

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2025

Bc. Alexandr Stanislav Macháček

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Návrh nočních rozjezdů městské hromadné dopravy ve městě Olomouci

Diplomová práce

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2024/2025

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Alexandr Stanislav Macháček**
Osobní číslo: **D22463**
Studijní program: **N1041A040008 Technologie a management v dopravě**
Specializace: **Technologie a řízení dopravy**
Téma práce: **Návrh nočních rozjezdů městské hromadné dopravy ve městě Olomouci**
Zadávající katedra: **Katedra technologie a řízení dopravy**

Zásady pro vypracování

V diplomové práci bude navržen a posouzen systém nočních rozjezdů městské hromadné dopravy ve městě Olomouci. Diplomová práce bude obsahovat:

- analýzu současného stavu a charakteristiku zdrojů a cílů cest,
- návrh variant organizace nočního provozu s důrazem na efektivitu a dostupnost,
- zhodnocení navržených variant a doporučení nejvhodnějšího řešení.

Rozsah pracovní zprávy: **50-60**
Rozsah grafických prací: **5-6**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

dle pokynů vedoucí/ho práce

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Pavel Drdla, Ph.D.**
Katedra technologie a řízení dopravy

Datum zadání diplomové práce: **24. února 2025**

Termín odevzdání diplomové práce: **7. května 2025**

L.S.

doc. Ing. Ladislav Řoutil, Ph.D.
děkan

doc. Ing. Jaromír Široký, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 25. února 2025

Prohlašuji:

Práci s názvem *Návrh nočních rozjezdů městské hromadné dopravy ve městě Olomouci* jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 7.5.2025

Bc. Alexandr Stanislav Macháček v. r.

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu své práce doc. Ing. Pavlu Drdlovi, Ph.D., za pomoc a asistenci při tvorbě této diplomové práce.

ANOTACE

Diplomová práce se v analytické části zaměřuje na charakteristiku nočního provozu městské hromadné dopravy v Olomouci. Součástí analýzy je rovněž identifikace hlavních zdrojů a cílů cest v nočních hodinách na území města. V návrhové části jsou pomocí programovacího jazyka Python a dostupných knihoven z oblasti prostorové a síťové analýzy vytvořeny varianty možného uspořádání nočního dopravního systému, založené na principu nočních rozjezdů. Následně jsou jednotlivé varianty vyhodnoceny z hlediska efektivity, obslužnosti a nákladovosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Olomouc, městská hromadná doprava, noční linka, tramvaj, autobus, noční provoz, Lindau Modell, linkotvorba, programování, Python

ANNOTATION

The thesis focuses in its analytical part on the characteristics of night-time urban public transportation in the city of Olomouc. The analysis also includes the identification of key origins and destinations of travel during night hours within the city. In the design part, various organizational models of the night transport system are proposed using the Python programming language and relevant spatial and network analysis libraries. These models are based on the concept of timed night departures. The proposed variants are subsequently evaluated in terms of efficiency, coverage, and operational costs.

KEYWORDS

Olomouc, urban public transport, night line, tram, bus, night service, Lindau model, route planning, programming, Python

OBSAH

ÚVOD	13
1 NOČNÍ PROVOZ MĚSTSKÉ HROMADNÉ DOPRAVY V OLOMOUCI	14
1.1 <i>Město Olomouc</i>	14
1.2 <i>Historie nočního provozu v Olomouci</i>	15
1.3 <i>Současný stav</i>	15
1.4 <i>Současné pokrytí města</i>	20
1.5 <i>Potřeba vozidel a řidičů</i>	24
1.6 <i>Náklady provozu nočních linek městské hromadné dopravy</i>	24
1.7 <i>Uzel nočních linek městské hromadné dopravy</i>	24
1.7.1 <i>Přestupní uzel Hlavní nádraží</i>	24
1.7.2 <i>Přestupní uzel Tržnice</i>	26
1.8 <i>Nově vzniklé proudy dálkové noční dopravy</i>	27
1.9 <i>Shrnutí zdrojů a cílů cest vyplývajících z analýzy</i>	29
2 NÁVRH VARIANT ORGANIZACE NOČNÍHO PROVOZU S DŮRAZEM NA EFEKTIVITU A DOSTUPNOST	30
2.1 <i>Zpracování dat pro identifikaci předpokládané přepravní poptávky</i>	31
2.1.1 <i>Vytvoření datové vrstvy s hustotou obyvatel</i>	31
2.1.2 <i>Vytvoření vrstvy zastávek</i>	32
2.1.3 <i>Vytvoření silniční sítě</i>	33
2.1.4 <i>Vytvoření matice vzdáleností</i>	35
2.1.5 <i>Vytvoření tabulky priorit zastávek</i>	36
2.2 <i>Volby metod a mechanismů pro práci s daty</i>	37
2.2.1 <i>Dijkstrův algoritmus</i>	37
2.2.2 <i>K-means clustering</i>	38
2.2.3 <i>K-means shluky s duálním přiřazením</i>	39
2.2.4 <i>Penalizace již použitých hran</i>	40
2.2.5 <i>Snižování priorit zastávek v okolí již obslužených</i>	40
2.2.6 <i>Výběr kandidátské zastávky na základě priority</i>	41
2.2.7 <i>Heuristiky s prostorovým omezením</i>	41
2.2.8 <i>Hledání nejbližšího uzlu</i>	44
2.3 <i>Použité knihovny</i>	44
2.3.1 <i>Knihovna os</i>	44
2.3.2 <i>Knihovna GeoPandas</i>	45
2.3.3 <i>Knihovna NetworkX</i>	45
2.3.4 <i>Knihovna Pandas</i>	45
2.3.5 <i>Knihovna Numpy</i>	45
2.3.6 <i>Knihovna Matplotlib</i>	45

2.3.7	<i>Knihovna Sklearn.cluster (KMeans)</i>	45
2.4	<i>Varianty návrhu nočních linek</i>	45
2.4.1	<i>Varianta Rozjezdy Tržnice</i>	46
2.4.2	<i>Varianta Rozjezdy Hlavní nádraží</i>	49
2.4.3	<i>Varianta využití tramvajového subsystémů</i>	53
2.4.4	<i>Varianta zachování současných nákladů</i>	56
2.5	<i>Shrnutí vytvořených koncepcí</i>	58
3	ZHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH VARIANT A DOPORUČENÍ NEJVHODNĚJŠÍHO ŘEŠENÍ	59
3.1	<i>Ekonomické zhodnocení Variant</i>	60
3.2	<i>Zhodnocení na základě obsluženého počtu obyvatel</i>	61
3.3	<i>Komplexní zhodnocení variant</i>	63
3.3.1	<i>Posouzení na základě rovnovážných kritérií</i>	64
3.3.2	<i>Upřednostnění frekvence spojů a pokrytí</i>	66
3.4	<i>Shrnutí zhodnocení</i>	68
	ZÁVĚR	72
	POUŽITÁ LITERATURA.....	73
	SEZNAM PŘÍLOH	76

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Schéma současných linek.....	16
Obrázek 2 Současné trasy linek v kontextu základních sídelních jednotek	21
Obrázek 3 Přestupní uzel Hlavní nádraží.....	25
Obrázek 4 Přestupní uzel Tržnice.....	26
Obrázek 5 Přestupní trasa autobusové nádraží - hlavní nádraží.....	28
Obrázek 6 Hustota zalidnění základních sídelních jednotek	32
Obrázek 7 Zastávky v základních sídelních jednotkách	33
Obrázek 8 Silniční síť vhodná pro provoz autobusů.....	34
Obrázek 9 Algoritmus hledání nejkratší cesty.....	38
Obrázek 10 Ukázka algoritmu K-means.....	39
Obrázek 11 Ukázka algoritmu duálního přiřazení.....	39
Obrázek 12 Ukázka funkce penalizace již projetych hran.....	40
Obrázek 13 Ukázka funkce snížení priority v okolí již obslužených zastávek.....	41
Obrázek 14 Ukázka výběru kandidátské zastávky.....	41
Obrázek 15 Algoritmus pro generování tras linek.....	44
Obrázek 16 Ukázka funkce pro hledání nejbližšího uzlu.....	44
Obrázek 17 Schéma tras linek varianta Rozjezdy Tržnice.....	47
Obrázek 18 Schéma tras linek varianta Rozjezdy Hlavní nádraží.....	50
Obrázek 19 Schéma tras linek varianta využití tramvajového subsystému.....	54
Obrázek 20 Schéma tras linek varianta zachování současných nákladů.....	56

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Využití vozidel	17
Tabulka 2 Návaznost na železniční dopravu	19
Tabulka 3 Návaznost od železniční dopravy.....	19
Tabulka 4 Kvalitativní ukazatele současného systému	23
Tabulka 5 Pravidelný provoz autobusové nádraží	27
Tabulka 6 Počet obslužených osob varianta Tržnice.....	48
Tabulka 7 Ujeté kilometry a náklady varianta Tržnice	49
Tabulka 8 Počet obslužených osob varianta Hlavní nádraží	52
Tabulka 9 Ujeté kilometry a náklady varianta Hlavní nádraží.....	52
Tabulka 10 Počet obslužených osob varianta využití tramvajového subsystému	55
Tabulka 11 Ujeté kilometry a náklady varianta využití tramvajového subsystému.....	55
Tabulka 12 Počet obslužených osob varianta zachování současných nákladů	57
Tabulka 13 Ujeté kilometry a náklady varianta zachování současných nákladů	58
Tabulka 14 Srovnání variant z hlediska délky a nákladů	60
Tabulka 15 Srovnání variant z hlediska počtu obslužených obyvatel	62
Tabulka 16 Váhy kritérií, rovnovážná varianta.....	65
Tabulka 17 Výsledný užitek pro rovnovážnou variantu	65
Tabulka 18 Váhy kritérií, při upřednostnění počtu obyvatel a periody	66
Tabulka 19 Výsledný užitek při preferenci počtu obslužených obyvatel a periody.....	67
Tabulka 20 Výsledný užitek - zprůměrovaný.....	68
Tabulka 21 Srovnání varianty Tržnice se současností	69
Tabulka 22 Srovnání varianty Zachování současných nákladů s variantou Tržnice a současným stavem..	70
Tabulka 23 Srovnání varianty rozjezdy hlavní nádraží s variantou tržnice a současným stavem	70
Tabulka 24 Srovnání varianty využití tramvajového subsystému s ostatními	71

SEZNAM ZKRATEK

DPMO – Dopravní podnik města Olomouce

IAD – individuální automobilová doprava

IDS – integrovaný dopravní systém

IDSOK – Integrovaný dopravní systém Olomouckého kraje

MHD – městská hromadná doprava

ZSJ – Základní sídelní jednotka

ÚVOD

Tato práce se zabývá problematikou nočního provozu městské hromadné dopravy v Olomouci. Noční provoz tvoří specifickou součást dopravní obslužnosti města a je často vnímán jako okrajová služba. Vzhledem k měnícím se potřebám obyvatel, požadavkům na dostupnost veřejné dopravy a nutnosti efektivního hospodaření s veřejnými prostředky však narůstá potřeba věnovat této oblasti systematickou pozornost. Cílem této práce je navrhnout takový systém nočního provozu MHD, který zajistí efektivní a udržitelnou dopravní obslužnost města, především z hlediska územního pokrytí, návaznosti na další druhy dopravy a celkových nákladů na provoz.

Práce bude koncipována do několika částí. První část se zaměří na analýzu historického vývoje noční dopravy v Olomouci, a to jak z hlediska provozních systémů, tak v kontextu širší dopravní politiky města. Bude rovněž představena současná podoba systému, přičemž důraz bude kladen na identifikaci jeho klíčových silných a slabých stránek – zejména ve vztahu k návaznosti na železniční a dálkovou autobusovou dopravu, dostupnosti pro obyvatele periferních částí města a pravidelnosti spojů.

Ve druhé části budou představeny algoritmy a metody použité k optimalizaci návrhu noční dopravy. Bude využita kombinace matematických metod a prostorových analýz, jako je například K-means clustering, vážené hodnocení území dle počtu obyvatel, penalizace již obslužených oblastí nebo měření vzdáleností pomocí dopravní sítě. Pro zajištění prostorových analýz a vizualizací bude využit software QGIS, datové zpracování a algoritmizace pak proběhne pomocí jazyka Python, přičemž jako podkladová dopravní síť poslouží data z projektu OpenStreetMap. Dále bude představena sada různých variant řešení, od minimalistických návrhů udržujících stávající náklady až po komplexnější systémy s větším rozsahem pokrytí. Tyto varianty budou vyhodnoceny pomocí multikriteriální analýzy, která umožní porovnat jednotlivá řešení nejen na základě nákladů, ale i podle parametrů jako je obslužené území, počet potenciálně obslužených obyvatel a průměrná perioda spojů.

Cílem této práce je navrhnout systém nočních linek MHD ve městě Olomouc, který bude dlouhodobě udržitelný a současně funkčně odpovídající potřebám města – tedy systém, který za přiměřené náklady poskytne kvalitní a dostupnou službu pro co nejširší okruh obyvatel Olomouce i návštěvníků města v nočních hodinách.

1 NOČNÍ PROVOZ MĚSTSKÉ HROMADNÉ DOPRAVY V OLOMOUCI

Noční doprava ve městě Olomouci je zajišťována prostřednictvím autobusových linek v časovém rozmezí přibližně od 23:36 do 4:10. Uvedené časy odpovídají okamžiku výjezdu prvního nočního spoje na trasu a příjezdu posledního spoje do cílové zastávky. Zároveň tyto časové body navazují na ukončení provozu denních linek autobusové a tramvajové dopravy, jejichž vozidla se v tomto období vrací na garáže či do vozoven. Analogicky lze čas ukončení nočního provozu považovat za začátek ranního provozu denních linek. Celý systém noční dopravy je realizován výhradně formou autobusové dopravy (1).

1.1 Město Olomouc

Olomouc je jedním z nejvýznamnějších měst České republiky a tvoří přirozené centrum střední Moravy. Díky své poloze na řece Moravě se stala důležitým dopravním uzlem i administrativním centrem Olomouckého kraje. S počtem obyvatel okolo 100 000 patří mezi největší moravská města a je klíčovým bodem v dopravní síti regionu (2).

Dopravní infrastruktura Olomouce je dobře rozvinutá a zajišťuje efektivní spojení nejen v rámci města, ale i s okolními oblastmi a dalšími regiony České republiky. Město leží na třetím železničním koridoru spojujícím Prahu s Ostravou a dále s Polskem či Slovenskem. Hlavní nádraží v Olomouci je jedním z nejdůležitějších železničních uzlů a umožňuje pohodlné cestování nejen v rámci republiky, ale i do zahraničí. Kromě železnice hraje důležitou roli i silniční doprava. Město je napojeno na dálnici D35 a D46, která slouží jako klíčová spojnice mezi východní západní a jižní částí Moravy.

Veřejnou dopravu v Olomouci zajišťuje systém městské hromadné dopravy, který kombinuje tramvajové a autobusové linky. Tramvajová doprava tvoří páteřní síť městské hromadné dopravy a propojují klíčové části města včetně hlavního nádraží, historického centra, univerzitních budov a sídlištních celků na periferii. Doplnění systému zajišťují autobusové linky, které obsluhují především méně frekventované oblasti a okolní obce. Noční doprava je organizována formou speciálních autobusových linek, které zajišťují spojení mezi hlavními částmi města i v době, kdy běžný provoz utichá. Pro individuální dopravu slouží síť cyklostezek, která se v posledních letech rozvíjí a nabízí obyvatelům ekologickou alternativu k automobilové dopravě.

Díky své poloze a infrastruktuře Olomouc plní významnou roli nejen v rámci regionální dopravy, ale i jako důležitý uzel na mezinárodních trasách.

1.2 Historie nočního provozu v Olomouci

Historie nočního provozu městské hromadné dopravy v Olomouci sahá až do konce 19. století. Podle dostupných informací fungovala noční doprava již od roku 1899, kdy byl zahájen tramvajový provoz, noční spoje byly jeho součástí od počátku, přičemž jejich rozsah a podoba se postupně měnily (1, 3, 4).

Významné změny přinesl rok 1967, kdy byl noční tramvajový provoz z ekonomických důvodů zrušen. Po čtrnácti letech však došlo 1. listopadu 1981 k jeho obnovení. V roce 1988 byly v provozu noční tramvajové linky č. 4 a 5. Noční provoz tramvají fungoval až do května 2000 na linkách č. 2 a 4, jejichž trasy odpovídaly dnešním denním linkám, avšak kvůli infrastrukturním omezením nebyly některé oblasti obsluhovány (4, 5).

V roce 2000 byly noční tramvaje nahrazeny autobusovými linkami č. 51, 52 a 53, což umožnilo rozšíření dostupnosti noční dopravy i do oblastí bez tramvajové sítě. Linky 51 a 52 fungují jako okružní s postupným navýšením počtu zastávek. Linka č. 53, která vedla přes Pavlovičky a Holici, byla pro nízké vytížení na začátku roku 2010 zrušena.

V roce 2011 byla zavedena linka č. 50, jejíž trasa se postupně proměnila na okružní s výchozím a cílovým bodem na Hlavním nádraží. Současná podoba linek č. 50, 51 a 52 je výsledkem snahy snížit náklady a zajistit návaznosti na železniční dopravu.

Provoz je zajišťován převážně jedním autobusem, jehož oběh respektuje bezpečnostní přestávky a zajišťuje provozní efektivitu. V roce 2010 byl provoz linek dočasně přerušen z důvodu úsporných opatření, ale následně došlo k jeho obnovení, čímž byla zachována tradice noční dopravy trvající více než 110 let (6).

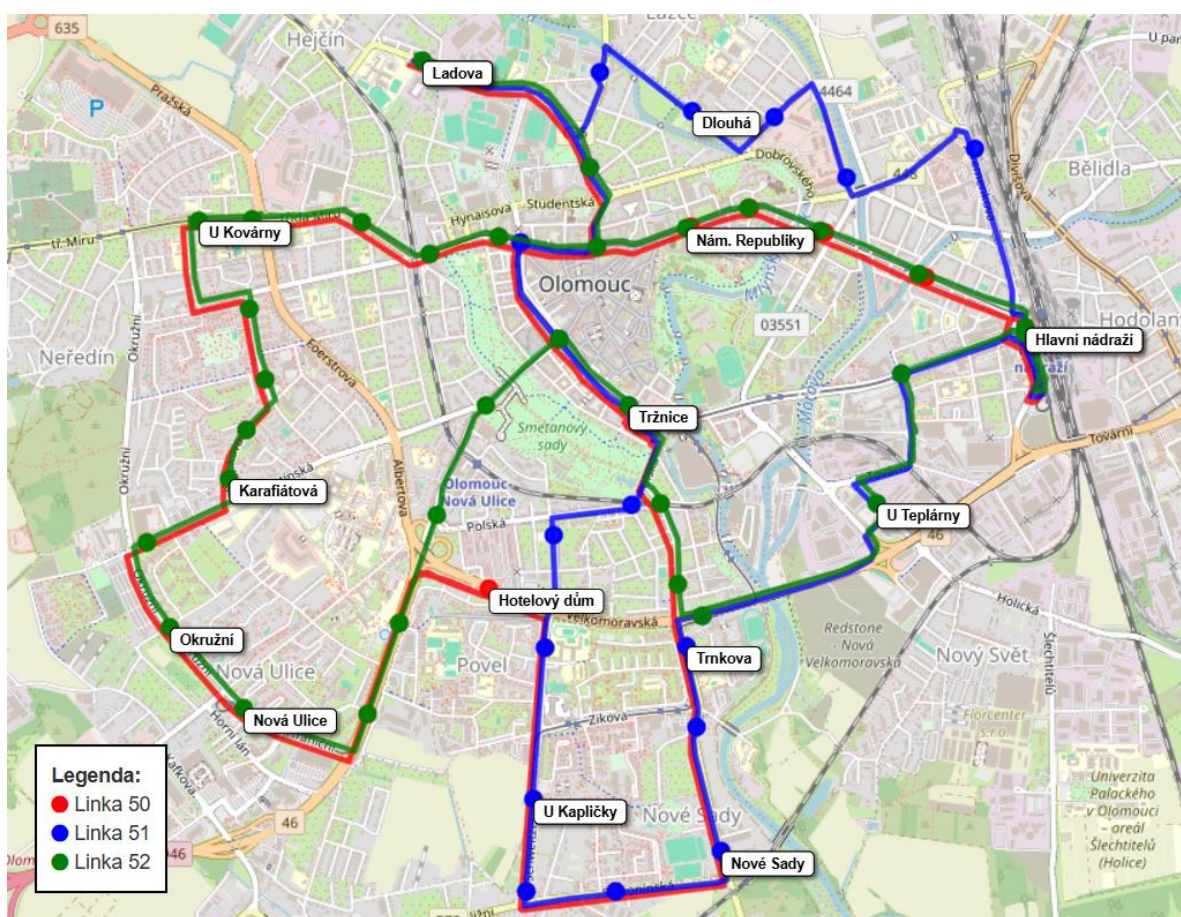
V současnosti noční provoz zajišťují linky č. 50, 51 a 52. Tyto linky pokrývají největší sídelní oblasti a navzdory dočasným omezením během pandemie COVID-19 byly od 1. července 2021 opět uvedeny do plného provozu (7).

Vývoj noční dopravy v Olomouci tak dokládá dlouhodobou snahu o přizpůsobení veřejné dopravy měnícím se potřebám obyvatel. Bližší informace o historii jsou v příloze P.

1.3 Současný stav

Noční provoz městské hromadné dopravy v Olomouci je zajišťován třemi autobusovými linkami: č. 50, 51 a 52. Na linkách platí běžné ceny jízdenek a jsou integrované v integrovaného dopravního systému (IDS) v rámci Integrovaného dopravního systému Olomouckého kraje (IDSOK). Tyto linky obsluhují klíčové části města a poskytují spojení v nočních hodinách. Jejich vedení je znázorněno na obrázku číslo 1. Detailní mapa pro jednotlivé linky samostatně je k dispozici v příloze M.

- Linka č. 50: Tato linka má polookružní charakter a vede z Hlavního nádraží přes zastávky jako Na Špici, U Bristolu, Finanční úřad, Ladova, Náměstí Hrdinů, Tržnice, Povel, Nové Sady a zpět na Hlavní nádraží (1),
- linka č. 51: Tato linka rovněž začíná na Hlavním nádraží a pokračuje přes zastávky jako Na Špici, U Bristolu, Finanční úřad, Ladova, Náměstí Hrdinů, Tržnice, Povel, Nové Sady a vrací se na Hlavní nádraží. Její trasa je podobná lince č. 50, avšak s drobnými odchylkami v některých úsecích (1),
- linka č. 52: Linka má rovněž polookružní trasu začínající na Hlavním nádraží, pokračuje přes zastávky jako U Bystřičky, Žižkovo náměstí, Náměstí Republiky, Palackého, Nádraží město, Nová Ulice, Fakultní nemocnice, Tržnice a vrací se na Hlavní nádraží (1).



Obrázek 1 Schéma současných linek

Zdroj: autor dle (8, 9)

Vzhledem k tomu, že mapa nebo schéma současného vedení nočních linek městské hromadné dopravy v Olomouci není veřejně dostupné v žádné podobě, bylo přistoupeno k vlastnímu zpracování vizualizace. Autor proto vytvořil interaktivní mapu za využití programovacího jazyka Python a knihoven Folium a Numpy, která znázorňuje trasování všech aktuálně provozovaných nočních linek.

Ačkoliv tento postup vyžadoval vyšší časovou náročnost v rámci přípravy a programování, výsledkem je ucelená databáze zastávek a průjezdních bodů mezi nimi. Tato databáze bude v dalších částech práce sloužit jako základ pro efektivní a přesné výpočty vhodných tras nočních linek, včetně jejich grafického vykreslení. Zdrojový kód použitý pro vizualizaci současné podoby nočních linek je uveden v příloze E této práce.

Současná organizace nočního provozu městské hromadné dopravy (MHD) v Olomouci je založena na systému tzv. polo-okružních linek, což je ve vazbě na dlouhé linky problematické pro cestující směřující do koncových zastávek, z důvodu dlouhé cestovní doby i přes možnou malou vzdálenost. Celkem je denně vypravováno osm spojů, přičemž provoz je zajišťován bez ohledu na den v týdnu – tedy v pracovní dny, soboty, neděle i státní svátky. Nejvíce spojů (čtyři) je vedeno na lince číslo 50, zatímco na linkách 51 a 52 jsou vypravovány vždy dva spoje.

Celkový princip organizace nočního provozu je znázorněn v tzv. obrátovém jízdním řádu (tabulka 1), z něhož je patrné, jak vozidlo přechází mezi jednotlivými spoji nočních linek. Delší pobyty na Hlavním nádraží mezi jednotlivými spoji jsou plánovány tak, aby umožnily návaznosti na železniční dopravu a zároveň řidiči poskytl prostor pro čerpání bezpečnostních přestávek.

Tabulka 1 Využití vozidel

1. Vozidlo					
Linka	Spoj	Výchozí zastávka	Odjezd	Cílová zastávka	Příjezd
50	19	Náměstí Hrdinů	23:36	Hlavní nádraží	23:44
50	3	Hlavní nádraží	0:13	Hlavní nádraží	1:06
52	5	Hlavní nádraží	1:10	Hlavní nádraží	1:47
52	13	Hlavní nádraží	2:11	Hlavní nádraží	2:48
50	11	Hlavní nádraží	2:50	Hlavní nádraží	3:37
51	1	Hlavní nádraží	3:38	Hlavní nádraží	4:10
51	5	Hlavní nádraží	4:12	Ladova	4:22

2. vozidlo					
Linka	Spoj	Výchozí zastávka	Odjezd	Cílová zastávka	Příjezd
50	14	Hlavní nádraží	3:17	Hlavní nádraží	4:03

Zdroj: autor dle (9)

Z celkového počtu osmi spojů je sedm realizováno jedním vozidlem v rámci oběhových možností. Vozidlo je tedy poměrně značně vytižené, to s sebou nese pozitivní faktor využití, ale současně je nevýhodou nemožnost zajistit přípoj od případně zpožděných vlaků, jelikož současná podoba minimálních přestávek mezi spoji by způsobila zpoždění všech následujících spojů. Výjimku představuje spoj s odjezdem z Hlavního nádraží ve 3:17 a návratem na stejnou zastávku ve 4:03, který je zajištěn druhým vozidlem. To následně přechází do denního provozu. Hlavní vozidlo, které obsluhuje ostatní spoje, zahajuje svůj provoz ve 23:36 na zastávce Náměstí Hrdinů, kde navazuje na poslední tramvajové spoje před jejich přejezdem do vozovny. Provoz vozidla končí ve 4:22 na zastávce Ladova, která se nachází v těsné blízkosti autobusových garáží.

Všechny tři aktuálně provozované noční autobusové linky v Olomouci obsluhují převážně totožná městská území. Zásadní rozdíly mezi jednotlivými linkami spočívají především v pořadí, v jakém jsou jednotlivé části města obsluhovány. V případě rozsáhlejších obytných celků, zejména panelových sídlišť, kde je veřejná doprava realizována po jejich obvodu, spočívá rozdíl zejména ve směru, ze kterého linka oblast obsluhuje, a tedy i ve výběru konkrétních obsluhovaných zastávek. To způsobuje zhoršení přehlednosti systému pro cestujícího, kdy v každý čas musí využít jinou nástupní zastávku.

Časové polohy jednotlivých nočních spojů jsou primárně navrženy s ohledem na příjezdy a odjezdy železničních spojů na hlavní nádraží v Olomouci. V průběhu doby provozu nočních autobusových linek je na olomouckém hlavním nádraží evidováno celkem 13 příjezdů nebo odjezdů železničních spojů, přičemž se jedná zejména o mezinárodní dálkové noční vlaky. V čase mezi 3:50 a 4:40, kdy ještě není v provozu žádná z denních linek městské hromadné dopravy, začíná naopak docházet k odjezdům prvních ranních osobních vlaků.

Návaznosti mezi nočními autobusovými linkami a jednotlivými železničními spoji jsou přehledně shrnuty v tabulkách č. 2 a 3, která znázorňuje časovou koordinaci zajišťující možnost přestupu mezi systémy městské a železniční dopravy.

Tabulka 2 Návaznost na železniční dopravu

Noční provoz MHD			Navazuje NA vlaky				
Linka	Spoj	Příjezd	Číslo vlaku	Ze směru	Ve směru	Odjezd	Čas na přestup [min]
50	19	23:44	R 899	Praha	Přerov	23:52	8
			RJ 1021	Praha	Košice	0:04	20
			RJ 1023	Praha	Przemysl	0:08	24
			EN 443	Praha	Michalovce	0:59	75
50	3	1:06	Žádný odjezd				
52	5	1:47	Žádný odjezd				
52	13	2:48	RJ 1020	Košice	Praha	3:28	40
50	11	3:37	Os 3531		Moravský Beroun	3:50	13
			Os 14001		Prostějov	4:00	23
50	14	4:03	R 898	Přerov	Praha	4:07	4
51	1	4:10	Os 3643		Šumperk	4:16	6
			Os 3860		Přerov	4:20	10
			RJ 1022	Přemysl	Praha	4:28	18
			Os 3700		Kouty n. Desnou	4:31	21
			EN 442	Michalovce	Praha	4:40	30

Zdroj: autor dle (10)

Tabulka 3 Návaznost od železniční dopravy

Navazuje Z vlaků				Noční provoz MHD			
Číslo vlaku	Ze směru	Ve směru	Příjezd	Linka	Spoj	Odjezd	Čas na přestup [min]
R 899	Praha	Přerov	23:50				23
RJ 1021	Praha	Košice	0:02	50	3	0:13	13
RJ 1023	Praha	Přemysl	0:06				7
EN 443	Praha	Michalovce	0:57	52	5	1:10	13
Žádný příjezd				52	13	2:11	-
Žádný příjezd				50	11	2:50	-
Žádný příjezd				50	14	3:17	-
RJ 1020	Košice	Praha	3:26	51	1	3:38	12
R 898	Přerov	Praha	4:05	51	5	4:12	7

Zdroj: autor dle (10)

Návaznost mezi nočními spoji městské hromadné dopravy a dálkovými vlakovými spoji je však výrazně limitována. I v případě drobného zpoždění vlaku již zpravidla není možné garantovat přípoj, neboť krátké intervaly mezi příjezdy a odjezdy jednotlivých spojů neumožňují vyčkání spojů. Z tohoto důvodu není možné zavést ani systém garantovaných přestupů, jelikož by případné zpoždění jednoho spoje mohlo způsobit dominový efekt a narušit plynulost celého systému. V situaci, kdy cestující svůj přípoj nestihne, je pak často nucen čekat vyšší desítky minut

na další spoj, případně zvolit alternativní formy dopravy, jako jsou taxislužby nebo sdílené formy mikromobility.

Současná podoba nočních autobusových linek v Olomouci zůstává v podstatě nezměněná od roku 2011. Od té doby došlo pouze k drobným úpravám, které spočívaly zejména v menších časových posunech odjezdů či příjezdů na zastávku Hlavní nádraží. Tyto změny byly realizovány s cílem zajistit návaznost na aktuálně platný jízdní řád železniční dopravy. Z tohoto důvodu zde nejsou zohledněny nově vzniklé přepravní poptávky dané rozvojem města a rozvojem mezinárodních autobusových linek.

1.4 Současné pokrytí města

Pro účely analýzy územního pokrytí noční veřejné dopravy byly v této práci zvoleny základní sídelní jednotky (ZSJ). Tyto jednotky představují nejnižší územně-analytický celek využívaný v České republice pro statistické a plánovací účely. Jsou definovány tak, aby co nejlépe odrážely přirozenou strukturu osídlení, a jejich rozsah často odpovídá jednotlivým městským částem, čtvrtím nebo menším obcím. Při jejich vymezení je zohledněna povaha zástavby, historické vazby i funkční využití daného území. Každá ZSJ zahrnuje zpravidla několik ulic či bloků a její hranice bývají vymezeny přirozenými nebo technickými bariérami, jako jsou vodní toky, železniční tratě či významné komunikace. Stabilita těchto jednotek v čase umožňuje provádět detailní územní analýzy, které tvoří důležitý podklad pro plánování veřejné dopravy (11).

Základní sídelní jednotky umožňují podrobné zkoumání dopravních potřeb obyvatel na úrovni jednotlivých částí města. Ve veřejné dopravě poskytují nástroj pro identifikaci oblastí s vysokou poptávkou po dopravním spojení, a tím přispívají k optimalizaci vedení tras městské hromadné dopravy. Zatímco v rámci denního provozu je dopravní síť primárně zaměřena na propojení významných přestupních uzlů, pracovních center a hustě obydlených lokalit, v nočním provozu je třeba uplatnit odlišný přístup s ohledem na specifické potřeby cestujících (11, 12).

V této práci budou základní sídelní jednotky sloužit jako klíčový analytický nástroj při návrhu systému noční městské hromadné dopravy. Jejich využitím bude možné přesněji identifikovat oblasti s nejvyšší koncentrací obyvatelstva a tím i potenciálně nejvyšší poptávkou po nočním dopravním spojení. To umožní efektivní návrh tras, které budou směřovat zejména do těch částí města, kde je pravděpodobnost využití noční dopravy nejvyšší.

Kromě rezidenčních oblastí budou do analýzy zahrnuty také další významné cílové destinace, které generují noční přepravní proudy, jako jsou kulturní a zábavní podniky. Současně bude zohledněna i dostupnost hlavních dopravních terminálů, zejména autobusového nádraží a železniční stanice, tak aby byly zajištěny návaznosti na dálkové spoje.

Současné pokrytí jednotlivých Základních sídelních jednotek

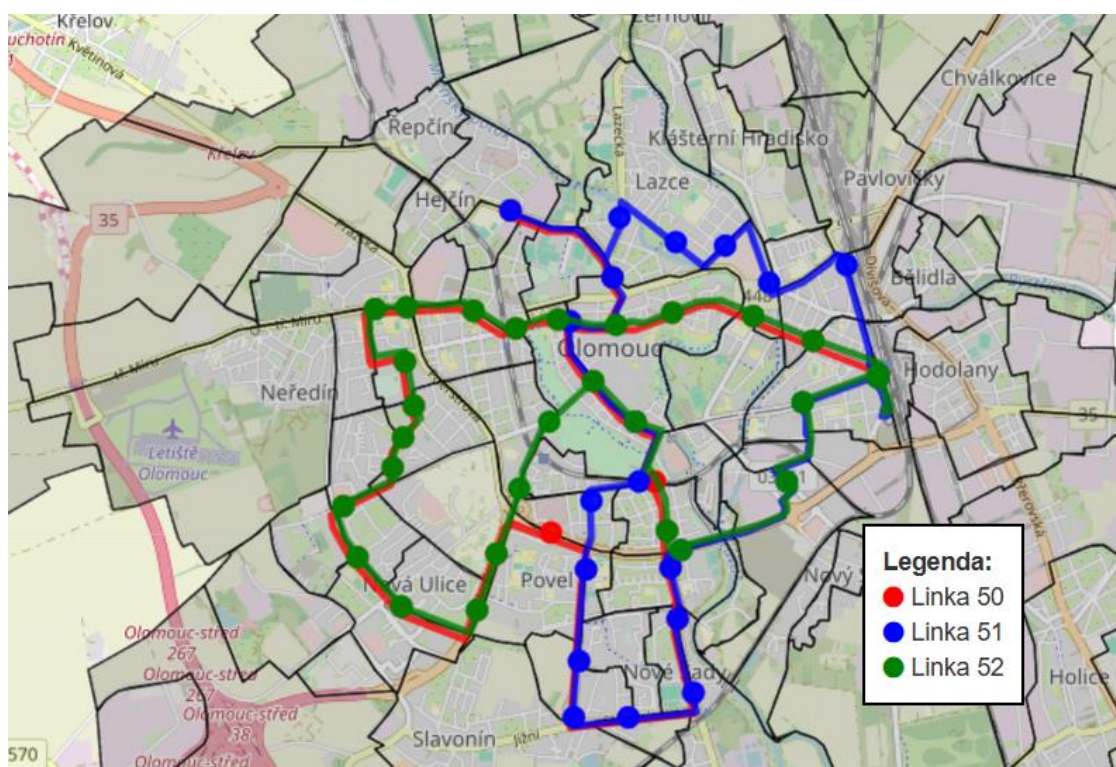
Město Olomouc je tvořeno celkem 92 základními sídelními jednotkami (ZSJ). Podle výsledků posledního Sčítání lidu, domů a bytů z roku 2021 zde mělo své obvyklé bydliště 106 063 obyvatel. Z tohoto počtu je prostřednictvím linek noční městské hromadné dopravy obsluhováno 40 ZSJ, ve kterých žije 70 163 obyvatel. To představuje přibližně 66 % celkové populace města Olomouce. Rozsah pokrytí jednotlivými linkami noční dopravy je následující (11, 13) :

- linka 50 obsluhuje 31 ZSJ s celkovým počtem 60 621 obyvatel,
- linka 51 pokrývá 28 ZSJ, ve kterých žije 46 560 obyvatel,
- linka 52 zajišťuje obslužnost 22 ZSJ s populací 39 552 obyvatel.

Územní rozsah pokrytí jednotlivých základních sídelních jednotek je znázorněn na obrázku č. 2.

Podrobnější analýza dat umožňuje rovněž vyhodnotit míru překryvu jednotlivých linek. Z celkového počtu 40 obsluhovaných ZSJ je:

- 6 ZSJ obsluhováno pouze jednou linkou,
- 27 ZSJ je obsluhováno dvěma linkami,
- 7 ZSJ pokrývají všechny tři noční linky.



Obrázek 2 Současné trasy linek v kontextu základních sídelních jednotek

Zdroj: autor dle (8, 9, 11)

Podrobnější analýza prostorového rozmístění a četnosti obslužnosti jednotlivých základních sídelních jednotek (ZSJ) odhaluje míru překryvu tras nočních linek. Z celkových 40 obsluhovaných ZSJ je pouze 6 jednotek obsluhováno jednou linkou, 27 jednotek dvěma linkami a 7 jednotek všemi třemi linkami. Nejvyšší překryv obslužnosti se týká zejména centrální části města včetně okolí Hlavního nádraží, tedy oblastí, kde jednotlivé linky svou trasu standardně zahajují a ukončují.

Vzhledem k výrazné míře překryvu tras jednotlivých linek a skutečnosti, že všechny tři noční linky směřují do centrálních a nejhustěji osídlených částí města, je pro posouzení skutečné dostupnosti veřejné dopravy v nočních hodinách vhodnější využít ukazatel četnosti spojů v jednotlivých základních sídelních jednotkách (ZSJ).

Linka č. 50 zajišťuje celkem čtyři spoje, z nichž jeden je veden ve zkrácené trase. Linky č. 51 a 52 obsluhují každá dva spoje, přičemž linka č. 51 rovněž zahrnuje jeden zkrácený spoj. Přehled o konkrétní obsluze jednotlivých ZSJ je uveden v tabulce č. 4.

Vysoká míra překryvu tras mezi jednotlivými linkami nelze hodnotit pozitivně. Každá ze tří linek se liší pouze v omezené části své trasy. Přestože se jedná o relativně malý systém tří linek s celkovým počtem osmi spojů, dochází k nadměrné duplicitě obsluhovaných úseků. Z celkového počtu 45 zastávek je 38 obsluhováno více než jednou linkou.

Jediné úseky, které nejsou obsluhovány více linkami, jsou úseky linky č. 51 mezi zastávkami Hlavní nádraží a Ladova a úsek linky č. 52 mezi Fakultní nemocnicí a Okresním soudem. V další části práce (kapitola č. 2) bude snahou tento překryv minimalizovat a navrhnout efektivnější trasování linek. Pro samotné získání informací o počtu obyvatel na jednotlivých trasách byl vytvořen skript, který je detailně popsán v příloze G.

Na základě těchto údajů lze určit i míru dopravní obslužnosti jednotlivých území prostřednictvím ukazatele průměrné periody obslužnosti. Tento ukazatel je počítán na základě celkového časového úseku provozu nočních linek, tedy období mezi 23:36 a 4:22. Délka tohoto úseku činí přibližně 4,77 hodiny, tedy odpovídá 286 minutám.

Z celkového počtu 70 163 obyvatel žijících v obsluhovaných ZSJ je pouze 42 748 obyvatel, kteří mají v docházkové vzdálenosti od svého bydliště zastávku, ze které odjíždí některý spoj noční linky alespoň jednou za hodinu. To představuje přibližně 61 % obyvatel, kterým je noční doprava reálně dostupná, a z pohledu celého města jen zhruba 40 % obyvatel. Do jednotek s 2 729 obyvateli je během celé doby provozu veden pouze jeden spoj. Tento stav nelze považovat za dostatečný, nízká frekvence spojů v jednotlivých oblastech vede k tomu, že cestující jsou nuceni volit jiné alternativy jako individuální automobilová doprava (IAD) nebo vozidla taxislužeb.

Tabulka 4 Kvalitativní ukazatele současného systému

ZSJ	Celkový počet spojů	Číslo linky			Průměrná perioda [min]	počet obyvatel	Σ obyvatel podle četnosti spojů
		50	51	52			
Kosmonautů	8	4	2	2	36	3899	4843
Husova	8	4	2	2	36	883	
Hlavní nádraží	8	4	2	2	36	61	
Olomouc-historické jádro	7	4	1	2	41	5724	5724
Šantova	6	3	1	2	48	261	5245
17. listopadu	6	4	0	2	48	232	
Českobratrská	6	3	1	2	48	2864	
Sady Flora	6	3	1	2	48	1888	
Stiborova	5	3	0	2	57	3464	26936
Pionýrská	5	3	0	2	57	3322	
Stupkova	5	3	0	2	57	2773	
Tabulový vrch	5	3	0	2	57	1741	
Tererovo náměstí	5	3	0	2	57	2832	
Na Vozovce-Litovelska	5	3	0	2	57	2833	
Lazce	5	3	2	0	57	5871	
Sobieského	5	3	2	0	57	217	
Norska	5	3	0	2	57	1927	
Vilapark Tabulový vrch	5	3	0	2	57	94	
Stadiony	5	3	2	0	57	165	
Na konečné	5	3	0	2	57	827	
Fakultní nemocnice	5	3	0	2	57	870	
Povel-jih	4	3	1	0	72	1402	
Slavonín	4	3	1	0	72	2804	
Heyrovského	4	3	1	0	72	6590	
Hejčín	4	3	1	0	72	1993	
Schweitzerova	4	3	1	0	72	136	
Nove Sady-sever	4	3	1	0	72	4287	
Trávníky	4	3	1	0	72	3	
Nove Sady-jih	4	3	1	0	72	291	
U rybníka	4	3	1	0	72	249	
Novosadská	4	3	1	0	72	3	
Holická	3	0	1	2	95	28	549
Tovární	3	0	1	2	95	499	
U rybářských stavů	3	0	1	2	95	22	
Pavlovičky	2	0	2	0	143	484	6264
Štítného	2	0	0	2	143	2688	
Kpt. Nálepky	2	0	2	0	143	3092	
Varšavské náměstí	1	0	1	0	286	1366	2729
Bělidla II	1	0	1	0	286	187	
Jihoslovanská	1	0	1	0	286	1176	

Zdroj: autor dle (9, 13)

1.5 Potřeba vozidel a řidičů

Noční provoz městské hromadné dopravy v Olomouci je zajišťován dvěma autobusy a dvěma řidiči, přičemž sedm z celkových osmi spojů je realizováno jedním vozidlem, zatímco osmý spoj linky č. 50 obsluhuje druhé vozidlo, které následně přechází do denního provozu. Celý systém je navržen jako nákladově úsporný a v souladu s platnými právními předpisy, zejména zákonem č. 262/2006 Sb., zákoníkem práce, a zákonem č. 353/2008 Sb., o pracovní době a době odpočinku zaměstnanců v dopravě, včetně příslušných prováděcích nařízení. Tato legislativa stanovuje limity pro délku noční směny, povinné bezpečnostní přestávky a minimální doby odpočinku mezi směnami (14, 15).

Ačkoli je současný provoz z hlediska nákladů i nasazení personálu efektivní, jeho struktura nedovoluje operativní reakce na případná zpoždění dálkových spojů. Z důvodu nutnosti dodržení bezpečnostních přestávek a omezeného počtu spojů není možné garantovat přípojně vazby, což negativně ovlivňuje spolehlivost celého systému. Podrobné znázornění nasazení vozidel a oběhů jednotlivých spojů je uvedeno v příloze O.

1.6 Náklady provozu nočních linek městské hromadné dopravy

Pro výpočet nákladů na zajištění nočního provozu městské hromadné dopravy (MHD) bylo využito dat z výročních zprávy Dopravního podniku města Olomouce (DPMO), byly zohledněny jak náklady fixní tak variabilní. Podrobnější informace ke způsobu výpočtu jsou v příloze N. Celkové náklady byly na základě dostupných dat vypočteny na 6 717 Kč za jeden den provozu (18).

1.7 Uzel nočních linek městské hromadné dopravy

V současném stavu nejsou vzhledem k charakteru vedení nočních linek využívány žádné vzájemné přestupní vazby. Výchozí i koncovou zastávku všech spojů nočních linek tvoří zastávka Hlavní nádraží. Jako alternativní přestupní uzel se v kontextu noční dopravy nabízí také prostor „Tržnice plocha“. Jedná se o lokalitu bývalého autobusového nádraží, která se nachází v centrální části města a zároveň disponuje vhodným napojením na městskou silniční síť.

1.7.1 Přestupní uzel Hlavní nádraží

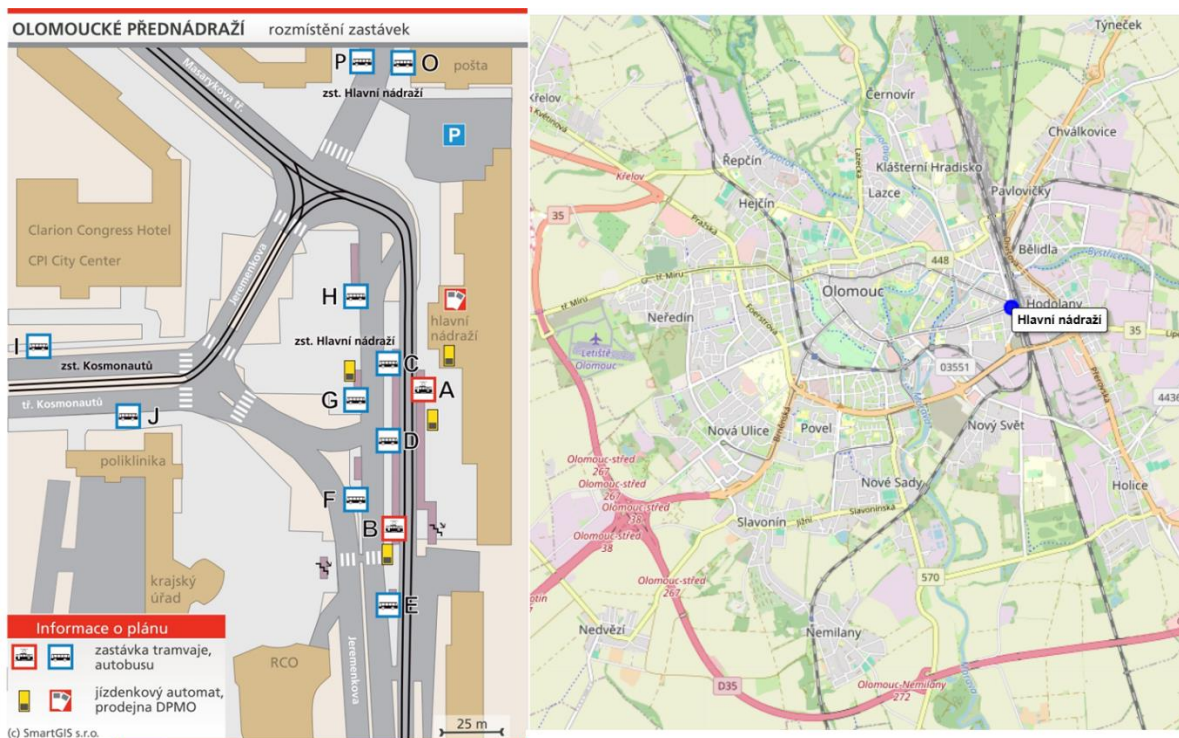
Přestupní uzel Hlavní nádraží v Olomouci představuje klíčový bod městské hromadné dopravy a zároveň hlavní vstupní bránu do města pro cestující přijíždějící vlakem nebo dálkovými autobusy. Nachází se přímo před budovou železniční stanice Olomouc hlavní nádraží a umožňuje pohodlné přestupy mezi tramvajovými a autobusovými linkami MHD, stejně jako mezi příměstskými a dálkovými autobusovými spoji.

V denním provozu zde zastavují všechny tramvajové linky olomoucké MHD, což umožňuje rychlé spojení s centrem města, univerzitními oblastmi, sídlišti a dalšími klíčovými lokalitami. Kromě tramvajové dopravy zde zastavuje také několik městských autobusových linek, které zajišťují propojení se vzdálenějšími částmi Olomouce i s obcemi v okolí.

Potenciál využití v nočním provozu je na Hlavním nádraží značný, avšak omezený jeho vychýlením od samotného centra města a poměrně velkou vzdáleností od nejhustěji osídlených oblastí. Tyto faktory komplikují plánování efektivního nočního dopravního systému, protože většina cestujících v nočních hodinách směřuje primárně do oblastí s větším rezidenčním zastoupením, jako jsou sídliště či univerzitní lokality. Přímé spojení do těchto míst z Hlavního nádraží vede k neefektivním trasám s nutností dlouhých zajižděk.

Je nepochybné, že je nutné aby Hlavní nádraží bylo obsluhováno nočními linkami, ovšem možná role uzlu je zde sporná. Spoje nočních linek MHD zde mohou například pouze zajiždět v pravidelných intervalech, podobně jako v některých jiných městech. Přičemž následně by byl ve vhodnější lokalitě zajištěn přestup na jiné linky. To by zajistilo efektivní propojení různých částí města i v nočních hodinách.

Prostorové uspořádání přestupního uzlu MHD Hlavní nádraží a jeho poloha je znázorněna na obrázku číslo 3.



Obrázek 3 Přestupní uzel Hlavní nádraží

Zdroj: autor dle (1, 8)

1.7.2 Přestupní uzel Tržnice

Přestupní uzel Tržnice v Olomouci je jedním z nejvýznamnějších dopravních bodů městské hromadné dopravy. Nachází se v blízkosti centra města a umožňuje snadné přestupy mezi tramvajovými a autobusovými linkami. V denním provozu zde zastavují tramvajové linky č. 1, 3 a 7, které spojují hlavní nádraží, centrum města a další významné oblasti. Nedaleko se nachází také zastávka Tržnice plocha, která slouží zejména příměstským a regionálním autobusovým linkám, přičemž jednotlivá nástupiště jsou rozdělena podle linek směřujících do různých částí kraje.

Potenciál využití tohoto přestupního uzlu v nočním provozu je značný. Poloha Tržnice v blízkosti centra a hlavních městských tahů ji činí ideálním místem pro koordinaci nočních linek MHD. Noční doprava by zde mohla být organizována včetně vzájemných přestupních vazeb což na hlavním nádraží není vzhledem k poloze vhodné, tedy s pravidelnými odjezdy autobusů ve směrech pokrývajících nejdůležitější části města. V současnosti přes Tržnici pouze projíždí spoje některých nočních linek.

Výhodou této lokality je její strategická poloha a snadná dostupnost pěší chůzí z širšího centra, což by mohlo zvýšit komfort noční dopravy v Olomouci. Nevýhodou této lokace je nemožnost zajistit přímé spojení hlavního nádraží a lidnatých částí města.

Prostorové uspořádání přestupního uzlu Tržnice plocha a jeho poloha je znázorněna na obrázku číslo 4.



Obrázek 4 Přestupní uzel Tržnice

Zdroj: autor dle (1, 8)

1.8 Nově vzniklé proudy dálkové noční dopravy

V době vzniku současného systému noční městské hromadné dopravy (MHD) v Olomouci téměř neexistovala žádná významná dálková noční doprava, s výjimkou železniční dopravy, na kterou by bylo nutné zajišťovat návazné spoje městské dopravy. V posledních letech však došlo k výraznému nárůstu počtu spojů mezinárodních autobusových linek, jejichž příjezdy na autobusové nádraží v Olomouci spadají do doby mimo provoz denních linek MHD. Cestující jsou tedy nuceni využít IAD nebo taxislužbu.

Jedná se především o spoje na trase Praha – Polsko, provozované společností FlixBus, a dále o linky v relaci Praha – Ukrajina, případně Praha – Moldavsko. Problémem těchto spojů je jejich nízká četnost – některé z nich jsou provozovány pouze jednou týdně. To představuje významnou překážku pro efektivní organizaci návazné městské dopravy. Pravidelná obsluha autobusového nádraží každý den by v tomto případě vedla k nízkému využití nočních linek a tím i k neefektivnímu provozu. Alternativně by bylo nutné upravovat časové polohy nočních spojů v závislosti na konkrétním dni v týdnu, což by znamenalo komplikace v plánování a provozu noční dopravy. V některých případech by také mohlo docházet k prodlevám, kdy by vozidlo určené k obsluze autobusového nádraží nebylo v daném časovém úseku efektivně využito.

Z tohoto důvodu budou uvažovány jen spoje provozované alespoň 5 dní v týdnu. Přehled pravidelně odjíždějících spojů z autobusového nádraží v Olomouci je uveden v tabulce č. 5.

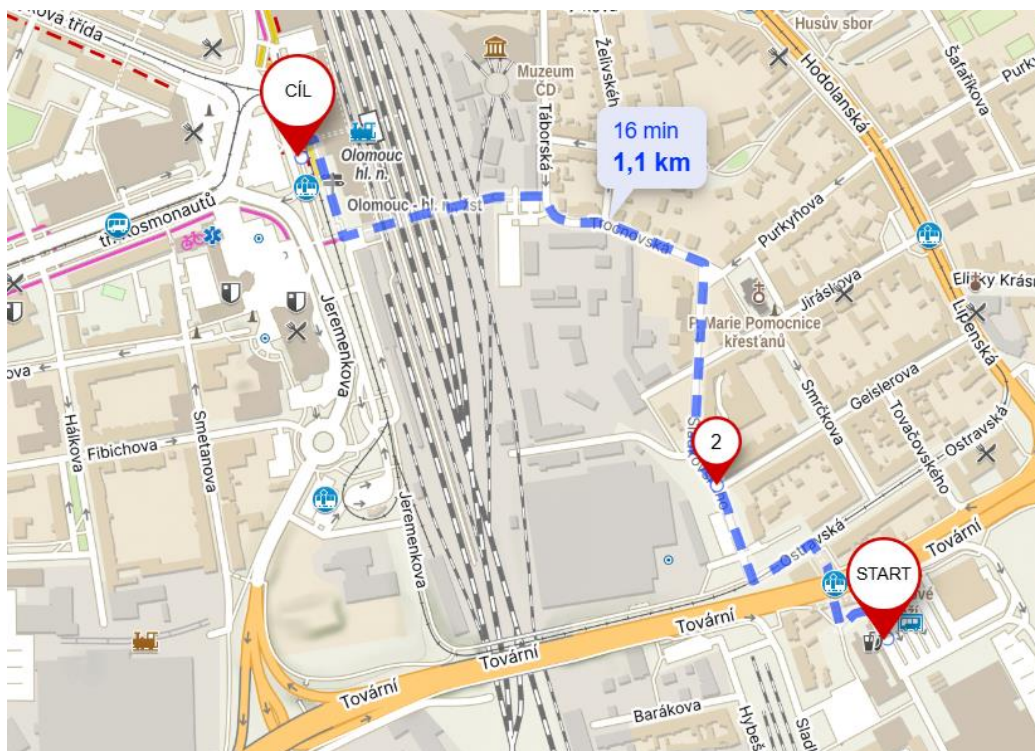
Tabulka 5 Pravidelný provoz autobusové nádraží

Olomouc autobusové nádraží			
Spoj	Trasa	Příjezd	Odjezd
Bus 000414 4	Praha-Kyjev	23:30	23:40
Bus N918	Praha-Varšava	0:55	1:05
Bus N913	Krakow-Praha	2:00	2:05
Bus N913	Praha-Krakow	2:00	2:15
Bus N1395	Vídeň-Gdyně	2:20	2:30
Bus 000074 1	Kyjev-Cheb	2:45	3:00
Bus 000414 1	Kyjev-Praha	3:20	7:12
Bus N918	Olomouc-Vídeň		3:50
Bus 000513 1	Čerkasy-Cheb	4:00	4:10

Zdroj: autor dle (16)

Nejbližší zastávkou noční městské hromadné dopravy od autobusového nádraží v Olomouci je zastávka Hlavní nádraží. Vzdálenost mezi těmito dvěma body činí přibližně 1,1 km a trasa, která je mezi nimi vedena, není nijak oficiálně značená. Prochází střídavě okrajem obytné zóny městské části Hodolany a industriální oblastí v okolí hlavního nádraží.

Pěší trasa mezi autobusových nádražím a uzlem MHD na Hlavním nádraží je znázorněna na obrázku číslo 5.



Obrázek 5 Přestupní trasa autobusové nádraží - hlavní nádraží

Zdroj: autor dle (17)

V kombinaci s tím, že perioda spojů nočních linek MHD se pohybuje přibližně kolem 60 minut a jejich časové polohy nejsou koordinovány s příjezdy dálkových autobusových linek, není tato možnost pro cestující příliš atraktivní.

Jako příklad lze uvést situaci, kdy cestující vystoupí z dálkového spoje, na autobusové nádraží ve 2:15 (což odpovídá průměrné hodnotě v časovém úseku 2:00–2:30, během něhož na nádraží přijíždí nejvíce dálkových spojů). Pokud by byla předpokládaná doba pěšího přesunu na Hlavní nádraží zhruba 15 minut, což odpovídá rychlosti $5,5 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, lze očekávat, že se cestující dostane na hlavní nádraží přibližně ve 2:30. Nejbližší spoj městské hromadné dopravy však odjíždí až ve 2:50. Při zohlednění přibližné doby jízdy na dané trase a následného pěšího přesunu z výstupní zastávky do cílové destinace celková doba přesunu přesahuje 70 minut. Takto dlouhá doba cestování činí tento způsob dopravy výrazně méně efektivním a pohodlným, čímž snižuje jeho atraktivitu pro cestující využívající noční spoje dálkové dopravy. V kapitole číslo 2 bude snaha zajistit přípojně respektive navazující spojení i s autobusovým nádražím aby mohla být přepravní poptávka uspokojena v maximální možné míře.

1.9 Shrnutí zdrojů a cílů cest vyplývající z analýzy

Organizace noční dopravy v Olomouci vychází primárně z analýzy zdrojů a cílů cest, tedy míst, odkud a kam lidé v nočních hodinách nejčastěji směřují. Na rozdíl od denního provozu, kdy je přepravní poptávka rovnoměrně rozložena mezi zaměstnání, vzdělávání, obchodní centra a volnočasové aktivity, je noční doprava zaměřena především na dvě hlavní hlediska – zajištění návaznosti na noční železniční spoje a pokrytí nejhustěji osídlených částí města.

Jedním ze stěžejních aspektů organizace noční městské hromadné dopravy je její koordinace s železniční dopravou. Hlavní nádraží v Olomouci představuje významný přestupní uzel, a to jak v rámci regionální, tak i dálkové dopravy. V nočních hodinách zde přijíždí řada železničních spojů, včetně nočních vlaků směřujících do Prahy, Ostravy a zahraničních destinací. Městská hromadná doprava je proto plánována tak, aby umožnila cestujícím plynulý přestup mezi železničními spoji a autobusy městské dopravy.

Druhým určujícím kritériem při plánování noční dopravy je zajištění dopravní obslužnosti nejlidnatějších částí města. Olomouc se vyznačuje výrazně rozptýlenou obytnou strukturou, přičemž sídlištní celky jako Nové Sady, Povel, Neředín a Lazce představují oblasti s vysokou hustotou obyvatelstva. Noční linky jsou proto vedeny především do těchto lokalit, aby poskytly odpovídající dopravní spojení osobám vracějícím se v nočních hodinách z pracovních směn, kulturních akcí nebo jiných společenských aktivit.

Současné uspořádání noční dopravy představuje kompromis mezi omezenými provozními a personálními kapacitami a požadavkem na zajištění dopravní dostupnosti klíčových městských oblastí. Zatímco návaznost na železniční dopravu je relativně dobře zajištěna, výzvou zůstává obslužnost méně zalidněných nebo vzdálenějších oblastí, kde není pravidelný provoz ekonomicky opodstatněný. Zefektivnění noční dopravy by mělo vycházet nejen z demografických údajů a dopravního chování obyvatel, ale rovněž reflektovat aktuální i budoucí potřeby města ve světle jeho rozvoje a měnící se poptávky po dopravní obslužnosti.

Jako největší problémy současného systému byla označena nepravidelnost spojů, nízká frekvence spojů, vysoký překryv tras linek, žádná nebo minimální nabídka spojů v některých lidnatých částech města. Dále problematika dlouhých půl okružních linek, kdy cestující směřující do oblastí vzdálených pouze jednotky kilometrů od hlavního nádraží, které jsou obsluhovány v rámci konce linky, musí cestovat velmi dlouho, z pravidla více než 30 minut. Za další nedostatek systému byla identifikována absence linek obsluhujících autobusové nádraží, kde došlo v posledních letech k výraznému nárůstu mezinárodních linek autobusové dopravy.

2 NÁVRH VARIANT ORGANIZACE NOČNÍHO PROVOZU S DŮRAZEM NA EFEKTIVITU A DOSTUPNOST

Organizace noční dopravy je klíčovým prvkem městské mobility, který musí nalézt rovnováhu mezi efektivitou provozu a dostupností pro cestující. Noční provoz v Olomouci je v současné době koncipován jako systém několika linek vycházejících z centrálního uzlu na Hlavním nádraží, což umožňuje návaznost na dálkové i regionální železniční spoje. Cílem zefektivnění systému je vytvořit takové varianty, které zajistí lepší dostupnost pro co největší počet obyvatel, a to při současném zohlednění provozních nákladů a efektivního využití vozidel.

Varianta 1: Radiální systém s centrálním přestupem Tato varianta vychází z klasického uspořádání noční dopravy, kdy jednotlivé linky vyjíždějí z jednoho centrálního bodu a dále se paprskovitě rozbíhají do různých částí města. Výhodou tohoto systému je maximální provázanost mezi linkami – cestující mohou snadno a rychle přestoupit a dostat se téměř do jakékoli oblasti města. Tento přístup je efektivní zejména při zajištění návazností na železniční dopravu a umožňuje obsluhu území menším počtem vozidel. Nevýhodou však mohou být delší cestovní doby v některých směrech, neboť systém vyžaduje přestupy, což může být v nočních hodinách vnímáno jako nevýhodné či komplikované (26).

Varianta 2: Okružní linky pro pokrytí klíčových oblastí Alternativní přístup představuje systém okružních linek, které propojují hlavní obytné čtvrti města bez nutnosti návratu do centrálního bodu. Tento systém umožňuje širší pokrytí městského území, přičemž eliminuje nutnost opakovaného průjezdu centrem. Hlavní výhodou tohoto systému je kratší průměrná cestovní doba a zajištění dopravní dostupnosti bez nutnosti přestupů. Nevýhodou však může být nižší frekvence spojů a omezená návaznost na železniční dopravu, neboť ne všechny linky by vedly přímo přes hlavní přestupní uzel (26).

Varianta 3: Hybridní systém kombinující centrální uzel a přímá propojení Tato kompromisní varianta zachovává centrální přestupní bod, přičemž doplňuje systém o přímé spoje mezi vybranými částmi města. Příkladem může být propojení sídlištních celků Řepčín, Hejčín, Lazce, Holice a Hodolany bez nutnosti přejezdu přes centrum. Výhodou tohoto systému je větší flexibilita a zlepšená dostupnost pro širší skupinu cestujících. Nevýhodou je naopak vyšší náročnost na počet vozidel a složitější organizace provozu.

2.1 Zpracování dat pro identifikaci předpokládané přepravní poptávky

Tato podkapitola se věnuje přípravě podkladů a metod pro tvorbu nových koncepcí nočního provozu městské hromadné dopravy v Olomouci. V úvodu této kapitoly jsou popsány jednotlivé datové vrstvy, které tvoří základní vstupy pro následné analytické i návrhové kroky. Konkrétně se jedná o vytvoření vrstvy základních sídelních jednotek (ZSJ), datové vrstvy zastávek veřejné dopravy a vrstvy silniční sítě, která byla následně převedena do podoby grafu pro síťovou analýzu.

Následující část podkapitoly se zaměřuje na tvorbu tabulky priorit jednotlivých lokalit. Vysvětlen je zde způsob přiřazení váhy jednotlivým ZSJ na základě počtu obyvatel a prostorové analýzy s cílem zohlednit hustotu osídlení a přítomnost zastávek v okolí. Tento výstup pak tvoří základ pro rozhodovací proces při generování tras nočních linek.

2.1.1 Vytvoření datové vrstvy s hustotou obyvatel

Pro účely dalšího plánování tras nočních linek městské hromadné dopravy (MHD) v Olomouci bylo rozhodnuto využít základní sídelní jednotky (ZSJ) jako klíčovou geografickou jednotku pro analýzu a optimalizaci prostorového pokrytí jednotlivých částí města. ZSJ představují nejmenší administrativně definované územní celky, které se v České republice standardně využívají pro statistické a plánovací účely. Každá ZSJ zahrnuje ucelenou část zástavby, jež je z hlediska urbanistického a funkčního uspořádání homogenní. Tento fakt umožňuje detailní analýzu prostorového rozložení obyvatelstva a jejich dopravních potřeb (11).

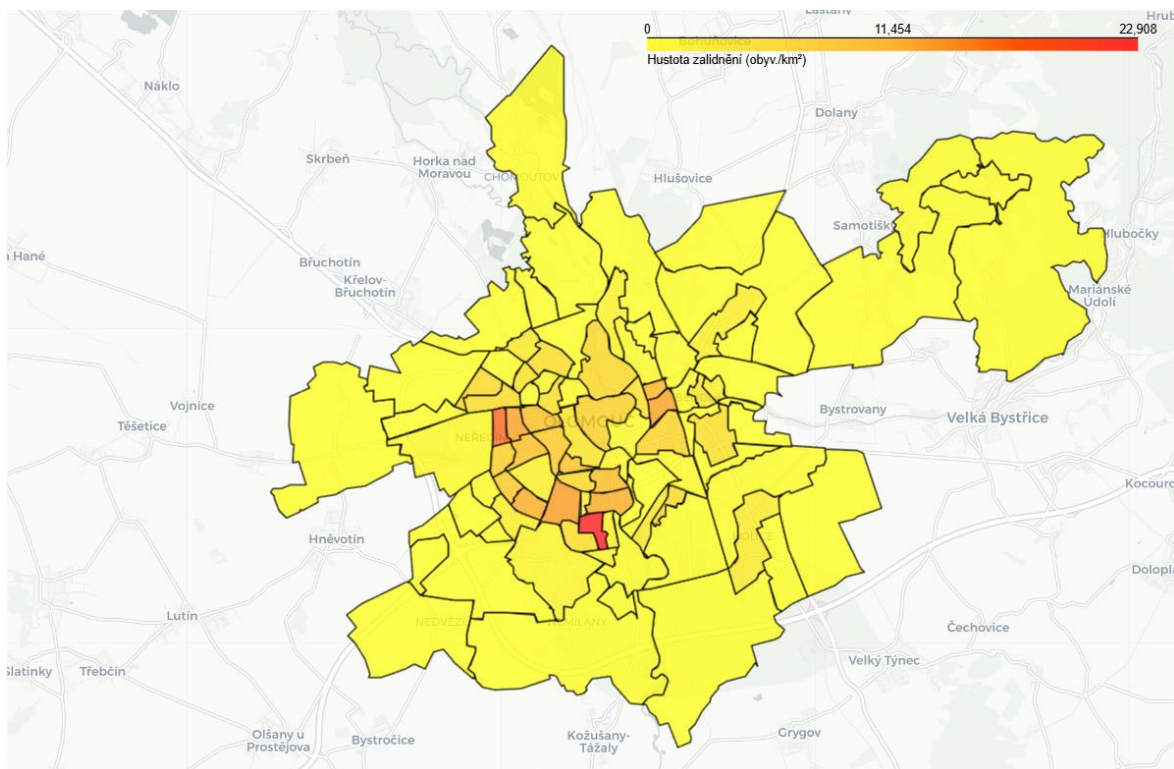
Geografická data o ZSJ byla získána z veřejně dostupných databází. Před samotným využitím dat bylo nezbytné provést jejich úpravu a převod do jednotného souřadnicového systému. Vstupní shapefile soubory obsahovaly geometrii jednotlivých ZSJ, avšak bylo nutné provést jejich konverzi do systému WGS 84 (EPSG:4326), který je kompatibilní s dalšími geografickými daty, zejména s podklady OpenStreetMap a silniční sítí využívanou pro síťovou analýzu. Tato transformace umožnila přesnou identifikaci území, kterými jednotlivé linky procházejí. Skript pro vykreslení včetně popisu je v příloze B.

Vedle prostorových dat byla využita i demografická data, konkrétně počty obyvatel v jednotlivých ZSJ, které byly získány ze Sčítání lidu, domů a bytů. Tyto údaje byly k dispozici ve formátu tabulkových dat a bylo třeba je propojit s geografickými daty prostřednictvím názvu sídelní jednotky jako unikátního identifikátoru. Pro zajištění bezchybného propojení bylo nutné sjednotit názvosloví, odstranit diakritiku a standardizovat textový formát názvů (10).

Na základě takto propojených dat byla provedena prostorová analýza dostupnosti noční dopravy. Tato analýza umožnila určit, které ZSJ jsou efektivně obslouženy stávající sítí nočních linek, a které naopak zůstávají nedostatečně pokryty. Identifikované oblasti s vyšší hustotou

obyvatel, které postrádaly přímý přístup k noční dopravě, byly následně zohledněny při návrhu nových tras. Tato metodika umožnila nejen optimalizaci vedení linek, ale také kvantifikaci počtu obyvatel s přímým přístupem k noční MHD, což přispělo k objektivnímu hodnocení účinnosti jednotlivých variant řešení.

Výsledkem tohoto postupu je interaktivní databáze a mapa ZSJ včetně přiřazených zastávek. Podrobný popis použitého skriptu je uveden v příloze B, grafické znázornění výsledků je zobrazeno na obrázku číslo 6.



Obrázek 6 Hustota zalidnění základních sídelních jednotek

Zdroj: autor dle (8, 11, 13)

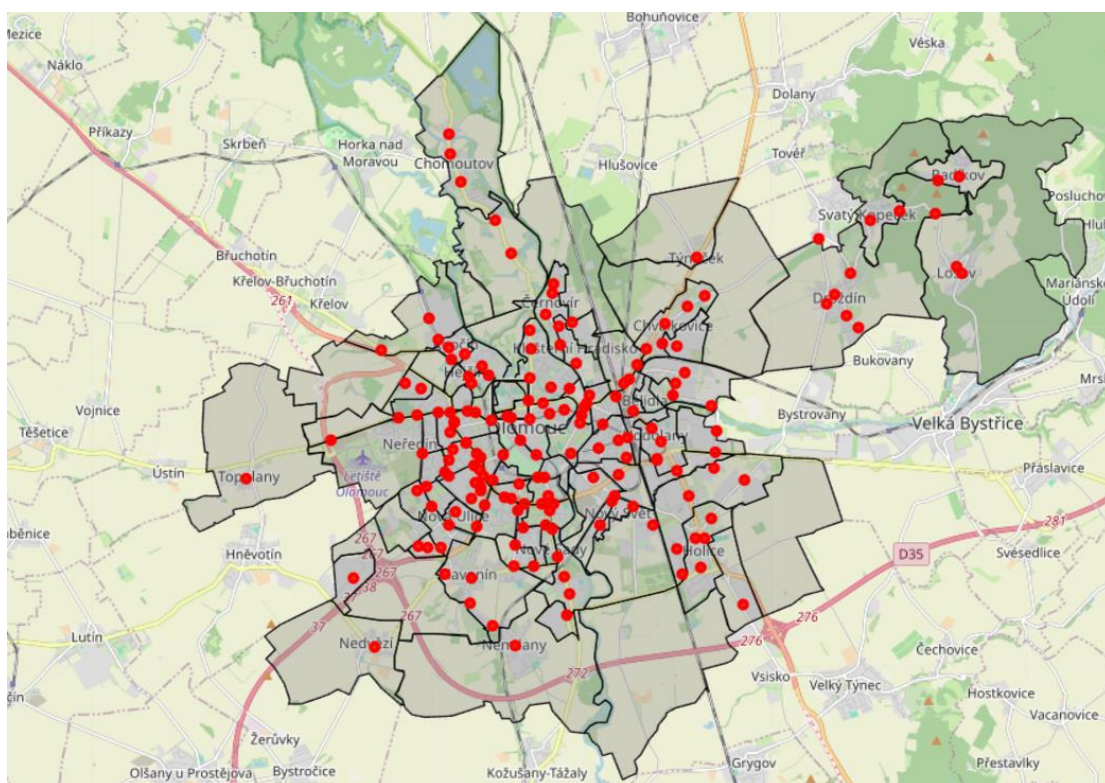
2.1.2 Vytvoření vrstvy zastávek

Při práci s databází základních sídelních jednotek (ZSJ) se autor zaměřil na jejich propojení se zastávkami městské hromadné dopravy (MHD), aby mohla být analyzována dostupnost noční dopravy v jednotlivých částech města. V první fázi byla využita databáze OpenStreetMap, která obsahuje rozsáhlé informace o dopravní infrastruktuře, včetně lokalizace zastávek veřejné dopravy. Cílem této analýzy bylo zjistit, zda by tato data bylo možné přímo využít pro účely dané práce.

Během analýzy však byly identifikovány určité nepřesnosti v datech OpenStreetMap – v některých případech chyběly klíčové atributy potřebné k efektivnímu propojení zastávek s administrativními jednotkami. Dále bylo zjištěno, že názvy zastávek nejsou vždy v souladu s oficiálními, což by mohlo vést k chybnému přiřazení nebo k nesprávné interpretaci dostupnosti služeb MHD.

Z těchto důvodů bylo rozhodnuto o manuálním zakreslení zastávek do mapového podkladu. Tento přístup umožnil přesnější a lépe kontrolovaný způsob zpracování dat. Pro editaci a vizualizaci dat byl využit geografický informační systém QGIS. Po vytvoření vrstvy zastávek byla mapa exportována a jednotlivým zastávkám byla přiřazena správná geografická poloha. Následně byly tyto body propojeny s databází ZSJ, čímž bylo dosaženo přesného přiřazení každé zastávky k příslušné sídelní jednotce.

Tento postup vedl k vytvoření spolehlivého a konzistentního datového podkladu, který tvoří základ pro další analýzu a plánování tras noční městské dopravy. Výsledná databáze zastávek je graficky znázorněna na obrázku číslo 7.



Obrázek 7 Zastávky v základních sídelních jednotkách

Zdroj: autor dle (8, 11)

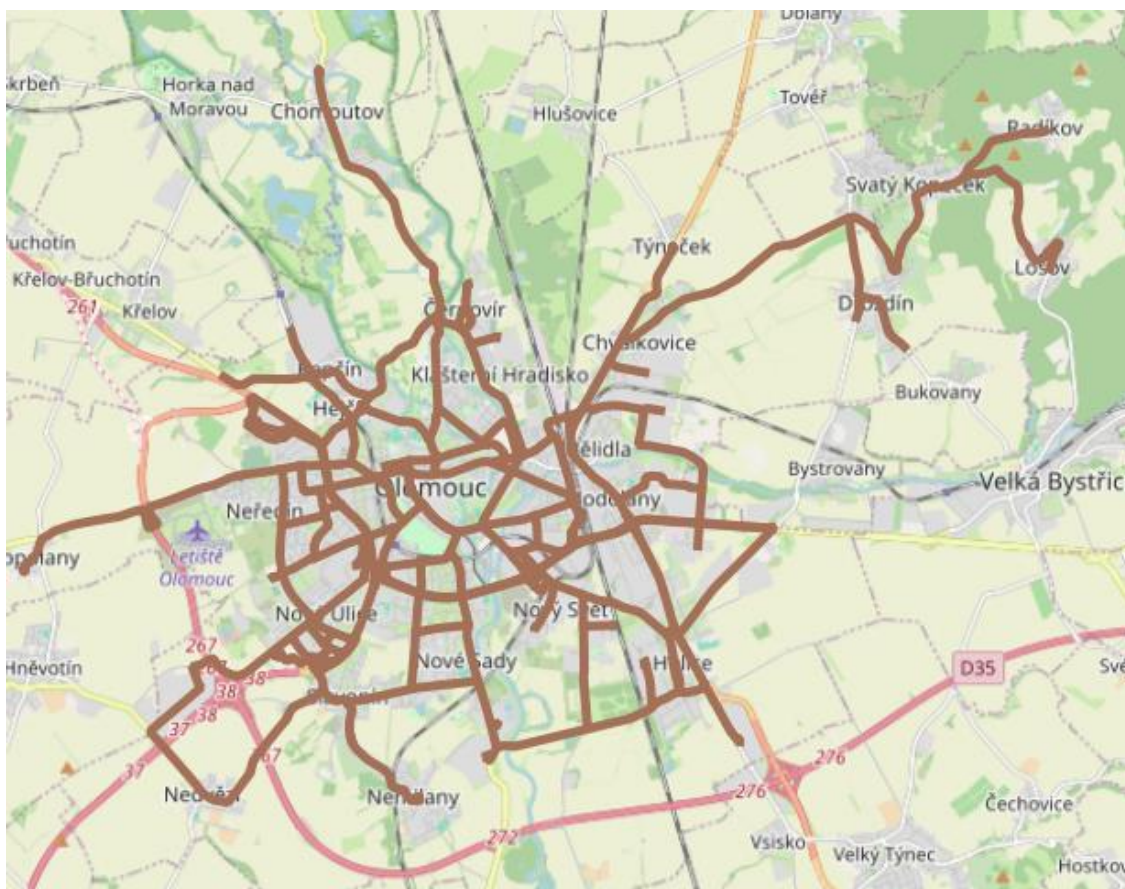
2.1.3 Vytvoření silniční sítě

Pro účely plánování tras noční městské hromadné dopravy bylo nezbytné vytvořit vlastní silniční síť v prostředí programu QGIS. Důvodem tohoto postupu byla skutečnost, že dostupné silniční vrstvy, z databáze OpenStreetMap, sice poskytují rozsáhlá a aktuální data, avšak jejich struktura a definovaná kritéria nejsou vhodná pro trasování vozidel městské hromadné dopravy. Značení přístupnosti, preference tras či další parametry potřebné pro realistické modelování pohybu autobusů v nočním provozu se ukázaly jako nedostatečně spolehlivé a flexibilní. Pokusy o úpravu parametrů těchto vrstev a jejich následné využití v nástrojích pro analýzu tras často vedly

k výsledkům, které neodpovídaly reálnému průběhu linek, nebo vedly mimo komunikace vhodné pro provoz autobusů.

V prostředí QGIS byla proto postupně vytvořena a upravena vlastní vrstva silniční sítě. Ta byla sestavena na základě dostupných datových zdrojů, přičemž klíčovým krokem bylo převedení geometrií z typu „multiline“ na jednotlivé úseky typu „single line segment“. Tento krok byl nezbytný, protože nástroje pro síťovou analýzu – včetně těch využitých následně v prostředí Python a knihovně NetworkX – vyžadují přesně definované hrany mezi jednotlivými uzly dopravní sítě, které nelze efektivně konstruovat ze sloučených liniových objektů. Pomocí nástroje „Explode lines“ byly víceúsekové objekty rozděleny na jednotlivé segmenty, čímž vznikla sada úseků, které bylo možné dále využít pro konstrukci grafové reprezentace dopravní infrastruktury.

Celý proces tvorby sítě zahrnoval také kontrolu topologie, odstranění chybně napojených úseků a následný export výsledné vrstvy do formátu GeoJSON. Takto vytvořená a vyčištěná síť umožnila přesné a transparentní plánování tras noční dopravy, včetně možnosti sledování vzdáleností, penalizace již projetých úseků a optimalizace napojení jednotlivých zastávek. Výsledná silniční síť se tak stala základním stavebním prvkem analytické části návrhu systému noční městské hromadné dopravy. Vytvořená silniční síť je graficky znázorněna na obrázku číslo 8.



Obrázek 8 Silniční síť vhodná pro provoz autobusů

Zdroj: autor dle (8)

2.1.4 Vytvoření matice vzdáleností

Pro účely přesného výpočtu vzdáleností mezi zastávkami městské hromadné dopravy byla vytvořena tzv. matice vzdáleností, která udává nejkratší vzdálenost mezi každou dvojicí zastávek po skutečné silniční síti. Výpočet této matice byl realizován v prostředí programovacího jazyka Python za využití knihoven GeoPandas, NetworkX a Pandas. Vstupními daty byla uživatelsky upravená silniční síť vytvořená v softwaru QGIS a soubor obsahující přesné geografické souřadnice jednotlivých zastávek.

Nejprve byly obě vstupní vrstvy, silniční síť a zastávky, převedeny do jednotného souřadnicového systému EPSG:5514 (S-JTSK), který využívá metrické jednotky. Tento krok byl nezbytný pro zajištění konzistence při výpočtu vzdáleností, které jsou následně vyjádřeny v metrech.

Na základě silniční vrstvy byl pomocí knihovny NetworkX vytvořen topologický graf, ve kterém každý úsek silnice představoval hranu (tj. spojení mezi dvěma uzly) a délka této hrany byla určena jako eukleidovská vzdálenost mezi jejími koncovými body. Tyto hodnoty byly následně přiřazeny jako váhy hran pod klíčem „weight“.

Následně byly jednotlivé zastávky přiřazeny k nejbližším uzlům v grafu silniční sítě. Tento krok zajistil přesné propojení jednotlivých zastávek s konkrétními body dopravní infrastruktury, což umožnilo zahájit výpočet nejkratších tras.

Pro každou dvojici zastávek byla pomocí funkce *shortest_path_length()* určena nejkratší vzdálenost mezi odpovídajícími uzly v grafu. Výpočet probíhal výhradně po definované silniční síti a respektoval topologii i délku jednotlivých úseků. V případech, kdy mezi zastávkami neexistovala žádná dostupná spojnice, byla do matice zapsána hodnota NaN.

Výsledkem byla přehledná tabulka, ve které každý řádek i sloupec reprezentuje konkrétní zastávku a hodnoty v jednotlivých buňkách udávají nejkratší vzdálenost mezi nimi v metrech. Výstup byl uložen ve formátu CSV a slouží jako podklad pro další analýzy, jako jsou posouzení územního pokrytí, optimalizace tras linek nebo výpočty časových nároků na obsluhu jednotlivých částí města.

Velkou výhodou této metodiky je skutečnost, že výpočty nejsou založeny na přímé vzdálenosti „vzdušnou čarou“, ale reflektují reálné možnosti vedení trasy po silniční síti. Díky tomu lépe odpovídají skutečnému provozu městské hromadné dopravy. Výsledná matice vzdáleností má rozměr 168×168 a zahrnuje také specifika jednosměrných komunikací a zastávek, což způsobuje, že není symetrická vzhledem k hlavní diagonále.

Výsledný skript pro generování matice vzdáleností včetně popisu je v příloze C.

2.1.5 Vytvoření tabulky priorit zastávek

Na základě prostorových a demografických dat byla vytvořena tabulka, která přiřazuje jednotlivým zastávkám hodnotu priority. Tento výpočet sloužil jako klíčový podklad pro plánování nočního provozu městské hromadné dopravy v Olomouci. Vytvořená tabulka preferencí zastávek vyjadřuje relativní důležitost každé zastávky z hlediska obsluhovaného počtu obyvatel. Proces byl realizován v prostředí Pythonu, a to kombinací knihoven GeoPandas a Pandas.

Celý postup začal načtením čtyř základních datových vstupů:

- matice vzdáleností mezi zastávkami, která vznikla předchozím zpracováním síťové analýzy nad vlastní silniční sítí,
- souboru zastávek v podobě GeoJSON, ve kterém byly jednotlivé zastávky zakresleny ručně a georeferencovány v QGIS,
- dat o počtu obyvatel v jednotlivých ZSJ, získaných ze Sčítání lidu, domů a bytů z roku 2021, a
- shapefilu ZSJ, který obsahuje hranice základních sídelních jednotek v Olomouci.

Aby bylo možné tato data prostorově kombinovat, bylo nutné nejprve zajistit správné nastavení souřadnicových systémů. Hranice ZSJ i zastávky byly převedeny do jednotného systému EPSG:5514 (S-JTSK), který je v České republice standardem pro přesné prostorové analýzy. V případě chybného nebo nesprávného CRS bylo provedeno jeho doplnění nebo převod.

Po této přípravě následovalo přiřazení každé zastávky k příslušné ZSJ pomocí prostorového spojení (spatial join) na základě relace within – tedy zda zastávka spadá do konkrétní polygonální hranice ZSJ, případně zda se nachází v těsné blízkosti. Následně bylo ke každé zastávce připojeno i číselné vyjádření počtu obyvatel v dané ZSJ, které pocházelo z externího Excelového souboru.

Výsledkem této kombinace bylo, že každá zastávka měla přiřazenu informaci, kolik obyvatel se v jejím bezprostředním okolí nachází. Aby však bylo možné tyto údaje využít pro srovnávání, bylo potřeba je normalizovat – tedy převést na škálu od 0 do 1. To bylo provedeno jednoduchým výpočtem, kde se počet obyvatel v každé ZSJ vydělil nejvyšší zaznamenanou hodnotou v souboru. Výsledná hodnota byla zanesena do nového sloupce s názvem "PRIORITA".

Celý výstup byl následně uložen do CSV souboru. Ten slouží jako základ pro rozhodování, které zastávky jsou z hlediska počtu obsluhovaných obyvatel nejvýznamnější, a tedy které by měly být při plánování noční dopravy upřednostněny.

Tímto postupem bylo možné propojit prostorové a populační informace do jednoho komplexního přehledu, který výrazně zvyšuje efektivitu a objektivitu při návrhu linek MHD.

Celý výsledný skript pro generování tabulky priorit je k dispozici v příloze D, včetně popisu jednotlivých částí.

2.2 Volby metod a mechanismů pro práci s daty

V následujících podkapitolách jsou popsány matematické a algoritmické metody využitě pro návrh tras, včetně prostorové klasifikace území pomocí algoritmu K-means, síťové analýzy založené na výpočtu nejkratších cest a použití penalizačních mechanismů zohledňujících opakovanou obsluhu stejných oblastí. Dále je popsána metodika, podle níž byly posuzovány délky tras a míra jejich obslužnosti vzhledem ke stanoveným prioritám.

Při řešení úlohy návrhu efektivních tras noční městské hromadné dopravy byla snaha o propojení reálných prostorových dat, demografických charakteristik a matematických modelů za účelem optimalizace navrženého systému. V textu jsou uvedeny metody skutečně aplikované při návrhu tras, které lze v budoucnu integrovat i do pokročilejších plánovacích nástrojů.

Zároveň jsou jednotlivé metody pro práci doprovázeny i funkcemi a způsoby využitými přímo ve skriptu pro generování návrhů tras linek. Funkce a metody jsou v Pythonu definovány jako samostatné bloky kódu, které jsou využívány k provedení specifických úloh nebo operací. Tyto konstrukce jsou navrženy tak, aby byla umožněna modularita a opakovatelnost kódu. Funkce jsou vytvářeny pro zpracování vstupních dat a generování výstupu, což umožňuje, aby se opakovaně využíval stejný kód bez nutnosti jeho opakovaného psaní. Metody jsou pak speciální typy funkcí, které jsou vázány na konkrétní objekty nebo třídy, a slouží k manipulaci s daty, která jsou těmito objekty reprezentována. Obě tyto struktury tak přispívají k efektivní správě a organizaci programového kódu, přičemž zajišťují, že kód je přehledný, snadno udržovatelný a opakovaně využitelný.

2.2.1 Dijkstrův algoritmus

Dijkstrův algoritmus je základní metoda pro hledání **nejkratší cesty** v ohodnoceném grafu.

Pro graf $G = (V, E)$, kde V jsou vrcholy a E hrany v s vahami $W(u, v)$, je hledána nejkratší cesta z uzlu $s \in V$ do všech ostatních.

$$d(v) = \min_{cesty\ s \rightarrow v} \sum w(u, v) \quad (2-1)$$

V této práci byl graf vytvořen z vektorové vrstvy silniční sítě, kde jednotlivé uzly představují průsečíky a úseky silnic. Každá hrana grafu nesla váhu odpovídající reálné délce silničního úseku.

Pomocí tohoto algoritmu bylo možné vypočítat:

- nejkratší trasu mezi dvěma zastávkami (příloha A, C),
- celkovou délku celé linky (příloha F),
- a také vzájemné vzdálenosti mezi všemi zastávkami pro účely tvorby matice vzdáleností (příloha C).

Tento algoritmus byl vhodný zejména pro přesné trasování linek po realistické infrastruktuře s ohledem na dostupnost a délku cesty (16).

Na obrázku 9 je ukázka aplikace této metody přímo z autorem vytvořeného skriptu pro návrh tras linek. Kompletní kód je v příloze A.

```
cesta = nx.shortest_path(  
    graf,  
    source=uzel_start,  
    target=uzel_konec,  
    weight=lambda u, v, d: vaha_hrany(u, v, d, pouzite_hrany, penalizace)  
)
```

Obrázek 9 Algoritmus hledání nejkratší cesty

Zdroj: autor

2.2.2 K-means clustering

Pro rozdělení města do oblastí vhodných pro samostatné linky byla využita metoda **K-means** – algoritmus shlukující body do k skupin podle jejich blízkosti ke středu:

Pro množinu bodů $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ hledáme k center μ_1, \dots, μ_k které minimalizují:

$$\sum_{i=1}^k \sum_{x \in C_i} \|x - \mu_i\|^2 \quad (2-2)$$

V praxi bylo X tvořeno souřadnicemi zastávek s nejvyšší prioritou, tedy takových, které se nacházejí v hustě osídlených ZSJ.

Pro rozdělení území města a výběr klíčových oblastí byla využita metoda K-means, což je klasifikační metoda používaná ke shlukování prostorových bodů (např. zastávek) do skupin s podobnými charakteristikami. V kontextu práce:

- každá skupina odpovídá jedné plánované trase,
- metoda pomáhala optimalizovat pokrytí města několika linkami,
- a zajistila, že jednotlivé linky nevedou zbytečně přes stejná místa a pokrývají různé části města.

Na základě tohoto přístupu byl navržen decentralizovaný systém linek, se společným výchozím bodem, které začínaly společně (např. na hlavním nádraží), ale následně se větvaly do různých oblastí města. (19, 20)

Na obrázku číslo 10 je ukázka aplikace této metody přímo z vytvořeného skriptu pro návrh tras linek. Kompletní kód je v příloze A.

```
from sklearn.cluster import KMeans
pocet_shluku = 4
k_means = KMeans(n_clusters=pocet_shluku, random_state=0)
souradnice_zastavek = zastavky_gdf[["x", "y"]].values
k_means.fit(souradnice_zastavek) # provede clustering
zastavky_gdf["primarni_shluk"] = k_means.labels_ # přiřadí výstupní labely ke
každé zastávce
centroidy = k_means.cluster_centers_ # získá souřadnice center shluků
```

Obrázek 10 Ukázka algoritmu K-means

Zdroj: autor

2.2.3 K- means shluky s duálním přiřazením

K-mean rozdělení K shluků. Každá zastávka má primární shluk do kterého náleží (kapitola 2.2.2). Duální shlukování spočívá v přiřazení zastávky více shlukům, na základě vzdálenosti od centriolu, za předpokladu že je vzdálenost menší než δ . Tato funkce má význam v plánování v možnosti vést trasu linky, která primárně obsluhuje jiný shluk po trase náležící jinému shluku. Formálně:

$$shluk_{(i)} = \{c_1\} \cup \{c_2 \text{ pokud } d_{i,c_1} < \delta\} \quad (2-3)$$

kde $d_{i,c}$ je vzdálenost zastávky i od centroidu c .

Při generování linky pro shluk c_i jsou vybrány pouze zastávky, jejichž shluk obsahuje číslo c_i . Tím se hraniční zastávky mohou stát kandidáty pro více linek (19, 20).

Byla implementována funkce *prirad_vice_shluku* (obrázek č. 11), která slouží k přiřazení zastávky do více shluků. Byla provedena analýza vzdáleností mezi zastávkou a centroidy, přičemž pokud byl rozdíl mezi nejmenší a druhou nejmenší vzdáleností menší než prahová hodnota (delta), byla zastávka přiřazena do obou klastrů.

```
delta = 500.0
def prirad_vice_shluku(zastavka, centroidy, delta):
    bod = np.array([zastavka["x"], zastavka["y"]])
    vzdalenosti = np.linalg.norm(centroidy - bod, axis=1)
    serazene_idx = np.argsort(vzdalenosti)
    prirazeni = [int(serazene_idx[0])]
    if len(serazene_idx) > 1 and (vzdalenosti[serazene_idx[1]] -
vzdalenosti[serazene_idx[0]] < delta):
        prirazeni.append(int(serazene_idx[1]))
    return prirazeni
```

Obrázek 11 Ukázka algoritmu duálního přiřazení

Zdroj: autor

Na obrázku číslo 11 je znázorněna aplikace této metody ve zdrojovém kódu pro návrh tras linek z vytvořeného skriptu v programovacím jazyce Python. Celý kód je k dispozici v příloze A.

2.2.4 Penalizace již použitých hran

Aby se trasy linek zbytečně nepřekrývaly, byly hrany grafu penalizovány po jejich použití. Pokud w_{ij} je váha hrany (i, j) , pro projetí se nastaví nová váha

$$w_{ij}^n = w_{ij} \cdot (1 + \alpha \cdot n_{ij}) \quad (2-4)$$

kde n_{ij} je počet použití a α je penalizační faktor.

Aby bylo zajištěno, že linky nebudou jezdit po stejných úsecích silnic, došlo k implementaci jednoduchého systému penalizace již projetých tras. V každé iteraci bylo navýšeno "nákladové ohodnocení" hran v grafu, které již byly využity. Tímto způsobem:

- byla podpořena diverzifikace tras jednotlivých linek,
- a zároveň bylo zachováno realistické trasování po síti, protože stále byl použit Dijkstrův algoritmus s aktualizovanými váhami.

Byla implementována funkce `vaha_hrany`, která vypočítává váhu hrany v grafu. V této funkci byl využit princip, že pokud byla hrana již použita (její dvojice je obsažena v množině použitých hran), byla k základní váze přičtena dodatečná penalizace.

Na obrázku číslo 12 je znázorněna aplikace této metody ve zdrojovém kódu pro návrh tras linek z autorem vytvořeného skriptu v programovacím jazyce Python. Celý kód je k dispozici v příloze A.

```
def vaha_hrany(u, v, data, pouzite_hrany, penalizace):
    zaklad = data["weight"]
    if (u, v) in pouzite_hrany or (v, u) in pouzite_hrany:
        return zaklad + penalizace
    return zaklad
```

Obrázek 12 Ukázka funkce penalizace již projetých hran

Zdroj: autor

2.2.5 Snižování priorit zastávek v okolí již obslužených

Dle vzdálenosti k již obslužené zastávce dochází ke snížení, případně vynulování, priority ostatních zastávek v okruhu 500 metrů. Tato funkce je navržena tak, aby v hustě obydlených oblastech nedocházelo k obsluze všech zastávek v těsné blízkosti, ale pouze vybraných, čímž se zamezí zbytečné duplicitě. Cílem tohoto mechanismu je umožnit efektivní pokrytí co největšího počtu oblastí při omezeném počtu dostupných vozidel.

Byla vytvořena funkce *je_blizko_navstivenych*, která kontroluje, zda kandidátní uzel leží v zadaném okruhu (např. 500 m) od některého z již obslužených uzlů. Tato kontrola byla provedena k zabránění opakovaného výběru zastávek, které jsou geograficky velmi blízko.

Ukázka aplikace této metody přímo ve vytvořeném skriptu pro návrh tras linek je na obrázku číslo 13, celý kód je v příloze A.

```
def je_blizko_navstivenych(uzel_kandidata, navstivene_uzly, prah_okruh=500):
    for uzel_navstiveny in navstivene_uzly:
        vzd = np.linalg.norm(np.array(uzel_kandidata) -
                             np.array(uzel_navstiveny))
        if vzd < prah_okruh:
            return True
    return False
```

Obrázek 13 Ukázka funkce snížení priority v okolí již obslužených zastávek

Zdroj: autor

2.2.6 Výběr kandidátské zastávky na základě priority

Na základě získaných dat o počtu obyvatel jednotlivých základních sídelních jednotek (ZSJ) a izochron dostupnosti ze zastávek byla každé zastávce přiřazena priority v intervalu $\langle 0-1 \rangle$. Cílem tohoto hodnocení bylo zajistit, aby při daných provozních omezeních – zejména počtu dostupných vozidel, počtu řidičů a maximální délky tras – došlo k obsluze zastávek s nejvyšším významem z hlediska dostupnosti veřejné dopravy pro obyvatele.

Ukázka části kódu sloužící pro převod dat o ZSJ a informací ze sčítání lidí domů a bytů na priority zastávek je níže, celý kód je v příloze D.

```
zastavky_zsj["POCET_OBYV"] = pd.to_numeric(zastavky_zsj["POCET_OBYV"],
errors="coerce").fillna(0)

# Výpočet priority zastávek na základě počtu obyvatel (normalizace)
zastavky_zsj["PRIORITA"] = zastavky_zsj["POCET_OBYV"] /
zastavky_zsj["POCET_OBYV"].max()
```

Obrázek 14 Ukázka výběru kandidátské zastávky

Zdroj: autor

2.2.7 Heuristiky s prostorovým omezením

Před přidáním kandidátní zastávky se ověří, zda by se nepřekročil limit D_{\max} . Formálně:

$$d_{u_{jetá}} + d_{kandidát} + d_{zpět} \leq D_{\max} \quad (2-5)$$

kde:

- $d_{u_{jetá}}$ je aktuální délka trasy,
- $d_{kandidát}$ je vzdálenost na kandidátní zastávku,
- $d_{zpět}$ vzdálenost zpět do výchozího uzlu.

Tato podmínka je definována z důvodu aby byla omezena maximální délka linky a tím i maximální cestovní doba a byly obslouženy jen relevantní zastávky náležící danému shluku v rámci K-means. Zároveň při dosažení této podmínky není trasa přímo vrácena do uzlu, ale dochází k jejímu postupnému přibližování, tedy při hledání další vhodné zastávky na základě priority a ostatních omezujících podmínek jsou hledány pouze ty, které jsou blíže k uzlu než zastávka současné, v bodě kdy neexistuje žádná taková vhodná kandidátská zastávka dojde k vrácení trasy linky po nejkratší cestě do uzlu.

Byla implementována funkce *vygeneruj_trasu*, která generuje trasu (linku) vycházející ze společného uzlu a obsluhující zastávky patřící do zadaného shluku (nebo shluků). Ve funkci byly využity metody pro vyhledávání nejkratších cest, kontrola maximální délky trasy a dynamické snižování priority zastávek, které byly již obslouženy.

Ukázka části kódu pro generování trasy linky je znázorněna na obrázku číslo 15. Kompletní kód je k dispozici v příloze A této práce.

```
def vygeneruj_trasu(globalni_df, seznam_shluku, graf, uzel_hub, max_vzdalenost,
pouzite_hrany, penalizace):
    trasa = [uzel_hub]
    navstivene_uzly = set(trasa)
    celkova_vzdalenost = 0
    uzel_aktualni = uzel_hub

    while True:
        maska = globalni_df["shluky"].apply(lambda shl: any(s in shl for s in
seznam_shluku))
        kandidati_df = globalni_df[maska &
(~globalni_df["uzel"].isin(navstivene_uzly))]
        kandidati_df = kandidati_df.sort_values("PRIORITA", ascending=False)

        if kandidati_df.empty:
            break

        for idx_kand in range(len(kandidati_df)):
            kand = kandidati_df.iloc[idx_kand]
            uzel_kandidata = kand["uzel"]

            if je_blizko_navstivenych(uzel_kandidata, navstivene_uzly,
prah_okruh=600):
                globalni_df.loc[kand.name, "PRIORITA"] = 0
                continue

            try:
                cesta_kandidata = nx.shortest_path(
                    graf, source=uzel_aktualni, target=uzel_kandidata,
                    weight=lambda u, v, d: vaha_hrany(u, v, d, pouzite_hrany,
penalizace))
```

```

        vzd_kandidata = sum(
            vaha_hrany(cesta_kandidata[i], cesta_kandidata[i+1],
                graf[cesta_kandidata[i]][cesta_kandidata[i+1]],
                pouzite_hrany, penalizace)
            for i in range(len(cesta_kandidata)-1))
    except nx.NetworkXNoPath:
        continue

    try:
        cesta_zpet = nx.shortest_path(
            graf, source=uzel_kandidata, target=uzel_hub,
            weight=lambda u, v, d: vaha_hrany(u, v, d, pouzite_hrany,
penalizace))
        vzd_zpet = sum(
            vaha_hrany(cesta_zpet[i], cesta_zpet[i+1],
                graf[cesta_zpet[i]][cesta_zpet[i+1]],
                pouzite_hrany, penalizace)
            for i in range(len(cesta_zpet)-1))
    except nx.NetworkXNoPath:
        continue

    if celkova_vzdalenost + vzd_kandidata + vzd_zpet > max_vzdalenost:
        continue

    nalezena_zastavka = kand
    nalezena_cesta_dalsi = cesta_kandidata
    nalezena_cesta_vzd = vzd_kandidata
    nalezena_cesta_zpet = vzd_zpet
    break

    if nalezena_zastavka is None:
        break

    trasa.extend(nalezena_cesta_dalsi[1:])
    celkova_vzdalenost += nalezena_cesta_vzd
    navstivene_uzly.update(nalezena_cesta_dalsi)
    uzel_aktualni = nalezena_zastavka["uzel"]
    globalni_df.loc[nalezena_zastavka.name, "PRIORITA"] = 0

    if uzel_aktualni != uzel_hub:
        try:
            cesta_navrat = nx.shortest_path(
                graf, source=uzel_aktualni, target=uzel_hub,
                weight=lambda u, v, d: vaha_hrany(u, v, d, pouzite_hrany,
penalizace))
            vzd_navrat = sum(
                vaha_hrany(cesta_navrat[i], cesta_navrat[i+1],
                    graf[cesta_navrat[i]][cesta_navrat[i+1]],
                    pouzite_hrany, penalizace)

```

```

        for i in range(len(cesta_navrat)-1)
        if celkova_vzdalenost + vzd_navrat <= max_vzdalenost:
            celkova_vzdalenost += vzd_navrat
            trasa.extend(cesta_navrat[1:])
    except nx.NetworkXNoPath:
        pass

    return trasa, celkova_vzdalenost

```

Obrázek 15 Algoritmus pro generování tras linek

zdroj: autor

2.2.8 Hledání nejbližšího uzlu

Byla implementována funkce *najdi_nejblizsi_uzel*, která slouží k vyhledání nejbližšího uzlu v grafu ke konkrétnímu geometrickému bodu. V této funkci byly vypočítávány eukleidovské vzdálenosti a byl vybrán uzel s minimální vzdáleností. Tato funkce je využita ve všech skriptech které pracují se silniční sítí a zastávkami, konkrétní definice funkce je na obrázku číslo 16.

```

def najdi_nejblizsi_uzel(graf, bod):
    min_vzd = float("inf")
    nejblizsi = None
    bx, by = bod.x, bod.y
    for uzel in graf.nodes:
        d = np.linalg.norm(np.array(uzel) - np.array([bx, by]))
        if d < min_vzd:
            min_vzd = d
            nejblizsi = uzel
    return nejblizsi

```

Obrázek 16 Ukázka funkce pro hledání nejbližšího uzlu

zdroj: autor

2.3 Použité knihovny

Knihovny v Pythonu jsou definovány jako kolekce předem napsaného kódu, který je určen k opakovanému využití. Jsou vytvářeny a udržovány komunitou nebo organizacemi a následně jsou importovány do projektů, aby byly využity jejich funkce a nástroje. Díky nim je umožněno, aby byla práce s různými úlohami – jako je zpracování dat, matematické výpočty, grafické vizualizace či strojové učení – provedena efektivněji a rychleji, protože nebylo nutné vyvíjet řešení od nuly.

2.3.1 Knihovna os

Byla použita knihovna *os*, která umožňuje správu souborového systému. V kódu bylo například využito ověřování existence souborů před jejich načtením.

2.3.2 Knihovna GeoPandas

Byla využita knihovna GeoPandas pro práci s prostorovými daty. Data byla načtena ze souborů ve formátu GeoJSON a byla převedena do prostorového datového rámce (GeoDataFrame). Byla provedena transformace souřadnicového systému na EPSG:5514 (S-JTSK – metry) dále došlo k využití funkce pro slučování dat (merge) mezi GeoDataFrame a standardním DataFrame (21).

2.3.3 Knihovna NetworkX

Byla použita knihovna NetworkX pro práci s grafy a sítěmi. Silniční síť byla převedena do grafové struktury, ve které byly uzly reprezentovány body a hrany byly doplněny o váhy (vzdálenosti). Současně došlo k využití funkce pro vyhledávání nejkratších cest, což umožnilo generování tras mezi zastávkami (22).

2.3.4 Knihovna Pandas

Modul Pandas byl použit pro práci s tabulkovými daty. Byly načteny tabulky s prioritami zastávek, které byly následně sloučeny s geoprostorovými daty. Data byla dále řazena a filtrovaná pomocí metod, které umožnily dynamickou úpravu sloupce s prioritou (21).

2.3.5 Knihovna Numpy

Byla využita knihovna Numpy, která poskytuje funkce pro numerické výpočty s poli a maticemi. Pomocí ní byly vypočítávány vzdálenosti mezi body, což je nezbytné při transformaci geometrických dat a při výpočtech v rámci shlukové analýzy (23).

2.3.6 Knihovna Matplotlib

Pro vizualizaci výsledků byla použita knihovna Matplotlib. Bylo provedeno vykreslení silniční sítě, zastávek, generovaných tras a dalších geometrických objektů do grafu (24).

2.3.7 Knihovna Sklearn.cluster (KMeans)

Z modulu Sklearn.cluster byl využit algoritmus KMeans. Byla provedena shluková analýza zastávek, přičemž byly získány centroidy a primární přiřazení zastávek do klastrů. Tato informace byla dále využita při duálním přiřazení zastávek do více klastrů (25).

2.4 Varianty návrhu nočních linek

Na základě vytvořených skriptů v programovacím jazyce Python byly navrženy různé varianty obsluhy noční městské hromadné dopravy v Olomouci. V rámci této práce bylo vypracováno několik přístupů, které využívaly metody prostorové analýzy, optimalizace tras

a shlukové analýzy. Jednotlivé návrhy byly následně porovnány s cílem identifikovat variantu, která nejlépe odpovídá požadavkům a specifikům městské noční dopravy.

Jedna skupina návrhů vychází ze současného systému noční dopravy v Olomouci. Za hlavní přestupní uzel byla v této variantě považována zastávka „Hlavní nádraží“, která sloužila jako výchozí i cílový bod navrhovaných tras. V algoritmu byly implementovány metody umožňující generování tras na základě existující silniční sítě, přičemž se zohledňovaly priority jednotlivých zastávek. Dále byly aplikovány postupy pro výpočet nejkratších cest a dynamické snižování priorit již obslužených oblastí. Výsledný návrh tak zohledňoval reálnou strukturu současného systému a provozní podmínky města.

Druhá část návrhů se zakládala na konceptu dominantního přestupního uzlu, a to podle tzv. Lindau modelu, podrobně je tento systém popsán v kapitole H. V tomto případě byla jako centrální bod zvolena zastávka „Tržnice“ a pro srovnání „Hlavní nádraží“. Přičemž Tržnice byla identifikována jako strategické místo v rámci městské struktury. Pro tvorbu tras byly využity pokročilé metody shlukové analýzy, včetně duálního přiřazení zastávek do více shluků. Tento přístup umožnil větší flexibilitu při návrhu tras a umožnil optimalizovat pokrytí území za současného zohlednění omezených provozních zdrojů.

Výsledkem této fáze práce bylo vytvoření dvou základních systémů – jeden vycházející ze současného systému s centrálním uzlem na „Hlavním nádraží“ a druhý se středem v oblasti „Tržnice“. Oba modely byly implementovány v prostředí jazyka Python a jejich funkčnost byla ověřena pomocí simulací v reálných podmínkách města Olomouce.

2.4.1 Varianta Rozjezdy Tržnice

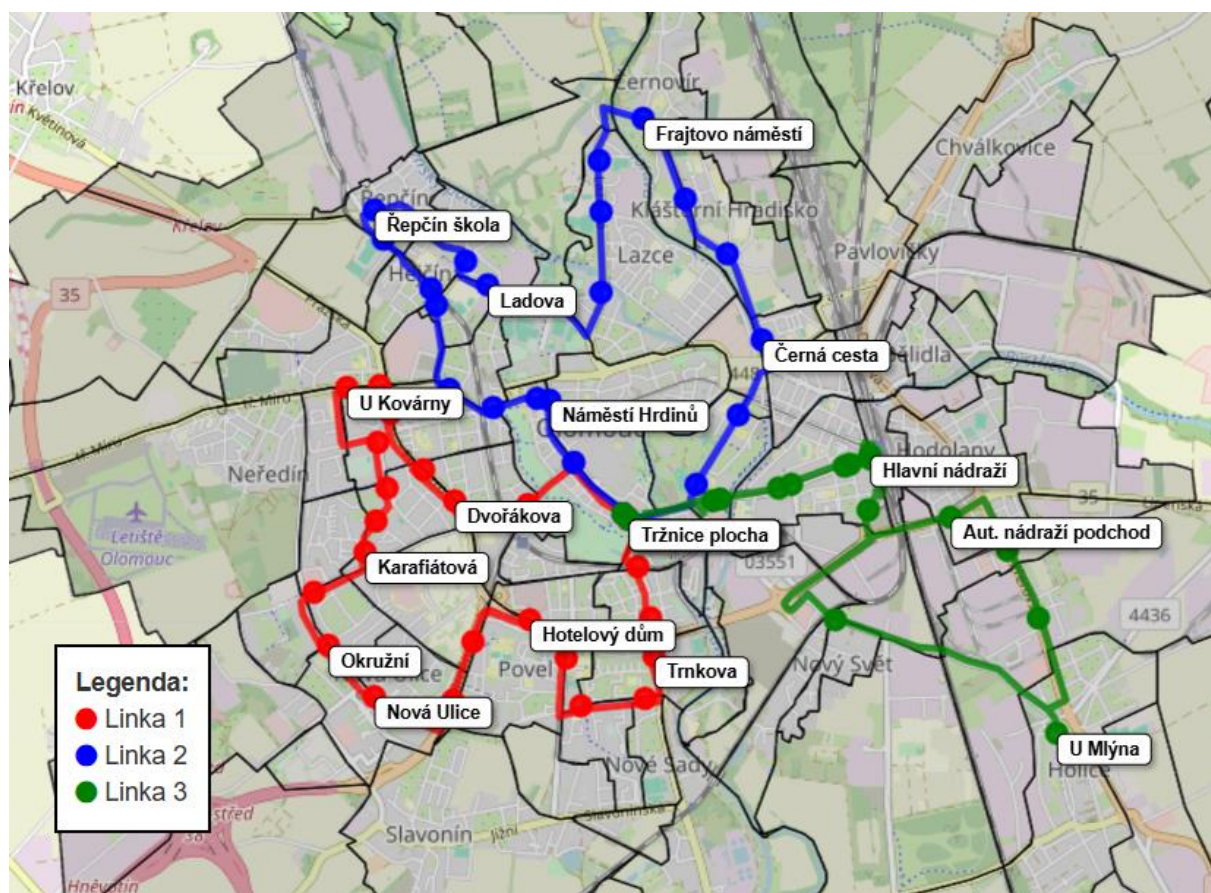
Na základě tzv. Lindau modelu, jehož koncepce včetně vývoje je popsána v příloze H, byla navržena varianta noční městské hromadné dopravy, v níž byl společný přestupní uzel umístěn do prostoru Tržnice. Z tohoto centrálního bodu byly navrženy tři samostatné linky, přičemž každá z nich byla koncipována tak, aby její celková délka byla přibližně 10 kilometrů. Tento přístup byl zvolen s ohledem na efektivní pokrytí území města a zároveň s cílem umožnit návrat všech spojů zpět do centrálního uzlu.

Při tvorbě této koncepce byla využita reálná data o poloze zastávek a struktuře silniční sítě. Pro výpočet tras došlo k aplikování algoritmů pro hledání nejkratších cest, které zohledňují skutečnou topologii dopravní infrastruktury.

Celkem byly navrženy tři linky vycházející z centrálního uzlu Tržnice, přičemž každá z nich je koncipována jako polookružní, s návratem zpět do výchozího bodu. Návrh tras byl realizován s využitím moderních programovacích nástrojů a algoritmických metod, které

umožnily optimalizovat vedení linek s ohledem na prostorovou strukturu města a specifické požadavky nočního provozu v Olomouci.

Navržené vedení nočních linek městské hromadné dopravy v Olomouci umožňuje rozsáhlé prostorové pokrytí území města s pravidelným intervalem 30 minut, přičemž zároveň bylo dosaženo akceptovatelných cestovních dob. Doba jízdy jednoho spoje u všech tří linek nepřesahuje 30 minut, konkrétně činí u linky č. 1 přibližně 26 minut, u linky č. 2 přibližně 24 minut a u linky č. 3 zhruba 25 minut. Vyrovnanost délky spojů je v tomto případě klíčovým předpokladem pro efektivní fungování celého systému, který je založen na principech tzv. Lindau modelu (viz příloha H). Navržené linkové vedení této varianty je znázorněno na obrázku číslo 17.



Obrázek 17 Schéma tras linek varianta Rozjezdy Tržnice

zdroj: autor dle (8, 11)

Z hlediska obslužnosti jednotlivých linek, linka č. 1 pokrývá celkem 21 základních sídelních jednotek (ZSJ) z celkového počtu 92. Jedná se především o hustě osídlené oblasti s převahou panelové zástavby. Celkový počet obyvatel v těchto obsluhovaných ZSJ činí 51 472, což odpovídá přibližně 49 % populace města. Linka č. 2 zasahuje do 19 ZSJ s celkovým počtem 28 281 obyvatel, tedy přibližně 27 % obyvatel města. Nižší hodnota je způsobena skutečností, že linka primárně zajišťuje obslužnost starší městskou zástavbu s nižší hustotou

obyvatelstva, přičemž její hlavní funkcí je zajištění svozu cestujících z historického centra směrem k přestupnímu bodu Tržnice. Linka č. 3 je navržena s důrazem na zajištění návaznosti na odjezdy vlakových a dálkových autobusových spojů. Současně obsluhuje městskou část Holice, oblasti s nižší hustotou osídlení v okolí průmyslových zón a také část Nový Svět. Celkově tato linka pokrývá oblasti s 19 358 obyvateli, což představuje přibližně 18 % obyvatel města Olomouce.

Po odstranění vzájemných překryvů mezi jednotlivými linkami a sjednocení obsluhovaných ZSJ do množiny bylo zjištěno, že navržený systém celkově obsluhuje 47 základních sídelních jednotek s celkovým počtem 82 288 obyvatel, což odpovídá přibližně 78 % populace města. Oproti současnému systému, v němž některé části města jsou během celé noční provozní doby obslouženy pouze jedním spojem, představuje navržená koncepce výrazné zlepšení. Pravidelné 30minutové intervaly, rozšířená prostorová obslužnost a lepší přestupní vazby na železniční a dálkovou autobusovou dopravu přispívají k celkovému zvýšení atraktivity a funkčnosti nočního provozu MHD v Olomouci. Pro přehlednost jsou tyto informace zpracovány v tabulce číslo 6. Skript pro získání informací o počtu obyvatel na trase linky je umístěn v příloze G.

Tabulka 6 Počet obslužených osob varianta Tržnice

Linka	Počet ZSJ	Počet obyvatel	Podíl na populaci [%]
Linka 1	21	51472	49
Linka 2	19	28281	27
Linka 3	17	19358	18
Sjednoceno	47	82288	78
Současný stav	40	70163	66

Zdroj: autor dle (9, 13)

Společné rozjezdy všech tří linek jsou naplánovány na 8. a 38. minutu každé hodiny, první rozjezd probíhá v 0:08 a poslední ve 3:38. Nad rámec těchto pravidelných spojů byly přidány spoje linky 3 ve 23:38 a 4:08. Tyto doplňkové spoje zajišťují návaznost na večerní příjezdy a ranní odjezdy vlakových a dálkových autobusových spojů. Spoj ve 23:38 navazuje na ukončující se denní provoz a není třeba v této době zajišťovat návaznost ostatních nočních linek. Spoj ve 3:38 je zkrácený (Tržnice – Hlavní nádraží) a je navržen pro zachycení odjezdů prvních ranních osobních vlaků (v rozmezí 3:50–4:30), kdy již postupně začíná denní provoz MHD. Navržený jízdní řád pro tuto variantu je v příloze I.

Z hlediska provozních parametrů je délka jedné trasy linky č. 1 stanovena na 9,01 km, přičemž celková vzdálenost ujetá všemi spoji této linky za jeden provozní den činí 72,08 km. Linka

č. 2 má délku spoje 7,43 km a celkový denní výkon všech spojů dosahuje 59,44 km. V případě linky č. 3 činí délka jedné trasy 8,03 km, přičemž je do systému zařazen také zkrácený spoj o délce 1,09 km. Celkový denní výkon linky č. 3 pak činí 73,36 km. Souhrnně tak všechny noční linky v rámci této varianty urazí během jednoho dne celkem 204,88 km.

Při zohlednění průměrných provozních nákladů stanovených ve výroční zprávě Dopravního podniku města Olomouce za rok 2023, které činí 68,52 Kč na jeden ujetý kilometr, byly vypočteny následující náklady: Pro linku č. 1 vycházejí náklady na jeden spoj na 617 Kč, celkové denní náklady tak činí 4 938 Kč. U linky č. 2 jsou náklady na jeden spoj 509 Kč, což při daném počtu spojů představuje denní náklady ve výši 4 073 Kč. Linka č. 3 generuje náklady ve výši 550 Kč na běžný spoj, přičemž zkrácený spoj je vyčíslen na 75 Kč. Celkové denní náklady této linky tedy činí 5 027 Kč (18).

Celkové denní náklady systému v této variantě dosahují výše 14 038 Kč. Přestože se jedná o navýšení oproti současnému systému, jehož denní náklady činí 6 717 Kč, je toto navýšení kompenzováno výrazným rozšířením pokrytí území, zajištěním pravidelných 30minutových intervalů a snížením průměrné periody obsluhy z 84 na 30 minut. Výsledkem je tak výrazné zlepšení dostupnosti veřejné dopravy pro většinu obyvatel města Olomouce (18).

Předpokládané náklady a vzdálenosti ujeté spoji jednotlivých linek jsou znázorněny v tabulce číslo 7. Celková délka linky byla zjištěna pomocí skriptu v příloze F.

Tabulka 7 Ujeté kilometry a náklady varianta Tržnice

Linka	Délka spoje [km]	Denní vzdálenost [km]	Náklady na spoj [Kč]	Denní náklady [Kč]
Linka 1	9.01	72.08	617.0	4938
Linka 2	7.43	59.44	509.0	4073
Linka 3	8.03 / 1.09	73.36	550.0 / 75.0	5027
Sjednoceno		204.88		14038
Současný stav	-	98.03	-	6717

Zdroj: autor dle (18)

Navržené jízdny řády pro tuto variantu jsou v příloze I.

2.4.2 Varianta Rozjezdy Hlavní nádraží

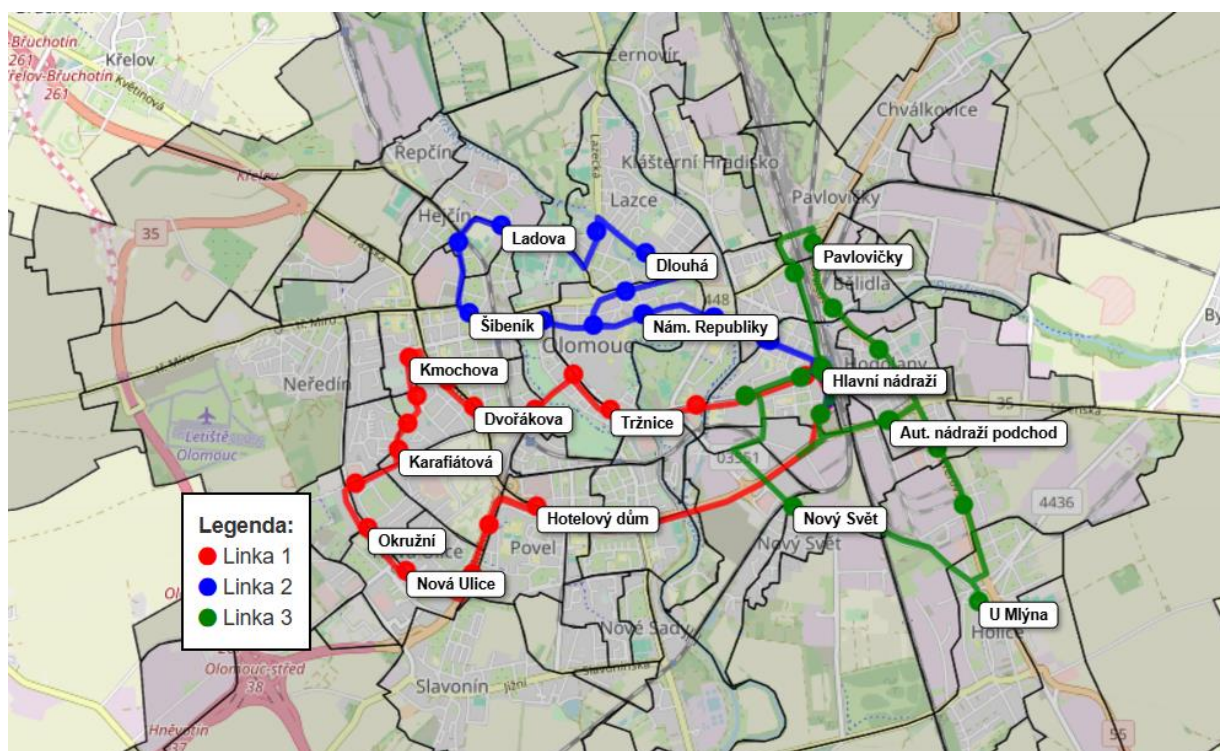
V rámci navrhovaných variant noční městské hromadné dopravy byla vytvořena také alternativa, která zachovává tradiční postavení hlavního uzlu v prostoru Hlavního nádraží v Olomouci. Ačkoli tato poloha z hlediska geografie neodpovídá ideálnímu umístění centrálního přestupního bodu dle principů Lindau modelu, jeho fungování je popsáno v příloze H, neboť se nachází mimo nejhustěji osídlené části města, byla tato varianta zvolena především s ohledem

na zachování přímé návaznosti na noční vlakové spoje bez nutnosti přestupu a na zajištění dostupnosti klíčové dopravní infrastruktury, zejména autobusového nádraží a jeho okolí.

Na základě této koncepce byly navrženy tři samostatné linky, jejichž trasy byly určeny pomocí metody K-means, sloužící k prostorovému rozdělení města do oblastí s obdobným charakterem dopravní poptávky. Délka jednotlivých tras byla omezena přibližně na 10 kilometrů, přičemž klíčovým kritériem při jejich návrhu byla snaha o maximální obsluhu zastávek v oblastech s vyšší hustotou obyvatelstva. Priorita jednotlivých zastávek byla stanovena na základě počtu obyvatel připadajících na příslušné základní sídelní jednotky (ZSJ). Algoritmus zároveň zohledňoval, zda již daná oblast byla obsloužena jinou linkou, aby nedocházelo k neefektivnímu překryvu.

Tato varianta představuje kompromis mezi snahou o efektivní pokrytí města noční dopravou a potřebou zachovat integraci s nadregionální dopravou. Současně rozšiřuje dostupnost veřejné dopravy o další významné městské lokality a přispívá k celkovému zvýšení kvality noční obslužnosti území.

Navržené linkové vedení je zobrazeno na obrázku číslo 18.



Obrázek 18 Schéma tras linek varianta Rozjezdy Hlavní nádraží

zdroj: autor dle (8, 11)

V rámci této varianty byly navrženy tři linky, jejichž trasy byly oproti výstupům z optimalizačních metod mírně upraveny tak, aby bylo dosaženo podobných jízdních dob na všech linkách a umožněna efektivní přestupní vazba na Hlavním nádraží. Délka spojů činí u linky č. 1 přibližně 27 minut, u linek č. 2 a č. 3 shodně 26 minut. Jízdní řád této varianty je v příloze J. Jak

již bylo naznačeno, výhodou této varianty je možnost přímého spojení významné části města s Hlavním nádražím bez nutnosti přestupu. Současně byla snaha vést trasy linek č. 1 a č. 2 přes centrum města, aby cestující směřující z centra do okrajových oblastí nebyli nuceni cestovat přes přestupní uzel.

Oproti variantě s centrálním bodem na Tržnici nebylo v tomto případě možné zajistit tak rozsáhlé pokrytí městských částí. Aby byla zachována akceptovatelná délka spojů, bylo nutné omezit obsluhu vzdálenějších částí města, zejména oblastí Lazce, Řepčín, Tabulový vrch, Nové Sady a Povel. Ačkoli tyto části nejsou obsluhovány přímo, některé z nich jsou pokryty alespoň částečně prostřednictvím periferních zastávek na hlavních komunikacích. Naopak díky poloze Hlavního nádraží bylo možné do systému zapojit části Bělidla a Pavlovičky (obsluhované linkou č. 3), které v předchozí variantě s výchozím bodem na Tržnici obslouženy nebyly.

Linky č. 1 a č. 2 jsou navrženy jako polookružní, zatímco linka č. 3 má trasu ve tvaru osmičky. Tato konfigurace umožňuje, aby byla autobusová stanice obslužena dvakrát v rámci jednoho spoje, což zvyšuje komfort cestujících – ti mohou být dovezeni s dostatečným předstihem k odjezdům dálkových spojů, a zároveň je zajištěn časový prostor pro přestup cestujících přijíždějících do města.

Z hlediska obsluženého území linka č. 1 pokrývá 19 základních sídelních jednotek (ZSJ) z celkových 92. Počet obyvatel v těchto ZSJ činí 43 742, což odpovídá 41 % populace města. Tato linka prochází převážně hustě osídlenými oblastmi panelové zástavby. Linka č. 2 obsluhuje 14 ZSJ s celkovým počtem 24 736 obyvatel (23 % populace), což je způsobeno především vedením linky přes starší zástavbu s nižší hustotou osídlení a nutností jejího vedení centrem města. Linka č. 3 pokrývá 13 ZSJ, ve kterých žije 16 904 obyvatel (16 % populace). Nižší počet je dán průjezdem přes průmyslovými a řídce osídlenými oblastmi mezi centrem a sídlišti v Holici a Novém Světě.

Celkově tato varianta obsluhuje 39 ZSJ s populací 66 807 obyvatel, což představuje 63 % celkové populace města. Všechny tyto oblasti jsou obsluženy v pravidelném 30minutovém intervalu. Oproti stávajícímu systému, ve kterém je průměrná perioda obsluhy 84 minut, se tedy jedná o výrazné zlepšení dostupnosti. Pro přehlednost jsou informace o obslužených obyvatelích a počtech ZSJ znázorněny v tabulce číslo 8. Skript pro získání informací o počtu obyvatel na trase linky je umístěn v příloze G.

Tabulka 8 Počet obslužených osob varianta Hlavní nádraží

Linka	Počet ZSJ	Počet obyvatel	Podíl na populaci [%]
Linka 1	19	43742	41
Linka 2	14	24736	23
Linka 3	13	16904	16
Sjednoceno	39	66807	63
Současný stav	40	70163	66

Zdroj: autor dle (11, 13)

Délky jednotlivých linek v rámci této varianty se pohybují v rozmezí 9 až 13 kilometrů. Linka č. 1 dosahuje délky 11,97 km, přičemž celková vzdálenost ujetá všemi spoji této linky během jednoho dne činí 95,76 km. Linka č. 2 má délku základního spoje 9,17 km a její zkrácený spoj, navazující na poslední denní tramvajové spoje na Náměstí Hrdinů, měří 2,38 km. Celková vzdálenost ujetá všemi spoji linky č. 2 činí 75,74 km. Linka č. 3, která je nejdelší z navržených linek, má délku jednoho spoje 12,67 km a celkový dopravní výkon této linky dosahuje 101,36 km.

Souhrnně bylo v rámci celé varianty během jednoho provozního dne ujetu celkem 272,86 km.

Z hlediska provozních nákladů, na základě údajů uvedených ve výroční zprávě Dopravního podniku města Olomouce, činí náklady na provoz linky č. 1 částku 820 Kč za jeden spoj, což představuje celkové denní náklady ve výši 6 561 Kč. U linky č. 2 se náklady na jeden spoj pohybují na úrovni 628 Kč, přičemž zkrácený spoj vychází na 163 Kč. Celkové denní náklady této linky tak činí 5 190 Kč. Provoz linky č. 3 generuje náklady ve výši 868 Kč za spoj, s celkovými denními náklady ve výši 6 945 Kč (18).

Celkové denní náklady na provoz celého systému v této variantě dosahují částky 18 696 Kč. Informace o nákladech a ujetých kilometrech spoji jednotlivých linek je zpracována v tabulce číslo 9. Celková délka linky byla zjištěna pomocí skriptu v příloze F.

Tabulka 9 Ujeté kilometry a náklady varianta Hlavní nádraží

Linka	Délka spoje [km]	Denní vzdálenost [km]	Náklady na spoj [Kč]	Denní náklady [Kč]
Linka 1	11.97	95.76	820	6561
Linka 2	9.17 / 2.38	75.74	628 / 163	5190
Linka 3	12.67	101.36	868	6945
Sjednoceno		272.86		18696
Současný stav	-	98.03	-	6717

Zdroj: autor dle (18)

Navržení jízdní řády pro tento systém jsou v příloze J.

2.4.3 Varianta využití tramvajového subsystému

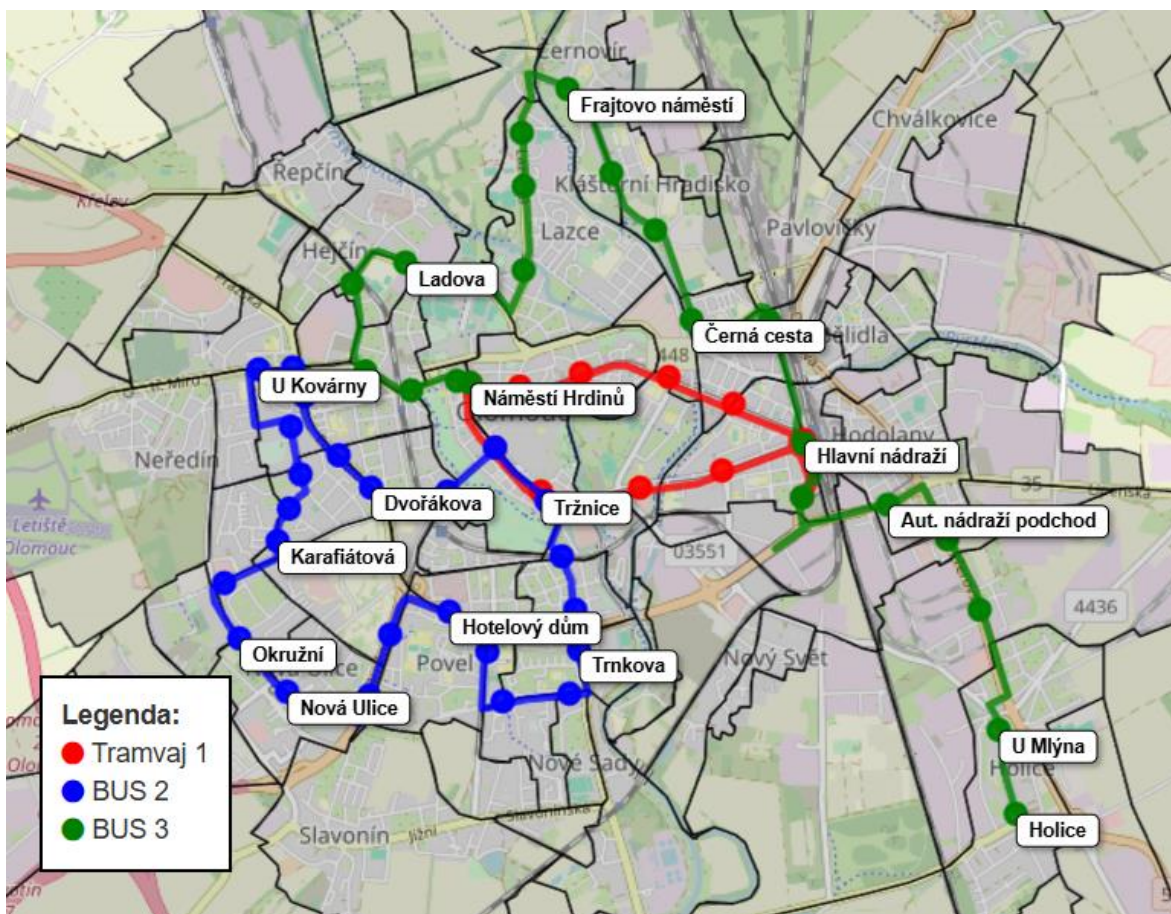
Tato varianta navrženého systému noční městské hromadné dopravy v Olomouci je koncipována jako vícesložkový systém, který využívá různé subsystémy MHD – konkrétně autobusovou a tramvajovou dopravu. Klíčovou změnou oproti předchozím variantám je zavedení okružní tramvajové linky, jež tvoří páteř celého systému. Tato linka propojuje hlavní dopravní uzly ve městě a slouží jako centrální prvek, na nějž jsou napojeny autobusové spoje z různých částí Olomouce, a to v závislosti na jejich poloze a potřebě efektivního připojení k základní síti noční dopravy.

Tramvajová linka obsluhuje historické centrum města v okružní trase a je provozována střídavě v obou směrech každou půlhodinu, čímž vzniká hodinový takt v každém směru. Ze zastávky Fibichova vyjíždí ve 36. minutě ve směru: Fibichova → Hlavní nádraží → Žižkovo náměstí → U Dómu → Náměstí Republiky → Náměstí Hrdinů → Tržnice → Hlavní nádraží → Fibichova, kam přijíždí zpět v 53. minutě. V opačném směru odjíždí ze zastávky Fibichova ve 13. minutě a pokračuje trasou: Fibichova → Hlavní nádraží → Tržnice → Náměstí Hrdinů → Náměstí Republiky → U Dómu → Žižkovo náměstí → Hlavní nádraží → Fibichova, s příjezdem zpět ve 30. minutě. Tento uzavřený okruh zajišťuje plynulé propojení centrální části města a díky pravidelným odjezdům umožňuje snadné plánování návazností.

Na okružní tramvajovou linku navazuje autobusová linka vyjíždějící z Tržnice, která kopíruje trasu linky č. 1 z varianty Rozjezdů z Tržnice založené na Lindau modelu. Tato linka je určena pro obsluhu rozsáhlých sídlišť, jako jsou Povel, Tabulový vrch, Nové Sady a další oblasti s vysokou hustotou obyvatelstva. Autobusy jsou provozovány v pravidelném třicetiminutovém intervalu, přičemž na každý spoj navazují tramvajové spoje střídavě ve dvou směrech.

Další autobusová linka je napojena na tramvajovou síť v zastávce Náměstí Hrdinů a Hlavní nádraží. Obsluhuje severní část města, konkrétně čtvrti Hejčín, Lazce a Černovír. Dále pokračuje přes Hlavní nádraží, kde je zajištěn přestup na tramvaj, a pokračuje směrem k autobusovému nádraží a do městské části Holice. Z Holice se linka vrací po stejné trase zpět, přičemž důraz je kladen na zajištění návazností, které tvoří základní princip celé koncepce.

Linkové vedení této varianty je znázorněno na obrázku číslo 19.



Obrázek 19 Schéma tras linek varianta využití tramvajového subsystému

Zdroj: autor dle (8, 11)

Tento systém zajišťuje vysokou míru pokrytí města v nočních hodinách, efektivně propojuje sídliště, okrajové části a centrum a díky přehledným trasám i zajištěným návaznostem nabízí cestujícím komfortní a časově dostupnou alternativu k individuální dopravě.

Z hlediska počtu obslužených obyvatel bylo prostřednictvím tramvajové linky pokryto sedm základních sídelních jednotek (ZSJ) z celkového počtu 92, s celkovou populací 12 948 obyvatel, což představuje přibližně 12 % obyvatel města. I přes relativně nižší podíl se jedná o klíčový spojovací prvek mezi jednotlivými autobusovými linkami a o hlavní napojení centra města na Hlavní nádraží.

Autobusová linka č. 2, která z Tržnice obsluhuje hustě obydlená sídliště, pokrývá 21 ZSJ s celkovým počtem 51 472 obyvatel, což představuje přibližně 49 % populace města. Autobusová linka č. 3 obsluhuje 23 ZSJ s celkovou populací 37 512 obyvatel, tedy zhruba 35 % obyvatel Olomouce.

Po odstranění duplicitních ZSJ obslužených více linkami bylo zjištěno, že celkem je v rámci tohoto systému obsluženo 43 ZSJ s celkovým počtem 79 654 obyvatel. To znamená, že systém pokrývá přibližně 75 % všech obyvatel města. Informace o obslužených obyvatelích

a ZSJ jsou zpracovány v tabulce 10. Skript pro získání informací o počtu obyvatel na trase linky je umístěn v příloze G.

Tabulka 10 Počet obslužených osob varianta využití tramvajového subsystému

Linka	Počet ZSJ	Počet obyvatel	Podíl na populaci [%]
Linka 1	7	12948	12
Linka 2	21	51472	49
Linka 3	23	37512	35
Sjednoceno	43	79654	75
Současný stav	40	70163	66

Zdroj: autor dle (11, 13)

Z hlediska délky tras má okružní tramvajová linka délku 6,01 km, přičemž první zkrácený spoj dosahuje délky 2,79 km. Autobusové linky jsou výrazně delší. Linka č. 2 má délku 11,01 km a celkový ujetý výkon všech spojů na této lince činí 88,08 km. Linka č. 3 má délku jednoho spoje 12,2 km a celková ujetá vzdálenost činí 97,6 km. Vzhledem k tomu, že tato linka není okružní, je její efektivní dopravní výkon nižší než u okružních linek. Celková ujetá vzdálenost autobusových linek činí 185,68 km a tramvajové linky 48,08 km. Souhrnný dopravní výkon celého systému tedy činí 233,76 km.

Náklady na provoz tramvajové linky činí 633 Kč na jeden spoj, a 294 Kč v případě zkráceného spoje. Celkové denní náklady na tramvajový provoz jsou 5 065 Kč. Autobusová linka č. 2 má náklady na jeden spoj 754 Kč, což při celkovém denním výkonu činí 6 035 Kč. U linky č. 3 činí náklady na jeden spoj 836 Kč, s celkovými denními náklady ve výši 6 687 Kč. Celkové denní náklady na provoz celého systému tedy činí 17 788 Kč (18). Náklady a celkové ujeté vzdálenosti jsou zpracovány v tabulce 11, v případě linky dvě jsou za lomítkem umístěny informace o zkráceném spoji. Celková délka linky byla zjištěna pomocí skriptu v příloze F.

Tabulka 11 Ujeté kilometry a náklady varianta využití tramvajového subsystému

Linka	Délka spoje [km]	Denní vzdálenost [km]	Náklady na spoj [Kč]	Denní náklady [Kč]
Linka 1	6,01 / 2,79	48.08	633 / 294	5065
Linka 2	11,01	88.08	754	6035
Linka 3	12,2	97,6	836	6687
Sjednoceno	-	233.76	-	17788
Současný stav	-	98.03	-	6717

Zdroj: autor dle (18)

Navržené jízdní řády pro tuto variantu jsou v příloze K.

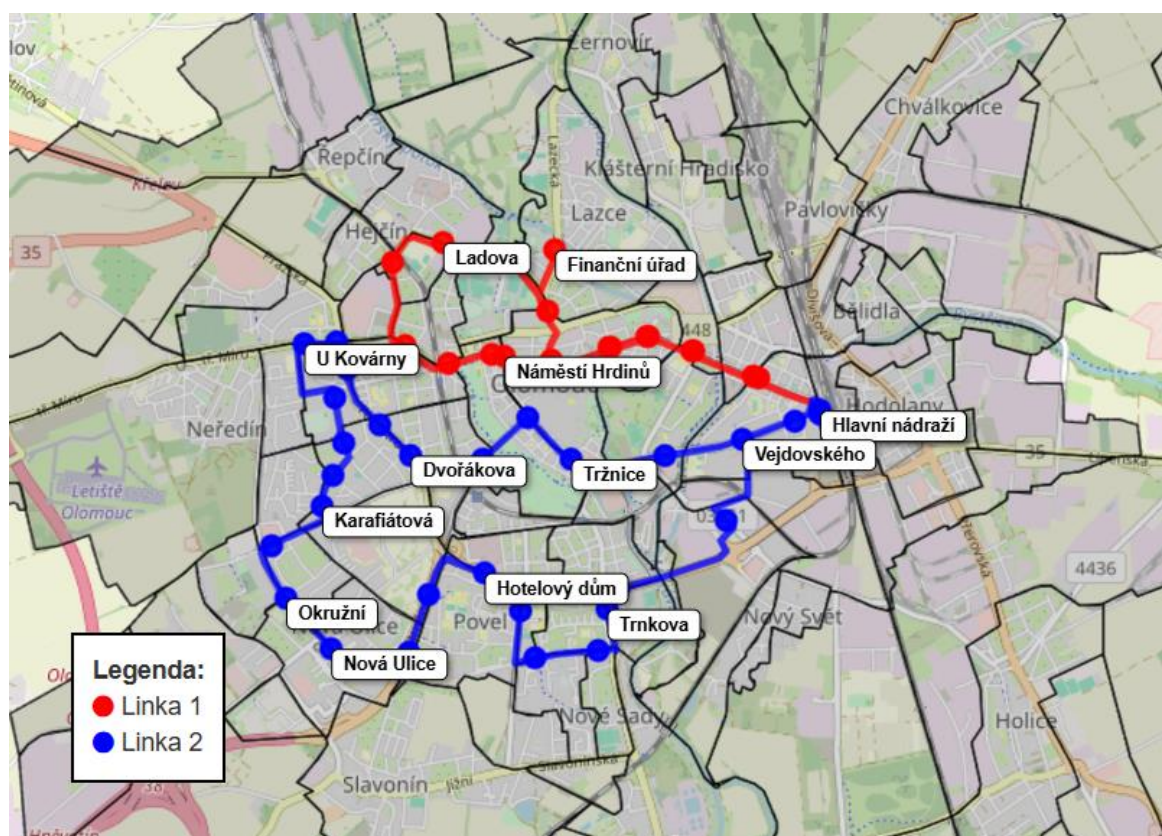
2.4.4 Varianta zachování současných nákladů

Tato varianta se zaměřuje na návrh ekonomicky efektivního systému noční městské hromadné dopravy, jehož provozní náklady odpovídají stávajícímu systému. Cílem návrhu bylo vytvořit řešení, které bude realizováno s využitím pouze jednoho vozidla, a bude tedy ještě úspornější než současný systém, v němž je jeden z osmi nočních spojů zajišťován druhým vozidlem. Tato úprava odráží snahu o maximální hospodárnost při současném zachování, případně zvýšení efektivity pokrytí městského území veřejnou dopravou v nočních hodinách.

Na základě uvedeného konceptu byl navržen systém, v jehož rámci jedno vozidlo střídavě obsluhuje dvě trasy – severní a jižní část města. Nasazení jediného vozidla na obě linky v pravidelném intervalu zajišťuje přiměřenou dostupnost dopravních služeb i v nočních hodinách. Tento princip střídavého provozu umožňuje efektivní využití dostupného vozidla bez potřeby navyšování provozních nákladů nebo zapojení dalšího vozidla.

Hlavním cílem návrhu bylo zachování co nejvyšší míry obslužnosti při respektování limitovaných provozních prostředků. Trasy byly navrženy s důrazem na efektivní pokrytí obytných zón s vyšší koncentrací obyvatelstva, a současně s ohledem na udržení únosné délky intervalu mezi jednotlivými spoji. Výsledkem jsou dvě linky, které společně tvoří vyvážený a dostupný systém schopný obsloužit klíčové oblasti města bez neefektivních prostojů.

Linkové vedené této varianty je znázorněno na obrázku číslo 12.



Obrázek 20 Schéma tras linek varianta zachování současných nákladů

Zdroj: autor dle (8, 11)

Z hlediska obsluženého počtu obyvatel obsluží linka 1 celkem 14 základních sídelních jednotek (ZSJ) s celkovým počtem 24 736 obyvatel, což představuje přibližně 23 % celkové populace města. Linka 2, která prochází hustě obydlenými oblastmi panelových sídlišť, zajišťuje obsluhu 27 ZSJ s celkovým počtem 56 213 obyvatel, tedy přibližně 53 % obyvatel města. Po sjednocení obsluhovaných území obou linek je pokryto celkem 35 ZSJ s celkovým počtem 66 312 obyvatel.

Při porovnání s aktuálním systémem noční MHD, který pokrývá ZSJ s celkovým počtem 70 163 obyvatel, může tato varianta na první pohled působit jako méně efektivní. Nicméně stávající systém trpí značnou nepravidelností – některé oblasti jsou obsluženy pouze jedním spojem za celou noc. V navržené variantě je provoz organizován v pravidelném hodinovém taktu, což znamená, že všech 66 312 obyvatel v obsluhovaných oblastech má k dispozici spoj každou hodinu.

Ve srovnatelném režimu má v současném systému spoj alespoň jednou za hodinu pouze 42 748 obyvatel. Navržený systém tedy při nižších nárocích na vozidla a řidiče poskytuje pravidelnější a dostupnější službu o 23 564 obyvatelům více. Zároveň přispívá ke zpřehlednění celého provozu díky pevně stanoveným odjezdům, vždy ve stejnou minutu každé hodiny. Informace o počtu obslužených obyvatel a ZSJ pro jednotlivé linky jsou zpracovány v tabulce 12. Skript pro získání informací o počtu obyvatel na trase linky je umístěn v příloze G.

Tabulka 12 Počet obslužených osob varianta zachování současných nákladů

Linka	Počet ZSJ	Počet obyvatel	Podíl na populaci [%]
Linka 1	14	24736	23
Linka 2	27	56213	53
Sjednoceno	35	66312	63
Současný stav	40	70163	66

Zdroj: autor dle (11, 13)

Navržený systém noční městské hromadné dopravy zahrnuje dvě linky s odlišnými provozními parametry. Linka 1 zahrnuje nezkrácený spoj o délce 8,49 km a zkrácený spoj o délce 2,28 km. Celková denní vzdálenost ujetá všemi spoji na této lince činí 36,24 km. Náklady na provoz nezkráceného spoje dosahují 582 Kč, zatímco náklady na zkrácený spoj činí 156 Kč. Celkové denní náklady na provoz linky 1 jsou tak vyčísleny na 2 483 Kč. Linka 2 má jednotnou délku spoje 14,23 km a celková denní vzdálenost ujetá všemi spoji činí 56,92 km. Provozní náklady na jeden spoj činí 975 Kč, což znamená celkové denní náklady ve výši 3 900 Kč. Souhrnné hodnoty pro celý navržený systém představují celkovou denní vzdálenost 93,16 km a celkové denní provozní náklady ve výši 6 383 Kč (18).

Ve srovnání se současným stavem, kdy denní provozní náklady činí 6 717 Kč a ujetá vzdálenost dosahuje 98,03 km, dochází v navržené variantě ke snížení provozních nákladů i celkového výkonu. Zároveň však návrh zajišťuje vyšší dostupnost noční dopravy pro větší část obyvatelstva, čímž přispívá ke zvýšení efektivity a užitné hodnoty systému městské hromadné dopravy v nočních hodinách. Ujeté vzdálenosti na spojích jednotlivých linek a náklady jsou zpracovány v tabulce 13, v případě linky 1 jsou za lomítkem uvedeny hodnoty pro zkrácený spoj. Celková délka linky byla zjištěna pomocí skriptu v příloze F.

Tabulka 13 Ujeté kilometry a náklady varianta zachování současných nákladů

Linka	Délka spoje [km]	Denní vzdálenost [km]	Náklady na spoj [Kč]	Denní náklady [Kč]
Linka 1	8,49 / 2,28	36.24	582 / 156	2483
Linka 2	14,23	56.92	975	3900
Souhrn	-	93.16	-	6383
Současný stav	-	98.03	-	6717

Zdroj: autor dle (18)

Návrhy jízdních řádů pro tuto variantu jsou zpracovány v příloze L.

2.5 Shrnutí vytvořených koncepcí

Celkem byly vytvořeny čtyři varianty možného uspořádání noční městské hromadné dopravy, které reflektují rozdílné přístupy k organizaci veřejné dopravy a různé možnosti využití jednotlivých subsystémů dopravního systému. Při návrhu jednotlivých variant byl kladen důraz na využití strojového zpracování dat s cílem maximalizovat efektivitu výsledného řešení. Díky tomu bylo možné aplikovat složité iterační výpočty pracující s rozsáhlým množstvím vstupních údajů, které by bylo obtížné nebo zcela nereálné zpracovávat manuálně. Návrhy jednotlivých variant současně zohledňují snahu o minimalizaci provozních nákladů a zajištění dostatečné přehlednosti a srozumitelnosti systému pro koncového uživatele – cestujícího.

Detailní shrnutí včetně posouzení jednotlivých variant je v kapitole 3.

3 ZHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH VARIANT A DOPORUČENÍ NEJVHODNĚJŠÍHO ŘEŠENÍ

Byly navrženy celkem čtyři rozdílné koncepce možného provozu nočních linek městské hromadné dopravy v Olomouci. Tyto návrhy se liší především svou provozní náročností, tedy počtem nasazených vozidel a s tím spojenými náklady, přičemž hlavním cílem bylo nabídnout obyvatelům města kvalitní službu i v nočních hodinách, kdy běžné denní linky nejsou v provozu. Každá z představených variant byla vytvořena s důrazem na udržitelnost provozu, efektivní využití kapacit a maximální pokrytí území města, zejména oblastí s vyšší hustotou osídlení. Důležitým aspektem bylo rovněž zachování přiměřeného intervalu mezi spoji tak, aby bylo zajištěno praktické využití systému i v méně frekventovaných časech.

Plánování tras nočních linek probíhalo na základě pokročilých matematických a softwarových metod. V rámci návrhového procesu byly využity například metody strojového učení, konkrétně algoritmus K-means pro identifikaci center noční přepravní poptávky. Dále byl uplatněn přístup penalizace opakovaně obslužených oblastí prostřednictvím úprav vah v síti, čímž docházelo k rozšiřování pokrytí. Priority zastávek byly stanoveny především podle hustoty osídlení jednotlivých základních sídelních jednotek, a to za využití dat z Českého statistického úřadu. Tím bylo zajištěno, že jednotlivé návrhy preferují území s vyšší koncentrací obyvatel.

Návrhový proces byl realizován s pomocí několika pokročilých softwarových nástrojů. Klíčovým prvkem byl software QGIS, open-source geografický informační systém, který sloužil k vizualizaci prostorových dat a k analýze prostorových vztahů v území. Pro automatizaci procesů, výpočty tras a úpravy vah v dopravní síti byl využit jazyk Python, včetně knihoven jako NetworkX pro práci s grafy, GeoPandas pro práci s prostorovými daty a Numpy pro výpočetní operace. Pro vizualizaci pak posloužila otevřená data z platformy OpenStreetMap, která poskytují možnost přehledné vizualizace.

Výsledné návrhy byly tudíž sestaveny na základě objektivních analytických postupů, kombinujících geografická data, dopravní modelování a algoritmické hledání optimálních tras. Celý proces byl zaměřen na vytvoření realistických a realizovatelných variant, které mohou být využity jako podklad pro diskuzi o budoucí podobě noční dopravy v Olomouci.

3.1 Ekonomické zhodnocení Variant

V této podkapitole budou srovnány čtyři vytvořené varianty návrhu noční dopravy z hlediska provozních nákladů. Cílem je posoudit nejen kvalitu dopravní obslužnosti, ale rovněž ekonomickou efektivitu jednotlivých návrhů. Pro výpočet nákladů jsou využity veřejně dostupné údaje z výročních zpráv Dopravního podniku města Olomouce (DPMO), které poskytují podrobný přehled o skladbě nákladových položek při provozu městské hromadné dopravy. Na základě těchto údajů budou uvažovány jak variabilní, tak fixní náklady, které se s daným provozem pojí.

Variabilní náklady jsou takové, které přímo závisí na rozsahu provozu – tedy na počtu vozokilometrů a na čase provozu. V kontextu MHD mezi ně patří především spotřeba pohonných hmot nebo elektrické energie, náklady na mzdy řidičů, běžná údržba a opotřebení vozidel, maziva, pryžové obruče či další provozní materiál. Tyto náklady rostou přímo úměrně se zvýšením objemu provozu, tedy s nasazením více vozidel nebo prodloužením tras.

Naopak fixní náklady jsou relativně stabilní bez ohledu na rozsah samotného provozu. Zahrnují například odpisy vozidel, náklady na správu a řízení dopravy, pojištění, náklady na infrastrukturu (např. depa, zázemí, technická zařízení), nebo platy administrativních a technických pracovníků. Ačkoliv některé z těchto položek mohou být do určité míry ovlivněny rozsahem provozu, v krátkodobém horizontu zůstávají převážně neměnné a jejich rozložení do jednotlivých variant bude provedeno přepočtem na jednotku výkonu, aby bylo srovnání mezi variantami možné.

Tato analýza nákladů slouží k objektivnímu zhodnocení ekonomické náročnosti jednotlivých variant a poskytne důležité informace pro případné rozhodování o realizaci konkrétního řešení noční dopravy v Olomouci. Kompletní přehled je zobrazen v tabulce 14.

Tabulka 14 Srovnání variant z hlediska délky a nákladů

		Varianta				
		Současnost	Rozjezdy Tržnice	Rozjezdy Hlavní nádraží	Využití tramvajové dopravy	Zachování současných nákladů
Autobusy	počet ujetých kilometrů	98.03	204.88	272.86	185.68	93.16
	Potřeba vozidel	2	3	3	2	1
	Variabilní náklady	4436	9271	12347	8402	4215
	Fixní náklady	2281	4768	6349	4321	2168
Tramvaje	Počet ujetých kilometrů	-	-	-	48.08	-
	Potřeba vozidel	-	-	-	1	-
	Variabilní náklady	-	-	-	3374	-
	Fixní náklady	-	-	-	1693	-
Celkové náklady		6717	14038	18696	17790	6383

Zdroj: autor dle (18)

Na základě provedené analýzy byly srovnány čtyři navržené varianty provozu nočních linek MHD v Olomouci z hlediska celkových provozních nákladů. Tyto varianty byly porovnány se současným stavem, přičemž do hodnocení byly zahrnuty jak variabilní náklady, tak fixní náklady.

Současný stav noční dopravy dosahuje celkových nákladů ve výši 6 717 Kč, při potřebě dvou autobusů a celkovém denním nájezdu 98,03 km. Tato hodnota slouží jako výchozí bod pro porovnání alternativních koncepcí.

Varianta s rozjezdy z Tržnice vykazuje celkové náklady 14 038 Kč, tedy více než dvojnásobek současného stavu. Vyšší náklady jsou způsobeny jednak nárůstem počtu ujetých kilometrů (204,88 km), ale také zvýšenou potřebou vozidel (3 autobusy).

Nejnákladnější variantou je varianta s rozjezdy z hlavního nádraží, jejíž celkové náklady činí 18 696 Kč. Tato varianta předpokládá provoz tří autobusů a celkový výkon 272,86 km, což se promítá jak do vysokých variabilních nákladů (12 347 Kč), tak i do fixních (6 349 Kč).

Zajímavou alternativou je varianta s využitím tramvajové dopravy, která kombinuje autobusovou a tramvajovou obslužnost. Celkové náklady dosahují 17 790 Kč, z čehož 8 402 Kč tvoří variabilní a 4 321 Kč fixní náklady autobusového provozu, a dále 3 374 Kč variabilní a 1 693 Kč fixní náklady tramvajového provozu (18). Vyšší náklady této varianty souvisejí zejména s provozem tramvají, které jsou náročnější z hlediska, údržby a infrastruktury. Na druhé straně tato varianta nabízí vyšší přepravní kapacitu a stabilní osu noční dopravy ve městě.

Nejefektivnější z hlediska nákladů je varianta zachování současných nákladů, která dosahuje celkových nákladů ve výši 6 383 Kč, tedy dokonce méně než současný stav. Tato úspora je dána nižším počtem potřebných vozidel (1 autobus) i ujetých kilometrů (93,16 km), přičemž si varianta klade za cíl zlepšit dostupnost služby s maximální hospodárností.

Tato analýza poskytuje ucelený přehled o ekonomické náročnosti jednotlivých variant a slouží jako podklad pro rozhodnutí o případné změně nebo optimalizaci noční dopravy v Olomouci s ohledem na dostupné rozpočtové možnosti, požadavky na rozsah obslužnosti a kvalitu poskytovaných služeb.

3.2 Zhodnocení na základě obsluženého počtu obyvatel

V této podkapitole jsou zhodnoceny výsledky analýzy čtyř navržených variant nočního provozu městské hromadné dopravy v Olomouci, a to ve srovnání se současně fungujícím systémem. Hodnocení vychází z dříve provedené analýzy, která posoudila každou variantu z hlediska rozsahu obsluhovaného území, podílu pokrytých obyvatel a průměrné doby obsluhy jednotlivých základních sídelních jednotek (ZSJ).

Na základě těchto kritérií jsou nyní jednotlivé varianty porovnány s cílem vyhodnotit jejich efektivitu, a to jak z hlediska geografického pokrytí města, tak z hlediska dostupnosti služeb pro co nejširší spektrum obyvatel. Současně je zohledněna i průměrná doba, za kterou je jednotlivá ZSJ obslužena, což poskytuje přehled o časové efektivitě jednotlivých řešení. Toto zhodnocení (tabulka 15) umožňuje komplexní posouzení kvality navržených dopravních variant a jejich potenciálu pro reálné uplatnění v nočním provozu městské hromadné dopravy.

Tabulka 15 Srovnání variant z hlediska počtu obslužených obyvatel

Varianta	Současnost	Rozjezdy Tržnice	Rozjezdy Hlavní nádraží	Využití tramvajové dopravy	Zachování současných nákladů
Počet ZSJ	40	47	39	43	35
Obyvatelé v ZSJ	70163	82288	66807	79654	66312
Průměrná perioda [min]	84	30	30	37	60
pokrytí města [%]	66	78	63	75	63

Zdroj: autor dle (11, 13)

Na základě uvedené tabulky lze provést komplexní zhodnocení jednotlivých variant z hlediska rozsahu pokrytí města, počtu obslužených obyvatel, počtu základních sídelních jednotek (ZSJ) a průměrné periody spojů.

Nejlepší výsledky z hlediska celkového pokrytí města i počtu obslužených obyvatel vykazuje varianta Rozjezdy Tržnice, která pokrývá 78 % území města a obsluhuje 82 288 obyvatel v celkem 47 ZSJ. Zároveň tato varianta nabízí i velmi příznivou průměrnou půlhodinovou periodu, což představuje vysoký komfort z hlediska dostupnosti spojů.

Naopak nejnižší pokrytí vykazují varianty Rozjezdy Hlavní nádraží a Zachování současných nákladů, které pokrývají shodně pouze 63 % města. Z těchto dvou má varianta se zachováním současných nákladů také nejvyšší průměrnou periodu – 60 minut, což ukazuje na nižší intenzitu spojů a horší dostupnost dopravy v nočních hodinách.

Varianta Využití tramvajové dopravy si vede velmi dobře z hlediska počtu obslužených obyvatel (79 654) a pokrytí území (75 %), přičemž průměrná perioda spojů činí 37 minut. Tento výsledek ukazuje, že zapojením tramvajového subsystému lze dosáhnout kvalitního dopravního pokrytí při stále relativně dostupné frekvenci spojů.

Současný stav pokrývá 66 % města a obsluhuje 70 163 obyvatel, s výrazně nejvyšší průměrnou periodou 84 minut, což poukazuje na relativně nízký komfort spojení v nočních hodinách.

Celkově tedy jako nejefektivnější z hlediska obslužnosti obyvatel a území, a zároveň dostupnosti spojů, vychází varianta Rozjezdy Tržnice. Varianta Využití tramvajové dopravy pak

představuje silnou alternativu, zejména pokud je cílem zapojit více druhů dopravy při zachování vysoké kvality služby. Nejméně příznivě z autorem navržených řešení z pohledu pokrytí i frekvence vychází varianta Zachování současných nákladů.

3.3 Komplexní zhodnocení variant

Pro komplexní posouzení čtyř navržených variant noční dopravy v Olomouci byla využita metoda vícekriteriálního hodnocení založená na konstrukci užitečné funkce. Tato metoda umožňuje porovnat jednotlivé varianty nejen na základě jednoho parametru (např. nákladů nebo rozsahu obslužnosti), ale zohledňuje více relevantních hledisek současně. V tomto případě byly jako klíčová kritéria stanoveny:

- počet obyvatel žijících v obslužených základních sídelních jednotkách (ZSJ),
- průměrná perioda spojů,
- a celkové provozní náklady.

Pro zajištění objektivnosti byly tato kritéria normalizována, tedy převedena na srovnatelnou škálu v intervalu 0–1. U kritérií, kde nižší hodnota představuje lepší výsledek (např. náklady a perioda), byla navíc provedena inverzní transformace. Každé variantě byla následně přidělena tzv. užitečná hodnota, vypočtená jako vážený součet jednotlivých normalizovaných kritérií.

Nejprve byl použit rovnovážný modelový výpočet, ve kterém všechna tři kritéria obdržela stejnou váhu (0.33). Tento přístup představuje objektivní kompromis mezi efektivitou, ekonomičností a uživatelským komfortem. Následně byly provedeny i varianty s preferencemi, kde byly zvýšeny váhy pro kritéria považovaná za důležitější — konkrétně vyšší váha byla přidělena kritériu „počet obslužených obyvatel“ a „průměrná perioda“, jelikož právě tato hlediska mají zásadní vliv na kvalitu poskytované služby z pohledu cestujících.

Díky tomuto způsobu posouzení lze kvantifikovat a porovnat jinak obtížně srovnatelné parametry, a objektivně tak určit, která z variant poskytuje nejvýhodnější poměr mezi pokrytím města, komfortem cestujících a finančními nároky. Výsledky těchto výpočtů umožňují podpořit rozhodování o budoucí podobě noční dopravy na základě dat a racionální analýzy, nikoli pouze subjektivních preferencí.

Prvním krokem je normalizace kritérií. Každé dílčí kritérium je nejprve převedeno na bezrozměrnou hodnotu v intervalu 0–1 podle toho, zda se jedná o kritérium maximalizační (např. počet obslužených obyvatel) nebo minimalizační (např. náklady, průměrná perioda). Normalizace byla provedena podle následujících vzorců:

- Pro maximalizační kritérium (“čím větší tím lepší”)

$$K'_i = \frac{K_i - \min(K)}{\max(K) - \min(K)} \quad (3-6)$$

- Pro minimalizační kritérium (“čím menší tím lepší”)

$$K'_i = \frac{\max(K) - K_i}{\max(K) - \min(K)} \quad (3-7)$$

kde:

- K_i je původní hodnota kritéria u varianty i ,
- K'_i je normalizovaná hodnota kritéria,
- $\min(K)$, $\max(K)$ jsou minimální a maximální hodnoty napříč variant.

Po normalizaci následuje výpočet celkové užité hodnoty každé varianty pomocí váženého součtu:

$$U_i = w_1 \cdot K'_{i1} + w_2 \cdot K'_{i2} + \dots + w_n \cdot K'_{in} \quad (3-8)$$

kde:

- U_i je celkový užitek varianty i ,
- w_j je váha kritéria j (součet vah musí být 1),
- K'_{ij} je normalizovaná hodnota kritéria j pro variantu i .

3.3.1 Posouzení na základě rovnovážných kritérií

Mezi navrženými variantami představuje rovnovážný kompromis analyticky nejvyváženější přístup k organizaci noční hromadné dopravy v Olomouci. Tato varianta vznikla na základě metody vícekritériálního hodnocení, ve které byla jednotlivým posuzovaným složkám – počtu obslužených obyvatel, průměrné periodě spojů a celkovým provozním nákladům – přiřazena stejná váha (33,3 %). Cílem tohoto přístupu nebylo preferovat žádné konkrétní hledisko, ale nalézt takové řešení, které rovnoměrně zohlední potřeby cestujících i provozní a ekonomické možnosti dopravce.

Vzhledem k tomu, že součet vah kritérií musí být jedna byly váhy stanoveny jako:

$$w_1 = w_2 = w_3 = \frac{1}{3} \quad (3-9)$$

Pro přehlednější znázornění jsou váhy rozepsané v tabulce 16.

Tabulka 16 Váhy kritérií, rovnovážná varianta

Kritérium	Váha
Počet obyvatel v obslužených ZSJ	0.33
Průměrná perioda (interval spojů)	0.33
Celkové náklady (v Kč)	0.33

Zdroj: autor

Na základě stanovených kritérií a výpočtu multikritériální funkce byly získány výsledky zobrazené v tabulce 17.

Tabulka 17 Výsledný užitek pro rovnovážnou variantu

Varianta	Obyv.	Náklady [Kč]	Perioda [min]	Index užitku U
Rozjezdy Tržnice	82 288	14 038	30	0.195
Zachování současných nákladů	66 312	6 383	60	0.173
Současnost	70 163	6 717	84	0.123
Rozjezdy Hlavní nádraží	66 807	18 696	30	0.119
Využití tramvají	79 654	17 790	37	0.119

Zdroj: autor dle (13, 18)

Na základě výpočtu užitého indexu při rovnovážném ohodnocení všech tří kritérií (počet obslužených obyvatel, výše nákladů a průměrná perioda spojů) je možné jednotlivé varianty nočního provozu MHD v Olomouci vzájemně porovnat a určit jejich celkovou efektivitu.

Jako nejvýhodnější varianta se dle indexu užitku ($U = 0,195$) jednoznačně jeví varianta **Rozjezdy Tržnice**. Tato možnost kombinuje velmi dobrou dostupnost (obsluženo 82 288 obyvatel) a krátký interval spojů (30 minut) s přijatelnými náklady ve výši 14 038 Kč. Díky tomu dosahuje nejvyšší hodnoty užitku, neboť dobře vyvažuje kvalitu služby i ekonomickou stránku.

Na druhém místě skončila varianta Zachování současných nákladů ($U = 0,173$). I když nabízí menší počet obslužených obyvatel a delší interval spojů (60 minut), dosahuje velmi nízkých nákladů (6 383 Kč), což ji činí výhodnou především z hlediska provozní úspornosti. Tato varianta tak představuje rozumný kompromis mezi kvalitou a nízkými provozními náklady.

Varianta současného stavu ($U = 0,123$) nabízí sice vyšší počet obslužených obyvatel než varianta uchovávací náklady, ale vzhledem k extrémně dlouhému intervalu 84 minut je její přínos pro cestující nízký, což se odráží v nižší celkové užitkové hodnotě.

Nejhůře hodnocenými variantami jsou Rozjezdy Hlavní nádraží a Využití tramvají (obě s indexem $U = 0,119$). Ačkoliv v obou případech je zajištěna slušná dostupnost a frekvence spojů, celkovou efektivitu výrazně snižují vysoké náklady – především v případě varianty s využitím tramvají, kde se náklady blíží 18 tisícům Kč. To ukazuje, že bez odpovídajícího navýšení přínosu pro cestující není tato varianta z hlediska rovnovážného hodnocení dostatečně efektivní.

3.3.2 Upřednostnění frekvence spojů a pokrytí

Pro komplexní vyhodnocení jednotlivých variant byla kromě rovnovážného modelového výpočtu vytvořena také varianta posouzení, která klade vyšší důraz na kvalitu obslužnosti území a frekvenci spojů, zatímco ekonomické náklady jsou v tomto případě posuzovány s menší vahou. Konkrétně byly stanoveny váhy jednotlivých kritérií následovně: obyvatelé v obslužených ZSJ (0,4), perioda (0,4) a celkové náklady (0,2). Váhy kritérií jsou pro přehlednost zobrazeny v tabulce 18.

Tabulka 18 Váhy kritérií, při upřednostnění počtu obyvatel a periody

Kritérium	Váha
Počet obyvatel v obslužených ZSJ	0.4
Průměrná perioda (interval spojů)	0.4
Celkové náklady (v Kč)	0.2

Zdroj: autor

Cílem této analýzy bylo zvýraznit varianty, které zajišťují vysoké pokrytí obyvatel města a zároveň nabízejí kratší intervaly spojů, což je z pohledu cestujícího zásadní faktor komfortu a dostupnosti. Tato metoda je vhodná zejména pro rozhodování v situacích, kdy je prioritou zvýšení atraktivity veřejné dopravy a její efektivní nasměrování do nejméně zatížených oblastí s vyšší poptávkou.

Výsledky této analýzy, prezentované v tabulce 19, ukazují odlišné pořadí hodnocení oproti rovnovážné variantě. Do popředí se dostávají takové varianty, které sice mohou vykazovat mírně vyšší provozní náklady, ale na druhé straně přinášejí významné zlepšení v rozsahu obslužnosti a dostupnosti pro větší počet obyvatel. Tímto způsobem lze lépe zohlednit společenský přínos navrženého systému noční dopravy, a to i za cenu mírně vyšší finanční náročnosti.

Tato metoda tak umožňuje flexibilnější rozhodování s ohledem na stanovené priority města – zda preferovat úspory, nebo naopak rozšířit nabídku služeb v oblasti noční městské hromadné dopravy, její výsledky jsou v tabulce 19.

Tabulka 19 Výsledný užitek při preferenci počtu obslužených obyvatel a periody

Varianta	Obyv.	Náklady [Kč]	Perioda [min]	Index užítku U
Rozjezdy Tržnice	82288	14038	30	0.891
Rozjezdy Hlavní nádraží	66807	18696	30	0.793
Využití tramvají	79654	17790	37	0.783
Zachování současných nákladů	66312	6383	60	0.722
Současnost	70163	6717	84	0.674

Zdroj: autor dle (13,18)

Na základě výpočtu indexu užítku s vyšší vahou kladenou na počet obslužených obyvatel a frekvenci spojů (váhy: obyvatelé 0,4; perioda 0,4; náklady 0,2) lze pozorovat výrazné rozdíly mezi jednotlivými variantami, které byly navrženy pro optimalizaci nočního provozu městské hromadné dopravy v Olomouci.

Nejlépe hodnocenou variantou je „Rozjezdy Tržnice“, která dosahuje nejvyššího indexu užítku ($U = 0,891$). Tato varianta kombinuje relativně nízké náklady s velmi dobrou periodou (30 minut) a zároveň pokrývá největší počet obyvatel ze všech posuzovaných variant (82 288). Vzhledem k tomu, že váhy analýzy upřednostňují právě kvalitu obslužnosti území a frekvenci spojů, není překvapením, že tato varianta vychází jako nejvýhodnější.

Na druhém místě se umístila varianta „Rozjezdy Hlavní nádraží“ s indexem užítku 0,793. Přestože zajišťuje stejně krátkou periodu jako vítězná varianta, její slabší hodnocení je způsobeno výrazně vyššími náklady (18 696 Kč) a nižším počtem obslužených obyvatel (66 807).

Těsně za touto variantou následuje „Využití tramvají“ s indexem 0,783. Tato varianta sice přináší výhodu v počtu obslužených obyvatel (79 654), ale zvýšené náklady způsobené provozem tramvajové dopravy (17 790 Kč) a mírně delší perioda (37 minut) její celkové hodnocení snižují.

Varianta „Zachování současných nákladů“, ačkoliv je druhá nejlevnější (6 383 Kč), dosahuje nižšího indexu užítku (0,722), neboť nabízí nižší počet obslužených obyvatel (66 312) a delší periodu (60 minut), což snižuje její atraktivitu z pohledu cestujících.

Nejhůře dopadl současný systém, který dosahuje nejnižšího indexu užítku (0,674). Ačkoliv jeho náklady jsou podobné jako u varianty „Zachování současných nákladů“, nabízí horší parametry z hlediska dostupnosti — nejdělsí průměrná perioda (84 minut) a nižší počet obslužených obyvatel oproti lepším variantám.

Tato analýza ukazuje, že při kladení důrazu na dostatečnou obslužnost obyvatel a frekvenci spojů vychází jako nejvýhodnější varianta „Rozjezdy Tržnice“, která představuje velmi dobře vyvážený kompromis mezi náklady a kvalitou služby.

3.4 Shrnutí zhodnocení

Pro finální zhodnocení byla vytvořena průměrná varianta, v rámci které byly normalizovány hodnoty užtkové funkce pro obě předchozí varianty. První z nich klade stejný důraz na průměrnou periodu obslužnosti, počet obslužených obyvatel a provozní náklady. Druhá varianta upřednostňuje počet obslužených obyvatel a průměrnou periodu obslužnosti před nákladovými hledisky. Na základě těchto přístupů bylo provedeno porovnání, jehož výsledky jsou uvedeny v tabulce č. 20. Této výsledného pořadí by bylo možné dosáhnout také zprůměrováním vah jednotlivých kritérií u obou variant.

Tabulka 20 Výsledný užitek - zprůměrovaný

Varianta	Norm. U pro rovnovážná kritéria	Norm. U pro kritéria preferující periodu a počet obyvatel	Průměrný Užitek
Rozjezdy Tržnice	1	1	1
Zachování současných nákladů	0.7105	0.2211	0.4659
Rozjezdy Hlavní nádraží	0	0.5484	0.2742
Využití tramvají	0	0.5023	0.2512
Současnost	0.0526	0	0.0263

Zdroj: autor

Na základě provedené multikriteriální analýzy, která zohlednila jak variantu s rovnoměrně rozloženými vahami mezi sledovanými kritérii (provozní náklady, počet obslužených obyvatel a perioda spojů), tak variantu upřednostňující dostupnost a četnost spojů před nákladovými aspekty, **byla jako nejvhodnější řešení nočního provozu městské hromadné dopravy v Olomouci vyhodnocena varianta „Rozjezdy Tržnice“.**

Tato koncepce vychází z principu tzv. Lindau modelu (příloha H), přičemž hlavní přestupní uzel je situován v prostoru Tržnice, tedy v bezprostřední blízkosti historického centra města. Díky tomu umožňuje efektivní a rovnoměrné pokrytí území města s pravidelnou půlhodinovou periodou.

Významnou výhodou této varianty je nejen vysoká míra pokrytí obyvatelstva, ale také funkční integrace s ostatními druhy dopravy. Umístění centrálního přestupního bodu v jádru města zajišťuje dobrou pěší dostupnost a současně vytváří návaznosti na noční železniční a dálkovou autobusovou dopravu. To zvyšuje celkovou použitelnost systému. Přestupní uzel na Tržnici navíc umožňuje pohodlné a rychlé přestupy mezi jednotlivými linkami, čímž dochází ke zkrácení cestovní doby a zvýšení flexibility spojení.

Ve srovnání se současným stavem přináší tato varianta výrazné zlepšení:

- Počet obslužených obyvatel se zvyšuje z 70 163 na 82 288, tedy o 12 125 obyvatel,
- průměrná perioda obslužnosti se zkracuje z 84 minut na 30 minut.

Na druhé straně je třeba zohlednit i zvýšení provozních nákladů:

- Počet vozidel se zvyšuje ze stávajících 2 na 3,
- celkové denní náklady vzrostou z 6 717 Kč na 14 038 Kč.

Tato varianta tedy představuje výrazné zlepšení dostupnosti a kvality služeb za cenu zvýšených provozních nákladů. Přehledné srovnání je v tabulce 21.

Tabulka 21 Srovnání varianty Tržnice se současností

Varianta	Obyv.	Perioda [min]	Náklady [Kč]	Průměrný Užitek
Rozjezdy Tržnice	82288	30	14038	1
Současnost	70163	84	6717	0.0263

Zdroj: autor dle (13)

Vedle vítězné varianty analýza zároveň ukázala, že i při zachování současné úrovně nákladů, případně jejich mírném snížení, je možné systém noční městské hromadné dopravy zefektivnit. Varianta „Zachování současných nákladů“, která vychází z koncepce střídavého obsluhování severní a jižní části města pomocí dvou kratších linek, nabízí oproti stávajícímu stavu pravidelnější interval ve výši 60 minut. V rámci multikriteriálního hodnocení se tato varianta umístila výrazně výše než aktuálně fungující systém, a může tak představovat rozumnou kompromisní alternativu v případě, že město nebude plánovat navyšování rozpočtu na noční provoz.

V této variantě by došlo k mírnému snížení počtu obslužených obyvatel ze současných 70 163 na 66 312, tedy o 3 851 osob. Tento pokles je však kompenzován snížením průměrné periody obslužnosti z 84 minut na 60 minut, zjednodušením linkového vedení a celkovým

zprehledněním systému. Díky kratším trasám obou linek se zároveň zkrátí cestovní doby pro většinu cestujících. Důležitým prvkem zůstává přestupní vazba na Hlavním nádraží, která bude zachována pro všechny obsluhované oblasti.

Další výhodou této varianty je snížení potřebného počtu vozidel ze současných dvou na jedno, což přispívá k redukci denních provozních nákladů ze 6 717 Kč na 6 383 Kč (18). Srovnání s nejlépe vycházející variantou a současným stavem je v tabulce 22.

Tabulka 22 Srovnání varianty Zachování současných nákladů s variantou Tržnice a současným stavem

Varianta	Obyv.	Perioda [min]	Náklady [Kč]	Průměrný Užitek
Rozjezdy Tržnice	82288	30	14038	1
Zachování současných nákladů	66312	60	6383	0.4657
Současnost	70163	84	6717	0.0263

Zdroj: autor dle (13, 18)

Varianta s umístěním přestupního uzlu na Hlavní nádraží a varianta využívající tramvajovou dopravu se ve výsledné multikriteriální analýze ukázaly jako přibližně stejně neefektivní ve srovnání s předchozími dvěma návrhovými řešeními. Přestože obě varianty dosahují lepších výsledků než současně fungující systém, jejich celkový užitek byl výrazně nižší než u varianty s rozjezdy z Tržnice či varianty zachovávající současné náklady. Hodnoty užítku obou variant byly velmi podobné, a nelze je proto považovat za vhodné řešení s ohledem na zvolená hodnotící kritéria.

Umístění přestupního uzlu na Hlavní nádraží by sice zabezpečilo přímou dostupnost pro cestující směřující z nebo na železniční stanici bez nutnosti přestupu, avšak zároveň by vedlo ke vzniku tzv. závleku pro cestující pohybující se mezi jednotlivými městskými částmi. Tito cestující by byli nuceni absolvovat zbytečnou zajižďku přes centrální přestupní bod.

Z hlediska provozních nákladů se varianta rozjezdů z Hlavního nádraží ukázala jako nejméně efektivní. Celkové denní náklady této varianty činí 18 696 Kč, což představuje navýšení o 278 % oproti současnému systému a o 33 % více ve srovnání s variantou rozjezdů z Tržnice, která navíc poskytovala kratší cestovní doby a vyšší počet obslužených městských částí i obyvatel. Srovnání této varianty s nejlépe hodnocenou a současným stavem je v tabulce 23.

Tabulka 23 Srovnání varianty rozjezdy hlavní nádraží s variantou tržnice a současným stavem

Varianta	Obyv.	Perioda [min]	Náklady [Kč]	Průměrný Užitek
Rozjezdy Tržnice	82288	30	14038	1
Rozjezdy Hlavní nádraží	66807	30	18696	0.2742
Současnost	70163	84	6717	0.0263

Zdroj: autor dle (13, 18)

Varianta využívající tramvajovou dopravu rovněž nepředstavuje dobré řešení. Ačkoli nabízí páteřní linku propojující klíčové části města, její celkové provozní náklady dosahují výše 17 790 Kč za den. Zvýšené náklady této varianty jsou způsobeny především nasazením tramvají, jejichž provoz je výrazně finančně náročnější ve srovnání s autobusovou dopravou.

Zjištěné náklady činí druhou nejvyšší hodnotu ze všech navržených variant, hned po variantě s přestupním uzlem na Hlavním nádraží. Navzdory těmto vyšším nákladům navíc tato varianta pokrývá menší počet základních sídelních jednotek (ZSJ) a vykazuje vyšší průměrnou periodu spojů než nejlépe hodnocená varianta s rozjezdy z Tržnice, srovnání těchto variant je v tabulce číslo 24.

Tabulka 24 Srovnání varianty využití tramvajového subsystému s variantou tržnice a současným stavem

Varianta	Obyv.	Perioda [min]	Náklady [Kč]	Průměrný Užitek
Rozjezdy Tržnice	82288	30	14038	1
Využití tramvají	79654	37	17790	0.2512
Současnost	70163	84	6717	0.0263

Zdroj: autor dle (13, 18)

Celkově lze konstatovat, že na základě provedených návrhů se jako nejvhodnější varianta jeví koncepce přestupního uzlu na bázi Lindau modelu situovaného na Tržnici. Tato varianta umožňuje dosažení dobré časové dostupnosti významných částí města, nabízí vysokou frekvenci spojů a zároveň zlepšuje přestupní vazby na dálkovou železniční a autobusovou dopravu.

Vytvořený analytický přístup umožnil transparentní porovnání jednotlivých variant a poskytl konkrétní podklady pro rozhodovací proces týkající se dalšího rozvoje noční městské hromadné dopravy. Ten by měl být veden v souladu s požadavky na efektivitu, dostupnost a finanční udržitelnost systému.

ZÁVĚR

Tato práce se věnovala problematice nočního provozu městské hromadné dopravy v Olomouci. Na základě historického vývoje i současné podoby systému byly identifikovány jeho hlavní přednosti a nedostatky, především s ohledem na pravidelnost spojů, územní pokrytí a návaznosti na dálkovou dopravu. Analýza ukázala, že stávající model je sice provozně úsporný, ale jen částečně reflektuje současné potřeby obyvatel, zejména v periferních částech města a v otázce vzájemné přestupní provázanosti linek.

V rámci návrhové části byly vytvořeny čtyři nové varianty organizace noční dopravy. Jejich návrh vycházel z kombinace několika analytických a optimalizačních metod, včetně využití algoritmů prostorové klasifikace (K-means clustering), penalizace již obslužených oblastí a stanovení priorit podle hustoty osídlení. Pro zpracování prostorových dat byl použit software QGIS a programovací jazyk Python, přičemž dopravní síť byla vykreslena na podkladu otevřených dat z OpenStreetMap.

Jednotlivé varianty byly následně posouzeny jak z hlediska provozních nákladů, tak z pohledu přínosu pro cestující – tedy míry pokrytí města, počtu obslužených obyvatel a průměrné periody spojů. Pro celkové porovnání byla využita multikriteriální analýza, která umožnila vyhodnotit jednotlivé varianty podle různě vážených preferencí kritérií. Výsledky ukázaly, že nejvýhodnější variantou byl systém s výchozím bodem v oblasti Tržnice, který poskytoval rovnovážný kompromis mezi náklady a kvalitou služby.

POUŽITÁ LITERATURA

- (1) DOPRAVNÍ PODNIK MĚSTA OLOMOUCE, a.s. Dopravní podnik města Olomouce. [online]. [2024] [cit. 2024-11-02]. Dostupné z: <https://www.dpmo.cz/>
- (2) World Population Review. Olomouc Population. [online]. 2025 [cit. 2025-04-02]. Dostupné z: <https://worldpopulationreview.com/cities/czech-republic/olomouc>
- (3) MHD Olomouc. Historie MHD v Olomouci. [online]. 2014 [cit. 2025-03-26]. Dostupné z: <https://www.mhd-olomouc.cz/Info/historie>
- (4) DOPRAVNÍ PODNIK MĚSTA OLOMOUCE, a.s. Historie autobusové dopravy v Olomouci. [online]. Olomouc: DPMO, [cit. 2025-03-25]. Dostupné z: <https://www.dpmo.cz/dpmo/historie/historie-autobusove-dopravy/>
- (5) ARCHIV SPVD. Historie tramvajové dopravy v Olomouci. [online]. [cit. 2025-03-25]. Dostupné z: <https://archiv.spvd.cz/index.php/olomouc/historie-tramvaji/411-clanky/cz/olomouc>
- (6) OLOMOUCKÝ DENÍK. Vraťte nám noční spoje, volají Olomoučané. Radní to odmítli. [online]. 2012 [cit. 2025-03-25]. Dostupné z: https://olomoucky.denik.cz/zpravy_region/vratte-nam-nocni-spoje-volaji-olomoucane-radni-to-.html
- (7) DOPRAVNÍ PODNIK MĚSTA OLOMOUCE, a.s. Aktuality – Návrat nočních linek do plného provozu. [online]. 2021 [cit. 2025-03-25]. Dostupné z: <https://www.dpmo.cz/informace-pro-cestujici/aktuality/?id=408>
- (8) OpenStreetMap. Město Olomouc. [online]. [cit. 2025-04-09]. Dostupné z: <https://www.openstreetmap.org/#map=12/49.593/17.250>
- (9) DOPRAVNÍ PODNIK MĚSTA OLOMOUCE, a.s. Jízdní řády – kapesní PDF. [online]. Olomouc: DPMO, ©2024 [cit. 2025-05-02]. Dostupné z: <https://www.dpmo.cz/informace-pro-cestujici/jizdni-rady/jizdni-rady-kapesni-pdf/>
- (10) SPRÁVA ŽELEZNIC. Jízdní řád – cestující. [online]. Praha: Správa železnic, ©2024 [cit. 2025-05-02]. Dostupné z: <https://www.spravazeleznic.cz/cestujici/jizdni-rad>
- (11) ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. Základní sídelní jednotky (ZSJ). [online]. Praha: ČSÚ, 2023 [cit. 2025-03-25]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/zakladni-sidelni-jednotky>
- (12) ČÚZK. RÚIAN – Registr územní identifikace, adres a nemovitostí. [online]. Praha: ČÚZK, 2023 [cit. 2025-03-25]. Dostupné z: <https://www.cuzk.cz/ruian>
- (13) ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. Výsledky sčítání 2021 – otevřená data. [online]. Praha: ČSÚ, 2022 [cit. 2025-03-26]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/vysledky-scitani-2021-otevrena-data>

- (14) ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 262/2006 Sb., zákoník práce. In: Sbírka zákonů České republiky [online]. 2006 [cit. 2025-03-25]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-262>
- (15) ČESKÁ REPUBLIKA. Nařízení vlády č. 589/2006 Sb., o pracovním a odpočinkovém čase zaměstnanců v dopravě. In: Sbírka zákonů České republiky [online]. 2006 [cit. 2025-03-25]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-589>
- (16) IDOS. Jízdní řády – výstup pro zastávku Olomouc, aut. nádr. k datu 7. 5. 2025, 00:00. [online]. In: IDOS.cz [cit. 2025-05-07]. Dostupné z: <https://idos.cz/vlakyautobusymhdvse/odjezdy/vysledky/>
- (17) SEZNAM.CZ, a.s. Mapy.cz – turistická mapa: Olomouc. [online]. © 1998–2025 [cit. 2025-04-09]. Dostupné z: <https://mapy.cz/turisticka>
- (18) DOPRAVNÍ PODNIK MĚSTA OLOMOUCE, a.s. Výroční zpráva 2023. [online]. Olomouc: DPMO, 2024 [cit. 2025-03-25]. Dostupné z: https://www.dpmo.cz/download/vyrocnizprava_2023.pdf
- (19) MAREŠ, Martin a VALLA, Tomáš. Průvodce labyrintem algoritmů. [online]. 1. vyd. Praha: Univerzita Karlova, 2014 [cit. 2025-03-25]. ISBN 978-80-260-6720-0. Dostupné z: <https://pruvodce.ucw.cz/static/pruvodce.pdf>
- (20) BOYLES, Stephen D. Transportation Network Analysis. [online]. Austin: The University of Texas at Austin, 2020 [cit. 2025-03-25]. Dostupné z: <https://sboyles.github.io/teaching/ce392c/book.pdf>
- (21) GeoPandas contributors. GeoPandas Documentation. [online]. 2024 [cit. 2025-03-25]. Dostupné z: <https://geopandas.org>
- (22) NetworkX developers. NetworkX Documentation. [online]. 2024 [cit. 2025-03-25]. Dostupné z: <https://networkx.org/documentation/stable/>
- (23) ITNETWORK.CZ. Python NumPy – práce s poli. [online]. [cit. 2025-03-25]. Dostupné z: <https://www.itnetwork.cz/python/numpy>
- (24) Matplotlib Documentation. [online]. [cit. 2025-03-26]. Dostupné z: <https://matplotlib.org/stable/index.html>
- (25) REAL PYTHON. K-Means Clustering in Python: A Practical Guide. [online]. [cit. 2025-03-26]. Dostupné z: <https://realpython.com/k-means-clustering-python/>
- (26) DRDLA, Pavel. Osobní doprava regionálního a nadregionálního významu. 3., uprav. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2021. ISBN 978-80-7560-361-6.
- (27) DRDLA, Pavel a MATUŠKA, Jan. Přestupní uzly v integrovaném systému veřejné osobní dopavy. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, 2003. ISBN 80-7194-571-4.

- (28) Akademie městské mobility. Integrované přestupní uzly (Lindau Modell). [online]. 04.09.2020 [cit. 2025-04-02]. Dostupné z: <https://www.akademiamobility.cz/aktuality/1270/integrované-přestupni-uzly-lindau-modell>
- (29) BREMERHAVENER VERSORGUNGS- UND VERKEHRSGESELLSCHAFT mbH. Streckennetze Bremerhaven – Entwicklung und Konzepte im Wandel der Zeit. [online]. Bremerhaven, 2006 [cit. 2025-04-09]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20240513142106/https://busse-weser.org/download/Bremerhavener-Streckennetze.pdf>
- (30) HLINOVSKÝ, Jiří. Integrované taktové jízdní řády – část I. Perner's Contacts. 2021, roč. 16, č. 2, s. 7–18. DOI: 10.46585/pc.2021.2.1699.
- (31) TAGESSPIEGEL.DE. Was sich am BVG-Fahrplan bald ändert: Alexanderplatz neuer Knotenpunkt für Nachtbusse. [online]. 05.12.2019 [cit. 2025-04-02]. Dostupné z: <https://www.tagesspiegel.de/berlin/alexanderplatz-neuer-knotenpunkt-fur-nachtbusse-3201385.html>
- (32) ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 353/2008 Sb., o pracovní době a době odpočinku zaměstnanců v dopravě. In: Sběrka zákonů České republiky [online]. 2008 [cit. 2025-03-25]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2008-353>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A – VÝSLEDNÝ SKRIPT PRO VYTVÁŘENÍ NÁVRHŮ LINEK

Příloha B – SKRIPT PRO GENEROVÁNÍ ZÁKLADNÍCH SÍDELNÍCH JEDNOTEK DO MAPY

Příloha C – SKRIPT PRO VYTVOŘENÍ MATICE VZDÁLENOSTÍ

Příloha D – SKRIPT PRO VYTVOŘENÍ PRIORITY ZASTÁVEK

Příloha E – SKRIPT PRO VYKRESLENÍ TRASY DO MAPY

Příloha F – SKRIPT PRO VÝPOČET DÉLKY LINKY

Příloha G – SKRIPT PRO GENEROVÁNÍ POČTU OBYVATEL NA TRASE LINKY

Příloha H – LINDAU MODEL – CENTRÁLNÍ PŘESTUPNÍ UZEL

Příloha I – JÍZDNÍ ŘÁDY – VARIANTA ROZJEZDY TRŽNICE

Příloha J – JÍZDNÍ ŘÁDY – VARIANTA HLAVNÍ NÁDRAŽÍ

Příloha K – JÍZDNÍ ŘÁDY – VARIANTA VYUŽITÍ TRAMVAJOVÉHO SUBSYSTÉMU

Příloha L – JÍZDNÍ ŘÁDY – VARIANTA ZACHOVÁNÍ SOUČASNÝCH NÁKLADŮ

Příloha M – MAPY SOUČASNÝCH TRAS LINEK

Příloha N – NÁKLADY PROVOZU NOČNÍCH LINEK MĚSTSKÉ HROMADNÉ DOPRAVY

Příloha O – POTŘEBA VOZIDEL A ŘIDIČŮ

Příloha P – HISTORIE NOČNÍHO PROVOZU V OLOMOUCI

Přílohy

A VÝSLEDNÝ SKRIPT PRO VYTVÁŘENÍ NÁVRHŮ LINEK

Informace uvedené v této podkapitole shrnují způsob, jakým byla – v maximální možné míře, kterou autor zvládl – využita kombinace různých metod a softwarových knihoven pro generování tras městské hromadné dopravy. Popsány jsou zde postupy shlukové analýzy (metoda K-means s duálním přiřazením) a jejich implementace v programovacím jazyce Python, včetně definovaných podmínek pro výběr zastávek a omezení týkajících se maximální délky tras.

Dále je vysvětleno, jak byly využity funkce knihoven NetworkX a Pandas k dynamickému snižování priorit již obslužených zastávek, což umožňuje zohlednit jejich obslužnost napříč všemi výpočty jednotlivých linek. Celý přístup tak představuje integraci prostorové analýzy, optimalizace tras a dynamického řízení priorit s cílem dosáhnout efektivnějšího pokrytí území města noční dopravou.

```
import os
import geopandas as gpd
import networkx as nx
import pandas as pd
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from shapely.geometry import Point, LineString
from sklearn.cluster import KMeans

# =====
# Konfigurace cest k souborům
# =====
soubor_zastavek = r"Cesta k souboru se zastávkami (.geojson)"
soubor_sit = r"Cesta k souboru se sítí (.geojson)"
soubor_priority = r"Cesta k souboru s prioritami (.csv)"

# =====
# Načtení souborů
# =====
print("Načítám zastávky...")
zastavky_gdf = gpd.read_file(soubor_zastavek)

print("Načítám silniční síť...")
sit_gdf = gpd.read_file(soubor_sit)

print("Načítám priority zastávek...")
priority_df = pd.read_csv(soubor_priority)

# =====
# Převod souřadnicového systému na EPSG:5514 (S-JTSK - metry)
```

```

# =====
if sit_gdf.crs is None:
    sit_gdf.set_crs("EPSG:5514", inplace=True)
elif sit_gdf.crs.to_string() != "EPSG:5514":
    sit_gdf = sit_gdf.to_crs("EPSG:5514")

if zastavky_gdf.crs is None:
    zastavky_gdf.set_crs("EPSG:5514", inplace=True)
elif zastavky_gdf.crs.to_string() != "EPSG:5514":
    zastavky_gdf = zastavky_gdf.to_crs("EPSG:5514")

# =====
# Sloučení informací o prioritách
# =====
zastavky_gdf = zastavky_gdf.merge(priority_df, on="zastávka", how="left")

# =====
# Pokud sloupec geometry neexistuje, ale je geometry_x, nastavíme jej
# =====
if "geometry" not in zastavky_gdf.columns and "geometry_x" in
zastavky_gdf.columns:
    zastavky_gdf = zastavky_gdf.set_geometry("geometry_x")

# =====
# Přidání sloupců s X a Y souřadnicemi
# =====
zastavky_gdf["x"] = zastavky_gdf.geometry.x
zastavky_gdf["y"] = zastavky_gdf.geometry.y

# =====
# Vytvoření grafu silniční sítě z GeoDataFrame sit_gdf
# =====
G = nx.Graph()
for _, radek in sit_gdf.iterrows():
    souradnice = list(radek.geometry.coords)
    for i in range(len(souradnice) - 1):
        start, konec = souradnice[i], souradnice[i + 1]
        vzd = np.linalg.norm(np.array(start) - np.array(konec))
        G.add_edge(start, konec, weight=vzd)

# =====
# Funkce: nalezení nejbližšího uzlu v grafu k bodu
# =====
def najdi_nejblizsi_uzel(graf, bod):
    min_vzd = float("inf")
    nejblizsi = None
    bx, by = bod.x, bod.y
    for uzel in graf.nodes:
        d = np.linalg.norm(np.array(uzel) - np.array([bx, by]))

```

```

        if d < min_vzd:
            min_vzd = d
            nejblizsi = uzal
    return nejblizsi

# =====
# Přiřazení uzlu z grafu ke každé zastávce
# =====
zastavky_gdf["uzal"] = zastavky_gdf.geometry.apply(lambda b:
najdi_nejblizsi_uzel(G, b))

# =====
# Výběr "hubu" - zastávka "tržnice"
# =====
trznice = zastavky_gdf[zastavky_gdf["zastávka"] == "Tržnice"]
if trznice.empty:
    raise Exception("Chyba: Zastávka 'tržnice' nebyla nalezena!")
if "geometry" in trznice.columns:
    geom_trznice = trznice.iloc[0]["geometry"]
elif "geometry_x" in trznice.columns:
    geom_trznice = trznice.iloc[0]["geometry_x"]
else:
    raise Exception("Chyba: Geometrie zastávky 'tržnice' nebyla nalezena!")
print(f"Uzel 'tržnice' nalezen: {geom_trznice}")
uzal_trznice = najdi_nejblizsi_uzel(G, geom_trznice)

# =====
# K-means clustering + duální přiřazení
# =====
pocet_shluku = 4
k_means = KMeans(n_clusters=pocet_shluku, random_state=0)
souradnice_zastavek = zastavky_gdf[["x", "y"]].values
k_means.fit(souradnice_zastavek)
zastavky_gdf["primarni_shluk"] = k_means.labels_
centroidy = k_means.cluster_centers_

# Duální přiřazení (delta)
delta = 500.0

def prirad_vice_shluku(zastavka, centroidy, delta):
    bod = np.array([zastavka["x"], zastavka["y"]])
    vzdalenosti = np.linalg.norm(centroidy - bod, axis=1)
    serazene_idx = np.argsort(vzdalenosti)
    prirazeni = [int(serazene_idx[0])]
    if len(serazene_idx) > 1 and (vzdalenosti[serazene_idx[1]] -
vzdalenosti[serazene_idx[0]] < delta):
        prirazeni.append(int(serazene_idx[1]))
    return prirazeni

```

```

zastavky_gdf["shluky"] = zastavky_gdf.apply(lambda radek:
prirad_vice_shluku(radek, centroidy, delta), axis=1)

# =====
# Funkce pro váhu hrany s penalizací překryvu
# =====
def vaha_hrany(u, v, data, pouzite_hrany, penalizace):
    zaklad = data["weight"]
    if (u, v) in pouzite_hrany or (v, u) in pouzite_hrany:
        return zaklad + penalizace
    return zaklad

# =====
# Kontrola, zda je kandidát v okruhu 600 m od některého již navštíveného uzlu
# =====
def je_blizko_navstivenych(uzel_kandidata, navstivene_uzly, prah_okruh=600):
    for uzel_navstiveny in navstivene_uzly:
        vzd = np.linalg.norm(np.array(uzel_kandidata) -
np.array(uzel_navstiveny))
        if vzd < prah_okruh:
            return True
    return False

# =====
# Funkce pro vygenerování trasy pro daný "shluk" (nebo více shluků)
# =====
def vygeneruj_trasu(globalni_df, seznam_shluku, graf, uzel_hub, max_vzdalenost,
pouzite_hrany, penalizace):
    """
    - globalni_df: DataFrame zastávek (zastavky_gdf), kde je měněna PRIORITA
    - seznam_shluku: např. [c1] = jediné číslo shluku, ale lze i víc
    - graf: graf silniční sítě (G)
    - uzel_hub: uzel pro tržnici
    - max_vzdalenost: limit (např. 10000 m)
    - pouzite_hrany: množina již použitých hran
    - penalizace: hodnota, která se přičítá, pokud je hrana již použitá
    """
    trasa = [uzel_hub]
    navstivene_uzly = set(trasa)
    celkova_vzdalenost = 0
    uzel_aktualni = uzel_hub

    while True:
        # Jsou vybrány zastávky, které obsahují alespoň jeden shluk ze
seznam_shluku
        maska = globalni_df["shluky"].apply(lambda shl: any(s in shl for s in
seznam_shluku))
        # Navíc jsou vyloučeny ty, které už byly navštíveny

```

```

kandidati_df = globalni_df[maska &
(~globalni_df["uzel"].isin(navstivene_uzly))]
# Seřazení podle PRIORITY
kandidati_df = kandidati_df.sort_values("PRIORITA", ascending=False)

if kandidati_df.empty:
    break

nalezena_zastavka = None
nalezena_cesta_dalsi = None
nalezena_cesta_vzd = None
nalezena_cesta_zpet = None

for idx_kand in range(len(kandidati_df)):
    kand = kandidati_df.iloc[idx_kand]
    uzel_kandidata = kand["uzel"]

    # Kontrola okruhu 600 m
    if je_blizko_navstivenych(uzel_kandidata, navstivene_uzly,
prah_okruh=600):
        globalni_df.loc[kand.name, "PRIORITA"] = 0
        continue

    # Hledání trasy k zastávce
    try:
        cesta_kandidata = nx.shortest_path(
            graf,
            source=uzel_aktualni,
            target=uzel_kandidata,
            weight=lambda u, v, d: vaha_hrany(u, v, d, pouzite_hrany,
penalizace)
        )
        vzd_kandidata = sum(
            vaha_hrany(
                cesta_kandidata[i],
                cesta_kandidata[i+1],
                graf[cesta_kandidata[i]][cesta_kandidata[i+1]],
                pouzite_hrany,
                penalizace
            )
            for i in range(len(cesta_kandidata)-1)
        )
    except nx.NetworkXNoPath:
        continue

    # Cesta zpět do uzlu
    try:
        cesta_zpet = nx.shortest_path(
            graf,

```

```

        source=uzel_kandidata,
        target=uzel_hub,
        weight=lambda u, v, d: vaha_hrany(u, v, d, pouzite_hrany,
penalizace)
    )
    vzd_zpet = sum(
        vaha_hrany(
            cesta_zpet[i],
            cesta_zpet[i+1],
            graf[cesta_zpet[i]][cesta_zpet[i+1]],
            pouzite_hrany,
            penalizace
        )
        for i in range(len(cesta_zpet)-1)
    )
except nx.NetworkXNoPath:
    continue

# Ověření zda nebyla překročena délka trasy
if celkova_vzdalenost + vzd_kandidata + vzd_zpet > max_vzdalenost:
    # pokud ano hledá se zastávka blíže uzlu
    try:
        cesta_aktualni_hub = nx.shortest_path(graf,
source=uzel_aktualni, target=uzel_hub, weight="weight")
        vzd_aktualni_hub = sum(
            graf[cesta_aktualni_hub[i]][cesta_aktualni_hub[i+1]]["wei
ght"]
            for i in range(len(cesta_aktualni_hub)-1)
        )
    except nx.NetworkXNoPath:
        vzd_aktualni_hub = float("inf")

    try:
        cesta_kandidata_hub = nx.shortest_path(graf,
source=uzel_kandidata, target=uzel_hub, weight="weight")
        vzd_kandidata_hub = sum(
            graf[cesta_kandidata_hub[i]][cesta_kandidata_hub[i+1]]["w
eight"]
            for i in range(len(cesta_kandidata_hub)-1)
        )
    except nx.NetworkXNoPath:
        vzd_kandidata_hub = float("inf")

    if vzd_kandidata_hub >= vzd_aktualni_hub:
        nalezena_zastavka = None
        break

# Byla nalezena vhodná zastávka
nalezena_zastavka = kand

```

```

        nalezena_cesta_dalsi = cesta_kandidata
        nalezena_cesta_vzd = vzd_kandidata
        nalezena_cesta_zpet = vzd_zpet
        break

    if nalezena_zastavka is None:
        break

    # Přidání nalezené cesty do trasy (vynecháme první uzel, už tam jsme)
    trasa.extend(nalezena_cesta_dalsi[1:])
    celkova_vzdalenost += nalezena_cesta_vzd
    navstivene_uzly.update(nalezena_cesta_dalsi)
    uzel_aktualni = nalezena_zastavka["uzel"]

    # Snížení priority již obsloužené zastávky
    globalni_df.loc[nalezena_zastavka.name, "PRIORITA"] = 0

    if uzel_aktualni != uzel_hub:
        try:
            cesta_navrat = nx.shortest_path(
                graf,
                source=uzel_aktualni,
                target=uzel_hub,
                weight=lambda u, v, d: vaha_hrany(u, v, d, pouzite_hrany,
penalizace)
            )
            vzd_navrat = sum(
                vaha_hrany(
                    cesta_navrat[i],
                    cesta_navrat[i+1],
                    graf[cesta_navrat[i]][cesta_navrat[i+1]],
                    pouzite_hrany,
                    penalizace
                )
                for i in range(len(cesta_navrat)-1)
            )
            if celkova_vzdalenost + vzd_navrat <= max_vzdalenost:
                celkova_vzdalenost += vzd_navrat
                trasa.extend(cesta_navrat[1:])
        except nx.NetworkXNoPath:
            pass

    return trasa, celkova_vzdalenost

# =====
# Hlavní parametry pro generování linek
# =====
max_vzdalenost = 10000
penalizace = 1000

```

```

shluky_trasy = []
shluky_vzdalenosti = []
pouzite_hrany_globalni = set()

# Pro každý shluk vygenerujeme linku
for shl in range(pocet_shluku):
    print(f"=== Linka {shl+1} (shluk {shl}) ===")
    trasa, vzd = vygeneruj_trasu(
        globalni_df=zastavky_gdf,
        seznam_shluku=[shl],
        graf=G,
        uzel_hub=uzel_trznice,
        max_vzdalenost=max_vzdalenost,
        pouzite_hrany=pouzite_hrany_globalni,
        penalizace=penalizace
    )
    shluky_trasy.append(trasa)
    shluky_vzdalenosti.append(vzd)
    print(f"Linka {shl+1}: počet uzlů = {len(trasa)}, délka: {vzd:.2f} m")

# =====
# Vykreslení výsledků
# =====
fig, ax = plt.subplots(figsize=(10, 10))

sit_gdf.plot(ax=ax, color='lightgrey', linewidth=0.5, label="Silniční síť")
zastavky_gdf.plot(ax=ax, color='blue', markersize=10, label="Zastávky")
gpd.GeoSeries([geom_trznice]).plot(ax=ax, color='green', markersize=50,
label="Tržnice (hub)")
# Vykreslíme centroidy z K-means
body_centroidu = [Point(c[0], c[1]) for c in centroidy]
centroidy_gs = gpd.GeoSeries(body_centroidu)
centroidy_gs.plot(ax=ax, color='black', markersize=50, label="Centroidy")
barvy = ['red', 'orange', 'purple', 'brown']
for idx, trasa in enumerate(shluky_trasy):
    if len(trasa) < 2:
        continue
    linie = LineString(trasa)
    gpd.GeoSeries([linie]).plot(ax=ax, color=barvy[idx % len(barvy)],
linewidth=2, label=f"Linka {idx+1}")

plt.title("Linky (duální přiřazení, okruh 600 m, sdílené snížení priorit)")
plt.xlabel("X [m]")
plt.ylabel("Y [m]")
plt.legend()
plt.tight_layout()
plt.show()

```

Obrázek A1 Skript pro vytváření návrhu tras linek

Zdroj: autor

B SKRIPT PRO GENEROVÁNÍ ZÁKLADNÍCH SÍDELNÍCH JEDNOTEK DO MAPY

Tento skript slouží k vizualizaci hustoty zalidnění v jednotlivých základních sídelních jednotkách (ZSJ) na území města Olomouce. Výsledkem jeho spuštění je interaktivní webová mapa ve formátu HTML, na níž jsou jednotlivé oblasti barevně rozlišeny podle hustoty obyvatel (v přepočtu na km²). Skript kombinuje prostorová data (shapefile ZSJ) a populační data uložená v Excelovém souboru. Po zpracování datových vstupů a výpočtu potřebných ukazatelů (plocha, hustota) dochází k jejich sloučení, vizualizaci a exportu do přehledné mapové výstupní podoby.

Pro načítání a manipulaci s prostorovými a tabulkovými daty je využita knihovna GeoPandas, která rozšiřuje možnosti knihovny Pandas o práci s geometrií (např. výpočet plochy nebo zobrazení vektorových dat). Knihovna Pandas zajišťuje efektivní práci s tabulkovými daty – umožňuje například načítání Excelových tabulek, jejich úpravu, filtrování nebo spojování podle klíčových sloupců.

K vizualizaci výsledných dat v mapě je využita knihovna Folium, která umožňuje vytváření interaktivních webových map s využitím podkladových dlaždic (např. z OpenStreetMap) a prvků jako jsou popisky, symboly nebo barevné vrstvy. Pro barevné rozlišení hodnot hustoty obyvatel je použita knihovna Branca, konkrétně komponenta LinearColormap, která slouží k definici barevných přechodů mezi minimální a maximální hodnotou sledovaného ukazatele.

Skript kromě samotného výpočtu také ošetřuje potenciální chyby v datech, jako jsou nečíselné nebo chybějící hodnoty, které automaticky nahrazuje nulami. Tím je zajištěna stabilita a konzistence při dalším zpracování. Mapový výstup obsahuje interaktivní popisky zobrazující název ZSJ, počet obyvatel a vypočtenou hustotu. Uživatel tak získá intuitivní přehled o prostorovém rozložení obyvatelstva, což může být využito např. při plánování veřejné dopravy nebo územním rozvoji.

```
import geopandas as gpd
import pandas as pd
import folium
import branca.colormap as cm

#Načtení souborů
shapefile_path = "Cesta ke shapefilu (.shp)"
population_data_path = "Cesta k databázi ze čítání lidí domů a bytů (.xlsx)"

# Načtení shapefile (informace o hranicích ZSJ)
zsj_gdf = gpd.read_file(shapefile_path)

#Načtení excelového souboru (Databáze obyvatel ze sčítání osob 2021)
```

```

obyv_df = pd.read_excel(population_data_path)

#Přejmenování sloupců pro snazší spojení
obyv_df.columns = ["NAZEV", "POCET_OBYV"]

#Převod hodnot na číselný formát, odstranění nečíselných hodnot
obyv_df["POCET_OBYV"] = pd.to_numeric(obyv_df["POCET_OBYV"],
errors="coerce").fillna(0)

#Sloučení dat podle názvu ZSJ
zsj_gdf = zsj_gdf.merge(obyv_df, on="NAZEV", how="left")

#Výpočet plochy ZSJ v km²
zsj_gdf["AREA_KM2"] = zsj_gdf.geometry.area / 1e6 # Převod z m² na km²

#Převod hodnot na číselný formát a oprava případných chyb
zsj_gdf["POCET_OBYV"] = pd.to_numeric(zsj_gdf["POCET_OBYV"],
errors="coerce").fillna(0)
zsj_gdf["AREA_KM2"] = pd.to_numeric(zsj_gdf["AREA_KM2"],
errors="coerce").fillna(0)

#Výpočet hustoty zalidnění (obyvatelé na km²)
zsj_gdf["HUSTOTA_OBYV"] = zsj_gdf["POCET_OBYV"] / zsj_gdf["AREA_KM2"]
zsj_gdf["HUSTOTA_OBYV"] = zsj_gdf["HUSTOTA_OBYV"].fillna(0) # Nahrazení NaN
hodnot nulami

#Nastavení výchozí polohy mapy
m = folium.Map(location=[49.5938, 17.2500], zoom_start=12, tiles="CartoDB
Positron")

#Definice barevné škály
colormap = cm.LinearColormap(
    colors=["yellow", "orange", "red"],
    vmin=zsj_gdf["HUSTOTA_OBYV"].min(),
    vmax=zsj_gdf["HUSTOTA_OBYV"].max(),
    caption="Hustota zalidnění (obyv./km²)"
)

#Oprava stylování GeoJson vrstev
def style_function(feature):
    nazev_zsj = feature["properties"]["NAZEV"]
    hustota = zsj_gdf.loc[zsj_gdf["NAZEV"] == nazev_zsj, "HUSTOTA_OBYV"].values
    if len(hustota) > 0:
        color = colormap(hustota[0])
    else:
        color = "gray"

    return {
        "fillColor": color,

```

```

        "color": "black",
        "weight": 1,
        "fillOpacity": 0.7
    }

#Přidání vrstev s hustotou zalidnění a popisem s celkovým počtem obyvatel
folium.GeoJson(
    zsj_gdf,
    name="Hustota zalidnění",
    style_function=style_function,
    tooltip=folium.GeoJsonTooltip(
        fields=["NAZEV", "POCET_OBYV", "HUSTOTA_OBYV"],
        aliases=["ZSJ:", "Počet obyvatel:", "Hustota obyvatel (obyv./km²):"],
        localize=True
    )
).add_to(m)

#Přidání barevné legendy
colormap.add_to(m)

#Uložení jako HTML soubor (umožňuje zobrazení v libovolném prohlížeči)
map_filename = "mapa_hustota_obyvatel5.html"
m.save(map_filename)

print(f"Mapa byla uložena jako {map_filename}, otevřete ji v prohlížeči.")

```

Obrázek B1 Skript pro generování ZSJ do mapy

Zdroj: autor

C SKRIPT PRO VYTVOŘENÍ MATICE VZDÁLENOSTÍ

Tento skript slouží k vytvoření matice vzdáleností mezi zastávkami městské hromadné dopravy na základě reálné silniční sítě vytvořené autorem. Využívá prostorová a síťová data pro výpočet nejkratších vzdáleností v metrech mezi všemi dvojicemi zastávek. Výsledná matice je uložena ve formátu CSV a může sloužit jako vstup pro další analýzy, například při návrhu optimálních tras linek MHD.

Skript pracuje s knihovnamy GeoPandas, NetworkX, Pandas a Numpy. Knihovna GeoPandas slouží k načtení a zpracování prostorových dat, NetworkX umožňuje vytvářet a analyzovat grafovou reprezentaci silniční sítě, Pandas je využita k manipulaci s tabulkovými daty a Numpy k výpočtům vzdáleností v prostoru.

V první části skriptu jsou načteny dva soubory – soubor s vrstvou zastávek a soubor s linií vrstvou silniční sítě. Následně je zajištěna konzistence souřadnicových systémů tím, že obě vrstvy jsou převedeny do metrického systému S-JTSK (EPSG:5514), který je vhodný pro výpočty vzdáleností v metrech.

Dále je ze silniční sítě vytvořen neorientovaný graf, kde uzly odpovídají bodům v síti a hrany spojují jednotlivé úseky komunikací. Každé hraně je přiřazena váha odpovídající délce úseku v metrech. Pro každou zastávku je v síti vyhledán nejbližší uzel, ke kterému bude tato zastávka přiřazena. Tento krok je nezbytný pro zajištění přesné lokalizace v síťové struktuře.

V další části skript postupně prochází všechny kombinace zastávek a pomocí algoritmu pro výpočet nejkratší cesty (Dijkstra) zjišťuje vzdálenost mezi příslušnými uzly v síti. Výsledky jsou uloženy do čtvercové matice, kde řádky i sloupce odpovídají názvům zastávek a jednotlivé buňky obsahují vzdálenosti v metrech. Pokud mezi dvěma zastávkami neexistuje spojení, je hodnota nahrazena NaN.

Výsledná matice vzdáleností je následně exportována do souboru ve formátu CSV, který lze dále analyzovat nebo využít jako podklad pro optimalizační modely návrhu linek hromadné dopravy.

Tento skript je klíčovým nástrojem pro získání přesných vstupních dat pro další síťové analýzy, jako je výpočet efektivity tras, návazností či hledání optimálního pokrytí území.

```
import geopandas as gpd
import networkx as nx
import pandas as pd
import numpy as np

#Načtení souborů
soubor_zastavek = r"cesta k souboru s databází zastávek (.geojson)
```

```

soubor_site = r" cesta k souboru se silniční sítí (.geojson)"
vystupni_csv = r" adresář pro uložení matice vzdáleností (csv)"

print("Načítám silniční síť...")
sit = gpd.read_file(soubor_site)

print("Načítám zastávky...")
zastavky = gpd.read_file(soubor_zastavek)

#Zjištění souřadnicových systémů (CRS)
print(f"CRS sítě: {sit.crs}, CRS zastávek: {zastavky.crs}")

#Převod do metrického systému, pokud ještě není nastaven (EPSG:5514 = S-JTSK)
if sit.crs != "EPSG:5514":
    sit = sit.to_crs("EPSG:5514")

if zastavky.crs != "EPSG:5514":
    zastavky = zastavky.to_crs("EPSG:5514")

#Vytvoření grafu ze silniční sítě
graf = nx.Graph()

for _, radek in sit.iterrows():
    souradnice = list(radek.geometry.coords)
    for i in range(len(souradnice) - 1):
        start, cil = souradnice[i], souradnice[i + 1]
        vzdalenost = np.linalg.norm(np.array(start) - np.array(cil)) #
vzdálenost v metrech
        graf.add_edge(start, cil, weight=vzdalenost) # přidání hrany s váhou

graf.graph["crs"] = "EPSG:5514"

#Funkce pro nalezení nejbližšího uzlu v síti pro daný bod
def najdi_nejblizsi_uzel(graf, bod):
    nejmensi_vzdalenost = float("inf")
    nejblizsi_uzel = None
    for uzel in graf.nodes:
        vzdalenost = np.linalg.norm(np.array(uzel) - np.array([bod.x, bod.y]))
        if vzdalenost < nejmensi_vzdalenost:
            nejmensi_vzdalenost = vzdalenost
            nejblizsi_uzel = uzel
    return nejblizsi_uzel

#Mapování zastávek na uzly v síti
uzly_zastavek = {}
for _, zastavka in zastavky.iterrows():
    nazev_zastavky = zastavka["zastávka"] # zkontroluj název sloupce dle potřeby
    uzly_zastavek[nazev_zastavky] = najdi_nejblizsi_uzel(graf, zastavka.geometry)

```

```

#Vytvoření prázdné matice vzdáleností
matice_vzdalenosti = pd.DataFrame(index=uzly_zastavek.keys(),
columns=uzly_zastavek.keys())

print("Vypočítávám vzdálenosti mezi zastávkami (v METRECH)...")
for zast1, uzel1 in uzly_zastavek.items():
    for zast2, uzel2 in uzly_zastavek.items():
        if zast1 == zast2:
            matice_vzdalenosti.at[zast1, zast2] = 0
        else:
            try:
                nejkratsi_vzdalenost = nx.shortest_path_length(graf,
source=uzel1, target=uzel2, weight="weight")
                matice_vzdalenosti.at[zast1, zast2] = round(nejkratsi_vzdalenost,
2)
            except nx.NetworkXNoPath:
                matice_vzdalenosti.at[zast1, zast2] = np.nan # pokud neexistuje
cesta

#Uložení matice vzdáleností do CSV
matice_vzdalenosti.to_csv(vystupni_csv)
print(f" Matice vzdáleností byla uložena jako {vystupni_csv}. Všechny hodnoty
jsou v METRECH.")

```

Obrázek C1 Skript pro generování matice vzdáleností

Zdroj: autor

D SKRIPT PRO VYTVOŘENÍ PRIORITY ZASTÁVEK

Tento skript slouží k určení priorit jednotlivých zastávek městské hromadné dopravy na základě počtu obyvatel v základních sídelních jednotkách (ZSJ), do jejichž území spadají. Výstupem je tabulka, která každé zastávce přiřazuje odpovídající hodnotu priority. Ta je stanovena na základě relativního počtu obyvatel dané ZSJ, a tedy poskytuje informaci o tom, jak významná daná zastávka je z hlediska populačního zatížení oblasti, kterou obsluhuje. Tento výpočet byl následně využit při optimalizaci tras nočních linek veřejné dopravy.

Na začátku skriptu dochází ke kontrole, zda jsou k dispozici všechny potřebné vstupní datové soubory – konkrétně se jedná o matici vzdáleností mezi zastávkami, prostorovou vrstvu zastávek, tabulku s počtem obyvatel v jednotlivých ZSJ a shapefile s hranicemi těchto jednotek. Pokud některý ze souborů chybí, skript se s chybovým hlášením ukončí. Následuje načtení těchto dat prostřednictvím knihoven Pandas a GeoPandas.

Další část skriptu se zaměřuje na sjednocení souřadnicových systémů. Jelikož se pro výpočet prostorových vztahů využívá metrický systém (konkrétně EPSG:5514 – S-JTSK), jsou všechny vrstvy převedeny do tohoto systému, aby bylo zajištěno správné překrytí prostorových dat.

Pomocí prostorového spojení (funkce sjoin z knihovny GeoPandas) jsou následně jednotlivé zastávky přiřazeny k příslušným ZSJ, ve kterých se nachází. Výsledná tabulka je dále rozšířena o informaci o počtu obyvatel jednotlivých ZSJ, přičemž se provede základní úprava dat (například převod textových hodnot na číselné a doplnění chybějících údajů nulou).

Závěrečným krokem je výpočet vlastní priority. Ta je definována jako podíl počtu obyvatel příslušné ZSJ a maximálního počtu obyvatel mezi všemi ZSJ. Výsledná hodnota se tedy pohybuje v intervalu od 0 do 1, přičemž vyšší hodnota znamená vyšší důležitost dané zastávky z hlediska populační obslužnosti.

Finální datová tabulka, která obsahuje názvy zastávek, jejich prostorovou polohu, přiřazené ZSJ, počet obyvatel a vypočtenou prioritu, je uložena ve formátu CSV pro další využití. Skript tak představuje důležitý nástroj pro plánování a rozhodování v oblasti městské hromadné dopravy s ohledem na populační strukturu města.

```

import pandas as pd
import geopandas as gpd
import os

# Cesty k souborům – aktualizované pro síť z QGIS
soubor_matice = r"cesta k souboru s maticí vzdáleností (.csv)"
soubor_zastavek = r"cesta k souboru s databází zastávek (.geojson)"
soubor_obyvatel = r"cesta k souboru s databází počtu obyvatel ze sčítání lidí
domů a bytů 2021.xlsx"
soubor_zsj = r"cesta ke geometrickým informacím o ZSJ(.shp)"

#Kontrola existence souborů
for soubor in [soubor_matice, soubor_zastavek, soubor_obyvatel, soubor_zsj]:
    if not os.path.exists(soubor):
        print(f" CHYBA: Soubor {soubor} neexistuje!")
        exit()

# Načítání souborů
print("Načítání matice vzdáleností...")
matice_df = pd.read_csv(soubor_matice)

print("Načítání zastávek z QGIS...")
zastavky_gdf = gpd.read_file(soubor_zastavek)

print("Načítání údajů o obyvatelstvu ZSJ...")
obyvatele_df = pd.read_excel(soubor_obyvatel)

print("Načítání hranic ZSJ...")
zsj_gdf = gpd.read_file(soubor_zsj)

#Převod souřadnicového systému pro správné prostorové operace
if zsj_gdf.crs is None:
    print("Špatný formát")
    zsj_gdf.set_crs("EPSG:5514", inplace=True)

if zsj_gdf.crs != "EPSG:5514":
    zsj_gdf = zsj_gdf.to_crs("EPSG:5514")

#Převod CRS zastávek, aby odpovídal vrstvě ZSJ
if zastavky_gdf.crs != "EPSG:5514":
    print("Převádím zastávky do CRS EPSG:5514...")
    zastavky_gdf = zastavky_gdf.to_crs("EPSG:5514")

#Přiřazení zastávek k územím ZSJ
print("Přiřazení zastávek k ZSJ...")
zastavky_zsj = gpd.sjoin(zastavky_gdf, zsj_gdf, how="left", predicate="within")

# Převedení názvů sloupců ze sčítání lidí domů a bytů na shodný formát s databází
ZSJ

```

```

obyvatele_df.columns = ["NAZEV", "POCET_OBYV"]

#Spojení dat o zastávkách s počtem obyvatel v ZSJ
print("Spojení zastávek s daty o obyvatelstvu...")
zastavky_zsj = zastavky_zsj.merge(obyvatele_df, on="NAZEV", how="left")

#Převod datového typu pro počet obyvatel
zastavky_zsj["POCET_OBYV"] = pd.to_numeric(zastavky_zsj["POCET_OBYV"],
errors="coerce").fillna(0)

#Výpočet priority zastávek na základě počtu obyvatel (normalizace)
zastavky_zsj["PRIORITA"] = zastavky_zsj["POCET_OBYV"] /
zastavky_zsj["POCET_OBYV"].max()

#Uložení výsledků
vystupni_soubor = r"Cesta k uložení souboru s tabulkou priorit.csv"
zastavky_zsj[["zastávka", "geometry", "NAZEV", "POCET_OBYV",
"PRIORITA"]].to_csv(vystupni_soubor, index=False)
print(f"Soubor je uložen{vystupni_soubor}")

```

Obrázek D1 Skript pro vytváření priority zastávek

Zdroj: autor

E SKRIPT PRO VYKRESLENÍ TRASY DO MAPY

Tento skript slouží k prostorové vizualizaci návrhu tras městské hromadné dopravy v Olomouci. Jeho hlavním cílem je vytvořit interaktivní mapu s vykreslením tras jednotlivých linek MHD, jejich průchodem městskou sítí a pokrytím základních sídelních jednotek (ZSJ). Zároveň skript umožňuje vizuální zhodnocení přehlednosti navrženého systému, návazností mezi linkami a geografického rozložení obsluhovaných zastávek.

Pro práci s prostorovými daty byla využita knihovna GeoPandas, která rozšiřuje možnosti klasické knihovny Pandas o práci s geometrickými objekty jako jsou body, linie nebo polygony. Pomocí této knihovny byly načteny tři hlavní vrstvy – vrstva silniční sítě (ve formátu GeoJSON), vrstva zastávek (GeoJSON) a vrstva základních sídelních jednotek ZSJ (ve formátu Shapefile). Každá vrstva obsahuje geometrické informace a atributová data.

Vzhledem k tomu, že různé datové sady mohou používat odlišné souřadnicové systémy (CRS – Coordinate Reference System), byly všechny vrstvy převedeny na jednotný geografický souřadnicový systém EPSG:4326, který je běžně používaný v rámci webových mapových podkladů, například OpenStreetMap. Tento převod je důležitý pro korektní prostorové vykreslování a vzájemné porovnání objektů na mapě.

K zajištění možnosti propojení jednotlivých zastávek a výpočtu tras mezi nimi byla použita knihovna NetworkX, která slouží k práci s grafy a síťovými strukturami. V tomto případě byl z dat silniční sítě vytvořen neorientovaný graf, ve kterém uzly představují body na silnici (vrcholy) a hrany propojující tyto body reprezentují úseky silnice, jejichž váhou je délka (vzdálenost) daného úseku. Využitím knihovny Numpy byla každému úseku připojena jeho délka vypočtená jako eukleidovská vzdálenost mezi koncovými body.

Pomocí funkce prohledávající všechny uzly v síti byla každé zastávce přiřazena nejbližší síťová křižovatka (uzel), což je důležité pro následný výpočet tras mezi zastávkami v rámci grafu. Tyto trasy jsou vypočítány jako nejkratší cesty mezi dvojicemi uzlů pomocí Dijkstrova algoritmu (automaticky implementovaného v NetworkX), kde se hledá cesta s minimální sumou délek jednotlivých hran.

Pro samotné zobrazení výsledků byl využit modul Folium, který umožňuje vytvářet interaktivní webové mapy. Tento modul používá jako podklad mapové dlaždice služby OpenStreetMap a umožňuje na ně přidávat vrstvy, geometrie, značky i popisky. Skript vytváří mapu, na kterou jsou následně přidávány:

- polygony základních sídelních jednotek s tooltipy (název ZSJ),
- trasy jednotlivých linek MHD jako barevné linie,

- zastávky jako kruhové body,
- vybrané zastávky s trvalým popiskem názvu.

Barevné odlišení tras usnadňuje rozlišení jednotlivých linek a trvalé popisky některých významných zastávek přispívají k přehlednosti. Z důvodu možného překrývání tras v místech, kde se linky shodují, byl zaveden malý vizuální posun souřadnic, aby byly jednotlivé trasy od sebe viditelně odděleny.

Na závěr je do mapy přidána vlastní HTML legenda, která vysvětluje barvy jednotlivých linek. Skript rovněž ukládá celou mapu do souboru HTML, který je možné otevřít v běžném webovém prohlížeči.

Jako doplňková knihovna byla využita shapely jedná se o knihovnu pro manipulaci s geometrickými objekty. V tomto skriptu je využita nepřímo prostřednictvím GeoPandas pro získávání souřadnic liniových prvků (např. úseky silnic).

```
import os
import geopandas as gpd
import networkx as nx
import pandas as pd
import folium
import numpy as np
from shapely.geometry import Point, LineString

# Cesty k souborům
soubor_sit = r"Cesta k souboru se silniční sítí (.geojson)"
soubor_zastavky = r"Cesta k souboru se zastávkami:(.geojson)"
soubor_zsj = r"Cesta k souboru s geometrickými informacemi o ZSJ(.shp)"

# Kontrola existence souborů
for soubor in [soubor_sit, soubor_zastavky, soubor_zsj]:
    if not os.path.exists(soubor):
        print(f"CHYBA:{soubor} nebyl nalezen")
        exit()

#Načítání souborů
print("Načítání silniční sítě...")
sit = gpd.read_file(soubor_sit)

print("Načítání zastávek...")
zastavky_gdf = gpd.read_file(soubor_zastavky)

print("Načítání ZSJ...")
zsj_gdf = gpd.read_file(soubor_zsj)
```

```

# Oprava souřadnicových systémů
for gdf in [sit, zastavky_gdf, zsj_gdf]:
    if gdf.crs is None:
        gdf.set_crs("EPSG:5514", inplace=True)
    if gdf.crs != "EPSG:4326":
        gdf.to_crs("EPSG:4326", inplace=True)

# Vytvoření grafu silniční sítě
G = nx.Graph()
for _, radek in sit.iterrows():
    souradnice = list(radek.geometry.coords)
    for i in range(len(souradnice) - 1):
        zacatek, konec = souradnice[i], souradnice[i + 1]
        vzdalenost = np.linalg.norm(np.array(zacatek) - np.array(konec))
        G.add_edge(zacatek, konec, weight=vzdalenost)

# Funkce pro nalezení nejbližšího uzlu
def najdi_nejblizsi_uzel(G, bod):
    min_vzdalenost = float("inf")
    nejblizsi_uzel = None
    for uzel in G.nodes:
        vzdalenost = np.linalg.norm(np.array(uzel) - np.array([bod.x, bod.y]))
        if vzdalenost < min_vzdalenost:
            min_vzdalenost = vzdalenost
            nejblizsi_uzel = uzel
    return nejblizsi_uzel

# Definice tras linek
linky_data = {
    "Linka 1": ["Hlavní nádraží", "U Bystřičky", "Žižkovo nám.", "Nám.
Republiky", "U Dómu", "U Sv.Mořice", "Náměstí Hrdinů", "Palackého", "Nádraží
město", "Šibeník", "Gymnázium Hejčín", "Ladova", "Finanční úřad", "Na Střelnici",
"U Sv.Mořice", "Nám. Republiky B", "U Dómu B", "U Sv.Mořice", "Žižkovo nám. B",
"U Bystřičky B"],
    "Linka 2": ["Hlavní nádraží", "Vejdovského", "Envelopa", "Tržnice", "Okresní
soud", "Výstaviště Flora", "Dvořákova", "Foerstrova,pošta A", "Foerstrova A",
"Pražská", "U Kovárny", "Kmochova", "Jílová", "Stupkova", "Karafiátová",
"Profesora Fuky", "Okružní", "Nová Ulice", "Pionýrská", "Fakultní nemocnice",
"Hotelový dům", "Povel,škola", "Rožňavská", "Zikova", "Trnkova", "Velkomoravská
A", "U Teplárny", "Vejdovského", "Kosmonautů", "Hlavní nádraží výst"]
}

barvy = ["red", "blue", "green", "purple", "orange"]

# Zastávky k popisu (ty co se vykreslí na mapě)
zastavky_popis = [
    "Hlavní nádraží", "Ladova", "U Kovárny", "Karafiátová", "Okružní",
    "Nová Ulice", "Hotelový dům", "U Kapličky", "Slavonínská", "Nové Sady",
    "Trnkova",

```

```

    "Tržnice", "Náměstí Hrdinů", "Dvořákova", "Řepčín škola", "Frajtovo náměstí",
    "Aut. nádraží podchod", "U Mlýna", "Holice", "Černá cesta", "Vejdovského",
    "Finanční úřad"
]

# Vytvoření mapy
stred_mapy = [zastavky_gdf.iloc[0].geometry.y, zastavky_gdf.iloc[0].geometry.x]
m = folium.Map(location=stred_mapy, zoom_start=13)

# Vykreslení ZSJ s podkresem ZSJ
for _, radek in zsj_gdf.iterrows():
    folium.GeoJson(
        radek.geometry,
        style_function=lambda x: {
            "fillColor": "gray",
            "color": "black",
            "weight": 1,
            "fillOpacity": 0.3
        },
        tooltip=radek["NAZEV"]
    ).add_to(m)

# Vykreslení tras
faktor_posunu = 0.0002

for i, (nazev_linky, zastavky) in enumerate(linky_data.items()):
    vybrane_zastavky =
zastavky_gdf[zastavky_gdf["zastávka"].isin(zastavky)].copy()
    vybrane_zastavky["poradi"] = vybrane_zastavky["zastávka"].apply(lambda x:
zastavky.index(x))
    vybrane_zastavky = vybrane_zastavky.sort_values("poradi")
    vybrane_zastavky["uzel"] = vybrane_zastavky["geometry"].apply(lambda bod:
najdi_nejblizsi_uzel(G, bod))

trasa = []
for j in range(len(vybrane_zastavky) - 1):
    try:
        cesta = nx.shortest_path(
            G,
            source=vybrane_zastavky.iloc[j]["uzel"],
            target=vybrane_zastavky.iloc[j+1]["uzel"],
            weight="weight"
        )
        trasa += cesta
    except nx.NetworkXNoPath:
        print(f"Není nalezena cesta mezi
{vybrane_zastavky.iloc[j]['zastávka']} a
{vybrane_zastavky.iloc[j+1]['zastávka']}!")

```

```

posun = (i - len(linky_data) / 2) * faktor_posunu
souradnice_trasy = [(uzel[1] + posun, uzel[0] + posun) for uzel in trasa if
uzel]

folium.PolyLine(
    locations=souradnice_trasy,
    color=barvy[i % len(barvy)],
    weight=4,
    opacity=0.8,
    tooltip=nazev_linky
).add_to(m)

for _, radek in vybrane_zastavky.iterrows():
    folium.CircleMarker(
        location=[radek.geometry.y, radek.geometry.x],
        radius=5,
        color=barvy[i % len(barvy)],
        fill=True,
        fill_color=barvy[i % len(barvy)],
        fill_opacity=0.9,
    ).add_to(m)

    if radek["zastávka"] in zastavky_popis:
        folium.Marker(
            location=[radek.geometry.y, radek.geometry.x],
            icon=folium.DivIcon(
                icon_anchor=(0, 0),
                html=f'''
<div style="
    background-color: white;
    padding: 2px 6px;
    border-radius: 4px;
    border: 1px solid black;
    font-size: 10px;
    color: black;
    font-weight: bold;
    white-space: nowrap;
    text-align: center;
    display: inline-block;
    box-shadow: 2px 2px 3px rgba(0,0,0,0.3);
    line-height: 1.2;
">
    {radek["zastávka"]}
</div>
'''
            ),
        ).add_to(m)

# Legenda

```

```

html_legenda = ""
<style>
  .legend {
    position: fixed;
    top: 10px;
    left: 10px;
    background: white;
    padding: 10px;
    border: 2px solid black;
    z-index: 9999;
    cursor: grab;
  }
</style>
<div id="legend-box" class="legend">
  <b>Legenda:</b><br>
  "" + "".join([f'<span style="color:{barvy[i]}; font-weight:bold;">●</span>
{linka}<br>' for i, linka in enumerate(linky_data.keys())]) + ""
</div>
<script>
  var legend = document.getElementById("legend-box");
  var posX = 0, posY = 0, mouseX = 0, mouseY = 0;
  legend.onmousedown = function(event) {
    event.preventDefault();
    mouseX = event.clientX;
    mouseY = event.clientY;
    document.onmouseup = closeDrag;
    document.onmousemove = dragElement;
  };
  function dragElement(event) {
    event.preventDefault();
    posX = mouseX - event.clientX;
    posY = mouseY - event.clientY;
    mouseX = event.clientX;
    mouseY = event.clientY;
    legend.style.top = (legend.offsetTop - posY) + "px";
    legend.style.left = (legend.offsetLeft - posX) + "px";
  }
  function closeDrag() {
    document.onmouseup = null;
    document.onmousemove = null;
  }
</script>
""
m.get_root().html.add_child(folium.Element(html_legenda))
#Uložení mapy
navez_mapy = "SS1.html"
m.save(navez_mapy)
print(f"Mapa byla uložena jako {navez_mapy}")

```

Obrázek E1 Skript pro vykreslení trasy linky do mapy

Zdroj: autor

F SKRIPT PRO VÝPOČET DÉLKY LINKY

Tento skript slouží k výpočtu celkové délky trasy mezi pevně definovanými zastávkami linky městské hromadné dopravy. Využívá kombinaci prostorových a síťových analýz pro zajištění přesného výpočtu vzdáleností po reálné silniční síti. K tomu jsou využity moderní knihovny jazyka Python, konkrétně:

- GeoPandas – rozšíření klasické knihovny Pandas o podporu geoprostorových dat. Umožňuje efektivní práci s daty ve formátech jako GeoJSON nebo shapefile a poskytuje nástroje pro prostorové operace a transformace souřadnicových systémů,
- NetworkX – knihovna pro tvorbu a analýzu grafů. V tomto případě slouží k modelaci silniční sítě jako grafu, kde jsou vrcholy jednotlivé body v síti a hrany představují úseky mezi nimi s délkou jako váhovým parametrem,
- Numpy – základní knihovna pro vědecké výpočty a efektivní manipulaci s poli a maticemi. Využívá se zde ke geometrickým výpočtům vzdáleností,
- Pandas – slouží k manipulaci s tabulkovými daty, např. při filtrování a řazení zastávek podle zadaného pořadí.

Skript nejprve načte prostorové vrstvy silniční sítě a zastávek. Ověří, zda jsou jejich souřadnicové systémy nastaveny, případně je převede do jednotného systému EPSG:5514 (S- JTSK), který je vhodný pro výpočty v metrech na území České republiky.

Silniční síť je následně převedena na neorientovaný graf. Každá hrana grafu je reprezentována jako úsek mezi dvěma sousedními body geometrie linií v síti a je ohodnocena délkou v metrech. Následně je pro každou zastávku ze zadaného seznamu určena její nejbližší pozice v síti, tedy vrchol (uzel) grafu, který je prostorově nejbližší souřadnici zastávky.

Skript poté vypočítává trasu mezi každými dvěma po sobě jdoucími zastávkami pomocí algoritmu pro hledání nejkratší cesty. Během toho zároveň postupně sčítá délky všech segmentů trasy. Pokud není možné mezi dvěma zastávkami nalézt cestu, je uživatel upozorněn chybovou zprávou.

Na závěr skript vypíše celkovou ujetou vzdálenost v metrech i přepočtenou na kilometry. Tento údaj je důležitý např. pro následné odhady provozních nákladů, časových potřeb nebo srovnání alternativních variant tras.

Tento skript je důležitou součástí analytického a návrhového procesu při plánování městské hromadné dopravy. Poskytuje přesný základ pro srovnání variant tras nejen z hlediska jejich obslužnosti, ale i prostorové a provozní efektivity.

```
import os
import geopandas as gpd
import networkx as nx
import pandas as pd
import numpy as np

# Cesty k souborům
soubor_sit = r"Cesta k souboru se silniční sítí (.geojson)"
soubor_zastavky = r"Cesta k souboru se zastávkami (.geojson)"

# Kontrola existence souborů
for soubor in [soubor_sit, soubor_zastavky]:
    if not os.path.exists(soubor):
        print(f"CHYBA: Soubor {soubor} neexistuje!")
        exit()

# Načítání souborů
print("Načítání silniční sítě...")
sit = gpd.read_file(soubor_sit)

print("Načítání zastávek...")
zastavky_gdf = gpd.read_file(soubor_zastavky)

# Převod CRS na jednotný systém
if sit.crs is None:
    sit.set_crs("EPSG:5514", inplace=True)
if sit.crs != "EPSG:5514":
    sit = sit.to_crs("EPSG:5514")
if zastavky_gdf.crs != "EPSG:5514":
    zastavky_gdf = zastavky_gdf.to_crs("EPSG:5514")

# Vytvoření grafu silniční sítě
graf = nx.Graph()
celkova_vzdalenost = 0 # Proměnná pro celkovou ujetou vzdálenost

for _, radek in sit.iterrows():
    souradnice = list(radek.geometry.coords)
    for i in range(len(souradnice) - 1):
        start, end = souradnice[i], souradnice[i + 1]
        vzd = np.linalg.norm(np.array(start) - np.array(end))
        graf.add_edge(start, end, weight=vzd)

# Funkce pro nalezení nejbližšího uzlu v síti
def najdi_nejblizsi_uzel(graf, bod):
    min_vzd = float("inf")
```

```

nejblizsi = None
for uzel in graf.nodes:
    vzd = np.linalg.norm(np.array(uzel) - np.array([bod.x, bod.y]))
    if vzd < min_vzd:
        min_vzd = vzd
        nejblizsi = uzel
return nejblizsi
# Pevně dané zastávky linky
seznam_zastavek = ["Náměstí Hrdinů", "U Sv.Mořice", "Nám. Republiky B", "U Dómu
B", "U Sv.Mořice", "Žižkovo nám. B", "U Bystřičky B", "Hlavní nádraží"]

# Filtrování zastávek pro linku
vybrane_zastavky =
zastavky_gdf[zastavky_gdf["zastávka"].isin(seznam_zastavek)].copy()
if vybrane_zastavky.empty:
    print("Žádná z pevných zastávek nebyla nalezena!")
    exit()

# Zajištění správného pořadí zastávek podle seznamu
vybrane_zastavky["poradi"] = vybrane_zastavky["zastávka"].apply(lambda x:
seznam_zastavek.index(x))
vybrane_zastavky = vybrane_zastavky.sort_values("poradi")

# Připojení nejbližších uzlů k zastávkám
vybrane_zastavky["uzel"] = vybrane_zastavky["geometry"].apply(lambda bod:
najdi_nejblizsi_uzel(graf, bod))

# Výpočet trasy mezi zastávkami a celkové délky trasy
trasa = []
for i in range(len(vybrane_zastavky) - 1):
    try:
        cesta = nx.shortest_path(
            graf,
            source=vybrane_zastavky.iloc[i]["uzel"],
            target=vybrane_zastavky.iloc[i+1]["uzel"],
            weight="weight"
        )
        # Výpočet celkové délky trasy
        for j in range(len(cesta) - 1):
            if graf.has_edge(cesta[j], cesta[j + 1]):
                celkova_vzdalenost += graf[cesta[j]][cesta[j + 1]]["weight"]
        trasa += cesta
    except nx.NetworkXNoPath:
        print(f"Není nalezena cesta mezi {vybrane_zastavky.iloc[i]['zastávka']} a
{vybrane_zastavky.iloc[i+1]['zastávka']}!")
# Výpis celkové vzdálenosti
print(f"Celková ujetá vzdálenost linky: {celkova_vzdalenost:.2f} m
({celkova_vzdalenost / 1000:.2f} km)")

```

Obrázek F1 Skript pro výpočet délky trasy linky

Zdroj: autor

G SKRIPT PRO GENEROVÁNÍ POČTU OBYVATEL NA TRASE LINKY

Tento skript slouží k analýze prostorového pokrytí území města Olomouce noční linkou městské hromadné dopravy. Cílem skriptu je zjistit, které základní sídelní jednotky (ZSJ) jsou touto linkou obslouženy, a zároveň kvantifikovat počet obyvatel žijících v těchto územích. Vstupními daty jsou soubory ve formátu GeoJSON a SHP, které obsahují geometrii silniční sítě, zastávek, území ZSJ a odpovídající údaje o počtu obyvatel.

Skript je postaven na několika specializovaných knihovnách jazyka Python. GeoPandas umožňuje práci s prostorovými daty a jejich analýzu ve formátu GeoPandas DataFrame. NetworkX je využit k vytvoření a správě grafu silniční sítě, který slouží k hledání nejkratších tras mezi zastávkami. Knihovna Pandas slouží k tabulkové manipulaci s daty, zatímco Numpy se využívá k matematickým výpočtům, například k měření eukleidovské vzdálenosti mezi body. Pro transformaci textových hodnot, jako je odstranění diakritiky z názvů ZSJ, je využita knihovna Unidecode.

Skript začíná kontrolou existence všech vstupních souborů. Následně jsou jednotlivé vrstvy (silniční síť, zastávky, hranice ZSJ a tabulka s počtem obyvatel) načteny a sjednoceny do jednoho souřadnicového systému EPSG:4326, což je běžně používaný systém pro práci s webovými mapami. Dále dochází k normalizaci názvů ZSJ (např. odstranění diakritiky) a k propojení dat o počtu obyvatel s geometrickými daty jednotlivých jednotek.

Ze silniční sítě je následně vytvořen graf, kde jednotlivé úseky silnic jsou reprezentovány jako hrany mezi uzly (vrcholy), a délka každé hrany odpovídá reálné vzdálenosti mezi dvěma body v metrech. Každé zastávce je následně přiřazen nejbližší uzel v grafu, což umožňuje přesně určit její polohu v síti.

Následně je vybrán pevně definovaný seznam zastávek, které tvoří konkrétní trasu jedné z navrhovaných nočních linek. Pro každou dvojici po sobě jdoucích zastávek je pomocí algoritmu nalezena nejkratší možná trasa v rámci silniční sítě. Všechny takto nalezené trasy jsou spojeny do jednoho celku.

Na základě výsledné trasy je pak určeno, které základní sídelní jednotky trasa prochází – tj. pro každý bod trasy je kontrolováno, zda leží uvnitř geometrie některé ZSJ. Výsledkem je seznam všech obslužených ZSJ a počet obyvatel, kteří v nich žijí. Tento výstup je uložen ve formátu CSV a XLSX pro další analytické a prezentační účely.

Tento skript je tak nedílnou součástí návrhového procesu optimalizace noční dopravy v Olomouci, neboť umožňuje kvantitativně zhodnotit dopad dané trasy na pokrytí města a efektivitu obslužnosti jednotlivých oblastí s ohledem na demografickou strukturu.

```
import os
import geopandas as gpd
import networkx as nx
import pandas as pd
import folium
import numpy as np
from shapely.geometry import Point
import unicodecode

# Cesty k souborům
soubor_sit = r"Cesta k souboru se silniční sítí (.geojson)"
soubor_zastavky = r"Cesta k souboru se zastávkami (.geojson)"
soubor_zsj = r"Cesta k souboru s geometrickými informacemi o ZSJ (.shp)"
soubor_obyvatele = r"Cesta k souboru s informacemi o počtu obyvatel ze sčítání
lidí domů a bytů 2021 (.xlsx)"

# Kontrola existence souborů
for soubor in [soubor_sit, soubor_zastavky, soubor_zsj, soubor_obyvatele]:
    if not os.path.exists(soubor):
        print(f"Soubor {soubor} neexistuje!")
        exit()

# Načítání souborů
print("Načítání silniční sítě...")
sit = gpd.read_file(soubor_sit)

print("Načítání zastávek...")
zastavky_gdf = gpd.read_file(soubor_zastavky)

print("Načítání ZSJ...")
zsj_gdf = gpd.read_file(soubor_zsj)

print("Načítání dat o obyvatelstvu...")
obyv_df = pd.read_excel(soubor_obyvatele)

# Normalizace názvů ZSJ pro odstranění diakritiky
obyv_df.columns = ["NAZEV", "POCET_OBYV"]
obyv_df["NAZEV"] = obyv_df["NAZEV"].astype(str).apply(lambda x:
unicodecode.unicodecode(x).strip())
zsj_gdf["NAZEV"] = zsj_gdf["NAZEV"].astype(str).apply(lambda x:
unicodecode.unicodecode(x).strip())

# Převod počtu obyvatel na číselný formát a odstranění chybných hodnot
obyv_df["POCET_OBYV"] = pd.to_numeric(obyv_df["POCET_OBYV"],
errors="coerce").fillna(0)
```

```

# Sloučení údajů o obyvatelstvu s vrstvou ZSJ
zsj_gdf = zsj_gdf.merge(obyv_df, on="NAZEV", how="left")

# Oprava souřadnicových systémů
if sit.crs is None:
    sit.set_crs("EPSG:5514", inplace=True)
if sit.crs != "EPSG:4326":
    sit = sit.to_crs("EPSG:4326")
if zastavky_gdf.crs != "EPSG:4326":
    zastavky_gdf = zastavky_gdf.to_crs("EPSG:4326")
if zsj_gdf.crs is None:
    zsj_gdf.set_crs("EPSG:5514", inplace=True)
if zsj_gdf.crs != "EPSG:4326":
    zsj_gdf = zsj_gdf.to_crs("EPSG:4326")

# Vytvoření grafu silniční sítě
graf = nx.Graph()
for _, radek in sit.iterrows():
    souradnice = list(radek.geometry.coords)
    for i in range(len(souradnice) - 1):
        start, konec = souradnice[i], souradnice[i + 1]
        vzdalenost = np.linalg.norm(np.array(start) - np.array(konec))
        graf.add_edge(start, konec, weight=vzdalenost)

# Funkce pro nalezení nejbližšího uzlu v síti
def najdi_nejblizsi_uzel(graf, bod):
    min_vzd = float("inf")
    nejblizsi = None
    for uzel in graf.nodes:
        vzd = np.linalg.norm(np.array(uzel) - np.array([bod.x, bod.y]))
        if vzd < min_vzd:
            min_vzd = vzd
            nejblizsi = uzel
    return nejblizsi

# Seznam zastávek linky
pevne_zastavky = [
    "Hlavní nádraží", "Vejdovského", "Envelopa", "Tržnice", "Okresní soud",
    "Výstaviště Flora",
    "Dvořákova", "Foerstrova,pošta A", "Foerstrova A", "Pražská", "U Kovárny",
    "Kmochova", "Jílová",
    "Stupkova", "Karafiátová", "Profesora Fuky", "Okružní", "Nová Ulice",
    "Pionýrská",
    "Fakultní nemocnice", "Hotelový dům", "Povel,škola", "Rožňavská", "Zikova",
    "Trnkova",
    "Velkomoravská A", "U Teplárny", "Vejdovského", "Kosmonautů", "Hlavní nádraží
výst"
]

```

```

# Výběr a seřazení zastávek
zastavky = zastavky_gdf[zastavky_gdf["zastávka"].isin(pevne_zastavky)].copy()
zastavky["poradi"] = zastavky["zastávka"].apply(lambda x:
pevne_zastavky.index(x))
zastavky = zastavky.sort_values("poradi")

# Přiřazení nejbližších uzlů v síti
zastavky["uzel"] = zastavky["geometry"].apply(lambda bod:
najdi_nejblizsi_uzel(graf, bod))

# Výpočet trasy mezi zastávkami
trasa = []
for i in range(len(zastavky) - 1):
    try:
        cesta = nx.shortest_path(
            graf,
            source=zastavky.iloc[i]["uzel"],
            target=zastavky.iloc[i + 1]["uzel"],
            weight="weight"
        )
        trasa += cesta
    except nx.NetworkXNoPath:
        print(f"Není cesta mezi {zastavky.iloc[i]['zastávka']} a
{zastavky.iloc[i+1]['zastávka']}!")

# Identifikace obslužených ZSJ
obslouzene = []
for uzel in trasa:
    bod = Point(uzel[0], uzel[1])
    for _, zsj in zsj_gdf.iterrows():
        if bod.within(zsj.geometry):
            obslouzene.append({
                "ZSJ": zsj["NAZEV"],
                "Obyvatelstvo": zsj["POCET_OBYV"]
            })

# Uložení do CSV a XLSX
df_obslouzene = pd.DataFrame(obslouzene).drop_duplicates()

vystup_csv = "nazev_vystupniho_souboru.csv"
vystup_xls = "nazev_vystupniho_souboru.xlsx"

df_obslouzene.to_csv(vystup_csv, index=False)
df_obslouzene.to_excel(vystup_xls, index=False)

print(f"Výstupy uloženy jako {vystup_csv} a {vystup_xls}")

```

Obrázek G1 Skript pro výpočet počtu obyvatel na trase linky

Zdroj: autor

H LINDAU MODEL – CENTRÁLNÍ PŘESTUPNÍ UZEL

Podstatou Lindau modelu je vytvoření integrovaného přestupního uzlu v síti veřejné dopravy a nastavení jízdních řádů tak, aby se všechny linky a jejich spoje v obou směrech pravidelně setkávaly v tomto uzlu. Cestujícím to umožňuje cestovat z libovolné výchozí zastávky do libovolného cíle typicky s nanejvýše jedním přestupem, přičemž čekací doba na přestup je minimalizována. Veškeré spoje z uzlu odjíždějí krátce po setkání, takže přestup je rychlý a pohodlný. Aby systém spolehlivě fungoval, je nutné zajistit vysokou přesnost a dochvilnost spojů – například preferencí MHD na křižovatkách, aby i při hustším provozu byly dojezdy do uzlu včas (26, 27).

H.1 Historie vzniku Lindau modelu

Na přelomu 20. a 21. století hledala veřejná doprava v menších a středních městech nové formy organizace, které by zastavily úbytek cestujících a zvýšily atraktivitu služeb MHD. Jedním z inovativních řešení se stal koncept tzv. **Lindau modelu**, nazvaný podle německého města Lindau, kde byl úspěšně implementován v roce 1994 (27).

Před zavedením Lindau modelu provozovala městskou autobusovou dopravu v Lindau (cca 25 tis. obyv.) společnost Deutsche Bundesbahn již od 50. let 20. století, avšak do konce století došlo k dramatickému poklesu počtu cestujících (28).

Inspirací pro změnu se staly úspěchy okolních měst v regionu Bodamského jezera – například Frauenfeldu ve Švýcarsku či Dornbirnu a Bregenzu v Rakousku – které kolem roku 1990 významně zkvalitnily své systémy a dokázaly zvýšit využití veřejné dopravy (28).

Vedení města Lindau se rozhodlo následovat tyto příklady a během jediného roku vlastním týmem (bez externích konzultantů) připravilo novou koncepci městské autobusové dopravy založenou na principu integrovaného přestupního uzlu (28).

Nový **systém MHD Lindau** byl spuštěn v říjnu 1994 a téměř okamžitě zaznamenal mimořádný úspěch. Denně začalo služeb využívat přes 6000 cestujících (dnes cca 8000), což bylo více než dvojnásobkem očekávání. Hlavním „problémem“ se tak paradoxně stalo zvládnutí nečekaně vysoké poptávky (27, 28).

Systém v Lindau prokázal, že vhodně zvolená organizace dopravy může ve městech střední velikosti dramaticky zvýšit atraktivitu MHD. Tento úspěch otevřel nové perspektivy i pro další města: Lindau model se postupně rozšířil do řady dalších lokalit zejména v německy mluvících zemích (28).

Prvními následovníky byly například města **Lemgo** (Německo, zavedení 1994), **Euskirchen** (Německo, 1996), **Arnstadt** (1996), **Dingolfing** (1997) či **Rheine** (1998),

ale podobné koncepty se osvědčily i jinde. V zahraničí měl Lindau model blízkou obdobu například v rakouském **Dornbirnu**, kde již roku 1991 vznikl pro město a okolí integrovaný taktový systém Stadtbus Dornbirn. Zkušenosti z Lindau a dalších průkopnických měst ukázaly, že tento model může být velmi efektivní cestou k **zvýšení konkurenceschopnosti veřejné dopravy** v prostředí menších sídel (27, 28, 29).

H.2 Integrovaný přestupní uzel

Integrovaný přestupní uzel (německy též *Rendezvouspunkt* či hovorově *Treffpunkt*) znamená synchronní shromažďování spojů více linek v jednom místě podle intervalu. K takovému setkání dochází periodicky v pevných intervalech či taktech (např. jednou za hodinu nebo půl hodiny) v předem určenou minutu. Vozidla různých linek přijedou téměř současně do uzlu, několik minut vyčkají (s malou časovou rezervou pro případ drobného zpoždění některého spoje) a poté opět společně odjíždějí do všech směrů. Díky tomu má každý cestující jistotu, že při cestě mimo přímý směr může v uzlu přestoupit na návazný spoj jiné linky bez dlouhého čekání. Maximalizuje se tak dosažitelnost celého města jedním přestupem, což je obzvlášť přínosné tam, kde cíl cesty neleží v samotném centru (26, 27, 28).

Lindau model se ukazuje jako vhodný zejména pro menší a střední města, kde intervaly na linkách bývají delší (např. 30–60 minut) a nesynchronizované přestupy by jinak znamenaly velmi dlouhé čekání. Systém je možné doplnit o více spojů, které se potkávají střídavě, tedy v jeden čas se potkají stejné linky nikoli stejná vozidla. Tím lze kompenzovat případnou diverzitu jízdních časů, využití tohoto systému může být i pro větší oblasti v případě specifických systémů, například v nočních hodinách. Právě v těchto podmínkách synchronizované *rendezvous* spojů dramaticky zlepšuje nabídku pro cestující (26, 28).

Klíčové je také umístění přestupního uzlu. Doporučuje se, aby centrální uzel byl v logickém těžišti sítě – často na ústředním autobusovém nádraží či hlavní zastávce v centru města, ideálně v docházkové vazbě na případnou železniční stanici. Taková poloha umožňuje snadný přestup nejen mezi linkami MHD navzájem, ale i mezi MHD a regionální dopravou (vlakem či příměstským autobusem), pokud je možné synchronizovat jízdní řády. V praxi se někdy vyskytuje systém s více přestupními body (např. hlavní nádraží a centrální bod města například náměstí), ale typický Lindau model má jeden hlavní uzel – jediné místo, kde se setkávají všechny linky. To má i marketingový efekt: ve chvíli setkání se na uzlu shromáždí veškerá vozidla MHD, což navenek působí dojmem silného, jednotného systému a připomíná veřejnosti význam MHD v dopravním systému města (28).

Z pohledu tvorby jízdních řádů představuje Lindau model aplikaci **integrovaného taktového jízdního řádu** v městské dopravě. Všechny linky mají zpravidla shodnou nebo sudě

dělitelnou periodu (např. 30 minut), aby se spoje mohly v uzlu potkávat v pravidelných intervalech. **Symetrie jízdního řádu** hraje roli – například v Lindau odjíždějí autobusy ze ZUP (Zentraler Umsteigepunkt Anheggerstraße) vždy v časech :10 a :40 každé hodiny, takže setkání probíhá 2× za hodinu (26, 28).

Po odjezdu skupiny spojů z uzlu se linky rozjedou do různých částí města a o půl hodiny později opět všechny dojedou zpět do uzlu. Důležitým pojmem je tzv. hranový čas, tedy časová rezerva vložená do pobytu vozidel v uzlu k pokrytí možných zpoždění; ten bývá typicky několik jednotek minut a jeho správné nastavení zajišťuje spolehlivost přestupů (26, 29).

H.3 Typologie a uspořádání přestupních uzlů Lindau modelu

Implementace Lindau modelu v konkrétním městě vyžaduje vhodné technické a provozní uspořádání centrálního přestupního uzlu. Velikost uzlu závisí především na počtu linek a vozidel, které se v něm v jednom intervalu setkávají. V menších městech může jít o několik jednotek autobusů, větší systémy mohou do uzlu vést i 8–10 vozidel současně. Tomu musí odpovídat počet nástupních stanišť – každá linka zpravidla potřebuje své samostatné stanoviště pro každý směr, pokud mají všechny linky zastavovat paralelně ve stejný čas. To klade nároky na prostor, v historických centrech bývá nutné vybudovat menší autobusové nádraží či terminál, aby všechny setkávající spoje mohly zastavit nedaleko od sebe. Například v Lindau bylo pro čtyři městské linky zřízeno ústřední přestupní místo se čtyřmi stanovišti (po směru jízdy), na němž se při odjezdu setkává až 8 autobusů najednou (4 linky · 2 směry). Vzhledem k úpravám organizace dopravy je v současné době 8 spojů na linkách 2–5 tranzitních, zatímco linka 1 je vedena jako radiální. V současnosti je v přestupním uzlu tedy 9 stanovišť (28, 29).

Prostorové uspořádání stanišť může mít více forem. Často se využívá boční uspořádání v řadě (tzv. sawtooth neboli zubaté stání), kde autobusy couvají či šikmo zajíždějí k chodníku vedle sebe. Alternativou je ostrovní nástupiště uprostřed, kolem nějž objíždějí autobusy dokola (tzv. rondel). Výběr řešení závisí na místních podmínkách – je třeba zajistit dostatečnou plochu, aby autobusy mohly plynule přijet i odjet a vzájemně se neblokovaly. Důležitá je i délka a šířka nástupišť, aby "pojala" najednou všechny spoje (včetně kloubových vozů, je-li třeba). Pokud není možné postavit plnohodnotný terminál, existují i kompromisní varianty: například časově posunutá stání. Při něm se spoje nesjíždí přesně současně, ale s malým odstupem – např. pokud linky jezdí po 20 minutách, lze je časově rozložit do dvou skupin 10 minut od sebe. Potřebný počet stání se tím sníží, protože jedno stanoviště pro každý směr může obsloužit více linek postupně. Ovšem je tím omezena možnost přestupů a mírně se prodlužuje čekání pro přestupující, a proto

se používá spíše ve větších městech s hustším provozem a častou frekvencí spojů, kde úspora prostoru vyvažuje menší nepohodlí pro cestující (29).

Dalším aspektem je integrace s další dopravou. V ideálním případě je přestupní uzel společný nejen pro městské autobusy, ale též pro případné tramvaje, trolejbusy či příměstské spoje. Pokud je železniční stanice vzdálená od centra, řeší se někdy dvojice uzlů – jeden u nádraží a druhý v centru – které by měly být sladěny tak, aby byla zachována možnost přestupů. Například v německém Minden jsou spoje autobusových linek organizovány paprskovitě z centrálního ZOB v centru (kde probíhá hlavní rendezvous v intervalu 30 min), zatímco železniční stanice na okraji centra je obsluhována pouze některými linkami a tvoří vedlejší uzel (26, 29).

Obecně platí, že **silný centrální uzel** v rámci Lindau modelu funguje nejlépe tam, kde železniční stanice leží přímo v centru nebo je do něj integrována. V opačném případě je třeba pečlivě nastavit návaznosti, aby cestující od vlaků nebyli znevýhodněni a systém jako celek neztrácel potenciální uživatele (27).

H.4 Výhody a nevýhody Lindau modelu

Hlavní výhodou Lindau modelu je výrazné zlepšení dostupnosti veřejnou dopravou a zvýšení atraktivity systému pro cestující. Díky synchronizovaným přestupům se i relativně řídká linková síť stává velmi propustnou – cestující se dostane prakticky kamkoli s jedním přestupem. To dovoluje redukovat počet linek (není nutné vést každou linku ke každé významné destinaci zvlášť) a zároveň pokrýt město plošněji bez obav, že by přestupy odradily zákazníky. Ve výsledku může systém obsloužit více přepravních vztahů **efektivněji a s menším počtem vozidel** než tradiční model bez koordinace. Například Lindau po reorganizaci zavedlo pouze 4 linky, v současné době rozšířeno na 5, které ale díky přestupnímu uzlu umožnily cestování mezi všemi částmi města rychle a pohodlně, což vedlo ke zdvojnásobení počtu cestujících během krátké doby (26, 27).

Dalším přínosem je lepší srozumitelnost a marketing: koncept „vše na jednom místě“ usnadňuje orientaci (cestující vědí, že centrem dění je daný uzel) a zviditelňuje veřejnou dopravu. V době setkání spojů je v uzlu "rušno" a MHD je dobře viditelná, což může mít pozitivní vliv na vnímání kvality služby. Z provozního hlediska může centralizace přestupů přinést i úspory nákladů – vozidla mohou mezi spoji v uzlu krátce vyčkat a poté pokračovat dál (např. jako jiný linkový směr), čímž se eliminují "hluché" přejezdy či dlouhé prostoje jinde (28, 29).

V neposlední řadě Lindau model posiluje **integrované plánování dopravy**: podporuje zapojení MHD do celkové mobility města i ve vazbě na region (snadnější přestup z nebo na regionální linky či vlaky v jednom bodě).

S Lindau modelem jsou však spojeny i určité nevýhody a omezení. Nejčastěji se uvádí nároky na prostor a infrastrukturu – centralizovaný uzel s více linkami vyžaduje dostatek místa pro několik stojících vozidel současně. Ve stísněných centrech měst to může být problém, který někdy vyžaduje stavební úpravy nebo kompromisy (např. zmíněné rozložení odjezdů v čase místo jednoho okamžiku). Souběžný odjezd řady autobusů může také krátkodobě zatížit dopravu v okolí (například když 5–6 autobusů najednou odjíždí z uzlu a blokuje křižovatku) (26, 29).

Dalším potenciálním negativem je časová prodleva pro cestující, kteří přestup nevyužívají. Pokud linka projíždí uzlem a cestující by jinak mohl jet plynule dál, musí v rendezvous systému počkat několik minut do pravidelného odjezdu, i když by třeba přestupovat nepotřeboval. Tento problém se týká především případných průjezdných (diametrálních) linek, pokud skrz uzel projíždí páteřní linka, cestující na ní mohou vnímat čekání v uzlu jako zdržení (29).

Řešením bývá buď omezit počet takových průjezdných linek, většina linek v systému v uzlu končí či se otáčí, nebo nastavit periodu tak, aby doba čekání byla co nejkratší. Další nevýhodou může být zranitelnost systému – protože vše "stojí" na jednom uzlu, jakékoli mimořádnosti (nehoda, kongesce) v jeho okolí mohou způsobit řetězové zpoždění více linek najednou. Systém tak vyžaduje kvalitní řízení provozu, případně možnost operativních zásahů (např. zdržení odjezdu ostatních spojů při kratším zpoždění jednoho z autobusů). V moderních systémech tomu napomáhají telematické systémy řízení a informační technologie, které umožňují dispečerům i cestujícím v reálném čase reagovat na případné odchylky. Celkově se ale ukazuje, že v městech, kde je Lindau model vhodný (viz podkapitola H.5), převládají výhody nad nevýhodami – dokládá to ostatně i nárůst poptávky tam, kde byl model zaveden (běžně 50–100% růst počtu cestujících během několika let) (28).

Z hlediska vhodnosti Lindau modelu lze vymezit určité podmínky. Koncept se ideálně hodí pro města, kde nedominují extrémně silné přímé směry (např. všichni do centra) na úkor ostatních. Pokud by např. 80 % cestujících jelo po jedné lince přímo do centra, bylo by neefektivní je všechny nutit vystoupit a čekat na odjezd v uzlu – v takovém případě je lepší provozovat tuto linku bez zdržení (či vůbec zvážit jiný model obslužnosti) (29).

Lindau model naopak je výhodný tam, kde jsou přepravní proudy rozptýlenější – cestující mají různé cíle a výchozí body, a systém jim umožní pohodlné kombinace spojů. Podmínkou také je, aby všechny linky měly srovnatelnou frekvenci a význam – pokud by spoje některé linky byly provozovány výrazně častěji nebo přepravovaly mnohem více cestujících, narušovaly by jednotný rytmus a buď by musely v uzlu čekat zbytečně často, nebo by spoje ostatních linek musely být poloprázdné (28).

Dále se nesmí vyskytovat **více paralelních linek** jedním směrem – smyslem je svést dopravu do jednoho uzlu, ne poskytovat duplicitu. Tyto podmínky většina menších městských systémů splňuje, a proto se Lindau model stal tak rozšířeným právě v **menších a středně velkých městech**, zatímco ve velkých městech se uplatňuje spíše výjimečně nebo jen v omezených částech provozu (27).

H.5 Příklady implementace v praxi

Lindau (Německo): Klasickým a názorným příkladem Lindau modelu je samotné město Lindau u Bodamského jezera. Po reorganizaci v roce 1994 zde vznikl systém **čtyř městských autobusových linek** v intervalu 30 minut (všechny jezdí i o víkendech), které se **všechny setkávají na centrálním přestupním uzlu Anheggerstraße**. V současnosti je systém rozšířen o jednu linku radiální (28).

V uzlu navázaném na historické centrum i železniční stanici mají linky vyhrazená stanoviště a všechny autobusy přijíždějí a odjíždějí společně v časech xx:10 a xx:40. To znamená, že každou půlhodinu proběhne setkání 8 vozidel (4 linky × směr tam i zpět), v současnosti devíti, a cestující mohou libovolně přestoupit. Z libovolné čtvrti se tak přepraví do jiné s nejvýše jedním přestupem. Po zavedení tohoto systému vzrostl počet cestujících na více než dvojnásobek – měsíčně se v Lindau autobusy přepraví kolem 240 tisíc osob, což odpovídá ročnímu výkonu obdobně velkých měst před změnou. Provoz zajišťuje dopravce R.A.B. (Regionalverkehr Alb-Bodensee, dceřiná firma DB) ve spolupráci s městským podnikem Stadtwerke Lindau, který převzal marketing a organizaci (28).

Díky preferenci MHD na světelných křižovatkách a krátkým vzdálenostem se daří udržovat jízdní řád přesný. Lindau tak **slouží jako modelový příklad**, jenž inspiroval mnoho dalších měst.

Lemgo (Německo): Město Lemgo (cca 40 tis. obyv.) zavedlo obdobný koncept také roku 1994. Integrovaný přestupní uzel (označený *Treffpunkt*) byl vybudován na okraji historického centra. Síť tvoří 5 autobusových linek, jež všechny projíždějí tímto uzlem. Čtyři linky mají základní interval 30 minut (ve špičkách zkrácený na 15 min), pátá linka je 60minutová a slouží okolním satelitním obcím. **Ročně Lemgo přepraví cca 2 miliony cestujících**, což je na danou velikost velmi dobrý výsledek, přičemž zhruba 2/3 výkonů jsou vázány na centrální uzel. Podobně jako v Lindau se i zde potvrdilo, že integrace městské a příměstské dopravy do jednoho systému s přestupním uzlem zatraktivnila veřejnou dopravu (28).

Euskirchen (Německo): Středně velké město Euskirchen (55 tis. obyv., v Porýní poblíž Bonnu) v roce 1996 reorganizovalo MHD tak, že u železniční stanice vznikl centrální terminál s garantovaným přestupem. Postupně zavedli 5 taktových městských linek se zárukou přestupu v uzlu „Euskirchen Bahnhof“; ty jsou provozovány ve špičce po 20 minutách, mimo špičku po 30

minutách a v sobotu v hodinovém taktu. Tyto linky využívá kolem 90 % všech cestujících. Vedle nich existuje dalších několik doplňkových linek (školní spoje a přímé linky bez zaručených přestupů), které však tvoří menšinu výkonů. Měsíčně MHD v Euskirchenu přepraví okolo 400 tisíc cestujících. Výsledkem zavedení uzlového systému zde bylo zjednodušení nabídky (cestující se naučili využívat garantované přestupy) a nárůst spokojenosti, zejména pro cesty mezi okrajovými částmi města (28).

Další města: Koncept integrovaného přestupního uzlu v městské dopravě se rozšířil po celém Německu a v dalších zemích. V 90. letech 20. století jej zavedla například města **Arnstadt, Dingolfing, Rheine, Wernigerode, Buchholz** aj., typicky sídla v rozmezí 20–80 tisíc obyvatel. S určitými obměnami byl aplikován i ve větších městech – například **Pasov (Passau)** v Bavorsku organizuje městské autobusy v uzlu ZOB Neues Zentrum s odjezdy koordinovanými čtyřikrát do hodiny (v 15min intervalu), (28, 29).

V některých případech dochází ke kombinaci s regionální dopravou: například v **Mindenu** (Severní Porýní-Vestfálsko) funguje hlavní uzel v centru pro MHD (s intervalem 30 min), zatímco železniční stanice na okraji je obsluhována diametrální linkou napojenou na tento systém. To ukazuje, že Lindau model je do jisté míry flexibilní a lze jej přizpůsobit místním potřebám (29).

Bližší informace k implementaci v České republice jsou v kapitole H.7.

H.6 Regionální a železniční systémy

Principy Lindau modelu našly uplatnění i mimo čistě městskou dopravu – v příměstských, regionálních a dokonce celostátních systémech veřejné dopravy. V podstatě jde o tentýž koncept integrovaných taktových uzlů, aplikovaný ve větším měřítku. Příkladem je světově proslulý švýcarský systém Taktfahrplan, zavedený v 80. letech 20. století, kdy byly na železniční síti Švýcarska zkoordinovány příjezdy a odjezdy vlaků v celou hodinu na hlavních nádražích. Luzern lze uvést jako ukázkový uzel: každou hodinu kolem xx:00 přijíždí na hlavní nádraží vlaky z různých směrů (Curych, Bern, Olten, St. Gallen atd.) a několik minut poté opět odjíždějí, čímž jsou zajištěny přestupy mezi všemi směry. Současně na přestup navazují i městské a příměstské autobusy. Tento systém je ovšem víceuzlový – na rozdíl od Lindau modelu s jedním uzlem ve městě zde funguje síť uzlů (tzv. taktové uzly v celou hodinu v různých městech), která pokrývá celý stát. Pro cestující však platí obdobná výhoda, i ve velkém regionu se lze dostat kamkoli s minimem přestupů a čekání. Švýcarsko tímto konceptem dosáhlo enormního nárůstu atraktivity veřejné dopravy a stalo se vzorem pro řadu dalších zemí (30).

Podobný integrovaný regionální systém vznikl například ve Vorarlbersku (západní Rakousko, sousedící s Lindau). Již zmíněný Dornbirn zavedl roku 1991 taktovou síť městských a příměstských autobusů (Stadtbus), která byla vzorem pro Lindau. Dnes je v celém Vorarlbersku

autobusová i železniční doprava koordinována v intervalu 15, 30 a 60 minut, přičemž klíčové uzly (Feldkirch, Bregenz, Bludenz) fungují jako přestupní centra podobně jako u Lindau modelu. Cestující mohou přestupovat mezi regionálními autobusy a vlaky s garancí návazností, to výrazně zvýšilo využití veřejné dopravy v regionu (28).

Lindau model se uplatňuje i v městské hromadné dopravě velkých měst v omezeném rozsahu, typicky v nočním provozu. Velká města jako běžně nevyužívají jeden centrální uzel pro denní provoz (mají mnoho linek s vysokou frekvencí, kde by čekání nebylo efektivní), avšak v noci, kdy intervaly narůstají, se k modelu rendezvous často "uchylují". Například v Berlíně organizuje dopravní podnik BVG noční autobusové linky formou tzv. Nachtknoten: v centru města se v určitý čas sjíždějí všechny noční spoje a společně po několika minutách čekání vyčkávají na přestupy. Donedávna byl hlavním nočním uzlem východního Berlína Hackescher Markt, od prosince 2019 jej BVG přenesl na Alexanderplatz, kde se nyní křížuje 7 hlavních nočních autobusových linek spolu s tramvajemi a nočními spoji metra (28, 31).

Díky speciální signalizaci a opatřením zde mohou cestující bezpečně a pohodlně přestupovat i uprostřed noci, o víkendových nocích se na Alexanderplatz setkává až 16 linek najednou. Podobně v Drážďanech funguje noční rozjezd v uzlu Postplatz – všechny noční linky (GuteNachtLinie) sem přijedou současně a poté společně odjíždějí, což zajišťuje, že cestující mohou mezi libovolnými linkami přestoupit (29, 31).

V českých městech se tento princip rovněž používá v noční dopravě: např. Praha má tradiční „noční rozjezd“ tramvají na centrální zastávce Lazarská. V Brně tvoří centrální přestupní uzel hlavním nádraží, odkud dochází k odjezdu linek do různých částí města. Tyto příklady ukazují, že Lindau model je univerzálně aplikovatelný nástroj organizace linek tam, kde z provozních nebo poptávkových důvodů nelze nabídnout velmi časté spojení, ale lze aspoň zajistit pohodlný garantovaný přestup. V regionálním i nočním provozu tak model plní obdobnou funkci jako ve městech – činí veřejnou dopravu atraktivnější alternativou k individuální dopravě i při omezených zdrojích.

H.7 Srovnání s jinými systémy obsluhy

V kontrastu s Lindau modelem "stojí" zejména tradiční radiální systém a decentralizované modely obslužnosti. V klasickém radiálním systému MHD má město skupinu linek směřujících z různých čtvrtí do centra, avšak jízdní řády nejsou vzájemně sladovány. Cestující z pravidla spoléhají na to, že jedou-li do centra, dojedou bez přestupu, ale pro cesty mezi okraji často musí improvizovaně přestupovat s nejistou čekací dobou. Tento model byl běžný historicky – je jednoduchý na plánování, avšak nevýhodný pro přestupní vazby. V menších městech navíc

obvykle nebylo dost linek, takže některé čtvrti vůbec neměly spojení mezi sebou bez zdlouhavého zajížděky přes centrum.

Alternativou je **víceúrovňový nebo víceuzlový systém**, kdy existuje několik významných přestupních bodů (např. sídlištní terminály, hlavní nádraží, centrální náměstí), mezi nimiž je linková síť rozložena. To je časté ve velkých městech: například Praha má kromě centrálního uzlu (centrum) i subcentrální uzly (Smíchov, Nádraží Holešovice, apod.), kde lze přestoupit mezi linkami bez nutnosti jet až do samotného středu města. Tyto modely však **kladou velké nároky na počet linek** a vozidel, protože nelze dosáhnout tak vysoké míry integrace jako u jednoho uzlu – vždy budou existovat směry, mezi nimiž se musí přestupovat víc než jednou. Lindau model oproti tomu volí strategii „**vše soustředit do jednoho bodu**“, čímž minimalizuje počet přestupů na cestě. Za cenu delšího zajížděky do uzlu může cestující dosáhnout jakékoli kombinace počátečního a cílového bodu s jediným přestupem.

Pokud jde o časovou koordinaci vs. volný provoz, Lindau model reprezentuje extrém koordinace – všechno se setká najednou. Opačným extrémem by byl koncept, kdy linky jezdí tak často, že přestupní řády netřeba řešit (např. interval 5–10 minut, kdy cestující nemusí znát jízdní řád). To je případ center velkoměst s velmi frekventovanou dopravou (metro, tramvaje v centru apod.). Pro menší systémy je však taková frekvence finančně nedosažitelná, a proto je koordinace nezbytná. Lindau model tedy představuje racionální optimalizaci provozu při omezených zdrojích: místo extrémně častých spojů poskytne méně spojů, ale s jistými návaznostmi, což se ukazuje jako účinné řešení dopravní obslužnosti území v mnoha podmínkách.

Z teoretického hlediska je Lindau model jednou z forem integrované dopravní obslužnosti, kdy se kombinuje vysoká míra přestupních vazeb s tarifní a informační integrací. Jiné modely (např. poptávková doprava či flexibilní malé autobusy) řeší problém pokrytí území odlišně – nabízejí dopravu „od dveří ke dveřím“, nevýhodou je však nutnost objednání a menší kapacita. Naproti tomu Lindau model zachovává charakter klasické linkové dopravy s pevnými trasami a jízdními řády, jen jí dodává koordinační vrstvu navíc.

V praxi se často uplatňuje i kombinace modelů. Například ve velkých aglomeracích může přes den fungovat klasický síťový provoz s více uzly a vysokou frekvencí spojů, zatímco večer a v noci se systém provozuje na bázi Lindau modelu – linky se sjedou na centrální uzel a společně odjedou jako noční rozjezd. Podobně v regionální dopravě mohou hlavní páteřní linky jezdit často a přímo, zatímco vedlejší větve se sjíždějí na uzlové stanici k těmto páteřním spojům. Lindau model tak lze vnímat i jako součást hierarchického systému, může tvořit například druhou úroveň obslužnosti (město a spádové okolí), zatímco nadřazenou úroveň tvoří rychlé přímé linky mezi většími centry.

Shrnutí: Lindau model se vyznačuje centralizací přestupů v prostoru i čase. Oproti jiným modelům obslužnosti přináší lepší garantované služby pro cestující na úkor určitých vyšších požadavků na infrastrukturu a provozní kázeň. Jeho úspěšné implementace – od Lindau přes další německá města až po regionální uzly v jiných zemích – potvrzují, že v mnoha situacích představuje vhodný kompromis mezi kvalitou služby a efektivností provozu.

Lindau model významně přispěl k rozvoji integrované veřejné dopravy, která je dnes považována za jeden ze základních předpokladů udržitelné mobility ve městech i regionech.

I JÍZDNÍ ŘÁDY – VARIANTA ROZJEZDY TRŽNICE

Tabulka II Autobusová linka 1

Linka 1										
Zastávka	I	Spoj	1	2	3	4	5	6	7	8
Tržnice plocha			0:08	0:38	1:08	1:38	2:08	2:38	3:08	3:38
Okresní soud			0:09	0:39	1:09	1:39	2:09	2:39	3:09	3:39
Výstaviště Flora			0:10	0:40	1:10	1:40	2:10	2:40	3:10	3:40
Dvořákova			0:12	0:42	1:12	1:42	2:12	2:42	3:12	3:42
Kmochova			0:14	0:44	1:14	1:44	2:14	2:44	3:14	3:44
Jílová			0:15	0:45	1:15	1:45	2:15	2:45	3:15	3:45
Stupkova			0:16	0:46	1:16	1:46	2:16	2:46	3:16	3:46
Karafiátová			0:17	0:47	1:17	1:47	2:17	2:47	3:17	3:47
Profesora Fuky			0:18	0:48	1:18	1:48	2:18	2:48	3:18	3:48
Okružní			0:20	0:50	1:20	1:50	2:20	2:50	3:20	3:50
Nová Ulice			0:21	0:51	1:21	1:51	2:21	2:51	3:21	3:51
Pionýrská			0:22	0:52	1:22	1:52	2:22	2:52	3:22	3:52
Fakultní nemocnice			0:23	0:53	1:23	1:53	2:23	2:53	3:23	3:53
Hotelový dům			0:25	0:55	1:25	1:55	2:25	2:55	3:25	3:55
Povel, škola			0:26	0:56	1:26	1:56	2:26	2:56	3:26	3:56
Rožňavská			0:27	0:57	1:27	1:57	2:27	2:57	3:27	3:57
Zikova			0:28	0:58	1:28	1:58	2:28	2:58	3:28	3:58
Trnkova			0:29	0:59	1:29	1:59	2:29	2:59	3:29	3:59
Za Poštou			0:31	1:01	1:31	2:01	2:31	3:01	3:31	4:01
Rooseveltova			0:32	1:02	1:32	2:02	2:32	3:02	3:32	4:02
Tržnice plocha			0:34	1:04	1:34	2:04	2:34	3:04	3:34	4:04

Zdroj: autor

Tabulka I2 Autobusová linka 2

Linka 2										
Zastávka	I	Spoj	Spoj 1	Spoj 2	Spoj 3	Spoj 4	Spoj 5	Spoj 6	Spoj 7	Spoj 8
Tržnice plocha			0:08	0:38	1:08	1:38	2:08	2:38	3:08	3:38
Okresní soud			0:09	0:39	1:09	1:39	2:09	2:39	3:09	3:39
Náměstí Hrdinů			0:10	0:40	1:10	1:40	2:10	2:40	3:10	3:40
Palackého			0:11	0:41	1:11	1:41	2:11	2:41	3:11	3:41
Nádraží město			0:12	0:42	1:12	1:42	2:12	2:42	3:12	3:42
Šibeník			0:13	0:43	1:13	1:43	2:13	2:43	3:13	3:43
Gymnázium Hejčín			0:15	0:45	1:15	1:45	2:15	2:45	3:15	3:45
Ladova			0:17	0:47	1:17	1:47	2:17	2:47	3:17	3:47
Finanční úřad			0:19	0:49	1:19	1:49	2:19	2:49	3:19	3:49
Lazce			0:20	0:50	1:20	1:50	2:20	2:50	3:20	3:50
Lazce, kaple			0:21	0:51	1:21	1:51	2:21	2:51	3:21	3:51
Frajtovo náměstí			0:22	0:52	1:22	1:52	2:22	2:52	3:22	3:52
Jablonského			0:24	0:54	1:24	1:54	2:24	2:54	3:24	3:54
Klášteří Hradisko			0:25	0:55	1:25	1:55	2:25	2:55	3:25	3:55
Černá cesta			0:26	0:56	1:26	1:56	2:26	2:56	3:26	3:56
17. listopadu			0:28	0:58	1:28	1:58	2:28	2:58	3:28	3:58
Envelopa			0:29	0:59	1:29	1:59	2:29	2:59	3:29	3:59
Tržnice plocha			0:32	1:02	1:32	2:02	2:32	3:02	3:32	4:02

Zdroj: autor

Tabulka I3 Autobusová linka 3

linka 3												
Zastávka	I	Spoj	Spoj 1	Spoj 2	Spoj 3	Spoj 4	Spoj 5	Spoj 6	Spoj 7	Spoj 8	Spoj 9	Spoj 10
Tržnice plocha			23:38	0:08	0:38	1:08	1:38	2:08	2:38	3:08	3:38	4:08
Envelopa			23:39	0:09	0:39	1:09	1:39	2:09	2:39	3:09	3:39	4:09
Vejdovského			23:40	0:10	0:40	1:10	1:40	2:10	2:40	3:10	3:40	4:10
Kosmonautů			23:41	0:11	0:41	1:11	1:41	2:11	2:41	3:11	3:41	4:11
Hlavní nádraží výstup			23:43	0:13	0:43	1:13	1:43	2:13	2:43	3:13	3:43	4:13
Fibichova			23:44	0:14	0:44	1:14	1:44	2:14	2:44	3:14	3:44	
Aut. nádr. podchod			23:46	0:16	0:46	1:16	1:46	2:16	2:46	3:16	3:46	
ČSAD			23:48	0:18	0:48	1:18	1:48	2:18	2:48	3:18	3:48	
Pekárny			23:49	0:19	0:49	1:19	1:49	2:19	2:49	3:19	3:49	
U Mlýna			23:50	0:20	0:50	1:20	1:50	2:20	2:50	3:20	3:50	
Nový Svět			23:53	0:23	0:53	1:23	1:53	2:23	2:53	3:23	3:53	
Fibichova			23:55	0:25	0:55	1:25	1:55	2:25	2:55	3:25	3:55	
Hlavní nádraží			23:57	0:27	0:57	1:27	1:57	2:27	2:57	3:27	3:57	
Kosmonautů			23:58	0:28	0:58	1:28	1:58	2:28	2:58	3:28	3:58	
Vejdovského			23:59	0:29	0:59	1:29	1:59	2:29	2:59	3:29	3:59	
Envelopa			0:00	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00	
Tržnice plocha			0:03	0:33	1:03	1:33	2:03	2:33	3:03	3:33	4:03	

Zdroj: autor

J JÍZDNÍ ŘÁDY – VARIANTA ROZJEZDY HLAVNÍ NÁDRAŽÍ

Tabulka J1 Autobusová linka 1

Linka 1										
Zastávka	I	Spoj	Spoj 1	Spoj 2	Spoj 3	Spoj 4	Spoj 5	Spoj 6	Spoj 7	Spoj 8
Hlavní nádraží			0:15	0:45	1:15	1:45	2:15	2:45	3:15	3:45
Kosmonautů A			0:16	0:46	1:16	1:46	2:16	2:46	3:16	3:46
Vejdovského A			0:17	0:47	1:17	1:47	2:17	2:47	3:17	3:47
Envelopa A			0:18	0:48	1:18	1:48	2:18	2:48	3:18	3:48
Tržnice			0:19	0:49	1:19	1:49	2:19	2:49	3:19	3:49
Okresní soud			0:20	0:50	1:20	1:50	2:20	2:50	3:20	3:50
Výstaviště Flora			0:21	0:51	1:21	1:51	2:21	2:51	3:21	3:51
Dvořákova			0:23	0:53	1:23	1:53	2:23	2:53	3:23	3:53
Foerstrova, pošta A			0:24	0:54	1:24	1:54	2:24	2:54	3:24	3:54
Kmochova			0:26	0:56	1:26	1:56	2:26	2:56	3:26	3:56
Jílová			0:27	0:57	1:27	1:57	2:27	2:57	3:27	3:57
Karafiátová			0:28	0:58	1:28	1:58	2:28	2:58	3:28	3:58
Profesora Fuky			0:29	0:59	1:29	1:59	2:29	2:59	3:29	3:59
Okružní			0:31	1:01	1:31	2:01	2:31	3:01	3:31	4:01
Nová Ulice			0:32	1:02	1:32	2:02	2:32	3:02	3:32	4:02
Pionýrská			0:33	1:03	1:33	2:03	2:33	3:03	3:33	4:03
Fakultní nemocnice			0:34	1:04	1:34	2:04	2:34	3:04	3:34	4:04
Hotelový dům			0:35	1:05	1:35	2:05	2:35	3:05	3:35	4:05
Zenit			0:36	1:06	1:36	2:06	2:36	3:06	3:36	4:06
Velkomoravská			0:37	1:07	1:37	2:07	2:37	3:07	3:37	4:07
Fibichova			0:40	1:10	1:40	2:10	2:40	3:10	3:40	4:10
Hlavní nádraží			0:42	1:12	1:42	2:12	2:42	3:12	3:42	4:12

Zdroj: autor

Tabulka J2 Autobusová linka 2

Linka 2											
Zastávka	I	Spoj	Spoj 1	Spoj 2	Spoj 3	Spoj 4	Spoj 5	Spoj 6	Spoj 7	Spoj 8	Spoj 9
Hlavní nádraží			–	0:15	0:45	1:15	1:45	2:15	2:45	3:15	3:45
U Bystřičky			–	0:16	0:46	1:16	1:46	2:16	2:46	3:16	3:46
Žižkovo nám.			–	0:17	0:47	1:17	1:47	2:17	2:47	3:17	3:47
Nám. Republiky			–	0:18	0:48	1:18	1:48	2:18	2:48	3:18	3:48
U Sv.Mořice			–	0:20	0:50	1:20	1:50	2:20	2:50	3:20	3:50
Palackého			–	0:22	0:52	1:22	1:52	2:22	2:52	3:22	3:52
Nádraží město			–	0:23	0:53	1:23	1:53	2:23	2:53	3:23	3:53
Šibeník			–	0:24	0:54	1:24	1:54	2:24	2:54	3:24	3:54
Gymnázium Hejčín			–	0:26	0:56	1:26	1:56	2:26	2:56	3:26	3:56
Ladova			–	0:28	0:58	1:28	1:58	2:28	2:58	3:28	3:58
Finanční úřad			–	0:31	1:01	1:31	2:01	2:31	3:01	3:31	4:01
Dlouhá			–	0:33	1:03	1:33	2:03	2:33	3:03	3:33	4:03
DPMO			–	0:35	1:05	1:35	2:05	2:35	3:05	3:35	4:05
Nám. Hrdinů			23:34	–	–	–	–	–	–	–	–
U Sv.Mořice			23:35	–	–	–	–	–	–	–	–
Nám. Republiky			23:37	0:37	1:07	1:37	2:07	2:37	3:07	3:37	4:07
Žižkovo nám.			23:38	0:38	1:08	1:38	2:08	2:38	3:08	3:38	4:08
U Bystřičky			23:39	0:39	1:09	1:39	2:09	2:39	3:09	3:39	4:09
Hlavní nádraží			23:41	0:41	1:11	1:41	2:11	2:41	3:11	3:41	4:11

Zdroj: autor

Tabulka J3 Autobusová linka 3

Linka 3										
Zastávka	I	Spoj	Spoj 1	Spoj 2	Spoj 3	Spoj 4	Spoj 5	Spoj 6	Spoj 7	Spoj 8
Hlavní nádraží			0:15	0:45	1:15	1:45	2:15	2:45	3:15	3:45
Fibichova			0:16	0:46	1:16	1:46	2:16	2:46	3:16	3:46
Aut. nádraží podchod			0:17	0:47	1:17	1:47	2:17	2:47	3:17	3:47
ČSAD			0:19	0:49	1:19	1:49	2:19	2:49	3:19	3:49
Pekárny			0:20	0:50	1:20	1:50	2:20	2:50	3:20	3:50
U Mlýna			0:21	0:51	1:21	1:51	2:21	2:51	3:21	3:51
Nový Svět			0:24	0:54	1:24	1:54	2:24	2:54	3:24	3:54
U Teplárny			0:26	0:56	1:26	1:56	2:26	2:56	3:26	3:56
Vejdovského			0:28	0:58	1:28	1:58	2:28	2:58	3:28	3:58
Kosmonautů			0:29	0:59	1:29	1:59	2:29	2:59	3:29	3:59
Na Špici			0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00
Pavlovičky			0:32	1:02	1:32	2:02	2:32	3:02	3:32	4:02
Bělidla			0:33	1:03	1:33	2:03	2:33	3:03	3:33	4:03
Husův sbor			0:34	1:04	1:34	2:04	2:34	3:04	3:34	4:04
Hodolanská			0:35	1:05	1:35	2:05	2:35	3:05	3:35	4:05
Aut. nádraží podchod			0:37	1:07	1:37	2:07	2:37	3:07	3:37	4:07
Fibichova			0:39	1:09	1:39	2:09	2:39	3:09	3:39	4:09
Hlavní nádraží			0:41	1:11	1:41	2:11	2:41	3:11	3:41	4:11

Zdroj: autor

K JÍZDNÍ ŘÁDY – VARIANTA VYUŽITÍ TRAMVAJOVÉHO SUBSYSTÉMU

Tabulka K1 Tramvajová linka 1

Linka 1											
3:53	2:53	1:53	0:53		Fibichova		0:13	1:13	2:13	3:13	
3:52	2:52	1:52	0:52	↑	Hlavní nádraží		0:14	1:14	2:14	3:14	
3:50	2:50	1:50	0:50		Vejdovského		0:16	1:16	2:16	3:16	
3:49	2:49	1:49	0:49		Envelopea		0:17	1:17	2:17	3:17	
3:48	2:48	1:48	0:48		Tržnice		0:18	1:18	2:18	3:18	
3:47	2:47	1:47	0:47		Okresní soud		0:19	1:19	2:19	3:19	
3:45	2:45	1:45	0:45		Nám. Hrdinů		23:36	0:21	1:21	2:21	3:21
3:44	2:44	1:44	0:44		U Sv.Mořice		23:37	0:22	1:22	2:22	3:22
3:42	2:42	1:42	0:42		Nám. Republiky		23:39	0:24	1:24	2:24	3:24
3:41	2:41	1:41	0:41		U Dómu		23:40	0:25	1:25	2:25	3:25
3:40	2:40	1:40	0:40		Žižkovo nám.		23:41	0:26	1:26	2:26	3:26
3:39	2:39	1:39	0:39		U Bystřičky		23:42	0:27	1:27	2:27	3:27
3:37	2:37	1:37	0:37		Hlavní nádraží		23:44	0:29	1:29	2:29	3:29
3:36	2:36	1:36	0:36		Fibichova		23:45	0:30	1:30	2:30	3:30

Zdroj: autor

Tabulka K2 Autobusová linka 2

Linka 2								
Tržnice plocha	0:20	0:50	1:20	1:50	2:20	2:50	3:20	3:50
Okresní soud	0:21	0:51	1:21	1:51	2:21	2:51	3:21	3:51
Výstaviště Flora	0:22	0:52	1:22	1:52	2:22	2:52	3:22	3:52
Dvořákova	0:24	0:54	1:24	1:54	2:24	2:54	3:24	3:54
Kmochova	0:26	0:56	1:26	1:56	2:26	2:56	3:26	3:56
Jílová	0:27	0:57	1:27	1:57	2:27	2:57	3:27	3:57
Stupkova	0:28	0:58	1:28	1:58	2:28	2:58	3:28	3:58
Karafiátová	0:29	0:59	1:29	1:59	2:29	2:59	3:29	3:59
Profesora Fuky	0:30	1:00	1:30	2:00	2:30	3:00	3:30	4:00
Okružní	0:32	1:02	1:32	2:02	2:32	3:02	3:32	4:02
Nová Ulice	0:33	1:03	1:33	2:03	2:33	3:03	3:33	4:03
Pionýrská	0:34	1:04	1:34	2:04	2:34	3:04	3:34	4:04
Fakultní nemocnice	0:35	1:05	1:35	2:05	2:35	3:05	3:35	4:05
Hotelový dům	0:37	1:07	1:37	2:07	2:37	3:07	3:37	4:07
Povel, škola	0:38	1:08	1:38	2:08	2:38	3:08	3:38	4:08
Rožňavská	0:39	1:09	1:39	2:09	2:39	3:09	3:39	4:09
Zikova	0:40	1:10	1:40	2:10	2:40	3:10	3:40	4:10
Trnkova	0:41	1:11	1:41	2:11	2:41	3:11	3:41	4:11
Za Poštou	0:43	1:13	1:43	2:13	2:43	3:13	3:43	4:13
Rooseveltova	0:44	1:14	1:44	2:14	2:44	3:14	3:44	4:14
Tržnice výstup	0:46	1:16	1:46	2:16	2:46	3:16	3:46	4:16

Zdroj: autor

Tabulka 25 Autobusová linka 3

Linka 3								
4:14	3:14	2:14	1:14	Holice	0:16	1:16	2:16	3:16
4:13	3:13	2:13	1:13	U Mlýna	0:17	1:17	2:17	3:17
4:11	3:11	2:11	1:11	Pekárny	0:19	1:19	2:19	3:19
4:10	3:10	2:10	1:10	ČSAD	0:20	1:20	2:20	3:20
4:09	3:09	2:09	1:09	Aut. nádraží podchod	0:21	1:21	2:21	3:21
4:07	3:07	2:07	1:07	Fibichova	0:23	1:23	2:23	3:23
4:06	3:06	2:06	1:06	Hlavní nádraží	0:24	1:24	2:24	3:24
4:04	3:04	2:04	1:04	Na špici	0:26	1:26	2:26	3:26
4:03	3:03	2:03	1:03	U Bristolu	0:27	1:27	2:27	3:27
4:01	3:01	2:01	1:01	Černá cesta	0:29	1:29	2:29	3:29
4:00	3:00	2:00	1:00	Kláštevní Hradisko	0:30	1:30	2:30	3:30
3:59	2:59	1:59	0:59	Jablonského	0:31	1:31	2:31	3:31
3:58	2:58	1:58	0:58	Frajtovo náměstí	0:32	1:32	2:32	3:32
3:57	2:57	1:57	0:57	Lazce kaple	0:33	1:33	2:33	3:33
3:56	2:56	1:56	0:56	Lazce	0:34	1:34	2:34	3:34
3:55	2:55	1:55	0:55	Finanční úřad	0:35	1:35	2:35	3:35
3:53	2:53	1:53	0:53	Ladova	0:37	1:37	2:37	3:37
3:52	2:52	1:52	0:52	Gymnázium Hejčín	0:38	1:38	2:38	3:38
3:50	2:50	1:50	0:50	Šibeník	0:40	1:40	2:40	3:40
3:49	2:49	1:49	0:49	Nádraží město	0:41	1:41	2:41	3:41
3:48	2:48	1:48	0:48	Palackého	0:42	1:42	2:42	3:42
3:47	2:47	1:47	0:47	Náměstí Hrdinů	0:43	1:43	2:43	3:43

Zdroj: autor

L JÍZDNÍ ŘÁDY – VARIANTA ZACHOVÁNÍ SOUČASNÝCH NÁKLADŮ

Tabulka L1 Autobusová linka 1

Linka 1					
Hlavní nádraží	–	0:15	1:15	2:15	3:15
U Bystřičky	–	0:16	1:16	2:16	3:16
Žižkovo nám.	–	0:18	1:18	2:18	3:18
Nám. Republiky	–	0:19	1:19	2:19	3:19
U Dómu	–	0:20	1:20	2:20	3:20
U Sv.Mořice	–	0:21	1:21	2:21	3:21
Palackého	–	0:22	1:22	2:22	3:22
Nádraží město	–	0:23	1:23	2:23	3:23
Šibeník	–	0:24	1:24	2:24	3:24
Gymnázium Hejčín	–	0:26	1:26	2:26	3:26
Ladova	–	0:28	1:28	2:28	3:28
Finanční úřad	–	0:30	1:30	2:30	3:30
Na Střelnici	–	0:31	1:31	2:31	3:31
Náměstí Hrdinů	23:35	–	–	–	–
U Sv.Mořice	23:36	–	–	–	–
Nám. Republiky	23:38	0:34	1:34	2:34	3:34
U Dómu	23:39	0:35	1:35	2:35	3:35
U Sv.Mořice	23:40	0:36	1:36	2:36	3:36
Žižkovo nám.	23:41	0:37	1:37	2:37	3:37
U Bystřičky	23:43	0:39	1:39	2:39	3:39
Hlavní nádraží	23:44	0:40	1:40	2:40	3:40

Zdroj: autor

Tabulka L2 Autobusová linka 2

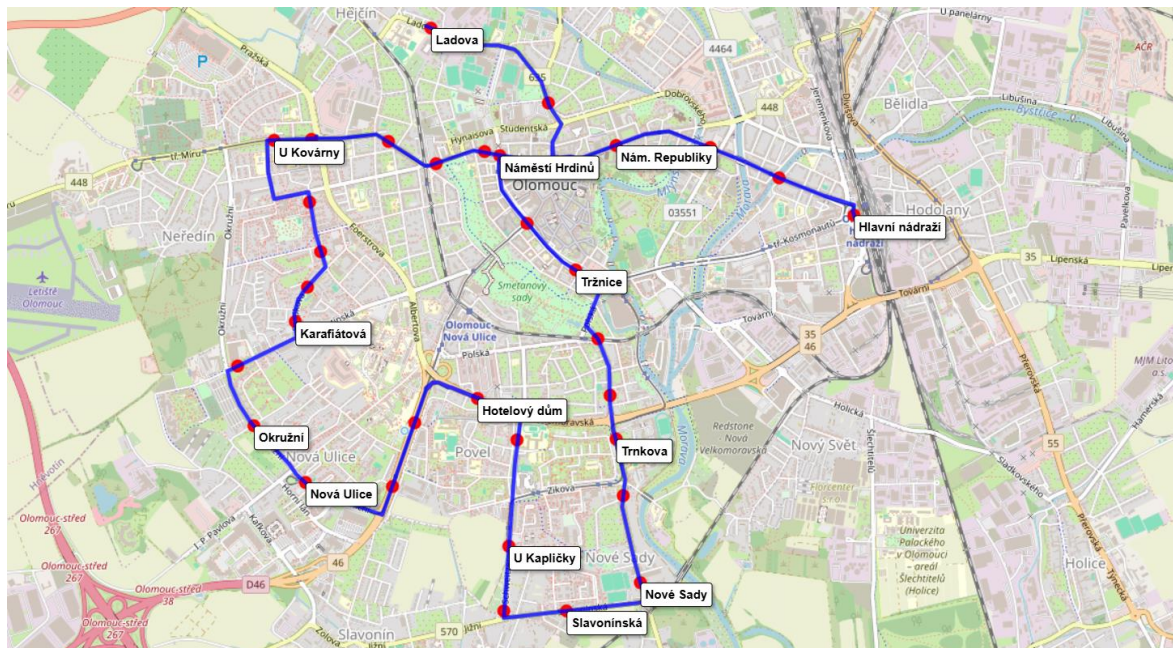
Linka 2				
Hlavní nádraží	0:43	1:43	2:43	3:43
Vejdovského	0:44	1:44	2:44	3:44
Envelopa	0:45	1:45	2:45	3:45
Tržnice	0:46	1:46	2:46	3:46
Okresní soud	0:47	1:47	2:47	3:47
Výstaviště Flora	0:49	1:49	2:49	3:49
Dvořákova	0:51	1:51	2:51	3:51
Foerstrova,pošta	0:52	1:52	2:52	3:52
Kmochova	0:53	1:53	2:53	3:53
Jílová	0:54	1:54	2:54	3:54
Stupkova	0:55	1:55	2:55	3:55
Karafiátová	0:56	1:56	2:56	3:56
Profesora Fuky	0:57	1:57	2:57	3:57
Okružní	0:58	1:58	2:58	3:58
Nová Ulice	1:00	2:00	3:00	4:00
Pionýrská	1:01	2:01	3:01	4:01
Fakultní nemocnice	1:02	2:02	3:02	4:02
Hotelový dům	1:03	2:03	3:03	4:03
Povel,škola	1:05	2:05	3:05	4:05
Rožňavská	1:06	2:06	3:06	4:06
Zikova	1:07	2:07	3:07	4:07
Trnkova	1:08	2:08	3:08	4:08
Velkomoravská	1:09	2:09	3:09	4:09
U Teplárny	1:11	2:11	3:11	4:11
Vejdovského	1:12	2:12	3:12	4:12
Hlavní nádraží	1:14	2:14	3:14	4:14

Zdroj: autor

M MAPY SOUČASNÝCH TRAS LINEK

V rámci této přílohy jsou vyobrazeny detailní trasy linek současného systému nočních linek MHD.

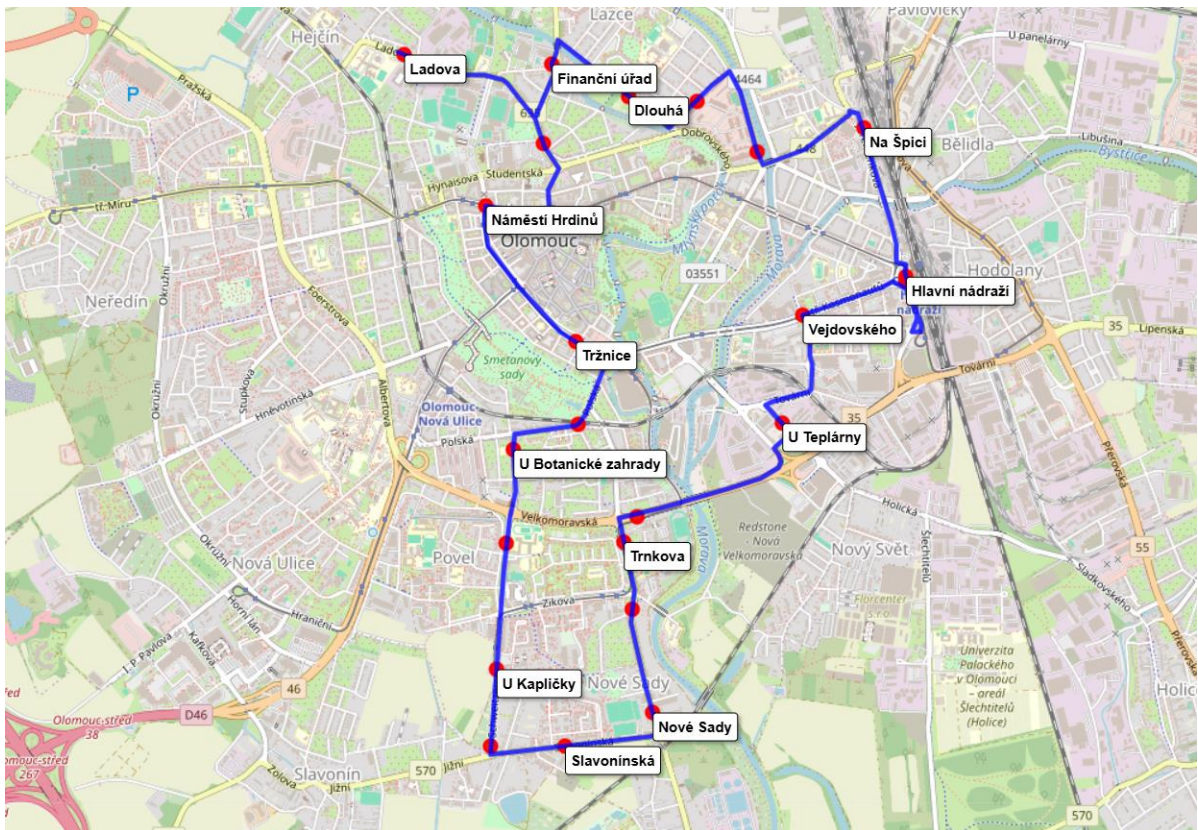
M.1. Linka 50



Obrázek M1 Trasa linky 50

Zdroj: autor dle (8, 9)

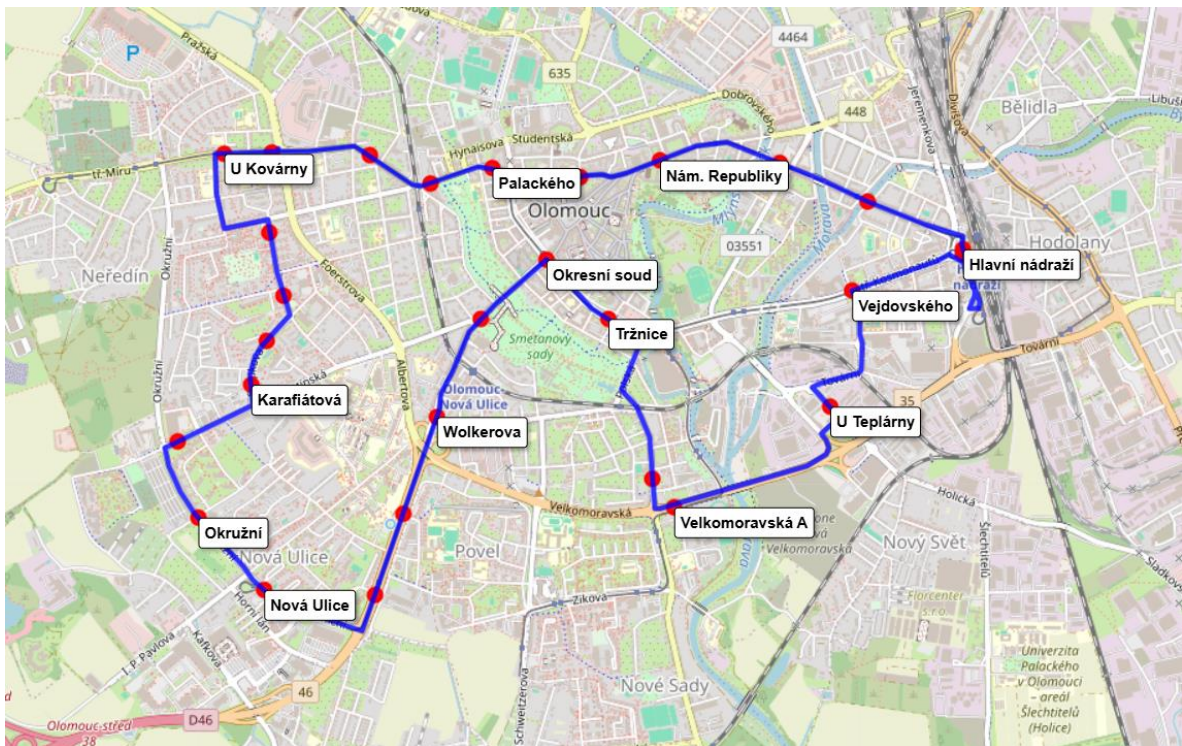
M.2. Linka 51



Obrázek M2 Trasa linky 51

Zdroj: autor dle (8, 9)

M.3. Linka 52



Obrázek 21 Trasa linky 52

Zdroj: autor dle (8, 9)

N NÁKLADY PROVOZU NOČNÍCH LINEK MĚSTSKÉ HROMADNÉ DOPRAVY

Pro výpočet nákladů na zajištění nočního provozu městské hromadné dopravy (MHD) je nezbytné zohlednit jak mzdové náklady řidičů, tak provozní náklady související s provozem vozidel. Na základě údajů uvedených ve výroční zprávě Dopravního podniku města Olomouce (DPMO) za rok 2023 činily celkové náklady na jeden ujetý kilometr autobusu 68,52 Kč. Tato částka zahrnuje jak variabilní náklady, jejichž průměrná výše byla 45,25 Kč na km (například náklady na pohonné hmoty, údržbu vozidel či spotřební materiál), tak náklady fixní ve výši 23,27 Kč na km (např. odpisy vozidel, administrativní výdaje a ostatní provozní náklady). (18)

Mzda řidiče městské hromadné dopravy činila ve stejném roce 35 293 Kč. Tato částka je již započtena v uvedených nákladech na kilometr provozu, a proto není nutné ji samostatně připočítávat při kalkulaci provozních nákladů. Výše mzdy odpovídá aktuálním trendům v oblasti veřejné dopravy, které jsou ovlivněny mimo jiné rostoucí poptávkou po kvalifikovaných pracovnících a snahou o stabilizaci personální situace.

Při stanovení nákladů spojených s provozem nočních linek MHD lze tedy vycházet z průměrné hodnoty 68,52 Kč na km. Tato hodnota poskytuje relevantní základ pro výpočet celkových výdajů a umožňuje objektivní hodnocení efektivity jednotlivých variant provozu v rámci noční obslužnosti města.

Tabulka N1 Náklady na provoz současného systému

Náklady			
1. Vozidlo			
Linka	Spoj	Náklady na spoj	Náklady kumulativní
50	19	163.08 Kč	163.08 Kč
50	3	1190.19 Kč	1353.27 Kč
52	5	874.32 Kč	2227.59 Kč
52	13	874.32 Kč	3101.90 Kč
50	11	1190.19 Kč	4292.09 Kč
51	1	929.13 Kč	5221.22 Kč
51	5	305.60 Kč	5526.82 Kč
2. Vozidlo			
50	3	1190.19 Kč	6717.02 Kč

Zdroj: autor dle (18)

Z výše uvedeného vyplývá, že celkové náklady na provoz spojů nočních linek městské hromadné dopravy (MHD) činí 6 717,02 Kč za den. Údaj o nákladech na jeden ujetý kilometr uvedený ve výroční zprávě představuje průměrnou hodnotu, nicméně na základě kontrolních výpočtů lze konstatovat, že odpovídá i reálným nákladům na provoz v noční době. Její využití v návrhové části práce tak nepředstavuje riziko vzniku systematické chyby.

Tato skutečnost vyplývá z toho, že faktory, které mohou náklady ovlivnit pozitivním i negativním směrem, se v celkovém součtu vzájemně přibližně eliminují. Zatímco v denním provozu lze díky delší délce směny řidiče dosáhnout nižších mzdových nákladů přepočtených na kilometr, tyto výhody jsou částečně kompenzovány negativními vlivy, jako je dopravní kongesce nebo delší pobyty na zastávkách. Tyto faktory zvyšují celkový čas potřebný k ujetí jednoho kilometru, a tím i celkové provozní náklady. Tuto skutečnost dokládá také srovnání jízdních dob v jednotlivých úsecích, které je možné porovnat s dobami v běžném denním provozu.

O POTŘEBA VOZIDEL A ŘIDIČŮ

Noční provoz městské hromadné dopravy (MHD) v Olomouci je v současnosti zajišťován dvěma autobusy a dvěma řidiči. Z celkového počtu osmi nočních spojů je sedm obsluhováno jedním autobusem s jedním řidičem, zatímco jeden spoj linky č. 50 je realizován druhým vozidlem. Toto druhé vozidlo po ukončení nočního spoje následně přechází na ranní výjezd v rámci denního provozu. Tato organizační koncepce umožňuje efektivní využití vozového parku a zároveň minimalizuje náklady, avšak klade vysoké nároky na dodržování pracovněprávních předpisů, zejména v oblasti maximální délky pracovní doby a povinných bezpečnostních přestávek řidičů.

Noční směny řidičů jsou regulovány zákonem č. 262/2006 Sb., zákoníkem práce, a dále specifikovány v nařízení vlády č. 589/2006 Sb., které stanovují podmínky týkající se délky pracovní doby a bezpečnostních přestávek. Práce vykonávaná v době mezi 22:00 a 6:00 je považována za noční (§ 78 odst. 1 písm. k zákoníku práce). Dle § 94a téhož zákona nesmí délka jedné noční směny přesáhnout 10 hodin (14, 15).

Další požadavky jsou zakotveny v zákoně č. 353/2008 Sb., o pracovní době a době odpočinku zaměstnanců v dopravě. Tento právní předpis stanovuje zejména následující pravidla:

- Maximální týdenní pracovní doba řidiče nesmí přesáhnout 48 hodin (§ 4),
- v rámci každých 24 hodin nesmí řidič řídit více než 10 hodin, pokud pracuje v noční době (§ 6 odst. 2),
- po 4,5 hodinách řízení je předepsaná bezpečnostní přestávka minimálně 30 minut, kterou je možné rozdělit na dvě části (např. 15 + 15 minut) (§ 9 odst. 1),
- minimální doba odpočinku mezi dvěma směny činí 11 hodin, ve výjimečných případech může být zkrácena na 9 hodin, přičemž zkrácení musí být následně kompenzováno (§ 8 odst. 1),
- týdenní odpočinek musí činit alespoň 35 hodin (§ 10 odst. 1), (32).

Rozvrh směn v rámci nočního provozu musí být koncipován tak, aby všechny výše uvedené právní požadavky byly dodrženy. První vozidlo zajišťuje spojení mezi 23:36 a 4:22, přičemž obsluhuje sedm spojů. Druhé vozidlo je nasazeno na jediný spoj v čase 3:17 až 4:03, který je následně zařazen do denního provozu. Tento systém umožňuje zachovat minimální počet nasazených vozidel, avšak zároveň vyžaduje důsledné plánování směn tak, aby řidiči měli zajištěný odpovídající čas na odpočinek, jak požaduje § 8 zákona č. 353/2008 Sb.

Z výše uvedeného vyplývá, že současná podoba nočního provozu lze hodnotit jako úspěšnou z hlediska personálního i vozidlového zajištění. Jakákoli úprava spočívající v navýšení

počtu spojů či rozšíření provozu by vyžadovala revizi počtu vozidel a především navýšení počtu řidičů, aby bylo zajištěno dodržení všech legislativních norem souvisejících s pracovní dobou a dobou odpočinku. Což vede k takřka nulové flexibilitě systému a není umožněno zajistit čekání na přípojné železniční spoje v případě zpoždění, což vlivem dlouhých časových period mezi spoji jednotlivých linek nelze hodnotit pozitivně z hlediska zajištění spolehlivého přípojného spojení pro cestující. Vizualizace oběhů vozidel a jejich nasazení na jednotlivé spoje je uvedena v tabulce č. O1

Tabulka O1 Délky spojů současného systému

1. Vozidlo			
Linka	Spoj	Vzdálenost	Kumulativní
50	19	2.38 km	2.38 km
50	3	17.37 km	19.75 km
52	5	12.76 km	32.51 km
52	13	12.76 km	45.27 km
50	11	17.37 km	62.64 km
51	1	13.56 km	76.2 km
51	5	4.46 km	80.66 km
2. Vozidlo			
50	3	17.37 km	98.03 km

Zdroj: autor dle (9)

P HISTORIE NOČNÍHO PROVOZU V OLOMOUCI

Historie nočního provozu městské hromadné dopravy v Olomouci sahá až do konce 19. století. Podle dostupných informací fungovala noční doprava ve městě již od roku 1899, což se shoduje se zahájením tramvajového provozu dne 1. dubna téhož roku. Noční spoje byly součástí tramvajové sítě hned od počátku, přičemž jejich podoba a rozsah se v průběhu desetiletí měnily (1, 3, 4).

V historii olomoucké noční dopravy došlo k několika významným změnám. Například v roce 1967 byl noční tramvajový provoz z ekonomických důvodů zrušen, ale 1. listopadu 1981 byl po čtrnáctileté přestávce znovu obnoven. V roce 1988 fungovaly v nočním provozu tramvajové linky č. 4 a 5, které zajišťovaly spojení mezi hlavními částmi města (5).

Noční tramvajová doprava byla v Olomouci provozována do roku 2000 na linkách č. 2 a 4, přičemž jejich trasy odpovídaly dnešním denním linkám. Noční provoz tramvají poskytoval důležité spojení mezi hlavními částmi města, avšak jeho rozsah byl omezený, protože nebylo možné obsluhovat některé okrajové oblasti či sídliště bez tramvajové infrastruktury (4).

V květnu roku 2000 došlo ke zrušení nočního tramvajového provozu a jeho nahrazení autobusovými linkami č. 51, 52 a 53. Tato změna umožnila rozšíření dostupnosti noční dopravy i do oblastí, které dosud nebyly tramvajemi obsluhovány. Díky flexibilitě autobusové dopravy bylo možné zajistit spojení nejen s hlavními dopravními uzly, ale i se sídlišti a dalšími městskými částmi (4, 5).

Linky č. 51 a 52 byly koncipovány jako okružní a jejich trasování zůstalo téměř beze změny až do současnosti, přičemž došlo k postupnému navýšení počtu zastávek pro lepší dostupnost.

Linka č. 53 vedla z Hlavního nádraží přes Pavlovičky, Hodolanskou a Holici zpět na Hlavní nádraží. Tato linka však nebyla příliš vytižena, a proto byla na začátku roku 2010 zrušena.

V roce 2011 byla zavedena linka č. 50, která původně spojovala Neředín (krematorium), Náměstí Hrdinů, Kosmonautů, Pavlovičky, Hlavní nádraží a Tabulový vrch. V následujících letech se její trasa několikrát upravovala, až se nakonec ustálila v podobě okružní linky s výchozí a konečnou zastávkou na Hlavním nádraží.

Současná podoba nočních linek č. 50, 51 a 52 je výsledkem optimalizace dopravní obslužnosti města v nočních hodinách. Trasy těchto linek byly navrženy tak, aby pokryly co největší území a zajistily spojení nejen pro noční cestující, ale i pro zaměstnance dojíždějící na ranní směny či cestující využívající noční vlakové spoje.

V rámci provozní efektivity a optimalizace nákladů je většina nočních spojů zajišťována pouze jedním autobusem. Jízdní řád je proto nastaven tak, aby umožňoval oběh jednoho vozidla

s předepsanými bezpečnostními přestávkami, čímž se zajišťuje jak efektivní využití dopravních prostředků, tak i dodržení pracovních podmínek řidičů.

V roce 2010 však noční linky v Olomouci opět skončily kvůli úsporným opatřením. Tento krok vyvolal mezi obyvateli značnou nespokojenost, protože noční doprava byla tradiční součástí městského dopravního systému již více než 110 let. Po několika letech však došlo k postupnému obnovení nočních spojů v podobě autobusových linek, které postupně nahradily noční tramvajovou dopravu (6).

V současnosti zajišťují noční dopravu v Olomouci autobusové linky č. 50, 51 a 52, které pokrývají většinu dřívější tramvajové sítě. Tyto linky prošly v průběhu let různými úpravami, například během pandemie COVID-19 došlo k jejich dočasnému omezení. Od 1. července 2021 však byly noční linky opět vráceny do plného provozu (7).

Historie nočního provozu MHD v Olomouci tak odráží snahu města přizpůsobovat se potřebám obyvatel a měnícím se podmínkám. Přestože noční doprava prošla několika přerušeními a změnami, její existence a vývoj ukazují na dlouhodobou snahu o zajištění dostupné a efektivní dopravy i v nočních hodinách.