

Univerzita Pardubice

Fakulta ekonomicko-správní

Model Smart City na bázi systémového přístupu

Bc. Jan Příbyl

**Diplomová práce
2017**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Příbyl**
Osobní číslo: **E150040**
Studijní program: **N6209 Systémové inženýrství a informatika**
Studijní obor: **Informatika ve veřejné správě**
Název tématu: **Model Smart City na bázi systémového přístupu**
Zadávající katedra: **Ústav systémového inženýrství a informatiky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Diplomová práce bude zaměřena na vymezení pojmů, které se vážou k dané problematice. Na základě systémového přístupu bude navržen a analyzován model týkající se oblasti "Smart City".

1. Úvod do problematiky
2. Analýza současného stavu dané problematiky
3. Návrh modelu
4. Analýza navrženého modelu

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy: **cca 50 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

- [1] BLANCHARD, B. S. System Engineering Management. Third Edition. New Jersey: John Wiley and Sons, Inc., 2004. ISBN 0471291765.
- [2] BLANCHARD, B. S., FABRYCKY, W. J. System Engineering and Analysis. Third Edition. New Jersey: Prentice Hall, 1998. ISBN 0131350471.
- [3] European Smart Cities [online]. [cit. 2016-06-27]. Dostupné z: <<http://www.smart-cities.eu/index2.html>>
- [4] Metodika Konceptu inteligentních měst [online]. [cit. 2016-06-27]. Dostupné z: <<https://www.cdv.cz/novinky/metodika-konceptu-inteligentnich-mest/>>
- [5] Startup Cities [online]. [cit. 2016-06-27]. Dostupné z: <<http://www.startupcities.com/>>
- [6] Smart City v praxi [online]. [cit. 2016-06-27]. Dostupné z: <<http://www.proelektrotechniky.cz/smart-city.php>>
- [7] Základní principy programu Smart City [online]. [cit. 2016-06-27]. Dostupné z: <http://www.top-expo.cz/domain/top-expo/files/smart-city/smart-city-2015/brno/prezentace/svitek_miroslav.pdf>

Vedoucí diplomové práce:


doc. Ing. Jiří Krupka, Ph.D.

Ústav systémového inženýrství a informatiky

Datum zadání diplomové práce: **4. září 2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **28. dubna 2017**


doc. Ing. Romana Provaníková, Ph.D.

děkanka

L.S.


doc. Ing. Pavel Petr, Ph.D.

vedoucí ústavu

V Pardubicích dne 4. září 2016

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

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

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

V Pardubicích dne 30. 6. 2017

Bc. Jan Příbyl

PODĚKOVÁNÍ:

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce doc. Ing. Jiří Křupka, PhD. za jeho odbornou pomoc, cenné rady a poskytnuté materiály, které mi pomohly při zpracování diplomové práce. Dále bych rád poděkoval společnosti Smart City Point za jejich přínosné informace v oblasti smart city. V neposlední řadě bych rád poděkoval celé své rodině a přátelům, kteří mě podporovali při psaní diplomové práce.

ANOTACE

Tato diplomová práce slouží k uvedení čtenáře do problematiky konceptu Smart City. Práce analyzuje současný stav tohoto fenoménu v rámci České republiky a Evropské Unie. Autor se zaměřuje na určitou oblast Smart city, která je v práci detailně popsána a specifikována. Zároveň je pro tuto oblast navrženo vhodné modelové řešení. Práce je doplněna přílohami a náležitými výpočty.

KLIČOVÁ SLOVA

smart city, systémový přístup, mobilita, energetika, ICT technologie, odbavovací systém

TITLE

Smart city model based on systemic approach

ANNOTATION

This diploma thesis serves as an introduction to the Smart City concept. The thesis analyzes the current state of this phenomenon within the Czech Republic and the European Union. The author focuses on a particular area of Smart City, which is described and specified in detail in this work. At the same time, a suitable model of solution is designed for this area. The work is supplemented with attachments and appropriate calculations.

KEYWORDS

Smart city, systemic approach, mobility, energy, ICT technologies, Check-In system

OBSAH

ÚVOD	12
1 SMART CITY	13
1.1 PROČ SMART CITY?	15
2 KONCEPT SMART CITY	16
2.1 RÁMCE.....	16
2.2 MOBILITA	18
2.2.1 Parametry regulace veřejné dopravy	19
2.2.2 Městská hromadná doprava	19
2.2.3 Bike sharing.....	20
2.2.4 Parkování	20
2.2.5 Car sharing.....	21
2.3 ENERGETIKA	22
2.3.1 Intelligent Buildings	23
2.3.2 Intelligent Lighting	24
2.3.3 Smart Grids	26
2.4 INFORMAČNÍ A KOMUNIKAČNÍ TECHNOLOGIE	28
2.4.1 Technická úroveň ICT	28
2.4.2 Internet of Things.....	30
2.4.3 Open data	31
3 PŘÍKLADY SMART ŘEŠENÍ V EU A ČR	34
3.1 MOBILITA	35
3.1.1 Sion.....	35
3.1.2 Londýn.....	36
3.1.3 Ostrava	37
3.2 ENERGETIKA	38
3.2.1 Wachtendonk	39
3.2.2 Malaga.....	40
3.2.3 Vrchlabí.....	41
3.3 INFORMAČNÍ A KOMUNIKAČNÍ TECHNOLOGIE	42
3.3.1 Londýn.....	43
3.3.2 Berlín	44
3.3.3 Oslo	46
4 BEZKONTAKTNÍ ODBAVOVACÍ SYSTÉM JAKO PRVEK KONCEPTU SMART CITY	48
4.1 ODBAVENÍ CESTUJÍCÍCH POMOCÍ BEZKONTAKTNÍCH PLATEBNÍCH KARET.....	49
4.2 REFERENČNÍ MODEL ODBAVOVACÍHO INFORMAČNÍHO SYSTÉMU	51
4.3 LABORATORNÍ MODEL OIS	52
4.3.1 Centrální nebo vedlejší úroveň.....	53
4.3.2 Kartové systémy.....	54
4.3.3 Front office dopravce / IDS.....	54
4.3.4 Back Office dopravce / koordinátora.....	54
4.3.5 Bezpečnostní systémy.....	54
4.3.6 Vozidlová technika.....	55
4.3.7 Procesy laboratorního modelu OIS.....	55
4.4 OSTRAVSKÉ ŘEŠENÍ	56
4.5 BRNĚNSKÉ ŘEŠENÍ	59
4.6 PLZEŇSKÉ ŘEŠENÍ	62
4.7 VÝBĚR NEJVHODNĚJŠÍHO ODBAVOVACÍHO SYSTÉMU NA ZÁKLADĚ METOD VÍCEKRITERIÁLNÍHO ROZHODOVÁNÍ.....	64
4.7.1 Popis kritérií.....	65
4.7.2 Stanovení vah jednotlivých kritérií hodnocení.....	69
4.7.3 Dílčí hodnocení jednotlivých alternativ.....	73
4.7.4 Vícekriteriální hodnocení alternativ.....	74
4.8 ANALYTICKÝ HIERARCHICKÝ PROCES.....	76
4.8.1 Využití metody AHP pro výběr odbavovacího systému.....	79
4.8.2 Zhodnocení metod a doporučení pro město Pardubice	83

ZÁVĚR.....	86
POUŽITÁ LITERATURA	88
SEZNAM PŘÍLOH	94
PŘÍLOHA A	- 95 -
PŘÍLOHA B.....	- 96 -

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Kritéria inteligentního osvětlení	25
Tabulka 2: Kritéria.....	64
Tabulka 3: Kritérium - Jednoduchost odbavení	65
Tabulka 4: Kritérium: Bezpečnost informací	66
Tabulka 5: Kritérium - Rychlost odbavení	66
Tabulka 6: Kritérium: Dodržení předepsaných norem	67
Tabulka 7: Kritérium: Provozní spolehlivost	67
Tabulka 8: Kritérium: Otevřenost systému	67
Tabulka 9: Kritérium: Modularita systému	68
Tabulka 10: Kritérium: Komplexnost systému	68
Tabulka 11: Kritérium - Finanční úspora	69
Tabulka 12: Expertní hodnocení kritérií.....	69
Tabulka 13: Pořadí kritérií – expertního ohodnocení.....	70
Tabulka 14: Pořadí kritérií - metoda párového porovnání	71
Tabulka 15: Pořadí kritérií - metoda párového porovnání	72
Tabulka 16: Průměrné hodnoty váhy jednotlivých kritérií.....	73
Tabulka 17: Převedené hodnoty ohodnocení na hodnotu užítka u_i	74
Tabulka 18: Průměrné hodnoty užítka u_i pro jednotlivé alternativy	74
Tabulka 19: Průměrné hodnocení alternativ podle U_j	75
Tabulka 20: Hodnoty RI pro m kritérií	79
Tabulka 21: Saatyho hodnotící škála.....	80
Tabulka 22: Váhy kritérií	81
Tabulka 23: Koeficient CR pro matici kritérií.....	81
Tabulka 24: Výsledky jednotlivých alternativ.....	82

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Iniciativa Smart City	13
Obrázek 2: Koncept Smart City od IBM	16
Obrázek 3: Rámec Smart city	18
Obrázek 4: Smart Parking.....	21
Obrázek 5: Koncept inteligentní budovy	24
Obrázek 6: Smart grid.....	28
Obrázek 7: Proces publikace otevřených dat.....	33
Obrázek 8: Smart grid Wachtendonk	40
Obrázek 9: Smart parking Berlín.....	45
Obrázek 10: Dobíjecí stanice multi-charging.....	47
Obrázek 11: Referenční model OIS.....	51
Obrázek 12: Laboratorní model OIS	53
Obrázek 13: Proces odbavení v MHD Ostrava	57
Obrázek 14: Platba EMV.....	57
Obrázek 15: EOC Brno - Fáze 1.....	60
Obrázek 16: Grafické shrnutí fáze 1	61
Obrázek 17: Schéma odbavovacího systému v Plzni	63
Obrázek 18: Základní schéma AHP - 3 úrovně.....	77
Obrázek 19: Grafická interpretace AHP	83
Obrázek 20: Příloha A	- 95 -
Obrázek 21: Příloha B	- 96 -

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

OSN	Organizace Spojených Národů
IEA	International Energy Agency
IBM	International Business Machines
EU	Evropská Unie
ČR	Česká republika
MEMS	Micro Elektro Mechanical system
MMR	Ministerstvo pro místní rozvoj
ICT	Information and Communication Technologies
IP	Internet protocol
QR	Quick Response
RFID	Radio Frequency Identification
LTA	The Land Transport Authority
ITS	Intelligent Stransport Systém
IES	Intelligent Energy System
DLR	Docklands Light Railway
NEDO	New Energy and Industrial Development
CDTI	Center for the Development of Industrial Technology
GPSR	Greedy Perimeter Stateless Routing
EOC	Elektronický odbavovací systém
ITSO	International Telecommunications Saatellite Organization
OIS	Odbavovací Informační systém
IDS	Informační dopravní systém
CIS JŘ	Centrální Informační Systém Jízdních Řádů
BČK	Bezkontaktní Čipová Karta
EMV	Europay MasterCard Visa

DPMB	Dopravní Podnik Města Brno
DZC	Dopravní Zúčtovací Centrum
BPK	Bezkontaktní platební karta
HSM	Hardware Security Model
SAM	Secure Acces Module

ÚVOD

Smart city je v současné době velice aktuálním a atraktivním tématem. S největší pravděpodobností se s tímto pojmem setkala většina lidí. Z důvodu, že v současné době neexistuje jednotná definice tohoto pojmu, je možné, že si každý při vyslovení smart city představí něco jiného. Je to pochopitelná reakce, protože smart city si dotýká mnoha segmentů života ve městech, kterým může být přisuzována různá priorita. Smart city je jedním z konceptů, které si klade za cíl uplatňování principů udržitelného rozvoje do organizace města. Primárně je založeno na využití moderních technologií s cílem zlepšit kvalitu života a zefektivnit správu veřejných věcí. Koncept Smart City je nejvíce uplatňován v oblasti energetiky a v oblasti dopravy, které lze efektivněji řešit pomocí implementace vhodných informačních a komunikačních technologií. Může se však jednat i o další oblasti jako je vodohospodářství, e-government, odpadové hospodářství a krizové řízení.

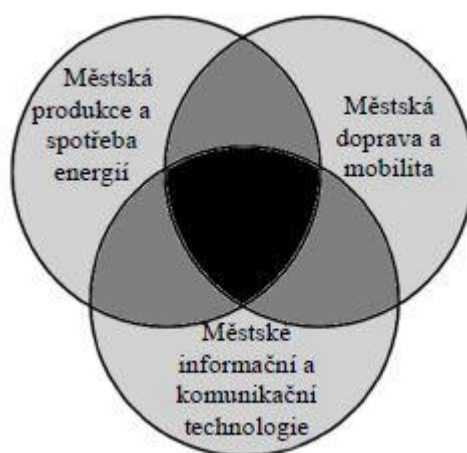
V rámci Evropy je koncept Smart City reakcí na značnou urbanizaci a do značné míry i dalším vývojovým krokem Regionální politiky EU. Tato politika se dříve soustředila především na podporu měst a regionů a byla brána jako administrativní centra jednotlivých regionů. Neustálý ekonomický a technický růst však vyžaduje speciální přístup k řešení problémů dnešních měst, které jsou primárně tlačeny požadavky občanů na zlepšení životního prostředí při současném udržení ekonomického výkonu, který do značné míry zajišťuje kvalitní život. Koncept Smart City se tedy snaží o maximální využití moderních technologií a navrhnout řešení pro management jednotlivých měst takovým způsobem, aby docházelo k synergetickým efektům mezi dříve zmiňovanými odvětvími s ohledem na energetickou náročnost a kvalitu života v daném městě.

Město Pardubice je současné době součástí konceptu Smart City a usiluje o zkvalitnění oblastí jako je doprava, odpadové hospodářství a energetika. Z tohoto důvodu je v práci vyspecifikovaná oblast dopravy přesněji oblast odbavovacího systému ve veřejné dopravě, jako jeden z prvků smart city. Následně je provedena analýza současného stavu těchto systémů v rámci ČR. S pomocí několika metod pro podporu rozhodování je vybrána optimální alternativa tohoto systému. Následně jsou shrnuty doporučení a tipy pro město Pardubice, jakožto budoucí smart city.

Cílem práce je obecně seznámit čtenáře s problematikou smart city a uvést praktické příklady „smart“ řešení v rámci ČR a EU. V druhé části práce bude provedena analýza současného stavu ve vybrané oblasti smart city a navrhnout vlastní model řešení.

1 SMART CITY

Velmi rychlý technický pokrok a neustále zdokonalující se technologie jsou ekvivalentem dnešní doby. Pojem smart city a jeho principy jsou samozřejmou odezvou na snahu provázat jednotlivé složky a tím zjednodušit životy obyvatel měst. Chytré město by mělo být takové město, které využívá digitální technologie pro zvýšení celkové výkonnosti města s nižšími náklady a spotřebou zdrojů. Digitální technologie nejsou jedinou složkou smart city. Princip konceptu Smart City je založen především na využití moderních digitálních technologií ve spolupráci s obyvateli kteří je využívají.



Obrázek 1: Iniciativa Smart City

Zdroj: [18]

Město v konceptu Smart City vytváří podmínky pro projekty, při kterých dochází k hledání prospěšných cílů pro občany města, a to při současném hledání inovativních ekonomických modelů pro financování dalšího rozšíření systému. Jde tedy především o propojení existujících procesů, směrem k hledání synergií, a jejich vyšší účinnost [54].

V současné době koncept Smart City nemá jasně ustálenou definici. Kvůli různorodosti a nejednotnému pojetí smart city v současnosti neexistuje ustálené vymezení tohoto pojmu a odborníci se v jeho definování často liší.

O této skutečnosti pojednává jedna z publikací indického ministerstva pro městský rozvoj s názvem „**What is a Smart City?**“.

Následující definice, které přibližují pojetí smart city, jsou vybrány s ohledem na autorův subjektivní názor.

„Chytrá města by měla být považována za systém lidí interagujících a využívajících toků energie, materiálů, služeb a financujících udržitelný hospodářský rozvoj, houževnatost a vysokou kvalitu života; tyto toky a interakce se stávají chytrými prostřednictvím strategického využívání informační a komunikační infrastruktury a služeb v procesu transparentního územního plánování a řízení, které reaguje na sociální a ekonomické potřeby společnosti“ [51].

Další možnou definici smart city nabízí publikace s názvem „**Metodika chytrých měst**“, která byla vydána v roce 2015 Ministerstvem pro místní rozvoj České republiky.

„Smart Cities lze v kontextu Evropského sdělení C(2012) chápat jako uplatnění informačních a telekomunikačních technologií v odvětví energetiky a v odvětví dopravy, na základě čehož bude docházet k urychlení pokroku, k dosažení např. snížení spotřeby energií a zdrojů, zkvalitnění a propojení dopravních systémů a mobility, a to vše za předpokladu využití moderních informačních a komunikačních systémů“ [29].

Následující definici smart city nabízí **Digitální agenda pro EU**.

„Inteligentní města kombinují různé technologie ke snížení negativních dopadů na životní prostředí a nabízí občanům lepší kvalitu života. Nejedná se jednoduše o technické řešení; je také nezbytná organizační změna ve správě města a dokonce v samotné společnosti. Učinit město inteligentním je multidisciplinárním řešením, které propojuje správce města, inovativní dodavatele, tvůrce národních a EU strategií, akademickou sféru a občanskou společnost.“ [46].

Každá z výše uvedených definic poskytuje jiný úhel pohledu na problematiku smart city. Jedno mají však společné, a to je využití moderních technologií pro rozvoj města, kdy zároveň dochází k úsporám zdrojů, ulehčení, zkvalitnění a zjednodušení života jeho občanům.

Smart city jsou logickou odezvou na neustálý a zrychlující se růst měst a městských aglomerací. Přibližně před sto lety žil pouze každý pátý člověk ve městě. Dnes se jedná o více než polovinu celé populace světa. Kolem roku 2050 by podle odhadů OSN ve městech mělo bydlet sedm z deseti lidí. V následující podkapitole jsou uvedeny některé důvody, proč je vhodné řešit problematiku smart city co nejdříve.

1.1 Proč Smart City?

V Evropě je koncept Smart City reakcí na značnou urbanizaci a do značné míry také dalším vývojovým krokem Regionální politiky EU, která se dosud soustředila na podporu regionů a města byla brána jen jako administrativní centra těchto regionů. Neustávající koncentrace ekonomické síly do měst však vyžaduje speciální přístup k řešení problému dnešních měst, které jsou tlačeny požadavky občanů na zlepšení životního prostředí při současném udržení ekonomického výkonu zajišťujícím do značné míry kvalitní život. Masivní investice do zlepšení podmínek ve městech jsou stále více komplikované a napjaté rozpočty měst nejsou bez vnějšího impulsu (stát, EU), takové aktivity realizovat. Smart city zapojuje do procesu zlepšení podmínek ve městě průmysl, univerzity a ne výhradně kapacity města (lidské, finanční). Město v tomto partnerství vytváří podmínky pro pilotní projekty, při kterých dochází k hledání řešení prospěšných pro občany města a to při současném hledání inovativních ekonomických modelů pro financování rozšíření systému. Jde o propojení existujících procesů směrem k hledání synergií pro jejich větší účinnost [29],[54].

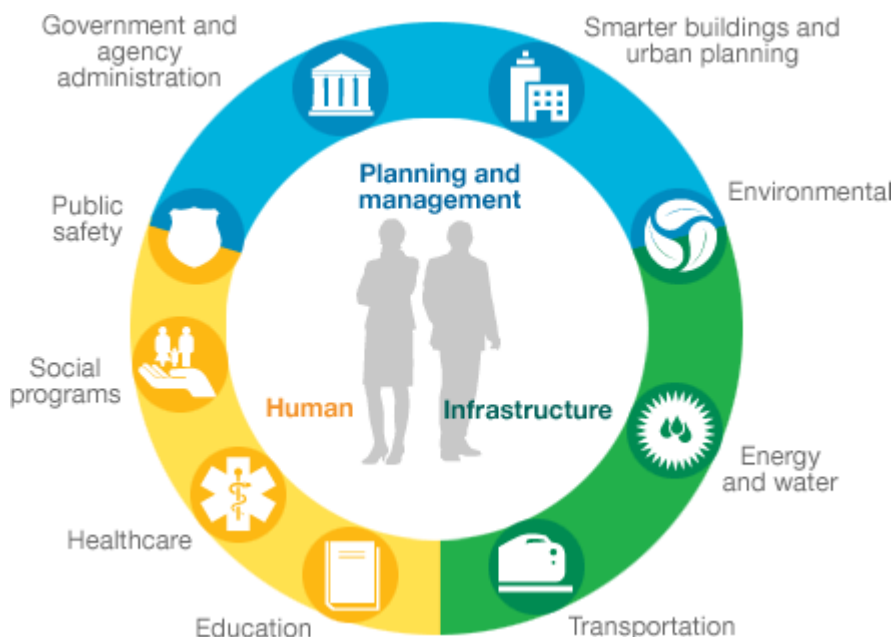
Koncept Smart City se snaží maximálně využít moderních informačních technologií a navrhnout řešení pro management konkrétního města takovým způsobem, aby docházelo k synergetickým efektům mezi různými odvětvími jako je doprava, logistika, bezpečnost, energetika s ohledem na energetickou náročnost a kvalitu života občanů v daném městě.

Každé město má různá kritéria, která ale musí odpovídat strategickým plánům rozvoje konkrétního města. Zároveň musí být dílčí projekty chytrého města v souladu s rozvojem celého kraje, nebo-li konceptem chytrého regionu [45].

Je zřejmé, že projekty chytrých technologií mohou být realizovány i bez konceptu Smart city. Protože však přicházejí z různých oblastí, jsou podporovány různými zájmovými skupinami a jsou v různém stadiu přípravy, mohou se navzájem překrývat a zpravidla si konkurují v nárocích na omezené městské zdroje. Strategie smart city má v této věci dva hlavní přínosy. Zaprvé vnáší do projektů a jejich cílů systém a strukturu. Zadruhé přijetí smart city vytváří prostor pro získání dodatečných informací finančních zdrojů z poměrně bohatých evropských programů zaměřených na podporu smart city. Ze všech těchto důvodů je důležité si uvědomit, že smart city je bráno v podstatě jako "systém", který je založený na systémovém přístupu k jednotlivým zájmovým oblastem jako v celku samotnému.

2 KONCEPT SMART CITY

Koncept Smart City je primárně zaměřen na informace, data, digitální propojení a komunikaci, efektivnost v oblasti energetických a řešení problematiky. Lze ho vytvořit jen komplexním řešením jednotlivých agend města. Jedná se však o velice složitý proces, který není snadno uchopitelný a stejný pro každé město. Celkový koncept Smart City, jak na něj nahlíží společnost IBM je vidět na následujícím obrázku.



Obrázek 2: Koncept Smart City od IBM

Zdroj:[24]

2.1 Rámce

Jednotlivé komponenty rámce, které jsou uvedeny v následujícím textu slouží, jako kontrolní položky, které tvůrcům Smart City koncepce slouží jako pomoc při formulování strategií tak, aby postupná implementace moderních technologií vyvolala synergetický efekt, nikoliv pouze izolovaná řešení. Každá komponenta je v oblastech, jako je energetika, doprava a ICT podpořena konkrétní sadou indikátorů, které jsou sestaveny, jako návod, který představuje jednotlivé nástroje sloužící k měření pokroku a vyhodnocování investic [29],[55].

Rámec Smart City se skládá celkem z 16 komponent, které jsou hierarchicky uspořádány a dají se rozdělit na 4 na sebe navazující vyšší celky [29].

- **Organizační**

Jde zde především o město a jeho vedení. Tento rámec spočívá především k organizaci složek města v souladu s konceptem Smart City a slouží ke zpracování dat a jejich následné aplikace v rozhodovacích procesech města.

- **Komunitní**

Tento rámec se týká především tzv. „smart citizen“. Spočívá v implementaci nástrojů sloužící pro elektronickou komunikaci měst a občanů. V kontextu smart city pak slouží k využití občanů jako tzv. „živých senzorů“ ke hlavně ke sběru dat.

- **Infrastrukturní**

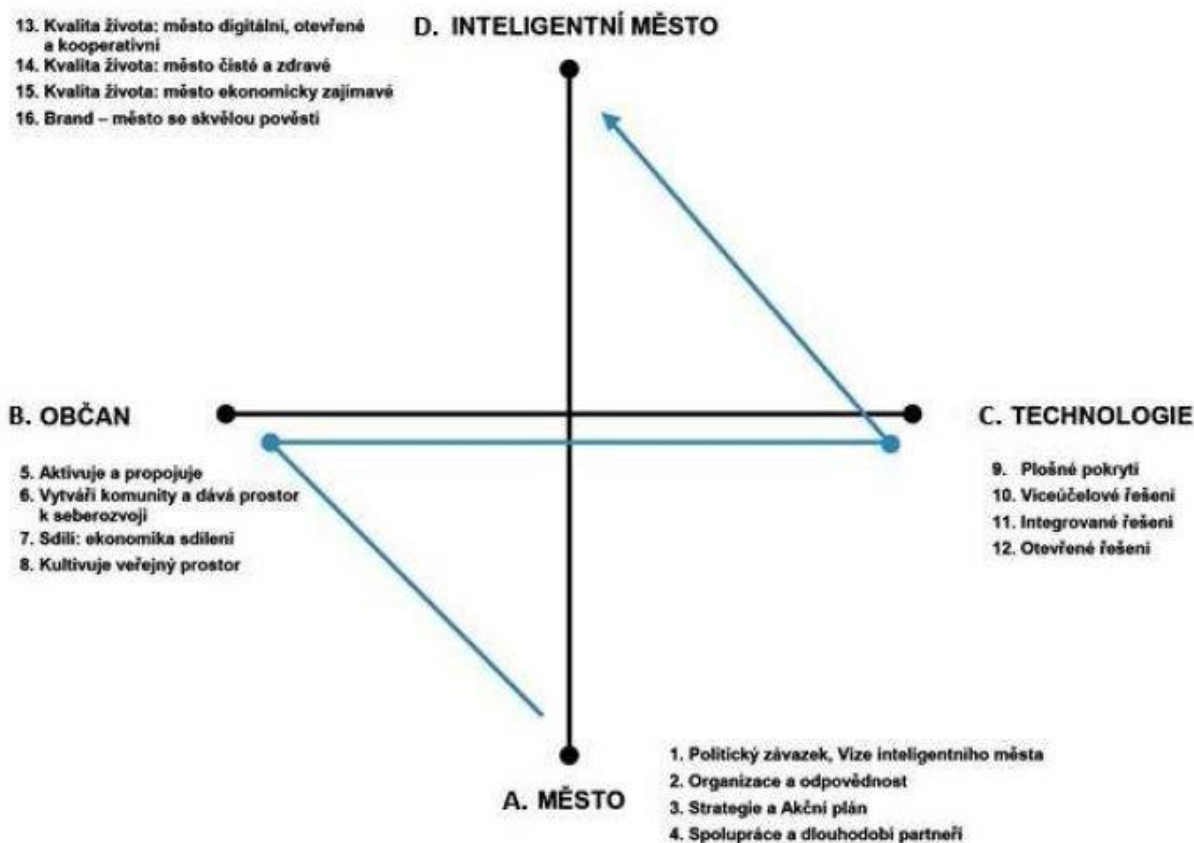
Infrastrukturní rámec se zabývá více odvětvími, ve kterých je možné aplikovat moderní technologie. Jedná se hlavně o Smart Economy, Smart Living, Smart Environment, Smart Mobility. Jde tedy zavedení informačních a komunikačních technologií pro řešení jednotlivých agend města. V kontextu smart city se tedy jedná o vytvoření komplexního systémového organismu se schopností detekovat různé aktivity v infrastruktuře města. Dále tyto aktivity zasílat k centrálnímu zpracování a publikovat tyto data k veřejnému využití.

- **Výsledný**

Jedná se o poslední rámec, který se týká atraktivity a měření kvality života ve městech zavádějící tento koncept. V souvislosti se smart city představuje měřitelné a vyčíslitelné hodnoty atraktivnosti města z hlediska otevřenosti, čistoty, pověsti a ekonomické efektivnosti.

Všeobecně platí, že čím lépe je zvládnut celek nižší kategorie tím se dosáhne i vyšší dopadnu a celky vyšší (komplexnější). Může se to projevit například při potřebě nižších investic a nižších provozních nákladů. Na následujícím obrázku je znázorněn celkový rámec inteligentního města s 16 hierarchicky uspořádanými komponentami.

V rámci práce je větší míře poukazováno na termín smart city. U některých témat, především, které jsou od starších autorů, se může vyskytovat i termín inteligentní město. V rozsahu práce budou tyto dva termíny považovány za shodné.



Obrázek 3: Rámec Smart city

Zdroj: [29]

Vyšší celky jsou označeny A, B, C, D a každý se skládá ze čtyř hierarchicky uspořádaných komponent od základního ke komplexnímu, které jsou označeny 1, 2, 3, 4,..., jejichž pořadí na sebe procesně navazuje. Celkový koncept poté ukazuje postup pro tvorbu smart city a v nejlepším případě by měl naplnit všech 16 komponent.

2.2 Mobilita

V roce 2011 přijala EU dlouhodobou strategii pro inovaci dopravy s názvem „Doprava 2050“, která má sloužit jako konkurence schopný systém proti současnému systému. Klade si za cíl zvýšit mobilitu, odstranit největší překážky v klíčových oblastech a podpořit růst a zaměstnanost jednotlivých členských zemí. Návrhy, které jsou v této strategii uvedeny, by měly výrazně snížit závislost Evropy na dovozu ropy z jiných zemí. Díky tomu by se měli snížit emise uhlíku v dopravě o 60 %. To vše by se mělo uskutečnit do roku 2050. Jako jeden z hlavních cílů je zde uvedena i eliminace vozidel ve městech, které využívá konvenční pohon. Další je přesun 50 % cest na střední vzdálenosti v meziměstské dopravě a to jak v nákladní, tak i osobní ze silniční dopravy na železniční a vodní dopravu [17].

V současné době prochází dopravní sektor významnými změnami. Jedná se primárně o obory, které se zabývají elektrifikací automobilů, dále jsou to technologie zabývající se inteligentními dopravními systémy a telematikou, tak i chováním občanů a turistů v souvislosti s ekonomikou a turistickým ruchem. Tyto změny mohou být využity pro dosažení konceptu Smart City například masivním nasazením moderních technologií, stimulací trhu s inovacemi. Všechny tyto změny ovlivňují zároveň i nákladní dopravu, osobní dopravu i rekreační a obchodní cestování.

Následující podkapitoly se budou zabývat pouze vybranými oblastmi dopravy, které by mohli být součástí konceptu Smart City. Popis všech možností ve zlepšení dopravy ve městech by v souvislosti s rozsahem práce nebyl možný. Jsou zde představeny modely, které lze využít.

2.2.1 Parametry regulace veřejné dopravy

V souvislosti s regulací dopravy ve městech je dobré zmínit několik parametrů, kterými by vhodná regulace dopravy měla disponovat. Regulace veřejné dopravy sebou nese jistý motivační tlak na způsob cestování, který je právě ovlivněn následujícími faktory [21]:

- cena za individuální dopravu,
- lepší dojezdový čas MHD,
- vyšší komfort MHD,
- jednoduchost a přidané služby,
- navazující a bezpečnost sít' cyklotras.

2.2.2 Městská hromadná doprava

Městská hromadná doprava je jeden z nejvyužívanějších dopravních prostředků, který slouží k dopravě uvnitř i v okolí daného města. Díky tomuto, je ve většině případů městská hromadná doprava přetěžována a pro mnohé občany i často nepohodlná. Řešení pro zlepšení a zkvalitnění tohoto stavu je několik. Již v současné době můžeme vidět na některých zastávkách městské hromadné dopravy digitální tabule, které zobrazují příjezd autobusu v reálném čase i možné zpoždění. A právě takovéto systémy můžou být označovány za „smart“.

- **Bezkontaktní odbavování v MHD**

Jedná se o bezkontaktní odbavování cestujících pomocí platebních karet přímo v prostředku městské hromadné dopravy. Tento systém je založen na možnosti bezkontaktní platby pomocí osobní platební karty. Výhodou této služby by měl být jednodušší nákup jízdenek přímo v MHD nebo na internetovém e-shopu. Značnou výhodou, kterou nabízí systém bezkontaktního odbavování v MHD pomocí platebních karet, je to že uživatel by neměl potřebu vlastnit další zvláštní kartu, která by sloužila pouze k placení jízdenky [21].

Této problematice bude věnována větší pozornost v průběhu práce, kde se autor zaměří přímo na konkrétní případy.

2.2.3 Bike sharing

Bike sharing neboli sdílení si lze představit jako základní model, kdy se občan potřebuje dopravit na krátkou vzdálenost a nemá zájem o využití prvků MHD. Princip fungování je velice jednoduchý. Občan si kolo vyzvedne ve stanici a dojede s ním na potřebné místo, kde jej do jiné stanice opět vrátí. Jak je vidět, tak nejde o klasickou výpůjčku kol, ale především o jejich krátkodobé využívání [22].

První systém bike sharing byl zaveden už v roce 1995 v Kodani a od té doby se stále rozrůstá. V roce 2007 se začal koncept vyvíjet po spuštění programů Velib' ve Francii a Bicing v Barceloně a nyní se stále rozrůstá do všech světových velkoměst, jako je například Londýn, Berlín, New York i do českých zemí jako je například Praha a Brno. Bike Sharing v Londýně, Barceloně, Lyonu a Paříži poukazuje na to, že i takováto velkoměsta jsou schopny vytvořit cyklistickou kulturu a dát podnět do investic do cyklistické infrastruktury [22].

2.2.4 Parkování

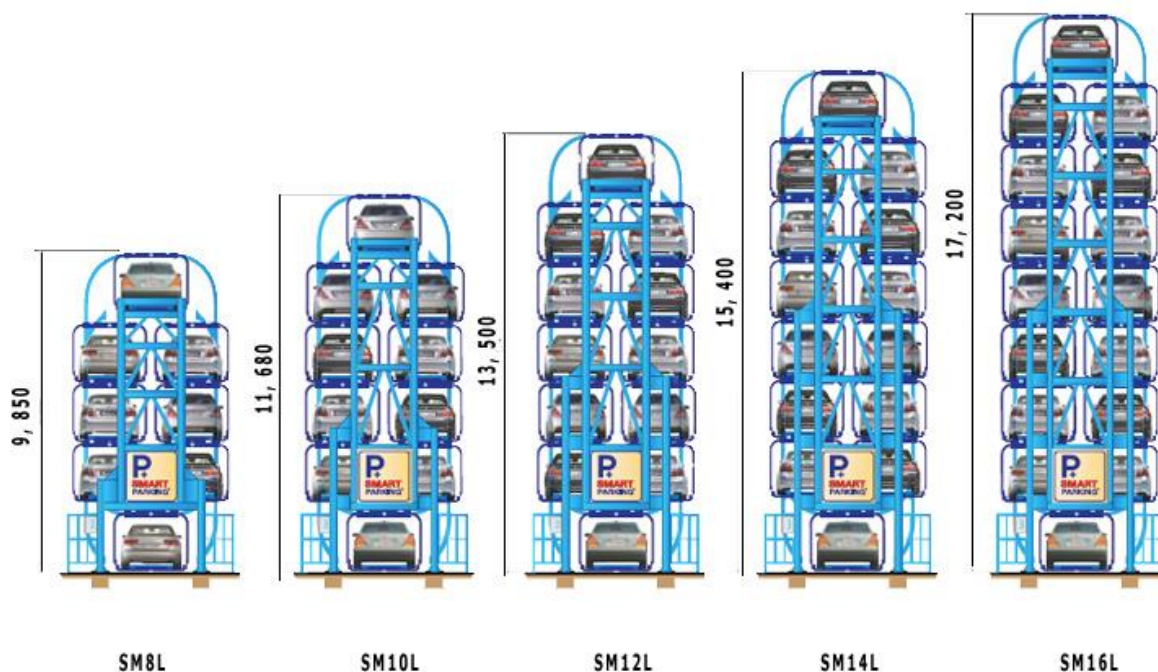
Pokud se podíváme na život ve městech, je jedním z největších problémů parkování. Ve městech žije velké množství obyvatel a dvě a více vozidel na jednu rodinu jsou v dnešní době zcela normální. Parkovacích míst všeobecně nepřibývá spíše naopak. Správy města se snaží dostat automobily mimo centrum z důvodu znečišťování ovzduší. Proto je parkování jednou z prvotních věcí, kterou se koncept Smart City zabývá.

Podle průzkumu firmy IBM je více než 30% problémů městské dopravy způsobeno tím, že řidiči hledají vhodná parkovací místa. Proto je i snaha o vyřešení toho problému, který by z velké části uvolnil městské dopravě [38].

Mezi první města, která se tento problém snažila vyřešit, je město Santander ve Španělsku. Zde problém parkovacích míst řešili tím způsobem, že u vybraných parkovištích jsou nádoby se senzory (MEMS) zality do asfaltu a k určení, zda je parkovací místo volné využívají vlastnosti změny magnetického pole v závislosti na podvozku vozidla. Poté přes systém ZigBee zašle zprávu o obsazenosti parkovacího místa, kde se tato informace dále zpracovává a zprostředkovává řidičům pomocí mobilní aplikace [39].

Další možností jsou parkovací domy „Smart parking“. Jedná se o prostorově a ekonomicky úsporný vertikální parkovací systém, který by měl zvýšit kapacitu až 8 krát. Realizací toho konceptu Smart parking se zabývá i česká firma Smartparking CZ [50].

Náhled na tento model pro řešení parkovacích míst je vidět na následujícím obrázku.



Obrázek 4: Smart Parking

Zdroj: [35]

2.2.5 Car sharing

„Car sharing“ neboli sdílení automobilů je založené na podobném principu, jako dříve představený bike sharing. Opět slouží občanovi k přemístování na kratší vzdálenosti v rámci města a to pomocí automobilů, které jsou nejčastěji koncipovány na elektrický pohon. Car sharing se především snaží o snížení počtu vozidel ve městech a tím být zároveň být šetrnější i k životnímu prostředí. Sdílení automobilů je ve světě všeobecně známou službou mobility a nositelem statutu městské hromadné dopravy, o což usiluje i ČR.

Výhodou toho systému je, že zákazník má vozidlo k dispozici 24 hodin/denně 7 dní v týdnu. Vyzvednutí je možné samoobslužně přímo v ulicích v určených lokalitách. Další výhodou je, že uživateli odpadá starost za servis, pojištění, pneumatiky, dálniční známky, palivo a mnoho dalších. Samozřejmostí je i možnost rezervace automobilu na webu nebo v mobilní aplikaci společnosti, která tuto službu provozuje [1],[23].

V České republice se touto problematikou zabývá především firma „Autonapůl“. Jedná se o první český Car sharing.

Hlavním cílem této firmy je nabídnout jednoduchou, výhodnou a udržitelnou službu mobility. Tento model již tato firma aplikovala v několika českých městech například v Brně, Praze, Plzni, Ostravě tak i v Pardubicích a Hradci Králové [1].

2.3 Energetika

Pro kvalitu života, která odpovídá našim současným standardům je potřeba významné množství energie. Takřka všechny naše každodenní činnosti jsou závislé na elektrickém proudu – od systému dopravní infrastruktury, který je vybudován na předpokladu dostupných pohonných hmot, až po pokojovou teplotu v našich domovech, kterou zajišťujeme rovněž využíváním energetických zdrojů.

V konceptu Smart City je energetika představena chytrou spotřebou, která má být minimální, pružnou reakcí strany dodávky na stranu spotřeby, minimalizací emisí a skleníkových plynů a znečišťujících látek. Dále je to možnost samovýroby elektrické energie včetně netmeteringu, bezpečnosti dodávek a jednoduchosti v ovládnání a komunikaci s dodavateli [29].

Do roku 2040 by podle mezinárodní energetické agentury měla spotřeba energie vzrůst oproti současnému stavu, až od 70 %. V souvislosti s tímto nárůstem budou na města kladeny stále vyšší požadavky, jak spotřební tak i úsporné. Evropská unie se zavázala, že do roku 2030 by se v Evropě měli snížit emise skleníkových efektů o 40 % oproti roku 1990. Naopak by tomu mělo být u energie z obnovitelných zdrojů, kde by se měli přibližně zvýšit o 30 %. Největší spotřebu energie mají budovy. Tato spotřeba se pohybuje kolem 40% z celkové spotřeby. Z tohoto důvodu Evropská unie zavedla opatření, které nařizuje, že od roku 2021 bude možná výstavba pouze pasivních domů [13],[15],[16].

Energetiku, jako jednu z klíčových oblastí konceptu Smart City je nutno pojímat jako komplex oblastí a činností, které mají vliv jak na současnou tak i na budoucí spotřebu energie. Současně zahrnuje i stranu dodávky resp. nabídky [29].

Koncept Smart City může energetickému managementu přinést kromě detailnějšího monitoringu také postupné řízení spotřeby podle zátěže a pobytu osob v budovách v závislosti například na předpovědi počasí. Propojení energetického managementu s konceptem Smart City může být synergetické v mnoha ohledech, ale vždy je potřeba nejdříve vyhodnotit poměr přínosů a nákladů nových technologických řešení [47].

Minulá velice suchá letní období ukázala, kde mají naše současná sídla slabé a silné stránky a limity ve vztahu k negativním změnám klimatu. Vlivem těchto změn budou narůstat nároky na práci energetického managementu. S největší pravděpodobností dojde ke snížení absolutní spotřeby energie na vytápění. Dalšími důležitými otázkami je snížení fixních nákladů v ceně tepla, tlak na vyšší potřebu energie sloužící k chlazení a klimatizaci budov. Neméně je důležitá i potřeba na zlepšení hospodaření s vodními zdroji [47].

2.3.1 Intelligent Buildings

Jak již bylo dříve zmiňováno, tak největší podíl a spotřebě energie mají budovy. Proto jsou inteligentní budovy neboli „Smart Buildings“ jedním z hlavních témat, kterým se koncept v rámci energetiky zabývá. Jde zde především o snížení spotřeby a možnost efektivnějšího využívání a vyrábění energie. Stejně jako tomu bylo u definice Smart City, tak i u definice inteligentních budov, tak ani zde odborníci nenalezli konsenzus v jednotné definici. Z nespočetného množství definic, které jsou dostupné v literaturách, je vybrána převzatá definice Pracovní skupiny CIB WO98 z roku 1995.

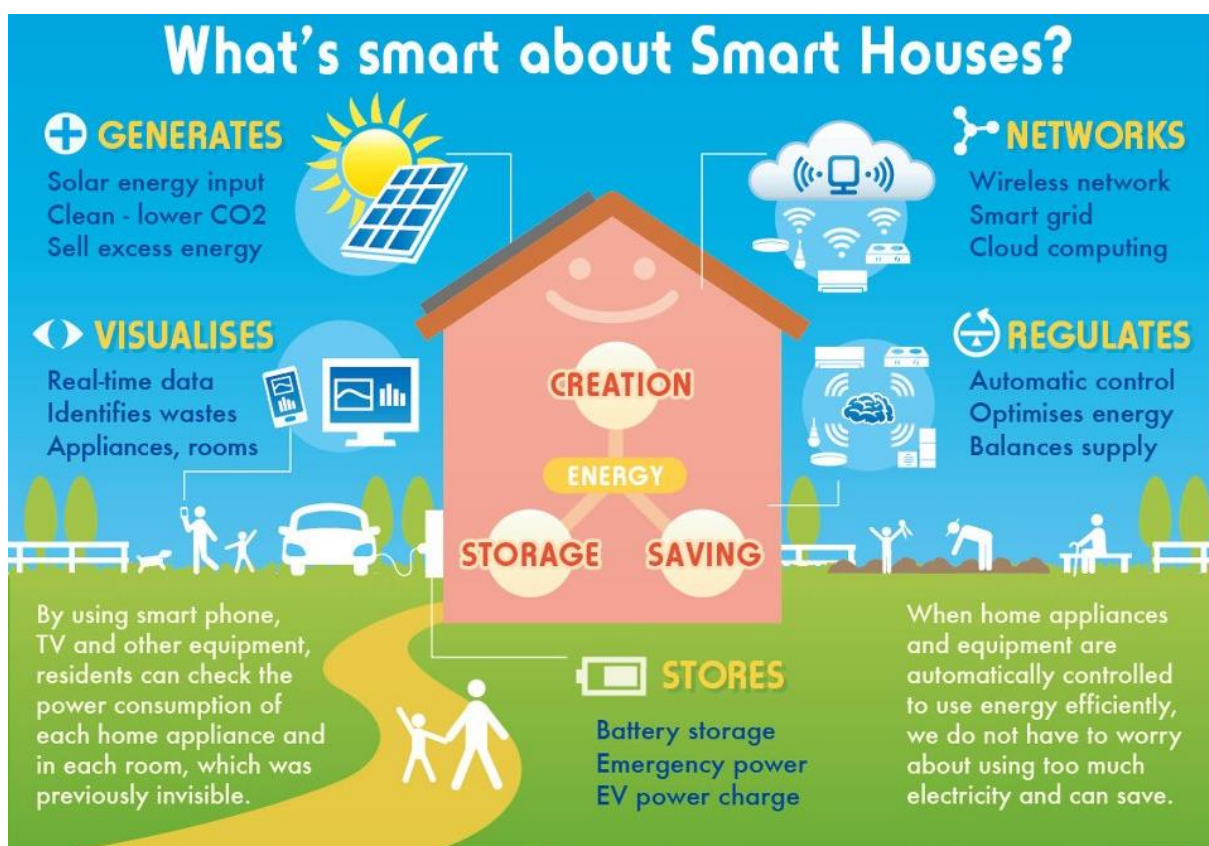
„Inteligentní budova je dynamická a citlivá architektura, jež poskytuje každému obyvateli produktivní, úsporné a ekologicky přijatelné podmínky, pomocí soustavné interakce mezi svými čtyřmi základními prvky: místem (materiál, struktura, prostor), procesy (automatizace, kontrola, systémy), správou (údržba, provoz) a vzájemnými vztahy mezi nimi“ [3].

V návaznosti na právě uvedenou definici inteligentní budovy, může být taková budova vybavena minimem technologií, nebo může zahrnovat složitou soustavu moderních technologií a integrovaných systémů. Z pohledu uživatele pro tyto budovy existují celkem čtyři základní nezastupitelné oblasti [3]:

- estetika;
- smysl;
- pohodlí;
- trvalá hodnota.

Inteligentní budovy by měli splňovat všechna tato kritéria. Dále by měli být i trvalé, šetrné k životnímu prostředí, technologicky na výši, splňovat potřeby svých obyvatelů i podnikání a měli by být flexibilní a přizpůsobivé požadovaným změnám. To znamená, že návrh, konstrukce, i správa budov by si měli být rovny, co se důležitosti týče. Budovy obsahují mnoho systémů sestavených mnoha lidmi a přesto vztah mezi budovami a lidmi může uspokojivě fungovat pouze tehdy, jestliže existuje integrace mezi všemi těmito systémy a těmi, jež je navrhovali [3].

Na následující obrázku je názorně vidět, jaké prvky by mohla obsahovat inteligentní budova. V tomto konkrétním případě se jedná o příklad inteligentního domu.



Obrázek 5: Koncept inteligentní budovy

Zdroj: [37]

2.3.2 Intelligent Lighting

Pokud má být řešena úspora energie ve městech je velice důležité se zabývat i osvětlením, které je zodpovědné za 19 % celosvětové spotřeby elektrické energie a zodpovídá z 6 % za emise skleníkových plynů [2].

Jako tomu bylo v předešlých kapitolách, tak i inteligentní osvětlení, nebo chytré veřejné osvětlení nemá zatím jednotnou definici. Inteligentní osvětlení by mělo zajišťovat všechny

stávající funkce veřejného osvětlení a současně je i optimalizovat s ohledem na co nejmenší spotřebu energie. Inteligentní osvětlení by mělo disponovat funkcemi, které zahrnují například i hustotu motorové i nemotorové dopravy, pohyb chodců v noční i denní době a zároveň minimalizovat své náklady a světelné znečištění měst. Velice důležitá je i zpětná vazba k řídicímu systému daného osvětlení z důvodu sběru dat a k následnému zefektivnění poskytování této služby. Můžeme tedy říct, že veřejné osvětlení plní několik funkcí. Z tohoto důvodu je potřeba se tímto tématem zabývat komplexněji a ne pouze z pohledu na energetickou efektivnost. V každém případě je však energetická úspora jedním z hlavních kritérií při zavádění inteligentního osvětlení [29].

Podle publikace Ministerstva pro místní rozvoj České republiky, která se zabývá problematikou smart city by na inteligentní osvětlovací soustavu a svítidla kladeny požadavky, které jsou dané základními kritérii uvedené v následující tabulce.

Tabulka 1: Kritéria inteligentního osvětlení

Kritéria		Popis
1.	Technická	Dodržení normových hodnot dle ČSN EN 13201 - Osvětlení pozemních komunikací. Záležitost odborné firmy/projektanta VO
2.	Ekonomická	Dosažení minimálních celkových nákladů ve vztahu k požadovanému efektu IVO: - investičních nákladů - nákladů na provoz a údržbu
3.	Environmentální	Environmentální kritéria úzce souvisejí s ekonomickými kritérii – osvětlení by mělo být provozováno tak, aby: - neoslňovalo - neznečišťovalo atmosféru (tzv. světelný smog, obecněji „světelné znečištění“) - byly zajištěny minimální dopady na životní prostředí (bezpečný provoz, zajištění recyklace apod.)
4.	Bezpečnostní	Souvisí s plánovaným rozvojem města, dodržováním příslušných norem a konkrétními podmínkami ve městě (výskyt kriminality, zvýšené nehodovosti apod.). Při plánování IVO je dobré například myslet na dodatečné osvětlení (přisvětlení) přechodů pro chodce, případně dalších exponovaných míst.
5.	Estetická	Funkce IVO v sobě zahrnuje ze své podstaty i funkci estetickou. Prostřednictvím koncepce IVO a volbou svítidel a zdrojů a způsobem jejich provozování lze nenuceně podpořit celkovou architektonickou vizáž města. Vhodné je uplatnit estetické kritérium ve druhém kroku výběru svítidla ve spolupráci s architektem tak, aby byl mj. vhodně doplněn koncept městského mobiliáře.

Zdroj: [29]

2.3.3 Smart Grids

Další důležitou problematikou, kterou se zabývá koncept Smart City v oblasti energetiky je výstavba Smart Grid neboli „Chytrých sítí“. Úkol související s oblastí smart grid se týká především koncepce rozvoje síťové infrastruktury pro zabezpečení spolehlivého a bezpečného provozu při požadovaném rozvoji distribuované výroby (zejména obnovitelných zdrojů energie) včetně zapojení malých teplárenských zdrojů, řízení výroby, akumulace a spotřeby, s přihlédnutím k požadavku zvyšování energetické úspory a účinnosti [49].

Smart grid lze definovat takto:

„Inteligentní síť je elektrická síť založená na digitální technologii, která se používá k dodávce elektřiny spotřebitelům prostřednictvím obousměrné digitální komunikace. Tento systém umožňuje sledování, analýzy, řízení a komunikace v rámci dodavatelského řetězce s cílem přispět ke zlepšení efektivity, snížení spotřeby energie a nákladů, maximalizovat transparentnost a spolehlivost dodávek energie řetězci. Inteligentní síť byla zavedena s cílem překonat slabiny běžných elektrických sítí pomocí inteligentních sítí“ [57].

V současné době je potřeba rozvoje chytrých sítí iniciována mimo jiné i přáním spotřebitelů elektřiny po větší svobodě a nezávislosti při rozhodování o zajištění jejich energetických potřeb. Zavedení a využití inteligentních sítí bude v blízké budoucnosti nezbytnou součástí zajištění spolehlivého provozu elektrizační soustavy [49].

- **Co dělá grid (síť) „smart“?**

Jedná se o digitální technologie, které umožňují oboustrannou komunikaci mezi poskytovatelem služby a zákazníky. Snímání přenosové linky je to, co dělá síť chytrou. Stejně jako je tomu u internetu se bude smart grid skládat z ovládacích prvků, počítačů, automatizace, nových technologií a zařízení, které pracují společně. V tomto případě, budou technologie pracující s elektrickou sítí digitálně reagovat na naší rychle se měnící poptávku po elektrické energii [48].

Smart grid představuje jedinečný způsob, jak posunout energetický průmysl do nové éry spolehlivosti, dostupnosti, efektivnosti, a tím přispět k hospodárnosti a udržitelnému rozvoji. Během přechodného období bude nutné provádět testování, vzdělání spotřebitelů, rozvoj norem a předpisů, sdílení informací mezi jednotlivými projekty. Je to především z důvodu aby bylo možné zjistit, zda se naplňují očekávání, které byly stanoveny za začátku zavedené smart grid [57].

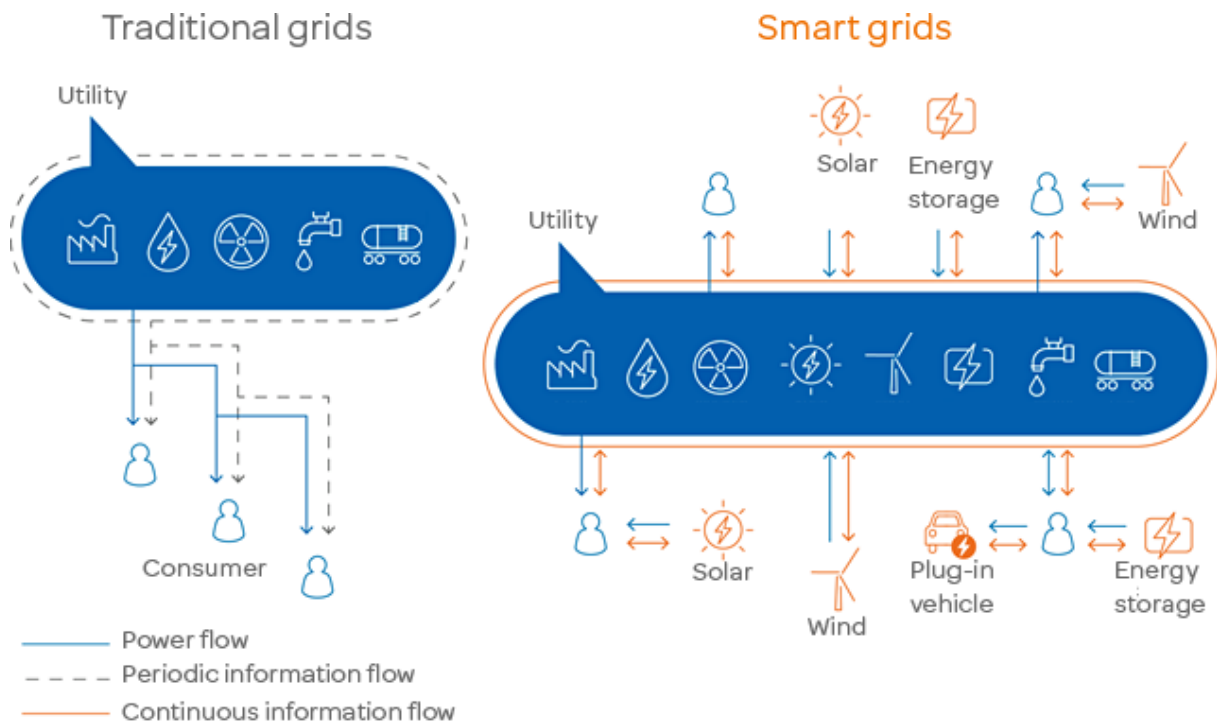
Výhody, která má přinést zavedení smart grid jsou následující [57].

- efektivnější přenos elektřiny;
- rychlejší obnova elektřiny při poruchách napájení;
- snížení nákladů na provoz a řízení energetiky, a nakonec i nižší náklady na energii pro spotřebitele;
- snížit poptávku po energii s účelem snížení její ceny;
- zvýšená integrace rozsáhlých obnovitelných energetických systémů;
- lepší integrace systémů zákazníka a majitel výroby elektrické energie, včetně systémů využívajících obnovitelné zdroje energie;
- zvýšení bezpečnosti;

Smart grid není jenom o instalaci inženýrských sítí a moderních technologií s nimi spojenými. Je to primárně nástroj sloužící k tomu, aby zákazníkovi poskytoval informace a možnosti k tomu aby mohl rozhodovat o své spotřebě energie. Uživatel by například už nemusel čekat na měsíční výpis, ale v reálném čase by zjistil objem spotřebované energie i cenu, kterou za ní zaplatí [57].

Zatímco klasické pojetí energetiky počítá s kontrolovatelnou produkcí a nepředvídatelnou spotřebou, u smart grid je to naopak. Část výroby bude po větším zastoupení obnovitelných zdrojů nepředvídatelná a naopak část spotřeby bude kontrolovatelná. Koncept počítá s distribučními sítěmi, které se dokáží sami regulovat. Průmyslové a veřejné objekty se promění v aktivní účastníky trhu s elektrickou energií. Změny se také dotknou její výroby, spotřeby a skladování [61].

Na následujícím obrázku je znázorněno schéma toho, jak vypadá tradiční elektrická síť a jak by měla vypadat smart grid.



Obrázek 6: Smart grid

Zdroj: [12]

2.4 Informační a komunikační technologie

Informační a komunikační technologie jsou hlavním funkčním nástrojem konceptu Smart City, nikoliv tematickou oblastí rozvoje města. Z tohoto důvodu je pojetí této kapitole odlišně od předešlých podkapitol dopravy a energetiky. Koncepční zavedení ICT dokáže pomoci otevřeně a transparentně spravovat město (organizační úroveň), poskytovat účinné nástroje pro komunikaci města s občanem (komunitní úroveň), řídit jednotlivé agendy města a poskytovat informace v reálném čase (infrastrukturní úroveň) a sledovat a číselně dokládat naplňování strategických cílů města (výsledná úroveň). V současné době je možné města sledovat a vyhodnocovat pouze na základě kvantitativní a kvality otevřených dat [29].

2.4.1 Technická úroveň ICT

Každé technologické řešení se skládá z technické úrovně (detektory, senzory), komunikační (komunikační síť), informační (zpracování dat), aplikační (publikace informací v podobě aplikací a služeb). Pro jejich využití není vždy potřeba nové infrastruktury. Inteligentní města pro tyto účely využívá všechny dostupné komunikační prostředky 21. století (mobily, tablety, internet, sociální sítě), které mohou sloužit jako informační kanál, senzory, přenosová síť a další [29].

Problematiku ICT smart city lze rozdělit do následujících čtyř úrovní [29],[54]:

- **Identifikace**

Identifikace je jedním ze základních technických předpokladů fungujícího Smart City. Znamená to, že dané město disponuje množinou senzorů, které detekují jevy a stavy různých městských systémů. Identifikace zahrnuje systémy v oblasti dopravy (doprava v pohybu, doprava v klidu, veřejná doprava, cyklistická doprava a pěší). V oblasti produktovodů to jsou rozvody vodovodní sítě, elektrické sítě, plynovody. V oblasti odpadů představuje identifikace detektory naplněnosti kontejnerů a v oblasti životního prostředí například detektory hluků a emisí.

- **Komunikace**

Hlavním úkolem komunikace je naměřené jevy a stavy, dodané sítě detektorů a senzorů předat k centrálnímu zpracování a vyhodnocení. Pro jednotlivé systémy jsou vhodnější různé komunikační technologie, jako např. rádiové sítě, mobilní sítě, optické sítě atp. s ohledem na potřebnou kvalitu, množství a frekvenci přenášených dat. Velký důraz je v konceptu Smart City kladen na zabránění vzájemnému rušení jednotlivých systémů a jejich komunikací a zároveň i víceúčelové využití komunikační sítě (mesh sítě). Kromě fyzických vlastností je nutné dbát velký zřetel i na standardizovanou komunikaci do centra, aby bylo možné jednotlivé systémy od jednotlivých dodavatelů bez problémů integrovat.

- **Informace**

Centrální zpracování dat z různých systémů je klíčové pro rozvoj smart city. Standardizovaná data a komunikace napomáhají data publikovat otevřeným způsobem, a to otevírá možnost širší aplikace. Ideální je zařízení jedné městské platformy, odkud mohou různé webové a mobilní aplikace čerpat tzv. „surová“ či předzpracovaná data. Tímto způsobem lze podpořit množství užitečných aplikací, které je možné nabídnout správě města a tím i nové služby uživatelům. Samotné centrum zpracování dat může přichodzí data poskytovat a zpracovávat například za účelem poskytnout aktuální dopravní informace. Tyto informace také mohou být využity pro efektivnější regulaci systémů města (např. zvýšení ceny parkovného při společenských akcích, či při zhoršení ovzduší).

- **Aplikace**

Přijátá data, která jsou určena k centrálnímu zpracování či publikaci ve formě informací významně pomáhají reagovat na nečekané situace a jevy, které mohou nastat v jednotlivých částech sledovaného území. Dále napomáhají optimalizovat provoz na základě mnoha

vstupních kritérií a poskytnout občanům informace v reálném čase a tím ovlivnit jejich chování. Díky dostupným informacím skrze různé webové či mobilní aplikace lze dosáhnout vyšší angažovanosti obyvatel na tvorbě města (komunitní úroveň) či efektivnější správy města (infrastrukturní úroveň), formulace jeho realizovatelných vizí a politické podpory (organizační úroveň). Díky dostupným a veřejně publikovatelným datům lze oslovit širší odbornou veřejnost za účelem hledání možných řešení náhlých situací nebo problémů, čímž umožní sbírat inovativní nápady a možná budoucí zlepšení. Sdílená data také podporují vytváření široké škály služeb, což má zpětný dopad na zaměstnanost i konkurenceschopnost.

2.4.2 Internet of Things

Termín Internet of Things (IoT) se poprvé objevil v roce 1999, kdy se touto problematikou začal zabývat americký odborník na digitální technologie Kevin Ashton. Pojem „Internet of Things“ není tedy ničím novým. Již před dvaceti lety profesori z Massachusettského technologického institutu popsali svět, kde jsou „věci“ jako senzory a digitální zařízení vzájemně propojeny a disponují možností vzájemného sdílení dat [28],[53].

Dnešní IoT je spíše vnímáno jako sada autonomních, jednoznačně identifikovatelných zařízení, která jsou připojena k internetu, sbírají informace a ty poté publikují v prostředí internetu. Přijaté informace nejčastěji pocházejí z různých senzorů. Jiná zařízení pak mohou tyto informace využívat pro ovládání aktuátorů nebo je jinak vyhodnocovat [63].

Za zrození internetu věcí tak, jak jej známe, jsou považována již léta 2008 – 2009. Jedná se tedy o obor, který je velice mladý. Tehdy totiž překročil počet zařízení připojených k internetu počet samotných lidí, kteří jsou pravidelnými uživateli internetu. Množství různých věcí, připojených nějakým způsobem k síti dosahovalo tehdy ke 12 miliardám a nyní stále roste. Prognózy o počtu sítí spojených se zařízeními do roku 2025 se výzkum od výzkumu velmi různí, ale uvádí se průměrně až 40 miliard [5].

V souvislosti s tímto předpokládaným nárůstem, vzrostou i nároky na technologii, která poskytuje adresní prostor pro připojení uživatelů. V současné době je využíván adresní prostor IPv4, který disponuje přes čtyři miliardy kombinací (2^{32}). Nutné tedy bude tento prostor zvětšit a k tomu bude sloužit nastupující protokol IPv6.

- **IPv6**

Hlavním impulsem ke vzniku a rozvoji protokolu IPv6 byl zejména stále se zmenšující adresní prostor, poskytující starší formát IPv4. Výhodou IPv6 je, že umožňuje, aby dané rozhraní mělo libovolný počet adres různých druhů. Stejně, jako tomu bylo u předchozího

protokolu IPv4, tak i tento protokol předpokládá, že všechny počítače (mobily, tablety a další) jsou v jedné fyzické síti. Zařízení mohou být na jednom Ethernetu a budou náležet do stejné podsítě a umožní společný prefix sítě. Pro „Internet of Things“ je protokol IPv6 důležitý zejména z důvodu identifikace objektů, kterým je možné díky téměř nevyčerpatelnému počtu síťových adres přidělit každému jeho vlastní IP adresu a tímto způsobem je přesně identifikovat. IPv6 by měl disponovat až 2^{128} dostupných adres [40].

2.4.3 Open data

Open data neboli „Otevřená data“ lze v souladu s Organizací Knowledge Foundation definovat jako data zveřejněná na internetu způsobem, který neomezuje žádné uživatele v jejich použití (technicky ani legislativně) a opravňuje všechny uživatele k jejich šíření, pokud při tomto využití a šíření bude uveden autor dat a pokud i ostatní uživatelé budou mít stejná oprávnění s dále šířenými daty nakládat. To znamená, že šířením nedojde k omezení těchto práv například tím, že by uživatel dále omezil dále šířená data a jejich použití pouze na nekomerční účely [32].

V konceptu Smart City se jedná o všechna data, jejichž využití může pozitivně ovlivňovat kvalitu života a rozvoj měst. Vzhledem k různorodosti dat, která jsou, v současné době k dispozici se jedná o všechna dostupná data, u kterých neexistuje žádný právní důvod neposkytnout je jako data otevřená tedy „Open data“ [29].

Společnost Sunlight Foundation definovala 10 základních principů, ve kterých jsou podrobně popsány podmínky, které musí data veřejné správy splňovat, aby je bylo možné považovat za otevřená. Data veřejné správy jsou otevřená, když jsou [52]:

1. **Úplná** – Data jsou zveřejňována v maximálním možném rozsahu. Rozsah může být například definován právním předpisem, usnesením vlády popřípadě i poskytovatelem dat.
2. **Snadno dostupná** – Data jsou dohledatelná běžnými ICT nástroji a jsou dostupná i na internetu.
3. **Strojově čitelná** – Formát dat je strukturovaný takovým způsobem, že pomocí programové aplikace z dat lze získat jenom požadované údaje.
4. **Používající standardy s volně dostupnou specifikací** – Data musí být ve formátu, který je volně dostupný a bezplatný pro libovolné použití nebo musí být do takového formátu pomocí volně dostupné aplikace převoditelný.

5. **Zpřístupněna na základě definovaných podmínek užití (licencí)** – Podmínky použití musí být jasně a zřetelně definovány a zveřejněny.
6. **Dostupná s minimálními náklady na získání** – Poskytovatel je oprávněn žádat náhradu za poskytnutí dat maximálně ve výši, která nesmí přesáhnout náklady spojené s jejich zpřístupněním uživateli. Pouze v ojedinělých případech si může poskytovatel jednorázově vyžádat úhradu za mimořádně pořízení dat, pokud si uživatel toto zpřístupnění vyžádá.
7. **Původní** – data musí být původcem zveřejněna nezměněná a v takové podobě jako byly vytvořeny.
8. **Včasná** – Zveřejnění dat není zdržováno činnostmi, které nesouvisí s jejich přípravou. Činnosti nezbytné pro publikaci dat jsou provedeny v čase, který umožní jejich zveřejnění bez nepřiměřené dlouhé prodlevy od okamžiku vzniku dat.
9. **Neomezující přístup** – Poskytovaná data by neměla diskriminovat jednotlivce nebo skupinu osob.
10. **Stále dostupná** – Data jsou dostupná online a v reálném čase.

Další důležitou fází je proces poskytování dat. Proces publikace otevřených dat se skládá z několika kroků. Tyto kroky jsou zachyceny na následujícím obrázku.

V rámci práce bude uvedena pouze struktura na následujícím obrázku. Z pohledu otevřených dat se jedná o strukturu, která je uvedena v oficiální metodice pro publikaci dat ve veřejné správě ČR [33]. Jedná se o strukturu vodopádového typu. To znamená, že jednotlivé fáze na sebe postupně navazují a jeden úkon by neměl být proveden, než bude splněn úkon předcházející.



Obrázek 7: Proces publikace otevřených dat

Zdroj: [33]

Publikace otevřených dat se tedy dělí do šesti základních kroků [33]:

1. **Analýza a výběr dat k uveřejnění** – cílem je analyzovat dostupná data, popsat jejich strukturu a zvolit data které je možné zveřejnit jako otevřená.
2. **Výběr vhodného formátu dat** – preferovány jsou standardizované a široce využívané formáty.
3. **Návrh způsobu přístupu k datům** – tento krok se týká rozhodnutí, zda mají být data zpřístupněna v podobě stažitelných souborů nebo pomocí webových služeb.
4. **Export dat do navrženého formátu** – zajištění převodu zveřejňovaných dat do vhodného formátu.
5. **Publikace dat** – určení vhodné webové prezentace a volba URL, na kterou budou data zpřístupněna uživatelům.
6. **Katalogizace dat** – tvorba záznamu o zveřejněných otevřených datech v datovém katalogu.

3 PŘÍKLADY SMART ŘEŠENÍ V EU A ČR

Tato kapitola se zaměřuje na využití konceptu Smart City a jeho jednotlivých prvků v různých evropských i českých městech. Každé z následujících měst se může pyšnit přívlastkem „Smart“. Avšak u každého z nich je to z různých důvodů. Na jednotlivých případech měst je demonstrováno, jak jsou technologie, které byly představeny v úvodu práce implementovány do běžného života.

Před uvedením konkrétních případů je nutné upozornit na to, co bylo uvedeno již na začátku práce a to, že koncept Smart City nemá jednotné pojetí. Proto se chápání pojmu smart city ve světě liší. V Evropě je tento koncept chápán jako celkový koncept, který se primárně snaží o zlepšení kvality života svých obyvatel, životního prostředí a udržitelného rozvoje. Naproti tomu v pojem smart city chápán především jako technické řešení. Města v této oblasti, které mají přívlastek smart, se především snaží o implementaci ICT technologií do každodenního života občanů. Podobně je koncept Smart City chápán i v USA, kde ICT patří mezi hlavní faktory při formulaci strategie smart city.

O rozdílu v pojetí konceptu Smart City v jednotlivých zemích se ví už delší dobu. Z tohoto důvodu vzniklo dělení v přístupu budování chytrých měst a to prozatím pouze na přístupy, kterými jsou [41]:

- **Top - down:** Je to přístup, který se zaměřuje především na technologie, jejich vývoj a implementaci do chodu města. Tento přístup vychází z původního pojetí Intelligent City. Je zde ale i mnoho názorů, že je tento přístup nevhodný vzhledem k obyvatelům, kteří ve městě žijí, protože je ze svého fungování vyloučit.
- **Bottom - up:** Tento přístup je založen na tom, že chytré město je budováno na komunitách a blíží se spíše konceptu Creative City. Takovýto přístup, ale ve většině případů postrádá dlouhodobé vize a není udržitelný kvůli nedostatku zdrojů a formálního vedení.

V následujících podkapitolách budou uvedeny některá významná města, která se hlásí ke konceptu Smart City. Nejedná se tedy o porovnání měst, ale o představení hlavních oblastí, kterým se tato města věnují. Z tohoto důvodu nejsou uvedené oblasti zájmu u všech měst shodné.

3.1 Mobilita

Jak již bylo zmíněno v práci, tak oblast mobility patří mezi základní pilíře infrastruktury smart city. Jedná se zejména o řízení a regulaci dopravy ve městě (včetně cyklistiky a dopravy v klidu). Je zde ve velké míře využívána dopravní telematika, plánovitý rozvoj městské hromadné dopravy a administrační opatření. Důležitým nástrojem je evropská metodika plánů udržitelné městské mobility. Další oblastní, kterou se inteligentní mobilita zabývá je rozvíjení uživatelsky příjemné hromadné dopravy jako plnohodnotné alternativy k dopravě individuální. Mezi další prvky se řadí zavádění ekologicky čistých pohonů v individuální i hromadné dopravě. Jedná se například o rozvoj elektrické MHD, dobíjecí infrastruktury pro elektromobily nebo dříve zmiňovaný systém car sharingu.

3.1.1 Sion

Město Sion je hlavním městem švýcarského kantonu Valais. Koncem června 2016 zde oficiálně zahájily přepravu cestujících pomocí dvou minibusů bez řidiče. Provozovatelem těchto minibusů je národní švýcarský dopravce PostAuto Schweiz AG [45].

Testovací jízdy minibusů jsou vedeny turisticky zajímavými místy v centru Sionu. Trasy minibusů jsou vedeny přes pěší zóny města. Délka jedné trasy je 1,5 km. Projekt SmartShuttle pod který spadá, provoz automatických elektrických minibusů nejprve testoval své modely na soukromých pozemcích a až poté obdržel od Federálního silničního úřadu a od odboru silniční dopravy kantonu Valais zvláštní povolení k provozu těchto minibusů na veřejných komunikacích. Kromě dopravce a zapojených veřejných institucí jsou partnery projektu i Švýcarský technologický institut v Lausanne, výrobce Navya a švýcarské technologické firmy BestMile [56].

Automatický elektrický minibus je od francouzského výrobce Navya a je 4,8 m dlouhý a pojme maximálně 15 cestujících, z nichž je 11 sedících. Minibus dosahuje maximální rychlosti 45 km/h, ale jeho provozní rychlost se pohybuje okolo 20 km/h. Pro změnu směru slouží dvě otočné nápravy a samozřejmě je i klimatizace. Disponuje trakční baterií o výkonu 16 kW. Ta umožňuje vozidlu nezávislý provoz po dobu 5 až 8 hodin při plném využití. Minibusy jsou vedeny po své dráze pomocí algoritmu, který vyvinula švýcarská firma BestMile. Provoz elektrobusů je dálkově monitorován z dispečinku a prostor pro cestující je vybaven i nouzovým tlačítkem v případě nějaké nečekané události. Cestující jsou během jízdy minibusem i doprovázeni zaškoleným personálem [45],[56].

Hlavním smyslem celého projektu je vyvinout ekologický dopravní systém s co největší flexibilitou jízdních řádů na základě momentální poptávky. Tento systém by do budoucna měl nahradit stávající veřejnou dopravu nebo jí alespoň vhodně doplňovat. S těmito cíli jsou směřovány i potřebné algoritmy, které jsou v rámci projektu vyvíjené [56].

3.1.2 Londýn

Docklands Light Railway (DLR) je automatická městská dráha lehkého typu, která je první svého druhu a nachází se ve východní části Londýna. Tato dráha byla uvedena do provozu v roce 1987 a stále se rozvíjí. Síť DLR v současné době přibližně 40 km tratí, které jsou vedené především po vyvýšených konstrukcích v centru města a v podzemních tunelech. Denně je v provozu více než 100 tří vozových vlaků jezdících provozní rychlostí pohybující se okolo 50 km/h. DLR využívá velké sklonové poměry (50-60%) při klasické železniční technologii s napájením 750 V DC ze třetí kolejnice v povrchových i tunelových úsecích tratě [60].

Pro zabezpečení jízdy vlaků je využíván systém SelTrac. Tento systém byl původně vyvinutý firmou Alcatel, ale v současné době je dodáván od firmy Thales. Přenos informací mezi vlakovou soustavou a statickou částí systému je zajišťován pomocí indukční smyčky. Modernější technologie pro tento přenos využívají radiofrekvenční přenos informací. Ve vlaku je přítomen i vlakový průvodce. Ten však do samotného řízení vlaku nezasahuje. V případě potřeby může být vlak nebo jeho dílčí funkce ovládány manuálně. Při manuálním řízení se kontroluje maximální rychlost, zabezpečovací zařízení a volnost vlakové cesty. V případě nutnosti je zde i možnost spuštění rychlobrzdy. Nicméně automatický provoz vlaků funguje téměř bezproblémově a bezpečně. Za celou dobu provozu DLR došlo pouze k jedné faktické dopravní nehodě, kdy vlak který byl manuálně řízený strojvedoucím narazil ve stanici do automaticky řízeného vlaku. Naštěstí při této nehodě nebyl nikdo zraněn [45].

Podle dostupných informací, které byly publikovány v lednu 2014, dodržovaly automatické vlaky společnosti DLR jízdní řád z 99,7% a to i v převážně venkovním provozu, který je vystaven rozmanitému anglickému počasí. Uvedená v jízdních rádech se dá srovnat s pražským metrem, které ovšem funguje pouze v uzavřených tunelech a není zatěžováno počasím. DLR se tedy řadí mezi nejdochvilnější kolejovou dopravu ve Velké Británii. Ukazuje tím přesnost jako jednu z důležitých předností provozu bez strojvedoucího, který eliminuje vliv lidského faktoru [45],[60].

3.1.3 Ostrava

Dopravní podnik Ostrava patří mezi hlavní průkopníky elektrobuses v České republice. Již od roku 2010 zde sloužili k přepravě osob čtyři elektrobuses SOR EBN10.5 pro 18 sedících a 66 stojících cestujících. Koncept a montáž těchto elektrobuses navrhly a provedly dílny Dopravní podniku Ostrava. Nyní je tímto odvětvím veřejné dopravy zabývá dceřiná společnost EKOVA ELETRIC a.s. [56],[10].

Elektrobuses využívají trakčních baterií o kapacitě 170 kWh. Vystačí tak s potřebnou rezervou na průměrný denní dojezd s cestujícími cca 140 – 160 km. Vozidlo disponuje maximálním dojezdem 250 km při plném nabití baterií. Elektrobuses se využívají v provozu na dělených směnách mezi dopravními špičkami a jejich dobíjení probíhá během polední přestávky. Ranní proběh jednoho elektrobuse je 85 km, odpolední 100 km. Mezi ranními a odpoledními proběhy jsou trakční baterie elektrobuses vybity ze 100 % na 60% - 70% své kapacity. V zimních měsících se pro vytápění využívá naftový přímotop. Tento způsob vyptání snižuje spotřebu elektrické energie, ale zároveň je to jeden ze silných argumentů odpůrců tohoto způsobu dopravy [10].

Disponibilita jednotlivých elektrobuses je přes 80 %. Třemi nejčastějšími příčinami oprav byly závady na karosérii (25%), závady na osvětlení (16%) a pravidelná údržba (20%). Závady, které se týkaly pohonu baterií, a jejich dobíjení tvořili celkem 12% všech oprav [48].

Postupem času se ukazuje, že trakční baterie jsou i po více než šesti letech v provozu v dobrém stavu. Je to především díky šetrnému zacházení dopravce. Avšak vlivem přirozeného opotřebení postupně ale také postupně narůstají provozní náklady. Provoz elektrobuses zaznamenal snížení hlučnosti ve městě o 8 dB oproti autobusům na klasický naftový pohon. Předpokládaná roční úspora emisí díky těmto elektrobuses je 2,05t a z toho 80 kg CO₂ [10].

Provoz elektrobuses je součástí strategie města Ostrava. Strategie nese název „Zelená a čistá Ostrava“ a neustále se rozvíjí v rámci konceptu Smart city, která se dále rozvíjí v podobě dopravní strategie „Chytrá a přátelská doprava pro Ostravu na období 2015 – 2025“. V rámci této strategie počítá dopravní podnik s pořízením a provozem dalších moderních elektrobuses s průběžným dobíjením a plně elektrickým provozem, který zcela vyhovuje současných technickým a uživatelským standardům.

3.2 Energetika

Jak již bylo dříve řečeno, tak se oblast energetiky v konceptu Smart City zabývá využíváním obnovitelných zdrojů energie nebo kombinovanou výrobou elektřiny a tepla a jejich bezpečnost integrací do městské energetické sítě. Dále jde o inteligentní řízení spotřeby energie, včetně energetického hospodaření budov a podpory jejich energeticky úsporných řešení. Neméně důležité je i inteligentní řízení městských služeb směřující k efektivnímu využívání energie a přírodních zdrojů. Je to především úsporné veřejné osvětlení, efektivní odpadkové hospodářství a efektivní hospodaření s vodou.

Smart grid má tři základní znaky [45]:

- plná automatizace;
- plná integrace zákazníků;
- adaptace na různé způsoby výroby elektřiny.

Prvním znakem, kterým je plná automatizace rozumíme zapojení digitálního a řídicího systému spolu se senzory, které monitorují chování sítě a automatickou obnovu provozu po případném výpadku nebo poruše. Plná automatizace také zajišťuje informace v reálném čase o zatížení sítě, kvalitě dodávky elektřiny, přerušení dodávky atd. [29],[45].

Jádrem dalšího ze tří znaků a to plné integrace zákazníků je vybavení uživatelů digitálními měřidly s obousměrným tokem informací v reálném čase, což umožňuje tvorbu cenových tarifů, kde se jejich cena odvíjí od momentální situace v síti. Další z výhod plné integrace zákazníků je možnost zákazníků efektivně řídit svoji spotřebu např. ohřevu vody, dobíjení baterií v době s volnou výrobní kapacitou nebo i při praní prádla [54],[45].

Adaptací na různé způsoby výroby elektřiny rozumíme možnost zapojení např. solárních panelů, větrných elektráren, plynových mikroturbín a dalších decentralizovaných výrobních technologií. Tyto způsoby dávají příležitost zákazníkům vyrábět elektřinu z vlastních zdrojů a přebytky této výroby dále prodávat do sítě [45].

Kromě celkového zefektivnění ve výrobě a využití energetiky nabízejí smart grid účelné sladění výroby a spotřeby s co nejmenšími provozními náklady. Zároveň systém smart grid klade nároky a technologie z hlediska složitosti a spolehlivosti při vzájemné kooperaci jednotlivých prvků, tedy zařízení nebo datových vstupů a výstupů. Praktické využití smart grid se v současné době omezuje na vybrané projekty v menších regionech, kde se zatím zkoušejí technické a provozní vlastnosti jejich fungování [45].

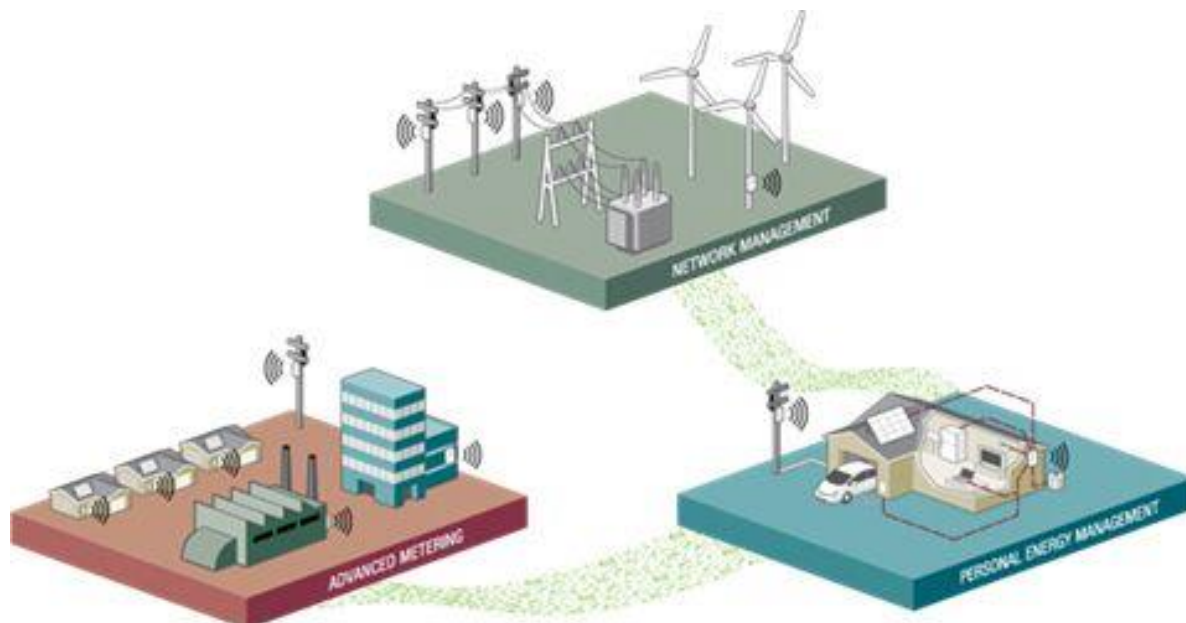
3.2.1 Wachtendonk

Městečko Wachtendonk ležící na nizozemských hranicích je z pohledu energetiky poněkud zvláštní. Město má přibližně 8 000 obyvatel a většina elektřiny (80%), kterou spotřebuje, pochází z obnovitelných zdrojů, jako jsou fotovoltaické panely, solární panely a další. Díky těmto řešení je místní energetika velmi čistá. Ovšem tyto zdroje mají za následek její značnou nestabilitu. Město se proto tento problém rozhodlo řešit pomocí projektu smart grid [45].

Projekt smart grid pro město Wachtendonk byl realizován místní společností Stadtwerke Krefeld AG a průmyslovým výrobcem Siemens. Cílem projektu je vyzkoušet praktické fungování technologií pro smart grid. Součástí projektu byla i modernizace stávající energetické sítě. Jednalo se především o instalaci datových kanálů a přizpůsobení 52 z celkem 105 místních rozvodů elektrické energie, tak aby zde byla možná instalace smart grid. Dalším doplněním stávajícího systému bylo nainstalování u více než 100 domácností chytré elektroměry od společnosti Siemens. Hlavní vlastností těchto elektroměrů je snímání současné situace v dané síti a poskytování dat o spotřebě elektrické energie. Tyto naměřené hodnoty jsou dále přenášeny do chytrých rozvodů, které se skládají z středonapěťových přepínačů, adaptabilních místních síťových transformátorů, systému dálkového ovládní, síťové ochrany a přenosových systémů [43].

Tyto chytré rozvody společně se senzory zajistí „smart“ počínání těchto rozvodů a to tím způsobem, že místní transformátory budou podle okamžité spotřeby stabilizovat elektrickou síť na rozhraní mezi středním a vysokým napětím. V praxi to znamená, že například když nastanou bezoblačné dny, tak data z chytrých elektroměrů budou indikovat, že napětí v síti stoupá, zatímco spotřeba je na nízké úrovni. Znamená to tedy, že fotovoltaické elektrárny a další obnovitelné zdroje energie dodávají do sítě neúměrné množství energie. V této situaci je tedy vhodné využití chytrých transformátorů, které pružně vyrovnají napětí v síti [45],[43].

Na následujícím obrázku je vidět, princip projektu smart grid pro město Wachtendonk.



Obrázek 8: Smart grid Wachtendonk

Zdroj: [43]

3.2.2 Malaga

Malaga je přístavním městem na jihu Španělska a druhým největším městem v Andalusii. Se svými 576 725 obyvateli je šestým největším městem Španělska. Město Malaga se snaží o uplatnění smart grid konceptu především ve městských podmínkách na rozdíl od velice široce pojatého konceptu smart grid například ve Vídni. Město disponuje celkem 11 000 domácnostmi a 1 200 průmyslovými uživateli, které se nacházejí na ploše 4 km². Projektem smart grid, jakožto i celým konceptem Smart City se v Malaze zabývá společnost Endesa. V této podobě se projekt rozvíjí již od roku 2009 ve spolupráci a dalšími deseti místními průmyslovými společnostmi. Praktická aplikace konceptu smart grid ve městě Malaga zahrnuje především uplatnění technologií pro smart metering, zapojení obnovitelných zdrojů, uplatnění inteligentních sítí, inteligentní budovy, elektromobility a s tím i spojená poptávka a uživatelské návyky na využívání moderních technologií spojených se smart grid [45],[11].

Po pěti letech od zahájení projektu v roce 2009 ukázalo jeho průběžné vyhodnocení významné přínosy. Jde, především o snížení uhlíkatých emisí o 20% což v roční spotřebě města představuje 4500 tun emisí CO₂. Dalším významným přínosem je snížení spotřeby elektrické energie o 25% [11].

Jedním z dalších dílčích projektů, kterým se v současné době město Malaga zabývá je projekt Zem2All. Tento projekt je společnou iniciativou Španělska a Japonska. Tato iniciativa je zároveň podporována centry průmyslových technologií v jednotlivých zemích. Ve Španělsku jde o společnost CDTI a v Japonsku společnost NEDO. Vedoucí organizací na španělské straně zastává již dříve zmiňovaná společnost Endesa [11].

Rozvodné mikrosítě, kterými disponuje město Malaga, obsahují fotovoltaické zdroje, dobíjecí stanice, centralizovaný řídicí systém, který slouží k dobíjení baterií do elektromobilů a umožňuje efektivně řídit a navzájem upravovat proces dobíjení a výroby energie. Uživatelé elektromobilů mají možnost pomocí svých smartphonů se spojit s řídicím střediskem, které jim poskytne například informace o nejbližší dobíjecí stanici a optimální trase k ní. Tento systém zároveň umožňuje si předem místo na dobíjecím místě rezervovat. V rámci projektu Zem2All využívá elektromobily více, jak 200 uživatelů. Ve městě je k dispozici 23 rychlonabíjecích stanic, které fungují na principu „charge-and-go“. Tento systém umožňuje nabití trakční baterie elektromobilu během 15 minut a to až na 80% její plné kapacity. Dalším prvkem, kterým se postupně snaží město Malaga implementovat do své infrastruktury je i využití elektrobusů pro městskou dopravu. Momentálně jsou v Malaze testovány elektrobusy od firmy Irizar [11].

3.2.3 Vrchlabí

České město Vrchlabí se může pyšnit přívlastek smart city právě díky svým opatřením v oblasti energetiky. V roce 2011 se společnost ČEZ zapojila do evropského projektu Grid4EU. Do tohoto projektu se zapojilo celkem šest zemí evropské unie do testování v oblasti rozvoje chytrých sítí a v Česku se pomyslnou laboratoří stálo právě malé městečko Vrchlabí [45].

V rámci dílčího projektu Smart region Vrchlabí bylo všech 4600 odběrových míst, kterými město disponuje vybaveno inteligentními elektroměry. Jak již bylo dříve zmíněno, tak i tyto elektroměry umožňují obousměrnou komunikaci mezi distribuční sítí a zákazníky. Komunikace probíhá dvěma způsoby. Prvním způsobem je komunikace pomocí síťového kabelu mezi měřičem a bránou v trafostanici. Druhým způsobem je bezdrátový přenos pomocí GPRS sítě. Výsledek je opět možnost sledování aktuální spotřeby elektrické energie a její optimalizace. V průběhu tohoto projektu byl ze strany občanů projevěn zájem o tyto moderní technologie. Bohužel se ale neprojevil reálný vliv chytrý měřičů na změnu spotřebitelského chování. Je to především z důvodů fixních nákladů na odvětví. Při způsobu rozpočtu těchto fixních nákladů do cen pro odběratele pak nastává problém při poklesu spotřeby ceny za jednotku. Tato cena přirozeně roste a ve vztahu k omezování spotřeby působí na odběratele demotivačně [30].

Dalším prvkem smart grid, kterým město Vrchlabí disponuje je kogenerační jednotka s možností provozu nezávisle na okolní rozvodné síti. Při procesu kogenerace je využito teplo, které se ve velkých elektrárnách uvolňuje při výrobě elektřiny a je odváděno bez užitku

chladicí věžemi do ovzduší. Využitím kogenerační jednotky se výrazně zvýší celková energetická účinnost. Zatímco ostatní elektrárny pracují s účinností kolem 30%, celková účinnost kogenerační jednotky se pohybuje okolo 70% až 90%. Tato zařízení zásobují teplem domácnosti některé průmyslové objekty a správní objekty města. Další vlastností je i výroba elektrické energie, která vykrývá potřebu ve špičce. V současné době kogenerační jednotka vyrábí tolik elektrické energie, že by bylo možné zásobovat dvě třetiny Vrchlabí. Distribuce tepelné energie je zajištěna pomocí horkovodu. V ostrovním režimu pracuje jedna kogenerační jednotka jako zdroj energie pro část města, která je určena k testování tohoto zařízení. Důvodem testování ostrovního režimu je zpravidla zásobování objektů tzv. kritické infrastruktury města, jako je například nemocnice nebo budovy integrovaného záchranného systému. V rámci zmiňovaného projektu Smart region Vrchlabí si město odzkoušelo plnou funkčnost tohoto systému a do budoucna plánuje jeho rozšíření na všechny kritické objekty města [45],[30].

3.3 Informační a komunikační technologie

Tento již dříve zmiňovaný pilíř smart city podporuje dvě hlavní oblasti. První oblastí je infrastruktura městského života a druhou je samotné řízení města. ICT se využívají vedle již dříve zmiňované telematiky také pro řízení systémů komunikace vedení města s občany. Jako nástroje této komunikace slouží rozmanité informační aplikace, které jsou určeny, jak pro občany, tak i pro návštěvníky města. Neméně důležitým odvětvím, které využívá prvky ICT je i inteligentní veřejné osvětlení společně s dalšími městskými službami, jako jsou například řízení spotřeby energií a vody. Dalšími prvky, které závislé na využívání ICT jsou monitorovací a bezpečnostní senzory na ochranu majetku a občanů v dané lokalitě. Nedílnou součástí konceptu Smart City, je využití těchto technologií i v městských službách, jako jsou například bezkontaktní platební terminály nebo aplikace pro veřejnou dopravu a parkování [29].

Vzájemným propojením předešlých dvou pilířů (mobility, energetiky) s informačními a komunikačními technologiemi směřuje koncept Smart City k plnému využití vlastností uvedených technologií ve prospěch občanů a tím i dané město směřovat k pohodlné individuální a hromadné dopravě, spolehlivé dodávce elektřiny a dalších. Samozřejmostí je i plná dostupnost k nejaktuálnějším informacím, které jsou dostupné všem uživatelům. S tím je spojená i úspora provozních nákladů ze strany provozovatelů veřejných služeb a celkové snížení zátěže lidské činnosti ve městech ve vztahu k životnímu prostředí. V praxi to znamená snížení spotřeby energie, snížení počtu emisí, snížení hluku atd. [45],[29].

Jak již bylo uvedeno, ICT technologie jsou jedním z pilířů konceptu Smart City a prolínají se celou touto infrastrukturou. Je důležité si uvědomit, že technologické řešení ICT se skládá ze čtyř základních úrovní. Jsou to úrovně [45]:

- identifikační (senzory a prostředky ke sběru dat);
- komunikační (vhodná komunikační síť);
- informační (nástroje pro zpracování přijatých dat);
- aplikační (publikace informací v podobě aplikací, která nabízí další služby).

Informační a komunikační technologie ovšem nejsou ničím více ani méně než nástrojem, který napomáhá k dosažení sociálních a ekonomických cílů konceptu Smart City. Primárně záleží na lidech, kteří je implementují, zda a nakolik budou tyto technologie využívány účelně a hospodárně.

3.3.1 Londýn

Londýn patří mezi nejvýznamnější metropole, které průběžně naplňují koncept Smart city. Důležitou oblastí, které je věnována velká pozornost, je doprava a poskytování informací s ní související.

Otevřená data

Tyto informace mají za cíl významně usnadnit každodenní život obyvatelů. Důležitou roli zde hraje i koncept otevřených dat, který je součástí celého konceptu Smart city, tak jak ho pojímá město Londýn. Otevřená data mají i svojí internetovou stránku, která je za určitých podmínek volně přístupná developerům, potřebných uživatelských aplikací. Výsledkem tohoto přístupu, za který je zodpovědná organizace Transport for London je bezmála 500 aplikací pro mobilní telefony, které byly vytvořeny třetími stranami. Mezi nejvýznamnější otevřená data o dopravě patří informace z parkovišť u zastávek londýnského metra a dále z tzv. JamCams (kamery sledující dopravní provoz v Londýně). Londýnské metro disponuje celkem 61 stanicemi a u každé této stanice jsou vystavěna záchytná parkoviště pro automobily. Díky dříve zmiňovaným mobilním aplikacím, které jsou volně dostupné, mají uživatelé k dispozici informace o poloze parkoviště, jeho kapacitě a ceně parkovného. V současné době je možnost u 23 těchto parkovišť zjistit jeho obsazenost v reálném čase [59].

Organizace Transport for London v budoucnu plánuje realizaci dalších novinek a zlepšení v oblasti otevřených dat, která se zaměřují na veřejnou i individuální dopravu. Jedná se například o jednodušší přístup developerů k ročním datům údajům o bezpečnosti dopravy,

data o práci na silnicích i v tunelech a s tím i spojené údaje o postupné modernizaci silniční sítě v Londýně [59].

Telematika

V souvislosti s telematikou se jedná primárně o poskytování užitečných informací o dopravě, které mohou značně usnadnit každodenní život občanům Londýna. V létě roku 2016 se zde začal rozvíjet velice zajímavý způsob informování řidičů o aktuálním stavu dopravního provozu. V praxi jde o prostor na zádi tradičních městských patrových autobusů, která je využívána jako digitální panel, který zobrazuje v reálném čase informace o dopravním provozu ve městě [59],[45].

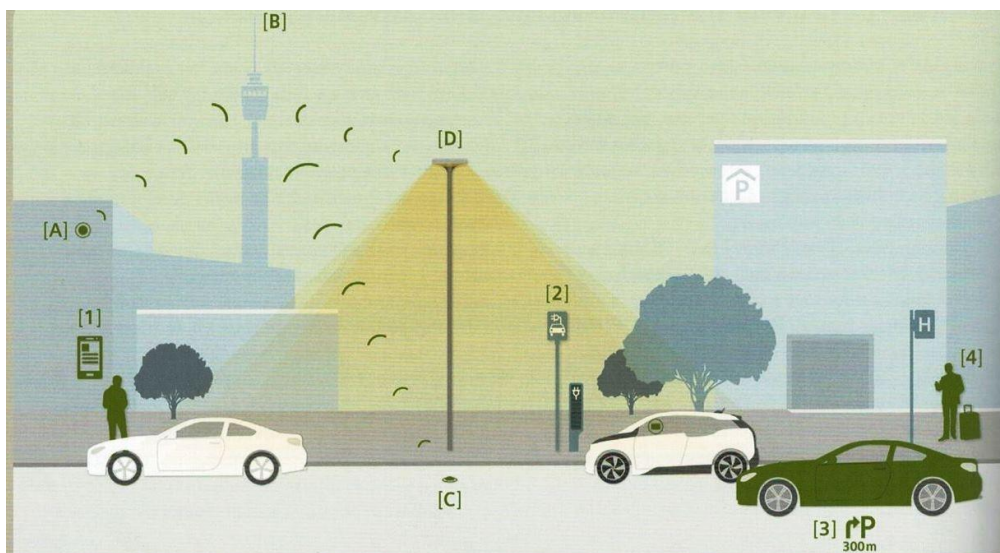
Informace poskytované uživatelům jsou získávány ze sítě proměnlivých ukazatelů dopravní telematiky Variable Message Sign. Těchto senzorů je v současné době v Londýně okolo 130 a formou jednoduchých a slovních a číselných informací informují motoristy o aktuálním stavu městského provozu a způsobu, jak se vyhnout dopravním překážkám nebo zácpám. Tato síť je nepřetržitě zásobena daty z dopravního dispečinku městské hromadné dopravy Transport for London [45].

Dodavatel řešení pro londýnské autobusy je firma Equitech IT Solutions, která využívá systém GPS, který poskytuje přesně a aktuální informace o dopravě ve městě [45].

3.3.2 Berlín

Dalším velice důležitým prvkem informačních a komunikačních technologií je i internet věcí. Internetu věcí využilo město Berlín pro realizaci svého projektu pro inteligentní parkovacího systému. Technickou realizaci tohoto systému má na starosti společnost Siemens společně se společností Intel. Systém je v provozu od září roku 2015.

Základem systému jsou radarové senzory, které monitorují dané parkoviště. Jsou umístěny buďto samostatně nebo na veřejném osvětlení. Princip funkce toho systému je jednoduchý. Senzor vysílá do stanoveného prostoru mikrovlny. Pokud tyto vlny narazí na nějakou překážku, tak se odrazí zpět k senzoru, který je zpětně zachytí. Algoritmus poté vypočítá, zda odraz způsobil objekt na parkovacím místě, následně vypočítá jak je objekt velký a kde je umístěn. Senzory, které jsou součástí veřejného osvětlení, mohou monitorovat oblast o rozměrech přibližně 30x9 metrů. Tato oblast odpovídá v závislosti na velikost automobilu 5 až 7 volným parkovacím místům za sebou v řadě. Princip tohoto systému, který využívá město Berlín je zobrazen na následujícím obrázku [44].



Legenda k obrázku

Parkovací management:

- 1) automatické placení;
- 2) kontrola povoleného parkování;
- 3) nalezení místa k zaparkování;
- 4) doporučení pro pokračování prostředky hromadné dopravy.

Senzorová síť:

- A) nadzemní senzor (samostatný);
- B) řídicí středisko;
- C) pozemní senzor;
- D) nadzemní senzor (integrovaný do pouličního osvětlení).



Obrázek 9: Smart parking Berlín

Zdroj: [45]

Konvenční kamery mají větší rozlišovací schopnost než radarové senzory. To je v tomto případě může být i výhoda. Kvůli nízkému rozlišení není nijak narušeno soukromí osob a obrázky jsou pouze schématické. Senzory jsou takřka neviditelné. Jak bylo uvedeno, tak se senzory dají se instalovat, jako součást osvětlení a umísťují se do plastu nebo za sklo. Nečinní jim problém ani nepříznivé povětrnostní podmínky, výkyvy teplot nebo měnící se světelné podmínky. Jejich provoz je tedy úspornější, než je tomu u pozemních senzorů [44],[45].

Informace o obsazení jednotlivých parkovacích míst jsou pomocí bezdrátové komunikační sítě přenášeny do řídicího centra. Senzor nejenom, že umí vyhodnotit velikost parkovacího místa, ale umí i rozpoznat překážky bránící hladkému průjezdu vozidel, například kvůli nevhodně zaparkovanému vozidlu. Informace o parkovacích místech, jsou zpracovány a převedeny do vhodného formátu, s kterým mohou pracovat uživatelé patřičných mobilních aplikací. Součástí programu je i napojení na systém pro plánování tras po městě s využitím

individuální i hromadné dopravy. Je to z důvodu, že pokud v dané lokalitě není žádné volné parkovací místo, plánovač poskytne doporučení, kde zaparkovat a jak se do cílové destinace dostat prostřednictvím veřejné dopravy. Mezi hlavní výhody toho systému patří i učící schopnost systému. Na základě předešlých dat dokáže systém predikovat jejich obsazenost a s předstihem informovat řidiče před příjezdem do cíle [44].

3.3.3 Oslo

Oslo je hlavním městem Norska s více, jak 600 tisíci obyvateli. Hlavním snahou tohoto města je docílit inteligentního dopravního systému, který zapadá do celkové „smart“ koncepce čisté mobility. Základem dopravní strategie v tomto městě je vytvořit pohodlný a zároveň ekologický systém městské mobility. Toho je dosahováno kombinací podpory cyklistické a pěší dopravy. Dále se jedná o rozvoj elektromobility v podobě bateriových elektromobilů a palivových článků, které využívají autobusy městské hromadné dopravy. S těmito opatření úzce souvisí zavádění dalších systémů a technologií na podporu čisté mobility.

Oslo je zapojeno do evropského projektu užitkových vozidel FREVUE. Městská hromadná doprava má od dubna roku 2013 k dispozici park pěti článkových elektrobusů, jako součást dalšího evropského projektu a to CHIC [45].

Město postupně vytváří podmínky pro chodce a cyklisty, které by zvýšili podíl cyklodopravy ze současných 8% na 16%. Dlouhodobým cílem města je přesunutí poloviny stávající dopravy na pěší a cyklistickou dopravu. Při rozvoji elektromobility se angažuje hned v několika oblastech. První oblastí je rozvoj individuální elektromobility, se kterým může být Oslo příkladem pro další rozvojová města. V průběhu času se snaží o nahrazení svého parku osobních automobilů elektromobily. S tím souvisí i rozvoj v oblasti nabíjení elektromobilů. V současné době je v Oslu několik set veřejných a soukromých dobíjecích stanic. Je zde ovšem riziko neplánovaného čekání na možnost nabití svého elektromobilu. Tento problém se město snaží řešit zaváděním nabíjecích stanic „multi-charging“. U těchto dobíjecích stanic je možnost více násobného připojení elektromobilů k nabíjecímu stojanu [45].

Ukázka multi-charging dobíjecí stanice je na následujícím obrázku.



Obrázek 10: Dobíjecí stanice multi-charging

Zdroj: vlastní zpracování

Jako dalším prvkem, který slouží, k zefektivnění dopravy jsou inteligentní parkovací systémy. Dle odhadů města, že pouhým hledáním parkovacího místa absolvuje řidič průměrně půl kilometru jízdy navíc. To při sto parkovacích místech v jednom městském bloku dává 50 km zbytečné jízdy denně v jedné části města. Jako tomu bylo u parkovacího systému v Berlíně, tak i zde inteligentní parkovací systémy kombinují senzory na parkovišti s navigačními systémy a mají šance na rychlé zaparkování automobilu zvýšit. V roce 2019 plánuje město zavedení zóny v centru města zcela bez automobilů. ICT technologie napomáhají i rychlému řešení dopravních závad na městských komunikacích. Speciální mobilní aplikace umožňuje formou hry zapojení i dětí z místních škol, které mají možnost pomocí této aplikace okamžitě nahlásit, že došlo k incidentu. Tato mobilní aplikace je k dispozici pro všechny občany na webových stránkách města. Je zde i možnost odlišné verze, která je více přizpůsobena starším uživatelům [33].

Všechny výše uvedené kroky jsou základem k postupnému naplňování hlavních strategických cílů města. Cílem je 50% snížení emisí do roku 2020 a z 95% uhlíkově neutrální fungování města do roku 2050. Na předcházející obrázku je možno vidět nabíjecí stanici, která je k dispozici přímo v hlavním městě Norska v Oslu [45].

4 BEZKONTAKTNÍ ODBAVOVACÍ SYSTÉM JAKO PRVEK KONCEPTU SMART CITY

Využití moderních technologií ITS má ve veřejné dopravě v ČR dlouholetou tradici. Obecně plyne z dobře fungující veřejné dopravy, která je ve velké míře využívána zejména obyvateli velkých měst. Díky historickým skutečnostem funguje v ČR centrální systém jízdních řádů, který umožňuje cestujícím vyhledávání spojení, napříč jednotlivými systémy a druhy dopravy. Tento systém ani v současné době není samozřejmostí v ostatních zemích EU, které se k tomuto systému postupně dopracovávají. Problém v některých zemích EU je v tom, že dané informační systémy jsou zaměřeny pouze na jednotlivá města nebo pouze na územní celky.

Aby bylo možné udržet dobrou funkčnost veřejné dopravy v ČR, je velice důležité dodržovat její atraktivitu. Jedním z možných řešení, jak dosáhnout tohoto cíle je využívání elektronického odbavování cestujících pomocí interoperabilních platebních systémů. Tyto systémy mají za úkol cestujícím poskytnout efektivní využití integrovaných systémů veřejné dopravy i možnost nabídky různých věrnostních programů. Následně je možné využívat dat z elektronických odbavovacích systémů pro kontrolu dodržování grafikonu mezi jednotlivými dopravci. Případně aby zde byla zahrnuta i možnost reagovat lepší nabídkou spojů veřejné dopravy v přepravních špičkách.

Budoucnost v odbavování cestujících jednoznačně tkví v jednoduchosti. Jedná se primárně o technickou a tarifní jednoduchost. Je to hlavně z důvodu, aby cestující nebyl vystaven složitým systémům, ve kterých musí složitě hledat požadovanou službu. Cestující je třeba osvobodit od různých složitých jízdenek, u kterých si musí hlídat čas zóny, podmínky přestupu v jednotlivých pásmech a další. V případě realizace elektronického odbavovacího systému je třeba najít vhodný tarifní model, při kterém se o starosti s platností jízdenky přenáší na elektronické médium (platební karta, mobil atd.).

Pod pojmem odbavovací systém si na první pohled představit jednoduchý systém proces, který v sobě zahrnuje prodej jízdenek cestujícím a jejich následnou kontrolu v dopravním prostředí. Tento popis procesu je ovšem nedostačující. Je to z důvodu, že vlastnímu prodeji jízdního dokladu předchází mnoho dalších úkonů, jako například spolupráce s informačním systémem, rezervace, vydání dokladu, validace dokladu, rezervace atd. [4].

Z obecnějšího pohledu je možné definovat proces odbavení cestujících, jako množinu procesů, která probíhá nad odbavovacím systémem. Proces odbavení cestujících se tedy skládá z několika následujících procesů [4]:

- příprava tarifu, ceníky;
- zadání požadavku na jízdní doklad;
- platba;
- výdej jízdního dokladu;
- validace jízdního dokladu
- zpracování dat z prodeje.

V zemích EU se v současné době vyskytují problémy nekompatibility v odbavování cestujících, které jsou řešeny pomocí různých opatření nebo nástrojů. Nejúspěšnější přístupy k řešení problémů s kompatibilitou jsou založeny na definování a koncepční implementaci jednotného přístupu EOC. S tím souvisí i jeho uplatňování společnou autoritou na národní úrovni.

4.1 Odbavení cestujících pomocí bezkontaktních platebních karet

Doprava je jednou z důležitých oblastí pro rozvoj akceptace platebních karet. V současné době roste podíl cestujících, kteří upřednostňují veřejnou dopravu před individuální. To má za následek dlouhodobý růst dopravního sektoru.

Pro většinu obyvatel v České republice je veřejná doprava klíčová v oblasti každodenního cestování. Podíl veřejné dopravy na celkové dopravě v rámci ČR se pohybuje na hranici 27%. V porovnání s okolními státy se tak ČR umístila na druhém místě hned za Maďarskem. Tento výsledek vyplývá to ze studie, kterou provedla společnost Eurostat v roce 2014. Rostoucí přechod z individuální dopravy na veřejnou je zřejmý i z růstu modálního poměru, který mezi lety 2012 a 2014 vzrostl téměř o 3,5 %. Celkový počet cestujících, kteří využívají veřejnou dopravu, je od roku 2010 stabilní a pohybuje se kolem 2,6 -2,7 mld. V současné době ve v ČR vydáno přibližně 11,3 milionů platebních karet z čehož je 81% bezkontaktních. Tento trend v posledních třech letech neustále roste a jeho růst bude pokračovat s největší pravděpodobností i nadále vzhledem k přirozenému životnímu cyklu obměny platebních karet, který je přibližně každé tři roky. Dnes je více než 7 z 10 plateb pomocí platební karty realizováno bezkontaktně [27].

Ze studie, kterou v roce 2016 provedla, společnost MasterCard vyplývá, že 76% cestujících uvedlo, že možnost použití bezkontaktní platební karty při platbě za veřejnou dopravu by pro ně byla jednoznačnou výhodou. Avšak pouze 18% respondentů se někdy setkalo se situací, kdy měli možnost zaplatit za veřejnou dopravu pomocí bezkontaktní platební karty. Dalším velice zajímavým ukazatelem této studie je, že 30% všech cestujících vnímá veřejnou dopravu jako příležitost pro využití mobilních plateb. Může se tedy jednat o další směr, kterým se bude v budoucnu ubírat odbavení cestujících [27].

Pro implementaci platebních karet v dopravě je k dispozici široký rozsah možností. Platební kartu lze akceptovat v rámci jednoduché transakce autorizované online, nebo pomocí komplexnějšího procesu agregace. Platební karty je možno využít i jako komplexnější nástroje pro nákup či pro spárování s časovými kupóny. Platební karty mohou mít velký vliv i na rozšíření mezi mobilní aplikace. Tyto aplikace uschovávají platební kartu, jako mobilní peněženku [27].

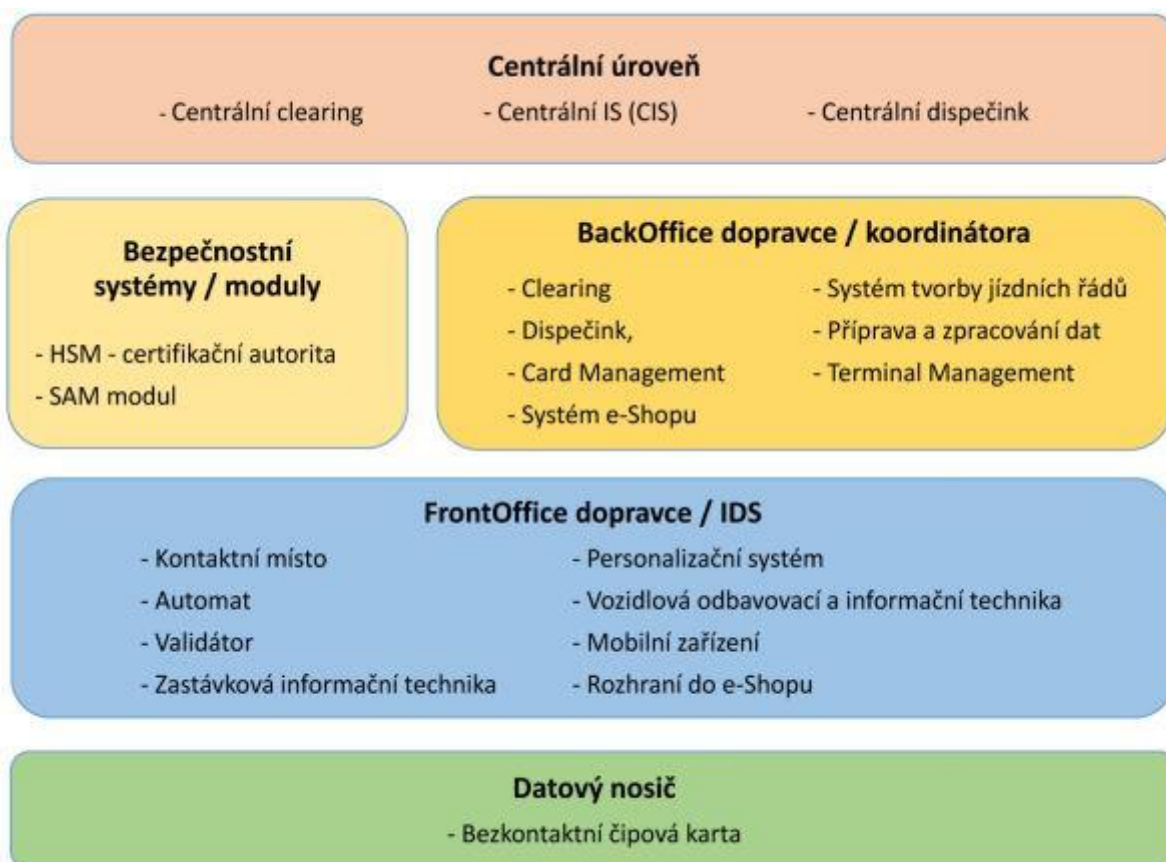
Neméně důležitou roli mohou hrát platební karty sloužící k odbavení cestujících v celkovém konceptu Smart City. Občané mohou díky své zkušenosti s platebními kartami ve veřejné dopravě lépe překonávat případné obavy, které se týkají jejich častého použití. Jedním z příkladů bezkontaktní platební karty, které může znamenat široké přijetí ze strany cestujících je předplacená karta městská karta, která využívá standardu EVM. Pro dosažení co možná nejlepších výsledků je především důležité, aby celý systém odbavení pomocí platebních karet byl navržen komplexně. Tento krok si klade za nároky vysokou úroveň plánování, bere v úvahu jednotlivá specifika a návyky cestujících v dané lokalitě. Velice častou chybou při navrhování nového odbavovacího systému je především podcenění této analýzy a podrobné plánování. Ignorování těchto kroků může mít za důsledek negativní dopady při implementaci systému.

Cestující jsou obecně velice skeptičtí k jakýmkoli změnám ve veřejné dopravě. Nemusí se jednat pouze o odbavovací systém, ale je to i v oblasti rozšíření nebo změny vozového parku. Ve většině případů je první zkušenost cestujících negativní. Z tohoto důvodu je důležité a vhodné zjednodušit pasažérům přechod k novému odbavovacímu systému do několika po sobě jdoucích kroků. Rozdělení zavedení systému do několika kroků si klade za cíl, poskytnou cestujícím dostatek času na osvojení a otestování nového systému. Cestující budou mít čas si zvyknout na nový systém v postupně ho přijmout za svůj.

4.2 Referenční model odbavovacího informačního systému

V roce 2015 byl publikován referenční model odbavovacího informačního systému (OIS) fakultou ČVÚT v dokumentu „*Metodika ověřování interoperability odbavovacích a informačních systémů ve veřejné dopravě*“. Na základě analýz systémů OIS v ČR bylo definováno schéma funkčního systémů využívající jako nosič dopravních produktů bezkontaktní čipové karty. Toto schéma je horizontálně členěné v závislosti na jednotlivých úrovních OIS od nejnižší úrovně datové nosiče až po nejvyšší centrální úroveň. [4].

Referenční model OIS je znázorněn na následujícím obrázku.



Obrázek 11: Referenční model OIS

Zdroj: [4]

Jak je vidět z předcházejícího obrázku, tak referenční model odbavovacího informačního systému se skládá celkem z pěti úrovní. Obsahem první úrovně jsou datové nosiče, které slouží jako nástroj k odbavení. Na další úrovni je zastoupen front office dopravce. Na tuto úroveň navazují bezpečnostní moduly společně s backofficem dopravce nebo koordinátora. Do úrovně backoffice může být v některých případech zapojena i bankovní instituce, která spolupracuje na realizaci odbavovacího systému. Nejvyšší úroveň zakončuje centrální úroveň celého systému informačního i dopravního systému.

Referenčním modelem rozumíme model struktury českého regionálního OIS na úrovni města, kraje nebo integrovaného dopravního systému v pokročilejším stupni vývoje technologie (cca od roku 2013). Systémy od toho roku by měli disponovat následujícími funkcemi [4]:

- elektronické bezkontaktní odbavení cestujících;
- informační systémy pro cestující ve vozidle;
- rozúčtování transakcí mezi více subjektů;
- online komunikace s dispečinkem;
- Terminal Management Systém a další.

Čtyři hlavní funkce referenčního modelu OIS jsou následující:

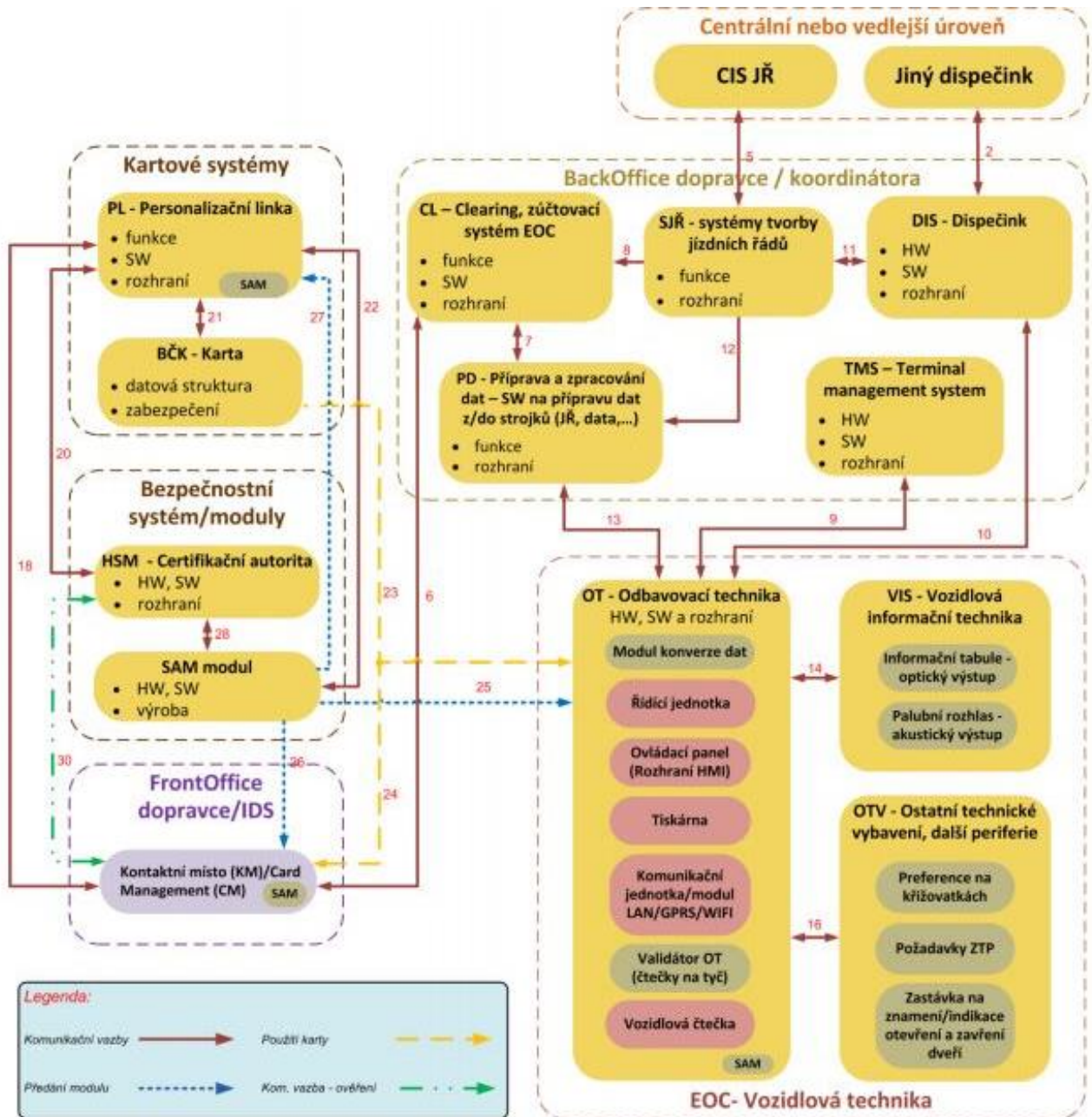
1. funkce odbavení cestujících;
2. funkce rozúčtování;
3. funkce informování cestujících;
4. funkce operativního řízení.

4.3 Laboratorní model OIS

Výše zmiňovaná podoba referenčního modelu slouží, jako základ pro laboratorní model OIS. Metodika toho modelu je primárně určena k ověření vybraných dílčích komponent, vazeb, rozhraní a funkcí zobrazených v laboratorním modelu OIS. V praxi je proces ověřování prováděn pomocí předem definovaných o ověřených postupů. Laboratorní model OIS může sloužit jako tzv. ideální model informačního odbavovacího systému. Model je znázorněn na následujícím obrázku [4].

Tento model neobsahuje části, jako jsou zastávkové informační systémy, části prodejního řetězce, e-shop, validátor, revizorská čtečka. Jak již bylo dříve zmíněno, tak tento model OIS slouží pouze k ověření vazeb, komponent, rozhraní a funkcí elektronického odbavovacího systému.

Laboratorní model se skládá z následujících funkčních podsystémů, které jsou podrobněji rozebrány v následujících podkapitolách.



Obrázek 12: Laboratorní model OIS

Zdroj: [4]

4.3.1 Centrální nebo vedlejší úroveň

Do této úrovně patří systémy, které jsou nadřazeny regionálním IDS a umožňují těmto systémům využívat jejich služby. V současné době v rámci ČR se jedná pouze o jeden systém a to CIS JŘ (Centrální informační systém jízdních řádů.) Tento systém tvoří databáze obsahující celostátní jízdní řády a vybrané číselníky (zastávky, slevy, dopravci, IDS...) [4].

Do vedlejší úrovně patří subsystém sousedních IDS, kde dochází k výměně informací. To znamená, že mezi těmito systémy existují datové vazby. V současné době mezi takovými

systemy patří dopravní dispečinky resp. dispečerské systémy. V roce 2014 v oblasti dispečerských systémů byla vydána norma ČSN 01 8245, která se zaměřuje na informační systémy ve veřejné dopravě osob [4].

4.3.2 Kartové systémy

Kartový systém zahrnuje HW a SW prostředky, aplikace a datové struktury, které jsou nezbytné pro specifikaci, výrobu a personalizaci bezkontaktních čipových karet. Tyto karty jsou poté použity jako nosič (nejen) dopravních prostředků v rámci OIS [54].

4.3.3 Front office dopravce / IDS

Jedná se o systém pro obsluhu činností, které probíhají na tzv. Kontaktním místě. Do této oblasti spadají i systémy zajišťující jeho komunikaci s infrastrukturou resp. Back office a cestujícími, kteří využívají bezkontaktní čipové karty. Mezi primární činnosti dříve zmiňovaného kontaktního místa patří [4]:

- změna údajů a informací na BČK;
- zakoupení jízdního dokladu;
- ověření dat BČK;
- dobití elektronické peněženky atd.

4.3.4 Back Office dopravce / koordinátora

Back-office dopravce tvoří systém uvnitř konkrétního dopravce. Prvky back office může využívat nebo vlastnit přímo koordinátor IDS. Back office systém disponuje následujícími dílčími systémy [4]:

- systém tvorby jízdních řádů;
- příprava a zpracování dat;
- dispečink;
- zúčtovací systém elektronického odbavování cestujících (Clearing);
- Terminal management system.

4.3.5 Bezpečnostní systémy

Bezpečnostní systém je tvořen SW vybavením, komponenty, procesy a postupy, které primárně souvisejí s celkovou bezpečností použitého řešení pomocí karetního systému. Na

oblast bezpečnosti systému jsou kladeny velké nároky z důvodu zajištění důvěryhodnosti, uznatelnosti, nepopíratelnosti a akceptaci dopravních transakcí. Jádrem systému je HSM modul. Dílčí klíče jsou ukládány do tzv. SAM modulů. Pomocí těchto technologií lze zajistit bezpečnost přenášených dat za použití kryptografických technik algoritmů [4].

4.3.6 Vozidlová technika

Nedílnou součástí veřejné dopravy je i vozidlová technika, která slouží jako nástroj pro přepravu osob. Jak je zřejmé z názvu, tak se jedná o techniku, která je instalována v prostředcích osobní dopravy (autobusy, tramvaje, metro, příměstská hromadná doprava, městská hromadná doprava a železniční doprava). Z hlediska funkčnosti se vozidlová technika skládá ze tří základních částí. Tyto tři základní části jsou následující [4]:

- odbavovací technika ve vozidle,
- informační technika pro cestující,
- další technické vybavení (wifi, nabíječky usb, systémy pro nevidomé).

4.3.7 Procesy laboratorního modelu OIS

Celkový počet procesů v laboratorním modelu OIS je 30. Ovšem 8 procesů je doplňujícím a 22 je základních. Níže uvedené procesy padají do kategorie hlavních procesů v rámci tohoto modelu [4]:

- žádost a výdej dopravní karty;
- výroba bezkontaktní karty;
- výroba SAM modulu;
- ověření a operace na HSM;
- nákup jízdního dokladu nebo dobití elektronické peněženky;
- kontrola jízdního dokladu;
- pořízení a zpracování transakce v odbavovací technice;
- příprava dat do odbavovací techniky;
- nahrání dat do odbavovací techniky;
- vyčtení dat z vozidlové odbavovací techniky;
- zpracování dat v Back office z odbavovací techniky;

- zaslání dat a příprava dat do Clearingu;
- rozúčtování transakcí mezi subjekty;
- přenos dat mezi Clearingem a Card managementem;
- distribuce Blacklistu (stornované karty);
- pořízení nebo změna a distribuce jízdního řádu;
- výměna tarifního systému na komponentách schématu;
- sledování stavu odbavovací techniky;
- sledování polohy vozidla a dodržování jízdního řádu;
- dispečerská hlášení do vozidla;
- zobrazení a hlášení informací pro cestující;
- přenos nebo synchronizace dat mezi dispečinky.

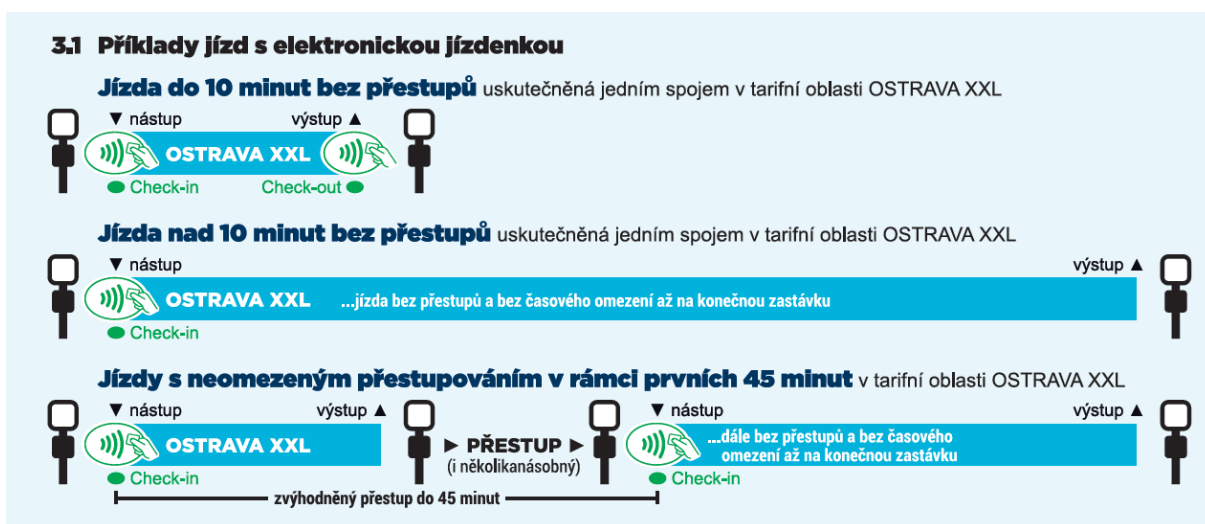
4.4 Ostravské řešení

Od konce června roku 2016 mohou cestující městskou hromadnou dopravou v Ostravě používat bezkontaktní bankovní karty. Tento způsob odbavení je unikátní v celoevropském měřítku. Ostrava je teprve prvním městem v ČR a druhým městem v Evropě (po Londýnu), které přistoupilo na tento systém odbavování cestujících. Unikátnost tohoto projektu spočívá v jeho naprosté jednoduchosti. Cestující v ostravské městské dopravě nejsou ničím omezováni ani limitováni. Tento systém je v provozu ve všech dopravních prostředcích městské hromadné dopravy. Jedná se o všechny autobusy, trolejbusy a tramvaje. Projekt realizoval Dopravní podnik Ostrava a.s. ve spolupráci s Visa Europe, Koordinátorem ODIS, ČSOB, XT-Card a společností Mikroelektronika [9],[8].

Tento systém umožňuje cestujícím zaplatit jízdné přímo v prostředku městské hromadné dopravy, pouhým přiložením bezkontaktní platební karty Visa nebo MasterCard. Klasický způsob odbavení cestujících pomocí jejich elektronické peněženky byl zachován. Odbavení cestujících pomocí papírových jízdenek u toho systému zaniká. Další výhodou tohoto systému je, že cestující nemusí znát tarif ani cenu jízdného předem. Při nástupu do vozidla přiloží kartu povinně a při výstupu nepovinně a systém pro ně spočítá optimální cenu jízdného. Tento systém odbavování cestujících sebou přináší další novinku zavedení a to je zavedení omezení denního jízdného tzv. capping. Cestující díky tomu nikdy nezaplatí větší částku, než je cena denní jízdenky (80 Kč). Systém pro cestující vždy vypočte nejvýhodnější cenu jízdného.

Pokud by cestující během služebního dne (3:00 až 2:59 následujícího dne) projezdil v součtu více než je hodnota denní jízdenky, jsou tyto jízdy přesahující tuto cenu vždy zadarmo. Z toho tedy vyplývá, že cestující městskou hromadnou dopravou v Ostravě nezaplatí více než 80 Kč denně. Použití platební karty je založeno na principu Check – in (nástup) a Check – out (výstup) [9].

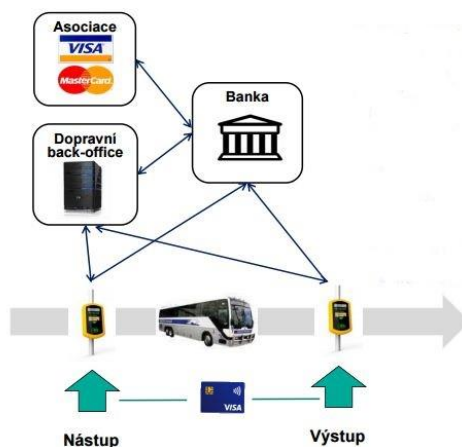
Tento proces je znázorněn a vysvětlen na následujícím obrázku.



Obrázek 13: Proces odbavení v MHD Ostrava

Zdroj: [9]

Terminál pro odbavení cestujících je zpravidla u každých dveří do vozidla městské hromadné dopravy. U širokých dveří jsou vždy dva terminály, aby bylo zajištěno co nejlepší a nejpohodlnější odbavení cestujících. Odbavení cestující zajišťují validátory od firmy Mikroelektronika Vega CVB, které akceptují kartu ODIS i bezkontaktní EMV platební karty. Proces placení systémem EMV je znázorněn na následujícím obrázku [8].



Obrázek 14: Platba EMV

Zdroj:[8]

Pro cestující je připraveno i webové rozhraní, které držitelům karty umožňuje prohlížet si jednotlivé transakce, které uskutečnili v prostředí veřejné dopravy. Dále je zde i možnost zjistit z jakých položek se zúčtovaná částka skládá, případně si uživatel může zjistit, zda částka na výpisu z účtu odpovídá částce za uskutečněné jízdy. S tím souvisí i daňový doklad, který je možné si vytisknout ke každé elektronické jízdence právě z dříve zmiňovaného webového rozhraní. Přes webové rozhraní je možné podat i reklamaci, aniž by uživatelem musel kamkoliv chodit. Proces reklamace je zde také velice jednoduchý. Stačí zadat pouze transakci, kterou chce uživatel reklamovat, zadat důvod této reklama a odeslat ji ke zpracování. Webové rozhraní není povinnou součástí odbavovacího systému. Jedná se pouze o vhodný doplněk, který má uživateli zpříjemnit a zjednodušit pod procesy, které souvisejí s jeho odbavením v prostředí městské hromadné dopravy. Webové prostředí není tedy nijak vázáno na samostatný proces odbavení, proto lze platit kartou i bez registrace [9],[8].

Přepavní kontrola cestujících probíhá pomocí validátorů, které jsou nainstalovány ve vozidle a po dobu kontroly přepnuty do režimu revize. Poté stačí přiložit příslušnou platební kartu a na obrazovce validátoru se revizorovi zobrazí historii plateb příslušné karty. Revizor může být také vybaven kontrolním přenosným zařízením, na které, si po vstupu do vozidla nahraje z libovolného validátoru, pomocí NFC komunikace, seznam všech přiložení karet k validátoru, které ve vozidle proběhly [8].

Odbavovací systém je navržen s ohledem na bezpečnost a ochranu osobních údajů. Komunikace s bankou je šifrována. Back-office neshromačňuje, neuchovává ani nezpracovává žádné osobní údaje o cestujících. Ani při registraci do webového rozhraní nejsou vyžadovány žádné osobní údaje. Žádný z cestujících nemá nikde uvedené své jméno ani celé číslo jeho bankovní karty. Systém pracuje s jeho zašifrovanou podobou, která se nazývá token. K dešifraci tokenu vlastní klíč pouze banka, u které má cestující zřízený bankovní účet. Z toho vyplývá, že ani dopravní back-office neví, jaká čísla bankovních karet se v systému vyskytují. Back-office dopravce má k dispozici pouze prvních 6 a poslední 4 čísla z bankovní karty. Je to například z důvodu vyřizování a řešení reklamací [9],[8].

Ostrava a Moravskoslezský kraj prezentují systém, kde městská i regionální doprava akceptuje platební karty v rámci jednotného řešení. Tím nám ukazují, jaký směrem by se měla ubírat budoucnost české i evropské hromadné dopravy a tím jsou i příkladem do další města a kraje.

4.5 Brněnské řešení

Statutární město Brno, Jihomoravský kraj, KORDIS JMK a Dopravní podnik města Brna od začátku roku zavádějí elektronické odbavování cestujících (EOC) v prostředcích veřejné dopravy, které je zároveň kombinováno s podporou městských funkcí, tak aby se co nejvíce blížili k naplňování konceptu Smart City. V tomto novém systému pro odbavování cestujících mají být využity všechny funkčnosti, které jsou v současné době implementovány či připraveny k implementaci v dalších městech a krajích ČR. Město Brno k této novelizaci v oblasti odbavování cestujících přistoupilo především z následujících důvodů [7]:

- Cestující mají možnost využít platební kartu, kterou již většina každodenně využívá (ČR je mezi předními zeměmi v EU v užívání platebních karet).
- Cestující po ověření údajů či nároků na slevu si kupóny nakupují pomocí e-shopu a nemusí navštěvovat předprodejní místa.
- Systém je bezpečný – splňuje podmínky bankovních standardů.
- Systém bude postupně rozšiřován do IDS JMK.

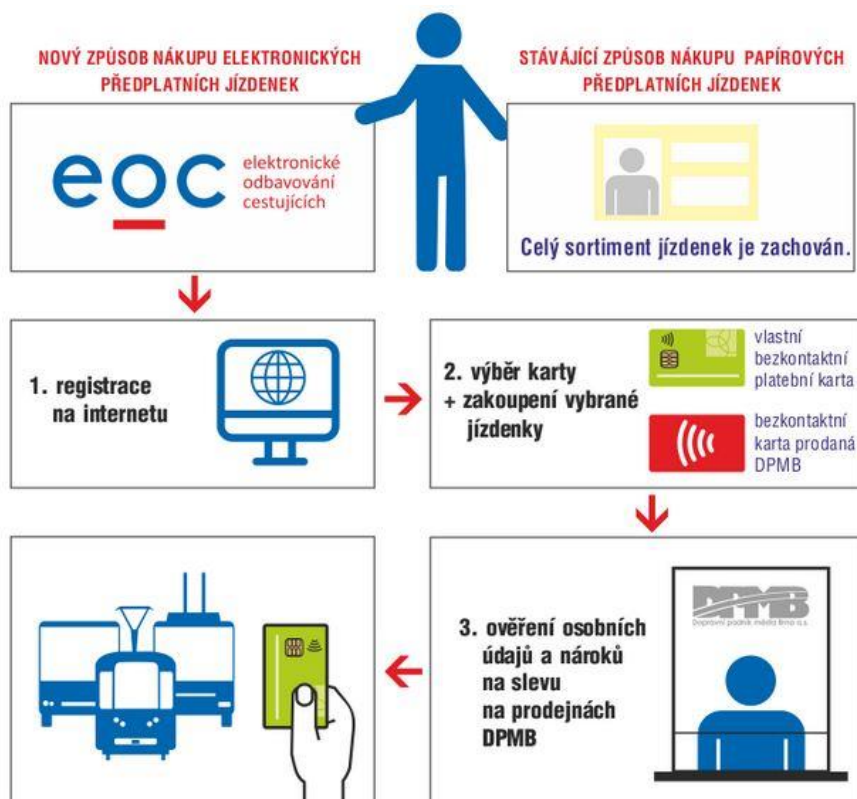
Dle požadavků zadavatele je EOC rozděleno do třech fází. Fáze jsou označeny jako Fáze 1, Fáze 2 a Fáze 3. Vzhledem k tomu, že Fáze 1 byla spuštěna 1. 1. 2017, tak jí i práci bude věnována největší pozornost z důvodu, že se jedná o již fungující systém.

Fáze 1 – Předplacení jízdenky na území Brna

Tato fáze se týká pouze cestujících na území statutárního města Brna, a to jak pro DPMB, tak i pro ostatní dopravce, kteří vykonávají přepravní úkony na jeho území. V rámci této fáze budou předplacené jízdenky zahrnovat pouze některé zóny (100+101). V této fázi budou cestujícím umožněny následující úkony [6]:

- vytvoření účtu a jeho správa prostřednictvím webové aplikace;
- možnost registrace v modulu DPMB nosiče bezkontaktní platební kartou nebo provozovatelskou kartou;
- nakoupit předplacené nepřenositelné a přenosné jízdenky v modulu DPMB a provést za ně úhradu;
- ověřit si osobní údaje na místě zadavatele.

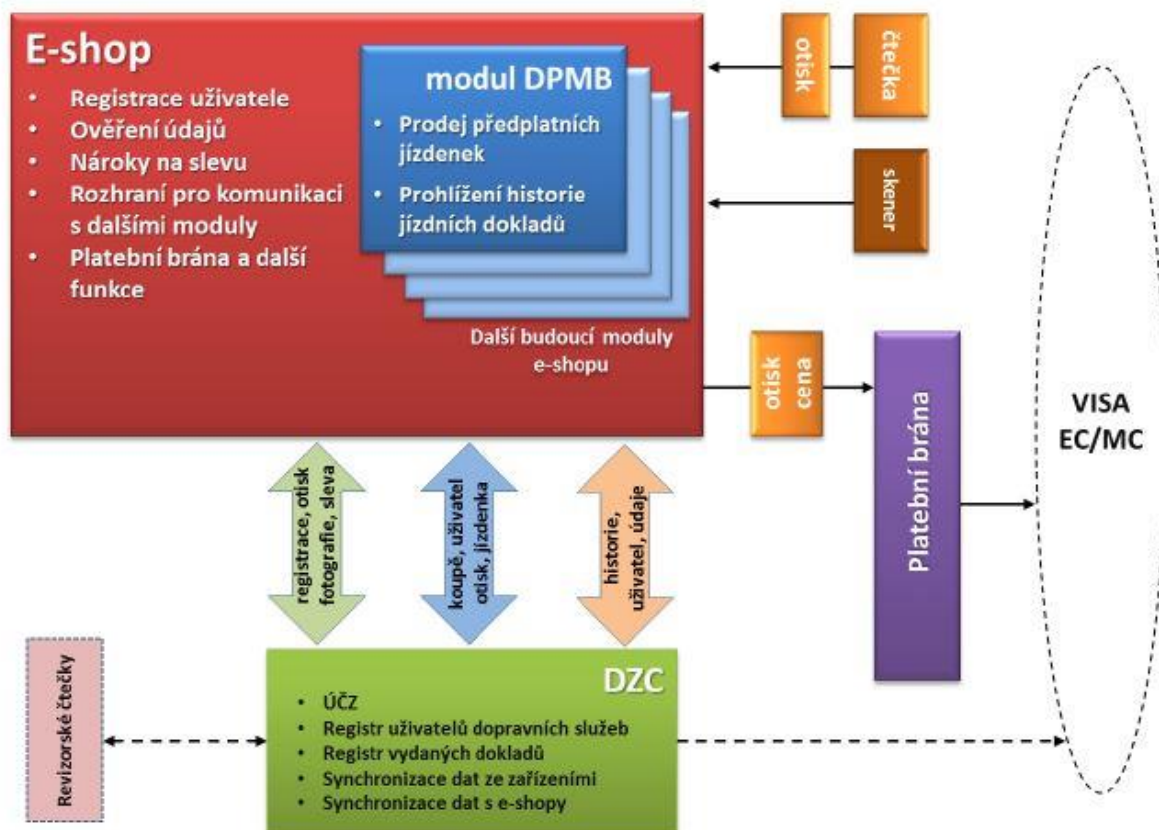
Na následujícím obrázku je znázorněn nový způsob elektronických předplatných jízdenek. Na obrázku je také znázorněno, že všechny stávající způsoby nákupu papírových jízdenek, jsou zachovány [6],[7].



Obrázek 15: EOC Brno - Fáze 1

Zdroj: [7]

U regionálních dopravců bude probíhat odbavení cestujících pomocí QR kódů. Tyto kódy budou cestujícímu zaslány s každou zakoupenou jízdenkou. QR kódy budou sloužit, jako nosič tam, kde prozatím revize jízdního dokladu nebude realizována pomocí bankovních čteček karet. Obsahem QR kódy je token nahlášeného nosiče jízdenky. Po ukončení fáze 1 musí být e-shop připraven na instalace doplňkových modulů. Primárním cílem fáze je tvorba e-shopu a modulu DPMB a vyřešení komunikace se všemi ostatními prvky. Tyto prvky a shrnutí všech dalších aktiv ve fázi 1 je zobrazeno na následujícím obrázku [7].



Obrázek 16: Grafické shrnutí fáze 1

Zdroj:[6]

Fáze 2 – Jednorázové jízdenky na území města Brna

V druhé fázi bude možno pořizovat jednorázové jízdenky ve vozidlech dopravního podniku pomocí bezkontaktní platební karty. Cestující budou mít možnost zakoupit jednorázovou jízdenku jenom pomocí přiložení bezkontaktní platební karty k validátoru ve vozidle veřejné dopravy. Zaplacená jízdenka bude přiřazena příslušné platební kartě. Systém výpočtu jízdného bude velice podobný systému odbavení cestujících v ostravské veřejné dopravě. Výsledná cena jízdenky zakoupené v brněnské veřejné dopravě bude vyhodnocena až na konci dne v dopravním zúčtovacím centru v závislosti na historii realizovaných cest principem nejlepší možné ceny. Cena jízdenky bude tedy zaúčtována jednou platební transakcí za jeden služební den. Součástí tohoto systému odbavení je i kontrola nepřekročení maximálního denního limitu jízdného. Jako tomu bylo i u ostravského odbavovacího systému, tak bude zajištěné rychlé a snadné odbavení cestujících ve vozidle [6].

V případě současného nákupu dlouhodobých předplacených a jednorázových jízdenek ke kartě budou primárně upřednostňovány dlouhodobé předplacené jízdenky. Pokud bude k platební kartě přidělena platná dlouhodobá jízdenka pro určité zóny a cestující přesto kartu ve vozidle označí, tak tato jízda bude uvedena v seznamu jízd, ale jízdné bude nulové. Ve fázi

2 se bude o data o jízdenkách primárně starat dopravní zúčtovací centrum. Nicméně i při platbách bezkontaktní platební kartou budou zachovány i alternativní možnosti pro odbavení cestujících. Jedná se o SMS jízdenky a aplikace SEJF a POSEIDON. Systém odbavení cestujících pomocí bezkontaktních platebních karet nebude nijak zasahovat ani ovlivňovat tyto systémy odbavení [6].

Fáze 3

Fáze při je dlouhodobý výhled na možnost odbavování cestujících v Jihomoravském kraji. Pořízení jednorázových jízdenek a současně dlouhodobých předplacených jízdenek bude možné využívat ve všech vozidlech IDS JMK (včetně vlakových dopravců). V této fázi se plánuje od úplného opuštění od QR kódů. Výhledově tento systém už nebude potřeba [7].

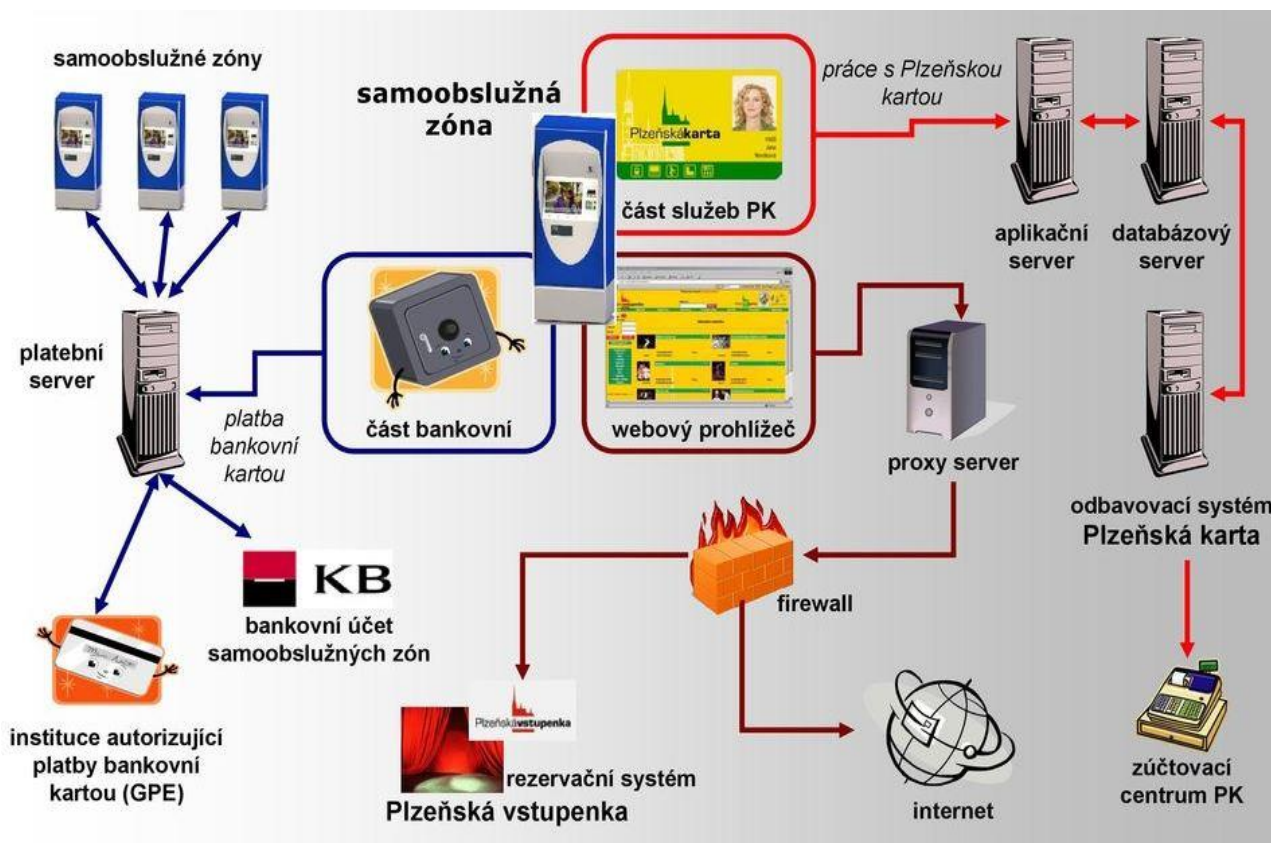
4.6 Plzeňské řešení

Od dubna roku 2015 mají cestující plzeňské městské hromadné dopravy možnost bezkontaktního odbavení ve všech prostředcích místní veřejné dopravy. Jde zejména o možnost zakoupení papírové jízdenky přímo ve vozidle pomocí bezkontaktní platební karty. V současné době se tak jedná o jediné město na území České republiky, které má 100% veřejné dopravy tímto odbavovacím systémem. Vozidla jsou vybavena vždy jedním zařízením, které pracuje nejen s bezkontaktní platební kartou, ale i se všemi verzemi Plzeňské karty. Bezkontaktní karta bude tedy sloužit, jako doplnění ke stávajícím systémům (papírové jízdenky, SMS jízdenky, jízdenky u řidiče a Plzeňskou kartu). Dopravní podnik zavedl tuto novinkou především z důvodu, že v současné době je vzrůstající trend v platbách pomocí bezkontaktních platebních karet [36].

Bankovní institucí, která spolupracuje na řešení tohoto odbavovacího systému, je opět ČSOB. Odbavovací systém je k dispozici cestujícím, kteří vlastní kartu MasterCard nebo Visa. Použití je jednoduché a zároveň zvyšuje komfort cestujících. Nákup jízdenky je velice podobný klasickému nákupu. Cestující si nejdříve zvolí druh jízdného a na výzvu přiloží bezkontaktní platební kartu nebo Plzeňskou kartu k označenému místu. Po přijetí transakce je cestujícímu vystavena jízdenka. Zúčtování za nakoupené jízdenky probíhá jednou za tři dny (přesně od prvního nákupu jízdenky). Tento systém umožňuje i vyřešit problém zajistit jízdenky i více cestujícím. Což se proti ostatním systémům může stát důležitou výhodou [58],[36].

Zabezpečení informací probíhá stejným způsobem, jako tomu bylo u předchozích dvou systémů. Znamená to tedy, že systém pracuje pouze s tzv. tokenem. Kontrola jízdních dokladů

probíhá podle klasického scénáře. V případě placení bezkontaktní platební kartou nebo plzeňskou kartou je cestujícímu vytištěna jízdenka, kterou následně předkládá při kontrole revizorem. Dopravní podnik disponuje i webovým rozhraním, které slouží především pro uživatele Plzeňské karty. Další webové rozhraní, které by se týkalo odbavení pomocí platebních karet, zde není. O technické řešení se zasloužila firma Mikroelektronika, která byla je dodavatel všech validátorů. Na následujícím obrázku je znázorněno schéma plzeňského odbavovacího systému [36].



Obrázek 17: Schéma odbavovacího systému v Plzni

Zdroj:[58]

Jak je možné vidět ze schématu, tak systém se skládá celkem ze tří částí. Jedna z částí odbavovacího systému se týká odbavení cestujících pomocí plzeňské karty. O administraci celé této části systému se stará dopravní podnik Plzeň. Další částí je webové rozhraní v podobě webového prohlížeče, které prozatím slouží pouze pro uživatele Plzeňské karty. Třetí částí systému je část bankovní, která slouží k odbavení pomocí bezkontaktních platebních karet. Bankovní institucí, která je zapojena v tomto projektu je Komerční banka. Jak je také vidět, tak celý systém disponuje i několika samoobslužnými zónami, kde si cestující mohou zakoupit jízdenku do veřejné dopravy [58]. Uživatelé Plzeňské karty mohou

díky těmto zónám využít i dalších služeb, jako jsou například rezervace na kulturní akce, rezervaci dlouhodobého jízdného a dalších. Výhodou samoobslužných zón je i to, že jsou v provozu 24 hodin denně 7 dní v týdnu. Další nespornou výhodou je i to, že cestující nebo uživatel plzeňské karty nemusí docházet do kamenné prodejny, ale stačí mu pouze samoobslužný automat.

4.7 Výběr nejvhodnějšího odbavovacího systému na základě metod vícekritériálního rozhodování

Z popisu jednotlivých odbavovacích systémů ve třech městech ČR je zřejmé, že každý sebou nese určitá specifika. Město Pardubice, které je zapojeno v koncepci Smart City se také velice zajímá o modernizaci svého současného odbavovacího systému. Podle dostupných informací se s modernizací odbavovacího systému počítá už na rok 2018. Z tohoto důvodu může být zhodnocení současných nejmodernějších odbavovacích systémů v ČR přínosné i pro město Pardubice. Na základě metodiky pro výběr nejvhodnější moderní telematické technologie [31] a také na základě častých konzultací s odborníky z daného oboru a odborníky na problematiku smart city byla, definována kritéria podle kterých budou jednotlivé systémy odbavení hodnoceny. Každé z těchto kritérií v sobě zahrnuje i jednotlivá subkritéria, která ho charakterizují. Jednotlivá kritéria jsou zobrazeny v následující tabulce.

Tabulka 2: Kritéria

Kritérium	
K1	Jednoduchost odbavení
K2	Bezpečnost informací
K3	Rychlost odbavení
K4	Dodržení předepsaných norem
K5	Provozní bezpečnost
K6	Otevřenost systému
K7	Modularita systému
K8	Komplexnost systému
K9	Finanční úspora

zdroj: vlastní zpracování

4.7.1 Popis kritérií

Jak je možné vidět z předcházející tabulky, tak bylo definováno celkem 9 kritérií. Na základě těchto kritérií bude rozhodnuto o nejvhodnějším odbavovacím systému. Jednotlivá kritéria obsahují subkritéria, která budou podrobněji popsány v této podkapitole.

Jednoduchost odbavení

Toto kritérium se primárně zaměřené na to, jak dlouhý čas cestující stráví zakoupením jízdenky. Některé odbavovací systémy umožňují výběr hned z několika tarifů a u jiných je odbavení založeno pouze na Check – in a Check – out systému. Přehled všech subkritérií je v následující tabulce. Jak můžeme vidět z následující tabulky, tak mezi subkritéria patří i výběr tarifu jízdného. Kritérium a jeho subkritéria jsou uvedena v následující tabulce.

Tabulka 3: Kritérium - Jednoduchost odbavení

K1 - Jednoduchost odbavení
1.1 Výběr tarifu jízdného
1.2 Možnost bezkontaktního odbavení
1.3 Nepovinnost výběru tarifní zóny
1.4 Výběr tarifu pro více cestujících

Zdroj: vlastní zpracování

Bezpečnost informací

Jedná se o kritérium, které je v současné době velice aktuální. Pokud jde o bezkontaktní odbavení pomocí platební karty, tak si uživatel musí být jistý, že jeho informace nebudou zneužity. Z toho důvodu do toho kritéria patří subkritéria jako je tokenizace, šifrování, a využití šifrovacích modulů. Primárně se jedná o dva moduly. Jedním je hardwarový bezpečnostní modul (HSM) a druhým je modul, který slouží k bezpečnému přístupu do sítě (SAM). Všechny subkritéria jsou uvedena v následující tabulce.

Tabulka 4: Kritérium: Bezpečnost informací

K2 - Bezpečnost informací
2.1 Šifrovaná komunikace (VPN, SSL)
2.2 Využití tokenu
2.3 Využití HSM modulu
2.4 Využití SAM modulu

Zdroj: vlastní zpracování

Rychlost odbavení

Rychlost odbavení je kritérium, které především souvisí s podporou rychlých transakcí v rámci bezkontaktních plateb. Po konzultaci s odborníky z daného oboru byla maximální doba přijetí transakce stanovena na 3s. Dalším subkritériem je i intuitivní navigace ovládání ve validátorech, tak aby cestujícímu bylo umožněno co nejrychleji zvolit vhodný tarif jízdného.

Tabulka 5: Kritérium - Rychlost odbavení

K3 - Rychlost odbavení
3.1 Přijetí transakce (max. 3s)
3.2 Intuitivní navigace ovládání validátoru

Zdroj: vlastní zpracování

Dodržení předepsaných norem

Samozřejmostí při instalaci každého systému je nutnost dodržet všechny předepsané normy, které s touto změnou souvisejí. Toto kritérium by se na první pohled mohlo zdát, jako zbytečné nebo samozřejmé, ale po několika konzultacích s odborníky bylo doporučeno toto kritérium ponechat. Jako subkritéria jsou zde uvedeny základní normy a standardy, které musí být dodrženy při zavádění nového odbavovacího systému. Mezi subkritérii jsou jak nařízení vlády, normy tak i mezinárodně uznávané standardy. Přehled těchto subkritérií je uveden v následující tabulce.

Tabulka 6: Kritérium: Dodržení předepsaných norem

K4 - Dodržení předepsaných norem
4.1 Norma ISO 14443
4.2 Nařízení vlády č. 295/2010 Sb. (1. Příloha)
4.3 Nařízení vlády č. 295/2010 Sb. (2. Příloha)
4.4 Zákona č.101/2000Sb.
4.5 Standart PCI DSS

Zdroj: vlastní zpracování

Provozní spolehlivost

Toto kritérium se týká především vysoké spolehlivosti jednotlivých komponent odbavovacího systému a jejich údržby. Dále je zde zahrnuta i odolnost vůči povětrnostním vlivům a vandalizmu.

Tabulka 7: Kritérium: Provozní spolehlivost

K5 - Provozní spolehlivost
5.1 Snadnost údržby
5.2 Odolnost vůči vnějším vlivům
5.3 Odolnost vůči vandalizmu

Zdroj: vlastní zpracování

Otevřenost systému

Toto kritérium se skládá celkem ze dvou subkritérií, které se řeší, zda je u odbavovacího systému možnost online sledování plateb a zobrazení historie plateb.

Tabulka 8: Kritérium: Otevřenost systému

K6 - Otevřenost systému
3.1 Zobrazení historie plateb
3.2 Online sledování plateb

Zdroj: vlastní zpracování

Modularita systému

Jedná se o možnost postupného přidávání, upravování nebo odebrání jednotlivých složek a libovolné kombinování jednotlivých zařízení dle potřeby a možností. Dále je zde i zahrnuta možnost webové prohlížeče nebo mobilní aplikace sloužící k placení jízdného.

Tabulka 9: Kritérium: Modularita systému

K7 – Modularita systému
7.1 Implementace doplňujících modulů
7.2 Webové rozhraní
7.3 Mobilní aplikace

Zdroj: vlastní zpracování

Komplexnost systému

V trendu koncepce Smart city jde především o komplexnost jednotlivých řešení. To je i jeden z důvodů, proč je komplexnost systému zahrnuta mezi kritérii. Je důležité mít možnost odbavovací systém rozšířit o systémy informační a telematické; (palubní počítače, satelitní sledování vozidel GPS, elektronické informační panely, systémy sledující obsazenost vozidla, digitální hlásič zastávek, akustický systém pro orientaci nevidomých). Všechny tyto subkritéria jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 10: Kritérium: Komplexnost systému

K8 - Komplexnost systému
8.1 Informační systémy
8.2 Telematické systémy
8.3 GPS
8.4 Obsazenost vozidla
8.5 Elektronické informační panely
8.6 Systémy pro nevidomé cestující
8.7 Digitální hlásiče zastávek

Zdroj: vlastní zpracování

Finanční úspora

Jedná se o rozhodující faktor pro efektivní správu a údržbu systému, společně s návrhem tarifního systému působí na brzkou návratnost investice. Jednotlivá subkritéria jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 11: Kritérium - Finanční úspora

K9 - Finanční úspora
9.1 Snížení nákladů na papírové jízdenky
9.2 Menší frekvence servisních prohlídek

Zdroj: vlastní zpracování

4.7.2 Stanovení vah jednotlivých kritérií hodnocení

Dalším krokem je stanovení váhy jednotlivých kritérií hodnocení. Váhy jednotlivých kritérií hodnocení vyjadřují číselně jejich význam neboli důležitost z hlediska jednotlivých hodnocení od expertů z dané oblasti. Váhy byly vypočteny na základě preferenčního pořadí, které stanovili hodnotitelé (experti) na základě dostupných informací a svých zkušeností. Hodnotící škála byla stanovena v intervalu <1;5>. Kdy hodnocení 1 znamená nejméně důležité a naopak hodnocení 5 znamená nejvíce důležité. Matici hodnocení od hodnotitelů (H) je uvedena v následující tabulce.

Tabulka 12: Expertní hodnocení kritérií

Kritéria	Hodnotitelé				
	H1	H2	H3	H4	H5
K1 – Jednoduchost odbavení	5	4	4	5	5
K2 – Bezpečnost odbavení	4	5	5	5	5
K3 – Rychlost odbavení	3	4	5	5	4
K4 – Dodržení před. norem	3	4	1	4	3
K5 – Provozní spolehlivost	2	3	4	1	3
K6 – Otevřenost systému	5	4	2	3	2
K7 – Provozní spolehlivost	3	3	3	4	5
K8 – Komplexnost systému	5	5	3	3	3
K9 – Finanční úspora	4	4	4	3	2

Zdroj: vlastní zpracování

K určení pořadí (p_i) jednotlivých kritérií, která budou nutná k dalším výpočtům byly využity celkem 2 metody. První byla metoda expertního ohodnocení a druhou byla metoda párového porovnání (Fullerova metoda).

Metoda expertního ohodnocení

Metodě expertního ohodnocení si vystačí pouze s ordinální informací o ohodnocení kritérií podle stupně důležitosti. Kritériím se přiřadí hodnota $b, b-1, b-2, \dots, 2, 1$. Nejdůležitějšímu kritériu přiřadíme číslo b , druhému $b-1$, až nejméně důležitému kritériu číslo 1. Všeobecně je i -tému kritériu přiřazeno přirozené číslo b_i . Váhu i -tého kritéria vypočteme na základě metody pořadí podle následujícího vztahu [20].

$$v_i = \frac{b_i}{\sum_{i=1}^k b_i}, \quad (1)$$

$$i = 1, 2, \dots, k$$

V následující tabulce je uvedeno konečné pořadí kritérií podle metody expertního ohodnocení. Všechny podrobné informace a vypočtené váhy (v_i) podle, kterých bylo určeno výsledné pořadí, jsou k nalezení v *Příloha A*. Jednotlivé váhy kritérií jsou vypočítané pomocí průměru za všechny hodnotitele. Využití průměrné hodnoty vah kritérií za všechny hodnotitele ve využití na základě [31]. Zjištěné váhy kritérií jsou ve většině případů ovlivněny buďto vlivem použité metody nebo subjektem, který váhy kritérií pomocí určité metody stanovuje.

Tabulka 13: Pořadí kritérií – expertního ohodnocení

p_i	Kritérium
1.	K2 - Bezpečnost informací
2.	K1 - Jednoduchost odbavení
3.	K3 – Rychlost odbavení
4.	K8 – Komplexnost systému
5.	K7 – Provozní spolehlivost
6.	K9 – Finanční úspora
7.	K6 – Otevřenost systému
8.	K4 – Dodržení předepsaných norem
9.	K5 – Provozní spolehlivost

Zdroj: vlastní zpracování

Metoda párového porovnání

Základním principem metody párového porovnání je zjišťování preferenčních vztahů dvojic kritérií. Pro vyjádření preferencí se využívá tzv. Fullerův trojúhelník, proto je metoda někdy označována jako Fullerova metoda párového porovnání. V nejjednodušší modifikaci metody párového porovnání se pro každé kritérium zjišťuje počet jeho preferencí vzhledem ke všem ostatním kritériím souboru. V trojúhelníkové matici rozhodovatel u každé dvojice kritérií zjišťuje, zda preferuje kritérium uvedené v řádku před kritériem uvedeným ve sloupci. V případě preference označí hodnotu 1, v opačném případě 0. Na základě počtu preferencí jednotlivých kritérií se jejich normované váhy (v_i) stanoví podle následujícího vztahu [20].

$$v_i = \frac{f_i}{m(m-1)/2} \quad (2)$$

f_i – počet preferencí i -tého kritéria (jde o součet 1 v řádku a 0 ve sloupci pro příslušné kritérium).

m – je počet kritérií a $m(m-1)/2$ je počet uskutečněných porovnání kritérií.

V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty preferencí f_i , podle kterých bylo stanoveno pořadí pomocí metody párového porovnání.

Tabulka 14: Pořadí kritérií - metoda párového porovnání

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	f_i	v_i
K1		0	1	1	1	1	1	1	1	7	0,1944
K2			1	1	1	1	1	1	1	8	0,2222
K3				1	1	1	1	1	1	6	0,1667
K4					1	0	0	0	0	1	0,0278
K5						0	0	0	0	0	0,0000
K6							0	0	0	2	0,0556
K7								0	1	4	0,1111
K8									1	5	0,1389
K9										3	0,0833

Zdroj: vlastní zpracování

Výsledné pořadí (p_i) jednotlivých kritérií na základě hodnoty preferencí, které bylo zjištěno pomocí metody párového porovnání je uvedeno v následující tabulce.

Tabulka 15: Pořadí kritérií - metoda párového porovnání

p_i	Kritérium
1.	K2 - Bezpečnost informací
2.	K1 - Jednoduchost odbavení
3.	K3 – Rychlost odbavení
4.	K8 – Komplexnost systému
5.	K7 – Provozní spolehlivost
6.	K9 – Finanční úspora
7.	K6 – Otevřenost systému
8.	K4 – Dodržení předepsaných norem
9.	K5 – Provozní spolehlivost

Zdroj: vlastní zpracování

Jak je vidět z předcházející tabulky, tak pořadí kritérií vytvořené pomocí metody párového porovnání je stejném jako u metody expertního ohodnocení. Lze tedy konstatovat, že obě metody potvrdili toto pořadí kritérií a lze ho využít pro další výpočty.

Pro stanovení nenormované váhy se využívá následující vztah [31]:

$$k_i = n + 1 - p_i \quad (3)$$

k_i – nenormovaná váha i-tého kritéria

n – počet kritérií

p_i – pořadí i-tého kritéria v jeho preferenčním uspořádání

Normování vah se provádí pomocí následujícího vztahu [31] :

$$v_i = \frac{k_i}{\sum_{i=1}^n k_i} \quad (4)$$

- v_i – normovaná váha i-tého kritéria
 k_i – nenormovaná váha i-tého kritéria
 n – počet kritérií

Následující tabulka zobrazuje průměrné hodnoty váhy jednotlivých kritérií hodnocení. Tyto hodnoty jsou počítány, jako průměr za všechny hodnotitele.

Tabulka 16: Průměrné hodnoty váhy jednotlivých kritérií

Kritéria	v_i
K2 - Bezpečnost informací	0,2000
K1 - Jednoduchost odbavení	0,1778
K3 - Rychlost odbavení	0,1556
K8 - Komplexnost systému	0,1333
K7 - Provozní spolehlivost	0,1111
K9 - Finanční úspora	0,0889
K6 - Otevřenost systému	0,0667
K4 - Dodržení předepsaných norem	0,0444
K5 - Provozní spolehlivost	0,0222

Zdroj: vlastní zpracování

Kritéria v předchozí tabulce jsou seřazena od nejvýznamnějšího až po nejméně významné. Jak je vidět, tak jako nejvýznamnějším kritériem je bezpečnost informací. S největší pravděpodobností je to důsledek nezastavitelného růstu moderních technologií a s tím i spojena ochrana osobních údajů. V tomto případě se může jednat o ochranu údajů týkající se financí daného jedince. Právě toto může být jeden z důvodů, proč toto kritérium bylo vypočteno jako nejdůležitější.

4.7.3 Dílčí hodnocení jednotlivých alternativ

Všichni experti z dané oblasti byli podrobně seznámeni s jednotlivými alternativy odbavovacích systém (Ostrava, Brno, Plzeň) a na základě svých odborných znalostí a zkušeností hodnotili tyto alternativy pomocí jednotlivých kritérií. Hodnotící stupnice byla

$i \in \langle 1;5 \rangle$ kdy hodnota 1 znamenala nejmenší hodnotu užítku a hodnota 5 znamenala největší hodnotu užítku. Pro další potřeby výpočtu byly tyto hodnoty převedeny do intervalu $u_i \in \langle 0;1 \rangle$ na základě [31]. Hodnoty užítků jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 17: Převedené hodnoty ohodnocení na hodnotu užítku u_i

i	u_i
1	0
2	0,25
3	0,5
4	0,75
5	1

Zdroj: vlastní zpracování

Jednotliví hodnotitelé přiřazují každé alternativě hodnotu užítku, která je vyjádřena reálným číslem. Čím je toto číslo větší, tím více hodnotitel danou alternativu preferuje. V následující tabulce jsou uvedeny průměrné hodnoty (užitky) kritérií hodnocení, přiřazené hodnoceným alternativám.

Tabulka 18: Průměrné hodnoty užítku u_i pro jednotlivé alternativy

Kritéria	Alternativy		
	Ostrava	Brno	Plzeň
K1 - Jednoduchost odbavení	0,95	0,8	0,77
K2 - Bezpečnost informací	0,85	0,85	0,75
K3 - Rychlost odbavení	0,95	0,55	0,55
K4 - Dodržení předepsaných norem	0,85	0,8	0,9
K5 - Provozní bezpečnost	0,7	0,75	0,7
K6 - Otevřenost systému	0,5	0,55	0,7
K7 - Modularita systému	0,75	0,65	0,65
K8 - Komplexnost systému	0,8	0,9	0,8
K9 - Finanční úspora	0,6	0,55	0,7

Zdroj: vlastní zpracování

4.7.4 Vícekritériální hodnocení alternativ

Pokud známe dílčí funkce užítků a váhy jednotlivých alternativ, lze pro všechny tyto hodnotitele získat dílčí užitek j -té alternativy. Poté je možné vypočítat celkový užitek j -té alternativy jako vážený součet těchto dílčích užítků. Hodnoty užítků pro jednotlivé alternativy odbavovacích systémů ($j = 1, 2, 3$) lze vypočítat pro zvolená kritéria ($i = 1, 2, \dots, 9$), prostřednictvím následujícího vztahu [31]:

$$U_j = \sum_{i=1}^n u_i(x_{i,j}) * v_{i,k} \quad (5)$$

U_j – celkový užitek j-té alternativy

$u_i(x_{i,j})$ – dílčí užitek i-tého kritéria j-té alternativy

$v_{i,k}$ – váha či míra relativní důležitosti i-tého kritéria z hlediska k-tého hodnotitele

n – počet kritérií hodnocení

q – počet hodnotitelů

Vyhodnocení metody je uvedeno v následující tabulce.

Tabulka 19: Průměrné hodnocení alternativ podle U_j

Kritéria	Alternativy		
	Ostrava	Brno	Plzeň
K1 - Jednoduchost odbavení	0,1689	0,1422	0,1244
K2 - Bezpečnost informací	0,1700	0,1700	0,1500
K3 - Rychlost odbavení	0,1478	0,0856	0,0856
K4 - Dodržení předepsaných	0,0378	0,0356	0,0400
K5 - Provozní bezpečnost	0,0156	0,0167	0,0156
K6 - Otevřenost systému	0,0333	0,0367	0,0467
K7 - Modularita systému	0,0833	0,0722	0,0722
K8 - Komplexnost systému	0,1067	0,1200	0,1067
K9 - Finanční úspora	0,0533	0,0489	0,0622
U_j – Celkový užitek alternativ	0,8167	0,7278	0,7033

Zdroj: vlastní zpracování

Ideální alternativa by byla ta, která by dosahovala hodnoty celkového užitku $U_j = 1$. Tato hodnota celkového užitku je nicméně podmíněna tím, že by daná alternativa ve všech hodnotících kritériích dosahovala maximálního užitku ($u_i = 1$). V našem případě taková situace nenastala.

Jak znázorňuje předchozí tabulka, tak nejlepší alternativou s největším celkovým užitekem se stal odbavovací systém cestujících v Ostravě. Následuje odbavovací systém realizovaný v Brně a poté v Plzni. Hodnota celkového užitku pro ostravské řešení viditelně převyšuje

zbylé dvě alternativy. Může to být zapříčiněno tím, že hodnotitelé upřednostňovali především jednoduchost a rychlost toho řešení. Tento rozdíl je vidět i v Tabulce 8, kde tato alternativa v těchto dvou kritériích dosahovala nejvyšších hodnot. Jak již bylo dříve zmíněno, tak v koncepci Smart City jde především o jednoduchost řešení. To ostravský systém odbavení cestujících splňuje dle hodnocení expertů nejlépe ze všech možných alternativ. Důležité je, ale zmínit i to, že mezi jednotlivými hodnotami celkového užitku pro dané alternativy nejsou extrémní rozdíly. To znamená, že ani jeden systém odbavení cestujících není nevhodný a určitě obsahuje i velice dobré vlastnosti a prvky. Dalším neméně důležitým aspektem je to, že se hodnocení zúčastnilo pouze 5 hodnotitelů (expertů). Je pravděpodobné, že s větším počtem hodnotitelů by se hodnoty také měnily hodnoty celkových užiteků a mohlo by dojít ke změně v pořadí jednotlivých alternativ.

Lze tedy konstatovat, že pro zhodnocení navržené metody vícekriteriálního hodnocení alternativ jako nástroje pro výběr vhodného odbavovacího systému jsou výsledky přínosné a vhodné i pro další využití v praxi např. pro města, která se chystají na modernizaci svého současného odbavovacího systému cestujících. Lze tedy říci, že komplexní funkce užitku v relativně jednoduchém tvaru je velmi dobrou aproximací skutečných preferencí subjektů.

4.8 Analytický hierarchický proces

Z pohledu autora, který je zároveň častým cestujícím využívající velice často veřejnou dopravu se rozhodl provést výběr nejvhodnější alternativy pro odbavovací systém podle vlastních preferencí. Vzhledem ke znalostem a zkušenostem autora v oblasti odbavovacích systémů je reálný předpoklad, že jednotlivá kritéria a alternativy budou ohodnoceny objektivně.

Jednoduchou a účinnou metodou pro stanovení priorit v hierarchických vícekriteriálních systémech je metoda AHP (Analytic Hierarchy Process). Při modelování preferencí vychází z posloupnosti párových srovnání vhodně stanovených částí systému.

Řešení metody AHP probíhá v následujících krocích [19]:

Krok 1.

Vytvoření hierarchické struktury cílů, kritérií a rozhodovacích alternativ v několika různých úrovních s rostoucí prioritou až po vrcholovou úroveň. Každá úroveň obsahuje části s podobnými vlastnostmi, které umožňují srovnání.

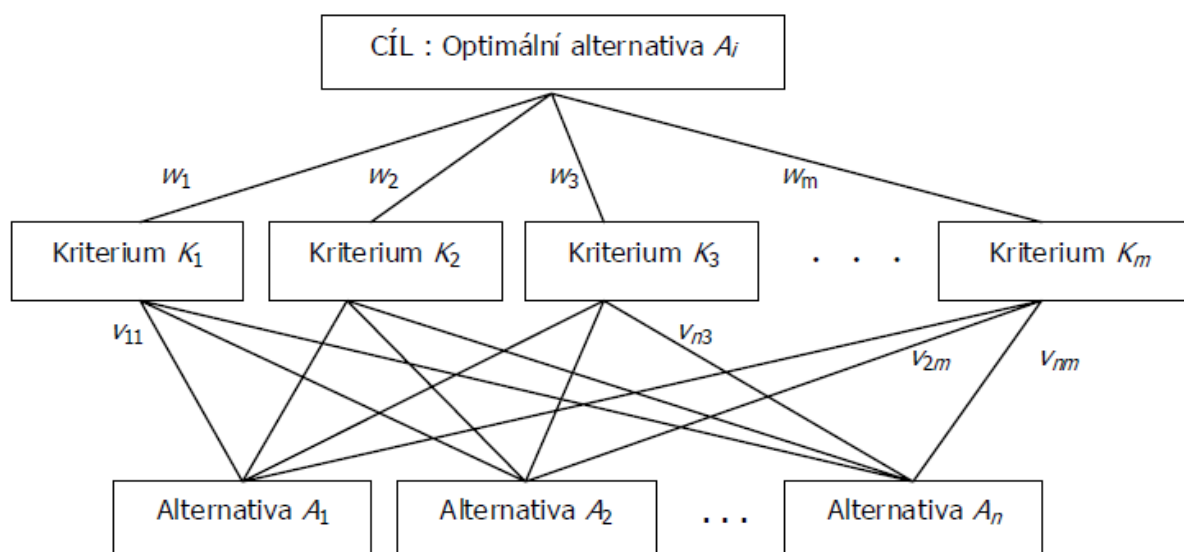
Krok 2.

Na každé úrovni se provádí párové srovnání částí systému. Začátek je na vrcholové úrovni a postupuje se dolů a vytváří se matice párových srovnání, na jejímž základě se odhaduje vektor vah jednotlivých částí.

Krok 3.

Kombinují se odhadnuté váhy jednotlivých částí systému k získání agregovaných vah a vybere se alternativa s největší agregovanou vahou.

Na následujícím schématu je znázorněna obecná hierarchická struktura se třemi úrovněmi.



Obrázek 18: Základní schéma AHP - 3 úrovně

Zdroj:[26]

Na každé úrovni hierarchie se provádí párové srovnání částí systému. V tomto základním schématu jsou v jednotlivých úrovních hierarchie částmi systému cíl, m kritérií, n alternativ. Při vytváření párových srovnání využijeme Saatyho matici $\mathbf{S} = (s_{ij})$, $i, j = 1, 2, \dots, m$ se často nejčastěji využívá stupnice 1, 2, ..., 9, která je využita i níže při porovnání kritérií a alternativ [19].

Prvky matice s_{ij} , jsou interpretovány jako odhady podílu vah i -té a j -té části [19].

$$s_{i,j} \approx \frac{v_i}{v_j} \quad (6)$$

$$i, j = 1, 2, \dots, m$$

Pro prvky matice S platí:

$$s_{i,i} = 1 \quad (7)$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

$$s_{j,i} = \frac{1}{s_{ij}} \quad (8)$$

$$i, j = 1, 2, \dots, m$$

Ve většině případů je používanou metodou pro odhad vah metoda geometrického průměru, která určuje odhady vah, jako normalizovaný geometrický průměr řádku matice S . Geometrický průměr je definován následujícím vztahem [19].

$$r_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^m R_i} = \frac{[\prod_{j=1}^m s_{ij}]^{1/m}}{[\sum_{i=1}^m \prod_{j=1}^m s_{ij}]^{1/m}} \quad (9)$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

Pomocí interaktivního postupu je možno zpřesňovat odhady a zlepšit jejich konzistenci. Uživatelé jsou, předloženy společně prvky matice s_{ij} , na jejichž základě se vypočítají nové odhady vah. Určení vah pomocí kvantitativního párového srovnání je možno použít pro všechny úrovně. Toto párové srovnání a výpočet vah alternativ probíhá stejným způsobem. Označí se $v = (v_1, v_2, \dots, v_k)$ váhy kritérií, které vyjadřují jejich relativní důležitost pro rozhodovatele. Označení $W = (w_{ij})$ matici vah alternativ hodnocených podle jednotlivých kritérií, kde w_{ij} je váha alternativy A_n hodnocené podle kritéria K_m . Potom agregovaná váha alternativy A_n z hlediska všech kritérií vypočte následujícím způsobem [19],[20].

$$A_i = \sum_{j=1}^m v_j * w_{ij} \quad (10)$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

Agregované váhy alternativ představují určitý užitek jako nejlepší alternativa je vybrána alternativa s nejvyšší agregovanou vahou. Případně je možno uspořádat je podle klesajících hodnot agregovaných vah [19].

Výhodou této metody je, že je zde možnost zjistit informace o kvalitě sestavení Saatyho matice. Tuto informaci značí koeficient CR (Consistency Ratio), který značí smysluplnost sestavení Saatyho matice. Zejména v případech, kdy se jedná o párové porovnání kritérií. Obecný požadavek na tento požadavek je $CR < 0,1$. Koeficient CR je definován následujícím způsobem [26],[20]:

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (11)$$

CI (Consistency Index) – konzistenční index

RI (Random Consistency Index) – náhodný konzistenční index

Index CI je pro sestavenou matici S funkcí maximálního vlastního čísla dané matice a počtu kritérií. CI je definován následujícím způsobem [26],[20]:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - m}{(m - 1)} \quad (12)$$

λ_{max} – maximální vlastní číslo matice S

Hodnoty RI jsou pevně definovány. Jednotlivé hodnoty indexu RI jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 20: Hodnoty RI pro m kritérií

Proměnné	Hodnoty									
m	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Zdroj: [25]

4.8.1 Využití metody AHP pro výběr odbavovacího systému

Jak bylo uvedeno v předešlé podkapitole, tak metoda Analytického Hierarchického Procesu (AHP) bude sloužit jako nástroj pro výběr nejvhodnějšího odbavovacího systému z pohledu autora. Pro tento rozhodovací problém je využita metoda AHP - 3. úrovně. Detailní

postup této metody byl popsán v předešlé podkapitole. Kritéria hodnocení jsou totožná s těmi, které byly využity v metodách vícekritériálního hodnocení alternativ avšak s rozdílem, že ohodnocení je založeno na preferencích autora.

V rámci této podkapitoly budou prezentovány pouze dílčí výsledky. Podrobné výpočty jsou k dispozici v příloze *Příloha B*.

Hodnotící stupnice je stanovena v rozmezí 1 až 9, kdy hodnota 9 znamená maximální důležitost a hodnota 1 minimální důležitost. V následující tabulce je uvedena škála hodnocení s vysvětlením významu jednotlivých hodnot na hodnotící škále.

Tabulka 21: Saatyho hodnotící škála

Počet bodů	Deskriptor
1	Kritéria jsou stejně 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
2, 4, 6, 8	Lze je využít k nejmenšímu rozlišení preferencí dvojic kritérií

Zdroj: [20]

Na základě vztahů (6),(7),(8) byla sestavena Saatyho matice pro výpočet vah jednotlivých kritérií. Tento výpočet znázorňuje následující tabulka.

Tabulka 22: Váhy kritérií

	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	r_i	v_i
K1	1	3	2	9	7	4	5	4	7	3,9061	0,3031
K2	1/3	1	1/2	7	4	2	3	2	4	1,8245	0,1416
K3	1/2	2	1	8	6	3	5	3	6	2,8639	0,2222
K4	1/9	1/7	1/8	1	1/2	1/7	1/5	1/7	1/3	0,2227	0,0173
K5	1/7	1/4	1/6	2	1	1/3	1/4	1/4	1/2	0,3681	0,0286
K6	1/4	1/2	1/3	7	3	1	3	1/2	1/4	0,8835	0,0686
K7	1/5	1/3	1/5	5	4	1/3	1	1/3	2	0,7305	0,0567
K8	1/4	1/2	1/3	7	4	2	3	1	4	1,4481	0,1124
K9	1/7	1/4	1/6	3	2	4	1/2	1/4	1	0,6394	0,0496

Zdroj: vlastní zpracování

Na základě vztahů (11),(12) byl pro tuto matici vypočítán index CR , který vypovídá o smysluplnosti a správnosti sestavení Saatyho matice. Jak již dříve bylo zmíněno, tak požadavek je aby $CR < 0,1$. V následující tabulce je uvedena výsledná hodnota indexu CR .

Tabulka 23: Koeficient CR pro matici kritérií

λ_{max}	10,0187
RI	1,45
CI	0,127338
m	9
CR	0,087819

Zdroj: vlastní zpracování

Jak je vidět z předchozí tabulky tak hodnota indexu CR splňuje podmínku $CR < 0,1$. Lze tedy říci, že je matice sestavena správně. Stejný postup byl použit i pro hodnocení jednotlivých alternativ pro jednotlivá kritéria. Dále byl pro všechny matice vypočítat index CR , pro určení správnosti sestavení matice. U všech dílčích matic tento koeficient splňoval předpoklad ($CR < 0,1$). Všechny výpočty je opět možné vidět v příloze *Příloha B*. Na základě těchto výpočtu lze přejít k výpočtu agregované váhy alternativ v závislosti na všech kritériích.

Tento výpočet byl proveden na základě vztahu (10). Výsledky jsou zobrazeny v následující tabulce.

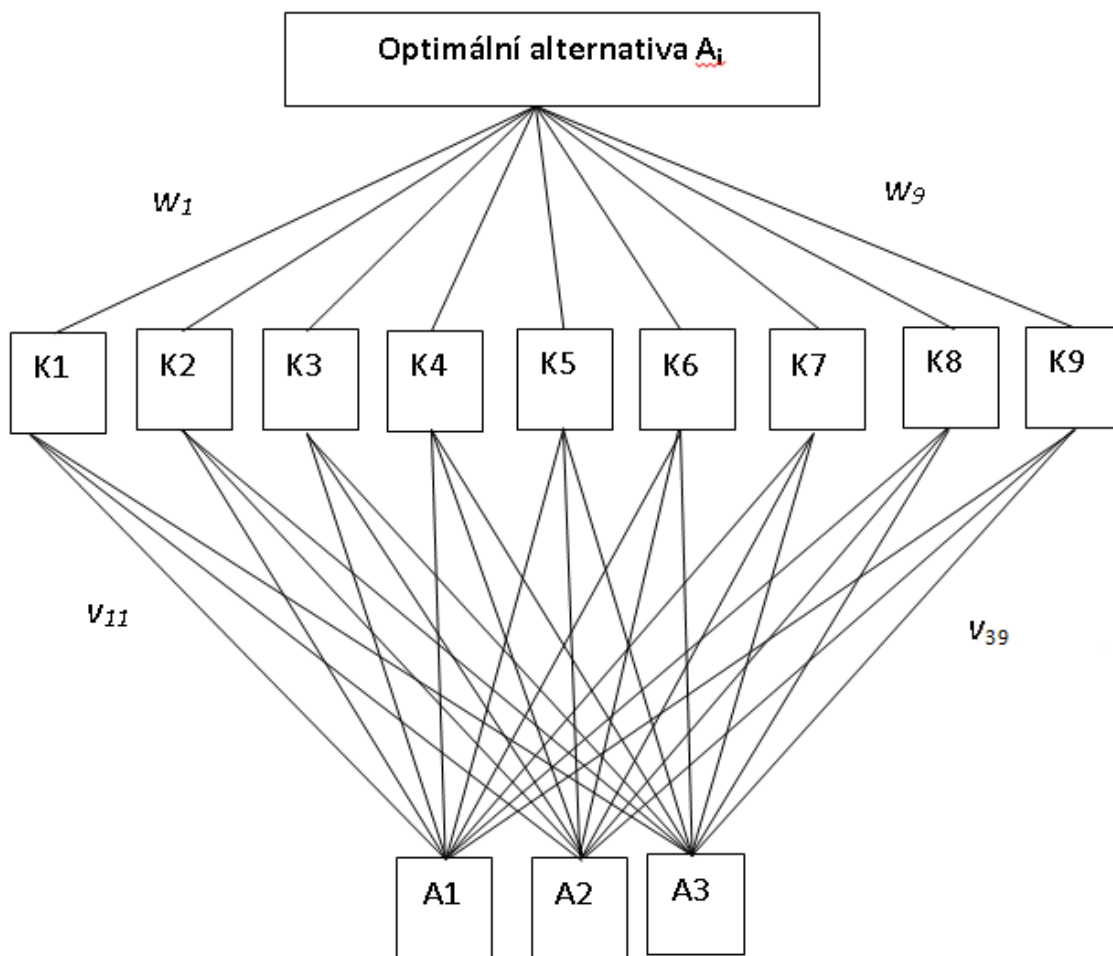
Tabulka 24: Výsledky jednotlivých alternativ

Kritérium		Dílčí hodnocení alternativ		
Název	Váhy	A1	A2	A3
K1	0,3031	0,7258	0,1721	0,1020
K2	0,1416	0,5584	0,3196	0,1220
K3	0,2222	0,6483	0,1220	0,2297
K4	0,0173	0,5396	0,1634	0,2970
K5	0,0286	0,5396	0,2970	0,1634
K6	0,0686	0,7258	0,1721	0,1020
K7	0,0567	0,2684	0,6144	0,1172
K8	0,1124	0,5816	0,1095	0,3090
K9	0,0496	0,7010	0,1929	0,1061
Celkové ohodnocení		0,6330	0,2043	0,1627
Pořadí		1.	2.	3.

Zdroj: vlastní zpracování

Jak je vidět z předcházející tabulky, tak nejvyšší hodnota agregované váhy w_i dosáhla první alternativa v našem případě město Ostrava. Na základě toho výsledku můžeme konstatovat, že město Ostrava se stalo optimální alternativou v tomto rozhodovacím problému. Na druhém místě je město Brno a poslední skončila alternativa odbavovacího systému v městě Plzeň.

Na následujícím obrázku je znázorněn grafický průběh metody AHP.



Obrázek 19: Grafická interpretace AHP

Zdroj: vlastní zpracování

4.8.2 Zhodnocení metod a doporučení pro město Pardubice

V předešlých podkapitolách byly uvedeny celkem tři města v ČR, které se snaží o to, aby jejich veřejná doprava disponovala efektivním a moderním odbavovacím systémem. Při modernizaci stávající odbavovacího systému je velice důležité pozitivně působit na cestující a to především nabídkou jednoduchost v procesu odbavení i cenovým zvýhodněním při přechodu na novou technologii. S tím souvisí i bezpečnost informací u kterých je nutné zajistit datovou ochranu proti neoprávněnému zneužití.

Jak již bylo dříve uvedeno, tak město Pardubice je zapojené do konceptu Smart City v rámci ČR. S tím souvisí i modernizace odbavovacího systému ve veřejné dopravě a tím i docílení dalšího prvku, díky kterému se bude město Pardubice stále víc přibližovat koncepci Smart City. Z dostupných informací je velice pravděpodobné, že se s touto modernizací počítá již v roce 2018 a z pohledu zástupců města a dopravního podniku se jedná o velice aktuální

téma. Proto by část této práce, která se zabývá právě výběrem moderního odbavovacího systému, mohla být přínosná i v budoucnu, kdy se město rozhodne tento systém modernizovat.

V rámci ČR byly tedy analyzovány tři systémy na odbavení cestujících a to v Ostravě, Plzni a Brně. Každý z těchto systémů má svá specifika. Zmíněné odbavovací systémy byly zhodnoceny dvěma metodami. První metoda se zakládala na hodnocení odbavovacích systémů a jejich kritérií pomocí expertního ohodnocení. Toto ohodnocení bylo realizováno 5 hodnotiteli (experty z dané oblasti) a následně vyhodnoceno na základě Metodiky pro výběr nejvhodnější moderní telematické technologie. Výsledek této metody poukazuje, na fakt, že jako nejlepší alternativou byl stanoven odbavovací systém v Ostravě poté v Brně a následně v Plzni. Jako druhá metoda byla použita metoda AHP, které se zakládala pouze na preferencích autora s ohledem na to, že je velice častým cestujícím využívajícím veřejnou dopravu a v průběhu práce nabyl nových informací a zkušeností a dané problematice. Výsledek této metody je možné vidět v předcházející podkapitole. Nejlepší alternativou se opět stal odbavovací systém v Ostravě dále v Brně a poté v Plzni.

S ohledem na výsledky metod vícekritériálního rozhodování by autor chtěl zdůraznit, že ani jeden systém není ve své podstatě špatný, ale pouze jsou zde určitá specifika a vlastní preference, které autor i hodnotitelé zvažili a na základě těchto specifik a preferencí vzniklo konečné pořadí. Z každého systému si další město, které se chystá na modernizaci svého odbavovacího systému, může vzít velice zajímavé poznatky.

S tím souvisí i již výše zmíněná modernizace odbavovacího systému ve městě Pardubice. Dle autorova názoru a dosažených výsledků se odbavovací systém v Ostravě jeví, jako nejlepší inspirace nebo předloha pro implementaci v pardubické veřejné dopravě. Jak je možné vidět z hodnocení jednotlivých kritérií, tak autor preferoval především jednoduchost, která je u ostravského systému jednoznačnou prioritou. Cestující nemusí řešit znalost tarifů jízdného a jednoduše přijde a pomocí své debetní karty zaplatí, za to co přesně projede. Tento systém v sobě může, ale pro některé cestující skýtat velkou nevýhodou v případě, že nevládní debetní kartu. V tomto směru je vhodné zmínit plzeňský systém odbavení, který například papírové jízdenky ponechal a umožňuje platit i platební kartou. Město Brno například disponuje velkou možností rozšiřitelností systému o další prvky (webové, mobilní atd.)

Výběr vhodného odbavovacího systému tedy není jednoduchým úkolem. Podle autorova názoru by nejdříve bylo vhodné vytvořit sociologický průzkum, který by měl za úkol zmapovat preference cestujících, na kterých jim nejvíce záleží. Na základě těchto výsledků by

město mělo zvolit vhodný typ odbavovacího systému a zvážit všechny aspekty, které je nutné zohlednit i z pohledu samostatného města. Jedná se zejména o finanční úsporu, spokojenost cestujících a v neposlední řadě i práci s daty na základě, kterých město můžeme vyhodnocovat a zlepšovat své služby pro obyvatele.

ZÁVĚR

Diplomová práce poskytuje základní informace o pojetí konceptu Smart City. Práce uvádí několik odlišných definic v pojetí smart city. Na různorodosti jednotlivých definic tohoto pojmu je možné vidět, že se v současné době jedná stále o nový termín, který prozatím není jednoznačně definovaný. Práce dále popisuje jednotlivé pilíře smart city a jejich praktické využití ve vybraných městech v rámci Evropy. Jsou zde uvedené praktické příklady, jak z oblasti energetiky, dopravy, tak i využití informačních a komunikačních technologií.

Práce se ve své druhé polovině zaměřuje na odbavovací systémy ve veřejné dopravě, jako jeden z prvků konceptu Smart City. Byly analyzovány celkem tři systémy pro odbavení cestujících, které jsou v současné době realizované na území ČR. Jedná se o odbavovací systémy v Ostravě, Brně, Plzni. Tyto tři města byla vybraná na základě několika konzultací s místními odborníky v oblasti dopravy a problematiky smart city. Díky této spolupráci byl realizovaný výběr optimálního řešení odbavovacího systému na základě několika kritérií, kterými vybrané odbavovací systémy disponují. Po stanovení jednotlivých kritérií a jejich expertního ohodnocení bylo využito metod vícekritériálního rozhodování pro stanovení optimální alternativy. Po výpočtu pomocí těchto metod jsem došel k závěru, že jako optimální alternativa odbavovacího systému se nachází v Ostravě. Je, ale nutné říci, že se prozatím jedná o výsledek, který je založený na subjektivním ohodnocení kritérií, díky kterým byl zjištěn tento výsledek. Jako další byla využita metoda AHP, která ovšem nebyla založena na expertním ohodnocení odborníků, ale pouze na subjektivním pocitu častého cestujícího (autora) využívajícího veřejnou dopravu, který má zároveň znalosti týkající se odbavovacích systémů a problematiky smart city. Na základě metody AHP bylo také určena optimální alternativa, kterou se opět stal odbavovací systém v Ostravě. Je tedy zřejmé, že po zjištění optimální alternativy nastal konsenzus mezi experty v daných oblastech a běžným uživatelem veřejné dopravy.

Inovace odbavovacích systémů ve veřejné dopravě by měla mít vždy své opodstatnění. Implementací nových technologií kvůli novým trendům a postupným inovacím je nutné podpořit vzájemnou spolupráci jednotlivých subjektů. Hlavním úkolem nového odbavovacího systému je přitáhnout nové cestující a zabránit odlivu stávajících uživatelů. Při každé takovéto implementaci, je také velice důležité hledisko ekonomické, které se primárně zaměřuje na úsporu nákladů na provoz a údržbu. Hlavní přínosem těchto systémů by měla být informovanosti o přepravních proudech cestujících sloužící dopravcům k optimalizaci jejich veřejné dopravy, transparentnosti tržeb, nákladů a další. Jednou z překážek, které zde mohou

nastat, jsou pořizovací náklady spojené s touto modernizací. Samozřejmostí je i zajistit bezpečnost využití datových struktur, které jsou v procesu odbavování využity. Všechny tyto aspekty byly zohledněny při výběru optimální alternativy odbavovacího systému. Můžeme tedy říci, že město Ostrava se může stát, jako jeden ze vzorů, jak může být řešeno odbavování cestujících ve veřejné dopravě.

Smart city by mělo být takové město, které využíváním moderních technologií napomáhá městu, obci nebo regionu být především příjemným místem pro život, a tady i pro bydlení, podnikání, s kladnými výsledky v ekonomické oblasti. Ale velice důležité je uvědomit si, že technologie zde nejsou cílem, nýbrž nástrojem. I ta sebechytřejší technologie se chová jen tak chytře nebo naopak hloupě, jak chytře nebo hloupě je využívána obyčejnými lidmi, kteří jí neplánovali, poptali u dodavatelů, nakoupili a implementovali do svých běžných životů. Základem smart city tedy nejsou technologie sami o sobě, ale je to především systém a struktura, s jakými se k jejich využívání přistupuje.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] AUTO NAPŮL. *Auto napul* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <<http://www.autonapul.cz/#page-home>>
- [2] CASTRO Miguel., Anthonio. JARA a Anthonio SKARMETA. *Smart Lighting Solutions for Smart Cities* [online]. [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6550587/>>
- [3] ČVÚT. Elektronika & Inteligentní budovy [online]. [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <https://www.ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/EIBB/EIB3_final%204.pdf>
- [4] ČVÚT. FAKULTA DOPRAVNÍ. *Metodika ověřování interoperability odbavovacích a informačních systémů ve veřejné dopravě* [online]. [cit. 2017-05-30]. Dostupné z: <http://ois.fd.cvut.cz/dokumenty/metodika_overovani_interoperability_ois.pdf>
- [5] DAILY INFOGRAPHIC. *The future of the Internet of things* [online]. [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <<http://www.dailyinfographic.com/the-future-of-the-internet-of-things-infographic>>
- [6] DP MĚSTA BRNO. *Elektronické odbavení cestujících* [online]. [cit. 2017-06-01]. Dostupné z: <<https://smlouvy.gov.cz/smlouva/soubor/485217/SO%2016%20723%203082%20EOC.pdf>>
- [7] DOPRAVNÍ PODNIK MĚSTA BRNO. *Elektronické odbavování cestujících* [online]. [cit. 2017-06-01]. Dostupné z: <<http://dpmb.cz/cs/novinky/117>>
- [8] DOPRAVNÍ PODNIK OSTRAVA. *Cestujeme s bezkontaktní platební kartou* [online]. [cit. 2017-05-30]. Dostupné z: <<https://www.dpo.cz/soubory/aktuality/prirucky/platebni-karty-1.pdf>>
- [9] DOPRAVNÍ PODNIK OSTRAVA. *Když je vaše karta trumpf* [online]. [cit. 2017-05-30]. Dostupné z: <<https://www.dpo.cz/aktuality/o-projektech/1400-trumpf>>
- [10] DOPRAVNÍ PODNIK OSTRAVA. *Zelená firma* [online]. [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <<http://www.dpo.cz/o-spolecnosti/zelena-firma.html>>

- [11] ENDESA. *Smart city Malaga. A model of sustainable energy management for cities of the future* [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <<https://www.endesa.com/content/dam/enel-es/endesa-en/home/prensa/publicaciones/otraspublicaciones/documentos/SMARTCITY%20MALAGA.%20A%20MODEL%20OF%20SUSTAINABLE%20ENERGY%20MANAGEMENT%20FOR%20CITIES%20....pdf>>
- [12] ENTERPRISE BUSINESS. *Smart Grids solutions* [online]. [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <<https://www.business.att.com/enterprise/Service/internet-of-things/smart-cities/iot-smart-grid/>>
- [13] ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT. *Annual Energy Outlook 2016 with projections to 2040* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <[http://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383\(2016\).pdf](http://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/0383(2016).pdf)>
- [14] EPOMM. *Bike sharing* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <http://www.epomm.eu/newsletter/electronic/1012_EPOMM_enews_CZ.pdf>
- [15] EUROPEAN COMMISSION. *2030 Energy Strategy* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <<https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-strategy/2030-energy-strategy>>
- [16] EUROPEAN COMMISSION. *EU energy in figures* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/pocketbook_energy-2016_web-final_final.pdf>
- [17] EUROPEAN COMMISSION. *Transport 2050: Commission outlines ambitious plan to increase mobility and reduce emissions* [online]. [cit. 2017-02-28]. Dostupné z: <http://europa.eu/rapid/press-release_IP-11-372_en.htm>
- [18] EVROPSKÁ KOMISE. *Intelligentní města a obce – Evropské inovační partnerství Charts* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <<http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/3/2012/CS/3-2012-4701-CS-F1-1.PDF>>
- [19] FIALA, Petr. *Modely a metody rozhodování*. Praha: Vysoká škola ekonomická v Praze, Oeconomia, 2008. 292 s. ISBN 978-80-245-1345-4.
- [20] FORT Jiří, DĚDINA Jiří, HRŮZOVÁ Hana, *Manažerské rozhodování*. Praha: Ekopress, 2003. 250 s. ISBN 80-86119-69-6.

- [21] CHYTRÉ MĚSTO. *Bezkontaktní odbavování v MHD* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <<http://www.chytre mesto.cz/katalog-projektu/bezkontaktni-odbavovani-v-mhd>>
- [22] CHYTRÉ MĚSTO. *Bike Sharing Systém* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <<http://www.chytre mesto.cz/katalog-projektu/bike-sharing-system>>
- [23] CHYTRÉ MĚSTO. *Car sharing* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <<http://www.chytre mesto.cz/katalog-projektu/car-sharing>>
- [24] IBM. *Smart Cities* [online]. [cit. 2017-02-28]. Dostupné z: <http://www.ibm.com/smarterplanet/us/en/smarter_cities/overview/>
- [25] KARDI TEKMONO PAGE. *Consistency Index and Consistency Ratio*. [online]. [cit. 2017-06-15]. Dostupné z: <<http://people.revoledu.com/kardi/tutorial/AHP/Consistency.htm>>
- [26] KŘUPKA Jiří, KAŠPAROVÁ Miloslava, MÁCHOVÁ Renáta, *Rozhodovací procesy*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2012. 70s. ISBN 978-80-7395-478-9.
- [27] MASTERCARD. *Platební karty a jejich role ve veřejné dopravě*. [online]. [cit. 2017-06-14]. Dostupné z: <https://newsroom.mastercard.com/eu/files/2017/05/Mastercard_doprava_placen%C3%AD_studie.pdf>
- [28] MICROSOFT. *Creating the Internet of Your Things* [online]. [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <http://download.microsoft.com/download/E/1/F/E1FFDADF-C0FF-4E72-A834-B173A079F393/Microsoft_Internet_of_Things_White_Paper.pdf>
- [29] MMR. *Metodika Konceptu Inteligentních měst* [online]. [cit. 2017-02-22]. Dostupné z: <http://www.strukturalni-fondy.cz/getmedia/9c597c78-8651-43a8-8d94-bc9f19da74c5/TB930MMR001_Metodika-konceptu-Inteligentnich-mest-2015.pdf>
- [30] O ENERGETICE. *Smart region Vrchlabí – první česká chytrá síť* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <<http://oenergetice.cz/elektrina/smart-region-vrchlabi-prvni-ceska-chytra-sit/>>
- [31] OLIVKOVÁ, Ivana. *Metodika pro výběr nejvhodnější moderní telematické technologie. METODIKA uplatnění výsledků výzkumu*. VŠB: Technická Univerzita Ostrava. 2011. [online]. [cit. 2017-06-11]. Dostupné z: <<https://www.cdv.cz/file/teipt-metodika-pro-vyber-nejvhodnejsi-moderni-telematicke-technologie/>>

- [32] OPEN DATA HANDBOOK. *What is Open data?* [online]. [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <<http://opendatahandbook.org/guide/en/what-is-open-data/>>
- [33] OTEVŘENÁ DATA. *Metodika publikace otevřených dat veřejné správy v ČR* [online]. [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <<http://www.otevrenadata.cz/res/data/002/003544.pdf>>
- [34] OUR FINITE WORLD. *World Energy Consumption Since 1820 in Charts* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <<https://ourfiniteworld.com/2012/03/12/world-energy-consumption-since-1820-in-charts/>>
- [35] P+SMART PARKING. *Smart parking* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <<http://my-smartparking.com/en/model1.html>>
- [36] PLZEŇSKÉ MĚSTSKÉ DOPRAVNÍ PODNIKY. *Bezkontaktní platby ve vozidlech PMDP*. [online]. [cit. 2017-06-11]. Dostupné z: <<http://www.pmdp.cz/pro-media/tiskove-zpravy/doc/bezkontaktni-platby-ve-vozech-pmdp-1624/newsitem.htm>>
- [37] RACEM. *Smart four Photo* [online]. [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <<http://racem.org/smart-four.html/smart-four-photo-12>>
- [38] RACONTEUR. *Smart solutions to end city traffic gridlock*. [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <<https://www.raconteur.net/sustainability/smart-solutions-to-end-city-centre-gridlock>>
- [39] ROBOTICS. *Smart dust* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <<https://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust/>>
- [40] SATRAPA, Pavel. *IPv6: Internetový protokol verze 6., aktualiz. a dopl. vyd.* Praha: CZ.NIC, c2011, 407 s. ISBN 978-80-904248-4-5.
- [41] SCIENCE DIRECT. *How to strategize smart cities: Revealing the SMART model* [online]. [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0148296315000387>>
- [42] SERVICE IHNED. *Smart City* [online]. [cit. 2017-02-22]. Dostupné z: <<http://service.ihned.cz/smartcity/>>
- [43] SIEMENS. *A smart grid for Wachtendonk* [online]. [cit. 2017-05-02]. Dostupné z: <<https://www.siemens.com/global/en/home/products/energy/references/stadtwerke-krefeld.html>>
- [44] SIEMENS. *Intelligent search for parking space: Worldwide first projects in Berlin* [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z:

<<https://www.siemens.com/press/pool/de/events/2015/mobility/2015-09-smart-parking/background-parking-space-pilot-project-e.pdf>>

- [45] SLAVÍK, Jakub. *Smart city v praxi*. Praha: Profi Press, 2017. 144 s. ISBN 978-80-86726-80-9
- [46] SMART CITIES AND COMMUNITIES. *Faqs* [online]. [cit. 2017-02-22]. Dostupné z: <https://eu-smartcities.eu/faqs#Smart_Cities>
- [47] SMART CITIES. *Smart Cities, Energetika* [online]. [cit. 2017-03-07]. Dostupné z: <http://scmagazine.s3.amazonaws.com/scmagazine/production/image/2016/02/25/17/48/47/8b84e56c-6d38-4c55-b53a-0171d036c593/scmagazine_16-01.pdf>
- [48] SMART GRID. *What is Smart Grid* [online]. [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <https://www.smartgrid.gov/the_smart_grid/smart_grid.html>
- [49] SMART GRIDS, ČESKÁ TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA. *Národní akční plán pro chytré sítě* [online]. [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <<http://www.smartgridcz.eu/p/download.html>>
- [50] SMART PARKING. *Smart Parking* [online]. [cit. 2017-03-01]. Dostupné z: <<http://www.smart-parking.cz/index.html>>
- [51] STRATEGIC IMPLEMENTATION PLAN. *Market Place of the European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities* [online]. European Commission, 2017 [cit. 2017-02-21]. Dostupné z: <<https://eu-smartcities.eu/sites/all/files/SIP.pdf> >
- [52] SUNLIGHTS FONDATION. *Ten principles for opening up government information* [online]. [cit. 2017-03-14]. Dostupné z: <<https://sunlightfoundation.com/policy/documents/ten-open-data-principles/>>
- [53] SVĚT HARDWARE. *Internet of things* [online]. [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <<http://www.svethardware.cz/internet-of-things-propojena-budoucnost/39560>>
- [54] SVITEK Miroslav, Jakub SLAVÍK a Vladimír ZADINA. *Modrožlutá kniha Smart Písek*. Město Písek, 2015. [online]. [cit. 2017-02-21] Dostupné z: <<http://www.piseckysvet.cz/docs/kauzy/modrozluta-kniha-smart-pisek.pdf>>
- [55] SVITEK Miroslav, SMART CITY EXPO. *Virtuální model chytrého města* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <<https://www.smartcityexpo.cz/prednasky-detail.html>>

- [56] SWISSINFO. *Driverless buses hit the streets of Sion* [online]. [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <http://www.swissinfo.ch/eng/hop-on-board_driverless-buses-hit-the-streets-of-sion/41846698>
- [57] TECHNOPEdia. *Smart Grid* [online]. [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <<https://www.techopedia.com/definition/692/smart-grid>>
- [58] TELEMATIKA. *Samoobslužné odbavení čipových karet* [online]. [cit. 2017-06-11]. Dostupné z: <http://www.telematika.cz/epay/download/11_Chval_PMDP.pdf>
- [59] TRANSPORT FOR LONDON. *Bus operations*. [online]. [cit. 2017-05-03]. Dostupné z: <<https://tfl.gov.uk/info-for/bus-operators/>>
- [60] TRANSPORT FOR LONDON. *DLR* [online]. [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <<https://tfl.gov.uk/modes/dlr/>>
- [61] TZBINFO. *Co je Smart Grid?* [online]. [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <<http://elektro.tzb-info.cz/12544-co-je-smart-grid>>
- [62] TZBINFO. *Šest pozoruhodných faktů světové energetiky roku 2014* [online]. [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <<http://energetika.tzb-info.cz/12869-sest-pozoruhodnych-faktu-svetove-energetiky-roku-2014>>
- [63] ZDROJAK. *Internet of things* [online]. [cit. 2017-03-08]. Dostupné z: <<https://www.zdrojak.cz/clanky/internet-of-things/>>

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha A

Příloha B

PŘÍLOHA A

Kritérium	Hodnotitel 1 (vi)	Hodnotitel 2 (vi)	Hodnotitel 3 (vi)	Hodnotitel 4 (vi)	Hodnotitel 5 (vi)	Průměr vah kritérií vi ze všech hodnotitelů	Pořadí kritérií
Jednoduchost odbavení	0,1471	0,1111	0,1290	0,1515	0,1563	0,1390	2
Bezpečnost informací	0,1176	0,1389	0,1613	0,1515	0,1563	0,1451	1
Rychlost odbavení	0,0882	0,1111	0,1613	0,1515	0,1250	0,1274	3
Dodržení předepsaných norem	0,0882	0,1111	0,0323	0,1212	0,0938	0,0893	8
Provozní spolehlivost	0,0588	0,0833	0,1290	0,0303	0,0938	0,0790	9
Otevřenost systému	0,1471	0,1111	0,0645	0,0909	0,0625	0,0952	7
Modularita systému	0,0882	0,0833	0,0968	0,1212	0,1563	0,1092	5
Komplexnost systému	0,1471	0,1389	0,0968	0,0909	0,0938	0,1135	4
Finanční úspora	0,1176	0,1111	0,1290	0,0909	0,0625	0,1022	6

Obrázek 20: Příloha A

PŘÍLOHA B

K6	A1	A2	A3	Geomean (ri)	Váhy (w6)	Index konzistence	
A1	1	5	6	3,107232506	0,7258	λ_{max}	3,0291
A2	1/5	1	2	0,7368063	0,1721	RI =	0,58
A3	1/6	1/2	1	0,436790232	0,1020	CI =	0,01455
				4,280829038		CR =	0,025086
K7	A1	A2	A3	Geomean (ri)	Váhy (w7)	Index konzistence	
A1	1	1/3	3		1 0,2684	λ_{max}	3,0735
A2	3	1	4	2,289428485	0,6144	RI =	0,58
A3	1/3	1/4	1	0,436790232	0,1172	CI =	0,03675
				3,726218717		CR =	0,063362
K8	A1	A2	A3	Geomean (ri)	Váhy (w8)	Index konzistence	
A1	1	5	2	2,15443469	0,5816	λ_{max}	3,0037
A2	1/5	1	1/3	0,405480133	0,1095	RI =	0,58
A3	1/2	3	1	1,144714243	0,3090	CI =	0,00185
				3,704629066		CR =	0,00319
K9	A1	A2	A3	Geomean (ri)	Váhy (w9)	Index konzistence	
A1	1	4	6	2,884499141	0,7010	λ_{max}	3,0092
A2	1/4	1	2	0,793700526	0,1929	RI =	0,58
A3	1/6	1/2	1	0,436790232	0,1061	CI =	0,0046
				4,114989899		CR =	0,007931
K1	A1	A2	A3	Geomean (ri)	Váhy (w1)	Index konzistence	
A1	1	5	6	3,107232506	0,7258	λ_{max}	3,0291
A2	1/5	1	2	0,7368063	0,1721	RI =	0,58
A3	1/6	1/2	1	0,436790232	0,1020	CI =	0,01455
				4,280829038		CR =	0,025086
K2	A1	A2	A3	Geomean (ri)	Váhy (w2)	Index konzistence	
A1	1	2	4		2 0,5584	λ_{max}	3,0183
A2	1/2	1	3	1,144714243	0,3196	RI =	0,58
A3	1/4	1/3	1	0,436790232	0,1220	CI =	0,00915
				3,581504475		CR =	0,015776
K3	A1	A2	A3	Geomean (ri)	Váhy (w3)	Index konzistence	
A1	1	5	3	2,466212074	0,6483	λ_{max}	3,0037
A2	1/5	1	1/2	0,464158883	0,1220	RI =	0,58
A3	1/3	2	1	0,873580465	0,2297	CI =	0,00185
				3,803951422		CR =	0,00319
K4	A1	A2	A3	Geomean (ri)	Váhy (w4)	Index konzistence	
A1	1	3	2	1,817120593	0,5396	λ_{max}	3,0092
A2	1/3	1	1/2	0,550321208	0,1634	RI =	0,58
A3	1/2	2	1		1 0,2970	CI =	0,0046
				3,367441801		CR =	0,007931
K5	A1	A2	A3	Geomean (ri)	Váhy (w5)	Index konzistence	
A1	1	2	3	1,817120593	0,5396	λ_{max}	3,0092
A2	1/2	1	2		1 0,2970	RI =	0,58
A3	1/3	1/2	1	0,550321208	0,1634	CI =	0,0046
				3,367441801		CR =	0,007931

Obrázek 21: Příloha B