



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

---

Fakulta dopravní  
Ústav aplikované matematiky

# Perspektivy nasazení inteligentních dopravních systémů v chytrých městech

## Perspectives for ITS deployment in Smart Cities

Bakalářská práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojiích

Studijní obor: ITS – Inteligentní dopravní systémy

Vedoucí práce: Dr.-techn. Ing. Jan Příkryl

**Zuzana Purkrábková**

---

Praha 2016





**K611.....Ústav aplikované matematiky**

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Zuzana Purkrábková**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**B 3710 – ITS – Inteligentní dopravní systémy**

Název tématu (česky): **Perspektivy nasazení inteligentních dopravních systémů v chytrých městech**

Název tématu (anglicky): Perspectives for ITS deployment in Smart Cities

**Zásady pro vypracování**

Při zpracování bakalářské práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Seznamte se se všeobecnou filozofií a problematikou oblasti chytrých měst (Smart Cities)
- Zmapujte současný stav a ambice projektů chytrých měst v České republice, Evropě a ve světě
- Vypracujte přehled o návrzích začlenění inteligentních dopravních systémů do architektury chytrých měst
- Zhodnoťte, zda jsou tyto navrhované postupy použitelné v podmínkách České republiky. Vyberte ty, jež nepovažujete za zcela vyřešené a u nichž vidíte potenciál pro další rozvoj například v rámci aplikačních či výzkumných projektů. Svůj výběr zdůvodněte.

Rozsah grafických prací: určí vedoucí práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 35 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Barba C.T., Mateos M.A., Soto P.R., Mezher A.M., Igartua M.A. Smart city for VANETs using warning messages, traffic statistics and intelligent traffic lights. Proc. 2012 IEEE IVS, Alcala, Spain, pp. 902-907.  
Kitchin R. The real-time city? Big data and smart urbanism. GeoJournal 79(1), 2014, pp. 1-14.

Vedoucí bakalářské práce:

**Dr. Ing. Jan Příklad**

Datum zadání bakalářské práce:

**29. září 2015**

(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání bakalářské práce:

**25. srpna 2016**

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

L. S.



prof. RNDr. Miroslav Vlček, DrSc.

vedoucí  
Ústavu aplikované matematiky

prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.

děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.

Zuzana Purkrábková  
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 29. září 2015

## Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala Dr.-techn. Ing. Janu Příkrylovi za jeho pomoc při výběru tématu a odborné vedení této bakalářské práce. Dále bych ráda poděkovala bratrovi za jazykovou korekturu a rodičům za morální a materiální podporu po celou dobu mého studia.

## Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

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

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 16. srpna 2016

Zuzana Purkrábková  
podpis



PURKRÁBKOVÁ, ZUZANA. *Perspektivy nasazení inteligentních dopravních systémů v chytrých městech*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta dopravní, 2016. 84 stran. Bakalářská práce.

**Klíčová slova:** chytré město; koncepce chytrých měst; dopravní systémy; mobilita; sdílené systémy; městská hromadná doprava.

**Abstrakt:** Tématem této bakalářské práce je nasazení inteligentních dopravních systémů v chytrých městech. Nejprve pojednává obecně o pojmu Smart City a rozebírá problematiku pojetí chytrosti měst. Následuje rozbor vybraných inteligentních dopravních systémů, které mohou být implementovány do architektury měst. V další části je práce zaměřena na vybraná města v České republice a v zahraničí a jejich koncepci Smart City. V závěrečné části jsou porovnány jednotlivé koncepce a zhodnoceno jejich provedení. Přínosem práce je poskytnutí přehledu o aktuální situaci v České republice v porovnání s konkurencí v Evropě.

PURKRÁBKOVÁ, ZUZANA. *Perspectives for ITS deployment in Smart Cities*. Prague: Czech Technical University in Prague, Faculty of Transportation sciences, 2016. 84 pages. Bachelor's thesis.

**Keywords:** smart city; transportation systems; mobility; cooperative systems; public transport; intelligent transportation systems.

**Abstract:** This thesis analyses the possibilities of deploying different components of intelligent transportation systems within Smart City paradigm. The text starts with the discussion of the term "Smart City" in general and continues with analysing difficulties of evaluating and measuring city "smartness". This part is followed by a review of intelligent transportation systems that may be implemented into the structure of a Smart City. The second part of the thesis examines several selected Czech and European Smart City concepts and evaluates the implementation state of the selected Czech Smart City concepts. The major contribution of the text lays in the presented comparison of the actual situation in Czech Republic with respect to European Smart City projects.





# Obsah

<b>1. Úvod</b>	<b>21</b>
<b>2. Koncepce Smart Cities</b>	<b>23</b>
2.1. Digitální a inteligentní město	24
2.2. Definice Smart City	25
2.3. Big Data a IoT	26
2.4. Význam Smart City	27
2.5. Odvětví Smart City	28
2.6. Bezpečnost Smart City	29
2.7. Porovnání Smartness	30
<b>3. Doprava ve Smart Cities</b>	<b>33</b>
3.1. Vehicular Ad Hoc Network (VANET)	34
3.2. Městská hromadná doprava	35
3.2.1. Dynamická alokace jízdních pruhů	37
3.2.2. European Bus System of the Future 2	39
3.2.3. Městská veřejná doprava v Curychu	39
3.3. Konkrétní systémy	39
3.3.1. Inteligentní světelná signalizace	40
3.3.1.1. Princip	40
3.3.1.2. Praxe	40
3.3.1.3. Klady a zápory	40
3.3.2. Sdílení jízdních kol	41
3.3.2.1. Princip	42
3.3.2.2. Redistribuce	43
3.3.2.3. Praxe	43
3.3.2.4. Klady a zápory	45
3.3.3. Sdílení vozidel	45
3.3.3.1. Princip	46
3.3.3.2. Praxe	47

3.3.3.3. Klady a zápory . . . . .	47
3.3.4. Porovnání sdílení jízdních kol a vozidel . . . . .	47
3.3.5. Inteligentní parkování . . . . .	48
3.3.5.1. Typy inteligentního parkování . . . . .	48
3.3.5.2. Praxe . . . . .	50
3.4. VISION ZERO . . . . .	51
<b>4. Koncepty vybraných měst</b>	<b>53</b>
4.1. Česká republika . . . . .	53
4.1.1. Praha . . . . .	53
4.1.1.1. SMARTPRAGUE.EU . . . . .	54
4.1.1.2. Morgenstadt City Lab . . . . .	55
4.1.1.3. Triangulum . . . . .	57
4.1.2. Brno . . . . .	58
4.1.3. Písek . . . . .	58
4.1.3.1. Modrožlutá kniha . . . . .	59
4.1.4. Plzeň . . . . .	60
4.1.4.1. Plzeňská karta . . . . .	60
4.1.4.2. Bezkontaktní odbavení ve vozech MHD . . . . .	61
4.1.5. Pardubice . . . . .	61
4.1.6. www.smart-cities.eu . . . . .	62
4.2. Evropská města . . . . .	62
4.2.1. Amsterdam . . . . .	62
4.2.1.1. Amsterdam Smart City . . . . .	64
4.2.1.2. Doprava . . . . .	64
4.2.1.3. Cyklistická doprava . . . . .	65
4.2.2. Vídeň . . . . .	66
4.2.2.1. Smart City Wien . . . . .	67
4.2.2.2. Aspern Seestadt . . . . .	70
<b>5. Zhodnocení projektů v České republice</b>	<b>73</b>
<b>6. Závěr</b>	<b>79</b>
<b>A. VANET</b>	<b>87</b>
A.1. V2V komunikace . . . . .	88
A.2. V2I komunikace . . . . .	89

A.3. Cíle VANET . . . . .	90
A.4. Bezpečnost VANET . . . . .	90
A.5. Směrování . . . . .	91
A.6. Standardy VANET . . . . .	92
A.6.1. DSRC . . . . .	93
A.7. Cloud . . . . .	94
A.8. Aplikace ve VANET . . . . .	94

*Obsah*

## Seznam obrázků

2.1. Architektura Smart City. Převzato z [46] . . . . .	27
3.1. Dynamická alokace jízdnic pruhů. Převzato z [70] . . . . .	38
3.2. Parkovací místo pro osobní automobil je stejně velké jako parkovací místo pro 10 jízdnic kol, realizace stojanu na kola v Londýně. Převzato z [10] . . . . .	42
4.1. Schéma přechodu pro chodce osazeného světelnými liniemi. Převzato z [13] . . . . .	54
4.2. Grafy měst podle modelu 4.0 [23] . . . . .	63
4.3. BikeScout [29] . . . . .	66
4.4. Vývoj nákupu předplacených kuponů na MHD a osobních automobilů ve Vídni [54] . . . . .	70
4.5. Poloha lokality Aspern vzhledem k centru Vídně . . . . .	71
4.6. Přehledový půdorys čtvrti Aspern. Převzato z [2] . . . . .	72
5.1. Angažovanost evropských zemí v projektech Smart City [67] . . . . .	73
A.1. Schéma sítí VANET. Převzato z [50] . . . . .	88
A.2. Struktura WAVE [31] . . . . .	93

*Seznam obrázků*

## Seznam tabulek

5.1. Shrnutí Smart City aktivit měst popsaných v kapitole 4 . . . . .	74
5.2. Realizované projekty ve vybraných městech v České republice – aktuální situace . . . . .	76

*Seznam tabulek*



# Seznam zkratek

4G	mobilní síť čtvrté generace, v současné době reprezentována hlavně technologií LTE (angl. <i>long term evolution mobile access</i> ) a v malé míře mobilní verzí WiMax (...)
AODV	angl. <i>ad hoc on-demand distance vector</i> , směrovací protokol pro síť VANET, používá směrovací tabulky
AOMDV	angl. <i>ad hoc on-demand multipath distance vector</i> , rozšířený směrovací protokol pro síť VANET, vyhledává více cest mezi zdrojem a cílem
CC	angl. <i>central cloud</i> , centrální cloud pro síť VANET
DSDV	angl. <i>destination-sequenced distance-vector</i> , směrování pomocí vektorů a vzdáleností
DSR	angl. <i>dynamic source routing</i> , směrovací protokol pro síť VANET, používá směrovací tabulky, ukládá adresy mezilehlých uzlů
DSRC	angl. <i>dedicated short-range communications</i> , spojení krátkého dosahu
FIFO	angl. <i>first in, first out</i> , fronta, tzv. první dovnitř, první ven; abstraktní datový typ v programování
GPS	angl. <i>global positioning system</i> , globální polohový systém, který je schopný určit geografickou polohu přijímače na Zemi
IAD	individuální automobilová doprava
IEEE	angl. <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> , Institut pro elektrotechnické a elektronické inženýrství
IoT	angl. <i>internet of things</i> , síť jednoduchých zařízení vybavených senzory

## Seznam zkratek

ITL	angl. <i>intelligent transport lights</i> , inteligentní světelná signalizace, chytré semaforey; systém řízení SSZ na základě informací z vozidel
ITL	angl. <i>intelligent transport lights</i> , inteligentní světelná signalizace, chytré semaforey; systém řízení SSZ na základě informací z vozidel
ITS	angl. <i>intelligent transport systems</i> , inteligentní dopravní systémy
ITU	angl. <i>International Telecommunication Union</i> , Mezinárodní telekomunikační unie, specializovaná agentura OSN
IZS	integrovaný záchranný systém
KPI	angl. <i>key performance indicators</i> , klíčové indikátory kvality
MaaS	angl. <i>Mobility as a service</i> , mobilita braná jako služba, kombinace soukromého a veřejného sektoru
MHD	městská hromadná doprava
OBU	angl. <i>on board unit</i> , mobilní jednotka na palubě vozidla
OFDM	angl. <i>orthogonal frequency division multiplexing</i> , ortogonální multiplex s frekvenčním dělením
P+R	angl. <i>park and ride</i> , záchytné parkoviště v blízkosti stanice městské hromadné dopravy
QoS	angl. <i>quality of service</i> , kvalita poskytované služby
RC	angl. <i>RSU cloud</i> , cloud stacionární jednotky pro síť VANET
RFID	angl. <i>Radio Frequency Identification</i> , identifikace na rádiové frekvenci
RSU	angl. <i>road side unit</i> , stacionární jednotka v blízkosti pozemní komunikace
RZ	registrační značka vozidla
SSZ	světené signalizační zařízení
USD	angl. <i>United States dollar</i> , Americký dolar
V2I	angl. <i>vehicle to infrastructure communication</i> , komunikace vozidla s infrastrukturou

V2V	angl. <i>vehicle to vehicle communication</i> , komunikace mezi vozidly
VANET	angl. <i>vehicular ad-hoc network</i> , komunikační bezdrátová síť mezi vozidly s ad-hoc strukturou
VC	angl. <i>vehicle cloud</i> , cloud vozidla pro síť VANET
WAVE	angl. <i>wireless access in vehicular environments</i> , komunikační systém pro síť VANET, podporuje bezdrátovou komunikaci
WiFi	angl. <i>wireless fidelity</i> , bezdrátová komunikace v počítačových sítích
WLAN	angl. <i>wireless local area network</i> , bezdrátová lokální síť



# 1. Úvod

Téma inteligentních dopravních systémů a jejich nasazení v chytrých městech jsem si pro bakalářskou práci zvolila z důvodu mého zájmu o problematiku chytrých měst. Sama žiji v naší hlavní metropoli, kde pozoruji, jak doprava tvaruje město. Také ráda cestuji do jiných velkých měst a zajímá mne, jak se v těchto městech žije s ohledem na silnou dopravu. Dopravní situace v centrech velkých měst se stává velkým problémem. Domnívám se, že aplikace těchto systémů by mohla pomoci ke zvýšení kvality života a cestování ve městě.

Cílem mé práce je vytvořit přehled o možných dopravních systémech, které vznikají v chytrých městech. Podrobněji budu zkoumat aktuální situaci v českých a zahraničních městech a hodnotit, zda mají daná řešení žádoucí efekt.

V úvodní části práce jsem se zaměřila na pojetí definice Smart City a s tím souvisejícího inteligentního a digitálního města. Poukazuji na obtížnou uchopitelnost pojmu samotného, stejně jako jeho vysvětlení. Fakt, že se jedná o komplexní pojetí dokládám vysvětlením přidružených pojmů big data a internet věcí. Následně se zabývám otázkou, jak hodnotit chytrost měst, když si každý pod tímto výrazem představí něco jiného.

V další části mé práce se zabývám jednotlivými inteligentními dopravními systémy, které mohou být včleněny do architektury chytrých měst. Postupně se zaměřím na systémy zlepšující městskou hromadnou dopravu, kde zmiňuji velmi dobré řešení města Curych, na síť VANET a jejich využití, na sdílení především jízdních kol, ale také automobilů a v neposlední řadě také na možnosti parkovacích systémů. V této oblasti je velmi důležité financování ze strany Evropské unie, na což se zaměřím v závěru kapitoly.

V další části jsem se soustředila na vybraná města v České republice a v zahraničí. Konkrétně popisuji především oblast mobility jednotlivých měst. Zaměřuji se na aktuální situaci, právě probíhající projekty i na další výzvy do budoucna.

Následuje zhodnocení představených inteligentních dopravních systémů v České republice a zamyšlení nad jejich smysluplností. V závěru práce aplikuji zjištěné informace na případné zlepšení situace ve vybraných městech.



## 2. Koncepce Smart Cities

Myšlenka města, které je schopno efektivně využívat moderní technologie ke zlepšení kvality života, je relativně stará. V průběhu 70. let 20. století začal úřad v Los Angeles (Community Analysis Bureau) používat databáze a shlukovat data. Úřad chtěl vytvořit městský informační systém, který měl pomoci k řešení denních problémů. Tím měli v Los Angeles pomoci například v boji proti chudobě [66]. Městský systém, který je složen do matematického modelu, popsal roku 1969 Američan J. W. Forrester ve své knize *Urban Dynamics* [25]. Koncepce inteligentních měst vznikla v době dvou světových krizí, krize globálního oteplování a také hospodářské krize. Smart City a související technologie jsou podporovány velkými firmami jako je IBM, Cisco nebo Siemens (například ve společnosti IBM vznikla v roce 2008 nová divize, nazvaná „Smarter Planet“). Tyto firmy vidí ve městech velký tržní potenciál.

V posledních 10 letech začala společnost více diskutovat o našich možnostech a pojem Smart City se rozšířil po celém světě. Vývoj měst výrazně ovlivňuje stále rostoucí populace a s ní i zvyšující se urbanizace (města se zvětšují, je potřeba více obyvatelného prostoru), liberalizace obchodu (lepší příležitosti pro soukromý sektor, více prostorů pro komerční využití) a rychlý technologický pokrok (možnosti propojení a řízení systémů, modernizace technického zázemí). Ne vždy stíhá vedení města a jeho obyvatelé reagovat na tyto změny. Je potřeba chránit životní prostředí před znečištěním, snižovat spotřebu energie a energii znovu využívat. Díky rozvoji technologií jsou naše možnosti pro zkvalitnění života ve městě stále lepší.

Společnost požaduje vysokou životní úroveň, efektivní infrastrukturu a energeticky úsporné město. Široké společenské a kulturní možnosti jdou ruku v ruce s kvalitou života ve městě. Další důležitý aspekt moderního městského života je dostupnost vzdělání. V 18. století žilo 5 % obyvatel planety ve městech, dnes je již urbanizace na 54 % [63]. Tyto hodnoty také souvisí s dostupností služeb a možnostmi, které poskytuje život ve městě. Obyvatelé měst očekávají kvalitní dopravní infrastrukturu a městskou hromadnou dopravu, která splňuje jejich požadavky na kvalitu služeb i přepravu. Ve městech požadujeme efektivní využívání energie a možnosti jejího opětovného využití, či případné přesunutí do právě potřebného systému. Možnost ušetření nejen energie, ale také snížení finanční

## 2. Koncepce Smart Cities

náročnosti života ve městě je pro jednotlivé domácnosti zřejmě nejviditelnější výhoda moderního města. V dnešní době se většina lidí domnívá, že pojem Smart City představuje volně dostupné komunikační technologie. Pouze komunikační technologie ale Smart City netvoří. Naopak, podle mého názoru Smart City tvoří především obyvatelé, kteří určují, jakým směrem se bude město vyvíjet. Jinými slovy je to spojení komunikačních technologií s lidským a sociálním kapitálem a širší hospodářská politika, která dělá město Smart City [11].

Kvalitu života ve městě je možné hodnotit hned několika kritérii – může jít například o bydlení, hospodářství, kulturu, dostupnost a kvalitu vzdělání, či environmentální podmínky. Čelíme stále větším problémům spojených s rostoucí populací a urbanizací, ovšem máme také stále lepší možnosti díky rozvoji komunikačních technologií a všeobecnému rozšíření internetu mezi obyvatele. Je potřeba chránit životní prostředí před znečištěním, snižovat spotřebu energie a energii efektivně využívat z obnovitelných zdrojů.

Dnes je pojem Smart City velmi populární. Nejen Evropská unie finančně podporuje projekty na zlepšení měst. Pojem Smart City více popularizuje město v tisku. Přiláká do města turisty, ale také velké mezinárodní firmy. Každé město chce nést tento titul a mnohé si jej přivlastňují bez jakýchkoliv podkladů nebo pádných důvodů. Tento přídomek by města neměla mít jen proto, že používají komunikační technologie.

### 2.1. Digitální a inteligentní město

Jednoznačná definice pojmu „Smart City“ prozatím neexistuje a je pravděpodobné, že ani nevznikne. Toto spojení vzniklo postupným vývojem pojmů jiných. V souvislosti se Smart City najdeme pojmy *inteligentní město* nebo *digitální město*. Je potřeba rozlišovat jednotlivé termíny.

*Digitální město* je založeno na informačních a komunikačních technologiích. Definice tohoto pojmu jsou relativně jednotné – vše je zaměřeno na zmíněné technologie a role občanů není tolik aktivní. Všeobecně je v tomto pojmu zachycena snaha o vytvoření virtuálního města, kde jsou všichni propojeni. Na rozdíl od dnes běžné představy Smart City nejde o zlepšení životní úrovně.

Podle Helen Couclelis [12] je digitální město komplexní, webové reprezentování několika hledisek nebo funkcí konkrétního skutečného města, otevřeného pro neoborníky. Digitální město má několik dimenzí: sociální (nástroje pro komunikaci), kulturní (propojování společnosti), politickou (možnost vyřizovat úřední věci online), ideologickou a také teoretickou (data, které vytváří virtuální město).

Podle Ishidy [35] je konceptem digitálního města vybudovat prostor, ve kterém mohou



lidé v regionálních společenstvích komunikovat a sdílet znalosti, zkušenosti a společné zájmy. Digitální město integruje městské informace (v reálném čase) a vytváří veřejné prostory v internetu pro lidi žijící či navštěvující město.

Na rozdíl od výše uvedeného je *inteligentní město* území s vysokou kapacitou pro učení a inovace, která je zabudována v tvořivosti jejich obyvatel, jejich vzdělávacích institucích a jejich digitální infrastruktury pro komunikaci a řízení znalostí [38]. Inteligentní město aplikuje široké spektrum elektronických a digitálních technologií, používá informační technologie pro transformaci života v rámci regionu a vkládá tuto technologii do měst. Hlavním cílem by mělo být přetransformování inteligentního města do Smart City.

## 2.2. Definice Smart City

Jak jsem již naznačila, pro pojem Smart City existuje nepřehledné množství definic.

Dameri [16] definuje Smart City jako *dobře vymezené zeměpisné území, ve kterém špičkové technologie jako jsou informační a komunikační technologie, logistika, produkce energie a jiné spolupracují a vytváří benefity pro občany zahrnující spokojený život, začlenění a účast ve společnosti, kvalitu životního prostředí a inteligentní vývoj*. Je řízeno definovanými subjekty, které respektují pravidla a zásady pro vedení města a jeho rozvoj.

Podle organizace IEEE [34], Smart City sdružuje technologie, vládu a společnost, aby společně splnili *cíle Smart City: inteligentní ekonomika, mobilita, správa města, bydlení, životní prostředí, lidé*. Přesto, že Smart City poskytuje možnosti k hospodářskému růstu, vytváří také řadu problémů jako například vysoké náklady na bydlení, kulturní střety nebo velké investice do infrastruktury.

Evropská komise [22] definovala Smart City jako *město, které využívá digitální technologie pro lepší služby občanům, lepší využití zdrojů a pro menší dopad na životní prostředí*. Je to místo, kde jsou tradiční sítě a služby využívány efektivněji, ve prospěch obyvatel a podniků.

Profesor Rudolf Giffinger, jeden z nejvíce citovaných autorů definice Smart City, definuje Smart City jako *dobře fungující město, postavené na chytré kombinaci čerpání dotací a činnosti výdělečných, samostatně se rozhodujících, nezávislých a uvědomělých občanů* [27].

Smart City má získávat veřejné prostředky pro realizaci vlastních projektů pro zlepšení města. Informační a komunikační technologie je pouze jedna z částí, kterou se Smart City zabývá. Digitální město je podsložkou Smart City. Smart City se zrodilo ze tří zdrojů – myšlenky Evropské unie (klade důraz především na ochranu životního prostředí), digitální zdroj (založeno na předchozích zkušenostech s digitálním městem) a kulturní zdroj (lidský a sociální kapitál, buduje inteligentní komunitu). Všechny definice mají

## 2. Koncepce Smart Cities

společné inovace, technologie, environmentální požadavky, hospodářský a sociální růst.

Deakin ve své knize [17] mimo jiné zmiňuje příklad koncernu IBM, který spustil velkou kampaň pro podporu pojmu Smart City. Hlavní myšlenkou kampaně bylo propojení jednotlivých měst, díky čemuž mohou informace neustále proudit z jednoho systému do druhého a to zvýší účinnost celé infrastruktury. Podle IBM Smart City znamená *využití informačních a komunikačních technologií pro vnímání, analýzu a integrování informací, klíčových pro chod města.*

### 2.3. Big Data a IoT

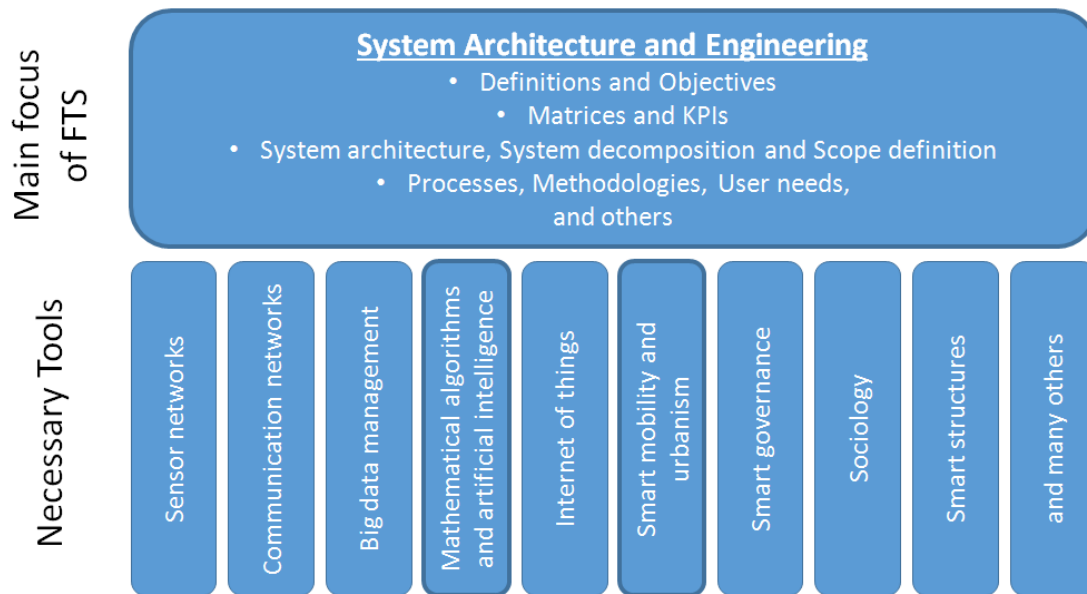
V souvislosti s pojmy Smart City, *digitální a inteligentní město* se setkáme i s dalšími módními slovy, která jsou spojená s touto problematikou. Smart City zahrnuje jak technologické řešení, tak i spoustu dalších nástrojů nezbytných k realizaci konceptu Smart City (například data, senzory, management, pochopení sociálních vztahů a vazeb). Architektura Smart City je zachycena na obrázku 2.1.

Jsme obklopeni miliony senzorů shromažďujících všemožné informace. Tyto senzory komunikují a ukládají data pomocí internetu do velkých databází. Za den se takto vytvoří zhruba 2,5 exabytů ( $10^{18}$  bytů). Toto obrovské množství dat se nazývá *big data* [33]. Nejsou to pouze data samotná, jde i o jejich zpracování a uchování. Musí být provedena vhodná analýza a jejich sběr tak, aby se dala maximálně využít jejich hodnota. Jejich zpracování by mělo být logicky přizpůsobeno jejich dalšímu použití. Mnohé společnosti mají přístup k informacím, ale neumí je efektivně využít.

S tím úzce souvisí pojem *internet věcí* (IoT). Jedná se o termín, který nemá jednoznačnou definici. Většinou jsou definice zkrusleny podle aktivit jednotlivých firem a subjektů, a vždy záleží na tom, jaké oblasti ten, kdo pojem definuje, považuje za důležité (na co konkrétně se firma zaměřuje).

Všeobecně se definice shodují v tom, že IoT je síť objektů, které mají v sobě vestavěné senzory. Tyto objekty jsou propojeny drátovými i bezdrátovými sítěmi, objekty spolu mohou komunikovat, aktivně se zapojit do řešení a systémy teoreticky mohou pracovat bez lidského zásahu. Každý objekt může být zdrojem dat [39].

Internet věcí se skládá z hardwarových a softwarových technologií. Hardware jsou senzory, přenosná zařízení, sítě (4G, WiFi, ...), software tvoří programy pro uživatele. IoT bychom mohli demonstrovat na senzorech. Ty jsou vloženy do fyzických objektů jako jsou budovy, silnice, auta nebo telefony. Pomocí kabelové či bezdrátové sítě se dají připojit k internetu. Poté mohou posílat data do počítačů. Pro IoT je klíčové právě propojení lidí, procesů a nástrojů do jedné sítě se zařízením. Rozvoj IoT se zrychluje díky technickému



Obrázek 2.1.: Architektura Smart City. Převzato z [46]

pokroku – jsou levnější polovodiče, zvyšuje se kapacita sítě, zlepšuje se správa a skladování dat.

IoT může ve Smart City poskytovat systémy pro řízení dopravy, parkovací systémy, ale i monitorování provozu pro získání informací o rychlosti nebo například znečištění. Je zde ale také nebezpečí ohrožení soukromí a bezpečnosti, což je v poslední době velmi diskutované téma [36].

Přínos Big data a IoT je ve vytvoření optimálních městských infrastruktur, jako jsou silniční nebo energetické sítě [40]. Jedná se o podpůrné mechanismy pro koncept Smart City.

## 2.4. Význam Smart City

Smart City integruje znalosti z několika oblastí, je to multidisciplinární obor. Základem je propojení technologie s člověkem jako jedincem. V posledních letech se ukazuje nutnost udržet rovnováhu mezi použitím těchto technologií ze strany podniků, státní správy, ale také ze strany obyčejných lidí, kteří ve městě žijí. Díky spolupráci s občany je možné vytvářet konkrétní řešení pro dané město. Každé město má své specifické potřeby a neexistuje jedno univerzální řešení, které by tvořilo Smart City. Jak jsem již zmínila výše, obyvatelé formují vzhled a vývoj města.

### 2.5. Odvětví Smart City

Výraz Smart City zahrnuje nejméně šest odvětví s předponou „smart“:

- lidé, s důrazem na kvalitu lidského zdroje a vznikající sociální dynamiku;
- bydlení, s důrazem na kvalitu života;
- ekonomie, s důrazem na národní konkurenceschopnost;
- mobilita, s důrazem na dopravu, stejně jako informační a komunikační technologie;
- životní prostředí, s důrazem na obyvatelné a udržitelné město;
- správy věcí veřejných, s důrazem na účast občanů v záležitostech státu [30].

Která z těchto složek by měla být ta hlavní, již závisí na úhlu pohledu. V akademické sféře je prosazován intelektuální kapitál, hlavní složkou jsou lidé, vzdělání a vědomosti. Skrze tento pohled zlepšujeme kvalitu města především kulturně. Technický pohled přináší například firma IBM. Řeší konkrétní problémy měst jako je doprava, znečištění ovzduší nebo spotřeba energie.

Obsahem této části mé práce není podrobné představení všech odvětví Smart City. Životní prostředí a ekonomie jsou v dnešní době velmi diskutovaná témata, a tak je zcela zřejmé, proč jsou zahrnuta i do pojmu Smart City.

Chytrá správa města (smart governance, e-governance) je jedním z těchto šesti odvětví. Vytvořením systému, který by byl propojený a komplexní pro celé město, by mohla správa města shromažďovat data v reálném čase. Obyvatelé by se mohli do systému přihlásit přes internet a nahrávat svá data online. Díky vhodnému sběru a analýze dat by se mělo zjednodušit řízení města a jeho servis.

Další z klíčových prvků konceptu Smart City jsou chytré budovy (smart buildings). Pomocí vhodných technologií je možné například centrálně nebo dálkově ovládat elektrická a mechanická zařízení, řídit osvětlení nebo posílat nouzové zprávy z bytu. Chytré budovy neřeší jen problémy samotného bydlení. Implementací technologických prvků můžeme řídit kvalitu prostředí budovy, integrovat služby do budovy nebo například efektivněji využívat management správy budovy.

Chytré sítě (smart grids, smart infrastructure) jsou z technického pohledu jedním z nejdůležitějších prvků Smart City. Díky nim jsme schopni šetřit v mnohých oblastech: úsporné energetické sítě redukují spotřebu energie a řídí její vhodné využití přes obnovitelné zdroje. Skrze řízení vodního hospodářství jsme schopni detekovat ztráty a redukovat spotřebu vody. Velkým problémem měst je pak dopravní síť. Je potřeba dopravu optimalizovat a řídit dopravní toky.

S chytrými sítěmi úzce souvisí chytrá mobilita. Využívání inteligentních dopravních systémů umožňuje efektivnější dopravu. V ideálním případě řídíme dopravu podle aktuálních

potřeb, kdy každé město může využít dopravní senzory a další technické prostředky pro zavedení inteligentního řízení. Pomocí technologií a dat jsme schopni řídit městskou hromadnou dopravu nebo dopravu v klidu, poskytovat dynamické informace pro řidiče. Díky informacím jsme schopni zajistit vhodný management dopravy. Primárně jsou technologie cíleny na zlepšení městské dopravy a mobility obyvatelstva.

Samozřejmě není Smart City omezeno pouze těmito odvětvími. Správy měst se snaží i o další implementace jako jsou například zdravotní služby (například v Anglii v soukromých nemocnicích funguje detekční zařízení na monitorování stavu pacienta, které případně zavolá zdravotnický personál) nebo oblast cestovního ruchu (jak předat informace, rozvoj cestovního ruchu, jeho vývoj a prognózy). Správné použití technologií mnohdy vede k úspoře financí, snížení časové náročnosti pro vykonání procesů i zjednodušení pro koncového uživatele [6].

Také velmi závisí na konceptech, jak dané město chceme proměnit ve Smart City. Je velmi důležité propojit jednotlivé subsystémy města (doprava, bydlení, energetika, zdravotnictví,...) a řešit, ideálně všechny, subsystémy ve stejný čas a s jedním společným cílem – vytvořit obyvatelné, udržitelné město. Interdisciplinarnitou mezi jednotlivými subsystémy můžeme dosáhnout efektivního výsledku. S tím souvisí i možné sdílení například infrastruktury, informací, ale i automobilů, kdy využijeme již vybudované možnosti pro rozšíření služeb (není důvod budovat druhé potrubí stejně tak instalovat více detektorů, než je nutné) [48].

Zásadním krokem, které by město mělo učinit pro zahájení procesu přeměny v „chytré město“, je navržení služeb, které bude poskytovat svým obyvatelům. Při budování konceptu Smart City je nutné poskytovat služby pro různé skupiny obyvatelstva.

## 2.6. Bezpečnost Smart City

Jedním z možných problémů myšlenky Smart City je bezpečnost. Každý den nasbíráme velké množství dat, které se snažíme efektivně využít. Zpracování dat vyvolává ve společnosti dojem neustálého dohledu. Řada obyvatel nabývá dojmu, že jsou díky sensorům a technickým zařízením sledováni, a přichází tak o svou svobodu a soukromí. Například díky GPS čipu zabudovanému ve vozidle je možná vysledovat polohu vozidla a další citlivé informace o jedinci (jaké podniky navštěvuje, kdy je mimo domov, ...). Lidé poté mají dojem, že se nové technologie vymykají kontrole. Pro mě osobně je prvořadé, že díky této technologii je také možné nalézt odcizené vozidlo nebo mohu používat například navigaci.

Urbanista Anthony Townsend [64] ve své knize o myšlence Smart City pochybuje a klade důraz na rizika selhání či nehody. Také upozorňuje na možné útoky hackerů. Izraelská

## 2. Koncepce Smart Cities

vláda připouští, že jejich základní služby jako je voda, elektřina nebo bankovníctví jsou terčem častých útoků. Dodavatel elektřiny Israel Electric Corporation zaznamená až 6000 útoků hackerů za den. V říjnu 2012 byl izraelský přístav Haifa napaden hackery, kteří pronikli do systému řízení dopravy. Způsobili dopravní chaos na celé hodiny [37].

Bezpečnost obyvatel je důležitá. Ochrana soukromí vyžaduje kombinaci právních a technických bezpečnostních opatření. Systém nesmí ohrozit ani omezit svobodu jedince či používat osobní údaje. Při zpracování dat musí být zajištěno:

- soukromí a důvěrnost informací
- integrita a autentičnost informací
- dostupnost informací pro jejich použití a služby

Je ovšem otázkou, co je bezpodmínečně nutné, aby Smart City plnilo, a co již bude přidaná hodnota. Samozřejmě pokud bereme bezpečnost vzhledem k trestné činnosti, předpokládáme, že město bude bezpečné pro život. Pokud se podíváme na problém z hlediska virtuální ochrany, je tvrzení poněkud komplikovanější. Někteří občané ani nestojí o vyspělé technologie. Ti budou nejspíše zastánci názoru, že nikdy nemůžeme mít bezpečné síť. Ovšem ti potom také nebudou chtít žít v chytrém městě plném moderních zařízení. Z mého pohledu třetí varianta je bezpečnostní varování před živelnými pohromami. Samozřejmě je bezpečnější město, které může varovat obyvatele například před zemětřesením, a omezí tak následky pohromy. Je velmi těžké zhodnotit, co je životně nutné a co je pro nás pouze další zvýšení životní úrovně. Vzhledem k současné situaci by bylo možné také varování před teroristickými útoky. Francouzská vláda vyvinula mobilní aplikaci, která by měla obyvatele varovat před možnou hrozbou pomocí varovné zprávy. Při nedávném útoku v Nice ovšem aplikace selhala.

### 2.7. Porovnání Smartness

Jak jsem již psala výše, spousta měst si dnes dává před svůj název slovo „smart“. Jak ale rozlišíme, které město je opravdu „chytré“ a které si již tento titul nezaslouží?

Porovnání „chytrosti“ jednotlivých měst je složitá záležitost. Neexistují žádná oficiální pravidla, podle kterých se město hodnotí. Hlavním cílem Smart City je vždy zlepšení kvality života obyvatel daného města. Kvalita života je tedy klíčovým pojmem většiny definic Smart City. Definovat kvalitu života, stanovit ukazatele kvality a vyhodnotit jejich plnění je subjektivní a poměrně obtížně měřitelné. Názor se pak bude měnit osoba od osoby.

Další, s čím musíme počítat, je fakt, že individuální hodnocení kvality života se mění v čase. Důchodce má jiné priority než student a každý z nich má zcela jiný názor na to,

co zvýší jeho kvalitu života. Pokud bychom chtěli kvalitu života měřit pomocí průzkumů, musíme zohledňovat právě tyto aspekty. Budeme nuceni pracovat s velkou rozmanitostí a s mnoha různými pohledy, které budeme muset posuzovat [47].

Je tedy problém objektivně změřit, jestli se kvalita života ve městě zvýšila a aplikované systémy splnily své cíle. Jednou z možností, jak měřit kvalitu života, je stanovení klíčových indikátorů kvality (KPI). Těmto indikátorům se věnuje více organizací, mezi nimi i například organizace ITU (International Telecommunication Union, agentura vedená pod OSN). ITU určila základní obory (informační a komunikační technologie, udržitelnost životního prostředí, produktivita, kvalita života, sociální začlenění, infrastruktura) a k nim podobory, které bude číselně hodnotit. KPI by měly být specifikovány tak, aby se na jejich základě dala města porovnávat. Každý ukazatel by měl být jednoduchý a snadno pochopitelný. Kvalitu života tak hodnotí podle [43]:

- vzdělání (z důvodu zásadního dopadu na sociální kvalitu života),
- zdraví,
- bezpečnosti veřejných míst (především mluví o umělých hrozbách – trestných činech, terorismu),
- pohodlí a komfortu.

Projekt Evropských středně velkých Smart Cities (European smart cities 3.0) [23] se snaží porovnávat jednotlivé ukazatele, aby bylo možné vyhodnotit výsledek. V projektu jsou stanoveny některé hodnoty, které jsou pomocí z-transformace převedeny na standardizované hodnoty. Tento postup bere v úvahu spoustu faktorů, které celé hodnocení ovlivňují. K jednotlivým odvětvím Smart City pak přidá výsledné pořadí, podle kterého se sestavuje žebříček Smart Cities (dnes vévodí žebříčku město Lucemburk). O modelu se ještě zmíním v kapitole 4, pojednávající o koncepcích vybraných měst.

V České republice financovala Technologická agentura ČR (TA ČR) v rámci projektu BETA tvorbu metodiky, jenž se pokouší stanovit ukazatele, pomocí kterých bychom mohli měřit „smart“ [8].

Zde musím poznamenat, že ani jedno měření nezohledňuje individuální potřeby jedinců. Každý občan považuje za důležité jiné možnosti. Stejně tak nemusíme z analýzy sociálních sítí zjistit veškeré potřebné informace, jelikož některé generace stále sociální sítě nepoužívají.

Pro svou představu o smýšlení obyvatel měst jsem si udělala malý orientační průzkum ve svém okolí. Zaměřila jsem se na 3 města v ČR (Praha, Brno, Plzeň), kde jsem se poptávala na představu ideálního Smart City. Zasvěcené i nezasvěcené osoby, každý má představu Smart City v něčem jiném. Nebylo pro mne překvapením, že laici vidí ve

## 2. *Koncepce Smart Cities*

Smart City praktické řešení problémů, kterým každodenně musíme čelit. Asi nejvíce ohlasů jsem zaznamenala na téma dopravy. Většinou odpovědí pro mne bylo řešení jednotlivých dopravních problémů ve městě. Ať už se jednalo o snížení / zvýšení rychlosti, nedostatečnou kapacitu křižovatek či nově budované vyhrazené jízdní pruhy pro MHD. Další představy směřovaly k hromadné dopravě, která není nejkvalitnější a pro některé dotázané není poměr cena / výkon přijatelná.

Pokud jsem zapátrala ve společnosti seznámené s tímto termínem, každý se zaměřil většinou na svůj daný obor. Ať už jsme řešili chytré budovy, energetickou stránku věci nebo pouze fakt že se dnes jedná o velmi populární termín, který se používá pro téměř vše. Bohužel jsem ale nezaznamenala zmínku o inteligentním parkování v nových budovách, ani o energetických možnostech Smart City.

Další pohled na téma Smart City bychom mohli hledat ve správě měst. V regionálním deníku z Vysočiny byl otištěn rozhovor s místním starostou. Samozřejmě v něm zmiňuje kvalitu života ve městě a v regionu. Z článku ale také vyplývá, že jeho město je Smart City, protože se zde lidem dobře žije, mají krásné zrenovované náměstí a mohou se zapojit do diskuze o budoucnosti města.

Jak jsem se mohla sama přesvědčit, lidé nevnímají Smart City jako komplexní řešení pro město. Každý vidí výhody pouze ve své oblasti zájmu. Již jsem jednou zmínila, že ke správně fungujícímu Smart City nám nestačí pouze jedna z oblastí. Musíme se snažit všechny zmíněné oblasti propojit, aby spolu komunikovali a spolupracovali. Samozřejmě představy lidí jsou občas až utopistické a není možné skloubit všechny představy a vyhovět všem. Problém bych mohla demonstrovat například na představě o dopravním řešení ve městě – někdo by rád jezdil kvalitní MHD, ale jiní nedají dopustit na svůj osobní automobil a dají přednost pohodlí. Je zřejmé, že každým řešením nějakou stranu neuspokojíme.

Přesto, že je určení chytrosti města velmi problematické, je poměrně důležité jej nějakým způsobem vyhodnocovat. Budeme vědět, zda naše snahy měly nějaký smysl. Dále také, abychom mohli úspěšné projekty prezentovat tam, kde koncept Smart City prozatím nepodporují.



### 3. Doprava ve Smart Cities

Jednou z klíčových oblastí Smart City je doprava a mobilita. V rámci měst musíme řešit problém stále rostoucího stupně motorizace (počet motorových vozidel na 1000 obyvatel), k prosinci roku 2013 byla motorizace pro Českou republiku 1,6 obyvatele/vozidlo [51]. Většina infrastruktury je zastaralá a není pro toto číslo dostatečná, nestačí tedy kapacita a dochází k přetížení komunikací ve špičkových hodinách. Ze strany vlád a Evropské unie je tlak na zlepšování životního prostředí (emise, hluk, prach) a ekonomické situace, dopravní kongesce jsou v obou těchto ohledech nevýhodné, a proto se je snažíme eliminovat. Kvůli dopravním kongescím se také zvyšuje cestovní čas a možná frustrace řidičů. Tyto hodnoty lze finančně vyčíslit pomocí ztraceného času či neproduktivních hodin.

Snahou představitelů měst by mělo být snížení negativních dopadů na ovzduší a efektivnější využívání prostor. Populárním řešením je výstavba městských okruhů, ovšem novou infrastrukturou se problém vyřeší pouze na pár let. Navíc náklady na výstavbu a délka výstavby jsou nevýhodné. Vhodnější způsob je regulace individuální dopravy a podpora veřejné dopravy (MHD by měla být cenově i časově výhodná alternativa), například implementací telematických dopravních systémů.

Způsobů, jak můžeme regulovat dopravu ve městě je několik. Většina velkých měst se snaží o dynamické řízení dopravy. Dnes je moderní omezení nebo zpoplatnění vjezdu do centra (Londýn) či omezené parkování v centru (Praha) a budování cyklopruhů a cyklostezek. Mezi další možnosti patří inteligentní parkování, parkování podle emisní třídy vozidel, výběr poplatků, sledování pohybu vozidel pomocí čtení RZ, směrování vozidel na méně přetížené trasy, informování řidičů o aktuálním stavu dopravy a jiné. Všechny tyto systémy by měly fungovat samostatně. Většina měst také poskytuje mobilní či webové aplikace, kde je možné nalézt informace o dopravě. Pro uživatele je ideální dohledat všechny požadované informace v jedné aplikaci (chci se dostat z místa A do místa B nejlevněji, nejrychleji a s možností parkování co nejbližší cíli – vzdálenost, cena, parkování).

Většina vládních akčních plánů bere inteligentní dopravní systémy (ITS) jako klíč k udržitelné dopravě. Hlavním cílem ITS je zvýšit bezpečnost. Ale ani ITS systémy nevyřeší problém mobility dlouhodobě. Klíčové by tedy mělo být využití stávajících

### 3. Doprava ve Smart Cities

možností a jejich efektivní využití do budoucna. V podstatě můžeme cíle dosáhnout využitím již vybudovaných zařízení, aniž bychom zvýšili mobilitu. Městská doprava vypouští téměř polovinu emisí CO<sub>2</sub> na světě. To bychom se měli snažit regulovat.

Na rozdíl od ITS, doprava ve Smart City je chápána více komplexně s pohledem do budoucna. ITS jsou podpůrné systémy, na jejichž základě můžeme vhodně regulovat dopravu ve městě. Myšlenkou chytré dopravy je přeorientovat uživatele na udržitelné druhy dopravy s ohledem na ekologickou zátěž a také s ohledem na zábor veřejného prostranství (to bychom se měli snažit eliminovat).

Dopravu bychom měli pojmut jako jistou službu (Mobility as a Service = MaaS). Hlavní myšlenkou je odklonění od osobního vlastnictví dopravního prostředku k mobilitě, která je poskytována jako služba. Dochází ke kombinaci přepravní služby soukromých a veřejných poskytovatelů přes jednu platformu, která vytváří prostor pro spolupráci a sjednocuje platby. Mluvíme tak o mobilní aplikaci, do které cestující zadá start a cíl cesty a aplikace nalezne optimální trasu, kombinaci vhodných dopravních prostředků, cenu a dobu trvání cesty. Na uživateli pak je rozhodnutí, jaké dopravní prostředky zvolí. Zároveň je možné v jednom kroku například rezervovat místo ve vlaku i jízdní kolo.

Občané tak nemusí vlastnit automobil. Mohou tuto službu využívat při každodenním dojíždění i na víkendové výlety. Důležité je nabídnout služby na základě potřeb uživatelů. V této službě by tak měly být zapojeny všechny dopravní prostředky – MHD, vlak, jízdní kolo, automobil, ale i taxislužba. Ať už mluvíme v rámci jednotlivců, kteří vlastní dohromady jedno vozidlo, či přes organizované výpůjčky automobilů. Situace se velmi dobře popisuje na sdílení automobilů, kde můžeme eliminovat počty tzv. víkendových aut, případně každodenní dojíždění nevyužitým automobilem do práce.

Díky této myšlence tak můžeme snížit počet osobních automobilů ve městě. Pravděpodobně je i snížení nákladů za dopravu pro uživatele (nemusí platit poplatky spojené s vlastnictvím automobilu), zmenšíme dopravní zácpy i emise ve městě. V neposlední řadě také docílíme lepší integrace všech druhů dopravy. V Londýně na velmi podobném principu funguje Oyster Card, ve Finsku používají aplikaci Whim [9].

V následující kapitole se budu věnovat vybraným dopravním aplikacím ve Smart City. Jedná se pouze o výběr, aplikací existuje více. Tento obor se stále vyvíjí a vznikají nové aplikace a řešení. Každé město také přizpůsobuje řešení přímo konkrétním problémům daného města, a tak nejde velká část systémů zobecňovat.

#### 3.1. Vehicular Ad Hoc Network (VANET)

Díky rozvoji bezdrátové technologie můžeme použít inteligentní dopravní systémy pro bezpečnější a efektivnější řízení pozemních komunikací. Jedním z hlavních projektů

v dopravní větví Smart City je podpora sítě VANET.

Síť VANET (Vehicular Ad Hoc Network) je bezdrátové propojení dopravních prostředků mezi sebou a mezi infrastrukturou pro výměnu dat. Nejedná se pouze o prostředek pro komunikaci mezi vozidly, ale také o možnost komunikace vozidla s infrastrukturou. Komunikace je nejčastěji realizována přes DSRC spojení (spojení krátkého dosahu). Celá síť VANET je dynamická a neustále se mění [55].

VANET se skládá ze stacionárních a mobilních jednotek, kde stacionární jednotky jsou instalovány v okolí infrastruktury a mobilní jsou umístěny ve vozidlech.

Díky této technologii můžeme udělat silniční dopravu bezpečnější, může klesnout procento nehod zapříčiených lidským faktorem. Systém umožňuje komunikaci mezi vozidly, takže je možné dodržovat bezpečné odstupy automaticky. Tato komunikace ovšem musí být dobře zajištěna [50].

Hlavním cílem sítě VANET je zvýšit bezpečnost na pozemních komunikacích. Použitím sítě VANET bychom mohli snížit dobu jízdy, čímž snížíme náklady na jízdu a také emise vypuštěné do ovzduší.

Aplikací v síti VANET je možné velké množství. Pokud se zaměříme na pomoc při řízení, může to být hlídání dopravních značek, předjízděcí asistent nebo například systém, který hlídá brzdová světla vozidla přede mnou a následně reaguje.

Další možností jsou varovné systémy, které předávají informace o nehodě, překážce na silnici, nepříznivým klimatickým vlivům a tak dále. Možnost informovat včas řidiče je jedna z možností, jak zamezit nehodám a kongescím. Řidič si může vybrat případnou alternativní trasu.

Pokud bychom vybírali pomocí VANET mýtné, výrazně bychom urychlili průjezd daným místem. V neposlední řadě můžu zmínit komerční možnosti sítě VANET, kdy by bylo možné pomocí GPS vysílat do vozidel signál o podniku či firmě v okolí.

Velkou otázkou je možnost spřažených vozidel, která se pohybují společně. Při použití této aplikace by se výrazně zvýšila plynulost provozu ve městě. Eliminovaly by se tak nehody a náhodné brzdění vozidel, bylo by možné udržovat kratší bezpečnostní vzdálenost a tím zvýšit provoz. Zatím se bavíme spíše v teoretické rovině. Proto velké instituce, Evropská unie a další, zkoumají a vyvíjí nové možnosti v této oblasti.

## 3.2. Městská hromadná doprava

Jedním z cílů Smart City by měla být větší podpora městské hromadné dopravy (MHD) a její preference před dopravou individuální. Chceme eliminovat individuální dopravu ve městech. Jízda jedním autobusem je lepší než třiceti auty obsazenými pouze řidičem,

### 3. Doprava ve Smart Cities

jak pro dopravu, tak pro ovzduší, tak i ekonomicky. K chytrému řešení bych to zařadila, jelikož je to jistý prostředek k cíli – první krok je přinutit občany, aby se vzdali vlastního osobního automobilu pro běžné použití (cesta do práce, školy, ...). Jedná se o udržitelný druh dopravy, který je třeba podporovat pro budoucí rozvoj města.

Například v Praze, i přes relativně dobrou síť MHD, zatím mnoho lidí volí IAD. Tím vznikají větší hustota dopravy v centru a kongesce. Měli bychom své snahy ubírat směrem ke zlepšení MHD tak, aby byla MHD pro obyvatele města volbou číslo jedna. MHD by měla být plnohodnotnou, ne-li výhodnější, alternativou k dopravě individuální. Atraktivní přepravní systém naláká lidi do MHD.

Kvalita přepravy spolu s přesností a spolehlivostí jsou klíčovými body tohoto problému. Dopravní podniky nereagovaly dostatečně rychle na modernizaci doby. Odmítly používat aplikace poskytující informace cestujícím, například o aktuální poloze spojů. Cestující by si mohli pomoci aplikace zjistit, kdy na dané místo dorazí příští autobus MHD. Tím by mohla stoupnout popularita a použitelnost MHD v očích občanů. Při budování vhodného řešení musíme myslet do budoucna. Pokud lidé nebudou mít odpovídající dopravu, nebudou v té dané oblasti bydlet.

Pro dobré fungování dopravy ve městě je nutné vytvořit integrovaný systém, který bude sledovat stav dopravy napříč všemi dopravními prostředky. Pokud budeme ve městech mít integrovanou mobilitu (všechny služby pod jednou střechou), bude její správa a organizace jednodušší. Zároveň by systém neměl vyčerpávat přírodní zdroje a poškozovat životní prostředí.

Vedení města musí podporovat veřejnou dopravu, nejen finančně. Stavba nových tras a stanic neznamena automatické navýšení počtu cestujících. V Praze v minulém roce došlo k otevření nového úseku metra na trase A. Myšlenkou mimo jiné také bylo zlepšit dostupnost určitých lokalit. Ačkoliv denně po prodloužené trase jezdím, nemám dojem, že by se do MHD nahrnulo více cestujících.

Možností, jak podporovat kvalitnější MHD, je hned několik. Nebudu se zde zmiňovat o kvalitě dopravních prostředků. Je samozřejmé, že pokud bude autobus v létě klimatizován, budou cestující spokojenější a tudíž ho více využívat. Já bych se dále ráda zaměřila na možnosti, jak optimalizovat a zkvalitňovat MHD pomocí technologií, preferencí a dalších možností.

Velmi dobrou možností je spojit a zvýhodnit parkování P+R a MHD. Pro dopravu ve městě je dobré, když lidé parkují na okraji města, na záchytných parkovištích P+R, a dále využívají MHD pro dopravu po městě. Pokud tuto možnost zvýhodníme tím, že uživatel P+R bude mít jízdné po městě v ceně parkovného, vzroste její využití. Dalším předpokladem úspěchu této možnosti je zpoplatnění vjezdu do města.

I v ČR již ve větších městech funguje preference MHD na křižovatkách. Nyní již více převládá aktivní preference – průběh řízení ovlivňuje aktuální situace, vozidla se upřednostňují na základě aktuálních požadavků. Další možností jsou vyhrazené jízdní pruhy. Ty lze vyhradit pouze v určitou denní dobu pomocí doplňkové dopravní značky nebo celodenně.

### 3.2.1. Dynamická alokace jízdních pruhů

Na velmi podobném principu pak funguje dynamická alokace jízdních pruhů, která řeší nedostatečný prostor pro více pruhů v místech, kde má být jeden jízdní pruh vyhrazený pro MHD celodenně. Nejedná se ovšem přímo o aplikaci strategie Smart City, pouze o možnou aplikaci inteligentních dopravních systémů, která pomáhá realizaci myšlenky Smart City.

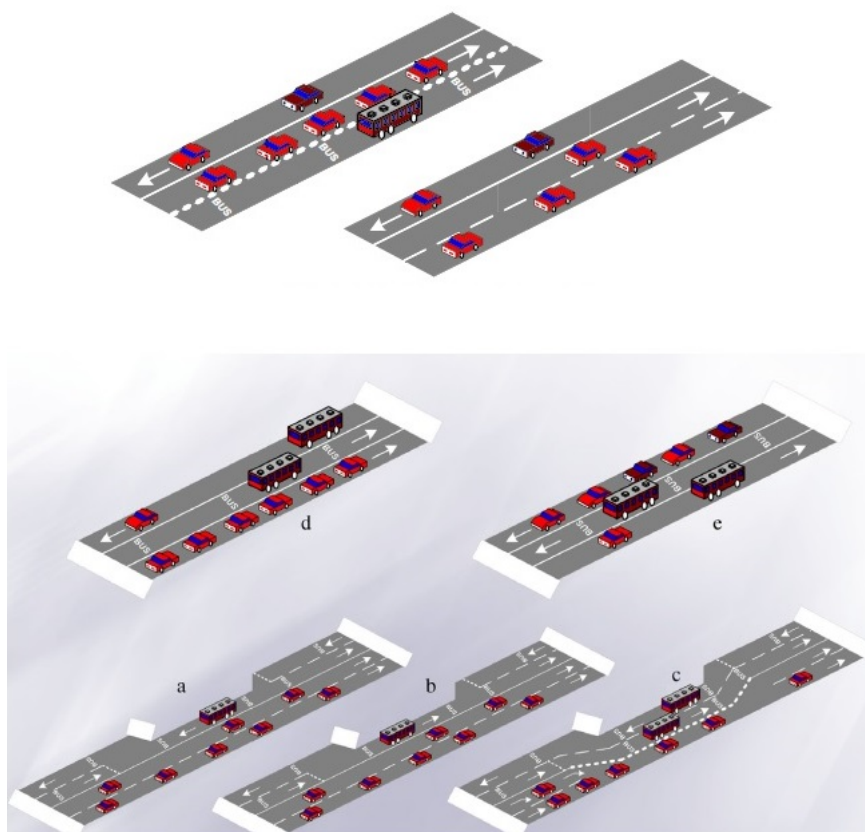
Systém, jehož činnost je znázorněna na obrázku 3.1, je založený na dynamickém sdílení pruhů mezi veřejnou dopravou, vozidly IZS a osobní dopravou. Provoz vozů záchranných složek a MHD má relativně nízkou frekvenci, a tak není potřeba statické přidělení jejich pruhu. Pokud v prostoru není žádné preferované vozidlo, jsou všechny pruhy obecné. Ve chvíli, kdy se přiblíží preferované vozidlo, je mu většinou vyhrazen pravý jízdní pruh (je uzavřen pro ostatní vozidla). Po projetí je pruh vrácen do obecného provozu. Pokud prioritní vozidla aktivně žádají o přidělení pruhu, tuto žádost přebírá nejbližší senzor, ale iniciátorem alokace je prioritní vozidlo.

Při velkém provozu systém přechází do statického módu s trvalým vyhrazeným pruhem. Systém je schopen vypočítat čas potřebný k překonání úseku. Pokud je potřebný čas podstatně vyšší, je doprava na vysokém stupni, a není tak možná dynamická alokace. V tento moment je v úseku příliš mnoho vozidel a není možné rychlé uvolnění prioritního pruhu. Je nutné tedy aplikovat statický režim [69, 70].

K bezpečnému fungování tohoto systému je zapotřebí, aby řidiči respektovali pravidla silničního provozu a měli k dispozici aktuální informace o dopravě v oblasti. Systém vyžaduje dostatečný počet proměnných dopravních značení, aby byly řidiči předávány informace co nejdříve a co nejpresněji. Pro zjednodušení se používají červené, respektive zelené LED pro signalizaci uzavřeného, respektive volného jízdního pruhu.

Systém k fungování potřebuje víceprvoudou komunikaci, senzory pod i v okolí vozovky, vodorovné a svislé proměnné značení. Senzory sbírají informace z preferovaných vozidel, vyhodnocením těchto informací je řídicí jednotka schopna přiměřeně reagovat. Při změně se šíří informace k dopravnímu značení, které je přenáší dále. Uživatel obdrží informace nutné k dostatečně rychlému zareagování na nastalou situaci (např. změna jízdního pruhu) prostřednictvím médií (rádio, GPS, WiFi). Tato komunikace by měla probíhat v reálném

### 3. Doprava ve Smart Cities



**Obrázek 3.1.:** Dynamická alokace jízdnic pruhů. Převzato z [70]

čase a bez lidské účasti, tím eliminujeme případné chyby. Základní složkou pro koordinaci systému je řídicí počítač. Na základě naměřených parametrů určuje statickou alokaci, volí mezi statickým či dynamickým režimem. Činnost řídicího počítače není systematická, dochází k ní při potřebě změnit systém z dynamického na statický a obráceně.

Před nasazením této technologie do konkrétní lokality je nutné tuto oblast pro použití systému testovat nejen z technologického, ale především z bezpečnostního hlediska. Musíme se ujistit, že instalací systému nenarušíme bezpečnost provozu. Osobně se domnívám, že předpoklad dobré kázně řidičů je velmi limitující pro fungování systému v mnohých státech. Teoreticky by také byla možná případná represe neukázněných řidičů, ale to se prozatím nerealizovalo.

Efektivnějšího cestování v MHD můžeme dosáhnout i jinou cestou, než pomocí vyhrazených pruhů nebo preferencí na křižovatkách. Využitím GPS, které není nákladné na zabudování do každého vozidla, můžeme regulovat a řídit MHD. Díky znalosti aktuální polohy, můžeme vozidlo MHD navést na alternativní trasu v případě kongesce. Dokonce

můžeme mluvit o více sofistikovaném systému, kdy bude flotila autobusů trasy měnit a jezdit tam, kde jsou aktuálně potřeba.

#### 3.2.2. European Bus System of the Future 2

Evropská unie také investuje do nových projektů. Například systém European Bus System of the Future 2 [21], který by měl snížit emise i náklady na provoz autobusů. Ve dvanácti evropských městech (Barcelona, Helsinky, Londýn, Lyon, Madrid, Paříž, San Sebastian, Stuttgart, . . .) se snaží o optimální rozvržení tras, chytrou údržbu a opravy. Plánování linek by mělo být přizpůsobeno co nejvíce potřebám cestujících. Pokud budeme systém koordinovat s ostatními systémy (například odbavení cestujících), je možné najít optimální řešení (ráno je příliš plné metro, školní vyučování začne o 15 minut jinak než pracovní doba). V těchto městech se pokouší o bezbariérovou dopravu. Do projektu se zapojuje zhruba 40 partnerů, včetně autobusových firem. Celý projekt by měl být ukončen v dubnu 2018, kdy bude zastaveno financování v rámci evropského programu Horizont 2020. Následovat bude vyhodnocení projektu.

#### 3.2.3. Městská veřejná doprava v Curychu

Jako jedno z příkladových měst mohu uvést Curych a řešení MHD v této metropoli. Curych je jedním z měst, které má velmi dobře propracovaný systém veřejné dopravy. Díky tomu mnoho obyvatel dává přednost MHD místo IAD. Přesto, že nemají metro, mají velmi dobře propracovanou povrchovou dopravu. Páteřní síť je tvořena tramvajemi. Do města je omezený vjezd automobilů. Dnes řídí síť na základě znalostí přesné pozice každého vozidla. Cestující může informace o spoji získat před cestou, na zastávce i ve vozidle. Dispečer hlídá, zda linka není příliš opožděná či zda nejede napřed. V tu chvíli zasahuje, aby byla vozidla včas na zastávkách. Místní obyvatelé mají také velmi výhodný tarif oproti turistům.

V Curychu používají systémy ITS pro řízení provozu, parkování, odbavení cestujících, rozpis řidičů, údržbu i pro získání dalších informací. MHD má samozřejmě prioritu na SSZ, ať už pomocí zkrácení zeleného signálu či jiným způsobem.

### 3.3. Konkrétní systémy

Dynamické řízení můžeme aplikovat několika způsoby. Mezi ty jednodušší patří zvýšení počtu jízdních pruhů, segmentace provozu podle kategorie vozidel, jízda prioritních vozidel a jiné. Vznikají tak specializované jízdní pruhy (autobus, jízdní kolo). Tato řešení je možné

### 3. Doprava ve Smart Cities

realizovat při dostatečném prostoru. Pokud v dané oblasti není možné takto rozsáhlé řešení, je nutné přejít k řešení dynamického alokování jízdních pruhů podle druhu dopravy, nebo k aplikaci sofistikovanějšího systému řízení.

V následující kapitole představím čtyři klíčové systémy pro možné řešení dopravy ve městě. Nejprve se zaměřím na řízení pomocí inteligentní světelné signalizace, poté na sdílení jízdních kol a vozidel, a na konec na inteligentní parkování.

#### 3.3.1. Inteligentní světelná signalizace

Jedním ze systémů, který je možný aplikovat do městského systému, jsou chytré semaforey (ITL, z angl. *intelligent transport lights*). Systém je založen na komunikaci mezi vozidly a řadičem [28]. Pro pokrytí komunikace je ideální vzdálenost mezi křižovatkami 300 metrů. Systém ITL pokrývá celou křižovátku a sbíhající se komunikace, signál šíří všesměrově. Tím pádem nemusí být systém na každé křižovatce v oblasti. Přijímá data od všech projíždějících vozidel v jeho rozsahu. Základním předpokladem je vybavení GPS každého vozidla. Informace jsou shromažďovány z vozidla, není potřeba žádná další infrastruktura.

##### 3.3.1.1. Princip

Chytré semaforey detekují a shromažďují informace (např. hustota, intenzita, rychlost, čekací doba). Pomocí těchto hodnot poté systém vyhodnocuje situaci a dává pokyny SSZ. Je možné tak reagovat na vyvíjející se stav dopravy. ITL počítá s komunikací mezi vozidly. Při nehodě posílá havarované vozidlo informace do systému ITL a sousedním vozidlům. Díky včasnému varování se sníží reakční doba řidiče a zamezí se tak dalším nehodám.

##### 3.3.1.2. Praxe

Tento systém byl testován v rámci univerzitního projektu Traffic21. Poté byl použit v Pittsburghu (USA) pod názvem SURTRAC, kde byl systém implementován na padesáti křižovatkách [56].

##### 3.3.1.3. Klady a zápory

Mezi hlavní výhody systému ITL patří zvýšení bezpečnosti provozu, zvýšení plynulosti, zkrácení doby čekání, zabránění řetězovým kolizím. Sledováním hustoty provozu lze určit, kdy bude komunikace nejvytíženější, a tyto informace poskytnout uživatelům například přes mobilní aplikaci či webové rozhraní. ITL také mohou v reálném čase shromažďovat data a počítat statistiky, jako například hustotu dopravy v přilehlých ulicích (po sobě jdoucí křižovatky).



Největší nevýhoda je požadavek ideálně čtyřramenných křižovatek a čtvercových obytných bloků budov, které jsou rušícím elementem pro tento systém.

V přenášené zprávě by měla být identifikace vozidla, aktuální hodnota počtu sousedů, kdy je zpráva odeslána, IP adresa cíle. Zpráva je odeslána každé 2 sekundy, při rychlosti 40 km/h se jedná o zhruba 5 zpráv na 100 metrech silnice. Komunikace infrastruktura-infrastruktura a vozidlo-vozdlo probíhá přes městskou infrastrukturu a Dopravní informační centrum (TIC). Všechny tyto pakety by měly mít vyšší prioritu (data o nehodě by se měla upřednostnit před zábavními daty).

#### 3.3.2. Sdílení jízdních kol

Města hledají řešení, jak zvládat stále vyšší nároky na mobilitu spojené se stále vyšším důrazem na ekologičnost dopravy. V dnešní době jsou obě tyto oblasti velmi moderní a lidé na ně kladou velký důraz. Snažíme se podporovat udržitelné druhy dopravy, mezi které se řadí veřejná doprava, chůze a cyklistická doprava. A právě cyklistická doprava se pro mnohá města jeví jako možná alternativa k dopravě individuální.

Mezi chytrá řešení to řadím především, protože systém umožňuje ekologickou a udržitelnou dopravu. Díky sdílení dopravních prostředků ušetříme veřejný prostor potřebný k parkování (viz obrázek 3.2). Jízdní kola také mnohdy umožní lepší propojení kratších vzdáleností ve městě než MHD.

Snaha začlenit jízdní kola do možnosti přepravy po městě je v některých městech velmi výrazná. Většina měst zakládá systém bikesharing, tedy sdílení jízdních kol. Systém poskytuje možnost půjčit si kolo na jednom místě a vrátit ho na jiném. Základními principy tohoto systému jsou

- výhodnější krátké výpůjčky, prvních 30–45 minut zdarma, nebo velmi levně,
- v provozu 24 hodin denně, 7 dní v týdnu,
- vhodně umístěné stanice – pravidelné vzdálenosti po celém městě (200–400 metrů od sebe v centru, cca 700 m na periferii), přístupné ze zastávek MHD, obchodních center atp.,
- je vhodný pro střední a velká města (> 200000 obyvatel).

Lidé budou tento systém využívat, pokud bude rychlejší, případně ekonomičtější a ekologičtější. Zároveň je potřeba, aby se lidé cítili bezpečně. Vedení měst by mělo budovat oddělené komunikace pro cyklistickou a automobilovou dopravu (cyklopruhy a cyklostezky). Další možností, jak podpořit udržitelnou dopravu, je uzavření některých cest pro automobily o víkendech, či úplně – Paříž takto uzavřela přes 30 km ulic. Případně je také

### 3. Doprava ve Smart Cities



**Obrázek 3.2.:** Parkovací místo pro osobní automobil je stejně velké jako parkovací místo pro 10 jízdících kol, realizace stojanu na kola v Londýně. Převzato z [10]

možné snížit maximální povolenou rychlost v obci, čímž se zpříjemní doprava pro cyklisty (Londýn snížil ve více než 280 ulicích rychlost na 30 km/h) [61].

Vypůjčení kola na kratší dobu umožňuje opakované využití jednoho kola více uživateli. Bikesharing je také vhodnou cílovou dopravou – od metra do kanceláře, obchodního centra, atp.

Narozdíl od půjčovny kol mohou vrátit kolo na jiném místě, než jsem si ho půjčila. Dále nemusím platit za zprostředkovatele, který mi umožní výpůjčku. Také odpadá většina administrativy spojená s vypůjčením. Většina systémů funguje pro uživatele po registraci, stačí tak využít danou technologii k vypůjčení. Celá akce půjčení probíhá rychle a snadno. Je také možné propojení kol do systému hromadné dopravy a tím snížit cenu.

#### 3.3.2.1. Princip

Dobré fungování systému závisí na umístění a počtu stanic. Instalace vyžaduje zabudování základní struktury a drátů do terénu. Stanice je pak postavena na zemi, bez větších konstrukcí, podzemním vedením je napojena na zdroj elektrické energie. Napájení pomocí solárních panelů může vyřešit problém s napojením zdroje energie, například kvůli špatnému terénu (v Barceloně je tak napájen systém Bixi) [18].

Úspěšnost fungování systému samozřejmě ovlivňuje nejen topologie města, ale také klimatické podmínky. Navzdory tomu, Dublinský systém funguje velmi dobře i přes počet srážek ve městě za rok. Na zimu je možné systém uzavřít nebo omezit počet kol. Problém hornatého terénu můžou vyřešit elektrokola. Kromě překonání převýšení ulehčí používání seniorům či pro převozy těžších nákladů. Elektrokola lze vypůjčit například v Monaku.

Sledování kol probíhá pomocí GPS. Vypůjčka probíhá přes zaregistrovaný účet, platební kartu nebo například pomocí SMS. Některé systémy také používají RFID technologii v podobě přívěšku na klíče a jiné. Pokud by se povedla integrace systému do sítě MHD, bylo by možné využívat jednu kartu pro cestování MHD, vypůjčení kola i vozu a ideálně i pro platbu parkovného.

#### 3.3.2.2. Redistribuce

Kromě krádeží musí systémy sdílení kol řešit i problém přemísťování kol. Jelikož vždy budou nějaké stanice lépe umístěné než jiné, ve špičkových hodinách se může stát, že na těchto stanicích nebudou k dispozici žádná kola, zatímco na jiných bude plný stav. Provozovatel chce docílit co nejméně přemístění. Uživatelům tak nabízí například 15 volných minut za přemístění kola do volnější stanice, to samé pokud odevzdáme kolo na kopeci nebo jinak náročněji dostupné stanici. Redistribuce je nákladná, může zabírat až 30 % z rozpočtu pro provozní náklady. Pařížský nebo Dublinský systém těmito uživatelskými výhodami částečně řeší problém přepravy kol.

Díky sledování kol má centrála informace o stavu jednotlivých stanic. V případě potřeby vysílá vozidlo pro přepravu kol z jedné stanice do druhé. Například v Barceloně mají ve vozidle vestavěný palubní počítač, který zobrazuje aktuální stav a řidič se tak může rozhodovat na základě nových informací. Pro představu, v Paříži je potřeba používat 20 vozidel na zemní plyn.

#### 3.3.2.3. Praxe

S prvním podobným systémem přišli v Amsterdamu v roce 1965, kdy nebyly postaveny žádné stanice. Po městě rozmístili bílá kola, která mohl kdokoliv použít a při dojetí do svého cíle je zanechat nezamčené na ulici. Druhá generace systému byla realizována v roce 1995 v Kodani, kde začali provozovat kola na mince. Kola byla zamčena v terminálech a musela se do terminálů opět vracet. První dvě generace ovšem velmi trpěly krádežemi a vandalismem. Proto byla vyvinuta třetí generace, kdy půjčení proběhlo na základě registrace či potvrzení přes platební kartu. Tím bylo umožněno případné vymáhání způsobené škody. V rámci třetí generace již bylo možné i kola rezervovat přes internet či

### 3. Doprava ve Smart Cities

sledovat, kde jsou k dispozici. Dnes se objevuje čtvrtá generace, která je v základě stejná jako třetí, ovšem systém je napojen na systém MHD, taxi a carsharing. Díky sledování kol je možné zlepšit jejich rozložení, zaregistrovat potřebu montáže či servisu. Zabudováním moderních technologií, sledováním kola a možností lepší správy systému se dostává systém do oblasti inteligentních systémů [19].

Co se týče reálné aplikace nějakého druhu sdílení kol, v roce 2015 měli podobný systém v 50 zemích a 712 městech. Největší systém sdílení jízdních kol mají v Číně (Hangzhou Public Bicycle) a v Paříži (Vélib). Systémy můžeme nalézt po celém světě (Washington, Montreal, Krakov, Londýn, Tel Aviv, Mexiko City a další). Ve městě Hangzhou museli systém několikrát rozšiřovat, aby uspokojili poptávku. Více než 100 měst používá mobilní aplikaci pro rezervaci, zobrazení stanic s počtem kol k dispozici či nahlášení stavu kola. V Kodani vyvinuli aplikaci, která vykresluje trasy a upřednostňuje cyklostezky před silnicemi.

Paříž je jedno z evropských měst, ve kterém systém velmi dobře funguje. Zprovoznili ho v roce 2007, začínali s 10 000 jízdními koly, ale již za 2 roky museli navýšit na počet okolo 20 600 jízdních kol. V Paříži zbudovali více než 370 kilometrů cyklopruhů. 92 % cest je realizováno do 30 minut, kdy je půjčení zdarma. Nově také zvýhodnili dojíždění z periferií Paříže. Pařížský systém provozuje společnost JCDecaux.

V České republice se o zavedení bikesharingu snaží firma Rekola. Momentálně provozují půjčování v šesti městech (Praha, Brno, Pardubice, Hradec Králové, Olomouc, České Budějovice). V Praze a Brně chtějí vystavět stanice, v ostatních městech kola najdeme zamčené na viditelných veřejných místech (např. na náměstí u zábradlí).

V pražské čtvrti Karlín začala v roce 2005 provozovat bikesharing společnost Homeport s.r.o. Původně chtěli ověřit, zda je možné podobný systém v Praze provozovat. Uživatel má svou kartu nebo RFID čip, požádá o PIN kód ke kolu a může si kolo vypůjčit. K výraznému počtu poškození nedošlo, přesto se systém nerozšířil do dalších oblastí.

V únoru 2016 Rada hlavního města Prahy schválila studii ohledně sdílení kol [15]. Dopravní podnik má uskutečnit výběrové řízení na dodavatele, ten bude zodpovědný za vytvoření kompletního systému, provozu a údržbu. Vstupní investice a provozní náklady půjdou z financí města. Při přesunu do 5 km je jízda na kole rychlejší než autem, navíc průměrně stráví obyvatel Prahy stáním v dopravní zácpě 8 dní v roce. Pro Pražany by to mohla být vhodná alternativa.

Všeobecně platí, že každý systém je unikátní, nelze převzít model z jednoho města a aplikovat ho v jiném. Systém bikesharingu má velký potenciál na rozšíření, dopravní kongesce ve městech se zvětšují a lidé kladou stále větší důraz na ekologii dopravy.

#### 3.3.2.4. Klady a zápory

Systém má své pozitivní i negativní stránky. Je dobrý pro lidi, kteří kolo nemají, ale chtějí ho používat, dále pak pro turisty, ale i pro obyvatele města, kteří nemají kde kolo skladovat. Díky umístění stanic v blízkosti parkovišť a stanic hromadné dopravy, může systém nahradit IAD. Využíváním jízdních kol také zmírníme dopravní kongesce, kolo zabere méně místa než automobil, a tak je možné vyřešit i problém s parkováním. Systém je ekologický.

Mezi negativa systému patří jeho hlavní problémy, čímž jsou vandalismus a krádeže. Systém je velmi náchylný na negativní chování obyvatelstva. Při poškození jsou škody vysoké a financování oprav není samozřejmostí. Také se tento systém nesetkal s oblibou ve městech s hornatým terénem. Další problém pak může být například zákon ohledně používání bezpečnostní helmy, kde například v Melbourne je pro všechny povinná a tak nemá bikesharing takové využití.

Musíme si uvědomit, že tento systém není schopen po finanční stránce fungovat soběstačně. Provozovatelé využívají podpory ze strany EU, města či financí z reklamy na kolech. Ve většině případů jsou hlavními financemi právě reklamy. Někdy je dokonce reklamní agentura provozovatelem (JCDecaux v Paříži). Většina systémů má nízké poplatky za půjčení (Paříž – prvních 30 minut zdarma, dalších 30 minut 1 Euro, poté ceny stoupají), některé jsou zcela zdarma (například ve městě Aarhus v Dánsku). Barcelona naopak využívá vybraných peněz z parkování, kterými financuje sdílení kol.

Náklady se značně liší v závislosti na velikosti systému, hustotě obyvatel a jiných parametrech. Počáteční investicí musíme pokrýt stavbu stanic a pořízení kol, licenci systému a ovládání. Po přepočítání těchto položek odhaduje společnost ClearChannel cenu okolo 3600 USD na kolo (tato společnost provozuje systém například v Miláně, Oslu nebo Mexiko City). Provozní náklady zahrnují personál, provoz, servis a údržbu jízdních kol, pojištění, webové stránky a podobně. New York udává průměrné roční provozní náklady na jedno kolo zhruba 1600 USD [18].

#### 3.3.3. Sdílení vozidel

Na velmi podobném principu funguje i sdílení automobilů, takzvaný carsharing. Je to služba, která umožňuje lidem používat auta, aniž by je museli vlastnit a starat se o ně. Pokud budou vozidla sdílena, výrazně se sníží počet aut ve městě. Díky sdílení a propojení této dopravy například s MHD a jízdními koly může být mobilita více udržitelná i do budoucna.

Systém se vyvíjel v různých částech světa, a tak jeho název a princip není zcela

### 3. Doprava ve Smart Cities

jednoznačný. Sdílení aut čili carsharing občas bývá zaměňován se sdílením automobilu více lidmi, kteří jsou jeho spoluvlastníky. Případně se spolujízdou, kdy jedním autem cestuje více lidí za myšlenkou úspory nákladů (většinou dojíždění do práce). Dále se budu zabývat organizovanou formou sdílení automobilů, kde vlastníkem vozidla je provozovatel celého systému.

Pokud autem potřebujeme jezdit, ale nepotřebujeme ho vlastnit, je carsharing ideální možnost. Větší množství lidí může efektivně využívat menší množství automobilů. Sdílený vůz je možné zvýhodňovat, například levnější parkování, povolení parkování v centru, možnost jízdy v pruzích vyhrazených pro autobusovou dopravu. Pokud by byl systém placení například propojen s kartou na veřejnou dopravu, byla by jeho implementace jednodušší.

Carsharing se vyplatí instalovat v hustě obydlených oblastech (centra měst, univerzitní městečka a podobné areály). Tento způsob dopravy je výhodný pro uživatele, kteří vozidlo používají jen občas. Obecně lze říci, že carsharing je vhodný, pokud najezdím méně než 10 000 km za rok. Pokud toto splňuji, jako uživatel ušetřím na investičních a provozních nákladech. Městu se aplikací tohoto systému sníží nároky na parkovací místa.

K dispozici většinou bývá rozrůzněný vozový park, a tak je možné rezervovat a vypůjčit vozidlo dle aktuální potřeby. Systém je také možné brát jako doplněk k vlastnictví vozidla, kdy ho někteří uživatelé využívají jako sekundární automobil.

Hlavními rozdíly oproti klasickým půjčovnám jsou

- možnost vypůjčení 24 hodin 7 dní v týdnu,
- samoobslužné rezervace, vyzvednutí a vrácení,
- téměř žádné administrativní nároky,
- mohou pronajímat po hodinách či minutách,
- mohou vozidlo vrátit na jakékoliv stanici,
- decentralizovaná síť stanic,
- náklady na palivo jsou v ceně, ovšem vozidlo není po každé jízdě kontrolováno, čištěno a dotankováno.

#### 3.3.3.1. Princip

Stejně jako odemčení jízdních kol, i přístup k automobilu je přes čipovou kartu nebo smartphone. Pomocí GPS lokalizují v mobilní aplikaci volné vozidlo. Většina systémů funguje na základě registrace a zaplacení poplatku, teprve poté si mohou půjčovat vůz.

Každé vozidlo potřebuje parkovací místo, ideálně v uličním prostoru. Je to bezpečnější a viditelnější než garážové stání. Způsob parkování vozidel můžeme rozdělit na pevné

nebo plovoucí parkovací místo. Pevné nalezneme tam, kde je vyhrazené parkovací místo pro tyto vozidla. Plovoucí znamená zanechání vozu v určené lokalitě, uzamčení a odeslání polohy do aplikace. Plovoucí parkovací místa jsou sice více rozmístěna po městě, avšak nemám zaručeno rychlé nalezení parkovacího místa.

#### 3.3.3.2. Praxe

V praxi systém podporují i autopůjčovny či výrobci automobilů (například BMW Drive-Now v Německu – Berlín, Kolín, Mnichov) [20].

Zipcar je jedna z největších firem zabývajících se carsharingem. Řidič si otevře vůz elektronickou kartou a uvnitř nalezne klíče. Velmi dobře fungují na webu, kde lze například prodloužit výpůjčku. Vozy nalezneme v centrální části měst. Zipcar funguje v mnoha městech USA, Kanadě, Rakousku, Francii, Velké Británii, ale také je možné ho najít na letištích, např. London Heathrow, JFK v New Yorku a mnoha dalších.

V České republice se s carsharingem setkáme u několika firem. V roce 2003 s tím začala firma Autonapůl. Dnes mají nová nebo předváděcí auta a fungují v 7 městech (Praha, Brno, Plzeň, Ostrava, Pardubice, Hradec Králové a Liberec). Skrze registrační systém si zamluvím vozidlo, odemykání realizují pomocí čipu. Není možné půjčení v jednom městě a navrácení v druhém, ale jako turista si mohu vozidlo půjčit v jakémkoliv městě, kde systém funguje. Jako další firmy, které provozují carsharing na území ČR, mohu jmenovat například Car4Way (Praha, Pardubice), Ajo (Brno) nebo Sharujeme.cz. Prozatím se ovšem bavíme celkem o několika desítkách sdílených vozidel na území ČR.

#### 3.3.3.3. Klady a zápory

Mezi největší výhody systému patří nižší potřeba používání aut a parkovacích míst. Vozidla jsou efektivněji využívána (jeden takový vůz nahradí 4 až 10 soukromých vozidel [62]). Provozovatelé většinou vlastní novější vozidla, která splňují přísnější podmínky a tím vypouští méně emisí. Obecně se pak sníží počet najetých kilometrů autem a zvýší používání veřejné dopravy (řidič si rozmyslí, zda auto opravdu potřebuje).

Na druhou stranu, právě kvalitní síť MHD ovlivní naše rozhodnutí o užití. Dalším problémem může být potřeba plánování cesty (rezervace, velikost automobilu). Také musíme do své přepravy započítat čas, kdy se dopravujeme k půjčenému vozidlu. Vždy budeme vystaveni riziku, že systém může být plně obsazen.

#### 3.3.4. Porovnání sdílení jízdních kol a vozidel

Výše zmíněné systémy sdílení jsou si podobné. Obě řešení by měla napomoci vyřešit problém dopravních kongescí a zmenšit ekologickou zátěž dopravy na město. Obě řešení

### 3. Doprava ve Smart Cities

umožňují i jenom jednosměrný provoz, mohu tedy vrátit kolo i vozidlo na jiném místě, což výrazně podporuje konkurenceschopnost obou systémů vůči veřejné dopravě. Bohužel, oba systémy mohou mít problém s přemístěním části flotily ve špičce do vytížených stanic, zejména automobil nelze tak snadno přemístit. Redistribuci většinou systém sdílení automobilů neřeší, ta by se nevyplatila z finančního ani ekologického hlediska.

#### 3.3.5. Inteligentní parkování

Jak jsem již zmínila u předchozích systémů, vedení měst se potýká s velkým problémem ohledně množství automobilů ve městě. Je možné instalovat další a další systémy, které podporují přechod od individuální automobilové dopravy k více ekologičtějším druhu dopravy. Bohužel pro většinu populace je vlastnictví a používání automobilu symbol moci, svobody a společenského postavení a je velmi těžké tyto občany odnaučit každodennímu používání automobilu. Bylo by potřeba, aby Smart City opravdu řešilo problém parkování odpovídajícím způsobem.

Parkování v centru bývá problém v mnoha městech. Parkovat zde potřebují rezidenti, ale také klienti či majitelé služeb, které se zde vyskytují. Musíme si uvědomit, že zvýšením počtu parkovacích míst problém dlouhodobě nevyřešíme. Některá města omezují parkování v centru dle emisních tříd vozidel. Jiná zavádějí rezidenční noční parkování – velmi levné zpoplatnění nočního stání pro rezidenty, ale pro ostatní je to drahé. Tento systém například praktikují v Los Angeles [53]. V českých městech začínáme praktikovat systém zón, kdy umožníme lepší parkování rezidentům na úkor ostatních. Řízení parkování v jakémkoliv slova smyslu je potřebné, vždy k tomu docházelo (parkovací hodiny na ulici) a se vzrůstajícím počtem automobilů v centru je to nezbytné.

##### 3.3.5.1. Typy inteligentního parkování

Existují různé způsoby, jak můžeme efektivně řídit dopravu v klidu. Inteligentní parkování je dnes název, který nese mnoho systémů. Stejně jako pojem Smart City, i pojem Inteligentní parkování je zaváděn pro všemožné systémy. Většina těchto systémů se snaží vhodným způsobem předávat aktuální informace řidiči, čímž by měly ulehčit proces parkování. Všechny tyto systémy se snaží o snížení času stráveného hledáním parkovacího místa, čímž sníží i emise vypouštěné do ovzduší. Většina se také snaží o zlepšení platební kázně řidičů a cenovou flexibilitu. Pomocí detektorů bychom měli být schopni sbírat data, které lokality upřednostnit, kdy je parkoviště nejvytíženější a kdy tedy můžeme zvýšit tarif. Případně i například které parkovací plochy můžeme zrušit. Měli bychom se snažit využít co nejefektivněji stávající parkovací místa a snížit počet aut parkujících mimo parkoviště.



**Navigační systémy** Nejrozšířenější jsou navigační a informační systémy. Displeje v okolí komunikace ukazují počty volných míst v parkovacích domech. Většinou je systém založen na dvou detektorech, které sledují vjezd a výjezd a na základě výpočtů určí počet přítomných automobilů. Pokud chceme podobný systém aplikovat na pouliční parkování, je potřeba každé parkovací místo osadit senzorem.

Díky detekci volného parkovacího místa je možné navádění řidičů až k parkovacímu místu. Mohu dostat aktuální data o obsazenosti a času dojezdu. Použitím signálu GPS je možná lokalizace vozidla a odeslání informací o nejbližších parkovacích místech. Senzor kontroluje, zda je místo obsazené a odesílá tuto informaci na server. Poté uživateli mobilní aplikace zobrazí volná místa pomocí GPS a ukáže trasu, kudy se k nim dostat.

Pokud máme uzavřenou parkovací plochu, je možné sledovat obsazenost pomocí video nebo rádiové detekce. Tyto detekce je možné použít na parkovištích v obchodních centrech, letištích atp. Kamera může být schopna snímat a číst registrační značku. Propojením se systémem lze v mobilní aplikaci či konzoli u vchodu k parkovišti zadat číslo registrační značky a systém nalezne, kde přesně parkují. Přes mobilní aplikaci mohu i rezervovat parkovací místo.

V praxi se již několik komerčních systémů používá, například CODIC nebo od firmy SIEMENS. Většinou používají ultrazvukové detektory umístěné nad parkovacím místem [52].

**Tranzitní systémy** Další možností jsou takzvané tranzitní systémy. Již běžně užívaný systém je parkování P+R. Parkoviště jsou umístěna v blízkosti MHD a vybavena čítačem obsazenosti. To umožňuje snadné nalezení parkovacího místa a přechod na veřejnou dopravu. Opět je možná navigace na volné parkovací místo. Velmi dobře se systém ujal například v Kolíně nad Rýnem.

Tranzitní systémy se řadí mezi inteligentní systémy. Nicméně podle mého názoru, parkoviště P+R například v naší metropoli jsou vcelku malá a pouze informují řidiče o počtu volných míst bez schopnosti navigace (ta není v relativně malém prostoru potřeba). Nejsem si tedy jista, zda je vhodné tento typ systému nazývat inteligentním.

**Automatické parkovací domy** Využitím vyšší úrovně technologií jsou automatické parkovací domy. Ty umožňují dopravení vozidla na místo pomocí stroje (robotické rameno, dopravní pásy, otáčivé výtahy, ...). Stroj nám tedy sám umístí vozidlo do přiděleného prostoru. Díky řízení strojem není potřeba větší prostor než je nezbytně nutný. Uživatel se do domu vůbec nedostane, z čehož plyne, že je to bezpečnější pro vozidla i uživatele. Konstrukce umožňuje stohování vozidel, je možné uložení i 16 vozidel nad sebou.

### 3. Doprava ve Smart Cities

Největší výhodou tohoto řešení je optimalizace prostoru a bezpečnost vozidel. Uživatel nemusí hledat volné parkovací místo, domy mají větší kapacitu než klasické parkovací domy. Jelikož by se do parkovacího domu nikdo neměl dostat, vozidla by měla být chráněna i před krádežemi.

Investice do stavby tohoto systému je ovšem vyšší než klasické parkovací domy. I přes levnou obsluhu a nižší podmínky na vybavení celé konstrukce je potřeba vybavit zařízení spolehlivou technikou. Řešení se také může setkat s nedůvěrou obyvatel, kteří raději zaparkují na ulici.

Použitím mobilní aplikace je možné najít aktuální informace o obsazenosti a rezervovat si volné místo. Také je možné pomocí aplikace a parkovacího čísla zjistit, kde přesně parkují. Pro vyzvednutí vozidla uživatel zadá přihlašovací údaje, načte čipovou kartu a mechanismus mu doručí jeho vozidlo.

#### 3.3.5.2. Praxe

Ekologičtější dopravu také podporuje Evropská unie. Skrze program CIVITAS se snaží města ekonomicky podporovat. Této podpory využilo v České Republice město Brno, které se snaží optimalizovat parkování. Vedení města zadalo projekt na systém parkování. V navrhovaném systému se snaží poskytovat informace o volných místech na parkovištích a ve vybraných ulicích. Informace by měly být předávány do vozidla. Systém by byl schopen lokalizovat volná parkovací místa v okolí vozidla. Pomocí mobilní či webové aplikace by byl systém schopný vozidlo navigovat na volné místo. Cílem tohoto systému by bylo zkrácení doby hledání místa až o 20 %, zkrátit cestovní dobu, dosáhnout vyšší obsazenosti parkovacích domů atd.

Platební kázeň mnohdy není tak ideální, jak by bylo vhodné. Instalací a aplikací vhodných systémů můžeme docílit zvýšení platební kázně. Platební systém musí být přívětivý a jednoduchý. V dnešní době musí akceptovat bezkontaktní platební karty či platbu přes mobilní telefon, případně placení pomocí RFID čipů zabudovaných v automobilech. V posledním případě se peníze ihned strhávají z účtu a poté chodí měsíční vyúčtování. Tento způsob také nutí uživatele zaplatit parkovné v momentě průjezdu. Není potřeba tisknout parkovací lístky.

Musí být také zajištěno postihování neplatících uživatelů. Všechny systémy řešili otázku informovanosti řidičů. Není tak problém vytvořit databázi aktuálně zaplacených a obsazených míst. Kontrolní orgán by měl k dispozici mobilní telefon s aplikací, kde by snadno zjistil, jaká místa jsou obsazena a zaplacená. S touto kontrolou se odhaduje nárůst platební kázně až na 80 nebo 90 %. Počáteční investice by se tak mohly rychle vrátit [5].

### 3.4. VISION ZERO

Nejen v rámci Evropské unie můžeme najít několik projektů, které podporují vyšší bezpečnost v silniční dopravě. Vision Zero je mezinárodní projekt podporující bezpečnost silničního provozu. Hlavním cílem projektu je snížit počet smrtelných nehod a vážných zranění na silnicích. Hlavní vedení projektu sídlí ve Stockholmu, projektu se zúčastnilo již více než 60 zemí světa. Tento projekt poprvé implementovalo Švédsko, když v roce 1997 tamní parlament schválil zákon, který upravuje bezpečnost na pozemních komunikacích. Tento zákon se nespokojil s ekonomicky přijatelným počtem nehod, ale stanovuje konečný cíl projektu, což je doprava bez úmrtí a těžkých zranění. Ve Švédsku tak nové silnice staví podle této normy a starší pozemní komunikace byly změněny, aby normě vyhovovaly. Vision Zero také přispívá k technickému vývoji, který snižuje bezpečnostní rizika na minimum.

Není to jen o tom, vytvořit bezpečné silnice po stavební stránce, ale také zdokonalit vozidla samotná. Za 90 % nehod může lidský faktor, který se musíme pokusit eliminovat. V projektu se tedy mluví o stavebních úpravách, úpravách dopravních předpisů (snížení rychlosti, omezení vjezdu, ...), budování klidových zón, ale také o ITS aplikacích (komunikace V2V a V2I, asistenční systémy ve vozidle, ...). Celý projekt je založený na budování fyzických překážek, ale k bezpečnosti také přispívají překážky psychické (řízení pod vlivem alkoholu je dnes společensky nepřijatelné, stejně tak nepoužívání bezpečnostních pásů).

V projektu jsou stanoveny rychlostní limity, které mají snížit ztráty na životech. Například ve městě doporučují maximální rychlost 30 km/h. Při případné srážce s chodcem není tato rychlost fatální. Na dálnicích pak doporučují 100 km/h, protože ve vyšší rychlosti již člověk pomalu reaguje. Další možností je konstruovat komunikace, které budou samovysvětlovací. Tím pádem nebude nutné tolik zahltit mozek člověka, snižujeme tak pravděpodobnost zkratu.

V posledních letech dochází k implementaci programu v mnohých městech – Edinburgh (Velká Británie, 2010), Chicago (USA, 2012), Edmonton (Kanada, 2015), Washington DC (USA, 2015). Kromě Švédska, které tento program implementovalo jako první do svých zákonů v roce 1997, tento program podporuje od roku 1999 také Norsko. Evropská unie ho včlenila do Bílé knihy o dopravě v roce 2011 [68].



## 4. Koncepty vybraných měst

Každé město přistupuje ke konceptu Smart City jinak. Jak jsem již zmiňovala v předchozích kapitolách, nelze zobecňovat přístup ani jednotlivá řešení. Vybrala jsem některá česká a evropská města, která se koncepcí Smart City aktivně zabývají. Způsob pojetí Smart City jsem zpracovala pro česká města Prahu, Brno, Písek, Plzeň, Pardubice a z evropských pak pro Vídeň a Amsterdam.

### 4.1. Česká republika

Primárně svůj zájem zaměřím na Českou republiku. Zajímá mne, v jaké fázi realizace jsme v jednotlivých městech. V České republice jsou snahy o zavedení koncepce Smart City ve více městech. Já jsem se zaměřila na vybraná větší města.

#### 4.1.1. Praha

Praha je jedním z českých měst, které se snaží aplikovat koncept Smart City. Pokud se zaměříme na dopravu, můžeme ve městě najít několik projektů, které jsou snahou ke konceptu Smart City.

Vedení města začalo na podzim roku 2015 zveřejňovat data o dopravě, bezpečnosti nebo například o hluku. Tato data můžeme najít na webu hlavního města, kde je zveřejňuje Magistrát hl. m. Prahy. Snahou je otevřít data veřejnosti. Práce s daty a jejich získání tak bude jednodušší, což by mohlo přinést nové aplikace ze soukromého sektoru. Při vhodné práci s daty bychom mohli i lépe řídit správu města, například koordinovat opravy silnic (aby nedocházelo k více opravám na jednom místě, ale byla provedena jedna komplexní oprava) [45].

Dalším realizovaným projektem na území Prahy jsou přechody pro chodce, osazené světelnými liniemi. Bezpečnostně je velmi nebezpečná situace, kdy se k přechodu blíží jak tramvaj, tak osobní automobil. Chodec má přednost před osobním automobilem, avšak již nemá přednost před tramvají. Tyto světelné linie by měly pomoci zvýšit bezpečnost při takových situacích. Narozdíl od nápisu na zemi POZOR TRAM by měla být světelná signalizace více varující.



shánět finance, případně požádat o pomoc při řízení. Celá platforma navazuje na metodiku Ministerstva pro místní rozvoj. Partnerem programu je IPR (Institut pro rozvoj hl. m. Prahy). Smart Prague má dva hlavní cíle – zvýšit kvalitu života v Praze a podpořit obchod i dostupnost samosprávy občanovi (e-government ve formě služby Prague Marketu).

Pokud se zaměříme pouze na dopravu, na konferenci Smart Prague v dubnu 2016 byly představeny několikero projekty, které chce vedení města realizovat. Mezi těmito projekty byly zmíněny například bezemisní zóny v centru města, bezkontaktní odbavování ve vozech MHD nebo například všechny zastávky v centru přestavět na chytré.

**Bezkontaktní platba v MHD** Jedním ze systémů zmíněného projektu je například bezkontaktní platba jízdného v tramvajích. V Praze je to zatím možné pouze ve vybraných vozech linek číslo 18 a 22. Systém je velmi jednoduchý na obsluhu. Nejprve musíme zvolit typ jízdného, poté přikládáme na blízko platební kartu. Po úspěšné transakci nám přístroj vytiskne lístek již označený. Při jedné transakci mohou zakoupit pouze jeden lístek. Placení by mělo být bezpečné, stejně jako v jiných obchodech. Kartu je potřeba přiložit velmi blízko a nejprve navolit typ jízdného, není tedy pravděpodobné, že by někdo aktivoval platbu omylem.

Projekt se bude rok testovat a poté Dopravní podnik rozhodne, zda bude systém instalovat do všech tramvajových vozů. Je například potřeba vyřešit otázku přepravní kontroly, kde je v jízdním řádu stanoveno, že cestující nesmí nastoupit bez platného jízdního dokladu. Dopravní podnik uvádí, že jízdenku je možné koupit zhruba během 20 vteřin, takže by mělo být cestujícím umožněno, koupit jízdenku neprodleně po nastoupení do vozu.

Bezkontaktní platba funguje již od podzimu 2015 v příměstské autobusové lince 381. Dopravní podnik také zavádí tento systém do některých autobusů linky 119 na Letišti Václava Havla. To by mělo usnadnit dopravu turistům. V tomto případě se jedná pouze o rozšíření doplňkového prodeje, kdy si může cestující vybrat, zda lístek uhradí hotově či kartou. Je to krokem k tomu, aby byla veřejná doprava atraktivnější možností dopravy do centra města. Bezkontaktní nákup provozují také v Plzni, Liberci nebo v Brně [41].

##### 4.1.1.2. Morgenstadt City Lab

Německá výzkumná organizace Fraunhofer analyzovala řešení v šesti městech, kde se povedlo implementovat technologie Smart City. Jedná se o Berlín, Freiburg, Kodaň, New York, Singapore a Tokio. Na základě této analýzy poté sestavili model udržitelného města. S projektem Morgenstadt City Lab spolupracují další evropské projekty, například projekt Evropské unie Triangulum, kterému se budu věnovat níže.

#### 4. Koncepty vybraných měst

**Praha** Praha se také zapojila do projektu udržitelného města. Její plány budoucího rozvoje ale nejsou jasně stanovené, a tak je velmi těžké posuzovat jejich účinnost a splnění cíle. V současné době vzniká nový Metropolitní plán se spoluprací iniciativy Morgenstadt City Lab. Iniciativa vytvořila analýzu Prahy [49], kde ukazuje silné a slabé stránky města a navrhuje plán přeměny na vůdčí a chytré město. Cílem analýzy bylo také určit hlavní příležitosti do budoucna a překážky, které je nutné překonat. Iniciativa bere v potaz všechny obory související s výstavbou Smart City. Já se budu v tomto přehledu dále zabývat pouze mobilitou.

Z analýzy bylo zjištěno, že město má málo měkkých mobilních systémů (P+R, B+R, carsharing, tranzitní terminály) a stále je pro obyvatele atraktivnější použití osobního automobilu před MHD. I přes velké investice se Praze nepodařilo snížit objem automobilové dopravy. Také vážně spolupráce mezi dopravním podnikem a dopravci v pražském regionu. Díky transparentnosti by měla být i lepší spolupráce se soukromým sektorem, který by mohl provozovat více systémů.

Praha investuje zhruba 30 % ročního rozpočtu do MHD. Město by mělo věnovat svou pozornost k rozšíření dopravy i na předměstí. Právě předměstí a přilehlé oblasti Prahy jsou stále více obývané lidmi, kteří pracují v centru města. Linky města ale neobsluhují ani okrajové části města a ani regionální doprava (středočeský integrovaný systém) není integrovaná do MHD Prahy. Město by mělo být více propojené regionální autobusovou a především železniční dopravou. Tento problém je hlavní příčinou, proč pracující lidé dojíždí automobily. To způsobuje velký nárůst dopravy v některých částech města. Praha neinvestuje do terminálů P+R, B+R, sdílení vozidel a dalších podpůrných systémů, které by mohly být napojeny na tranzitní systémy a cyklistické stezky. Praha nechce regulovat vjezd do centra.

Řešení iniciativy Morgenstadt City Lab jasně definovalo cíle, kterých by mělo vedení města dosáhnout v dlouhodobém horizontu (do roku 2050). Celé řešení je založeno na spolupráci sektoru dopravy a městského rozvoje. Řešení zmiňuje dva hlavní projekty:

- Prvním z nich by mělo být vybudování sítě multimodálních dopravních terminálů, která by snížila počet vozidel v centru. Doprava v centru by byla nahrazena MHD, jízdními koly a chůzí. Přeprava by měla být lehčí díky aplikaci, která pomůže naplánovat individuální cesty.
- Druhým způsobem je udržitelná modernizace Václavského náměstí. Centrum Prahy je nutné modernizovat nejen kvůli turistům, ale pro udržitelné inovace, například vytvoření zeleného spojení mezi hlavním nádražím a náměstím Republiky pro pěší a cyklisty.



#### 4.1.1.3. Triangulum

Projekt Triangulum [65] je část evropského programu Horizont 2020. Jak jsem již výše naznačila, na projektu spolupracuje i organizace Fraunhofer. Celý projekt propojuje partnery ze šesti účastnických zemí (Norsko, Nizozemí, Velká Británie, Německo, Česká republika, Španělsko) a díky institutu Fraunhofer i další města. Základními hesly Triangula jsou slova, která vystihují jeho smysl – šířit, kopírovat, prokázat.

Tři modelová města (Manchester, Eidhover a Stavanger) vytvořila chytrou čtvrť. Jejich realizace byla analyzována a na základě poznatků z těchto tří projektů se mají vybudovat další chytrá města. Manchester je jedno z nejrychleji rostoucích měst ve Velké Británii. Proto se zaměřilo především na snížení počtu jízd osobním vozidlem. Celkovým cílem je vytvořit jedno z nejzelenějších měst na světě. Norský Stavanger vidí jako klíčovou součást Smart City inteligentní budovy, na které se ve své čtvrti zaměřili. Dále investují do elektrobuses, cílem je mimo jiné zlepšit kvalitu MHD a tím zvýšit konkurenceschopnost v porovnání s IAD. V Eidhoveru se pokouší přeměnit dvě oblasti na chytré čtvrtě. Jedná se o oblast Strijp-S (bývalá průmyslová oblast), a o čtvrť Eckart-Vaartbroek (obytná oblast). Výstupem projektu mají být strategické plány pro následovníky.

Následovníky modelových měst jsou v současné době Lipsko (Německo), Sabadell (Španělsko) a Praha. Sabadell chce v rámci konceptu Smart City aplikovat inteligentní městský program – systematický přístup, správa osvětlení, odpadu, vzdálená správa klimatizací v 59 obecních budovách a vzdálené zavlažování parků a zahrad. V Triangulum je severní oblast města (starší oblasti, bývalé obytné oblasti), cílem je vypracovat plán na obnovu této části. V Německu se koncept zaměřuje na oblast Lipsko West (bývalé průmyslové zóny). V minulých 15 letech byla oblast přetvořena, což vytvořilo silné vazby mezi místní ekonomikou, soukromými vlastníky i veřejnými zájmy. Proto chce do své koncepce Smart City zapojit střední a malé podniky.

Dále je v projektu jako pozorovatel čínské město Tianjin. Tianjin poskytuje kritický názor na celou záležitost. Je zde především kvůli významu Číny z politického hlediska a tržních příležitostí. V Číně řeší velký problém s rozvojem infrastruktury tak, aby bylo řešení vhodné pro obyvatele, ale zároveň udržitelné.

Praha vyhrála výzvu v unijním programu Horizont 2020 a stala se tak součástí projektu Triangulum. Ten sleduje po dobu 3 let transformaci vybraných městských částí Manchesteru, Eidhoveru a Stavangeru v chytré čtvrti. Na základě poznatků Praha postavila svůj strategický plán. I díky financím z tohoto projektu zastupitelstvo hlavního města v dubnu 2014 schválilo koncept Smart Prague – ovšem až v letošním roce stanovilo vedení města jasný plán koncepce.

#### 4. Koncepty vybraných měst

**SMART Prague 2014–2020** SMART Prague je pražský koncept, ve kterém je základní vizí systematicky podporovat rozvoj a propojení různých odvětví. Vychází ze Strategického plánu hl. m. Prahy. Koncept spojuje projekty do tří koncepčních celků:

- SMART Infrastructure (propojení města dopravní, energetickou, environmentální a telekomunikační infrastrukturou),
- SMART Specialization (hospodářské i ekonomické oblasti, ve kterých je město schopno konkurovat),
- SMART Creativity (snaha vytvořit z Prahy kulturní metropoli) [58].

##### 4.1.2. Brno

Dalším velkým českým městem, které se snaží o realizaci konceptu Smart City, je moravská metropole. Oproti Praze se zaměřuje na jiné oblasti – smart governance, smart living, smart resources. Pro Brno je hlavní zavedení nových principů, které zkvalitní život ve městě. Například tak mluvíme o zapojení veřejnosti do rozvoje města, podpoře vzdělání, vytvoření konkurenceschopnosti města ve světě či zvýšení cestovního ruchu.

Vedení města chce vytvořit strategický dokument Smart City Brno 2050 do roku 2017. Na rozdíl od Prahy by měl být dokument velmi konkrétní, měl by obsahovat termíny i odpovědné osoby, což by Brnu mohlo pomoci v realizaci jednotlivých projektů. Do té doby jsou jejich snahy zaměřeny především na veřejnou dopravu a její zlepšení jak ve městě, tak do města a v jeho okolí (příměstské spoje, propojení menších měst a vesnic). Dopravu směřují ekologickým směrem, v roce 2016 nakoupili zhruba 100 autobusů na CNG a vyřadili stará vozidla.

Ve městě ale bojují s ohlasy obyvatelů. Mezi prvními kroky tedy pravděpodobně bude docílení přijetí celé myšlenky od obyvatelů. V posledním roce se například pokusili navrhnout omezení vjezdu aut do centra nebo úpravu hlavní třídy s tím, že selepší cyklostezka vedoucí podél a sníží počet parkovacích míst. Oba návrhy se ale setkaly s velkou nevolí obyvatel.

##### 4.1.3. Písek

Vedení města Písek jako prvního města v ČR schválilo záměr zapojit město do projektu Smart City. Hlavním cílem projektu Smart Písek je vytvořit prostor, který bude podporovat realizaci projektů z konceptu Smart City. Smart Písek by měl poskytnout data a analýzu pro konkrétní projekty, podporovat spolupráci mezi jednotlivými sektory (soukromý, státní, akademický, občané města). Jako všechny koncepty Smart City, i Písek chce především zvýšit kvalitu života ve městě a zvýšit jeho konkurenceschopnost v regionu.

V dopravě si klade za cíl řídit a regulovat dopravu pomocí ITS systémů, podporovat MHD jako vhodnou alternativu k IAD (optimalizace, kvalita dopravních prostředků, tarif), vytvořit informační systém pro cestující, podporovat elektromobilitu, půjčovny kol a rozvíjet cyklostezky.

Parkování je velký problém města. Také proto se na něj zaměřuje více možností řešení. Základem je navigace řidiče na parkovací místa, informace o možné dostupnosti by měly být sdíleny přes různé aplikace. Pro případ speciálních akcí by pak měla být možnost centrálního řízení. Celý systém parkování by měl počítat s elektromobilitou, takže by ve městě měla být instalována zařízení na dobíjení a servis. Na parkovací systém musí navazovat další možnost dopravy (půjčení jízdních kol, MHD). Instalací nových technologií další parkovací místa nevzniknou, problém tím tedy nevyřešíme. V dopravě by se dále chtěli zabývat inteligentním SSZ, které bude schopné preferovat vozidla IZS v jízdě.

Další velká část projektu je shromáždit všechny informace do jednoho centrálního systému. Systém by měl shromažďovat informace a v případě potřeby umět řídit veřejné osvětlení, spotřebu energie nebo dopravu ve městě. Dále by systém měl být schopen realizovat platby za služby. Mluvíme ovšem o obrovském množství dat, které musí mít rozumné využití.

##### 4.1.3.1. Modrožlutá kniha

V roce 2015 zastupitelé města schválili strategický dokument – Modrožlutou knihu ke konceptu Smart City. Dokument popisuje stávající situaci a problémy města. Poté pokračuje v analýze projektů a vyjmenování možných finančních zdrojů. Dále dokument poukazuje na fakt, že je potřeba sbírat data, podle kterých se dá doprava řídit. V tento moment jsou data ve městě sbírána soukromou firmou, což komplikuje mimo jiné plánování MHD. Městská data jsou sbírána pouze na vybraných světelných křižovatkách, kde jsou sledovány průjezdy vozidel. Partneři projektu pomáhají jak finančně, tak dodáním technologií. Například společnost E.ON poskytla městské policii elektromobil, Scheider Electric poskytla městu dobíjecí stanici pro elektromobily.

Modrožlutá kniha definuje některé konkrétní projekty, které budou realizovány. Jedním z nich je vytvoření informačního systému. Ten by měl poskytovat informace do mobilních zařízení ohledně volných parkovacích míst či případně možnost místo rezervovat. Systém by mohl poskytovat data o pohybech obyvatel v MHD a tím by byla možná vhodná optimalizace tras a investic v budoucnu.

Dalším z projektů je používání a popularizace elektromobilů, čímž by se samozřejmě zlepšila kvalita ovzduší ve městě. Elektrická vozidla lze používat i v cestovním ruchu (elektroskútry, elektrokola, elektrobusesy) ve městě a jeho okolí. V tomto případě je možné

#### 4. Koncepty vybraných měst

využít velký potenciál pro soukromé podnikatele.

Z plánovaných projektů byl prozatím realizován pouze projekt o energeticky úsporných opatřeních v městských objektech. Po instalaci nových technologií ve školách za první polovinu roku 2015 ušetřili 2,5 milionu korun. V dalších letech se chce Písek zaměřit právě na zmíněné parkování, které činí problémy dopravy ve městě.

##### 4.1.4. Plzeň

Plzeň ještě nemá zcela jasnou koncepci ani strategický dokument. Pokud město chce čerpat dotace z EU, potřebuje k tomu koncepci Smart City. Proto na ni spolupracuje s ZČU a ČVUT. Koncept v oblasti dopravy počítá s inteligentním řízením dopravy, kde bude možné regulovat zácpy a výluky a usnadní tak obyvatelům průjezd městem. Ve městě již funguje několik systémů, které rozhodně do koncepce Smart City spadají.

Plzeň je důležitým tranzitním (a to nejen železničním) uzlem. Na dráze je v posledních letech modernizována trať Praha – Plzeň – hranice SRN. Vazba na dálnici D5 je vidět v systému silnic vedoucích skrz město. Příjezdové komunikace mají velký potenciál pro využití ITS aplikací na řešení dopravních problémů. Když se odkloním od dopravy, Plzeň je městem, které velmi podporuje vědu a výzkum – příkladem může být vystavění Vědeckotechnického parku Plzeň díky dotacím z evropského programu Horizont 2020. V létě roku 2015 také v centru města zprovoznili bezplatnou WiFi v městských parcích okolo náměstí Republiky (Mlýnská strouha a Smetanovy sady). Snahou bylo usnadnit lidem přístup k informacím.

Velký důraz klade plzeňský dopravní podnik na nasazení elektrobuseů v rámci unijního projektu ZeEUS. V souvislosti s tím mělo město v plánu vystavět dobíjecí infrastrukturu, narazili však na administrativní a technické obtíže (dobíjecí stanice nejsou připojeny na trakční vedení a odebíraný výkon je velmi drahý). Prototyp elektrobuse ve městě zatím z technických důvodů dlouho nevydržel. Celkově je hromadná doprava základním pilířem konceptu Smart City v Plzni. Investice v budoucnu budou směřovat právě do dopravních prostředků, technického zázemí a informovanosti cestujících plzeňské MHD (inteligentní zastávky). Další snahy se pak upínají k jakési verzi e-governementu, kdy se snaží co nejvíce zpráv elektronizovat a co nejméně tisknout. Dokumenty jsou tak snáze dostupné z domova občana [42].

##### 4.1.4.1. Plzeňská karta

V Plzni aplikovali jednotnou kartu, která propojila více systémů pod jeden celek. Lidé tak nemusí mít více karet pro městské služby. Systém zde funguje od roku 2004. Plzeňská

karta funguje jako nosič předplatného kuponu na MHD po celém Plzeňsku. Kartou lze použít jako elektronickou peněženku, kdy je možné platit jak MHD a parkovné, tak i další městské služby jako je bazén a další. Na tuto kartu také fungují stravovací systémy na většině základních a středních školách v Plzni, čtenářský průkaz do knihovny i centrální rezervační kancelář. Díky Plzeňské kartě mají důchodci slevu na léky, občané slevu do divadel a další zvýhodnění.

Dokonce existuje koncept propojení Plzeňské karty a In-Karty Českých Drah. Tím by uživatelům odpadla další karta v peněženke. Samozřejmostí je společné úložiště dat (osobních dat, kuponů, předplacených jízdenek a rezervací) a elektronická peněženka. Plzeňská karta obdržela několik ocenění za inovace v této oblasti (cena Mastercard, národní cena za inovace a další) [44].

##### 4.1.4.2. Bezkontaktní odbavení ve vozech MHD

Jedním z důvodů, proč lidé nevyužívali plzeňskou MHD, byla špatná dostupnost jízdního dokladu. Jízdenkové automaty byly cílem vandalů a jejich opravy byly příliš nákladné. Město se je proto rozhodlo zrušit. SMS jízdenka je v plzeňském MHD podporována, ale tato služba požaduje aktivované premium SMS a to je u některých cestujících problém.

Dopravní podnik tuto komplikaci vyřešil v roce 2015 instalací bezkontaktního platebního systému do všech vozů MHD. Celkem tak mluvíme o 372 terminálech, při nákupu je vždy možné volit tarifní pásmo či časové kupony. Plzeň se tak stala prvním městem v ČR, kde je možné si koupit jízdenku bezkontaktní kartou ve všech vozech MHD. Instalované zařízení nabízí pro platbu MHD dvě možnosti: použití Plzeňské karty nebo platbu bezkontaktní platební kartou. Dostupnost jízdenek se tím zvýšila a po městě cestuje méně černých pasažérů.

Celý koncept zahrnuje odbavení ve vozech, bezkontaktní terminály na parkovacích automatech nebo placení poplatků přes mobilní aplikaci. Přesto, že v MHD stále převládá platba v hotovosti, cestující chtějí v MHD stále více platit bezkontaktními kartami. Tento způsob je rychlejší a nemusíme mít drobné mince do automatu.

Systém bezkontaktních plateb zavedli již v Liberci (listopad 2014, propojení pomocí LAN technologie) i v Brně (duben 2015, propojení pomocí GPRS). Jako další chce systém zavést například Ostrava, kde by měla platební karta fungovat jako jízdenka [32].

##### 4.1.5. Pardubice

V Pardubicích, podobně jako v Plzni, nemají přesný koncept, jak realizovat Smart City. S dokumentem jim pomáhá tamní organizace SMART CITY POINT, která se zabývá

#### 4. Koncepty vybraných měst

propojením soukromé, akademické a neziskové sféry při tvorbě Smart City. Základem spolupráce Pardubic a této společnosti je realizovat projekty v logické návaznosti a zapojit do rozhodování občany města. Společně vytváří platformu Smart City Pardubice 2020. Doprava ve městě není dostatečně plynulá, vypouští velké množství emisí a tím znečišťuje životní prostředí. Koncepte Smart City by měla řešit tyto problémy pomocí systémů bikesharing a inteligentního parkování. Radnice města se nyní potýká s problémem blokování stojanů na kola v blízkosti nádraží. Lidé do stojanů zamknou prázdný zámek a tím blokují další použití. Radnice tak počítá s rozšířením a zlepšením systému.

Velkým projektem by měl být CITY POINT PARK, který má být otevřen v centru města. Měla by to být vizualizace chytrých Pardubic, možnost vyzkoušet si moderní technologie, turistická atrakce, ale také zpětná vazba občanů pro vedení města [59].

##### 4.1.6. [www.smart-cities.eu](http://www.smart-cities.eu)

Technická univerzita ve Vídni od roku 2007 pracuje na problematice Smart Cities. Srovnává středně velká města v Evropě a posuzuje jejich přístup a pojetí „smart“. V současné době existuje již čtvrtá verze modelu, který by měl být nástrojem k efektivním procesům městských inovací a ke konkrétnímu rozvoji. Na základě modelu porovnávají jednotlivé ukazatele „smart“.

V modelu 3.0 z roku 2014 byla vybrána střední města (100–500 tisíc obyvatel, ale-  
sponž jedna univerzita, spádová oblast pod 1,5 milionu obyvatel). V tomto modelu byla porovnána dvě česká města: Plzeň a Ústí nad Labem.

Pokračováním je model 4.0 z roku 2015, definovaný také pro střední města. V tomto případě ale porovnáváme města s 300 tisíci až 1 milionem obyvatel, model je zaměřen na centrum města (neuvažujeme větší plochy příměstské zástavby). Tento model porovnává moravská města Brno a Ostravu.

## 4.2. Evropská města

Z evropských měst jsem vybrala dvě hlavní města, nizozemský Amsterdam a rakouskou Vídeň. Tato města mají velmi zajímavou koncepci Smart City, která zde již delší dobu funguje a my bychom se mohli jejich zavedením inspirovat.

### 4.2.1. Amsterdam

Amsterdam realizuje více projektů spjatých s konceptem Smart City. Město je známé vodními kanály a popularitou cyklo dopravy. Pro bližší rozbor jsem si vybrala Amsterdam

## 4.2. Evropská města



Obrázek 4.2.: Grafy měst podle modelu 4.0 [23]

#### 4. Koncepty vybraných měst

právě pro zjištění, jak zde fungují sdílené systémy a doprava vzhledem k obtížnějším propojení vodních kanálů.

##### 4.2.1.1. Amsterdam Smart City

Projekt Amsterdam Smart City (ASC) stojí na partnerství soukromé a veřejné sféry. V roce 2009 založili platformu [amsterdamsmartcity.com](http://amsterdamsmartcity.com), která má nyní zhruba 80 rozjetých projektů. První myšlenkou Amsterdam Smart City bylo usnadnit testování aplikací ve městě a pak je rozšířit do celého města. Dnes se snaží zajistit rovnováhu ve městě (mezi obyvateli a návštěvníky, mezi hospodářským růstem a udržitelností). Amsterdam je město na několika ostrůvkách, tudíž musí řešit chytré využití prostoru. Vytvořili rámcový plán Vision Amsterdam 2040. Největší důraz je kladen na efektivní využívání půdy a víceúčelové stavby. Součástí Vision Amsterdam 2040 je také zdůraznění potřeby rozvíjet veřejné dopravní cesty, parky a cyklostezky. Dnes chybí celá řada důležitých vazeb v síti MHD. Do budoucna by se mělo vybudovat více terminálů na přestup auto – vlak. Ve městě mají být do roku 2025 pouze elektromobily [1].

Při podpoře mobility nezapomínají ani na vodní dopravu, která je v Amsterdamu velmi populární. Lodě na elektrický pohon je možné nabít v přístavu. Mají přes 200 dobíjecích stanic, které aktivujeme mobilním telefonem. Po dobití se spojení deaktivuje a z účtu jsou odebrány peníze. Na noc využívají energii ze zásob v přístavu, přes den fungují na solární energii. Tuto energii by měla využívat i vnitrozemská nákladní plavidla.

V jednom z pilotních projektů Vision Amsterdam ve čtvrti Nieuw-West mohou vlastníci elektromobilů rozhodnout, zda energie v autobateriích bude použita na řízení vozidla, v jejich domě či ji přesměruje do sítě. Celý projekt se od roku 2015 testuje v menším měřítku.

##### 4.2.1.2. Doprava

Doprava má velmi velkou hustotu na tak malém místě jako je centrum Amsterdamu. Pro lepší řízení dopravy vznikl automatizovaný systém, který predikuje dopravu po celém městě. Díky nasbíraným datům může aplikace vyhodnotit nejrychlejší trasy, bere v úvahu i signál volna na SSZ, který by se mohl časem dynamicky řídit (ponechat delší dobu zelené ve špičce).

Ve městě existuje celá řada aplikací, která by měla napomoci snížení dopravy. Například aplikace, která pomáhá sdílet taxi, sdílet automobily v sousedství, zobrazovat volná parkovací místa, ale také například vyhledávat spoje MHD.

V rámci celého Nizozemí platí čipová karta OV-Chipkaart. Existuje zde jednotný



odbavovací systém, a tak je možné ji využít na železnici, autobusovou dopravu i na MHD ve většině měst. Kartou lze použít jako elektronickou peněženku na nákup jízdného či platbu parkovného.

Jak jsem již zmínila, Amsterdam se snaží eliminovat počet osobních automobilů ve městě. Existují společnosti provozující carsharing, ale není to tak populární, jak by se mohlo zdát. Parkování je ve většině města zpoplatněno. Cena se odvíjí od lokality parkování. V minulosti byl velký problém vybírat pokuty za parkování, nyní je možný technologický dohled, který snižuje počet nezaplacených míst. Parkovné lze platit čipovou kartou, v automatu nebo přes mobilní aplikaci. Parkovací karty jsou vydávány pouze pro místní obyvatele. Nejsou drahé, ale jejich počet je omezen. Například v centru města se tak bavíme o čekacích lhůtách v řádu několika let. To některé občany odradí. Na druhou stranu, když už jednou povolení získají, nechtějí o něj přijít, a tak se již vozidla nevzdají. Pro turisty jsou vybudovaná parkoviště P+R s dobrou návazností a MHD, případně Park+Walk blíže centru města [4].

Menší obchody v centru zajišťují zásobování na poslední kilometry pomocí Foodlogicy, což jsou elektrické trojkolky s úložným boxem za sedačkou. Díky tomu mají zboží včas, bez dopravní zácpy a znečištění ovzduší. Omezí se tak i nákladní doprava v centru města.

### 4.2.1.3. Cyklistická doprava

Město je protkáno vodními kanály. I to je důvodem, proč chce vedení města omezit osobní automobily v centru a podporuje cyklistickou a pěší dopravu. Stále více lidí upřednostňuje chůzi či kolo před autem, ať již z ekonomických, nebo časových důvodů. Na druhou stranu, nyní zde mají 67 % přesunů vykonaných pěšky nebo na kole, což přináší zcela jiný pohyb po městě, jiný druh bezpečnostních opatření atd. V Amsterdamu byl zaveden jeden z prvních systému sdílení jízdních kol na světě, nicméně dnes je využíván spíše turisty.

S jízdními koly se zde pojí hned několik problémů. Prvním z nich jsou krádeže kol. Většina obyvatel si pořizuje levná kola, přesto ke krádežím dochází. Existuje mobilní aplikace FindMyBike, která monitoruje očipovaná jízdní kola a při neoprávněné jízdě varuje majitele. Dalším řešením je vyražení kódu na rám kola, podle kterého pak policie dané kolo hledá a identifikuje. Vzhledem k velkému počtu jízdních kol ve městě je velký problém s jejich parkováním. Obyvatelé nechávají kola zamčená téměř všude. Parkovací kapacity výrazně nestačí. Především u přestupního terminálu na hlavním nádraží jsou plné ulice kol.

Problémem k řešení je i bezpečnost provozu. V Nizozemí je kvalitní síť cyklostezek i ve městech, nicméně téměř vždy se cyklostezka úrovnově kříží s pozemní komunikací.

#### 4. Koncepty vybraných měst

Toto místo je nebezpečné – řidič vozidla nemusí cyklistu zaregistrovat nebo odhadnout jeho rychlost. V Eindhovenu již testují výstražný systém BikeScout, který monitoruje rychlost a vzdálenost cyklistů od přechodu, vypočte čas příjezdu a informuje řidiče aut prostřednictvím LED diod, které se rozblíkájí na povrchu vozovky. Detekce probíhá zhruba 50 metrů od přechodu. Při špatné viditelnosti tak upozorní na blížící se jízdní kolo a včas varuje řidiče. Světelná signalizace je účinnější než jiná bezpečnostní opatření (dopravní značky, nápis na silnici). Funkci systému BikeScout ilustruje obrázek 4.3.



Obrázek 4.3.: BikeScout [29]

#### 4.2.2. Vídeň

Dalším zahraničním městem, které jsem si vybrala k bližšímu zkoumání, je rakouská Vídeň. Můj výběr na ní padl především ze dvou důvodů, je k nám velmi blízko a velmi ochotně spolupracuje s Brnem. Také mne velmi zaujal jejich projekt čtvrti AspernSeeStadt.

Většina měst se soustředí na snížení emisí CO<sub>2</sub>. Vídeň pojala koncept Smart City komplexně. Přesto se také snaží snižovat emise ve městě a zlepšit ovzduší. Nasazují elektrobusy místo klasických autobusů. Je možné si objednat green taxi (elektromobil). Případně využít Faxi, což je taxi na kole, taková tříkolová rikša pro maximálně dva lidi. Město ale například řeší, zda instalovat dobíjecí stanice pro elektromobily, protože tím nedocílí odstranění automobilů z centra. Ale alespoň by tím podpořila ekologičtější pohon. Ve Vídni můžeme najít i další aplikace, které mají pomoci zlepšit život ve městě.

Vídeň se pohybuje na předních příčkách v žebříčkách Smart City na světě. V roce 2016 byla Vídeň zvolena za nejlépe obyvatelné město, již po sedmé v řadě. Žebříček byl

sestaven na základě Mercer studie (žebříček kvality bydlení). Samozřejmě i ve Vídni existuje koncepce, jak budovat Smart City – hlavním cílem celého konceptu je i v tomto městě především zvýšit kvalitu života za pomoci rozumného využívání zdrojů. Dalším cílem je snížení nákladů, případně výhodnější a efektivnější financování projektů.

### 4.2.2.1. Smart City Wien

Vedení města navázalo v roce 2011 spolupráci s iniciativou Smart City Wien. Započaly tak snahy vytvořit základnu pro efektivní využívání zdrojů. Hlavními výstupy projektu Smart City Wien jsou tři hlavní dokumenty: Smart City Framework Strategy 2050 (dlouhodobý výhled), Strategický plán 2020 (nastavení fungování města, jednotlivé kroky, oblasti) a Akční plán 2012–2015.

Celkově jsou v rámci spolupráce definovány některé cíle:

- do roku 2050 bude 50 % spotřebované energie z obnovitelných zdrojů,
- do roku 2050 úplně odstranit konvenční pohony vozidel z města, do města budou moci vjet pouze ekologická vozidla,
- dále by měl klesnout podíl individuální automobilové dopravy z dnešních 28 % na 15 % do roku 2030,
- postupně snižovat energetickou náročnost budov,
- podpora multimodální dopravy.

První dokument by měl pomáhat plnit cíle projektů, stanovit jednotlivá kritéria pro Smart City Wien a koordinovat politické aktivity v tomto ohledu. Pro Smart City Framework byly stanoveny tři klíčové body – kvalita života, prostředky a zlepšení. To dokazuje definice Smart City Wien, kde tvrdí, že Smart City zajišťuje nejlepší kvalitu života pro všechny obyvatele Vídně za minimální spotřeby zdrojů. To vše realizují pomocí obsáhlých inovací [60]. Do roku 2030 by se mělo investovat do spojení Vídeň – Brno – Bratislava, které je velmi perspektivní v rámci propojení regionů v Evropě. Zelený prostor ve městě by měl pokrývat přes 50 %.

Iniciativa Smart City Wien také apeluje na zástupce města v oblasti informovanosti obyvatel a turistů. Vídeň nabízí srozumitelné webové stránky, kde nalezneme veškeré informace, data. Jsou ve více jazycích a přizpůsobí se většině mobilním zařízením. Vídeň podporuje e-gouvernement. Přes internet je možné jak pro obyvatele, tak pro turisty poskytovat služby. Na webových stránkách je možné najít online mapu Vídně, kde je možné vyhledávat přesné adresy, ulice, ale také MHD, aktuální dopravní situaci, muzea, školy a nemocnice. Vídeň je zastáncem politiky otevřených dat. Na svém portálu poskytuje

#### 4. Koncepty vybraných měst

geodata, ekologická data, data ohledně rozpočtu města, statistická data. Díky poskytnutým informacím jsou ve městě zapojeny do služeb soukromý i akademický sektor.

V nabídce je několik mobilních aplikací, které mají pomoci návštěvníkům v orientaci (MHD, taxi, kola, restaurace, parkování, turistické památky, ...). Aplikace SMILE vyhledává nejvhodnější cestu (nejrychlejší, nejekologičtější, informuje o kombinaci dopravních prostředků, celková cena cesty). Díky tomu, že aplikace je schopna kombinovat MHD, kolo i automobil je aplikace používána. Po průzkumu, zda má aplikace smysl, zjistili, že 48 % respondentů zvýšilo své používání MHD právě díky aplikaci SMILE. I díky tomu získal tento projekt mnoho partnerů (celkem 16 firem a společností se věnuje jejímu rozvoji).

V centru města jsou oblasti, kde je možné bezplatné připojení na internet pomocí WiFi (například Muzejní čtvrť, Naschmarkt, Albertinaplatz a další). Vídeň zavádí chytré sítě. Ve chvíli, kdy se ulice rozkope, městské oddělení ICT tam položí optický kabel.

**STEP 2025** Zhruba každých 10 let město připravuje plán na další výstavbu a projekty. Hlídá tak místní rozvoj, bezpečnost společnosti a identifikuje, co je potřeba v další dekádě. Městský plán rozvoje 2025 stanovila městská rada v září 2011, tedy dnešní STEP 05, kde byly zahrnuty i důležité dopravní problémy. Jasně definovaný postup je vhodný, když chceme mít strukturované, kvalitní prostředí pro život. Klíčovými body městského plánu rozvoje je propojení různých oblastí, komplexní opatření, inteligentní regulace, spolupráce městských částí a krajů a zapojení veřejnosti do plánovaných projektů.

V budoucnu bude ve Vídni více studentů a starších lidí, rozličných etnických skupin a dalších, na které se musí brát ohled. Navíc město chce stále zvyšovat kvalitu života. K tomu by měla dopomoci právě struktura STEP. Jedná se v podstatě o územní rozvoj, rozvoj hlavních obchodních lokací, dopravy, veřejných prostor, zeleně, veřejné služby (s důrazem na moderní technologie).

Jedna z 13 oblastí, která se má v rámci programu STEP 05 změnit, je Liesing Mitte ve 23. okrsku. Celý Liesing je rozdělen do tří zcela odlišných částí – průmyslová zóna, Atzgersdorf a přilehlé oblasti a zatravněné prostory Wiesen Ost, kde v každé z částí je jiný projekt. V průmyslové zóně je cílem zvýšení počtu pracovních příležitostí a celkově stanovit lepší pozici Vídně jako centra vzdělání. Vznik „Carré Atzgersdorf“ bude velkou změnou celé oblasti Atzgersdorf, dnes je centrem obchodu, což by se mělo změnit na udržitelný rozvoj například přestěhováním kanceláří mimo centrum. Oblast „In der Wiesen Ost“ je brána jako oblast s budoucím potenciálem pro rozvoj města.

**TINA VIENNA** Další organizací, která se poměrně výrazně podílí na konceptu Smart City ve Vídni, je TINA. Založilo ji vedení města v roce 1995 a primárně měla zajišťovat

komunikaci města s Evropskou unií, podněcovat rozvoj města a podobné. Organizace byla založena, protože byly vypsané unijní dotace na podporu investic ekologických a energetických projektů. Město tedy zahájilo spolupráci s výzkumným ústavem a sepsali dva dokumenty (viz výše, Vize 2050 a Akční plán). Město v rámci této spolupráce vybudovalo v roce 2012 dvě fotovoltaické elektrárny, na které se podílí občané – vytipovalo správné lokality na umístění solárních panelů, občané mohli panely zakoupit a poté je pronajímají městu. Energie z elektráren je vždy využita pouze v té dané čtvrti, obyvatelé si tak zvolí, kde bude využita. O tento koncept je velký zájem. Město plánuje budovat další 2 elektrárny. Energie je vyráběna v okolí domácností, a tak jsou minimální ztráty na vedení. Od roku 2012 má agentu Smart City v gesci právě TINA Vienna. TINA by měla pomáhat plnit stanovené cíle (informovat, analyzovat, sbírat data a na jejich základě vyhodnocovat projekty).

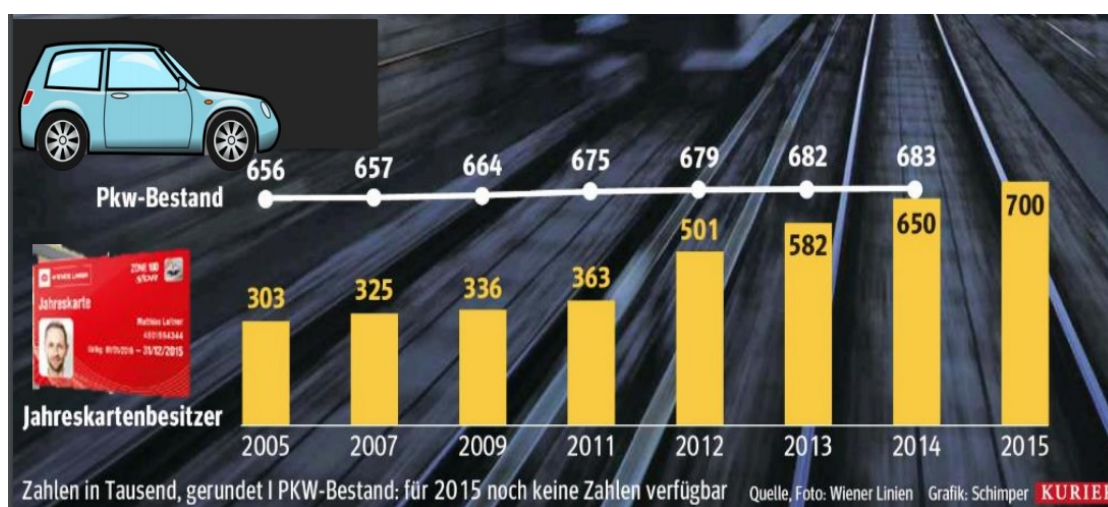
Město dlouhodobě prosazuje použití MHD. S prvním plánem přišli už v roce 2003, kde primárně omezovali IAD ve prospěch MHD, pěších a cyklistů. Dnes má město velmi dobrou síť MHD i její organizaci. Vedení města doufá, že stoupne popularita sdílených dopravních prostředků až na 85 % z dopravy po Vídni (dnes je to 73 %). Zbylá procenta by měla vyplnit elektromobilita. V posledních letech došlo k výraznému zlepšení používání MHD. Jediné striktní opatření, které bylo zavedeno, bylo regulované parkovné. Jinak se bavíme spíše o motivačních programech. Mohu například zmínit jízdné v MHD, které s předplacenou roční jízdenkou stojí 1 Euro na den. Síť MHD se také neustále rozšiřuje, rekonstruuje a vozy se modernizují. V roce 2015 bylo poprvé zakoupeno více ročních kuponů na MHD než aut (na obrázku 4.4 vidíme vývoj nákupu ročních kuponů MHD a osobních automobilů registrovaných ve Vídni).

Aby odstranili automobily z centra, zavedli systém P+R parkovišť a zpoplatnili parkování v centru. Levněji tak nyní vychází zanechat auto na P+R, případně v podzemní garáži, než parkovat na ulicích. Zavádění ekvivalentu našich modrých zón by také mělo omezit IAD [7].

Ve městě přibyly kilometry cyklostezek. Jelikož terén není kopcovitý, jsou kola velmi využívána, přibylo jak jízdních kol, tak stojanů na ně. Pro chodce vedení města nechalo rozšířit chodníky v centru. CityBike je systém na přepravu na krátké vzdálenosti, v provozu od roku 2003, první hodina je zdarma, půjčení probíhá přes registraci, takže si kolo může snadno vypůjčit i turista. Pokud chceme dostat auta pryč z centra, musíme nabídnout alternativu. Město tak podporuje koncept carsharingu, který se snaží osvětlit obyvatelům.

Vídeňské Hlavní nádraží vzniklo velkou modernizací Jižního nádraží a nádraží Südtiroler Platz za provozu v letech 2007 – 2014. Nyní je to hlavní dopravní uzel na všechny strany z města (rychlovlaky na jih i na sever, autovlaky, mezinárodní spoje). Je dobře napojeno

#### 4. Koncepty vybraných měst



**Obrázek 4.4.:** Vývoj nákupu předplacených kuponů na MHD a osobních automobilů ve Vídni [54]

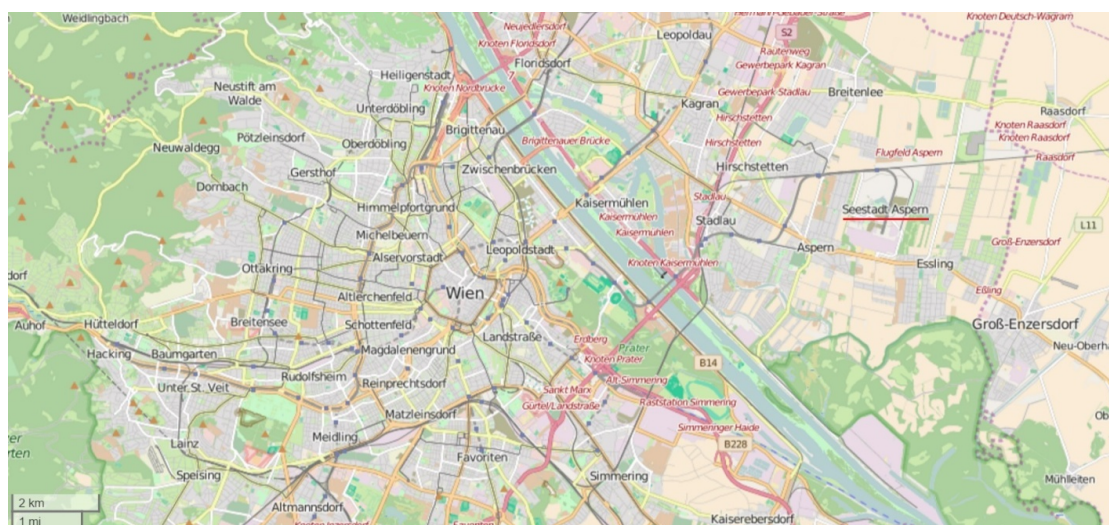
na MHD metrem, tramvajemi i linkami autobusů. V nové nádražní budově je i podzemní garáž na kola nebo jednoduchý informační systém, který naviguje na jednotlivá nástupiště a spoje. V okolí byla vybudována nová čtvrť, která slibuje dobré dopravní spojení a kvalitu života právě i díky Hlavnímu nádraží. Bývalé tratě tvořily bariéry mezi jednotlivými čtvrti. Dnes jsou zde vybudovány mosty či podchody. Samozřejmě jsou nové budovy energeticky úsporné [60].

Další projekt, který ve Vídni realizovali, je energeticky úsporná tramvaj. Ta je používána na lince 62 od března 2014. Pro úsporu bylo důležité podchytit větrání, topení, klimatizaci a další systémy, které ovlivňují spotřebu energie. Ve vídeňských tramvajích je instalované speciální zařízení na oknech, které redukuje sluneční záření proudící do vozu, a tak zpříjemní cestu. Senzory uvnitř vozu zjistí, kolik je zde cestujících a podle toho upraví proudění vzduchu ve voze.

##### 4.2.2.2. Aspern Seestadt

Vídeň začala s velkým projektem – městskou čtvrtí vybudovanou podle konceptu Smart City. Na 240 hektarech půdy vytváří jednu z největších evropských městských rozvojových oblastí. V lednu 2015 začali projektem městské čtvrti Aspern Seestadt (Jezerní město Aspern). Celá čtvrť by měla být dostavěna v roce 2028. Zóna je lokalizována v obchodní ose Vídeň — Bratislava, do Bratislavy na hlavní nádraží je to zhruba 30 minut a na Vídeňské letiště zhruba 15 minut (viz mapa na obrázku 4.5).

Jako první bylo postaveno spojení Městské jezerní části s centrem pomocí systému metra.



**Obrázek 4.5.:** Poloha lokality Aspern vzhledem k centru Vídně

Metrem se do centra dostaneme za 25 minut. U stanic by měla být stanoviště bikesharigu, včetně elektrokol. Řešení dopravy v oblasti je poměrně zajímavé. Předpokládá se, že téměř 40 % dopravy bude zajišťovat systém MHD, dalších 40 % cyklistická doprava a chůze a pouze 20 % dopravy by měly zabírat osobní automobily [3]. Seestadt je vybudovaný tak, aby obyvatelé potřebovali automobil co nejméně. Chodníky jsou širší než silnice, auta mohou jet maximálně 30 km/hod. Převládá také počet cyklistických stojanů i parkovišť B+R.

Aspern by mělo být multifunkční obytné centrum. Dále v celé oblasti budou budovány školy, technologické centrum a další objekty potřebné pro život. Jedním z cílů projektu je například 100 % nahrazení motorových vozidel elektrickými vozidly do roku 2050. Mezi dalšími můžeme jmenovat například podpora fotovoltaických zdrojů, projekt informačních a jízdenkových technologií, energeticky úsporné tramvaje a další.

Čtvrť má mít jednu hlavní nákupní ulici, kde budou pronajaté obchody v přízemí staveb, které bude spravovat jedna firma. Zatím je většina bytů s regulovaným nájemným. Ve čtvrti má být i několik kancelářských budov, již se otevřela základní a mateřská škola. Aspern se stává centrem 22. okrsku (lokalita vzhledem k centru Vídně je patrná z obrázku 4.5, mapa čtvrti Aspern je zobrazena na obrázku 4.6) [2, 3].

#### 4. Koncepty vybraných měst



Obrázek 4.6.: Přehledový půdorys čtvrti Aspern. Převzato z [2]

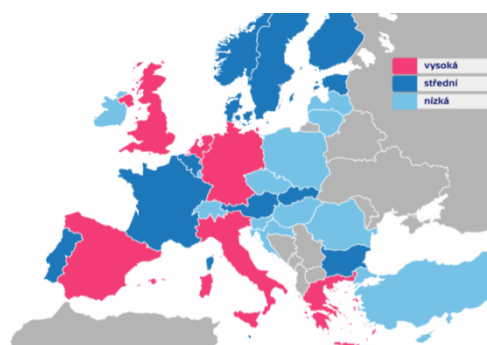


## 5. Zhodnocení projektů v České republice

Jak lze vyčíst z předchozích kapitol, česká města mají snahu stát se Smart City. Dosavadní snažení vybraných měst je shrnuto v tabulce 5.1 na následující straně.

V porovnání s velkými evropskými městy samozřejmě zaostáváme, ale naše koncepce jsou poměrně mladé. Také ve většině případů mluvíme v ČR zatím pouze o konceptech a snahách do budoucna. Při pohledu na mapu uvedenou na obrázku 5.1, je evidentní, že oproti evropské konkurenci je počet realizovaných projektů Smart City v České republice opravdu nízký.

Z tabulky 5.1 je zřejmé, že každá koncepce Smart City je rozdílná. Při zaměření na evropská města, Amsterdam a Vídeň, můžeme postřehnout jisté rozdíly. V Amsterdamu se zaměřují na dopravu po městě, prosazují elektromobily a celkově ekologickou dopravu. Ve Vídni zvolili mírně odlišnou cestu, kdy se rozhodli vybudovat kompletní novou chytrou čtvrť a propojit tak nejen dopravu, ale i bydlení, podnikání a další složky, které jsou potřebné pro úplné fungování Smart City koncepce. Obě města investují prostředky do mobilních aplikací. Jako turista ve Vídni musím přiznat, že jejich aplikace jsou uživatelsky přístupné a ulehčí pobyt ve městě.



Obrázek 5.1.: Angažovanost evropských zemí v projektech Smart City [67]

	Praha	Brno	Písek	Plzeň	Pardubice	Amsterdam	Vídeň
<b>Parkování</b>	modré zóny, plán Morgenstadt – potřeba více P+R	informační tabule o obsazenosti parkovišť	navigace na místo	—	plánované inteligentní parkování, ale není blíže specifikované	zpoplatněné parkování, podpora P+R	regulované parkování, P+R, modré zóny
<b>Regulace IAD v centru</b>	plánované bezemisní zóny	návrh lidé zamítli	podpora MHD jako alternativa k IAD	—	—	podpora carsharingu	podpora carsharingu, motivace pro používání MHD
<b>Bezkontaktní odbavení v MHD</b>	1. pokusy v roce 2016	testují od 2016, 2017 plně nasazení systému	plány na zavedení	Plzeňská karta	—	OV-Chipkaart	—
<b>Sdílení</b>	Karlín – bikesharing	—	—	—	bikesharing	podpora cyklodopravy, ale každý má své vlastní kolo, carsharing	carsharing, bikesharing
<b>E- Government</b>	plány na zavedení v budoucnu	snahy o elektronizaci úřadů	—	snahy o elektronizaci úřadů	—	ano	ano
<b>Open data</b>	ano	ano	plány na zavedení v budoucnu	—	—	ano	ano
<b>www platformy</b>	<a href="http://smartprague.eu">smartprague.eu</a>	—	<a href="http://smartcitypisek.cz">smartcitypisek.cz</a>	—	—	<a href="http://amsterdamsmartcity.com">amsterdamsmartcity.com</a>	<a href="http://smartcity.wien.gv.at">smartcity.wien.gv.at</a>
<b>Koncepce SC</b>	schválena 2015	bude do 2017	schválena 2015	není	není	schválena 2011	schválena 2011
<b>Další projekty</b>	blikací přechody	—	—	—	—	velká podpora elektromobility, mobilní aplikace pro zlepšení pohybu ve městě	velké množství mobilních aplikací pro zlepšení pohybu ve městě

**Tabulka 5.1.:** Shrnutí Smart City aktivit měst popsaných v kapitole 4

Pokud se podíváme na tabulku 5.2 shrnující realizované projekty ve vybraných městech ČR zjistíme, že v ČR zatím nedošlo k realizaci většiny projektů. Například většina měst chce omezit IAD v centru, avšak žádné nemá přesnou koncepci, jak toho dosáhnout. Pokud porovnávám těchto pět českých měst, je zřejmé, že všem chybí jasné řešení parkování. Myslím, že ve veřejné dopravě jsou také velké mezery v implementaci nějakého řešení. Za mě osobně se s dosavadní realizací nejlépe popasovala Plzeň, kde bez problémů funguje Plzeňská karta. Další města sice mají více projektů v konceptu, nicméně téměř žádný nebyl realizován a jsou zatím pouze v pilotních provozech či jako návrhy k realizaci.

V Praze se zastupitelé konceptem Smart City zabývají poměrně dlouho, avšak málo projektů bylo realizováno. Celý koncept je velice nekonkrétní, což akorát brzdí realizace systémů. Prozatím pouze testujeme bezkontaktní nákup jízdenek v tramvajových vozech. Dle mého názoru by se Praha měla snažit více zaměřit na popularizaci MHD. Nemám dojem, že by se po prodloužení linky metra A rapidně zvýšil počet uživatelů MHD na této trase. V rámci metropole je potřeba spojit regionální středočeskou dopravu s tou pražskou. Na některých místech se to již povedlo (například Mělník), nicméně na jiných se bavíme stále v politické rovině bez viditelných výsledků (Kladno). Vytvořením větší poptávky po MHD se také sníží počet aut v centru a také počet aut, které hledají místo na parkování.

Právě parkování je velkým problémem centra metropole. Kromě návštěvníků zde bydlí i velké množství rezidentů, kteří mají problém s parkováním. I přes zavedení modrých zón dochází k zaplnění parkovacích míst mimopražskými lidmi, kteří se tak přibližují, v lepším případě, na metro. Ani modré zóny výrazně nepřispěly k omezení IAD v centru.

Pokud chceme odstranit parkující auta z ulic, musíme dát řidičům možnost kde parkovat. Vybudovat hlídané parkovací domy je velmi drahé. Pokud domy hlídané nebudou, bude nebezpečné zde auto nechat. Vhodným řešením by mohly být automatické parkovací domy. Je nutné je vybudovat ve vhodných lokacích, relativně blízko centra a cenově dostupné. Jsou sice velmi nákladné na pořízení, ale lidé v nich budou parkovat, jelikož je to bezpečné, v centru a nepřijdou tak o možnost jet svým vozem.

Prozatím byly realizovány většinou pouze parkoviště P+R, které mají po městech pouze informační tabule o obsazenosti, ale není možná navigace k příslušnému parkovišti.

Myslím si, že v České republice není momentálně prostor pro realizaci sdílení aut, protože český řidič tuto myšlenku nepřijme: vlastnictví auta je stále jistá společenská prestiž, které se většina českých řidičů prozatím nebude ochotna vzdát.

Stejně jako sdílení vozidel, i sdílení jízdních kol nemá v našich podmínkách příliš reálnou šanci na úspěch. Jsme vcelku kopcovitá země, kde ani města neleží na rovině. Kvůli geografii terénu tak lidé nebudou příliš používat jízdní kola pro dopravu po městě.

## 5. Zhodnocení projektů v České republice

	Praha	Brno	Písek	Plzeň	Pardubice
<b>Parkování</b>	modré zóny	informační tabule	navigace na místo	—	—
<b>Regulace IAD v centru</b>	—	—	podpora MHD jako	—	—
<b>Bezkontaktní odbavení v MHD</b>	testovací provoz	testovací provoz	—	Plzeňská karta	—
<b>Sdílení</b>	bikesharing (Karlín)	—	—	—	bikesharing
<b>E-Government</b>	—	snahy o elektronizaci úřadů	—	snahy o elektronizaci úřadů	—
<b>Open Data</b>	ano	ano	—	—	—
<b>WWW platformy</b>	<a href="http://smartprague.eu">smartprague.eu</a>	—	<a href="http://smartcitypisek.cz">smartcitypisek.cz</a>	—	—
<b>Koncepce SC</b>	schválena 2015	bude do 2017	schválena 2015	—	—

**Tabulka 5.2.:** Realizované projekty ve vybraných městech v České republice – aktuální situace

Další problémy způsobí vandalismus a krádeže kol.

Ostatně to také dokazuje fakt, že se v českých městech ani jeden ze sdílených systémů výrazně neujal. Jak jsem již zmínila v kapitole 4, ve velkých městech je provozována nějaká forma sdílení dopravního prostředku, ale jedná se vždy o poměrně malé množství zákazníků. Systém vždy provozuje soukromá firma, která vlastní několik dopravních prostředků. Tím pádem je velmi omezená kapacita a rozšíření je nepravděpodobné.

Ve většině konceptů se mluví o podpoře MHD a její upřednostňování před IAD. Při své práci jsem nenašla žádné konkrétní řešení, jak toho dosáhnout. Vedení měst většinou cenově zvýhodňuje MHD, nicméně to je řešení jen pro jisté třídy obyvatel. Lidé jsou příliš pohodlní, aby používali MHD z přesvědčení, že je to správné.

Mezi povedené projekty bych rozhodně zařadila Plzeňskou kartu. Domnívám se, že právě takový systém by měl být ve většině velkých měst. Při myšlence propojení Plzeňské karty a karty Českých Drah mne pak napadá, proč podobný není možné nastavit v celé republice (podobně, jako funguje Generalabonnement – veřejná doprava ve Švýcarsku a Lichtštejnsku). Nejspíš by mnoho lidí namítalo, že to nikdy nevyužijí. Nicméně by bylo velmi příjemné přijet do jiného města a neshánět otevřenou pobočku tamních dopravních podniků, abychom si mohli koupit jízdenku na tramvaj. Pokud by nahrání kuponů či zaplacení jednorázového lístku bylo možné přes webovou aplikaci, ubylo by papírování pro dojíždějící studenty či pracující z jiného města. Případně by mohla karta fungovat jako elektronická peněženka, se kterou lze platit ve všech městech.

Pokud si situaci představím v Praze, nevidím důvod, proč by takto nemohla fungovat

karta pro celý Středočeský kraj, odkud mnozí za prací dojíždí právě do hlavního města.

Ve světových metropolích snahy o lepší dopravu směřují k elektromobilitě. V současnosti není podle mého názoru stále dobrý výkon a dojezdová doba elektromobilů na jedno nabití. Pokud budou lidé nuceni ve městě používat pouze elektromobily, budou muset mít dvě vozidla pro případné vzdálenější trasy. Navíc to vozidla z centra stejně neodstraní. Elektromobilita v rámci MHD by ovšem mohla být vhodným řešením ekologické zátěže města. Vozidla jezdící na elektrickou energii mohou najít využití v městském prostoru, kde není problém s výkonem a dojezdovým časem.



## 6. Závěr

Cílem mé práce bylo vytvoření přehledu o možných dopravních systémech, které vznikají v chytrých městech, a jejich konkrétní aplikace, dále se pak zabývat českými a zahraničními Smart Cities.

V úvodní části práce jsem zkoumala různé definice Smart City. Hlavní, co je nutné si uvědomit, je, že Smart City se neskládají pouze z technologií a jejich implementací do městské architektury, ale celá koncepce je především o občanech a jejich přístupu k dané strategii. Díky historickému vývoji je zřejmé, že koncepce Smart City je pro budoucí vývoj velmi důležitá (rostoucí populace, méně prostoru ve městech, ...). Při vhodné analýze a sběru dat je možné data maximálně využít pro optimalizaci dopravy. Velmi zajímavé je pojetí kvality života, kde není zcela zřejmé, jak se hodnocení kvality života má pojmout. Dle mého názoru je velmi obtížné hodnotit kvalitu, když každý jedinec potřebuje ke spokojenému životu odlišné zázemí. V rámci práce jsem si udělala nepodložený průzkum, kde jsem získala poměrně nejednoznačné odpovědi. V podstatě většina dotázaných neměla přesnější představu o tématu Smart Cities.

Co se týče realizace konceptů Smart City, zatím se bavíme spíše v teoretické rovině. Některá česká města mají koncepci vypracovanou, nicméně konkrétní řešení v ní chybí, a tak je realizace dlouhodobá záležitost. Pojem Smart City je i u nás velmi populární, avšak málo měst je zatím ve stavu, kdy by se tím mohlo chlubit.

Ve světových metropolích jsou koncepce většinou realizované. Musím podotknout, že s myšlenkou začali o mnoho let dříve a tak i občané vnímají celý koncept většinou zcela odlišně. Velmi se podporují systémy sdílení dopravních prostředků a regulování parkování v centru města. V evropských městech je možné stáhnout mobilní aplikace, které nám ulehčí pohyb ve městě jako občanovi i jako turistovi. Aplikace často propojují všechny dopravní prostředky, nachází optimální cestu vzhledem k aktuální dopravě i ekologické stopě. Také informují o celkové ceně a o cestovním čase.

Překvapující je zjištění, že ačkoliv ve strategických dokumentech je schválena podpora MHD, zatím nebylo téměř nic realizováno. Prozatímní podpora se skládá z bezkontaktního odbavení ve vozech MHD, případně z testování pilotních projektů. Za jistou podporu MHD by se dala považovat Plzeňská karta, která je pro odbavení ve všech vozech plzeňské

## 6. Závěr

MHD a poskytuje i další výhody. Dle mého názoru je to ale jediná fungující podpora MHD.

Téma Smart Cities a udržitelné mobility mi přišlo velmi zajímavé a dalo by se rozvinout v další práci, která by se mohla zabývat například konkrétním rozborem jednoho města, jaký bude jeho budoucí vývoj a možné aplikace, které by usnadnily dopravu ve městě.



## Bibliografie

- [1] *Amsterdam Smart City* [online]. Amsterdam: Amsterdam Smart City, 2016 [cit. 2016-06-26]. Dostupné z: <https://amsterdamsmartcity.com/>.
- [2] *Aspern+: Die Seestadt Wiens* [online]. Vídeň: Wien 3420 Aspern Development AG, 2016 [cit. 2016-08-06]. Dostupné z: <http://www.aspern-seestadt.at/>.
- [3] *Aspern Seestadt: další krok k rozvoji smart city Vídeň* [online]. proelektroniky.cz, 2015 [cit. 2016-06-30]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/zajimave-projekty/56.php>.
- [4] BÁRTA, David. Fond mobility – příklad z Amsterdamu. *Smart Cities*. 2016, s. 9–11.
- [5] BÁRTA, David. Chytré pouliční parkování. *Smart Cities*. 2016.
- [6] BÁRTA, David. Transformace městských služeb pomocí internetu věcí. *Smart Cities*. 2015, č. 3, s. 14–18.
- [7] BÁRTA, David. Vídeň má v Evropě ten nejlepší zvuk. *Smart Cities*. 2014, s. 59–63.
- [8] BÁRTA, David et al. *Metodika Konceptu inteligentních měst* [online]. Brno: CDV, 2015 [cit. 2016-08-09]. Dostupné z: [http://www.mmr.cz/getmedia/b6b19c98-5b08-48bd-bb99-756194f6531d/TB930MMR001\\_Metodika-konceptu-Inteligentnich-mest-2015.pdf](http://www.mmr.cz/getmedia/b6b19c98-5b08-48bd-bb99-756194f6531d/TB930MMR001_Metodika-konceptu-Inteligentnich-mest-2015.pdf). Metodika. Ministerstvo pro místní rozvoj ČR. Projekt TB930MMR001.
- [9] *Better than your own car* [online]. Helsinky: MAAS global, 2016 [cit. 2016-06-30]. Dostupné z: <http://maas.global/maas-as-a-concept/>.
- [10] *Car Bike Port* [online]. Cyclehoop [cit. 2016-07-07]. Dostupné z: <http://www.cyclehoop.com/product/bike-racks-and-cycle-stands/car-bike-port/>.
- [11] CARAGLIU, Andrea; DEL BO, Chiara; NIJKAMP, Peter. Smart cities in Europe. *Journal of urban technology*. 2011, roč. 18, č. 2, s. 65–82.
- [12] COUCLELIS, Helen. The construction of the digital city. *Environment and Planning B: Planning and design*. 2004, roč. 31, č. 1, s. 5–19.

## Bibliografie

- [13] ČERMÁK, David. Přechod upozorní Pražany na blížící se tramvaj, rozbliká se pod nohama. *iDnes* [online]. 2014 [cit. 2016-06-16]. Dostupné z: [http://praha.idnes.cz/blikajici-prechody-na-praze-8-upozorni-na-blizici-se-tramvaj-pqi-/praha-zpravy.aspx?c=A140805\\_133441\\_praha-zpravy\\_dc](http://praha.idnes.cz/blikajici-prechody-na-praze-8-upozorni-na-blizici-se-tramvaj-pqi-/praha-zpravy.aspx?c=A140805_133441_praha-zpravy_dc).
- [14] ČTK. Praha 3 schválila koncepci takzvaného chytrého města. *Pražský deník* [online]. 2016 [cit. 2016-06-23]. Dostupné z: <http://www.denik.cz/praha/praha-3-schvalila-koncepci-takzvaneho-chytreho-mesta-20160621.html>.
- [15] ČTK. V Praze by systém sdílení kol mohl začít fungovat v roce 2018. *Pražský deník* [online]. 2016 [cit. 2016-06-10]. Dostupné z: [http://prazsky.denik.cz/zpravy\\_region/v-praze-by-system-sdileni-kol-mohl-zacit-fungovat-v-roce-2018-20160410.html](http://prazsky.denik.cz/zpravy_region/v-praze-by-system-sdileni-kol-mohl-zacit-fungovat-v-roce-2018-20160410.html).
- [16] DAMERI, Renata Paola. Searching for Smart City definition: a comprehensive proposal. *International Journal of Computers & Technology*. 2013, roč. 11, č. 5, s. 2544–2551.
- [17] DEAKIN, Mark. *Smart cities: governing, modelling and analysing the transition*. Routledge, 2013.
- [18] DEMAIO, Paul. Bike-sharing: History, impacts, models of provision, and future. *Journal of Public Transportation*. 2009, roč. 12, č. 4, s. 3.
- [19] DEMAIO, Paul J. Smart bikes: Public transportation for the 21st century. *Transportation Quarterly*. 2003, roč. 57, č. 1, s. 9–11.
- [20] *DriveNow* [online]. 2016 [cit. 2016-03-18]. Dostupné z: <https://de.drive-now.com/>.
- [21] EUROPEAN BUS SYSTEM OF THE FUTURE 2. *About EBSF\_2*. UITP, 2015. Dostupné také z: <http://ebsf2.eu/about-ebsf2>.
- [22] EUROPEAN COMMISSION. *Smart Cities* [online]. European Commission [cit. 2016-06-29]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/smart-cities>.
- [23] *Europeansmartcities 3.0* [online]. Vídeň: Vienna University of Technology, 2014 [cit. 2016-05-20].
- [24] FERRARI, G; BUSANELLI, S; IOTTI, N; KAPLAN, Y. Cross-network information dissemination in VANETs. In: *ITS Telecommunications (ITST), 2011 11th International Conference on*. 2011, s. 351–356.
- [25] FORRESTER, Jay Wright. *Urban dynamics*. 3. vyd. Pegasus Communications, 2002. System Dynamics Series.

- [26] GARAI, Mouna; REKHIS, Slim; BOUDRIGA, Noureddine. Communication as a service for cloud VANETs. In: *2015 IEEE Symposium on Computers and Communication (ISCC)*. 2015, s. 371–377.
- [27] GIFFINGER, Rudolf; PICHLER-MILANOVIĆ, Nataša. *Smart cities: Ranking of European medium-sized cities*. Centre of Regional Science, Vienna University of Technology, 2007.
- [28] GRADINESCU, Victor; GORGORIN, Cristian; DIACONESCU, Raluca; CRISTEA, Valentin; IFTODE, Liviu. Adaptive traffic lights using car-to-car communication. In: *2007 IEEE 65th Vehicular Technology Conference-VTC2007-Spring*. 2007, s. 21–25.
- [29] *Heijmans BikeScout: Greater Cyclist Safety in Eindhoven* [online]. Heijmans AG, 2016 [cit. 2016-06-21]. Dostupné z: <http://heijmans.nl/en/news/innovative-bikescout-pilot-greater-cyclist-safety-eindhoven/>.
- [30] HIN, Leo Tan Wee; SUBRAMANIAM, R. Creating smart cities with intelligent transportation solutions: Experiences from Singapore. In: *Green and Ecological Technologies for Urban Planning: Creating Smart Cities*. Hershey: IGI Global, 2012, s. 174–179.
- [31] CHANG, Che-Yu; YEN, Hsu-Chun; DENG, Der-Jiunn. V2V QoS Guaranteed Channel Access in IEEE 802.11 p VANETs. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*. 2016, roč. 13, č. 1, s. 5–17.
- [32] CHVAL, Martin. Plzeňská karta a IN KARTA, alternativní druhy odbavení ve veřejné dopravě. In: *Smart City Plzeň 2016: Digitalizace průmyslu a dopravy* [online]. 2016 [cit. 2016-06-30]. Dostupné z: [http://www.top-expo.cz/domain/top-expo/files/smart-city/smart-city-2016/plzen-2016/prezentace/chval\\_martin.pdf](http://www.top-expo.cz/domain/top-expo/files/smart-city/smart-city-2016/plzen-2016/prezentace/chval_martin.pdf).
- [33] IBM. *What is big data?* [online]. IBM, 2016 [cit. 2016-06-07]. Dostupné z: <https://www-01.ibm.com/software/data/bigdata/what-is-big-data.html>.
- [34] IEEE. *IEEE Smart Cities* [online]. IEEE [cit. 2016-06-29]. Dostupné z: <http://smartcities.ieee.org/about>.
- [35] ISHIDA, Toru. Understanding digital cities. In: ISHIDA, Toru; ISBISTER, Katherine (ed.). *Digital Cities: Technologies, Experiences, and Future Perspectives*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2000, s. 7–17. Lecture Notes in Computer Science, č. 1765. Dostupné z DOI: [10.1007/3-540-46422-0](https://doi.org/10.1007/3-540-46422-0).
- [36] JENSEN, Joris Peter. *How to create a smart city? Co-creation of a smart city with citizens*. Eindhoven, 2015. Diplomová práce. Eindhoven University of Technology. Graduation Report.

## Bibliografie

- [37] KITCHIN, Rob. The real-time city? Big data and smart urbanism. *GeoJournal*. 2014, roč. 79, č. 1, s. 1–14.
- [38] KOMNINOS, Nicos. The architecture of intelligent cities: Integrating human, collective and artificial intelligence to enhance knowledge and innovation. In: *Intelligent Environments, 2006. IE 06. 2nd IET International Conference on*. 2006, sv. 1, s. 13–20.
- [39] MINERVA, Roberto; BIRU, Abyi; ROTONDI, Domenico. Towards a definition of the Internet of Things (IoT). *IEEE Internet Initiative, Torino, Italy*. 2015.
- [40] MIORANDI, Daniele; SICARI, Sabrina; DE PELLEGRINI, Francesco; CHLAMTAC, Imrich. Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*. 2012, roč. 10, č. 7, s. 1497–1516.
- [41] *Nákup jízdného v pražských tramvajích nyní i bezkontaktně* [online]. Dopravní podnik hl. m. Prahy [cit. 2016-06-14]. Dostupné z: <http://www.dpp.cz/nakup-jizdneho-v-prazskych-tramvajich-nyni-i-bezkontaktně>.
- [42] *O projektu ZeEUS v Plzni*. 2014. Dostupné také z: <http://www.zeeus.zelene-mesto.eu/zeeus/o-projektu/>.
- [43] *Overview of key performance indicators in smart sustainable cities: Focus Group Technical Specifications*. 2014. Technická zpráva. ITU-T.
- [44] Plzeň: Dotazy pro Michala Krause. *Smart Cities*. 2016.
- [45] *Praha rozvíjí OpenData a Smart Cities* [online]. Praha: Praha.eu – portál hlavního města Prahy, 2015 [cit. 2016-06-16]. Dostupné z: [http://www.praha.eu/jnp/cz/o\\_meste/magistrat/tiskovy\\_servis/tiskove\\_zpravy/praha\\_rozviji\\_opendata\\_a\\_smart\\_cities.html](http://www.praha.eu/jnp/cz/o_meste/magistrat/tiskovy_servis/tiskove_zpravy/praha_rozviji_opendata_a_smart_cities.html).
- [46] PŘIBYL, Ondřej. Dopravní plánování pro Smart Cities. In: *Seminář Inteligentní doprava a Smart City*. Praha, 2015.
- [47] PŘIBYL, Ondřej. Občané ve středu dění. *Technicall*. 2016, s. 14–15.
- [48] PŘIBYL, Ondřej; SVÍTEK, Miroslav. System-oriented approach to smart cities. In: *Smart Cities Conference (ISC2), 2015 IEEE First International*. 2015, s. 1–8.
- [49] RADECKI, Alanus von; FANDERL, Nora; BUTTLER, Maike; KRYLOVA, Elena. *City Lab Prague – Stručný přehled*. 2016. Fraunhofer IAO.

- [50] RAJPUT, Ubaidullah; ABBAS, Fizza; EUN, Hasoo; HUSSAIN, Rasheed; OH, Heekuck. A two level privacy preserving pseudonymous authentication protocol for VANET. In: *Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), 2015 IEEE 11th International Conference on*. 2015, s. 643–650.
- [51] *Ročenka dopravy 2013*. 2014. TSK hl. m. Prahy.
- [52] SHAHEEN, Susan A.; RODIER, Caroline J.; EAKEN, Amanda M. *Smart Parking Management Field Test: A Bay Area Rapid Transit (BART) District Parking Demonstration*. Davis, 2005. Dostupné také z: <http://escholarship.org/uc/item/6d58554x>. Technická zpráva. Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley.
- [53] SHOUP, Donald. On-Street Parking Management v. Off-Street Parking Requirements. *The access almanac*. 2013, roč. 42, s. 38–40.
- [54] SCHMID, Waltraud. Case Study – Smart City Wien. In: *Implementation of the Smart Specialisation Strategies*. Ljubljana, 2016.
- [55] SCHROTH, Christoph; EIGNER, Robert; EICHLER, Stephan; STRASSBERGER, Markus. A framework for network utility maximization in VANETs. In: *Proceedings of the 3rd international workshop on Vehicular ad hoc networks*. 2006, s. 86–87.
- [56] SIMPSON, Burney. *Green Lights All the Way* [online]. Driverless Transportation, 2015 [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://www.driverlesstransportation.com/green-lights-all-the-way-11686>.
- [57] SINGH, Surmukh; KUMARI, Poonam; AGRAWAL, Sunil. Comparative Analysis of Various Routing Protocols in VANET. In: *2015 Fifth International Conference on Advanced Computing & Communication Technologies*. 2015, s. 315–319.
- [58] *SMART Cities* [online]. Praha: IPR Praha, 2015 [cit. 2016-06-16]. Dostupné z: <http://www.iprpraha.cz/clanek/308/smart-cities>.
- [59] *Smart City Point – Cesta pro chytrou budoucnost* [online]. Smart City Point, 2016 [cit. 2016-06-17]. Dostupné z: <http://scpoint.eu/>.
- [60] *Smart City Wien* [online]. Wien: TINA Vienna, 2016 [cit. 2016-06-15]. Dostupné z: <https://smartcity.wien.gv.at/site/>.
- [61] Streetwise. *The Economist* [online]. 2015 [cit. 2016-03-16]. Dostupné z: <http://www.economist.com/news/international/21663219-cities-are-starting-put-pedestrians-and-cyclists-motorists-makes-them>.
- [62] ŠIMONÍK, Michal. Carsharing jako součást udržitelné městské mobility. *Smart Cities*. 2015, č. 3, s. 44–45.

## Bibliografie

- [63] *The World Factbook* [online]. CIA, 2016 [cit. 2016-02-02]. Dostupné z: <http://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/xx.html>.
- [64] TOWNSEND, Anthony M. *Smart cities: Big data, civic hackers, and the quest for a new utopia*. WW Norton & Company, 2013.
- [65] *Triangulum* [online]. 2016 [cit. 2016-06-19]. Dostupné z: <http://triangulum-project.eu>.
- [66] VALLIANATOS, Mark. Uncovering the Early History of ‘Big Data’ and ‘Smart City’ in Los Angeles. *Boom. A journal of California*. 2015.
- [67] VEJVODOVÁ, Alžběta. *Smart City po česku: Město Písek se mění v živou laboratoř*. 2015. Příspěvek TV zpravodajství. Česká televize.
- [68] *Vision Zero – Traffic Safety by Sweden* [online]. 2016 [cit. 2016-06-13]. Dostupné z: <http://www.visionzeroinitiative.com/>.
- [69] WANG, Chen; DAVID, Bertrand; CHALON, René. Dynamic road lane management: A smart city application. In: *Advanced Logistics and Transport (ICALT), 2014 International Conference on*. 2014, s. 72–77.
- [70] WANG, Chen; DAVID, Bertrand; CHALON, René; YIN, Chuantao. Dynamic road lane management study: A Smart City application. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2016, roč. 89, s. 272–287.

## A. VANET

Díky rozvoji bezdrátové technologie můžeme použít inteligentní dopravní systémy pro bezpečnější a efektivnější řízení pozemních komunikací. Jedním z hlavních projektů v dopravní větvi Smart City je podpora sítě VANET. Tato síť nemá pouze pomáhat bezpečnějšímu provozu, ale také usnadnit život na silnicích. Velkým problémem jsou totiž dopravní nehody. Ty vedou ke zpoždění kvůli kongescím, což bychom měli brát jako plýtvání efektivním časem jedinců. Velká část dopravních nehod se stane přímo na křižovatkách, a tak je zde evidentní potřeba ji řídit.

Síť VANET (Vehicular Ad Hoc Network) je bezdrátové propojení dopravních prostředků mezi sebou a mezi infrastrukturou pro výměnu dat. Tato síť je podskupinou mobilní sítě MANET. Někteří tuto síť chápou pouze jako prostředek pro komunikaci mezi vozidly (vehicle to vehicle communication = V2V). Ovšem je nutné podotknout, že se nejedná pouze o tuto komunikaci, ale také o možnost komunikace vozidla s infrastrukturou (vehicle to infrastructure communication = V2I).

Komunikace nejčastěji probíhá díky technologiím krátkého dosahu – pomocí DSRC spojení, jež je zahrnuto ve standardu IEEE 802.11. Tomuto tématu se více budu věnovat v jedné z následujících podkapitol.

Síť VANET je dynamická. Její velikost nelze definovat. Topologie se rychle mění, uzly (vozidla) jsou dynamické. Výměna dat musí probíhat v reálném čase a nemůžeme si dovolit zpoždění. Jako velmi významné vlastnosti sítě VANET bych vyzdvihla:

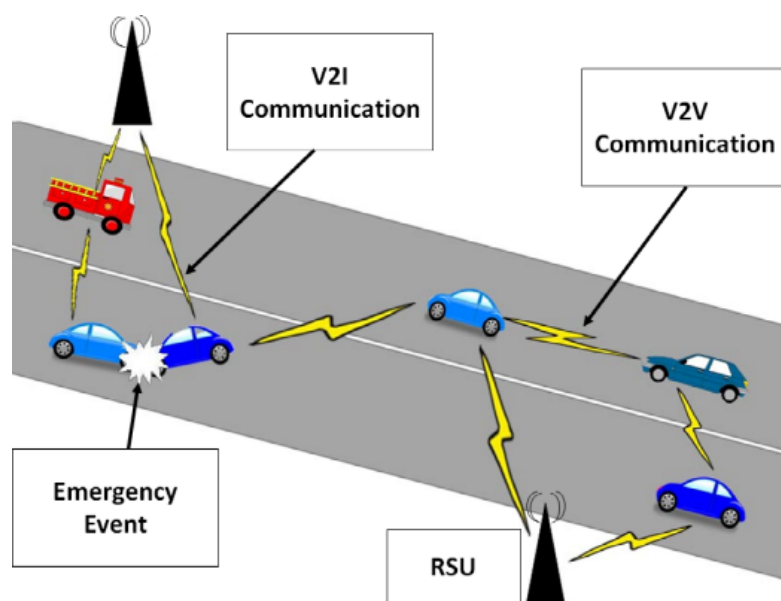
- škálovatelnost – schopnost přidat či odebrat uzel či objekt, aniž by došlo k výraznému narušení výkonu
- spravedlnost – všichni mají stejné možnosti využití kanálu, podobné přenosové rychlosti a přístup k médiu
- altruismus – žádný uzel nemá přednost před ostatními, všechny uzly jsou na stejné úrovni[55].

Síť VANET se skládá ze stacionárních a mobilních jednotek. Stacionárními jednotkami jsou RSU jednotky (Road Side Unit). Tyto jednotky jsou většinou umístěny v krajnici. Mobilní jednotku pak nalezneme v každém vozidle, jedná se o OBU jednotku (On Board Unit). Vozidlo také musí mít hardware, který poskytuje informace o poloze, nejčastěji

## A. VANET

GPS (Global Positioning System). Propojení těchto dvou jednotek je dynamické, může trvat pouze několik sekund, a tak je potřeba mít toto spojení dobře zajištěné.

Počet vozidel v síti má samozřejmě vliv na její konektivitu a případné přehlcení. Musíme se snažit omezit zbytečné přenosy, které přetěžují síť. Dalším problémem je omezená šířka pásma. Zprávy bychom měli aktivovat pouze v době platnosti, aby byla kapacita pro nové aktuální zprávy. Jedním z problémů může být ekonomická stránka zavedení. Je v podstatě nereálné mít na každé křižovatce řídicí jednotku. Na druhou stranu investice do řídicích jednotek bude určitě nutná. Co se týče systémů, primárně bychom se měli snažit o využití již aplikovaných systémů. Již nyní máme jak vozidla, tak infrastrukturu vybaveny celou řadou senzorů, které by bylo možné využít pro komunikaci, poskytování informací a další funkce. Dalším velmi diskutovaným tématem je bezpečnost. Tomuto problému se také budu věnovat v jedné z dalších podkapitol.



Obrázek A.1.: Schéma sítě VANET. Převzato z [50]

### A.1. V2V komunikace

Komunikace, která probíhá mezi vozidly, je hlavní část sítě VANET (schéma sítě VANET je zobrazeno na obrázku A.1). Každé vozidlo může přijímat i odesílat zprávy. Aby systém fungoval, vozidla musí být přístupná vzájemné komunikaci. Přenosy mezi sousedními vozidly musí být koordinovány. Vozidla také musí sdílet šířku pásma.



Pro dobré fungování systému musí vysílat v jeden okamžik právě jedno vozidlo. Ostatní zprávy budou mít zakázaný přístup na kanál. Abychom byli schopni určit, které vozidlo bude nyní vysílat, musíme vypočítat a každé zprávě přidělit její relevanci, tedy užitečnost zprávy. Tím, že odesílám pouze zprávy s vyšším významem, bychom měli výrazně urychlit komunikaci. Může se také stát, že zpráva s nižším významem bude zrušena pro potřeby zprávy důležitější.

Moment, kdy jsou ve vzájemném dosahu dvě vozidla, může být velmi krátký (omezeno stínováním budov atp.). Každému z nich se do fronty ukládají zprávy, které přijalo od jiných vozidel. Vozidlo 2 má ve frontě několik zpráv, ale vozidlu 1 nemůže odeslat všechny. Vybere tedy zprávy s nejvyšší relevancí a tyto zprávy pošle. Zpráva ale může mít jinou relevanci pro každé vozidlo. Je tedy nutné tyto relevance vždy přepočítat a frontu v každém vozidle reorganizovat.

Samozřejmě ne všechny přístupy jsou postaveny na výpočtu relevance. Ty, které tuto metodu nepodporují, většinou snižují výkon. Relevance je nutná jak pro komunikaci mezi vozidly, tak i pro komunikaci V2I. Hodnotu relevance stanovujeme nejčastěji ze tří kritérií – čas, který uběhl od vytvoření zprávy; aktuální konektivita VANET a kontext informací v dalších zprávách. Stanovení relevance probíhá ve dvou krocích. Nejprve probíhá stanovení uvnitř vozidla. Vybírá se nejrelevantnější zpráva v rámci jednoho vozidla. Ve vozidle tedy nevybíráme podle konvenčního postupu FIFO. Poté následuje výběr mezi vozidly – ze všech vybraných nejužitečnějších zpráv se vybere ta nejvíce užitečná pro systém, tato zpráva je již odeslána do RSU jednotky a pro další zpracování.

Pro urychlení s menším zatížením systému také systém věnuje pozornost pouze situaci na silnici ve směru jízdy vozidla. Pokud přijde do vozidla zpráva z vozidla za ním, ignoruje ji. Pokud přijde z vozidla před ním, posílá ji dál. Pro přesměrování zprávy můžeme použít dva přístupy – tzv. naivní a inteligentní. Naivní přesměrování znamená, že vysíláme mnoho zpráv. To způsobí nižší rychlost a vyšší čas dodání. Naopak inteligentní přesměrování omezuje vysílané zprávy. Pokud zpráva přijde totožná zepředu i zezadu, předpokládáme, že za námi je alespoň jedno vozidlo, které zprávu obdrželo a dále ji neposíláme.

## A.2. V2I komunikace

VANET zapojí do systému vozidlo, které je v dosahu zhruba 100 – 300 metrů. Komunikace OBU s RSU musí být přesně definovaná. Jednotky RSU jsou umístěny zhruba po kilometru podél komunikace. V případě hustého provozu je potřeba mít jednotky ještě blíže, pro větší rychlost přenosu. Jejich umístění je samozřejmě omezené možnostmi dané komunikace. Vysílají signály do všech vozidel v okolí. Nejen, že přijímá zprávy od vozidel, které případně

## A. VANET

posílá dál pro zpracování a vyhodnocení. RSU také může poskytovat zpětnou vazbu do vozidla. Například je schopna periodicky vysílat rychlostní limit na dané komunikaci. Pokud je tato informace odlišná od informace z vozidla a vozidlo limit porušuje, RSU vysílá do vozidla akustické nebo světelné varování.

Komunikace V2I je všeobecně dražší než V2V, především kvůli instalaci RSU jednotek.

### A.3. Cíle VANET

Síť VANET je podporována jak IT a firmami zabývající se dopravou, tak také ze strany Evropské unie a řady dalších podobných institucí. Hlavním cílem je zvýšení bezpečnosti na pozemních komunikacích. Efektivní upozornění a aktuální informace o nehodách sníží kongesci, což povede k nižšímu znečištění ovzduší a lepší psychickou pohodu řidičů. Také je to ekonomické řešení, jelikož snížíme dobu jízdy a tím i spotřebu paliva [24]. Díky síti VANET a jejím aplikacím také můžeme předcházet dopravním nehodám, což opět uspoří náklady na jejich odstranění.

### A.4. Bezpečnost VANET

Velkou otázkou ohledně sítě VANET je její bezpečnost. V předchozích odstavcích jsem mluvila o přeposílání informací o vozidle, jeho poloze a dalších poměrně osobních údajů. Musíme si také uvědomit možná rizika spojená s posíláním takových údajů. Především tím, že je celá síť navzájem propojena je problém, že když jsou ohrožena data, je ohrožena celá síť. Možnosti útoku jsou poměrně rozmanité a mohou způsobit fatální následky. Můžeme se bavit o falešných zprávách, které povedou ke špatnému rozhodnutí řidiče, což může ve výsledku vést i k dopravní nehodě. Dalším možným ohrožením může být například zahlcení systému zbytečnými zprávami, vytvoření datových závrťů a další hrozby.

Aby bylo reálné integrovat VANET do provozu, musíme získat důvěru řidičů, tedy uživatelů. V dnešní době ještě spousta obyvatelů nevěří moderním technologiím a ztracená důvěra se velmi obtížně získává zpátky. Klíčové je udržet soukromí a anonymitu uživatelů. VANET má jasné požadavky na bezpečnost:

- Dostupnost – vozidlo musí být k dispozici po celou dobu a v reálném čase
- Odpovědnost – informace se ukládají do OBU jednotky, ke kterým má případně přístup pouze úředník s patřičným povolením
- Ochrana soukromí – musí být zajištěno, že nedojde k odposlechům, sledování polohy atp.
- Autentifikace – u každé zpráv, ověříme původ, autora, oprávnění uživatele

Přesně na výše zmíněné požadavky jsou mířeny útoky. K ohrožení dostupnosti může dojít například při zaplavení systému zbytečnými zprávami, rušení signálu, spamy, atp. Může dojít ke zpochybnění pravosti uživatele pomocí falešné identity, změnou zpráv atp. A asi nejpravděpodobnější bych viděla útok na důvěryhodnost, kdy při odposlechu, zneužívání informací a podobných aktivitách přijde systém o uživatele. Ztrátou důvěry pak uživatele těžko získáváme zpátky a tento typ útoku je nejspíš jedním z těch jednodušších.

Jak jsem již říkala, pokud je napadena jedna jednotka, je to problém pro celou síť. Proto je potřeba ověřovat zprávy, které se posílají v systému. Ověření můžeme rozdělit do dvou kategorií – na základě digitálního podpisu nebo pseudonymového režimu. Většinou ověření realizujeme pomocí digitálního podpisu a veřejného klíče. Tento způsob má větší zpoždění. Většinou posíláme pomocí DSRC komunikace, zde zprávu posílám v rozmezí 100 – 300 ms od předchozí. OBU jednotka s procesorem 400 MHz ověří podpis zhruba za 20 ms. Délka vysílané zprávy by neměla překročit 200 bajtů (pak to bývá zbytečné) [50]. Samozřejmě opět platí, že čím vyšší hustota, tím větší zpoždění.

## A.5. Směrování

Pro komunikaci potřebujeme vhodné směrovací (= routing) protokoly. I v tomto ohledu narážíme na problém relativně vysokých kvalitativních požadavků. Nestálá topologie sítě a požadavek na rychlé přenosy vyžadují velmi kvalitní směrování bez chyb. Jako směrovač může například posloužit sloup veřejného osvětlení.

Protokolů můžeme využít hned několik. Dělíme je na proaktivní a reaktivní protokoly. První zmíněné používají směrování pomocí vektorů a vzdáleností (například DSDV protokol = Destination-Sequenced Distance-Vector). Tyto protokoly aktualizují informace po celou dobu, i když není cesta aktivní. Zachovávají nevyužité cesty a tím zbytečně zabírají šířku pásma. Proto jsou tyto protokoly neefektivní. Využívají se tedy reaktivní protokoly, které provádějí akci na základě požadavku. Neudrží tedy zbytečná data. Mezi reaktivní protokoly patří například AODV, DSR a další protokoly, které budu dále popisovat.

Nejčastěji se pro síť VANET používají tři typy směrovacích protokolů. Prvním z nich je protokol AODV (Ad hoc On-demand Distance Vector), který je využíván například i v komunikaci chytrých semaforů (těm se věnuji níže). AODV pomocí směrovacích tabulek určuje pořadové číslo pro směrování. Do tabulek ukládá cestu k dalšímu uzlu. Pro každou destinaci používá pouze jeden vstup, čímž zabrání smyčce. Zdrojový uzel vysílá k sousedům požadavek na vyhledání cíle. Zpráva v tomto protokolu obsahuje zdroj, cíl, adresy, životnost zprávy a ID vozidla.

## A. VANET

Rozšířením AODV vzniknul protokol AOMDV (Ad hoc On-demand Multipath Distance Vector). Na rozdíl od AODV vyhledává více cest mezi zdrojem a cílem. Násobky cest bere jako zaručeně volné, nepřekrývají se. Oproti AODV při selhání jedné cest nemusí vyhledávat znovu, znovu vyhledává až když selžou všechny dostupné cesty. AOMDV se lépe vypořádává s poruchami, snižuje ztrátu paketů a má menší zpoždění.

Dalším možným protokolem je DSR protokol (Dynamic Source Routing), který také používá směrovací tabulky. Ukládá tam cestu k cíli. Nespoléhá se tedy na směrovací tabulky v mezilehlých uzlech. Adresy mezilehlých uzlů jsou uloženy v záhlaví.

Pro výběr správného protokolu na jednotlivé aplikace musíme znát vlastnosti jednotlivých protokolů. Většinou porovnáváme zpoždění, propustnost a případně ztrátu paketů. Podle autorů článku [57] mají všechny tři protokoly srovnatelnou propustnost. S dalšími dvěma vlastnostmi už se poměrně liší. DSR vyšlo jako nejméně zpožděné směrování, bylo téměř o polovinu lepší než ostatní. Ale právě DSR má nejhorší ztrátu paketů.

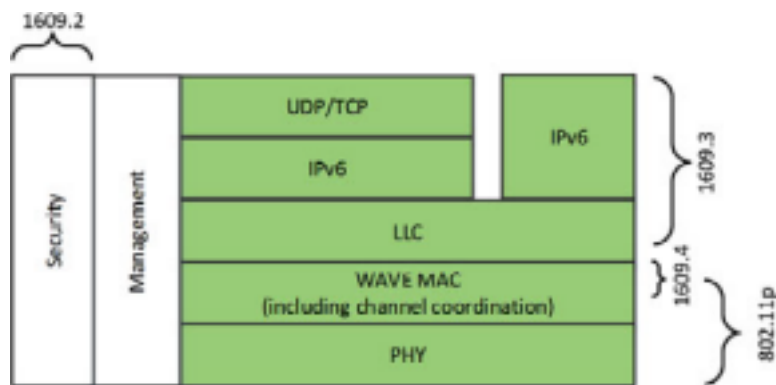
### A.6. Standardy VANET

Síť VANET je také zapsána a řídí se některými standardy. Všeobecně se snažíme nové technologie podřídít standardům, jelikož to poté snižuje náklady a zjednodušuje další vývoj. Tyto standardy se odvíjí od uplatněné technologie, čili technologie krátkého dosahu (WLAN, Bluetooth, ...). V USA toto nalezneme ve standardu WAVE, který je založen na standardu IEEE 802.11p. Má sedm vyhrazených kanálů v pásmu 5,9 GHz. Ve standardu WAVE je možná rychlost připojení mezi vozidly až 54 Mbps. Používá se OFDM modulace pro rozdělení kanálů o šířce 10Mhz. V Evropě mluvíme o standardu ETSI G5 (pět kanálů na 5,9 GHz).

V síti VANET využíváme standardy skupiny 802.11 (Wireless LAN & Mesh WiFi). Původní standard vznikl v roce 1997, ale v této technologii se využívají hlavně jeho následovníci – 802.11e a 802.11p. První zmíněný je doplněk, který vylepšuje MAC podvrstvu linkové vrstvy. Rozšiřuje ji o Quality of Service (QoS). QoS je vyjádření úrovně výkonnosti služby. V dynamických systémech se ovšem velmi těžko zaručuje. Má za cíl minimalizovat čas potřebný k obnově spojení, tedy stabilitu systému. Tento standard může stanovit prioritu dat, což je pro VANET poměrně důležité. QoS je důležité, zprávy nemohou mít zpoždění (mátlo by to uživatele a vedlo ke špatným rozhodnutím). Standard 802.11e podporuje až osm paketových front, kde každá zvýhodňuje jiný stupeň důležitosti. Prioritizace je ovšem dost hrubá, různé priority mohou být v jedné frontě a to není výhodné. Navíc vnitřní soupeření front zhoršuje výkon.

Druhým standardem je 802.11p, který doplnil 802.11 o komunikační systém WAVE

(Wireless access in vehicular environments). Díky němu se WAVE stalo primární technologií ve VANET. Vychází z 802.11a. WAVE totiž podporuje aplikace ITS, které poskytují řidičům informace o událostech a potenciálním nebezpečí. V Evropě a v USA funguje na jiných šířkách, takže není kompatibilní. Spektrum je rozděleno na sedm kanálů (jeden bezpečnostní a šest obslužných), v USA mluvíme o 75 MHz spektru, v Evropě pak o 10 MHz. WAVE kvůli četnosti a dynamice zjednodušuje připojení bez autentizace a asociace, čímž zajišťuje menší zpoždění. Je tedy možné dynamicky připojit a odpojit vozidlo v reálném čase. Na obrázku A.2 je zobrazena struktura WAVE. Musíme si uvědomit, že standard IEEE je zodpovědný pouze za řízení přístupu k MAC vrstvě a fyzické vrstvy (na obrázku PHY). WAVE je schopné tolerovat rychlost vozidla až 240 km/h.



Obrázek A.2.: Struktura WAVE [31]

### A.6.1. DSRC

Pro komunikaci je nejčastěji používáno DSRC (Dedicated short-range communications). To zajišťuje bezpečný a spolehlivý přenos. Má jeden bezpečnostní a šest normálních kanálů. Standard WAVE byl navržen pro podporu spolupráce mezi těmito kanály. DSRC má dvě možnosti komunikace – aktivní a pasivní. Při aktivní komunikaci má OBU jednotka svůj vlastní napájecí zdroj a oscilátor. V tomto případě máme možnost velmi flexibilního komunikačního pásma (šířka až 30 metrů). U pasivní komunikace nemá OBU jednotka oscilátor, odráží modulovaný signál z RSU. Můžeme mluvit o DSRC 5.8 nebo 5.9 GHz. Frekvence 5.8 GHz se používá v Japonsku. Síť 5.9 GHz najdeme v USA a v Evropských zemích. Princip je založen na skenování vozovky. Jakmile je OBU jednotka načtena, algoritmus ji přiřadí ke správnému vozidlu podle souřadnic.

Mezi hlavní výhody využití DSRC musím zařadit především nízkou latenci komunikace, tedy nízké zpoždění. Přístup ke komunikaci je omezen pouze licencemi. A v neposlední

## A. VANET

řadě snižuje náklady, jelikož je poskytován zdarma.

### A.7. Cloud

Celý princip VANET, jak jsem výše popisovala, je založen na sdílení velkých informací mezi mnoha členy systému. To také vyžaduje skladování a manipulaci s velkým objemem dat, což může být značný problém. Jedno z možných řešení by bylo použití cloudových úložišť. Jedná se o data uložená na serveru, tedy nemáme je fyzicky přímo u RSU jednotky, ale někde mimo, centrálně. Přesněji mluvíme o třech cloudech – centrální cloud (CC), RSU cloud (RC) a cloud vozidla (VC).

Každý ze tří jmenovaných cloudů má ovšem své nedostatky, které celý systém zpomalují. Cloud vozidla zajišťuje komunikaci V2V mezi sousedními uzly. Má problém s častým odpojením a zpožděním. Informace z VC putují do RC, kde jsou velké čekací doby na další postup (do CC). Jedná se totiž o velmi rozsáhlou síť. RC je složen ze sousedních RSU jednotek, které se nepřekrývají. Pokud je vozidlo dostatečně blízko, připojí se do RC. Nakonec data končí v centrálním cloudu, což je masivní datové úložiště, přístupné přes RC. Pro představu by doba přenosu obrazu ze systému do RC a z RC do CC mohla trvat zhruba 1,2s [26].

### A.8. Aplikace ve VANET

V síti VANET můžeme najít velké množství aplikací. Většinou mají za cíl zvýšit bezpečnost na komunikacích. Můžeme se bavit o aplikacích, které pomáhají řidiči při řízení. Mezi tyto aplikace můžeme zařadit například systém na hlídání dopravních značek, automatické parkování, předjížděcí asistent nebo systém pro hlídání brzdových světel (reaguje na prudké brzdění vozidla před ním).

Další velkou kapitolou jsou informační systémy. Sem můžeme zařadit například systém pro výběr optimální trasy, informační systémy založené na znalosti GPS polohy. Také sem patří systém varující před rozbitou vozovkou, stromem na silnici, silným deštěm či například varující před kolizí.

Ale také můžeme VANET využít například pro výběr mýtného, což výrazně zrychlí provoz na silnici. Nebo například optimalizaci provozu umožní tzv. platooning, což jsou spřažené silniční vlaky. Vozidla se následují za sebou, přijímají rychlost a informace z vozidla před sebou.

VANET lze využít i pro komerční účely, například GPS může poskytovat informace do vozidla o podniku v okolí. Také by to mohlo posloužit pro hledání odcizených vozidel.

Vozidlo se dá dohledat pomocí GPS. Každé vozidlo má své unikátní ID, ze kterého lze vyčíst rok výroby, model, značka a další informace. Bylo by tedy možné toto ID periodicky vysílat do sítě. Případná krádež se tak bude lépe sledovat.

Jak můžeme vidět, můžeme poskytovat pomocí VANET i jiné aplikace než pouze bezpečnostní. Bezpečnostní aplikace ale musí mít větší prioritu.