

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA

LOKACE PŘESTUPNÍCH UZLŮ V INTEGROVANÝCH DOPRAVNÍCH SYSTÉMECH
VE VAZBĚ NA LINKOTVORBU

DISERTAČNÍ PRÁCE

2010

ING. JOSEF BULÍČEK

UNIVERZITA PARDUBICE
DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA
KATEDRA TECHNOLOGIE A ŘÍZENÍ DOPRAVY

LOKACE PŘESTUPNÍCH UZLŮ V INTEGROVANÝCH DOPRAVNÍCH SYSTÉMECH
VE VAZBĚ NA LINKOTVORBU

DISERTAČNÍ PRÁCE

AUTOR PRÁCE: ING. JOSEF BULÍČEK
ŠKOLITEL: PROF. ING. VLASTISLAV MOJŽÍŠ, CSC.

2010

Prohlašuji:

Tuto práci 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., autorský zákon, 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.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 31. března 2010


Ing. Josef Bulíček

ANOTACE

Práce je věnována umístování přestupních uzlů v integrovaných dopravních systémech veřejné hromadné osobní dopravy ve vazbě na linkotvorbu. Problematika je řešena s využitím dopravního modelování s počítačovou podporou a zároveň s aplikací lineárního programování. Lokace přestupních uzlů tak vyplývá ze sestavených linek na základě analýzy přepravních proudů cestujících v území. Aplikační část práce je zaměřena na linkotvorbu a na umístování přestupních uzlů v IDS Tábor – Sezimovo Ústí – Planá nad Lužnicí.

KLÍČOVÁ SLOVA

přestupní uzly, linky, integrované dopravní systémy, lokace, dopravní modelování, Tábor

TITLE

The Location of Interchanging Points in the Integrated Transport Systems in Attachment to Line Planning

ANNOTATION

The dissertation is focused on location of interchanging points in the integrated transport systems of public passenger transport in attachment to line planning. The questions are solved with utilizing of computer supported transport modelling and also with application of linear programming. The location of interchanging points is followed from lines constructed with regard to analysis of passenger transport flows in area. The application part of dissertation is focused on line planning and on location of interchanging points in the integrated transport system of cities Tábor – Sezimovo Ústí and Planá nad Lužnicí.

KEYWORDS

interchanging points, lines, integrated transport systems, location, transport modelling, Tábor

Poděkování

V úvodu disertační práce bych rád chtěl vyslovit poděkování mému školiteli prof. Ing. Vlastislavu Mojžíšovi, CSc. za cenné připomínky a rady, kterých se mi v průběhu celého studia dostávalo.

Poděkování rovněž patří celé řadě akademických pracovníků pardubické, žilinské a drážďanské univerzity, ale také pracovníkům společností COMETT Plus a České dráhy, kteří mi byli při zpracovávání disertační práce nápomocni.

V neposlední řadě si nemalé díky zaslouží i všichni lidé v mém okolí, kteří mi vytvořením příznivých podmínek a zároveň svou všestrannou podporou a trpělivostí zpracování této práce umožnili a usnadňovali.

Autor

OBSAH

Úvod	10
1 Současný stav problému	11
1.1 Integrovaný dopravní systém.....	11
1.2 Terminologie a její výklad.....	11
1.2.1 Silniční doprava.....	12
1.2.2 Železniční doprava.....	12
1.2.3 Přestupní uzly mezi linkami více dopravních oborů.....	13
1.2.4 Linka	13
1.2.5 Linkotvorba.....	14
1.3 Současná právní situace v oblasti IDS.....	14
1.4 Kritická analýza současného stavu vědeckého poznání	15
1.4.1 Obecný stav vědeckého poznání	15
1.4.2 Informační zdroje.....	15
1.4.3 Přístupy k integraci veřejné osobní dopravy	16
1.4.4 Přístupy k přestupním místům a linkotvorbě	17
1.4.5 Dopravní modelování	20
1.5 Analýza současného stavu realizace IDS v ČR	20
1.6 Závěr analýzy současného stavu.....	23
1.7 Návrh vlastní klasifikace přestupních uzlů.....	24
2 Cíl řešeného vědeckého úkolu	26
2.1 Vymezení řešeného systému a jeho vazeb.....	26
2.2 Vlastní cíl řešeného vědeckého úkolu	27
2.3 Konkretizace postupu řešení vědeckého úkolu.....	27
2.4 Omezující a ohrožující podmínky řešení.....	29
2.5 Hypotéza	29
3 Zvolené metody zkoumání	30
3.1 Logistické technologie.....	30
3.1.1 Hub and Spoke	30
3.1.2 City logistika.....	34
3.2 Metody operačního výzkumu	38
3.3 Dopravní modelování	39
3.3.1 Dopravní model a jeho definice.....	39

3.3.2	<i>Druhy dopravních modelů, jejich využití a softwarová podpora</i>	39
3.3.3	<i>Čtyřstupňový dopravní model</i>	40
3.3.4	<i>Výpočetní období pro modelování</i>	43
3.3.5	<i>Zavedení linek do dopravního modelu</i>	44
4	Řešení úkolu a jeho výsledky	47
4.1	Přístup k řešení	47
4.2	Vstupy modelu	47
4.2.1	<i>Dopravní infrastruktura v modelu</i>	48
4.2.2	<i>Přepravní poptávka</i>	50
4.3	Řešení s využitím dopravního modelu	51
4.3.1	<i>Rozdělení území na dopravní okrsky</i>	51
4.3.2	<i>Stanovení zdrojových a cílových přepravních proudů</i>	53
4.3.3	<i>Směrování přepravních proudů</i>	54
4.3.4	<i>Celočíselnost v matici směrování přepravních proudů</i>	56
4.3.5	<i>Přiřazení přepravních proudů na úseky dopravní sítě</i>	57
4.3.6	<i>Konsolidace přepravních proudů</i>	58
4.4	Interakce subsystémů VHOD	59
4.4.1	<i>Interakce VLD a MHD</i>	60
4.4.2	<i>Interakce různých dopravních oborů</i>	60
4.4.3	<i>Předpoklady řešení</i>	60
4.5	Stanovení podsítí vhodných pro provoz kmenových linek	61
4.5.1	<i>Postup stanovení podsítě pro provoz kmenových linek</i>	61
4.5.2	<i>Přepravní okrsky a úpravy atraktivity a disponibility na podsíti kmenových linek</i>	63
4.5.3	<i>Konsolidace podsítě kmenových linek</i>	64
4.6	Lokace přestupních uzlů	65
4.6.1	<i>Lokace přestupních uzlů mezi kmenovými linkami</i>	66
4.6.2	<i>Analýza přepravních proudů procházejících uzly dopravní sítě</i>	67
4.6.3	<i>Transformace přepravního proudu na úsekové linky</i>	68
4.6.4	<i>Propojování úsekových linek v přestupních uzlech</i>	68
4.6.5	<i>Propojování spojů na úsecích</i>	70
4.6.6	<i>Další postup linkotvorby</i>	73
4.6.7	<i>Neomezená délka celosíťových linek, význam smyčkových linek</i>	74
4.6.8	<i>Disponibilní počty vozidel, zvláštní požadavky na dopravní obslužnost</i>	75
4.7	Doplňková rozhodnutí při tvorbě linkového vedení	77

4.8	ITJŘ na kmenových linkách	77
4.9	Aplikace sestavených kmenových linek do modelu a konsolidace návrhu	79
4.10	Přestupní uzly mezi kmenovými a doplňkovými linkami	80
4.10.1	<i>Důvody hierarchizování dopravních sítí</i>	<i>80</i>
4.10.2	<i>Podmínky pro lokaci přestupních uzlů mezi kmenovými a doplňkovými linkami.....</i>	<i>81</i>
4.10.3	<i>Množina potenciálních přestupních uzlů mezi kmenovými a doplňkovými linkami</i>	<i>82</i>
4.11	Dekompozice modelu	84
4.12	Sestava doplňkových linek	86
4.13	Provázání linek kmenového a doplňkového subsystému	88
4.14	Přepravní nerovnoměrnosti v modelu.....	89
4.15	Celkové ověření navrženého řešení	90
4.16	Implementace navrženého postupu do software OmniTRANS.....	91
4.17	Dílčí závěr teoretické části návrhu řešení	92
5	Aplikační část IDS Tábořské aglomerace.....	93
5.1	Základní charakteristiky řešeného IDS.....	93
5.2	Dopravní infrastruktura v modelu	94
5.3	Přepravní okrsky	94
5.4	Zdrojové a cílové přepravní proudy	95
5.5	Výpočetní období modelu.....	96
5.6	Modelování VHOD na obecné dopravní síti bez linek.....	97
5.7	Dopravní model se softwarovou podporou.....	97
5.7.1	<i>Distanční matice</i>	<i>97</i>
5.7.2	<i>Směrování přepravních proudů</i>	<i>98</i>
5.7.3	<i>Přirazení přepravních proudů na úseky dopravní sítě</i>	<i>98</i>
5.8	Podsít' vhodná pro provoz kmenových linek.....	99
5.8.1	<i>Určení podsítě vhodné pro provoz kmenových linek</i>	<i>99</i>
5.8.2	<i>Konsolidace podsítě vhodné pro provoz kmenových linek</i>	<i>99</i>
5.9	Interakce VLD a MHD	100
5.10	Lokace přestupních uzlů mezi kmenovými linkami	101
5.10.1	<i>Propojování linek v uzlech sítě</i>	<i>101</i>
5.10.2	<i>Propojování linek na úsecích.....</i>	<i>104</i>
5.10.3	<i>Návrh kmenových linek a jeho konsolidace.....</i>	<i>105</i>
5.10.4	<i>Přestupní uzly a tvorba doplňkových linek.....</i>	<i>106</i>
5.10.5	<i>Tvorba doplňkových linek.....</i>	<i>106</i>

<i>5.10.6 Propojení kmenových a doplňkových linek.....</i>	<i>109</i>
<i>5.10.7 Kompletní model navrženého linkového vedení IDS</i>	<i>110</i>
<i>5.10.8 Dílčí závěr praktické aplikace</i>	<i>111</i>
Závěr	112
Seznam použitých informačních zdrojů	114
Seznam zkratek.....	117
Seznam tabulek	118
Seznam obrázků.....	119
Seznam příloh	120

ÚVOD

Charakteristickým znakem současnosti je neustále rostoucí hybnost osob v území a zároveň pro veřejnou hromadnou osobní dopravu negativně se vyvíjející ukazatel dělby přepravní práce vůči dopravě individuální. Z těchto důvodů je potřebné věnovat veřejné hromadné osobní dopravě a její integraci náležitou pozornost.

Tématem této disertační práce je lokace přestupních uzlů v integrovaných dopravních systémech. Na tuto úlohu je možné nahlížet v různých rovinách, nicméně, má-li být umístění přestupních uzlů řešeno systémově, musí být řešeno společně s vazbou na linkotvorbu. Není-li průsečíku linek, nemůže být přestupního uzlu a naopak.

Disertační práce zároveň sleduje progresivní možnosti využití dopravního modelování a jeho softwarové podpory pro další rozvoj řešené problematiky. Smyslem práce je vytvořit a ověřit návrh metodického postupu pro umístění přestupních uzlů a tím i pro tvorbu sítí linek integrovaných dopravních systémů veřejné hromadné osobní dopravy (IDS). Záměrem navrženého postupu je tak přispět k vytváření kvalitních IDS, které budou důstojnou a atraktivní alternativou k individuální automobilové dopravě.

Z důvodů ochrany práv poskytujících subjektů nejsou přepravní data, poskytnutá jako podklad pro aplikační část této disertační práce, uvedena v explicitní formě. Veškeré údaje uvedené v disertační práci jsou výsledky vlastních výpočtů ovlivněných předpoklady přijatými v průběhu zpracovávání práce (z části i na úrovni odborného odhadu). Z těchto důvodů není možné tyto výsledky aplikovat v praxi bez jejich validace a je potřebné na ně nahlížet pouze jako na laboratorní data, která ale plně postačují pro verifikaci (ověření funkčnosti) postupu navrženého v disertační práci. Veškeré poskytnuté a použité podklady mají doktorand a školicí pracoviště k dispozici.

1 SOUČASNÝ STAV PROBLÉMU

Problematika IDS se v ČR stala velkým tématem během posledních přibližně 15 let. Nejprve se tato organizace dopravy prosadila v okolí velkých měst a nyní se postupně začíná přesouvat i do vzdálenějších regionálních oblastí. Takový rozvoj si však žádá komplexní přístup ve všech oblastech integrace (tj. v organizačně-ekonomickém, tarifním i dopravním podsystemu). Z důvodu velké šíře problematiky je téma této práce zúženo na lokaci přestupních uzlů ve vazbě na linkotvorbu, neboť obě tyto oblasti spolu velmi úzce souvisejí.

1.1 Integrovaný dopravní systém

IDS je podle (1) takový systém, který při daných ekonomických možnostech uspokojí přiměřeným způsobem přepravní potřeby obyvatel a návštěvníků daného regionu (dostatečně kvalitně a za rozumnou cenu). Především to představuje použití společného jízdního dokladu na všech integrovaných linkách veřejné hromadné dopravy, bez ohledu na konkrétního dopravce nebo obor dopravy. Neméně důležitá je vzájemná časová a prostorová koordinace spojů provozovaných v rámci IDS. Cílem je optimalizace dopravního procesu spolu se snahou o dostupnost cílů cest co nejefektivnějším způsobem.

Hlavní cíl všech integračních snah je nabídnout cestujícímu kvalitní a dobře organizovaný systém veřejné hromadné osobní dopravy (VHOD), který bude důstojnou a konkurenceschopnou alternativou k individuální automobilové dopravě (IAD). Vážnost této konkurence dokumentuje např. počet registrovaných osobních automobilů v ČR, který k 31. 12. 2008 dosáhl 4 423 370 automobilů, což bylo o 28,6 % více než v r. 2000 (2).

Má-li být dosaženo vyššího podílu VHOD při dělbě přepravní práce, musí se IDS vyznačovat i vysokou úrovní kvality. Na tu jsou zaměřeny evropské normy EN 13 816 (3) a EN 15 140 (4). Zde jsou především specifikovány požadavky na definování, cíle a měření služeb ve veřejné přepravě osob a je zde podán návod pro výběr metod měření kvality přepravních služeb.

Z hlediska historie integrace jsou důležité dva důležité časové údaje. První IDS vzniknul roku 1965 v německém Hamburku (Hamburger Verkehrsverbund) (5). Na území ČR pak integrace pronikla na počátku 90. let 20. stol. (Zlín, Praha, Ostrava).

1.2 Terminologie a její výklad

Terminologické označování přestupních uzlů, resp. jejich klasifikace, se v různých odborných materiálech různí, jak je uvedeno v kapitolách 1.2.1 – 1.2.3. Z toho důvodu

je v kapitole 1.7 proveden vlastní návrh označování a kategorizace přestupních uzlů napříč dopravními obory (s ohledem na provoz v rámci IDS). Na základě tohoto rozdělení jsou stanoveny také předpoklady pro další řešení. Zároveň je v kapitolách 1.2.4 – 1.2.5 podán přehled terminologie vztahující se k linkám a linkotvorbě.

1.2.1 Silniční doprava

V silniční (autobusové) dopravě jsou rozlišována autobusová nádraží, autobusová stanoviště a zastávky.

Autobusová nádraží jsou většinou vybavena odbavovací budovou a větším počtem stanovišť. Tato nádraží jsou samostatnou účelovou komunikací a podle zákona č. 13/1997 Sb. o pozemních komunikacích (6) nesmějí být součástí místní komunikace nebo silnice. Autobusová nádraží se podle (1) rozdělují do kategorií podle druhu dopravní služby, významu, provozu a účelu. Kategorie je závislá na počtu autobusových spojů dálkové a příměstské dopravy (ve špičkových dnech), ale také na velikosti a významu obce.

Naproti tomu existují autobusová stanoviště, která již na místních komunikacích a silnicích být mohou, ovšem nemusejí. Většinou zde chybí odbavovací budova a vybavení není tak rozsáhlé jako u autobusových nádraží, stejně jako rozsah poskytovaných služeb.

Třetí skupinou jsou autobusové zastávky. Navrhování zastávek upravuje norma ČSN 73 6425-1 Autobusové, trolejbusové a tramvajové zastávky, přestupní uzly a stanoviště platná od roku 2007 (7). Dynamicky se měnící podmínky provozu VHOD jsou zachyceny v druhé části normy ČSN 73 6425-2 s označením „Přestupní uzly a stanoviště“ (8), vydané v roce 2009. V uvedených normách jsou definovány základní stavební parametry zastávek (uspořádání, rozměry) a stanoveny podmínky pro jejich dimenzování. Uvedeny jsou zde také základní časové charakteristiky vztahující se k přestupním uzlům a také požadavky na jejich vybavení.

Zastávky tramvají a trolejbusů patří sice drážním dopravním oborům, jsou však zmíněny na tomto místě vzhledem k obecně úzkým vazbám na silniční dopravu.

1.2.2 Železniční doprava

V železniční dopravě mohou být za přestupní uzel považovány osobní a smíšené železniční stanice, popř. železniční zastávky.

Vzhledem k tématu této práce je důležité především dělení železničních stanic podle polohy výpravní budovy na průjezdné stanice s boční výpravní budovou, s ostrovním umístěním nebo příčným uspořádáním výpravní budovy (1). Specifickým případem

je pak koncové uspořádání osobní železniční stanice (např. Praha-Masarykovo nádraží). Význam tohoto dělení spočívá především v „náročnosti“ přestupu, pod kterou si je možno představit délku docházkových vzdáleností, nutnost překonávat převýšení (schodiště) nebo vlastní přehlednost stanice. Výhodná je z tohoto pohledu stanice s uspořádáním kolejíště a výpravní budovy ve dvou úrovních (např. Brno-Královo Pole). Není zde nutnost překonávat dva výškové rozdíly při příchodu na stanici (příp. při přestupu na prostředky jiných dopravních oborů). Obecně je ale nutné odstraňovat bariéry pro osoby s omezenou schopností pohybu a orientace. S výhodou toho využijí ale i tzv. dopravně handicapovaní cestující (s kočárky, rozměrnými zavazadly, jízdními koly atd.).

Železniční stanice je možné dělit i z mnoha dalších hledisek, důležité dělení je např. podle druhu nástupiště, způsobu příchodu k nástupišťům, popř. podle druhu (rozsahu) poskytovaných služeb (9).

Železniční zastávkou se rozumí místo pro nástup a výstup cestujících na širé trati, které zpravidla není dopravnou (neřídí se odtud sled vlaků a neprovádějí se zde náročné technologické dopravní úkony, např. křížování). Zastávky mohou být vybaveny výdejnou jízdenek, informačními systémy a mohou rovněž sloužit jako přestupní uzly na linky jiných dopravních oborů.

1.2.3 Přestupní uzly mezi linkami více dopravních oborů

V podmínkách ČR se jednotlivé dopravní obory (především pak autobusová a železniční doprava) historicky vyvíjely zpravidla odděleně a paralelně vedle sebe. V mnohých případech je tak nutné při přestupu mezi železniční a autobusovou dopravou překonat poměrně velkou vzdálenost, často i s nutností využití městské hromadné dopravy (MHD).

Jako výjimku je možné uvést právě MHD, kde mnohdy docházelo k funkční diferenciaci podle jednotlivých subsystémů. S tím je samozřejmě spojena i nutnost přestupů. Příkladem je hlavní město Praha, kde je většina autobusových linek MHD ukončena právě v autobusových terminálech situovaných u stanic metra (10).

1.2.4 Linka

Definice linky není zcela jednoznačná. Podle (11) je to fyzicky daná trasa na dopravní cestě, vymezená technickými parametry, konečnými a mezilehlými zastávkami. Výstižněji definici uvádí autor publikace (12), kdy linku definuje jako souhrn dopravních spojení pro pravidelnou dopravní obsluhu určených míst. Toto dále doplňuje o následující vlastnosti:

pravidelnost přepravních služeb, nutnost existence platné licence a schváleného jízdního řádu (JŘ). Nejstručněji, ale i nejdůležitěji, je pak linka definována autory knihy (13), kde se jedná o množinu spojů po dané trase. Spojem se rozumí jedno dopravní spojení v rámci linky, které je časově a místně určeno JŘ (12).

Linky jsou autory (14) podle své formy členěny takto: *radiální linka* (linka spojující centrum s okrajem), *průsečná* (dva protilehlé okraje přes centrum), *tangenciální* (dva okraje mimo centrum) a *linka okružní*. Obdobná rozdělení uvádějí i autoři (1) nebo (11). Podle druhu lze linky rozdělit na linky: *kmenové*, *denní*, *posilové*, *doplňkové* a *noční*, byť se některé kategorie překrývají. Bližší vysvětlení významu je uvedeno v (14).

1.2.5 Linkotvorba

Lokace přestupních míst je nevyhnutelně spojená právě s problematikou vlastní linkotvorby. Obecně se linkotvorbou rozumí postup návrhu sítě linek VHOD. Jedná se o soustavu dvou rozhodovacích problémů – návrh tras linek a stanovení počtu spojů na linkách za časovou jednotku. Jak je uvedeno v (13), jako kritérium mohou být využity tyto ukazatele: rychlost přepravy, přestupovost, obsazenost vozidel a pocit pohody cestujících (kvantifikovaný např. známkou od 1 do 5). Jedná se tedy o multikriteriální problém, který je v řadě případů převáděn na monokriteriální. K řešení se používají např. metody matematického programování (13).

1.3 Současná právní situace v oblasti IDS

Právní rámec obecně tvoří jak národní právní předpisy, tak předpisy Evropské unie. Postavení IDS není v ČR přesně právně vymezeno, proto pro každý dopravní obor platí vlastní právní předpisy i v rámci IDS. Analýza se zaměřuje jen na stěžejní národní předpisy.

Klíčovou roli tak hraje **zákon č. 266/1994 Sb. o dráhách** ve znění pozdějších předpisů (15). Tento zákon pokrývá oblast drah železničních, tramvajových, trolejbusových, lanových a metra.

V oblasti provozování dráhy a drážní dopravy pak platí i řada vyhlášek (16), např. o stavebním a technickém řádu drah (177/1995 Sb.), o dopravním řádu drah (173/1995 Sb.) nebo vyhláška 241/2005 Sb. o prokazatelné ztrátě ve veřejné drážní osobní dopravě a o vymezení souběžné veřejné osobní dopravy.

Oblast provozování silniční dopravy je upravena především **zákonem č. 111/1994 Sb. o silniční dopravě** ve znění pozdějších předpisů (17). Nicméně existuje i řada dalších zákonných norem, které upravují jednotlivé oblasti silniční dopravy. Vlastní provoz

na pozemních komunikacích je upraven zákonem č. 465/2006 Sb. (18), existuje zde již i vzpomínaný zákon č. 13/1997 Sb. o pozemních komunikacích ve znění pozdějších předpisů (6). Vyjma toho v ČR ještě platí několik dalších zákonů a vyhlášek upravujících např. pracovní dobu zaměstnanců (řidičů), registraci vozidel atd.

V těchto právních předpisech se problematika IDS (resp. MHD obecně) vyskytuje velmi okrajově a je užíváno obecných právních norem. Jak již bylo uvedeno, pro každý dopravní obor v IDS tak platí jiné právní předpisy (16). Ve stávajících předpisech navíc nejsou speciálně vymezeny kompetence a funkce jednotlivých subjektů participujících na IDS. Proto při vzniku a provozování jednotlivých IDS vznikají vzájemné rozdíly. Harmonizaci podmínek má přinést navrhovaný nový **zákon o veřejné dopravě**.

1.4 Kritická analýza současného stavu vědeckého poznání

1.4.1 Obecný stav vědeckého poznání

Potřeba integrace VHOD se projevuje jednotně a jednoznačně kladně napříč naprostou většinou publikovaných odborných statí nebo příspěvků, které se tohoto tématu dotýkají. Právem lze prohlásit, že toto platí ve středoevropském prostoru mezinárodně. Stejně tak je většina autorů zajedno v tom faktu, že integrace je cestou k řešení problémů spojených s udržitelnou mobilitou, resp. s rostoucími přepravními výkony IAD. Provedená analýza se nese přibližně v duchu a rovině poznání současně prezentovaného na konferencích nebo v odborných časopisech.

1.4.2 Informační zdroje

Informační zdroje, které byly předmětem této analýzy a mohou být využity jako podklad pro řešení, lze zhruba rozdělit do třech skupin. První skupinu tvoří materiály, zabývající se danou tematikou obecně; ty jsou charakteristické pro akademické prostředí a mají většinou podobu knižních publikací. Skupinou druhou jsou materiály, zabývající se konkrétními technologiemi bez ohledu na místo aplikace a konečně skupina třetí zahrnuje popis praktických přístupů k realizaci integrace veřejné hromadné dopravy. Materiály třetí skupiny výrazně početně převažují a dominují především ve sbornících z konferencí nebo časopisech. Nicméně materiály všech tří skupin lze s výhodou zobecnit a využít, neboť i v rámci praktické realizace, vycházející většinou z osobních pracovních zkušeností autora, lze nalézt obecné přístupy.

1.4.3 Přístupy k integraci veřejné osobní dopravy

Vyjma vlastní základní funkce IDS (uvedené v kapitole 1.1 podle (1)) existují odborné prameny, ve kterých je úloha IDS nadále rozvedena a konkretizována. Například autoři monografie (16) vhodně a výstižně upřesňují charakteristiku IDS celkem jedenácti principy (princip cestujícího, systému, alternativy, jednoho jízdního dokladu, jednoty, homogenity poptávané služby, heterogenity nabízené služby, řízení tržeb, životního prostředí a využití dopravní sítě). Shrnující charakteristiku podávají autoři příspěvku (19), podle nichž představuje IDS nejvyšší formu spolupráce jeho poskytovatelů ve prospěch cestujícího, který je zákazníkem tohoto systému. Tato myšlenka je správná a představuje základní filosofii, nicméně nabízí se její rozšíření, zda-li IDS nemůže být přínosem i pro dopravce samotné (např. zisk síťového efektu poskytované služby, případné převzetí některých vedlejších činností koordinátorem systému atd.).

Pozitivní efekty integrace byly prokázány i v zahraničí, zejména v německy hovořících zemích. Zde je toto spojeno i s otázkou zavádění periodického (taktového či intervalového) JŘ, který lze považovat za jeden z velmi důležitých prvků komplexního řešení integrace. V českých podmínkách se touto problematikou, resp. přímo integrovaným taktovým jízdním řádem (ITJŘ), který je jakousi nadstavbou JŘ taktového, zabývají např. autoři příspěvků (20) a (21).

Německé zkušenosti (22) pak ukazují, že integrací, využívající všechny její technologické přínosy (periodický JŘ, pravidelnost provozu, koncentrace na důležité přepravní relace, orientace na cílovou skupinu cestujících, důraz na kvalitu vozidel, ale i zastávek atd.) se podařilo zvýšit přepravní poptávku dvoj- až čtyřnásobně a to včetně víkendových dnů (22). Velmi pozitivně se jeví právě orientace na cílovou skupinu školní mládeže (cestujících nevlastnících řidičské oprávnění), popř. i větší důraz na volnočasovou dopravu.

Zajímavý, byť v mnohém stejný, ale i v mnohém odlišný přístup je navržen Vlámským ústavem pro dopravní znalosti (Flemish Foundation for Traffic Knowledge) se sídlem v belgickém Mechelenu (23). Je zde také patrná cílová orientace na skupinu mládeže, jakožto potenciální cestující. V detailu to představuje důraz na pokrytí potřeb této cílové skupiny (cesty do školy, ale např. i jinde většinou absentující noční doprava z kulturních akcí). Zásadní odlišnost ovšem spočívá ve sledování i dalších vedlejších, ale ne nepodstatných efektů, od možného snížení počtu dopravních nehod způsobených mladými řidiči s nedostatečnými zkušenostmi až po environmentální aspekty dopravy. Podobně komplexní

přístup, např. i včetně dopadů na potřebné počty parkovacích míst v městských centrech, správně uvádějí také i srbští autoři v příspěvku (24).

Veřejná hromadná doprava ve Vlámku je obecně založena na principu STOP (název podle počátečních písmen místního označení dopravních oborů) (23). Tento princip je založen na následující posloupnosti volby způsobu cestování: nejprve pěšky, poté na kole, následně veřejnou hromadnou dopravou a teprve když není jiná cesta, pak osobním automobilem. Preference nemotorových způsobů dopravy je obecně správná, ale je také nutno podotknout, že jsou zde výrazné limitující faktory (klimatické vlivy, konfigurace terénu, kvalita komunikační sítě atd.).

Zvýšení významu veřejné dopravy má napomoci zavedení standardů kvality, zahrnujících docházkovou vzdálenost (max. 500 m ve městech), garantovaný interval a maximální dobu čekání na spoj. Problematiku docházkových vzdáleností v prostředí se směrově paralelně vedenými linkami je možné matematicky vyjádřit na základě vztahů odvozených v (13), kde je též vazba na intervaly mezi spoji, tedy i na dobu čekání na spoj.

Je zde rovněž důležitá deklarace snahy, aby rozsah dopravních služeb nebyl na určité minimální úrovni definované standardem, ale naopak aby byly sledovány i specifické potřeby cestujících. Je tak správně akcentováno riziko, aby rozsah dopravní nabídky nebyl stanoven podle standardem stanovených minimálních hodnot i v těch případech, kdy přepravní poptávka umožňuje úspěšně provozovat i širší rozsah dopravy.

1.4.4 Přístupy k přestupním místům a linkotvorbě

Prakticky nezpochybnitelná je stěžejní role železniční dopravy v IDS. Velmi široce se železnicí v rámci IDS, resp. německého dopravního svazu zabývá autor článku (25). Autor zde mimo jiné připomíná tzv. „Zug-Bus-Konzept“, kdy se jedná o napojení regionálních autobusových linek na kmenovou železniční linku. Díky této koncepci linkového vedení byl na síti Westfrankenbahn zaznamenán nárůst počtu cestujících mezi roky 2002 a 2004 o 55 % a navíc přepravní poptávka má stále rostoucí tendenci. V problematice vlastních přestupních uzlů pak autor charakterizuje úspěšný projekt modernizace nádraží, která tak získala podobu moderních přestupních terminálů, vybavených i řadou doplňkových služeb. Železniční stanice se tak (i přes poměrně velkou investiční náročnost projektu) staly živým organismem, který představuje vlídnou tvář celého systému veřejné dopravy a zpětně pomáhá zvyšovat přepravní poptávku po základní službě – veřejné hromadné dopravě. Jak autor správně komentuje, při dřívějším přístupu, kdy docházelo v rámci úspor provozního personálu k „uzavírání“ a následnému chátrání stanic, se tento efekt nemohl dostavit. Tento fakt je proto nutné

zohlednit i při návrhu linkového vedení tak, aby těchto efektů mohlo být dosaženo. Důležité je to rovněž z hlediska ekonomického (náklady, příjmy z pronájmů apod.).

Zcela zvláštní kapitolu představují informační systémy, jejichž cílem má být maximální snaha o usnadnění přestupování. Problematika informací je řešena např. v článku (26), kde je představen automatický systém pro dodržování návaznosti spojů nebo vlastní náplň poskytovaných informací je pak předmětem např. příspěvku (27).

Pozitivní přínos železnice jako kmenového systému konstatuje i autor příspěvku (28), kde vypočítává veškeré aspekty zavedení systému regionálních železničních linek *S-Bahn* na trojmezí států – Německa, Švýcarska a Francie. V oblasti přestupních uzlů zde vyjma nutnosti zřízení nových zastávek v místech s odpovídající přepravní poptávkou, popř. vyjma nutnosti návazností mezi linkami různých dopravních oborů, akcentuje také délku nástupišť, výšku nástupišť, ale i možnost prověření přiblížení některých zastávek blíže přepravní poptávce (např. obytným zónám). Zahrnutí těchto aspektů je přitom velmi důležité pro kvalitu IDS jako celku a představuje správný přístup. Na závěr tohoto textu je zde v rámci zvýšení atraktivnosti železnice vzpomenut projekt podzemní trati přes centrum největšího města v oblasti (Basileje) se zastávkami na lukrativních místech z přepravního hlediska. Podobnou myšlenku tzv. „city-tunelu“ zmiňuje autor prezentace (29) i v pražských podmínkách v souvislosti s realizací průjezdného linkového vedení železničních linek. Průjezdná koncepce linkového vedení představuje kvalitní řešení pro diametrální dopravní obsluhu jak v rámci města, tak širšího regionu. Podpovrchová alternativa vedení příměstské železniční dopravy přibližuje tuto dopravu cestujícím (např. v rámci (29) navrhovaná přestupní stanice železniční linky S7 systému „Esko“ směr Beroun a linky B pražského metra na Karlově nám.) a zároveň šetří kapacitu ostatních železničních tratí. Otázkou ovšem zůstává finanční náročnost tak rozsáhlé stavby. Toto řešení bylo rovněž úspěšně realizováno ve Frankfurtu nad Mohanem a v Mnichově.

Matematickým vyjádřením lokace přestupních uzlů se zabývají autoři příspěvku (30), kteří zde stanovují závislosti polohy přestupního uzlu (vzdálenosti uzlu od městského centra), rychlostí kmenového a přípojného spoje, ztrát při přestupech a cestovních dob. Správně je voleno kritérium mezního času pro dosažení cíle spojem přímým nebo spojem s přestupem. Celková ztráta cestovního času je definována vztahem (1.1).

$$Z \leq 60 \cdot l \left(\frac{v_p - v_k}{v_k \cdot v_p} \right) - t_p \quad [\text{min}] \quad (1.1)$$

kde je: Z celková ztráta cestovního času [min],
 l vzdálenost přestupního uzlu od městského centra [km],
 v_k rychlost kmenového spoje [km/h],
 v_p rychlost přípojného spoje [km/h],
 t_p časová hodnota ztrát při přestupech [min].

Problematika řešení soustavy sítě linek a umístování zastávek na ní je dále řešena v knize (13), kde je uvedeno i matematické vyjádření. Jedná se zde o známý vztah (1.2) pro závislost vzdálenosti ekvidistantních rovnoběžných linek, průměrného následného intervalu spojů na linkách, počtu potřebných spojů a šířce obsluhované oblasti při konstantní obsaditelnosti vozidel. Úloha je známa pod označením „výběr paralelní podsítě“.

$$I = \frac{d}{mx} = \sqrt{\frac{d}{2mv}} \quad [\text{min}] \quad (1.2)$$

kde je: I průměrný následný interval spojů na lince [h],
 d šířka obsluhované oblasti [km],
 x vzdálenost mezi ekvidistantními rovnoběžnými linkami [km],
 m potřebný počet spojů pro dopravu všech cestujících z oblasti [počet spojů],
 v průměrná rychlost chůze při docházce na zastávku [km/h].

Velmi blízko k této problematice má i optimalizace délky mezizastávkových úseků. Autoři knihy (13) toto uvádějí jako vztah této vzdálenosti, průměrné délky cestování, časových ztrát při zastavení a průměrné rychlosti chůze (jízdy doplňkového dopravního systému) tak, jak je uvedeno ve vztahu (1.3).

$$x = \sqrt{2dtv} \quad [\text{km}] \quad (1.3)$$

kde je: x mezizastávková vzdálenost [km],
 d průměrná délka cesty v dané oblasti [km],
 t časová ztráta způsobená zastavením spoje [h],
 v rychlost chůze (jízdy v doplňkovém dopravním systému) [km/h].

Oba přístupy se dají zobecnit jak pro městské prostředí, tak pro oblasti v širším regionu. Komplikace ovšem nastávají při zavedení limitů docházkové vzdálenosti.

Ve venkovském prostředí se docházkové vzdálenosti pohybují v řádu kilometrů a jejich limitování je pak přirozeně nezbytné. Pokud je taková vzdálenost stanovena i v prostředí města, může se tento problém prodloužení intervalů (tedy negativního působení standardů kvality) objevit i zde.

1.4.5 Dopravní modelování

Metodami modelování systémů VHOD (především MHD) se zabývá rovněž kniha (13), kde autoři uvádějí řešení návrhu struktury linek v několika variantách. Je zde zmíněna jak Erlanderova metoda, tak metoda přidělování volnou kapacitu linkám, jejichž řešení je založeno na lineárním programování.

Autoři knihy (31) podávají velmi komplexní přehled o možnostech a metodách poptávkově orientovaného dopravního modelování. Je zde zaveden i potřebný matematický aparát. Zmíněny jsou i související činnosti, např. vyhodnocení dopravních průzkumů. Ještě větší důraz na matematickou podstatu je kladen i v obdobném sborníku (32), specializujícím se na problematiku modelování dopravy v městských a příměstských oblastech. Klasický čtyřstupňový dopravní model, vč. dalších metod využitelných při jeho tvorbě, je také zmiňován v knize (33), kde jsou navíc uvedeny i vhodné případové studie informující o výsledcích reálného využití metod dopravního modelování v podmínkách Slovenské republiky. Zároveň je zde správně podotknuto, že parametry dopravního modelu musejí být vždy kalibrovány tak, aby výsledky odpovídaly reálnému chování konkrétních uživatelů modelovaného dopravního systému, které může být specifické. Tento fakt je důležité mít na zřeteli, neboť ovlivňuje vůbec možnou míru obecnosti použitých výpočetních metod a postupů a jejich územní přenositelnost.

Bližší přehled k problematice dopravního modelování a jeho využití v disertační práci je podán v kapitole 3.3. Obdobná situace nastává i u dalších metod využitých v disertační práci. Část analyzovaných informačních zdrojů, vztahujících se k této problematice, je tak uvedena i v rámci kapitoly 3.

1.5 Analýza současného stavu realizace IDS v ČR

V současnosti v ČR existuje celkem 15 IDS, které se rozkládají na území dvanácti krajů (obr. 1.1).

Tyto IDS se jeden od druhého někdy i velmi výrazně liší. Je to determinováno různými místními podmínkami, ale zčásti tomu napomáhají právě chybějící sjednocující právní předpisy.



Obr. 1.1: IDS v ČR. Zdroj: Autor na podkladě (47), (48), (49).

Jsou zde jak monocentrické (Praha, Plzeň), tak polycentrické systémy (např. IDS Olomouckého kraje) (34), (35), (36). Monocentrické systémy jsou vhodně aplikovány v oblastech s velkými přepravními proudy cestujících v radiálních směrech do centrálních měst. Ovšem tento způsob je vhodný právě pouze pro obsluhu vlastního města a jeho příměstských oblastí v těsné blízkosti s výraznou přepravní vazbou, což je teoreticky potvrzeno i v příspěvku (37). Tímto je rozsah aplikace tohoto typu IDS výrazně limitován. Pro obsluhu větších celků je vhodný tarif zónový. Dobrou myšlenkou je i tarif IDS IREDO v Královéhradeckém kraji (38), kdy cestující hradí pevně stanovené jízdné mezi výchozí a cílovou zónou, ale za jistých předpokladů je oprávněn cestovat oklikou. Podobný princip je aplikován rovněž v systému IDOL v Libereckém kraji. Technologicky je tím tak umožněno koncentrovat přepravní poptávku do menšího počtu linek (spojů) v území.

Velmi se liší i počet integrovaných dopravců od 17 v IDS JMK (39) nebo PID (34) po pouhé 2 v IDS tábořské aglomerace (toto ovšem nemusí být nutně nevýhodou), stejně tak jako rozloha obsluhovaného území, počet integrovaných linek a integrovaných dopravních oborů. Různá je i míra integrace co do počtu druhů integrovaných jízdních dokladů, rozdíly jsou i v odbavovacím systému.

V těchto rozdílech, ale spočívá problém vytváření více či méně viditelných bariér uvnitř systému VHOD z celostátního pohledu. Zvláště markantní a obtížně řešitelné jsou problémy v oblasti technické kompatibility informačních, odbavovacích, komunikačních a dalších systémů, jejich vážnost dokládá i diskuze při semináři (40) a jeho závěry.

Liší se i vlastní přístup k integraci, kdy např. v IDS JMK vznikají zcela nové linky jako součást hierarchizované struktury IDS, zatímco např. v Integrované dopravě Plzeňska (IDP) převážně dochází pouze k integraci částí stávajících autobusových linek. Důkazem

budiž linka 210 046, která z IDP po překonání úseku bez integrace přechází do Středočeské integrované dopravy (SID) jako linka C46 (41). Na druhou stranu je to dobrý příklad spolupráce IDS navzájem a ilustrace nutnosti vzájemné kompatibility nejen technických prvků, ale například i tarifu pro vlastní možnost odbavení cestujících pro celou linku.

Rozdíly jsou i ve vlastní formě řízení, kdy některé IDS mají vlastní servisní organizaci – organizátora IDS (např. KODIS v Moravskoslezském kraji), jiné jsou řízeny přímo krajským úřadem (např. SID) a třetí skupina IDS je založena na multilaterálních dohodách mezi dopravci (např. Táborско). Vzájemně se liší i kompetence jednotlivých řídicích orgánů. Tuto problematiku lze podle (11) nebo (14) charakterizovat také jako etapy tvorby IDS (předintegrační, zakladatelská a vyspělá). Otázkou ovšem zůstává, zda-li se v některých případech jedná o vývojové etapy nebo o cílový stav.

Oblast přestupních uzlů úzce souvisí s vlastním průběhem integrace. Nové přestupní uzly jsou vytvářeny zejména v těch systémech, ve kterých vznikají zcela nové soustavy linek nebo se stávající linkové vedení upravuje. Typické je to zejm. pro IDS JMK, kde spolu se vznikem IDS vznikla i řada přestupních terminálů, situovaných zpravidla u železničních stanic (39). Na druhou stranu terminál hromadné dopravy vzniknul např. i v Havlíčkově Brodě, tedy mimo jakýkoli IDS (42), nebo dne 3. 7. 2008 byl slavnostně otevřen zcela nový terminál hromadné dopravy v Hradci Králové, vybudovaný nákladem cca 500 mil. Kč (IREDO) (43). V některých případech jsou tyto přestupní terminály, ale i jiná přestupní místa, doplňovány elektronickým informačním systémem (např. Ostrava–Svinov, Brno–Lesná nebo Český Brod). V každém případě jakákoli změna k usnadnění přestupů a návazností mezi spoji různých linek, ať již v IDS, nebo mimo ně, je jednoznačně velmi přínosná, a jak vyplývá z havlíčkobrodského příkladu, do jisté míry přirozená a žádaná.

Hlavní nevýhoda spočívá ve vztahu počtu vzájemně diferencovaných IDS a celkové rozlohy ČR (79 000 km² (44)). Přepravní vztahy totiž mnohdy překračují území těchto relativně malých IDS (a navíc ještě řada míst leží vůbec mimo integrované území), což je též závažný nedostatek.

Spolu s tím získává VHOD různé formy, kdy v každé geografické oblasti panuje odlišná situace. Ta nejenže komplikuje přehlednost veřejné dopravy jako celku, ale např. při nutnosti využívat různé elektronické čipové karty (zpravidla zvýhodňující jejich uživatele) mnohdy staví i jinak pravidelné cestující do nevýhodné pozice, a to i poměrně nedaleko za hranicemi domovského IDS. Z toho důvodu je nutné intenzivně pracovat na vzájemném provázání těchto systémů (např. vzájemné uznávání zmíněných čipových karet, návaznost spojů linek sousedních IDS atd.) tak, aby nedošlo k segmentování systému

veřejné hromadné dopravy na celostátní úrovni a k vytváření umělých „hranic“ uvnitř republiky. To by mohlo směřovat k další nepřímé podpoře IAD, která nabízí jejím uživatelům relativně stejné přepravní podmínky na území celého státu.

Naopak jako systémové řešení lze kladně hodnotit deklarovanou snahu o pokrytí území celých krajů jedním krajským IDS (např. Olomoucký, Královéhradecký, Liberecký nebo Jihomoravský kraj). Problematické ovšem zůstává, zda-li jsou geografické hranice krajů i hranicemi přepravních vazeb, což není vždy splněno. Jako příklad lze jmenovat aglomeraci Pardubice – Hradec Králové, kde je pro pokrytí těchto přepravních vazeb zatím stále zaveden systém VYDIS (45), obsluhující spádové oblasti na území dvou krajů.

Jako závažnější problém se jeví nevyužití veškerých technologických možností, které s sebou integrace přináší. Tento problém může spočívat např. v existenci souběžných spojů i při aplikaci přestupného tarifu, kdy není vytvořena hierarchizovaná struktura linek, založená na využití kapacitních, rychlých a k životnímu prostředí šetrnějších dopravních oborů, jakožto kmenových linek. Nejsou tak vytvořeny podmínky pro racionalizaci řady technologických, technických, ale i ekonomických ukazatelů, která je v době ekonomické soutěživosti a zároveň problémů spojených s udržitelnou mobilitou nevyhnutelná. Svou negativní roli zde sehrává i rozdílná míra využití informačních systémů, ale také i obecně různý stupeň využití marketingových nástrojů v jednotlivých IDS. Citlivost veřejnosti na dostatek informací dokládá zajímavý údaj ankety pořádané ROPIDem u příležitosti otevření nového úseku linky C pražského metra, kdy se 85 % respondentů vyslovilo pro zobrazování času ve vozidlech metra a pouhá 3 % byla proti (46), přičemž tuto informaci lze právem považovat pouze za doplňkovou.

V některých případech je současná konfigurace sítě linek, ale i celková koncepce IDS (tarif atd.) vůbec, nastavená především pro obsluhu centrálního města (např. PID pro obsluhu Prahy) a realizace tangenciálních spojení v regionu je zde velmi obtížná, byť tato spojení jsou v širším regionu (Středočeského kraje) nevyhnutelná (dopravní obsluha řady bývalých okresních měst). Však právě i tento fakt byl jedním z impulsů pro zavedení SID.

1.6 Závěr analýzy současného stavu

IAD se poměrně dramaticky rozvíjí a představuje tak neustále sílící konkurenci vůči VHOD. Přepravní výkon IAD stoupl mezi roky 2000 a 2008 podle odborného odhadu publikovaném v (2) o 8 440 mil. oskm na celkovou hodnotu 72 370 mil. oskm.

V této situaci existuje v ČR celkem 15 IDS (obr. 1.1) s velmi diferencovanými provozními a technologickými charakteristikami. V některých případech (např. IDP) téměř

nedošlo k návrhu nového strukturovaného linkového vedení s využitím všech technologických přínosů integrace, někde (např. PID) dochází k problémům při řešení dopravní obsluhy v tangenciálních směrech v širším regionu (nepřímo preferovány jsou radiální přepravní vztahy do centrálních sídel). Jako problém se někdy jeví informovanost cestujících a odlišné podmínky při cestách mezi více IDS. Některá místa nadále stále zůstávají bez jakékoli integrace.

Z analýzy rovněž jasně vyplývá, že integrace ve VHOD není pouze a jenom některý z často propagovaných marginálních postupů (např. aplikace čipových karet), ale že jde o komplexní a provázaný proces, který je ovlivněn celou řadou vnějších faktorů a zároveň sám mnoho věcí navenek ovlivňuje (např. od vývoje ukazatele nehodovosti po potřebný počet parkovacích míst). Lokace přestupních uzlů a linkotvorba jsou nezbytnou a velmi podstatnou částí tohoto komplexního procesu a proto je potřebné respektovat všechna zmíněná fakta a vzájemné souvislosti v co nejvyšší míře zohlednit.

1.7 Návrh vlastní klasifikace přestupních uzlů

Jak vyplývá z kapitol 1.2.1 – 1.2.3, nejrůznějších pohledů na dělení přestupních uzlů se vyskytuje mnoho, vč. těch zmiňovaných v ČSN 73 6425-2 (8). Pro potřeby dalšího systémového řešení úkolu je autorem disertační práce navržena vlastní klasifikace přestupních uzlů hierarchizující přestupní uzly v kontextu IDS. Klasifikace je zavedena bez ohledu na obecný význam použitých českých pojmů. Dělení uzlů podle městské hromadné, regionální a nadregionální dopravy uvedené v (8) se z tohoto úhlu pohledu jeví jako příliš obecné.

Formulace **přestupní uzel** je ponechána jako nadřazený pojem pro všechny ostatní dále uvedené typy přestupních uzlů tak, že přestupním uzlem se rozumí jakékoli místo, kde lze realizovat přestup. Uvedené bližší specifikace jednotlivých typů přestupních uzlů zároveň vytvářejí předpoklady pro další řešení v oblasti uvažovaného rozsahu infrastrukturálního vybavení a služeb poskytovaných v těchto uzlech.

Přestupní terminál – uzel s větším počtem zaústěných linek nebo dopravních oborů; zastávky (nástupiště) jsou zde rozděleny podle jednotlivých směrů nebo linek (skupin linek). K dispozici jsou i komplexní doplňkové služby pro cestující (např. informační kancelář, předprodej jízdenek, čekárna, prodejna tisku atd.). Příkladem může být většina autobusových nádraží.

Přestupní místo – místo styku dvou nebo více linek IDS, popř. oborů dopravy, tvořené více zastávkami, rozdělenými podle směru nebo oboru dopravy. K dispozici zde jsou

pouze standardní služby a vybavení (např. výdejna vnitrostátních železničních jízdenek, jízdenkový automat). Jako příklad je možné uvažovat malé železniční nádraží s přílehlou autobusovou zastávkou, popř. větší důležitou zastávku MHD.

Přestupní bod – místo styku dvou nebo více linek jednoho oboru dopravy pouze se základním vybavením (přístřešek, označnick, atd.). Typickým příkladem je zastávka MHD s více linkami.

Podvojný přestupní uzel – je užitečné zavést ještě tuto zvláštní kategorii, kde se jedná o dvojici separátně umístěných přestupních uzlů (libovolného typu z výše uvedených), popř. i samostatných zastávek, které ale k sobě pojí určitá silná přepravní vazba spojená s nutností překonat (např. chůzí, MHD) tuto vzdálenost mezi oběma uzly. Ze širšího síťového hlediska je vhodné na tento přestupní uzel nahlížet jako na jediný. Nezbytné je to zejména v kontextu větších územních celků. Je zde nutná zvláštní pozornost, neboť překonávání této vzdálenosti může negativně ovlivnit úroveň kvality dopravy.

S výhodou lze tímto způsobem popsat již dříve zmíněný příklad vzájemně vzdáleného autobusového a železničního nádraží v jednom městě.

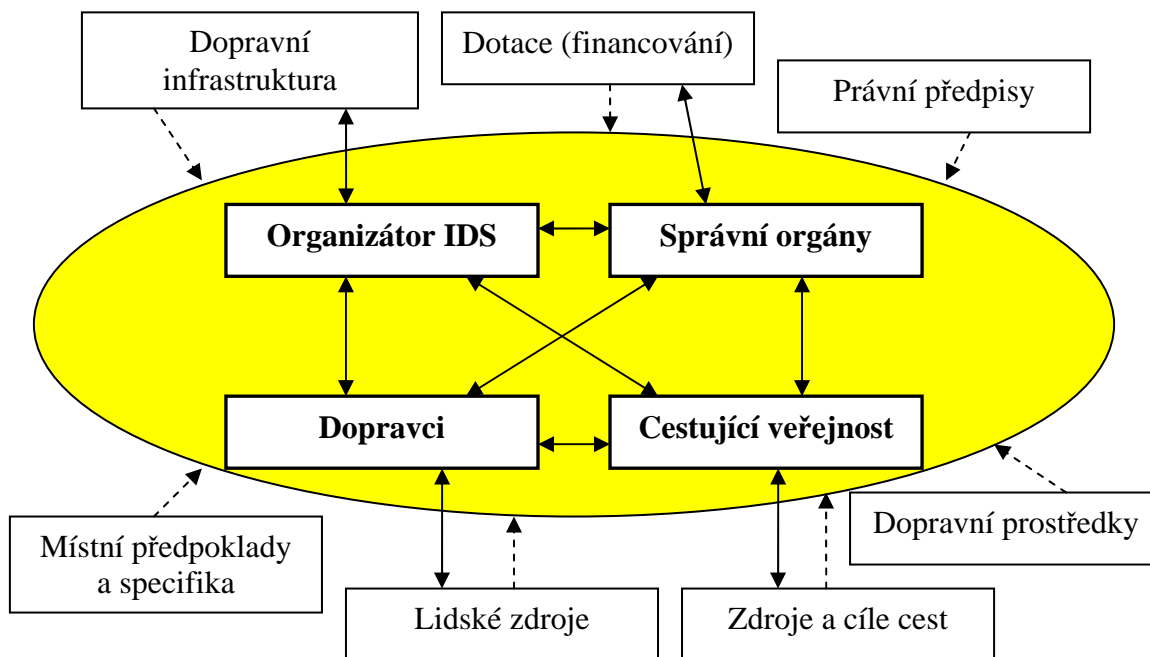
Navrženou klasifikaci je ovšem nutné (a vhodné) chápat volně v závislosti na úhlu pohledu. Např. přestupní terminál v mikroskopickém měřítku MHD vybraného města se může stát přestupním bodem v makroskopickém pohledu na území celého kraje atd.

2 CÍL ŘEŠENÉHO VĚDECKÉHO ÚKOLU

Před vyslovením vlastního cíle řešeného vědeckého úkolu a jeho konkretizací je potřebné vymezit systém, ve kterém je úkol řešen. Stejně tak je nutné stanovit předpoklady pro toto řešení a v neposlední řadě i omezující nebo dokonce ohrožující podmínky řešení, resp. jeho aplikace v praxi.

2.1 Vymezení řešeného systému a jeho vazeb

V předkládané disertační práci musejí být zohledněny vztahy mezi jednotlivými prvky IDS. Bližší pohled je schematicky na obr. 2.1, kde prvky v žlutém poli jsou považovány za aktivní hráče a na prvky mimo je nahlíženo jako na soubor omezujících podmínek.



Obr. 2.1: Vazby v IDS. Zdroj: Autor.

Problematika lokace přestupních uzlů, popř. linkotvorby tomuto schématu odpovídá, neboť hlavní role v této oblasti připadá organizátorovi IDS, ten je ale podřízen pokynům správních orgánů. Nutná jsou i jednání s integrovanými dopravci a respekt k poptávce cestující veřejnosti. Na druhou stranu např. cestující veřejnost může vznášet připomínky a tyto uplatňovat u organizátora, ale také třeba v tomto směru vyvíjet tlak i na správní orgány. Prvky mimo žluté pole lze také částečně ovlivňovat, ovšem jejich změny jsou výrazně limitovány. Změny lze provést pouze nepatrné co do rozsahu nebo je lze provádět pouze na některých místech (např. modernizace přestupního uzlu vzhledem k téměř neměnné dopravní síti), proto jsou tyto prvky zařazeny mezi omezující podmínky pro řešený problém.

2.2 Vlastní cíl řešeného vědeckého úkolu

Vlastním cílem disertační práce je **systémové řešení lokace přestupních uzlů IDS v návaznosti na tvorbu linek**. Prostředkem dosažení cíle je vytvoření modifikovaného přístupu k umístování přestupních uzlů a k linkotvorbě opírající se o exaktní metody, ale díky využití dopravního modelování (specializovaného softwarového nástroje) také reagující na reálné podmínky v řešeném území, které bývají mnohdy velmi specifické. Snahou je tak přemostit rozdíl výsledků exaktních výpočtů a reálně přípustnými možnostmi. Zároveň je sledován systematický a celkově sjednocující přístup k zajištění vyvážené dopravní obsluhy a její racionalizace s co možná nejvyšší mírou využití technologických aspektů integrace VHOD.

2.3 Konkretizace postupu řešení vědeckého úkolu

Úpravy postupu návrhu linkového vedení (sítě) IDS je dosaženo s ohledem na tvorbu racionálně hierarchizované sítě linek IDS, umožňující kvalitní dopravní obsluhu s dostatečnou frekvencí (četností) spojů jak v radiálních směrech do/z centrálního sídla, tak mezi sídly v regionu navzájem (plošná dopravní obsluha).

Sledováno je racionální využití kapacitních a k životnímu prostředí šetrnějších oborů dopravy jako kmenových linek, pokud to jejich technické a provozní charakteristiky umožňují.

Před počátkem řešení jsou stanoveny základní důležité předpoklady řešení jako např. požadavky na jednotlivé typy přestupních uzlů, ale také požadavky na provoz jako takový tak, aby mohly být stanoveny podmínky přípustnosti, popř. nalezeny parametry účelových funkcí.

Řešení je určeno pro jakékoli území obsluhované linkami IDS, vč. problematiky zaústění regionálních linek na území městských sídel a jejich provázání s MHD.

Postup je zahájen analýzou přepravních proudů cestujících v území, které jsou přiřazeny na dopravní síť s tím, že nikoli na linky, ale přímo na jednotlivé úseky dopravní sítě. Základní parametry (např. rychlost, jízdní doby) jsou zachovány, ale naopak zachovány nejsou frekvence jednotlivých spojů. Je to dáno tím, že tato fáze slouží pouze ke stanovení dopravních potřeb uživatelů této dopravy (obyvatel řešeného území) bez ohledu na zamýšlený rozsah této dopravní obsluhy.

Návrh linek je uvažován jako víceúrovňový tak, aby byla vytvořena hierarchizovaná struktura jednotlivých linek. Jako první je řešena úroveň kmenových linek (většinou

drážních), kdy jsou takto pokryty především radiální přepravní vazby v okolí centrálních sídel. Vhodná forma této struktury je polycentrická, aby bylo usnadněno řešení i jiných vazeb v území, než jen dojížděky do centrálního sídla.

V dalším kroku je podle určitých kriterií (např. požadavky ITJŘ) vybrána množina přestupních uzlů na kmenových linkách, kde budou navázány linky doplňkové. Výběr množiny je podmíněn splněním stanovených kriterií. Následně je vypracováno několik variant, které jsou vyhodnoceny pomocí modelovacího softwarového nástroje. Přestup je zde realizován mezi kmenovou linkou a fiktivní doplňkovou sítí, vzešlé z původní dopravní sítě bez linek pro určení přepravní poptávky.

Takto získaná dopravní síť je nyní dekomponována na podsítě podle jednotlivých přestupních směrů (kmenových linek). Zároveň jsou v modelech těchto podsítí zřízeny fiktivní hraniční okrsky, které představují možné propojení do dalších částí dopravní sítě náležejících do atrakčních obvodů jiných kmenových směrů tak, aby mohly být studovány a řešeny i propojené tangenciální vazby v území a byl tak zachován polycentrický charakter výsledného řešení.

Cíle je tedy dosaženo zavedením konečného omezeného počtu přestupních uzlů tak, aby byla vytvořena taková kompozice linek, která umožní cesty mezi libovolnými místy v regionu za přijatelných podmínek pro cestující veřejnost (vyjádřených např. splněním stanovených standardů kvality) (50).

V modifikovaném postupu tvorby linkového vedení je možné spatřovat paralelu s obdobným problémem tvorby nákladních vlaků s tím, že zde je výchozím bodem úplná úseková varianta linkotvorby (51) a jednotlivé úsekové linky jsou následně spojovány. Cesta dopravního modelování umožňuje zohlednit různorodost výchozích podmínek, daných geografii prostoru, typem a hustotou osídlení atd.

Jako počítačová podpora řešení je využit software pro tvorbu makroskopických dopravních modelů OmniTRANS (52), obecně je ale možné provádět tento postup v jakémkoli makroskopickém softwarovém nástroji disponujícím potřebnými funkcemi (např. produkty ze skupiny PTV).

Jedním z výstupů je vytvořený ideový návrh algoritmu pro sestavení linkového vedení, který je ověřen na základě kombinace existujících funkcí a podprogramů softwarového prostředí OmniTRANS s obsluhou operátora. Vlastní programování algoritmu není možné racionálně realizovat vzhledem k omezenému přístupu do zdrojového kódu programu (a do tzv. OtClasses programovacího jazyka OJL), bez jehož využití není v podstatě možné

takový komplexní algoritmus racionálně uživatelsky naprogramovat (53) v potřebném rozsahu a na odpovídající úrovni uživatelského komfortu.

2.4 Omezující a ohrožující podmínky řešení

Kromě omezujících podmínek daných věcnou podstatou řešeného úkolu (např. dostupnost softwaru a rozsah jeho funkcí) je potřebné zmínit především problematiku vstupních údajů.

Navržený postup je založen na analýze přepravních dat, resp. přepravní poptávky a dopravní nabídky, kdy řada podkladů je zjištělná pouze cestou časově, organizačně a především finančně náročných dopravních průzkumů. Na druhou stranu, existují-li již taková data, mnohdy nastává problém s jejich dostupností. To stejné lze prohlásit i o některých potřebných výkonových ukazatelích (např. počet přepravených cestujících na jednotlivých linkách), kdy si jednotliví dopravci tato data pečlivě střeží v rámci svého obchodního tajemství. Proto je při případném praktickém využití tohoto postupu potřebné dbát o to, aby tyto vstupy byly zajištěny, popř. aby jejich poskytnutí bylo smluvně (eventuelně právně) ošetřeno. Zároveň je na tomto místě třeba konstatovat, že přesnost výsledků je přirozeně závislá na přesnosti a podrobnosti vstupů.

Další ohrožující podmínkou pro případnou aplikaci tohoto postupu je nutné využití počítačového softwarového nástroje pro makroskopické dopravní modelování se všemi potřebnými funkcemi. Analytický výpočet provedený manuálně je možný, nicméně díky jeho rozsahu lze o něm uvažovat víceméně pouze v teoretické rovině.

2.5 Hypotéza

Jako hypotézu disertační práce lze stanovit tvrzení, že je možné provést lokaci přestupních uzlů IDS (stanovení linkového vedení) s vyžitím dopravních modelů s počítačovou podporou bez vstupní množiny linek. Současně je sledováno snížení výpočetní náročnosti modelu díky jeho dekompozici na části, byť se suboptimálním výsledkem.

3 ZVOLENÉ METODY ZKOUMÁNÍ

Lokaci přestupních uzlů, resp. linkotvorbu je nutno řešit společně jako jedno téma. Ve všeobecnosti lze zařadit tuto problematiku do kategorie optimalizačních úloh na dopravní síti. Metody, které jsou využity v disertační práci, lze rozdělit do třech oblastí, a to na logistické technologie, metody operačního výzkumu a dopravní modelování.

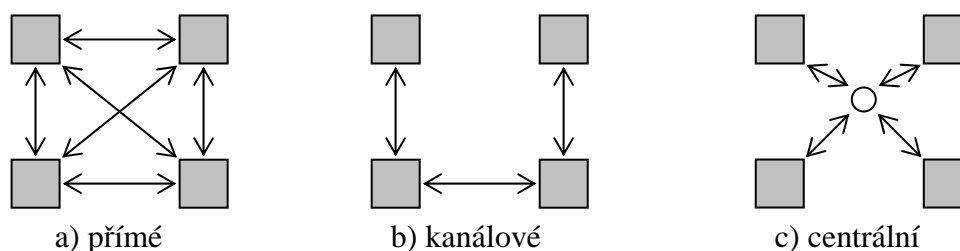
3.1 Logistické technologie

Zde se nejedná o výzkumné metody v pravém slova smyslu, neboť logistika se sama o sobě opírá o metody jiných vědních disciplin (např. matematiky). Nicméně je vhodné tuto oblast zmínit samostatně vzhledem k tomu, že jde o specifický, komplexní a systematický přístup k řešení daných problémů. Uplatnění logistických principů v osobní dopravě představuje mocný nástroj pro zlepšení kvality dopravní obsluhy a proto si právem zaslouží zvláštní pozornost. Je zde možné nacházet paralely mezi nákladní a osobní dopravou a tyto postupy přiměřeně využít především v oblasti přístupu k řešení.

3.1.1 Hub and Spoke

Pro řešení plošné dopravní obsluhy regionu VHOD (ve formě IDS) lze najít podobnost v logistické technologii Hub and Spoke (54) hojně využívané v nákladní dopravě. V logistické praxi se jedná o systém konsolidace elementů, které jsou pak přepravovány dopravními prostředky s potřebnou (velkou) ložnou kapacitou mezi jednotlivými regionálními logistickými centry, ze kterých jsou obsluhováni koncoví uživatelé. Je tak omezena souběžná přeprava elementů dopravními prostředky s malou kapacitou na velké vzdálenosti. Paralela s IDS veřejné hromadné dopravy osob je spatřována v podobě struktury kmenových a doplňkových linek, spojujících konečný počet přestupních uzlů.

Z hlediska specifík osobní dopravy se jako užitečná jeví kombinace kanálového uspořádání (obr. 3.1b) pro kmenové linky a centrálního uspořádání (obr. 3.1c) přestupních uzlů pro linky doplňkové s jejich případným vzájemným propojením.



Obr. 3.1: Možná uspořádání center logistické technologie Hub and Spoke. Zdroj: (54).

Přímé uspořádání přestupních uzlů (obr. 3.1a) je v některých případech (např. při malém počtu přestupních uzlů v síti) výhodné z hlediska optimalizace celkového počtu přestupů v IDS, popř. z hlediska vzdálenostní optimalizace, ale lze jej aplikovat jen ve specifických dopravních sítích IDS. Přímé uspořádání vyžaduje zavedení $\frac{n(n-1)}{2}$ linek tak, aby tato síť vytvořila úplný graf (n je počet vrcholů grafu – přestupních uzlů). To ale při podmínce zachování konstantního rozsahu dopravního výkonu nutně povede na prodlužování následných intervalů na takto zavedeném počtu linek. Jejich relativně velký počet rovněž může působit na cestující veřejnost nepřehledným dojmem. V některých rozlehlejších územích navíc není příliš účelné z hlediska celkové délky všech linek spojovat každé dva přestupní uzly navzájem.

Naopak uspořádání centrální (obr. 3.1c) je rovněž v některých případech možné, avšak díky chybějícím tangenciálním linkám může docházet k neúměrnému prodlužování cestovních dob a ujetých vzdáleností pro cestující mezi místy na okrajích obsluhovaných oblastí díky nutnosti cestovat do centrálního přestupního uzlu. Je přirozené, že spolu s rostoucí velikostí obsluhované oblasti budou i tyto ztráty narůstat. To lze ilustrovat na zjednodušeném příkladě dvou kmenových linek obsluhující místa A a B v území přes centrální přestupní uzel U , kde trasy těchto linek svírají pravý úhel, a jedné přímé linky tangenciální AB . Její délku pak lze vyjádřit vztahem (3.1) odvozeným pomocí Pythagorovy věty.

$$L_{AB} = \sqrt{L_{AU}^2 + L_{UB}^2} \quad [\text{km}] \quad (3.1)$$

kde je: L_{AB} délka přímé tangenciální linky [km],

L_{AU} délka kmenové linky z nástupního místa A do přestupního uzlu U [km],

L_{UB} délka kmenové linky z přestupního uzlu U do výstupního místa B [km].

Za předpokladu, že se vzdálenosti L_{AU} a L_{UB} rovnají, cesta přes centrální přestupní uzel je delší o 41,4 %. Toto zjednodušení je možné s jistou mírou abstrakce připustit, neboť tangenciální linky jsou v ideálním případě navrhovány v celé své délce v určité vzdálenosti od pomyslného středu IDS při monocentrickém uspořádání, popř. centra jisté oblasti při polycentrickém uspořádání IDS. Jelikož lze předpokládat, že cestující mají určité limity, co se týká vzdálenosti, kterou jsou ochotni cestovat navíc, je tak možné získat následující vztah (3.2) pro mezní hodnotu, kdy je potřebné centrální uspořádání opustit a zavést uspořádání jiné.

$$L_{AU}^{mez} = \sqrt{\frac{2L_o^2}{1,9994}} \quad [\text{km}] \quad (3.2)$$

kde je: L_{AU}^{mez} mezní vzdálenost pro zavedení tangenciální linky [km],

L_o vzdálenost, kterou jsou cestující ochotni akceptovat navíc bez pocitu poklesu kvality spojení [km].

Toto ovšem samo pro sebe nestačí, neboť záleží i na rozložení přepravní poptávky podél kmenových linek, respektive na velikosti přepravního proudu. Důležitá oblast je taková, pro které cestující je výhodnější (kratší) využít tangenciální linku. Snadno lze matematicky odvodit, že to jsou všichni cestující, jejichž nástupní (výstupní) zastávka leží ve vzdálenosti

alespoň $\frac{\sqrt{2L_{AU}^2}}{2}$ od centrálního přestupního uzlu U na kmenové lince. Nyní je nutné stanovit

velikost přepravního proudu cestujících pro tangenciální linku a rozhodnout, zda-li tato bude zavedena či nikoli. Pro úspěšnou realizaci tangenciální linky musí být splněna podmínka (3.3), aby velikost přepravního proudu připadající na jeden spoj byla větší nebo rovná obsaditelnosti nasazeného vozidla snižené pomocí koeficientu minimálního vytížení vozidla.

$$\frac{NT_{AB}}{n_{AB}} \geq k \cdot K_v \quad [\text{počet cestujících}/\text{čas}] \quad (3.3)$$

kde je: NT_{AB} velikost přepravního proudu cestujících procházejícího mezi místy A a B v území za výpočetní období [počet cestuj./čas],

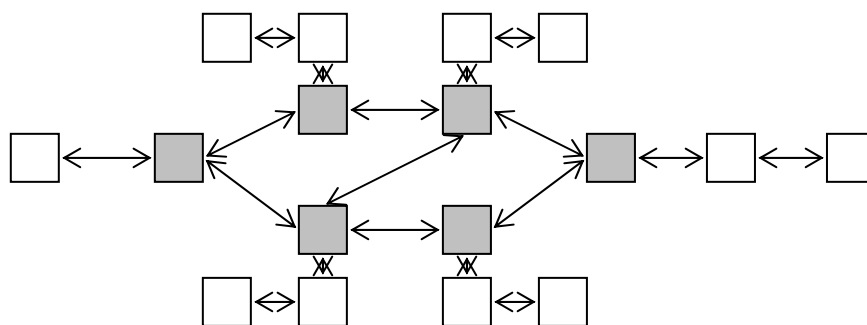
n_{AB} počet spojů na tangenciální lince AB [počet spojů],

k koeficient požadované minimálního vytížení vozidla [-],

K_v obsaditelnost vozidla nasazeného na tangenciální linku AB [počet cestujících].

Uvedený příklad i přes celou řadu zjednodušení může zahrnovat cenné odpovědi pro výběr linek. Příklad má makroskopické pojetí, nicméně po vyjádření počtu cestujících na jednotlivé spoje, podstata zůstává stejná i v prostředí mikroskopickém a může tak výpočet posloužit např. pro tvorbu posilových linek (kdy je tangenciální linka v provozu pouze ve špičkách jako doplněk základní sítě linek kmenových apod.).

Jako vhodné řešení je tedy navrženo uspořádání quasi-kanálové (obr. 3.2), které některé relace linky přímého uspořádání slučuje do kanálů.



Obr. 3.2: Příklad sítě kmenových linek v quasi-kanálovém uspořádání. Zdroj: Autor.

K sestavení quasi-kanálové sítě kmenových linek je vhodné použít některou z metod založenou na výběru linek ze vstupní množiny linek. Detailnější charakteristiku těchto metod podává např. kniha (13). Jedná se především o metody založené na různých přístupech k výběru linek, kdy je možno pracovat pouze s linkami, následnými intervaly na těchto linkách (počty vozidel) nebo přepravní kapacitou linek (poměrnou rezervou této kapacity). Na posledně jmenovaném principu je založena i metoda PRIVOL (podle slovenského názvu „pridelovanie vozidiel linkám“) (13).

Tento postup lze vyjádřit jako úlohu lineárního programování. Účelovou funkcí (3.4) je poměrná rezerva míst ve vozidle, která je maximalizována. Podmínka (3.5) pak zajišťuje, že na každém úseku sítě budou přepraveni všichni cestující, kteří přepravu daným úsekem požadují, resp. bude nabídnut příslušný počet míst zvýšený o maximalizovanou poměrnou rezervu y . Překročení disponibilního počtu vozidel pak zabraňuje podmínka (3.6). Existují i další modifikace této úlohy, např. pro různé typy vozidel nebo pro (ne)možnost přejezdu vozidel mezi linkami.

$$\max \quad z = y \quad (3.4)$$

za podmínek:

$$\sum_{L: h \in L} x_L \geq f(h)y \quad (3.5)$$

$$\sum_{L \in L_0} \frac{x_L o_L}{60k} \leq n \quad (3.6)$$

kde je: z účelová funkce,

y poměrná rezerva obsaditelnosti [-],

x_L počet míst přidělených na linku L [míst/čas],

$f(h)$ počet cestujících požadujících přepravu po úseku h v přepravně silnějším směru [počet cestujících/čas],

o_L minimální možná doba oběhu vozidla na lince [min],

- k obsaditelnost vozidla [míst],
- n celkový disponibilní počet vozidel [počet vozidel],
- L_0 vstupní množina linek ze kterých je vybírána podmnožina linek k realizaci,
- L podmnožina úseků dopravní sítě, kterými projíždí zvolená linka.

Z dopravně-technologického hlediska má metoda dvě nevýhody, byť jejich příčiny objektivně spočívají ve snaze snížit výpočetní náročnost úlohy. Metoda jednak pracuje se zadaným počtem vozidel i za cenu neadekvátních změn kapacitní rezervy, ale také kapacitní rezerva je přidělována posuzovaným linkám poměrově. V některých případech je ale z kvalitativního hlediska vhodné tuto dodatečnou kapacitu realokovat s cílem dosáhnout rozšíření dopravní nabídky na zatížených linkách pro zkrácení celkové doby strávené všemi cestujícími v systému, je-li zkráceno i jejich čekání na následující spoj. Manuální korekce výsledků ze strany dopravního technologa je tak nezbytná.

Takto je možno z výchozího řešení daného přímým uspořádáním vytvořit quasi-kanálovou strukturu kmenových linek, jakožto základ dopravní sítě polycentrického IDS. Ovšem místo manuální korekce dopravním technologem se předpokládá vyhodnocení a úprava navrženého řešení dopravním modelem.

3.1.2 City logistika

Paralelu k propojení regionálních linek s linkami MHD lze spatřit v problematice city logistiky, konkrétně v logistické technologii Gateway (55), kdy jsou na okrajích města zřizovány tzv. brány, kde je ukončen regionální dopravní systém a dopravní obsluha vlastního města řešena samostatným dopravním systémem. Zde se nabízí propojení linek příměstské dopravy s linkami MHD v přestupních terminálech.

V pohledu osobní dopravy je ale nutné aplikovat tuto technologii jako dvou- nebo víceúrovňovou (mimo to obsluhu i centrálních autobusových nádraží), aby byly obslouženy i tranzitní dopravní vztahy do regionálních oblastí na opačné straně města bez nutnosti dalších přestupů a s nimi spojených dalších časových prodlev, popř. aby bylo podobně zajištěno propojení s jinými dopravními systémy, např. s dálkovou železniční dopravou.

Matematicky lze tento fakt vyjádřit pomocí stanovení celkových časových ztrát cestujících, které mají být minimalizovány.

Vzhledem ke specifikům městského a příměstského prostředí je vhodné dopravní sítě MHD a příměstských linek IDS navrhovat samostatně s tím, že budou předně stanovena místa

vzájemného styku těchto systémů a rozhodnuto jakým způsobem budou regionální linky do intravilánu města zaústěny. Jsou zde tři možnosti zaústění příměstských linek:

- a) příměstská linka pokračuje do středu města jako linka MHD,
- b) příměstská linka zastavuje v přestupním terminálu na okraji města a dále pak bez zastávek pokračuje do centra města (na centrální autobusové nádraží),
- c) příměstská linka je v přestupním terminálu ukončena.

Samozřejmě zde není zmíněn případ příměstských doplňkových linek, které jsou již v regionálních oblastech napojeny na linku kmenovou, neboť tyto linky zpravidla na území měst nevstupují a nevstupují tedy do interakce se systémem MHD.

Obecně nelze vybrat pouze jednu ze zmíněných variant. V každém individuálním případě je nutno rozhodnout podle předem stanovených kritérií a podmínek (např. využití nabízené obsaditelnosti spojů) a podle výsledků analýzy přepravních proudů.

K nalezení řešení bylo pro tuto práci nutné matematicky vyjádřit (3.7) celkovou dobu, kterou všichni cestující stráví při dopravě v systému IDS.

$$T_j^{celk} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{L_{1i}}{V_{chi}} + \frac{I_{1i}}{2} + t_{1i}^{jízdy} \right) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=0}^{m_i} \left(\frac{I_{2ji}}{2} + t_{2ji}^{jízdy} \right) + \sum_{i=1}^n \frac{L_{2i}}{V_{chi}} \quad [\text{h}], \quad (3.7)$$

kde je: T_j^{celk} celková cestovní doba všech cestujících v IDS [h],

L_{1i} docházková vzdálenost i -tého cestujícího k zastávce [km],

V_{chi} rychlost chůze (popř. jízdy) i -tého cestujícího [km/h],

I_{1i} průměrný interval prvního spoje, který i -tý cestující použije [h],

$t_{1i}^{jízdy}$ doba jízdy i -tého cestujícího v jeho prvním spoji [h],

I_{2ji} průměrný interval j -tého návazného spoje na cestě i -tého cestujícího [h],

$t_{2ji}^{jízdy}$ doba jízdy i -tého cestujícího v jeho j -tém návazném spoji [h],

L_{2i} docházková vzdálenost i -tého cestujícího od výstupní zastávky do cíle jeho cesty [km].

Funkce (3.7) je tak účelovou funkcí, resp. kritériem, jehož minimalizace vede k řešení zaústění příměstských linek na území města. Vlastní vyhodnocení je provedeno na platformě dopravního modelu. Matice přepravních vztahů v modelu zůstává konstantní, mění se pouze linkové vedení, tj. matice dopravní náročnosti a znovu se provádí přiřazení přepravních proudů na úseky dopravní sítě. Každá varianta linkového vedení tak představuje jeden modelový scénář. Hodnota účelové funkce je pro každý scénář zjištěna z těchto údajů pomocí vztahu (3.8). Vhodná varianta je ta, která má hodnotu této účelové funkce nejmenší.

$$T_{ju}^{celk} = \sum_i \sum_j (D_{ij}^t \cdot t_{ij}^{jízdy u}) \quad [\text{h}] \quad (3.8)$$

kde je: T_{ju}^{celk} celková cestovní doba všech cestujících v IDS při konfiguraci linek u [h],

D_{ij}^t přepravní vztah mezi okrsky i a j [počet cestujících/čas],

$t_{ij}^{jízdy u}$ celková doba jízdy mezi okrsky i a j při konfiguraci linek u [h].

Exaktní řešení pro jedno město představuje prověření 3^k variant, kde k je počet zaústěných příměstských linek do města. Matematicky lze toto interpretovat jako variaci k -té třídy ze tří prvků (při třech možných způsobech zaústění příměstských linek na území města).

Při současném řešení více měst v rámci IDS, což je nutný předpoklad nalezení optimálního řešení, lze počet variant vyjádřit vztahem (3.9).

$$PV_g = \prod_{i=1}^m 3^{k_i} \quad [\text{variant}] \quad (3.9)$$

kde je: PV_g počet variant při současném řešení [variant],

i index pro řešená města,

m počet takto řešených měst – nejvyšší pořadové číslo města i [měst].

Výpočetní náročnost nalezení optimálního řešení (postupem s úplným prohledáváním variant) stoupá spolu s rozsahem řešené dopravní sítě, resp. s rostoucím počtem současně řešených měst a linek do nich zaústěných.

V těch případech, kdy výpočetní náročnost stoupá nad přijatelnou mez, je zde možnost dekompozice řešené dopravní sítě (řešeného území) na části. Výsledkem tohoto postupu je přirozeně pouze suboptimální řešení, nicméně je výrazně redukován počet možných variant. Jsou-li jednotlivá města řešena samostatně, celkový počet prověřovaných variant vyplývá ze vztahu (3.10).

$$PV_{gm} = \sum_{i=1}^m 3^{k_i} \quad [\text{variant}] \quad (3.10)$$

kde je: PV_{gm} počet variant při odděleném řešení jednotlivých měst [variant],

i index pro řešená města,

m počet takto řešených měst – nejvyšší pořadové číslo města i [měst].

Pokud je i přesto počet variant stále vysoký, je možné dopravní síť dekomponovat až na úroveň jednotlivých příměstských linek a každou z nich posoudit individuálně za jinak stejných podmínek. Potom je počet variant dán vztahem (3.11).

$$PV_{gl} = \sum_{i=1}^m k_i \quad [\text{variant}] \quad (3.11)$$

kde je: PV_{gl} počet variant při odděleném řešení jednotlivých linek [variant],

i index pro řešená města,

m počet takto řešených měst – nejvyšší pořadové číslo města i [měst].

Tabulka 3.1 ilustruje problém s narůstající výpočetní náročností metody při růstu počtu zaústěných linek, resp. počtu současně řešených měst.

Tab. 3.1: Řešení zapojení příměstských linek na území města – počty variant při různých způsobech řešení

Počet příměstských linek zaústěných do města			Počet variant při způsobu řešení		
Město A	Město B	Město C	PV_g	PV_{gm}	PV_{gl}
10	-	-	59 049	59 049	30
1	1	-	9	6	6
10	10	-	$3,49 \cdot 10^9$	118 098	60
20	20	-	$1,22 \cdot 10^{19}$	$6,97 \cdot 10^9$	120
1	1	1	27	9	9
10	10	10	$2,06 \cdot 10^{14}$	177 147	90
20	20	20	$4,24 \cdot 10^{28}$	$1,05 \cdot 10^{10}$	180

Zdroj: Autor

Pro větší celky je tak přechod k heuristickému postupu individuálního řešení jednotlivých příměstských linek poskytujícímu suboptimální řešení nezbytný, neboť ke každé sestavené variantě je ještě nutno provést změnu dopravní sítě v modelu a vypočítat přiřazení dopravních proudů cestujících do sítě.

Větší část cestujících z celkového přepravního proudu má zpravidla cíl své cesty v řešeném spádovém centru (popř. zde přestupuje na dálkové spoje, což je ale z hlediska řešení zaústění příměstských linek totožné – jejich dílčím cílem je např. železniční stanice). Lze tedy předpokládat, že zanedbání vzájemné interakce různých příměstských linek (varianta řešení každé linky samostatně) nezpůsobí velkou odchylku od optimálního řešení vzhledem ke všem cestujícím. Odchylka vznikající zanedbáním prošetření vlivu spolupůsobení variant vedení linek ve více městech je přípustná vzhledem k tomu, že tyto vazby jsou řešeny především pomocí kmenových linek. U kmenových linek se zastavování na nácestných zastávkách MHD ve městech, resp. jejich ukončování v přestupních terminálech na okrajích,

nepředpokládá. Výjimkou jsou ale velmi velká města, kde lze přestupem na zpravidla drážní subsystém MHD (metro, tramvajová linka vedená po segregovaných tratích, příměstská a městská železniční doprava systému „Esko“) i v tomto případě dosáhnout značných časových úspor díky odstranění negativního vlivu kongescí na VHOD na síti pozemních komunikací ve městě. Pro tyto případy platí podobný postup jako pro příměstské linky.

3.2 Metody operačního výzkumu

Pro řešení tématu disertační práce se využívá metod teorie grafů a lineární matematické programování.

Z oblasti teorie grafů se konkrétně jedná zejména o využití metod pro hledání nejkratších cest na grafech, konkrétně o Dijkstrův algoritmus. Realizace je v disertační práci řešena v rámci softwarového nástroje OmniTRANS (52). Rovněž se softwarovou podporou je řešen i problém výpočtu distančních matic. Oba tyto výpočty představují důležitou základnu pro prakticky jakoukoli práci se softwarem OmniTRANS, resp. se čtyřstupňovým dopravním modelem.

Lineární programování je metoda pro řešení kvantitativních rozhodovacích úloh, jejichž účelová funkce, rovnice a nerovnice podmínek jsou lineární. Typickou metodou pro řešení úloh lineárního programování je simplexová metoda. Nevýhodou je, že s rostoucím rozsahem řešení rychle roste i náročnost tohoto výpočtu. Exaktní výpočet je tak často nahrazován výpočty heuristickými (např. metodami větví a hranic nebo iterativními výpočty) poskytujícími suboptimální řešení, ovšem často velmi blízké optimu. Pro řešení těchto úloh existují i specializované softwarové produkty, tzv. IP-solvery. Při řešení disertační práce její autor využívá program MS Excel, resp. jeho doplněk Řešitel, pracující na bázi iteračního algoritmu.

Nelineární programování není příliš rozšířené pro svou náročnost, navíc i při použití nelineárního programování lze dosáhnout zpravidla pouze přibližných výsledků (56).

Vzhledem k tomu, že v případě operačního výzkumu se jedná o obecně známé a publikované metody a rozsah disertační práce je limitován, vysvětlení jejich bližší podstaty není v disertační práci uvedeno. Jejich odvození je možné nalézt např. v publikacích (57), (56). Případně některé důležité aspekty z hlediska jejich využití v disertační práci jsou uvedeny přímo v rámci řešení v kap. 4 a 5.

3.3 Dopravní modelování

Navržené řešení se opírá především o metody dopravního modelování s odpovídající softwarovou podporou. Obdobně jako logistika, i modelování je v obecném pojetí založeno na matematických metodách.

3.3.1 Dopravní model a jeho definice

Model je definován podle (31) jako zjednodušené zobrazení části reálného světa (zkoumaného systému), ve kterém jsou zachovány pouze určité elementy důležité pro analýzu z daného úhlu pohledu. V případě této práce se jedná o model dopravní sítě VHOD (IDS).

Definovat účel modelování je ovšem složitější, neboť může být velmi různorodý. Z hlediska řešení navrženého v této práci se jedná o přenos odpovídající části reálného systému do (laboratorních) podmínek vhodných k provádění experimentů. Cílem tedy je ověření možných dopadů navrhovaných opatření a změn předem při snaze o prevenci možných škod vzniklých při přijetí nevhodného opatření. Model však nemusí být využit pouze k samotnému finálnímu hodnocení navržených opatření, ale výsledky těchto posouzení mohou být využity i pro korekci vlastních návrhů ve formě iteračního postupu.

3.3.2 Druhy dopravních modelů, jejich využití a softwarová podpora

V dopravě existuje celé spektrum problémů a úkolů, při jejichž řešení je možné aplikovat modelování. Od řešeného úkolu závisí i použitý typ modelu, zvolené matematické metody, zvolený softwarový produkt a případně i hardwarové požadavky.

Pro řešení problematiku umístování přestupních uzlů a linkotvorby jsou vhodné makroskopické modely, založené na analýze přepravních proudů cestujících. Softwarovou podporu představuje řada produktů jako např. OmniTRANS, PTV Vision, EMME a další.

Modely mikroskopické (které zohledňují charakteristicky jednotlivých dopravních kompletů, příp. elementů) lze v IDS uplatnit např. při modelování průjezdu dopravních prostředků IDS na křižovatkách a podobných úkolech zaměřených zpravidla na určitý omezený prostor.

Samostatně je třeba zmínit simulační modely, neboť ty jsou určeny pro zkoumání chování sledovaného systému pomocí opakování nezávislých náhodných pokusů. Tyto pokusy jsou vytvořeny náhodně se měnící částí vstupů (např. velikost vstupního zpoždění), zatímco druhá část vstupních parametrů je neměnná (např. infrastrukturní parametry) a spoluvytváří tak vlastní simulační scénář. Tyto modely jsou aplikovatelné např. při tvorbě

konfigurace a dimenzování rozsahu dopravní infrastruktury (např. počet kolejí s nástupištní hranou v přestupním uzlu). Softwarovou podporou jsou např. produkty Villon, OpenTrack a další.

Vzhledem k povaze řešené problematiky, kdy jsou jedním ze vstupních parametrů přepravní proudy cestujících, bude využit statický makroskopický čtyřstupňový model s podporou softwarového produktu OmniTRANS (verze 5.0.32), který je na školícím pracovišti k dispozici.

3.3.3 Čtyřstupňový dopravní model

Modelované území je nejprve rozděleno do tzv. funkčních okrsků (zón), kdy každý okrsek má tvořit sourodou funkční oblast (např. obytná zóna, univerzitní kampus, průmyslová oblast). V praxi je ovšem často snazší tvořit okrsky podle administrativního nebo obdobného územního členění tak, aby byla zajištěna kompatibilita vstupních dat s dostupnými databázemi (např. obecních úřadů).

Jednotlivé stupně dopravního modelu se většinou označují anglickými názvy, přestože české označení je zavedeno v knize (13) a obdobné slovenské v knize (33). Nevýhodou českého (slovenského) označení je delší opisný překlad a nutnost znalosti anglických pojmů při obsluze softwarových produktů, které zpravidla nejsou plně lokalizovány do českého jazyka.

V prvním stupni (**Trip Generation – Zdrojové a cílové proudy**) je určen celkový počet cest začínajících v daném okrsku (produkce zóny, někdy též disponibilita) a cest v zóně končících (atrakce nebo atraktivita zóny). Výpočetní postup je odvislý od rozsahu, počtu a kvality vstupních údajů. Většinou se jedná o přepravní průzkumy (ideálně v domácnostech) a jejich statistické vyhodnocení (např. metodou vícenásobné lineární regresní analýzy).

Stupeň druhý (**Trip Distribution – Směřování proudů**) představuje stanovení počtu cest mezi jednotlivými okrsky v modelu, tedy stanovení matice směřování dopravních proudů (anglicky OD matrix).

Předpokladem řešení směřování přepravních proudů je výpočet distančních matic (vzdálenostní, časové dostupnosti a tzv. generalizovaných nákladů). V prostředí softwaru OmniTRANS je pro výpočet nejkratší cesty aplikován upravený Dijkstrův algoritmus (52).

Výpočet je realizovatelný buď analogickými postupy, pokud je známa matice směřování proudů z předchozích období a pokud nenastaly v území významné změny jako např. otevření velké průmyslové zóny. Hodnoty počtů cest jsou upraveny podle růstových koeficientů (faktorů). Typickými příklady analogických metod jsou Fratarův postup

a Detroitský model (13), (33), které se vzájemně liší podle způsobu zohlednění vývoje přepravních proudů v ostatních okrscích, které jsou situovány mimo zdroj a cíl zkoumané relace. Detroitský model je definován vztahy (3.12) a (3.13).

$$D_{ij}^v = D_{ij}^s \cdot \frac{K_i^z \cdot K_j^c}{K} \quad [\text{počet cest/čas}] \quad (3.12)$$

kde je: D_{ij} přepravní vztah mezi okrsky i a j [počet cest/čas],
 v index označující výhledový stav,
 s index označující současný stav (stav v předchozím období),
 K_i^z koeficient růstu pro disponibilitu zdrojového okrsku i [-],
 K_j^c koeficient růstu pro atraktivitu cílového okrsku j [-],
 K koeficient růstu pro celé řešené území [-].

$$K = \frac{D_{\text{území}}^v}{D_{\text{území}}^s} \quad [\text{počet cest/čas}] \quad (3.13)$$

kde je: $D_{\text{území}}$ celkový rozsah přepravy v řešeném území [počet cest/čas].

Nejsou-li data z předchozích období k dispozici, použijí se tzv. syntetické postupy. K řešení jsou nejčastěji využívány tzv. gravitační dopravní modely (52). Tyto výpočty vycházejí z analogie mezi vzájemným silovým působením hmotných těles a přepravními vztahy mezi sídly v území. Princip je uveden ve vztahu (3.14).

$$D_{ij} = k_{ij} \cdot \frac{A_i \cdot A_j}{f(w_{ij})} \quad [\text{počet cest/čas}] \quad (3.14)$$

kde je: D_{ij} přepravní vztah mezi okrsky i a j [počet cest/čas],
 k_{ij} faktor zabezpečující splnění okrajových podmínek [-],
 A_i (A_j) disponibilita zdroj. okrsku i (atraktivita cílového okrsku j) [počet cest/čas],
 $f(w_{ij})$ hodnota odporové funkce mezi zdrojovým okrskem i a cílovým okrskem j (funkce vzdálenosti, časové dostupnosti nebo jiného vyjádření dopravní náročnosti, např. generalizovanými náklady).

Z hlediska řešeného úkolu je použití obou typů postupů (analogických nebo syntetických) stejně možné. Determinováno je to situací v oblasti disponibilních dat. V každém případě nutností je provedení tzv. kalibrace (verifikace) a validace modelu, tj. ověření výsledků modelu podle reálných dat na určitém místě dopravní sítě, ale i ověření funkčnosti modelu v celkovém pohledu. Získání zpětné vazby je nezbytné v každé fázi tvorby

dopravního modelu. Vyloučeno není ani úplné převzetí dat získaných jiným způsobem (např. podle výsledků lístkového průzkumu), pokud tato data odpovídají realitě.

Třetí stupeň (**Modal Split – Dělbá přepravní práce**), ve kterém jsou jednotlivé cesty přiděleny jednotlivým dopravním oborům, není v rámci zobecnění v navrženém řešení zařazen. Všechny obory dopravy participující na IDS jsou modelovány jako jeden dopravní obor – VHOD. Rozdělení linek IDS podle jednotlivých dopravních oborů není účelné, neboť je žádoucí, aby se linky v IDS doplňovaly a nikoli, aby si konkurovaly.

Jiná situace nastává, je-li model pojat jako multimodální, tj. je-li modelována např. i IAD. Tento postup navíc poskytne širší spektrum výsledků. Je tak možné sledovat změny ve využívání jednotlivých dopravních oborů v kontextu změn v linkovém vedení (umísťování přestupních uzlů), ale např. i ověřit vhodnost vybudování parkovišť systému P+R atd. Vzhledem k náročnosti tvorby multimodálního modelu je řešený model pojat jako jednodimodální pouze pro VHOD. Nicméně aplikace navrženého postupu je v multimodálním modelu možná v plném rozsahu, navíc s rozšiřujícími možnostmi, jak již bylo uvedeno.

Čtvrtý stupeň (**Traffic Assignment – Rozdělení proudů do sítě**) představuje přiřazení konkrétních přepravních proudů cestujících (nebo jejich částí) na konkrétní úseky dopravní sítě. Základní postup je založen na metodě All-or-Nothing (Všechno nebo nic). Kriteériem je zde pouze nejkratší vzdálenost, resp. minimální čas jízdy mezi oběma místy, případně minimální generalizované náklady.

Především pro města (existuje zde zpravidla více tras, které cestující vnímají jako rovnocenné) byly vyvinuty metody přidělení dopravního proudu na dvě nebo více tras, kdy je dopravní proud rozdělen na jednotlivé trasy podle zvoleného koeficientu.

Dále je možno alternativně využít několik metod assignmentu, zohledňující aktuální vývoj zatížení jednotlivých úseků dopravní sítě (resp. zohledňující možný vznik kongescí). Existují dva přístupy. V prvním jsou dopravní proudy na úseky dopravní sítě přiřazovány postupně a po přiřazení každé části dopravního proudu je zhodnocen vztah aktuálního zatížení úseku a jeho kapacity. Následující části dopravního proudu jsou pak do sítě přiřazovány se zohledněním tohoto vztahu (přepočtených nákladů). Jiný postup je založen na iterativním přístupu. Na úseky dopravní sítě jsou přiřazovány vždy celé dopravní proudy, ale v každém dalším kroku je toto přiřazení upraveno podle poměru zatížení a kapacity každého úseku v kroku předešlém. Tyto typy assignmentu jsou typické pro modelování IAD (52). Pro řešený případ IDS ovšem nejsou nezbytné, neboť ve fázi tvorby linek není poměr cestujících a nabízené kapacity rozhodující. Počet spojů a obsaditelnost vozidel jsou totiž stanoveny až následně podle očekávaného vytížení linky. Prodloužení jízdních dob v reálném provozu

vlivem kongescí (interakce s IAD) vznikat mohou, ty ale lze odhalit pouze multimodálním dopravním modelem. Stejně tak může docházet k vyčerpání kapacity zejména drážní dopravní infrastruktury, ovšem to je již nad rámec této práce.

3.3.4 Výpočetní období pro modelování

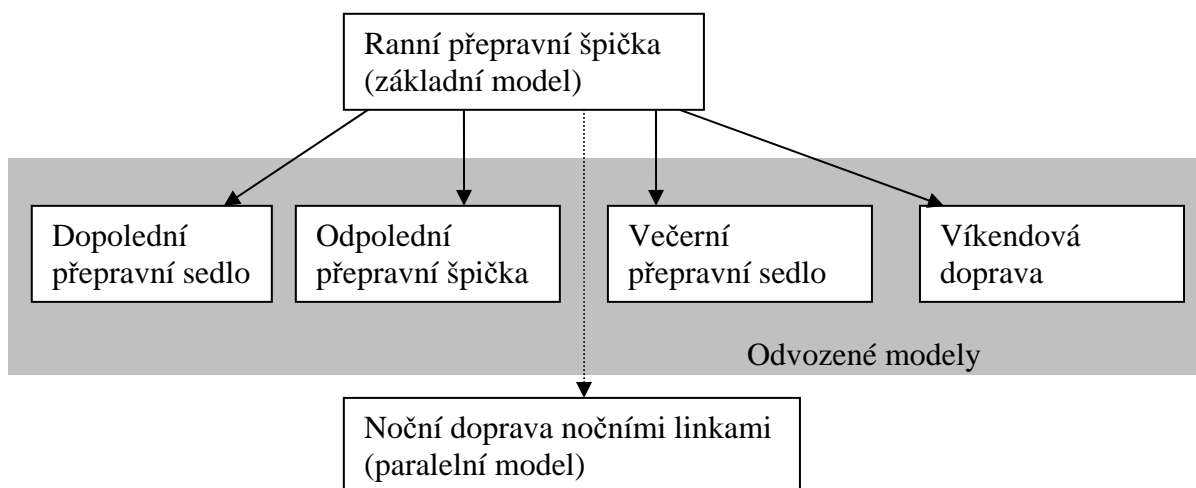
Stanovení výpočetního období, tedy doby, která je v dopravním modelu zahrnuta, se jeví jako jeden z klíčových bodů celého řešení. Nejedná se v tomto případě pouze o absolutní délku tohoto období (od toho sice závisí násobek posuzovaných hodnot v případě periodického JŘ), důležité je především zohlednění přepravních nerovnoměrností, které vznikají v průběhu dne (ranní a odpolední přepravní špičky, přepravní sedla nebo noční doprava), ale i v průběhu týdne a roku (školní doprava, rekreační doprava).

Vzhledem k tomu, že modelem vypočtené hodnoty mají statickou povahu, tj. není možné tyto nerovnoměrnosti zohlednit přímo, je potřebné pro komplexní posouzení vytvořit několik paralelních modelů pro různá období s odlišnými přepravními charakteristikami.

Logika tvorby ITJŘ ovšem předpokládá, že linky jsou provozovány celodenně po stejné trase a zpravidla se stejným intervalem. Výhodnost podobného principu je doložena i v publikaci (13) s tím, že rozdíly v přepravní poptávce jsou kompenzovány nasazováním různých typů dopravních prostředků o různé obsaditelnosti. Tato myšlenka je sice v základu správná, avšak neplatí absolutně. Jedná se zde především o hledisko celkového disponibilního počtu dopravních prostředků a o skladbu tohoto parku. Je zde také logická snaha dopravců o optimalizované využití těchto dopravních prostředků a tudíž tak nelze předpokládat jejich flexibilní odstavování a zařazování podle momentální přepravní situace. Proto je potřebné v některých případech i tak připustit dílčí změny v intervalu nebo v trasování některých linek.

V každém případě ale základní linkové schéma musí zůstat stejné, i vzhledem k přehlednosti a orientaci cestujících. Dílčí úpravy (např. zavedení posilových linek) je pak nutné posoudit ve formě variantních modelů, odvozených od základního konceptu.

Existují ale i případy, kdy je nutné se od základního konceptu zcela odchýlit (např. noční doprava ve formě tzv. nočních linek). V praxi toto zpravidla představuje např. zajištění provozu jen jedním subsystémem VHOD a i jiné linkové vedení, kdy je sledována minimalizace počtu vozidel i za prodloužení jízdních dob. Tyto varianty pak mohou být zpracovávány zcela separátně. Struktura modelu, resp. jeho variant, je pro obvyklé provozní podmínky na obr. 3.3.



Obr. 3.3: Přepravní nerovnoměrnosti v modelu. Zdroj: Autor.

Pro základní model je třeba vycházet z ranní přepravní špičky v pracovní den, neboť toto období zpravidla představuje největší přepravní poptávku díky téměř současnému odjezdu většiny obyvatel z bydliště do zaměstnání nebo do škol. Odpolední špička již nedosahuje takových intenzit vzhledem k možným aktivitám ve volném čase (nákupy, sport, jazykové kurzy atd.), které díky tomu mají za následek i rozšíření přepravní špičky na delší časový úsek.

V dopravně-inženýrské praxi je ranní přepravní špička kalkulována jako období 120 min. O které konkrétní dvě hodiny se jedná závisí i na charakteru regionu, zda-li je zde významná školní doprava, kterou ovlivňuje čas začátku výuky, nebo zda-li je zde dominantní průmyslový závod, jehož začátek pracovní doby může mít rovněž klíčovou roli.

3.3.5 Zavedení linek do dopravního modelu

Předchozí postup umožňuje studovat přepravní proudy ve všeobecném pohledu, nicméně pro adekvátní řešení a detailní analýzu je potřebné do modelu zavést i jednotlivé linky.

V prostředí užitého softwarového nástroje OmniTRANS (v programovacím jazyku OJL) je pro práci s linkami vyčleněna celá skupina předdefinovaných procedur označených jako OtTransit (z anglického označení pro městskou hromadnou dopravu). Samozřejmostí jsou ale i ostatní podpůrné nástroje a příkazy, jako např. možnost editace linek v grafickém prostředí nebo možnost tvorby grafických a tabelárních výstupních sestav týkajících se linek VHOD.

Zavedení linek do modelu umožňuje posuzovat jednak vlastní konfiguraci linkového vedení, ale i další aspekty, jako je kapacita linek vyjádřená součtem obsaditelností vozidel nasazených na všech spojích dané linky ve sledovaném období, průměrný následný interval na dané lince, počty zastávek, doby pobytů v nich atd.

Softwarový nástroj OmniTRANS kalkuluje i přestupní doby podle vztahu (3.15), který umožňuje zohlednit jednak zvolenou část intervalu následující linky (průměrná doba čekání na spoj), tak umožňuje zadat fixní časovou přírážku (přestupní dobu), zohledňující např. docházkové vzdálenosti ve větším přestupním uzlu.

$$T_p^{ij} = k \cdot I_j + c \quad [\text{min}] \quad (3.15)$$

kde je: T_p^{ij} průměrná (uvažovaná) přestupní doba mezi linkami i a j [min],
 k koeficient pro výpočet doby čekání na následující spoj [-],
 I_j průměrný následný interval spojů následující linky j [min],
 c konstantní časová přírážka na přestup (přestupní doba) [min].

Vynecháním složky odvozené od intervalu následující linky je možné modelovat situaci bodové koordinace spojů obou linek. To je situace, kdy díky vytvořeným přípojovým vazbám v oblasti časové koordinace nepřijíždí cestující do daného uzlu náhodně, ale jeho časové ztráty jsou již samotným JŘ racionalizovány. Tyto parametry je možné nastavovat individuálně pro každou dvojici linek v konkrétním přestupním uzlu. Lze tak odlišit různou časovou náročnost přestupu např. mezi tramvajovými linkami u totožné nástupní hrany nebo např. mezi vlakovou a autobusovou linkou, kdy tento přestup vyžaduje delší čas na pěší přesun mezi nástupištěm vlakové dopravy a přilehlou autobusovou zastávkou. Jisté možnosti poskytuje i možnost daný přestup zakázat. Nemusí se jednat pouze o administrativní usměrnění přestupů do vybraných zastávek (jaké je aplikováno např. v MHD Havlíčkův Brod), ale také může jít o modelové vyjádření situace, kdy cestující z vlastní vůle daný přestupní uzel zpravidla nevyužívají i navzdory výpočtem dokázané (např. vzdálenostní) výhodnosti tohoto přestupu. Důvodem tohoto odlišného chování cestujících může být např. větší rozsah služeb (čekárna, prodejny apod.) v substitučním přestupním uzlu nebo také lepší prostorové řešení substitučního uzlu (menší docházkové vzdálenosti, oddělení od ostatní silniční dopravy apod.).

Zavedení linek VHOD do modelu je nutné jako další krok řešení navazující na stanovení přepravních proudů, resp. jejich přiřazení na úseky dopravní sítě. Toto přiřazení slouží pouze jako vstupní podklad pro racionalizovaný návrh linkového vedení. Některé

úseky dopravní sítě zůstávají dokonce neobslouženy, neboť zpravidla nízká přepravní frekvence na těchto úsecích je obsloužena delšími substitučními linkami.

V neposlední řadě je pak model linkového vedení nutný pro celkové zhodnocení navržených variant řešení, resp. pro finální korekci celkového řešení. Jako u modelování obecně, i zde je nutné neustále sledovat zpětnou vazbu mezi získanými výsledky a poznatky o aspektech skutečného provozu tak, aby navržené řešení této skutečnosti odpovídalo a aby splňovalo předpoklady pro jeho případnou praktickou realizaci.

4 ŘEŠENÍ ÚKOLU A JEHO VÝSLEDKY

Řešení úkolu je rozděleno na dvě části – na část teoretickou a aplikační. V teoretické části je dané řešení uvedeno v obecné rovině tak, aby mohlo být využito na kterékoli reálné části území. Ideové schéma navrženého postupu je graficky zpracováno v příloze 1.

V části aplikační (kap. 5) je pak provedena aplikace tohoto postupu na příkladě IDS aglomerace tvořené městy Tábor, Sezimovo Ústí a Planá nad Lužnicí.

4.1 Přístup k řešení

Navržené řešení je založeno na myšlence aplikace nových možností, otevřených rozvojem poptávkově orientovaných dopravních modelů a jejich počítačové podpory do oblasti umístování přestupních uzlů a linkotvorby.

Řešením je sledováno zmenšení závislosti výsledku na zvolené vstupní množině linek oproti dosavadně používaným metodám, větší provázanost řešení a skutečnosti zahrnutím místních specifik do modelu a v neposlední řadě snížení rozsahu výpočtu (výpočetní náročnosti) zanedbáním marginálních vazeb v území. V neposlední řadě jsou zohledněny požadavky vyplývající z aplikace periodických JŘ.

V řešení jsou tak kombinovány současné metody, možnosti vyplývající z dopravního modelu a vlastní návrhy do modifikovaného postupu pro umístování přestupních míst a tvorbu linek s využitím odpovídající softwarové podpory.

4.2 Vstupy modelu

Klíčovou, ale mnohdy i ohrožující, podmínkou každého řešení pomocí dopravního modelování je zjištění nebo zajištění vstupních dat v dostatečné kvalitě a v dostatečném rozsahu.

Požadavky na data lze rozdělit do dvou skupin, a sice na data o dopravních prostředcích a infrastruktuře a na data o přepravní poptávce.

Rozsah dat závisí i na rozsahu vytvářeného modelu. Jedná-li se o model multimodální, pak je potřebné získat data i pro ostatní způsoby a obory dopravy mimo VHOD.

V každém případě je nutno vstupním datům věnovat patřičnou pozornost, neboť kvalita výsledků závisí na kvalitě vstupů.

4.2.1 Dopravní infrastruktura v modelu

Dopravní model musí nutně obsahovat zjednodušený obraz reálné dopravní infrastruktury v řešeném území, někdy též nazývaný náhradní dopravní sítí (58).

V prostředí IDS je pak nutné modelovat především ty části dopravní sítě (železniční, pozemních komunikací, ale pokud je to účelné třeba i vodní dopravy), které mohou (ovšem nemusejí) být využity pro provoz linek VHOD. Pokud je model konstruován jako multimodální, je třeba zahrnout všechny úseky, které mají zásadní vliv pro celkovou dopravní situaci v řešeném území.

Ve své podstatě se pak jedná o abstrakci reálné dopravní sítě do sítě redukované o ty úseky, jejichž vliv je z pohledu celého území zanedbatelný a doprava na nich má pouze zdrojový, cílový nebo místní charakter. Opomenuty tak mohou být např. účelové komunikace napojující jednotlivé objekty na síť pozemních komunikací, některé komunikace menšího významu v obytných zónách nebo dráhy určené výhradně pro nákladní dopravu, pokud tyto úseky dopravní sítě nemají potenciál stát se důležitými z hlediska celého území (např. spojnice paralelních hlavních komunikací). Převážný význam těchto komunikací je pak zohledněn sumárně v rámci celkového vyjádření zdrojových a cílových proudů příslušného okrsku (vyjížděčky a dojížděčky) v těžišti okrsku.

Vzhledem k povaze práce a právě vzhledem k rozsahu potřebných vstupních dat bude nadále uvažován pouze model VHOD, nebude-li uvedeno jinak. Při další konstrukci modelů multimodálních je možno dále vycházet např. z publikací (31), (32), (52).

Dopravní síť je do vybraných softwarových nástrojů (dopravních modelů) možno importovat z geografického informačního systému (GIS). V případě, že toto není možné nebo když potřebná data nejsou k dispozici, je nutno přistoupit k manuálnímu vytvoření modelu dopravní sítě.

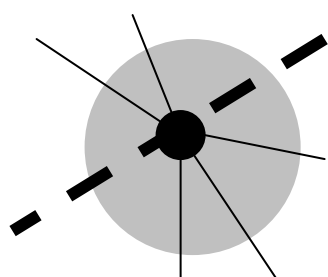
Hlavní charakteristiky jednotlivých úseků dopravní sítě potřebné pro model VHOD jsou v tabulce 4.1.

Tab. 4.1: Parametry úseků dopravní sítě VHOD v dopravním modelu

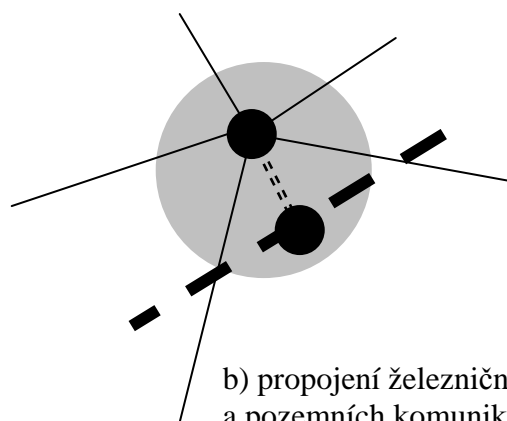
Parametr	Jednotka	Vysvětlení
Délka úseku	km	slouží jako podklad pro výpočet distančních matic a následné stanovení tzv. dopravního odporu, popř. pro další technologické výpočty
Druh úseku	pozemní komunikace / železnice + kategorie	slouží k hromadnému přiřazení předvolených parametrů a zároveň pro budoucí rozlišení dopravních oborů
Rychlost	km/h	hlavní charakteristika daného úseku, vyjadřuje jeho parametry ve formě cestovní nebo úsekové rychlosti potenciální tudy vedené linky (např. podle stávajících JŘ nebo průměrem s přihlédnutím k stavebně-provozním charakteristikám úseku).

Zdroj: Autor s využitím (52)

Modelová dopravní síť musí být vytvořena tak, aby jednotlivé úseky na sebe navazovaly. To znamená, že i úseky sítí různých dopravních oborů musejí být vzájemně propojeny. Je to možné učinit buď společným průsečíkem (obr. 4.1a), popř. přidáním spojovací hrany, pokud reálná konfigurace dopravních sítí tomuto propojení neodpovídá, např. pokud jsou autobusové nádraží a železniční stanice vzájemně vzdáleny. V tomto případě je potřebné k tomuto propojení (obr. 4.1b) přistupovat jako k podvojnému přestupnímu uzlu, jak byl definován v kapitole 1.7.



a) propojení železniční tratě (přerušovaná čára) a pozemních komunikací na území obce v 1 bodě



b) propojení železniční tratě a pozemních komunikací na území obce pomocí spojovací hrany

Obr. 4.1: Propojení dopravních sítí různých dopravních oborů v jedné obci. Zdroj: Autor.

Propojení dopravních sítí je z hlediska obecnosti nutné ve všech případech, tj. i u souběžných železničních a silničních linek. Důvodem je obecné nalezení nejvýhodnějších (nejkratších) dopravních tras jako podklad pro další části řešení.

Konkrétní technické podrobnosti postupu tvorby dopravní sítě jsou uváděny v manuálech jednotlivých softwarových produktů, např. (52).

4.2.2 Přepravní poptávka

Přepravní poptávka je naprosto klíčový faktor pro úspěšné provozování VHOD. Přestože je VHOD i v rámci IDS chápána především jako veřejně prospěšná a jako taková je zpravidla dotována, je i tak nutné přizpůsobit rozsah dopravní nabídky potřebám daným poptávkou, aby došlo k účelnému využití takto vynaložených prostředků.

Zjištění apriorní přepravní poptávky (vůle cestujících cestovat jakýmkoli způsobem) představuje složitý, časově náročný a nákladný proces, zpravidla spojený s průzkumy v domácnostech. I tak ale musí být na charakteristiky přepravní poptávky usuzováno pomocí výběrového statistického souboru, proto i stanovení jeho velikosti musí být věnována patřičná pozornost. Tabulka 4.2 uvádí doporučení pro stanovení velikosti výběrového statistického souboru v počtech domácností.

Tab. 4.2: Velikosti výběrového statistického souboru

Velikost sídla [počet obyvatel]	Velikost výběrového statistického souboru (v počtech domácností)	
	doporučená	minimální
Méně než 50 000	1 z 5	1 z 10
50 000 – 150 000	1 z 8	1 z 20
150 000 – 300 000	1 z 10	1 z 35
300 000 – 500 000	1 z 15	1 z 50
500 000 – 1 000 000	1 z 20	1 z 70
Více než 1 000 000	1 z 25	1 z 100

Zdroj: (31)

Dotazování probíhá jednotně v celém řešeném geografickém území formou dotazníkového průzkumu. Na základě tohoto průzkumu je pak možné stanovit funkční závislosti mezi jednotlivými parametry a celkovým počtem vykonaných cest pro dané výpočetní období (s různými přepravními nerovnoměrnostmi v průběhu dne, týdne nebo roku může docházet ke změnám v této závislosti).

Tato stať o přepravní poptávce je zde uvedena víceméně v teoretické rovině, neboť i v aplikační části této disertační práce jsou využity ukazatele převzatého nebo derivativního charakteru. Je to z toho důvodu, že není v časových možnostech – doktoranda, jednotlivce,

provést průzkum v potřebném rozsahu. Navíc je potřebné vzít v potaz, že téma práce je zaměřeno na řešení umístování přestupních uzlů (linkotvorby) a nikoli na metody zjišťování přepravní poptávky. Dosazením derivativních dat není dotčena obecná rovina navrženého postupu, ovšem případnou aplikací statisticky otestovaných dat apriorních, lze přirozeně očekávat dosažení přesnějších výsledků.

4.3 Řešení s využitím dopravního modelu

Řešení je založeno na klasickém čtyřstupňovém dopravním modelu, jak již bylo uvedeno. Odlišnost spočívá v návaznosti jednotlivých kroků řešení a v použití jednotlivých dílčích výsledků. Nejprve jsou pro obecnou dopravní síť bez linek provedeny všechny čtyři stupně modelu, případně tři, pokud nejsou modelovány jiné obory dopravy než VHOD a tudíž pokud odpadá řešení dělby přepravní práce.

Toto slouží jako podklad pro další řešení, které je rozděleno na části pro vytvoření hierarchizované soustavy linek kmenového a doplňkového systému. Při sestavě každé z těchto variant jsou nejprve použity analytické výpočty a poté ověření modelem. Na závěr je pak modelově posouzeno řešení pro celé území. Výhodou je v tomto případě zároveň možnost variantního řešení, kdy tak model sehrává aktivní roli při hledání řešení.

4.3.1 Rozdělení území na dopravní okrsky

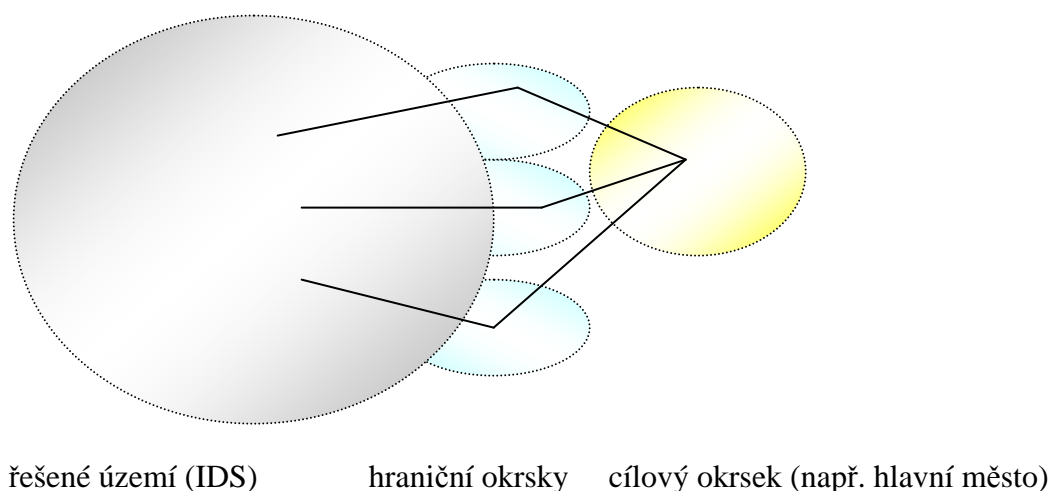
Nejprve je nutno řešené území rozdělit na tzv. dopravní okrsky, které nahrazují vymezenou část území jedním bodem (těžištěm okrsku), ze kterého pak sumarizované dopravní proudy za celý okrsek vstupují do dopravní sítě (resp. cílové proudy pak ze sítě vystupují do tohoto bodu).

Kriteriem pro členění území do okrsků má být funkční rozdělení tohoto území tak, aby mohla být tato funkce vyjádřena i z hlediska dopravy v modelu. V praxi je ale mnohdy nutné, aby okrsky odpovídaly administrativnímu členění území z hlediska kompatibility databází při zjišťování vstupních dat. V některých případech může být vhodné přejmutí i tarifní zónové struktury řešeného IDS (např. při přejímání počtů vystavených jízdenek od koordinátora IDS).

Zajímavým problémem je stanovení celkového počtu okrsků. Jak ukazují zkušenosti (59), není ani tak důležitý celkový počet okrsků, jako dodržení přibližně stejné velikosti okrsků z hlediska velikosti přepravních proudů, pro lepší výsledky směřování dopravních proudů. Přirozená větší dojíždka (popř. vyjíždka) do (z) větších sídel je pak vyjádřena v součtu hodnot dojíždky (vyjíždky) všech okrsků rozkládajících se na území těchto měst.

Zvlášť je to vhodné u velkých městských aglomerací. Pro praktickou ilustraci město Bratislava v dopravním modelu Bratislavy, Bratislavského a Trnavského samosprávného kraje pro slovenské Ministerstvo dopravy pošt a telekomunikací tvoří 260 z celkových 592 okrsků (59). V příměstských oblastech se za jeden okrsek považuje zpravidla jedna obec nebo její významnější odloučená část, i vzhledem ke geografickým podmínkám (výpočty vzdáleností).

Zároveň je potřebné řešit i dopravní vazby s prostředím mimo řešenou oblast. Jednou z možností je tyto cesty z modelu vyřadit, nicméně vzhledem k realitě toto není správné. Spoje VHOD často překračují i hranice administrativního členění (krajů), tudíž lze tento problém očekávat i při řešení téměř jakéhokoli území. Důležité je to proto, že tyto spoje mnohdy zajišťují i místní dopravní obsluhu a z toho důvodu by zanedbání těchto vazeb mohlo mít negativní dopad na stanovení technologických a ekonomických ukazatelů provozu. Řešení spočívá v zavedení tzv. hraničních okrsků, ve kterých jsou ukončeny/zahájeny veškeré dopravní vztahy překračující hranice území po dané trase. Ujeté kilometry, popř. čas strávený přepravou mimo řešené území (IDS) nejsou zpravidla uvažovány, neboť jsou z hlediska řešení v oblasti irelevantní. V některých případech, kdy je možné překračovat pomyslnou hranici na více místech vzhledem k jednomu významnému cíli (např. krajské nebo hlavní město), je vhodné přijmout dvoustupňové uspořádání hraničních okrsků. První okrsek, bližší k řešenému území, slouží k zohlednění přepravní poptávky na konkrétní přepravní trase a druhý cílový pak představuje tento významný cíl v území, dostupný po více trasách. Schematicky je situace zobrazena na obr. 4.2. Zde ovšem musí být zohledněny všechny faktory, ovlivňující využití jednotlivých možných tras (linek).



Obr. 4.2: Dvoustupňové řešení hraničních zón. Zdroj: Autor.

Stejný princip je vhodné uplatnit i při dekompozici řešeného území (IDS) do více dílčích modelů. Jsou tak řešeny přepravní vztahy mezi těmito dílčími modely navzájem.

4.3.2 Stanovení zdrojových a cílových přepravních proudů

Stanovení zdrojových a cílových přepravních proudů je prvním stupněm čtyřstupňového dopravního modelu. Pro dopravní okrsek v řešeném modelu je nutné stanovit hodnoty dvou základních veličin – **disponibility** (vyjížděky, produkce) a **atraktivitu** (dojížděky, atrakce), které vyjadřují počet cest v okrsku vznikajících, resp. končících. Tyto hodnoty musejí být stanoveny zvlášť pro každé výpočetní období, které je modelem řešeno. Jejich zjišťování je v ideálním případě založeno na dopravních průzkumech (v domácnostech) s cílem zjistit apriorní přepravní poptávku. Nejsou-li tyto průzkumy k dispozici, musejí být disponibilita a atraktivita stanoveny jiným způsobem, zpravidla využívající zjišťování derivativní přepravní poptávky, jak již bylo zmíněno v kapitole 4.2.2.

V agregovaném modelování se k vyhodnocení dotazníků používá zpravidla vícenásobná lineární regresní analýza, jejímž výsledkem je lineární funkce, obecně zapsaná vztahem (4.1). Na podkladě takto zjištěné funkce (pro celé území) se poté stanoví konkrétní hodnota rozsahu přepravy pro každý okrsek dosazením jeho demografických a statistických charakteristik do vzorce.

$$D_i = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 + \dots + b_n X_n \quad [\text{počet cest/výpočetní období}] \quad (4.1)$$

kde je: D_i rozsah přepravy i -tého okrsku [počet cest/výpočetní období],
 a konstantní člen regresní funkce,
 b_1, \dots, b_n jsou parciální regresní koeficienty,
 X_1, \dots, X_n jsou nezávisle proměnné strukturální veličiny se zjištěným vlivem na rozsah přepravy.

Využití kvadratické a kubické nelineární regresní analýzy se podle publikace (33) pro komplikovanost stanovení koeficientů a malý vliv kvadratického a kubického členu na zjištěný rozsah přepravy nedoporučuje.

Správnost získané regresní funkce je nutné ověřit pomocí koeficientu determinace (čím více se blíží k hodnotě 1, tím je nalezená funkce přesnější), vliv jednotlivých nezávislých strukturálních veličin na celkový rozsah přepravy je třeba otestovat Studentovým t-testem.

Zjištění apriorní přepravní poptávky má nejvyšší vypovídací schopnost, neboť u ostatních údajů může dojít k nežádoucímu ovlivnění dalšími vlivy. Např. počty přepravených cestujících v jednotlivých spojích (aposteriorní nebo také derivativní poptávka)

mnohdy nepostačují, neboť nemá-li daný cestující spoj VHOD na požadované trase a v požadovaný čas, hledá alternativní způsoby dopravy (individuální doprava) a mezi přepravenými cestujícími tak zachycen není.

Jak již bylo konstatováno v kapitole 4.2.2, zjištění apriorní poptávky bývá časově, personálně a v neposlední řadě i finančně náročné. Proto je mnohdy nutno vycházet i z jiných disponibilních údajů. Jako nejvhodnější substituční údaje se u VHOD jeví obraty cestujících v zastávkách (počty nastupujících a vystupujících). Těmito hodnotami lze pak po příslušných úpravách (např. sumarizace za všechny zastávky v okrsku) produkci a atrakci nahradit. Nevýhodou tohoto postupu je, že cestující, kteří VHOD nevyužívají, ale po změnách v dopravní nabídce by ji využívat mohli, nejsou kalkulováni. Naopak cestující, kteří po úpravách VHOD zvolí IAD, budou kalkulováni jako cestující i nadále, byť ve skutečnosti již VHOD využívat nebudou. Vyvozené závěry pak budou zatíženy touto chybou, resp. nepřesností. Otázkou však zůstává nakolik je tato chyba tolerovatelná ve srovnání s náročností tvorby modelu multimodálního. Navíc pro multimodální modely je potřebné údaje o obratech cestujících v zastávkách doplnit i o údaje o cestách IAD z/do daného okrsku.

Z hlediska budoucnosti je ovšem obecná orientace na zjišťování apriorní přepravní poptávky nevyhnutelná, neboť pouze tato poptávka dokáže popsat skutečný přepravní potenciál území. V případě jiných zdrojů dat (dopravci, manažeři dopravní infrastruktury) lze očekávat spolu s nastoupeným trendem liberalizace ve VHOD zhoršení situace, neboť získání komplexních informací o přepravě bude stále více komplikované už jen díky participaci více různých subjektů.

4.3.3 Směřování přepravních proudů

Směřování přepravních proudů je neméně důležitou součástí dopravního modelu, neboť zde jsou stanoveny počty cest mezi každými dvěma okrsky v řešeném území. Výsledky se ukládají do matice směrování dopravních proudů (OD matice).

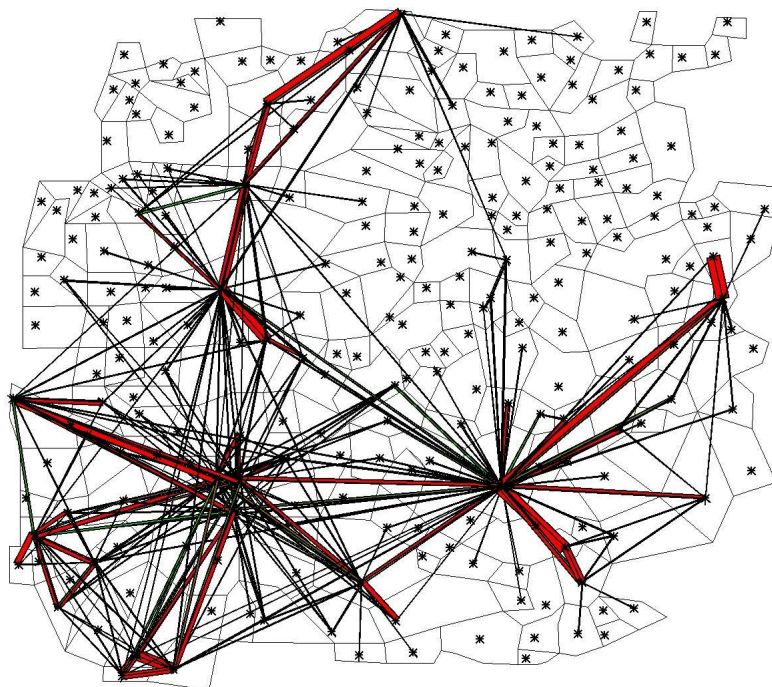
Pro vlastní výpočet jsou využity analogické metody, pokud je známa OD matice pro předchozí období. Pokud matice směrování přepravních proudů dosud známa není, použijí se metody syntetické.

Ze syntetických metod se využívá tzv. gravitační model. Vzorec (3.14) pro jeho výpočet je uveden v kapitole 3.3.3. Jako dopravní odpor je doporučeno využívat cestovního času nebo tzv. generalizovaných nákladů. Cestovní čas je vlastně vyjádřením jak vzdálenosti, tak druhu komunikace, ale i zvoleného provozního konceptu (např. stanovená rychlost

konstruktérem JŘ). V generalizovaných nákladech ještě mohou přistoupit vyjádření jízdného nebo třeba vyjádření časových ztrát nebo úspor.

Podkladem jsou příslušné distanční matice. Tyto jsou v prostředí softwarového nástroje OmniTRANS kalkulovány pro vzdálenost v kilometrech, čas v minutách a pro generalizované náklady (např. v peněžním vyjádření), není-li uživatelem určeno jinak. Výpočet je realizován na základě ohodnocení jednotlivých úseků dopravní sítě pomocí upraveného Dijkstrova algoritmu pro hledání nejkratších cest na grafech (52).

Výsledek směřování přepravních proudů (OD matice) je důležitým podkladem, neboť podává informace o přepravních vazbách v území. Vyjádření této matice je možné jak graficky (obr. 4.3), tak číselně ve formě matice.



Obr. 4.3: Grafické vyjádření směřování přepravních proudů v obecné dopravní síti.

Zdroj: Autor s využitím software OmniTRANS.

V případě, že je směřování přepravních proudů zjistitelné i přesnějším způsobem, např. pomocí směrového (lístkového) dopravního průzkumu, který je typický pro uzavřené dopravní systémy (např. metro), je možné s výhodou využít i tyto výsledky.

Směřování dopravních proudů je podkladem jednak pro následující stupeň modelu – přidělení přepravních proudů na úseky dopravní sítě, ale také jako podpůrné kritérium pro budoucí konstrukci linek VHOD.

4.3.4 Celočíslnost v matici směřování přepravních proudů

V případech regionů s menší hustotou obyvatel nebo slabou přepravní poptávkou může dopravní obslužnost nabývat dávkový charakter. V makroskopickém modelu se toto odrazí v nízké hodnotě přepravního proudu cestujících na dané relaci, často s hodnotou menší než 1.

K řešení této otázky je možné přistoupit více způsoby podle toho, jaký význam nebo jaký podíl doprava dávkového charakteru má v rámci řešeného území. V každém případě dopravní obslužnost v oblastech s takto slabou přepravní poptávkou musí být řešena s respektem k tomuto faktu (např. zavedení linky s redukováným intervalem, možnost aplikace některého z alternativních systémů dopravní obslužnosti, eventuelně zastavení dopravní obslužnosti pokud se jedná o území v docházkové vzdálenosti jiné zastávky atd.).

V některých případech může být i nadále kalkulováno s hodnotami vypočtenými gravitačním modelem, kdy hodnoty menší než jedna představují jistou měnlivost přepravního proudu v čase (např. počet cest 0,5 lze interpretovat jako jednu cestu za dva dny).

Pokud je ovšem z hlediska povahy přepravních vztahů v území nutné počty cest vyjadřovat jako celočíselné hodnoty, je nutné vypočtenou neceločíselnou matici přepravních proudů upravit. Prosté zaokrouhlení může vnášet do matice směřování přepravních proudů chybu.

Řešení autor disertační práce spatřuje v zavedení nových hodnot d_{ij} (prvky matice směřování přepravních proudů), které jsou nově pojímány jako proměnné x_{ij} následujícího modelu (4.2 – 4.7).

$$\min. \sum_i \sum_j |d_{ij} - x_{ij}| \quad (4.2)$$

za podmínek:

$$x_{ij} \geq d_{ij} - 1 \quad \text{pro } \forall i \in I \text{ a } \forall j \in J \quad (4.3)$$

$$x_{ij} \leq d_{ij} + 1 \quad \text{pro } \forall i \in I \text{ a } \forall j \in J \quad (4.4)$$

$$\sum_i x_{ij} = \sum_i d_{ij} \quad (4.5)$$

$$\sum_j x_{ij} = \sum_j d_{ij} \quad (4.6)$$

$$d_{ij} \in N + \{0\} \quad \text{pro } \forall i \in I \text{ a } \forall j \in J \quad (4.7)$$

Tímto modelem je zajištěna úprava matice směřování přepravních proudů na celočíselnou při zachování proporcí výsledku výpočtu gravitačního modelu. Je to jednak zajištěno omezujícími podmínkami, ale i konstrukcí účelové funkce. Pro zpracování úloh většího rozsahu (matic směřování přepravních proudů s větším množstvím okrsků) je potřebné využít specializovaný software pro řešení tohoto typu úloh (tzv. IP solvery). Nezřídka jsou v těchto programech aplikovány i heuristické postupy, jako např. metoda větví a hranic. Přestože je tak dosaženo suboptimálních výsledků, jsou pro zvolený účel využitelné.

4.3.5 *Přiřazení přepravních proudů na úseky dopravní sítě*

Pro přiřazení přepravních proudů na úseky dopravní sítě je v návrhu zvolena metoda AON (All-or-Nothing; všechno nebo nic). Její podstatou je přiřazení přepravních proudů na nejkratší cesty v zadané dopravní síti (podle distančních matic). Zde opět je vhodné volit kritérium času (časové dostupnosti) nebo generalizovaných nákladů tak, aby i zde byla zohledněna velká část technicko-technologicko-provozních charakteristik úseků dopravní sítě.

Přepravní proudy jsou přiřazeny na nejkratší cesty i bez ohledu na kapacitní využití těchto úseků.

Metody omezené kapacity, které využití kapacity (vznik kongescí) zohledňují a přepravní proud rozdělují do sítě buď postupně nebo přidělení korigují ve formě iteračního postupu, nejsou pro tento návrh úplně vypovídající. Pokud jsou modelovány pouze přepravní proudy cestujících ve VHOD, je modelování dopravních kongescí na síti irelevantní, pokud je možné vliv prodloužení jízdních dob oproti JŘ způsobených kongescemi zanedbat.

Dílčím výstupem je přiřazení přepravních proudů na úseky dopravní sítě tak, jak by cestující volili cestu, kdyby měli absolutní svobodu volby trasy bez vázanosti na linkové vedení a s tím související aspekty (např. čekání v přestupních uzlech). V časové distanční matici jsou zachyceny zatím pouze předpokládané doby jízdy potenciálních linek pro každý úsek dopravní sítě odvozené např. od existujících JŘ tudý vedených stávajících linek. Toto přiřazení tak vypovídá o situaci, které úseky přepravní sítě by byly z hlediska přepravní poptávky využity a jak.

Další postup řešení pak vychází z tohoto výsledku, neboť se lze domnívat, že poskytuje kvalitní výchozí podklad pro další řešení, neboť obsahuje ideální přepravní trasy pro pohyb každého cestujícího po dopravní síti.

4.3.6 Konsolidace přepravních proudů

Ještě před začátkem dalších úvah je potřebné přepravní proudy přiřazené do sítě konsolidovat. Jedná se především o odstranění neúměrného nežádoucího „přestupování“ mezi paralelními úseky dopravní sítě (např. mezi železniční tratí a souběžnou autobusovou linkou) podle toho, která linka vykazuje v daném úseku nižší náklady (vzdálenost, čas jízdy, generalizované náklady). Zvolena má být pouze ta linka, která vykazuje nižší náklady v celém úseku. Kriterium výběru lze zapsat vztahem (4.8) při vyjádření v generalizovaných nákladech (4.9).

$$GC = \min_i \{GC_i\} \quad [\text{peněžní jednotky}] \quad (4.8)$$

$$GC_i = \alpha D_i + \beta T_i \quad [\text{peněžní jednotky}] \quad (4.9)$$

kde je: GC generalizované náklady [peněžní jednotky],

i index alternativy paralelních cest,

α koeficient převádějící vzdálenost na generalizované náklady [peněž. j./km],

β koeficient převádějící cestovní čas na generalizované náklady [peněž. j./min],

D_i vzdálenost při alternativě i [km],

T_i cestovní čas v dané relaci při alternativě i [min].

V případě, že v řešení vystupuje více různých faktorů tak, že situace není možné přímo posoudit (např. má-li být přihlédnuto i k ekonomickým nebo jiným provozním ukazatelům), je výběr možné provést pomocí metod multikriteriální analýzy. Pokud mají zůstat v provozu úseky oba, je možno volbu konkrétní trasy cestujícími modelovat pomocí modelu LOGIT (31). Jeho předpokladem je ale znalost informací o vůli cestujících využívat nákladnější alternativy, které musejí být získány z analýzy analogického případu nebo případů v řešeném území nebo v území, které vykazuje srovnatelné okrajové podmínky.

Specifickým problémem je, jak má být vymezen úsek, ve kterém má být řešena konsolidace paralelních tras.

Podmínkou je, že všechny varianty paralelně spojují stejná místa i a j v dopravní síti s tím, že na této trase nedochází ke změně velikosti přepravního proudu o více než stanovenou část. Tím je vyjádřena skutečná paralelnost tras. Matematicky lze tuto podmínku zapsat vztahem (4.10). Tato podmínka musí být splněna pro všechny mezilehlé úseky x a y na zkoumané relaci ij vymezené průsečíky jednotlivých variant tras.

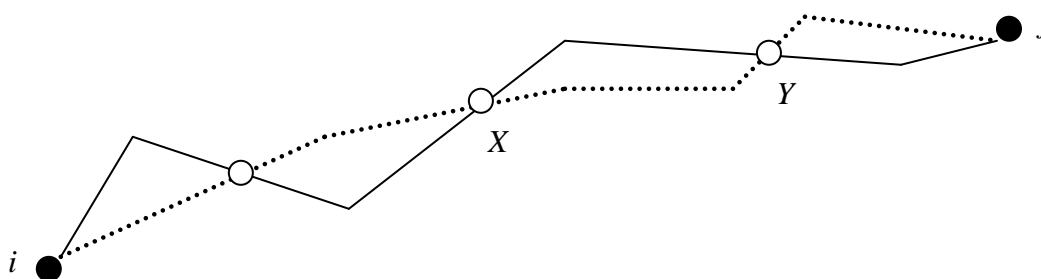
$$D_{xy} \in \langle d_{ij} - k \cdot d_{ij}; d_{ij} + k \cdot d_{ij} \rangle \quad [\text{cestujících/čas}] \quad (4.10)$$

kde je: D_{XY} suma přepravních proudů na paralelních trasách mezi místy křížení těchto tras x a y [cestujících/čas],

d_{ij} přepravní proud mezi místy i a j (v celém zkoumaném úseku) [cestujících/čas],

k přípustná změna přepravního proudu [-].

Situaci ilustruje obr. 4.4, kde je znázorněna linka s paralelními přepravními trasami ij . Zároveň je vyznačen jeden z mezilehlých úseků XY . V prostředí software OmniTRANS je konsolidaci možno provést zákazem přejezdu mezi jednotlivými trasami v mezilehlých průsečích X a Y . Trasa s lepšími přepravními parametry je poté automaticky vybrána podprogramy určenými k práci se čtyřstupňovým dopravním modelem.



Obr. 4.4: Konsolidace paralelních přepravních tras. Zdroj: Autor.

Zároveň je v rámci konsolidace možné rozhodnout o preferenci určitých dopravních oborů (např. železnice nebo tramvaje) na vybraných přepravních relacích. Tato preference je ovšem možná pouze v případě, že pro takovou preferenci existuje zvláštní důvod (např. deklarovaný zájem objednavatelů dopravy o tuto preferenci i v reálné rovině).

Konsolidaci je zároveň nutné aplikovat všude tam, kde to vyplyne z hlediska validace modelu vzhledem k současnému stavu. Je to přípustné, vzhledem k tomu, že dopravní modely představují reálnou část území a tudíž tak možnost manuálních zásahů dopravního technologa (tvůrce modelu) není vyloučena, ale naopak přímo doporučována ve formě hledání zpětných vazeb.

Veškeré změny provedené v rámci konsolidace je nutné evidovat pro návrat k předchozímu kroku v případě porušení sledovaných podmínek pro dané řešení, resp. pokud jsou při hledání zpětné vazby s realitou zjištěny zásadní rozpory.

4.4 Interakce subsystémů VHOD

Na počátku řešení je nutné stanovit požadavky na interakci jednotlivých subsystémů VHOD. Nemusí to být nutně spojeno s rozdílnými obory dopravy, ale i s formou zajištění

dopravní obslužnosti. Na každou úroveň dopravní obslužnosti jsou v praxi kladeny odlišné nároky (např. intervaly, obsazení vozidel) a toto musí být zohledněno.

4.4.1 *Interakce VLD a MHD*

Jedním z nejmarkantnějších příkladů této problematiky je interakce VLD a MHD na území měst (obsluhovaném MHD). Může se zde objevit vliv na provozní charakteristiky VLD (prodloužení jízdních dob při obsluze zastávek na území města), tak i na MHD jako takovou (např. nasazení linkových autobusů v MHD, pokud by byly linky propojeny). Zároveň je potřeba zmínit, že zde jsou záměrně zanedbány administrativní požadavky současné praxe na oddělené řešení MHD a VLD, které jsou nově zaštitěny IDS. Oddělení VLD a MHD, navržené v této práci, je uvažováno pouze z pohledu celkové technologické racionalizace, z přepravního hlediska se oba subsystémy VHOD doplňují.

4.4.2 *Interakce různých dopravních oborů*

Důležitým technologickým aspektem je i možnost přestupu na jiný subsystém z hlediska dopravních oborů (autobus, metro, segregovaná tramvajová doprava, městská a příměstská železnice). Ve většině případů v této práci tato odlišnost není zahrnuta a proces přemístění je sledován jednotně. Odlišnosti jsou v návrzích vyjádřeny především různou cestovní (úsekovou) rychlostí dosahovanou jednotlivými dopravními obory na příslušných linkách, popř. úpravou nebo doplněním omezujících podmínek navržených úloh, jakožto dílčích částí navrženého postupu. Jedná se např. o zákaz propojení autobusové a železniční linky ve společném přestupním uzlu.

4.4.3 *Předpoklady řešení*

Posouzení interakce VLD a MHD je možné principiálně založit na vztahu (1.1) uvedeném v kapitole 1.4.4 (30) pro kmenový a doplňkový systém, které autor disertační práce pojímá jako příslušné subsystémy MHD a VLD.

V případě železniční dopravy je tento problém autorem práce spatřován jako odlišný, neboť je zajíždění vlaků z regionálních oblastí do centra (na hlavní nebo jinou přepravně významnou železniční stanici) předpokládáno. Analogie je zde pouze v zavedení pásmové obsluhy (regionální vlak na městském úseku projíždí, městský zastavuje), popř. v zavedení tangenciálních městských železničních linek.

Řešení této problematiky autor práce navrhuje s využitím principů logistické technologie gateway (dvoustupňové). Úlohu je možno rozdělit na dva samostatné problémy - na lokaci přestupních uzlů (terminálů) a na stanovení linek a formy provozu na nich.

Lokaci přestupních uzlů autor práce pojímá jako problém diskrétní optimalizace, neboť v reálném území je možné nalézt jen omezený počet míst, kde lze přestupní uzly vybudovat. Je to podmíněno především rozsahem stávající dopravní infrastruktury (i v případě možnosti infrastrukturních změn je počet možných umístění uzlu limitován), ale také jinými prostorovými podmínkami.

Jako druhý problém je sledována tvorba JŘ, resp. způsobu vedení linek (např. rozhodnutí o jejich ukončení na okraji města).

V obou případech autor práce navrhuje pro řešení metody úplného prohledávání variant, byť s přijetím různých zjednodušujících předpokladů.

Jedním takovým předpokladem je, že linka VLD vstupující do města bude zapojena do přestupního uzlu nejbližší přímé trase této linky. Zaústění jednotlivých linek do města bude zpracováno postupně, nikoli společně. Tím, je významně redukován rozsah úlohy, jak je patrné z tab. 3.1.

Podstata řešení obou problémů spočívá v aplikaci jednotlivých variant do modelu a jejich následném vyhodnocení, např. pomocí celkové doby strávené všemi cestujícími v IDS. Jednotlivé varianty ale mohou být posouzeny i pomocí řady dalších technologických nebo ekonomických ukazatelů, zjištěných na základě výstupů modelu. Výběr varianty s nejlepšími parametry je proveden multikriteriální analýzou.

4.5 Stanovení podsítí vhodných pro provoz kmenových linek

Podsítě vhodné pro provoz kmenových linek je možné získat na základě přiřazení dopravních proudů do sítě zmíněném v kapitole 4.3.5 a po konsolidaci přepravních proudů uvedené v kapitole 4.3.6.

4.5.1 Postup stanovení podsítě pro provoz kmenových linek

Podstatou je stanovení parametrů, kterými mají kmenové linky disponovat. Jedná se zejména o požadovaný interval a o kapacitu nasazených vozidel. Tyto hodnoty se mohou i v rámci jednoho regionu lišit a je potřebné je stanovit s přihlédnutím k lokálním podmínkám, především k finančním a provozním možnostem subjektů participujících na provozu IDS.

Svou roli zde hraje i dopravní mód, resp. obsaditelnost dopravního prostředku, kterým má být budoucí kmenová linka obsluhována. Hraniční hodnoty kritérií je vhodné dimenzovat

podle dopravního prostředku s nejmenší obsaditelností, ale stále vhodného pro provoz na kmenových linkách. Významnou roli zde může sehrát i přihlédnutí ke stanoveným hodnotám standardů dopravní obslužnosti, jsou-li v řešeném území stanoveny.

Přijaté řešení je rovněž potřebné korigovat podle skutečné obsaditelnosti disponibilních dopravních prostředků (resp. podle požadavků na její efektivní využití). Na druhou stranu může dojít i k případu, kdy jsou na linku nasazena vozidla o menší kapacitě (např. místo vlaků autobusy), pokud se to prokáže jako účelné nebo aspoň přijatelné z ekonomického i kvalitativního hlediska.

Na základě takto stanovených předpokladů je možné podle vztahu (4.11) získat minimální velikost přepravního proudu cestujících pro zařazení daného úseku do podsítě vhodné pro provoz kmenových linek.

$$D_p^{\min} = \frac{60 \cdot T \cdot C \cdot k_{mC}}{I} \quad [\text{cestujících/výpočetní období}] \quad (4.11)$$

kde je: D_p^{\min} požadovaná velikost přepravního proudu v minimálním řezu (na nejméně zatíženém úseku kmenové linky) pro zařazení do podsítě vhodné pro provoz kmenových linek [cestujících/výpočetní období],

- T délka výpočetního období pro modelování [h],
- C průměrná obsaditelnost nasazených vozidel [cestujících],
- k_{mC} koeficient minimálně požadovaného využití obsaditelnosti vozidel [-],
- I požadovaný interval na dané lince [min].

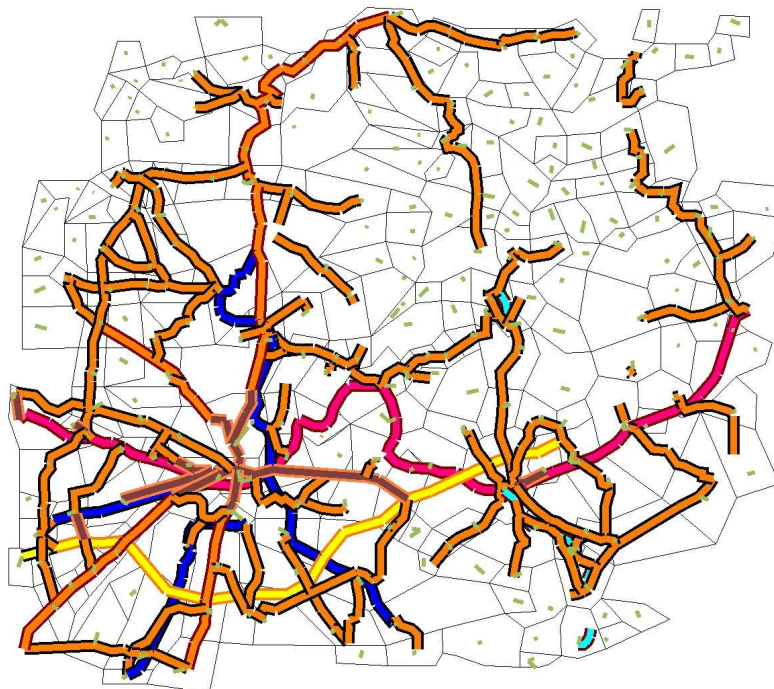
Úseky dopravní sítě, které podmínku (4.11) splňují, je možné identifikovat a vybrat pomocí sestaveného SQL dotazu, kterým software OmniTRANS dokáže dané úseky hromadně označit a tím umožnit jejich vyčlenění jakožto kmenové sítě.

Případná nesouvislost takto vzniklého podgrafu dopravní sítě je přípustná, zejména v případě polycentrických struktur IDS, kdy mohou kolem každé spádové obce (města) skutečně vznikat nepropojené systémy kmenových linek, popř. kdy se v území vyskytují specifické přepravní relace se silnější přepravní poptávkou. V dalším kroku řešení je ale nutné jednotlivé oddělené komponenty podsítě kmenových linek řešit samostatně.

Z hlediska dalších částí práce ve většině případů nelze očekávat, že by došlo k poklesu přepravní poptávky vlivem přiřazení této poptávky na skutečné linky. Na kmenových linkách lze naopak očekávat zvýšení této poptávky, neboť prozatím nepřijížené relace z míst mimo kmenové linky budou připojovány právě na tyto kmenové linky vytvořením přestupních vazeb.

4.5.2 Přepravní okrsky a úpravy atraktivitu a disponibility na podsíti kmenových linek

Vzhledem k vytvoření podsítě vhodné pro provoz kmenových linek podle velikosti přepravního proudu cestujících je zřejmé, že touto sítí nebudou obslouženy všechny okrsky (zóny) v dopravním modelu, resp. všechny obce nebo části území z pohledu reality (obr. 4.5).

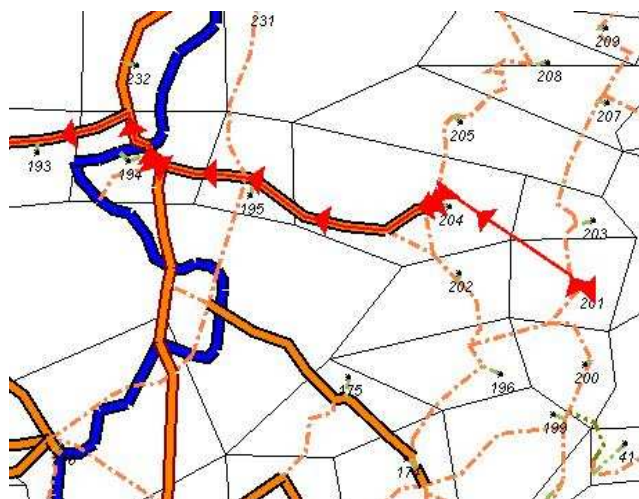


Obr. 4.5: Vybraná podsít' vhodná pro provoz kmenových linek v obecné dopravní síti.

Zdroj: Autor s využitím sw. OmniTRANS.

Nyní je nutné učinit předpoklad, že v tomto kroku se bude uvažovat pouze podmnožina přepravních okrsků ležících na takto vzniklé síti. Přepravní proudy směřující mimo kmenovou síť jsou připočteny k atraktivitě toho okrsku, kde kmenovou síť opouštějí nebo naopak k disponibilitě toho okrsku, kde tyto proudy na kmenovou dopravní síť vstupují. V příkladu na obr. 4.6 je pro přepravní proud ij jako zdrojový nově stanoven okrsek 204 namísto původního okrsku 201, který je mimo podsít' kmenových linek.

V prostředí OmniTRANS toto musí být činěno manuálně pomocí zásahů operátora s využitím funkce nejkratších cest. Tento úkon musí být proveden pro všechny nenulové prvky matice směřování přepravních proudů, kde zdrojový nebo cílový okrsek (případně oba) neleží na podsíti kmenových linek. Vzhledem k využití podpory funkce hledání nejkratších cest lze předpokládat, že je možno tento krok naprogramovat a automatizovat. To je ale nad rámec disertační práce, neboť pro úspěšnou realizaci tohoto kroku je třeba pokročilá znalost programování.



Obr. 4.6: Změny disponibility a atraktivity z hlediska podsítě kmenových linek.

Zdroj: Autor s využitím sw. OmniTRANS.

4.5.3 Konsolidace podsítě kmenových linek

Zpětná vazba musí být získána v každé části modelu. Spolu s tím je potřebné zjištěnou podsít' vhodnou pro provoz kmenových linek konsolidovat. Jedná se zejména o odstranění dílčích nedostatků vzniklých obecností modelu vzhledem k lokálním, obecně těžko definovatelným specifikům. Změny jsou vyjádřeny zařazením jiných úseků dopravní sítě do podsítě vhodné pro provoz kmenových linek, než které byly stanoveny výpočtem. Z těchto důvodů je tato konsolidace ponechána na manuální činnosti obsluhujícího technologa, neboť zde může docházet k velkému množství situací, často spojených s místními specifiky, která lze jen ztěžka algoritmovat a matematicky vyjádřit.

Pro konsolidaci jsou k dispozici zejm. tyto nástroje:

- a) odstranění úseku,
- b) vložení úseku,
- c) náhrada jednoho úseku jiným,
- d) sloučení paralelních úseků (z hlediska přepravní relace).

V případě činěných změn je nutno stanovit dva rozhodující faktory – přípustnou odchylku od původní trasy vedené po původním úseku nebo úsecích a velikost přepravního proudu cestujících mezi zkoumanou trasou a nově obsluhovanou částí dopravní sítě (zjistitelná z OD matice).

Ověření se provádí pomocí analýzy dopadů na celkové provozně-technologické charakteristiky IDS, které jsou zjištěny při vložení změny do modelu a opětovném zjištění dílčích i celkových provozně-technologických charakteristik systému na základě nově

modelovaných podmínek. Tím je zajištěno i posouzení z hlediska přesunu cestujících, kterým se prodloužením trasy kmenové linky vzdálí cíl jejich cesty. Toto posouzení musí proběhnout v kontextu celku, tj. pomocí součtu cestovních vzdáleností všech cestujících v systému.

Toto kritérium je matematicky snadno vyjádřitelné jako skalární součin distanční (vzdálenostní) matice a matice směřování přepravních proudů (vypočtené metodou AON), jak je uvedeno ve vztahu (4.13).

$$L_{celk.}^P = \sum_i^{n_o^p} \sum_j^{n_o^p} d_{ij} \cdot c_{ij} \quad [\text{km}] \quad (4.13)$$

kde je: $L_{celk.}^P$ součet vzdáleností vykonaných všemi cestujícími v systému po kmenové síti [km],

n_o^p celkový počet okrsků (zón) v modelu, které leží na nově vzniklé kmenové síti [počet zón],

d_{ij} velikost přepravního proudu mezi okrsky i a j [cest./výp. období],

c_{ij} nejkratší vzdálenost mezi těžišti okrsků i a j v modelu [km].

Volnost rozhodování dopravního technologa při konsolidaci kmenových linek je ale nutné také limitovat stanovením podmínek, týkajících se především celkové délky podsítě nebo celkového času stráveného všemi cestujícími v IDS. Záleží vždy na konkrétní situaci a místních podmínkách v řešeném území, jaký rozsah změn je přípustný.

Stejně tak je nutno provést konsolidaci i z hlediska zvoleného dopravního módu, pokud je danou přepravní relaci možno v rámci VHOD obsloužit paralelně více obory dopravy. To vychází z předpokladu modelovat obecnou přepravní síť již s parametry potenciaálních linek a nikoli jako pouhých přepravních směrů, neboť skutečné rozhodování cestujících je výrazně ovlivněno i charakteristikami dopravní nabídky (např. délka cesty, ujetá vzdálenost).

4.6 Lokace přestupních uzlů

Problém je potřebné řešit ve dvou fázích: jednak stanovit počet a vedení kmenových linek, resp. jejich vytvoření přestupních vazeb mezi nimi. Ve fázi druhé je pak potřebné stanovit místa pro lokaci přestupních uzlů pro styk kmenového a doplňkového systému. Lokaci přestupních uzlů je možné považovat za analogii lokace logistického centra, tzv. hubu v logistické technologii Hub-and-Spoke. Přirozeně zde ale musí být dodržena veškerá specifika osobní dopravy oproti dopravě nákladní. Cílem je tak vytvořit quasi-kanálovou

strukturu kmenových linek, zmíněnou v kapitole 3.1, která bude doplněna linkami doplňkovými.

4.6.1 Lokace přestupních uzlů mezi kmenovými linkami

Potencionální umístění přestupních uzlů mezi kmenovými linkami je patrné už z výsledku konstrukce podsítě úseků vhodných pro provoz kmenových linek po jejich konsolidaci.

Přestupním uzlem se mohou stát všechny vrcholy (uzly) této podsítě:

- a) jejichž stupeň je vyšší jak 2,
- b) pokud je stupeň vrcholu rovný 2 a dochází zde ke styku více dopravních oborů v rámci VHOD nebo v rámci jednoho oboru dochází k výrazné změně technických podmínek (styk elektrifikovaného a neelektrifikovaného úseku železniční tratě, zásadní změna parametrů pozemní komunikace apod.),
- c) pokud je stupeň vrcholu rovný 2 a dochází zde k výraznému zlomu v počtu přepravovaných cestujících.

Pro případ c) je nutno stanovit další předpoklady, neboť zde vzniká rozhodovací problém, zda-li je tento přestup účelný. Každý přestup navíc vnímají cestující zpravidla negativně. Další komplikace mohou nastat, když se přestup má odehrávat mezi vozidly, která cestující principiálně považují za stejná (např. dva autobusy se stejnou obsaditelností). Ovšem ani z hlediska provozních podmínek nemusí být přestup výhodný (např. jízda vozidla s velkou kapacitou po slabě zatíženém úseku může být výhodnější, než náklady na provoz menšího vozidla a jeho personál, které by bylo drženo navíc a nasazováno pouze z důvodů přiblížení nabízené kapacity skutečné dopravní poptávce. Matematicky se jedná o nalezení vztahu stran nerovnice (4.14).

$$C_L^{bp} \quad ? \quad C_{L1}^p + C_{L2}^p \quad [\text{peněžních jednotek}] \quad (4.14)$$

kde: C_L^{bp} jsou náklady na provoz sloučené linky bez přestupu [peněžních jednotek],

C_{L1}^p jsou náklady na provoz první linky vedené do zkoumaného přestupního uzlu [peněžních jednotek],

C_{L2}^p jsou náklady na provoz druhé linky vedené do zkoumaného přestupního uzlu [peněžních jednotek].

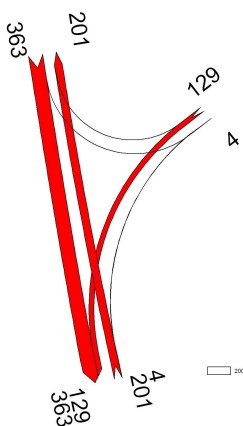
Alternativně je možné tuto situaci řešit změnou (prodloužením) intervalu na části linky s nižší přepravní poptávkou. Možností ukončení části spojů ve sledovaném uzlu je do řešení implementována technologie pásmové obsluhy, která je v praxi často využívána.

Naopak někdy hledisko omezení zmíněných typů přestupů je realizováno i v případech různých podmínek na dopravní cestě v případě b). Typickým praktickým příkladem prodloužení jízdy vlaků v nezávislé trakci i na elektrifikované úseky železničních tratí, kdy je takto naplněno pokrytí přepravní poptávky a dílčí eliminace přestupů, než striktní naplňování technických požadavků v co nejvyšší míře.

Takto je vytipována konečná množina přestupních uzlů v území, které musejí být podrobeny analýze. Označení přestupní uzel je v tomto případě zavedeno přeneseně, neboť se jedná především o místa větvení dopravní sítě, která disponují potenciálem pro vznik skutečného přestupního uzlu (např. dostatečným prostorem pro vybudování nástupních hran, v případě železnice dostatečnou kapacitou dopravních kolejí s nástupní hranou). Pokud je to ale účelné, reálně mohou být zavedeny linky průjezdné.

4.6.2 Analýza přepravních proudů procházejících uzly dopravní sítě

V každém takovém uzlu je možné analyzovat velikosti a směry jimi procházejících přepravních proudů cestujících. Nástrojem pro toto zjištění je např. využití Editoru křižovatek softwaru OmniTRANS, který analýzu tohoto směřování umožňuje ve formě kartogramů zatížení křižovatek nebo odpovídajících výstupních sestav (obr. 4.7). V tomto případě jsou tyto výstupy prohlášeny za grafická posouzení uzlů.



Obr. 4.7 Analýza směřování přepravních proudů v (přestupním) uzlu podsítě kmenových linek. Zdroj: Autor s využitím softwaru OmniTRANS.

4.6.3 Transformace přepravního proudu na úsekové linky

Podstata dalšího řešení spočívá v transformaci přepravního proudu přiřazeného na jednotlivé úseky dopravní sítě na úsekové linky a v jejich následném propojování v přestupních uzlech.

Transformace vychází z cílového stavu, ke kterému má směřovat aplikace ITJŘ. Vyjma vlastního periodického JŘ se jedná i o koordinaci linek na společném úseku (13), kdy spoje různých linek vytvoří na společném úseku požadovaný (následný) interval.

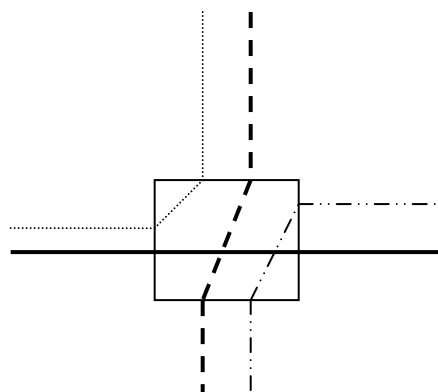
V závislosti na místních podmínkách je potřebné stanovit požadovaný následný interval spojů na společných úsecích. Principiálně se vychází z myšlenky základního intervalu v příslušném subsystému IDS. Interval je potřebné stanovit v několika přípustných úrovních podle počtu přepravených cestujících řešeným úsekem (v silnějším přepravním směru). Každý úsek kmenové dopravní sítě je tak vyjma počtu přepravených cestujících za zvolené období ohodnocen i požadovaným intervalem úsekové linky.

4.6.4 Propojování úsekových linek v přestupních uzlech

V přestupních uzlech je propojování řešeno až na úrovni jednotlivých spojů. Propojeny jsou takové spoje, které jsou stejného dopravního oboru a při tom mají podobné přepravní charakteristiky (především zvolný typ vozidla).

Zde nastává podobnost s teorií tvorby vlaků, resp. s jednou z extrémních variant jejího řešení – úsekovou variantou.

Spojování linek v uzlu je možné jako plné (všechny spoje projíždějí uzlem stejně) nebo jako střídavé, např. za účelem rozvětvení linky na dvě s polovičním intervalem (obr. 4.8). Zároveň je doplněna možnost jednotlivé linky v uzlu ukončit (při rozdílu v požadovaných intervalech na jednotlivých zaústěných úsecích). V reálných podmínkách je ukončení spojů podmíněno i dalšími podmínkami (jako např. existence odstavné plochy pro vozidla), které rovněž musejí být vzaty v potaz.



Obr. 4.8: Střídavé vedení průchozích linek stejné skupiny přestupním uzlem.

Zdroj: Autor.

Pro řešení problému propojování spojů autor disertační práce navrhuje úlohu lineárního programování, obecně formulovanou vztahy (4.15 – 4.17). V případě, že je to účelné, omezující podmínky mohou být modifikovány (rozepsány) tak, aby mohly být dodrženy požadavky a omezení dané zjištěnou přepravní poptávkou nebo jinými místními podmínkami.

$$\max \sum_{i \in I_r} \sum_{j \in I_r} \frac{d_{ij} \cdot x_{ij}}{n_{ij}^v} + 0 \cdot \sum_{j \in I_r} y_j \quad (4.15)$$

za podmínek:

$$x_{ij} \leq n_{ij}^v \quad \text{pro všechna } i, j \in I_r, \quad (4.16)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} + y_j = n_j^s \quad \text{pro všechna } j \in I_r, \quad (4.16)$$

$$x_{ij}, y_j \in N + \{0\} \quad \text{pro všechna } i, j \in I_r, \quad (4.17)$$

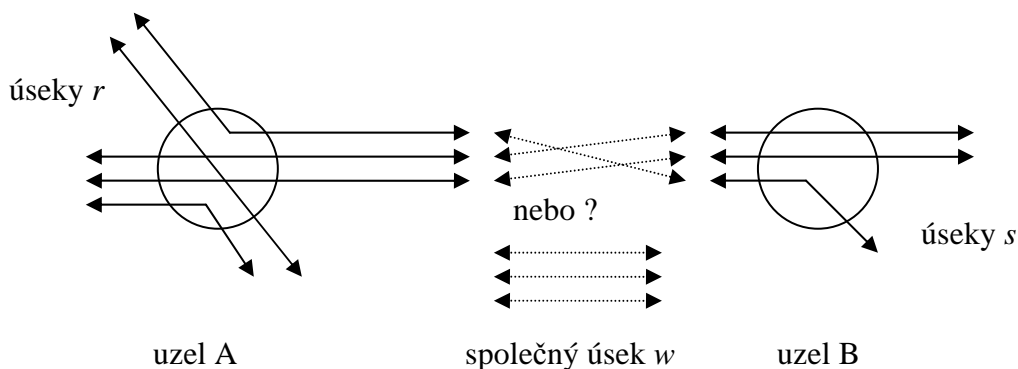
- kde je: x_{ij} počet spojů propojujících úseky ij zaústěné do přestupního uzlu [počet spojů],
 y_j počet spojů z/do zaústěného úseku j [počet spojů],
 I_r množina úseků zaústěných do přestupního uzlu,
 i, j pořadové indexy pro zaústěné úseky do přestupního uzlu [-],
 d_{ij} intenzita přepravního proudu cestujících mezi úseky ij [počet cestujících/čas],
 n_{ij}^v přepravní proud cestujících mezi zaústěnými úseky ij vyjádřený v počtu spojů [počet spojů/čas],
 n_j^s přepravní proud cestujících na zaústěném úseku j vyjádřený v počtu spojů [počet spojů/čas],
 N množina (obor) přirozených čísel.

Z formálního hlediska je uvádění proměnných y_j ve vztahu pro výpočet hodnoty účelové funkce irelevantní. Tato část účelové funkce je uvedena z důvodů názornosti modelu, neboť z technologického hlediska je znalost celého vektoru proměnných $(x_1, \dots, x_n, y_1, \dots, y_m)$ pro výsledné řešení nezbytná, proměnné y_j vyjadřují počty spojů ukončených v řešeném uzlu (podle jednotlivých zaústěných směrů).

Výsledkem tohoto modelu je plán propojení (provázení) linek v každém přestupním uzlu s ohledem na minimalizaci počtu přestupů podle vypočtených přepravních proudů. Počet přepravených cestujících je zjištěn z přiřazení přepravních proudů v dopravní síti bez linek. Mezi navržený počet spojů v daném směru je pak rozdělen aritmetickým průměrem. V dopravní praxi lze navíc očekávat, že v případě existence dvou variant spojení (přímého a s přestupem) dojde u cestujících k preferenci přímých spojů. Vliv tohoto faktu je možné stanovit průzkumem v místních podmínkách a s pomocí LOGIT modelu, jakožto modelu volby variant. Takto je možno upravit vstupy do řešení a získat modifikované výsledky.

4.6.5 Propojování spojů na úsecích

Stanovení propojení spojů v přestupních uzlech ale není ještě vypovídající o možnostech propojení těchto linek na společných úsecích. Situace je znázorněna na obr. 4.9.



Obr. 4.9: Příklad problematiky propojování spojů na společném úseku.

Zdroj: Autor.

Zde se v podstatě jedná o tvorbu linek v širším kontextu. Problém je opět řešitelný pomocí analýzy přepravních proudů cestujících s využitím modelu. Podstatou řešení je nalezení podmnožin nejkratších cest, které procházejí příslušnými úseky.

V prostředí software OmniTRANS je pro každý úsek stanovena matice všech nejkratších cest procházejících daným úsekem. Pokud zkoumaný úsek na nejkratší cestě (podle zadaných kritérií) mezi okrsky i a j leží, pak příslušná proměnná nabývá hodnoty 1,

pokud nikoli, hodnota je rovna 0. To platí při použití metody assignmentu (přiřazení přepravních proudů na úseky dopravní sítě) AON, tj. All-or-Nothing. V případě stochastických typů assignmentu hodnoty prvků této matice náleží do intervalu $\langle 0,1 \rangle$. Použití těchto metod však není pro řešení uvedené v této práci doporučeno.

Z technického hlediska se jedná o příkaz třídy *OtSelectedLinkCube* (matice pro zvolený úsek), který je potřebné implementovat do podprogramu pro přiřazení přepravních proudů metodou AON. Tato implementace (tučně uvedené příkazy) je na obr. 4.10 obecně provedena pro příklad zvolených úseků č. 484, 489 a 1457.

```
assign = OtTraffic.new
assign.assignMethod = AON
assign.load = [1,10,1,1,22,1]
assign.selectedLinks = [[484,1], [484,2], [489,1], [489,2], [1457,1], [1457,2]]
assign.selectedLinkMatrix = [1,10,1,1,23,1]
assign.junctions = true
assign.execute
```

Obr. 4.10: Podprogram (job) software OmniTRANS pro traffic assignment metodou AON.

Zdroj: Autor s využitím software OmniTRANS.

Z pohledu obecného řešení je důležité porovnání těchto matic pro všechny úseky, na které je možné v následujícím (předchozím) přestupním uzlu linku (spoj) propojit s maticí pro úsek, odkud tato linka (spoj) do přestupního uzlu vstupuje.

Pokud je hodnota bivalentní proměnné na příslušné pozici ij rovna 1 ve všech třech maticích procházejících nejkratších cest pro předchozí (r), společný (w) i následující (s) úsek dopravní sítě, potom je zkoumaná posloupnost úseků rws součástí nejkratší cesty mezi okrsky i a j . Takto je potřebné prověřit všechny nejkratší cesty procházející zvolenou posloupností úseků dopravní sítě.

Pro získání relevantních informací o nejkratších cestách je ještě nutné stanovit počet cestujících využívajících každou zjištěnou nejkratší cestu. Tyto hodnoty jsou umístěny v matici směřování přepravních proudů (v OD matici).

Pro řešení problému propojování linek na úsecích dopravní sítě autor disertační práce navrhuje metodu úplného prohledávání variant pro úlohy malého rozsahu nebo řešení pomocí úlohy lineárního programování pro úlohy většího rozsahu.

V metodě úplného prohledávání variant jsou nejprve stanoveny veškeré přípustné možnosti propojení linek na společném úseku (ilustrováno na obr. 4.9) a následně je pro každý spoj podle vztahu (4.18) vypočten počet cestujících, kteří dané spojení využijí

bez přestupu. Počet cestujících bez přestupu ve zkoumané variantě je následně sumarizován podle vztahu (4.19). Vybrána je pak varianta s největším počtem nepřestupujících cestujících. Je tím sledována heuristická redukce počtu přestupů v IDS.

$$n_{cs}^{rws} = \sum_i \sum_j \frac{s_{ij} \cdot d_{ij}}{n_{rws}} \quad [\text{počet cestujících/čas}], \quad (4.18)$$

kde je: n_{cs}^{rws} počet cestujících bez přestupu ve sledované relaci rws [počet cestujících/čas],
 i, j zdrojové a cílové přepravní okrsky v modelovaném území,
 s_{ij} bivalentní proměnná určující, zda-li posloupnost úseků rws je v celé své délce součástí nejkratší cesty z okrsku i do okrsku j [-],
 d_{ij} přepravní proud cestujících mezi okrsky i a j [počet cestujících/čas],
 n_{rws} počet propojených spojů ve sledované relaci rws [počet spojů].

$$N_c^Z = \sum_{rws \in Z} n_{cs}^{rws} \quad [\text{počet cestujících/čas}] \quad (4.19)$$

kde je: N_c^Z celkový počet cestujících za čas bez přestupu ve variantě provázení spojů Z [počet cestujících/čas],

n_{cs}^{rws} počet cestujících bez přestupu ve sledované relaci rws [počet cestujících/čas].

$$N_c = \max\{N_c^{Z1}, N_c^{Z2}, \dots, N_c^{Zn}\} \quad (4.20)$$

kde je: N_c maximalizovaný počet cest počet cestujících za čas bez přestupu [počet cestujících/čas],

N_c^Z celkový počet cestujících za čas bez přestupu ve variantě provázení spojů Z^k [počet cestujících/čas],

k pořadový index variant provázení spojů mezi sousedními přestupními uzly,

n celkový počet variant provázení spojů mezi sousedními přestupními uzly.

Uvedený postup je možné realizovat s počítačovou podporou založenou na zpracování v programu MS Excel nebo odpovídajícím softwaru. Vstupy jsou získány z tabulkových výstupních sestav softwaru OmniTRANS. Případně je možné postup naprogramovat v jazyku OJL a výpočet realizovat přímo v prostředí OmniTRANS.

Úloha lineárního programování navržená pro hledání řešení problémů většího rozsahu vychází ze stejných principů jako postup řešení při úplném prohledávání variant. Sleduje se zde zvýšení uživatelského komfortu při provádění výpočtu a redukce počtu jednotlivých

variant konstruovaných uživatelem. Autor disertační práce navrhuje formulaci úlohy uvedenou ve vztazích (4.21 – 4.26).

$$\max \sum_r \sum_s \frac{d_{rws}^*}{n_{sp}^{rws*}} \cdot x_{rws} \quad (4.21)$$

za podmínek:

$$x_{rws} \leq n_{sp}^{rws*} \quad (4.22)$$

$$\sum_r x_{rws} + x_{su} = n_{sp}^s \quad \forall s \in S' \quad (4.23)$$

$$\sum_s x_{rws} + x_{ru} = n_{sp}^r \quad \forall r \in R' \quad (4.24)$$

$$\sum_r \sum_s x_{rws} = n_{sp}^w \quad (4.25)$$

$$x_{rws} \in N + \{0\} \quad (4.26)$$

kde je:

d_{rws}^* počet cestujících, pro které je posloupnost úseků rws součástí jejich nejkratší cesty [počet cestujících/čas],

n_{sp}^{rws*} maximální počet spojů propojitelných v relaci rws [počet spojů/čas],

x_{rws} počet zavedených spojů v relaci rws [počet spojů/čas],

x_{ru}, x_{su} jsou počty spojů ze směrů r nebo s ukončených v řešené oblasti nebo řešené se oblasti dotýkajících [počet spojů/čas],

n_{sp}^r, n_{sp}^s počet spojů na vstupním (výstupním) úseku r (s) [počet spojů/čas],

S', R' množiny vstupních (r) a výstupních (s) úseků do/z řešeného území,

n_{sp}^w počet spojů procházejících úsekem w a propojených před a současně za tento úsek w [počet spojů/čas],

N množina (obor) přirozených čísel.

Výsledek této úlohy poskytuje řešení způsobu provázení linek na společném úseku mezi dvěma přestupními uzly v kontextu jejich dalšího pokračování do zbytku dopravní sítě.

4.6.6 Další postup linkotvorby

Po zjištění racionalizovaného způsobu provázení spojů mezi každými dvěma sousedními přestupními uzly v dopravní síti je nyní potřeba stanovit celosíťové (konkrétní) linky, resp. jejich návrhy. Z pohledu teorie grafů se jedná o spojování úsekových linek do tahů v dopravní síti s cílem sestavit tahy (linky) o maximální možné délce. Počet spojů

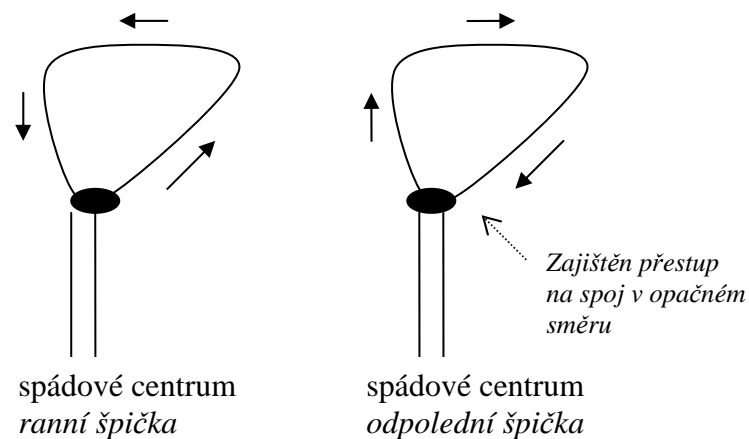
připadající na zvolenou linku je roven minimálnímu počtu spojů na propojených úsekových linkách. Sestavování tahů končí ve chvíli, kdy jsou všechny úsekové linky (spoje) propojeny do některé z linek navržených k realizaci.

4.6.7 Neomezená délka celosíťových linek, význam smyčkových linek

Předchozí kroky řešení uvedené v kap. 4.6.3 – 4.6.6 ovšem neposkytují kompletní výsledek linkotvorby. Tímto způsobem pospojované úseky vykazují určité nedokonalosti. K nejvýraznějším z nich, vyjma možných odchylek způsobených použitím heuristických výpočetních metod, patří především „neomezená“ délka pospojovaných linek a případná tvorba smyček. Z praktického pohledu technologie a řízení dopravy je ovšem velmi obtížné rozhodnout, zda-li je toto nutně na závalu.

Stanovení limitu délky linek může napomoci optimalizaci dopravy z hlediska aplikace periodických JŘ nebo potřeby vozidel a jejich osádek. V některých případech ovšem může docházet naopak k problémům. Zavedení další linky pro obsluhu nepokryté poptávky může vyžadovat vyšší náklady než prodloužení linky původní, může být navýšen počet přestupů atd. Zkrátka dopady se mohou projevit téměř ve všech technologicko-provozních a ekonomických ukazatelích. Posouzení je ale nutné činit v celkovém kontextu provozní situace a okrajových podmínek v řešené oblasti, které mohou být velmi individuální.

Stejně tak smyčkový provoz ve formě okružních a polookružních linek se v řadě praktických případů osvědčuje (např. MHD Jihlava). V regionálních oblastech spatřuje autor disertační práce zavedení okružních linek jako jeden z možných nástrojů k racionalizaci dopravní obslužnosti (snížení počtu ujetých km v kontextu zachování rozsahu dopravní obslužnosti). Příklad využití je na obr. 4.11, pokud jízdní doba na polookružní části linky odpovídá hodnotě intervalu na lince, popř. jeho násobku. Řešení je možné dále různě upravovat a rozvíjet.



Obr. 4.11: Příklad využití polookružních linek v regionální dopravě.

Zdroj: Autor.

Uvedený příklad má demonstrovat nutnost zásahů dopravního technologa do řešení pro nalezení racionálního výsledku a zároveň možné kontraproduktivní působení dalších omezujících podmínek.

V případě, že smyčkové linky nejsou žádoucí je možné toto propojení zakázat změnou podmínek úlohy lineárního programování (uvedené v kap. 4.6.3) tak, že je toto propojení zakázáno v tom přestupním uzlu, kde se od trasy původně smyčkové linky odděluje úsek s nejvyšší intenzitou přepravního proudu cestujících. Následně jsou provedeny kroky uvedené v kap. 4.6.3 – 4.6.6 znovu a je tím tak vytvořen iterativní algoritmus, který se opakuje do doby, než jsou smyčky z jednotlivých linek odstraněny.

4.6.8 Disponibilní počty vozidel, zvláštní požadavky na dopravní obslužnost

Optimalizační podmínku disponibilního počtu vozidel je možno nepřímou vyjádřit v požadovaném intervalu pro jednotlivé typy linek. Pokud dojde i přesto k nesouladu mezi potřebným a disponibilním počtem vozidel, je možné provést korekci navrženého řešení.

Stejný postup je možné využít i v případě, kdy je potřebné do řešení vložit další (předem známé nebo přímo zadané) linky. Vyskytnout se to může např. v případě velkých průmyslových zón nebo obchodních center, kdy do plánování dopravní obslužnosti mohou vstoupit i přímo vyjádřené konkrétní požadavky takto obsluhovaných subjektů.

Vhodný způsob pro řešení obou těchto problémů spatřuje autor disertační práce v metodě přidělování volných kapacit linkám (13), zmíněné v kapitole 3.1.1. Vstupní množina linek bude tvořena linkami zjištěnými v předchozích krocích, popř. linkami vytvořenými na základě zvláštních požadavků.

Optimalizace přiřazení disponibilních vozidel na jednotlivé linky je naprosto klíčovým bodem z hlediska dopravců, resp. koordinátorů IDS (pokud přidělují dopravcům jednotlivé spoje a nikoli celé linky, v čemž lze také spatřovat prostor k systémové optimalizaci provozu celého IDS).

Rozdíl oproti dosavadnímu řešení problému touto metodou spočívá v tom, že množina vstupních linek již byla vybrána předem a tím výrazně redukována na základě přepravního potenciálu jednotlivých tras v rámci dopravního modelu. Lze tak očekávat úspory v rozsahu řešení této úlohy lineárního programování a tím i její snazší formulaci a nižší výpočetní náročnost (je odstraněna řada přepravně slabších relací pro pokrytí doplňkovými linkami). Zároveň takto předem vybrané linky vytvářejí předpoklad pro lepší reflexi skutečných přepravních požadavků a místních specifik.

Účelová funkce (4.27) představuje poměrnou rezervu míst ve vozidle y (resp. převis nabídnutých míst ke skutečnému počtu cestujících). Tato hodnota je maximalizována.

Díky podmínce (4.28) je zajištěno, že na trasu bude vypraven minimálně takový počet míst, kolik cestujících přepravu daným úsekem požaduje (zjištěno z modelu). Překročení celkového disponibilního počtu vozidel pak zabraňuje podmínka (4.29).

$$\max \quad z = y \quad (4.27)$$

za podmínek:

$$\sum_{L: h \in L} x_L \geq f(h)y \quad (4.28)$$

$$\sum_{L \in L_0} \frac{x_L o_L}{60k} \leq n \quad (4.29)$$

Vysvětlení symbolů je v teoretické části v kapitole 3.1.1 u vztahů (3.4 – 3.6).

Zvláštní pozornost je nutno věnovat celkovému počtu disponibilních vozidel, který v tomto případě musí být snížen o vozidla určená pro doplňkové linky. Jak již bylo uvedeno v kapitole 3.1.1 u teoretického odvození této metody, výpočet poskytne přiřazení vždy všech disponibilních vozidel (resp. míst v nich) na linky. Přiřazení je navíc provedeno poměrově, což nemusí být vždy účelné.

Řešení je tak nutné korigovat – nejprve je potřebné posoudit z výsledků vypočtené intervaly na jednotlivých linkách. Pokud jsou tyto intervaly obecně příliš krátké, je nutné snížit počet všech disponibilních vozidel (přeřadit je do množiny vozidel určených pro doplňkové linky). Pokud je situace opačná, je nutné disponibilní počet vozidel navýšit. Vždy ovšem musí být při změnách počtu vozidel postupováno v kontextu praktických

okolností (např. možnost zahrnutí dalšího dopravce do IDS, motivace dopravců k nákupu těchto vozidel dotacemi nebo uzavřením smlouvy na dostatečně dlouhou dobu, aby bylo možné tato vozidla financovat i z cizích zdrojů).

Tento postup je potřebné provádět v krocích (iteracích) tak dlouho, než bude nalezena žádaná rovnováha mezi intervalem na jednotlivých linkách a disponibilním počtem vozidel pro kmenové linky. Zároveň je nutno korigovat počty vozidel (intervaly) na jednotlivých linkách vzájemně tak, aby dodatečná kapacitní rezerva nebyla přidělena poměrově, ale tam, kde to bude účelné např. z hlediska zmenšení součtu časových dostupností pro všechny cesty v systému. Jeho matematické vyjádření je v kapitole 3.1.2 ve vztahu (3.7). Prakticky se jedná o skalární součin časové distanční matice a matice směřování přepravních proudů (OD matice), které jsou vygenerovány softwarovým nástrojem OmniTRANS.

4.7 Doplnková rozhodnutí při tvorbě linkového vedení

Je také potřebné učinit některá doplnková rozhodnutí, jako např. mají-li být linky vedeny spádovým centrem diagonálně nebo radiálně. To je podmíněno celou řadou dalších faktorů, jako např.: kapacitou centrálních přestupních uzlů (železničních stanic a autobusových nádraží), konfigurací dopravní sítě nebo jinými provozními požadavky (např. nutnost tankování pohonných hmot v areálu dopravce v sídelním městě). V rámci této konsolidace mohou vlivem místních podmínek vzniknout nejen úpravy linek, ale i linky zcela nové. Tyto je potřeba do vstupní množiny linek doplnit a dále posoudit (viz kap. 4.6.8).

Autor disertační práce si je vědom nutnosti dalších posouzení i z dalších ekonomických nebo provozních hledisek. Navržený postup je možné na vhodných místech modifikovat nebo rozšířit, pokud budou tyto úpravy ověřeny. Jelikož je ale toto více záležitostí obecné linkotvorby nebo tvorby dopravních sítí, než umístování přestupních uzlů (tudíž nad rámec rozsahu disertační práce), autor práce se tak zaměřuje pouze na stěžejní a neopomenutelné části postupu.

4.8 ITJŘ na kmenových linkách

Aplikaci ITJŘ je rovněž potřeba věnovat zvláštní pozornost, neboť potřeba dodržování tzv. systémových jízdních dob mezi jednotlivými přestupními uzly (uzly ITJŘ) mnohdy vyvolává požadavky na další úpravy jak v technologické, tak často dokonce i v infrastrukturní (stavební) rovině. Pro další postup řešení lokace přestupních uzlů je nyní nutné korigovat prozatím dosažené řešení tak, aby takového způsobu organizace dopravního provozu mohlo

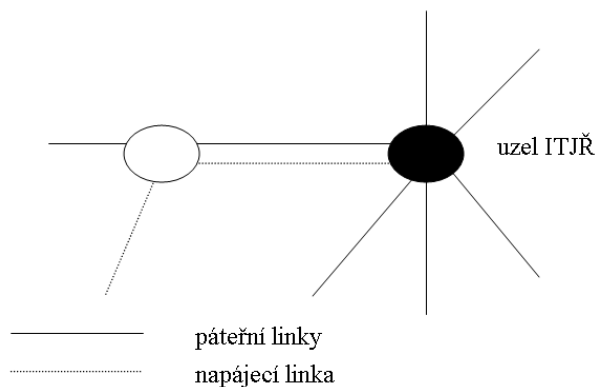
být dosaženo. Respektive je potřebné na podkladě reálné situace v řešené oblasti stanovit předpoklady a požadavky na budoucí provoz.

Dosažení systémových jízdních dob je možné zpravidla zkrácením hranových časů, které lze realizovat:

- v podobě úprav na dopravní infrastrukturu (které vedou ke zvýšení rychlosti),
- nasazením dopravních prostředků s vyšší konstrukční rychlostí (pokud je toto zvýšení rychlosti možné i z ostatních hledisek),
- technologickými opatřeními jako např. zkrácením pobytů v zastávkách a stanicích,
- změnou tras linek,
- úprav v linkovém vedení.

Opatření ve stavební oblasti s sebou nesou velké finanční náklady, vliv technologických opatření je na druhé straně dosti limitovaný. Změna tras linek do jisté míry vzdaluje dopravní obsluhu přepravního poptávce, eventuelně u kolejových oborů dopravy je prakticky nemožná.

Největší možnosti ke zvážení pro docílení aplikace ITJŘ tak zde představují úpravy v linkovém vedení. Jedná se především o možnost prodloužení doplňkových linek do uzlu ITJŘ (obr. 4.12), tak aby byla zajištěna koordinace se všemi linkami zapojenými do uzlu.



Obr. 4.12: Ilustrace zapojení doplňkové linky do uzlu ITJŘ.

Zdroj: Autor.

Toto řešení zvyšuje komfort pro cestující, snižuje počet přestupů a eventuelně umožňuje propojení doplňkové linky s některou další linkou do diametrálně vedené linky průjezdné přes uzel ITJŘ. Negativem je nárůst počtu ujetých kilometrů, možné zvýšení potřeby vozidel a v případě kolejové dopravy může docházet ke kapacitním problémům jak traťového úseku s prodlouženou linkou, tak s kapacitou stanice tvořící uzel ITJŘ (počet kolejí s nástupištní hranou).

Díky těmto předpokladům, resp. často omezujícím podmínkám a úzkým hrdlům, je mnohdy nutné přijímat v podstatě kompromisní řešení, alespoň v krátkém časovém horizontu, než je možné přistoupit k realizaci opatření v oblasti dopravní infrastruktury. Z toho důvodu je pro každý případ, často ovlivněný místními specifiky, provést důkladnou ad hoc analýzu z tohoto úhlu pohledu. Podrobnější informace o přístupu k tvorbě ITJŘ je možné získat např. ve zdrojích (1), (20) a (21).

4.9 Aplikace sestavených kmenových linek do modelu a konsolidace návrhu

Vhodnost zavedení sestavených kmenových linek je nutné opět ověřit počítačovým modelem.

Do softwaru OmniTRANS musejí být nyní sestavené linky vloženy. Nyní již ne jako obecná dopravní síť, ale již jako skutečné linky. Každou linku je tak nutné definovat všemi potřebnými atributy (52), jakými jsou – dopravní obor, frekvence (interval mezi spoji), trasa linky, jízdní doby mezi zastávkami, doby pobytů v zastávkách a konečně číslo nebo název linky. V případě některých atributů (např. jízdní doby) je možné využít jejich automatické kalkulace podle údajů o dopravní síti, resp. o příslušném dopravním oboru.

Stejně tak je nutno zadat atributy jednotlivých přestupních uzlů. Jedná se především o parametry přestupu mezi každými dvěma linkami. Softwarový nástroj dobu potřebnou na přestup kalkuluje podle vztahu (3.15), uvedeném v kapitole 3.3.5. Jedná se o konstantní a poměrnou časovou přírážku odvozenou podle intervalu následující linky. Konstantní přírážka c vyjadřuje dobu potřebnou na dosažení nástupní hrany, odkud odjíždí spoj navazující linky (např. čas na průchod od autobusové zastávky vestibulem železniční stanice, nalezení nástupiště a chůze k vlaku). Druhá poměrná přírážka $k \cdot I_j$ vyjadřuje čas čekání na navazující spoj a je nutné jí věnovat zvláštní pozornost.

Zde vstupuje do popředí zájmu, zda-li jsou spoje (resp. jejich příjezdy a odjezdy) koordinovány či nikoli. V případě, že JŘ navazujících spojů koordinovány vůbec nejsou, je vhodné tuto přírážku stanovit ve výši poloviny intervalu navazujícího spoje. Ta nejlépe vystihuje situaci naprosto náhodných příjezdů do přestupního uzlu. Na druhou stranu, zejm. v podmínkách ITJŘ existuje velká snaha o koordinaci přípojných spojů v přestupním bodě a je to dokonce jedna z hlavních předností ITJŘ. V tomto případě by nastavení přírážky do výše poloviny intervalu vnášelo do modelu chybu.

Dobu potřebnou na přestup je tak nutno vyjádřit pomocí údajů uvedených např. v současném JŘ (délka časového úseku mezi příjezdem prvního a odjezdem druhého

spoje), popř. není-li konkrétní JŘ znám, je nutno volit konstantní přírážku v předpokládané výšší doby potřebné na přestup v místních podmínkách. Tuto dobu ale nelze zaměňovat s tzv. přestupními dobami, které vyjadřují minimální čas potřebný na přestup z hlediska velikosti stanice a není zde zohledněn JŘ. V případě, že se doba na přestup u jednotlivých spojů podle JŘ liší, je nutné dobu čekání vyjádřit jako průměr dob potřebných na přestup u jednotlivých spojů.

Na takto definované síti kmenových linek je potřebné ověřit, zda-li modelový provoz vykazuje požadované parametry. Tyto parametry je možné ověřit např. pomocí součtu cestovních dob všech cestujících nebo pomocí údajů o počtu přestupujících.

Je potřebné očekávat, že součet cestovních dob všech cestujících na kmenových linkách v IDS bude vyšší než při modelování bez zavedených linek. Na vině jsou právě přírážky na přestup, resp. na první příchod cestujících k zastávce VHOD.

V modelu je zároveň v rámci další konsolidace dopravním technologem možné odstranit vzniklé problémy nebo předpokládané konflikty zjištěné při porovnání se znalostí místní reality. Upravené řešení je možné opět otestovat pomocí technologicko-provozních ukazatelů vystupujících z modelu.

4.10 Přestupní uzly mezi kmenovými a doplňkovými linkami

Na úvod tohoto řešení je potřebné zmínit technologické důvody, proč mají být síť VHOD hierarchizovány.

4.10.1 Důvody hierarchizování dopravních sítí

Při tvorbě hierarchie dopravních sítí se sleduje (16) zejm.:

- převedení větší části přepravních proudů cestujících na linky kapacitních, rychlých a životnímu prostředí příznivých oborů dopravy,
- odstranění souběhů na společných úsecích mezi kmenovými linkami a méně vytíženými linkami doplňkovými z území s menší přepravní poptávkou,
- častější obsluhu cílových oblastí s menší přepravní poptávkou za zachování provozních nákladů (uspořené náklady na souběžnou jízdu je možno vynaložit na rozšíření rozsahu dopravní obslužnosti v cílových oblastech),
- optimalizace nákladů díky nasazení vozidel s přiměřenou obsaditelností,
- optimalizace dopravní obslužnosti jako celku (vytvoření logické struktury linkového vedení, aplikace ITJŘ).

4.10.2 Podmínky pro lokaci přestupních uzlů mezi kmenovými a doplňkovými linkami

Lokace přestupních uzlů mezi kmenovými a doplňkovými linkami je diskrétní problém, neboť kmenová linka má konečný počet zastávek, popř. konečný počet míst, kde je zastávku možno vybudovat. Potenciální přestupní uzel mezi kmenovou a doplňkovou linkou musí dále splňovat i některé další podmínky:

- pro vytvoření uzlu ITJŘ musí jízdní doba na hranách dopravní sítě (přílehlých úsecích) odpovídat požadavkům plynoucích z případné aplikace ITJŘ,
- potenciaální přestupní uzel musí mít dostatečně kvalitní napojení na dopravní sítě těch dopravních oborů, jejichž linky zde mají být propojeny (např. napojení železniční stanice na síť pozemních komunikací), popř. musí zde existovat reálná možnost dostavby těchto napojení,
- přestupní uzel musí také disponovat dostatečnou kapacitou (počet kolejí s nástupištní hranou, počet stanišť autobusů),
- přestupní uzel musí mít dostatečné vybavení (např. městský mobiliář, doplňkové služby) odpovídající velikosti přepravního proudu cestujících – ke snazšímu vyjádření tohoto faktu lze využít i navrženou klasifikaci přestupních uzlů (a požadavky na ně).

Vzhledem k těmto podmínkám se tak lokace přestupních uzlů stává problémem diskrétní optimalizace s konečným počtem variant jejich umístění. Situace je navíc v případě železniční dopravy podtržena existující dopravní infrastrukturou, kdy je struktura takové dopravní sítě díky nutnosti velkých nákladů na její úpravy v podstatě neměnná.

Možnosti optimalizace tak zde lze spatřovat hlavně při určení, která varianta umístění přestupního uzlu vykazuje nejvýhodnější parametry.

Při umístění přestupního uzlu mohou nastat v podstatě tři typy situací, kdy je místo v území obsluhováno:

- a) pouze jednou doplňkovou linkou vedoucí do přiděleného přestupního uzlu,
- b) více doplňkovými linkami vedoucími do různých přestupních uzlů též kmenové linky,
- c) více doplňkovými linkami od různých kmenových linek, popř. doplňkovou linkou spojující dvě nebo více kmenových linek.

Doplňkové linky je možné rozdělit na dva druhy – plnohodnotné a neplnohodnotné z pohledu časové koordinace. U plnohodnotných linek jsou v přestupním uzlu – uzlu ITJŘ vytvořeny časově koordinované přípojové vazby do obou (všech) směrů. Při částečné koordinaci, kdy je v přestupním uzlu zabezpečena přípojová vazba pouze do jednoho

(zpravidla přepravně silnějšího) směru z důvodů nedodržení systémových jízdních dob na příslušných úsecích dopravní sítě obsluhovaných kmenovou linkou.

V případě b), tj. v případě zřízení dvou neplnohodnotných doplňkových linek do dvou přestupních uzlů, může dojít k racionalizaci jízdních dob jednotlivých cestujících a zároveň k eliminaci problémů s časově nekoordinovanou přestupní vazbou v jednom přepravním směru.

I u tzv. neplnohodnotných doplňkových linek hraje klíčovou roli velikost přepravního proudu cestujících, neboť to souvisí s velikostí intervalu aplikovaného na těchto linkách. Ten musí být vždy roven nebo větší intervalu kmenové linky (jeho násobek), pokud doplňková linka neobsahuje vlastní zdroje nebo cíle přepravní poptávky, které by toto mohly ovlivnit. V některých případech neplnohodnotných doplňkových linek je možné uvažovat s redukovaným intervalem (např. polovičním).

4.10.3 Množina potenciálních přestupních uzlů mezi kmenovými a doplňkovými linkami

Jako přestupní uzel mohou být stanoveny všechny uzly dopravní sítě, jejichž stupeň je roven 2 nebo vyšší. Jelikož se v pohledu dopravní sítě jedná většinou o křižovatky komunikací, musí zde zároveň existovat předpoklad zřízení přestupní zastávky nebo přestupního uzlu.

Jedná se zde především o požadavky vzešlé z ITJŘ, kdy jízdní doba na úsecích dopravní sítě (hranový čas) musí být celočíselným násobkem poloviny periody ITJŘ proto, aby bylo možno zajistit časovou koordinaci spojů všech zahrnutých doplňkových a kmenových linek.

Pokud doplňkové linky nejsou koordinovány s dalšími linkami v území nebo nejsou-li kladeny zvýšené požadavky na optimalizaci počtu vozidel obsluhujících doplňkové linky, jedná se především o jízdní doby na kmenových linkách. Pokud je potřebné sledovat výše uvedené požadavky i u doplňkových linek, musí být tzv. systémových jízdních dob dosaženo jak u kmenových, tak u doplňkových linek.

V případě, že podmínka týkající se jízdních dob na hranách dopravní sítě dodržena není, lze přestup tvořit buď pouze s jednosměrnou časovou koordinací (v silnějším přepravním směru, kdy cestující ve slabším přepravním směru jsou postiženi časovou ztrátou) a nebo zavedením více (dvojnásobku) spojů doplňkové linky, kdy je koordinace s každým ze směrů kmenové linky řešena samostatně vlastním spojem. Druhé řešení je vhodné zejména v těch případech, pokud je mezi doplňkovou linkou a oběma směry linky kmenové přibližně stejně velký přepravní proud cestujících a navíc jejich počet v každém směru zajišťuje

potřebné využití obsaditelnosti doplňkové linky. V některých případech může dojít i k rozpadu periodického (taktového) JŘ na doplňkové lince, pokud příjezdy spojů linky kmenové v obou směrech nejsou symetrické. Zde je zapotřebí rozhodnout, zda-li i jednosměrná časová koordinace přípojových vazeb je v místních podmínkách možná a za jakých podmínek či nikoli.

Pro exaktní podporu tohoto rozhodnutí byl stanoven následující předpoklad, tkvící v porovnání velikostí přepravních proudů cestujících v daných směrech násobených časovou ztrátou (4.30).

$$t_Z^{Sr} = t_{cr} \cdot \sum_{i \in NL_s} \sum_{j \in SM_r} d_{ij} + t_{crz} \cdot \sum_{i \in NL_s} \sum_{j \in SM_r} d_{ji} \quad [\text{min}] \quad (4.30)$$

kde je: t_Z^{Sr} celková časová ztráta cestujících v r -tém směru kmenové dopravy [min],
 t_{cr} jednotková časová ztráta cestujících v r -tém směru kmenové dopravy [min],
 t_{crz} jednotková časová ztráta cestujících z r -tého směru kmenové dopravy [min],
 d_{ij} velikost přepravního proudu cestujících mezi obcemi i a j [cestujících/čas],
 NL_s množina obcí ležících na s -té doplňkové lince,
 SM_r množina obcí dostupných z NL_s směrem r kmenové dopravy.

Pro každý přestupní uzel a pro každou do něj zaústěnou linku tak vzniká soustava tolika vztahů, kolik směrů kmenové dopravy je do uzlu zaústěno. Jejich součtem je hodnota celkové ztráty všech cestujících z dané doplňkové linky přestupujících na linku nebo linky kmenové, jak je uvedeno ve vztahu (4.31).

$$T_Z^l = \sum_{r \in S^*} t_Z^{Sr} \quad [\text{min}] \quad (4.31)$$

kde je: T_Z^l celková časová ztráta cestujících přestupujících z doplňkové linky l na kmenovou dopravu [min],
 t_Z^{Sr} celková časová ztráta cestujících přestupujících z linky l na kmenovou dopravu ve směru Sr [min],
 S^* množina směrů kmenové dopravy zaústěných do řešeného přestupního uzlu.

Kromě toho je ale u přestupních míst nutno sledovat i jiné dopravně-technologické aspekty, jako např.:

- prostorové poměry v uzlu,
- délka pěších přesunů (např. z autobusové zastávky na železniční nástupiště),
- bezpečnost cestujících (jak z hlediska trestných činů, tak z hlediska možnosti vzniku kolizí s dopravními prostředky),
- náročnost přesunu (převýšení, počet schodů atd.),
- kryté prostory pro vyčkávání cestujících a jejich kapacita,
- rozsah doplňkových služeb.

Neméně důležité jsou ale i vybrané technologické aspekty důležité z pohledu dopravce, jako např.:

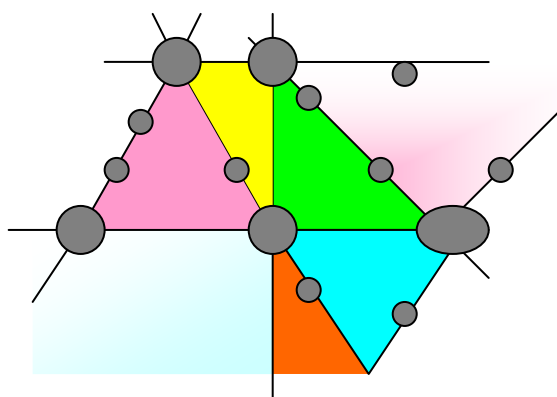
- možnost odstavování nebo předjíždění dopravních prostředků,
- zázemí pro vyčkávající osádky dopravních prostředků,
- možnosti pro drobnou údržbu a úklid dopravních prostředků,
- napojení uzlu na dopravní síť dostatečně kvalitními úseky (zejm. u pozemních komunikací).

Takové komplexní hodnocení potenciálního přestupního uzlu je důležité pro celkovou úspěšnou funkci IDS. Pokud např. bude přestupní uzel díky špatnému osvětlení ve večerních a nočních hodinách vyvolávat v cestujících pocit ohrožení na bezpečnosti nebo pokud budou cestující při čekání vystavováni nepříznivým povětrnostním podmínkám, hrozí na dané přepravní relaci nebo relacích odmítnutí VHOD jako celku. Neméně důležité je v přestupních uzlech i vytváření podmínek pro pohyb osob s omezenou schopností a orientace ve všech aspektech, které jsou s vytvářením bezbariérově přístupné dopravy spojeny.

4.11 Dekompozice modelu

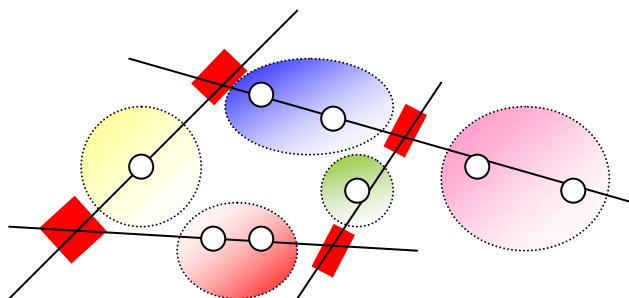
K množině potencionálních přestupních uzlů stanovených v kapitole 4.10 je nyní potřebné stanovit linkové vedení doplňkových linek a tím tak vlastně určit výslednou podobu lokace přestupních uzlů IDS. Jelikož řešení celé sítě IDS současně je díky velkému počtu vzájemných variant zpravidla výpočetně náročné, je území IDS dekomponováno do dílčích sektorů (modelů). Dílčí úlohy jsou snáze řešitelné i přes suboptimální výsledky. Pokud to výpočetní kapacity a rozsah řešeného území dovolí, je přirozeně možné uvedený princip řešení aplikovat i na celé území IDS bez jeho dělení.

Princip dekompozice území IDS vychází z faktu, že delší cesty v území jsou realizovány zpravidla kmenovým systémem a tudíž lze obsluhu regionálních oblastí řešit doplňkovými linkami optimalizovanými pouze vzhledem ke kmenovému subsystému a nikoli k celému IDS, čímž je výpočetní náročnost snížena. Území je rozděleno na sektory určené jednotlivými kmenovými linkami, jak je patrné z příkladu na obr. 4.13.



Obr. 4.13: Dekompozice modelu podle kmenových linek. Zdroj: Autor.

V rámci zjednodušení výpočtu (redukce počtu proměnných) jsou v řešeném území stanoveny mikrozóny. Každá mikrozóna představuje úsek linky, ve kterém mají zastávky nácestný charakter, jak je patrné z obr. 4.14. Je tak možné snížit počet proměnných v modelu a tím zmenšit jeho rozsah.



Obr. 4.14 Mikrozóny na trasách možných doplňkových linek. Zdroj: Autor.

Takto zavedené mikrozóny mohou být dvojího druhu z hlediska omezujících podmínek následného řešení úlohou lineárního programování. Je potřebné odlišit vrcholy – obsluhovaná místa – ležící v uzlech (na obr. 4.14 označeny červenými obdélníčky) a místa na úsecích dopravní sítě (elipsy na obr. 4.14).

4.12 Sestava doplňkových linek

Autorem disertační práce navrhovaný model sestavy doplňkových linek principiálně vychází z modelu distribučního logistického systému publikovaném v (58). Odlišnost spočívá v konstrukci nákladů, ale i v odlišnosti pojetí dopravní obsluhy mezi nákladní dopravou (izolované jízdy k jednotlivým zákazníkům) a osobní (linkovou) dopravou. Jako optimalizační kritérium (účelová funkce) je v tomto modelu stanoven počet cestujících, kteří cestou přes zvolený přestupní uzel s kmenovou sítí budou přepraveni po nejkratší cestě. Poklad pro toto stanovení opět poskytuje matice *OtSelectedLinkCube* softwaru OmniTRANS (bližší vysvětlení v kapitole 4.6.5) a matice směřování přepravních proudů v modelu bez zavedených linek, viz vztah (4.32).

$$n_{c^*}^{ip} = \sum_{j \in J - J_A} n_{ij} \cdot s_{ijp} \quad [\text{cestujících/čas}] \quad (4.32)$$

kde je: $n_{c^*}^{ip}$ počet cestujících z/do místa j přes uzel p [cestujících/čas],

n_{ij} počet cestujících na přepravní relaci ij v území [cestujících/čas],

s_{ijp} bivalentní proměnná určující, zda-li nejkratší cesta mezi místy ij prochází přestupním uzlem p [-],

J_A podmnožina zdrojů/cílů cest ležících v řešeném sektoru, podmnožina J .

Matematický zápis modelu lineárního programování je ve vztazích (4.33 – 4.37).

$$\max \sum_{i \in J_A} \sum_{p \in P} n_{c^*}^{ip} \cdot x_{ip} \quad (4.33)$$

za podmínek:

$$\sum_{p \in P} x_{ip} = 1 \quad \text{pro každé } i \in J_N \quad (4.34)$$

$$1 \leq \sum_{p \in P} x_{ip} \leq l_i \quad \text{pro každé } i \in J_U \quad (4.35)$$

$$x_{ip} \leq x_{i^*p} \quad \text{pro každé } i \in J_A, \quad (4.36)$$

$$x_{ip} \in \{0, 1\} \quad (4.37)$$

kde je: x_{ip} bivalentní proměnná určující, zda-li mikrozóna i bude obsluhována přes přestupní uzel p [-],

l_i maximální počet zaústěných linek do uzlu dopravní sítě s větším stupněm než 2, stanoveno s přihlédnutím k místním podmínkám [počet linek],

x_{i^*p} jedna z ostatních bivalentních proměnných x_{ip} určující, zda-li předchůdce vrcholu i na nejkratší cestě z přestupního uzlu p je obsluhován přes přestupní uzel p [-].

J_N množina mikrozón v řešeném území, jejich obsluha má nácestný charakter,

J_U množina uzlů dopravní sítě v řešeném sektoru, jejichž stupeň je větší než 2,

J_A množina mikrozón v řešeném sektoru.

Úlohu lze modifikovat i pro další kriteria, jako např. celkový počet ujetých kilometrů. Jelikož se nyní již jedná o multukriteriální rozhodování, je potřebné stanovit váhy jednotlivých kriterií (např. převod na peněžní vyjádření). Příklad úpravy účelové funkce pro optimalizaci počtu cestujících přepravených nejkratší cestou a celkového počtu ujetých kilometrů je ve vztahu (4.38).

$$\max \sum_{i \in J_A} \sum_{p \in P} (\alpha n_{c^*}^{ip} - \beta n_s L_{ii^*}) x_{ip} \quad [\text{peněžních jednotek/čas}] \quad (4.38)$$

kde je: α „cena“ za cestujícího přepraveného nejkratší cestou [peněž. j./cestující],

β cena za ujetý kilometr [peněž. j./km] – náklad, proto uvažováno záporně,

n_s počet potřebných spojů (v závislosti na velikosti přepravního proudu cestujících a podle zvoleného provozního konceptu).

Oproti sestavě kmenových linek tato část řešení a takto formulovaná úloha poskytuje pouze podklady pro stanovení prostorového vedení doplňkových linek a není zde řešena podoba JŘ. Vychází to z předpokladu, že dopravní obsluha na doplňkových linkách má v regionálních oblastech zpravidla dávkový charakter a v mnoha praktických případech je tvořena několika málo izolovanými spoji (nejedná se tedy o ITJŘ). Autor disertační práce ale navrhuje některé prvky ITJŘ (jako např. odjezd ve stejnou minutu v dané hodiny) zachovat i zde. Je tím dosaženo jednak přívětivější formy pro cestující a zároveň zachována možnost časové koordinace spojů v přestupních uzlech mezi doplňkovým a kmenovým subsystémem VHOD.

Model je založen na předpokladu, že každá obec (nebo mikrozóna) bude obsluhována pouze jednou doplňkovou linkou, vyjma obcí v uzlech dopravní sítě. Z toho důvodu je potřebné i ošetřit případy, kdy má být společným úsekem vedeno v opodstatněných případech více souběžných linek. Na těchto úsecích musí být upravena podmínka (4.35). Opodstatněnost této úpravy je potřebné prokázat na základě analýzy přiřazení přepravních proudů cestujících na úseky dopravní sítě v kontextu využití možné kapacity (obsaditelnosti disponibilních vozidel) doplňkových linek.

Řešení vyjadřuje, která mikrozóna bude obsluhována z kterého přestupního uzlu. Nyní je ještě potřebné stanovit vlastní linkové vedení. Jelikož v regionálních oblastech se mohou setkávat velmi různé požadavky, je toto ponecháno opět na vůli zpracovávajícího technologa.

Autor disertační práce doporučuje se vyhledání nejkratších cest z nejbližších obsluhovaných míst od přestupního uzlu (lze využít podporu software OmniTRANS) a tímto stanovit potřebné tahy v grafu dopravní sítě (linky). V případě, že dojde k rozvětvení linky, je nutno v závislosti na analýze přepravních proudů cestujících rozhodnout, zda-li má vzniknout větší počet spojů na společném úseku, další přestupní uzel v oblasti nebo zda-li problém vyřešit střídavou dopravní obsluhou.

V jiném případě, kdy je potřebné obsloužit všechna přidělená místa nebo jejich vymezenou část pouze jedním určeným spojem s možností vratných jízd v určitých úsecích, je možno využít sestavu minimální kostry grafu (Kruskalův algoritmus). Toto řešení podporuje i progresivní technologie VHOD, jakou je např. Anrufbus, kdy vozidlo obsluhuje pouze vybrané zastávky (s objednanou přepravou). Situace však vždy úzce závisí na lokálních podmínkách, počtu a druhu disponibilních vozidel, velikosti přepravních proudů cestujících, standardech kvality (byly-li stanoveny) nebo požadavcích autorit odpovědných za dopravní obslužnost. Z toho důvodu je toto řešení v disertační práci ponecháno jen v doporučující rovině (i s ohledem na téma disertační práce).

Řešení má heuristický charakter a poskytuje suboptimální výsledek způsobený zanedbáním některých faktorů týkajících se přepravní poptávky (zanedbání cest uvnitř řešené oblasti apod.).

4.13 Provázání linek kmenového a doplňkového subsystému

Nově určené přestupní uzly mezi kmenovým a doplňkovým subsystémem je nyní ještě nutné posoudit a stanovit provázení linek těmito uzly. Mohou zde nastat tři typy situací:

- a) doplňková linka je v uzlu ukončena,
- b) doplňková linka je propojena s jinou doplňkovou linkou,
- c) vozidlo z doplňkové linky přechází na linku kmenovou (linky jsou propojeny nebo vzniká tzv. pásmová obsluha, kdy je část spojů v uzlu ukončena a část pokračuje do regionální oblasti, může takto docházet i k větvení kmenových linek).

Nejprve je třeba stanovit, které varianty jsou reálně proveditelné z hlediska dopravního oboru, obsaditelnosti a druhu vozidel, technologie práce, popř. intervalu. Následně je potřebné stanovit takový provozní koncept, který vykazuje minimální počet přestupujících cestujících a zároveň vyhoví technickým a technologickým požadavkům na provoz. Výstupy o počtu

přestupujících (v příslušné variantě) lze zjistit z výstupů software OmniTRANS (52), jedná se tak o iterativní postup.

4.14 Přepravní nerovnoměrnosti v modelu

Jak již bylo uvedeno v kapitole 3.3.4, v mnohých případech je nutno do řešení implementovat i přepravní nerovnoměrnosti vznikající zejm. v průběhu dne, týdne, ale někdy i roku (turisticky atraktivní regiony). Je potřebné zohlednit veškeré aspekty uvedené v kap. 3.3.4 a zejména vycházet ze základní struktury linkového vedení, aby případné změny v linkovém vedení nastávající se změnou časového období, nepůsobily nepřehledným dojmem pro cestující.

Pro řešení nerovnoměrností (obr. 3.3) tak jsou k dispozici tyto nástroje a opatření:

- a) **změna typu nasazovaných vozidel (z hlediska kapacity)** – vzniká potřeba řešení problematiky nasazování vozidel, nutnost vlastnictví většího počtu vozidel o různých kapacitách, která mohou být mimo příslušné období nevyužita. Případně lze využít vozidel z jiných v toto období neprovozovaných (doplňkových) linek. Pro cestující je zachován rozsah dopravní obslužnosti,
- b) **změna intervalu** – možnost stejné struktury vozidel (její unifikace), změna celkového cestovního času pro cestující (složky doby čekání na první zastávce, resp. doby čekání při přestupu), nutnost komplexního řešení i v kontextu ostatních linek (zachování přípojových vazeb),
- c) **náhrada kmenové linky prodloužením doplňkové linky nebo linek** – v opodstatněných případech může být efektivní náhrada kmenové některou z linek doplňkových, popř. jejich kombinací. Je tím sledováno řešení nesouladu v kapacitách nasazených vozidel a zároveň eliminován počet přestupů pro cestující využívajících prodlouženou doplňkovou linku. Příkladem může být např. náhrada vlakového spoje prodlouženým spojem doplňkové autobusové linky, pokud provoz vlaku není v daném období efektivní (např. v noci),
- d) **zkrácení kmenové linky** – pokud je zachován provoz prodloužených doplňkových linek, jedná se vlastně o specifický příklad předchozí situace,
- e) **úpravy linkového vedení** (spojení částí více linek do jedné) – probíhá za účelem redukce počtu linek a s tím spojené optimalizace provozních charakteristik s respektem ke snaze o maximální pokrytí přepravních požadavků,
- f) **redukce provozu na lince (zastavení provozu)** – v případě poklesu přepravní poptávky vlivem přepravních nerovnoměrností může docházet k potřebě zastavení

provozu na řešené lince v daném období, popř. k redukcí intervalového provozu na ojedinělé spoje atd. Příkladem jsou linky pro obsluhu průmyslových závodů nebo průmyslových zón s velkým vlivem přepravních nerovnoměrností,

- g) komplexní změna konceptu linkového vedení** – je krajní variantou, spojenou s výraznou změnou v přepravních požadavcích vlivem přepravních nerovnoměrností (např. noční provoz). Cestující jsou nuceni akceptovat zcela odlišnou organizaci provozu, což může být nepřehledné, proto by se tyto rozdílné koncepty (např. denní a noční provoz) neměly příliš překrývat. Zároveň může toho být využito i v kontextu úspor z rozsahu provozu (např. absence elektrického nebo drážního subsystému veřejné dopravy v přepravně slabém období může znamenat úsporu zaměstnanců podílejících se na provozuschopnosti dopravní infrastruktury). Řešení tohoto opatření vyžaduje nejen úpravu řešení získaného pro jiná období, ale zcela nové řešení.

Navrhovaná opatření je vždy třeba variantně posoudit pomocí modelu se vstupními parametry odpovídajícími danému provoznímu období, vyhledat potencionální úzká místa nebo jiné provozní nedokonalosti, navrhnout opatření pro jejich eliminaci a s pomocí softwarové podpory vybrat variantu s nejlepšími charakteristikami. Tento postup se přiměřeně týká všech částí řešení.

4.15 Celkové ověření navrženého řešení

Jak bylo uvedeno v kapitole 4.1 a v souvisejících státech, řešení lokace přestupních uzlů probíhá ve více postupných krocích, tj. konstrukce kmenových linek a lokace přestupních uzlů mezi nimi, lokace přestupních uzlů mezi kmenovým a doplňkovým subsystémem, dekomponované řešení doplňkových linek v jednotlivých sektorech. Z toho důvodu je jako poslední krok řešení nutné sestojit kompletní model pro celý řešený IDS (resp. pro celou jeho řešenou část) zahrnující všechny kmenové linky, doplňkové linky a přestupní uzly, popř. i všechna časová období zavedená podle výkyvů v přepravní poptávce. Zde je tato situace modelována již na konkrétních linkách, s jejich konkrétními parametry (jízdní doby, časy potřebné na přestup atd.). Nejedná se tedy již o modelování pouhých proudů cestujících bez ohledu na linky, tak jak tomu bylo na počátku řešení. V prostředí OmniTRANS je pro toto řešení nutno využít funkcí pro podporu modelování VHOD (spojeny s procedurami třídy OtTransit).

V této části modelu je možné získat základní technologicko-provozní charakteristiky budoucího IDS (např. počet ujetých kilometrů na jednotlivých linkách, předpokládané počty

cestujících v těchto spojích, počty přestupujících na jednotlivých zastávkách atd.). Vybrané ukazatele je možné transformovat i do ekonomického vyjádření (pomocí jednicových nákladů a ocenění) a získat tak základní ekonomické kalkulace.

Na základě těchto charakteristik je zároveň možno zpracovat další potřebné optimalizační kroky, neřešené v rámci vlastního řešení. Jedná se např. o optimalizaci počtu a oběhů náležitostí (vozidel a jejich osádek), finální sestavu JŘ, reakci na specifické požadavky vzniklé v území (např. respektování začátků a konců směn v průmyslové zóně), koordinace časových poloh regionálních, dálkových ale i nákladních vlaků nebo také na zohlednění některých provozních specifik (jako např. dostupnost zázemí pro personál a vozidla). Tyto optimalizační kroky jsou neméně důležité pro celkové komplexní pojetí plánování dopravní obslužnosti formou IDS, nicméně již se vzdalují od nosného tématu disertační práce – lokace přestupních uzlů ve vazbě na linkotvorbu, proto zde nejsou detailně řešeny.

Přijatá opatření je pak nutné vložit do modelu (pokud to jeho makroskopické pojetí dovolí) a zopakovat celkové posouzení. Toto vede na další iterativní postup, na jehož cíli je suboptimální, ale přijatelné řešení v komplexním úhlu pohledu. Zároveň je obtížné obecně stanovit přípustné nebo cílové hodnoty optimalizačních kritérií. Ty musejí být stanoveny vždy s přihlédnutím k místním podmínkám, specifikům a možnostem.

4.16 Implementace navrženého postupu do software OmniTRANS

Překládaný postup byl autorem disertační práce sestaven tak, aby mohl posloužit jako metodický podklad pro jeho případnou algoritmizaci, programování a implementaci v softwaru pro dopravní modelování OmniTRANS. Úspěšnost této implementace je limitována především prostředky programovacího jazyka OmniTRANS Job Language (OJL), resp. jazyka Ruby, ze kterého OJL vychází. Zároveň by zde musely být vyvinuty procedury pro řešení úloh lineárního programování, resp. nalezeno propojení s některým s existujícími takto zaměřenými programy. Úspěšná automatizace je navíc podmíněna detailním výzkumem v oblasti kritériálních funkcí a přípustných hodnot řešení, spojeným s průzkumy v reálných podmínkách. Vlastní programování navrženého algoritmu není v současných podmínkách autora disertační práce možné (omezený přístup do zdrojového kódu a do OtClasses programovacího jazyka OJL). Algoritmus v grafické podobě ideového schématu je v příloze 1.

4.17 Dílčí závěr teoretické části návrhu řešení

Získané řešení (příloha 1) je suboptimální povahy získané heuristickým postupem. Tento postup je kombinací několika různých, ať už exaktních nebo heuristických výpočetních postupů a progresivních možností dopravního modelování s počítačovou podporou.

Cílem je ale řešení, které bude dosažitelné s přijatelnou výpočetní náročností a které bude reflektovat místní realitu řešeného území (díky využití dopravního modelování), která je mnohdy exaktně matematicky zachytitelná jen velmi obtížně.

Navržený postup se může jevit jako komplikovaný, nicméně s postupem času lze očekávat jeho zjednodušení. Toto zjednodušení bude spočívat především v postupně se rozšiřujícím uplatnění dopravních modelů v praxi a s tím spojené lepší dostupnosti potřebných dat. Postup pak může být realizován na existujícím modelu a tím dojde k odpadnutí časově náročných přípravných fází modelování. Lze očekávat, že ve většině těchto případů se bude jednat dokonce o využití přesnějších multimodálních modelů. Druhou oblast zjednodušení je možné spatřovat v případné implementaci aspoň některých kroků navrženého postupu do softwaru pro dopravní modelování jako jeho přednastavené funkce, pokud by byl navržený postup shledán jako užitečný. Tím by rovněž byla zvýšena uživatelská přívětivost a snížena náročnost provádění tohoto postupu řešení lokace přestupních uzlů IDS ve vazbě na linkotvorbu.

5 APLIKAČNÍ ČÁST IDS TÁBORSKÉ AGLOMERACE

Pro aplikační ověření navrženého postupu byl zvolen IDS v aglomeraci jihočeských měst Tábor, Sezimovo Ústí a Planá nad Lužnicí.

Volba právě tohoto IDS má následující důvody. Především se jedná o ochotu k podpoře a spolupráci ze strany integrovaných dopravců, ale také o fakt, že v roce 2009 proběhl v táborské aglomeraci podrobný přepravní průzkum MHD. Přestože jsou data o přepravní poptávce vyplývající z průzkumu MHD derivativního charakteru, jedná se i tak o velmi užitečné vstupní podklady pro řešení dopravním modelem. U jiných území ČR buď podobné průzkumy (navíc aktuální) zpracovány zpravidla nejsou nebo je často velmi obtížné tato data získat na potřebné úrovni podrobnosti.

Dalším aspektem pro volbu tohoto území je i fakt, že zde zatím nebyla ve velké míře provedena racionalizace linkového vedení s ohledem na integraci. Tudíž je zde spatřován volný prostor pro tuto racionalizaci, jejíž potřeba je navíc umocněna deklarovanou snahou o budoucí vytvoření krajského IDS v Jihočeském kraji, na kterou bude přirozeně třeba reagovat i v prostředí táborské aglomerace. Vzhledem k místním podmínkám se aplikační část zaměřuje na interakci veřejné linkové, železniční a městské hromadné dopravy na území IDS Tábor, ovšem s ohledem na budoucí podmínky, kdy je předpokládán růst počtu přepravených cestujících v rámci IDS na doklady navrhovaného IDS Jihočeského kraje.

5.1 Základní charakteristiky řešeného IDS

Provoz IDS v táborské aglomeraci byl zahájen roku 2003 a v současné podobě (2. etapa) existuje od 1. ledna 2004. IDS nemá koordinátora a je založen na spolupráci dopravců COMETT PLUS, s. r. o. (MHD a VLD) a ČD, a. s. (železniční doprava).

Území obsluhované IDS o rozloze cca 70 km² je tvořeno městy Tábor, Sezimovo Ústí a Planá nad Lužnicí a obcemi Košín, Slapy, Radimovice u Tábora, Radimovice u Želče a Dražičky. Celkový počet obyvatel v oblasti činí cca 48 tis.

Do IDS táborské aglomerace je integrováno 15 autobusových linek MHD, 22 linek VLD a 5 mezizastávkových úseků dvou železničních tratí (č. 202 a 220). (60)

Tarifně integrováno je pouze dlouhodobé časové předplatní jízdné MHD, kdy je území IDS za tímto účelem rozděleno do 3 tarifních pásem. Jízdné jednotlivé (v MHD časové bez pásmového členění, na ČD kilometrický tarif) integrováno není. Existuje ale možnost využití kombinace jednotlivého jízdného příslušného dopravce pro předměstský úsek

a integrovaného jízdného předplatního pro městský úsek. V roce 2008 bylo na integrovaný jízdní doklad přepraveno 82 tis. cestujících a tento ukazatel má stoupající tendenci.

5.2 Dopravní infrastruktura v modelu

Jako podklad pro tvorbu dopravního modelu IDS táboreské aglomerace byla do softwaru vložena veškerá dopravní infrastruktura v řešené oblasti vhodná pro provoz VHOD, vč. jejích parametrů (typ komunikace, délka úseku, cestovní nebo úseková rychlost). Rozsah náhradní dopravní sítě využívané v modelu je vyobrazen v příloze 2. Vložena tak byla síť vhodných pozemních komunikací a zároveň železničních tratí.

Cestovní rychlosti, jakožto základní charakteristika úseků, byly stanoveny na základě výpočtu z JŘ MHD po jednotlivých úsecích. Pro úseky mimo MHD, popř. pro úseky kde není možné zjistit cestovní rychlosti ze současných JŘ, byly tyto hodnoty stanoveny paušálně na 20 km/h (intravilán) a 30 km/h (mimo městské oblasti).

Územní rozsah náhradní dopravní sítě mírně přesahuje současný územní rozsah IDS táboreské aglomerace, aby mohl být model rozšířen i o navazující úseky regionálních linek a aby mohla být řešena interakce autobusových a železničních regionálních linek a MHD.

Vhodnost jednotlivých úseků dopravní sítě pro provoz VHOD byla posouzena podle stávajícího linkového vedení a z části podle odhadu autora disertační práce na základě osobní prohlídky území.

5.3 Přepravní okrsky

Řešené území je tvořeno 158 přepravními okrsky. Tyto představují zastávky MHD, stanice a zastávky železniční dopravy a obce (v případě VLD). Specifický typ okrsků představují tzv. hraniční okrsky, které jsou zdrojové/cílové pro cestující překračující hranice řešeného území. Bližší informace o funkci a řešení těchto okrsků byly podány v kapitole 4.3.1.

Jednotlivé zastávky MHD Tábor – Sezimovo Ústí – Planá nad Lužnicí reprezentuje 93 okrsků, dále je takto modelováno 7 vlakových zastávek a stanic (nad rámec IDS rozšířeno o Nasavrky, Balkovu Lhotu a Symslov) a také 40 příměstských obcí nebo jejich částí.

Fiktivních přepravních okrsků tvořících hranici mezi modelovaným a nemodelovaným územím pro zachycení přepravních vazeb překračujících hranici modelovaného IDS je celkem 18. Tyto okrsky vždy odpovídají významné lince (nebo skupině linek) překračující hranice IDS.

Atraktivita a disponibilita (atrakce a produkce) těchto okrsků byla stanovena na základě poskytnutých dat, opírajících se zejména o průzkum MHD, který byl proveden na jaře 2009.

5.4 Zdrojové a cílové přepravní proudy

Stanovení zdrojových a cílových přepravních proudů je prvním stupněm dopravního modelu. Toto stanovení je ovšem velmi úzce navázáno na rozsah poskytnutých vstupních podkladů a přepravních dat. Jejich zpracování probíhá mimo prostředí OmniTRANS v běžně dostupném tabulkovém editoru (Microsoft Excel).

Jak již bylo uvedeno, použitá data mají derivativní charakter podmíněný současným rozsahem dopravní nabídky. Data byla zjištěna průzkumem o rozsahu více jak 3000 dotazníků. Nutno ale podotknout, že tento průzkum byl organizován profesionální konzultační firmou na zakázku Svazu měst a obcí okresu Tábor s nasazením odpovídajícího počtu pracovníků. To jen potvrzuje, že není v podstatě možné z pozice doktoranda zajistit ještě rozsáhlejší vlastní průzkum za účelem zjištění apriorní přepravní poptávky a řešení musí být této situaci přizpůsobeno. Proto jsou některé kroky obecného řešení uvedené v kapitole 4.3.2 (např. vyhodnocení přepravních průzkumů pomocí regresní analýzy) nahrazeny jinými, vhodnými pro zpracování získaných podkladů.

Úskalím tohoto řešení není jenom zanedbání možnosti volby cestujících mezi VHOD a IAD, ale i některých specifik VHOD.

Získaná data byla korigována tak, aby se apriorním datům co nejvýše přiblížila. Byla redukována atraktivita a disponibilita okrsků (ve vzájemné kompenzaci), které vytvářejí důležité přestupní uzly (např. Autobusové nádraží) tak, aby cesty s přestupem nefigurovaly v modelu jako dvě, ale pouze jako cesta jediná. Bylo tak činěno s maximální snahou o zachování věrohodnosti modelu s respektem ke všem dostupným podkladům, nicméně i tak je nutné toto brát na úrovni „odborného odhadu“.

Další úprava se týká zaústění cest realizovaných pomocí VLD ve vnějších obcích. Atraktivita a disponibilita obcí v modelovaném území byla stanovena podle dat zveřejněných Českým statistickým úřadem a počet cestujících v tzv. hraničních zónách podle počtu tudy vedených spojů v JŘ 2008/2009 při spolupráci s dopravcem. I přes veškerou snahu při získávání vstupních dat tato data mají rovněž pouze orientační charakter. Je to způsobené především jejich rozsahem.

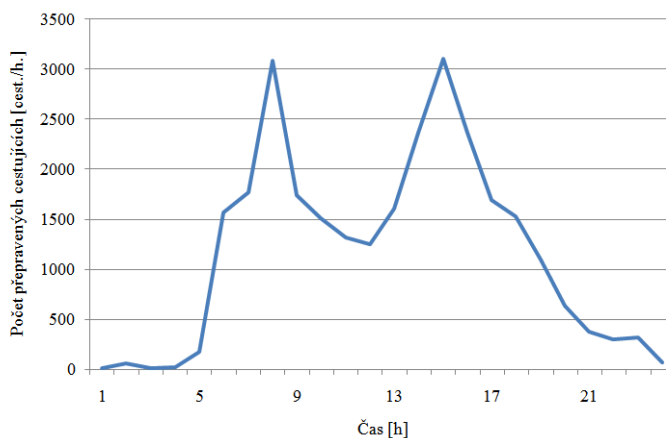
V případě všech cest z regionu do oblasti MHD Tábor (předpokládáno) byl jejich celkový počet rozdělen do území města poměrově podle disponibility a atraktivity

jednotlivých zastávek MHD. Je tím modelováno pravděpodobné rozptýlení těchto cestujících po území obsluhovaném MHD.

Celkově je v modelu zachyceno 64 867 cest. Konkrétní přepravní data není bohužel možné v zájmu poskytujících subjektů v disertační práci publikovat. Doktorand i školící pracoviště mají přirozeně veškeré použité údaje k dispozici.

5.5 Výpočetní období modelu

Z hlediska poskytnutých vstupních dat a povahy provozu VHOD v tábořské aglomeraci je situace modelována pro období celého běžného pracovního dne. Průběh přepravních nerovnoměrností v průběhu pracovního dne v MHD Tábor je na obr. 5.1. Zohlednění přepravních nerovnoměrností v průběhu dne a týdne se následně předpokládá změnami intervalu (vč. zastavení provozu na vybraných linkách). Se změnou kapacity nasazovaných vozidel (a udržením stálého intervalu) se s ohledem na skladbu vozového parku dopravců uvažuje okrajově. Koncept linkového vedení a základních přestupních vazeb zůstává zachován.



Obr. 5.1: Přepravní nerovnoměrnosti v průběhu pracovního dne v MHD Tábor.

Zdroj: Autor na podkladě (60).

Specifikem MHD (IDS) Tábor je, že odpolední přepravní špička odpovídá ranní přepravní špičce. Dalším specifíkem je i to, že v nočních hodinách je provoz zajišťován na denních linkách. Proto není nutno noční dopravu vyčleňovat do nového konceptu jak bylo zmíněno na obr. 3.3 v kap. 3.3.4. Rozsah dopravy je však v nočních hodinách značně omezen a tak je pro kalkulace celodenních hodnot na průměrné hodinové intenzity používán přepočít 17 hodin (5 – 22 h.), aby nedocházelo ke zkreslení vlivem výrazného poklesu přepravní poptávky v nočních hodinách.

5.6 Modelování VHOD na obecné dopravní síti bez linek

V úvodní části řešení jsou přepravní proudy modelovány pouze na dopravní síti bez linek. Princip je stejný jako modelování IAD, cestující jsou přiřazováni na nejkratší cesty pouze podle nejkratších cest. Na rozdíl od modelování IAD toto řešení slouží pouze jako podklad pro další kroky řešení (kdy jsou linky stanoveny) s tím, že je takto poskytnuta informace o tom, které trasy by cestující volili, kdyby měli absolutní svobodu volby trasy.

5.7 Dopravní model se softwarovou podporou

V této kapitole jsou stanoveny základní charakteristiky použitého dopravního modelu, jak z hlediska teoretických principů modelování, tak z hlediska technické realizace v softwaru OmniTRANS, verze 5.0.32.

5.7.1 Distanční matice

Zcela zásadní význam pro dopravní modely provedené v softwaru OmniTRANS mají distanční matice. Hodnoty vypočtené v těchto maticích vytvářejí základní podklad pro výpočet směřování dopravních proudů, ale i při řadě jiných kroků souvisejících s nejkratšími cestami. Distanční matice jsou vytvářeny ve třech vyjádřeních v:

- jednotkách vzdálenosti,
- času (časová dostupnost cílů cest) a
- generalizovaných nákladech (např. v peněžních jednotkách).

V realizovaném modelu autor disertační práce využívá vyjádření v časové dostupnosti, neboť to umožňuje zohlednit více technických charakteristik zvolené trasy (vyjádřených cestovní rychlostí). Generalizované náklady poskytují sice komplexnější pohled, ovšem je zde nutnost relevantního ocenění jednotlivých kritérií, které může být problematické z hlediska průkazu věrohodnosti. Zároveň i díky zvýšené náročnosti zadávání generalizovaných nákladů do prostředí programu (vyžaduje programování v jazyku OJL), autor práce vyjádření v generalizovaných nákladech nevyužívá. V případě potřeby a při překonání zmíněných úskalí je ale možno generalizované náklady do modelu vložit a používat.

Výpočet distančních matic je realizován příslušným podprogramem softwaru OmniTRANS, který v sobě integruje upravený Dijkstrův algoritmus pro hledání nejkratších cest na grafech. Matice použité v modelu obsahují 24 964 hodnot (rozměr 158 x 158).

5.7.2 Směřování přepravních proudů

Výpočet směřování přepravních proudů je stejně jako stanovení distančních matic založen na použití podprogramu softwaru OmniTRANS.

Vzhledem k faktu, že území řešené v disertační práci je širší než území řešené v poskytnutém průzkumu MHD, je volena syntetická metoda – gravitační model. Model v podobě využívaný softwaru OmniTRANS je charakterizován vztahem (5.1)

$$d_{ij} = \rho \cdot a_i \cdot b_j \cdot P_i \cdot A_j \cdot F(z_{ij}) \quad [\text{počet cest/čas. období}] \quad (5.1)$$

kde je: d_{ij} počet cest mezi okrsky i a j [počet cest/čas. období],

a_i, b_j kalibrační faktory vyrovnávající disponibilitu a atraktivitu [-],

P_i disponibilita okrsku i [počet cest/čas. období],

A_j atraktivita okrsku j [počet cest/čas. období],

$F(z_{ij})$ hodnota odporové distribuční funkce pro přepravní relaci i a j .

V modelu je v disertační práci aplikována logaritmicko-normální distribuční funkce dopravního odporu (5.2) s parametry

$$F(z_{ij}) = 2 \cdot \exp^{-0,5 \cdot \ln^2(z_{ij} + 1)} \quad (5.2)$$

kde je: z_{ij} dopravní odpor mezi okrsky i a j [min] (alternativně [km], [peněž. j.]).

Tento postup je tak modifikací obecného vztahu (3.14), uvedeného v teoretické části disertační práce v kapitole 3.3.3.

Další změnou v této souvislosti je, že podprogram pro výpočet matice směřování přepravních proudů byl autorem disertační práce upraven tak, aby cesty připadající na relace mezi hraničními okrsky navzájem, byly přesměrovány do okrsku „Autobusové nádraží“. Opodstatnění je třeba spatřovat v tom, že jsou modelovány pouze regionální přepravní vztahy, tudíž se cesty napříč celým územím jeví jako nepravděpodobné. Navíc „spojování“ sousedních hraničních okrsků, bylo u metody bez modifikace častým jevem vzhledem k jejich vzájemné blízkosti. Vytváření těchto (navíc relativně významných) „tangenciálních“ vazeb je z hlediska reality nepravděpodobné a tudíž nežádoucí. Cestující přestupující na (z) dálkové spoje jsou zohledněni v atraktivitě (disponibilitě) okrsku „Tábor-železniční stanice“.

5.7.3 Přirazení přepravních proudů na úseky dopravní sítě

Pro přiřazení přepravních proudů cestujících na úseky dopravní sítě je zvolena metoda AON (Všechno nebo nic), jak již bylo dříve uvedeno. Je to z toho důvodu, že není

požadováno modelování kongescí na dopravní síti a zpoždění prostředků VHOD vlivem kongescí je zanedbáváno. Na druhou stranu díky této metodě jsou přepravní trasy jednoznačně určeny (nejkratší cestou), což otevírá další spektrum možností při dalším řešení.

5.8 Podsít' vhodná pro provoz kmenových linek

Jak bylo uvedeno v kap. 4, určení podsítě vhodné pro provoz kmenových linek vychází ze stanovení požadavků na obsazení spojů kmenových linek v jejich minimálním řezu v kontextu jejich obsaditelnosti a zvoleného intervalu.

5.8.1 Určení podsítě vhodné pro provoz kmenových linek

Tyto požadavky byly stanoveny odděleně pro kmenový provoz MHD, VLD a železnice. Stanovení reflektuje současné místní podmínky. Limitní hodnoty jsou v tab. 5.1. Relativně malé hodnoty obsazení jsou způsobeny tím, že se jedná o minimální řez linky (úsek s nejmenším obsazením). Později je počet spojů (interval) redukován rozdělením do více linek obsluhující daný úsek a konečně svou roli hraje i celodenní pohled na řešení.

Tab. 5.1: Limitní hodnoty pro zařazení úseku do podsítě pro provoz kmenových linek

Subsystem VHOD	Interval spojů	Min. obsazení	Limitní hodnota pro zařazení jako kmen. úseku
MHD	15 min	7 cestujících	476 cestujících/den
VLD	10 spojů (120 min)	12 cestujících	120 cestujících/den
Železnice	60 min	13 cestujících	221 cestujících/den

Zdroj: Autor

V disertační práci toto autor realizoval pomocí typového rozdělení úseků náhradní dopravní sítě na úseky pro provoz (převážně) MHD, VLD a železnice. Technicky je výběr podsítě vhodné pro provoz kmenových linek realizován pomocí SQL dotazu zohledňujícího typ úseku a jeho zatížení (zjištěné v AON assignmetnu – viz kapitola 5.7.3). Zatížení úseků v počtech cestujících za (pracovní) den stanovené metodou AON je v příloze 3.

5.8.2 Konsolidace podsítě vhodné pro provoz kmenových linek

Z důvodů přiblížení výsledku realitě autor práce navrhuje konsolidaci stanovené podsítě dopravním technologem. V případě modelu IDS Tábor se jednalo především o logické

doplnění získané sítě o chybějící spojovací úseky, kde došlo k mírnému poklesu hodnot zatížení pod stanovenou mez.

Dopad každého kroku konsolidace je možné ověřit pomocí technologických ukazatelů vypočtených softwarem OmniTRANS. V případě tohoto modelu došlo k prodloužení celkové délky této sítě o 8,49 km na 121,82 km. Konkrétní hranice hodnotících kritérií při ilustračním řešení v rámci této práce stanoveny nejsou. Reálně je toto limitováno celkovými možnostmi dopravce, resp. subjektů zainteresovaných na provozu a organizaci VHOD. Podstata vhodná pro provoz kmenových linek je zobrazena v příloze 4.

5.9 Interakce VLD a MHD

Interakce VLD a MHD byla řešena po stanovení tras vhodných pro provoz kmenových linek v obou subsystémech. Pro řešení interakce VLD a MHD byl zvolen princip dvoustupňové logistické technologie gateway. U každé linky VLD, vstupující na území obsluhované MHD, byl učiněn předpoklad, že bude mít na tomto území dvě zastávky – na okraji města a na autobusovém nádraží. Tento princip byl diskutován i s pracovníky dopravce s kladným výsledkem, kdy nutnost dojezdu těchto spojů na autobusové nádraží potvrzují (ve vztahu k cestujícím) i jejich zkušenosti.

Z výstupů software OmniTRANS byla získána data o cestách vstupujících z VLD na území obsluhované MHD. Podle distančních matic byla tato poptávka rozdělena na přestupující na zastávce na okraji města a na přestupující na autobusovém nádraží. Kriteřiem byl čas dostupnosti cíle na území města, jen s tou úpravou, že přestup na okraji města byl zatížen přírůžkou 5 min. Toto přibližně vyjadřuje čas spotřebovaný na přestup při časově a prostorově koordinovaném příjezdu a odjezdu spojů VLD a MHD. V případě autobusového nádraží přírůžka aplikována nebyla, což vyjadřuje větší ochotu cestujících využívat k přestupu uzel s kompletním rozsahem služeb pro cestující a s vyšším uživatelským komfortem. Jiné zastávky na území obsluhovaném MHD zavedeny nebyly z důvodů zkrácení časové dostupnosti cílů v regionu.

Výsledkem je, že o počet přestupujících cestujících byla dočasně (pro příslušné fáze výpočtu) navýšena produkce (disponibilita) okrajových okrsků (zastávek) nebo okrsku Autobusové nádraží, zatímco atrakce a produkce všech zastávek v regionu (mimo oblast obsluhovanou MHD) byla vynulována. Prakticky tak došlo k oddělenému řešení linek VLD a MHD.

5.10 Lokace přestupních uzlů mezi kmenovými linkami

Lokace možných přestupních uzlů mezi kmenovými linkami je podmíněna již samotnou strukturou získané podsítě vhodné pro provoz kmenových linek (větvením této podsítě).

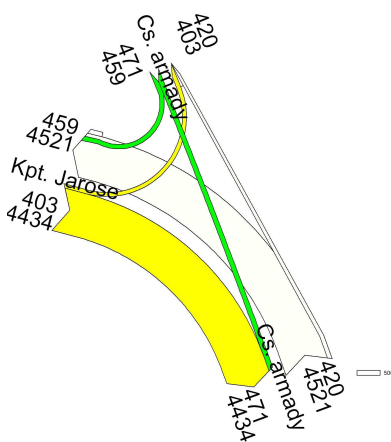
Konkrétní podobu provozu a tím i lokaci přestupních uzlů je třeba specifikovat pomocí následujících výpočtů.

5.10.1 Propojování linek v uzlech sítě

Pro každý uzel podsítě vhodné pro provoz kmenových linek je nutné stanovit scénář provázení linek těmito uzly. Řešení je založeno na analýze přepravních proudů cestujících procházejících řešenými uzly.

V řešeném modelu tábořské aglomerace je takových uzlů celkem 14. Základním postupem pro toto řešení je sestavení úlohy lineárního programování.

Jako příklad je uvedena formulace úlohy pro uzel „Písecké rozcestí“. Zdrojem podkladů je Editor křížovatek softwaru OmniTRANS (obr. 5.2).



Obr. 5.2: Analýza přepravních proudů cestujících pro uzel Písecké rozcestí. Zdroj: Autor.

Před vlastní formulací úloh pro jednotlivé uzly je třeba stanovit pro každou komunikaci (pro každý úsek dopravní sítě) rozsah provozu (počet spojů za výpočetní období). Princip vychází z myšlenky koordinace spojů různých linek na společném úseku metodou tzv. Žilinské kružnice (13). Na základě počtu přepravovaných cestujících na konkrétním úseku dopravní sítě je stanoven rozsah provozu (celkový počet spojů, uvažuje se s koordinací spojů různých linek na společném úseku). Hodnoty pro odpovídající intervaly jsou v tab. 5.2.

Tab. 5.2: Počty spojů na úsecích

	Veřejná linková doprava			Městská hromadná doprava		
	Počet cestujících /výpočetní období	Počet spojů	Interval [min]	Počet cestujících /výpočetní období	Počet spojů	Interval [min]
I.	< 300	10	120	< 1824	76	15
II.	300 – 400	13	90	1824 – 3040	102	12
III.	400 – 500	15	75	3040 – 3800	112	10
IV.	> 500	20	60	> 3800	232	5

Zdroj: Autor

Hodnoty uvedené v tab. 5.2 vycházejí ze stanoveného provozního konceptu VHOD a požadované obsaditelnosti vozidel v minimálním řezu linky. Mezi počty spojů, intervaly a velikostí přepravního proudu cestujících je možné najít disproporce. Je to způsobeno makroskopickým pojetím řešení (průměrování). Poměrně mírné nárůsty ve skupině II. je tak možné technologicky interpretovat jako posílení dopravy v přepravních špičkách (zkrácení intervalu na 60 min), skupinu IV. pak jako celodenní zahuštění intervalu o polovinu, resp. o 2/3 v případě MHD. Tyto hodnoty byly zvoleny s ohledem na reálné podmínky IDS Tábor, v případě potřeby je možné tyto hodnoty stanovit odlišně tak, aby odpovídaly realitě řešeného území. Stejným způsobem je stanoven i maximální počet propojitelných spojů na jednotlivých relacích, procházejících přestupním uzlem podle jejich analýzy (obr. 5.2). Příklad konkrétní formulace úlohy pro uzel Písecké rozcestí a přehled řešení pro všechny uzly v celé řešené oblasti je v příloze 5.

Vlastní řešení úlohy je uvedeno dále na vztazích (5.3 – 5.11). Písmenné dolní indexy označují názvy jednotlivých zaústěných ulic nebo směrů (*Náchod*, *Kpt. Jaroše*, *Centrum*).

$$\max \frac{459}{76}x_{NJ} + \frac{471}{76}x_{CN} + \frac{4521}{228}x_{CJ} + 0y_C + 0y_J + 0y_N \quad (5.3)$$

za podmínek:

$$x_{NJ} \leq 76 \quad (5.4)$$

$$x_{CN} \leq 76 \quad (5.5)$$

$$x_{CJ} \leq 228 \quad (5.6)$$

$$x_{CN} + x_{CJ} + y_C = 228 \quad (5.7)$$

$$x_{NJ} + x_{CJ} + y_J = 228 \quad (5.8)$$

$$x_{CN} + x_{NJ} + y_N = 76 \quad (5.9)$$

$$x_{ij} \in N + \{0\} \quad (5.10)$$

$$y_j \in N + \{0\} \quad (5.11)$$

Řešení je provedeno se softwarovou podporou programu Microsoft Excel, resp. jeho doplňkem Řešitel. Tento softwarový produkt pracuje na bázi iterativního algoritmu, tedy heuristicky. Nicméně pro řešení úloh tohoto typu jsou dosažené výsledky zcela uspokojivé. V případě nutnosti je možné výsledek ještě zpřesnit nasazením některého specializovaného softwarového nástroje pro řešení úloh lineárního programování.

Výsledkem pro uzel „Písecké rozcestí“ je vektor (5.12)

$$(x_{NJ}, x_{CN}, x_{CJ}, y_C, y_J, y_N) = (0, 228, 0, 0, 0, 76) \quad (5.12)$$

V interpretaci dopravní technologie to znamená, že bude zavedeno 228 přímých spojů z centra města na ulici Kpt. Jaroše (směr k nemocnici), obsluha Náchodského sídliště (ulice Čs. armády) bude zajištěna pomocí 76 spojů vypravených z nejbližší možné (přestupní) zastávky od tohoto uzlu. Hodnota účelové funkce je 4521 cestujících/pracovní den (v jednosměrném vyjádření), což lze interpretovat i tak, že 9042 cestujících z 10 902, kteří jízdu tímto uzlem během pracovního dne požadují, bude přepraveno bez přestupu.

Z matematického hlediska je toto řešení přijatelné, nicméně z dopravně-technologického hlediska je vypravení spojů v krátké relaci Písecké rozcestí – Náchod značně problematické. Tento příklad je uveden jako ilustrace nutnosti další konsolidace. S přihlédnutím k současné realitě provozu zde byla provedena úprava spočívající v přesměrování 76 spojů z ulice Kpt. Jaroše do ulice Čs. armády (Náchodské sídliště), byt' je tím snížena hodnota účelové funkce na 3485 nepřestupujících cestujících za den (v každém směru), čímž je zároveň nahrazena navrhovaná linka Písecké rozcestí – Náchod. Navýšení počtu spojů ve směru do centra, resp. v navazujících úsecích se jeví jako neopodstatněné. Díky tomu je zároveň snížen počet spojů v ulici Kpt. Jaroše k nemocnici, neboť provozování linky Písecké rozcestí – Nemocnice o délce 850 m se i s přihlédnutím k 152 zbývajícím spojům jeví jako neefektivní. Toto ale není třeba chápat jako nedostatek navržené metody poskytující vlastně výchozí řešení, ale jako vliv místních specifických podmínek, které se v jednotlivých případech liší.

V opodstatněných případech (např. když přeprava je požadována pouze na dvou zaústěných úsecích nebo při nemožnosti přímé jízdy) je možné tento výpočet nahradit prokazatelným slovním posouzením, neboť to významně ušetří výpočetní čas potřebný na formulaci úlohy lineárního programování.

5.10.2 Propojování linek na úsecích

Jak bylo již v kapitole 4.6.5 teoreticky uvedeno, nutné je i řešení propojování linek na společných úsecích. Vstupní podklady jsou získány z maticových výstupů software OmniTRANS (*SelectedLinkMatrix*) a z matice směřování přepravních proudů v modifikaci pro kmenovou síť (resp. MHD), podle umístění úseku. Zóny mimo kmenovou síť (resp. MHD) mají hodnoty atraktivity (atrakce) a disponibility (produkce) pro tento případ nastaveny na hodnotu 0. Tyto cesty byly přiřazeny jiným zónám, ležícím na kmenové síti (síti MHD). Princip tohoto výpočtu je v kapitole 4.6.5.

Jako příklad formulace úlohy (5.13 – 5.23) je uveden úsek Chýnovské ulice mezi křižovatkami se Soběslavskou a Zavadilskou ulicí. Výpočet zohledňuje úpravu uskutečněnou v rámci konsolidace, popsanou v kapitole 5.10.1. Podobně jako v předchozí kapitole jsou jednotlivé přepravní směry v proměnných označeny písmennými indexy podle ulic nebo směrů, odkud kam je možné jednotlivé spoje zaústit (**B**udějovická, **S**oběslavská, **Z**avadilská, Chýnovská směr **M**ěšice a společný úsek Chýnovské ul).

$$\max \frac{856}{26} \cdot x_{BCZ} + \frac{1633}{51} \cdot x_{BCM} + \frac{627}{26} \cdot x_{SCZ} + \frac{654}{51} \cdot x_{SCM} \quad (5.13)$$

za podmínek:

$$x_{BCZ} \leq 26 \quad (5.14)$$

$$x_{BCM} \leq 51 \quad (5.15)$$

$$x_{SCZ} \leq 26 \quad (5.16)$$

$$x_{SCM} \leq 51 \quad (5.17)$$

$$x_{BCZ} + x_{SCZ} + 50 = 76 \quad (5.18)$$

$$x_{BCM} + x_{SCM} + 0 = 76 \quad (5.19)$$

$$x_{BCZ} + x_{BCM} + 177 = 228 \quad (5.20)$$

$$x_{SCZ} + x_{SCM} + 177 = 228 \quad (5.21)$$

$$x_{BCZ} + x_{BCM} + x_{SCZ} + x_{SCM} = 102 \quad (5.22)$$

$$x_{rws} \in N + \{0\} \quad (5.23)$$

Teoretické odvození úlohy a vysvětlení významu symbolů a proměnných je v kapitole 4.6.5. Výsledkem úlohy je vektor (5.24), udávající způsob vedení spojů zkoumaným úsekem Chýnovské ulice v jejich počtech.

$$(x_{BCZ}, x_{BCM}, x_{SCZ}, x_{SCM}) = (0, 51, 26, 25) \quad (5.24)$$

Výsledek znamená, že z Budějovické ulice bude vedeno denně 51 spojů do Měšic a ze Soběslavské 26 spojů na Zavadilskou a 25 spojů do Měšic. Řešení pro ostatní úseky sítě vhodné pro provoz kmenových linek je v příloze 6.

5.10.3 *Návrh kmenových linek a jeho konsolidace*

Postup provázení linek společnými úseky v kap. 5.10.2 díky překrývání jednotlivých úseků (resp. úseků řešených, vstupních a výstupních) v jednotlivých krocích řešení určí jednotlivé linky v podstatě jednoznačně. Z formálního hlediska teorie grafů je nyní potřebné v získaném grafu vytvořit tahy (linky) tak, aby každý úsek kmenové sítě s počtem spojů větším než nula byl součástí aspoň jednoho tahu (byl obsluhován aspoň jednou linkou). Přehled takto vzniklých linek je v příloze 10. Jedná se o 8 městských linek s intervalem 15 – 90 min (příloha 7), přičemž převažuje interval 20 min, který může být pojat jako základní v síti MHD. V oblasti VLD je navrženo 15 kmenových linek s průměrným taktem 120 min a v železniční dopravě 3 kmenové linky s intervalem 60 min. Železniční linky mají vytvořen přestupní uzel v žst. Tábor, kdy je přihlédnuto k nezávislé trakci na trati č. 201 a k nedaleké hranici Jihočeského a Středočeského kraje (15 km) na trati č. 220, kam jedna z linek směřuje a kde je možné očekávat rozdílné představy o rozsahu regionální dopravy ze strany obou objednavatelů.

Jako v ostatních částech řešení byl takto dosažený výsledek konsolidován tak, aby byly zohledněny další vybrané místní faktory. Konkrétně se jednalo o propojení části spojů linek 550 (Slapy – Nemocnice) a 250 (Vožická, Elektroizola – Černé mosty) do linky 590 (Slapy – Vožická, Elektroizola), resp. prodloužení linky 250 na Autobusové nádraží. Je to podmíněno obecně nedostatkem místa v oblasti zastávky Černé mosty pro odstavování vozidel a relativně malou vzdáleností na Autobusové nádraží (750 m), které tvoří přirozený přestupní uzel. V případě nemocnice je provoz linky 550 efektivní pouze v době ordinačních hodin ambulancí, v době začátku a konce pracovní doby, resp. v návštěvních hodinách. V této době je linka jako samostatná zachována.

Druhou změnou je ukončení linky č. 350 v zastávce Měšice, točna místo Nový hřbitov. Je tím zrušena smyčková linka Nový hřbitov – Měšice – Na Kopečku – Nový hřbitov – Planá nad Lužnicí. Spojení Měšice – Nový hřbitov vedené po obchvatu silnice I./19, který

takto zůstává ve zmiňovaném úseky bez obsluhy, je nahrazeno frekventovaným spojením přes Měšice. Zbývá zde ale jako alternativa pro vedení případných posilových nebo objednaných spojů k obchodnímu domu TESCO nebo do průmyslových areálů v Sezimově Ústí a Plané nad Lužnicí.

5.10.4 Přestupní uzly a tvorba doplňkových linek

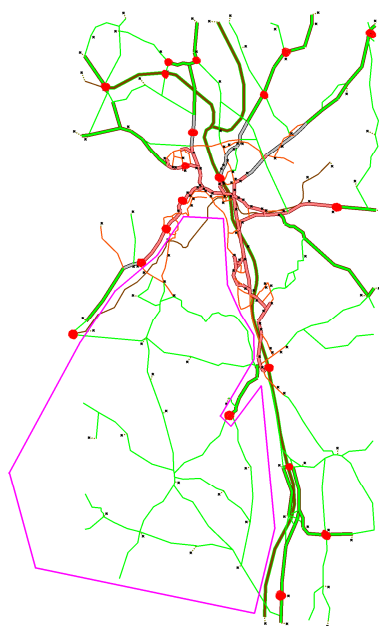
Tvorba doplňkových linek je do jisté míry ovlivněna výběrem oblasti zahrnující pouze blízké okolí měst Tábor, Sezimovo Ústí a Planá nad Lužnicí, kde řada přepravních vztahů tuto oblast překračuje a tudíž by tím řešení mohlo být ovlivněno (např. i zbývající železniční tratě zavedeny jako kmenové linky). Ovšem posouzení z metodického hlediska tím není dotčeno.

Síť určená pro kmenové linky rozděluje řešenou oblast do 12 oblastí (příloha 8) na které je možné řešené území dekomponovat za účelem tvorby doplňkových linek podle předpokladů stanovených v kapitole 4.11.

Přestupní uzly mezi oběma subsystémy (kmenovými a doplňkovými linkami) byly stanoveny podle následujících kritérií. V případě MHD nebyla sledována koordinace z hlediska ITJŘ vzhledem k obecně krátkým intervalům na městských kmenových linkách. Přirozeně při sestavě finálního JŘ musí být přihlédnuto k případné časové koordinaci spojů. V případě železniční dopravy a kmenových linek VLD se uvažuje s jednosměrnou (částečnou) koordinací a připojováním a vytvořením vazeb na město Tábor. V případě Plané nad Lužnicí je navíc jednosměrná koordinace kompenzována možností přestupu jak na železnici, tak na MHD. Přestupních uzlů bylo takto vytipováno 23. Ve výjimečných případech je provedena i individuální úprava kmenových linek (např. Záluží).

5.10.5 Tvorba doplňkových linek

Území bylo rozděleno celkem do 13 sektorů (příloha 8). Jako příklad je uvedeno řešení oblasti jižně od Tábora vymezené obcemi nebo místními částmi Slapy, Horky, Sezimovo Ústí, Planá nad Lužnicí, Klenovice (obr. 5.3).



Obr. 5.3: Možné přestupní uzly a vyznačení řešeného sektoru. Zdroj: Autor.

Do uvedeného sektoru vstupuje 8 komunikací s napojením na některý z možných přestupních uzlů. Zároveň tudy prochází železniční trať č. 202 Tábor – Bechyně, tato ale není do výpočtu zahrnuta vzhledem k faktu, že zavedená linka je využívána cestujícími do vzdálenějších oblastí a tudíž má ve vztahu k řešenému území marginální přepravní význam. Přesto ale je nutno doporučit, aby byla sledována koordinace vlakových spojů a spojů MHD ve vhodných místech (Slapy nebo Horky, žel. zast.) tak, aby byl usnadněn přestup na spoje MHD do centra města.

Pro každou obec v řešeném území a pro každý potenciální přestupní uzel (s ním incidující úsek směřující do řešeného území) byly pomocí softwaru OmniTRANS (SelectedLinkMatrix) stanoveny tudy procházející nejkratší cesty. Podle vztahu (4.32) byl pak určen počet cestujících využívajících tyto cesty.

Pro vlastní řešení je sestavena úloha lineárního programování řešená v programu Microsoft Excel (doplňkem Řešitel). Úloha je založena na obecných vztazích (4.33 – 4.37) v kap. 4.12. Vzhledem k rozsahu modelu se 126 proměnnými, představujícími zda-li jsou nebo nejsou dané obce (popř. obce sloučené do mikrozon) obsluhovány přes daný přestupní uzel, jsou v tabulce 5.3 uvedeny pouze výsledky řešení.

Tab. 5.3: Atraktivní obvody přestupních uzlů pro tvorbu doplňkových linek

Přestupní uzel	Obsluhované obce (mikrozóny)	Počet cestujících na nejkratších cestách
Malšice	Radimovice-rozc., Lom	8,1
Slapy	Slapy-žst., Radimovice-rozc., Radimovice-obec, Želeč, Obora+Maršov, Lom, Libějice	198,7
Horky	Větrovy	738,8
Horky-obec	-	0
Planá n. L. (severozápad)	-	0
Planá n. L. (západ)	Zhoř u Tábora	31,8
Ústrašice	Rybova Lhota, Skalice, Třebiště, Třebišťské Jednoty, Hlavatce, Vyhnalice, Želeč, Skrýchov+Bezděčín	201,6
Klenovice	Rybova Lhota, Skalice, Radimov, Hlavatce, Želeč	78,3

Zdroj: Autor

Jak vyplývá z tabulky 5.3 a z hodnoty účelové funkce, celkem 1257,3 cestujících za den bude přepraveno po nejkratších cestách. Pokud se jedna obec nebo mikrozóna objevuje u více potencionálních přestupních uzlů, je to způsobeno tím, že dané místo leží na průsečíku pozemních komunikací vhodných pro provoz doplňkových linek a díky tomu zde vzniká možnost umístění přestupního uzlu doplňkových linek, kde může být sledována jejich časová i prostorová koordinace. Na základě výsledků modelu vznikl v řešeném území přestupní uzel tří linek Želeč, který v případě časové koordinace může přispět ke snížení celkové časové a vzdálenostní náročnosti přeprav.

V případě přestupního uzlu Malšice dochází k duplicitě v dopravní obsluze u dvou zastávek Radimovice-rozc. a Lom, proto se v rámci konsolidace navrhuje zrušení této dopravní obsluhy, byť tím klesne hodnota účelové funkce o 8,1 cestujících za den. V případě Rybovy Lhoty a Skalice byla odstraněna duplicita obsluhy přes 2 přestupní uzly Ústrašice a Klenovice (pokles účelové funkce o 37,2 cestujících/den).

Linkové vedení je stanoveno na základě výsledků modelu (díky podmínkám pro obsluhu předchozích vrcholů), částečně s přihlédnutím k výsledkům modelování počtů

cestujících (rozvětvení linky z Ústrašic). V tomto případě není pevně stanoven interval na jednotlivých linkách vzhledem k malému počtu cestujících. Předpokládá se pouze několik spojů zavedených v rámci základní dopravní obslužnosti v předem stanovená období. Tomu odpovídá i skladba vozového parku dopravce, kde je k dispozici pouze omezený počet nízkokapacitních vozidel. Reálný rozsah této dopravní obslužnosti závisí především na možnostech zainteresovaných subjektů, proto zde není interval (takt) blíže rozpracován.

V řešeném sektoru tak byly navrženy linky uvedené v tabulce 5.4.

Tab. 5.4: Doplnkové linky ve zvoleném území

Linka	Trasa
900	Horky – Větrovy
8001	Slapy – Libějice – Radimovice u Želče – Lom – Maršov – Obora – Želeč
8002	Planá nad Lužnicí, žst. – Zhoř u Tábora
8003	Ústrašice – Želeč – Bezděčín – Skrychov u Malšic
8004	Ústrašice – Třeštické Jednoty – Skalice – Třebiště – Želeč – Hlavatce – Vyhnalice
8005	Klenovice – Rybova Lhota – Radimov – Hlavatce – Želeč

Zdroj: Autor

Přehled navržených doplnkových linek v ostatních sektorech je v příloze 9.

5.10.6 Propojení kmenových a doplnkových linek

Na základě předpokladů uvedených v kapitole 4.11 je nyní potřebné řešit interakci jednotlivých linek v přestupních uzlech, zda-li budou vedeny s přestupem či nikoli. Pro doplnkové linky v řešeném sektoru je navrženo řešení uvedené v tabulce 5.5.

Tab. 5.5: Interakce kmenových a doplnkových linek

Linka	Trasa
900	Propojení s vybranými spoji linek MHD č. 500, 550, 590
8001	Propojení s vybranými spoji linek MHD č. 500, 550, 590
8002	Samostatná linka
8003	Prodloužení vybraných spojů samostatné kmenové linky Planá n. L. – Ústrašice
8004	Prodloužení vybraných spojů samostatné kmenové linky Planá n. L. – Ústrašice
8005	Prodloužení (odbočení) vybraných spojů linky č. 9515 Roudná – Soběslav nebo samostatná linka (podle přepravních poměrů na lince 9515).

Zdroj: Autor

Jak je z tab. 5.5 patrné, díky možnosti přechodu některých spojů z kmenových na doplňkové linky, je možné celkový počet přestupních uzlů reálně ještě snížit. Z hlediska systémového řešení lze však za „přestupní“ uzel považovat i místa přechodů spojů z linky na linku. Z hlediska přepravního takový uzel může být vybaven pouze základním vybavením, může se jednat o přestupní bod ve smyslu zavedené klasifikace přestupních uzlů v kapitole 1.7. V ostatních případech by se mělo jednat minimálně o přestupní místa a v případě železničních stanic Tábor a Planá n. L. o přestupní terminály. Železniční stanice a Autobusové nádraží Tábor vytvářejí navíc podvojný přestupní uzel (v modelu spojeny fiktivní hranou).

JŘ doplňkových linek není stanoven, předpokládá se provoz s individuálně stanovenými časovými polohami v rozsahu zhruba podle současného JŘ. V rámci koordinace jsou preferovány přípojové vazby ve směru do města Tábora.

5.10.7 Komplettní model navrženého linkového vedení IDS

Za účelem závěrečného zhodnocení je v souladu s teoretickým návrhem algoritmu vytvořen model kompletního IDS se všemi navrženými linkami, jejich parametry a především přestupními uzly. Modelování probíhá plně v prostředí VHOD se všemi aspekty, které modelování VHOD vyžaduje (využití příkazů třídy OtTransit). Uvažovány jsou všechny zóny (jak na síti kmenových linek, tak na síti doplňkových linek) vč. příslušných ukazatelů dostupnosti a atraktivity. Výpočetní metodou je opět přiřazení přepravních proudů na jednotlivé úseky dopravní sítě metodou AON.

Přehled zavedených kmenových linek, vč. jejich intervalů, je v příloze 10.

Příloha 11 podává ve formě grafů přehled o poměru nastupujících, vystupujících a přestupujících cestujících v jednotlivých zastávkách. Zde je tak zachycen reálný přepravní význam vzniklých přestupních uzlů v řešeném území (využívaných při aplikaci návrhu linkového vedení). Analýza tohoto výstupu může být využita jako podklad při rozhodování v rámci tvorby jízdního řádu (časová koordinace přípojových vazeb), ale také např. při rozhodování v oblasti modernizace přestupních uzlů (zastávek) a jejich vybavení (v návaznosti na jejich klasifikaci), případně přímo na ČSN 73 6425-2 (8).

Konsolidace ze strany dopravního technologa byla provedena jen ve formě dílčích úprav vedení linek např. v místních částech Čekanice a Záluží. Jako zajímavá příležitost se na základě výstupů modelu jeví možnost náhrady části spojů linky 590 (současná 40) v oblasti Záluží příměstskou linkou č. 9008 ve směru Mladá Vožice s intervalem 60 min.

Na základě posouzení modelem bylo zjištěno, že k přestupům dochází na 33 zastávkách, z nichž 5 vykazuje počet přestupujících více jak 1000 za den, více než 500 pak 12 zastávek. Těmto zastávkám by měla být věnována náležitá pozornost z hlediska vybavení a zároveň vkládána priorita z hlediska koordinace při tvorbě JŘ, tomu napomáhá i výpočet matic přestupovosti pro jednotlivé zastávky (příklad pro zastávku Nový hřbitov je v příloze 12). Přehled všech přestupních zastávek vč. počtu přestupujících je uveden v příloze 13.

Celková doba strávená všemi cestujícími v IDS za den je 473 315,5 min a celková ujetá vzdálenost 201 847,1 km. Tyto hodnoty charakterizují navržené řešení. Sestavený model je možné využívat i nadále a to pro ověřování dalších různých opatření v oblasti umístování přestupních uzlů, resp. linkotvorby. Porovnání s těmito hodnotami může pak sloužit jako účelová funkce.

5.10.8 Dílčí závěr praktické aplikace

Praktickou aplikací byla autorem disertační práce prokázána funkčnost (verifikace) navrženého postupu a v porovnání se současným provozem IDS v táborské aglomeraci provedena validace výsledků. Navržené řešení přináší odlišné pojetí linkového vedení, ale při porovnání dalších technologicko-provozních parametrů poskytuje výsledky odpovídající současnému stavu. Tím je prokázána relevantnost navrženého řešení.

ZÁVĚR

Návrhy a výsledky dosažené v disertační práci naplňují cíle vytýčené v kapitolách 2.2 a 2.3. Byl sestaven metodický návrh postupu (algoritmu) pro umístování přestupních uzlů IDS, resp. pro sestavu linkového vedení s využitím progresivních a rozvíjejících se možností dopravního modelování s počítačovou podporou, konkrétně statického makroskopického modelu a software OmniTRANS.

Vytvořením tohoto postupu byla zároveň ověřena platnost hypotézy stanovené v kapitole 2.5. Navržený postup sestavy linek a umístování přestupních uzlů s využitím výstupů modelu je principiálně funkční a je zde otevřena i řada možností pro jeho další vědecké zkoumání a rozvoj, které je ale nad rámec rozsahu disertační práce.

Jako přínos lze hodnotit možnost vytvoření linkového vedení na základě analýzy přepravní poptávky bez výběru linek z jejich vstupní množiny. Prokázána byla i vhodnost využití dopravního modelování v této oblasti a vytvoření podmínek pro jeho aplikaci. Rovněž byla dosažena přijatelná výpočetní náročnost řešení optimalizačních úloh lineárního programování dekompozicí problému do série dílčích úloh. Jako průkaz zjednodušení lze zmínit, že některé výpočty v aplikační části disertační práce byly řešeny pouze s využitím běžně dostupného softwaru Microsoft Excel – Řešitele. Toto je přirozeně ovlivněno ale i rozsahem řešeného problému (oblasti). Bylo dosaženo sice suboptimálních výsledků, nicméně pro řešený problém dostatečně kvalitních.

Jako vedlejší přínosy je rovněž možno zmínit návrh klasifikace (kategorizace) přestupních uzlů IDS sjednocující označení napříč dopravními obory integrovanými v IDS a zároveň úpravu výsledku směřování přepravních proudů (OD matice) na celočíselnou, aby hodnoty v této matici byly odpovídající dávkové povaze provozu VHOD v regionálních oblastech.

Řešení problému přineslo i řadu otázek a námětů na budoucí rozvoj výzkumu v této oblasti. Zejména se jedná o zpřesnění algoritmu výzkumem kritérií a omezujících podmínek řešení jednotlivých dílčích úloh (kroků) pro dosažení přesnějších výsledků. Stejně tak je možné zkoumat implementaci dalších možných kritérií do řešení, jako např. ekonomické ukazatele, další technologické provozní ukazatele nebo oběhy náležitostí.

Samostatnou kapitolou je i možnost programování a softwarová implementace navrženého postupu. V tomto případě musí být vyvinuta celá řada podprogramů a procedur ve zdrojovém kódu programu. Zároveň je v této souvislosti potřeba provedení konkretizace některých kritérií a stanovení úrovní naplnění jednotlivých kritérií tak, aby výpočet mohl být

automatizován v co největší míře. Zároveň je ale nutné podotknout, že konsolidace dopravním technologem bude vždy nezbytná, neboť v oblasti IDS vystupuje celá řada omezujících lokálních faktorů a podmínek, které je velmi těžké matematicky zohlednit v komplexním úhlu pohledu. Naprogramované a automatizované řešení by výrazně přispělo ke snížení časové náročnosti výpočtů a tím ke zvýšení uživatelské přívětivosti navrženého postupu.

Aplikační část disertační práce na případě IDS Tábor – Sezimovo Ústí – Planá nad Lužnicí v praktických podmínkách prokazuje realizovatelnost a adekvátnost navrženého postupu.

SEZNAM POUŽITÝCH INFORMAČNÍCH ZDROJŮ

- (1) VONKA, J., et al. *Osobní doprava*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2004, ISBN 80-7194-630-3.
- (2) *Ročenka dopravy 2008* [online]. Praha: MD ČR, c2009, [cit. 2010-03-01]. Dostupné z: <<http://www.sydos.cz>>
- (3) EN 13 816 Doprava - Logistika a služby - Veřejná přeprava osob - Definice jakosti služby, cíle a měření
- (4) EN 15 140 Veřejná přeprava osob - Základní požadavky a doporučení pro systémy hodnocení kvality poskytované služby.
- (5) JAREŠ, M.: *Hamburská integrovaná doprava – první IDS na světě*. In: DP kontakt, roč. 13, č. 4/2008, s. 26 – 28. ISSN 1212-6349.
- (6) Zákon č. 13/1997 Sb. o pozemních komunikacích.
- (7) ČSN 73 6425-1 Autobusové, trolejbusové a tramvajové zastávky, přestupní uzly a stanoviště – část 1: Navrhování zastávek. Praha: Český normalizační institut, květen 2007, 52 s.
- (8) ČSN 73 6425-2 Autobusové, trolejbusové a tramvajové zastávky, přestupní uzly a stanoviště – část 2: Přestupní uzly a stanoviště. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, září 2009, 24 s.
- (9) Interní služební předpisy SŽDC (ČD).
- (10) FOJTÍK, P.; LINERT, S.; PROŠEK, F.: *Historie městské hromadné dopravy v Praze*. Praha: Dopravní podnik hl. m. Prahy, 2005, ISBN 80-239-5013-4.
- (11) SUROVEC, P.: *Hromadná osobná doprava*. Žilina: EDIS – Vydavateľstvo ŽU, 2007, ISBN 978-80-8070-686-9.
- (12) ŠIROKÝ, J.: *Základy technologie a řízení dopravy*. Pardubice: Institut Jana Pernera, 2007. 182 s. ISBN 80-86530-37-X.
- (13) ČERNÁ, A. – ČERNÝ, J.: *Teorie řízení a rozhodování v dopravních systémech*. Pardubice: Institut Jana Pernera, 2004, 150 s., 1. vyd. ISBN 80-86530-15-9.
- (14) ŠTĚRBA, R; PASTOR, O.: *Osobní doprava v území a regionech*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005, 107 s., 1. vyd., ISBN 80-01-03185-3.
- (15) Zákon č. 266/1994 Sb. o dráhách, ve znění pozdějších předpisů.
- (16) MOJŽÍŠ, V. – GRAJA, M. – VANČURA, P. *Integrované dopravní systémy*. Praha: Powerprint, 2008, ISBN 978-80-904011-0-5.
- (17) Zákon č. 111/1994 Sb. o silniční dopravě ve znění pozdějších předpisů
- (18) Zákon č. 465/2006 Sb. o provozu na pozemních komunikacích
- (19) JACURA, M. – JAREŠ, M.: *Úloha regionálních železničních tratí v IDS*. In: Sborník z konference Současnost a budoucnost dopravy, ČVUT Praha, 2008, ISBN 978-80-01-04056-0, s. 79 – 82.
- (20) HRABÁČEK, J. – VANĚK, P.: *Periodická doprava v celosíťovém měřítku*. In: Vědecko-technický sborník ČD [online], 19/2005. [cit. 2008-05-12]. ISSN 1214-9047. Dostupné z: <<http://www.cd rail.cz/vts/clanky/vts19.html>>
- (21) ŠIROKÝ, J.: *Integrovaný taktový jízdní řád a jeho uplatnění v praxi*. In: Vědeckotechnický sborník ČD [online], 10/2000. [cit. 2008-05-12]. ISSN 1214-9047. Dostupné z: <<http://www.cd rail.cz/vts/clanky/vts10.html>>
- (22) HENES, T. – BURMEISTER, J.: *Wege zu einem attraktiven ÖPNV in dünn besiedelten Räumen*. In: Der Nahverkehr, 6/2007, 25. roč., s. 57 – 62.
- (23) GABRIELS, D. – KLYEN, E. – DERGENT, S.: *The Organisation of Public Transport : the Approach and Principles in Flanders* In: Sborník z konference Verejná osobná doprava 2007. Bratislava: Kongres management, 2007, s. 24 – 25. ISBN 978-80-89275-09-0.

- (24) BAŠIĆ, S. – JETVIĆ, S. – STEFANOVIĆ, M.: *Integration in Urban and Suburban Public Transport*. Praha: Transportation as a Mean of Globalization, Conference of European Students of Traffic and Transportation Sciences, s. 107 – 114. ISBN 978-80-7194-938-1.
- (25) NAUMANN, T.: *WestFrankenBahn: Strategie für die Zukunft der Eisenbahn in der Fläche*. Stadtverkehr, 4/08, 53. roč., s. 44 – 49.
- (26) ELSENSOHN, P.: *Automatische Anschlussierung im fahrzeugautonomen Betrieb*. Nahverkehr-Praxis 1/2-2008.
- (27) OLIVKOVÁ, I. – KŘIVDA, V.: *Information Role in the Public Transport*. In: Perner's Contact [online], 4/2006, s. 71 – 77, ISSN 1801-674X.
- (28) BURMEISTER, J.: *Region-S-Bahn: Mobil über die Ländergrenzen hinweg*. Nahverkehr-Praxis, 1/2 – 2008, s. 20 – 24.
- (29) LEJČAR, I.: *Udržitelná doprava pro město – vyvážený dopravní systém*. In: sborník ze semináře Možnosti železnice pro veřejnou dopravu v Praze a okolí [CD-ROM]. Praha: Sdružení Oživení a nadace Partnerství. 6. června 2007.
- (30) MATUŠKA, J. – MRZENA, R.: *Přestupní uzly a spotřeba cestovního času*. Perner's Contact, 1/2006, s. 61 – 67.
- (31) **ORTÚZAR, J. – WILLUMSEN, L.: *Modelling Transport*. Chichester: Wiley, 2001, Third Edition. ISBN 13: 978-0-471-86110-2 (H/B).**
- (32) **NAGURNEY, A. et al.: *Urban and Regional Transport Modelling*. Cheltenham: Edward Elgar, 2004, 389 s., ISBN 1 84376 306 0.**
- (33) **KUŠNIEROVÁ, J. – HOLLAREK, T.: *Metódy modelovania a prognózovania prepravného a dopravného procesu*. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline (EDIS), 2000, 166 s., ISBN 80-7100-673-4.**
- (34) *Pražská integrovaná doprava* [online]. Praha: ROPID, c2008, [cit. 2008-06-30]. Dostupné z <www.ropid.cz>
- (35) **CHLAŇ, A. – BENEDIKTOVÁ, M.: *Rozvoj systému veřejné dopravy prostřednictvím IDS v Plzeňském kraji*. In: *Teorie dopravních systémů*. Brno: TRIBUN EU, 2008, 220 s., 1. vyd., ISBN 978-1-56592-479-6.**
- (36) *IDS OK* [online]. Olomouc: Krajský úřad Olomouc, 2008, [cit. 2008-06-30]. Dostupné z: <http://www.kr-olomoucky.cz/OlomouckyKraj/Doprava/IDSOK/IDSOK_CZ.htm>
- (37) POLIAKOVÁ, B.: *Tarifné systémy IDS*. In: Sborník z konference Verejná osobná doprava 2007. Bratislava: Kongres management, 2007, s. 97 – 101. ISBN 978-80-89275-09-0.
- (38) *IDS IREDO* [online]. Hradec Králové: OREDO, c2008, [cit. 2008-06-30]. Dostupné z: <www.oredoc.cz>.
- (39) *Integrovaný dopravní systém Jihomoravského kraje* [online]. Brno: KORDIS JMK, c2008, [cit. 2008-06-30]. Dostupné z: <www.kordis-jmk.cz>.
- (40) *Seminář Integrované dopravní systémy, Lázně Bohdaneč, 18. – 20. 5. 2009. Institut Jana Pernera*. [online]. Praha: Institut Jana Pernera, c2009, [cit. 2009-07-15]. Dostupné z: <www.perner.cz>.
- (41) *Elektronické jízdní řády veřejné linkové dopravy IDOS 2007/2008*. [cit. 2008-07-02]. Dostupné z: <www.jizdnirady.idnes.cz>.
- (42) *Oficiální web města Havlíčkův Brod* [online]. Havlíčkův Brod: Město Havlíčkův Brod, c2008, [cit. 2008-07-04]. Dostupné z: <www.muhb.cz>.
- (43) *Terminál hromadné dopravy Hradec Králové* [online]. Hradec Králové: Dopravní podnik města Hradec Králové, c2008, [cit. 2008-07-04]. Dostupné z: <www.dpmhk.cz>.

- (44) *Rozloha České republiky* [online]. Praha: ČR – oficiální web ČR, 2008, [cit. 2008-06-30]. Dostupné z: <<http://www.czech.cz/cz/ceska-republika/geografie/rozloha/>>.
- (45) *VYDIS* [online]. Praha: České dráhy, poslední revize: 1.2.2008, [cit. 2008-06-30]. Dostupné z: <<http://www.cd.cz/index.php?action=section&id=26760>>
- (46) *Vyhodnocení anket k otevření nového úseku metra Ládví – Letňany (8. – 9.5.2008)* [online]. Praha: Ropid, c2008, [cit. 2008-06-30]. Dostupné z: <http://www.ropid.cz/files/PDF_ruzne/vyhodnoceni_anket_2008-05.pdf>
- (47) *ČD v IDS* [online]. Praha: České dráhy, c2008, [cit. 2008-06-30]. Dostupné z: <www.cd.cz>.
- (48) *IDS Pardubický kraj* [online]. Pardubice: Pardubický kraj, 2008, [cit. 2008-07-02]. Dostupné z: <<http://idspk.pardubickykraj.cz>>.
- (49) *IDOL* [online]. Liberec: KORID LK, c2009, [cit. 2009-07-17]. Dostupné z: <www.iidol.cz>.
- (50) **MOJŽÍŠ, V., et al.: Kvalita dopravních a přepravních procesů. Pardubice: Institut Jana Pernera, 2003, 1. vyd., 176 s. ISBN: 80-86530-09-3.**
- (51) **MOJŽÍŠ, M. – MOLKOVÁ, T.: Technologie a řízení dopravy I.: část železniční doprava. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2002, 122 s., 1. vyd. ISBN 80-7194-424-6.**
- (52) *OmniTRANS manual (v. 4.2.19)* [CD-ROM]. Deventer: OmniTRANS International, 2007.
- (53) **THOMAS, D. – HUNT, A.: Programming Ruby: The Pragmatic Programmer's Guide. Addison Wesley Longman, Inc., 2000. 864 s., (2. vyd. 2004). ISBN 978-0-9745140-5-5.**
- (54) **PERNICA, P.: Logistický management – teorie a podniková praxe. Praha: RADIX, 1998, 1. vyd., 664 s., ISBN 80-86031-13-6.**
- (55) **SVOBODA, V.: Doprava jako součást logistických systémů. Praha: RADIX, 2006, 1. vyd., 152 s. ISBN 80-86031-68-3.**
- (56) **PLEVNÝ, M.: Úvod do operačního výzkumu. Plzeň: Vydavatelství ZČU, 1997, 137 s., I. vyd. ISBN 80-7082-369-0.**
- (57) **VOLEK, J.: Operační výzkum I. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2002, 111 s., 1. vyd. ISBN 80-7194-410-6.**
- (58) **JANÁČEK, J.: Optimalizace na dopravních sítích. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2006, 2. prepracované vydanie, 248 s. ISBN 80-8070-586-0.**
- (59) RIPKA, I.: *Dopravný model bratislavského regiónu*. In: Verejná osobná doprava 2009 – medzinárodná konferencia – Zborník. Bratislava: Kongres management, 2009. ISBN 978-80-89275-18-2.
- (60) Interní materiály COMETT plus, s. r. o. Tábor. Ročenka MHD 2008.

Poznámka: **tučně** jsou uvedeny knižní publikace.

SEZNAM ZKRATEK

AON	All or Nothing (všechno nebo nic), metoda traffic assignmentu
ČD	České dráhy
ČR	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
EN	evropská norma
GIS	geografický informační systém
IAD	individuální automobilová doprava
IDP	Integrovaná doprava Plzeňska
IDS JMK	Integrovaný dopravní systém Jihomoravského kraje
IDS	integrovaný dopravní systém
IP	Integer programming (celočíslné programování)
ITJŘ	integrovaný taktový jízdní řád
JŘ	jízdní řád
MHD	městská hromadná doprava
MS	Microsoft
OD	origin-destination (zdroj-cíl), označení matice směřování přepravních proudů
OJL	OmniTRANS Job Language, programovací jazyk na bázi Ruby
PID	Pražská integrovaná doprava
PRIVOL	Prideľovanie vozidiel linkám, metoda
Sb.	Sbírka (zákonů)
SID	Středočeská integrovaná doprava
SQL	Structured Query Language (strukturovaný dotazovací jazyk)
sw	software
VHOD	veřejná hromadná osobní doprava
VLD	veřejná linková doprava

SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1: Řešení zapojení příměstských linek na území města – počty variant	37
Tab. 4.1: Parametry úseků dopravní sítě VHOD v dopravním modelu	49
Tab. 4.2: Velikosti výběrového statistického souboru	50
Tab. 5.1: Limitní hodnoty pro zařazení úseku do podsítě pro provoz kmen. linek	99
Tab. 5.2: Počty spojů na úsecích	102
Tab. 5.3: Atrakční obvody přestupních uzlů pro tvorbu doplňkových linek	108
Tab. 5.4: Doplňkové linky ve zvoleném území	109
Tab. 5.5: Interakce kmenových a doplňkových linek	109

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1: IDS v ČR	21
Obr. 2.1: Vazby v IDS	26
Obr. 3.1: Možná uspořádání center logistické technologie Hub and Spoke	30
Obr. 3.2: Příklad sítě kmenových linek v quasi-kanálovém uspořádání	33
Obr. 3.3: Přepavní nerovnoměrnosti v modelu	44
Obr. 4.1: Propojení dopravních sítí různých dopravních oborů v jedné obci	49
Obr. 4.2: Dvoustupňové řešení hraničních zón	52
Obr. 4.3: Grafické vyjádření směřování přepravních proudů v obecné dopravní síti	55
Obr. 4.4: Konsolidace paralelních přepravních tras	59
Obr. 4.5: Vybraná podsít' vhodná pro provoz kmenových linek v obecné dopravní síti	63
Obr. 4.6: Změny dostupnosti a atraktivity z hlediska podsítě kmenových linek	64
Obr. 4.7 Analýza směřování přepravních proudů v uzlu podsítě kmenových linek	67
Obr. 4.8: Střídavé vedení průchozích linek stejné skupiny přestupním uzlem	69
Obr. 4.9: Příklad problematiky propojování spojů na společném úseku	70
Obr. 4.10: Podprogram software OmniTRANS pro traffic assignment metodou AON	71
Obr. 4.11: Příklad využití polookružních linek v regionální dopravě	75
Obr. 4.12: Ilustrace zapojení doplňkové linky do uzlu ITJŘ	78
Obr. 4.13: Dekompozice modelu podle kmenových linek	85
Obr. 4.14: Mikrozóny na trasách možných doplňkových linek	85
Obr. 5.1: Přepavní nerovnoměrnosti v průběhu pracovního dne v MHD Tábor	96
Obr. 5.2: Analýza přepravních proudů cestujících pro uzel Písecké rozcestí	101
Obr. 5.3: Možné přestupní uzly a vyznačení řešeného sektoru	107

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 – Vývojový diagram algoritmu

Příloha 2 – Infrastruktura vhodná pro provoz VHOD

Příloha 3 – Převážné proudy cestujících (bez linek)

Příloha 4 – Pod síť vhodná pro provoz kmenových linek

Příloha 5 – Provázení spojů v uzlech dopravní sítě (před konsolidací)

Příloha 6 – Stanovení provázení linek na úsecích dopravní sítě

Příloha 7 – Návrh kmenových linek (pouze MHD Tábor)

Příloha 8 – Dekompozice území na sektory pro tvorbu napájecích linek

Příloha 9 – Přehled doplňkových linek

Příloha 10 – Přehled kmenových linek

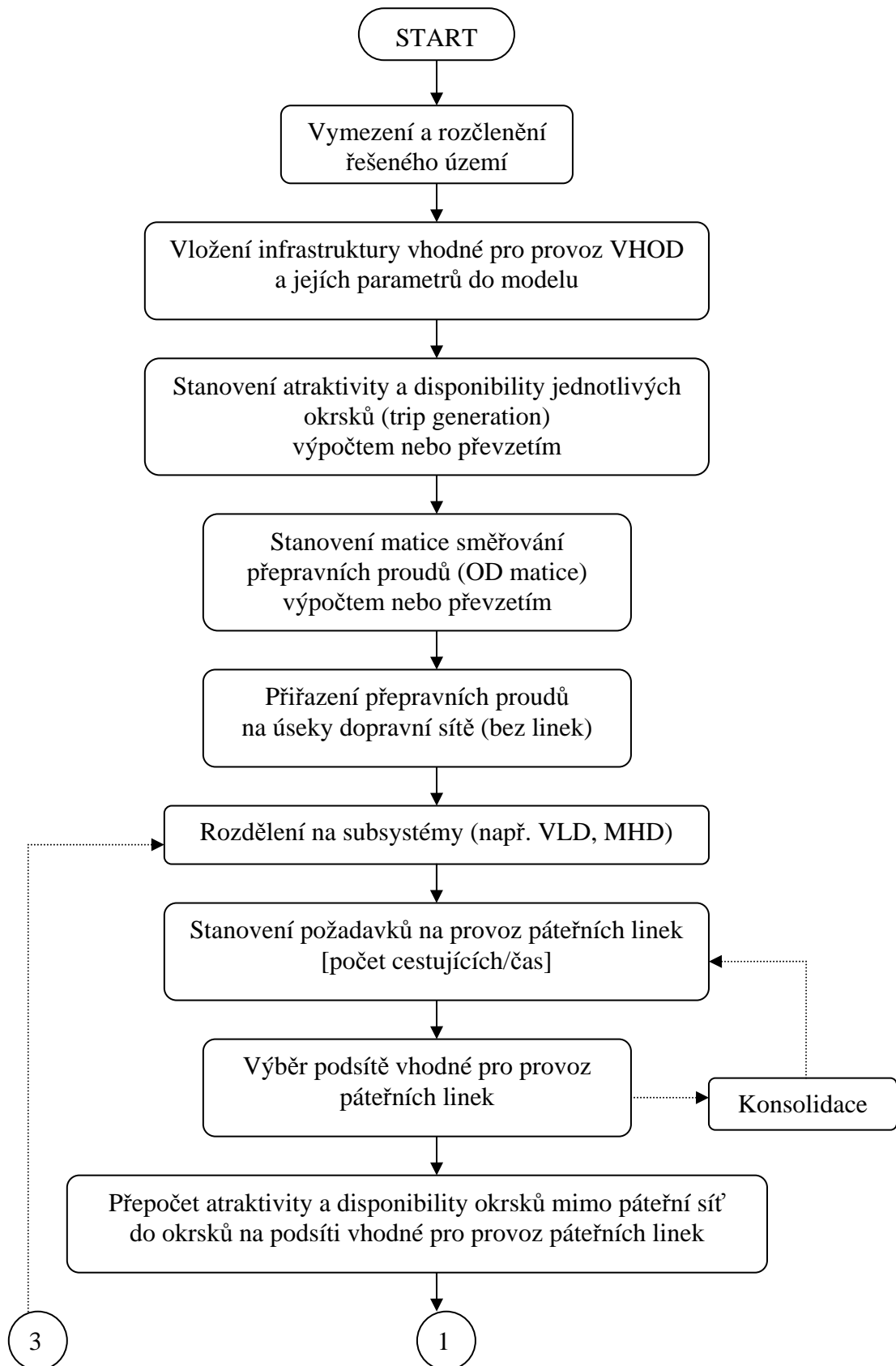
Příloha 11 – Zatížení navržených linek IDS Tábor a poměry nastupujících, vystupujících, přestupujících v jednotlivých zastávkách

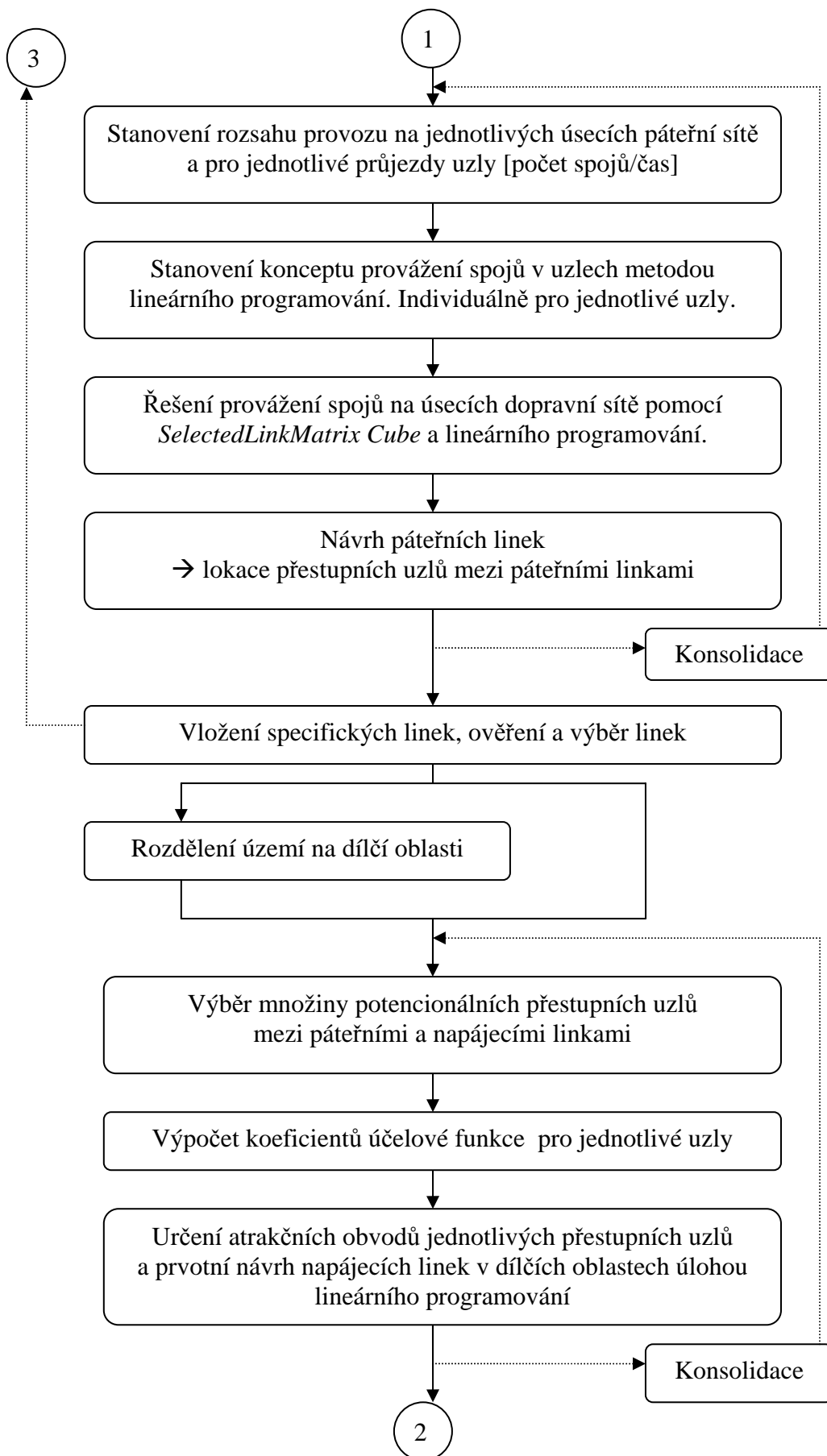
Příloha 12 – Matice přestupovosti pro zastávku Nový hřbitov

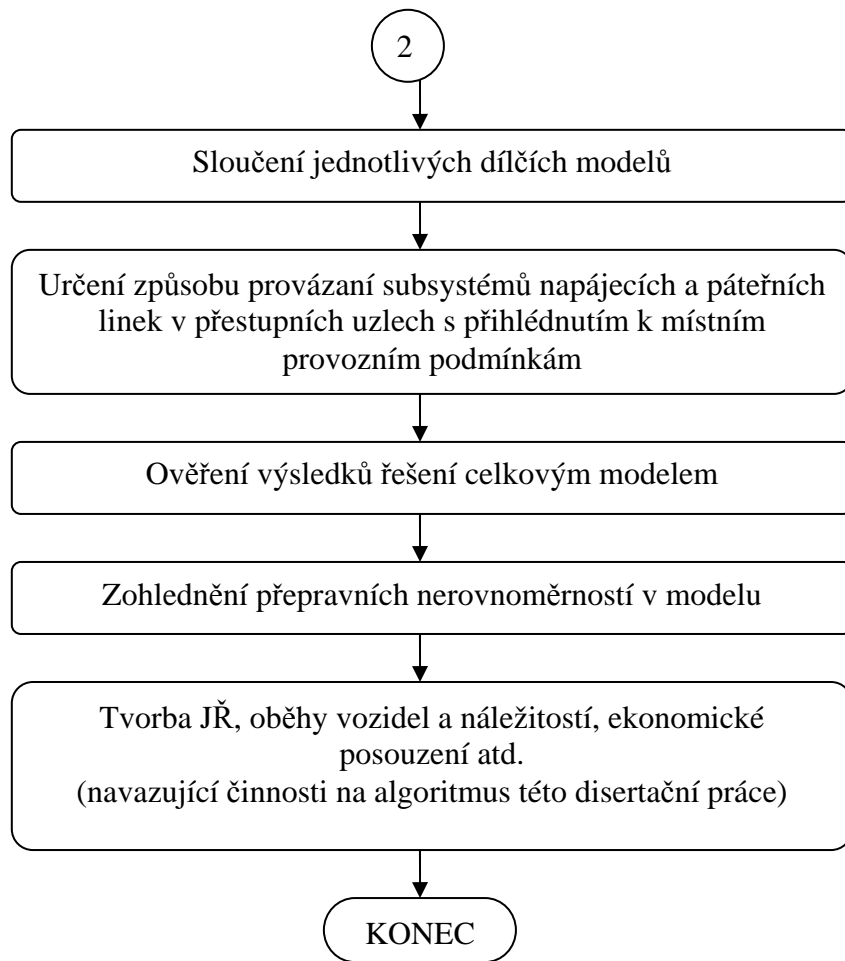
Příloha 13 – Přehled přestupních zastávek

PŘÍLOHY

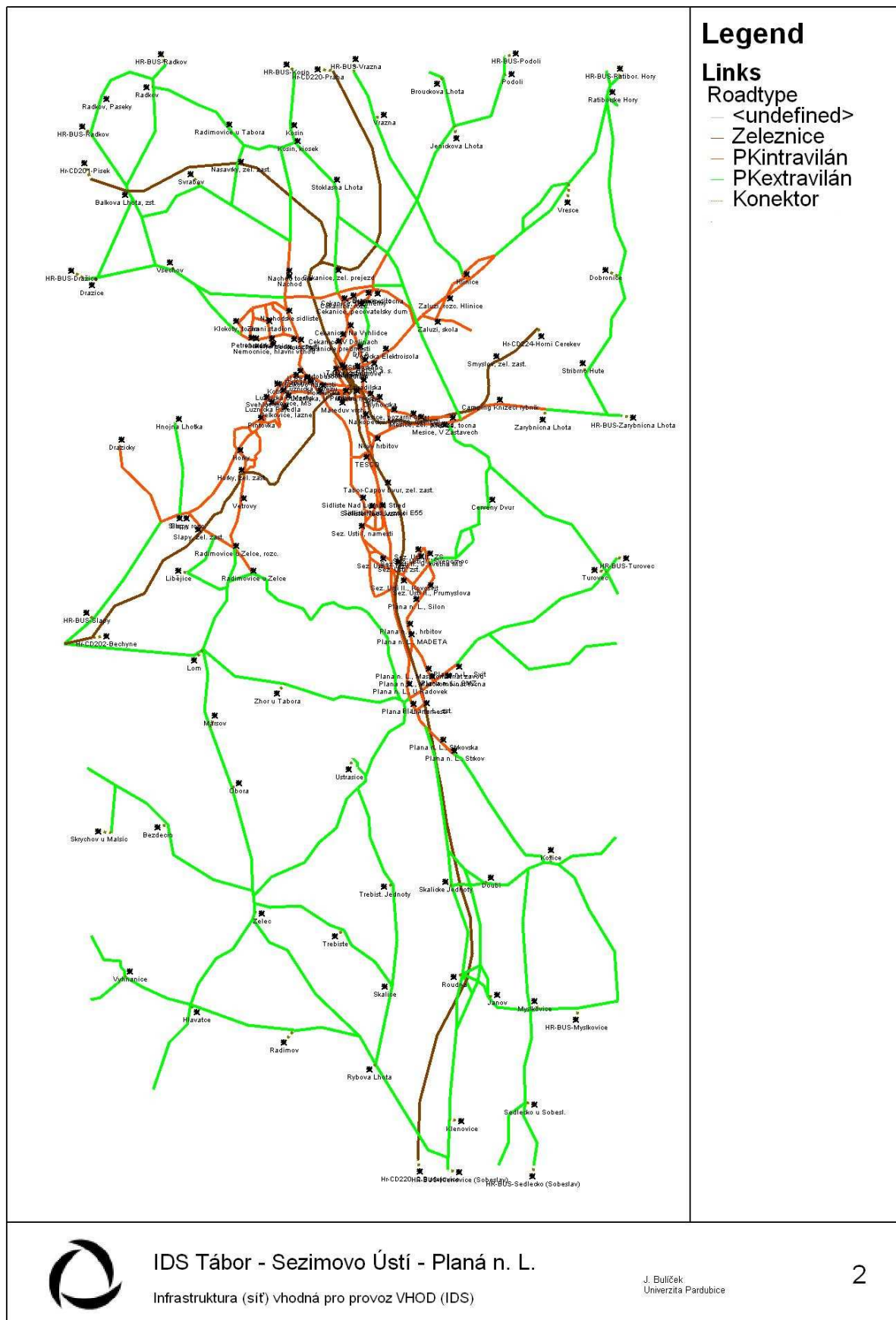
Příloha 1 – Ideové schéma algoritmu



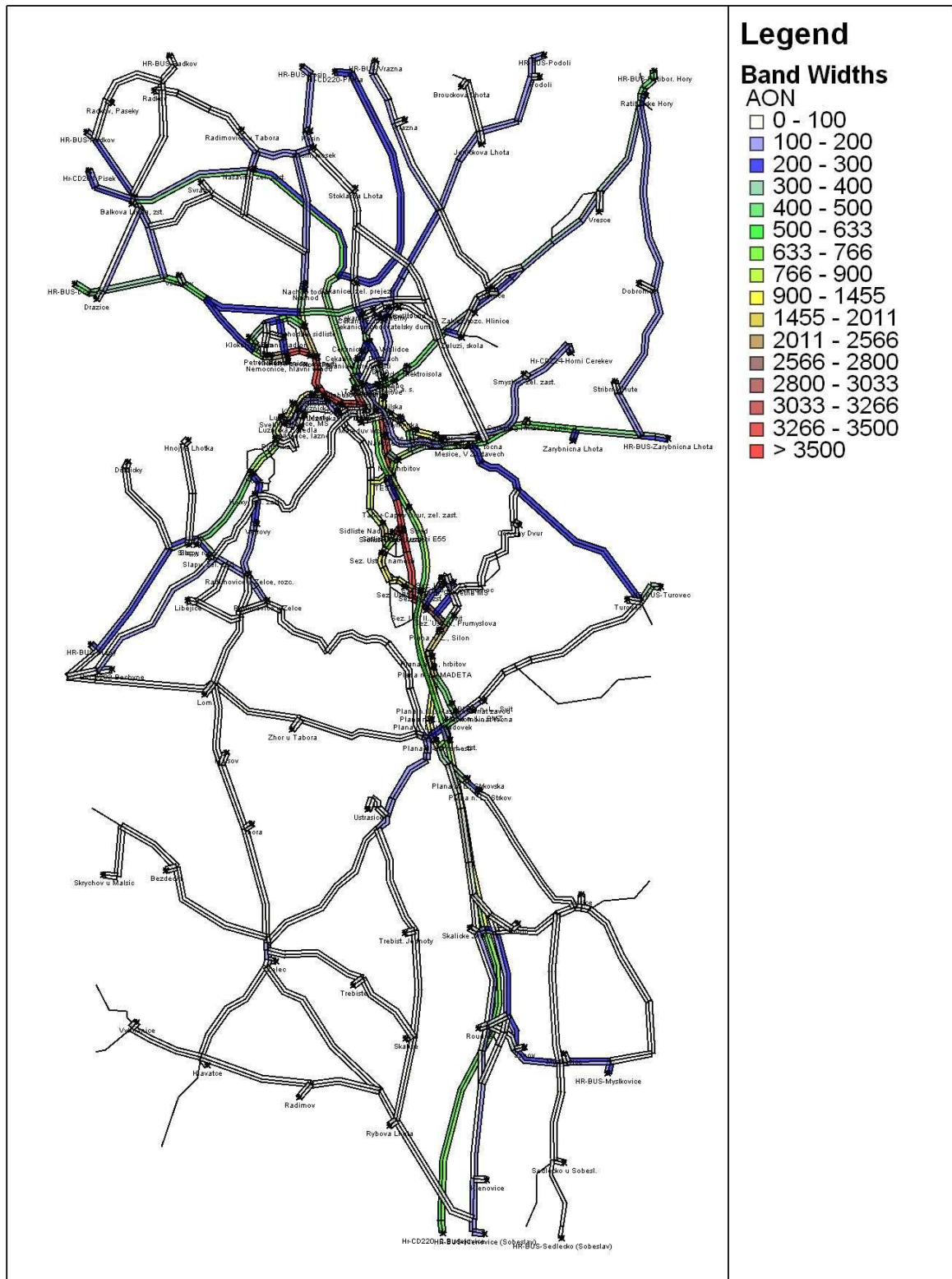




Příloha 2 – Infrastruktura vhodná pro provoz VHOD



Příloha 3 – Převpravní proudy cestujících (bez linek)

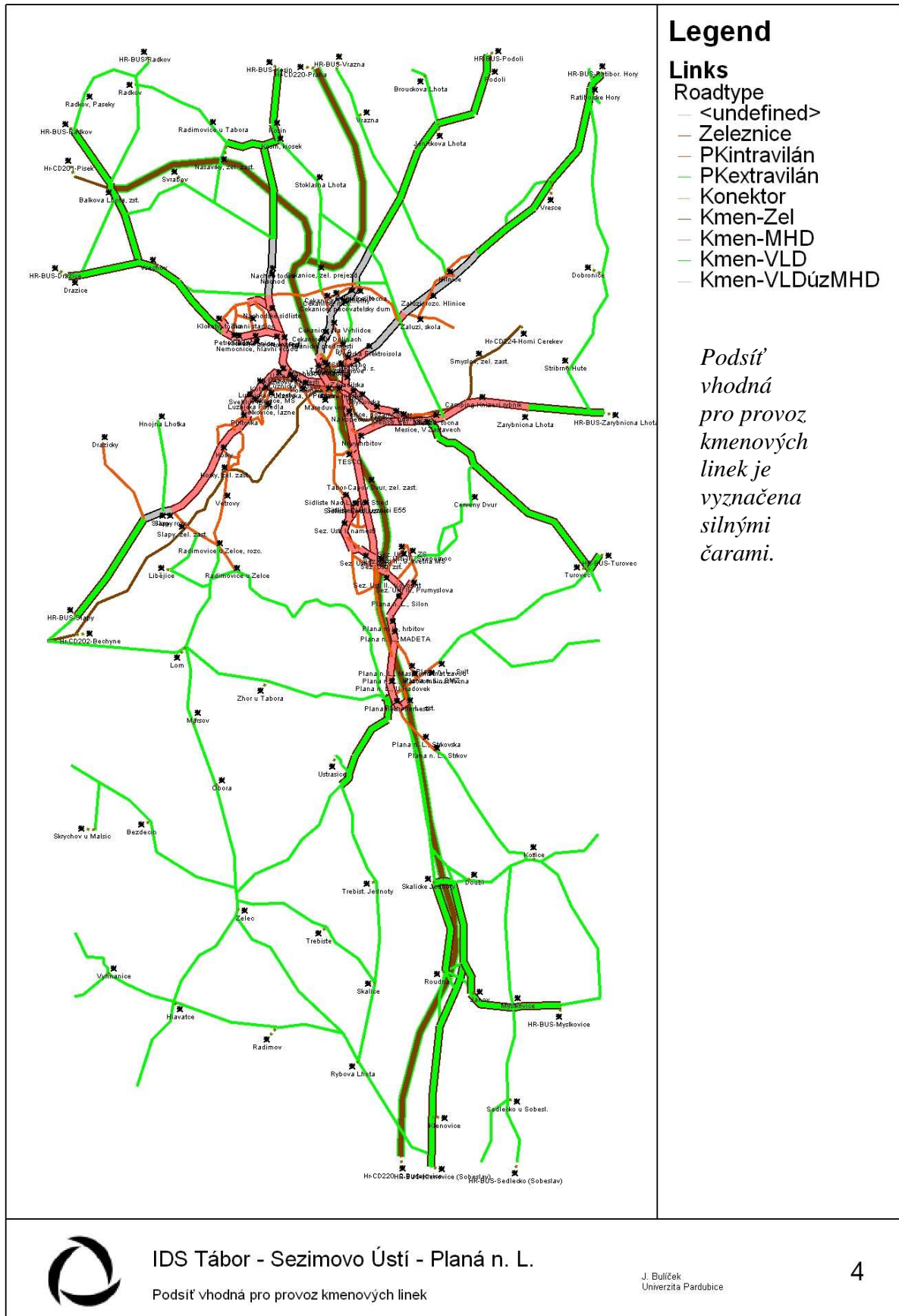


IDS Tabor - Sezimovo Ústí - Planá n. L.

Převpravní proudy cestujících (bez linek)

J. Bulíček
Univerzita Pardubice

Příloha 4 – Pod síť vhodná pro provoz kmenových linek



Příloha 5 – Provázení spojů v uzlech dopravní sítě (před konsolidací)

Uzel Všechnov (VLD)					
Směr	Spojů	Spojů ukonč. v uzlu	Ralace	Spojů možných	Spojů zavedených
Dražice	15	0	Dražice – Tábor	13	13
Tábor	15	0	Dražice – B. Lhota	10	2
Balkova Lhota	10	6	Tábor – B. Lhota	10	2
Hodnota účelové funkce (počet. cest. bez přestupu):				385	70 %

Uzel Košín (VLD)					
Směr	Spojů	Spojů ukonč. v uzlu	Ralace	Spojů možných	Spojů zavedených
Náchod	13	0	Náchod – Košín	10	7
Košín	10	0	Náchod – Radimovice	10	6
Radimovice u Tábora	10	1	Košín – Radimovice	10	3
Hodnota účelové funkce (počet. cest. bez přestupu):				212	62,9 %

Uzel Janov (VLD)					
Směr	Spojů	Spojů ukonč. v uzlu	Ralace	Spojů možných	Spojů zavedených
Doubí u Tábora	10	0	Doubí – Myslkovice	10	10
Myslkovice	10	0	Doubí – Klenovice	10	0
Klenovice	10	10	Myslkovice – Klenovice	10	0
Hodnota účelové funkce (počet. cest. bez přestupu):				230	70,6 %

Uzel Nemocnice (MHD)					
Směr	Spojů	Spojů ukonč. v uzlu	Ralace	Spojů možných	Spojů zavedených
Klokoty	102	0	Klokoty – Nem., hl. vchod	76	0
Nem., hl. vchod	102	0	Nem., hl. vchod – Písecké rozc.	102	102
Písecké rozc.	228	24	Klokoty – Písecké rozc.	102	102
Hodnota účelové funkce (počet. cest. bez přestupu):				4078	92,4 %

Uzel Písecké rozcestí (MHD)					
Směr	Spojů	Spojů ukonč. v uzlu	Ralace	Spojů možných	Spojů zavedených
Nemocnice	228	0	Náchod – Nemocnice	76	0
Náchod	76	76	Náchod – Křížíkovo nám.	76	0
Křížíkovo nám.	228	0	Nemocnice – Křížíkovo nám.	228	228
Hodnota účelové funkce (počet. cest. bez přestupu):				4521	82,9 %

Uzel Křížíkovo náměstí (MHD)					
Směr	Spojů	Spojů ukonč. v uzlu	Ralace	Spojů možných	Spojů zavedených
Písecké rozc.	228	0	Písecké rozc. – Na Parkánech	76	51
Na Parkánech	102	0	Na Parkánech – Budějovická	76	51
Budějovická	228	0	Písecké rozc. – Budějovická	228	177
Hodnota účelové funkce (počet. cest. bez přestupu):				5551	74,8 %

Uzel Černé mosty (MHD)					
Směr	Spojů	Spojů ukonč. v uzlu	Ralace	Spojů možných	Spojů zavedených
Budějovická	228	0	Budějovická – Chýnovská	76	51
Chýnovská	102	0	Chýnovská – Nový hřbitov	76	51
Nový hřbitov	228	0	Budějovická – Nový hřbitov	228	177
Hodnota účelové funkce (počet. cest. bez přestupu):				5134	74,7 %

Uzel Chýnovská (MHD)					
Směr	Spojů	Spojů ukonč. v uzlu	Ralace	Spojů možných	Spojů zavedených
Černé mosty	228	0	Černé mosty – Zavadilská	76	26
Zavadilská	102	50	Zavadilská – Měšice	76	0
Měšice	228	0	Černé mosty – Měšice	76	76
Hodnota účelové funkce (počet. cest. bez přestupu):				1431	70,8 %

Uzel Měšice (MHD)					
Směr	Spojů	Spojů ukonč. v uzlu	Ralace	Spojů možných	Spojů zavedených
Měšice (Chýnovská)	76	0	Měšice – Nový hřbitov	76	38
Nový hřbitov	76	0	Nový hřbitov – Zárybničná Lhota	76	38
Zárybničná Lhota	76	0	Zárybničná Lhota – Měšice	76	38
Hodnota účelové funkce (počet. cest. bez přestupu):				459	50,0 %

Uzel Nový hřbitov (MHD)					
Směr	Spojů	Spojů ukonč. v uzlu	Ralace	Spojů možných	Spojů zavedených
Černé mosty	228	0	Černé mosty – Měšice	76	0
Měšice	76	76	Měšice – Sídl. nad Luž. E55	76	0
Sídl. nad Luž. E55	228	0	Černé mosty – Sídl. nad Luž. E55	228	228
Hodnota účelové funkce (počet. cest. bez přestupu):				3891	81,4 %

Sídlíště nad Lužnicí E55 (MHD)					
Směr	Spojů	Spojů ukonč. v uzlu	Ralace	Spojů možných	Spojů zavedených
Nový hřbitov	228	24	Nový hřbitov – Sídl. nad L. střed	102	102
Sídl. Nad Lužnicí střed	228	24	Sídl. nad L. střed – Sez. Ústí, rozc. E55	102	102
Sez. Ústí, rozc. E55	228	24	Sídl. nad L. střed – Nový hřbitov	102	102
Hodnota účelové funkce (počet. cest. bez přestupu):				6600	100,0 %

Sídlíště nad Lužnicí střed (MHD)					
Směr	Spojů	Spojů ukonč. v uzlu	Ralace	Spojů možných	Spojů zavedených
Sídl. nad Luž., E55	102	0	Sídl. nad Luž., E55 – točna	102	56
Sídl. nad Luž., točna	112	0	Sídl. nad Luž., točna – Sezimovo Ústí, rozc. E55	76	56
Sez. Ústí, rozc. E55	102	0	Sezimovo Ústí, rozc. E55 – Sídl. nad Luž., E55	76	46
Hodnota účelové funkce (počet. cest. bez přestupu):				2530	61,6 %

Sezimovo Ústí, rozc. E55 (MHD)					
Směr	Spojů	Spojů ukonč. v uzlu	Ralace	Spojů možných	Spojů zavedených
Sídl. nad Luž., E55	112	0	Sídl. nad Luž., E55 – střed	76	0
Sídl. nad Luž., střed	102	26	Sídl. nad Luž., střed – Kovosvit	76	76
Kovosvit	228	40	Kovosvit – Sídl. nad Luž., E55	112	112
Hodnota účelové funkce (počet. cest. bez přestupu):				5223	97,0 %

Sezimovo Ústí – Kovosvit (MHD)					
Směr	Spojů	Spojů ukonč. v uzlu	Ralace	Spojů možných	Spojů zavedených
Sez. Ústí, rozc. E55	112	0	Sez. Ú., rozc. E55 – Planá n. L.	102	102
Planá nad Lužnicí	102	0	Planá n. L. – Svěpomoc	76	0
Svěpomoc	76	66	Svěpomoc – Sez. Ú., rozc. E55	76	10
Hodnota účelové funkce (počet. cest. bez přestupu):				2741	85,9 %

Poznámka: Uvedené počty cestujících jsou uvažovány jednosměrně.

Zohledněna je vždy hodnota přepravně silnějšího směru (předpoklad stejného počtu spojů v obou směrech podle ITJŘ).

Příloha 6 – Stanovení provázení linek na úsecích dopravní sítě

Úsek: Čs. armády (Písecké rozc. – Křížíkovo nám.)				
Z	Do	Cestujících na nejkratších cestách za den	Počet propojitelných spojů	Počet propojených spojů
Budějovická	Nemocnice	6436,99	152	152
Budějovická	Náchod	629,74	76	25
Na Parkánech	Nemocnice	889,53	51	0
Na Parkánech	Náchod	86,87	51	51
Hodnota účelové funkce (počet. cest. na nejkr. cestách bez přestupu):			6731	83,7 %

Úsek: Budějovická (Křížíkovo nám. – Černé mosty, vč. Autobusového nádraží)				
Z	Do	Cestujících na nejkratších cestách za den	Počet propojitelných spojů	Počet propojených spojů
Písecké rozcestí	Chýnovská	844,59	51	51
Písecké rozcestí	Nový hřbitov	3425,80	177	126
Na Parkánech	Chýnovská	198,35	51	0
Na Parkánech	Nový hřbitov	815,67	51	51
Hodnota účelové funkce (počet. cest. na nejkr. cestách bez přestupu):			4099	77,6 %

Úsek: Černé mosty - Chýnovská				
Z	Do	Cestujících na nejkratších cestách za den	Počet propojitelných spojů	Počet propojených spojů
Budějovická	Zavadilská	855,51	26	0
Budějovická	Měšice	1063,18	51	51
Nový hřbitov	Zavadilská	626,51	26	26
Nový hřbitov	Měšice	653,66	51	25
Hodnota účelové funkce (počet. cest. na nejkr. cestách bez přestupu):			2610	68,7 %

Úsek: Chýnovská – Měšice				
Z	Do	Cestujících na nejkratších cestách za den	Počet propojitelných spojů	Počet propojených spojů
Černé mosty	Zárybničná Lhota	487,94	38	38
Černé mosty	Nový hřbitov	0	38	38
Zavadilská	Zárybničná Lhota	30,06	0	0
Zavadilská	Nový hřbitov	0	0	0
Hodnota účelové funkce (počet. cest. na nejkr. cestách bez přestupu):			488	94,2 %

Úsek: Měšice – Nový hřbitov (obchvat I./19)				
Z	Do	Cestujících na nejkratších cestách za den	Počet propojitelných spojů	Počet propojených spojů
Chýnovská	Černé mosty	92,28	Nelze propojit žádný spoj, všechny spoje ze směrů Měšice (Chýnovská) a Zárybničná Lhota ukončeny u Nového hřbitova (viz příloha 6).	
Chýnovská	Sídl. nad Lužnicí E55	441,20		
Zárybničná Lhota	Černé mosty	100,28		
Zárybničná Lhota	Sídl. nad Lužnicí E55	401,43		
Hodnota účelové funkce (počet. cest. na nejkr. cestách bez přestupu):			0	0,0 %

Vzhledem k vyloučené možnosti propojení linek v úseku Nový hřbitov – Měšice, je dále řešen sloučený úsek Černé mosty – Nový hřbitov – Sídliště nad Lužnicí E55 společně.

Úsek: Černé mosty – Sídliště nad Lužnicí E55				
Z	Do	Cestujících na nejkratších cestách za den	Počet propojitelných spojů	Počet propojených spojů
Budějovická	Sezimovo Ústí, rozc. E55	1770,24	102	51
Budějovická	Sídl. nad Lužnicí, střed	2387,36	102	102
Chýnovská	Sezimovo Ústí, rozc. E55	150,44	51	51
Chýnovská	Sídl. nad Lužnicí, střed	208,08	51	0
Hodnota účelové funkce (počet. cest. na nejkr. cestách bez přestupu):			3423	75,8 %

Úsek: Sídliště nad Lužnicí E55 – Sídliště nad Lužnicí, střed				
Z	Do	Cestujících na nejkratších cestách za den	Počet propojitelných spojů	Počet propojených spojů
Nový hřbitov	Sez. Ústí, nám.	2003,60	46	0
Nový hřbitov	Sídl. nad Lužnicí, točna	1470,92	56	56
Sez. Ústí, rozc. E55	Sez. Ústí, nám.	184,11	46	46
Sez. Ústí, rozc. E55	Sídl. nad Lužnicí, točna	131,01	56	0
Hodnota účelové funkce (počet. cest. na nejkr. cestách bez přestupu):			1655	43,7 %

Úsek: Sídliště nad Lužnicí, střed – Sezimovo Ústí, rozc. E55				
Z	Do	Cestujících na nejkratších cestách za den	Počet propojitelných spojů	Počet propojených spojů
Sídl. nad Lužnicí, E55	Sídl. nad Lužnicí, E55	0	0	0
Sídl. nad Lužnicí, E55	Kovosvit	0	56	56
Sídl. nad Lužnicí, střed	Sídl. nad Lužnicí, E55	0	0	0
Sídl. nad Lužnicí, střed	Kovosvit	1581,79	56	20
Hodnota účelové funkce (počet. cest. na nejkr. cestách bez přestupu):			565	35,7 %

Vzhledem k možné vratné jízdě zpět (do smyčky) byly některé jízdy manuálně zakázány.

Úsek: Sídliště nad Lužnicí, E55 – Sezimovo Ústí, rozc. E55				
Z	Do	Cestujících na nejkratších cestách za den	Počet propojitelných spojů	Počet propojených spojů
Nový hřbitov	Sídl. nad Luž., střed (přes Sezimovo Ústí, nám.)	144,67	0	0
Nový hřbitov	Kovosvit	3345,03	102	102
Sídl. nad Luž., střed	Sídl. nad Luž., střed (přes Sezimovo Ústí, nám.)	155,44	0	0
Sídl. nad Luž., střed	Kovosvit	3311,50	102	10
Hodnota účelové funkce (počet. cest. na nejkr. cestách bez přestupu):			3825	55,0 %

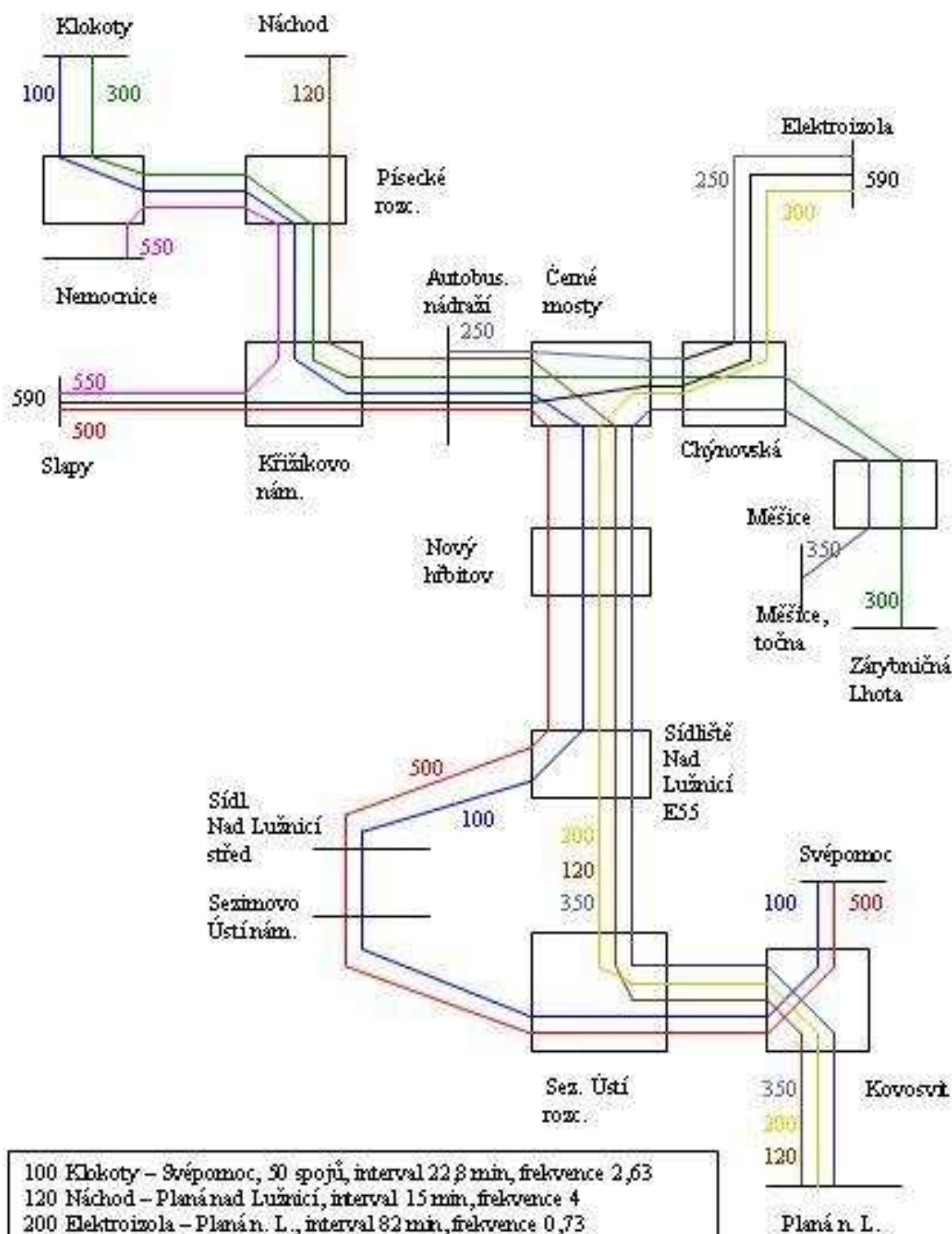
Vzhledem k možné vratné jízdě zpět (do smyčky) byly některé jízdy manuálně zakázány.

Úsek: Sezimovo Ústí, rozc. E55 - Kovosvit				
Z	Do	Cestujících na nejkratších cestách za den	Počet propojitelných spojů	Počet propojených spojů
Sídl. nad Lužnicí, střed (přes Sez. Ústí, nám.)	Svépomoc	77,34	10	10
Sídl. nad Lužnicí, střed (přes Sez. Ústí, nám.)	Planá nad Lužnicí	662,68	76	0
Sídl. nad Lužnicí, E55	Svépomoc	187,41	10	0
Sídl. nad Lužnicí, E55	Planá nad Lužnicí	1319,39	102	102
Hodnota účelové funkce (počet. cest. na nejkr. cestách bez přestupu):			1397	62,2 %

Poznámka: Uvedené počty cestujících jsou uvažovány jednosměrně.

Zohledněna je vždy hodnota přepravně silnějšího směru (předpoklad stejného počtu spojů v obou směrech podle ITJŘ).

Příloha 7 – Návrh kmenových linek (pouze MHD Tábor)



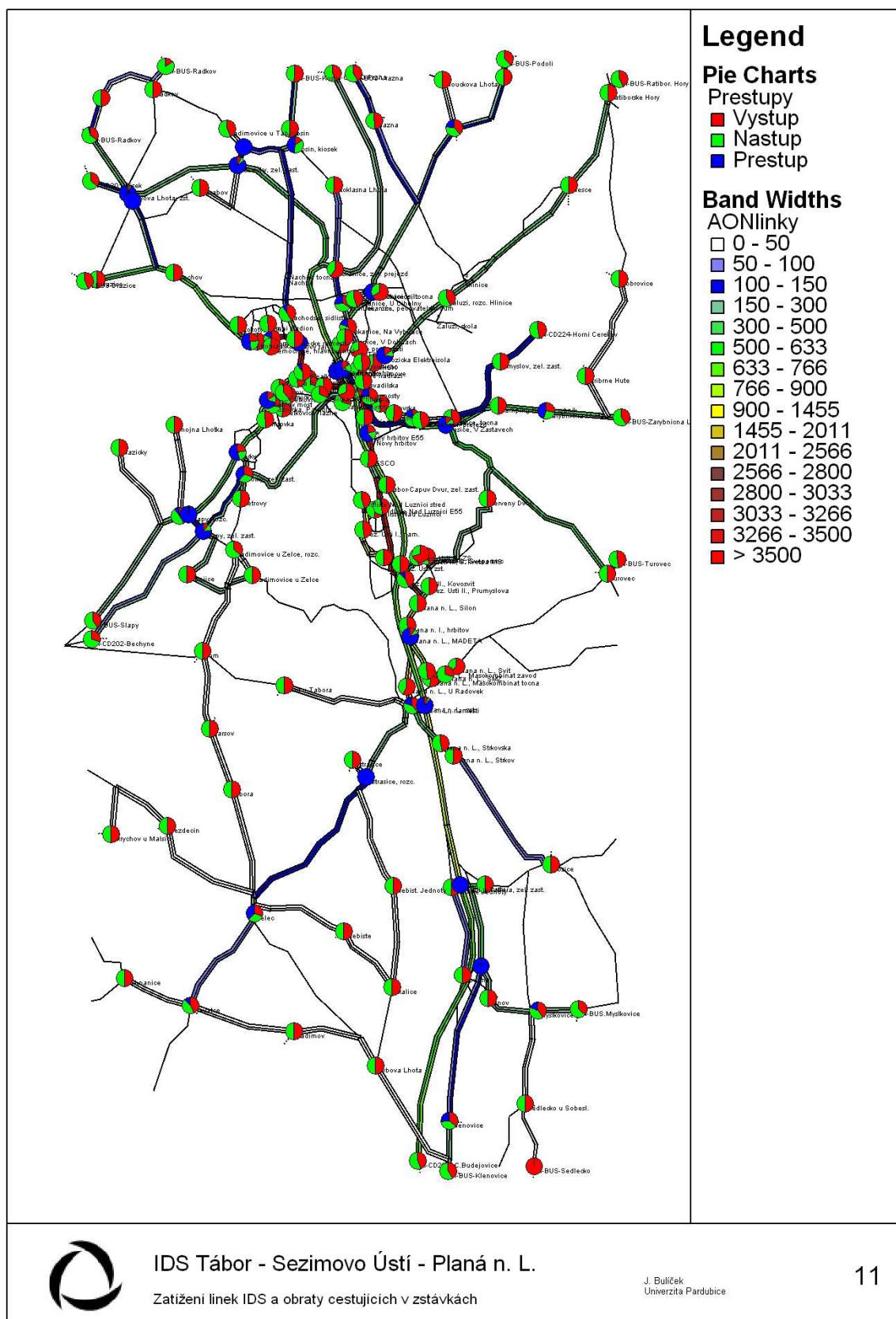
Příloha 9 – Přehled doplňkových linek

Linka	Směr	Typ	Napojení linky na kmenovou síť
Sektor 1 – Radkov			
8512	Balkova Lhota, žst. – Radkov – hranice IDS	VLD	Napojení na kmen. linku 8503 a na vlak v žst. Balkova Lhota
Sektor 2 – Stoklasná Lhota a okolí			
906	Autobusové nádraží – Čekanice – Balkova Lhota	MHD	Zavedena s přihlédnutím k současnému stavu
Sektor 3 – Vrážná a Broučková Lhota			
8006	Autobusové nádraží – Čekanice – Vrážná	VLD (MHD)	Nízké vytížení linky mimo město. Městský úsek možno zařadit do MHD.
8007	Jeníčkova Lhota – Broučková Lhota	VLD	Nízké využití linky, doprava nízkokapacitními vozidly. Případně alternativní systém dopr. obsluhy
Sektor 4 – Dobronice a okolí			
8008	Zárybničná Lhota - Dobronice	VLD (MHD)	Nahradiť prodlouženými spoji linky MHD č. 300.
Sektor 5 – žádné doplňkové linky nezavedeny			
Sektor 6 – mezi Měšicemi a Sezimovo Ústím			
907	Sezimovo Ústí - Měšice	MHD	Navrhuje se jako tangenciální linka obsluhovaná nízkokapacitními vozidly (možnost prodloužení linky MHD č. 350), provoz jen ve špičkách. V Sezimově Ústí nahradit úpravou linkového vedení linek č. 100 a 500.
908	Planá n. L. MADETA – Planá n. L. Svit	MHD	Prodloužit vybrané spoje linek č. 120, 200, 350 do zast. Planá n. L., toč. celodenně, do zast. Planá n. L., Svit podle přepravních potřeb
8009	Planá n. L., žst. - Košice	VLD	
9014	Doubí u T. – Myslkovice – Sedlečko u S. – hranice oblasti (Soběslav)	VLD	prodloužení vybraných spojů kmenové linky 9014 Doubí u Tábora – Myslkovice
Sektor 7 – Želeč a okolí			
900	Horky – Větrovy	MHD	Propojení s vybranými spoji linek MHD č. 500, 550, 590
8001	Slapy – Libějice – Radimovice u Želče – Lom – Maršov – Obora – Želeč	VLD	Propojení s vybranými spoji linek MHD č. 500, 550, 590
8002	Planá nad Lužnicí, žst. – Zhoř u Tábora	VLD	Samostatná linka
8003	Ústrašice – Želeč – Bezděčín – Skrýchov u Malšic	VLD	Prodloužení vybraných spojů samostatné kmenové linky Planá n. L. – Ústrašice
8004	Ústrašice – Třebíšské Jednoty – Skalice – Třebíš – Želeč – Hlavatce – Vyhnalice	VLD	Prodloužení vybraných spojů samostatné kmenové linky Planá n. L. – Ústrašice
8005	Klenovice – Rybova Lhota – Radimov – Hlavatce – Želeč	VLD	Prodloužení (odbočení) vybraných spojů linky č. 9515 Roudná – Soběslav nebo samostatná linka (podle přepravních poměrů na lince 9515).
Sektor 8 – Dražičky a Hnojná Lhotka			
8010	Slapy – Dražičky	MHD	Prodloužení vybraných spojů linky MHD 590
8011	Slapy – Hnojná Lhotka	MHD	Nízké využití, možnost prodloužení ojedinelých spojů linky 590 (a sloučení s linkou 8010)
Sektor 9 - Svrabov			
8513	Radimovice u T. – Nasavrky, žel. zast. – Svrabov	VLD	Prodloužení vybraných spojů linky č. 9057, koordinace s vlakem v Nasavrkách (do/od Tábora)
Sektor 10 - Radkov			
8512	Balkova Lhota – Radkov – hranice oblasti	VLD	Koordinace s vlakem a ostatními kmenovými linkami (9002 a 9503 v Balkově Lhotě)
Sektor 11 – Náchodské sídliště			
905	Nemocnice – Zimní stadion	MHD	Prodloužení vybraných spojů linky č. 100 (s přihlédnutím k současnému stavu)
Sektor 12 - Čelkovice			
902	Švehlův most – Lužnická u Přibíků	MHD	Prodloužení vybraných spojů linky č. 500
903	Švehlův most – Čelkovice, lázně	MHD	Prodloužení vybraných spojů linky č. 500
Sektor 13 – Marešův vrch a TESCO			
901	Autobusové nádraží – Marešův vrch	MHD	Samostatná linka
909	Nový hřbitov – Síd. nad Lužnicí E55	MHD	Odklon vybraných spojů linek č. 300, 200, 500, 120, 100 podle přepravních požadavků obchodního domu.

Příloha 10 – Přehled kmenových linek

Linka	Směr linky	Interval [min]	Typ linky
100	Klokoty – Autobusové nádraží – Sídliště nad Lužnicí střed – Sezimovo Ústí nám. – Kovosvit – Svěpomoc	20	MHD
120	Náchod – Autobusové nádraží – Sídl. nad Lužnicí E55 – Kovosvit – Planá nad Lužnicí, nám. – Planá nad Lužnicí, žst.	15	MHD
200	Vožická, Elektroizola – Černé mosty – Sídl. nad Lužnicí E55 – Kovosvit – Planá n. L., nám. – Planá n. L., žst.	90	MHD
250	Vožická, Elektroizola – Zavadilská – Autobusové nádraží	60	MHD
300	Klokoty – Autobusové nádraží – Měšice – Zárybnická Lhota	20	MHD
350	Měšice, točna – Černé mosty – Sídliště nad Lužnicí E55 – Kovosvit – Planá nad Lužnicí, nám. – Planá n. L., žst.	45	MHD
500	Slapy – Autobusové nádraží – Sídl. nad Lužnicí, střed – Sezimovo Ústí, nám. – Kovosvit – Svěpomoc	20	MHD
550	Slapy – Nemocnice	60	MHD
590	Slapy – Autobusové nádraží – Zavadilská – Vožická, Elektroizola	30	MHD
9001	Autobusové nádraží – Dražice – hranice oblasti	60	VLD
9002	Autobusové nádraží – Balkova Lhota – Radkov – hranice oblasti	120	VLD
9503	Balkova Lhota, žst. – Dražice – hranice oblasti	2 spoje	VLD
9005	Autobusové nádraží – Radimovice u Tábora	180	VLD
9006	Autobusové nádraží – Košín – hranice oblasti	180	VLD
9507	Radimovice u Tábora – Košín – hranice oblasti	3 spoje	VLD
9008	Autobusové nádraží – Vožická, Elektroizola – Záluží – Ratibořické Hory – hranice oblasti	60	VLD
9009	Autobusové nádraží – Čekanice, silo – Podolí – hranice oblasti	120	VLD
9010	Autobusové nádraží – Zárybnická Lhota – hranice oblasti	60	VLD
9011	Autobusové nádraží – Měšice V Zástavech – Surovec – hranice oblasti	120	VLD
9012	Planá n. L., žst. – Ústrašice	120	VLD
9013	Roudná – Skalické Jednoty – Doubí u Tábora, žel. zast.	240	VLD
9014	Doubí u Tábora, žel. zast. – Myslkovice	120	VLD
9515	(Doubí u Tábora, žel. zast. –) Klenovice – hranice oblasti	120	VLD
9016	Autobusové nádraží – Slapy – hranice oblasti	120	VLD
Os – ČB	Tábor – Planá nad Lužnicí (– České Budějovice)	60	Železnice
Os – BN	Tábor (– Benešov u Prahy)	60	Železnice
Os – PI	Tábor – Balkova Lhota (– Písek)	60	Železnice
Os – Bechyně	Tábor (– Bechyně)	120	Železnice doplňková l.
Os - Smyslov	Tábor (– Pelhřimov – Horní Cerkev)	120	Železnice doplňková l.

Příloha 11 – Zatížení navržených linek IDS Tábor a poměry nastupujících, vystupujících, přestupujících v jednotlivých zastávkách



Příloha 12 – Matice přestupovosti pro zastávku Nový hřbitov

(výstupní sestava sw OmniTRANS)

Zastávka Novy hrbivot

Příloha 12

Matice přestupovosti



LineReport

Stop:161,Nov

	1,1, 100	2,1, 100b	7,1, 120	8,1, 120b	9,1, 500	10,1, 500b	11,1, 200	12,1, 200b	27,1, 350	28,1, 350a	112,1, 909	113,1, 909a	Walking 909a	Sum Transfers	Sum	
1,1,100	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	97,42	97,42
2,1,100b	0,00	0,00	0,00	12,18	0,00	0,00	0,00	-42,24	0,00	171,46	0,00	0,00	0,00	0,00	225,88	225,88
7,1,120	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	54,14	0,00	0,00	0,00	54,14	54,14
8,1,120b	0,00	72,99	0,00	0,00	0,00	19,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	92,82	92,82
9,1,500	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,60	0,00	0,00	0,00	42,60	42,60
10,1,500b	0,00	0,00	0,00	12,41	0,00	0,00	0,00	43,04	0,00	174,72	0,00	0,00	0,00	0,00	230,17	230,17
11,1,200	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	13,23	0,00	0,00	0,00	13,23	13,23
12,1,200b	0,00	42,99	0,00	0,00	0,00	11,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	54,70	54,70
27,1,350	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,70	0,00	0,00	0,00	42,70	42,70
28,1,350a	0,00	77,74	0,00	0,00	0,00	21,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	98,91	98,91
112,1,909	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
113,1,909a	0,00	121,95	0,00	13,19	0,00	36,38	0,00	14,31	0,00	42,94	0,00	0,00	0,00	0,00	228,78	228,78
Walking	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	0,00	0,00
Sum Transfers	0,00	315,67	0,00	37,78	0,00	89,10	0,00	99,59	0,00	389,13	250,09	0,00	0,00	-	1181,36	-
Sum	0,00	315,67	0,00	37,78	0,00	89,10	0,00	99,59	0,00	389,13	250,09	0,00	0,00	-	1181,36	-

Příloha 13 – Přehled přestupních zastávek

Okrsek	Název zastávky	Počet přestupujících
1	Autobusové nádraží	7075,38
95	Tábor, žst.	3360,77
92	Planá n. L., žst.	1714,20
63	Sez. Ústí II., Kovosvit	1566,24
161	Nový hřbitov E55	1181,36
44	Petrohradská	862,78
160	Doubí u Tábora, žel. zast.	684,93
71	Slapy, rozc.	644,26
32	Měšice, V Zástavech	626,62
81	Vožická Elektroisola	586,60
51	Plana n. L., náměstí	565,20
98	Balkova Lhota, žst.	550,82
78	U Reálky	482,13
84	Zárybničná Lhota	410,46
17	Horky	405,38
13	Černé mosty	403,30
29	Měšice, náměstí	303,63
76	TAPA	297,46
72	Slapy, žel. zast.	268,27
18	Horky, žel. zast.	260,67
97	Nasavrky, žel. zast.	247,08
5	Čekanice, Na Vyhliďce	191,69
24	Křížíkovo nám.	184,96
39	Náchodské sídliště	172,03
68	Sídliště Nad Lužnicí E55	168,98
135	Želeč	123,96
6	Čekanice, rozc.	96,44
121	Myslkovice	22,58
70	Slapy	17,22
133	Hlavatce	15,43
111	Jeníčkova Lhota	7,60
89	Košín, kiosek	2,26
27	Lužnická, U Mostu	1,57

Zdroj: Autor (údaje stanovené výpočtem v rámci disertační práce)