Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Výběr vhodného systému automatického sčítání cestujících v tramvaji Pražské integrované dopravy

Bc. Veronika Veiserová

Diplomová práce
2016

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: **2015/2016**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Bc. Veronika Veiserová**
Osobní číslo:	**D14502**
Studijní program:	**N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor:	**Dopravní management, marketing a logistika**
Název tématu:	**Výběr vhodného systému automatického sčítání cestujících v tramvaji Pražské integrované dopravy**
Zadávající katedra:	**Katedra dopravního managementu, marketingu a logistiky**

Zásady pro vypracování:

Úvod
1. Analýza současné situace
2. Návrh variant systému automatického sčítaní cestujících
3. Ekonomické zhodnocení variant
4. Vyhodnocení variant
Závěr

Rozsah grafických prací:	**dle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy:	**50 - 60 stran**
Forma zpracování diplomové práce:	**tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:	

dle pokynů vedoucí/ho práce

Vedoucí diplomové práce:	**Ing. Jiří Nožička, Ph.D.** Katedra dopravního managementu, marketingu a logistiky
Datum zadání diplomové práce:	**30. listopadu 2015**
Termín odevzdání diplomové práce:	**27. května 2016**

doc. Ing. Ivo Drahotský, Ph.D.
děkan

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 30. listopadu 2015

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena 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 15. 11. 2016

Veronika Veiserová

Ráda bych poděkovala vedoucímu práce Ing. Jiřímu Nožičkovi, Ph.D. za vstřícný přístup a cenné rady při zpracovávání diplomové práce. Dále také zástupcům firem dodávající systémy APC a zástupcům Dopravního podniku hl. m. Prahy za ochotu spolupráce a poskytnutí potřebných informací.

ANOTACE

Práce se zaměřuje na systémy v dopravě umožňující automatické sčítání cestujících. Popisuje dostupné systémy současné doby a vyhodnocuje tu nejvhodnější variantu pro Dopravní podnik hl. m. Prahy. Dále také uvádí souvislosti spojené se sčítáním cestujících.

KLÍČOVÁ SLOVA

přepravní průzkum, automatické sčítání cestujících, Dopravní podnik hl. m. Prahy, multikriteriální analýza

TITLE

The selection of a suitable system of automatic passenger counting in the tram in Prague integrated transport

ANNOTATION

The thesis focuses on transport systems allowing automatic passenger counting. It describes the available systems of present time and evaluates the most suitable option for the Dopravní podnik hl. m. Prahy. It also provides the context associated with the passenger counting.

KEYWORDS

Transportation survey, automatic passenger counting, Dopravní podnik hl. m. Prahy, multi-criteria analysis

OBSAH

ÚVOD 9
1 ANALÝZA SOUČASNÉ SITUACE 11
1.1 Přepravní průzkumy 11
1.1.1 Druhy přepravních průzkumů 11
1.1.2 Metody přepravních průzkumů 13
1.1.3 Faktory ovlivňující počet cestujících 15
1.1.4 Zpracování získaných údajů 16
1.1.5 Využití získaných dat 16
1.2 Dopravní podnik hl. m. Prahy, akciová společnost 17
1.2.1 Vozový park 18
1.2.2 Plán obnovy vozidel 22
1.2.3 Systém DORIS 23
1.2.4 Přepravní průzkumy 24
1.2.5 Nevýhody dosavadních fyzických přepravních průzkumů 25
2 NÁVRH VARIANT SYSTÉMU AUTOMATICKÉHO SČÍTÁNÍ CESTUJÍCÍCH 27
2.1 Systém APC 27
2.1.1 Složení systému APC 27
2.1.2 Kamerový systém 28
2.1.3 Infračervené senzory 28
2.1.4 Ultrazvukové senzory a mikrovlnná čidla 30
2.2 Tramvaje osazené systémem APC 30
2.3 Režim vyhodnocování dat 32
2.4 Varianty systému APC od firmy ABIRAIL CZ s.r.o. 33
2.4.1 Specifikace senzorů 33
2.4.2 Jednotka PCU 34
2.4.3 Specifikace instalace systému 35
2.5 Varianty systému APC od firmy ONE SYSTEM s. r. o. 38
2.5.1 Senzory 39
2.5.2 Záznamová jednotka 41
3 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VARIANT 43
3.1 Počet osazených vozidel 43
3.2 Náklady variant 1 45

3.2.1 Počet senzorů 45
3.2.2 Pořizovací náklady 46
3.2.3 Provozní náklady 47
3.3 Náklady variant 2 48
3.3.1 Počet senzorů 48
3.3.2 Pořizovací náklady 48
3.3.3 Provozní náklady 49
3.4 Metoda ročních převedených nákladů 49
3.5 Návratnost investice 51
3.6 Technické zhodnocení vozidla 52
4 VYHODNOCENÍ VARIANT 53
4.1 Multikriteriální analýza 53
4.2 Kritéria hodnocení 54
4.2.1 Pořizovací náklady 54
4.2.2 Časová náročnost montáže 55
4.2.3 Přesnost senzorů 55
4.2.4 Software pro vyhodnocování dat 55
4.2.5 Zkreslení dat vlivem extrapolace 56
4.2.6 Nezávislost systému 56
4.3 Stanovení vah kritérií 56
4.4 Výpočet nejvhodnější varianty 58
4.4.1 Metoda WSA 60
4.5 Výsledek multikriteriální analýzy 61
ZÁVĚR 62
POUŽITÁ LITERATURA 64
SEZNAM TABULEK 68
SEZNAM OBRÁZKŮ 69
SEZNAM ZKRATEK 70

ÚVOD

Z hlediska ekologie je v současné době čím dál tím důležitější, aby docházelo u obyvatelstva k preferenci hromadné dopravy nad osobní automobilovou. Základním kamenem této preference, kterým by se měly všechny podniky zajišťující hromadnou dopravu zabývat, je kvalita poskytovaných služeb v této oblasti. Celkovou vnímanou kvalitu hromadné dopravy tvoří několik prvků. Jedná se například o dostupnost dopravy, o vedení linek a jejich pravidelnost, o pohodlí v dopravních prostředcích a s tím spojenou míru obsaditelnosti a další. Dosažení kvality, která ovlivňuje vnímání hromadné dopravy a utváří preferenci, lze u většiny prvků zajistit pomocí správného dimenzování sítě, linek, spojů a kapacit samotných dopravních prostředků. Aby bylo možné vytvářet optimální dimenzování, je zapotřebí kvalitních podkladů týkajících se počtu přepravovaných osob. Z tohoto důvodu je pro dopravní podniky všech módů důležité provádění pravidelných přepravních průzkumů.

Pokud má být hromadná doprava konkurencí pro osobní automobilovou dopravu, musí být chování dopravních podniků zaměřené na kvalitu dopravy a služeb s ní spojených. Pro tvorbu kvalitních podkladů pro dimenzování je důležité, aby údaje z přepravních průzkumů, týkající se počtu přepravovaných cestujících, byly co nejpřesnější, věrohodné a aktuální. Proto se upouští od tradičních přepravních průzkumů prováděných ručním sčítáním a čím dál tím víc se dostávají do popředí systémy, které zajišťují získávání těchto potřebných informací.

Cílem této diplomové práce je navrhnout a vybrat nejvhodnější řešení systému automatického sčítání cestujících do tramvají Dopravního podniku hl. m. Prahy, a to na základě reálných možností, tedy možných dodavatelů působících na trhu s těmito dopravními systémy.

První kapitola bude v začátku úvodem do problematiky přepravních průzkumů, kterou je důležité znát pro pochopení hlubších souvislostí. Dále bude představen Dopravní podnik hl. města Prahy jakožto provozovatel nejen tramvajové dopravy v Praze. Bude také popsán vozový park tramvajové částí podniku, kvůli potřebným informacím k sestavení variant a vyčíslení jejich nákladů. Součástí první kapitoly bude analýza současně prováděných přepravních průzkumů.

Druhá kapitola se bude zabývat obecným popisem systému umožňujících automatické sčítání cestujících. Před samotnými návrhy budou uvedeny některé z požadavků na dodávaný systém a především, aby bylo možné sestavit varianty, budou stanovené tramvaje určené k osazení tímto systémem a určeny jejich celkové počty. Hlavní částí této kapitoly pak budou

návrhy konkrétních variant od možných dodavatelů požadovaného systému působících na českém trhu.

Třetí kapitola této diplomové práce pak bude obsahovat stanovení konkrétních počtů jednotlivých typů tramvají osazených systémem pro automatické sčítání cestujících v rámci všech variant. Na základě potřebných podkladů pak budou vyčísleny náklady na jednotlivé varianty a provedeno ekonomické vyhodnocení pomocí zvolených ukazatelů.

Ve čtvrté kapitole bude samotné vyhodnocení variant – výběr optimální varianty pomocí zvolené metody pro rozhodování. Výběr bude probíhat na základě několika kritérii, jejichž popis bude součástí této kapitoly.

1 ANALÝZA SOUČASNÉ SITUACE

V současné době již existují na evropském trhu systémy, které umožňují automatické sčítání cestujících, další systémy se teprve vyvíjí. Mnoho dopravních podniků evropských měst tyto systémy sčítání cestujících již využívá. V některých městech České republiky jsou tyto systémy již také zaváděny a rozvíjí se tak i český trh nabízející tyto systémy. Před výběrem vhodného systému je potřeba provést analýzu současné situace. V prvé řadě je důležité si uvědomit čeho je sčítání cestujících součástí, k čemu se získané údaje používají, co v rámci nabídky dopravy ukazatel počtu cestujících ovlivňuje a čím je ovlivňován. Dále je také zapotřebí konkretizovat vozy, ve kterých má být systém instalován.

Kubát at al. (2010) konstatují, že má-li být systém nejen městské osobní dopravy optimální, musí splňovat požadavky cestujících majících ve městě cíl/zdroj své cesty. Pro zjištění přepravních vztahů jsou základem poznání příčiny pohybu obyvatel. Současné přepravní vztahy se získávají dopravními/přepravními průzkumy, ve kterých jsou statisticky sledovány potřebné údaje. Důležitou součástí částí těchto průzkumů je právě kvantitativní ukazatel - sčítání cestujících, kterým se tato práce zabývá.

1.1 Přepravní průzkumy

Přepravní průzkumy jsou podle Drdly (2014) podstatnou součástí dopravní analýzy. Jejich charakter odpovídá sociologickým průzkumům s kritérii statistické průkaznosti. Data získaná přepravním průzkumem generují rozsáhlé statistické soubory. Autoři z CZECH Consult (2011) tvrdí, že čím je soubor dat rozsáhlejší, tím je náročnější na zpracování, ale je z něj možné získat spolehlivé a přehledné závěry především v podobě tabulek, grafů či nákresů. Rozsáhlost přepravního průzkumu by měla odrážet růst intenzity přepravních proudů způsobený rostoucím stupněm automobilizace a rostoucí hybností obyvatelstva.

1.1.1 Druhy přepravních průzkumů

Podle Drdly (2014) je možné rozdělit přepravní průzkumy z několika hledisek na různé druhy.

Z hlediska spolupráce účastníků sledovaného druhu dopravy na přepravním průzkumu Drdla (2014) uvádí dvě odlišné skupiny:

- přepravní průzkumy **nevyžadující** spolupráci účastníků dopravy na prováděném průzkumu,
- přepravní průzkumy **vyžadující** spolupráci účastníků dopravy na prováděném průzkumu.

Realizace přepravních průzkumů **nevyžadující** spolupráci účastníků dopravy na prováděném průzkumu podle Drdly (2014) probíhá ve své podstatě bez jakéhokoli zásahu do sledovaného dopravního procesu a především bez vědomí účastníků dopravy. Hlavním důvodem této realizace průzkumů jsou požadavky na nezkreslené výsledky. Nevýhodou takto zjištěných dat je problém analýz zjištěných dat z hlediska vnitřních vazeb sociologických a ekonomických. Tyto analýzy se využívají zejména pro návazné prognostické práce. Drdla (2014) do tohoto typu přepravního průzkumu zařazuje:

- zjišťování kvantity dopravy – profilové sčítání intenzit jednotlivých druhů dopravy, průzkumy počtu přepravených osob, průzkumy zaměřené na obsazenost vozidel a statistiky dopravních nehod,
- zjišťování kvality dopravy – základní dopravní charakteristiky ovlivňující kvalitu dopravy (rychlost, dynamické vlastnosti, ekonomické ukazatele), analýza dopravních nehod,
- zjišťování směru dopravy – směrové dopravní průzkumy zjišťující zdroje a cíle jednotlivých přepravních proudů,
- ostatní šetření a měření – speciální dopravní průzkumy, kterými je zjišťován počet uživatelů dopravy z řad pracovníků pracovišť a členů domácností na území města a účelu jejich přemístění.

Přepravní průzkumy **vyžadující** spolupráci účastníků dopravy na prováděném průzkumu spočívají v menší či větší míře na účasti pracovníků průzkumu a cestujících. Drdla (2014) je ve své knize dělí následovně:

- průzkumy realizované za přímé účasti školených pracovníků pro sčítání – v rámci dopravního procesu, mimo dopravní proces a ostatní průzkumy a měření,
- průzkumy realizované bez přímé účasti školených pracovníků pro sčítání – pro tyto přepravní průzkumy se využívají anketní dotazníky distribuované buď v rámci dopravního procesu, nebo mimo něj. Součástí jsou ale i další průzkumy a měření.

Dále autor uvádí, že v rámci průzkumů vyžadujících spolupráci účastníků přepravního průzkumu je možné získat požadované dopravě-sociologické a dopravně-ekonomické vazby. Úspěšnost těchto průzkumu je naneštěstí závislá na ochotě veřejnosti nebo organizace spolupracovat na průzkumu. Návratnost anketních dotazníků, jak uvádí zmiňovaný autor,

bývá podle zjištění méně než poloviční. Je proto nutná dokonalá a účinná propagace za účelem vysvětlení a pochopení této akce ze strany účastníků ankety a za účelem zvýšení procentuálního podílu návratnosti dotazníků.

Z hlediska druhu sledovaných parametrů lze podle CZECH Consult (2011) rozdělit přepravní průzkumy na:

- průzkumy přepravních zátěží – tyto průzkumy sledují intenzitu přepravních proudů cestujících. Provádí se systémem sčítání nástupů, výstupů, počtů cestujících ve vozidlech a zaznamenávání odchylek od jízdního řádu,
- průzkumy směrových vztahů a přestupních vazeb – tyto průzkumy podávají konkretizující informace o pohybu cestujících, které nelze získat pouhým sčítáním. Průzkumy jsou realizovány dotazováním cestujících,
- speciální přepravní průzkumy – nadstandardní průzkumové práce, které se provádějí pro účely zjištění a vyhodnocení požadovaných skutečností. Zjišťuje se například zdržení vozidla v zastávce, doba odbavení cestujících, přestupní vztahy v důležitých uzlech, atd.

1.1.2 Metody přepravních průzkumů

Pro účely přepravních průzkumu se využívají různé metody. Optimální metodu je potřeba zvolit podle možností využití zdrojů a podle požadovaných výsledků. Vhodnou metodikou přepravního průzkumu lze získat nejen dopravní data dopravního podniku, ale další související údaje o přepravních potřebách cestujících. K určení proudů cestujících uvádí a popisuje Drdla (2014) následující metody.

Metoda dokumentační

Touto metodou je možné zjistit přibližné počty cestujících, nastupujících v jednotlivých stanicích včetně druhu použité jízdenky a cílová místa dopravy. Základním zdrojem informací jsou u této metody výkazy a statistiky o prodaných jízdenkách. Na základě těchto informací jsou výsledky dokumentační metody pouze orientační a poskytují přibližnou charakteristiku o využívání přepravních služeb ve sledovaném období. Výsledky této metody je vhodné použít především pro doplnění údajů metody jiné.

Metoda přímého sčítání

Princip této metody, podle zmíněného autora, spočívá v přímém sledování a fyzickém sčítání počtu přepravovaných cestujících v dopravních prostředcích, vozech, stanicích a zastávkách. Přímé sčítání spočívá v určení počtu cestujících v jednotlivých

nástupních/výstupních místech, v určení počtu nastupujících a vystupujících osob do/z vozidla a určení obsazení vozidel pomocí smluvených koeficientů. Při provádění této metody nepřetržitě několik dní je možné zjistit hodinové nerovnoměrnosti změn počtu cestujících ve sledované stanici/zastávce a jsou-li sledována všechna zastávková místa současně, tak lze vyhodnotit i intenzitu proudu cestujících mezi jednotlivými zastávkami.

Metoda sčítacích lístků

O této metodě Drdla (2014) píše, že umožňuje poskytnout ucelené výsledky o proudech cestujících. Poskytuje obraz nejen o velikostech celkových proudů cestujících, ale i o dílčích proudech v časových úsecích. Její využití je s dobrým výsledkem především v metru z důvodu uzavřených a ohraničených nástupišť. Jak již bylo dříve napsáno, je ale obtížné zajistit dostatečně velkou návratnost lístků. Princip – každý sčítací lístek představuje jednu jízdu v určitém čase a relaci, tedy informace o místě a čase zdroje cesty (cestující dostává sčítací lístek) a o místě cíle cesty (cestující odevzdává lístek). Součástí sčítacího lístku mohou být anketní otázky podávající doplňující informace. Otázky je potřeba formulovat jasně, jednoduše a jejich počet nesmí být vysoký.

Metoda anketní

Na rozdíl od předchozích metod je možné, podle zmíněného autora, díky této metodě získat informace o představách a potřebách cestujících z hlediska kvality a způsobu organizace dopravy. Přesnost této metody je přímo závislá na počtu respondentů a na množství otázek, které anketa obsahuje. Dále jmenovaný autor uvádí, že data získaná anketní metodou přímo odráží zvolené otázky v anketě, na které respondenti odpovídají. Anketní otázky se dle potřeby mohou týkat zdroje cesty, cíle cesty, účelu cesty, pravidelnosti, času stráveného na cestě, použití jízdního dokladu, výčtu použitých dopravních prostředků, údajů o přestupech, a jiné.

Realizaci ankety lze podle Drdly (2014) rozdělit podle následujících kritérií:

- podle dopravního prostředku – zahrnout v anketě všechny dopravní módy, nebo ji provádět jen v konkrétních druzích, například v tramvajích,
- podle velikosti dotazovaného vzorku cestujících – dotazovaný vzorek může být úplný nebo reprezentativní. Metodika provádění průzkumu vyžaduje, aby získávání vzorku bylo rozloženo rovnoměrně na síť linek a potřebná velikost vzorku pro účely přepočtu na celkové hodnoty byla signifikantní,
- podle účelu cesty – do ankety zahrnout všechny cestující nebo jen cestující se stejným cíle, například do zaměstnání či do škol atd.,

- podle způsobu provedení ankety – dotazování cestujících bezprostředně během jízdy nebo mimo dopravní proces, například doma nebo v zaměstnání.

1.1.3 Faktory ovlivňující počet cestujících

Přepravní průzkumy poskytují informace o aktuálním počtu cestujících. Je však důležité mít přehled o faktorech, které počet cestujících ovlivňují aktuálně a také jaké změny na ně mají vliv v průběhu času. Počet cestujících jakožto jeden z kvantitativních ukazatelů dopravy je dle Drdly (2014) a CZECH Consult (2011) ovlivňován několik faktory:

- demografická charakteristika obyvatelstva – je potřeba znát celkový počet obyvatel, jeho hustotu v jednotlivých dopravních oblastech, věkové rozložení, počet domácností, podíl nezaměstnanosti, fluktuace, případně i výše příjmů,
- dopravní vybavení města – jedná se například o vlivy parkovacích míst, parkovacích zón, kvalita a kvantita komunikací, emisní zóny atd.
- roční období – v našich klimatických poměrech se zpravidla v letním období zvyšuje individuální automobilová doprava, tzn. snižuje se poptávka po hromadné dopravě,
- denní doba – v průběhu dne dochází ke kolísání množství cestujících. Je to známý jev, který rozděluje dopravu během dne na špičkovou, sedlovou a noční provoz.
- cíle dopravy – počet cestujících jednotlivých území je závislý na existenci cílů dopravy. CZECH Consult (2011) uvádí výčet několika cílů dopravní obslužnosti. Základními cíli dopravní obslužnosti jsou instituce: spádové školy, zdravotnická zařízení poskytující základní zdravotní péči, rozhodující sídla orgánů veřejné moci, případně nejvýznamnější kulturní zařízení. Mezi další významné cíle dopravní obslužnosti CZECH Consult (2011) řadí zejména rozhodující zdroje zaměstnanosti (pokud nejsou integrální částí obcí, např. průmyslové zóny), významná obchodní centra na periferiích měst a v neposlední řadě cíle rekreace a turistiky. Nelze opomenout cíl dopravy, který většinou bývá i zdrojem dopravy, a to je místo bydliště.

Vývoj počtu cestujících je pak podle CZECH Consultu (2011) ovlivňován faktory:

- rozvoj hospodářství – hladina celkového rozvoje tržního hospodářství se velmi úzce podílí na změně kvantity cestujících. Důležitým vlivem jsou možnosti investic nejen na obnovu a výstavbu dopravních sítí a zařízení, ale i na vývoj a produkci vozového parku,
- rozvoj řešeného území – jednou součástí rozvoje území je podle zmíněného autora demografický vývoj, do kterého lze zahrnout růst měst a vybraných obcí,

suburbanizace velkých měst, vývoj řídce osídlených území, vývoj počtu žáků a studentů středních škol a učilišť. Druhou součástí rozvoje území je urbanistický vývoj, který zahrnuje především vznik nových obytných zón; výstavbu průmyslových zón, vědeckotechnických parků, školských areálů apod.; výstavbu obchodních center; vznik významných rekreačních areálů a turistických cílů. V rámci dalšího rozvoje území se hovoří o vývoji v rozmístění školských zařízení, případně změně jejich kapacit nebo zaměření. Obdobně je to u zdravotnických zařízení a rozhodujících institucí statní a veřejné správy.

1.1.4 Zpracování získaných údajů

Přepravní průzkumy vykazují velké množství dat, které je potřeba zpracovat. Z důvodu kompatibility a pozdější lepší uživatelské dostupnosti je vhodné získaná data zpracovat například v prostředí MS Excel v základní formě a dále programovým vybavením vytvořit komplexní databázi. Z vytvořené databáze je pak možné např. pomocí jednoduchého nástroje v podobě kontingenční tabulky vytvářet libovolné výstupní sestavy. Kontingenční tabulka je podle CZECH Consultu (2011) jedním z nejdostupnějších, nejprogresivnějších a nejvariabilnějších nástrojů pro zpracování obdobných datových bází. Základní báze je při provádění dalších průzkumů velmi snadné doplňovat.

1.1.5 Využití získaných dat

Cílem přepravního průzkumu je podle Drdly (2014) získání údajů o pohybu cestujících, neboli o intenzitách a směrech přepravních proudů. Získané údaje slouží jako datová základna při procesu optimalizace dopravní obslužnosti území. CZECH Consult (2011) píše, že poskytují data ve vývojových řadách a v komplexním pojetí. Autoři se shodují, že jsou podkladem pro návrh změn koncepce dopravy, pro tvorbu linek a modernizaci dopravní sítě, stanovení potřebného rozsahu vozového parku a zvýšení kvality systému přemisťování v osobní dopravě. Výsledky získané vyhodnocením přepravních průzkumů mají vliv na:

- změny v organizaci dopravy na obsluhovaném území,
- zhodnocení stávajících zastávek a lokalizaci nově projektovaných míst zastavení,
- změny v trasování v dopravním subsystému pro zlepšení návaznosti dopravy,
- investiční záměry.

Na základě informací od CZECH Consultu (2011) lze konstatovat, že většina změn ovlivněných výsledkem přepravního průzkumu dopadá na skladbu a velikost vozového parku.

Usiluje se o srovnání nabízené kapacity a poptávky. V rámci nabídky je podle zmíněného zdroje potřeba zajistit dostatečný počet vozidel s dostatečnou kapacitou na jednotlivých linkách, spojích nebo provozních úsecích. Počet spojů by měl reflektovat reálnou poptávku po přepravě, maximální zvolenou obsaditelnost vozidla i ekonomiku provozu. Při plánu obnovy vozového parku je potřeba dbát i na plnění standardů kvality (daných zákonem i vlastními kritérii), například v rámci zajištění dopravy pro osoby s poruchami pohybu a orientace.

Získané údaje současného stavu přepravních vztahů je podle CZECH Consultu (2011) potřeba doplnit o pravděpodobný další růst, případně pokles přepravy, a to s ohledem na vývoj území. Předpokládaný vývoj počtu cestujících má vliv na provozní i ekonomickou část dopravního plánu. Z ekonomického hlediska se, podle zmíněného zdroje, bude předpokládaný počet přepravených osob promítat především do předpokládaných tržeb z jízdného a výše kompenzace. Na základě prognózy počtu cestujících lze provádět tarifní úpravy a odhadovat výši tržeb v budoucím období. Kvůli korekci vozového parku pak dochází i ke změně provozních nákladů týkajících se vozidel a řidičů.

1.2 Dopravní podnik hl. m. Prahy, akciová společnost

Jak je uvedeno na stránkách Dopravního podniku hl. m. Prahy ([b.r./a]), podnik jako akciová společnost působí od roku 1991 a je hlavním provozovatelem veřejné dopravy v Praze, jejíž součástí je tramvajová doprava, autobusová doprava a metro. Zároveň je provozovatelem městských drah tramvajových a dvou lanových. Dále, dle uvedeného zdroje, provozuje také několik příměstských autobusových linek spadajících do Pražské integrované dopravy (PID). Jediným vlastníkem akcií této společnosti je hlavní město Praha.

Obrázek 1 Logo Dopravního podniku (Dopravní podnik hl. m. Prahy, [b.r./b])

Původ městského dopravního podniku dle Fojtika (2010) sahá do roku 1897, kdy byl 1. září založen pod názvem Elektronické podniky královského hl. m. Prahy. Součástí podniku tehdy byla i výroba a distribuce elektřiny. Ještě před vznikem dopravního podniku odkoupila

Praha do té doby soukromou síť pražské koňky. Po založení pak dále došlo ke sloučení vinohradského dopravního podniku a byla odkoupena Hlaváčkova dráha vedoucí do Košíř. Fojtik (2010) dále uvádí, že v roce 1907 byl pak proces komunalizace a monopolizace pražské veřejné dopravy završen odkoupením Křižíkovy dráhy vedoucí do Vysočan. Během působení byla po několik let součástí podniku například i osobní lodní doprava na Vltavě či taxislužba. Podle zmíněného autora byly Městské podniky pražské po znárodnění energetiky, které vedlo k postupnému oddělení elektráren, plynáren a vodáren, v roce 1946 přejmenovány na Dopravní podnik hl. m. Prahy. Do roku 1991 pak docházelo k několika změnám v názvu podniku, jeho organizaci i řízení.

Roky 2003 až 2006 byly pro Dopravní podnik, jak uvádí Malík (2005), ve znamení transformace. Byly provedeny organizační změny, které v podstatě od základu změnily organizační strukturu podniku. Za cíl bylo kladeno určení skutečných nákladů na prováděné činnosti, zjištění příležitostí k šetření a následné snížení a efektivizace nákladů podniku. První oblastí úspor bylo sjednocení opravárenských kapacit, kde došlo k lepšímu využití dílenských prostor, přístrojů a pracovní kapacity odborných pracovníků. Dále byl, podle jmenovaného autora, proveden přechod na interní čerpací karty, s výsledkem úspory za spotřebované pohonné hmoty. Došlo k organizačnímu a ekonomickému oddělení provozu od správy vozidel, některé servisní činnosti byly integrovány.

1.2.1 Vozový park

Černý a Horník (2002) píší, že vozový park tramvají prošel od vzniku Dopravního podniku hl. m. Prahy výrazným vývojem a obnovou. Tramvajová doprava v Praze byla z počátku zajišťována vozy koňky. Ty byly, podle jmenovaných autorů, v pozdějších letech přestavovány a vznikaly soupravy s dvounápravovými tramvajemi a vlečnými vozy. Dále podle autorů následovaly dvounápravové elektrické tramvaje a klasické vozy konstrukce PCC z produkce ČKD typu T1 a T3, které byly v pozdějších letech modernizovány a dodnes tvoří součást vozového parku. Vývoj tramvají v současnosti zakončují kloubové nízkopodlažní tramvaje.

K 31. 12. 2015 podle výroční zprávy Dopravního podniku hl. m. Prahy (2016a) tvořilo provozní vozový park Dopravního podniku hl. m. Prahy celkem 869 vozů. Dalších 52 sólo vozů, které tvořily inventární stav, typu T3 a T6 bylo odstaveno.

V následující tabulce je uveden přehled typů tramvají vozového parku k 31. 12. 2015. Evidenční stav zahrnuje vozy schválené pro provoz v MHD s cestujícími včetně vozů

v běžných opravách. Inventární stav zahrnuje navíc odstavené vozy k rekonstrukci, k modernizaci, určené k likvidaci, k prodeji apod.

Tabulka 1 Vozový park [Ks]

Tramvaje		Evidenční (provozní) stav	Odstaveno	Inventární (účetní) stav
kloubové	KT8N2	46	0	46
	14T	57	0	57
	15T	157	0	157
sólo	T3 R.P	350	0	350
	T3 R.PLF	33	0	33
	T3 M	29	7	36
	T3 SU	65	33	98
	T6A5	132	12	144
celkem kloubové		260	0	260
celkem sólo		609	52	661
celkem		**869**	**52**	**921**

Zdroj: Dopravní podnik hl. m. Prahy (2016a, 2016b)

Černý a Horník (2002) uvádí, že vozy KT8N2 jsou nízkopodlažní obousměrné vozy, které jsou od roku 2006 modernizovány z tramvají typu KT8D5. Ty začaly v Praze jezdit od konce 80. let. Modernizace těchto vozů stále probíhá, na rok 2016 je naplánovaná modernizace dalších 2 vozů tohoto typu. V těchto tramvajích je podle informací z Dopravního podnik hl. m. Prahy (2016b) 50 míst k sezení a při počtu 5 osob na m^2 je v tramvaji místo pro 181 stojících cestujících. Dohromady se tak podle výpočtu do tramvaje vleze celkem 231 cestujících. Podle statistik je pak obsaditelnost těchto vozů rovna 220 cestujícím.

Obrázek 2 Tramvaj KT8N2 (Pragoimex, [b.r.])

Dalšími nízkopodlažními tramvajemi jsou vozy typu 14T od firmy Škoda. Černý a Horník (2002) uvádí, že první vozy tohoto typu začaly v Praze jezdit v roce 2005. Ve vozech je podle informací z Dopravního podniku hl. m. Prahy (2016b) 69 míst k sezení a 110 míst ke stání při 5 osobách na m^2. Celkem je tak tramvaj tohoto typu koncipovaná na 179 míst, nicméně tyto tramvaje bývají na svých linkách přetížené a statická obsaditelnost tak stoupá na 220 cestujících. V roce 2015 byly vozy typu 14T prodány a to z důvodu velkého poškození při mimořádné události.

Obrázek 3 Tramvaj Škoda 14T (Jiřík, 2015)

Zatím nejnovějšími typy pražských tramvají jsou tramvaje Škoda 15T. Ty byly podle Černého a Horníka (2002) speciálně vyvinuty pro potřeby městské hromadné dopravy v Praze a začaly se dodávat v roce 2010. V roce 2015 bylo od výrobce převzato 32 kusů těchto typů, a to v modernizovaném provedení s klimatizací prostoru pro cestující a s možností připojení wi-fi. Obsaditelnost této tramvaje je podle informací z Dopravního podniku hl. m. Prahy (2016b) celkem 211 cestujících, z toho 60 míst k sezení a 149 míst ke stání, a to při obsazení 5 osob na m^2. Dle statistik je pak skutečná obsaditelnost 220 cestujících.

Obrázek 4 Tramvaj Škoda 15T (Škoda transportation, 2012)

Tramvaje typu T3 jsou podle výroční zprávy Dopravního podniku hl. m. Prahy (2016a) nejstaršími vozy ve vozovém parku Dopravního podniku hl. m. Prahy. První vozy tohoto typu začaly v Praze jezdit již v roce 1962. V pozdějších letech byly různými způsoby modernizovány i na částečně nízkopodlažní. V modernizovaných podobách dodnes tvoří většinu vozového parku, cca 56 %. Dále zmiňovaný zdroj uvádí, že mají 22 nebo 24 míst k sezení a podle modernizovaného typu 79 až 91 míst ke stání při obsazenosti 5 osob na m^2. Statická obsaditelnost je zjištěna u všech druhů na 110 cestujících, což u většiny typu znamená přeplňování vozů.

Obrázek 5 Tramvaj T3M (verejna-doprava.eu, 2006)

Posledním typem tramvají, které tvoří součást vozové parku Dopravního podniku hl. m. Prahy jsou vozy T6A5 z produkce ČKD. Tyto vozy byly podle Černého a Horníka (2002) pořízený v letech 1965 – 1967. Podle vnitřního uspořádání sedadel jsou 2 druhy vozů T6A5, a to vozy s jednosedadly a vozy s dvousedadly. Vozy s jednosedadly podle informací z Dopravního podniku hl. m. Prahy (2016b) mají oproti vozům s dvousedadly menší počet míst k sezení (konkrétně 25 a 31), ale naopak mají více míst k stání (konkrétně 86 a 73). Dle statistik je obsaditelnost obou druhů těchto tramvají 110 cestujících.

Obrázek 6 Tramvaj T6A5 (Vysoký, 2005)

Průměrné stáří provozních vozů dle informací z Dopravního podniku hl. m. Prahy (2016b) v roce 2015 dosahovalo 11,68 roku. Dopravní podnik hl. m. Prahy přepokládá trend snižování stáří vozového parku z důvodu dalších dodávek nových tramvají typu 15T, které sebou nese i důvod vyřazování tramvají staršího data výroby.

1.2.2 Plán obnovy vozidel

Aby bylo možné rozhodnout o instalaci systému pro automatické sčítání cestujících do konkrétních tramvají, je potřeba znát plán obnovy vozidel. Systémem se nebudou osazovat tramvaje, které budou vyřazeny za kratší doby, než je uváděná doba životnosti systému. V Dopravním podniku hl. m. Prahy dochází k průběžné obnově vozového parku. Plánování obnovy vozového parku je důležitou součástí nejen ekonomického úseku, ale i technického a dopravního. Plán obnovy vozidel Dopravního podniku hl. m. Prahy (2016b) je možné rozdělit na 3 oblasti:

Vyřazování vozidel

Dopravní podnik hl. m. Prahy (2016b) uvádí, že nejstaršími typy tramvají jsou už několik let tramvaje typu T3SU (průměrné staří 28,93 let), T3M (průměrné stáří 23,09 let. Tyto vozy jsou plynule vyřazovány v závislosti na dojetí předepsaných kilometrických proběhů a přibližně do roka by měla být dokončena fáze vyřazování těchto vozů z provozu. K 27. 9. 2016 zbývalo k vyřazení 49 provozních vozů.

Posledním typem vozů, jejichž průměrné stáří je více než 20 let, jsou vozy T6A5. Ty jsou, podle zmíněného zdroje, povětšinou postupně vyřazovány z provozu stejně jako předchozí typy vozidel. Ne všechny jsou ale likvidovány. V roce 2015 bylo několik vozů prodáno na Ukrajinu a v roce 2016 bylo 20 vozů typu T6A5 prodáno do Bulharska do města Sofie.

Opravy a rekonstrukce

Dále Dopravní podnik hl. m. Prahy (2016b) uvádí, že s ohledem na bezbariérovou dopravu začal připravovat dvě varianty rekonstrukce vozů T3R.P na další nízkopodlažní vozy T3R.PLF. Varianta číslo 1 počítá s rekonstrukcí 35 vozů T3R.P_V s časovým harmonogramem rekonstrukcí v rozmezí let 2017-2020. Varianta číslo 2 pro rozšíření počtu vozů T3R.PLF je rekonstrukce 57 nejstarších vozů typu T3R.P_A s časovým harmonogramem v letech 2021-2026.

U vozů 14T, podle uvedeného zdroje, probíhá v roce 2016 oprava příčníků na spojení podvozků se skříní. Ke dni 27. 9. 2016 bylo v provozu 18 vozů z celkového počtu 57 vozů.

Nákup vozů

Za rok 2015 a 2016 nakoupil DPP celkem 7 vozů typu KT8D5 z Miskolce a má v plánu je postupně rekonstruovat na vozy KT8D5.RN2P. Dva vozy by, podle Dopravního podniku hl. m. Prahy (2016b) měly být uvedeny do provozu v roce 2017, v roce 2018 pak další 2 vozy a v roce 2019 zbylé 3 vozy. Celkový počet vozů KT8D5.RN2P tak bude 55.

Významnou investicí do obnovy vozové parku je, podle zmíněného zdroje, nákup dalších vozů 15T od Škoda Transportation. Podle smlouvy musí společnost dodat v roce 2016 celkem 32 vozů, přičemž má možnost dodat až o 7 vozů více, tzn. do celkového počtu 39 vozů. O vozy nad rámec dodávky v roce 2016 by pak ale musela být ponížena dodávka v roce 2017. V roce 2018, což je poslední rok dodávek příslušné smlouvy, dodá Škoda Transportation posledních 29 ks vozů 15T. Celkový počet vozů tohoto typu by pak měl být 250 kusů.

1.2.3 Systém DORIS

O tomto systému píše Drdla (2014). DORIS je název dispečerského systému využívaného Dopravním podnikem hl. m. Prahy, který umožňuje sledovat aktuální polohu a pohyb tramvají. Díky tomu mají dispečeři přehled o stavu provozu. Data jsou do tohoto systému odesílána z palubního počítače po síti TETRA.

Všechny tramvaje v Praze jsou, jak uvádí Dopravní podnik hl. m. Prahy (2016b) vybaveny palubním počítačem APEX obsahujícím kompletní linkové vedení. Dále Drdla (2014) popisuje systém DORIS. Na dispečinku v centrálním počítači díky zasílání dat dochází k porovnávání skutečné polohy vozidla vůči jízdnímu řádu a následnému sdělení konkrétní odchylky zpět do příslušného vozidla. Podle zmíněného autora je tak možné například korigovat zpoždění či předjetí spoje. Při pravidelných nebo výlukových změnách je potřeba vygenerovat nová data linkového vedení a poslat je elektronicky do všech vozoven a palubních počítačů všech tramvají. Vzhledem k rozsáhlému vozovému parku a velkému množství změn není jednoduché udržovat systém stále aktuální.

Drdla (2014) jako základní funkce systému DORIS uvádí tyto:

- lokalizace všech tramvají přihlášených do systému,
- vyhodnocení odchylky od času stanoveného pro průjezd tramvají kontrolním bodem,
- hlasové spojení mezi dispečerskou ústřednou a řidičem tramvaje,
- řízení datového a hlasového radioprovozu,
- digitální informace o jednotném čase,
- informace pro cestující z dispečerské ústředny.

1.2.4 Přepravní průzkumy

Dopravní podnik hl. m. Prahy v současné době provádí přepravní průzkumy samostatně pro tramvajovou dopravu, autobusovou dopravu a metro.

V oblasti tramvajové dopravy provádí Dopravní podnik hl. m. Prahy (2016b) komplexní přepravní průzkumy v pravidelných 2letých cyklech a to fyzicky, za pomocí nejen pracovníků Dopravního podniku ve spolupráci se zaměstnanci Regionálního organizátora Pražské integrované dopravy (ROPID), ale i studentů Střední průmyslové školy dopravní a Vyšší odborné školy. Podle Dopravního podniku hl. m. Prahy (2014) proběhl přepravní průzkum tramvajové sítě naposledy v roce 2014 (údaj k 11. 09. 2016). Průzkumy se dělají komplexně na všech linkách Pražské integrované dopravy (podle druhu průzkumu buď na denních, nebo na nočních) a na všech tramvajích obsluhujících tramvajovou síť ve sledovaném časovém intervalu. Denní průzkumy jsou, dle výše uvedeného zdroje, zpravidla prováděny v době od 6:00 do 23:00. Sčítači sledují dva faktory: obsazení vozidla a počet nastupujících cestujících (vystupující cestující jsou posléze dopočítáni). Pomocí těchto fyzických přepravních průzkumů lze získat data v oblasti zátěže jednotlivých úseků a hodnoty obratu cestujících v jednotlivých zastávkách, nikoli však data o přepravních proudech cestujících

Důvody přepravních průzkumů: Cílem průzkumů, které Dopravní podnik hl. m. Prahy provádí je získání dat pro plánování sítě tramvají a dimenzování kapacity linek. Důvodem k potřebě pravidelného sledování zatížení sítě Pražské integrované dopravy a následnému zpracování je optimální sladění přepravní nabídky s poptávkou. Výsledky přepravního průzkumu jsou dále nezbytným podkladem při nasazování náhradní autobusové dopravy v době výluk tramvajových tratí.

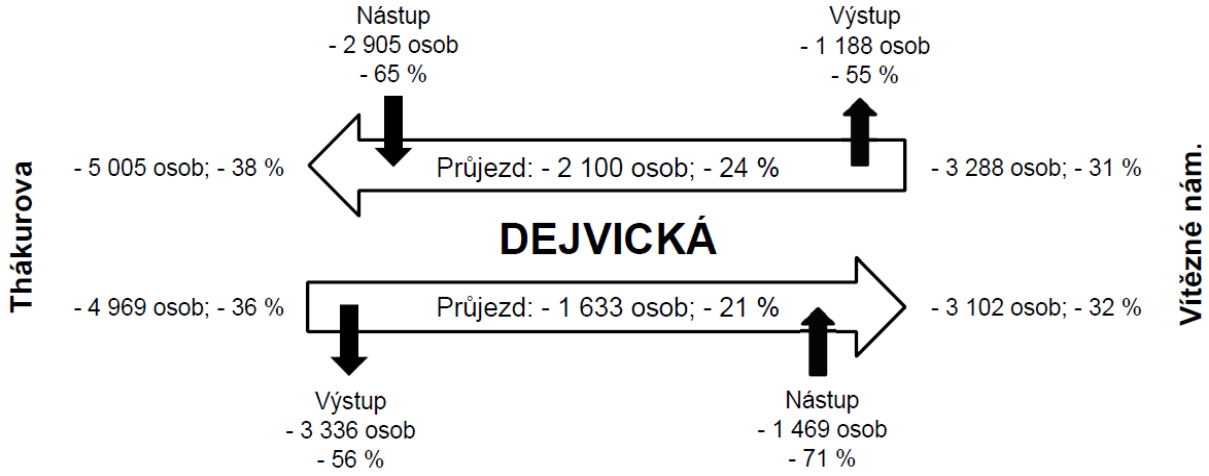
Dopravní podnik hl. m. Prahy (2016b) uvádí, že mimo přepravní průzkumy provádí i praktické zkoušky obsaditelnosti vozidel svého vozového parku.

Fyzické přepravní průzkumy, při kterých se zjišťuje počet nastupujících a vystupujících osob a počet cestujících ve vozidlech, ale nejsou jediným zdrojem informací. Ke stejným lokalitám, ve kterých se průzkumy provádí, se podle ROPIDu (2016) průběžně sbírají i podněty od cestujících. Podněty od cestujících většinou potvrzují výsledky průzkumů, které v některých spojích, především ve špičkách, vykazují nadměrnou obsazenost vozů.

Nejedná se ale vždy jen o zjištění nadměrného obsazení vozidel vedoucích ke snížení kvality dopravy. Jak uvádí výše zmiňovaný autor, z přepravních průzkumů se mnohdy zjistí i velmi slabé obsazení vozidel, které pak lze řešit v nejlepším případě provozem sólo vozu namísto nouzové tramvaje. Další možností řešení je oslabení provozu prodlužováním

intervalů či rušením některých linek, které však vede ke snižování kvality dopravy. Nicméně vždy se jedná o úsporu nákladů.

Podstatné snížení vytížení tramvajových spojů bylo zjištěno na nočních tramvajových linkách v roce 2006, kdy došlo k zavedení nových nočních spojů města. Organizátor Pražské integrované dopravy ROPID (2016) uvádí, že cca čtvrtina cestujících se z tramvajových linek přesunula na linky metra. K dalšímu snížení na některých tratích došlo v roce 2015 po otevření nového úseku metra. Příklad snížení počtu přepravovaných osob tramvajovou dopravou je uveden na následujícím obrázku.



Obrázek 7 Srovnání poptávky za rok 2015 oproti roku 2014 na zastávce Dejvická (ROPID, 2016)

1.2.5 Nevýhody dosavadních fyzických přepravních průzkumů

V této kapitole budou popsány hlavní nedostatky pramenící z ručního způsobu sčítání cestujících. Níže uvedené nevýhody vychází z informací z Dopravního podniku hl. m. Prahy (2016b).

Personální nouze

Data jsou pořizována pomocí lidského faktoru. Aby bylo možné uskutečnit komplexní přepravní průzkum tramvajové sítě v PID je zapotřebí dostatečný počet personálu, což znamená přes 1000 osob. Tyto průzkumy bývají značně rozsáhlé a náročné a Dopravní podnik společně s ROPIDem nedisponují dostačujícím personálem, který by mohl být pro průzkumy využitý. Je proto zapotřebí pomoc zvenčí. Dopravní podnik je tak nucen obracet se na studenty, a to zpravidla dopravních škol.

Vysoké náklady

Zaměstnanci, kteří se podílí na sběru dat, během samotného přepravního průzkumu vykonávají práci nad rámec svého pracovního zařazení a je nutné jim proplatit práci přesčas.

Taktéž je potřeba zaplatit pracovní sílu z řad studentů. Vzhledem k velkému počtu osob potřebného k realizaci průzkumu jsou personální náklady značně vysoké. Pro účastníky průzkumu se dále pořádá školení, vydávají se Pokyny pro sčítače a tisknou se záznamové archy. To vše je také součástí nákladů vztahujících se ke každému přepravnímu průzkumu.

Chybovost, nepřesnost

Lidský faktor je nespolehlivý. Ať už se jedná o chybně zaznamenaná data z důvodu nepozornosti, nepřehlednosti či úmyslně zkreslená výsledkem jsou nepřesná data. Kontrola správnosti všech zaznamenaných dat je nemožná a tak je potřeba počítat s určitou chybovostí cca 15%. Dále ke zkreslení dat dochází u sčítání cestujících v případě dvouvozových souprav, když se fyzické sčítání provádí pouze v prvních vozech a obsazení druhých vozů souprav se pak následně vypočítává pomocí koeficientů, které vychází z poměrů hodnot z předchozích celosíťových měření.

Nekomplexnost získaných dat

Fyzické přepravní průzkumy vykazují data pouze období, kdy byl průzkum prováděn. Byl-li průzkum prováděn v pracovní den, nelze tyto data vyhodnotit shodně i pro provoz o víkendu. Stejně tak se budou lišit data v jednotlivých měsících. Data získaná fyzickým průzkumem jsou jen výsledkem sčítání konkrétních dnů, neukazují však průběh počtu cestujících během celého roku.

Popsané skutečnosti jsou hlavním impulsem pro změnu formy dopravních průzkumů v podobě automatického sčítání cestujících. Předpokládá se, že implementací systému automatického sčítání cestujících dojde k úplné či částečné eliminaci slabých stránek. Vyřešila by se otázka personální nouze. K činnosti detekce cestujících už by nebylo potřeba lidského faktoru, vše by zaznamenávalo zařízení k tomu určené. Po počáteční investici, už by systém nevyžadoval téměř žádné dodatečné náklady spojené se sčítáním. Automatické systémy by dále měly snížit faktor chybovosti na minimum. Systém by také mohl poskytovat data nepřetržitě a podávat komplexní údaje o počtu cestujících napříč rokem ve všech časech. Optimální sladění nabídky s poptávkou by pak mělo být jednodušší. Z těchto závěrů budou vycházet návrhy všech variant, tak aby bylo docíleno předpokladu výhodnosti systému automatického sčítání cestujících.

2 NÁVRH VARIANT SYSTÉMU AUTOMATICKÉHO SČÍTÁNÍ CESTUJÍCÍCH

Tato kapitola nejdříve popisuje obecně systém automatického sčítání cestujících známý pod anglickou zkratkou APC (automatic passenger counting). Následně jsou navrženy konkrétní varianty řešení systému APC od českých výrobců/dodavatelů. Navržené varianty odráží skutečnost potřeby užívání systému APC pro Dopravní podnik hl. m. Prahy.

2.1 Systém APC

Systém pro automatické sčítaní cestujících, známý ve světě pod zkratkou APC, se začal v zahraničí využívat v 90. letech. Příkladem může být kanadská firma INFODEV. Tato firma ([2014]) uvádí, že instalovala svůj první APC systém v autobuse v roce 1995 a za dobu svého působení již nainstalovala tento systém ve vylepšených podobách do stovek vozů po celém světě.

Fungující systém, dle INFODEV ([2014]), umožňuje poskytovat uživateli informace o počtu cestujících (s informací, zda jde o nástup či výstup) za všechna časová období jízdy vozidel, ve kterých je systém instalován. Na rozdíl od fyzického sčítání je, díky vynechání lidského faktoru, spolehlivější a přesnější. Ve srovnání s ručním sčítáním také vyžaduje méně následného zpracování dat, v závislosti na funkčnosti užívaného softwaru.

2.1.1 Složení systému APC

Komplexní systémy APC, které zajišťují počítání osob, sběr a zpracování dat a jejich následné vyhodnocení, bývají podle INFODEV ([2014]), ONE SYSTEM (2016) a ABIRAIL CZ (2016) složeny ze tří základních prvků:

- senzory,
- jednotka pro záznamy,
- software.

Nejdůležitějším prvkem jsou senzory pohybu, které podle výše uvedených zdrojů zachycují pohyb osob a podávají informaci o detekci. Druhým prvkem je jednotka, ve které probíhá sběr dat získaných ze senzorů. A třetí prvkem je software, díky kterému jsou získaná data podávána přehlednou formou uživateli. Pro správnou funkci celého systému APC jsou pak zapotřebí další prvky. Například zařízení, které podává informace o zastávkách a dalších údajích, které jsou potřebné k vyhodnocení dat získaných detekcí ze senzorů. K tomuto účelu obvykle slouží palubní počítač. Není-li ale možné využít tento zdroj informací, je potřeba řešení, kde dojde k instalaci dodatečného zařízení, které tyto informace bude poskytovat.

Senzory

INFODEV ([2014]), ONE SYSTEM (2016) a ABIRAIL CZ (2016) uvádí, že senzory pohybu osob jsou montovány ve vnitřní části vozidla nad dveřním prostorem. Pro měření celkové počtu osob za celé vozidlo je potřeba instalace počítací jednotky nad všechny dveřní prostory. Jejich počet u jedněch dveří je závislý na šířce dveří a liší se podle typu použitého senzoru.

Podle zmíněných zdrojů zařízení pro snímání pohybu osob detekuje, zpracovává a převádí zjištěné informace o počtu osob na číselnou hodnotu. Informace o osobách v této podobě tak nejsou v rozporu se Zákonem č. 101/2000 Sb., o ochraně osobních údajů

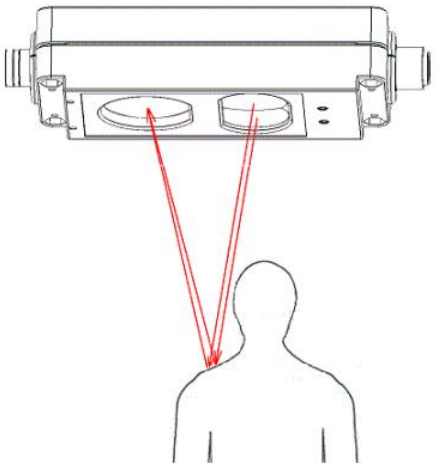
Pro potřeby sčítání cestujících v dopravních prostředních je zapotřebí použít systémů/senzorů pohybu osob, které jsou schopny rozlišit směr pohybu. Kdyby tuto funkci neměly, výsledkem by byl pouze počet cestujících, kteří prošli dveřmi. Pro účely přepravních průzkumů a následné optimalizaci dopravní obslužnosti je ale potřeba, aby systém dokázal určit směr pohybu osoby, tedy aby vyhodnocoval počet nastupujících a počet vystupujících cestujících zvlášť. V následujících podkapitolách jsou popsány vybrané senzory umožňující zachycení pohybu cestujících. Ne všechny však v základu umožňují určení směru pohybu osob. Pro účely APC je pak nutné využívat jejich modifikace.

2.1.2 Kamerový systém

Kamerový systém využívá k rozpoznání nastupujících a vystupujících cestujících souběh dvou kamer – tzv. stereokamerový systém. Snímání obrazu pomocí dvou kamer umožňuje stereoskopické vidění. To zaručuje funkčnost počítání cestujících i při různých světelných odrazech. Díky videozáznamům z počítání cestujících lze snadno ověřit automatizované počty zpětným sledováním videa a sledováním změny započtených cestujících.

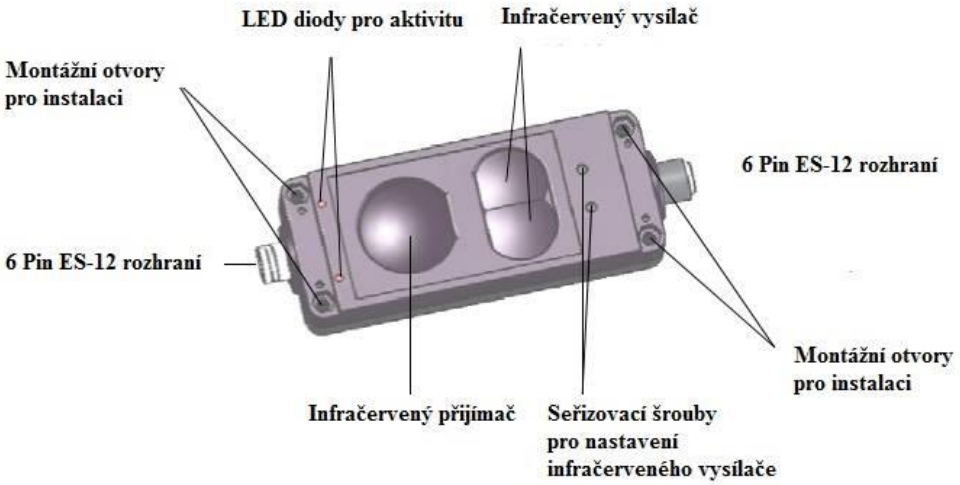
2.1.3 Infračervené senzory

Pro dopravní účely týkající se sčítání cestujících se využívají aktivní infračervené senzory. Ty jsou v praxi označovány pod zkratkou AIR (activ infrared). Funkci popisuje ABIRAIL CZ (2016): Senzory aktivně vysílají záření v IR spektru, paprsek se odrazí od objektu a odražený signál je pak zachycen IR přijímačem a zpracován do elektronické podoby. Proces zaznamenání cestujícího pomocí AIR je zobrazen na následujícím obrázku.



Obrázek 8 Zaznamenání cestujícího pomocí infračerveného čidla (DILAX, 2011)

Na rozdíl od kamerových systémů popsaných v předešlé kapitole, které jsou uváděny v činnost pasivními čidly, nelze systém AIR podle ONE SYSTEM (2016) oklamat například pomocí fotografie umístěné před čidlo. Čidlo umožňuje detekovat pohyb objektu vyzařující i nevyřazující teplo a také pohyb libovolně nízkou rychlostí. Na následujícím obrázku je popsaný senzor AIR. Infračervený vysílač vysílá signál o specifické frekvenci pomocí infračervených diod. Jakmile IR přijímač zachytí odražený signál, převede se informace do generátoru. Detekce objektu je vyhodnocena jako kladná v případě shody odraženého signálu s vyslaným.



Obrázek 9 Senzor AIR (DILAX, 2011)

2.1.4 Ultrazvukové senzory a mikrovlnná čidla

Podle Vojáčka (2005) pracují tyto senzory na principu vyhodnocení času odezvy signálu. Ultrazvukové senzory obsahují membránu, která vytváří akustické vlnění o vysoké frekvenci, která leží nad slyšitelností lidského ucha. Zmiňovaný autor dále uvádí, že ultrazvukové vlny se šíří prostorem rychlostí zvuku, a jakmile narazí na nějaký objekt, část vlnění se odrazí a vrátí se zpět k senzoru, kde je detekována přijímačem, zesílena v zesilovači a zpracována jako informace o vzdálenosti předmětu. Pro účely dopravního průzkumu je potřeba nastavit interval vzdálenosti předmětu, který má jednotka zaznamenat jako cestujícího.

Mikrovlnná čidla pracují, podle výše uvedeného autora, na podobném principu jako ultrazvukové senzory, ale místo ultrazvuku využívají elektromagnetickou energii v pásmu frekvencí 2,5GHz, 10GHz nebo 24GHz.

2.2 Tramvaje osazené systémem APC

Při rozhodování o typech tramvají, které budou osazeny systém pro automatické sčítání cestujících, je potřeba vycházet z plánu obnovy vozidel. Je nezbytné vyvarovat se osazování tramvají, které budou pravděpodobně vyřazeny z evidence dříve, než skončí doba životnosti instalovaného systému APC. Takovéto jednání by bylo neekonomické a neefektivní. Dle dostupného plánu obnovy vozidel popsaného v kapitole 1.2.2 budou nejstarší vozy v následujících letech postupně vyřazovány. Vyřazování se týká vozů typu T3SU, T3M a T6A5. Touto skutečností jsou vyjmenované typy tramvají vyloučeny z možného osazení systémem APC.

V následujících letech je plánovaný nákup několika nových vozidel a nabízí se tedy možnost nechat instalovat systém APC do vozů rovnou při výrobě. Tato varianta je konstrukčně optimální (proces instalace se naplánuje v optimálním kroku výroby vozidla, tak aby nebyla porušena souslednost operací montáže), ale naráží na problém jednání s výrobními firmami. Požadavek na instalaci dodatečného systému se nemusí setkat s kladnou odezvou z důvodu výrobních kapacit či kvalifikací pracovníků.

Po dohodě se zástupcem Dopravního podniku hl. m. Prahy bylo rozhodnuto, že systém APC bude nainstalován do již provozovaných vozidel a to do těch se stářím nižším 11 let. Jedná se o vozy T3R.P, T3R.PLF, KT8D5, 14T a 15T popsané v kapitole 1.2.1.Těchtotramvají je k 1. 10. 2016 dohromady 643 kusů. Celkový počet tramvají ve vozovém parku Dopravního podniku hl. m. Prahy je 869 kusů. To znamená, že je možno osadit systémem APC skoro 74 % vozového parku. Dodavatelé systémů APC uvádějí, že je

potřeba mít osazeno minimálně 25 % tramvají nasazených na linkách, tak aby data poskytnuta systémem mohla být využita ke komplexnímu přepravnímu průzkumu. Chybějící data se následně dopočítávají pomocí extrapolací a vytváří se prognóza. Z následující tabulky lze vyčíst, kolik vozů je za 1 pracovní den nasazováno na linky.

Tabulka 2 Počet nasazených tramvajových vozů za 1 pracovní den

	2011	2012	2013	2014	2015
Pravidelný provoz					
ranní špička	663	656	618	615	601
sedlo	514	512	466	470	455
Prázdninový provoz					
ranní špička	474	476	453	407	426
sedlo	467	401	365	330	338

Zdroj: Dopravní podnik hl. města Prahy (2016b)

Aby bylo možné zajistit 25% nasazení vozů osazených systém APC ve všech časových intervalech, je potřeba vyházet z doby, kdy je nasazeno nejvíce vozidel, tedy z ranní špičky v pravidelném provozu. Z tabulky lze vyčíst, že počet nasazených vozidel v ranní špičce pravidelného provozu je rok od roku snižován. Pro účely stanovení počtu osazených vozidel se bude vyházet z posledního roku, tedy roku 2015, za předpokladu, že počet nasazovaných vozidel v následujících letech nebude stoupat. V roce 2015 bylo nasazeno 601 vozidel. Jak již bylo zmíněno, je potřeba zajistit minimálně 25 % vozidel se systémem APC, to je 151 vozidel. Vzhledem k opravám, odstávkám a plánovaným údržbám vozidel byl po konzultaci se zástupcem Dopravního podniku hl. m. Prahy stanoven minimální počet osazených tramvají na 180. Maximální možný počet tramvají osazených systém APC vyplývá z celkového počtu uvažovaných tramvají, tedy 643. Celkový počet je sice vyšší než nejvyšší počet vozů nasazovaných na linkách, nicméně vzhledem k opravám, odstávkám a plánovaným údržbám byl tento počet po konzultaci zachován. Rozdíl nejmenšího počtu a největšího počtu osazených tramvají je značný, proto bude navržena ještě varianta se střední hodnotou, tedy 412 kusů. Navržené varianty budou vyplývat z těchto dvou možností. Proto jsou hodnoty názorně uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 3 Varianty počtu vozidel osazených systémem APC

	Maximální	Střední	Minimální
Počet osazených tramvají[ks]	643	412	180

Zdroj: Dopravní podnik hl. města Prahy (2016b), Autor

Zmiňované tramvaje, které budou osazeny systémem APC, disponují palubním počítačem značky APEX. Navržené varianty počítají s dvěma důležitými předpoklady:

- systémy APC budou kompatibilní s palubním počítačem a dispečerským systémem DORIS,
- palubní počítač disponuje potřebnými informacemi, ke správné funkci systému APC a prvotnímu zpracování zjištěných dat ze senzorů.

Je důležité zmínit, že IT řešení není součástí řešení této práce a před realizací zavedení systému automatického sčítání cestujících je potřeba se touto oblastí zabývat.

2.3 Režim vyhodnocování dat

Součástí požadavku Dopravního podniku hl. m. Prahy na systém APC je provozování vyhodnocování dat z APC v režimu online. Tento režim zajišťuje pravidelný přenos dat v krátkých časových intervalech z jednotky PCU ve vozidle do dispečerského systému. Druhou variantou vyhodnocování dat je režim offline, při kterém jsou informace z celé jízdy vozidla shromažďovány v jednotce PCU a po ujetí linky jsou následně ve vozovně stažena v kompletní formě. Režim online poskytuje informace o počtu lidí pro dispečink. Na základě aktuálních informací má dispečink možnost operativního plánování. Online režim pro účely operativního plánování podle firmy ABIRAIL CZ s.r.o. (2016) umožňuje:

- online sledování obsazení vozidel (24 hodin/ 7 dnů v týdnu/ 365 dnů v roce),
- online informace při nehodách a provozních odchylkách,
- optimální volbu náhradního vozidla,
- řízení dopravy (důvody zpoždění) a souvisejících služeb,
- optimalizaci vytápění vozidel, údržby vozidel.

Aby bylo možné vyhodnocovat data v režimu online, je zapotřebí v rámci dodávky systému APC zajistit zařízení pro jejich přenos. Jelikož kapacita sítě, po které jsou v současné době odesílaná data z vozidla z palubního počítače, je téměř vyčerpána, je potřeba zajistit přenos dat jiným způsobem. Řešení přenosu dat pro vyhodnocování údajů v režimu online bude součástí všech variant.

Součástí systému APC, kterou dodavatelé poskytují, je i možnost detekce nečinnosti sčítacího zařízení. Signál, který je například v palubním počítači promítnut jako chyba systému APC, umožňuje včasné zachycení informace o nefunkčnosti a následné odstranění poruchy. Co nejrychlejší odstranění poruchy je žádoucí, kvůli minimalizaci zkreslených/neúplných dat. Detekce nečinnosti sčítacího zařízení tak slouží ke zlepšení funkce vyhodnocování dat.

2.4 Varianty systému APC od firmy ABIRAIL CZ s.r.o.

Společnost ABIRAIL CZ s.r.o. působí na trhu od roku 2013. Podle webových stránek ABIRAIL CZ (2014) vznikla jako start-up v oboru železniční, silniční, městské a vodní dopravy se zaměřením na poskytování odborných konzultací, analýz a souvisejících informačních technologií (ICT) a zařízení. V průběhu roku 2014 rozšířili své aktivity o další činnosti, a to v oblasti průmyslové automatizace.

V rámci řešení automatického počítání cestujících firma nabízí komplexní systém, který obsahuje:

- senzory pohybu,
- vyhodnocovací jednotky,
- aplikace ABIRUN APC pro zpracování dat z vyhodnocovací jednotky

Produkt firmy ABIRAIL CZ s.r.o. je jejím zákazníkům poskytován ve spolupráci s jejich obchodním partnerem DILAX Intelcom GmbH, který poskytuje mobilní vozidlovou část systému. Druhá část produktu, která je duševním vlastnictvím firmy ABIRAIL CZ s.r.o., obsahuje řešení pro import, zpracování a poskytování dat.

2.4.1 Specifikace senzorů

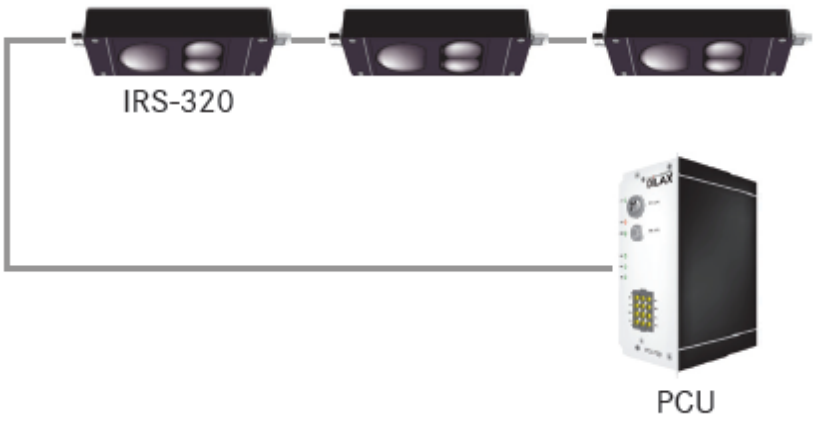
Firma ABIRAIL CZ s.r.o. využívá pro své řešení systému APC infračervené senzory od německé firmy DILAX s označením IRS-320R. Janšta (2015) uvádí následující parametry těchto senzorů:

- hmotnost - 90 g,
- napájení - 12 V,
- proud - max 60 mA,
- krytí - IP65,
- chlazení – pasivní,
- rozměry - 100 x 42 x 25,4 mm,
- schválení pro autobus, tramvaj, trolejbus, železniční vozidlo.

Používané senzory mají v základu přesnost 95 % na 1000 osob. Různým nastavením lze pomocí několika interakcí docílit přesnosti 99 %. Proces interakcí směřující k vyšší přesnosti čidel ale může být zdlouhavý a v konečném důsledku tedy i zvyšuje náklady na pořízení celého systému. Z hlediska dopravního plánování a dalšího využívání dat ze systému automatického sčítání cestujících je 95% přesnost dostačují a dodatečné náklady na zvýšení přesnosti jsou proto uvažovány jako neopodstatněné.

Aby bylo možné rozlišit směr pohybu osoby, tedy odlišit nastupující a vystupující cestující, obsahuje senzor dva IR vysílače tvořící logický pár. Detekce směru pohybu cestujícího pak záleží na pořadí odrážených paprsků. Kvůli dvojici paprsků pak může docházet k chybě způsobené proudem cestujících, kdy může nastat, že dvojice osob bude detekována jako jedna osoba. Tuto chybu minimalizuje konstrukce senzoru, kde jsou oba vyzařující paprsky v úzké blízkosti. Při zkouškách systému pak bylo zjištěno, že zmíněná chyba nastává velmi zřídka. Na celkovou přesnost tedy nebude mít zvolený senzor vliv.

Jednotlivé senzory zasazené do dveřních rámů ve vrchním podhledu jsou zapojeny sériově a ústí do jednotky zvané PCU – datový koncentrátor. Názorné schéma zapojení 3 senzorů do jednotky PCU lze vidět na následujícím obrázku.



Obrázek 10 Zapojení senzorů do jednotky PCU (Janšta, 2015)

2.4.2 Jednotka PCU

PCU jednotka slouží v systému automatického sčítání cestujících jako datový koncentrátor. Hlavní funkcí této jednotky je shromažďovat surová data získaná z jednotlivých senzorů o počtu nastupujících a vystupujících cestujících.

Do jedné jednotky PCU lze zapojit sériově až 16 senzorů. Další technické omezení, kterým se určuje počet připojených senzorů, má jednotka PCU při určitém počtu dveří a také při určité délce kabelů. Délka kabelů záleží na konstrukci vozidla, na zapojení systému

a podobně. Potřeba kabelů se například navýší při vedení kabelů přes kloub tramvaje. Je-li nutné osadit vozidlo více senzory než šestnácti nebo je překročeno jiné technické omezení, je potřeba do vozidla nainstalovat další PCU jednotku, případně ještě více.

Firma ABIRAIL CZ s.r.o. dodává jednotky PCU ve dvou modelech:

- jednotka PCU slave,
- jednotka PCU – GSM + anténa.

Základní model PCU se používá jako jednotka slave, která plní pouze zmíněnou hlavní funkci, shromažďuje data. Druhá jednotka navíc obsahuje modul GSM s anténou, jež slouží pro požadované vyhodnocování dat v režimu online. Aby bylo zajištěné vyhodnocování dat v režimu online, musí být v každém vozidle v prvé řadě nainstalována jednotka PCU – GSM + anténa. Vznikne-li potřeba dodatečné jednotky PCU, stačí použít jednotku slave.

Do PCU jednotky jsou dále zapojeny snímače dveřního kontaktu ze všech dveří. Tento snímač posílá jednotce informace o stavu dveří – otevřené/zavřené. Tento signál je důležitý pro funkci senzorů. Má-li PCU jednotka informaci, že jsou dveře otevřené, senzory počítají. Jsou-li zavřené, senzory nepočítají. Údaje za jeden cyklus sčítání jsou pak v jednotce vyhodnoceny jako jedna zastávka a jsou spárovány s informacemi z palubního počítače. Pro případ, kdy doje k opětovnému otevření dveří a nástupu nebo výstupu dalších cestujících na stejné zastávce, je v jednotce PCU nastavena časová prodleva sčítacího cyklu tak, aby došlo k sečtení těchto záznamů a vytvořil se souhrnný údaj za sčítání v příslušné zastávce. Disponuje-li palubní počítač informací o stavu dveří, je možné tuto informaci poskytovat jednotce PCU z něj. Přímým spojením snímače s jednotkou PCU se ale docílí vyšší rychlosti informace a tak i aktuálnosti. Pro funkci systému je toto řešení výhodnější.

2.4.3 Specifikace instalace systému

Pro správnou funkci systému, založeném na infračervených čidlech, je důležitý povrch podlahy dveřního prostoru, kde jsou senzory umístěny. Aby nedocházelo k milné detekci objektu, je potřeba zajistit povrch, který neodráží vysílané paprsky. Nehodí se například lesklý kovový povrch. V případě Dopravního podniku hl. m. Prahy mají veškeré dveřní prostory osazovaných tramvají vhodný povrch podlah pro instalaci IR senzorů. Za správných podmínek zachytí infračervená čidla dodávaného systému veškeré objekty vyšší než jeden metr. To znamená, že například malé dítě nebo psa tento systém nezaznamená.

Dále je zapotřebí, aby čidla byla nainstalována ve vodorovné poloze. Tramvaje typu 14T a 15T mají vrchní podhledy dveřních částí v mírném sklonu. V tomto případě je potřeba

dodatečná konstrukce, která zajistí potřebnou rovinu. Podle složitosti potřebné konstrukce a dalších omezujících prvků instalace se pak v různé výši projevuje cena materiálu a instalace v konečné kalkulaci.

Součástí dodávky u variant 1 je systém obsahující potřebný počet senzorů (bude uveden ve 3. kapitole), příslušný počet a typ jednotky PCU, materiál potřebný k instalaci, instalace a potřebné revize. Jelikož instalace systému do tramvají, jakožto drážních vozidel, podléhá schválení od Drážního úřadu, je zapotřebí zabývat se i procesem schvalování. Tento krok umožňující legální užívání systému v provozu je v rámci variant 1 jejich součástí.

V následujících podkapitolách variant 1 budou uvedeny pouze takové skutečnosti, které již nebyly uvedeny dříve za varianty 1 jako celek.

Varianta 1a

Varianta 1a vychází z minimálního potřebného počtu tramvají osazených systémem APC. Minimální počet byl v dřívější kapitole po konzultaci a logických úvahách stanoven na 180 kusů tramvají. Tato varianta je tedy sestavena na osazení 180 tramvají.

Tato varianta je založena na základním systému nabízeném firmou ABIRAIL CZ s.r.o. To znamená, že v rámci softwarového vybavení se v této variantě jedná pouze o surové zpracování dat, získaných ze senzorů. Informace o počtu nastupujících a vystupujících budou v jednotce PCU sloučeny s příslušnými informacemi z palubního počítače APEX. Sloučené informace v podobě tabulky budou zasílány k následnému zpracování firmě CHAPS spol. s r.o., která pro Dopravní podnik hl. m. Prahy zpracovává přepravní průzkumy do fyzické podoby. Jelikož základní software pro sběr dat zpracovává suprové informace do přehledné tabulky, lze vytvářet požadované sestavy například pomocí kontingenčních tabulek, které jsou součástí nástrojového vybavení kancelářského programu Microsoft Office Excel.

Varianta 1b

Varianta 1b je založena na stejném počtu osazených vozidel jako varianta 1a, tedy na minimálním potřebném počtu tramvají osazených systémem APC. Konkrétní počty osazených tramvají příslušného typu budou popsány v tabulce v následujících kapitolách.

V rámci této varianty je navíc uvažován software nejen pro sběr dat, ale i pro analýzu dat. Tento software s názvem ABIRUN APC je vlastní produkt společnosti ABIRAIL CZ s.r.o. pro řešení automatického anonymního počítaní cestujících v dopravních prostředcích. Součástí této aplikace jsou následující moduly:

- import dat,
- ruční pořizování vstupních dat,

- výpočet ukazatelů,
- prezentace dat.

V rámci importu dat jsou zobrazovány informace z palubních počítačů, jednotek PCU a jiných systémů či databází. Jedná se o jízdní řády, infrastrukturu (zastávky), vozový park a především o data získaná ze senzorů jednotlivých vozidel.

Modul pro ruční pořizování vstupních dat umožňuje zadávat informace o počasí či informace o veřejných akcích (kulturní, sportovní, atd.) a na základě těchto dat následně vyhodnocovat závislost počtu cestujících na různých skutečnostech. Ale především mít přehled o důvodech náhlého nárůstu počtu přepravovaných osob. Další možností je zadávat data ze sčítacích kampaní prováděných mimo systém APC. Je tedy možné provést sčítání osob dosavadním způsobem (fyzickým), zadat data do systému a porovnat s daty získanými ze systému APC. Na základě tohoto srovnání je možné vyhodnotit chybovost systému. Nicméně pro přesnost výsledného srovnání je nutné zajistit bezchybné ruční sčítání. Chybovost systému APC (Z) se dá ze zjištěných hodnot vypočítat pomocí vzorce

$$Z = \frac{|X-Y|}{Y} \cdot 100\ [\%] \qquad (1)$$

kde:
X ... údaj ze systému APC [počet cestujících]
Y … údaj z ručního sčítání [počet cestujících]

V rámci modulu Výpočet ukazatelů je možné zjistit ukazatele o spojích (přepravní výkon, dopravní výkon, časové odchylky vůči jízdnímu řádu, využití kapacity dopravního prostředku, rychlosti spoje, atd.), zastávkách (frekvence cestujících na zastávkách) a linkách (frekvence cestujících na lince).

Aplikace ABIRUN APC může obsahovat i další různé potřebné sestavy. Záleží na přání zákazníka a na domluvě, které informace jsou potřebné a je třeba je vyhodnocovat v přehledné formě.

Varianta 1c

Varianta 1c vychází ze středního počtu tramvají osazených systémem APC. Tento počet byl stanoven v dřívější kapitole na 412 kusů tramvají. Tato varianta je tedy sestavena na osazení 412 tramvají.

Jako u varianty 1a obsahuje systém APC v této variantě pouze základní software pro sběr dat. A předpokládá se tedy, že následné zpracování dat získaných ze systému APC by u této varianty probíhalo ve firmě CHAPS spol. s r.o.

Varianta 1d

V rámci varianty 1d je předpokládáno osazení stejného počtu vozidel jako u předchozí varianty, varianty 1c. Počet osazených tramvají tedy vychází ze stanoveného střední počtu, tj. 412 vozidel. Konkrétní počty osazených tramvají příslušného typu budou popsány v tabulce v následujících kapitolách.

Součástí této varianty je pak software pro sběr a analýzu dat ABIRUN APC, který byl popsán ve variantě 1b. Systém APC od ABIRAIL CZ s.r.o. by tedy v této variantě poskytnul veškeré informace a data ve formě, které už by nebylo nutné zasílat firmě CHAPS spol. s r.o. ke zpracování.

Varianta 1e

Varianta 1e vychází z maximálního možného počtu tramvají osazených systémem APC, který byl stanoven v dřívější kapitole. Podle tohoto stanoveného počtu předpokládá varianta 1e osazení 643 tramvají, tak aby bylo dosaženo co nejpřesnějších výsledků ze všech pojížděných linek. V této variantě je tedy uvažováno osazení všech evidovaných vozů v provozu typu 15T, 14T, KT8D5, T3R.PLF a T3R.P.

Jako u variant 1a a 1c obsahuje tato varianta v rámci dodávky systému APC pouze software pro sběr dat. Předpokládá se tedy, že následné zpracování dat získaných ze systému APC bude u této varianty probíhat i nadále (jako u fyzického sčítání) ve firmě CHAPS spol. s r.o.

Varianta 1f

V rámci varianty 1f je stejně jako u předchozí varianty uvažováno s maximálním možným počtem osazovaných tramvají, tedy 643. Konkrétní počty osazených tramvají příslušného typu budou zrekapitulované v tabulce v následujících kapitolách.

Součástí této varianty je pak na rozdíl od předchozí varianty opět SW pro sběr a analýzu dat ABIRUN APC.

2.5 Varianty systému APC od firmy ONE SYSTEM s. r. o.

Společnost ONE SYSTÉM s.r.o. na svých webových stránkách ([b.r.]) o sobě píše: *„Naše společnost se zaměřuje na dodávky a projekční činnost bezpečnostních řešení zejména pro dopravní aplikace. V tomto segmentu je kladen velký důraz na stoprocentní funkčnost a spolehlivost řešení, což umíme našim zákazníkům nabídnout. Od projektové fáze až po samotnou realizaci zakázky je Vám plně k dispozici náš profesionální tým.“* Mezi hlavní činnosti společnosti patří: kamerové systémy pro dopravní aplikace, datové a informační

systémy pro dopravní aplikace, bezpečnost dat, zakázková výroba a vývoj, servisní činnost, projekce a certifikace.

V rámci řešení automatického počítání cestujících nabízí firma systém, který se skládá ze tří základních komponent:

- senzory,
- záznamová jednotka pro příjem a zpracování dat,
- software pro vyhodnocování dat.

Jejich řešení kombinuje prvky potřebné pro fungující systém od různých společností. Nabízí dva různé druhy senzorů a propojuje je se záznamovou jednotkou od jiné společnosti. Kombinace prvků systému APC od více společností je umožněna na základě otevřeného rozhraní API. Díky tomuto rozhraní, které mají všechny využívané prvky tohoto systému, je možné tyto prvky kombinovat a různě měnit dle potřeby. Společné rozhraní API totiž zajišťuje správné fungování, komunikaci mezi jednotlivými prvky.

Software k vyhodnocování dat ze záznamové jednotky je v základu součástí dodávky záznamové jednotky od příslušné společnosti. Firma ONE SYSTEM s.r.o. pak může zajistit různé úpravy a modifikace softwaru, dle potřeb zákazníka. Díky skutečnosti, že dodávka softwaru je součástí záznamové jednotky, budou všechny varianty 2 tento software obsahovat.

Společnost ONE SYSTEM (2016) informuje ve svých materiálech, že jejich dodávaný systém je navržen v plném souladu s normou VDV 457/458, která v Německu definuje systémy automatického sčítání cestujících (pozn.: Česká republika zatím tuto normu nepřevzala).

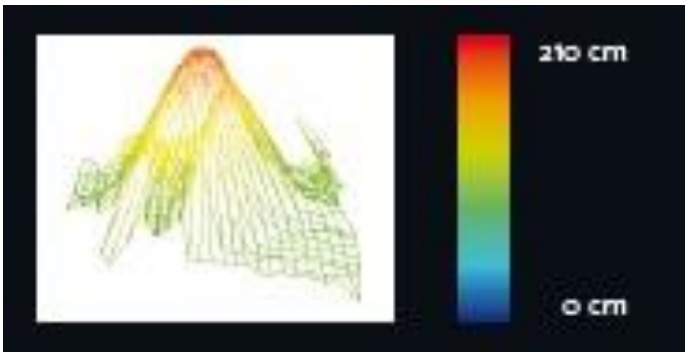
2.5.1 Senzory

Jak již bylo zmíněno, firma nabízí 2 druhy senzorů zajišťující počítání cestujících: stereokamerový senzor od firmy HELLA KGaA Hueck&Co. a IR senzor od německé firmy IRIS GmbH.

Funkčnost stereokamerových senzorů je principiálně popsaná v kapitole 2.1.3. Díky tomuto senzoru jde mimo počítání osob i sledovat dveřní prostor a zobrazit jej řidiči na monitoru. Záznam z toho senzoru pak lze nahrávat například pro případný spor, což je podle ONESYSTEM (2016) velmi žádané z důvodu bezpečnosti. Výrobce uvádí senzor jako bezúdržbový, s přesností 96 %.

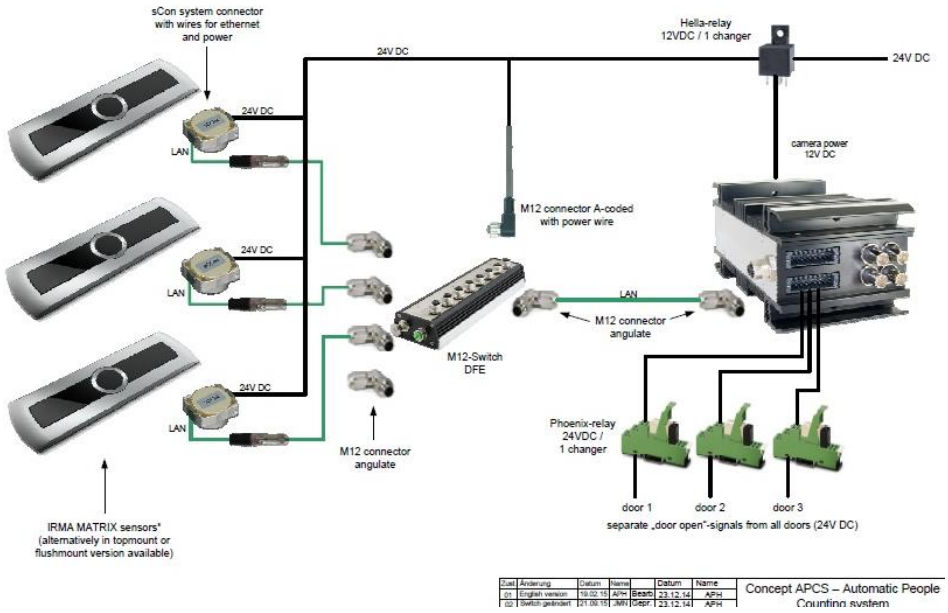
Senzory IRMA MATRIX od firmy IRIS jsou obvykle instalovány v každém dveřním prostoru vozidla, nade dveřmi například v zápustném provedení v krytu dveří. Toto provedení instalace umožňuje malá velikost senzoru. Alternativní možnost instalace je pomocí adaptéru

pro povrchovou montáž ve stejném prostoru. Uvedené senzory disponují technologií TOF (time off light), která vypočítává vzdálenost objektu světla a jeho odrazu zpět do senzoru. Výsledkem je pak trojrozměrné zachycení objektu, jehož příklad lze vidět na následujícím obrázku.



Obrázek 11 Trojrozměrné zachycení objektu senzorem IRMA MATRIX (ONE SYSTEM, 2016)

Každý snímač obsahuje dva nezávislé systémy detekce, které jsou uspořádány tak, aby správě detekovaly i směr pohybu v daném prostoru. Díky tomu lze také jedním snímačem pokrýt celý dveřní prostor, dva senzory se používají pouze v případě širokých dvoukřídlových dveří. Jednotlivé senzory jsou hvězdicově zapojeny do switche. Dle potřeby (nedostatečné kapacity jednoho switche) je ve vozidle instalováno více switchů. Switche jsou následně pomocí sítě ethernet propojeny se záznamovou jednotkou. Zapojení senzorů a switche do záznamové jednotky lze vidět na následujícím schématu.



Obrázek 12 Schéma zapojení senzorů u variant 2 (ONE SYSTEM s.r.o., 2016)

Uvedený senzor má dále definovatelné hladiny výšky. To znamená, že je možné nastavit konkrétní výšku, od které bude provedena detekce cestujícího. Dalším možným využitím této funkce je tvorba kategorií cestujících podle výšky, které se promítne ve vyhodnocení dat.

Podle ONE SYSTEM (2016) výrobce uvádí senzor jako bezúdržbový, s přesností detekce cestujících 97 %.

2.5.2 Záznamová jednotka

Prvek záznamové jednotky v systému APC, který firma ONE SYSTEM s.r.o. dodává je produktem firmy DResearch Fahrzeugelektronik GmbH. Tato dodávaná jednotka podle ONE SYSTEM (2016) umožňuje mimo funkce pro systém APC ještě funkci kamerového záznamu (při zapojení kamer či kamerových senzorů). Výhodou této jednotku je sdružení dvou funkcí do jednoho zařízení. Nevýhodou je, že při požadavku pouze na jednu funkci, nelze dosáhnout oddělení. V takovém případě nese rozhodnutí o variantě s tímto systém vyšší, nadměrné náklady. Kalkulace bude uvedena ve 3. kapitole.

Dodávaná řídící a záznamová jednotka disponuje na čelním pohledu čtyřmi stavovými LED diodami, které umožňují detekci funkčnosti jednotky. Některé stavy, chyby a informace je možné dále zobrazit i na video výstup. Například výpadek signálu IP kamery, poškozený nebo chybějící HDD, chybnou komunikaci se senzory a další.

V následujících podkapitolách variant 2 budou uvedeny pouze takové skutečnosti, které již nebyly uvedeny dříve za varianty 2 jako celek.

Varianta 2a

Varianta 2a vychází z minimálního potřebného počtu tramvají osazených systémem APC. Minimální počet byl v dřívější kapitole po konzultaci a logických úvahách stanoven na 180 kusů tramvají. Tato varianta je tedy sestavena na osazení 180 tramvají.

U této varianty se uvažuje se zapojením potřebného počtu senzorů od firmy IRIS. V rámci této varianty by tedy byly do vozidel instalovány infračervené senzory. U těchto senzorů se ve většině případů instaluje 1 kus senzoru nad 1 dveře tramvaje.

Varianta 2b

Varianta 2b je založena na stejném počtu osazených vozidel jako varianta 2a, tedy na minimálním potřebném počtu tramvají osazených systémem APC. Konkrétní počty osazených tramvají příslušného typu budou popsány v tabulce v následujících kapitolách.

V rámci této varianty budou do vybraných vozidel instalovány senzory od firmy HELLA. Jedná se o senzory stereokamerové, které již byly popsány dříve. I u těchto senzorů stačí instalace jednoho kusu nad jedny dveře.

Varianta 2c

Varianta 2c vychází ze středního počtu tramvají osazených systémem APC. Tento počet byl stanoven v dřívější kapitole na 412 kusů tramvají. Tato varianta je tedy sestavena na osazení 412 tramvají.

Stejně jako u varianty 2a, budou v této variantě instalovány infračervené senzory IRMA Matrix od německé firmy IRIS.

Varianta 2d

V rámci varianty 2d je předpokládáno osazení stejného počtu vozidel jako u předchozí varianty, varianty 2c. Počet osazených tramvají tedy vychází ze stanoveného střední počtu, tj. 412 vozidel. Konkrétní počty osazených tramvají příslušného typu budou popsány v tabulce v následujících kapitolách.

U této varianty budou použity stejné senzory jako u varianty 2b, tedy stereokamerové senzory od firmy HELLA.

Varianta 2e

Varianta 2e vychází z maximálního možného počtu tramvají osazených systémem APC, který byl stanoven v dřívější kapitole. Podle tohoto stanoveného počtu předpokládá varianta 2e osazení 643 tramvají, tak aby bylo dosaženo co nejpřesnějších výsledků ze všech pojížděných linek. Instalovány budou infračervené senzory, které firma ONE SYSTEM s.r.o. nabízí.

Varianta 2f

V rámci varianty 2f je stejně jako u předchozí varianty uvažováno s maximálním možným počtem osazovaných tramvají, tedy 643. Konkrétní počty osazených tramvají příslušného typu budou zrekapitulované v tabulce v následujících kapitolách. Instalovány budou stereokamerové systémy, které firmě ONE SYSTEM s.r.o. dodává společnost HELLA.

3 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ VARIANT

Tato kapitola se zabývá hodnocením navržených variant z ekonomické stránky. Důležitou součástí ekonomického zhodnocení je vyčíslení nákladů na pořízení systému APC dle jednotlivých variant. Aby bylo možné tyto náklady vyčíslit, je důležité na začátek ještě uvést několik skutečností, z kterých pak budou výpočty vycházet. Jedná se především o stanovení počtu jednotlivých typů vozidel uvažovaných pro osazení systémem APC. Po vyčíslení pořizovacích nákladů na systém APC jednotlivých variant budou vypočítány vybrané ekonomické ukazatele.

3.1 Počet osazených vozidel

Určení počtu vozidel osazených systémem APC je důležité pro výpočet pořizovacích nákladů. Každé vozidlo má jiný počet dveří, jinou šířku dveří a tedy i jiný potřebný počet senzorů. Počet senzorů uvedený ve výpočtu nákladů tedy bude závislý na počtu jednotlivých typů osazovaných tramvají a jejich dveří.

Minimální počet

Minimální počet tramvají osazených systémem APC byl v dřívějších kapitolách stanoven pro varianty 1a, 1b, 2a a 2b. Jedná se o 180 kusů osazených tramvají. Byly popsány typy vozidel určených k osazení systémem APC a uveden jejich počet. Určení počtu osazených tramvají konkrétních typů bylo konzultováno se zástupcem Dopravního podniku hl. m. Prahy a vycházelo především ze stáří jednotlivých typů a dále také z plánu nasazování vozidel na linky. Nejmladšími tramvajemi vozového parku jsou tramvaje 15T, tvoří proto velkou část tramvají určených k osazení v této variantě. Konkrétní počty tramvají jednotlivých typů osazených systémem APC ve variantě 1a jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 4 Počty jednotlivých typů tramvají osazených systémem APC - minimum

	T3R.P	T3R.PLF	KT8D5	14T	15T	celkem
Předpokládaný počet osazených vozů [ks]	75	15	15	15	60	**180**

Zdroj: Dopravní podnik hl. města Prahy (2016b), autor

Střední počet

Střední počet tramvají osazených systémem APC byl v dřívějších kapitolách stanoven pro varianty 1c, 1d, 2c a 2d. Jedná se o 412 kusů osazených tramvají. Určení počtu osazených tramvají konkrétních typů bylo jako v předchozích variantách konzultováno se zástupcem Dopravního podniku hl. m. Prahy a vycházelo především ze stáří jednotlivých typů a dále také z plánu nasazování vozidel na linky. Velkou část tramvají určených k osazení v této variantě opět tvoří tramvaje typu 15T, které jsou nejmladší z vozového parku. Největší procentuální zastoupení má typ T3R.P, který je nejčetnějším typem celého vozového parku. Konkrétní počty tramvají jednotlivých typů osazených systémem APC dle varianty 1c jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 5 Počty jednotlivých typů tramvají osazených systémem APC – střední hodnoty

	T3R.P	T3R.PLF	KT8D5	14T	15T	celkem
Předpokládaný počet osazených vozů [ks]	180	27	40	35	130	**412**

Zdroj: Dopravní podnik hl. města Prahy (2016b), autor

Maximální počet

Maximální počet tramvají osazených systémem APC byl v dřívějších kapitolách stanoven pro varianty 1e, 1f, 2e a 2f. Jedná se o 643 kusů osazených tramvají. V těchto variantách jsou tedy uvažovány všechny evidované vozy v provozu typu 15T, 14T, KT8D5, T3R.PLF a T3R.P. Konkrétní počty tramvají jednotlivých typů osazených systémem APC dle varianty 1e jsou pro připomenutí uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 6 Počty jednotlivých typů tramvají osazených systémem APC – maximum

	T3R.P	T3R.PLF	KT8D5	14T	15T	celkem
Předpokládaný počet osazených vozů [ks]	350	33	46	57	157	**643**

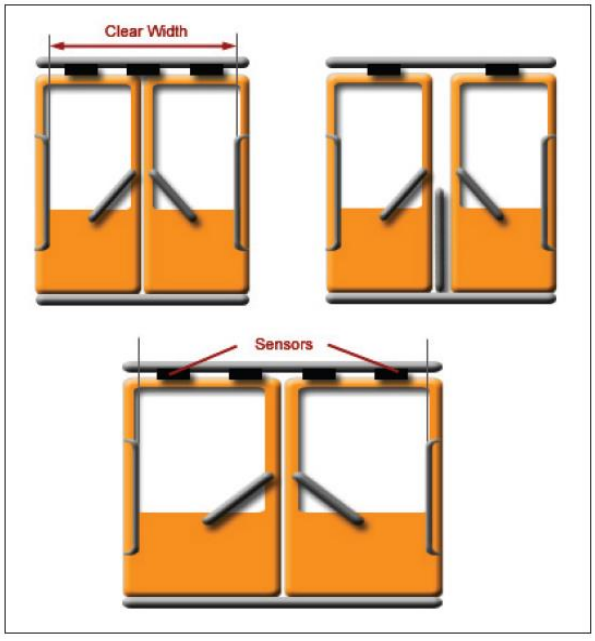
Zdroj: Dopravní podnik hl. města Prahy (2016b), autor

3.2 Náklady variant 1

Obsah variant 1 byl popsán v příslušné kapitole. V této kapitole bude následovat vyčíslení pořizovacích nákladů na systém APC na základě jednotlivých prvků variant a především na základě cenové nabídky od firmy ABIRAIL CZ s.r.o. Aby bylo možné vyčíslit celkové náklady, budou nejdříve stanoveny počty potřebných senzorů, počty potřebných PCU jednotek a další.

3.2.1 Počet senzorů

Počet senzorů v každé variantě je v prvé řadě ovlivněn počtem vozidel, která mají být systémem APC osazeny. Čím více osazených vozidel bude každá z variant obsahovat, tím více bude i senzorů. Počet senzorů, v rámci jednoho vozidla, je závislý na typu vozidla. Při předpokládaném osazení senzorů do všech nástupních prostor se jedná konkrétně o počet dveří vozidla, kterých je u každé tramvaje jiný počet, dále u použití senzorů IRS-320R záleží na šířce dveřního prostoru a na omezujících prvcích ve dveřním prostoru. Omezujícími prvky mohou být především tyčové prvky dělící dveřní prostor na dvě části. Možnosti počtu senzorů lze vidět na následujícím obrázku, kde jsou vyobrazeny vždy dvoukřídlové dveře, ale s různou šířkou a omezujícím prvkem.



Obrázek 13 Možnosti osazení dveřního prostoru různým počtem senzorů (Janšta, 2015)

Potřebný počet senzorů dle jednotlivých druhů vozidel byl firmou ABIRAIL CZ s.r.o. stanoven na základě poskytnuté technické dokumentace a fotodokumentace. Technická dokumentace uvádí rozměry dveřních prostor a fotodokumentace zaznamenává

existenci/neexistenci omezujících prvků a sklon naddveřního rámu (potřebný pro stanovení dodatečné konstrukce pro zajištění vodorovného umístění senzoru). Nejvíce senzorů v jednom dveřním prostoru vyžadují všechny dveře tramvaje typu 15T. Ty jsou široké 1,4 m a neobsahují žádné omezující prvky. Potřebný počet senzorů IRS-320R je díky tomu 4 kusy. Celkové potřebné počty senzorů dle jednotlivých typů tramvají jsou přehledně sestaveny v následující tabulce.

Tabulka 7 Počty senzorů potřebné do jednotlivých typů vozidel

Typ vozidla	T3R.P	T3R.PLF	KT8D5	14T	15T
Počet dveří [ks]	3	3	10	5	6
Rozměry dveří [m]	1,33 – 1,43	1,20	0,95 – 1,30	0,70 – 1,30	1,40
Potřebný počet senzorů na vozidlo [ks]	**10**	**9**	**36**	**16**	**24**

Zdroj: Dopravní podnik hl. města Prahy (2016b), ABIRAIL (2016), autor

3.2.2 Pořizovací náklady

Pořizovací náklady systému APC bývají ve větším objemu vozidel značně vysoké. Jejich součástí jsou především prvky systému a další potřebný materiál, ale také jejich instalace, potřebné revize a další. Co se týče použitých zařízení a materiálu ve variantách 1, podle cenové nabídky společnosti ABIRAIL CZ (2016), největší položkou je potřebný počet senzorů, který vychází z mnoha faktorů. Stanovení potřebného počtu senzoru bylo provedeno v předchozí kapitole. Jeden senzor IRS-320R stojí 5 640 Kč a k němu je potřeba montážní set za 336 Kč. Například u tramvaje typu KT8D5 s nejvyšším potřebným počtem senzorů, 36 kusů, jsou tak náklady na senzory včetně montážního setu do jednoho vozidla 208 656 Kč.

Dalším významným prvkem je jednotka PCU. Hlavní jednotka musí kvůli zpracování dat v režimu online obsahovat GSM modul s anténou. Je-li ve vozidle potřeba druhé jednotky PCU, stačí již základní model, takzvaná jednotka PCU slave. Jednotka PCU s GSM a anténou stojí podle cenové nabídky z ABIRAIL CZ (2016) 28 896 Kč a základní jednotka 11 984 Kč. Již ve zmiňované tramvaji KT8D5 jsou kvůli velkému počtu senzorů a dalších omezujících podmínek potřeba 3 jednotky. Tato položka tedy na jedno vozidlo vyjde 52 864 Kč. Velkou položkou je potom montáž prvků systému, jejich kalibrace a ověření. Tato položka se dle náročnosti montáže pohybuje okolo 50 000 Kč. Firma ABIRAIL CZ s.r.o. zajišťuje v rámci dodávky systému i schválení od Drážního úřadu (DÚ), které je povinné při instalaci systému

ve všech drážních vozidlech, tedy i v tramvajích. Tato služba stojí 3 000 Kč za jeden typ vozidla, tedy 15 000 Kč v každé z variant.

Skutečností, kterou se stanovené varianty odlišují, je software. Cena licence k jednotlivým softwarům (SW pro sběr a odeslání dat firmě CHAPS ke zpracování a SW pro sběr a analýzu dat ABIRUN SPC) je závislá na počtu vozidel a je tedy pro každou variantu odlišná. Cena licence dle firmy ABIRAIL CZ s.r.o. (2016) vychází z dynamického výpočtu, který se skládá z fixní ceny a ceny za datový konektor pro každé vozidlo. Pro 180 vozidel je cena základního SW 498 745 Kč a SW ABIRUN APC 632 000 Kč. Pro 412 vozidel je cena základního SW 1 078 745 Kč a SW ABIRUN APC 1 212 000 Kč. A pro 643 vozidel je cena základního SW 1 656 245 Kč a SW ABIRUN APC 1 789 500 Kč. Celkové pořizovací náklady pak obsahují ještě další dosud neuvedený materiál jako například kabeláž či lišty senzorů, které slouží k zajištění instalace senzorů ve vodorovné poloze. Veškeré náklady jsou v součtu uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 8 Pořizovací náklady variant 1

	Varianta 1a	Varianta 1b	Varianta 1c	Varianta 1d	Varianta 1e	Varianta 1f
Druh SW	základní	ABIRUN	základní	ABIRUN	základní	ABIRUN
Počet vozidel	180	180	412	412	643	643
Pořizovací náklady[Kč]	44 298 235	44 431 490	101 811 949	101 945 204	146 403 737	146 536 992

Zdroj: Dopravní podnik hl. města Prahy (2016b), ABIRAIL (2016), autor

3.2.3 Provozní náklady

Provozní náklady dodávaného systému dle informací z ABIRAIL CZ (2016) vyplývají z nákladů na údržbu. Údržba spočívá ve zkontrolování čistoty APC senzorů a odstranění nečistot (například samolepek nalepených na senzoru, apod. Tato jednoduchá údržba byla ročně na jedno vozidlo vyčíslená průměrně na 500 Kč. Doba na údržbu a tedy i částka je závislá na počtu dveří vozidla. Pro varianty se 180 vozidly by tedy byly roční provozní náklady 90 000 Kč, pro varianty s 412 vozidly 206 000 Kč a pro varianty s 643 vozidly 321 500 Kč.

3.3 Náklady variant 2

Obsah variant 2 byl popsán v příslušné kapitole. V této kapitole bude následovat vyčíslení pořizovacích nákladů na systém APC na základě jednotlivých prvků variant a především na základě cenové nabídky od firmy ONE SYSTEM s.r.o.

3.3.1 Počet senzorů

Výpočet potřebného počtu senzorů pro varianty 2 je jednodušší než u variant 1. Při použití senzorů, které nabízí firma ONE SYSTEM s.r.o., se počítá pouze s jedním senzorem do jednoho dveřního prostoru. Uvedené senzory sice mají také omezující podmínku šířky dveří, ale ta u uvažovaných typů vozidel pro osazení systémem APC není překročena. Potřebný počet senzorů je tedy roven počtu dveří tramvaje, které již byly dříve uvedeny.

3.3.2 Pořizovací náklady

Výše pořizovacích nákladů variant 2 je stejně jako u variant 1 závislá především na počtu osazovaných tramvají a na jednotlivých typech, na kterých záleží, kolik senzorů bude instalace systému vyžadovat. ONE SYSTEM s.r.o. (2016) nabízí infračervený senzor za 31 280 Kč a stereokamerový senzor za 30 059 Kč. Cena je uvedena včetně montážního setu a je stejná pro jednoduchou montáž i zápustnou montáž k zajištění roviny. Pro srovnání s variantami 1 činila cena senzorů instalovaných do tramvaje typu KT8D5 celkem 208 656 Kč. U variant 2 postačí instalace 10 senzorů (1 senzor na jedny dveře), náklady na senzory do tohoto typu tramvaje budou 300 590 Kč (stereokamerové senzory) nebo 312 800 Kč (IR senzory).

Uvažované varianty 2 počítají se skutečností, že ve všech osazovaných vozidlech je dostatečný počet switchů s dostatečnou kapacitou k připojení potřebného počtu senzorů. Dodávka switchů tedy v tomto případě není součástí systému APC od firmy ONE SYSTEM s.r.o. a není tak zahrnuta v cenové nabídce. Další kalkulovanou položkou je záznamová jednotka APC, která bude díky zapojení senzorů přes switche potřeba v každém vozidle jenom jednou. Verze záznamové jednotky pro zajištění vyhodnocování dat v režimu online obsahuje datový modul s WIFI + 4G. Cena této jednotky je podle cenové nabídky společnosti ONE SYSTEM (2016) 38 640 Kč.

Jak již bylo dříve popsáno, výhodou této jednotky je, že umožňuje uchovávat kamerový záznam. SW pro zpracování dat je v rámci systému APC od firmy ONE SYSTEM s.r.o. dodáván zdarma, a to včetně aktualizací pro nové typy senzorů, kamer, operačních systémů a podobně. Dále ONE SYSTEM (2016) uvádí, že během montáže je v ceně prováděno zkušební měření tak, aby bylo možné vyladit pozici a nastavení senzoru na co

nejvyšší hodnotu přesnosti. Celkové pořizovací náklady pak obsahují ještě další dosud neuvedený materiál jako například kabeláž či disk záznamové jednotky a montáž. Veškeré náklady jsou v součtu uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 9 Pořizovací náklady variant 2

	Varianta 2a	Varianta 2b	Varianta 2c	Varianta 2d	Varianta 2e	Varianta 2f
Druh senzoru	IR	kamerový	IR	kamerový	IR	kamerový
Počet vozidel	180	180	412	412	643	643
Pořizovací náklady [Kč]	50 525 300	49 481 345	116 276 020	113 863 324	170 652 207	167 189 451

Zdroj: Dopravní podnik hl. města Prahy (2016b), ONE SYSTEM (2016), autor

3.3.3 Provozní náklady

I když firma ONE SYSTEM s.r.o. (2016) uvádí jednotlivá zařízení použitá v systému APC jako bezúdržbová (během provozu nevyžaduje žádné servisní vícenáklady), je potřeba počítat alespoň s provozními náklady jako u variant 1. Tedy s náklady na údržbu týkající se zkontrolování čistoty senzorů a případné odstranění nečistot. Tyto náklady tedy budou stejné jako u variant 1, dle počtu vozidel osazených systémem APC. Pro varianty se 180 vozidly by tedy byly roční provozní náklady 90 000 Kč, pro varianty s 412 vozidly 206 000 Kč a pro varianty s 643 vozidly 321 500 Kč.

3.4 Metoda ročních převedených nákladů

Podle Melichara a Ježka (2014) tato metoda nepočítá s budoucími příjmy z investic. Je tedy vhodná pro ekonomické hodnocení investice do systému APC, neboť vyčíslení příslušných příjmů je téměř nemožné. Použitím této metody lze kombinovat celkové investiční náklady a ostatní běžné náklady (včetně nákladů uživatelů). Výsledkem je pak jednoduchá roční suma převedených ročních nákladů (E_C), jež lze spočítat podle vztahu:

$$E_C = I \cdot k_0 + C_m + C_0 \tag{2}$$

kde:
I ... investiční, kapitálové náklady
k_0 … koeficient pro výpočet ročního odpisu investice
C_m… roční náklady na údržbu
C_0 … roční náklady uživatelů

Koeficient pro výpočet ročního odpisu investice se pak posle Melichara a Ježka (2014) stanoví pomocí vztahu:

$$k_0 = \frac{i(1+i)^t}{(1+i)^t - 1} \quad (3)$$

kde:
i ... úroková míra
t … počet let životnosti

Při výpočtu této metody hodnocení investice za systém APC se předpokládá, že hodnoty ročních nákladů uživatelů budou u všech variant shodné, a navíc obtížně vyčíslitelné. Proto tento člen vzorce nebude brán při výpočtech v úvahu. Pro výpočet k_0 je potřeba stanovit úrokovou mírou. Existuje více možností jak určit úrokovou míru, potřebnou pro výpočet koeficientu. Jednou z možností je podle Scholleové (2008) stanovení hodnoty úrokové míry ve stejné výši jako průměrné ROE (rentabilita vlastního kapitálu) za posledních x let. Počet let je roven například životnosti systému, kterou dodavatelé uvádí průměrně 10 let. Úroková míra (i) je tedy vypočtena podle vzorce:

$$i = \sum_1^t \frac{EBIT_t}{VK_t} / t \quad (4)$$

kde:
EBIT ... výsledek hospodaření před zdaněním
t … počet let životnosti
VK … vlastní kapitál

a její hodnota je rovna 0,005. Koeficient pro výpočet ročního odpisu investice je podle uvedeného vzorce roven 0,103. Po dosazení příslušných hodnot do vzorce pro roční převedené náklady jsou výsledné hodnoty tohoto ukazatele pro jednotlivé varianty uvedeny v následující tabulce. Roční převedené náklady vyjadřují částku, kolik bude v průměru investice podle variant ročně stát.

Tabulka 10 Roční převedené náklady všech variant [Kč]

Varianta	Investiční náklady	Roční náklady na údržbu	Roční převedené náklady
1a	44 298 235	90 000	4 652 718
1b	44 431 490	90 000	4 666 443
1c	101 811 949	206 000	10 692 631
1d	101 945 204	206 000	10 706 356
1e	146 403 737	321 500	15 401 085
1f	146 536 992	321 500	15 414 810
2a	50 525 300	90 000	5 294 106
2b	49 481 345	90 000	5 186 579
2c	116 276 020	206 000	12 182 430
2d	113 863 324	206 000	11 933 922
2e	170 652 207	321 500	17 898 677
2f	167 189 451	321 500	17 542 013

Zdroj: ABIRAIL CZ (2016), ONE SYSTEM (2016), autor

3.5 Návratnost investice

Švejda (2010) uvádí, že termín návratnost investice vyjadřuje čistý zisk nebo čistou ztrátu, která je vypočtena na základě počáteční investice. Tento ukazatel je známý pod anglickou zkratkou ROI (return on investment). Ukazatel se obvykle uvádí v procentech a je proveden podle základního výpočtu:

$$ROI = \frac{\check{c}ist\acute{y}\ zisk - po\check{c}\acute{a}te\check{c}n\acute{i}\ investice}{po\check{c}\acute{a}te\check{c}n\acute{i}\ investice} \cdot 100\ [\%] \qquad (5)$$

Systém APC vyžaduje méně následného zpracování dat. Což se projeví na úspoře času vynakládaného na přepravní průzkumy a tím tedy na personálních nákladech. Pro výpočet tohoto ukazatele proto budou do vzorce za čistý zisk dosazeny náklady na manuální sčítání jakožto výnosy z úspor těchto nákladů. Dosavadní náklady na manuální sčítání uvádí Dopravní podnik hl. m. Prahy (2016b) na základě informací ze společnosti ROPID jako přibližnou částku 2 000 000 Kč za 1 přepravní průzkum. Průzkum se provádí 1 za dva roky. Životnost investice je stanovena na 10 let. Náklady na manuální sčítání by tedy za 10 let byly 10 000 000 Kč. Po dosazení této hodnoty, jakožto čistý zisk, a počátečních investic jednotlivých variant jsou hodnoty ROI u všech variant záporné, jak lze vidět v následující tabulce.

Tabulka 11 Návratnost investice všech variant

Varianta	**1a**	**1b**	**1c**	**1d**	**1e**	**1f**
ROI [%]	-77	-77	-90	-90	-93	-93
Varianta	**2a**	**2b**	**2c**	**2d**	**2e**	**2f**
ROI [%]	-80	-80	-91	-91	-94	-94

Zdroj: ABIRAIL CZ (2016), ONE SYSTEM (2016), autor

Záporné hodnoty sice znamenají ztrátu z této investice, ale jedná se jen o vyčíslitelné ekonomické hodnocení. Výnosy z této investice jsou především přidané hodnoty, které technologie systému APC přináší. Tyto hodnoty nelze vyčíslit (případně značně obtížně) a nelze s nimi tedy v ukazatelích počítat. Hlavní přidanou hodnotou je fakt, že systém APC zaznamenává data nonstop – během jízdy 24 hodin denně, 7 dní v týdnu, 365 dní v roce. Díky tomu jsou informace o počtech cestujících přesnější a lze sledovat jejich vývoj během časových období. Dále lze díky přesnějším informacím o počtech cestujících rozhodovat o nasazování vozidel s potřebnou kapacitou a tak optimalizovat jízdní výkon. Optimalizací pak lze docílit snížení celkových vozokilometrů a tím i snížení nákladů na provoz.

3.6 Technické zhodnocení vozidla

Dle Zákona o daních z příjmu (Česko, 1992) se technickým zhodnocením pro účely zákona rozumí vždy výdaje na dokončené nástavby, přístavby a stavební úpravy, rekonstrukce a modernizace majetku, pokud převýšily u jednotlivého majetku v úhrnu 40 000 Kč. Dále zákon vysvětluje pojem modernizace jako rozšíření vybavenosti nebo použitelnosti majetku. V případě systému APC se tedy jedná o technické zhodnocení v podobě modernizace a musí se tedy v účetnictví zvýšit zůstatková cena majetku o příslušnou hodnotu. Tyto náklady se pak vlivem odpisů rozloží do příslušných let životnosti. Dle zákona jsou také technickým zhodnocením výdaje na zmiňovanou modernizaci, pokud je hradí budoucí nájemce na cizím hmotném majetku v průběhu jeho pořizování za podmínky, že se stane nájemcem tohoto hmotného majetku nebo jeho části, a vlastník tohoto hmotného majetku nezahrne výdaje vynaložené budoucím nájemcem do vstupních cen. Problematika technického zhodnocení pronajatého majetku nájemcem je komplikovaná. Aby nedocházelo k chybám vedoucím k daňovým doměrkům, je potřeba tuto problematiku nejdříve důkladně nastudovat.

4 VYHODNOCENÍ VARIANT

V rámci vyhodnocení variant systému APC, které byly popsány v předchozích kapitolách, bude vybrána nejvhodnější varianta. Jedná se o činnost rozhodování, kterou se zabývá každá fungující firma a její teorie je popisována v odborné literatuře.

Podle Pojkarové (2013) lze rozhodovací proces podle počtu kritérií dělit na jednokriteriální a vícekriteriální. Při rozhodování o nejlepší variantě systému APC bude posuzováno více kritérií. Bude se tedy jednat o vícekriteriální rozhodování, známé v odborných kruzích jako multikriteriální analýza.

4.1 Multikriteriální analýza

Metoda multikriteriální analýzy variant se používá k výběru nejlepšího řešení z konečné množiny m variant, které jsou hodnoceny podle n kritérií. Varianty jsou podle Šubrta (2011) popsány jako konkrétní rozhodovací možnosti, které jsou realizovatelné a nejsou logickým nesmyslem. Kritéria jsou pak jednotlivá hlediska, podle kterých se varianty hodnotí. Cílem je, podle jmenovaného autora, najít variantu, která bude podle kritérií hodnocena celkově jako optimální. Podle výsledků je možné také seřadit varianty od nejlepší k nejhorší nebo pouze vyloučit neefektivní varianty.

Jsou-li varianty podle kritérií měřitelné (kvantitativní), lze údaje uspořádat do „kriteriální matice Y“:

$$Y = \begin{array}{c} \\ a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_3 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} f_1 & f_2 & \dots & f_n \end{array} \\ \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mn} \end{pmatrix} \end{array} \tag{6}$$

kde:

y_{ij} … hodnocení i-té varianty podle j-tého kritéria

Sloupce v matici odpovídají kritériím a řádky hodnoceným variantám.

V opačném případě, kdy jsou některá kritéria kvalitativní, se údaje uvádějí v tzv. kriteriální tabulce, která obsahuje jak číselná, tak slovní hodnocení variant. Pro výpočty je potřeba kvantitativní varianty ohodnotit číselně, a to podle metod pro kvantifikaci kvalitativní informace.

4.2 Kritéria hodnocení

Kritéria hodnocení, na jejichž základě je rozhodováno o nejvhodnější variantě k realizaci, lze dle Šubrta (2011) dělit podle několika různých hledisek.

Podle povahy dělí kritéria na:

- maximalizační - nejvyšší hodnota kritéria představuje nejlepší variantu,
- minimalizační - nejnižší hodnota kritéria představuje nejlepší variantu.

Podle Šubrta (2011) a Kalčevová ([b.r.]) je lepší pracovat s kriteriální maticí, která obsahuje kritéria stejné povahy (všechna maximalizační nebo méně časté všechna minimalizační). Vzhledem ke skutečnosti, že na začátku řešení multikritariálních úloh obvykle kritéria nemívají stejnou povahu, je nutné převést nejčastěji minimalizační kritéria na kritéria maximalizační. A to dvěma možnými způsoby:

- vynásobením celého sloupce kriteriální matice hodnotou -1 (transformace $y'_{ij} = -y_{ij}$),
- výpočtem hodnot, které udávají zlepšení oproti nejhorší kriteriální hodnotě (transformace $y'_{ij} = y_{ij} - \max_i(y_{ij})$).

První způsob je podle zmíněných zdrojů sice matematicky zcela korektní, nicméně interpretace nového kritéria nemusí být vždy zcela jasná na první pohled. Druhý uváděný způsob je interpretačně jasný, ale zase není vždy možné pro transformaci povahy kritéria použít.

Podle možnosti kvantifikace rozlišují výše uvedení autoři kritéria:

- kvantitativní – hodnoty jsou objektivně měřitelné údaje,
- kvalitativní - hodnoty variant nelze objektivně změřit, velmi často jde ale o hodnoty subjektivně odhadnuté uživatelem. Pro měřitelnost lze u těchto kritérií použít různé bodovací stupnice nebo relativní hodnocení variant (jedna varianta je zvolena jako základ a uživatel odhaduje procentní vyjádření ostatních variant).

4.2.1 Pořizovací náklady

Pořizovací náklady jsou důležitým ekonomickým kritériem, podle kterého se společnosti rozhodují o investicích. Tyto náklady na pořízení systému jsou značně vysoké a také rozdílné dle počtu osazených vozidel. Toto kritérium je kvantitativní, jeho hodnoty pro jednotlivé varianty byly vypočteny v předchozích kapitolách. Dle povahy se toto kritérium řadí do minimalizačních – nejnižší hodnota je nejlepší.

4.2.2 Časová náročnost montáže

Toto kritérium je stanoveno jako čas potřebný k instalaci systému do 1 vozidla od každého typu. To znamená, že hodnoty kritéria se rovnají součtu doby montáže na jedno vozidlo typu T3R.P, T3R.PLF, KT8D5, 14T a 15T. Celkový čas je pak závislý na jednotlivých časech montáže systému do jednoho vozidla. Vzhledem k tomu, že nelze provést montáž do všech tramvají naráz je toto kritérium důležité. Podle času potřebné montáže na jedno vozidlo je potřeba vytvořit plán montáže jednotlivých vozidel, tak aby bylo zachované nasazení vozidel na linky. Čím kratší bude doba montáže systému do jednoho vozidla, tím bude snadnější vytvořit plán celkové montáže v co nejkratším časovém úseku. Toto kritérium je tedy minimalizační.

Čas montáže systému variant 1 a variant 2 je odlišný především z důvodu rozdílného počtu senzorů na tramvaj. U variant 2 je montáž pouze jednoho senzoru do jedněch dveří, bude tak potřeba méně materiálu a montáž systému do jednoho vozidla tak bude rychlejší než u variant 1. Hodnoty tohoto kritéria lze měřit, jedná se tedy o kritérium kvantitativní. Jeho hodnoty pro jednotlivé varianty byly konzultovány se zástupci dodavatelských firem a stanoveny na 64 hodin pro varianty 1 a 34 hodin pro varianty 2.

4.2.3 Přesnost senzorů

Kritérium přesnosti senzorů je důležité pro celkovou přesnost systému APC a tedy i pro přesnost údajů tímto systémem získaných. Přesnosti jednotlivých senzorů byly uvedeny v dřívější kapitole. U senzorů variant 1 je to 95 %, u stereokamerových senzorů variant 2 je přesnost 96 % a u IR senzorů variant 2 je to 97%. Je žádoucí, aby přesnost byla co nejvyšší. Toto kritérium je tedy maximalizační.

4.2.4 Software pro vyhodnocování dat

Toto kritérium svou podstatou může více či méně vyvažovat vyšší pořizovací náklady na varianty se SW. Jeli SW součástí varianty, je zajištěno kvalitní zpracování dat a sestavení přehledných sestav dle požadavků společnosti DPP. U některých variant tento prvek zvyšuje pořizovací cenu, nic méně díky tomu již nebude potřeba vynakládat žádné dodatečné náklady na vyhodnocování dat firmou CHAPS. Proto je toto kritérium stanoveno jako maximalizační, tedy je vhodnější, aby varianta obsahovala i SW na zpracování dat. Pro kvantifikaci tohoto kritéria jsou zvoleny dvě základní hodnoty:

- 1 – SW je součástí systému APC
- 0 – SW není součástí systému APC

4.2.5 Zkreslení dat vlivem extrapolace

Jednotlivé varianty jsou sestaveny na základě osazení různého počtu vozidel. Dopravní podnik (2016b) uvádí, že chybějící údaje z vozidel bez systému APC budou dopočítávány pomocí extrapolace. Dopočet chybějících dat statistickou metodou představuje určité zkreslení od dat, která by byla získána ze systému APC. Toto zkreslení bude logicky narůstat se snižujícím se počtem dat ze systému APC. Tedy čím méně bude vozidel osazených systémem, tím větší bude zkreslení. Jelikož je žádoucí co nejmenší zkreslení, staví se toto kritérium jako minimalizační, ale vlivem závislosti na počtu osazených vozidel bude toto kritérium převedeno na maximalizační, a to jednoduše tak, že hodnoty pro jednotlivé varianty se budou rovnat počtu osazených vozidel daných variant.

4.2.6 Nezávislost systému

Nezávislost systému dává možnost měnit komponenty instalované ve vozidle a umožnit přitom komunikaci mezi jednotlivými subsystémy. To je umožněno díky otevřenému rozhraní, tzv. API protokolu, kterým disponují pouze varianty 2. Otevřené komunikační rozhraní umožňuje komunikace s ostatními zařízeními a snižuje tak závislost na ostatních dodavatelských subjektech. Pro dopravní podnik je žádoucí, aby systém byl nezávislý. Kritérium je tedy maximalizační. Pro kvantifikaci tohoto kritéria jsou zvoleny dvě základní hodnoty:

- 1 – systém APC je nezávislý
- 0 – systém APC je závislý

4.3 Stanovení vah kritérií

Pro stanovení vah hodnotících kritérií bude použita Saatyho metoda. Podle Pojkarové (2013) spočívá tato varianta ve srovnání jednotlivých dvojic kritérií. Srovnání spočívá v určení, kolikrát je kritérium v řádku významnější než kritérium ve sloupci nebo naopak. Fotr a Švecová (2010) uvádějí, že v Saatyho matici lze ohodnotit kritéria čísly 1-9 a Saatym doporučená bodová stupnice s deskriptory je:

- 1 – kritéria jsou stejné významná,
- 3 – první kritérium je slabě významnější než druhé,
- 5 – první kritérium je dosti významnější než druhé,
- 7 – první kritérium je prokazatelně významnější než druhé,
- 9 – první kritérium je absolutně významnější než druhé.

Pro jemnější rozlišení preferencí dvojic kritérií pak lze použít hodnoty 2, 4, 6 a 8.

Následující tabulka je vyhotovenou Saatyho maticí s určením preferencí kritérií dle popsané stupnice. V předchozí kapitole bylo popsáno 6 kritérií, tato kritéria jsou v tabulce pod čísly: 1 (pořizovací náklady), 2 (časová náročnost montáže), 3 (přesnost senzorů), 4 (SW pro vyhodnocování dat), 5 (zkreslení dat vlivem extrapolace), 6 (nezávislost systému)

Tabulka 12 Saatyho matice

	1	2	3	4	5	6
1	1	6	6	3	1/3	2
2	1/6	1	6	1/5	1/4	1/3
3	1/6	1/6	1	1/6	1/6	1/4
4	1/3	5	6	1	1	3
5	3	4	6	1	1	3
6	1/2	3	4	1/3	1/3	1

Zdroj: autor

Hodnoty vah (G) se podle Pojkarové (2013) ze Saatyho matice vypočítají pomocí geometrického průměru řádků podle vzorce:

$$G_i = (\prod_{i-1}^{n} s_{ij})^{1/n} \quad (7)$$

kde:
s_{ij}... počet bodů daného kritéria v řádku v porovnání s kritérii ve sloupci
n … počet kritérií

Před samotným výpočtem je ale podle Friebelové (2016) nutné ověřit konzistentnost matice párových porovnání. Míra konzistence se podle této autorky může měřit indexem konzistence (I_S):

$$I_S = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (8)$$

kde:
λ_{max}... největší vlastní číslo Saatyho matice
n … počet kritérií

Friebelová (2016) dále uvádí, že matice je podle Saatyho konzistentní, jestliže index konzistence < 0,1. Uvedená Saatyho matice má po výpočtu podle zmíněného vzorce míru konzistence 0, je tedy konzistentní, ale lze s ní počítat dál. V následující tabulce jsou vypočítané hodnoty vah kritérií podle uvedeného vzorce a stanoveno pořadí preference.

Tabulka 13 Váhy hodnotících kritérií

Kritérium	1	2	3	4	5	6
Váha kritéria	2,0396	0,5054	0,2404	1,7627	2,4495	0,9347
Pořadí	2.	5.	6.	3.	1.	4.

Zdroj: autor

Z tabulky lze vyčíst, že nejdůležitějším kritériem je zkreslení dat vlivem extrapolace, které představuje počet osazených vozů. Toto kritérium je skutečně důležité, protože pro práci s výsledky z přepravního průzkumu jsou potřebná co nejpřesnější data. Na základě těchto dat pak dochází k důležitým rozhodnutím v oblasti plánování, které byly již dříve popsány. Kritérium s nejmenší váhou je přesnost senzorů a to proto, že hodnoty tohoto kritéria u jednotlivých variant jsou téměř shodné, vysoké. Drobný rozdíl v přesnosti u tak už vysokého procenta již nehraje příliš roli.

4.4 Výpočet nejvhodnější varianty

Jak již bylo zmíněno, výběr nejvhodnější varianty probíhá za pomocí multikriteriální analýzy. Pro výpočet je nejprve potřeba sestavit multikriteriální matici. Tato matice obsahuje všechny varianty, kritéria a jejich hodnoty.

Tabulka 14 Kriteriální matice

Kritérium / Varianta	1 [mil Kč]	2 [hod]	3 [%]	4	5 [počet osazených vozidel]	6
1a	44,298	64	95	0	180	0
1b	44,431	64	95	1	180	0
1c	101,812	64	95	0	412	0
1d	101,945	64	95	1	412	0
1e	146,404	64	95	0	643	0
1f	146,537	64	95	1	643	0
2a	50,525	34	97	1	180	1
2b	49,481	34	96	1	180	1
2c	116,276	34	97	1	412	1
2d	113,863	34	96	1	412	1
2e	170,652	34	97	1	643	1
2f	167,189	34	96	1	643	1
	Min.	Min.	Max.	Max.	Max.	Max.

Zdroj: Dopravní podnik hl. města Prahy (2016b), ABIRAIL (2016), autor

Pro stanovení hodnot jednotlivých variant bude použita metoda lineárních dílčích užitkových funkcí. Podle Kalčevové ([b.r.]) je pro práci s kriteriální maticí důležité, tak aby bylo možné použít zvolenou metodu, aby všechna kritéria byla jednoho typu. V tomto případě maximalizační. V dalším kroku je tedy potřeba přepočítat minimalizační kritéria na maximalizační. Výpočet se provede tak, že se nalezne maximální hodnota daného minimalizačního kritéria a od této hodnoty se odečte kriteriální hodnota. Přepočítaná kriteriální matice je v následující tabulce.

Tabulka 15 Přepočítaná kriteriální matice

Kritérium / Varianta	1 [mil Kč]	2 [hod]	3 [%]	4	5 [počet osazených vozidel]	6
1a	126,354	0	95	0	180	0
1b	126,221	0	95	1	180	0
1c	68,84	0	95	0	412	0
1d	68,707	0	95	1	412	0
1e	24,248	0	95	0	643	0
1f	24,115	0	95	1	643	0
2a	120,127	30	97	1	180	1
2b	121,171	30	96	1	180	1
2c	54,376	30	97	1	412	1
2d	56,789	30	96	1	412	1
2e	0	30	97	1	643	1
2f	3,463	30	96	1	643	1
	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.	Max.

Zdroj: Dopravní podnik hl. města Prahy (2016b), ABIRAIL (2016), autor

Pro výpočet podle zvolené metody lineárních dílčích užitkových funkcí se v dalším kroku uvede ideální a bazální vektor všech navržených variant. Tyto vektory jsou sepsány v následující tabulce. Ideální vektor představuje nejvyšší hodnotu daného kritéria a bazální naopak nejnižší.

Tabulka 16 Bazální a ideální vektor kriteriální matice

Kritérium	1 [mil Kč]	2 [hod]	3 [%]	4	5 [počet osazených vozidel]	6
Bazální vektor	0	0	95	0	180	0
Ideální vektor	126,354	30	97	1	643	1

Zdroj: Dopravní podnik hl. města Prahy (2016b), ABIRAIL (2016), autor

Aby bylo možné provést konečný výpočet pro vyhodnocení nejvhodnější varianty, je podle Kalčevové ([b.r.]) nutné kriteriální matici normalizovat, a to pomocí ideálního a bazálního vektoru z předcházející tabulky. Normalizace kriteriální matice se provede podle vzorce:

$$r_{ij} = \frac{y_{ij} - D_j}{H_j - D_j} \tag{9}$$

kde:
r_{ij}... hodnotav normované matici
y_{ij}… hodnota v kriteriální matici
D_j… bazální hodnota
H_j… ideální hodnota

Tabulka 17 Normovaná kriteriální matice

Kritérium / Varianta	1 [mil Kč]	2 [hod]	3 [%]	4	5 [počet osazených vozidel]	6
1a	1	0	0	0	0	0
1b	0,998947	0	0	1	0	0
1c	0,544819	0	0	0	0,50108	0
1d	0,543766	0	0	1	0,50108	0
1e	0,191905	0	0	0	1	0
1f	0,190853	0	0	1	1	0
2a	0,950718	1	1	1	0	1
2b	0,95898	1	0,5	1	0	1
2c	0,430346	1	1	1	0,50108	1
2d	0,449444	1	0,5	1	0,50108	1
2e	0	1	1	1	1	1
2f	0,027407	1	0,5	1	1	1

Zdroj: Dopravní podnik hl. města Prahy (2016b), ABIRAIL (2016), autor

4.4.1 Metoda WSA

Konečný výpočet optimálního řešení je proveden pomocí metody váženého součtu (WSA). Při této metodě se pracuje s váhami jednotlivých kritérií, které byly vypočteny pomocí Saatyho metody. Metodu dále popisuje Kalčevová ([b.r.]). Jsou dány váhy v = (v_1; v_2;…;v_k) pro *k* maximalizačních kritérií. Metoda váženého součtu pak maximalizuje vážený součet podle vzorce:

$$\sum_{j=1}^{k} v_j \cdot r_{ij} \quad (10)$$

kde:

v_j … váha kritéria

r_{ij} … hodnota v normované kriteriální matici

Hodnota varianty 1a = 1,7508·1 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0 = 2,0396

Hodnota varianty 1b = 1,7508·0,998947 + 0 + 0 + 1,8860·1 + 0 + 0 = 3,8002

Hodnota varianty 1c = 1,7508·0,544819 + 0 + 0 + 0 + 2,6672·0,50108 + 0 = 2,3386

Hodnota varianty 1d = 1,7508·0,543766 + 0 + 0 + 1,8860·1 + 2,6672·0,50108 + 0 = 4,0992

Hodnota varianty 1e = 1,7508·0,191905 + 0 + 0 + 0 + 2,6672·1 + 0 = 2,8409

Hodnota varianty 1f = 1,7508·0,190853 + 0 + 0 + 1,8860 ·1 + 2,6672·1 + 0 = 4,6015

Hodnota varianty 2a = 1,7508·0,950718 + 0,5054·1 + 0,2404·1 + 1,8860·1 + 0 + 2,6672·1 + 0 = 5,3823

Hodnota varianty 2b = 1,7508·0,95898 + 0,5054·1 + 0,2404·0,5 + 1,8860·1 + 0 + 2,6672·1 + 0 = 5,2789

Hodnota varianty 2c = 1,7508·0,430346 + 0,5054·1 + 0,2404·1 + 1,8860·1 + 2,6672·0,50108 + 0,9347·1 = 5,5483

Hodnota varianty 2d = 1,7508·0,449444 + 0,5054·1 + 0,2404·0,5 + 1,8860·1 + 2,6672·0,50108 + 0,9347·1 = 5,4671

Hodnota varianty 2e = 0 + 0,5054·1 + 0,2404·1 + 1,8860·1 + 2,6672·1 + 0,9347·1 = **5,8927**

Hodnota varianty 2f = 1,7508·0,027407 + 0,5054·1 + 0,2404·0,5 + 1,8860·1 + 2,6672·1 + 0,9347·1 = 5,8284

4.5 Výsledek multikriteriální analýzy

Podle výpočtu je tedy optimálním řešením Varianta 2e. Tato varianta je založena systému APC od firmy ONE SYSTEM s.r.o., obsahuje infračervené senzory instalované vždy 1 kus nad jeden dveřní prostor a je sestavena na osazení maximálního možného počtu uvažovaných tramvají, tedy na 643 kusů. Tato varianta má sice nejvyšší pořizovací náklady, ale vzhledem k ostatní kritérium vychází celkově nejlépe, protože má nejmenší možnou časovou náročnost montáže, nejvyšší možnou přesnost senzoru a na rozdíl od variant 1 je její systém nezávislý. Rozhodujícími kritérii pro výsledek optimálního řešení této varianty byly především zkreslení dat (respektive počet osazených vozů) a software, jejichž váha byla pomocí Saatyho metody stanovena jako nejvyšší. Tato varianta obsahuje nejvyšší počet osazených tramvají potřebný pro co nejmenší zkreslení dat a obsahuje také SW pro zpracování pořízených dat.

ZÁVĚR

Z analýzy současné situace, kterou obsahovala první kapitola této práce, vyplývá důležitost sčítání cestujících jakožto součást přepravních průzkumů. Problematika přepravních průzkumů byla blíže popsána a vysvětlen její význam jako důležitý podklad pro plánování a rozhodování týkající se změn koncepce dopravy, tvorby linek a modernizaci dopravní sítě, stanovení potřebného rozsahu vozového parku a zvýšení kvality dopravních služeb. Důležitou součástí první kapitoly byla analýza přepravních průzkumů prováděných Dopravním podnikem hl. m. Prahy ve formě ručního sčítání. Z analýzy vyplynuly základní nedostatky současného způsobu sčítání cestujících, které jsou hlavním důvodem pro volbu systému automatického sčítání cestujících a výchozím požadavkem pro výběr vhodných variant.

V druhé kapitole byly na základě požadavků sestaveny možné varianty systému APC od některých českých dodavatelů. Tyto varianty byly sestaveny na základě různého množství tramvají určených k osazení systém APC. Kvůli době životnosti některých tramvají, která je kratší než doba životnosti systému, byly některé tramvaje z výběru vyřazeny. Dále byl kvůli minimalizaci nutných investic stanoven minimální potřebný počet osazených tramvají, tak aby ze získaných dat bylo možné zajistit potřebnou datovou základnu. Varianty byly dále sestaveny s odlišností dodávky SW pro vyhodnocování dat, kvůli rozdílné ceně systému se SW a bez SW u některých variant. Ve variantách jsou dále použity různé druhy senzorů, které vykazují různé vlastnosti. Ve výsledku lze konstatovat, že z hlediska přesnosti jsou si všechny typy senzorů podobné a značně převyšují přesnost ručního sčítání.

Třetí kapitola se zabývala hodnocením navržených variant z ekonomické stránky. Důležitou součástí ekonomického zhodnocení bylo vyčíslení nákladů na pořízení systému APC dle jednotlivých variant. Z výsledků vyčíslených nákladů vyplývá především závislost na počtu osazených vozidel, dále na jejich typu, na druhu použitého senzoru a jeho instalace (jeden nebo více senzorů do jednoho dveřního prostoru) a další. Firmy mají odlišné cenové nabídky týkající se SW, instalace, dokumentace atd.

Z důvodu téměř nemožného vyčíslení příjmů, byla pro ekonomické hodnocení investice použita metoda ročních převedených nákladů, pomocí které lze vypočítat částku, kolik bude v průměru investice ročně stát za doby své životnosti. Vypočítané náklady značně převyšují náklady na ruční sčítání, nicméně automatické sčítání disponuje jinými benefity, které bohužel nejsou jednoznačně vyčíslitelné, tudíž nejsou ve výpočtu zahrnuty. Kvůli této skutečnosti pak vyšel i ukazatel návratnosti investic v záporných hodnotách. Na základě

těchto výsledků lze konstatovat, že není možné, aby tento druh investice byl z finančního hlediska výhodný oproti fyzickému sčítání. Ekonomické ukazatele tak mohou sloužit spíše pro přehledné hodnocení a srovnání navržených variant z ekonomického hlediska. Výhodnost systému APC pak vychází z odstranění nedostatků fyzického sčítání, které byly uvedeny v první kapitole.

V poslední kapitole byly navržené varianty vyhodnoceny na základě vybraných kritérií a pomocí multikriteriální analýzy. Užitím Saatyho matice bylo jako nejdůležitější kritérium vypočítané zkreslení dat vlivem extrapolace. Výsledek multikriteriální analýzy pak staví jako optimální řešení variantu 2e. Tedy variantu s infračerveným senzorem, včetně SW a osazení 643 tramvají. Vzápětí za ní je varianta 2f, která na rozdíl od vítězné varianty obsahuje stereokamerový senzor. Lze konstatovat, že varianta 2e, zvítězila nad 2f pouze z důvodu vyšší přesnosti. Rozdíl přesnosti je ale minimální a v rámci úspory finančních prostředků na investici se jeví vhodné, zvolit spíše variantu 2f. Dalším důvodem pro volbu této varianty je skutečnost, která nebyla zahrnuta v kritériích, a sice že stereokamerový senzor, umožňuje kromě APC také nahrávat a uchovávat kamerový záznam.

Veškeré systémy, které byly v práci uvedeny, umožňují pouze zaznamenávání intenzity proudu cestujících. Pro ucelené informace o proudech cestujících je ale potřeba ještě získat informace o směrech proudu cestujících. Systémy, které by umožňovaly zaznamenávání těchto informací, prozatím na českém trhu chybí, v zahraničí se vyvíjí. Do doby než bude získávání i těchto dat automatizované, je potřeba využívat podpory přepravního průzkumu v podobě anket nebo například pomocí vhodně zpracované mobilní aplikace s bonusy pro cestující užívající tuto aplikaci.

POUŽITÁ LITERATURA

ABIRAIL CZ, 2016. Interní materiály. Brno: ABIRAIL CZ.

CZECH CONSULT, 2011. *Metodika zpracování plánů dopravní obslužnosti území.* Praha: CZECH Consult. ISBN 978-80-254-9722-7.

ČERNÝ, Martin a Jan HORNÍK, 2002. *Malý atlas městské hromadné dopravy 2002*. Praha: Grandis Bohemia. ISBN 80-902791-5-5.

ČESKO, 1992. *Zákona č. 586/1992 Sb., o daních z příjmů ve znění pozdějších předpisů* [online]. [cit. 2016-11-10]. Dostupné z: http://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-586#cast3

DILAX Intelcom, 2011. Automatisches Fahrgastzählsystem. *DILAX Intelcom* [online]. [cit. 2016-10-20]. Dostupné z: https://www.voev.ch/de/Service/content_index.php?section=downloads&download=2974.

DOPRAVNÍ PODNIK HL. M. PRAHY, 2014. *Přepravní průzkum tramvajové sítě 2014.* Praha: Dopravní podnik hl. m. Prahy.

DOPRAVNÍ PODNIK HL. M. PRAHY, 2015. Pražské metro v den přepravního průzkumu přepravilo 1 272 143 cestujících. *Dopravní podnik hl. m. Prahy* [online]. Praha [cit. 2016-08-26]. Dostupné z: http://www.dpp.cz/prazske-metro-v-den-prepravniho-pruzkumu-prepravilo-1-272-143-cestujicich/

DOPRAVNÍ PODNIK HL. M. PRAHY, 2016a. *Výroční zpráva2015*. Praha: Dopravní podnik hl. m. Prahy

DOPRAVNÍ PODNIK HL. M. PRAHY, 2016b. Interní materiály. Praha: Dopravní podnik hl. m. Prahy

DOPRAVNÍ PODNIK HL. M. PRAHY, [b.r./a]. Profil společnosti. *Dopravní podnik hl. m. Prahy* [online]. Praha [cit. 2016-08-20]. Dostupné z: http://www.dpp.cz/profil-spolecnosti/

DOPRAVNÍ PODNIK HL. M. PRAHY, [b.r./b]. Logo DP - vertikální varianta. *Dopravní podnik hl. m. Prahy* [online]. Praha [cit. 2016-08-20]. Dostupné z: http://www.dpp.cz/logo/

DRDLA, Pavel, 2014. *Osobní doprava regionálního a nadregionálního významu.* Pardubice: Univerzita Pardubice. ISBN 978-80-7395-787-2.

ĎURČÍKOVÁ, Petra, 2011. Dopravní podnik počítá cestující. *Naseprahacentrum.cz* [online]. Praha [cit. 2016-08-26]. Dostupné z: http://www.naseprahacentrum.cz/zpravy-3/dopravni-podnik-pocita-cestujici

FOJTIK, Pavel, [b.r.]. Historie. *Dopravní podnik hl. m. Prahy* [online]. Praha [cit. 2016-08-30]. Dostupné z: http://www.dpp.cz/historie/

FOTR, Jiří a Lenka ŠVECOVÁ, 2010. *Manažerské rozhodování: postupy, metody a nástroje.* 2. přeprac. vyd. Praha: Ekopress. ISBN 978-80-86929-59-0.

FRIEBELOVÁ, Jana, 2016. Vícekriteriální analýza variant za jistoty. *Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích* [online]. [cit. 2016-11-11]. Dostupné z: http://www2.ef.jcu.cz/~jfrieb/rmp/data/teorie_oa/VICEKRIT_HODNOCENI.pdf

INFODEV, [2014]. Automatic Passenger Counting (APC). *Infodev Electronic Designers International* [online]. [cit. 2016-10-25]. Dostupné z: http://www.infodev.ca/vehicles/ counting-passengers.html

JANŠTA, Jiří, 2015. *Automatické anonymní počítání osob*. Interní materiál. Brno: ABIRAIL CZ

JIŘÍK, Filip, 2015. První upravený vůz škoda 14 T. *Československý dopravák* [online]. [cit. 2016-09-10]. Dostupné z:http://www.cs-dopravak.cz/zpravy/2016/4/18/tramvaj-koda-14t-po-inovaci-zkvalitn-pepravu-cestujcch

KALČEVOVÁ, Jana, [b.r.]. Kriteriální matice a hodnocení variant. *Jana Kalčevová* [online]. [cit. 2016-11-11]. Dostupné z: http://jana.kalcev.cz/vyuka/kestazeni/EKO422-KriterialniMatice.pdf

KUBÁT, Bohumil et al., 2010. *Městská a příměstská kolejová doprava.* Praha: Wolters Kluwer ČR. ISBN 978-80-7357-539-7.

LUKÁŠ, Luděk et al., 2011. *Bezpečnostní technologie, systémy a management*. Zlín: Radim Bačuvčík – VeRBuM. ISBN 978-80-87500-05-7.

MELICHAR, Vlastimil a Jindřich JEŽEK, 2004. *Ekonomika dopravního podniku*. 3. přeprac. vyd. Pardubice: Univerzita Pardubice. ISBN 80-7194-711-3.

MALÍK, Petr, 2005. Transformace po roce, otazníky zůstávají. *DP-KONTAKT*. Č. 6, příloha, s. 1 a 4. ISSN 1212-6349.

ONE SYSTEM, 2016. Interní materiály. Praha: ONE SYSTEM

ONE SYSTÉM, © 2013. *ONE SYSTEM s.r.o.* [online]. [cit. 2016-10-30]. Dostupné z:http://www.onesystem.cz/

PRAGOIMEX, [b.r.]. Modernizace tramvajového vozidla KT8D5. *Pragoimex* [online]. [cit. 2016-10-25]. Dostupné z:http://www.pragoimex.cz/page/dopravni-podnik-hl-mesta-prahy-a-s-54

ROPID, 2010. Vyhodnocení přepravního průzkumu nočních tramvají. *ROPID* [online]. Praha, © 2008-2015.[cit. 2016-8-26]. Dostupné z:http://stary.ropid.cz/vyhodnoceni-prepravniho-pruzkumu-nocnich-tramvaji__s238x1084.html

ROPID, 2016. Ukázka vybraných průzkumů linek a podnětů cestujících. *ROPID* [online]. Praha, © 2008-2015. [cit. 2016-8-26]. Dostupné z: http://stary.ropid.cz/ukazka-vybranych-pruzkumu-linek-a-podnetu-cestujicich__s285x3679.html

SCHOLLEOVÁ, Hana, 2008. *Ekonomické a finanční řízení pro neekonomy.* Praha: Grada. ISBN 978-80-247-2424-9.

ŠKODA TRANSPORTATION, 2012. Tramvaj Škoda 15T ForCity. *CN Invest* [online]. [cit. 2016-10-25]. Dostupné z:http://zpravy.e15.cz/byznys/doprava-a-logistika/skoda-transportation-se-chce-vyrazne-prosadit-na-nemeckem-trhu-760345

ŠUBRT, Tomáš et al., 2011. *Ekonomicko-matematické metody.* Plzeň: Aleš Čeněk. ISBN 978-80-7380-345-2.

ŠVEJDA, Josef, 2010. Jak na výpočet návratnosti a výnosnosti investice. *Investia.cz* [online]. © 2010 – 2016 [cit. 2016-11-02]. Dostupné z: http://www.investia.cz/jak-na-vypocet-navratnosti-a-vynosnosti-investice

VEREJNA-DOPRAVA.EU, 2006. Vůz 8102 na Štefánikově mostě. *Verejna-doprava.eu* [online]. [cit. 2016-10-25]. Dostupné z:http://verejna-doprava.eu/mfoto/praha-tramvaje.htm

VOJÁČEK, Antonín, 2005. Ultrazvukové senzory přiblížení. *HW server* [online]. © 1997 - 2014 [cit. 2016-10-16]. Dostupné z:http://automatizace.hw.cz/clanek/2005110201

VYSOKÝ, Robin, 2005. ČKD DS T6A5 1215. *BMHD* [online]. Dostupné z:http://foto.bmhd.cz/foto.php?13727

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Vozový park [Ks] 19
Tabulka 2 Počet nasazených tramvajových vozů za 1 pracovní den 31
Tabulka 3 Varianty počtu vozidel osazených systémem APC 32
Tabulka 4 Počty jednotlivých typů tramvají osazených systémem APC - minimum 43
Tabulka 5 Počty jednotlivých typů tramvají osazených systémem APC – střední hodnoty 44
Tabulka 6 Počty jednotlivých typů tramvají osazených systémem APC – maximum 44
Tabulka 7 Počty senzorů potřebné do jednotlivých typů vozidel 46
Tabulka 8 Pořizovací náklady variant 1 47
Tabulka 9 Pořizovací náklady variant 2 49
Tabulka 10 Roční převedené náklady všech variant [Kč] 51
Tabulka 11 Návratnost investice všech variant 52
Tabulka 12 Saatyho matice 57
Tabulka 13 Váhy hodnotících kritérií 58
Tabulka 14 Kriteriální matice 58
Tabulka 15 Přepočítaná kriteriální matice 59
Tabulka 16 Bazální a ideální vektor kriteriální matice 59
Tabulka 17 Normovaná kriteriální matice 60

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Logo Dopravního podniku 17
Obrázek 2 Tramvaj KT8N2.....19
Obrázek 3 Tramvaj Škoda 14T.....20
Obrázek 4 Tramvaj Škoda 15T.....20
Obrázek 5 Tramvaj T3M.....21
Obrázek 6 Tramvaj T6A5.....21
Obrázek 7 Srovnání poptávky za rok 2015 oproti roku 2014 na zastávce Dejvická.....25
Obrázek 8 Zaznamenání cestujícího pomocí infračerveného čidla.....29
Obrázek 9 Senzor AIR.....29
Obrázek 10 Zapojení senzorů do jednotky PCU 34
Obrázek 11 Trojrozměrné zachycení objektu senzorem IRMA MATRIX 40
Obrázek 12 Schéma zapojení senzorů u variant 2.....40
Obrázek 13 Možnosti osazení dveřního prostoru různým počtem senzorů 45

SEZNAM ZKRATEK

AIR	Aktiv infrared
	Aktivní infračervený senzor
APC	Automatitic passenger counting
	Automatické sčítání cestujících
ČKD	Českomoravská-Kolben-Daněk
	strojírenský podnik předválečného Československa
DÚ	Drážní úřad
IR	infračervený senzor
PCC	President's Conference Committee Car
	koncepce tramvaje
PID	Pražská integrovaná doprava
ROE	Return on equity
	Rentability vlastního kapitálu
ROI	Return on investment
	Návratnost investice
ROPID	Regionální organizátor Pražské integrované dopravy
SW	software