam přijede v 11:45. Provoz lze zjednodušeně zapsat viz tabulka 6.

Tabulka 6: Vzor oběhů vozidel na doplňkových linkách v pracovní dny

Číslo linky	Výchozí zastávka	Čas odjezdu	Cílová zastávka	Čas příjezdu
11	Karlovo náměstí	9:17	Karlovo náměstí	9:45
11	Karlovo náměstí	9:47	Karlovo náměstí	10:15
13	Karlovo náměstí	10:15	Jitona	10:28
13	Jitona	10:32	Karlovo náměstí	10:45
11	Karlovo náměstí	10:47	Karlovo náměstí	11:15
11	Karlovo náměstí	11:47	Karlovo náměstí	11:45

U několika oběhů výše uvedená pravidla dodržena nejsou. I přesto je zde možné najít charakteristické vlastnosti – větší množství manipulačních jízd mezi jednotlivými konečnými zastávkami nebo ponechání jednoho vozidla pro obsluhu konkrétní linky. V rámci třebíčské MHD jsou ještě vytvořeny dva speciální oběhy, které jsou určeny pro provoz minibusů.

5.2.2 Víkendy a státní svátky

Provozní situace o víkendech a státních svátcích je odlišná. V těchto případech jsou oběhy vozidel, včetně směn pro řidiče, tvořeny jednodušeji. U páteřních linek č. 1, 4 a 5 je stanoven takt mezi následnými spoji v jednom směru na hodnotu 60 minut. Jelikož doba jízdy u všech linek mezi výchozí a konečnou zastávkou činí 30 minut, případně méně, postačí pro zajištění provozu na těchto linkách 3 vozidla, přičemž každé z nich obsluhuje spoje jedné linky. Mimo pracovní dny jsou však provozovány také linky č. 10, 11, 12, 14 a 31. Lince č. 10 je taktéž přiděleno jedno vozidlo a ostatní linky jsou zajištěny zbývajícími autobusy.

V obdobích víkendů a státních svátků převládají tzv. ranní a odpolední směny, kdy je jeden autobus v provozu celý den. Vozidlo však využívají dva řidiči – první během ranní směny, druhý po dobu odpolední. Zbytek provozu je zabezpečen tzv. celodenními směnami.

Během těchto dní je také výrazně nižší počet manipulačních jízd. Jelikož jsou však především na páteřních linkách velmi krátké doby obratu, mnohdy stanoveny na hodnotu 0 minut, je třeba také dodržet bezpečnostní přestávky řidičů. V těchto časových polohách spoje na páteřních i doplňkových linkách vyjíždějí řidiči s přidělenou celodenní směnou.

5.3 Jízdní doby mezi zastávkami

Důležitým údajem z provozu jsou jízdní doby mezi konečnými zastávkami jednotlivých linek a jednotlivými dvojicemi zastávek. Proto bylo přistoupeno k analýze jízdních dob z roku 2020 a jejich porovnání s reálným provozem. Navrhované úpravy jsou založeny na provozních zkušenostech a odborném odhadu, které jsou podpořeny experimentálním měřením v terénu. Hodnoty byly taktéž porovnávány s příslušnou částí dokumentu Průzkum, analýza a koncepce víkendového provozu městské autobusové dopravy v Třebíči. V tabulce 7 jsou uvedeny

jednotlivé dvojice zastávek, kde jsou zaznamenány současné jízdní doby ve směru z centra a do centra, ke kterým jsou přiřazeny navrhované jízdní doby. [5]

Tabulka 7: Informace o platných a navržených jízdních dobách [5]

Název zastávky	Název zastávky	j. d. ZC	j. d. ZC. nově	j. d. DC	j. d. DC nově
Za Rybníkem	Koželužská	2	2	2	2
Koželužská	Revoluční	1	1	2	1
Revoluční	U Kapličky	2	2	1	2
U Kapličky	Sucheniova	2	1	2	2
Sucheniova	Komenského náměstí	2	2	2	2
Komenského náměstí	Karlovo náměstí	3	3	3	3
Karlovo náměstí	Nádražní	4	3		
Nádražní	Železniční stanice	1	1		
Karlovo náměstí	Železniční stanice			5	4
Železniční stanice	Znojemská			2	2
Železniční stanice	Demlova, školka	2	2		
Demlova, školka	Demlova	1	1		
Demlova	Znojemská			1	1
Demlova	Poliklinika Vltavinská	2	2	2	2
Poliklinika Vltavinská	Družstevní	1	1	1	1
Družstevní	Kubišova	2	1	2	2
Kubišova	U Kotelny	2	2	2	2
U Kotelny	U Lípy	1	1	1	1
U Lípy	Hrotovecká	1	1	1	1
Hrotovecká	Nemocnice	1	1	1	
Hrotovecká	Železniční stanice			1	1
Železniční stanice	Nemocnice	1	1	1	1
Nemocnice	Bráfova			1	1
Bráfova	Komenského náměstí			2	2
Komenského náměstí	Karlovo náměstí	2	3	3	3
Poliklinika Vltavinská	Václavské náměstí	1	1	1	1
Václavské náměstí	Jiráskova	1	1	1	1
Jiráskova	Křížkovského	1	1	1	1
Křížkovského	Březinova	1	1	1	1
Březinova	Kosmákova	1	1	1	1
Kosmákova	Hrotovecká	1	1	1	1
STOP-SHOP	Znojemská	2	2	2	3
Znojemská	Březinova	2	1	2	1
Koželužská	Řípov, rozcestí	3	2	2	2
Řípov, rozcestí	Poušov	1	1	1	1
Řípov, rozcestí	Revoluční	1	2	3	2
Karlovo náměstí	Žerotínovo náměstí	2	3	2	3
Žerotínovo náměstí	Zámek	1	1	1	1
Zámek	Račerovecká	1	1	2	1
Sýpky	Zámek			1	1
Palackého	Sýpky			2	1
Týn, Jednota	Palackého			1	2

Palackého	Nová	2	2	2	2
Lavického	Týn, Jednota			-	1
Račerovická	Sokolí	7	6		
Račerovická	Sokolí, rozcestí	3	3	5	3
Sokolí, rozcestí	Nová Ves	4	5	4	5
Sokolí	Nová Ves	8	8		
Nová Ves	Nová Ves, MANN+HUMMEL	1	2	1	2
Nová Ves, MANN+HUMMEL	Přibyslavice, kolonie	1	1	1	1
Přibyslavice, kolonie	Přibyslavice	1	2	1	2
Sokolí	Bažantnice	5	8		
Račerovická	Bažantnice	4	3		
Bažantnice	Račerovice	2	2		
Račerovice	Račerovice, náves	1	1	-	1
Bažantnice	Na Příkopech	3	3		
Račerovická	Na Příkopech	1	1		
Na Příkopech	Nová	1	2	1	2
Na Příkopech	Koutkova	2	2	2	2
Nová	Lavického	2	2	2	2
Koutkova	Nová	1	2	1	2
Na Holečku	M. Majerové	2	1	1	2
Týn	Dubina, hájenka	3	3	3	3
Na Holečku	U Hřbitova	1	1		
Lavického	U Hřbitova	2	1	-	1
Dubina, hájenka	Budíkovice, rozcestí	3	2	3	2
Budíkovice, rozcestí	Budíkovice	1	1	1	1
M. Majerové	Gen. Svobody	1	1	2	1
Gen. Svobody	Míčova	1	1	1	1
Míčova	Benešova	2	2	2	2
Benešova	A. Kratochvíla	1	1	1	1
A. Kratochvíla	Dřevořské závody	2	2	2	2
M. Majerové	Poliklinika Hájek	2	1		
Poliklinika Hájek	Hotel Atom	1	1	1	1
Hotel Atom	Modřínová	2	1	2	1
Modřínová	A. Kratochvíla	2	2		
Modřínová	ZŠ Na Kopcích	1	2	1	1
ZŠ Na Kopcích	Mototechna	2	3		
ZŠ Na Kopcích	Samešova	1	1	2	2
Dřevořské závody	Cyrlometodějská	2	2	2	2
Samešova	Cyrlometodějská	2	2	2	2
Cyrlometodějská	Karlovo náměstí	2	2	2	3
Mototechna	Kaufland	1	1	1	1
Kaufland	Cyrlometodějská	2	1	2	1
Mototechna	Colas	1	1	1	1
Colas	Palečkův mlýn	1	1	1	1

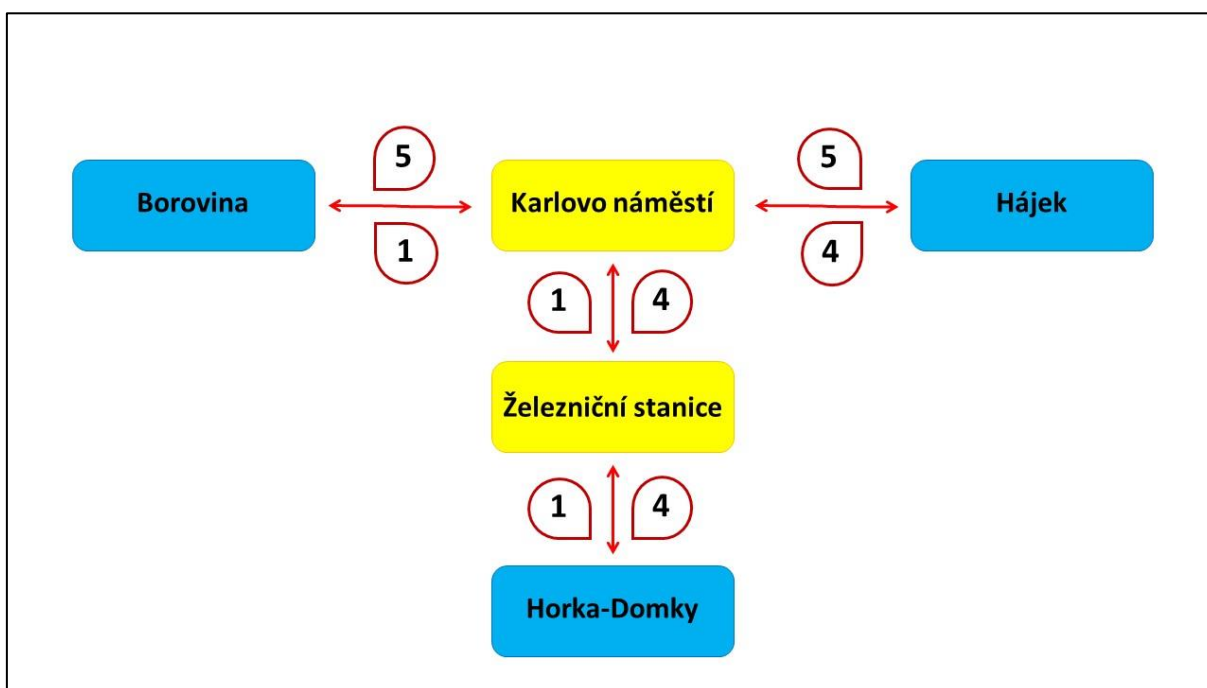
6 Specifikace provozu o víkendech a státních svátcích

MHD v Třebíči je o víkendech a státních svátcích provozována od 4.45 do 23.15. Nejdůležitější součástí systému tvoří páteřní linky č. 1, 4 a 5, které mají stejný takt, jehož hodnota činí 60 minut. Doba linky je u všech páteřních linek nižší než 30 minut, oběžná doba nižší než 60. Z toho vyplývá potřeba právě jednoho vozidla pro zajištění obsluhy spojů. Dále jsou provozovány doplňkové linky č. 10, 11, 12, 14 a 31. Linka č. 10 je provozována taktéž v 60minutovém taktu, doba linky je nižší než 30 minut a oběžná doba nižší než 60 minut. Zde je přiděleno taktéž jedno vozidlo. U zbylých linek jsou během víkendových dní a státních svátků v provozu pouze jednotky spojů, které zajišťují zbývající autobusy. [13, 14]

6.1 Přestupní vazby na Karlově náměstí a vzájemná závislost linek

Víkendový provoz MHD v Třebíči je založen na tzv. rozjezdech z Karlova náměstí, ke kterým dochází každých 30 minut. Jsou tak vytvořeny přestupní vazby v jediném přestupním uzlu trebičské MHD. Pro linky č. 1, 4, 5, 10 a 14 plní Karlovo náměstí zpravidla roli průjezdní zastávky, pro linky č. 11, 12 a 31 výchozí nebo cílové zastávky.

Z hlediska přestupních vazeb jsou nejdůležitější relace mezi páteřními linkami, tedy linkami č. 1, 4 a 5. Ty jezdí v jednotlivých směrech v pravidelném prokladu 30 minut. Takt z pohledu obsluhy páteřních směrů je tedy stanoven na 30 minut. Dopravu k železniční stanici a do čtvrti Horka-Domky zajišťují linky č. 1 a 4. Spojení na Hájek je realizováno linkami č. 4 a 5. Zbývající směr do Boroviny obsluhují linky č. 1 a 5. To je zobrazeno na obrázku 21.



Obrázek 21: Zjednodušené zobrazení tras páteřních linek s přestupními uzly a konečnými zastávkami

V intervalu 60 minut lze v každém směru nastoupit do dvou spojů, díky nimž se cestující dostane do centra města, odkud může pokračovat do cílových zastávek zbývajících páteřních linek. V jednom případě bez přestupu, ve druhém s přestupem na Karlově náměstí. Situaci lze demonstrovat na následujícím příkladu:

- spojení Borovina (zastávka Za Rybníkem) – Karlovo náměstí – Horka-Domky (zastávka Poliklinika).

V případě spojení s jedním přestupem využije cestující linku č. 5 s odjezdem v 10:03 ze zastávky Za Rybníkem. Následně na Karlově náměstí, kam přijede v 10:15, přestoupí na spoj linky č. 4 s časem odjezdu 10:15. Příjezd do cílové zastávky je v 10:30 minut. Cestující má možnost využít také druhého spojení, tentokrát linky č. 1, které je přímé a čas odjezdu z výchozí zastávky je stanoven na 10:33. Čas příjezdu do cílové zastávky je v 10:56 minut. Na stejném principu fungují také spojení mezi dalšími dvěma konečnými zastávkami. To je znázorněno v tabulce 8 v časovém intervalu 10:00 – 11:00.

Tabulka 8: Možná spojení v rámci tří páteřních linek

Čtvrť	Čas odjezdu z výchozí zastávky	Čas příjezdu do přestupního uzlu	Linka	Vznik přestupu	Linka	Čas odjezdu z přestupního uzlu	Čas příjezdu do cílové zastávky	Čtvrť
Borovina	10:03	10:15	5	Ano	4	10:15	10:30	Horka-Domky
Borovina	10:33	10:45	1	Ne	1	10:45	10:56	Horka-Domky
Borovina	10:03	10:15	5	Ne	5	10:15	10:25	Hájek
Borovina	10:33	10:45	1	Ano	4	10:45	10:59	Hájek
Horka-Domky	10:04	10:15	1	Ne	1	10:15	10:27	Borovina
Horka-Domky	10:30	10:45	4	Ano	5	10:45	10:57	Borovina
Horka-Domky	10:04	10:15	1	Ano	5	10:15	10:25	Hájek
Horka-Domky	10:30	10:45	4	Ne	4	10:45	10:59	Hájek
Hájek	9:59	10:15	4	Ne	4	10:15	10:30	Horka-Domky
Hájek	10:35	10:45	5	Ano	1	10:45	10:56	Horka-Domky
Hájek	9:59	10:15	4	Ano	1	10:15	10:27	Borovina
Hájek	10:35	10:45	5	Ne	5	10:45	10:57	Borovina

Z výše uvedené tabulky je patrné, že přímé spojení každé dvojice konečných zastávek zajišťuje vždy jedna ze tří zmíněných linek. Druhé spojení, které je realizováno s přestupem, zabezpečují zbývajcí dvě.

Přestupní vazby vznikají také mezi páteřními a doplňkovými linkami a naopak. Jízdní řády v roce 2020 však již s jejich návazností na páteřní linky v přestupním uzlu pracují a stejně tomu bude v případě dalších úprav v návrhu, který je součástí této práce. [17, 18]

Pro případnou úpravu jízdních řádů v souvislosti s koordinací přestupních vazeb mezi autobusy MHD a vlaky je tak nutné brát v potaz, že ačkoliv se primárně jedná o změny na linkách linky č. 1 a 4 zajíždějící k železniční stanici, budou kvůli podmínce dodržení rozjezdů na Karlově náměstí ovlivněny také zbývajcí linky. Jelikož mají linky č. 5, 10, 11, 12, 14 a 31

pouze jeden koordinační uzel, kterým je Karlovo náměstí, lze jejich provoz přizpůsobit linkám č. 1 a 4, u kterých je třeba zohlednit jak uzel na Karlově náměstí, tak uzel u železniční stanice.

6.2 Spojení Karlova náměstí s železniční stanicí v Třebíči

Přímé spojení těchto dvou zastávek je o víkendech a státních svátcích zajištěno linkami č. 1 a 4. Obě linky jezdí ve vzájemném prokladu a tvoří 30minutový takt. Mírně se však liší jejich trasa i cestovní doba. Železniční stanici nepřímo obsluhují také linky č. 10 a 14.

6.2.1 Linka č. 1

Tato linka je vedena následujícími ulicemi: Karlovo náměstí → Bedřicha Václavka → Bráfova → Nádražní. Jízdní doba je stanovena v obou směrech na pět minut. Ve směru do centra není mezi uzly Železniční stanice a Karlovo náměstí žádná zastávka. V opačném směru existuje navíc zastávka Nádražní, která se nachází 1 minutu od zastávky Železniční stanice. Ve směru Železniční stanice → Karlovo náměstí odjíždí autobusy v XX:10, v opačné relaci přijíždí do prostoru přestupního terminálu v časech XX.50. [13, 18]

6.2.2 Linka č. 4

Druhá páteřní linka má rozdílné trasování z hlediska směrů. V případě spojení z centra je následující: Karlovo náměstí → Komenského náměstí → Masarykovo nádraží → Bráfova → Nádražní. V opačném směru vypadá takto: Nádražní → Purkyňovo náměstí → Bráfova → Masarykovo náměstí → Komenského náměstí → Karlovo náměstí. V prvním případě je mezi uzly Karlovo náměstí a Železniční stanice umístěna zastávka Komenského náměstí a celková jízdní doba činí 5 minut. Ve směru do centra linka č. 4 obsluhuje také zastávky Nemocnice, Bráfova a Komenského náměstí. Jízdní doba je stanovena na 7 minut. Příjezdy z centra do zastávky Železniční stanice jsou stanoveny na čas XX.20, odjezdy do centra na XX.38. [13, 18]

6.2.3 Linka č. 10

Nepřímou obsluhu přestupního terminálu zajišťuje o víkendech a státních svátcích linka č. 10. Ta je trasována přes zastávky Nemocnice a Bráfova, které jsou vzdáleny od zastávky Železniční stanice cca 150 m. Lze ji proto také využít v rámci přestupních vazeb mezi autobusy MHD a vlaky. Linka ve směru do centra projíždí ulice Bráfova a Bedřicha Václavka a Karlovo náměstí. Při této příležitosti obsluhuje zastávky Nemocnice, Bráfova a Karlovo náměstí. Jízdní doba činí 5, resp. 4 minuty v závislosti na místě nástupu. V opačném směru jsou obsluhované

zastávky i trasa stejné. Jízdní doba je stanovena taktéž na 4, resp. 5 minut. Linka č. 10 má však časy odjezdů z přestupního terminálu ve směru do centra a příjezdů na přestupní terminál ve směru z centra téměř shodné s linkou č. 1. Podobně jako tato linka slouží ke spojení přestupního terminálu s oblastí čtvrti Horka-Domky, ačkoliv se jedná o odlišnou trasu. Proto slouží především pro přímé spojení železniční stanice s oblastí městské části Podklášteří a Týn. Čas odjezdu ze zastávky Bráfova ve směru do centra města je v XX:11, v opačném směru v XX:49. [13, 18]

6.2.4 Linka č. 14

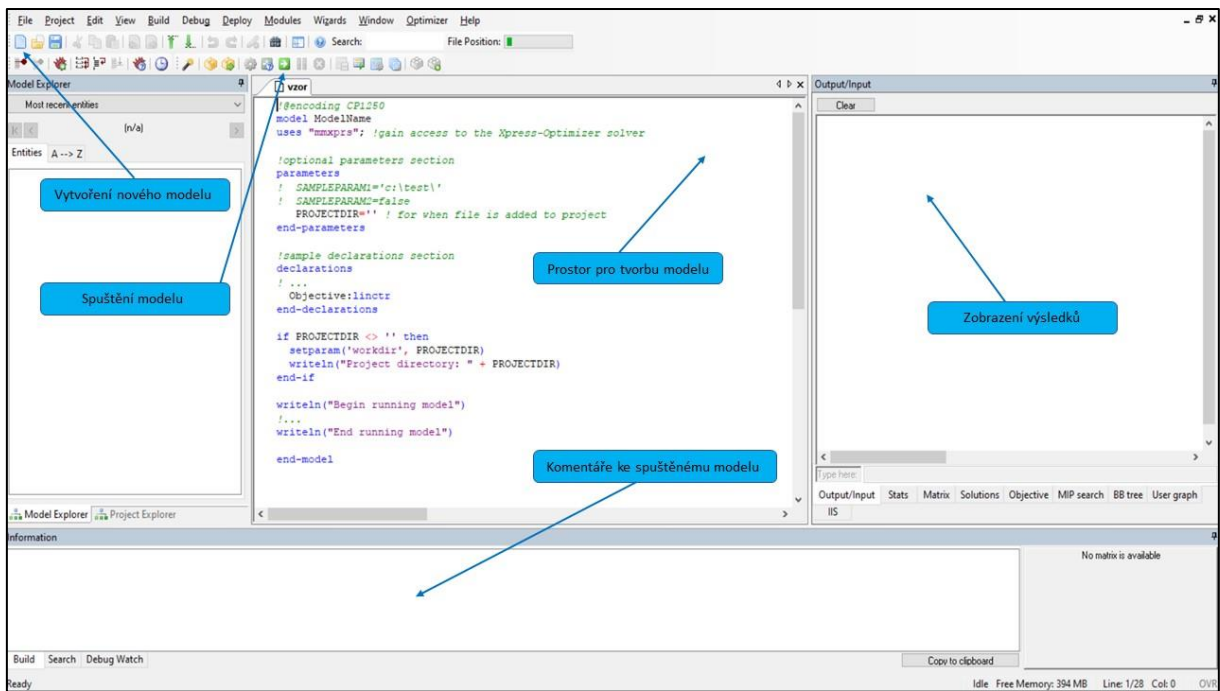
Polední linkou, která o víkendech a státních svátcích obsluhuje přestupní terminál, je č. 14. Stejně jako linka č. 10 nezajíždí na zastávku Železniční stanice, ale využitím blízkých zastávek Nemocnice a Bráfova vytváří alternativní spojení centra města s přestupním terminálem. S linkou č. 10 má i společné trasování a jízdní doby, které v závislosti na zastávkách Nemocnice a Bráfova činí 4 nebo 5 minut. Jelikož je o víkendech a státních svátcích v provozu pouze několik spojů denně, nepřenáší významnou přepravní zátěž a není pro koordinaci přestupních vazeb prioritní. Z velké části kopíruje linku č. 1 jak v oblasti Horka-Domky, tak v oblasti Boroviny. Ani v jednom směru nejsou ze zastávky Bráfova stanoveny pravidelné časy příjezdů a odjezdů, neboť v období víkendů a státních svátků je provozováno jen několik spojů. [13, 18]

7 Optimalizační software Xpress-IVE

Matematický model, který bude pro koordinaci linek vytvořen, je třeba převést do podoby, kterou je schopen zpracovat optimalizační software. Pro potřeby této diplomové práce byl zvolen program Xpress-IVE, jehož základní verze v anglickém jazyce je dostupná na internetu. Svými funkcemi dostačuje k vyřešení sestavených optimalizačních úloh. V následujících odstavcích bude zjednodušeně popsáno uživatelské rozhraní programu. [10]

7.1 Úvodní obrazovka

Po otevření softwaru Xpress-IVE se zobrazí úvodní obrazovka. V levé horní části jsou jednotlivé záložky, které slouží k základnímu ovládní programu. Zde jsou funkce, volně přeložené do češtiny, jako „otevřít dokument“, „uložit projekt“, dále zobrazení jednotlivých nástrojů programu nebo viditelnost výsledků atd. Aby bylo možné začít tvořit nový projekt, je třeba na úvodní obrazovce v levé horní části kliknout na ikonu symbolizující čistý bílý papír s označením „New“. Poté středová část obrazovky změní barvu z šedé na bílou a objeví se na ní univerzální šablona pro tvorbu programu. Obsahuje např. oddíly „*parameters*“, „*declarations*“ nebo „*if*“. Tyto oddíly jsou následně ukončeny příkazem „*end-...*“. Modrá barva textu značí jednotlivé příkazy, červený text hodnoty a po napsání vykřičníku je možné zelenou barvou dopisovat libovolné poznámky. V programu nelze využívat mezer nebo diakritiky. Mezery se zpravidla nahrazují podtržítkem. Jelikož se jedná o metodu lineárního programování, mohou být využity pouze operátory „+“, „-“ a lze násobit skalárem. U rovnic a nerovnic je pak možné využít operátory „ \geq “, „ \leq “ nebo „ $=$ “. Pohled na základní obrazovku nabízí obrázek 22.



Obrázek 22: Pohled na základní obrazovku softwaru Xpress-IVE (úpravy - autor)

7.2 Zadání matematického modelu

Celý matematický model je třeba upravit a zapsat do prostřední části úvodní obrazovky. V úvodní části je nutné projekt pojmenovat v poli „*model*“. Další řádek označený jako „*users*“ ponecháme defaultně vyplněný slovem „*mmxprs*“, tentokrát včetně uvozovek. Následuje deklarační část, ve které je třeba definovat jednotlivé konstanty a proměnné. Pro názornější popis bude využit model pro přestupní vazby mezi vlaky a autobusy MHD v přestupním uzlu Železniční stanice.

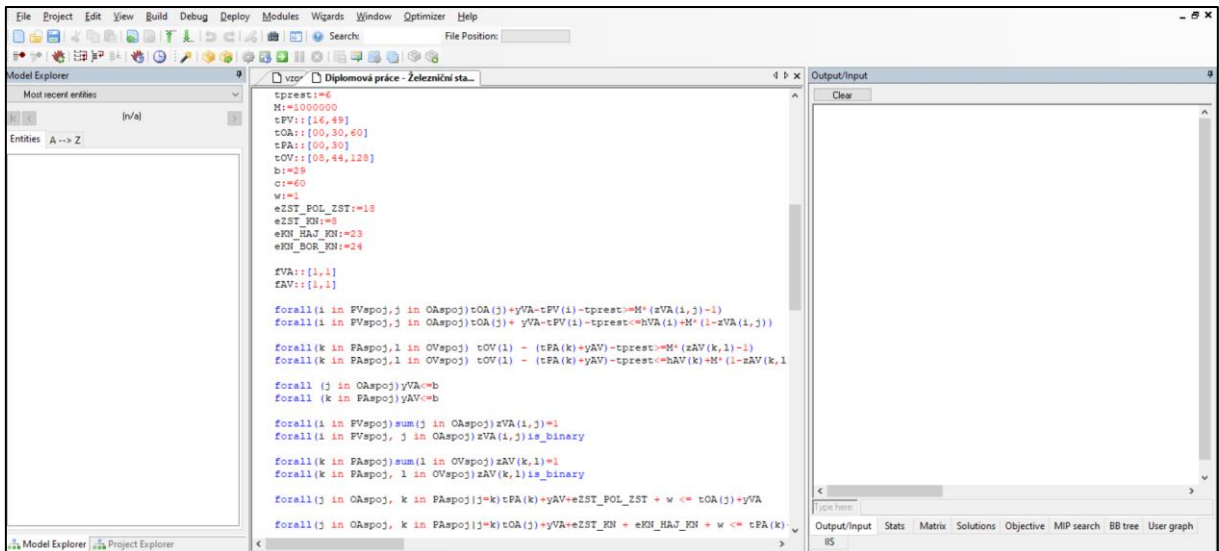
Aby bylo zajištěno, že množina příjíždějících vlakových spojů (PVspoj) bude tvořena třemi hodnotami, vytvoříme příkaz „*PVspoj=1..r*“, přičemž dvě po sobě napsané tečky značí posloupnost hodnot o jedničku větší a písmeno *r* určuje poslední hodnotu množiny. Pokud je tedy definováno, že $r=5$, množina bude nabývat hodnot 1, 2, 3, 4 a 5. Následně je třeba zapsat časy odjezdů a příjezdů vlakových a autobusových spojů. Jako příklad posloužil výraz „*tPV:array(PVspoj)of real*“, který říká následující. Čas příjíždějících vlakových spojů (*tPV*) je veličina typu pole (array) z reálných čísel, která jsou zadána níže. Dále je třeba definovat proměnné. K tomu slouží např. příkaz „*zVA:array(PVspoj,OAspoj)of mpvar*“. Ten říká, že se jedná o proměnnou typu pole, která je označená „*zVA*“ a pracuje s hodnotami „*PVspoj*“ a „*OAspoj*“. V případě, že je výraz zjednodušen pouze na „*yVA:mpvar*“, proměnná nabývá pouze jedné hodnoty.

Po ukončení deklarační části byly zadány konkrétní číselné hodnoty pro jednotlivá obecná označení. Pokud je třeba zapsat pouze jednu hodnotu, např. přestupní dobu, použije se znak „:=“. Přestupní doba je tedy zadána takto: „*tprest:=6*“. Když je třeba pracovat s více hodnotami, využívá se dvou po sobě napsaných dvojteček a hranatých závorek. Čísla v nich jsou oddělena čárkami. Takto byly zadány časy odjíždějících autobusových spojů „*tOA::[00,30,60]*“.

Při vytváření podmínek se využívaly další příkazy. Jedním z nich je „*forall*“. Zajišťuje, že podmínka zohledňuje všechny prvky příslušné množiny. Následující předpis „*forall(i in PVspoj, j in OAspoj)*“ lze okomentovat následovně. Pro všechny hodnoty „*i*“ z množiny „*PVspoj*“ a všechny hodnoty „*j*“ z množiny „*OAspoj*“ platí, že... Taktéž se využívá funkce *suma*, jež je obsažena např. v této podmínce „*forall(i in PVspoj)sum(j in OAspoj)zVA(i,j)=1*“. Ta říká, že pro všechny hodnoty „*i*“ z množiny „*PVspoj*“ je suma hodnot „*j*“ z množiny „*OAspoj*“ proměnné „*zVA*“ s indexy „*i*“ a „*j*“ rovna jedné. Taktéž se využívá příkaz „*is_binary*“, který způsobí, že výsledné číslo nabývá hodnoty pouze 0, nebo 1. Příkaz „*is_integer*“ poté zajišťuje, že hodnota nabývá pouze celých nezáporných čísel.

Cílem tohoto modelu je minimalizovat celkovou časovou ztrátu přestupujících cestujících. Je tedy nutné minimalizovat hodnotu účelové funkce. K tomu slouží příkaz „*minimize*“. Výraz „*minimize(celkova_casova_ztrata)*“ tak minimalizuje celkovou časovou ztrátu. Aby bylo možné vypsat zjištěné hodnoty na obrazovku, využívá se příkazu „*writeln*“. V souvislosti s ním se využívají ještě dva výrazy – „*getobjval*“ a „*getsol*“. První z nich odkazuje k účelové funkci a získává její hodnotu. Pomocí druhého výrazu se dostanou některá dílčí řešení, např. časový posun spojů nebo čeká čekání cestujících mezi jednotlivými spoji. Posledním příkazem je „*end-model*“, který ukončí celý model.

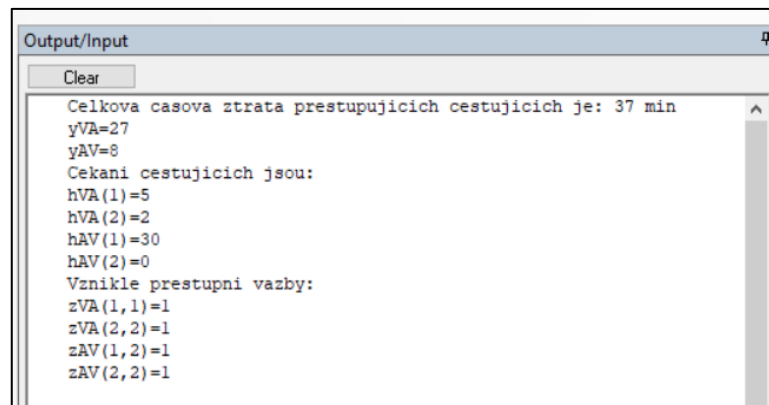
Na závěr je třeba zahájit řešení, což se provede tlačítkem s bílou šipkou na zeleném podkladu ve třetím řádku v levé horní části základní obrazovky. Tím dojde k provedení optimalizačního procesu a software vygeneruje výsledky. Pokud se stane, že v modelu je chyba a nelze program spustit, ve spodní části je problém popsán a příslušný řádek je označen žlutým pruhem. Část matematického modelu v softwaru Xpress-IVE je k vidění na obrázku č. 23.



Obrázek 23: Software Xpress-IVE včetně části zadaného programu (úpravy - autor)

7.3 Výstupy programu

V pravé části obrazovky se zobrazují informace k dosaženým výsledkům. Celkem se zde nachází 9 záložek. Nejdůležitější z nich je záložka „Output/Input“, které ukazuje zjištěné hodnoty. Ty jsou jednotlivě vypsané dle příkazu „writeln“. V dalších záložkách nalezneme statistické údaje jako jsou rychlost výpočtu, počet řádků a sloupců matic nebo komentář, nebo informaci, zda je řešení optimální. Ukázka jednoho z výstupů je vidět na obrázku 24.



Obrázek 24: Zobrazení výsledků v softwaru Xpress-IVE (úpravy - autor)

8 Matematický model přestupních vazeb mezi vlaky a autobusy MHD

Aby mohlo dojít ke zlepšení stavu přestupních vazeb mezi jednotlivými druhy veřejné dopravy, je třeba vytvořit matematický model, který bude následně využit v optimalizačním softwaru. Základní matematický model pro časovou koordinaci spojů v přestupních uzlech, jehož teoretická část je podrobněji popsána v bakalářské práci autora, vytvořil prof. RNDr. Jaroslav Janáček, CSc., z Fakulty řízení a informatiky Žilinské univerzity v Žilině. Ten byl poté upraven tak, aby odpovídal požadavkům pro přestupní uzel u železniční stanice v Třebíči. [2, 21]

8.1 Zadání a požadavky

Cílem optimalizačního procesu je vytvořit matematický model, který bude minimalizovat celkovou časovou ztrátu přestupujících cestujících z vlaků na autobusy MHD a naopak.

Na základě počtu přepravovaných cestujících bylo rozhodnuto, že bude vytvořen model, který zohledňuje přestupující cestující pouze ve směru z Brna a do Brna a poté z centra a do centra. Nebudou bráni v potaz cestující, kteří využívají spojení z Jihlavy a do Jihlavy a cestující do čtvrti Horka-Domky a ze čtvrti Horka-Domky. Je důležité poznamenat, že časový posun může být uskutečněn pouze u autobusových spojů, neboť vlakové spojení ovlivňuje Kraj Vysočina nebo Ministerstvo dopravy a zároveň je trať č. 240 provozně svázána s jinými tratěmi. Jejich úprava by tak byla výrazně složitější.

Modelován bude provoz o víkendech a státních svátcích. Stejnou účelovou funkcí a omezující podmínky lze ale také využít pro večerní hodiny pracovních dnů z důvodu stejných charakteristik provozu, jako jsou např. intervaly mezi spoji. Výsledný model však není složité upravit pro podmínky pracovních dní, případně jiných požadavků na zajištění přestupních vazeb.

8.2 Vstupní veličiny a proměnné

Matematický model bude obsahovat vstupní veličiny a proměnné, které jsou následující.

- Vstupní veličiny
 - přestupní doba
 - interval mezi autobusovými spoji
 - prohibitivní konstanta
 - čas příjezdu a odjezdu autobusových a vlakových spojů
 - doba oběhu autobusu

- doba obratu autobusu
- doba jízdy mezi zadanými úseky
- počty přestupujících cestujících v jednotlivých časových polohách a směrech
- maximální hodnoty časových posunů pro spoje, jejichž polohy je možno měnit
- Proměnné
 - Bivalentní proměnné reprezentující vznik přestupních vazeb
 - Čekání přestupujících cestujících
 - Časové posuny autobusových spojů

Údaje týkající se vstupních veličin vychází z jízdních řádů, ať už se jedná o MHD nebo železnici. Jedinou výjimku tvoří počty přestupujících cestujících mezi vlaky a autobusy. Ty budou určeny pouze přibližně na základě dokumentu Průzkum, analýza a koncepce víkendového provozu městské autobusové dopravy v Třebíči. K dispozici jsou totiž jen údaje o počtu přestupujících cestujících z vlaků na autobusy MHD. Ty však nejsou rozděleny podle směrů, ze kterých vlakové spoje přijíždí, tedy zda se jedná o spoj přijíždějící z Jihlavy nebo z Brna. Dle odborného odhadu a pozorování je však zřejmé, že nejméně 2/3 přestupujících cestujících využívá spojení z Brna nebo do Brna. Proto budou zjištěné hodnoty rozděleny přibližně v poměru 2:1 ve prospěch brněnské větve železniční tratě. [5]

Zároveň není stanoveno, zda cestující využívají spojení do centra města, nebo opačně směrem do čtvrti Horka-Domky. Jak je však uvedeno v podkladovém dokumentu, výrazná většina cestujících využívá spoje směrem do centra města. Cestující, kteří využívají MHD ve směru Horka-Domky, tak lze v modelu zanedbat.

Celkový počet přestupujících cestujících z vlaku na autobusy MHD byl stanoven na 58. Odborným odhadem byl počet cestujících, kteří přestupují z vlaků z Brna na autobus MHD směrem, stanoven u odjíždějících autobusových spojů v poloze 1 na 3 a v u odjíždějících autobusových spojů v poloze 2 na 32. Celkem se jedná o 35 osob. Stejný postup byl uvolen také v opačném směru, tedy v relaci autobus MHD – vlak. V tomto případě byl celkový počet přestupujících cestujících stanoven na 66. Požadovaný údaj, tedy přestupy z autobusu MHD na vlak do Brna, činí 40 cestujících. Z toho u přijíždějících autobusových spojů v časové poloze 1 je to všech 40 cestujících, u přijíždějících autobusových spojů v poloze 2 žádný. Doplňující informace o počtu autobusových a vlakových spojů jsou uvedeny v podkapitole 8.7. [5]

8.3 Označení vstupních veličin a proměnných

Aby bylo zřejmé, jakým způsobem matematický model funguje, budou označeny a okomentovány jednotlivé vstupní veličiny a proměnné.

- $PVspoj$ – množina příjíždějících vlakových spojů
- $PAspoj$ – množina příjíždějících autobusových spojů
- $OVspoj$ – množina odjíždějících vlakových spojů
- $OAspoj$ – množina odjíždějících autobusových spojů
- fVH_i – frekvence cestujících z vlaku na Hájek – spoj $i \in PVspoj$
- fHV_k – frekvence cestujících z Hájku na vlak – spoj $k \in PAspoj$
- fVB_i – frekvence cestujících z vlaku do Boroviny – spoj $i \in PVspoj$
- fBV_k – frekvence cestujících z Boroviny na vlak – spoj $k \in PAspoj$
- $fVA_i = fVH_i + fVB_i$ – frekvence přestupujících cestujících z vlaku na autobus ze spoje $i \in PVspoj$
- $fAV_k = fHV_k + fBV_k$ – frekvence přestupujících cestujících z autobusu na vlak ze spoje $k \in PAspoj$
- tpV_i – nejdříve možný čas příjezdu vlakového spoje $i \in PVspoj$ ve směru z Brna
- tpA_k – nejdříve možný čas příjezdu autobusového ze spoje $k \in PAspoj$ ve směru z centra
- toV_l – nejdříve možný čas odjezdu vlakového spoje $l \in OVspoj$ ve směru do Brna
- toA_j – nejdříve možný čas odjezdu autobusového spoje $j \in OAspoj$ ve směru do centra
- γVA – posun času odjezdu spoje v relaci vlak – autobus, spoj pokračuje směr centrum (lze posunout pouze odjíždějící autobusový spoj)
- γAV – posun času odjezdu spoje v relaci autobus – vlak, spoj pokračuje směr Horka-Domky (lze posunout pouze příjíždějící autobusový spoj)
- b - maximální povolený časový posun spojů
- $\varepsilon^{\check{Z}ST-POL-\check{Z}ST}$ – doba jízdy ze Železniční stanice na Polikliniku a zpět
- $\varepsilon^{\check{Z}ST-KN1}$ – doba jízdy linky č. 1 ze Železniční stanice na Karlovo náměstí a zpět
- $\varepsilon^{\check{Z}ST-KN4}$ – doba jízdy linky č. 4 ze Železniční stanice na Karlovo náměstí a zpět
- $\varepsilon^{KN-HÁJ-KN}$ – doba jízdy z Karlova náměstí na Hájek a zpět
- w – doba obratu vozidla
- c – doba oběhu vozidla
- M – prohibitivní konstanta
- hAV_k – časová ztráta přestupujících cestujících z příjíždějícího autobusového spoje $k \in PAspoj$ na odjíždějící vlakový spoj
- hVA_i – časová ztráta přestupujících cestujících z příjíždějícího vlakového spoje $i \in PVspoj$ na odjíždějící autobusový spoj

- zVA_{ij} – pomocná bivalentní proměnná, která modeluje vznik přestupní vazby ze spoje $i \in PVspoj$ na spoj $j \in OAspoj$
 - $zVA_{ij} = 1 \rightarrow$ přestup ze spoje $i \in PVspoj$ na spoj $j \in OAspoj$ vznikne
 - $zVA_{ij} = 0 \rightarrow$ přestup ze spoje $i \in PVspoj$ na spoj $j \in OAspoj$ nevznikne
- zAV_{kl} – pomocná bivalentní proměnná modelující vznik přestupní vazby ze spoje $k \in PAspoj$ na spoje $l \in OVspoj$
 - $zAV_{kl} = 1 \rightarrow$ přestup ze spoje $k \in PAspoj$ na spoj $l \in OVspoj$ vznikne
 - $zAV_{kl} = 0 \rightarrow$ přestup ze spoje $k \in PAspoj$ na spoj $l \in OVspoj$ nevznikne

8.4 Účelová funkce

Úkolem účelové funkce je minimalizovat celkovou časovou ztrátu všech přestupujících cestujících.

$$\min f(y, z, h) = \min fVA + \min fAV$$

$$fVA(y, z, h) = \sum_{i \in PVspoj} fVAi * hVAi$$

$$fAV(y, z, h) = \sum_{k \in PAspoj} fAVk * hAVk$$

Každý sčítanec tvoří jednu variantu přestupu. První varianta (fVA) udává počet přestupujících cestujících v relaci vlak – autobus. Druhá, označená jako fAV , se vztahuje k přestupujícím cestujícím z autobusů na vlaky. Obě varianty jsou vynásobeny příslušnou hodnotou čekání přestupujících cestujících. Cílem je minimalizovat výsledný součet počtu přestupujících cestujících a tím získat optimální řešení.

8.5 Omezující podmínky

Důležitou součástí modelu jsou omezující podmínky, které vymezují množinu přípustných řešení, ve které se nachází optimum.

$$toA_j + yVA - tpV_i - tprest \geq M * (zVA_{ij} - 1) \quad \text{pro } i \in PVspoj, j \in OAspoj$$

Tento typ omezující podmínky zajišťuje, že když se z časového hlediska přestup nestihne, přestupní vazba v modelu nevzniká.

$$toA_j + yVA - tpV_i - tprest \leq hVA_i + M * (1 - zVA_{ij}) \quad \text{pro } i \in PVspoj, j \in OAspoj$$

Tato omezující podmínka vytváří vazbu na účelovou funkci. Díky tomuto omezení může optimalizační software kvantifikovat hodnoty časových ztrát při vzniku přestupních vazeb.

$$toV_l - (tpA_k + yAV) - tprest \geq M * (zAV_{kl} - 1) \quad \text{pro } k \in PAspoj, l \in OVspoj$$

Tento typ omezující podmínky zajišťuje, že když se z časového hlediska přestup nestihne, přestupní vazba v modelu nevzniká.

$$toV_l - (tpA_k + yAV) - tprest \leq hAV_k + M * (1 - zAV_{kl}) \quad \text{pro } k \in PAspoj, l \in OVspoj$$

Tato omezující podmínka vytváří vazbu na účelovou funkci. Díky tomuto omezení může optimalizační software kvantifikovat hodnoty časových ztrát při vzniku přestupních vazeb.

$$yVA \leq b$$

Podmínka zajišťující dodržení maximálního možného posunu odjíždějících autobusových spojů.

$$yAV \leq b$$

Podmínka zajišťující dodržení maximálního možného posunu příjíždějících autobusových spojů.

$$\sum_{j \in OAspoj} zVA_{ij} = 1 \quad \text{pro } i \in PVspoj$$

Splněním této podmínky bude zajištěn vznik právě jedné přestupní vazby z příjíždějícího vlakového spoje na odjíždějící autobusový spoj.

$$\sum_{l \in OVspoj} zAV_{kl} = 1 \quad \text{pro } k \in PAspoj$$

Tento typ podmínky zajišťuje vznik právě jedné přestupní vazby z příjíždějícího autobusového spoje na odjíždějící vlakový spoj.

$$tpA_k + yAV + \varepsilon^{\text{ŽST-POL-ŽST}} + w \leq toA_j + yVA \quad \text{pro } k \in PAspoj, j \in OAspoj$$

Podmínka zajišťující dostatečný čas pro jízdu příjíždějícího autobusového spoje na konečnou a zpět, kde se z něj stává spoj, který bude v přestupním uzlu Železniční stanice označen jako odjíždějící. Konkrétně se jedná o úsek mezi zastávkami Železniční stanice – Poliklinika Vltavínská a zpět.

$$toA_j + yVA + \varepsilon^{\check{Z}ST-KN4} + \varepsilon^{KN-HAJ-KN} + w \leq tpA_k + yAV - \varepsilon^{\check{Z}ST-KN4} + c$$

pro $k \in PAspoj, j \in OAspoj$

Tato podmínka zajišťuje dostatečný čas pro jízdu odjíždějícího autobusového spoje na konečnou zastávku na sídlišti Hájek (přes Karlovo náměstí) a zpět do přestupního uzlu Železniční stanice, kde se z něj stává spoj přijíždějící. Konkrétně se jedná o omezující podmínku pro linku č. 4.

$$toA_j + yVA + \varepsilon^{\check{Z}ST-KN1} + \varepsilon^{KN-BOR-KN} + w \leq tpA_k + yAV - \varepsilon^{\check{Z}ST-KN1} + c$$

pro $k \in PAspoj, j \in OAspoj$

Obdobná podmínka, která zajišťuje dostatečný čas pro jízdu odjíždějícího autobusového spoje na konečnou zastávku na sídlišti Borovina (přes Karlovo náměstí) a zpět do přestupního uzlu. Tam se z něj stává spoj přijíždějící. Podmínka platí pro linku č. 1.

$$toA_j + yVA + \varepsilon^{\check{Z}ST-KN1} = tpA_k + yAV - \varepsilon^{\check{Z}ST-KN4} \text{ pro } k \in PAspoj, j \in OAspoj$$

Tato podmínka zajišťuje, že budou zachovány tzv. rozjezdy na Karlově náměstí. Říká, že se spoje linek č. 1 a č. 4 setkají na Karlově náměstí ve dvou časových polohách tak, aby byly zachovány přestupní vazby na Karlově náměstí. Jednou v kombinaci, kdy linka č. 1 přijede ze směru Poliklinika Vltavínská a linka č. 4 ze směru Hotel Atom, podruhé, když linka č. 1 přijede ze směru Za Rybníkem a linka č. 4 ze směru Poliklinika Vltavínská.

$$yVA \geq 0$$

Tato nerovnice zajišťuje, že posun odjíždějícího autobusového spoje bude větší nebo roven 0.

$$yAV \geq 0$$

Nerovnice zajišťující, že posun přijíždějícího autobusového spoje bude větší nebo roven 0.

$$hVA_i \geq 0 \quad i \in PVspoj$$

Tento předpis zajišťuje, že doba čekání přestupujících cestujících z vlaku na autobus bude větší nebo roven 0.

$$hAV_k \geq 0 \quad k \in PAspoj$$

Podmínka zajišťuje, že doba čekání přestupujících cestujících z autobusu na vlak bude větší nebo roven 0.

$zVA_{ij} \in \{0,1\}$ pro $i \in PVspoj$, $j \in OAspoj$

Tato podmínka zajišťuje, že proměnná zVA_{ij} nabude hodnoty 0, nebo 1.

$zAV_{kl} \in \{0,1\}$ pro $k \in PAspoj$, $l \in L OVspoj$

Podmínka zajišťující, že proměnná zAV_{kl} nabude hodnoty 0, nebo 1.

8.6 Text programu v softwaru Xpress-IVE

Ve snaze získat optimální řešení při daných vstupních podmínkách byl použit optimalizační software Xpress-IVE. Není však možné do něj vložit vytvořený matematický model, který tvoří vstupní hodnoty, proměnné, účelová funkce a omezující podmínky, bez provedení příslušných úprav. Ty vychází ze základního popisu fungování softwaru, který je uveden v předchozí kapitole.

Přepis matematických předpisů vypadá následovně.

```
model Ing_prace
```

```
uses "mmxprs"
```

```
declarations
```

```
r=2
```

```
s=3
```

```
t=2
```

```
v=3
```

```
PVspoj=1..r
```

```
OAspoj=1..s
```

```
PAspoj=1..t
```

```
OVspoj=1..v
```

```
tPV:array(PVspoj)of real
```


tOA:array(OAspoj)of real
tPA:array(PAspoj)of real
tOV:array(OVspoj)of real
fVA:array(OVspoj)of real
fAV:array(OAspoj)of real
zVA:array(PVspoj,OAspoj)of mpvar
zAV:array(PAspoj,OVspoj)of mpvar
hVA:array(PVspoj)of mpvar
hAV:array(PAspoj)of mpvar
yVA:mpvar
yAV:mpvar

end-declarations

tprest:=5

M:=1000000

tPV::[16,49]

tOA::[00,30,60]

tPA::[00,30]

tOV::[08,44,128]

b:=29

c:=60

w:=1

eZST_POL_ZST:=17

eZST_KN1:=4

eZST_KN4:=7

$eKN_HAJ_KN:=25$

$eKN_BOR_KN:=23$

$fVA::[3,32]$

$fAV::[40,0]$

$forall(i in PVspoj, j in OAspoj) tOA(j) + yVA - tPV(i) - tprest \geq M * (zVA(i, j) - 1)$

$forall(i in PVspoj, j in OAspoj) tOA(j) + yVA - tPV(i) - tprest \leq hVA(i) + M * (1 - zVA(i, j))$

$forall(k in PAspoj, l in OVspoj) tOV(l) - (tPA(k) + yAV) - tprest \geq M * (zAV(k, l) - 1)$

$forall(k in PAspoj, l in OVspoj) tOV(l) - (tPA(k) + yAV) - tprest \leq hAV(k) + M * (1 - zAV(k, l))$

$yVA \leq b$

$yAV \leq b$

$forall(i in PVspoj) sum(j in OAspoj) zVA(i, j) = 1$

$forall(i in PVspoj, j in OAspoj) zVA(i, j) is_binary$

$forall(k in PAspoj) sum(l in OVspoj) zAV(k, l) = 1$

$forall(k in PAspoj, l in OVspoj) zAV(k, l) is_binary$

$forall(j in OAspoj, k in PAspoj | j=k) tPA(k) + yAV + eZST_POL_ZST + w \leq tOA(j) + yVA$

$forall(j in OAspoj, k in PAspoj | j=k) tOA(j) + yVA + eZST_KN4 + eKN_HAJ_KN + w \leq tPA(k) + yAV - eZST_KN1 + c$

$forall(j in OAspoj, k in PAspoj | j=k) tOA(j) + yVA + eZST_KN1 + eKN_BOR_KN + w \leq tPA(k) + yAV - eZST_KN4 + c$

$tOA(1) + yVA + eZST_KN1 = tPA(2) + yAV - eZST_KN4$

$yVA is_integer$

$yAV is_integer$

$casova_ztrata_VA := sum(i in PVspoj) fVA(i) * hVA(i)$

$casova_ztrata_AV := sum(k in PAspoj) fAV(k) * hAV(k)$

$celkova_casova_ztrata := (casova_ztrata_VA) + (casova_ztrata_AV)$

```

minimize(celkova_casova_ztrata)

writeln("Celkova casova ztrata prestupujicich cestujicich je: ", getobjval," min ")

writeln("Casovy posun spoju je: ")

writeln("yVA=",getsol(yVA))

writeln("yAV=",getsol(yAV))

writeln("Cekani cestujicich jsou: ")

forall(i in PVspoj)writeln("hVA(",i,")=",getsol(hVA(i)))

forall(k in PAspoj)writeln("hAV(",k,")=",getsol(hAV(k)))

writeln("Vznikle prestupni vazby:")

forall(i in PVspoj,j in OAspoj)getsol(zVA(i,j))=1

writeln("zVA(",i,","j,")=",getsol(zVA(i,j)))

forall(k in PAspoj,l in OVspoj)getsol(zAV(k,l))=1

writeln("zAV(",k,","l,")=",getsol(zAV(k,l)))

end-model

```

Celkova casova ztrata prestupujicich cestujicich je: 899 min

Casovy posun spoju je:

yVA=22

yAV=3

Cekani cestujicich jsou:

hVA(1)=1

hVA(2)=28

hAV(1)=0

hAV(2)=6

Vznikle prestupni vazby:

zVA(1,1)=1

$$zVA(2,3)=1$$

$$zAV(1,1)=1$$

$$zAV(2,2)=1$$

8.7 Komentář k modelu v softwaru Xpress-IVE

Tato podkapitola se zabývá dovysvětlením vybraných záležitostí z programu. V rámci převedení matematického modelu do optimalizačního softwaru byly provedeny některé úpravy.

Počet přijíždějících a odjíždějících spojů

Aby bylo dosaženo co nejlepšího optimálního řešení a zároveň byla umožněna větší variabilita případných posunů autobusových spojů, ať už přijíždějících či odjíždějících, bylo překročeno k následujícímu. Ke dvěma odjíždějícím autobusovým i vlakovým spojům byl přidán třetí spoj, který již zasahuje do další taktové hodiny. U přijíždějících spojů obou druhů dopravy byly ponechány dva. Důvodem úpravy pro odjíždějící spoje byla snaha umožnit přestupy i mezi druhými a třetími spoji v pořadí, což je ve skutečnosti přestup mezi druhým a prvním spojem. Bez přidání třetího odjíždějícího spoje, který kopíruje čas odjezdu prvního spoje navýšeného o dobu taktu (v případě autobusové linky o 60 minut a v případě železniční linky o 120 minut), by tato možnost přestupu nebyla programem vůbec brána v potaz a výsledné řešení by tím mohlo být znehodnoceno.

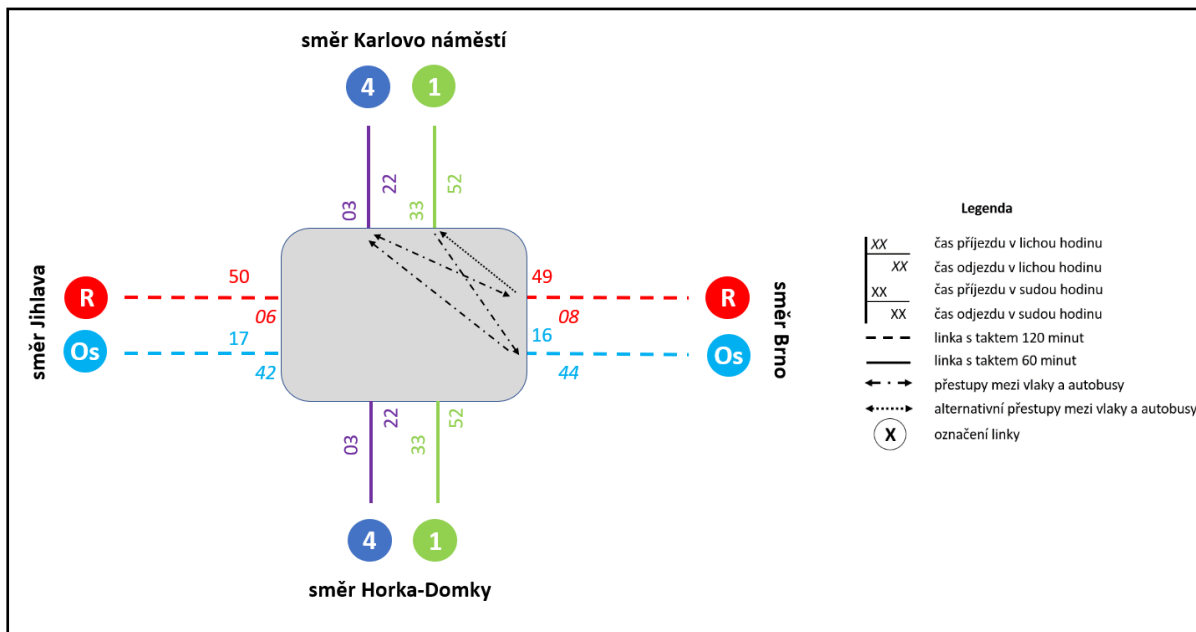
Prohibitivní konstanta

Tato hodnota slouží k funkčnosti celého modelu. Pokud by nebyla součástí některých nerovnic, bylo by možné získat hodnotu, která by sice podmínky splňovala, zároveň by ale byla z logického hlediska neplatná. Situace by mohla nastat v případě, kdy nemá vzniknout přestup.

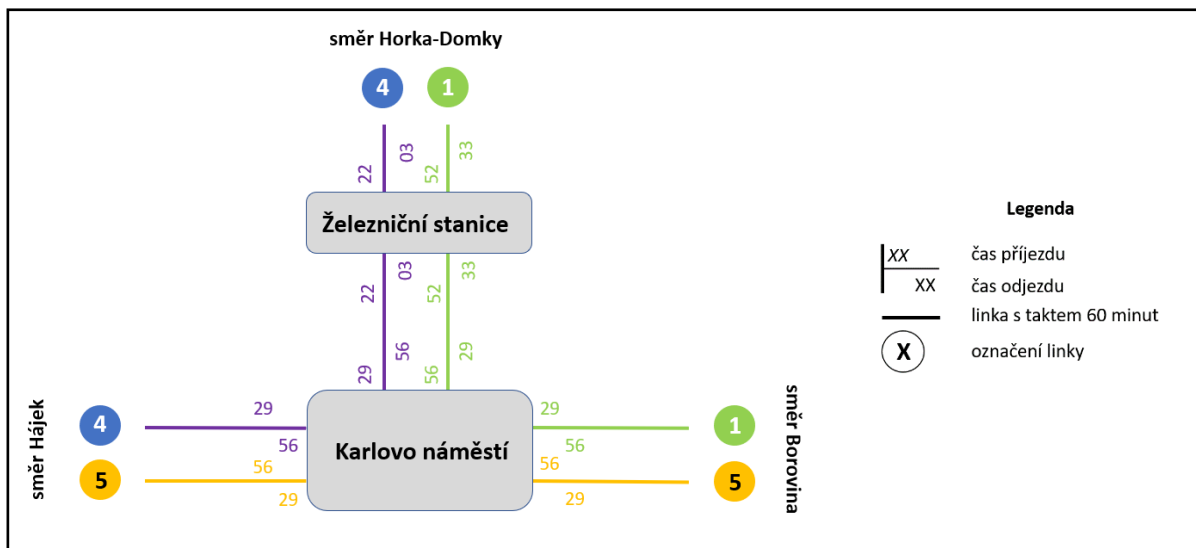
8.8 Ukázka aplikace výsledku optimalizačního procesu

Na základě výstupů ze softwaru Xpress-IVE je možné sestavit nový jízdní řád pro víkendový provoz. Nejdůležitější jsou změny na páteřních linkách č. 1, 4 a 5. Na časových polohách těchto linek poté závisí zbývající doplňkové linky. Proto bude vytvořen zjednodušený jízdní řád linek č. 1, 4 a 5 s několika spoji, na kterém bude demonstrováno výsledné řešení bez dalších úprav, pouze dle výsledku programu Xpress-IVE. Kompletnímu návrhu nových jízdních řádů

s dalšími úpravami, které reflektují specifické podmínky provozu MHD v Třebíči, bude věnována samostatná kapitola. Na obrázku 25 je vidět síťová grafika v uzlu Železniční stanice, na obrázku 26 pak v uzlu Karlovo náměstí. Tabulky 9, 10, 11, 12, 13 a 14 zobrazují zjednodušený jízdní řád páteřních linek.



Obrázek 25: Síťová grafika neupraveného řešení z programu Xpress-IVE pro zastávku Železniční stanice



Obrázek 26: Síťová grafika neupraveného řešení z programu Xpress-IVE pro zastávku Karlovo náměstí

Tabulka 9: Zjednodušený návrh jízdního řádu pro linku č. 1 ve směru Za Rybníkem

1	Název zastávky	směr Za Rybníkem				
		Poliklinika Vltavinská	8:44	9:44	10:44	11:44
	v					
	Železniční stanice	8:52	9:52	10:52	11:52	12:52
	v					
	Karlovo náměstí	8:56	9:56	10:56	11:56	12:56
	v					
	Za Rybníkem	9:08	10:08	11:08	12:08	13:08

Tabulka 10: Zjednodušený návrh jízdního řádu pro linku č. 1 ve směru Poliklinika Vltavinská

1	Název zastávky	směr Poliklinika Vltavinská				
		Za Rybníkem	9:17	10:17	11:17	12:17
	v					
	Karlovo náměstí	9:29	10:29	11:29	12:29	13:29
	v					
	Železniční stanice	9:33	10:33	11:33	12:33	13:33
	v					
	Poliklinika Vltavinská	9:41	10:41	11:41	12:41	13:41

Tabulka 11: Zjednodušený návrh jízdního řádu pro linku č. 4 ve směru Hotel Atom

4	Název zastávky	směr Karlovo náměstí				
		Poliklinika Vltavinská	9:15	10:15	11:15	12:15
	v					
	Železniční stanice	9:22	10:22	11:22	12:22	13:22
	v					
	Karlovo náměstí	9:29	10:29	11:29	12:29	13:29
	v					
	Hotel Atom	9:43	10:43	11:43	12:43	13:43

Tabulka 12: Zjednodušený návrh jízdního řádu pro linku č. 4 ve směru Poliklinika Vltavinská

4	Název zastávky	směr Poliklinika Vltavinská				
		Hotel Atom	8:48	9:48	10:48	11:48
	v					
	Karlovo náměstí	8:56	9:56	10:56	11:56	12:56
	v					
	Železniční stanice	9:03	10:03	11:03	12:03	13:03
	v					
	Poliklinika Vltavinská	9:11	10:11	11:11	12:11	13:11

Tabulka 13: Zjednodušený návrh jízdního řádu pro linku č. 5 ve směru U Hřbitova

5	Název zastávky	směr U Hřbitova				
		Za Rybníkem	8:44	9:44	10:44	11:44
	v					
	Karlovo náměstí	8:56	9:56	10:56	11:56	12:56
	v					
	U Hřbitova	9:11	10:11	11:11	12:11	13:11

Tabulka 14: Zjednodušený návrh jízdního řádu pro linku č. 5 ve směru Za Rybníkem

5	Název zastávky	směr Za Rybníkem				
	U Hřbitova	9:14	10:14	11:14	12:14	13:14
	v					
	Karlovo náměstí	9:29	10:29	11:29	12:29	13:29
	v					
	Za Rybníkem	9:41	10:41	11:41	12:41	13:41

9 Matematický model zohledňující počet přestupujících cestujících na Karlově náměstí

Cílem optimalizačního procesu je minimalizace celkové časové ztráty přestupujících cestujících v relaci autobus MHD – vlak a naopak. To však nemusí zahrnovat pouze přestupy v prostoru železniční stanice, ale lze brát v potaz také přestupní vazby na Karlově náměstí. Proto bude vytvořen doplňkový model, který zahrnuje počty přestupujících cestujících na Karlově náměstí, jejichž přibližné hodnoty byly zjištěny průzkumem v terénu. Na základě těchto dat bylo pomocí matematického modelu a softwaru Xpress-IVE rozhodnuto o časové poloze spojů jednotlivých linek. Cílem je určit, v jaké časové poloze je vhodnější zajistit přímé spoje ze směrů Borovina a Hájek a v jaké vytvořit přestupy na Karlově náměstí.

9.1 Zadání

Stejně jako v rámci předchozího modelu je brán v potaz pouze víkendový provoz. K dosažení optimálního řešení je třeba zadat hodnoty počtu přestupujících cestujících v jednotlivých směrech. Pro jednodušší zohlednění přestupních vazeb bude počítáno se střední hodnotou počtu přestupujících v jednotlivých směrech v rámci víkendového dne. Ta vychází z odborného odhadu a pozorování v terénu. Předpoklad je, že každou hodinu budou hodnoty mírně odlišné, avšak rozdíl by neměl být natolik zásadní, aby ovlivnil výsledné řešení.

Základ tohoto matematického modelu rovněž vychází z obecného modelu prof. RNDr. Jaroslava Janáčka, CSc. Následně byl upraven a rozšířen pro konkrétní požadavek v rámci třebečské MHD. [21]

9.2 Vstupní veličiny a proměnné

Nejdříve je třeba definovat vstupní veličiny a proměnné v matematickém modelu.

- Vstupní veličiny
 - Přestupní doba
 - Prohibitivní konstanta
 - Časy příjezdů a odjezdů linek MHD z uzlu Karlovo náměstí
 - Počet přestupujících cestujících z Boroviny a do Boroviny a také z Hájků a na Hájek ve vztahu k přestupnímu uzlu Karlovo náměstí
 - maximální hodnoty časového posunu pro spoje, jejichž polohy je možno měnit
- Proměnné
 - Časové posuny autobusových spojů

- Bivalentní proměnné reprezentující vznik přestupních vazeb
- Čekání přestupujících cestujících

9.3 Označení vstupních veličin a proměnných

Pro vysvětlení účelové funkce a omezujících podmínek je nejprve definovat označení pro jednotlivé vstupní veličiny a proměnné.

- $spoj$ – množina přijíždějících a odjíždějících spojů
- $to14_s$ – nejdříve možný čas odjezdu spoje $s \in spoj$ linky č. 1 nebo 4 z Karlova náměstí
- $tp14_s$ – nejdříve možný čas příjezdu spoje $s \in spoj$ linky č. 1 nebo 4 na Karlovo náměstí
- $to5_s$ – nejdříve možný čas odjezdu spoje $s \in spoj$ linky č. 5 z Karlova náměstí
- $tp5_s$ – nejdříve možný čas příjezdu spoje $s \in spoj$ linky č. 5 na Karlovo náměstí v poloze $s \in S$
- tpr – doba přestupu na Karlově náměstí
- h_s^{5-1} – časová ztráta přestupujících cestujících ze spoje $s \in spoj$ linky č. 5 na spoj $s \in spoj$ linky č. 1
- h_s^{5-4} – časová ztráta přestupujících cestujících ze spoje $s \in spoj$ linky č. 5 na spoj $s \in spoj$ linky č. 4
- h_s^{1-5} – časová ztráta přestupujících cestujících ze spoje $s \in spoj$ linky č. 1 na spoj $s \in spoj$ linky č. 5
- h_s^{4-5} – časová ztráta přestupujících cestujících ze spoje $s \in spoj$ linky č. 4 na spoj $s \in spoj$ linky č. 5
- z_s^{5-1} – pomocná bivalentní proměnná, která modeluje vznik přestupní vazby ze spoje $s \in spoj$ linky č. 5 na spoj $s \in spoj$ linky č. 1
 - $z_s^{5-1} = 1$ pro spoj $s \in spoj \rightarrow$ přestup vznikne
 - $z_s^{5-1} = 0$ pro spoj $s \in spoj \rightarrow$ přestup nevznikne
- z_s^{5-4} – pomocná bivalentní proměnná, která modeluje vznik přestupní vazby ze spoje $s \in spoj$ linky č. 5 na spoj $s \in spoj$ linky č. 4
 - $z_s^{5-4} = 1$ pro spoj $s \in spoj \rightarrow$ přestup vznikne
 - $z_s^{5-4} = 0$ pro spoj $s \in spoj \rightarrow$ přestup nevznikne
- z_s^{1-5} – pomocná bivalentní proměnná, která modeluje vznik přestupní vazby ze spoje $s \in spoj$ linky č. 1 na spoj $s \in spoj$ linky č. 5
 - $z_s^{1-5} = 1$ pro spoj $s \in spoj \rightarrow$ přestup vznikne

- $z_s^{1-5} = 0$ pro spoj $s \in spoj \rightarrow$ přestup nevznikne
- z_s^{4-5} – pomocná bivalentní proměnná, která modeluje vznik přestupní vazby ze spoje $s \in spoj$ linky č. 4 na spoj $s \in spoj$ linky č. 5
 - $z_s^{4-5} = 1$ pro spoj $s \in spoj \rightarrow$ přestup vznikne
 - $z_s^{4-5} = 0$ pro spoj $s \in spoj \rightarrow$ přestup nevznikne

$f_s^{B-\check{Z}ST}$ – frekvence přestupujících cestujících na Karlově náměstí z Boroviny na Železniční stanici ze spoje $s \in spoj$

$f_s^{H-\check{Z}ST}$ – frekvence přestupujících cestujících na Karlově náměstí z Hájku na Železniční stanici ze spoje $s \in spoj$

$f_s^{\check{Z}ST-B}$ - frekvence přestupujících cestujících na Karlově náměstí ze Železniční stanice do Boroviny ze spoje $s \in spoj$

$f_s^{\check{Z}ST-H}$ - frekvence přestupujících cestujících na Karlově náměstí ze Železniční stanice na Hájek ze spoje $s \in spoj$

y – posun času příjezdu a odjezdu spoje

9.4 Účelová funkce

$$\min f(y, z, h) = \min fAV + \min fVA$$

$$\min fAV(y, z, h) = f_1^{B-\check{Z}ST} * h_1^{5-4} + f_2^{B-\check{Z}ST} * h_2^{5-4} + f_1^{H-\check{Z}ST} * h_1^{5-1} + f_2^{H-\check{Z}ST} * h_2^{5-1}$$

$$\min fVA(y, z, h) = f_1^{\check{Z}ST-B} * h_1^{4-5} + f_2^{\check{Z}ST-B} * h_2^{4-5} + f_1^{\check{Z}ST-H} * h_1^{1-5} + f_2^{\check{Z}ST-H} * h_2^{1-5}$$

Předpis účelové funkce je složen ze dvou sčítanců. Každý z nich reprezentuje celkovou časovou ztrátu přestupujících cestujících v jednotlivých směrech. Funkce označená jako fAV značí přestupní vazby z končených Borovina a Hájek směrem na zastávku Železniční stanice. Naopak označení fVA je využito pro přestupy na Karlově náměstí ze směru Železniční stanice do směrů Borovina nebo Hájek.

9.5 Omezující podmínky

U každého matematického modelu časové koordinace přestupních vazeb je mimo účelovou funkci třeba přizpůsobit také omezující podmínky. Ty vymezují množinu přípustných řešení, ve které lze najít optimum.

$$to14_s + y - (tp5_s + y) - tpr \geq M * (z_s^{5-4} - 1) \quad \text{pro } s \in spoj$$

Tento typ omezující podmínky zajišťuje, že když se z časového hlediska přestup nestihne, přestupní vazba v modelu nevzniká.

$$to14_s + y - (tp5_s + y) - tpr \leq h_s^{5-4} + M * (1 - z_s^{5-4}) \quad \text{pro } s \in spoj$$

Tato omezující podmínka vytváří vazbu na účelovou funkci. Díky tomuto omezení může optimalizační software kvantifikovat hodnoty časových ztrát při vzniku přestupních vazeb.

$$to14_s + y - (tp5_s + y) - tpr \geq M * (z_s^{5-1} - 1) \quad \text{pro } s \in spoj$$

Tento typ omezující podmínky zajišťuje, že když se z časového hlediska přestup nestihne, přestupní vazba v modelu nevzniká.

$$to14_s + y - (tp5_s + y) - tpr \leq h_s^{5-1} + M * (1 - z_s^{5-1}) \quad \text{pro } s \in spoj$$

Tato omezující podmínka vytváří vazbu na účelovou funkci. Díky tomuto omezení může optimalizační software kvantifikovat hodnoty časových ztrát při vzniku přestupních vazeb.

$$\sum_{s \in spoj} (z_s^{5-4} + z_s^{5-1}) = 1 \quad \text{pro } s \in spoj$$

Podmínka výše zajišťuje vznik právě jedné přestupní vazby z linky č. 5 na linku č. 1 nebo č. 4.

$$to5_s + y - (tp14_s + y) - tpr \geq M * (z_s^{4-5} - 1) \quad \text{pro } s \in spoj$$

Tento typ omezující podmínky zajišťuje, že když se z časového hlediska přestup nestihne, přestupní vazba v modelu nevzniká.

$$to5_s + y - (tp14_s + y) - tpr \leq h_s^{4-5} + M * (1 - z_s^{4-5}) \quad \text{pro } s \in spoj$$

Tato omezující podmínka vytváří vazbu na účelovou funkci. Díky tomuto omezení může optimalizační software kvantifikovat hodnoty časových ztrát při vzniku přestupních vazeb.

$$to5_s + y - (tp14_s + y) - tpr \geq M * (z_s^{1-5} - 1) \quad \text{pro } s \in spoj$$

Tento typ omezující podmínky zajišťuje, že když se z časového hlediska přestup nestihne, přestupní vazba v modelu nevzniká.

$$to5_s + y - (tp14_s + y) - tpr \leq h_s^{1-5} + M * (1 - z_s^{1-5}) \quad \text{pro } s \in spoj$$

Tato omezující podmínka vytváří vazbu na účelovou funkci. Díky tomuto omezení může optimalizační software kvantifikovat hodnoty časových ztrát při vzniku přestupních vazeb.

$$\sum_{s \in spoj} (z_s^{4-5} + z_s^{1-5}) = 1 \quad \text{pro } s \in spoj$$

Výše uvedená podmínka zajišťuje vznik právě jedné přestupní vazby z linky č. 1 nebo č. 4 na linku č. 5.

$$y \geq 0$$

Tato podmínka zajišťuje, že posun přijíždějícího a odjíždějícího autobusového spoje bude větší nebo roven 0.

$$h_s^{5-1} \geq 0 \quad \text{pro } s \in spoj$$

Tento typ podmínky zajišťuje, že časová ztráta přestupujících cestujících z linky č. 5 na linku č. 1 je větší nebo rovna 0.

$$h_s^{5-4} \geq 0 \quad \text{pro } s \in spoj$$

Podmínka zajišťující, že časová ztráta přestupujících cestujících z linky č. 5 na linku č. 4 je větší nebo rovna 0.

$$h_s^{1-5} \geq 0 \quad \text{pro } s \in spoj$$

Podmínka zajišťující, že časová ztráta přestupujících cestujících z linky č. 1 na linku č. 5 je větší nebo rovna 0.

$$h_s^{4-5} \geq 0 \quad \text{pro } s \in spoj$$

Tato podmínka zajišťující, že časová ztráta přestupujících cestujících z linky č. 4 na linku č. 5 je větší nebo rovna 0.

$$z_s^{5-1} \in \{0,1\} \text{ pro } s \in spoj$$

$$z_s^{5-4} \in \{0,1\} \text{ pro } s \in spoj$$

$$z_s^{1-5} \in \{0,1\} \text{ pro } s \in spoj$$

$$z_s^{4-5} \in \{0,1\} \text{ pro } s \in spoj$$

Podmínky zajišťující, že proměnné z_s^{5-1} , z_s^{5-4} , z_s^{1-5} , z_s^{4-5} budou nabývat hodnoty 0, nebo 1.

9.6 Rovnice pro výpočet optimálního řešení

Při tzv. rozjezdu linek v centrálním přestupním uzlu na Karlově náměstí v souvislosti se spojením do zastávky Železniční stanice a naopak mohou nastat přestupy mezi následujícími linkami ve dvou variantách:

- $5 \rightarrow 4$ a $1 \rightarrow 5$
- $4 \rightarrow 5$ a $5 \rightarrow 1$

Jelikož jsou za hodinu realizovány rozjezdy dva, dostáváme celkem čtyři možnosti, které mohou nastat.

$$u1 = f_1^{B-\check{Z}ST} * h_1^{5-4} + f_1^{\check{Z}ST-H} * h_1^{1-5}$$

$$u2 = f_2^{B-\check{Z}ST} * h_2^{5-4} + f_2^{\check{Z}ST-H} * h_2^{1-5}$$

$$v1 = f_1^{\check{Z}ST-B} * h_1^{4-5} + f_1^{H-\check{Z}ST} * h_1^{5-1}$$

$$v2 = f_2^{\check{Z}ST-B} * h_2^{4-5} + f_2^{H-\check{Z}ST} * h_2^{5-1}$$

Výsledkem jsou dvě možnosti, které lze realizovat a vychází z výše uvedených kombinací. Oba součty musí obsahovat proměnné s indexy 1 a 2 a zároveň musí být směr přestupu mezi linkami u jednotlivých sčítanců opačný.

$$\text{moznost A} = u1 + v2$$

$$\text{moznost B} = u2 + v1$$

V závěru textu programu bylo využito dvou podmínek „if“, které s pomocí příkazu „writeln“ zajistili vypsání celkové časové ztráty přestupujících cestujících.

9.7 Text programu v softwaru Xpress-IVE

```
model Ing_prace_KN
```

```
uses "mmxprs"
```

declarations

x=2

spoj=1..x

tO14:array(spoj)of real

tP14:array(spoj)of real

tO5:array(spoj)of real

tP5:array(spoj)of real

z5_1:array(spoj)of mpvar

z5_4:array(spoj)of mpvar

z1_5:array(spoj)of mpvar

z4_5:array(spoj)of mpvar

h5_1:array(spoj)of mpvar

h5_4:array(spoj)of mpvar

h1_5:array(spoj)of mpvar

h4_5:array(spoj)of mpvar

fB_ZST:array(spoj)of real

fH_ZST:array(spoj)of real

fZST_B:array(spoj)of real

fZST_H:array(spoj)of real

y:mpvar

end-declarations

tpr:=1

M:=100000

tO14::[16,46]

tP5::[14,44]

tP14::[14,44]

tO5::[16,46]

fB_ZST::[8,5]

fH_ZST::[12,7]

fZST_B::[7,9]

fZST_H::[8,13]

y<=29

forall(s in spoj)tO14(s)+y-(tP5(s)+y)-tpr>=M(z5_4(s)-1)*

forall(s in spoj)tO14(s)+y-(tP5(s)+y)-tpr<=h5_4(s)+M(1-z5_4(s))*

forall(s in spoj)tO14(s)+y-(tP5(s)+y)-tpr>=M(z5_1(s)-1)*

forall(s in spoj)tO14(s)+y-(tP5(s)+y)-tpr<=h5_1(s)+M(1-z5_1(s))*

forall(s in spoj)z5_4(s) is_binary

forall(s in spoj)z5_1(s) is_binary

sum(s in spoj)(z5_1(s)+z5_4(s))=1

forall(s in spoj)tO5(s)+y-(tP14(s)+y)-tpr>=M(z4_5(s)-1)*

forall(s in spoj)tO5(s)+y-(tP14(s)+y)-tpr<=h4_5(s)+M(1-z4_5(s))*

forall(s in spoj)tO5(s)+y-(tP14(s)+y)-tpr>=M(z1_5(s)-1)*

forall(s in spoj)tO5(s)+y-(tP14(s)+y)-tpr<=h1_5(s)+M(1-z1_5(s))*

forall(s in spoj)z4_5(s) is_binary

forall(s in spoj)z1_5(s) is_binary

sum(s in spoj)(z1_5(s)+z4_5(s))=1

*casova_ztrata_AV:=sum(s in spoj)((fB_ZST(s)*h5_4(s))+(fH_ZST(s)*h5_1(s)))*

*casova_ztrata_VA:=sum(s in spoj)((fZST_B(s)*h4_5(s))+(fZST_H(s)*h1_5(s)))*

celkova_casova_ztrata:=(casova_ztrata_AV)+(casova_ztrata_VA)

minimize(celkova_casova_ztrata)

writeln("Casovy posun spoju je: ")

writeln("y = ",getsol(y))

writeln("Cekani cestujicich spoje s nejmensim poctem prestupujicich cestujicich je: ")

forall(s in spoj)writeln("h5_4 (" ,s,") = ",getsol(h5_4(s)))

forall(s in spoj)writeln("h5_1 (" ,s,") = ",getsol(h5_1(s)))

forall(s in spoj)writeln("h4_5 (" ,s,") = ",getsol(h4_5(s)))

forall(s in spoj)writeln("h1_5 (" ,s,") = ",getsol(h1_5(s)))

```

writeln("Umistení polohy přestupní vazby s nejmenším počtem přestupujících cestujících v obou
směrech:")
forall(s in spoj|getsol(z5_4(s)+z5_1(s))=1)
writeln("z5_4 ("s,") + z5_1 ("s,") = ",getsol(z5_4(s)+z5_1(s)))
forall(s in spoj|getsol(z4_5(s)+z1_5(s))=1)
writeln("z4_5 ("s,") + z1_5 ("s,") = ",getsol(z4_5(s)+z1_5(s)))
writeln("Počet přestupujících cestujících v jednotlivých polohách:")
forall(s in spoj)u5_1_4_5(s)=(fZST_B(s)+fH_ZST(s))
forall(s in spoj)v5_4_1_5(s)=(fZST_H(s)+fB_ZST(s))
forall(s in spoj)writeln("u5_1_4_5 ("s,") = ",getsol(u5_1_4_5(s)))
forall(s in spoj)writeln("v5_4_1_5 ("s,") = ",getsol(v5_4_1_5(s)))
writeln("Celkový počet přestupujících cestujících v jednotlivých polohách:")
moznost_A:=u5_1_4_5(1)+v5_4_1_5(2)
moznost_B:=u5_1_4_5(2)+v5_4_1_5(1)
writeln("moznost_A = u5_1_4_5(1)+v5_4_1_5(2) = ",getsol(moznost_A))
writeln("moznost_B = u5_1_4_5(2)+v5_4_1_5(1) = ",getsol(moznost_B))
if (getsol(moznost_A)>getsol(moznost_B)) then writeln("Celková časová ztrata přestupujících
cestujících je: ", getsol(moznost_B)," min ")
end-if
if (getsol(moznost_B)>getsol(moznost_A)) then writeln("Celková časová ztrata přestupujících
cestujících je: ", getsol(moznost_A)," min ")
end-if
writeln("Vyssi z dvojice hodnot nahradíme primým spojením v daných polohách.")
end-model

```

Casovy posun spoju je:

$y = 0$

Cekani cestujících spoje s nejmenším počtem přestupujících cestujících je:

$h_{5_4}(1) = 0$

$h_{5_4}(2) = 1$

$h_{5_1}(1) = 0$

$h_{5_1}(2) = 0$

$$h_{4_5}(1) = 1$$

$$h_{4_5}(2) = 0$$

$$h_{1_5}(1) = 0$$

$$h_{1_5}(2) = 0$$

Umístění polohy přestupní vazby s nejméně počtem přestupujících cestujících v obou sm-rech:

$$z_{5_4}(2) + z_{5_1}(2) = 1$$

$$z_{4_5}(1) + z_{1_5}(1) = 1$$

Pocet přestupujících cestujících v jednotlivých polohách:

$$u_{5_1_4_5}(1) = 19$$

$$u_{5_1_4_5}(2) = 16$$

$$v_{5_4_1_5}(1) = 16$$

$$v_{5_4_1_5}(2) = 18$$

Celkový počet přestupujících cestujících v jednotlivých polohách:

$$\text{moznost}_A = u_{5_1_4_5}(1) + v_{5_4_1_5}(2) = 37$$

$$\text{moznost}_B = u_{5_1_4_5}(2) + v_{5_4_1_5}(1) = 32$$

Celková časová ztráta přestupujících cestujících je: 32 min

Vyšší z dvojice hodnot nahradíme přímým spojením v daných polohách.

9.8 Komentář k nalezenému řešení

Software Xpress-IVE vygeneroval optimální řešení, které spočívá v určení celkové časové ztráty přestupujících cestujících. Jelikož je cílem modelu tuto hodnotu minimalizovat, z dvojice výsledných hodnot vybere nižší z nich, neboť ta zůstane zachována. Vyšší hodnota bude nahrazena přímým spojením, tudíž dojde v reálném provozu k jejímu vynulování. Výsledná celková časová ztráta přestupujících cestujících bude rovna nižší ze dvou možných hodnot.

10 Experimenty s navrženým modelem

Model, který je vytvořen pro koordinaci přestupních vazeb v uzlu Železniční stanice, je možné jednoduchým způsobem upravit pro požadovanou situaci. Výchozí stav je definován pro koordinaci přestupních vazeb mezi vlaky z Brna a do Brna a MHD z centra a do centra. Pro porovnání a provedení důkazu o univerzálnosti modelu budou vytvořeny dvě alternativy.

10.1 Úprava časových poloh vlakových spojů

První variantní řešení počítá s odlišným požadavkem na koordinaci spojů. V potaz jsou brány pouze rychlíky, avšak ve směru do Brna i do Jihlavy. Analogicky v opačném směru. Požadavek na koordinaci autobusových spojů MHD je zachován dle výchozího zadání. Z každého příjíždějícího vlakového spoje má být vytvořen přestup na odjíždějící autobusový spoj a z každého příjíždějícího autobusového spoje má být vytvořen přestup na odjíždějící vlakový spoj.

10.1.1 Text programu v softwaru Xpress-IVE

```
model Ing_prace
```

```
uses "mmxprs"
```

```
declarations
```

```
r=2
```

```
s=3
```

```
t=2
```

```
v=3
```

```
PVspoj=1..r
```

```
OAspoj=1..s
```

```
PAspoj=1..t
```

OVspoj=1..v

tPV:array(PVspoj)of real

tOA:array(OAspoj)of real

tPA:array(PAspoj)of real

tOV:array(OVspoj)of real

fVA:array(OVspoj)of real

fAV:array(OAspoj)of real

zVA:array(PVspoj,OAspoj)of mpvar

zAV:array(PAspoj,OVspoj)of mpvar

hVA:array(PVspoj)of mpvar

hAV:array(PAspoj)of mpvar

yVA:mpvar

yAV:mpvar

end-declarations

tprest:=5

M:=1000000

tPV::[06,49]

tOA::[00,30,60]

tPA::[00,30]

tOV::[08,50,128]

b:=29

c:=60

w:=1

$eZST_POL_ZST:=17$

$eZST_KN1:=4$

$eZST_KN4:=7$

$eKN_HAJ_KN:=25$

$eKN_BOR_KN:=23$

$fVA::[11,21]$

$fAV::[10,11]$

$forall(i in PVspoj, j in OAspoj) tOA(j) + yVA - tPV(i) - tprest \geq M * (zVA(i, j) - 1)$

$forall(i in PVspoj, j in OAspoj) tOA(j) + yVA - tPV(i) - tprest \leq hVA(i) + M * (1 - zVA(i, j))$

$forall(k in PAspoj, l in OVspoj) tOV(l) - (tPA(k) + yAV) - tprest \geq M * (zAV(k, l) - 1)$

$forall(k in PAspoj, l in OVspoj) tOV(l) - (tPA(k) + yAV) - tprest \leq hAV(k) + M * (1 - zAV(k, l))$

$forall(j in OAspoj) yVA \leq b$

$forall(k in PAspoj) yAV \leq b$

$forall(i in PVspoj) sum(j in OAspoj) zVA(i, j) = 1$

$forall(i in PVspoj, j in OAspoj) zVA(i, j) is_binary$

$forall(k in PAspoj) sum(l in OVspoj) zAV(k, l) = 1$

$forall(k in PAspoj, l in OVspoj) zAV(k, l) is_binary$

$forall(j in OAspoj, k in PAspoj | j=k) tPA(k) + yAV + eZST_POL_ZST + w \leq tOA(j) + yVA$

$forall(j in OAspoj, k in PAspoj | j=k) tOA(j) + yVA + eZST_KN4 + eKN_HAJ_KN + w \leq tPA(k) + yAV - eZST_KN1 + c$

$forall(j in OAspoj, k in PAspoj | j=k) tOA(j) + yVA + eZST_KN1 + eKN_BOR_KN + w \leq tPA(k) + yAV - eZST_KN4 + c$

$tOA(1) + yVA + eZST_KN1 = tPA(2) + yAV - eZST_KN4$

$yVA is_integer$

$yAV is_integer$

$casova_ztrata_VA := sum(i in PVspoj) fVA(i) * hVA(i)$

```

casova_ztrata_AV:=sum(k in PAspoj)fAV(k)*hAV(k)
celkova_casova_ztrata:=(casova_ztrata_VA)+(casova_ztrata_AV)
minimize(celkova_casova_ztrata)
writeln("Celkova casova ztrata prestupujicich cestujicich je: ", getobjval," min ")
writeln("Casovy posun spoju je: ")
writeln("yVA=",getsol(yVA))
writeln("yAV=",getsol(yAV))
writeln("Cekani cestujicich jsou: ")
forall(i in PVspoj)writeln("hVA(",i,")=",getsol(hVA(i)))
forall(k in PAspoj)writeln("hAV(",k,")=",getsol(hAV(k)))
writeln("Vznikle prestupni vazby:")
forall(i in PVspoj,j in OAspoj)getsol(zVA(i,j))=1
writeln("zVA(",i,","j,")=",getsol(zVA(i,j)))
forall(k in PAspoj,l in OVspoj)getsol(zAV(k,l))=1
writeln("zAV(",k,","l,")=",getsol(zAV(k,l)))
end-model

```

Celkova casova ztrata prestupujicich cestujicich je: 653 min

Casovy posun spoju je:

yVA=24

yAV=5

Cekani cestujicich jsou:

hVA(1)=13

hVA(2)=0

hAV(1)=40

hAV(2)=10

Vzniklé přestupní vazby:

$$zVA(1,1)=1$$

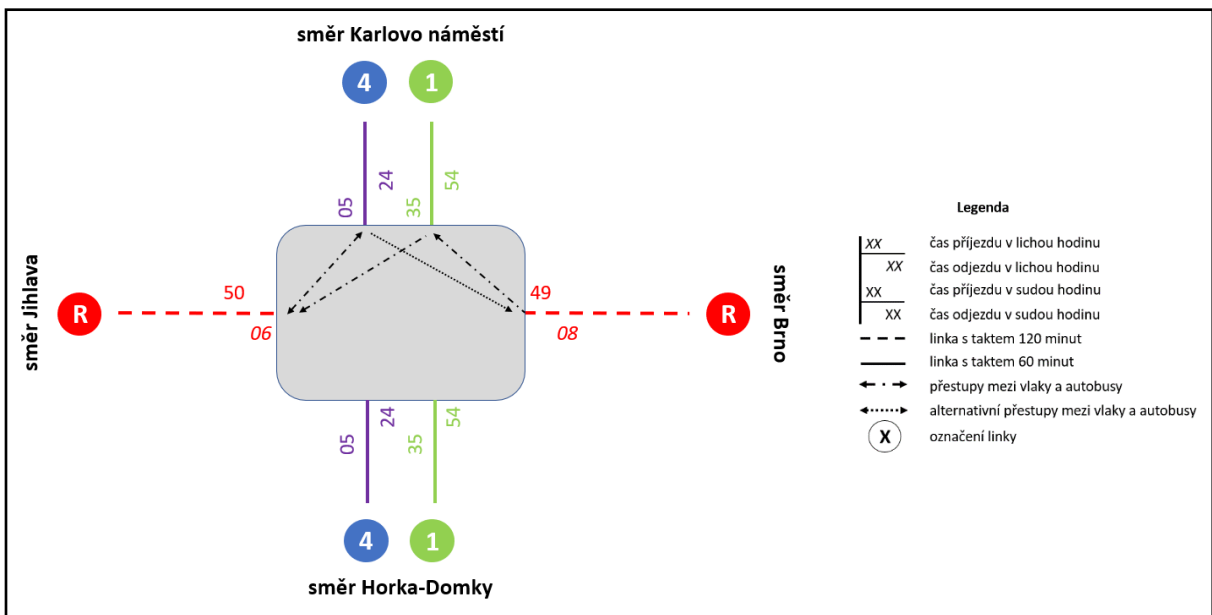
$$zVA(2,2)=1$$

$$zAV(1,2)=1$$

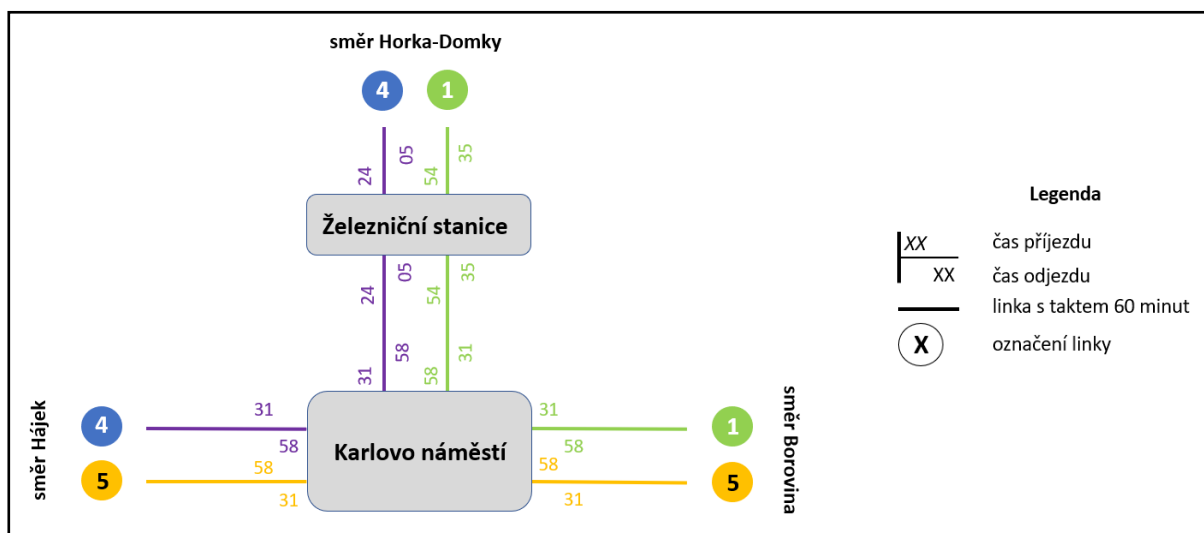
$$zAV(2,2)=1$$

10.1.2 Komentář k nalezenému řešení

Výsledky modelu ukazují, že v případě změny časů příjezdů a odjezdů a hledání optimálního řešení dojde ke změně časových poloh příjíždějících a odjíždějících autobusových spojů. Tím je prokázáno, že při budoucí úpravě železničních jízdních řádů stačí pouze zadat aktuální hodnoty příjezdů a odjezdů vlaků a model vygeneruje nové optimální řešení. Síťové grafiky na obrázcích 27 a 28 zobrazují časové polohy nalezeného řešení.



Obrázek 27: Síťová grafika pro zastávku Železniční stanice v případě koordinace autobusů MHD na rychlíky



Obrázek 28: Síťová grafika pro zastávku Karlovo náměstí v případě koordinace autobusů MHD na rychlíky

10.2 Úprava přestupní doby, jízdních dob a dob obrátů

Důležité parametry, které ovlivňují vytvořený model, jsou přestupní doba mezi autobusy a vlaky, jízdní doby mezi jednotlivými úseky (případně zastávkami) v rámci MHD a doba obrátů vozidel MHD na konečných zastávkách. Pro druhou ukázkou, jak lze model přizpůsobit jinému zadání, bude zkrácena přestupní doba o 1 minutu. Požadavky na koordinaci spojů v rámci přestupního terminálu mezi vlaky a autobusy MHD budou odpovídat výchozímu zadání.

10.2.1 Text programu v softwaru Xpress-IVE

```
model Ing_prace
```

```
uses "mmxprs"
```

```
declarations
```

```
r=2
```

```
s=3
```

```
t=2
```

```
v=3
```


PVspoj=1..r

OAspoj=1..s

PAspoj=1..t

OVspoj=1..v

tPV:array(PVspoj)of real

tOA:array(OAspoj)of real

tPA:array(PAspoj)of real

tOV:array(OVspoj)of real

fVA:array(OVspoj)of real

fAV:array(OAspoj)of real

zVA:array(PVspoj,OAspoj)of mpvar

zAV:array(PAspoj,OVspoj)of mpvar

hVA:array(PVspoj)of mpvar

hAV:array(PAspoj)of mpvar

yVA:mpvar

yAV:mpvar

end-declarations

tprest:=4

M:=1000000

tPV::[16,49]

tOA::[00,30,60]

tPA::[00,30]

tOV::[08,44,128]

$b:=29$

$c:=60$

$w:=1$

$eZST_POL_ZST:=17$

$eZST_KN1:=4$

$eZST_KN4:=7$

$eKN_HAJ_KN:=25$

$eKN_BOR_KN:=23$

$fVA::[3,32]$

$fAV::[40,0]$

$forall(i in PVspoj, j in OAspoj) tOA(j) + yVA - tPV(i) - tprest \geq M * (zVA(i, j) - 1)$

$forall(i in PVspoj, j in OAspoj) tOA(j) + yVA - tPV(i) - tprest \leq hVA(i) + M * (1 - zVA(i, j))$

$forall(k in PAspoj, l in OVspoj) tOV(l) - (tPA(k) + yAV) - tprest \geq M * (zAV(k, l) - 1)$

$forall(k in PAspoj, l in OVspoj) tOV(l) - (tPA(k) + yAV) - tprest \leq hAV(k) + M * (1 - zAV(k, l))$

$forall(j in OAspoj) yVA \leq b$

$forall(k in PAspoj) yAV \leq b$

$forall(i in PVspoj) sum(j in OAspoj) zVA(i, j) = 1$

$forall(i in PVspoj, j in OAspoj) zVA(i, j) is_binary$

$forall(k in PAspoj) sum(l in OVspoj) zAV(k, l) = 1$

$forall(k in PAspoj, l in OVspoj) zAV(k, l) is_binary$

$forall(j in OAspoj, k in PAspoj | j=k) tPA(k) + yAV + eZST_POL_ZST + w \leq tOA(j) + yVA$

$forall(j in OAspoj, k in PAspoj | j=k) tOA(j) + yVA + eZST_KN4 + eKN_HAJ_KN + w \leq tPA(k) + yAV - eZST_KN1 + c$

$forall(j in OAspoj, k in PAspoj | j=k) tOA(j) + yVA + eZST_KN1 + eKN_BOR_KN + w \leq tPA(k) + yAV - eZST_KN4 + c$

$t_{OA(1)} + y_{VA} + e_{ZST_KN1} = t_{PA(2)} + y_{AV} - e_{ZST_KN4}$

y_{VA} is_integer

y_{AV} is_integer

$casova_ztrata_VA := \sum(i \text{ in } PVspoj) f_{VA}(i) * h_{VA}(i)$

$casova_ztrata_AV := \sum(k \text{ in } PAspoj) f_{AV}(k) * h_{AV}(k)$

$celkova_casova_ztrata := (casova_ztrata_VA) + (casova_ztrata_AV)$

minimize(celkova_casova_ztrata)

writeln("Celkova casova ztrata prestupujicich cestujicich je: ", getobjval, " min ")

writeln("Casovy posun spoju je: ")

writeln("yVA=", getsol(yVA))

writeln("yAV=", getsol(yAV))

writeln("Cekani cestujicich jsou: ")

forall(i in PVspoj) writeln("hVA(", i, ")=", getsol(hVA(i)))

forall(k in PAspoj) writeln("hAV(", k, ")=", getsol(hAV(k)))

writeln("Vznikle prestupni vazby:")

forall(i in PVspoj, j in OAspoj) getsol(zVA(i, j)) = 1

writeln("zVA(", i, ", ", j, ")=", getsol(zVA(i, j)))

forall(k in PAspoj, l in OVspoj) getsol(zAV(k, l)) = 1

writeln("zAV(", k, ", ", l, ")=", getsol(zAV(k, l)))

end-model

Celkova casova ztrata prestupujicich cestujicich je: 9 min

Casovy posun spoju je:

$y_{VA} = 23$

$y_{AV} = 4$

Cekani cestujících jsou:

$$hVA(1)=3$$

$$hVA(2)=0$$

$$hAV(1)=0$$

$$hAV(2)=90$$

Vzniklé přestupní vazby:

$$zVA(1,1)=1$$

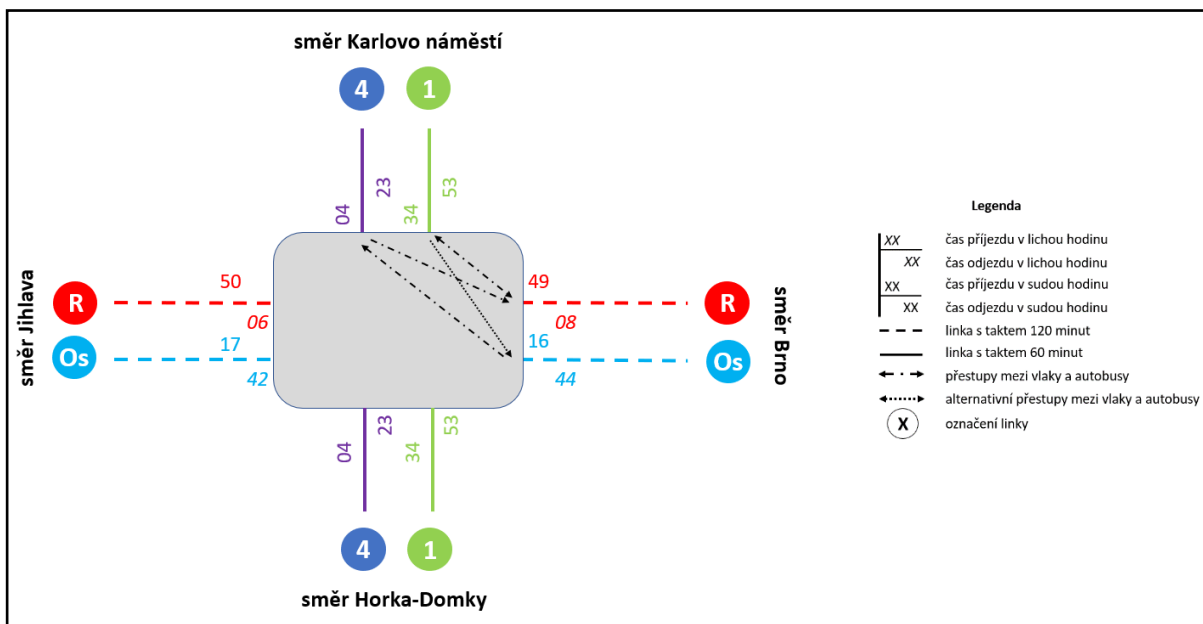
$$zVA(2,2)=1$$

$$zAV(1,1)=1$$

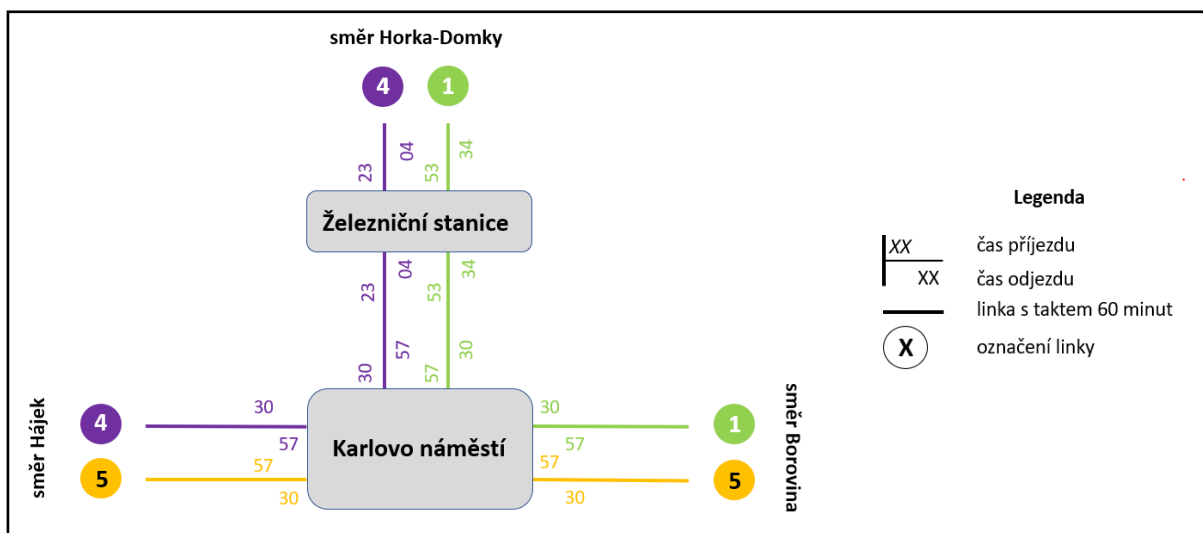
$$zAV(2,3)=1$$

10.2.2 Komentář k nalezenému řešení

Z výsledku je patrné, že úprava jediné hodnoty, dokonce pouze o jednu minutu, stačí k nalezení lepšího řešení pohledu celkové časové ztráty všech přestupujících cestujících. Experimenty tak lze zjistit, jaké nejvyšší hodnoty může nabývat doba přestupu mezi dopravními prostředky, zda je možné zvýšit jízdní dobu mezi určitými dvěma body na trase linky MHD nebo jestli je vhodné upravit dobu obratu na konečné. Tyto úpravy také ukazují, kde jsou slabá místa provozu MHD. V případě, že jsou zadány hodnoty, které podmínky nesplňují, nebude softwarem nalezeno žádné přípustné řešení. Obrázky 29 a 30 ukazují nalezené řešení pomocí síťové grafiky.



Obrázek 29: Síťová grafika pro zastávku Železniční stanice v případě úpravy hodnoty minimální přestupní doby



Obrázek 30: Síťová grafika pro zastávku Karlovo náměstí v případě úpravy hodnoty minimální přestupní doby

11 Alternativní přestupní uzel MHD

Karlovo náměstí v Třebíči projde v nejbližších letech rozsáhlou revitalizací, jejíž součástí je i změna dopravního režimu týkající se osobních automobilů i autobusů. Nejvýznamnější změnou z hlediska městské hromadné dopravy je úprava prostoru nástupišť, který bude nově tvořen pouze jedním zastávkovým označníkem v každém směru. Zastávky budou uzpůsobeny pro zastavení třech vozidel za sebou v pořadí odpovídajícímu jejich příjezdu. [15, 20]

V roce 2020 byla také zpracována ideová studie budoucího využití prostoru autobusového nádraží, které se nachází v docházkové vzdálenosti cca 250 m od Karlova náměstí. Jednou z možností, jak s předimenzovaným prostorem autobusového nádraží naložit, je ponechání jeho původní funkce s menšími úpravami okolního prostranství. Pakliže by bylo autobusové nádraží vhodně upraveno, jeho plocha by byla dostačující nejen pro příměstskou autobusovou dopravu tak, jak je tomu dosud, ale také pro autobusy městské hromadné dopravy. [8]

V souvislosti s těmito dvěma plánovanými rozsáhlými investicemi by bylo možné uvažovat nad přesunutím přestupního uzlu z Karlova náměstí do prostoru autobusového nádraží. Nově vytvořená zastávka by nesla název Autobusové nádraží. Z přestupního uzlu na Karlově náměstí by se tak stala „pouze“ významná průjezdní zastávka.

Vytvoření této varianty obnáší výraznější změny v jízdních řádech jednotlivých linek a jízdních dobách než v případech, které byly uvedeny v předchozí kapitole. Přesto i pro tuto možnost lze využít navržený model, v němž jsou upraveny některé parametry, aby odpovídaly odlišné poloze přestupního uzlu.

11.1 Úprava modelu pro přestupní uzel na autobusovém nádraží

Ve srovnání s modelem, který zohledňuje současný stav přestupního uzlu, jsou v této variantě upraveny jízdní doby mezi jednotlivými úseky na linkách MHD. V závorkách jsou uvedeny původní konečné zastávky. Hodnoty jízdních dob, které v současné době nejsou k dispozici, byly určeny odborným odhadem s přihlédnutím např. ke vzdálenosti zastávek nebo počtu a charakteru křižovatek. Konkrétně se jedná o následující případy.

- Železniční stanice – Autobusové nádraží (Karlovo náměstí)
- (Karlovo náměstí) Autobusové nádraží – Borovina
- (Karlovo náměstí) Autobusové nádraží – Hájek

Ostatní hodnoty zůstávají neměnné.

11.2 Text programu v softwaru Xpress-IVE

model Ing_prace

uses "mmxprs"

declarations

r=2

s=3

t=2

v=3

PVspoj=1..r

OAspoj=1..s

PAspoj=1..t

OVspoj=1..v

tPV:array(PVspoj)of real

tOA:array(OAspoj)of real

tPA:array(PAspoj)of real

tOV:array(OVspoj)of real

fVA:array(OVspoj)of real

fAV:array(OAspoj)of real

zVA:array(PVspoj,OAspoj)of mpvar

zAV:array(PAspoj,OVspoj)of mpvar

hVA:array(PVspoj)of mpvar

hAV:array(PAspoj)of mpvar

yVA:mpvar

yAV:mpvar

end-declarations

tprest:=5

M:=1000000

tPV::[16,49]

tOA::[00,30,60]

tPA::[00,30]

tOV::[08,44,128]

b:=29

c:=60

w:=1

eZST_POL_ZST:=16

eZST_AU1:=7

eZST_AU4:=6

eAU_HAJ_AU:=28

eAU_BOR_AU:=18

fVA::[3,32]

fAV::[40,0]

forall(i in PVspoj,j in OAspoj)tOA(j)+yVA-tPV(i)-tprest>=M(zVA(i,j)-1)*

```

forall(i in PVspoj,j in OAspoj)tOA(j)+yVA-tPV(i)-tprest<=hVA(i)+M*(1-zVA(i,j))
forall(k in PAspoj,l in OVspoj) tOV(l) - (tPA(k)+yAV)-tprest>=M*(zAV(k,l)-1)
forall(k in PAspoj,l in OVspoj) tOV(l) - (tPA(k)+yAV)-tprest<=hAV(k)+M*(1-zAV(k,l))
forall (j in OAspoj)yVA<=b
forall (k in PAspoj)yAV<=b
forall(i in PVspoj)sum(j in OAspoj)zVA(i,j)=1
forall(i in PVspoj, j in OAspoj)zVA(i,j)is_binary
forall(k in PAspoj)sum(l in OVspoj)zAV(k,l)=1
forall(k in PAspoj, l in OVspoj)zAV(k,l)is_binary
forall(j in OAspoj, k in PAspoj|j=k)tPA(k)+yAV+eZST_POL_ZST + w <= tOA(j)+yVA
forall(j in OAspoj, k in PAspoj|j=k)tOA(j)+yVA+eZST_AU4 + eAU_HAJ_AU + w <=
tPA(k)+yAV-eZST_AU1 + c
forall(j in OAspoj, k in PAspoj|j=k)tOA(j)+yVA+eZST_AU1 + eAU_BOR_AU + w <=
tPA(k)+yAV-eZST_AU4 + c
tOA(1)+yVA+eZST_AU1=tPA(2)+yAV-eZST_AU4
yVA is_integer
yAV is_integer
casova_ztrata_VA:=sum(i in PVspoj)fVA(i)*hVA(i)
casova_ztrata_AV:=sum(k in PAspoj)fAV(k)*hAV(k)
celkova_casova_ztrata:=(casova_ztrata_VA)+(casova_ztrata_AV)
minimize(celkova_casova_ztrata)
writeln("Celkova casova ztrata prestupujicich cestujicich je: ", getobjval," min ")
writeln("Casovy posun spoju je: ")
writeln("yVA=",getsol(yVA))
writeln("yAV=",getsol(yAV))

```

```

writeln("Cekani cestujicich jsou: ")
forall(i in PVspoj)writeln("hVA(",i,"")=",getsol(hVA(i)))
forall(k in PAspoj)writeln("hAV(",k,"")=",getsol(hAV(k)))
writeln("Vznikle prestupni vazby:")
forall(i in PVspoj,j in OAspoj|getsol(zVA(i,j))=1)
writeln("zVA(",i,"",",j,"")=",getsol(zVA(i,j)))
forall(k in PAspoj,l in OVspoj|getsol(zAV(k,l))=1)
writeln("zAV(",k,"",",l,"")=",getsol(zAV(k,l)))

end-model

```

Celkova casova ztrata prestupujicich cestujicich je: 919 min

Casovy posun spoju je:

$y_{VA}=20$

$y_{AV}=3$

Cekani cestujicich jsou:

$h_{VA}(1)=29$

$h_{VA}(2)=26$

$h_{AV}(1)=0$

$h_{AV}(2)=90$

Vznikle prestupni vazby:

$z_{VA}(1,2)=1$

$z_{VA}(2,3)=1$

$z_{AV}(1,1)=1$

$$zAV(2,3)=1$$

11.3 Komentář k nalezenému řešení

Ve srovnání se situací, kdy zůstane přestupní uzel na Karlově náměstí, dojde k mírnému zvýšení celkové časové ztráty přestupujících cestujících. Rozdíl činí 20 minut. Liší se také příjezdy linek do uzlu Železniční stanice a odjezdy z něj.

Ke komplikaci však dojde při realizaci přestupních vazeb v novém přestupním uzlu na autobusovém nádraží. Problém nastává u linky č. 5, jejíž jízdní doba na sídliště Hájek a zpět nesplňuje jednu z podmínek, která vyplývá z provozu. Při jednoduchém ověření, zda je řešení přípustné, bylo zjištěno, že je trasa příliš dlouhá a vozidlo se nestihne vrátit v opačném směru zpět na autobusové nádraží v požadovaný čas. Jelikož jsou ale v modelu koordinovány pouze linky č. 1 a 4, není zde tato podmínka přímo definována. Situaci lze však vyřešit rozdělením přestupních vazeb mezi zastávky Karlovo náměstí a Autobusové nádraží. V období jedné hodiny tak nastanou dvě varianty, jejichž podoba je znázorněna v tabulkách č. 15 a 16.

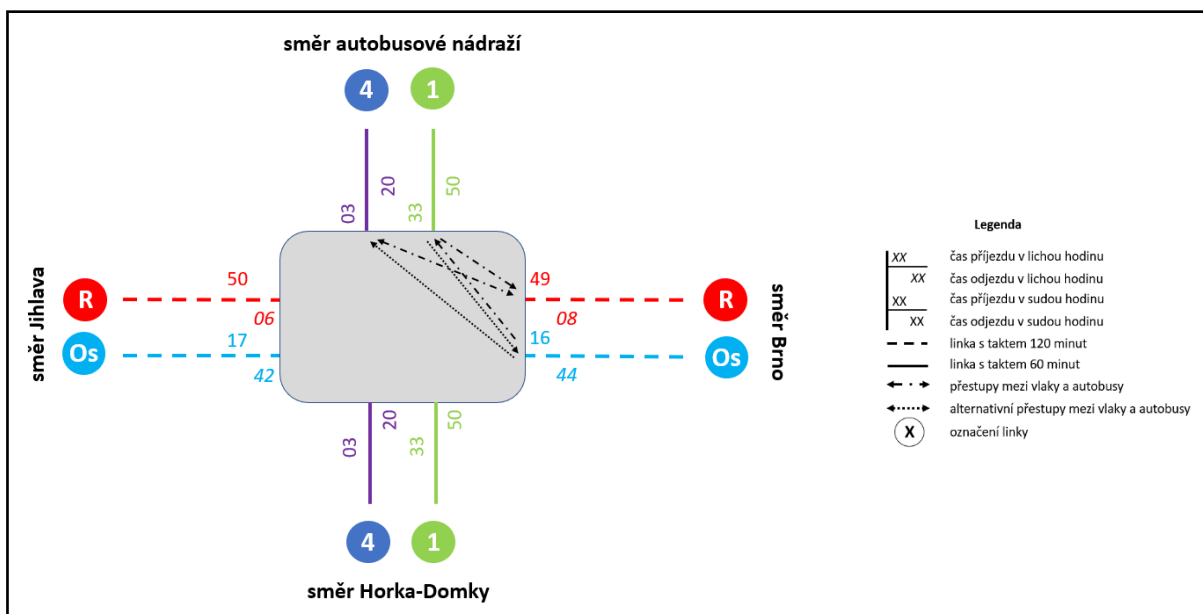
Tabulka 15: První varianta přestupů v centru města v případě přestupního uzlu v zastávce Autobusové nádraží

Číslo linky	Ze směru	Čas příjezdu do přestupního uzlu	Přestupní uzel	Čas odjezdu z přestupního uzlu	Ve směru	Číslo linky
1	Borovina	XX:26	Autobusové nádraží	XX:26	Hájek	4
4	Horka-Domky	XX:26	Autobusové nádraží	XX:29	Borovina	5
5	Hájek	XX:26	Karlovo náměstí	XX:29	Horka-Domky	1

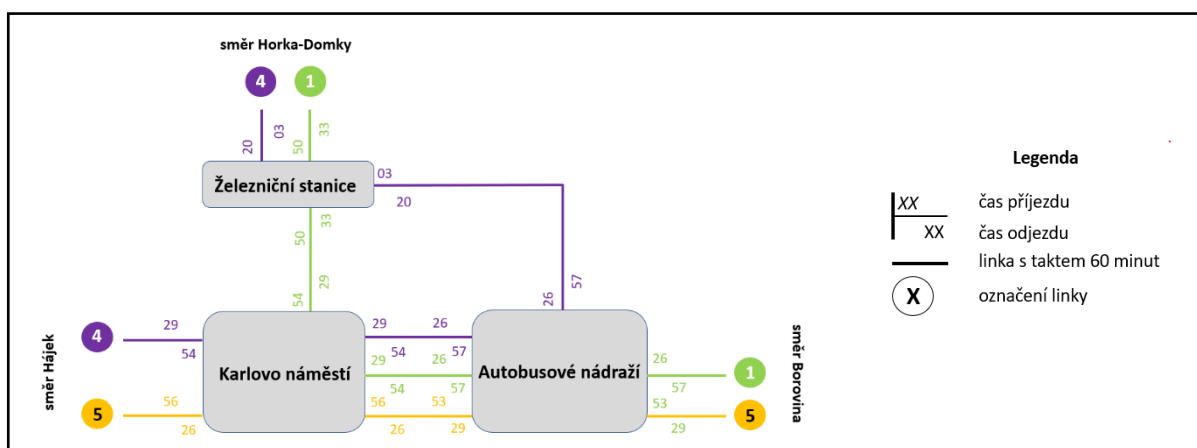
Tabulka 16: Druhá varianta přestupů v centru města v případě přestupního uzlu v zastávce Autobusové nádraží

Číslo linky	Ze směru	Čas příjezdu do přestupního uzlu	Přestupní uzel	Čas odjezdu z přestupního uzlu	Ve směru	Číslo linky
1	Horka-Domky	XX:54	Karlovo náměstí	XX:56	Hájek	5
4	Hájek	XX:57	Autobusové nádraží	XX:57	Borovina	1
5	Borovina	XX:53	Autobusové nádraží	XX:57	Horka-Domky	4

Z tabulek je patrné, že existuje způsob, jak přestupní vazby v centru města zachovat. Větší část přestupů by byla realizována na autobusovém nádraží, zbytek na Karlově náměstí. Přesto lze uvést, že z pohledu běžných cestujících by se jednalo o složitější koncepci přestupů, než je tomu v roce 2020. Vygenerované řešení je taktéž zobrazeno na obrázcích 31 a 32 pomocí síťové grafiky.



Obrázek 31: Síťová grafika pro zastávku Železniční stanice v případě využití nového přestupního uzlu Autobusové nádraží



Obrázek 32: Síťová grafika pro centrum města v případě využití nového přestupního uzlu Autobusové nádraží

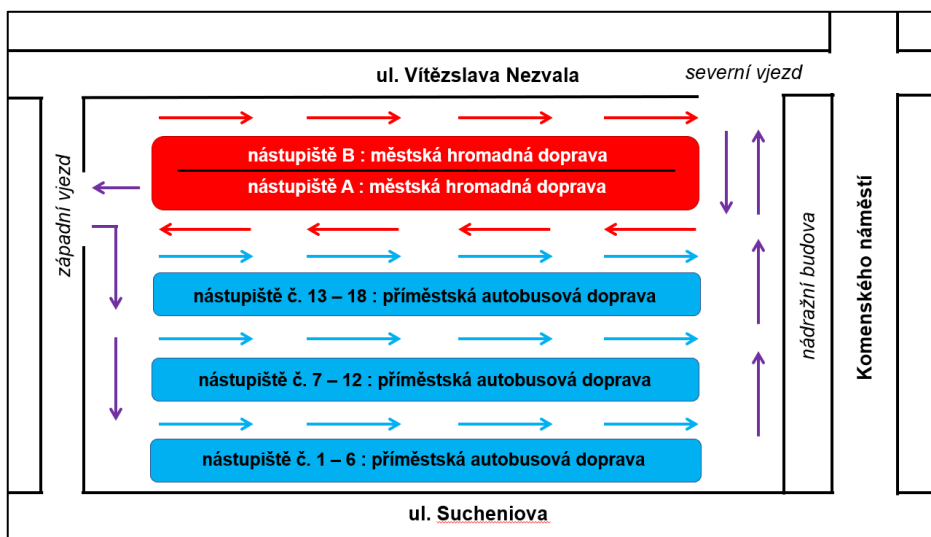
11.4 Možná omezení v prostoru autobusového nádraží

Areál autobusového nádraží je v roce 2020 tvořen čtyřmi nástupišti s celkem 25 zastávkovými stánkami, jednou vjezdovou a jednou výjezdovou komunikací. Právě vjezd na autobusové nádraží a výjezd z něj by mohl přinášet komplikace při intenzivnějším využití prostoru. Tato potenciální hrozba však vychází ze současného uspořádání autobusového nádraží, které by se mohlo do budoucna v rámci revitalizace veřejného prostranství změnit a uzpůsobit novým potřebám veřejné dopravy.

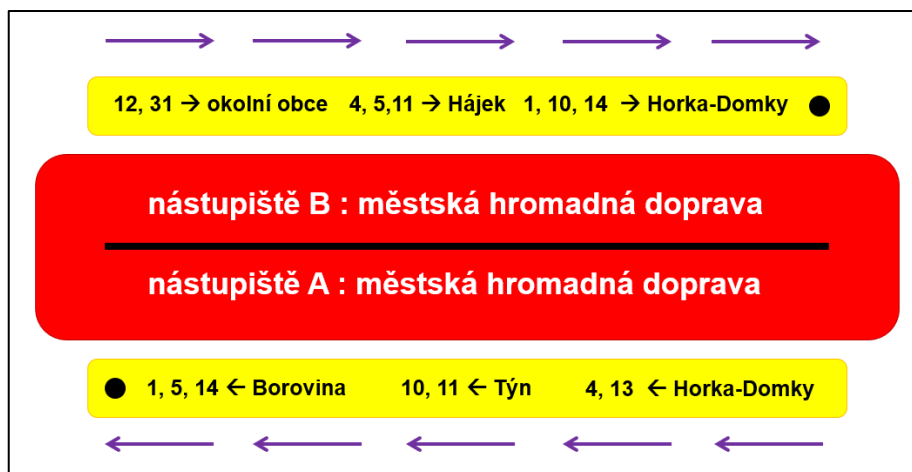
Dle jízdních řádů platných v roce 2020 je pro příměstskou autobusovou dopravu třeba 15 nástupišť. Prostor zbývajících 10 nástupišť by tak mohl být využit pro autobusy městské

hromadné dopravy. Jelikož ve stávajícím přestupním uzlu v období přepravní špičky zastaví zpravidla nejvýše 6 vozidel MHD, rezerva v počtu i délce nástupišť je dostatečná.

Menší komplikaci by mohlo způsobit uspořádání jednotlivých nástupišť. Všechna čtyři ostrovní nástupiště jsou vybudována rovnoběžně. První variantou uspořádání příjezdových a odjezdových stanovišť by bylo vytvoření jediné zastávky pro všechna vozidla nezávisle na směru, ze kterého by přijela. Vozidla by zastavila v pořadí dle svého příjezdu. Toto řešení je však složité pro orientaci cestujících při přestupech a zároveň prodlužuje přestupní vzdálenosti mezi jednotlivými vozidly. Druhou variantou by bylo vyčlenění dvou ostrovních nástupišť pro provoz MHD, ovšem pouze jejich předních částí. Zadní by stále sloužily pro příměstskou autobusovou dopravu. Výhoda oproti první variantě by spočívala v rozdělení zastávkových stání pro jednotlivá vozidla podle směrů, do kterých by odjížděla. Zároveň by došlo ke zpřehlednění situace pro cestující a zároveň ke snížení vzdálenosti, kterou je třeba překonat při vykonání přestupu. Třetí varianta by spočívala ve využití jedné řady zastávkových stání a vytvoření ostrovního nástupiště, ke kterému by mohly autobusy MHD najíždět z obou stran, např. po vzoru autobusového nádraží u hotelu Grand v Brně. Tím by došlo k ještě výraznějšímu zkrácení přestupní vzdálenosti a v důsledku toho ke snížení hodnoty účelové funkce celkové ztráty všech přestupujících cestujících. Toto řešení se z pohledu autora jeví jako nejvhodnější a je demonstrováno na obrázcích č. 33 a 34.



Obrázek 33: Schematický návrh možné podoby přestupního uzlu Autobusové nádraží



Obrázek 34: Detail nástupiště pro MHD a rozdělení linek podle jednotlivých směrů

12 Návrh úpravy jízdních řádů

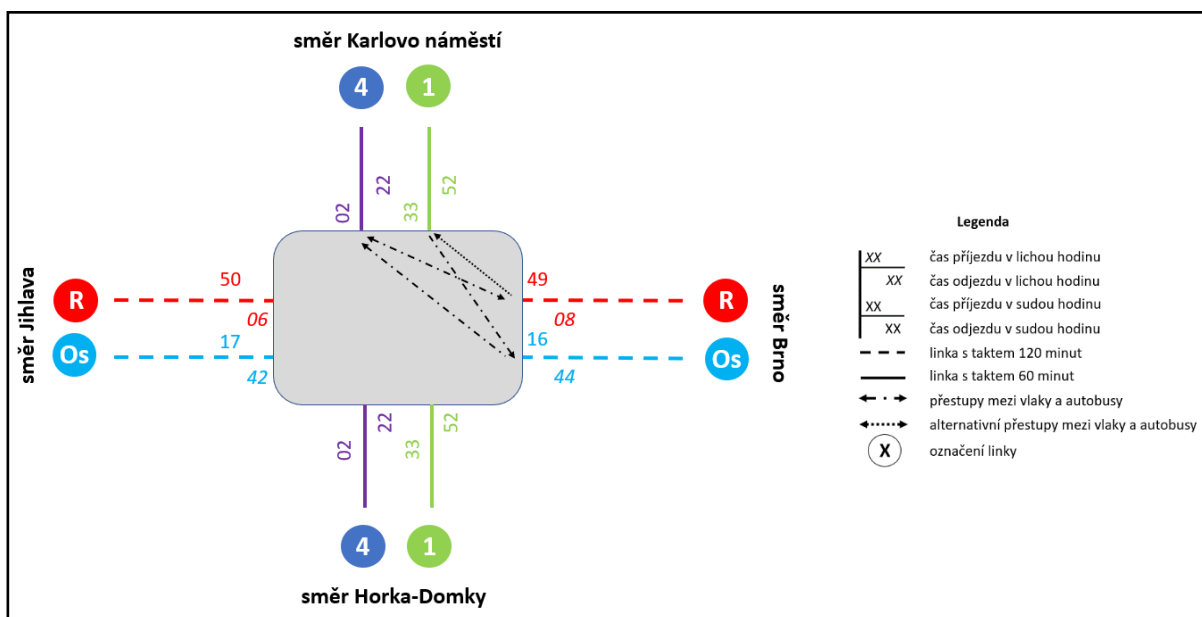
Časová ztráta přestupujících cestujících v základní variantě činí 899 min. V předchozí kapitole bylo zpracováno variantní řešení pro přemístění centrálního přestupního uzlu z Karlova náměstí do prostoru autobusového nádraží. To je však potenciálně podmíněno revitalizací, nebo alespoň částečnou úpravou jak Karlova náměstí, tak autobusového nádraží. Blíže k realizaci je přestavba Karlova náměstí. Přípravné práce začaly v roce 2020 a ukončení se očekává během dvou až tří let. Odlišná situace je v případě autobusového nádraží, kde byla zpracována pouze ideová studie, na základě které se rozhodne o dalším postupu. Horizont možných úprav se odhaduje na 5 až 10 let. Proto bude návrh jízdních řádů vytvořen pro stávající variantu – umístění centrálního přestupního uzlu na Karlově náměstí. [8, 15, 20]

12.1 Úprava víkendového provozu

V roce 2020 jsou identifikovány největší problémy v přestupních vazbách mezi vlaky a autobusy MHD v období víkendů a státních svátků. A to především z důvodu delšího intervalu mezi spoji na jednotlivých linkách. V pracovní dny je potřeba koordinace nižší, neboť intervaly na linkách jsou poloviční až čtvrtinové. V případě ujetí přípoje tudíž nedochází k tak výrazné časové ztrátě přestupujících cestujících jako o víkendech. Proto jsou úpravy jízdních řádů zaměřeny na víkendový provoz.

12.2 Časová poloha páteřních linek v přestupním uzlu Železniční stanice

Dle výsledků z modelu pro koordinaci přestupních vazeb v uzlu Železniční stanice v kapitole 8 bylo určeno, že polohy příjezdů a odjezdů budou stanoveny tak, jak je uvedeno na obrázku 35. Jedna z navrhovaných časových poloh příjezdů a odjezdů do uzlu Železniční stanice, konkrétně se jedná o čas XX:03, byla změněna na XX:02, a to z důvodu rozdílné jízdní doby na lince č. 4 ve směru A a B. Více je tato úprava popsána v podkapitole 12.5.2.



Obrázek 35: Sítová grafika pro zastávku Železniční stanice dle finálního návrhu

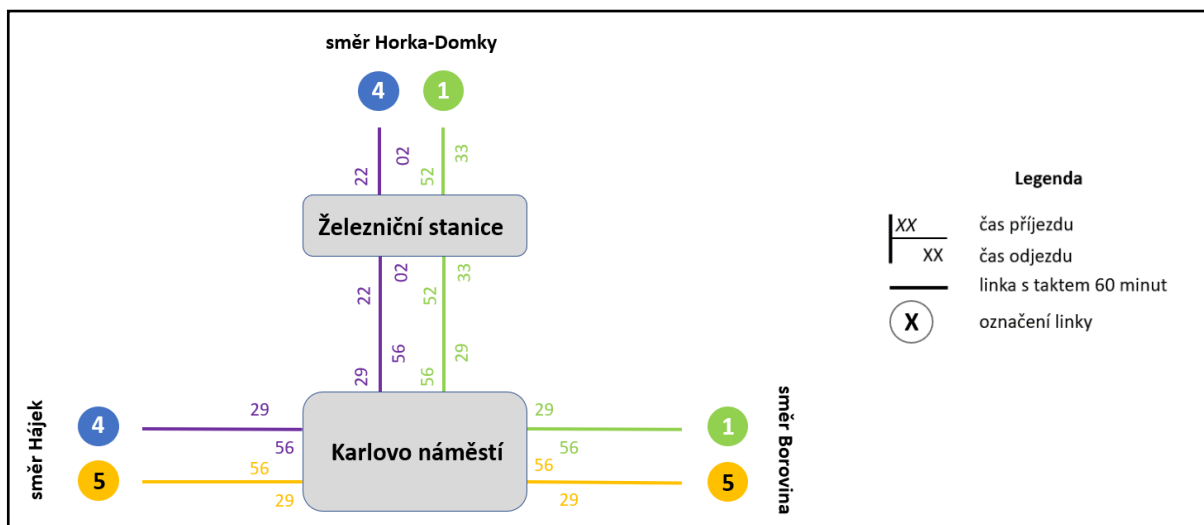
Pro rozhodnutí o umístění jednotlivých linek do vygenerovaných časových poloh v uzlu Železniční stanice páteřním linkám bylo využito doplňkového modelu, který zohledňuje počet cestujících v relacích Borovina – Železniční stanice a Hájek – Železniční stanice. Při zadání konkrétních hodnot, které jsou uvedeny v kapitole č. 9, a nalezení optimálního řešení bylo rozhodnuto, že přestupní vazby ve vztahu k zastávce Železniční stanice budou v přestupním uzlu na Karlově náměstí v poloze č. 1 realizovány z linky č. 5 na linku č. 4 a z linky č. 1 na linku č. 5. V poloze č. 2 pak z linky č. 5 na linku č. 1 a z linky č. 4 na linku č. 5.

12.3 Časová poloha páteřních linek v přestupním uzlu Karlovo náměstí

Nejvýraznější změna nastala u přestupního uzlu Karlovo náměstí. Tzv. rozjezdy tvořily několik desítek let základ jízdních řádů MHD Třebíč. Vzhledem k vybudování přestupního terminálu a především změnám časových poloh příjezdů a odjezdů vlaků na trati č. 240 bylo nutné ve snaze zlepšit přestupní vazby mezi jednotlivými módy zavedený systém změnit. Pokud by k úpravě nedošlo, zlepšení přestupních vazeb by bylo obtížnější a výsledky kvalitativně horší.

Nevýhodou takto navrženého řešení je ztráta přesného třicetiminutového intervalu mezi přepravními proudy. Posun je však pouze v jednotkách minut a nebude znamenat zhoršení obslužnosti jednotlivých částí města. Cestující změnu zaregistrují pouze ve formě hůře zapamatovatelných příjezdů autobusů na Karlovo náměstí a odjezdů z něj. Časové polohy jsou zobrazeny pomocí síťové grafiky na obrázku 36.

Tento přestupní uzel se tak nově stává závislým na přestupním uzlu Železniční stanice. Konkrétní časová poloha páteřních a následně doplňkových linek bude stanovena pomocí jízdní doby mezi uzly Karlovo náměstí a Železniční stanice.



Obrázek 36: Síťová grafika pro zastávku Karlovo náměstí dle finálního návrhu

12.4 Časová poloha doplňkových linek v přestupním uzlu Karlovo náměstí

Se změnou časů příjezdů a odjezdů páteřních linek č. 1, 4 a 5 souvisí také úprava časových poloh doplňkových linek, které jsou v provozu o víkendech. Jedná se o linky č. 10, 11, 12, 14 a 31. Kromě spojů linek č. 10 a 14, u kterých není Karlovo náměstí zpravidla výchozí či cílovou zastávkou, budou časy příjezdů nastaveny tak, aby spoje přijely do přestupního uzlu 2 minuty před tzv. rozjezdem. Naopak odjezdy budou oproti páteřním linkám opožděny o 2 minuty. Toto opatření má za cíl snížit pravděpodobnost ujetí přípoje a zároveň zvýšit pohodlí cestujících při přestupech na Karlově náměstí. Ačkoliv se tím mírně zvýší celková časová ztráta přestupujících cestujících, vzhledem k jejich nízkému počtu se jedná o hodnotu, kterou lze v zájmu zkvalitnění přestupních vazeb zanedbat.

12.5 Jízdní řády jednotlivých linek

Na základě nalezeného optimálního řešení budou k následujícím podkapitolám vytvořeny kompletní jízdní řády pro všechny linky MHD v Třebíči provozované v období víkendů a státních svátků.

12.5.1 Linka č. 1

U linky č. 1 došlo k posunutí odjezdů z výchozí zastávky Za Rybníkem o 16 minut zpět oproti současnému stavu. Ke stejnému posunu došlo také v centrálním přestupním uzlu, kde je nově časová poloha stanovena ve směru Za Rybníkem → Poliklinika Vltavínská na XX:29. Zastávka Železniční stanice je nově obsluhována v časech XX:33 a zároveň došlo ke zkrácení jízdní doby mezi zastávkami Nádražní a Železniční stanice o 1 minutu.

V opačném směru jsou posunuty odjezdy ze zastávky Poliklinika Vltavínská o 18 minut zpět. Posun na Karlově náměstí je stanoven o 19 minut zpět z důvodu zkrácení jízdní doby mezi zastávkami Železniční stanice a Karlovo náměstí. Železniční stanice je obsluhována v časech XX:52. Jízdní řády jsou k vidění v tabulkách 17 a 18.

Tabulka 17: Návrh jízdního řádu linky č. 1 ve směru Poliklinika Vltavínská

1	Název zastávky	j. d.	směr Železniční stanice																		
	Za Rybníkem	0	6:17	7:17	8:17	9:17	10:17	11:17	12:17	13:17	14:17	15:17	16:17	17:17	18:17	19:17	20:17	22:17			
	Koželužská	2	6:19	7:19	8:19	9:19	10:19	11:19	12:19	13:19	14:19	15:19	16:19	17:19	18:19	19:19	20:19	22:19			
	Revoluční	1	6:20	7:20	8:20	9:20	10:20	11:20	12:20	13:20	14:20	15:20	16:20	17:20	18:20	19:20	20:20	22:20			
	U Kapličky	2	6:22	7:22	8:22	9:22	10:22	11:22	12:22	13:22	14:22	15:22	16:22	17:22	18:22	19:22	20:22	22:22			
	Sucheniova	2	6:24	7:24	8:24	9:24	10:24	11:24	12:24	13:24	14:24	15:24	16:24	17:24	18:24	19:24	20:24	22:24			
	Komenského náměstí	2	6:26	7:26	8:26	9:26	10:26	11:26	12:26	13:26	14:26	15:26	16:26	17:26	18:26	19:26	20:26	22:26			
	Karlovo náměstí	3	6:29	7:29	8:29	9:29	10:29	11:29	12:29	13:29	14:29	15:29	16:29	17:29	18:29	19:29	20:29	22:29			
	Nádražní	3	6:32	7:32	8:32	9:32	10:32	11:32	12:32	13:32	14:32	15:32	16:32	17:32	18:32	19:32	20:32	22:32			
	Železniční stanice	1	6:33	7:33	8:33	9:33	10:33	11:33	12:33	13:33	14:33	15:33	16:33	17:33	18:33	19:33	20:33	22:33			
	Demlova, školka	2	6:35	7:35	8:35	9:35	10:35	11:35	12:35	13:35	14:35	15:35	16:35	17:35	18:35	19:35	20:35	22:35			
	Demlova	1	6:36	7:36	8:36	9:36	10:36	11:36	12:36	13:36	14:36	15:36	16:36	17:36	18:36	19:36	20:36	22:36			
	Poliklinika Vltavínská	2	6:38	7:38	8:38	9:38	10:38	11:38	12:38	13:38	14:38	15:38	16:38	17:38	18:38	19:38	20:38	22:38			

Tabulka 18: Návrh jízdního řádu linky č. 1 ve směru Za Rybníkem

1	Název zastávky	j. d.	směr Karlovo náměstí																
	Poliklinika Vltavínská	0	5:47	6:47	7:47	8:47	9:47	10:47	11:47	12:47	13:47	14:47	15:47	16:47	17:47	18:47	19:47	20:47	
	Demlova	2	5:49	6:49	7:49	8:49	9:49	10:49	11:49	12:49	13:49	14:49	15:49	16:49	17:49	18:49	19:49	20:49	
	Znojenská	1	5:50	6:50	7:50	8:50	9:50	10:50	11:50	12:50	13:50	14:50	15:50	16:50	17:50	18:50	19:50	20:50	
	Železniční stanice	2	5:52	6:52	7:52	8:52	9:52	10:52	11:52	12:52	13:52	14:52	15:52	16:52	17:52	18:52	19:52	20:52	
	Karlovo náměstí	4	5:56	6:56	7:56	8:56	9:56	10:56	11:56	12:56	13:56	14:56	15:56	16:56	17:56	18:56	19:56	20:56	
	Komenského náměstí	3	5:59	6:59	7:59	8:59	9:59	10:59	11:59	12:59	13:59	14:59	15:59	16:59	17:59	18:59	19:59	20:59	
	Sucheniova	2	6:01	7:01	8:01	9:01	10:01	11:01	12:01	13:01	14:01	15:01	16:01	17:01	18:01	19:01	20:01	21:01	
	U Kapličky	1	6:02	7:02	8:02	9:02	10:02	11:02	12:02	13:02	14:02	15:02	16:02	17:02	18:02	19:02	20:02	21:02	
	Revoluční	2	6:04	7:04	8:04	9:04	10:04	11:04	12:04	13:04	14:04	15:04	16:04	17:04	18:04	19:04	20:04	21:04	
	Koželužská	1	6:05	7:05	8:05	9:05	10:05	11:05	12:05	13:05	14:05	15:05	16:05	17:05	18:05	19:05	20:05	21:05	
	Za Rybníkem	2	6:07	7:07	8:07	9:07	10:07	11:07	12:07	13:07	14:07	15:07	16:07	17:07	18:07	19:07	20:07	21:07	

12.5.2 Linka č. 4

Linka č. 4 prošla podobnými úpravami jako linka č. 1. Odjezd z výchozí zastávky byl posunut o 16 minut, stejně tak obsluha zastávky Železniční stanice, která je v čase XX:22. Ve směru Hotel Atom byla posunuta časová poloha na Karlově náměstí taktéž o 16 minut. Mezi některými zastávkami byla taktéž upravena jízdní doba, aby lépe odpovídala reálnému provozu.

V opačném směru, tj. Hotel Atom – Poliklinika Vltavínská, došlo k posunu o 18 minut zpět z výchozí zastávky Hotel Atom, na Karlově náměstí pak činí rozdíl 16 minut, neboť byla zkrácena jízdní doba mezi zastávkami. Časová poloha spojů na Karlově náměstí je v XX:56,

v přestupním uzlu Železniční stanice pak v XX:02. V tomto směru program Xpress-IVE stanovil původní časovou polohu na XX:03, avšak z důvodu kratší jízdní doby oproti opačnému směru byla hodnota upravena na XX:02. Jelikož bylo nastaveno, že počet cestujících u tohoto příjíždějícího autobusového spoje je 40, jejich časová ztráta při rozdílu 1 minuty oproti modelu činí navíc 40 minut. Celková časová ztráta všech přestupujících cestujících tak činí 939 minut. Návrh jízdních řádů je k vidění v tabulce 19 a 20.

Tabulka 19: Návrh jízdního řádu linky č. 4 ve směru Hotel Atom

4	Název zastávky	J. d.	směr Karlovo náměstí																		
	Poliklinika Vltavinská	0	5:14	6:14	7:14	8:14	9:14	10:14	11:14	12:14	13:14	14:14	15:14	16:14	17:14	18:14	19:14	20:14	21:14	22:14	
	Družstevní	1	5:15	6:15	7:15	8:15	9:15	10:15	11:15	12:15	13:15	14:15	15:15	16:15	17:15	18:15	19:15	20:15	21:15	22:15	
	Kubišova	2	5:17	6:17	7:17	8:17	9:17	10:17	11:17	12:17	13:17	14:17	15:17	16:17	17:17	18:17	19:17	20:17	21:17	22:17	
	U Kotelny	2	5:19	6:19	7:19	8:19	9:19	10:19	11:19	12:19	13:19	14:19	15:19	16:19	17:19	18:19	19:19	20:19	21:19	22:19	
	U Lípy	1	5:20	6:20	7:20	8:20	9:20	10:20	11:20	12:20	13:20	14:20	15:20	16:20	17:20	18:20	19:20	20:20	21:20	22:20	
	Hrotovická	1	5:21	6:21	7:21	8:21	9:21	10:21	11:21	12:21	13:21	14:21	15:21	16:21	17:21	18:21	19:21	20:21	21:21	22:21	
	Železniční stanice	1	5:22	6:22	7:22	8:22	9:22	10:22	11:22	12:22	13:22	14:22	15:22	16:22	17:22	18:22	19:22	20:22	21:22	22:22	
	Nemocnice	1	5:23	6:23	7:23	8:23	9:23	10:23	11:23	12:23	13:23	14:23	15:23	16:23	17:23	18:23	19:23	20:23	21:23	22:23	
	Bráfova	1	5:24	6:24	7:24	8:24	9:24	10:24	11:24	12:24	13:24	14:24	15:24	16:24	17:24	18:24	19:24	20:24	21:24	22:24	
	Komenského náměstí	2	5:26	6:26	7:26	8:26	9:26	10:26	11:26	12:26	13:26	14:26	15:26	16:26	17:26	18:26	19:26	20:26	21:26	22:26	
	Karlovo náměstí	3	5:29	6:29	7:29	8:29	9:29	10:29	11:29	12:29	13:29	14:29	15:29	16:29	17:29	18:29	19:29	20:29	21:29	22:29	
	Cyrlometodějská	2	5:31	6:31	7:31	8:31	9:31	10:31	11:31	12:31	13:31	14:31	15:31	16:31	17:31	18:31	19:31	20:31	21:31	22:31	
	Samešova	2	5:33	6:33	7:33	8:33	9:33	10:33	11:33	12:33	13:33	14:33	15:33	16:33	17:33	18:33	19:33	20:33	21:33	22:33	
	ZŠ Na Kopcích	1	5:34	6:34	7:34	8:34	9:34	10:34	11:34	12:34	13:34	14:34	15:34	16:34	17:34	18:34	19:34	20:34	21:34	22:34	
	Modřínová	2	5:36	6:36	7:36	8:36	9:36	10:36	11:36	12:36	13:36	14:36	15:36	16:36	17:36	18:36	19:36	20:36	21:36	22:36	
	A. Kratochvíla	2	5:38	6:38	7:38	8:38	9:38	10:38	11:38	12:38	13:38	14:38	15:38	16:38	17:38	18:38	19:38	20:38	21:38	22:38	
	Benešova	1	5:39	6:39	7:39	8:39	9:39	10:39	11:39	12:39	13:39	14:39	15:39	16:39	17:39	18:39	19:39	20:39	21:39	22:39	
	Mičova	2	5:41	6:41	7:41	8:41	9:41	10:41	11:41	12:41	13:41	14:41	15:41	16:41	17:41	18:41	19:41	20:41	21:41	22:41	
	Gen. Svobody	1	5:42	6:42	7:42	8:42	9:42	10:42	11:42	12:42	13:42	14:42	15:42	16:42	17:42	18:42	19:42	20:42	21:42	22:42	
	ZŠ Kpt. Jaroše	1	5:43	6:43	7:43	8:43	9:43	10:43	11:43	12:43	13:43	14:43	15:43	16:43	17:43	18:43	19:43	20:43	21:43	22:43	
	Poliklinika Hájek	1	5:44	6:44	7:44	8:44	9:44	10:44	11:44	12:44	13:44	14:44	15:44	16:44	17:44	18:44	19:44	20:44	21:44	22:44	
	Hotel Atom	1	5:45	6:45	7:45	8:45	9:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45	18:45	19:45	20:45	21:45	22:45	

Tabulka 20: Návrh jízdního řádu linky č. 4 ve směru Poliklinika Vltavinská

4	Název zastávky	J. d.	směr Karlovo náměstí																		
	Hotel Atom	0	5:46	6:46	7:46	8:46	9:46	10:46	11:46	12:46	13:46	14:46	15:46	16:46	17:46	18:46	19:46	20:46	21:46	22:46	
	Modřínová	1	5:47	6:47	7:47	8:47	9:47	10:47	11:47	12:47	13:47	14:47	15:47	16:47	17:47	18:47	19:47	20:47	21:47	22:47	
	ZŠ Na Kopcích	1	5:48	6:48	7:48	8:48	9:48	10:48	11:48	12:48	13:48	14:48	15:48	16:48	17:48	18:48	19:48	20:48	21:48	22:48	
	Samešova	2	5:50	6:50	7:50	8:50	9:50	10:50	11:50	12:50	13:50	14:50	15:50	16:50	17:50	18:50	19:50	20:50	21:50	22:50	
	Cyrlometodějská	3	5:53	6:53	7:53	8:53	9:53	10:53	11:53	12:53	13:53	14:53	15:53	16:53	17:53	18:53	19:53	20:53	21:53	22:53	
	Karlovo náměstí	3	5:56	6:56	7:56	8:56	9:56	10:56	11:56	12:56	13:56	14:56	15:56	16:56	17:56	18:56	19:56	20:56	21:56	22:56	
	Komenského náměstí	3	5:59	6:59	7:59	8:59	9:59	10:59	11:59	12:59	13:59	14:59	15:59	16:59	17:59	18:59	19:59	20:59	21:59	22:59	
	Železniční stanice	3	6:02	7:02	8:02	9:02	10:02	11:02	12:02	13:02	14:02	15:02	16:02	17:02	18:02	19:02	20:02	21:02	22:02	23:02	
	Nemocnice	1	6:03	7:03	8:03	9:03	10:03	11:03	12:03	13:03	14:03	15:03	16:03	17:03	18:03	19:03	20:03	21:03	22:03	23:03	
	Hrotovická	1	6:04	7:04	8:04	9:04	10:04	11:04	12:04	13:04	14:04	15:04	16:04	17:04	18:04	19:04	20:04	21:04	22:04	23:04	
	U Lípy	1	6:05	7:05	8:05	9:05	10:05	11:05	12:05	13:05	14:05	15:05	16:05	17:05	18:05	19:05	20:05	21:05	22:05	23:05	
	U Kotelny	1	6:06	7:06	8:06	9:06	10:06	11:06	12:06	13:06	14:06	15:06	16:06	17:06	18:06	19:06	20:06	21:06	22:06	23:06	
	Kubišova	2	6:08	7:08	8:08	9:08	10:08	11:08	12:08	13:08	14:08	15:08	16:08	17:08	18:08	19:08	20:08	21:08	22:08	23:08	
	Družstevní	1	6:09	7:09	8:09	9:09	10:09	11:09	12:09	13:09	14:09	15:09	16:09	17:09	18:09	19:09	20:09	21:09	22:09	23:09	
	Poliklinika Vltavinská	1	6:10	7:10	8:10	9:10	10:10	11:10	12:10	13:10	14:10	15:10	16:10	17:10	18:10	19:10	20:10	21:10	22:10	23:10	

12.5.3 Linka č. 5

Navržený model, který řeší přestupní vazby mezi vlaky a autobusy v Třebíči, neobsahuje linku č. 5. Ta je však přímo závislá na časových polohách dvou zbývajících páteřních linek, tj. linkách č. 1 a 4. Důvodem je požadavek na zachování přestupních vazeb mezi těmito linkami v přestupním uzlu.

Časová poloha odjezdů z výchozí zastávky Za Rybníkem i z přestupního uzlu Karlovo náměstí je tedy posunuta o 19 minut zpět oproti současnému stavu. U opačného směru došlo k posunu o 16 minut zpět ze zastávky U Hřbitova, stejně jako na Karlově náměstí. Jízdní řády jsou zobrazeny v tabulkách 21 a 22. V rámci úprav jízdních řádů byly také změněny některé jízdní doby mezi zastávkami, aby lépe reflektovaly reálný provoz, a to v obou směrech.

Tabulka 21: Návrh jízdního řádu linky č. 5 ve směru U Hřbitova

5	Název zastávky	j. d.	směr U Hřbitova																		
	Za Rybníkem	0	5:44	6:44	7:44	8:44	9:44	10:44	11:44	12:44	13:44	14:44	15:44	16:44	17:44	18:44	19:44	20:44	21:44	22:44	
	Koželužská	2	5:46	6:46	7:46	8:46	9:46	10:46	11:46	12:46	13:46	14:46	15:46	16:46	17:46	18:46	19:46	20:46	21:46	22:46	
	Revoluční	1	5:47	6:47	7:47	8:47	9:47	10:47	11:47	12:47	13:47	14:47	15:47	16:47	17:47	18:47	19:47	20:47	21:47	22:47	
	U Kapličky	2	5:49	6:49	7:49	8:49	9:49	10:49	11:49	12:49	13:49	14:49	15:49	16:49	17:49	18:49	19:49	20:49	21:49	22:49	
	Sucheniova	2	5:51	6:51	7:51	8:51	9:51	10:51	11:51	12:51	13:51	14:51	15:51	16:51	17:51	18:51	19:51	20:51	21:51	22:51	
	Komenského náměstí	2	5:53	6:53	7:53	8:53	9:53	10:53	11:53	12:53	13:53	14:53	15:53	16:53	17:53	18:53	19:53	20:53	21:53	22:53	
	Karlovo náměstí	3	5:56	6:56	7:56	8:56	9:56	10:56	11:56	12:56	13:56	14:56	15:56	16:56	17:56	18:56	19:56	20:56	21:56	22:56	
	Cyrlometodějská	2	5:58	6:58	7:58	8:58	9:58	10:58	11:58	12:58	13:58	14:58	15:58	16:58	17:58	18:58	19:58	20:58	21:58	22:58	
	Dřevařské závody	2	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	
	A. Kratochvíla	2	6:02	7:02	8:02	9:02	10:02	11:02	12:02	13:02	14:02	15:02	16:02	17:02	18:02	19:02	20:02	21:02	22:02	23:02	
	Benešova	1	6:03	7:03	8:03	9:03	10:03	11:03	12:03	13:03	14:03	15:03	16:03	17:03	18:03	19:03	20:03	21:03	22:03	23:03	
	Mičova	2	6:05	7:05	8:05	9:05	10:05	11:05	12:05	13:05	14:05	15:05	16:05	17:05	18:05	19:05	20:05	21:05	22:05	23:05	
	Gen. Svobody	1	6:06	7:06	8:06	9:06	10:06	11:06	12:06	13:06	14:06	15:06	16:06	17:06	18:06	19:06	20:06	21:06	22:06	23:06	
	M. Majerové	1	6:07	7:07	8:07	9:07	10:07	11:07	12:07	13:07	14:07	15:07	16:07	17:07	18:07	19:07	20:07	21:07	22:07	23:07	
	Na Holečku	1	6:08	7:08	8:08	9:08	10:08	11:08	12:08	13:08	14:08	15:08	16:08	17:08	18:08	19:08	20:08	21:08	22:08	23:08	
	U Hřbitova	2				9:10	10:10	11:10	12:10	13:10	14:10	15:10	16:10	17:10	18:10	19:10					

Tabulka 22: Návrh jízdního řádu linky č. 5 ve směru Za Rybníkem

5	Název zastávky	j. d.	směr Za Rybníkem																		
	U Hřbitova	0				9:14	10:14	11:14	12:14	13:14	14:14	15:14	16:14	17:14	18:14	19:14					
	Na Holečku	1	5:15	6:15	7:15	8:15	9:15	10:15	11:15	12:15	13:15	14:15	15:15	16:15	17:15	18:15	19:15	20:15	21:15	22:15	
	M. Majerové	2	5:17	6:17	7:17	8:17	9:17	10:17	11:17	12:17	13:17	14:17	15:17	16:17	17:17	18:17	19:17	20:17	21:17	22:17	
	Gen. Svobody	1	5:18	6:18	7:18	8:18	9:18	10:18	11:18	12:18	13:18	14:18	15:18	16:18	17:18	18:18	19:18	20:18	21:18	22:18	
	Mičova	1	5:19	6:19	7:19	8:19	9:19	10:19	11:19	12:19	13:19	14:19	15:19	16:19	17:19	18:19	19:19	20:19	21:19	22:19	
	Benešova	2	5:21	6:21	7:21	8:21	9:21	10:21	11:21	12:21	13:21	14:21	15:21	16:21	17:21	18:21	19:21	20:21	21:21	22:21	
	A. Kratochvíla	1	5:22	6:22	7:22	8:22	9:22	10:22	11:22	12:22	13:22	14:22	15:22	16:22	17:22	18:22	19:22	20:22	21:22	22:22	
	Dřevařské závody	2	5:24	6:24	7:24	8:24	9:24	10:24	11:24	12:24	13:24	14:24	15:24	16:24	17:24	18:24	19:24	20:24	21:24	22:24	
	Cyrlometodějská	2	5:26	6:26	7:26	8:26	9:26	10:26	11:26	12:26	13:26	14:26	15:26	16:26	17:26	18:26	19:26	20:26	21:26	22:26	
	Karlovo náměstí	3	5:29	6:29	7:29	8:29	9:29	10:29	11:29	12:29	13:29	14:29	15:29	16:29	17:29	18:29	19:29	20:29	21:29	22:29	
	Komenského náměstí	3	5:32	6:32	7:32	8:32	9:32	10:32	11:32	12:32	13:32	14:32	15:32	16:32	17:32	18:32	19:32	20:32	21:32	22:32	
	Sucheniova	1	5:33	6:33	7:33	8:33	9:33	10:33	11:33	12:33	13:33	14:33	15:33	16:33	17:33	18:33	19:33	20:33	21:33	22:33	
	U Kapličky	1	5:34	6:34	7:34	8:34	9:34	10:34	11:34	12:34	13:34	14:34	15:34	16:34	17:34	18:34	19:34	20:34	21:34	22:34	
	Revoluční	2	5:36	6:36	7:36	8:36	9:36	10:36	11:36	12:36	13:36	14:36	15:36	16:36	17:36	18:36	19:36	20:36	21:36	22:36	
	Koželužská	1	5:37	6:37	7:37	8:37	9:37	10:37	11:37	12:37	13:37	14:37	15:37	16:37	17:37	18:37	19:37	20:37	21:37	22:37	
	Za Rybníkem	2	5:39	6:39	7:39	8:39	9:39	10:39	11:39	12:39	13:39	14:39	15:39	16:39	17:39	18:39	19:39	20:39	21:39	22:39	

12.5.4 Linka č. 10

Pro linku č. 10 taktéž platí závislost na prvních dvou linkách z důvodu přestupních vazeb na Karlově náměstí. Na rozdíl od páteřních linek však nejedí pravidelně v prokladu s jinou linkou, proto je možné zvážit, v jakém směru bude danou časovou polohu v centrálním přestupním uzlem na Karlově náměstí linka č. 10 projíždět. Nabízí se časy XX:29 a XX:56.

V případě, že v časech XX:29 bude linka č. 10 odjíždět směrem na konečnou U Hřbitova, zastávky Týn/Na Holečku a U Hřbitova budou v rozmezí několika minut obsluhovat jak linka č. 10, tak linka č. 5. Následně však zde vznikne hodinový interval bez obsluhy této oblasti.

Pokud bude linka č. 10 odjíždět v časech XX:56, obsluha zastávek U Hřbitova a Týn/Na Holečku bude společně s linkou č. 5 zajištěna v intervalu přibližně 30 minut. V této variantě by však nastal souběh naopak v oblasti čtvrti Horka-Domky, kdy by místo obsluhy zastávky Nemocnice v třicetiminutového intervalu došlo k jeho navýšení na přibližně jednu hodinu. Ačkoliv linka č. 1 zastavuje u železniční stanice, docházková vzdálenost do nemocnice, která činí přibližně 350 metrů, není vzhledem k obsluze zdravotnického zařízení ideální.

Pro oblast čtvrtí Podklášteří a Týn lze brát v potaz linku č. 11, která má zčásti podobnou trasu jako linka č. 10 a dokáže zajistit snížení hodinového intervalu na polovinu, alespoň v určitých

časových intervalech víkendových dní. Do budoucna by bylo vhodné uvažovat o zavedení dalších spojů, především v odpoledních hodinách.

Na základě výše zmíněných argumentů bylo rozhodnuto, že souběh linek bude ponechán v oblasti Týna, neboť je zde možnost přidání dalších spojů jiné linky, čímž by došlo ke zkvalitnění obsluhy této lokality.

V návrhu jízdních řádů se taktéž počítá se zavedením linky č. 10 v obou směrech do zastávky Železniční stanice namísto současné obsluhy paralelní zastávky Bráfova, která je cca 100 m mimo prostor přestupního terminálu. Tím navíc dojde ke zlepšení spojení oblasti Podklášteří a Týna se železniční stanicí. Přestože s touto linkou navržený model nepracuje, lze podle časové polohy spojů páteřních linek č. 1 a č. 4 stanovit časy odjezdů a příjezdů do prostoru zastávky Železniční stanice. Důvodem je shodná jízdní doba v úseku mezi zastávkami Železniční stanice a Karlovo náměstí. V případě směru do centra města se jedná o 7 minut, v opačném směru o 4 minuty. Zároveň zůstane zachován požadavek na přestupní vazby s páteřními linkami v zastávce Karlovo náměstí. Jízdní řády linky č. 10 jsou v tabulkách 23 a 24.

Tabulka 23: Návrh jízdního řádu linky č. 10 ve směru Poliklinika Vltavinská

10	Název zastávky	j. d.	směr Poliklinika Vltavinská																		
	U Hřbitova	0 0	5:16	6:16	7:16	8:16	9:16	10:16	11:16	12:16	13:16	14:16	15:16	16:16	17:16	18:16	19:16	20:16	21:16	22:16	
	Lavického	1 1	5:17	6:17	7:17	8:17	9:17	10:17	11:17	12:17	13:17	14:17	15:17	16:17	17:17	18:17	19:17	20:17	21:17	22:17	
	Palackého	2	5:19	7:19	9:19	11:19	13:19	15:19	17:19	19:19											
	Nová	2 2	5:21	6:19	7:21	8:19	9:21	10:19	11:21	12:19	13:21	14:19	15:21	16:19	17:21	18:19	19:21	20:19	21:21	22:19	
	Koutkova	2	6:21	8:21	10:21	12:21	14:21	16:21	18:21	20:21											
	Na Příkopcech	2 2	5:23	6:23	7:23	8:23	9:23	10:23	11:23	12:23	13:23	14:23	15:23	16:23	17:23	18:23	19:23	20:23	21:23	22:23	
	Račerovická	1 1	5:24	6:24	7:24	8:24	9:24	10:24	11:24	12:24	13:24	14:24	15:24	16:24	17:24	18:24	19:24	20:24	21:24	22:24	
	Zámek	1 1	5:25	6:25	7:25	8:25	9:25	10:25	11:25	12:25	13:25	14:25	15:25	16:25	17:25	18:25	19:25	20:25	21:25	22:25	
	Žerotínovo náměstí	1 1	5:26	6:26	7:26	8:26	9:26	10:26	11:26	12:26	13:26	14:26	15:26	16:26	17:26	18:26	19:26	20:26	21:26	22:26	
	Karlovo náměstí	3 3	5:29	6:29	7:29	8:29	9:29	10:29	11:29	12:29	13:29	14:29	15:29	16:29	17:29	18:29	19:29	20:29	21:29	22:29	
	Železniční stanice	4 4	5:33	6:33	7:33	8:33	9:33	10:33	11:33	12:33	13:33	14:33	15:33	16:33	17:33	18:33					
	Nemocnice	1 1	5:34	6:34	7:34	8:34	9:34	10:34	11:34	12:34	13:34	14:34	15:34	16:34	17:34	18:34					
	Hrotovická	1 1	5:35	6:35	7:35	8:35	9:35	10:35	11:35	12:35	13:35	14:35	15:35	16:35	17:35	18:35					
	Kosmáková	1 1	5:36	6:36	7:36	8:36	9:36	10:36	11:36	12:36	13:36	14:36	15:36	16:36	17:36	18:36					
	Březinova	1 1	5:37	6:37	7:37	8:37	9:37	10:37	11:37	12:37	13:37	14:37	15:37	16:37	17:37	18:37					
	Křížkovského	1 1	5:38	6:38	7:38	8:38	9:38	10:38	11:38	12:38	13:38	14:38	15:38	16:38	17:38	18:38					
	Jiráskova	1 1	5:39	6:39	7:39	8:39	9:39	10:39	11:39	12:39	13:39	14:39	15:39	16:39	17:39	18:39					
	Václavské náměstí	1 1	5:40	6:40	7:40	8:40	9:40	10:40	11:40	12:40	13:40	14:40	15:40	16:40	17:40	18:40					
	Poliklinika Vltavinská	1 1	5:41	6:41	7:41	8:41	9:41	10:41	11:41	12:41	13:41	14:41	15:41	16:41	17:41	18:41					

Tabulka 24: Návrh jízdního řádu linky č. 10 ve směru U Hřbitova

10	Název zastávky	j. d.	směr U Hřbitova																		
	Poliklinika Vltavinská	0 0	5:43	6:43	7:43	8:43	9:43	10:43	11:43	12:43	13:43	14:43	15:43	16:43	17:43	18:43					
	Václavské náměstí	1 1	5:44	6:44	7:44	8:44	9:44	10:44	11:44	12:44	13:44	14:44	15:44	16:44	17:44	18:44					
	Jiráskova	1 1	5:45	6:45	7:45	8:45	9:45	10:45	11:45	12:45	13:45	14:45	15:45	16:45	17:45	18:45					
	Křížkovského	1 1	5:46	6:46	7:46	8:46	9:46	10:46	11:46	12:46	13:46	14:46	15:46	16:46	17:46	18:46					
	Březinova	1 1	5:47	6:47	7:47	8:47	9:47	10:47	11:47	12:47	13:47	14:47	15:47	16:47	17:47	18:47					
	Kosmáková	1 1	5:48	6:48	7:48	8:48	9:48	10:48	11:48	12:48	13:48	14:48	15:48	16:48	17:48	18:48					
	Hrotovická	1 1	5:49	6:49	7:49	8:49	9:49	10:49	11:49	12:49	13:49	14:49	15:49	16:49	17:49	18:49					
	Železniční stanice	1 1	5:50	6:50	7:50	8:50	9:50	10:50	11:50	12:50	13:50	14:50	15:50	16:50	17:50	18:50					
	Nemocnice	1 1	5:51	6:51	7:51	8:51	9:51	10:51	11:51	12:51	13:51	14:51	15:51	16:51	17:51	18:51					
	Bráfova	1 1	5:52	6:52	7:52	8:52	9:52	10:52	11:52	12:52	13:52	14:52	15:52	16:52	17:52	18:52					
	Karlovo náměstí	4 4	5:56	6:56	7:56	8:56	9:56	10:56	11:56	12:56	13:56	14:56	15:56	16:56	17:56	18:56	19:56	20:56	21:56	22:56	
	Žerotínovo náměstí	3 3	5:59	6:59	7:59	8:59	9:59	10:59	11:59	12:59	13:59	14:59	15:59	16:59	17:59	18:59	19:59	20:59	21:59	22:59	
	Zámek	1 1	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	
	Račerovická	1 1	6:01	7:01	8:01	9:01	10:01	11:01	12:01	13:01	14:01	15:01	16:01	17:01	18:01	19:01	20:01	21:01	22:01	23:01	
	Na Příkopcech	1 1	6:02	7:02	8:02	9:02	10:02	11:02	12:02	13:02	14:02	15:02	16:02	17:02	18:02	19:02	20:02	21:02	22:02	23:02	
	Koutkova	2	7:04	9:04	11:04	13:04	15:04	17:04	19:04	21:04	23:04										
	Nová	2 2	6:04	7:06	8:04	9:06	10:04	11:06	12:04	13:06	14:04	15:06	16:04	17:06	18:04	19:06	20:04	21:06	22:04	23:06	
	Palackého	2	6:04	8:06	10:06	12:06	14:06	16:06	18:06	20:06											
	Lavického	2 2	6:06	7:08	8:08	9:08	10:08	11:08	12:08	13:08	14:08	15:08	16:08	17:08	18:08	19:08	20:08	21:08	22:08	23:08	
	U Hřbitova	1 1	6:07	7:09	8:09	9:09	10:09	11:09	12:09	13:09	14:09	15:09	16:09	17:09	18:09	19:09	20:09	21:09	22:09	23:09	

12.5.5 Linka č. 11

U doplňkové linky č. 11, která je jedinou okružní linkou systému třebečské MHD, došlo k posunutí odjezdů spojů z Karlova náměstí o 42 minut dopředu. V městských částech Podklášteří a Týn v dopoledních hodinách zlepšuje obslužnost, když společně s linkou č. 10 snižuje interval mezi spoji z šedesáti minut na třicet. Z Karlova náměstí odjíždí v XX:30 a přijíždí v XX:55. Jelikož je linka č. 11 vzhledem k přestupním vazbám přímo závislá pouze na rozjezdech z Karlova náměstí, bylo by možné odjezd z přestupního uzlu umístit do druhé časové polohy, tedy do času XX:56. Je však výhodné ji umístit do opačné polohy oproti lince č. 10. Aby nedocházelo ke zbytečným souběhům, byla zvolena hodnota XX:30. Situace se liší v odpoledních hodinách, kdy již linka č. 11 není v provozu a tím je obsluha oblastí Podklášteří a Týn zhoršena. I na této lince byly mírně upraveny jízdní doby. Návrh jízdního řádu je zapsán do tabulky 25.

Tabulka 25: Návrh jízdního řádu linky č. 11

11	Název zastávky	j. d.	směr ZŠ Na Kopcích			
	Karlovo náměstí		0	8:30	9:30	10:30
	Cyrlometodějská	3	8:33	9:33	10:33	11:33
	Kaufland	1	8:34	9:34	10:34	11:34
	Mototechna	1	8:35	9:35	10:35	11:35
	ZŠ Na Kopcích	3	8:38	9:38	10:38	11:38
	Modřínová	1	8:39	9:39	10:39	11:39
	Hotel Atom	1	8:40	9:40	10:40	11:40
	Poliklinika Hájek	1	8:41	9:41	10:41	11:41
	M. Majerové	1	8:42	9:42	10:42	11:42
	Na Holečku	2	8:44	9:44	10:44	11:44
	U Hřbitova	1	8:45	9:45	10:45	11:45
	Lavického	1	8:46	9:46	10:46	11:46
	Týn, Jednota	1	8:47	9:47	10:47	11:47
	Palackého	2	8:49	9:49	10:49	11:49
	Sýpky	1	8:50	9:50	10:50	11:50
	Zámek	1	8:51	9:51	10:51	11:51
	Žerotínovo náměstí	1	8:52	9:52	10:52	11:52
	Karlovo náměstí	3	8:55	9:55	10:55	11:55

12.5.6 Linka č. 12

U linky č. 12 došlo taktéž k menším úpravám jízdních dob mezi zastávkami. Zároveň byly výrazněji upraveny časové polohy některých spojů. Nově je navržen odjezd z Karlova náměstí ve vybraných hodinách v XX:58 a příjezd zpět v XX:27. Oproti páteřním linkám jsou odjezdy a příjezdy posunuty o dvě minuty. Důvodem je snaha zamezit ujetí přípoje cestujícím využívající tuto doplňkovou linku, kde je v provozu jen několik spojů denně. I u této linky by bylo možné zvolit opačnou časovou polohu pro příjezd do centrálního přestupního uzlu a odjezd z něj. Došlo by však v úseku mezi zastávkami Karlovo náměstí – Mototechna k souběhu s linkou č. 11 v dopoledních hodinách, což je nežádoucí. Stanovená časová poloha je proto vhodnější. Jízdní řády jsou zapsány do tabulek 26 a 27.

Tabulka 26: Návrh jízdního řádu linky č. 12 ve směru Ptáčova

12	Název zastávky	j. d.		směr Ptáčov				
	Karlovo náměstí	0	7:58	9:58	13:58	17:58	21:58	
Cyrilometodějská	3	8:01	10:01	14:01	18:01	22:01		
Kaufland	1	8:02	10:02	14:02	18:02	22:02		
Mototechna	1	8:03	10:03	14:03	18:03	22:03		
Colas	1	8:04	10:04	14:04	18:04	22:04		
Palečkův mlýn	1	8:05	10:05	14:05	18:05	22:05		
Ptáčov	3	8:08	10:08	14:08	18:08	22:08		

Tabulka 27: Návrh jízdního řádu linky č. 12 ve směru Karlovo náměstí

12	Název zastávky	j. d.		směr Karlovo náměstí				
	Ptáčov	0	8:17	10:17	14:17	18:17	22:17	
Palečkův mlýn	3	8:20	10:20	14:20	18:20	22:20		
Colas	1	8:21	10:21	14:21	18:21	22:21		
Mototechna	1	8:22	10:22	14:22	18:22	22:22		
Kaufland	1	8:23	10:23	14:23	18:23	22:23		
Cyrilometodějská	1	8:24	10:24	14:24	18:24	22:24		
Karlovo náměstí	3	8:27	10:27	14:27	18:27	22:27		

12.5.7 Linka č. 14

V případě linky č. 14 došlo taktéž k posunu několika spojů tak, aby se sjížděla s páteřními linkami na Karlově náměstí v časových polohách XX:29 nebo XX:56 a mohlo docházet ke vzájemným přestupům. To je k vidění v tabulkách 28 a 29.

Tabulka 28: Návrh jízdního řádu linky č. 14 ve směru Poliklinika Vltavinská

14	Název zastávky	j. d.		směr Za Rybníkem					
	Za Rybníkem	0	0	5:17	10:39	14:39	18:17	18:39	21:17
Koželužská	2	2	5:19	10:41	14:41	18:19	18:41	21:19	
Řípov, rozcestí	2		10:43	14:43		18:43			
Poušov	1		10:44	14:44		18:44			
Řípov, rozcestí	2		10:46	14:46		18:46			
Revoluční	2	1	5:20	10:48	14:48	18:20	18:48	21:20	
U Kapličky	1	2	5:22	10:49	14:49	18:22	18:49	21:22	
Sucheniova	2	2	5:24	10:51	14:51	18:24	18:51	21:24	
Komenského náměstí	2	2	5:26	10:53	14:53	18:26	18:53	21:26	
Karlovo náměstí	3	3	5:29	10:56	14:56	17:58	18:29	18:56	21:29
Železniční stanice	4	4	5:33	11:00	15:00	18:02	18:33	19:00	21:33
Nemocnice	1	1	5:34	11:01	15:01	18:03	18:34	19:01	21:34
Hrotovická	1	1	5:35	11:02	15:02	18:04	18:35	19:02	21:35
Kosmákova	1	1	5:36	11:03	15:03	18:05	18:36	19:03	21:36
Březinova	1	1	5:37	11:04	15:04	18:06	18:37	19:04	21:37
Znojemská	2		11:06	15:06	18:08				
STOP-SHOP	2		11:08	15:08	18:10				
Demlova, školka	3	2	5:39			18:39	19:06	21:39	
Demlova	1	1	5:40			18:40	19:07	21:40	
Poliklinika Vltavinská	2	2	5:41			18:41	19:09	21:41	

Tabulka 29: Návrh jízdního řádu linky č. 14 ve směru Za Rybníkem

14	Název zastávky	j. d.		směr Za Rybníkem					
	Poliklinika Vltavinská	0	0						
Demlova	2	2							21:45
Znojemská	1								
STOP-SHOP	2		9:43	11:11	13:43	15:11	17:43		
Znojemská	3	1	9:46	11:14	13:46	15:14	17:46		21:46
Březinova	1	1	9:47	11:15	13:47	15:15	17:47		21:47
Kosmákova	1	1	9:48	11:16	13:48	15:16	17:48		21:48
Hrotovická	1	1	9:49	11:17	13:49	15:17	17:49		21:49
Železniční stanice	1	1	9:50	11:18	13:50	15:18	17:50		21:50
Nemocnice	1	1	9:51	11:19	13:51	15:19	17:51		21:51
Bráfova	1	1	9:52	11:20	13:52	15:20	17:52		21:52
Karlovo náměstí	4	4	9:56	11:24	13:56	15:24	17:56		21:56
Komenského náměstí	3	3	9:59		13:59		17:59		21:59
Sucheniouva	2	2	10:01		14:01		17:01		22:01
U Kapličky	1	1	10:02		14:02		17:02		22:02
Revoluční	1	1	10:03		14:03		17:03		22:03
Říпов, rozcestí	2		10:05		14:05		17:05		
Poušov	1		10:06		14:06		17:06		
Říпов, rozcestí	2		10:08		14:08		17:08		
Koželužská	2	1	10:10		14:10		17:10		22:05
Za Rybníkem	2	2	10:12		14:12		17:12		22:07

12.5.8 Linka č. 31

Poslední linkou, která je v Třebíči provozována o víkendech a státních svátcích, je doplňková linka č. 31 obsluhující především městské části, které jsou mimo městskou zástavbu a nachází se v bližším okolí. Jsou to Sokolí, Račerovice a Budíkovice. Některé spoje obsluhují také blízké obce na základě spolupráce mezi nimi a městem. Konkrétně se jedná o obce Nová Ves a Přibyslavice.

Jelikož provoz linky č. 31 zajišťuje taktéž pouze několik spojů denně, je důležitá jejich koordinace s páteřními linkami v přestupním uzlu. Podobně jako u linky č. 12 nebo 14 jsou příjezdy a odjezdy posunuty o dvě minuty tak, aby se minimalizovala možnost ujetí přípoje. U této linky je ještě jedno omezení týkající se některých spojů, a to zajištění dopravní obslužnosti společností MANN+HUMMEL u Nové Vsi, která na jejich provoz přispívá. Časové polohy jsou proto přizpůsobeny směnnému provozu v této firmě. Návrh jízdních řádů je zobrazen v tabulkách 30, 31 a 32.

Tabulka 30: Návrh jízdního řádu linky č. 31 ve směru Přibyslavice

31	Název zastávky	j. d.		směr Přibyslavice	
		Karlovo náměstí	0	0	5:28
	Žerotínovo náměstí	3	3	5:31	17:31
	Zámek	1	1	5:32	17:32
	Račerovecká	1	1	5:33	17:33
	Sokolí	6			17:39
	Sokolí, rozcestí		3	5:36	
	Nová Ves	8	5	5:41	17:47
	Nová Ves, MANN+HUMMEL	2	2	5:43	17:49
	Přibyslavice, kolonie	1	1	5:44	17:50
	Přibyslavice	2	2	5:46	17:52

Tabulka 31: Návrh jízdního řádu linky č. 31 ve směru Týn

31	Název zastávky	j. d.		směr Týn	
		Karlovo náměstí	0	0	10:56
	Žerotínovo náměstí	3	3	10:59	16:32
	Zámek	1	1	11:01	16:34
	Račerovecká	1	1	11:02	16:35
	Sokolí	6			11:08
	Bažantnice	8	3	11:16	16:38
	Račerovice	2	2	11:18	16:40
	Račerovice, náves	1	1	11:19	16:41
	Račerovice	2	2	11:21	16:43
	Bažantnice	2	2	11:23	16:45
	Na Příkopech	3	3	11:26	16:48
	Nová	1	1	11:27	16:49
	Týn	2	2	11:29	16:51
	Dubina, hájenka	3	3	11:32	16:54
	Budíkovice, rozcestí	2	2	11:34	16:56
	Budíkovice	1	1	11:35	16:57
	Budíkovice, rozcestí	1	1	11:36	16:58
	Dubina, hájenka	2	2	11:38	17:00
	Týn	3	3	11:41	17:03

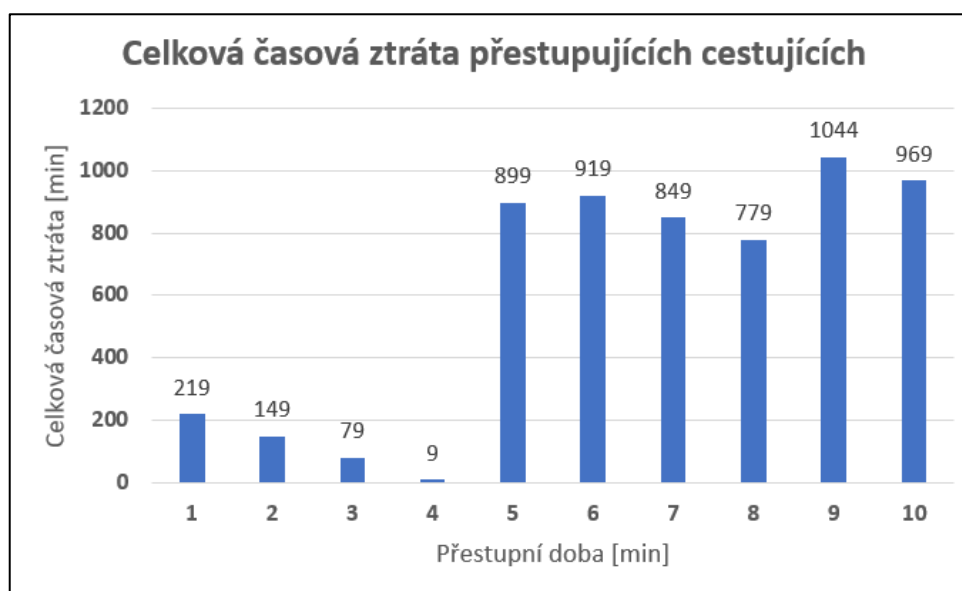
Tabulka 32: Návrh jízdního řádu linky č. 31 ve směru Karlovo náměstí

31	Název zastávky	j. d.		směr Karlovo nám.	
		Přibyslavice	0	0	6:09
	Přibyslavice, kolonie	1	1	6:10	18:04
	Nová Ves, MANN+HUMMEL	2	2	6:12	18:06
	Nová Ves	2	2	6:14	18:08
	Sokolí, rozcestí	5		6:19	
	Sokolí		8		18:16
	Račerovecká	3	6	6:22	18:22
	Zámek	1	1	6:23	18:23
	Žerotínovo náměstí	1	1	6:24	18:24
	Karlovo náměstí	3	3	6:27	18:27

12.6 Komentář k navržené koncepci

Nalezené optimální řešení pomocí programu Xpress-IVE vždy přímo souvisí se zadanými hodnotami. Na základě nich jsou potom aktivovány omezující podmínky, které definují množinu přípustných řešení. Díky tomu, že vytvořený model je univerzální, lze experimentálně měnit zadané hodnoty a hledat tak nejvhodnější řešení. V případě obrázku níže jde o snahu získat co nejnižší hodnotu účelové funkce, která zajišťuje celkovou časovou ztrátu přestupujících cestujících.

V rámci testování správného fungování navrženého matematického modelu byla upravena požadovaná přestupní doba mezi přijíždějícím vlakovým spojem a odjíždějícím autobusovým a naopak. Vývoj hodnoty účelové funkce je uveden v grafu na obrázku 37.



Obrázek 37: Graf zobrazující vývoj celkové časové ztráty přestupujících cestujících

Právě z důvodu možnosti měnit vstupní hodnoty je možné zjistit jejich vliv na optimální řešení. Tyto experimenty mohou být využity při hledání rezerv ve snaze dále zlepšovat přestupní vazby mezi jednotlivými módy dopravy. Podobně se dá postupovat také při změnách jízdních dob mezi určitými dvěma zastávkami. Typicky přestupním uzlem a konečnou zastávkou. Jako řešení se nabízí např. optimalizace jízdních dob mezi některými zastávkami nebo úprava trasování linek.

Další hodnoty, které výrazně ovlivňují zvolené řešení, je průměrný počet nastupujících cestujících do jednotlivých vlakových spojů a průměrný počet cestujících, kteří z nich vystupují. Pokud bychom vzali v úvahu stejnou sumu přestupujících cestujících, tj. 75, a přidělili bychom

ji primárně osobním vlakům, výsledné řešení se změní. Nově je hodnota účelové funkce nižší přibližně o 650 minut, což je snížení oproti zpracovanému řešení cca o $\frac{3}{4}$.

Při hledání optimálního řešení pomocí lineárního programování a matematického modelu bylo otestováno, že je pro výpočet vhodnější zadat zpravidla vyšší hodnoty, pokud existuje interval, ze kterého lze hodnoty vybrat. Tento příklad je možné taktéž demonstrovat na zpracovaném řešení, konkrétně na přestupní době mezi vlaky a autobusy v přestupním uzlu Železniční stanice. Standardně byla nastavena hodnota přestupní doby na pět minut. V jednom ze čtyř případů byla ve výsledném řešení vygenerována doba čekání 28 minut. Po vytvoření jízdních řádů bylo zjištěno, že ačkoliv model přiřadil danému spoji čekání 28 minut při přestupní době pět minut, přestup z vlaku na autobus by bylo možné stihnout už v předchozí časové poloze. Avšak pouze za předpokladu, že bude u tohoto konkrétního přestupu akceptována přestupní doba tři minuty. V tomto případě by byla výsledná celková časová ztráta všech přestupujících cestujících pouhé tři minuty, neboť ve zbývajících časových polohách je čekání přestupujících cestujících 0 minut, případně žádní cestující nepřestupují.

Nalezené optimální řešení je taktéž třeba kriticky zhodnotit a definovat kladné a negativní stránky, které by se projevíly při aplikaci návrhu do provozu.

12.6.1 Pozitiva navrženého řešení

Za jednoznačné a nejvýznamnější plus můžeme označit zlepšení přestupních vazeb. Tedy vzájemnou návaznost vlakových a autobusových spojů v přestupním uzlu Železniční stanice. Ačkoliv je prostor označován jako přestupní terminál, do roku 2020 tuto roli příliš neplnil. To by bylo realizací tohoto návrhu změněno.

Součástí zpracovaného konceptu je také úprava jízdních dob mezi jednotlivými zastávkami na téměř všech linkách třebečské městské hromadné dopravy. K tomuto kroku bylo přistoupeno s cílem přiblížit jízdní doby reálnému provozu, neboť mu některé dosud využívané hodnoty neodpovídaly.

Dalším důležitým pozitivem je ponechání centrálního přestupního uzlu na Karlově náměstí. Stále tak může docházet ke vzájemným přestupům všemi linkami. Díky tomuto opatření tak zůstanou páteřní linky v nejvytíženějších směrech MHD Třebíč ve vzájemném prokladu a interval obsluhy zůstane zachován na přibližné hodnotě 30 minut. Pokud by byly přestupní vazby zrušeny, interval by mohl být nevyrovnaný a mohly by nastat situace, kdy by prodleva mezi spoji byla během jedné hodiny např. 50 minut a 10 minut, což by bylo nežádoucí.

V návrhu je také navýšen počet spojů, které obsluhují přestupní terminál, a tedy zastávku Železniční stanice. Nejde však o zavádění nových spojů na jednotlivých linkách, jedná se

pouze o mírnou úpravu trasy. K tomuto bylo přikročeno na linkách č. 10 a č. 14, které dosud neobsluhovaly přímo zastávku Železniční stanici, ale zastavovali pouze na paralelní zastávce Bráfova, jež je umístěna o 100 m severněji. Návrhem na změnu trasy tak došlo ke zlepšení spojení železniční stanice se městskými částmi Borovina, Podklášteří a Týn.

12.6.2 Negativa navrženého řešení

Ačkoliv bylo výše uvedeno, že přestupní vazby zůstanou na Karlově náměstí zachovány, dojde k úpravě časových poloh příjezdů a odjezdů do centrálního přestupního uzlu. Ve srovnání se současným stavem se z pohledu cestujícího jedná o zhoršení situace, neboť nyní dochází k tzv. rozjezdům z Karlova náměstí v XX:15 a XX:45. Nově jsou navrženy časy v XX:29 a XX:56, a to z důvodu koordinace v dalším přestupním uzlu Železniční stanice. S tím také souvisí skutečnost, že v části tras, které jsou společné pro příslušné dvojice páteřních linek, již nebude pravidelný interval mezi spoji 30 minut, ale bude se o jednotky minut lišit.

Nevýhodou, která je však patrná již z úvodního popisu návrhu, je fakt, že v modelu nejsou brány v potaz přestupní vazby v relaci autobusy MHD → vlaky směrem na Jihlavu a zpět. A taktéž přestupy z vlaků na autobusy MHD směrem do městské části Horka-Domky. To však lze upravit přidáním dalších hodnot do modelu a navýšením počtu proměnných.

13 Porovnání současného a navrhovaného stavu

V roce 2019 došlo k výrazným změnám časových poloh spojů na železnici. Příjezdy a odjezdy autobusů MHD ze zastávky Železniční stanice však zůstaly nezměněny. Z toho důvodu vznikají nadbytečné časové ztráty přestupujících cestujících.

Aby bylo možné srovnat prvky kvality jednotlivých variant, je třeba definovat základní ukazatele. Ty se člení do dvou skupin – na kvantitativní a kvalitativní. Mezi kvantitativní ukazatele můžeme zařadit počet přepravených cestujících, vozidlové kilometry mezi osobové kilometry. Kvalitativní ukazatele reprezentují doba oběhu vozidel, průměrný denní běh souprav, využití počtu míst k sezení nebo rychlost, která může být technická, úseková nebo cestovní. [6]

Městskou hromadnou dopravu je třeba také hodnotit z pohledu cestujícího, tedy platícího zákazníka. Základními parametry jsou dostupnost, přístupnost, informace, čas, péče o zákazníka, komfort bezpečnost a ekologický dopad. [6]

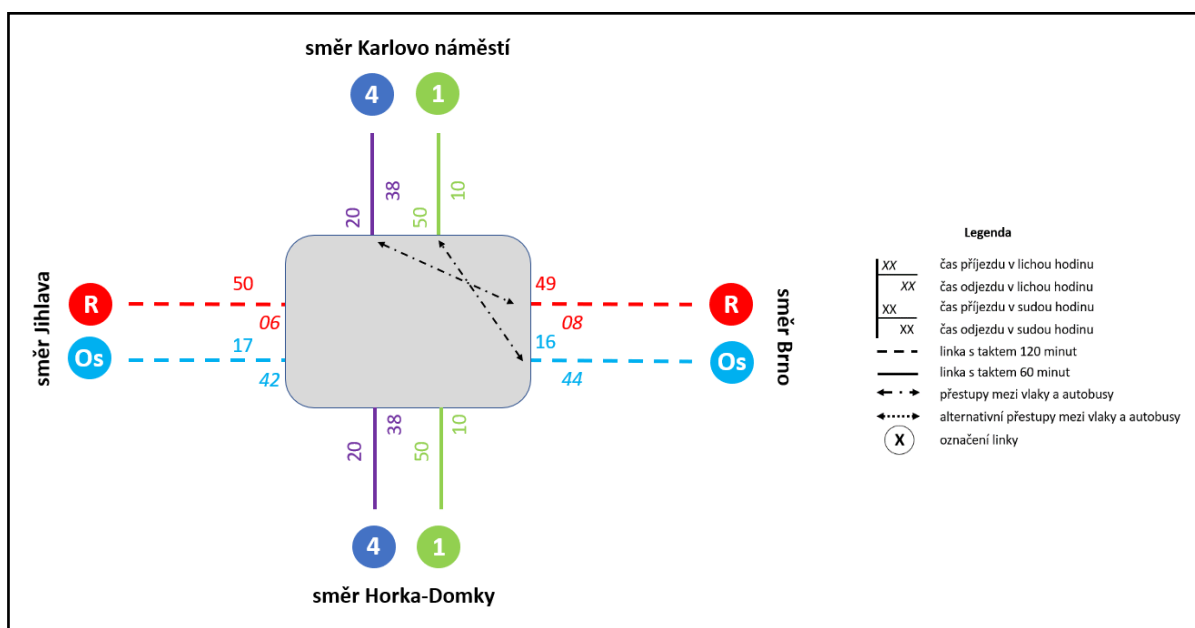
13.1 Časová ztráta přestupujících cestujících při platném jízdním řádu v roce 2020

Hodnotu celkové časové ztráty přestupujících cestujících nelze zjistit pomocí modelu v programu Xpress-IVE s jedinou výjimkou – řešení by již na počátku muselo být optimální, což bylo při prováděných experimentech vyvráceno. Proto byla zvolena experimentální metoda zjištění hodnoty účelové funkce. Postup byl následující.

Podobně jako při experimentech byly zvoleny čtyři hodnoty počtu přestupujících cestujících, které jsou shodné s údaji využitými v modelu v kapitole 8. Přiřazeny byly následujícím relacím.

- Vlak – autobus MHD v časové poloze 1
- Vlak – autobus MHD v časové poloze 2
- Autobus MHD – vlak v časové poloze 1
- Autobus MHD – vlak v časové poloze 2

Časy odjezdů a příjezdů odpovídají jízdnímu řádu z roku 2020 jak u autobusů MHD, tak u vlaků. Pro výpočet byla využita stejná doba určená na přestup mezi jednotlivými druhy dopravních prostředků jako v případě zpracovaného návrhu. Přestupní vazby jsou stanoveny na obrázku 38.



Obrázek 38: Síťová grafika v zastávce Železniční stanice dle platných jízdních řádů z roku 2020

Časová ztráta v jednotlivých relacích byla vypočítána jako součin doby čekání a počtu cestujících. Výsledná celková časová ztráta přestupujících cestujících činí v roce 2020 1083 minut.

- R z Brna → autobus MHD na Karlovo náměstí
 - Minimální doba přestupu = 5 minut
 - XX:49 → XX:10 – čekání jednoho cestujícího = 16 minut
 - Počet přestupujících cestujících = 32
- Os z Brna → autobus MHD na Karlovo náměstí
 - Minimální doba přestupu = 5 minut
 - XX:16 → XX:38 – čekání jednoho cestujícího = 17 minut
 - Počet přestupujících cestujících = 3
- autobus MHD z Karlova náměstí → R do Brna
 - Minimální doba přestupu = 5 minut
 - XX:50 → XX:08 – čekání jednoho cestujícího = 13 minut
 - Počet přestupujících cestujících = 40
- autobus MHD z Karlova náměstí → Os do Brna
 - Minimální doba přestupu = 5 minut
 - XX:20 → XX:44 – čekání jednoho cestujícího = 19 minut
 - Počet přestupujících cestujících = 0

13.2 Časová ztráta přestupujících cestujících při navrženém stavu

Pomocí modelu v softwaru Xpress-IVE a zadaných hodnot bylo dosaženo optimálního řešení, které stanovuje hodnotu účelové funkce celkové časové ztráty přestupujících cestujících na 899 minut. Oproti současnému stavu byly časové polohy autobusových spojů určeny právě pomocí optimalizačního softwaru. Nalezené hodnoty příjezdů a odjezdů snížily časovou ztrátu o 144 minut (včetně připočítaného 40minutového nárůstu v souvislosti se snížením jízdní doby u linky č. 4 ve směru z centra ze zastávky Komenského náměstí do zastávky Železniční stanice o 1 minutu). Pokud bychom brali v potaz 75 přestupujících cestujících, pro které bylo v rámci zjednodušení porovnání provedeno, každý z nich díky upravené časové poloze autobusových spojů ušetří v průměru přibližně 1,9 minuty čekání na přípoj. Tabulka 33 ukazuje porovnání stavu v roce 2020 a navrhovaného řešení.

Tabulka 33: Porovnání vybraných údajů provozu z roku 2020 a návrhu na úpravy jízdních řádů

Linky	Relace	Přestupní doba [min]	Počet cestujících	Původní časová poloha autobusů	Původní časová ztráta [min]	Linky	Navrhovaná časová poloha autobusů	Navrhovaná časová ztráta [min]	Rozdíl [min]
R --> A1	do centra	5 (3)	32	SS:49 --> XX:10	16 (18)	R --> A4 (A1)	SS:49 --> XX:22 (XX:52)	28 (0)	+12 (-18)
Os --> A4	do centra	5	3	SS:16 --> XX:38	17	Os --> A1	SS:16 --> XX:22	1	-16
A1 --> R	z centra	5	40	XX:50 --> LL:08	13	A4 --> R	XX:02 --> LL:08	1	-12
A4 --> Os	z centra	5	0	XX:20 --> LL:44	19	A1 --> Os	XX:33 --> LL:44	6	-13

14 Vize a možné úpravy do budoucna

Jak již vyplynulo z předchozích kapitol, navržené řešení je optimální za daných vstupních podmínek, avšak zároveň jsou zde problémy, jejichž minimalizaci by přineslo komplexnější a důkladnější zanalyzování současného stavu. A to především s přesahem na celý systém MHD včetně pracovních dní. Některá opatření by však mohla být realizována i za kratší časový interval. Vize a možné úpravy provozu jsou podle časového horizontu rozděleny do tří kategorií. Krátkodobý horizont úprav by se mohl pohybovat na úrovni měsíců, případně jednotek let, střednědobý pěti a více let a dlouhodobý deseti a více let. Rozdělení i časový horizont je však třeba brát pouze jako doporučení, která lze změnit závislosti na vůli k realizaci či dostupnosti finančních prostředků.

14.1 Krátkodobý horizont úprav

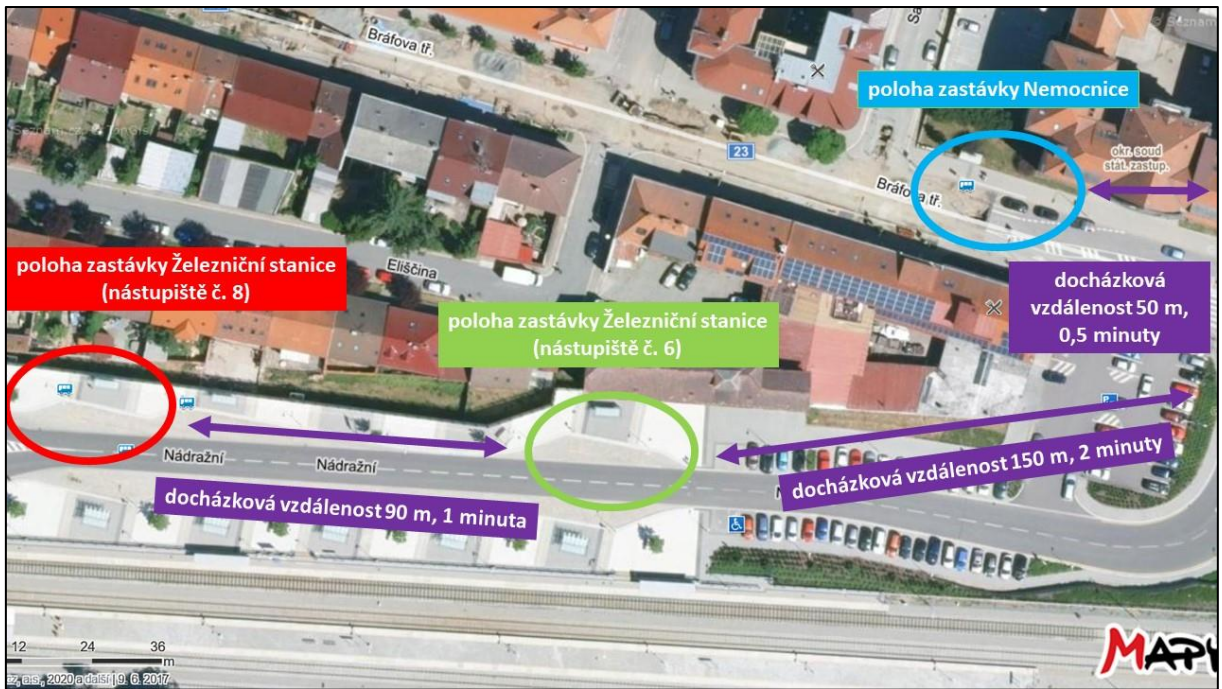
Záležitosti, které lze řešit v poměrně krátkém časovém období, jsou úpravy zastávkových stanišť a trasování linek. V souvislosti se zastávkami linek č. 1 a 4 se nabízí dvě úpravy.

U linky č. 1 by bylo vhodné zcela zrušit zastávku Nádražní směrem z centra města. V opačném směru byla zastávka zrušena po otevření přestupního terminálu u železniční stanice. Jako náhrada by sloužila zastávka Železniční stanice, která je v jízdním řádu již nyní. Ta je v docházkové vzdálenosti pouhých 100 m. Zastávka Nádražní je z hlediska silničního provozu navíc umístěna zcela nevhodně. Nachází se ve směrovém i výškovém oblouku a zároveň v křižovatce. Není zde vytvořen ani zastávkový záliv. To je viditelné na obrázku 39. Vozidla tak zastavují přímo na jedné z nejvytíženějších silničních komunikací ve městě.



Obrázek 39: Letecký pohled na umístění zastávek Nádražní a Železniční stanice ([12] úpravy - autor)

Změna by byla možná taktéž u linky č. 4. V tomto případě by však došlo k posunu zastávkového stání pouze v rámci přestupního terminálu. Jednalo by se o zastávku směrem do centra. Nyní autobusy zastavují u označníku č. 8, nově by bylo stanoviště umístěno u označníku č. 6. K této úpravě by však došlo pouze v situaci, kdy by rozhodnuto o úpravě trasování linky č. 4 směrem do centra. Tato linka by tak již nevyužívala obratiště a nevracela se zpět do zastávky Nemocnice. Pokračovala by dále ulicí Nádražní směrem na Komenského náměstí. Zastávky Nemocnice a Bráfova by byly nahrazeny pouze jednou zastávkou, která by byla umístěna v prostoru přestupního terminálu u označníku č. 6. Důvodem pro přesun zastávkového stání je docházková vzdálenost k nemocnici, neboť by průjezdem areálu přestupního terminálu nebyla obsluhována zastávka Nemocnice směrem do centra a jako náhrada by sloužila právě zastávka Železniční stanice. V tomto případě by došlo k navýšení docházkové vzdálenosti k nemocnici cca o 70 metrů. Situace je naznačena na obrázku 40. Zároveň by byla zkrácena jízdní doba vozidel MHD nejméně o 2 minuty a ušetřeno 330 metrů jízdy. Zde je však třeba zvážit spíše sociální aspekty, které souvisí se zastávkou Nemocnice a změnou její docházkové vzdálenosti. Podobný postup by mohl nastat také u linek č. 10 a 14.



Obrázek 40: Letecký pohled na umístění zastávek Nemocnice a Železniční stanice ([12] úpravy - autor)

14.2 Střednědobý horizont úprav

K lepší obslužnosti Železniční stanice a z toho vyplývající zefektivnění přestupních vazeb mezi autobusy MHD a vlaky by bylo vhodné upravit rozsah spojů na jednotlivých linkách MHD o víkendech. Obzvláště v dopoledních a odpoledních hodinách, kdy je počet přepravovaných cestujících nejvyšší. Především z hlediska koordinace přestupních vazeb a přepravních intenzit by bylo postačující, aby interval mezi spoji byl na pátečních linkách zkrácen na polovinu, tedy na 30 minut. V souvislosti s touto úpravou by došlo nejen ke zlepšení obslužnosti celého města, ale také by vzniklo více variant, jak nastavit časové polohy autobusových spojů, aby byly přestupy mezi jednotlivými druhy dopravy efektivnější a celková časová ztráta přestupujících cestujících se ještě více snížila. Díky vyššímu počtu spojů by se také dalo uvažovat o umístění odjezdů z centrálního přestupního uzlu na Karlově náměstí tak, aby byly časy pro cestující uživatelsky přívětivější. Místo hodnot XX:29 a XX:56 by se mohlo pracovat např. s údaji XX:10, XX:25, XX:40 a XX:55. Je však třeba zmínit, že tato úprava by se již poměrně výrazně projevila na počtu ujetých kilometrů za jeden víkendový den, a muselo by tak dojít k navýšení rozpočtu na provoz MHD.

Další možností je zavedení zcela nových linek, které by přinesly nižší nárůst počtu ujetých kilometrů, ale zároveň by napomohly zlepšit přestupní vazby mezi vlaky a autobusy MHD a vytvořily další doplňkové linky systému třebečské městské hromadné dopravy. Touto možností se zabývají např. Ing. Jan Vacek a Ing. Rostislav Vašíček v dokumentu Průzkum,

analýza a koncepce víkendového provozu městské autobusové dopravy v Třebíči. Dokument obsahuje návrhovou část, ve které jsou vytvořeny tři varianty, jak zefektivnit především obsluhu zastávky Železniční stanice pomocí MHD. Všechny vypracované možnosti lze jednoznačně hodnotit pozitivně z hlediska přestupních vazeb mezi autobusy MHD a vlaky. Další kladnou stránkou je úprava jízdních dob mezi některými zastávkami nebo výrazné zlepšení obslužnosti obchodního centra STOP-SHOP. Jako největší nevýhoda se naopak může jevit fakt, že se jedná o koncepci pouze pro víkendový provoz, který se od pracovních dní liší. Jelikož nejde pouze o úpravy časových poloh stávajících spojů a o úpravy trasování linek MHD provozovaných v roce 2020, bylo by vhodné v zájmu udržení jednotné koncepce zpracovat kompletní návrh optimalizace celého provozu městské hromadné dopravy včetně pracovních dní. Základem pro tento obsáhlý a zásadní dokument by pak mohla posloužit již zmiňovaná studie, která je obzvlášť v kapitolách týkající se průzkumu a analýzy systému MHD velmi podrobně zpracována. [5]

Žádoucí je také zapojení MHD v Třebíči do systému VDV, neboť v rámci integrovaného dopravního dochází především ke koordinaci různých druhů veřejné dopravy. Pro cestujícího je IDS charakterizován společným tarifem, společnými přepravními podmínkami, zaručenými standardy kvality dopravy, společným informačním servisem a právě koordinací jízdních řádů. To by mohlo vyřešit také nevyhovující stav trasování linky č. 31, která by mohla být především díky jednotnému jízdnímu dokladu nahrazena autobusy příměstské dopravy. [4,6]

14.3 Dlouhodobý horizont úprav

Jednou z možností, která se nabízí spíše v delším časovém intervalu od roku 2020, je přesun centrálního přestupního uzlu mimo Karlovo náměstí do prostoru autobusového nádraží. Tato možnost je podrobněji popsána v kapitole č. 11.

Za druhý dlouhodobý cíl bychom mohli označit preferenci MHD. Vzhledem k vysoké intenzitě dopravy v centrální části města, především na průtahu silnice I/23, který tvoří ulice Sucheniova, Masarykovo náměstí a Bráfova třída, zde dochází k častému vzniku kongescí, což výrazně narušuje spolehlivost navržených jízdních řádů. Experimenty s modelem bylo zároveň zjištěno, že jedním z prostředků, jak zlepšit přestupní vazby mezi vlaky a autobusy, je snížení jízdních dob mezi jednotlivými zastávkami, případně úseky na linkách. K tomu by mohly pomoci právě technologie a investice, které zajistí preferenci MHD. Jako nejvhodnější způsob se v Třebíči jeví preference vozidel MHD na světelných křižovatkách. Doplňujícím opatřením by mohly být také vyhrazené bus pruhy, jejichž realizace by však byla vzhledem k prostorovým a dopravním poměrům v Třebíči složitá.

Jednou z dalších možností, jak zvýšit spolehlivost provozu a zároveň snížit cestovní doby mezi některými zastávkami, je zavedení nástupu a výstupu všemi dveřmi a s tím související změna odbavování. I zde je však třeba zvážit pozitivní dopady, jako je právě rychlejší obsluha jednotlivých zastávek, ale i negativa, která typicky symbolizuje větší množství neplatících cestujících, což je naopak v případě odbavení u řidiče téměř vyloučeno.

15 Závěr

Městská hromadná doprava je neustále se měnící proces, u kterého stěží nalezneme ideální řešení. Proto je třeba se soustředit na hledání optimálního řešení za daných vstupních podmínek. Právě na tomto principu je založena tato diplomová práce.

Po zanalyzování a zhodnocení fungování systému MHD v Třebíči v roce 2020 bylo přistoupeno k vytvoření matematického modelu, jehož cílem bylo vygenerovat řešení, které zlepší především přestupní vazby mezi autobusy MHD a vlaky v přestupním uzlu Železniční stanice. Aby byla ověřena správná funkčnost a také univerzálnost modelu, byly provedeny také experimenty, během nichž byly měněny omezující podmínky nebo vstupní hodnoty. Jedna z vedlejších úloh byla zpracována podrobněji. Jednalo se o možnost přesunutí centrálního přestupního uzlu na Karlově náměstí do prostoru současného autobusového nádraží, které bylo v době psaní této práce pro příměstskou autobusovou dopravu předimenzované a volné kapacity by mohly být využity právě pro nový přestupní uzel MHD v Třebíči.

V rámci diplomové práce byl vytvořen ještě doplňkový model, který zohledňuje počet přestupujících cestujících v uzlu Karlovo náměstí, kteří pokračují dále do zastávky Železniční stanice a naopak. Tento program pracuje se třemi páteřními linkami. Na základě vstupních dat bylo následně rozhodnuto, v jakých časových polohách budou tyto linky v daném směru Karlovo náměstí projíždět. Cílem je minimalizovat celkovou časovou ztrátu přestupujících cestujících.

Na základě získaných dat a následného posouzení bylo určeno, že koordinace v železničním uzlu bude probíhat mezi autobusy MHD z centra a do centra a vlaky z Brna a do Brna. Stejně tak v opačném směru. Hlavním důvodem byl počet přestupujících cestujících, kteří z větší části využívají železniční spojení z Brna a do Brna a autobusy městské hromadné dopravy do centra a z centra. Vzhledem k univerzálnosti modelu je však možné pouhou úpravou časových poloh vlakových spojů změnit zadání na koordinace autobusů MHD a např. pouze rychlíků z obou směrů, tj. jak z Brna, tak z Jihlavy a zpět.

Diplomová práce obsahuje návrh jízdních řádů všech linek MHD v Třebíči v rámci provozu o víkendech a státních svátcích. Jeho základem jsou jízdní řády páteřních linek č. 1 a 4, jejichž časy příjezdů a odjezdů do jednotlivých zastávek byly upraveny tak, aby byly vytvořeny optimální přestupní vazby na vlakové spoje. V závislosti na těchto linkách byly následně upraveny jízdní řády i ostatních linek třebíčské MHD. Při stanovení časových poloh linek č. 1

a 4 byly brány v potaz taktéž výsledky doplňkového modelu, který řeší počet přestupujících cestujících v centrálním přestupním uzlu na Karlově náměstí.

Výsledný návrh zlepšuje přestupní vazby mezi jednotlivými druhy veřejné dopravy. Díky navrženému řešení ušetří každý přestupující cestující průměrně 2 minuty čekání na následující spoj, za jeden den je poté celkově ušetřeno 144 minut. Pakliže bychom akceptovali snížení přestupní doby mezi příjíždějícím vlakovým spojem z Brna v SS:49 a odjíždějícím autobusovým spojem, ušetřený čas by činil až 1040 minut. V přepočtu na jednoho cestujícího by se jednalo o téměř 14 minut a oproti stavu z roku 2020 by došlo ke snížení doby čekání všech cestujících až o 96 %, jelikož současná hodnota činí 1083 minut. Z důvodu vyššího pohodlí při přestupech a větší časové rezervy však tato hodnota není brána jako výsledná, pouze jako možná v závislosti na dalších faktorech jako je včasný příjezd příslušného vlakového spoje nebo rychlost chůze cestujících.

Splněn je také vedlejší definovaný cíl v úvodní části této práce, který spočívá v prokázání univerzality zvolené metody v podobě lineárního programování a vytvoření matematického modelu. Součástí dokumentu je i krátký a zjednodušený popis softwaru Xpress-IVE, díky němuž byla nalezena konkrétní optimální řešení.

Tato diplomová práce nabízí pohled na jiný způsob koordinace spojů veřejné dopravy. Jsou zhodnocena také pozitiva a negativa nalezených řešení i zvolených postupů. Věřím, že navržená řešení i nastíněné směry, kudy by se mohla MHD v Třebíči ubírat, budou moci být využity jako základ změn, které se do budoucna uskuteční.

16 Zdroje

16. 1. Literatura

- [1] ČESKÉ DRÁHY. *Jízdní řád 2020*. Praha: České dráhy, 2019.
- [2] NOVÁK, Aleš. *Analýza úrovně časové koordinace veřejné hromadné dopravy v Třebíči*. Praha, 2018. Bakalářská práce. ČVUT v Praze Fakulta dopravní. Vedoucí práce doc. Ing. Dušan Teichmann, Ph. D.
- [3] NOVÁK, Aleš. *60 let MHD Třebíč, aneb, Jízda do minulosti--: 1954-2014*. Třebíč: FiBox, 2014, 82 s. ISBN 978-80-85571-23-3.
- [4] SUROVEC, P., 1998. *Technológia hromadnej osobnej dopravy (cestná a mestská doprava)*. Žilinská univerzita v Žiline, EDIS, 157 str. ISBN 80-7100-494-4.
- [5] VACEK, Jan a Rostislav VAŠÍČEK. *Průzkum, analýza a koncepce víkendového provozu městské autobusové dopravy v Třebíči*. 2020. Studie.
- [6] VONKA, J. a kol., 2001. *Osobní doprava*. 1. vyd. Pardubice: Tiskařské středisko Univerzity Pardubice, 170 s. Skripta DFJP. ISBN 80-7194-320-7.

16. 2. Internetové zdroje

- [7] ANTOŠ, Karel, Stanislav JÍRA, Tomáš NÁHLÍK, Helena PAVLIČÍKOVÁ, Jiří ČEJKA a Václav DOBIÁŠ. *Studijní materiály pro obor logistika a doprava: LOGISTIKA A DOPRAVA - ČESKO* [online]. 1. České Budějovice: Vysoká škola technická a ekonomická v Českých Budějovicích, 2019 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <http://clil.vstecb.cz/wp-content/uploads/2019/11/Study-Material-Logistics-and-Transport.pdf>
- [8] ARCHITEKTI TŘEBÍČ. *Ideová studie využití autobusového nádraží*. [online], 2020, [cit. 2020-07-01]. Dostupné z: <https://www.trebic.cz/ideova-studie-vyuziti-autobusoveho-nadrazi/d-46658>
- [9] BÁRTÍKOVÁ, Eva. *Jízdní řád MAD v Třebíči změní už v září. Třebíčský deník* [online]. 2012 [cit. 2020-07-06]. Dostupné z: https://trebicky.denik.cz/zpravy_region/jizdni-rad-mad-v-trebici-zmeni-uz-v-zari-20120724.html

- [10] FICO Xpress. *Xpress IVE: User manual*. [online], 2020, [cit. 2020-07-14] Dostupné z: <https://msi-jp.com/xpress/learning/square/iveug.pdf>
- [11] DRDLA, P., 2013. *Osobní doprava - přednáškové prezentace v Power Pointu*. [online], 2014. [cit. 2020-07-11]. Dostupné z: <http://www.drdla.wz.cz/podklady.htm>
- [12] MAPY.CZ [online], 2020. [cit. 2020-07-02]. Dostupné z: <https://mapy.cz/>
- [13] MĚSTSKÁ AUTOBUSOVÁ DOPRAVA TŘEBÍČ. *Info pro cestující – trasy linek*. [online], 2020, [cit. 2020-07-03]. Dostupné z: <http://www.doprava-trebic.cz/trasy-linek.html>
- [14] MĚSTSKÁ AUTOBUSOVÁ DOPRAVA TŘEBÍČ. *Info pro cestující – základní informace*. [online], 2020, [cit. 2020-07-07]. Dostupné z: <http://www.doprava-trebic.cz/zakladni-informace.html>
- [15] MĚSTSKÁ AUTOBUSOVÁ DOPRAVA TŘEBÍČ. *Info pro cestující – rekonstrukce Karlova nám.* [online], 2020, [cit. 2020-07-09]. Dostupné z: <http://www.doprava-trebic.cz/rekonstrukce-karlova-nam.html>
- [16] MĚSTSKÁ AUTOBUSOVÁ DOPRAVA TŘEBÍČ. *Info pro cestující – aktuální změny*. [online], 2020, [cit. 2020-07-12]. Dostupné z: <http://www.doprava-trebic.cz/aktualni-zmeny.html>
- [17] MĚSTSKÁ AUTOBUSOVÁ DOPRAVA TŘEBÍČ. *Info pro cestující – změny v knižních JŘ.* [online], 2020, [cit. 2020-07-14]. Dostupné z: <http://www.doprava-trebic.cz/zmeny-v-kniznich-jr.html>
- [18] MĚSTSKÁ AUTOBUSOVÁ DOPRAVA TŘEBÍČ. *Současná MHD – jízdní řády*. [online], 2020, [cit. 2020-07-10]. Dostupné z: <http://www.doprava-trebic.cz/jizdni-rady.html>
- [19] MĚSTSKÁ AUTOBUSOVÁ DOPRAVA TŘEBÍČ. *Současná MHD – současná MHD*. [online], 2020, [cit. 2020-07-15]. Dostupné z: <http://www.doprava-trebic.cz/soucasna-mhd-soucasna-mhd.html>
- [20] MĚSTO TŘEBÍČ. *Revitalizace Karlova náměstí*. [online], 2020, [cit. 2020-08-01]. Dostupné z: <https://www.trebic.cz/revitalizace-karlova-namesti/d-41171>
- [21] TEICHMANN, D.; DORDA, M.: *Optimalizace technologických procesů*. Ostrava: VŠBTU Ostrava, 2017. ISBN 978-80-248-3269-2. Dostupné z: https://issuu.com/michdor/docs/m14_text

Seznam tabulek

Tabulka 1: Časy odjezdů vlakových spojů z Třebíče do Brna [1]

Tabulka 2: Časy odjezdů vlakových spojů z Brna do Třebíče [1]

Tabulka 3: Časy odjezdů vlakových spojů z Třebíče do Jihlavy [1]

Tabulka 4: Časy odjezdů vlakových spojů z Jihlavy do Třebíče [1]

Tabulka 5: Vzor oběhů vozidel na páteřních linkách v pracovní dny

Tabulka 6: Vzor oběhů vozidel na doplňkových linkách v pracovní dny

Tabulka 7: Informace o platných a navržených jízdních dobách [5]

Tabulka 8: Možná spojení v rámci tří páteřních linek

Tabulka 9: Zjednodušený návrh jízdního řádu pro linku č. 1 ve směru Za Rybníkem

Tabulka 10: Zjednodušený návrh jízdního řádu pro linku č. 1 ve směru Poliklinika Vltavínská

Tabulka 11: Zjednodušený návrh jízdního řádu pro linku č. 4 ve směru Hotel Atom

Tabulka 12: Zjednodušený návrh jízdního řádu pro linku č. 4 ve směru Poliklinika Vltavínská

Tabulka 13: Zjednodušený návrh jízdního řádu pro linku č. 5 ve směru U Hřbitova

Tabulka 14: Zjednodušený návrh jízdního řádu pro linku č. 5 ve směru Za Rybníkem

Tabulka 15: První varianta přestupů v centru města v případě přestupního uzlu v zastávce
Autobusové nádraží

Tabulka 16: Druhá varianta přestupů v centru města v případě přestupního uzlu v zastávce
Autobusové nádraží

Tabulka 17: Návrh jízdního řádu linky č. 1 ve směru Poliklinika Vltavínská

Tabulka 18: Návrh jízdního řádu linky č. 1 ve směru Za Rybníkem

Tabulka 19: Návrh jízdního řádu linky č. 4 ve směru Hotel Atom

Tabulka 20: Návrh jízdního řádu linky č. 4 ve směru Poliklinika Vltavínská

Tabulka 21: Návrh jízdního řádu linky č. 5 ve směru U Hřbitova

Tabulka 22: Návrh jízdního řádu linky č. 5 ve směru Za Rybníkem

Tabulka 23: Návrh jízdního řádu linky č. 10 ve směru Poliklinika Vltavínská

Tabulka 24: Návrh jízdního řádu linky č. 10 ve směru U Hřbitova

Tabulka 25: Návrh jízdního řádu linky č. 11

Tabulka 26: Návrh jízdního řádu linky č. 12 ve směru Ptáčova

Tabulka 27: Návrh jízdního řádu linky č. 12 ve směru Karlovo náměstí

Tabulka 28: Návrh jízdního řádu linky č. 14 ve směru Poliklinika Vltavínská

Tabulka 29: Návrh jízdního řádu linky č. 14 ve směru Za Rybníkem

Tabulka 30: Návrh jízdního řádu linky č. 31 ve směru Přibyslavice

Tabulka 31: Návrh jízdního řádu linky č. 31 ve směru Týn

Tabulka 32: Návrh jízdního řádu linky č. 31 ve směru Karlovo náměstí

Seznam obrázků

Obrázek 1: Schéma přestupního uzlu Karlovo náměstí

Obrázek 2: Schéma přestupního uzlu Karlovo náměstí doplněné o letecký pohled ([12], úpravy - autor)

Obrázek 3: Vizualizace budoucí podoby přestupního uzlu Karlovo náměstí [20]

Obrázek 4: Ukázka polohy autobusového nádraží a železniční stanice ([12] úprava - autor]

Obrázek 5: Poloha Karlova náměstí a železniční stanice ([12] úprava – autor)

Obrázek 6: Letecký pohled na přestupní terminál u železniční stanice [12]

Obrázek 7: Pohled na železniční stanici v Třebíči a část přestupního terminálu (foto – autor)

Obrázek 8: Schéma přestupního terminálu u železniční stanice

Obrázek 9: Trasa linky č. 1 v blízkosti zastávky Železniční stanice ([12], úpravy - autor)

Obrázek 10: Trasa linky č. 4 v blízkosti zastávky Železniční stanice, směr z centra ([12] úpravy - autor)

Obrázek 11: Trasa linky č. 4 v blízkosti zastávky Železniční stanice, směr do centra ([12] úpravy - autor)

Obrázek 12: Trasa linky č. 10 v blízkosti zastávky Železniční stanice, směr z centra ([12] úpravy - autor)

Obrázek 13: Trasa linky č. 10 v blízkosti zastávky Železniční stanice, směr do centra ([12] úpravy - autor)

Obrázek 14: Trasa linky č. 13 v blízkosti zastávky Železniční stanice ([12] úpravy - autor)

Obrázek 15: Síťová grafika provozu železniční dopravy v roce 2020 [1]

Obrázek 16: Pohled na širší centrum města s vyznačením autobusového nádraží a přestupního uzlu Karlovo náměstí ([12] úpravy - autor)

Obrázek 17: Pohled na severní výjezd z autobusového nádraží (fotografie – autor)

Obrázek 18: Pohled na západní vjezd na autobusové nádraží (fotografie – autor)

Obrázek 19: Fotografie zachycující stav autobusového nádraží v roce 2017 (fotografie – autor)

Obrázek 20: Fotografie dvou typů vozidel zajišťující provoz MHD v Třebíči – autobus a minibus (fotografie – autor)

Obrázek 21: Zjednodušené zobrazení tras páteřních linek s přestupními uzly a konečnými zastávkami

Obrázek 22: Pohled na základní obrazovku softwaru Xpress-IVE (úpravy - autor)

Obrázek 23: Software Xpress-IVE včetně části zadaného programu (úpravy - autor)

Obrázek 24: Zobrazení výsledků v softwaru Xpress-IVE (úpravy - autor)

Obrázek 25: Síťová grafika neupraveného řešení z programu Xpress-IVE pro zastávku Železniční stanice

Obrázek 26: Síťová grafika neupraveného řešení z programu Xpress-IVE pro zastávku Karlovo náměstí

Obrázek 27: Síťová grafika pro zastávku Železniční stanice v případě koordinace autobusů MHD na rychlíky

Obrázek 28: Síťová grafika pro zastávku Karlovo náměstí v případě koordinace autobusů MHD na rychlíky

Obrázek 29: Síťová grafika pro zastávku Železniční stanice v případě úpravy hodnoty minimální přestupní doby

Obrázek 30: Síťová grafika pro zastávku Karlovo náměstí v případě úpravy hodnoty minimální přestupní doby

Obrázek 31: Síťová grafika pro zastávku Železniční stanice v případě využití nového přestupního uzlu Autobusové nádraží

Obrázek 32: Síťová grafika pro centrum města v případě využití nového přestupního uzlu Autobusové nádraží

Obrázek 33: Schematický návrh možné podoby přestupního uzlu Autobusové nádraží

Obrázek 34: Detail nástupiště pro MHD a rozdělení linek podle jednotlivých směrů

Obrázek 35: Síťová grafika pro zastávku Železniční stanice dle finálního návrhu

Obrázek 36: Síťová grafika pro zastávku Karlovo náměstí dle finálního návrhu

Obrázek 37: Graf zobrazující vývoj celkové časové ztráty přestupujících cestujících

Obrázek 38: Síťová grafika v zastávce Železniční stanice dle platných jízdních řádů z roku 2020

Obrázek 39: Letecký pohled na umístění zastávek Nádražní a Železniční stanice ([12] úpravy - autor)

Obrázek 40: Letecký pohled na umístění zastávek Nemocnice a Železniční stanice ([12] úpravy - autor)