



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA DOPRAVNÍ**

Bc. Tomáš Hyršl

Ekonomické hodnocení technologie platooning pro nákladní  
dopravu

**Diplomová práce**



**K617** ..... Ústav logistiky a managementu dopravy

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

**Bc. Tomáš Hyršl**

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

**N 3710 – LA – Logistika a řízení dopravních procesů**

Název tématu (česky): **Ekonomické hodnocení technologie platooning pro nákladní dopravu**

Název tématu (anglicky): Economic appraisal of platooning technology in freight transportation

**Zásady pro vypracování**

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

- Analýza současné situace v silniční dopravě
- Základní principy fungování technologie platooning
- Současné projekty založené na principu platooningu
- Ekonomické, environmentální a další dopady způsobené zavedením technologie platooning
- Návrh nutných legislativních změn nutných pro zavedení platooningu





- Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: MEYER, G.; Road vehicle automation; Springer; 2014  
DUCHOŇ, B.; Inženýrská ekonomika, C.H.Beck; 2007  
CEMPÍREK, V.; Logistické a přepravní technologie; Institut Jana Pernera, o.p.s.; 2014

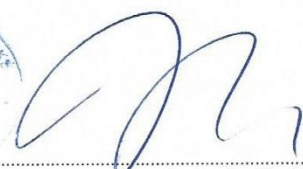
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Edvard Březina, CSc.**  
**Ing. Martin Langr, Ph.D.**

Datum zadání diplomové práce: **30. června 2018**  
(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 diplomové práce: **28. května 2019**  
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

  
doc. Ing. Tomáš Horák, Ph.D.  
vedoucí  
Ústavu logistiky a managementu dopravy

  
doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.  
děkan fakulty



Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.



Bc. Tomáš Hyršl  
jméno a podpis studenta

V Praze dne .....30. června 2018

## Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval všem, kteří mi poskytli podklady pro vypracování této diplomové práce. Zvláště pak děkuji Ing. Edvardu Březinovi, CSc. a Ing. Martinu Langrovi, Ph.D. za odborné vedení a konzultování diplomové práce a za rady, které mi poskytovali po celou dobu mého studia. V neposlední řadě je mou milou povinností poděkovat svým rodičům a blízkým za morální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu studia.

## Prohlášení

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

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl 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 28. května 2019

.....

podpis

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE  
FAKULTA DOPRAVNÍ**

## **Ekonomické hodnocení technologie platooning pro nákladní dopravu**

**Diplomová práce  
květen 2019  
Bc. Tomáš Hyršl**

### **ABSTRAKT**

Předmětem diplomové práce Ekonomické hodnocení technologie platooning pro nákladní dopravu je analýza současné situace silniční nákladní dopravy se zaměřením na Českou republiku a představit technologii platooning. Dále diplomová práce pojednává o výhodách a nevýhodách zavedení technologie platooning v České republice.

### **ABSTRACT**

The subject of the master thesis „Economic appraisal of platooning technology in freight transportation“ is analysis of the current situation of the road freight transport with a focus on the Czech Republic and to introduce platooning technology. Master thesis deals about benefits and shortcomings of introduction platooning technology in the Czech Republic.

**KLÍČOVÁ SLOVA**

Platooning, četa, autonomní vozidla, silniční nákladní doprava, komunikace, asistenční systémy, životní prostředí

**KEY WORDS**

Platooning, platoon, autonomous vehicles, road freight transport, communication, assistance systems, environment

# Obsah

Seznam použitých zkratké.....	7
Úvod.....	8
1 Analýza současné situace v dopravě.....	10
1.1 Základní definice a pojmy z dopravy .....	10
1.2 Historie dopravy .....	10
1.3 Význam dopravy pro ekonomiku .....	16
1.4 Současné problémy silniční dopravy .....	19
1.4.1 Nedostatek řidičů na trhu práce.....	20
1.4.2 Cena a vyčerpatelnost ropy.....	22
1.4.3 Kapacita pozemní komunikace.....	25
1.4.4 Udržitelný rozvoj a vliv dopravy na životní prostředí .....	31
1.4.5 Nehodovost.....	35
1.4.6 Shrnutí současných problém silniční dopravy.....	37
2 Platooning .....	39
2.1 Obecný popis platooningu .....	40
2.2 Historie a stupně autonomního řízení .....	42
2.3 Současný stav technologie platooning.....	44
2.4 Architektura komunikace .....	49
2.5 Způsob formování skupin .....	50
2.6 Legislativa .....	52
2.7 Aerodynamický odpor.....	53
3 Současné projekty platooningu.....	57
3.1 Safe Road Trains for the Environment (SARTRE) .....	57
3.2 Partial Automation for Truck Platooning (PATH).....	58
3.3 Grand Cooperative Driving Challenge (GCDC) .....	59
3.4 Energy ITS .....	60
3.5 KONVOI.....	61
3.6 Shrnutí .....	63

4	SWOT analýza .....	64
4.1	Silné stránky.....	65
4.1.1	Snížení nákladů za palivo .....	65
4.1.2	Zvýšení kapacity silničních komunikací .....	66
4.1.3	Zvýšení bezpečnosti.....	70
4.1.4	Zvýšení komfortu.....	71
4.2	Slabé stránky .....	73
4.3	Příležitosti .....	75
4.4	Hrozby.....	75
5	Ekonomické a environmentální dopady zavedení technologie platooning .....	77
5.1	Ekonomické hodnocení .....	77
5.2	Environmentální dopady.....	85
5.3	Další možnosti využití technologie Platooning .....	89
6	Legislativní problematika technologie platooning a autonomních vozidel .....	93
6.1	Analýza současného stavu.....	93
6.2	Autonomní vozidla 3.0.....	95
6.3	Návrh postupu změn v legislativě .....	96
	Závěr.....	100
	Zdroje.....	102
	Seznam obrázků .....	114
	Seznam tabulek.....	116



## Seznam použitých zkratk

ABS	Anti-lock Brake System (Protiblokovací brzdňý systém)
ACC	Adaptive Cruise Control
BP	British Petroleum
CACC	Cooperative Adaptive Cruise Control
CAN	Controller Area Network
CCD	Charge-coupled device
DSRC	Dedicated Short Range Communications
ESP	Elektronický stabilizační program
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
GCDC	Grand Cooperative Driving Challenge
GPS	Global Positioning System
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Mezivládní panel pro změny klimatu)
ISPV	Informační systém o průměrném výdělku
OPEC	Organizace zemí vyvážející ropu
OSN	Organizace spojených národů
PATH	Partial Automation for Truck Platooning
ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic
SARTRE	Safe Road Trains for the Environment
SVA	Svaz dovozců automobilů
V2I	Vehicle to infrastructure
V2V	Vehicle to vehicle
V2X	Vehicle to everything
WAVE	Wireless Access in Vehicular Environments

## Úvod

Doprava je nedílnou součástí lidského života a výraznou měrou podporuje rozvoj lidské společnosti. Bez funkčního dopravního systému je nemožné si představit fungování současného světa, bez dopravy bychom nikdy nedosáhli takového rozmachu a i díky rozvoji dopravy může naše generace žít v blahobytu dnešní doby. Není náhodou, že se historicky rozvíjely nejrychleji vždy ty oblasti, které se nacházely a dnes nacházejí na dopravně výhodném místě. Města kolem pobřeží zaznamenávaly pokrok dříve než oblasti ve vnitrozemí, námořní doprava byla obrovským přínosem a výhodou. Vzhledem k rozvoji ostatních dopravních módů se pokrok v jednotlivých oblastech vyrovnal a dnes již zaznamenáváme pokrok nezávisle na přístupu k moři. I přesto je stále přístup k moři nepopíratelnou výhodou.

Doba, ve které žijeme, je mnohdy označována jako doba internetu a moderních inovací. Lidská společnost rychle posouvá své možnosti díky stále propracovanějším technologiím, které člověku pomáhají každý den. Tyto technologie jsou již dnes součástí běžného lidského života, zefektivňují lidské snažení a pomáhají dalšímu rozvoji lidské společnosti. Zároveň je nutné podotknout, že rychlost nástupu moderních technologií je ohromující. Ještě před 100 lety by si těžko někdo dokázal představit svět, v jakém máme možnost nyní žít.

Rozvoj a kvalita dopravy jsou klíčové pro neustálý posun lidské civilizace dopředu. Moderní technologie mohou v tomto ohledu být velmi nápomocné. Už dnes se setkáváme běžně v automobilech s navigacemi, různými pomocnými systémy a dalšími funkcemi, které usnadňují řidičům jejich činnost. Velkou otázkou, před kterou lidstvo stojí, je využití autonomních vozidel. Vozidla, která řídí bez zásahu řidiče, mohou někomu připadat jako sci-fi. Reálně je automobilový průmysl již na takové úrovni, že se mohou autonomní vozidla stát součástí běžného lidského života, jako je tomu například u „smartphonů“. Mnozí lidé si slibují od autonomních vozidel další posun nejen v oblasti dopravy, ale v celém lidském úsilí žít v lepším světě.

Během mého studia v rámci evropského programu Erasmus+ jsem měl možnost studovat jeden semestr na univerzitě ve švédském Linköpingu. Švédsko je země charakteristická svým přístupem k inovativním technologiím a právě zde jsem se poprvé setkal s termínem platooning. Platooning – technologie, která shlukuje vozidla do jízdnic čet, je zajímavá myšlenka, jakým způsobem inovovat silniční dopravu po celém světě. V rámci předmětu Transport and Logistics Systems jsem získal nové poznatky, o kterých v České republice mnoho lidí neví. Klíčovou vlastností platooningu je snížení vzdáleností vozidel na několik metrů. Odborné práce, které se k tématu platooningu vztahují, často zmiňují výhody jako jsou úspora paliva, zvýšení kapacity pozemních komunikací a zvýšení bezpečnosti.

Hlavním cílem této diplomové práce je provést důkladnou rešerši technologie platooning, představit tuto technologii a upozornit na projekty, které se touto technologií zabývají. Dále je záměrem diplomové práce zhodnocení technologie platooning pro Českou republiku, se zaměřením na přesný popis výhod, ale také nevýhod, které zavedení platooningu pro silniční nákladní dopravu může přinést. Důraz bude kladen na stránku ekonomickou i environmentální. Dalšími cíli diplomové práce je vyhodnocení legislativní stránky projektu a případný návrh nutných změn, které jsou nezbytné pro úspěšnou realizaci tohoto projektu. V neposlední řadě je účelem této diplomové práce upozornit na historickou souvislost mezi vývojem lidské společnosti a dopravou se zaměřením na různé nové vynálezy a technologie v oblasti dopravy. V návaznosti na tuto analýzu bude provedena také identifikace současných problémů dopravy.

# 1 Analýza současné situace v dopravě

První kapitola diplomové práce pojednává o základních definicích spojených s dopravou, dále se zabývá historií dopravy a přínosem dopravy pro světové hospodářství. Kapitola také obsahuje analýzu současných problémů dopravy.

## 1.1 Základní definice a pojmy z dopravy

Tato podkapitola se zabývá základními pojmy a definicemi, které poslouží pro lepší porozumění diplomové práce.

Dopravou, případně dopravním procesem, se rozumí: *„Doprava je pohyb dopravních prostředků po dopravních cestách, jehož cílem je cílená změna místa v prostoru a čase.“* [1]

Podrobnější charakteristikou dopravy může být následující definice: *„Doprava je záměrné a organizované přemísťování věcí a osob uskutečňované dopravními prostředky po dopravních cestách.“* [2]

Další definici, se kterou je možné se setkat, zní: *„Dopravou rozumíme cílevědomý proces změny místa dopravního prostředku po dopravní cestě za účelem přemístění osob, zvířat nebo věcí.“* [3]

Další z důležitých pojmů je přeprava. Tento pojem je nezbytné rozlišovat od pojmu dopravy. Definice přepravy dle literatury je následující: *„Přeprava je přemístění (přemísťování) osob a věcí jako výsledek dopravy.“* Přepravu tedy obecně chápeme jako produkt dopravy. [4]

Dalšími pojmy, které se často zaměňují, jsou dopravce a přepravce: Definice dopravce je následující: *„Doprovce je právnická nebo fyzická osoba provozující dopravní prostředky, potřebné k realizaci přepravy.“* Naopak přepravce můžeme charakterizovat touto definicí: *„Přepravce je v silniční dopravě objednatel přepravy.“* Z tohoto důvodu je důležité rozlišovat tyto dva pojmy. Dopravce a přepravce dohromady uzavírají přepravní smlouvu, ve které jsou jednotlivé funkce definovány a upřesněny. [4]

## 1.2 Historie dopravy

Člověk se již od svých počátků setkává s dopravou. Už v pravěku bylo nezbytné pro přežití „přepravovat“ jídlo, kámen a další různé materiály. Člověk z počátku nevyužívá žádného dopravního prostředku, k přemísťování využívá pouze chůzi, později využívá k přepravě břemen smyk z větví, případně jiných saní. S vývojem člověka a jeho zdokonalování dochází také k vývoji v oblasti dopravy. Výraznou pomocí v tomto ohledu byla domestikace zvířat a jejich využití jako tažné síly. [5]

Domestikace zvířat započala v mladší době kamenné (neolit – 8 000 až 5 000 př.n.l.), kdy již člověk ve velké míře upustil od kočovného stylu života, usadil se a jeho hlavním zdrojem obživy

se stává zemědělství. Vzhledem k větší produkci zemědělských plodin bylo možné vytvářet dostatečné zásoby krmiva i pro chovaná zvířata. Využití zvířat bylo různé, zvíře mohlo sloužit jako společník člověka, potrava nebo jako pracovní síla. [5,6]

Je nezbytné také připomenout význam řek. Řeka sloužila již v pravěku jako přirozená dopravní cesta, po které mohli pomocí primitivních dopravních prostředků (kmenu stromu apod.) lidé přepravovat nejrůznější věci. První čluny se na světě objevují v mezolitu (10 000 př.n.l. – 8 000 př.n.l.). Tyto čluny se využívají k rybolovu a dopravě na kratší vzdálenosti. Není náhodou, že právě kolem vodních toků jako je Eufrat a Tigris v Mezopotámii, Nil v Africe nebo Ganga v Indii vznikají první civilizace okolo roku 3 000 př.n.l. Přístup k vodním tokům, případně k mořím a oceánům hraje dodnes klíčovou roli v hospodářství a konkurenceschopnosti. Řeky sloužily v pravěku primárně jako zdroj vody pro zemědělství, později také přispěly k rozvoji území jako dopravní tepny. Například Eufrat a Tigris posloužily k lepší a efektivnější dopravě stavebního materiálu pro honosné stavby na území Mezopotámie. Podobné příklady najdeme i u ostatních významných řek. Rozvoj lodní dopravy byl na konci pravěku a na začátku starověku značný. Například první doložená plachetnice se objevuje kolem roku 3 000 př.n.l. v Egyptě. Vynikajícími lodními inženýry a mořeplavci byli Féničané (pocházející z východního pobřeží Středozemního moře), vynálezci galéry. Typy těchto lodí se používaly jako hlavní dopravní prostředek na moři až do vrcholného středověku, válečné typy dokonce až do novověku. Důkazem toho, jak důležité bylo ovládat dopravu, bylo založení přístavu a města Kartágo (814 př.n.l.), nacházejícího se na severním cípu afrického kontinentu. Kartágo se postupně stalo důležitým obchodním místem a rozrostlo se ve významnou námořní mocnost. [6,7,8]

Doslova v této oblasti revolučním vynálezem bylo kolo. Většina zdrojů se shoduje, že vynález kola patří Sumerům, kteří měli kolo vynalézt zhruba kolem roku 4 000 př.n.l. v Mezopotámii. Jednalo se o plná kola, pravděpodobně Sumerové odvodili tento vynález od klád a jejich točivého pohybu po podložce. Dále pak měli tento svůj nápad rozvinout a okolo roku 3 500 př.n.l. již využívat kolových dopravních prostředků. Stejně jako i v jiných oblastech, i zde byl tento rozvoj posilněn snahou o využití dopravních prostředků ve vojenství jako bojových vozů. Kolem roku 2 000 př.n.l. již člověk pracuje s paprskovým kolem, ve stejném období se setkáváme i se zapražením koně, který do té doby byl využíván pouze k jízdě bez vozu. [9,10]

V historii dopravy je důležité připomenout výraznou roli antického Říma. Tento útvar existoval od přibližně 8. století před naším letopočtem až do roku 476, kdy byl sesazen císař Romulus Augustus. Antický Řím vyměnil během své existence hned tři formy vlády, a to království, republiku a císařství. Především v obdobích republiky a císařství dochází k rozmachu dopravy díky výstavbě zpevněných silnic. První taková kamenná silnice, Via Appia, byla vybudována v roce 312 př.n.l. cenzorem Appiusem Claudiusem Ceacusem. Postupná výstavba dalších

silnic vytvořila hustou síť, která dosahovala délky až 85 000 kilometrů a spojovala celou říši. Původní záměry, které byly pouze vojenské, byly následně doplněny o spojovací (poštovní) a ekonomické účely. V samotné centru Říše, v Římě, ústilo dohromady 29 silnic. Technické provedení silnic bylo na tehdejší dobu velmi sofistikované, silnice dosahovala běžně osmi až deseti metrové šířky. Celá stavba se skládala dohromady ze čtyř vrstev – z balvanů, ze štěrku s pískem a vápnem, z rozdrčených cihel a z dlažby. Nejběžnějším druhem dopravy byla i po těchto cestách chůze. Bohatší lidé si mohli dovolit zaplatit nosiče (otroky), případně mohli využít vozů taženými koňmi. V době rozvoje silnic Římské Říše existovalo několik druhů vozů, historické prameny se zmiňují o dvoukolých vozech neboli tzv. carpentum, případně o čtyřkolových raeda. [8, 11].

Jednou z nejvýznamnějších, ne-li tou nejvýznamnější dopravní cestou starověku, byla tzv. Jantarová stezka. Tato stezka vedla od ústí řeky Visly do Baltského moře, přes střední Evropu až k Středozemnímu moři. Tato stezka nese název po komoditě, která byla na této cestě nejčastěji dopravována právě od Baltského moře až do Říma, případně dále do Egypta. Jantar byl často využíván k výrobě šperků, v dobách antického Říma mu byla zároveň připisována magická moc, pro kterou byl velmi žádan bohatými lidmi v centru Říše. Ještě známější stezkou, která byla ve stejné době využívána pro spojení Říma s Dálným Východem a Čínou, byla hedvábná stezka. Hlavní trasa měřila přibližně 9 000 km a vedla z Říma až do středu dnešní Číny. Překonat tuto vzdálenost trvalo obchodníkům a diplomatům až tři roky. Stejně jako jantar, i hedvábná jako hlavní přepravovaná komodita dalo jméno této slavné obchodní trase [8,12].

Právě sofistikované dopravní propojení celého antického Říma a spolupráce s ostatními civilizacemi, včetně těch na Dálném Východě, napomáhala ekonomické a vojenské síle Římské Říše. Informace a vojska díky dopravním cestám cestovaly po celé Říši rychle a propojení celé Říše umožňovalo šířit kulturu, jazyk a umění. Navíc Říše dokázala využít i dopravy námořní a díky tomu ovládala celé Středomoří. Historie dává jasný důkaz toho, že kvalitní infrastruktura podpořená dopravními prostředky, výraznou měrou přispívá nejen k ekonomickému růstu. [8]

Středověk z hlediska dopravy nepřináší mnoho revolučních změn. Mnoho cestovatelů, především těch z chudších vrstev, i nadále využívala k pohybu pouze vlastní nohy. Bohatší vrstva se spoléhala na koně, nebo používala káry a vozy taženými koňmi. S narůstajícím objemem přepraveného zboží dochází k úpravám a rozšiřování obchodních cest, některé z nich byly z důvodu vyšší bezpečnosti chráněny strážními stanovišti a pomezními hrady. Nebezpečí napadení cestujících bylo veliké, proto byla zaváděna některá bezpečnostní opatření. Obchodníci se snažili pohybovat po cestách pouze přes den a shlukovali se do

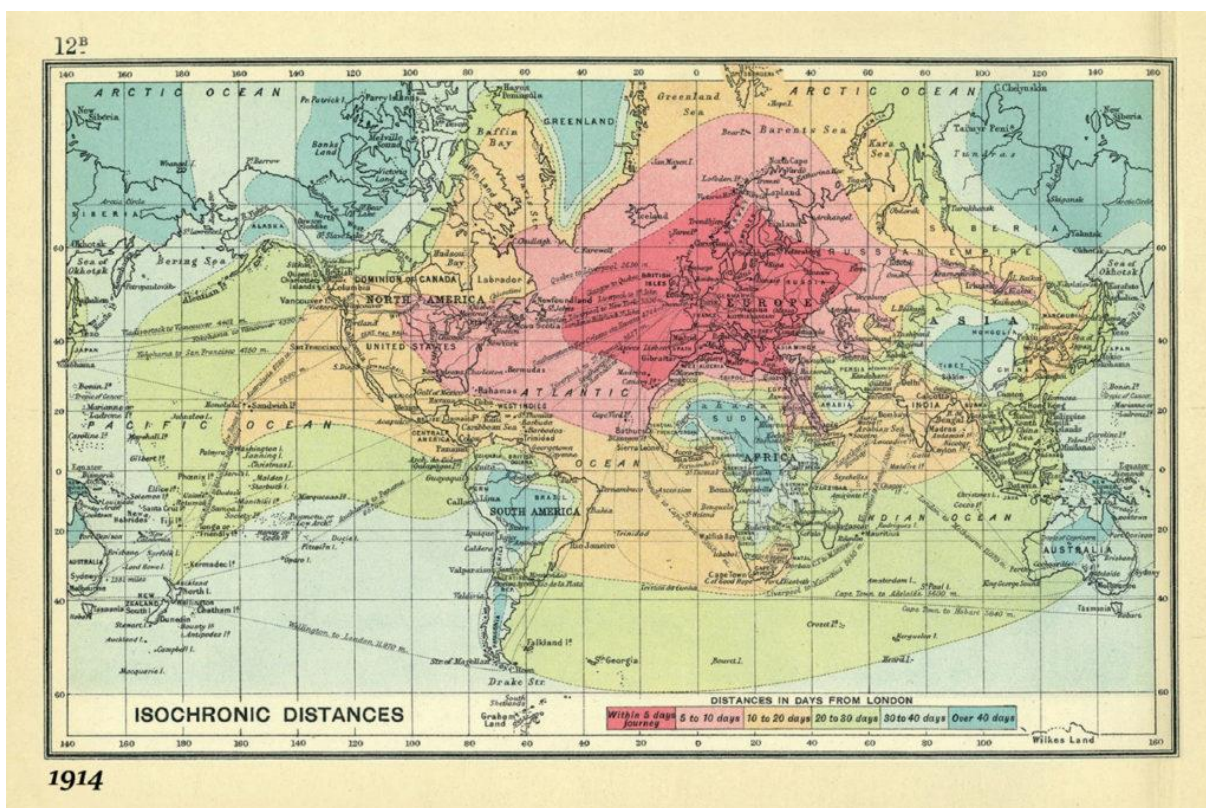
větších formací, které byly odolnější atakům. Rozšiřování a údržba cest byla hrazena z mýt a cel, které byly obchodníci nuceni platit za průjezdy městy. I nadále dochází ke zvyšování využívání lodní dopravy, jak na řekách, tak i na mořích. Z tohoto důvodu dochází také k úpravám vodních toků. [13]

Vynález parního stroje je symbolem průmyslové revoluce, který přináší v 18. století velké změny nejen v dopravě. Tento vynález skotského vynálezce Jamese Watta se postupně začíná více objevovat jak v oblasti průmyslové výroby, tak i v těžebních dolech a v dopravě. Průmyslová revoluce, charakteristická také dělbou práce, si žádala velké požadavky na dopravu, proto i z toho důvodu dochází k dalším vynálezům a zdokonalování v tomto oboru. Začátek 19. století je spjat s vynálezem první funkční parní lokomotivy, kterou sestrojil Brit Richard Trevithick v roce 1804. Znaměřším vynálezcem v oblasti parních lokomotiv je George Stephenson, který se společně se svým synem podílel na spuštění první železniční tratě pro veřejnou dopravu mezi Liverpoolem a Manchesterem. Právě tato trať bývá označována jako počátek „éry železnic“ a začátek budování železniční sítě v Evropě a Americe. [8,14]

Parní stroj nesloužil pouze jako pohon pro parní lokomotivy, ale také byl využíván v dopravě lodní. V tomto směru byla výjimečná parní loď Clermont, která byla sestrojena americkým vynálezcem Robertem Fultonem již v roce 1807. Nejednalo se sice o první parník, Richard Fulton však dokázal výrazně zdokonalit technologii a výrazně zpopularizovat tento druh dopravního prostředku. Od roku 1838 byla dokonce zahájena pravidelná linka mezi Anglií a New Yorkem, realizována právě pomocí parníků. Díky vynálezu parního stroje a jeho využití v dopravě se doprava zboží a lidí zrychlila, zlevnila a zvýšil se i objem a bezpečnost. Tyto nové dopravní prostředky přispěly k ekonomickému růstu, který je s obdobím průmyslové revoluce spojován. [14]

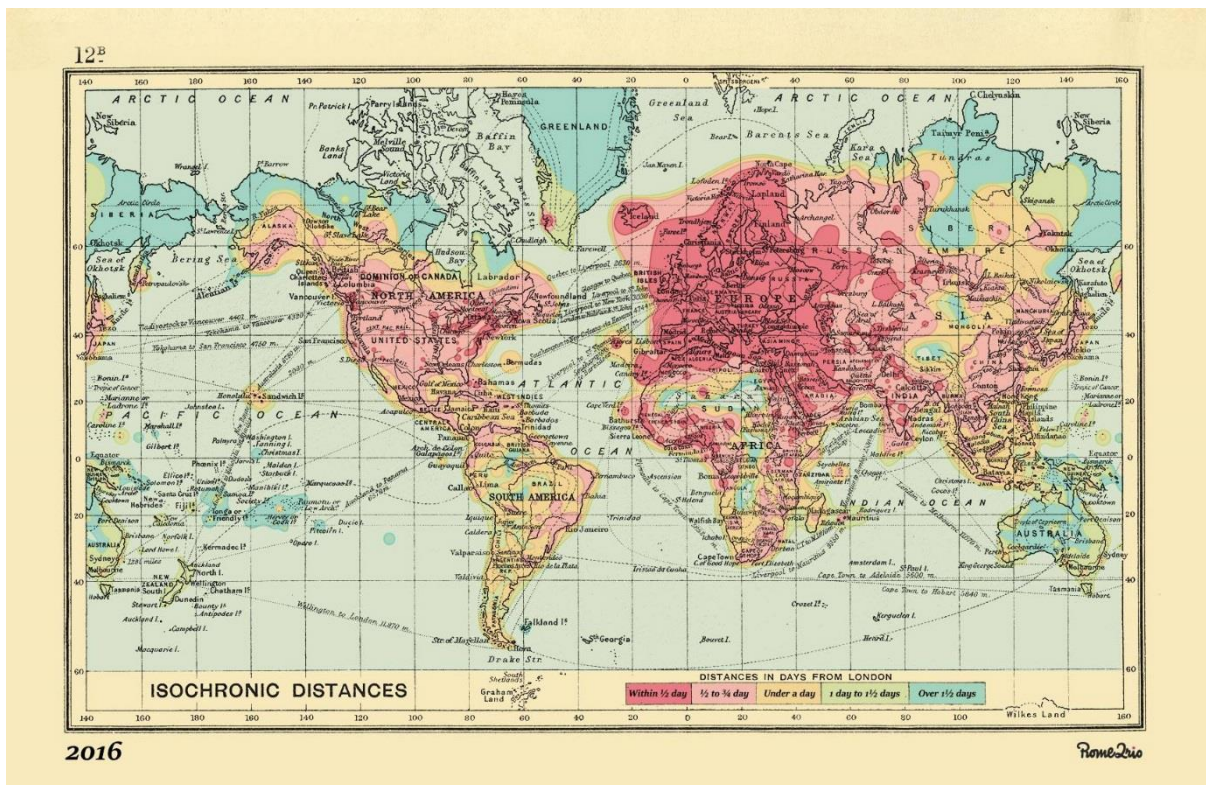
Devatenácté století přináší i další významné vynálezy. Příkladem může být první spalovací motor vynalezen Gottliebem Daimlerem ve spolupráci s Carlem Benzem v roce 1866. Dieselový motor byl vynalezen o několik desítek let později a stal se běžnou pohonnou jednotkou pro nákladní vozidla a později parníky. Počátek 20. století je pak spojen s masovou výrobou osobních aut, které se postupně stávají dostupné pro většinu obyvatel. Alespoň to tak platilo v USA, kde díky několika inovačním metodám, jako je pohyblivá výrobní linka, Henry Ford způsobil revoluci. Model Ford T, který je považován za první masově vyráběný automobil, byl v roce 1914 prodáván pouze za čtyřměsíční plat pracovníka montážní linky. Z hlediska námořní dopravy jsou důležité stavby a zprovoznění Suezského kanálu v roce 1869, propojující Středozevní a Rudé moře a také Panamského kanálu v roce 1914, který spojuje Atlantský a Tichý oceán. Tyto kanály jsou dodnes klíčové pro námořní dopravu a výrazně zkracují cestovní dobu mezi jednotlivými přístavy. [8,14,15]

Dvacáté a jednadvacáté století přináší mnoho dalších vynálezů v oblasti dopravy. Je možné zmínit například leteckou dopravu, zahájenou v roce 1903 bratry Wrighty. V roce 2018 již Mezinárodní organizace civilního letectví (ICAO) zaznamenala 4,3 miliardy cestujících využívajících leteckou dopravu. [16] Dále je možné připomenout i kosmické lodě, které dopravují osoby a materiál mimo planetu Zemi, či technický a technologický vývoj v již zmíněných oblastech dopravy – automobilové, železniční a lodní. Rychlost inovací nejen v oblasti dopravy se stále zrychluje, a právě proto je možné zaznamenat v 20. a 21. století největší změny v dopravě. Tato rychlost je jasně patrná z obrázků 1 a 2, které prezentují pomocí isochron časovou vzdálenost od Londýna do jednotlivých oblastí na naší planetě. Obrázky 1 a 2 porovnávají časovou vzdálenost pro roky 1914 a 2016. Z obrázků vyplývá, že časová vzdálenost mezi Londýnem a Sydney se od roku 1914 zkrátila ze 40 dní na 1 den. [17]



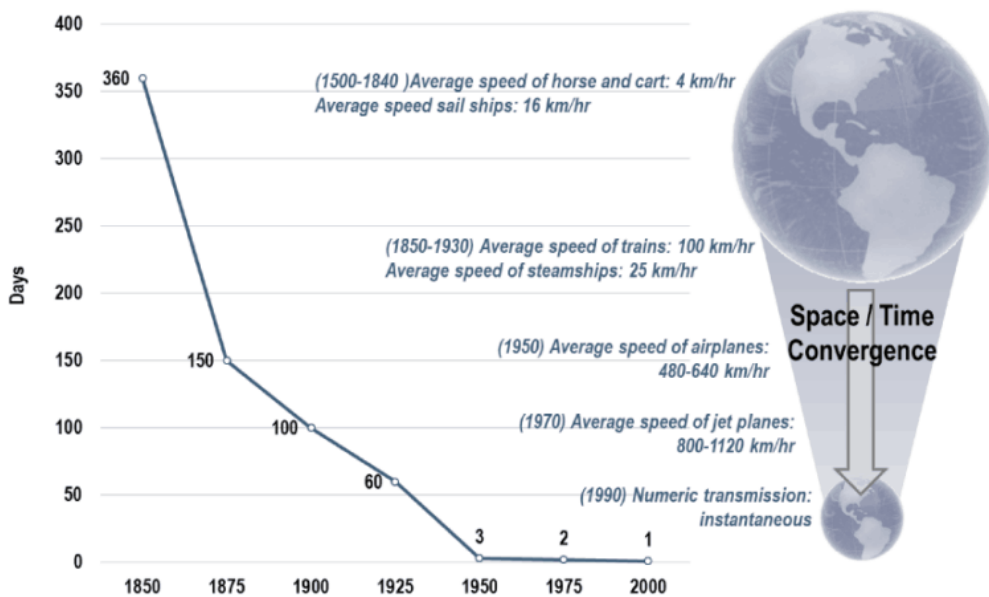
Obrázek 1 – Časová vzdálenost v roce 1914 [17]





Obrázek 2 – Časová vzdálenost v roce 2016 [17]

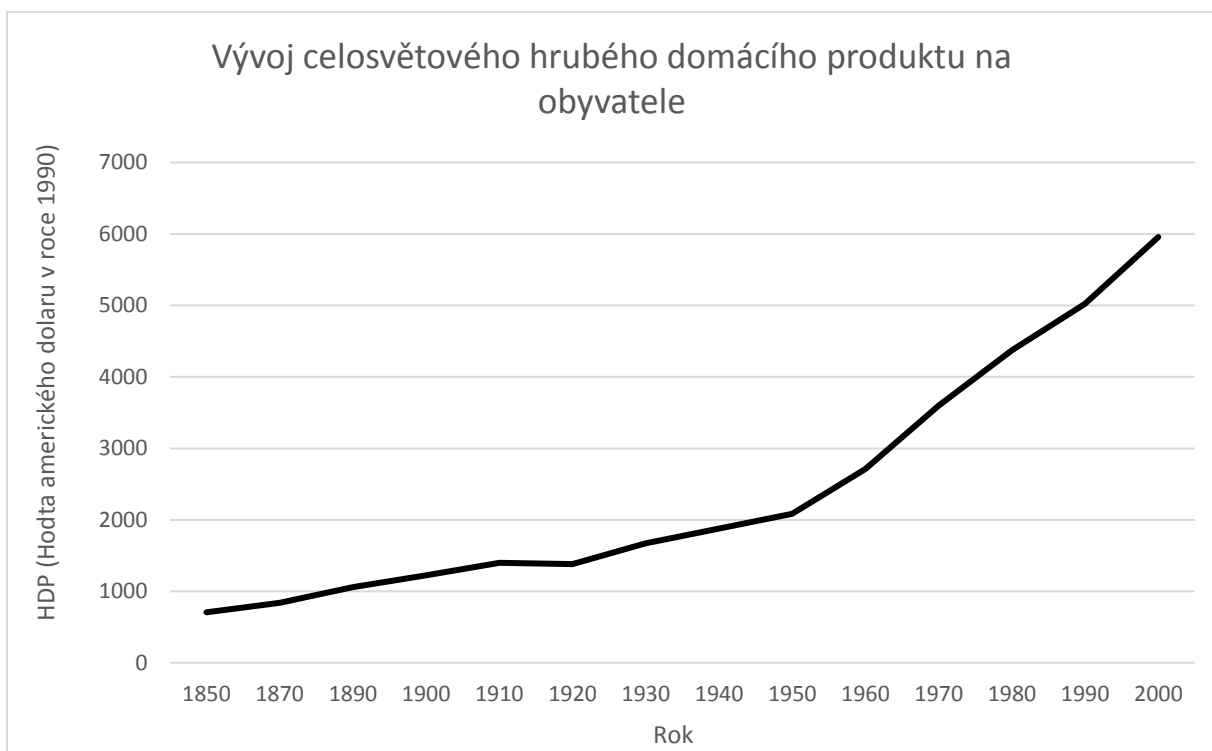
Další důkaz, který charakterizuje reálný vztah mezi vývojem lidské společnosti a dopravou, poskytují obrázky 3 a 4. Obrázek 3 nabízí grafické zobrazení minimálního počtu dnů, které jsou potřeba k cestě kolem světa. Oproti roku 1850, kdy cesta kolem světa trvala minimálně 360 dnů, se tato doba snížila na 1 den v roce 2000. [18]



Obrázek 3 – Dny potřebné k cestě kolem světa [18]

Hrubý domácí produkt je možné definovat jako: „*Tok zboží a služeb, vyrobených v určité ekonomice za určité období. Obvykle máme na mysli roční domácí produkt*“. Obecně bývá domácí produkt označován za základní národohospodářský agregát a ukazatel, který posuzuje výkonost ekonomiky a dokáže napovědět o průměrné životní úrovni. [19]

Vývoj celosvětové hodnoty hrubého domácího produktu na obyvatele z obrázku 4 lze proto využít pro pozorování a nastínění životní úrovně a výkonnosti ekonomiky v daném roce. Ve stejném období, ve kterém dochází ke snižování počtu dnů nutných k cestě kolem světa, dochází také k růstu HDP. Růst hrubého domácího produktu je zapříčiněn mnoha faktory, které nelze všechny vyjmenovat. Doprava však hraje důležitou roli a bez její pomoci by takový růst HDP nebyl možný. [20]



Obrázek 4 - Vývoj HDP na obyvatele [20]

Cílem této kapitoly je upozornit na provázanost vývoje dopravy a ekonomického růstu a obecného blahobytu lidské společnosti. Inovace a zdokonalování dopravy přispívaly a i dnes přispívají k rozvoji lidské společnosti. Konkrétně inovace v dopravě přinášejí výhody v podobě zefektivnění procesu přepravy, ulehčení lidské práce, zrychlení přepravy a další podobné přínosy. [21]

### 1.3 Význam dopravy pro ekonomiku

Doprava je jedním z faktorů, které jsou podmínkou pro funkční národní hospodářství a společnost. Mimo jiné zabezpečuje [22]:

- Pohyb zboží od výrobce ke spotřebiteli
- Přepravu občana do zaměstnání a škol
- Umožňuje uspokojení ostatních potřeb a zájmů občana

Dopravu je nutné chápat jako komplexní provázaný dopravní systém jednotlivých druhů dopravy, které se liší podle charakteru dopravní cesty a dopravních prostředků. Dobře fungující dopravní systém s jeho sítěmi lze přirovnat ke krevnímu oběhu národního hospodářství. Bez dopravy není možné realizovat většinu výkonů a nefunkční dopravní systém je velkou překážkou pro rozvoj ekonomiky státu. [23]

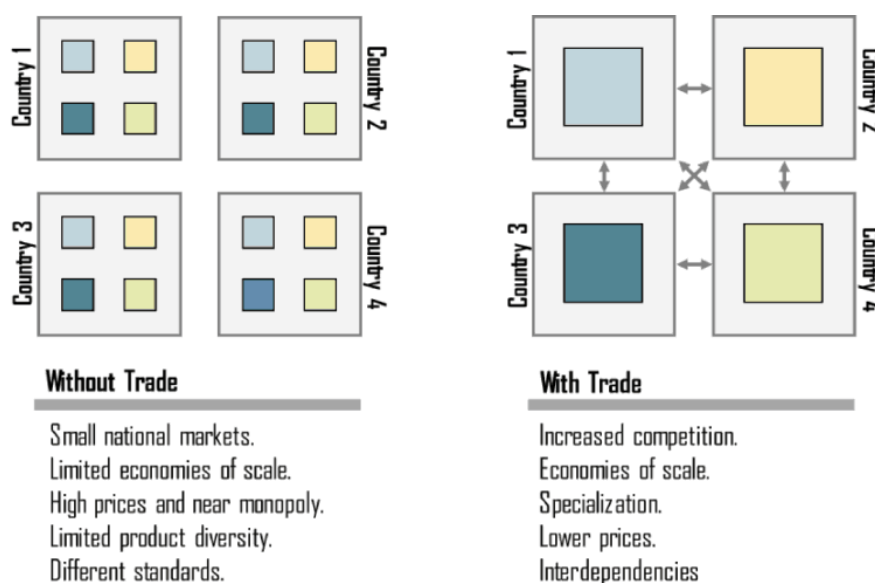
Zájem a potřeba změny místa, přemísťování výrobků a osob je jednou ze základních lidských potřeb, přičemž důležitost této potřeby vzrůstá s vývojem lidské společnosti a rozvojem celosvětového hospodářství. Uvedené potřeby vyplývají z několika příčin, ovšem tou nejdůležitější a nejčastěji zmiňovanou v odborné literatuře je společenská dělba práce. Průmyslová revoluce započatá v 18. století způsobuje specializaci a tím i potřebu návaznosti výroby, jednotlivých průmyslových podniků a odvětví. Produkce finálního výrobku proto vyžaduje spolupráci jednotlivých podniků, včetně přemístění součástí nutných k výrobě finálního produktu. [21]

Intenzitu dopravy také výrazně podporuje proces globalizace. Pojem globalizace byl poprvé použit americkým ekonomem Theodorem Levitem v roce 1985. Jednou z možných definic globalizace je ta od Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj: „*Globalizace je procesem zvyšujícím závislost trhů a národních ekonomik, vyvolaným vysokou dynamikou obchodu se zbožím, kapitálem, službami a transferem technologií a know-how.*“ Historici a odborníci většinou rozlišují 3 globalizační vlny. První globalizační vlna se odehrává od roku 1870 až do roku 1914. Tato vlna byla výrazně podpořena zdokonalením v dopravě a infrastruktuře, především rozmach železnice výrazně podporuje globalizační efekt. Dále je toto období charakteristické migrací pracovní síly, především z Evropy do USA. Druhá vlna globalizace přichází v letech 1945 až 1980, reaguje na dopady druhé světové války a snaží se o mezinárodní přístup ke globálním problémům. Současná vlna globalizace je charakteristická rozvojem komunikačních a informačních technologií. Mezi hlavní klady globalizace patří růst objemu mezinárodního obchodu a zboží, růst rozvojových zemí, rychlý přenos technologií nebo zesilování střední třídy. [24]

Vztah mezi kvalitou dopravní infrastruktury a úrovní hospodářského rozvoje je zjevný. Dopravní infrastruktura, která nabízí propojenou síť s vysokou kapacitou, je obvykle spojena s vysokou úrovní rozvoje. Pokud je dopravní systém efektivní, poskytuje hospodářské a společenské příležitosti a přínosy, jako je například lepší dostupnost trhů, zaměstnanost a další investice. Naopak, pokud dopravní systém neposkytuje dostatečnou kapacitu nebo

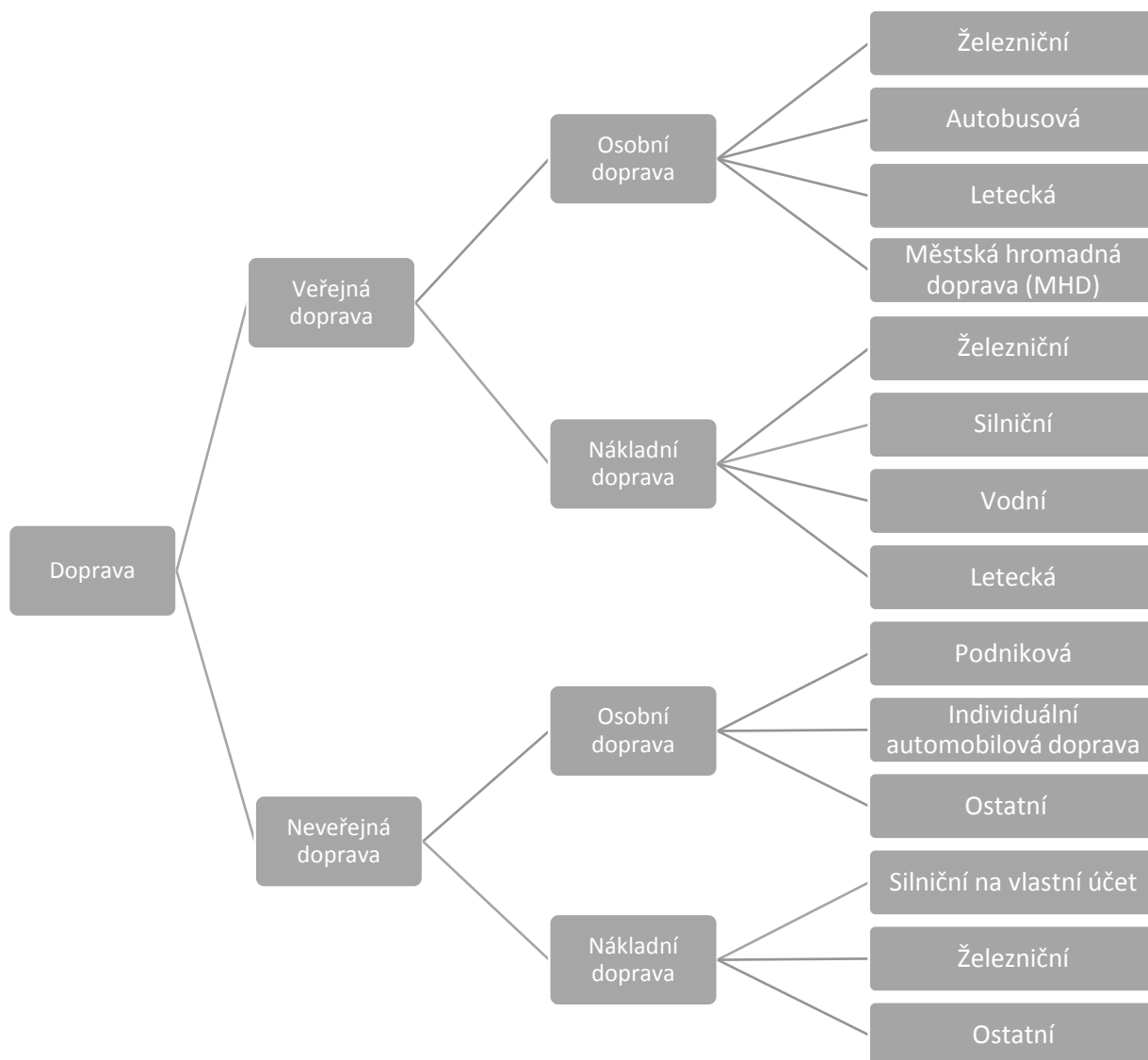
spolehlivost, mohou z toho plynout dodatečné náklady, snížené nebo ztracené příležitosti a nižší kvalita života. Všeobecně, efektivní doprava zmenšuje náklady v mnohých ekonomických oblastech, zatímco neefektivní doprava tyto náklady zvyšuje. [25]

Potencionální hospodářské přínosy mezinárodního a meziregionálního obchodu jsou početné a dobře známé od sepsání díla „Pojednání o podstatě a původu bohatství národů“ od Adama Smithe. Tato kniha vydaná v roce 1776 popisuje, že bez obchodu každá země musí sama produkovat základní zboží a služby, které uspokojí požadavky národního hospodářství. Tento příklad je graficky znázorněn na obrázku 5 – Without trade. Každá ze čtyř zemí zde vyrábí čtyři produkty. To vede k vytvoření malých nespolupracujících trhů, jejichž potenciál je výrazně limitován. Rozmanitost produktů je také omezena vzhledem k malé velikosti trhu a zároveň i cena produktů je vysoká. Nesdílení různých technologií mezi trhy může také vést k odlišnostem v úrovni vývoje a náklady na výrobu produktů. Naopak s obchodem vzrůstá konkurence, která má obvykle za následek obecně výrazný posun v daném odvětví. Liberalizace obchodu přináší specializaci výroby a obchodování přebytku mezi jednotlivými spolupracujícími trhy. Vyšší úspory vzniklé specializací a rozsahem výroby, vedou k nižším cenám produktů a vyšším ziskům. Vzniká zde zároveň i větší vzájemná závislost, která v některých ohledech nemusí být brána pozitivně. Z toho důvodu se z absolutní specializací výroby setkáváme v reálném světě zřídka, některá odvětví i přesto jsou charakteristické geografickým shlukováním v určitých oblastech (např. výroba hraček, oblečení). Tento přístup vyžaduje pravidelnou dopravu mezi spolupracujícími trhy, která je pro spolupráci trhů naprosto nezbytná a její kvalita ovlivňuje úroveň obchodování mezi těmito trhy. Spolupráce, specializování ve výrobě a obchodování je graficky znázorněno na obrázku 5 – With trade. [21, 26]



Obrázek 5 – Nespolupracující a spolupracující trhy [26]

Dopravu lze rozdělit dle několika kritérií, například podle toho, komu doprava slouží. V rámci tohoto dělení je možné se setkat s dopravou veřejnou a neveřejnou. Veřejná doprava je přístupná za předem vyhlášených přepravních a tarifních podmínek (jízdní řád, podmínky přepravy, a tak podobně). Veřejná doprava je přístupná každému, kdo splní vyhlášené podmínky. Neveřejná doprava je chápána jako substitut dopravy veřejné, mezi kterou je řazena například individuální automobilová doprava. Dopravní systém v České republice je tvořen strukturou uvedenou na obrázku 6. [23]



Obrázek 6 - Dopravní systém České republiky [23]

#### 1.4 Současné problémy silniční dopravy

V současné době se ve společnosti utvořily názory, že silniční doprava se potýká s několika problémy, které výraznou měrou ovlivňují fungování a efektivnost dopravních systémů. Mezi ty globálně nejvýznamnější patří:

- Nedostatek řidičů na trhu práce

- Vysoká cena paliva
- Malá kapacita dopravních cest
- Dopady dopravy na životní prostředí
- Nehodovost

Tato kapitola má za cíl posoudit tyto problémy z odborného hlediska a zabývat se jejich reálným dopadem na silniční dopravu.

#### 1.4.1 Nedostatek řidičů na trhu práce

Dle sdružení ČESMAD chybělo v roce 2018 až 15 000 profesionálních řidičů. Tento problém se netýká pouze České republiky, ale celé Evropy, obecně je situace pro dopravní firmy nepříznivá. Důvody, které jsou nejčastěji zmiňovány s tímto problémem, jsou následující [27]:

- Nedostatek nových uchazečů
- Vysoké zastoupení řidičů v předdůchodovém věku
- Rostoucí ekonomika a objemy poptávaných přeprav
- Nedostatečný počet lidí s potřebnou řidičskou licenci

Jedním z důvodů nedostatku nových uchazečů je i průměrná hrubá měsíční mzda v tomto oboru. Dle dat Informačního systému o průměrném výděлку (ISPV) je průměrná měsíční mzda řidiče nákladního automobilu dlouhodobě pod hranicí průměrné hrubé měsíční mzdy v České republice. I přesto, že v této statistice nejsou započítány cestovní náhrady, které mohou tvořit další položku příjmů řidičů silniční nákladní dopravy, je obecně tato pozice vnímaná jako nepříliš finančně zajímavá. Statistiky od roku 2011 do 1. pololetí roku 2018 jsou k uvedeny v tabulce 1. [28]

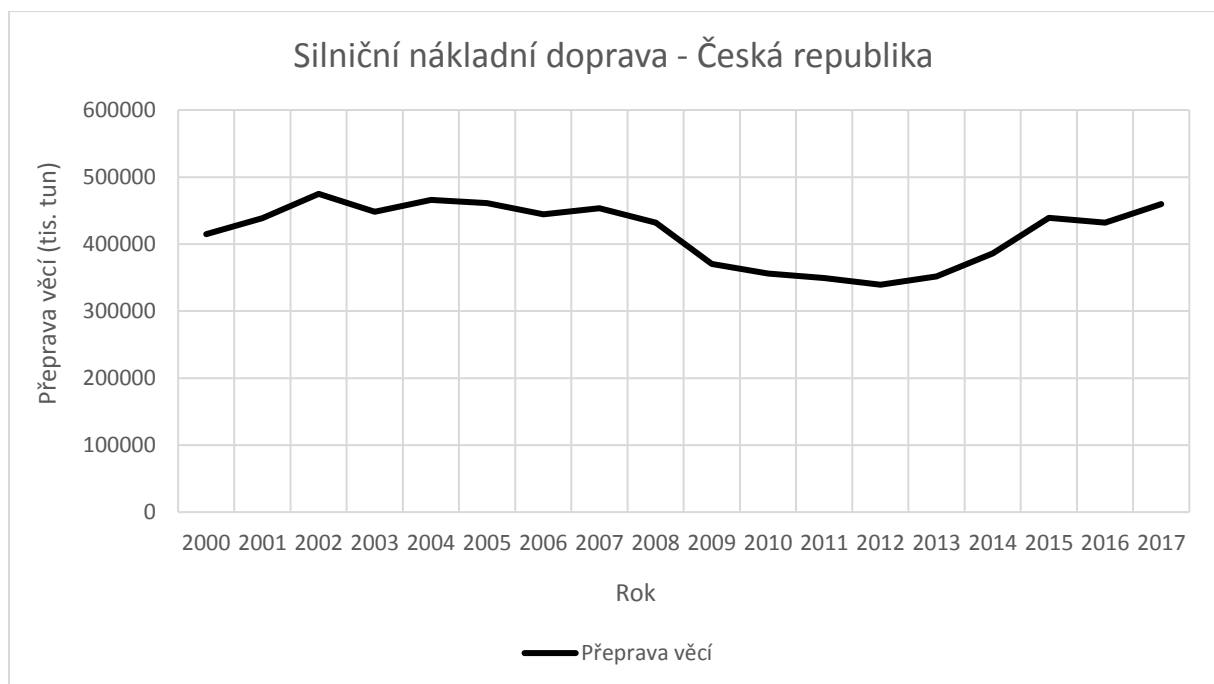
Tabulka 1 – Průměrná hrubá měsíční mzda [28]

Řidiči nákladních automobilů, tahačů a speciálních vozidel (CZ-ISCO kód 8332)			Česká republika
Rok	Počet zaměstnanců	Průměr hrubé měsíční mzdy	Průměr hrubé měsíční mzdy ČR
2011	93 563	19 007 Kč	25 693 Kč
2012	93 698	18 423 Kč	26 086 Kč
2013	101 628	18 437 Kč	26 252 Kč
2014	92 880	18 808 Kč	26 804 Kč
2015	104 189	19 739 Kč	27 825 Kč
2016	100 733	21 206 Kč	28 964 Kč
2017	103 637	22 568 Kč	30 930 Kč
2018 (1. pololetí)	98 282	24 247 Kč	32 629 Kč



Dalším důvodem, který způsobuje nedostatek řidičů pro dopravní firmy, je vysoký průměrný věk řidičů. Podle průzkumu České televize z roku 2018 se průměrný věk řidiče silniční nákladní dopravy i autobusové dopravy pohybuje okolo 50 let. Optimálním věkem pro odchod do důchodu u profesionálního řidiče je potom 55 let, maximálně 60 let. Tento fakt způsobuje, že v poslední době odchází velký počet řidičů do důchodu. Tito řidiči nejsou nahrazeni mladšími a vzniká tak nedostatek řidičů jak u soukromých dopravních společností, tak městských hromadných podniků. [29]

K předešlým dvěma důvodům musíme dále přidat také vliv rostoucí ekonomiky a s tím spojené rostoucí objemy poptávaných přeprav. Od roku 2012 do roku 2017 se zvýšila celková hmotnost přepraveného zboží silniční nákladní dopravou v České republice z 339 314 tis. tun na 459 433 tis. tun, to je nárůst o více jak 35%. Podrobnější data k této problematice jsou k dispozici na obrázku 7. [30]



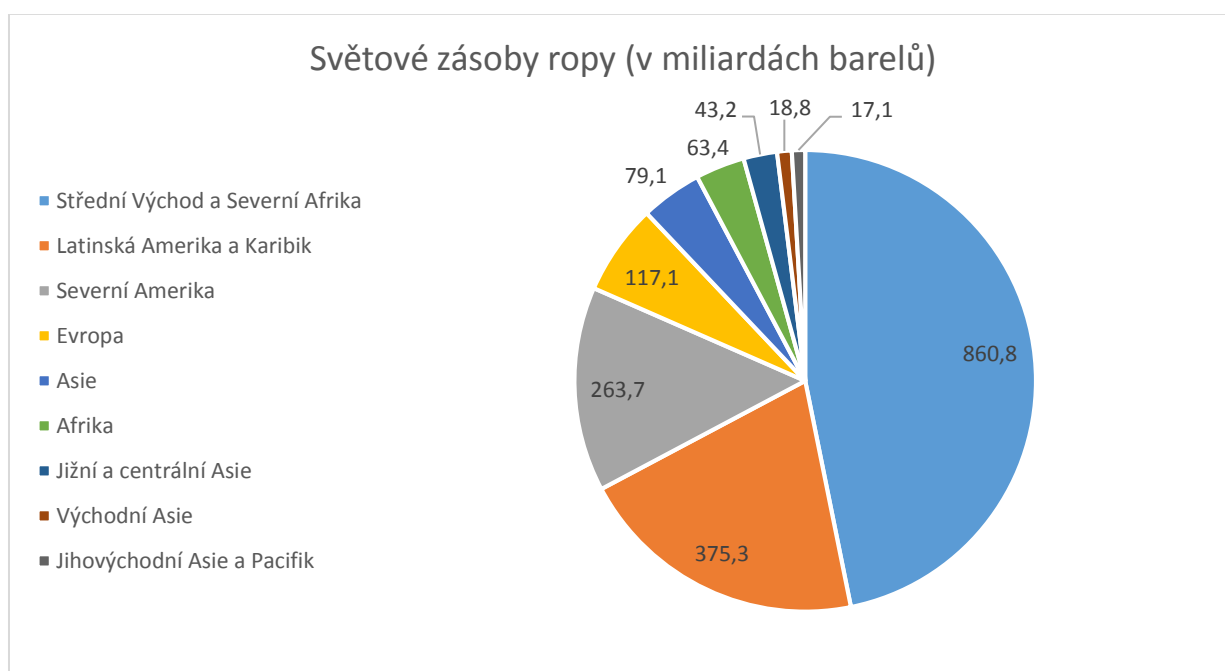
Obrázek 7 – Silniční nákladní doprava [30]

Velkým problémem pro dopravní společnosti bylo zrušení vojenské služby v roce 2004. Díky vojenské službě získalo mnoho současných řidičů řidičské oprávnění, které později doplnili o profesní průkaz. Dnes pořízení řidičského průkazu stojí přibližně 50 000 Kč. Další problémem, se kterým se české dopravní společnosti potýkají, je zahraniční konkurence, především ta německá a rakouská. Mnoho zaměstnanců volí raději zaměstnání v zahraničí, kde jsou lépe platově ohodnoceni. Proto dochází k situacím, kdy i přes stále posilující ekonomiku musejí některé dopravní společnosti redukovat vozový park a odmítat některé zakázky. [31]

### 1.4.2 Cena a vyčerpatelnost ropy

Ropa je jednou z nejdůležitějších energetických surovin. Jedná se o olejovitou kapalinu, která je základní surovinou v dopravě, petrochemickém průmyslu, energetice, ale také například při výrobě plastů. Nafta, benzín i letecký benzín, nejčastěji využívaná paliva v dopravě, patří mezi ropné produkty. Těžba ropy se odehrává v hloubkách od několika metrů do několika kilometrů, probíhá jak na pevnině, tak na mořích a oceánech. Ropa se obvykle obchoduje v amerických dolarech. Tradičně se využívá pro vyjádření objemu jednotka barel. Jeden barel odpovídá přibližně 159 litrům. Denně lidé na planetě Zemi spotřebují přibližně 100 miliónů barelů ropy (15,9 miliard litrů ropy), z toho více jak 60% spotřebuje sektor dopravy. [32, 33]

Z dat z roku 2013 prezentovaných na obrázku 8 vyplývá, že více než třetina světových zásob ropy se nachází na Středním Východě a v Severní Africe. Odhady z roku 2013 přisuzovaly této oblasti více jak 860 miliard barelů ropy. Velké zásoby ropy jsou v oblasti Latinské Ameriky, Karibiku a v Severní Americe. Dle odhadů společnosti BP z roku 2017 světové zásoby vystačí do roku 2067 (při udržení spotřeby na úrovni z roku 2017). [34]



Obrázek 8 – Světové zásoby ropy [34]

Ropa bývá považována za globálně nejdůležitější komoditu, především pro její současnou nenahraditelnost. Její cena na světových trzích má výrazný vliv na ekonomiku a různé změny v ceně mají mnohdy dopady na celou společnost. Z krátkodobého hlediska je ovlivněna cena ropy především jejími dodávkami na světový trh (neboli nabídka). Ty jsou často nepružné a nedokáží rychle reagovat na změnu poptávky. Panuje proto na světě snaha o zamezení možným výpadkům nabídky, které mohou být způsobeny například [35]:



- Geopolitickým napětím
- Nepokoji
- Válkami
- Přírodními katastrofami (hurikány, povodně atd.)

Jelikož je ropa hlavní surovinou pro výrobu benzínu a nafty, hraje důležitou roli v dopravě. Palivo a mzdy řidičů tvoří ve většině případů převážnou část nákladů spojených s provozem dopravní společnosti. Jakékoliv pozitivní nebo negativní změny u těchto položek proto výrazně mění celkové náklady na provoz dopravní společnosti. Například v roce 2010 tvořily mzdové náklady 36% a náklady na palivo 18% z celkových nákladů vynaloženými dopravními společnostmi specializující se na nákladní přepravu v Japonsku. [36] Některé další zdroje nezávisle na sobě uvádí, že náklady na palivo u silniční nákladní dopravy tvoří jednu třetinu (tedy 33%) celkových provozních nákladů. [102]

Historie dává jasné důkazy, že cena ropy na světovém trhu není stabilní a v průběhu 20. a 21. století bylo zaznamenáno několik situací, kdy se cena ropy měnila skokově. Prvním takovým příkladem je tzv. první ropný šok, který se odehrál v roce 1973. Nárůst ceny ropy byl způsoben nestabilní situací a nepřátelskými vztahy mezi některými arabskými státy a Izraelem. Koalice Egypta, Sýrie a dalších arabských států 6. října roku 1973, v den největšího židovského svátku Jom kipur, zahájila útok na Izrael. Spojené státy americké se rozhodly podpořit Izrael vojenským materiálem, což arabské státy pobouřilo. Arabské země tak využily svého vlivu v Organizaci zemí vyvážející ropu (OPEC) a dohodly zvýšení ceny ropy téměř na dvojnásobek, ze tři dolarů za barel na více než 5 dolarů za barel. Zároveň omezily těžbu a zavedly embargo na vývoz této životně důležité suroviny do zemí, které Izrael podporují. Mezi tyto státy se řadily Spojené státy americké, Kanada, Nizozemí, Velká Británie a Japonsko. Následky byly v té době hroznivé. V USA docházelo k velkému nedostatku ropy, v některých dalších státech docházelo k zákazu jízdy autem v některé dny v týdnu. Dva měsíce po zahájení krize byla cena ropy již 12 dolarů za barel, což přinášelo velké hospodářské problémy. Po ukončení krize a odvolání embarga 18. března 1974 cena ropy nezačala klesat a zůstala na úrovni kolem 12 dolarů za barel. [37,38,39]

V roce 1979 přichází druhý ropný šok, který je způsoben revolucí v Íránu, kde ajatolláh Chomejní zavádí vládu muslimských duchovních. Na základě těchto skutečností je uvaleno embargo na Írán, což vedlo ke snížení nabídky ropy. K nepříznivé situaci přispěl i irácký prezident Saddám Husajn, který rozpoutal válku s Íránem trvající do srpna roku 1988. Cena za barel ropy v průběhu druhé ropné krize dosáhla hodnoty až 35 dolarů za barel. [37,38,39]

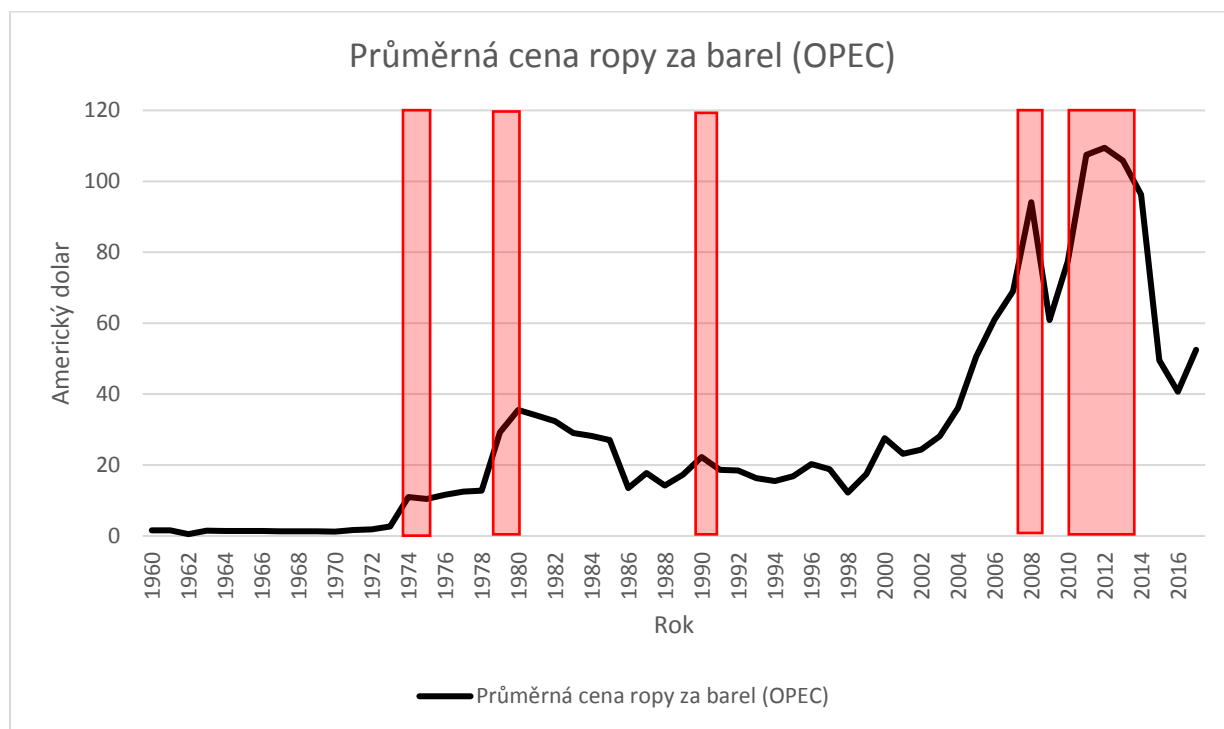
Vyhrocená situace na středním Východě pokračovala dalšími událostmi, tentokrát Válkou v Zálivu. Irák, zahlcený dluhy a nepříznivou ekonomickou situací, napadl 2. srpna 1990 pod

vedením Saddáma Husajna sousední Kuvajt. Na stranu Kuvajtu se postavila koalice OSN tvořená 28 státy a společnými silami osvobodily Kuvajt během 7 měsíců. Tato válka téměř zdvojnásobila cenu ropy, po ukončení ozbrojeného konfliktu se cena vrátila na původní hodnotu. [39]

V roce 2007 se dostávají první příznaky přicházející ekonomické krize. Cena ropy se v tomto období zvyšovala, především kvůli spekulativnímu obchodům s komoditami, snížení produkce, slabé hodnotě amerického dolaru a vysoké poptávce Číny před blížícími se Olympijskými hrami v Pekingu. Krach americké banky Lehman Brothers a začátek ekonomické krize, datovaný na 15. září 2008, způsobuje pokles ceny ropy. [39]

Výrazný nárůst ceny ropy v roce 2010 byl zapříčiněn tzv. Arabským jarem. V tomto a následujících letech dochází k destabilizaci v některých arabských zemích, jako je například Tunisko, Alžírsko, Egypt a další. Tato nestabilita má za následek zvyšování cen ropy, především z důvodu uzavírání polí, ropovodů a přístavů v dané oblasti. Vzhledem k tomu, že situace vyústila v mnohých zemích v nepřehledný stav, kde mnoho organizací bojovalo mezi sebou, byl účinek na cenu ropy dlouhodobý a návrat ceny pod hodnotu 100 dolarů za barel byl zaznamenán až v roce 2014. [39]

Průběh průměrné roční ceny ropy za barel, včetně zvýrazněných výše zmíněných krizí, je znázorněn na obrázku 9. [40]



Obrázek 9 – Průměrná cena ropy za barel [40]

### 1.4.3 Kapacita pozemní komunikace

„Kapacita pozemní komunikace je maximální počet vozidel, která mohou úsekem komunikace za daných podmínek projet v jednom směru nebo v obou směrech dohromady.“ [41]

Jedním z možných postupů, kterým lze vypočítat kapacitu pozemní komunikace, je prostřednictvím teorie dopravního proudu (Traffic Flow Theory). V této teorii vycházíme z následující rovnice [42]:

$$q = v \cdot k \quad (1)$$

kde:

- **q** je intenzita dopravního proudu - [voz/h]
- **v** je rychlost dopravního proudu - [km/h]
- **k** je hustota dopravního proudu - [voz/km]

Dopravní proud (v anglické literatuře označován jako „traffic flow“) můžeme charakterizovat jako počet vozidel (průměrný), který projede určeným bodem za časovou jednotku. Jednotkou této veličiny je pak ve většině případů počet vozidel za hodinu. [42]

Rychlost dopravního proudu, uváděná v kilometrech za hodinu, je vzdálenost, kterou vozidla dopravního proudu průměrně ujedou za časovou jednotku. V teorii dopravního proudu je vyjádřena průměrnou rychlostí aritmetickou a harmonickou. [43]

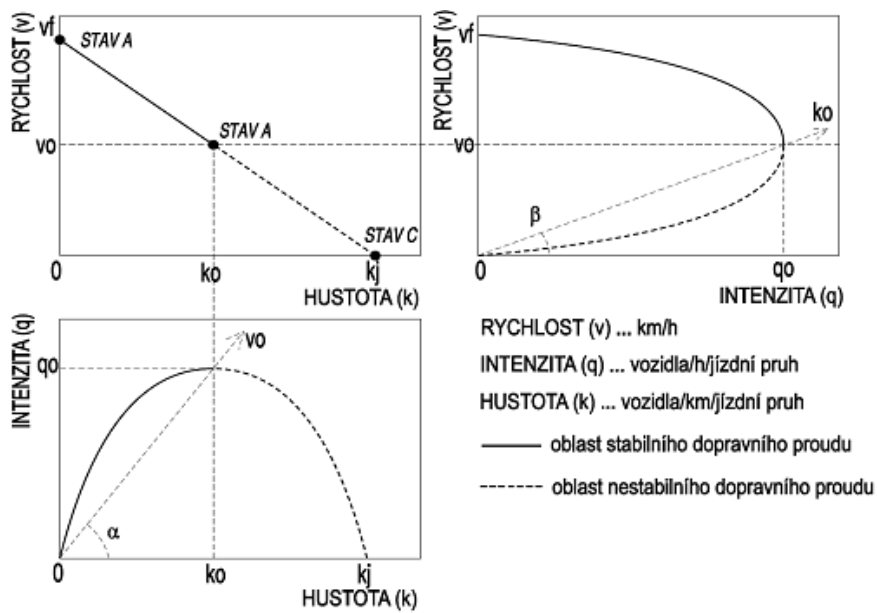
Hustota dopravního proudu je definována jako počet vozidel, který se v daný okamžik nalézají v daném směru (v jednom pruhu nebo celkově) na zvolené délce komunikace. Obvykle se hodnota hustoty dopravního proudu uvádí jako počet vozidel na jeden kilometr. [43,44]

Dále je z hlediska teorie dopravního proudu a této diplomové práce nezbytné uvést a rozlišit definice časového a délkového odstavu vozidel. Časový odstup vozidel je doba, která uplyne mezi průjezdy čel dvou následujících vozidel definovaným bodem pozemní komunikace. Délkový odstup vozidel je pak vzdálenost čel následujících vozidel v daný okamžik. [43,44]

Pro popis vztahu mezi těmito třemi veličinami se běžně využívají tzv. fundamentální grafy, které dokáží znázornit, jakým způsobem se mění charakteristiky dopravního proudu při změně některé ze základních tří veličin. Běžně jsou známy tři fundamentální grafy, a to [45]:

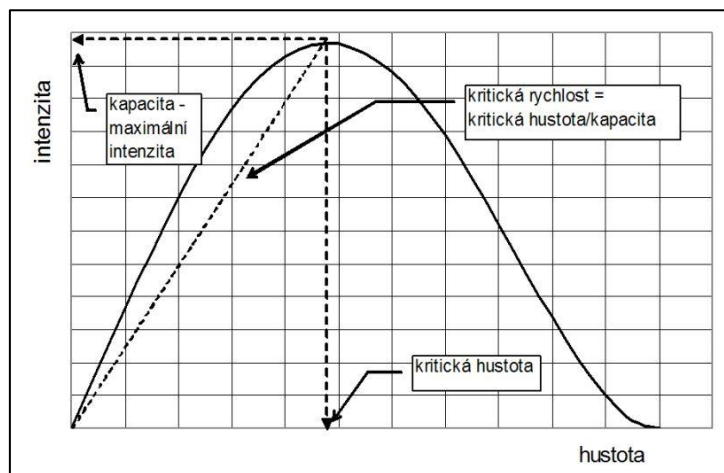
- Fundamentální graf intenzita-hustota
- Fundamentální graf rychlost-hustota
- Fundamentální graf rychlost-intenzita

Fundamentální grafy jsou k dispozici na obrázku 10.



Obrázek 10 - Fundamentální grafy [45]

Fundamentální graf intenzity a hustoty, včetně důležitých bodů, které obsahuje, je zobrazen na obrázku 11.



Obrázek 11 - Fundamentální graf [46]

Graf na obrázku 11 je hodnotou kritické hustoty rozdělen na dvě části. Při hustotě dopravního proudu nižší, než je kritická hustota, nastává situace nepřetíženého dopravního proudu, kdy se vozidla mohou pohybovat bez jakýchkoliv zdržení a zpoždění. Pokud však hodnota hustoty dopravního proudu překročí kritickou hustotu, dochází k nestabilnímu stavu dopravního proudu a kongescím a zároveň i snižování propustnosti komunikace a tedy i intenzity dopravního proudu. Ideálním stavem je situace, kdy je hustota dopravního proudu rovna kritické hustotě. V takovém případě je dosaženo nejvyšší hodnoty intenzity dopravního proudu, neboli je dosaženo hodnot kapacity pozemní komunikace. [44]

Hodnota kapacity pozemní komunikace není shodná pro všechny komunikace. Liší se především dle kategorie pozemní komunikace a dále je její hodnota ovlivněna nejrůznějšími faktory, jako jsou šířka pozemní komunikace, sklon nivelety, počet jízdních pruhů, délka rozhledu pro předjíždění a podíl pomalých vozidel v dopravním proudu. Roli mohou také hrát aktuální klimatické a povětrnostní podmínky. Pro přibližnou orientaci v tomto tématu jsou v tabulce 2 uvedeny teoretické kapacity pro různé kategorie pozemních komunikací. [47]

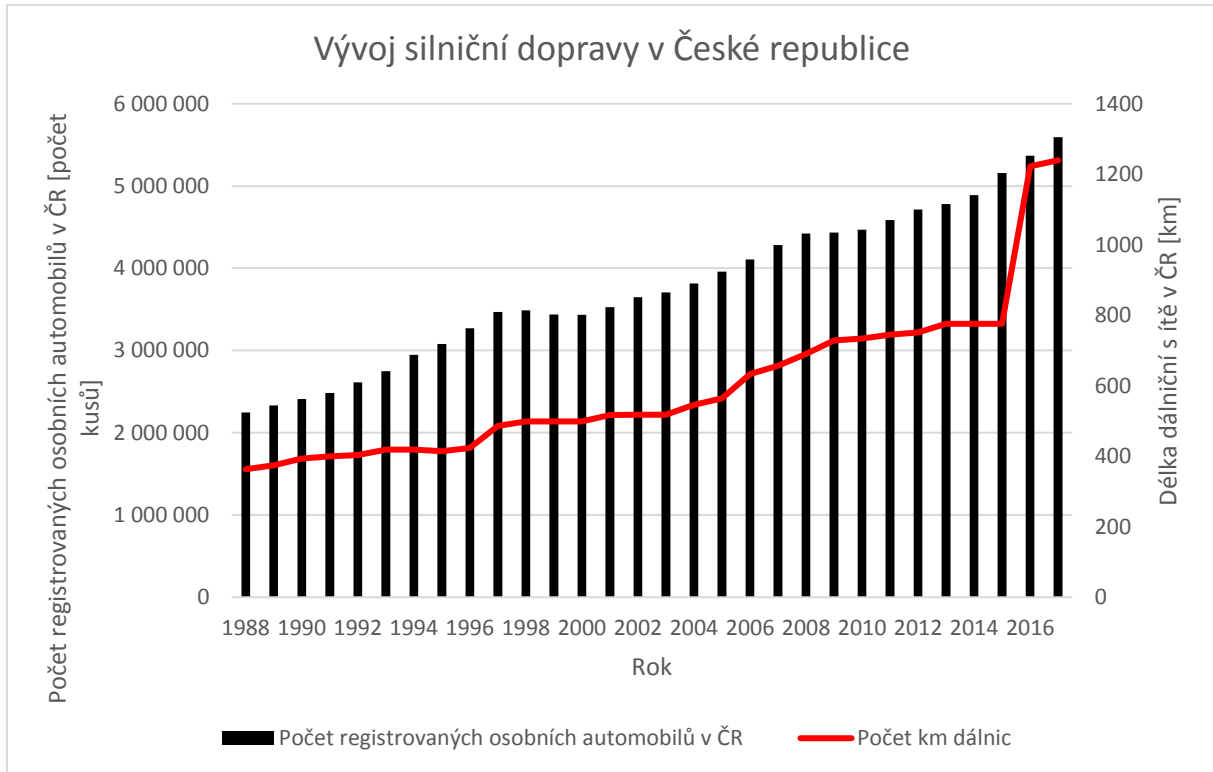
Tabulka 2 – Orientační hodnoty kapacit pozemních komunikací v extravilánu [47]

<b>Kategorie (třída) pozemní komunikace</b>	<b>Návrhová rychlost [km/h]</b>	<b>Požadovaná rychlost [km/h]</b>	<b>Kapacita [voz/h]</b>
Dálnice a silnice I- třídy - rychlostní komunikace	120	80	2900
	100	70	2900
	80	60	3000
Silnice směrově rozdělené	100	60	2750
	80	60	2550
	70	60	2300
Silnice dvoupruhové, směrově nerozdělené	80	50	1550
	70	50	1350
	60	50	1150
	80	45	1700
	60	45	1250
	80	40	1750
	60	40	1300

Kapacita pozemních komunikací je omezená. Každá komunikace má své limity a při jejich překročení dochází k nežádoucím kongescím. Jelikož se lidská společnost a ekonomika jednotlivých států neustále rozvíjí, objem dopravy narůstá významným tempem. Důkazem toho může být i viditelný nárůst počtu osobních automobilů uvedený na obrázku 12. Počet registrovaných osobních automobilů od roku 1988 do roku 2017 vzrostl téměř 2,5-krát. V současné době tak Ministerstvo dopravy České republiky zaznamenává více jak 5 592 738 registrovaných osobních automobilů na českých silnicích. [48]

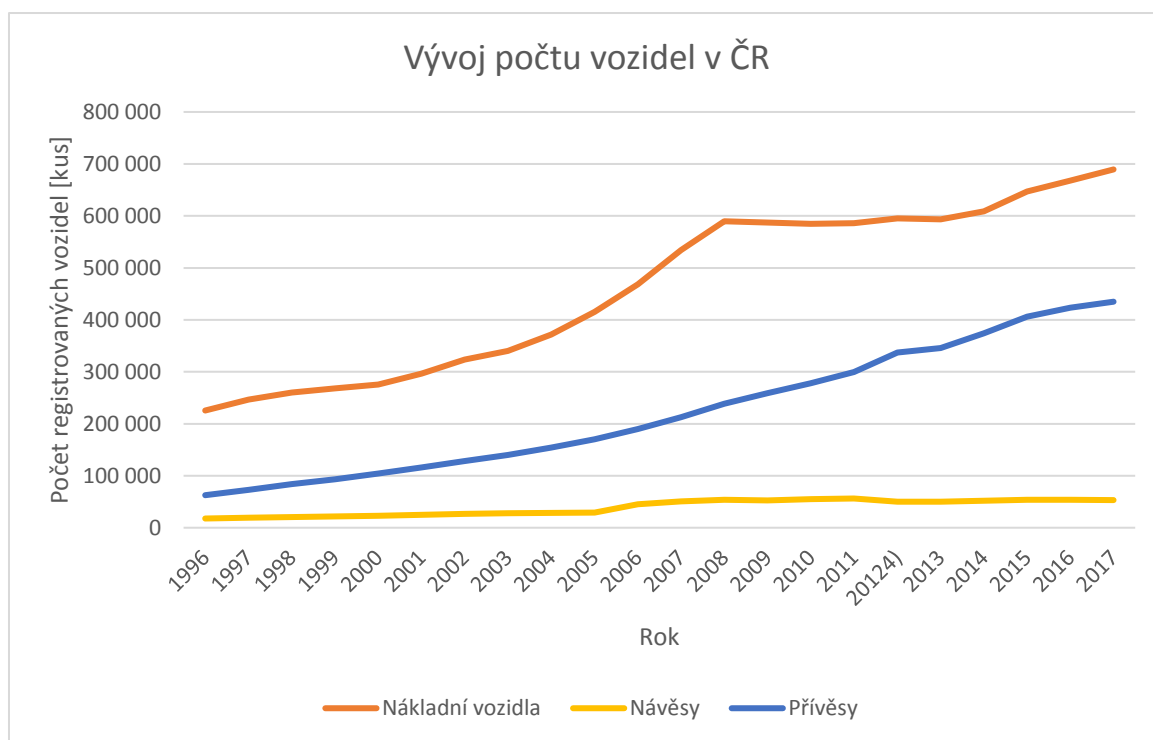
K nárůstu dochází také u délky dálniční sítě v České republice. Zde je nárůst za stejné sledované období ještě větší, řidiči mohou využít více jak trojnásobné množství kilometrů dálnic oproti roku 1988. Tuto hodnotu však výrazně ovlivňuje administrativní přeřazení rychlostních silnic do kategorie dálnic dle návrhu Ministerstva dopravy z roku 2013, které vešlo

v platnost k 1. lednu roku 2016. Délka dálniční sítě tak skokově narostla o 438 km. Pokud tato změna nebude brána v potaz, délka dálniční sítě by od roku 1988 narostla pouze o dvojnásobek, což vzhledem k nárůstu počtu osobních automobilů a zvýšené intenzitě dopravy není dostatečné. [48,49,50]



Obrázek 12 - Vývoj silniční dopravy v ČR [48,49,50]

Podobná situace jako u osobních automobilů nastává také u vývoje počtu nákladních vozidel. Počet nákladních automobilů a návěsů se od roku 1996 přibližně ztrojnásobil, počet registrovaných přívěsů se zvýšil za stejné sledované období téměř o sedminásobek. Bližší informace o vývoji počtu vozidel v silniční nákladní dopravě v České republice jsou k dispozici na obrázku 13. [51]



Obrázek 13 - Vývoj počtu nákladních vozidel v ČR [51]

Výše uvedené statistiky o vývoji počtu vozidel v České republice demonstrují fakt, který můžeme sledovat nejen v České republice, ale také v Evropě a ve většině států na celém světě. Počet osob i firem, které využívají silniční dopravní prostředky, roste. Infrastruktura, která je z velké části vybudovaná ještě před 21. stoletím, v mnohém nestačí na takový nárůst a v mnoha případech dochází k překročení kritické hustoty dopravního proudu. Toto překročení má za následek výrazné ovlivnění chování dopravního proudu a ve většině případů vyústí až ve vznik kongescí. Výzkum společnosti INRIX z roku 2017 informuje o deseti úsecích německé silniční sítě, které jsou z hlediska kongescí nejhorší a řidiči zde průměrně ztratí nejvíce času. V této statistice nejhůře vyšel úsek dálnice A6 u Mannheimu, ve kterém průměrný řidič pohybující se pravidelně po této silnici, stráví 69 hodin za jeden rok. Řidiči během odpolední špičky dosahují na tomto úseku průměrné rychlosti pouze 24,35 km/h. Další podobné úseky jsou uvedeny v tabulce 3. Je důležité upozornit na skutečnost, že i přesto, že se tento výzkum zaměřil pouze na německou silniční síť, podobné problémy s dopravními kongescemi jsou zaznamenatelné v téměř všech vyspělých státech. Většina těchto problémů je způsobena naplněním kapacity dopravních cest a překročením hodnoty kritické hustoty dopravního proudu, které vedou ke vzniku nestabilní dopravní situace. [52]

Tabulka 3 – Přehled 10 německých úseků s nejvyšší hodnotou zdržení [52]

Pořadí	Město	Místo	Od	Do	Dopolední průměrná rychlost během špičky [km/h]	Odpolední průměrná rychlost během špičky [km/h]	Celkový ztracený čas [h]
1	Mannheim	A6	J25	J24	63,42	24,35	<b>69</b>
2	Stuttgart	B27	Sigmaringer Str	Bopser U-Bahn	28,55	27,01	<b>31</b>
3	Karlsruhe	B3	A5	Bulacher Str	24,31	30,31	<b>30</b>
4	Berlin	B96	Alter Park	Platz der Luftbrücke	20,16	25,12	<b>30</b>
5	Karlsruhe	A5	J43	Landstraße	72,25	71,88	<b>30</b>
6	Stuttgart	A8	J55	A831	81,66	71,96	<b>29</b>
7	Hamburg	Poppenbutte- Weg	A433	Sasaler Samm	34,25	33,26	<b>27</b>
8	Wuppertal	A46	J29	J31	67,76	51,19	<b>27</b>
9	Berlin	Müllerstraße/ Friedrichstraße	B96	River Spree	17,07	17,30	<b>27</b>
10	Munich	B2R	B304	A96	43,32	32,30	<b>27</b>

Dopravní kongesce se tak stávají pomalu nezvladatelným problémem. Mezi největší problémy patří ekonomické náklady, které kongesce svým vznikem způsobují. Mezi nejvýznamnější účinky, které kongesce způsobuje je možné dále zařadit [53]:

- **Zvýšení doby cestování** – Kongesce prodlužují dobu cestování, způsobují také sníženou produktivitu lidí sedících v automobilech. Tato kategorie nákladů všeobecně vykazuje 90% ekonomických nákladů kongesce
- **Dodatečné náklady na palivo** – Spotřeba paliva vzrůstá při pohybu v kongesci, vlivem častého zastavování a rozjíždění. Obecně tato kategorie nákladů tvoří 10 % nákladů kongesce.
- **Nepohodlí v přeplněných dopravních systémech**



- **Spolehlivost** – V případě vyššího množství kongescí se snižuje spolehlivost dopravního systém

#### 1.4.4 Udržitelný rozvoj a vliv dopravy na životní prostředí

Doprava je nedílnou součástí každodenního života a během historie přispívala a i nadále přispívá k rozvoji lidské společnosti. Kromě tohoto, že doprava uspokojuje svou činností přepravní potřeby přepravníků a cestujících (tzv. přímí uživatelé dopravy), tak také současně negativně ovlivňuje své okolí a ostatní obyvatele (tzv. nepřímí uživatelé dopravy). Dopravní činnost proto má výrazný vliv na kvalitu územních celků a výrazně negativní měrou se také podílí na životním prostředí. [22,23]

Současné dopravní systémy nejsou schopny uspokojit zároveň veškeré požadavky přímých i nepřímých účastníků dopravy, proto existují v dopravních systémech vždy jen suboptimální řešení. Z tohoto důvodu nelze dopravu řešit optimálním řešením, neboť vždy je nutné přihlížet také k dopadům na nepřímé uživatele dopravy a na dopady na životní prostředí. Nižší kvalita přepravy je také často způsobena nedostatečnou obnovou a údržbou dopravní techniky a infrastruktury. [22]

Doprava a životní prostředí je jednou z momentálně nejproblematictějších oblastí lidského bádání. Již bylo zmíněno, že doprava má výrazný vliv na stav životního prostředí a samotné fungování dopravního systému je ovlivněno životním prostředím. Vývoj lidské společnosti, který je založen především na ekonomickém růstu, má za následek také nezvratné dopady na naši planetu. Zásoby většiny přírodních zdrojů nejsou nekonečné a nadměrným čerpáním těchto zdrojů lidé planetu poškozují. V rámci této tematiky se v odborné i populárně naučné literatuře setkáváme s pojmem „Trvale udržitelný rozvoj“. Dle definice je to takový druh rozvoje, který se snaží zmírnit nebo v ideálním případě až odstranit negativní projevy rozvoje lidské společnosti. V rámci udržitelného rozvoje proto počítáme nejen s ekonomickým růstem, ale také bereme v potaz společenské hodnoty a přírodní bohatství. Primárním cílem trvale udržitelného rozvoje je zachovat kvalitu života a zajistit potřeby současné generace, aniž by bylo ohroženo naplnění potřeb budoucích generací a jiných lidí. V této souvislosti mluvíme o tzv. třech pilířích [54]:

- Sociální pilíř
- Environmentální pilíř
- Ekonomický pilíř

Propojení jednotlivých pilířů je znázorněno na obrázku 14. Z historického hlediska byl pojem udržitelného rozvoje vytvořen především pro potřeby ochrany životního prostředí, v současné době k této potřebě přidáváme i oblast efektivní správy věcí veřejných. Změna klimatu,

demografické změny, ztráta úrodné půdy či prohlubující se nerovnosti, jsou problémy, které současnou společnost trápí. Jejich řešením se zabývá nejen Evropa, ale celý svět. [54]

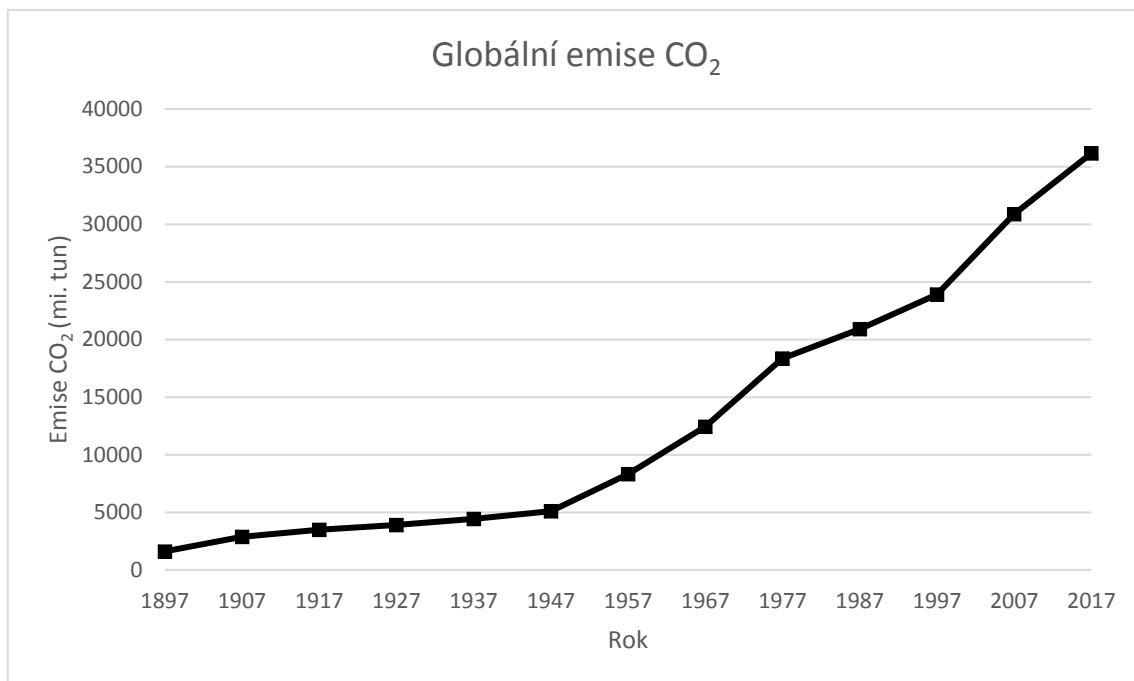


Obrázek 14 – Udržitelný rozvoj [54]

Současná společnost si uvědomuje problémy, které může nesoulad mezi základními třemi pilíři způsobit. Z tohoto důvodu společnost soustavně pracuje na tom, aby bylo docíleno co nejlepší možné spolupráce na řešení této problematiky. Důkazem může být program OSN „17 Cílů udržitelného rozvoje“ („17 Goals to Transform Our World“), na kterém se kromě všech členských států OSN, podíleli také zástupci podnikatelské sféry, akademické obce, nebo zástupci občanské společnosti. Program byl schválen na summitu OSN v roce 2015 a mimo jiné si klade na 15-leté období za cíl skoncovat s chudobou, věnovat se rozvoji dostupné a čisté energie, či bojovat se změnami klimatu. [54,55]

Zajímavou částí je bod zabývající se změnou klimatu a globálním oteplováním. Fakta vypovídají o tom, že emise skleníkových plynů z lidské činnosti jsou hlavním důvodem klimatických změn na planetě Zemi. Globální emise oxidu uhličitého se od roku 1987 zvýšily o více jak 50%, jak je dobře viditelné na obrázku 15. [56,57]

Velkým problémem je současná produkce tzv. skleníkových plynů. Skleníkové plyny jsou hlavním důvodem globálního oteplování. Skleníkový efekt funguje na podobném principu jako skleník. Některé plyny svými specifickými vlastnostmi brání infračervenému záření unikat zpět do vesmírného prostoru, takže atmosféra má tendenci se ohřívat. Mezi skleníkové plyny se řadí oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ), metan ( $\text{CH}_4$ ), oxid dusný ( $\text{N}_2\text{O}$ ) a fluorované plyny. Koncentrace těchto plynů v atmosféře se každým rokem zvyšuje. Hlavním viníkem je člověk, který spaluje fosilní paliva a také výrazně zvyšuje využívání půdy. Alarmující je fakt, že každá z dekad od roku 1850 vykazovala vyšší hodnotu průměrné teploty, období mezi lety 1983-2012 je dokonce označováno za nejteplejších 30 let za posledních 14 století. Průměrná teplota na naší planetě se od roku 1880 do roku 2012 zvýšila o  $0,85^\circ\text{C}$  a za současných podmínek by se průměrná teplota zvýšila do konce 21. století o více jak  $3^\circ\text{C}$ . Tyto statistiky jsou velmi negativní a pesimistické z hlediska fungování lidské společnosti. Uskutečnění těchto scénářů by přineslo obrovské problémy pro každého obyvatele na naší planetě. [22, 56]

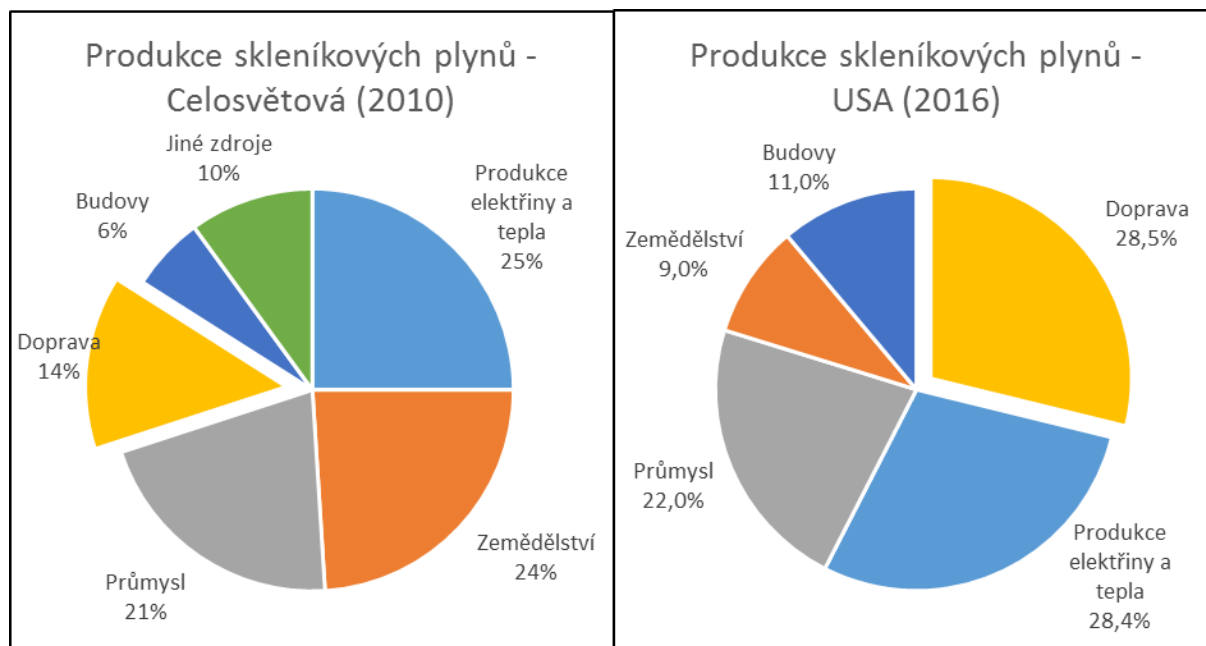


Obrázek 15 - Globální emise CO<sub>2</sub> [57]

Vědci z Mezivládního panelu OSN dávají za úkol lidské společnosti omezit globální oteplování na 1,5 stupně v porovnání s předindustriálním obdobím. K tomu, aby lidská společnost mohla napomocť této hodnotě, je dle výpočtů nutné omezit emise oxidu uhličitého o 45% do roku 2030. Do roku 2050 dokonce dosáhnout emisí nulových, respektive množství oxidu uhličitého vypuštěného do ovzduší člověkem nesmí přesáhnout množství, které dokáže příroda z atmosféry sama „odčerpat“. Pomoci může také opětovné zalesňování, které by přispělo k odčerpání oxidu uhličitého z atmosféry. Vědci ve zprávě IPCC upozorňují na to, že i oteplení o 1,5°C přinese dalekosáhlé následky, jako je zánik většiny korálových útesů, častější vlny veder, sucha či povodně. Jelikož v tomto problému každá desetina hraje roli, tak při zvýšení průměrné teploty o 2°C bychom zaznamenali zánik veškerých korálových útesů nebo by docházelo pravidelně k situaci, kdy by byl Severní ledový oceán bez ledu. Vlny veder, sucha, povodně a další nežádoucí stavy by se objevovaly častěji a zasáhly mnohem více lidí. Zpráva IPCC například odhaduje, že při zvýšení teploty o 2°C bude vlnám veder vystaveno o 420 milionů lidí více než v případě zvýšení průměrné teploty o 1,5°C. [58]

Výraznou měrou se na těchto probíhajících procesech podílí také doprava. Skleníkové plyny z dopravy pocházejí především ze spalování fosilních paliv u osobních automobilů, nákladních automobilů, lodí, vlaků a letadel. Dle statistiky IPCC z roku 2010 se na celosvětové produkci podílí doprava 14%. Další zdroje skleníkových plynů, včetně jejich podílů na celosvětové produkci, jsou k dispozici na obrázku 16. Podíl dopravy na produkci skleníkových plynů stoupá se stupněm rozvoje daného státu. Ve Spojených státech amerických je například doprava

sektorem s nejvyšším podílem na produkci skleníkových plynů, v roce 2016 se podílela na celkové produkci podílem 28,5%. [59]



Obrázek 16 - Produkce skleníkových plynů [59]

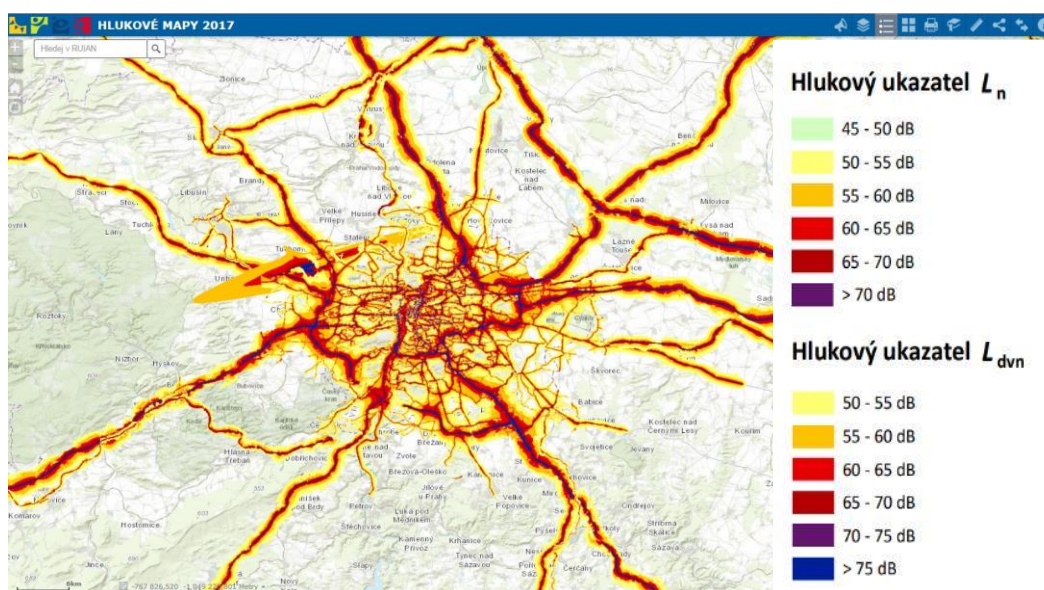
Kromě již zmíněných skleníkových plynů je dalším produktem spalování paliva v motoru oxid uhelnatý, který je neškodný vůči neživé přírodě, ale má vliv na živé organismy. Oxid uhelnatý (CO) je jedovatý, způsobuje zpomalení reflexů, zbavuje těla kyslíku a způsobuje bolest hlavy. Hraje i roli u skleníkového efektu, neboť stimuluje vznik metanu. Spalováním paliva vznikají také uhlovodíky, které jsou v některých případech karcinogenní, také vznikají prachové částice, které opět mají karcinogenní vlastnosti. [22]

Motory dopravních prostředků jsou zdrojem hluku, stejně jako styk vozidel s dopravní cestou a aerodynamický hluk. Na rozdíl od běžného zdroje hluku, nelze hluk z dopravy izolovat do vybraných lokací, ale vyskytuje se téměř po celém území. [22] Zákon č. 258/200 Sb., o ochraně veřejného zdraví pojednává o ochraně lidského zdraví před hlukem, konkrétní hygienické limity hluku jsou pak uvedeny nařízení vlády č. 148/2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Dle tohoto nařízení je denní limit pro hluk z hlavních silnic stanoven na 60 dB, v nočních hodinách platí limit 50 dB. [22,60]

Dopady hluku na lidský organismus se klasifikují do základních tří kategorií. První kategorií jsou psychické dopady, do kterých spadá neurotizace organismu. Jedná se o duševní poruchy, kdy lidé trpí úzkostmi a dalšími podobnými stavy. Tyto negativní dopady se objeví při působení hluku od 65 dB. Další kategorií je sféra fyziologická, kdy při rozsahu 65 až 90 dB je možné pozorovat u lidí změny krevního tlaku, srdeční frekvence i velikost zornice. Může také docházet k vylučování stresových hormonů nebo změnám svalového napětí. Poslední kategorií, která

nastává v rozmezí 90 až 120 dB, je sféra hlukového poškození. Při delším vystavení takové úrovni hluku dochází k trvalému sluchovému poškození, nedoslýchavosti a hluchotě. [22,61]

V České republice je vystaveno přes den více jak 1,3 milionu lidí vyšším hodnotám hluku než je limitní hodnota stanovena nařízením vlády. Přes noc je vystaveno vyšším hodnotám hluku dokonce okolo 1,5 milionu lidí. Více jak 14% obyvatel České republiky je v noci vystaveno vyšším hodnotám hluku než je 50 dB. Nejproblémovější oblasti se nacházejí uvnitř a okolo velkých aglomerací, jak dokazuje i obrázek 17 charakterizující situaci v okolí hlavního města České republiky. Tyto aglomerace slouží jako důležité dopravní uzly a z toho důvodu je zde výskyt dopravních prostředků častější. Na obrázku je kromě hluku ze silniční a železniční dopravy také zohledněn hluk z letecké dopravy. [62]



Obrázek 17 - Hluková mapa Prahy [62]

#### 1.4.5 Nehodovost

Dle statistik je nejnebezpečnějším druhem dopravy doprava silniční. Oproti dopravě letecké a železniční je zde pravděpodobnost úmrtí vyšší. Nejrizikovější skupinou jsou dle statistiky počtu úmrtí na miliardu kilometrů motocyklisté. Dle této statistiky je nebezpečnější zvolit dopravu leteckou. Pokud budeme zkoumat stejnou problematiku z pohledu počtu úmrtí na miliardu hodin strávenou v provozu, je sice autobusová doprava nejbezpečnější, ostatní zástupci silniční dopravy však uzavírají v této statistice poslední místa (nákladní vůz, auto, chodec, kolo, motocykl). Podrobnější informace o této statistice jsou k dispozici v tabulce 4. Hodnota v závorce udává hodnotu počtu úmrtí pro danou kategorii. Jednotlivé druhy dopravy jsou řazeny od nejbezpečnějšího po nejnebezpečnější. [63]

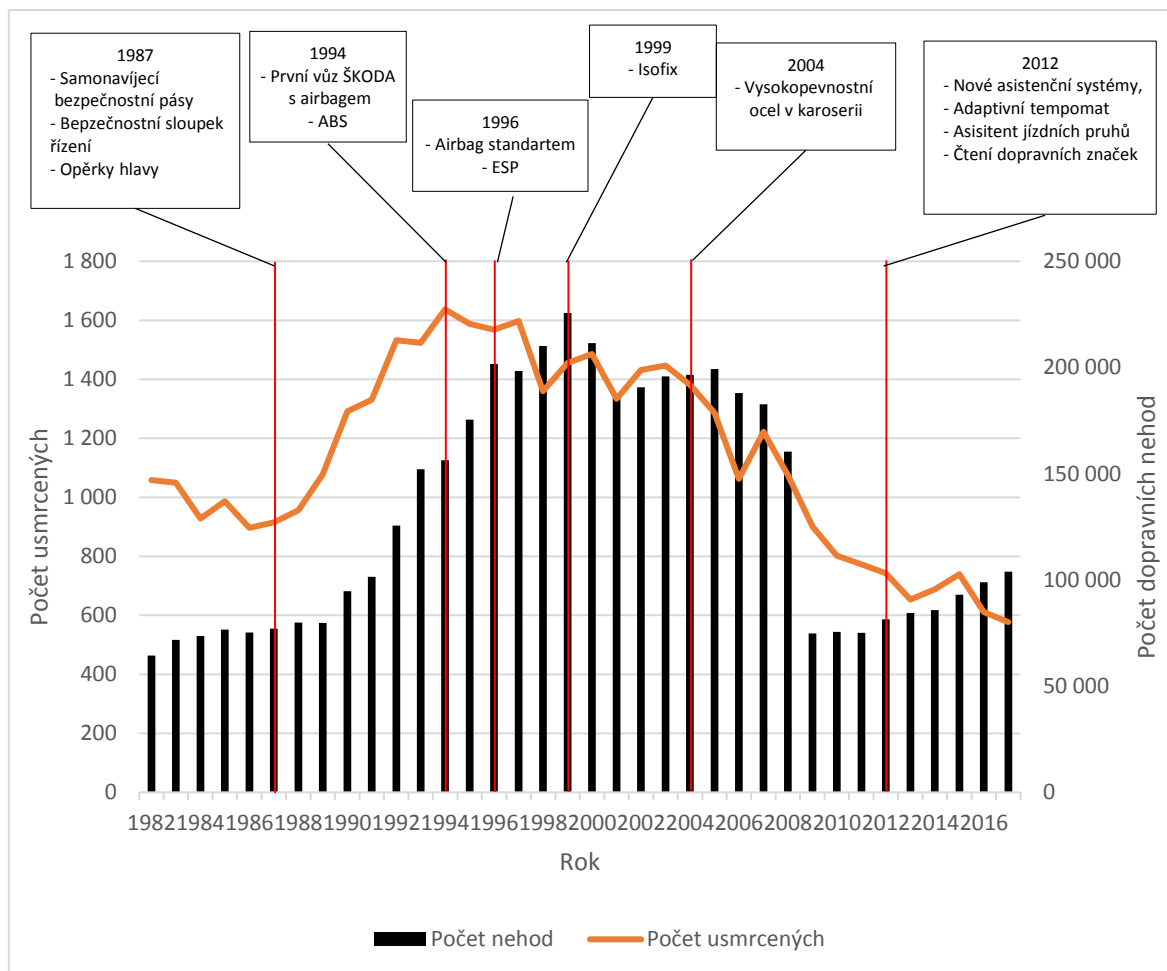
Tabulka 4 – Porovnání bezpečnosti jednotlivých dopravních módů [63]

Pořadí	Úmrtí na miliardu kilometrů	Úmrtí na miliardu cest	Úmrtí na miliardu hodin
1	Letadlo (0,05)	<b>Autobus (4,3)</b>	<b>Autobus (11,1)</b>
2	<b>Autobus (0,4)</b>	Vlak (20)	Vlak (30)
3	Vlak (0,6)	<b>Nákladní vůz (20)</b>	Letadlo (30,8)
4	<b>Nákladní vůz (1,2)</b>	<b>Auto (40)</b>	Lod' (50)
5	Lod' (2,6)	<b>Chodec (40)</b>	<b>Nákladní vůz (60)</b>
6	<b>Auto (3,1)</b>	Lod' (90)	<b>Auto (130)</b>
7	<b>Kolo (44,6)</b>	Letadlo (117)	<b>Chodec (220)</b>
8	<b>Chodec (54,2)</b>	<b>Kolo (170)</b>	<b>Kolo (550)</b>
9	<b>Motocykl (108,9)</b>	<b>Motocykl (1640)</b>	<b>Motocykl (4 840)</b>

Bezpečnost v silniční dopravě je téma, kterým se zabývají také konstruktéři a výrobci automobilů. Bezpečnost v silniční dopravě začala být řešena s vyšším důrazem v 80. letech, kdy rozvoj automobilového průmyslu přispěl k větší dostupnosti automobilů a obecně rozvoji silniční dopravy. Z hlediska České republiky, respektive Československa, byl prvním důležitým rokem pro automobilovou dopravu rok 1987, kdy automobily začaly být vyráběny se samonavíjecími bezpečnostními pásy a opěrkami hlavy. V roce 1994 představuje ŠKODA Auto první vůz s airbagem a zároveň nabízí své modely se systémem ABS (Anti-lock Brake System), který zlepšuje ovladatelnost vozidla a zajišťuje maximální brzdný účinek. Rozšíření ABS přinesl systém ESP (Electronic Stability Program) v roce 1996, kdy i airbag je naprostým standardem. V roce 1999 se stává běžnou výbavou automobilů v České republice i tzv. Isofix, který propojuje dětské sedačky s konstrukcí vozu a snižuje riziko zranění dětí. V dalších letech se rozvoj bezpečnosti vozidel vyvíjí velkou rychlostí a v dnešní době se již můžeme setkat s takovými bezpečnostními prvky jako jsou různé asistenční systémy, adaptivní tempomat, asistent jízdy v jízdním pruhu, nebo čtení dopravních značek. [64]

Všechny tyto zmíněné a další bezpečnostní prvky výraznou měrou přispěly ke snížení počtu úmrtí v silniční dopravě. Nejhorším rokem dle statistik byl rok 1994, kdy Český statistický úřad zaznamenal 1 637 úmrtí na českých silnicích. Od tohoto roku se počet usmrcených postupně snižuje, v roce 2017 již bylo pouze 577 usmrcených osob. Podobný vývoj počtu usmrcených v silniční dopravě zaznamenávají i další vyspělé státy. Bezpečnostní prvky přispívají ke zvýšení bezpečnosti na silnicích a ke snížení počtu úmrtí. Podrobná statistika je k dispozici na obrázku 18. [64,65]





Obrázek 18 - Nehodovost v ČR [64,65]

Situaci na silnicích je stále možné zdokonalovat i co se týče bezpečnosti. Nejčastější příčinou dopravních nehod je lidská chyba. Ekonomika se stále rozvíjí, paliva jsou pro většinu lidí dostupná a lidé využívají silniční dopravy stále více. Statistiky Národní správy bezpečnosti silničního provozu Spojených států amerických odhalily, že 94% nehod je spojena s lidskou chybou nebo špatným rozhodnutím řidiče. Z tohoto důvodu se koncept platooningu jeví z hlediska bezpečnosti v dopravě jako velký krok dopředu. [77]

#### 1.4.6 Shrnutí současných problémů silniční dopravy

Na základě odborné literatury, odborných článků a statistik, je možné dojít k závěru, že velkým problémem dopravy je nedostatek pracovní síly v tomto oboru. Řidič silniční dopravy je neatraktivní povolání, které neláká mnoho nových uchazečů. Dále je nutné zmínit, že současná infrastruktura silničních komunikací nejen v České republice je nepřipravená pro další ekonomický rozvoj. Pro další posun vpřed je nutné v této oblasti začít intenzivněji pracovat. Hlavním problémem ropy je její vyčerpatelnost, je potřeba počítat s náhradou konvenčních motorů za jinou technologii. Celospolečenským problémem jsou klimatické změny, které ovlivňují život každého obyvatele planety Země a vyhlídky do budoucna jsou

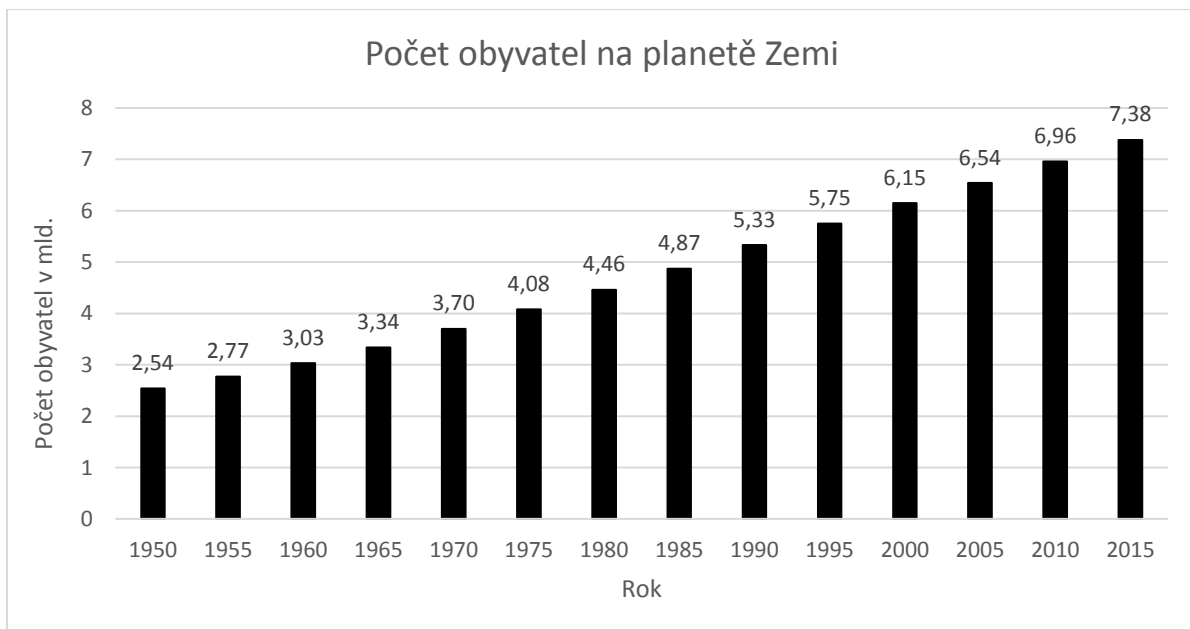
výrazně pesimistické. I v této oblasti je proto potřeba začít hledat efektivní řešení, které napomůže eliminovat dopady dopravy na životní prostředí. Nehodovost je problém, který je sice ve společnosti vnímám jako výrazný, avšak reálné statistiky dokazují, že se stále daří snižovat počty usmrcených na českých silnicích.



## 2 Platooning

Několik posledních dekád můžeme sledovat výrazný nárůst populace. Ve skutečnosti se počet lidí na planetě Zemi zvýšil o dvě miliardy lidí mezi rokem 1990 (5,33 miliard) a rokem 2015 (7,38 miliard). Tato změna je zaznamenaná ve všech odvětvích lidské činnosti včetně dopravy. Nárůst počtu obyvatel má za následek několik významných problémů, a to nejen v dopravě, kde vyšší počet lidí způsobuje především vyšší poptávku po dopravě, která nedokáže svými kapacitami vždy tuto poptávku pojmout. Dalšími problémy, které jsou významnější a často zmiňovány, jsou nedostatky potravin a pitné vody pro obyvatele planety Země, stejně jako velká poptávka po spotřebě energie. [72, 94]

Podrobněji je tento nárůst populace zachycen na obrázku 19. Odborníci odhadují, že při očekávaném nárůstu bude žít na planetě Zemi v roce 2075 přibližně 9,5 miliard obyvatel. [72, 94]



Obrázek 19 - Počet obyvatel planety Země [72]

Větší množství lidí vytváří větší poptávku po nákladní a osobní dopravě. Zároveň je dobré zopakovat spojitost mezi ekonomikou a dopravou. Pro posilující ekonomiku je charakteristická vyšší intenzita dopravy, proto se stále zvyšujícím se celosvětovým HDP (viz. kapitola 1) je možné sledovat zvyšující se intenzitu obchodu a dopravy. Velkou výzvou pro současnou infrastrukturu je vyrovnat se s tímto nárůstem. V mnohých případech je to však nemožné a současná infrastruktura je nevyhovující a nedostačující. V těchto situacích, kdy silniční infrastruktura neposkytuje dostatečnou kapacitu, se hodnota dopravního proudu snižuje, hustota dopravy zvyšuje a dopravní kongesce zpomalují dopravu a neumožňují plynulý provoz. Tento čas strávený v dopravních zácpách je označován jako ztracený a kvůli této skutečnosti

se snižuje ekonomický růst dané oblasti nebo státu. Je důležité zmínit, že zvyšování potřeby dopravy nezpůsobuje pouze ekonomické problémy nebo nepohodlí pro člověka. Dále je také nepříznivě ovlivňováno životní prostředí, jelikož doprava je jedním z velkých producentů oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>). Více informací o současné situaci v dopravě je k nalezení v kapitole 1 této diplomové práce. [36]

Problémy současné dopravy výraznou měrou ovlivňují lidskou společnost a její fungování. Nutí lidskou civilizaci najít komplexní řešení, které pomůže zlepšit současnou situaci v dopravě a dokáže i v budoucnu být natolik efektivní, že dokáže vyřešit problém s narůstající dopravní intenzitou. Jedna z možností, která je vyvíjena od 50. let 20. století je částečná nebo úplná autonomie vozidel. Tato myšlenka byla část po části zdokonalována a dnes existuje několik projektů, které z původní myšlenky autonomie vychází. Autonomní vozidla, jako jsou například Waymo nebo Tesla, jsou jedním z možných řešení. Další oblast, kterou se zabývá tato diplomová práce a která se zabývá spoluprací vozidel a efektivnímu řízení dopravy, je technologie platooning. [36,71,73]

Platooning je technologie, pomocí které je možné vyřešit alespoň částečně problémy, se kterými se současná doprava potýká. Tato technologie je založena na sdružování vozidel do čet (skupin), ve kterých vozidla aktivně spolupracují dohromady. Platooning nabízí možnost, která přináší plynulou, bezpečnou a ekologickou dopravu. Rychlost výzkumu a vývoje v oblasti platooningu je značná a dokonce již byly zaznamenány první úspěšné testovací jízdy platooningu, včetně začlenění této technologie do reálného provozu. Z tohoto důvodu, vývoj v této oblasti vypadá velice slibně. Tento výzkum se odehrává na několika místech a v několika státech, cíle jsou však vždy podobné. Cílem je udělat cestování bezpečnější, ekologičtější a pohodlnější. [71]

## 2.1 Obecný popis platooningu

Platooning je koncept založený na sdružování vozidel, které navzájem aktivně komunikují a pohybují se po silniční komunikaci společně. „Platoon“ můžeme popsat jako čet (skupinu) nebo počet vozidel, které se pohybují jako koordinovaná skupina. V tomto smyslu je nutné rozlišovat pojmy autonomní a kooperující (spolupracující) vozidla. Kooperující vozidla spolupracují skrze nepřetržitou vzájemnou komunikaci, zatímco autonomní vozidlo má schopnost pohybovat se bez pomoci řidiče. Tyto dva pojmy se v některých momentech překrývají. Je však důležité tyto dva pojmy rozlišovat, jelikož se nejedná o pojmy identické. [74]

Členové kooperující skupiny navzájem nepřetržitě komunikují a zároveň sdílejí všechny nezbytné informace jako je například: rychlost, intenzita brzdění a akcelerace, platoon ID, pozice vozidla ve skupině, cíl cesty atd. Platoon je proto možné definovat jako spolupracující

uskupení, které se chová na dopravní cestě jako jedna jednotka. Jednotlivá vozidla se mohou přidat ke skupině nebo ji opustit dynamicky například při dosažení požadovaného místa určení. [36, 74]

Další charakteristikou platooningu, jsou malé odstupy vozidel. Výrobci a inženýři zabývající se platooningem si od malých odstupů slibují snížení spotřeby paliva, díky snížení aerodynamického odporu. Autoškoly a národní organizace v dopravě doporučují minimálně dvousekundový rozestup mezi dvěma následujícími vozidly. Tento rozestup se může lišit v závislosti na druhu pozemní komunikace, počasí, typu vozidel a dalších okolností. Pro různé rychlosti a různé časové rozestupy jsou uvedeny bezpečné rozestupy mezi dvěma následujícími vozidly v tabulce 5. [75]

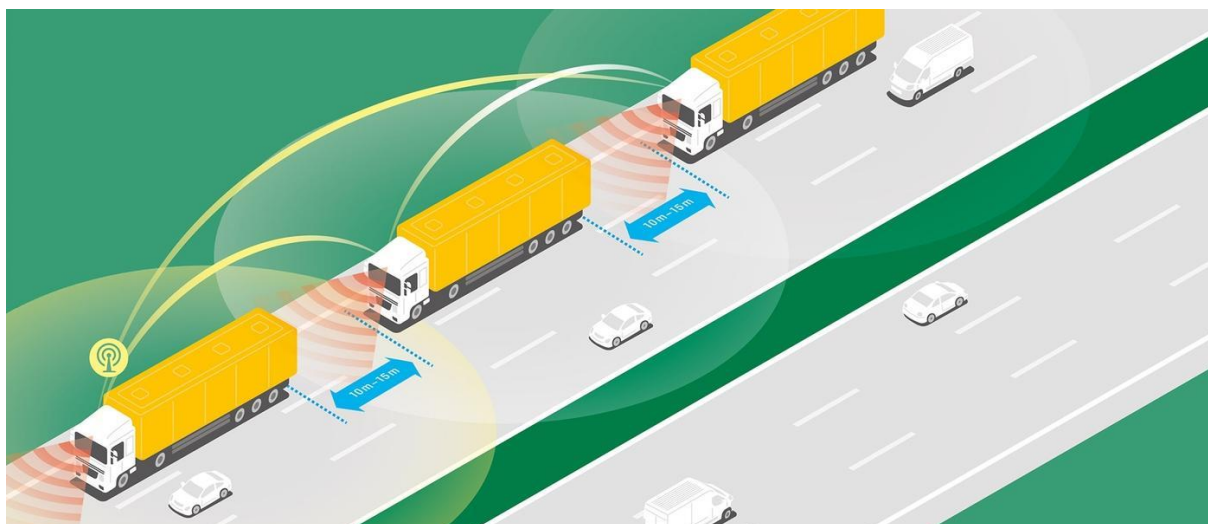
Tabulka 5 - Bezpečné rozestupy vozidel [75] (vlastní výpočet)

		<b>Časový rozestup [s]</b>				
		<b>2</b>	<b>2,5</b>	<b>3</b>	<b>3,5</b>	<b>4</b>
<b>Rychlost vozidel [km/h]</b>	<b>30</b>	17 m	21 m	25 m	30 m	34 m
	<b>40</b>	23 m	28 m	34 m	39 m	45 m
	<b>50</b>	28 m	35 m	42 m	49 m	56 m
	<b>60</b>	34 m	42 m	50 m	59 m	67 m
	<b>70</b>	39 m	49 m	59 m	69 m	78 m
	<b>80</b>	45 m	56 m	67 m	78 m	89 m
	<b>90</b>	50 m	63 m	75 m	88 m	100 m
	<b>100</b>	56 m	70 m	84 m	98 m	112 m
	<b>110</b>	62 m	77 m	92 m	107 m	123 m
	<b>120</b>	67 m	84 m	100 m	117 m	134 m
	<b>130</b>	73 m	91 m	109 m	127 m	145 m

Je důležité upozornit na fakt, že brzdící dráha plně naloženého nákladního vozidla je výrazně delší v porovnání s osobním automobilem. Průměrná vzdálenost, během které dokáže osobní automobil změnit rychlost z 90 km/h na 0 km/h, je 40 metrů. Nákladní vozidlo dokáže zastavit ze stejné rychlosti do 60 metrů. Proto u nákladních vozidel je doporučený časový odstup mezi dvěma vozidly větší než 2 sekundy. [76]

Moderní technologie, které jsou spojeny s vývojem a rozšířením platooningu dovolují výrazně snížit fyzický a časový rozstup mezi dvěma následujícími vozidly. Kombinace různých technologií, jako jsou radary, kamery, lidary, GPS nebo Wi-Fi nabízí příležitosti ke snížení časových rozstupů mezi následujícími vozidly bez nebezpečí zvýšení pravděpodobnosti nehody. Dokonce celý systém má za cíl nabízet bezpečnější dopravu bez nehod způsobenými lidskými chybami. [36, 71, 74]

Současně probíhající testy platooningu dokázaly snížit časový rozstup mezi dvěma nákladními vozidly na 0,5 sekund a cílem je dosáhnout hodnoty 0,3 sekundy dle organizace European Truck Platooning. Většina projektů pracuje s rozestupy následujících vozidel okolo 10 až 15 m, některé projekty dokonce pracují s verzí čtyř až pěti metrových rozstupů. Další přínos platooningu a komunikace a kooperace vozidel je snížení počtu akcelerací a brzdění vozidel a zajištění efektivnějšího stylu jízdy celé skupiny vozidel. [78] Příklad platooningu je možné vidět na obrázku 20. [95]



Obrázek 20 – Platooning [95]

## 2.2 Historie a stupně autonomního řízení

Projekt platooningu vychází ze základů technologie „cruise speed control“ neboli tempomatu. S touto ideou přišel v polovině 20. století slepý inženýr Ralph Teetor. Jeho myšlenka měla pomoci lidem s podobným handicapem a umožnit jim řídit motorová vozidla. Tempomat byl poprvé použit v modelu Chrysler v roce 1958. [79]

Postupně se tato technologie zlepšovala a s pomocí radarů a lidarů se zdokonalila v adaptivní tempomat (Adaptive Cruise Control, ACC). Tento systém nejenže udržuje řidičem nastavenou rychlost, ale také dokáže upravovat rychlost takovým způsobem, aby byla dodržena bezpečná vzdálenost mezi vozidly na dopravní cestě. Další krokem ve vývoji je kooperativní adaptivní tempomat (Cooperative Adaptive Cruise Control, CACC). Tento systém je pokročilou verzí

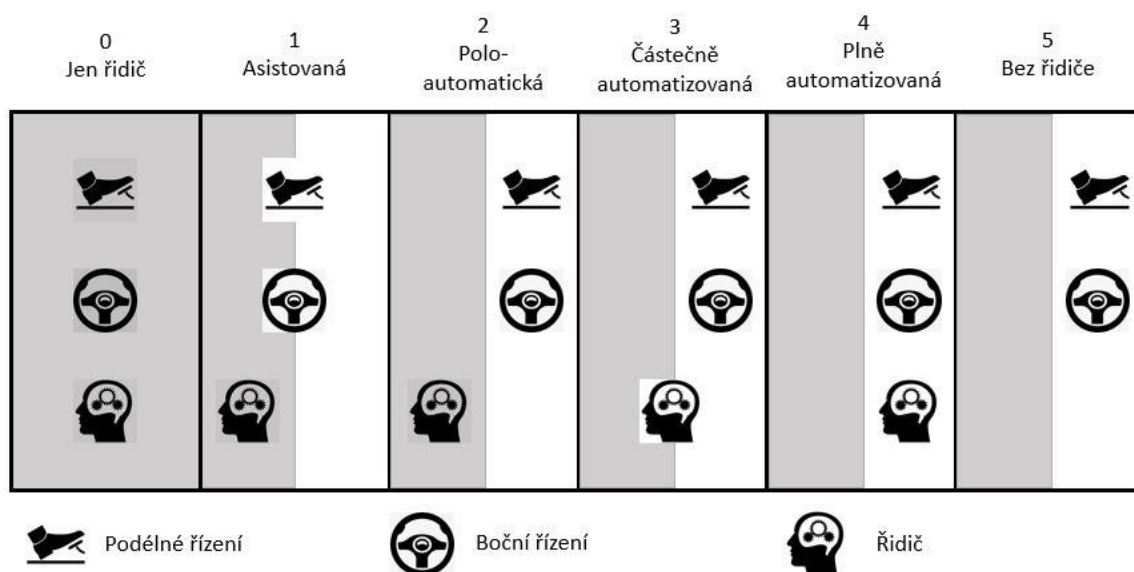
ACC. Nejenže CACC dokáže detekovat nebezpečí, ale také zajišťuje komunikaci mezi vozidly k dosažení nejvyšší možné bezpečnosti a plynulosti provozu. [80]

S historickým vývojem tempomatu je spjatá i škála úrovně autonomního řízení. Tuto škálu v roce 2013 definovalo Národní ministerstvo pro bezpečnost silničního provozu Ministerstva dopravy USA (NHTSA) a je obecně uznáváno většinou automobilových výrobců a dopravních odborníků. Důležité je zmínit, že stupně autonomie nepopisuje pouze dané vozidlo, ale celý systém [81, 82]:

- Stupeň 0 (jen řidič) je možné popsat jako obvyklé řízení silničního dopravního prostředku. Řidič má na starosti veškeré potřebné úkony k řízení vozidla: ovládá směr řízení, brzdy i akceleraci.
- Stupeň 1 (asistovaná) obsahuje už pomocné funkce, které v některých momentech napomáhají řidiči v řízení vozidla. Tyto funkce mohou řidiči pomoci buď s bočním nebo podélným řízením. Řidič je však stále plně zodpovědný za řízení vozidla.
- Stupeň 2 (poloautomatická autonomie) obsahuje alespoň jeden asistenční systém (boční nebo podélné řízení). Obvykle se na tomto stupni autonomie objevuje asistent jízdních pruhů a tempomat. Teoreticky tak řidič na této úrovni autonomie nemusí v určitých momentech fyzicky držet volant a ovládat plynový a brzdový pedál. Řidič však musí neustále být připraven převzít kontrolu nad řízením vozidla.
- Řidiči jsou stále nezbytní při stupni 3 (částečně automatizovaná) autonomie, mohou však za určitých okolností zcela přesunout veškeré řízení na vozidlo. To znamená, že řidič je stále přítomen a v případě potřeby může zasáhnout, není však povinen sledovat situaci stejným způsobem, jako na předchozí úrovni. Řidič tak může například psát textové zprávy nebo sledovat film.
- Stupeň 4 (plně automatizovaná autonomie) je již chápán jako „plně autonomní“. Vozidla na této úrovni jsou navržena tak, aby obstarával veškeré funkce řízení a sledování stavu v okolí vozidla po celou dobu cesty. Řidič při této úrovni je stále přítomen, neboť tato úroveň stále nedokáže vyřešit všechny možné scénáře. I přesto může řidič během jízdy spát, jíst nebo zcela opustit sedadlo řidiče. Ve specifických případech je vozidlo schopné bezpečně zastavit a přerušit jízdu než se řízení nechopí řidič.
- Stupeň 5 (bez řidiče) je již plně autonomním systémem, u kterého se předpokládá, že výkon vozidla bude stejný jako výkon řidiče v každé situaci, včetně extrémních klimatických podmínek.

Ve skutečnosti je možné provozovat platooning na všech úrovních autonomního řízení. Hlavní výhody se vyskytují až u vyšších úrovní autonomie, to znamená od třetího stupně autonomního

řízení. [74] Grafické znázornění jednotlivých stupňů autonomie nabízí obrázek 21. Funkce uvedené v šedém poli jsou na dané úrovni řešené člověkem, funkce uvedené v bílém poli jsou na dané úrovni řešené automaticky, bez nutnosti zásahu řidiče.



Obrázek 21 - Stupně autonomie [autor]

První studie ohledně platooningu pro nákladní automobily byly uskutečněny v rámci evropského projektu T-Tap v polovině 90. let 20. století. Tento projekt se zabýval možností využití platooningu na trase vedoucí Brennerským průsmykem mezi Rakouskem a Itálií. [36]

### 2.3 Současný stav technologie platooning

Technologií platooningu se v současné době zabývá několik organizací, ať už státní organice, automobilový výrobci nebo různé univerzity. Proto je možné nalézt několik přístupů k řešení této problematiky. Nutné je poznamenat, že platooning vyžaduje vysoké požadavky z hlediska technologie a legislativy. Obecně je možné technologii zajišťující chod platooningu rozdělit do základních čtyř kategorií [71]:

- Technologie ovládající boční řízení (udržení vozidla v pruhu)
- Technologie ovládající podélné řízení (dodržení předepsané vzdálenosti mezi vozidly)
- Další technologie
- Komunikační technologie

Důležité je zmínit fakt, že některé projekty zabývající se platooningem se soustředí pouze na některé ze čtyř oblastí.

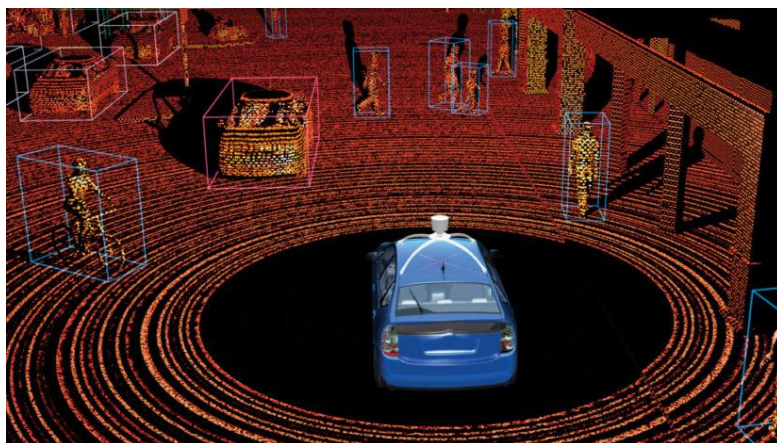
**Technologie ovládající boční řízení** má za úkol udržet vozidlo v jízdním pruhu, respektive udržovat správný směr jízdy, jelikož mohou nastat situace, kdy vozidla ve skupině se musí vyhnout nějaké překážce a změnit proto jízdní pruh. Cílem je dosáhnout jízdy vozidla, aniž by

řidič do řízení musel jakkoliv zasahovat. Jednou z možností, která nabízí řešení, je využití jednotek strojového vidění a detekovat jízdní pruhy na vozovce. Tyto systémy využívají kamery a podobné nástroje pro detekci čar jízdních pruhů, které následně slouží k výpočtům a určením vzdálenosti vozidla od čáry jízdního pruhu. Některé další projekty využívají vložených detektorů do vozovky, které následně dokáží ve spolupráci se systémem vozidla řídit směr pohybu vozidla. Tato možnost se jeví jako spolehlivější, avšak přináší také velké náklady vynaložené na vybudování potřebné infrastruktury. [36, 71]

**Technologie ovládající podélné řízení** je součástí všech projektů spojených s platooningem. Technologie nabízí více možností, jakým způsobem kontrolovat vzdálenost mezi vozidly, ale je vždy založena na principu CACC. Cílem je kooperace všech dostupných technologií k dosažení nejlepších možných výsledků a zároveň využít tyto technologie ke vzájemné kontrole. Příklady technologií, které řídí vzdálenost mezi vozidly jsou: radary, lidary, další různé typy senzorů, přímá komunikace mezi vozidly a další technologie. [71]

Radar, technologie běžná u autonomních vozidel, je zařízení, které dokáže určovat a vyhledávat objekty v prostředí pomocí elektromagnetického záření. Radar vysílá do prostředí rádiové vlny, které se odrážejí od objektů a vracejí se zpět na místo, odkud byly vyslány. Zařízení radaru dokáže tyto odražené vlny detekovat a na základě časového rozdílu mezi vysláním a přijmutím vlny určí vzdálenost detekovaného objektu. Na základě tohoto principu je software automobil schopen vytvořit obraz okolí a podle toho přizpůsobit jízdu. [83]

Lidar je další technologie, která se používá v autonomních vozidlech a ve vozidlech využívající systému platooning. Stejně jako radar se lidar využívá k identifikaci a měření vzdáleností objektů v okolí vozidla. Pro tyto účely se využívá u lidarů laserový paprsek. Základní princip fungování lidarů je podobný jako u sonaru, lidar vysílá paprsek a měří čas mezi vysláním a zachycením odrazu tohoto paprsku. Na základě této hodnoty si dokáže počítač „představit“, jaké objekty se nacházejí v okolí. Oproti sonaru je lidar výrazně rychlejší, kdy právě tato rychlost umožňuje během sekundy přijímat obrovské množství impulsů. Tato technologie má mnohem aktuálnější a přesnější informace, které slouží k rychlejší reakci a flexibilitě celého systému. Lidar v automobilech nejčastěji funguje jako rotující snímač, který mapuje prostředí kolem vozidla. Lidar poskytuje cenné údaje o tom, kde se nacházejí potenciální překážky a v jaké pozici je vůči těmto překážkám vozidlo. Software, který tyto data zpracovává a vyhodnocuje, následně může provést patřičná opatření k zamezení vzniku nebezpečných situací na silnici. Lidar dokáže pracovat i s pohyblivými objekty, proto je důležitou součástí mnoha projektů platooningu. [83] Lidar oproti radaru dokáže detekovat i menší objekty a pomocí správného softwaru dokáže vytvořit i přesný obraz svého okolí. Příklad takového obrazu je k dispozici na obrázku 22.

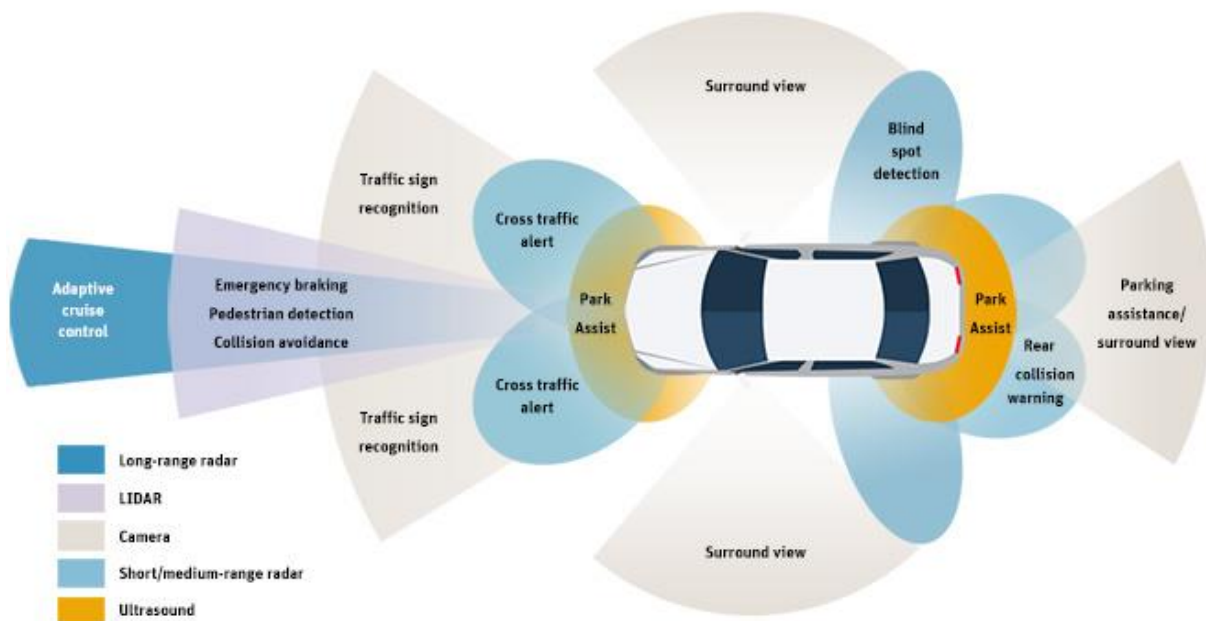


Obrázek 22 – Lidar [84]

Lidar je velice schopný nástroj, ale v některých situacích ztrácí své pozitivní vlastnosti. Jeho funkčnost je například omezena během nepříznivých klimatických podmínek, jako je déšť, mlha, sníh nebo tma. Zde je efektivnější systém radaru založený na rádiových vlnách. Lidary jsou také cenově náročnější a jejich maximální dosah je při ideálních podmínkách přibližně 2 000 m. Radar je oproti tomu přijatelnější pro řešení detekci objektů na delší vzdálenost. Zároveň neřeší tolik, o jaký objekt se konkrétně jedná, ale pouze konstatuje fakt, že v dané vzdálenosti se nachází nějaký objekt. Lidary jsou proto výhodnější pro přesnou identifikaci objektů, kdy dokáží ve spolupráci s patřičným softwarem identifikovat, zda-li detekovaná překážka je strom, auto nebo člověk. [83]

Obě dvě technologie se z několika důvodů doplňují, každá má několik výhod oproti technologii druhé. Spolupráce radaru a lidarů přináší benefity, kterých by samostatně tyto technologie nedokázaly dosáhnout. Radar a lidar bývají často doplňovány v autonomních vozidel také nejrozličnějšími kamerami, které zprostředkovávají data, které dále softwaru vozidla napomáhají k lepšímu porozumění okolní situace. [85] Přibližný způsob kooperace těchto systémů je k dispozici na obrázku 23 u osobního automobilu, avšak princip je podobný i u vozidel nákladních. [96]





Obrázek 23 – Technologie autonomního vozidla [96]

Mezi **další technologie** fungující jak u autonomních vozidel, tak u vozidel v technologii platooning, se řadí například GPS nebo některé informační služby. GPS (Global Positioning System) dokáže v řádu metrů určit polohu vozidla. Tato technologie má mimo jiné za úkol pomoci řídit provoz na komunikacích s celou skupinou vozidel a obeznámit je se všemi nezbytnými informacemi (stav vozovky, počasí, dopravní nehody). Pro běžný provoz je GPS v dnešní době téměř již nezbytný, především v oblasti navigačních systémů. Nevýhodou tohoto systému je nedostatečná spolehlivost, především v místech s horším dostupností signálu, jako jsou například tunely, průsmyky nebo v dalších podobných oblastech silniční dopravy. [85]

Základním pilířem celého systému platooningu je **komunikace**. Využíváním V2V komunikace je první vozidlo schopné informovat ostatní vozidla. Pro zajištění bezpečnosti na silnicích je důležité, aby V2V komunikace byla spolehlivá a byly tak například všechna vozidla ve skupině ve spojení s vedoucím vozidlem a dostávali tak všichni členové skupiny stejné informace. [101]

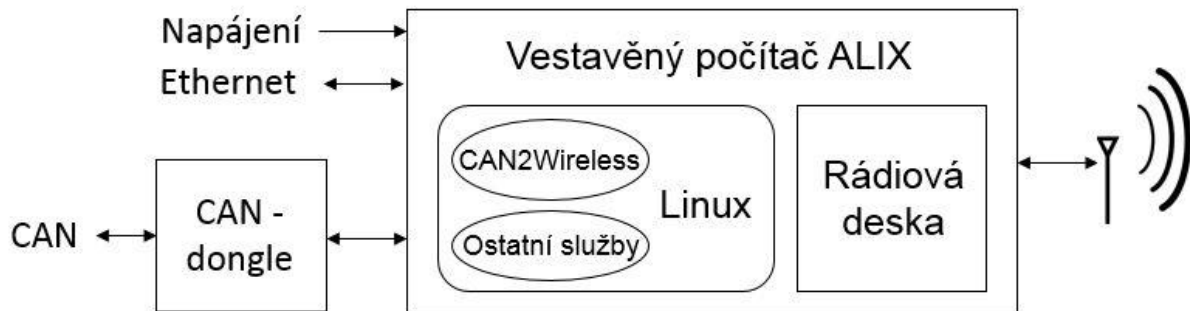
CAN (Controller Area Network) je sběrnice, která je nejčastěji využívána pro vnitřní komunikační síť senzorů a funkčních jednotek v automobilu. Často se CAN vyskytuje také u průmyslové automatizace. Tato sběrnice má za úkol zajistit přenos dat a řídicích povelů mezi mikroprocesory a zařízeními ve vozidle (také nazývány uzly nebo ECUs). Vozidlo může obsahovat několik CAN sběrnic pro jednotlivé oblasti. Vozidla využívající technologii platooning jsou doplněná o některé CAN sběrnice, jako jsou sběrnice pro řídicí algoritmus, senzory nebo V2V komunikaci. Uzel pro V2V komunikaci se chová jako bezdrátový přístup na sběrnice ostatních vozidel. To umožňuje sdílení informací o vozidle, jako je rychlost nebo

vzdálenost mezi vozidly na základě dat ze senzorů. Tyto sdílené informace jsou využívány pro řídicí algoritmus celé skupiny. V2V komunikace užívá standart IEEE 802.11p pro bezdrátovou komunikaci. IEEE 802.11p je doplněk standartu IEEE 802.11, který umožňuje bezdrátový přístup v prostředí vozidel (v angličtině: WAVE – Wireless Access in Vehicular Environments). Komunikace založená na tomto standartu je typu ad-hoc, neboli komunikace je vedena přímo mezi uzly (CAN sběrnicemi), nikoli přes žádné stanice. [101]

ETSI ITS-G5 je evropská varianta IEEE 802.11p, která je provozována v licencovaném pásmu 5,9 GHz. Toto frekvenční pásmo je vyhrazeno pro aplikace ITS (inteligentní dopravní systémy). Na ETSI ITS-G5 je také založen systém C-ITS. C-ITS (Cooperative Intelligent Transport Systems) je označení pro kooperativní inteligentní dopravní systémy založené na komunikaci jak mezi samotnými vozidly, tak také mezi vozidly a infrastrukturou. Tato platforma iniciována Evropskou komisí poskytuje řidičům informace o aktuální situaci v silničním provozu. Na této platformě již dnes běžně funguje tzv. preference vozidel na světelně řízených křižovatkách. Díky tomu mohou například vozy integrované záchranné služby efektivněji projíždět křižovatky a dostat se dříve na místo zásahu. [98,99]

Americkou obdobou ETSI ITS-G5 je DSRC. DSRC (Dedicated Short Range Communications) je jednosměrná nebo obousměrná schopnost bezdrátové komunikace krátkého až středního dosahu. Tato technologie dovoluje vozidlům mezi sebou komunikovat a předávat si informace o okolní situaci. Speciálně pro technologii DSRC byla vyhrazeno spektrum 75 MHz v pásmu 5,9 GHz. I technologie DSRC ve skutečnosti navazuje na technologie senzorů a kamer. DSRC využívá informace získané z těchto technologií a díky sdílení informací mezi jednotlivými vozidly vytváří lépe informované a bezpečnější prostředí. [86]

Příkladem V2V komunikačního systému může být návrh iniciovaný v rámci projektu SARTRE. Schématický přehled tohoto systému je k dispozici na obrázku 24. Jako hardware je u projektu SARTRE využit ALIX 3D3. Komunikační systém u projektu SARTRE je funkční díky softwaru CAN2Wireless běžící na operačním systému Linux. CAN2Wireless zpracovává data od CAN sběrnice a vyhodnocuje, které informace předá ostatním vozidlům. Systém je také díky ostatním službám schopný synchronizovat správně nastavený čas mezi jednotlivými vozidly. ALIX PC je vybaven jednou nebo dvěma rádiovými deskami. Rádiové desky spolupracují s anténami na přenosu dat a informací. Ethernetový port slouží k přímé komunikaci s V2V systémem. Používá se například pro programování, údržbu a aktualizaci softwaru V2V, nepoužívá se přímo pro funkci platooningu. [101]



Obrázek 24 - SARTRE komunikační systém [101]

## 2.4 Architektura komunikace

Komunikaci u technologie platooning můžeme obecně rozdělit na tři kategorie [71,86]:

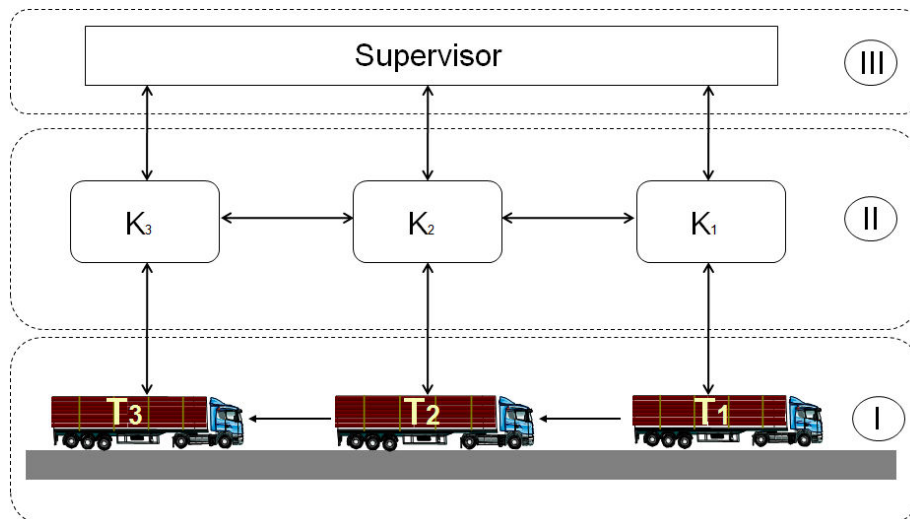
- Vehicle to vehicle (V2V) – komunikace mezi vozidly
- Vehicle to infrastructure (V2I) – komunikace mezi vozidlem a infrastrukturou
- Vehicle to everything (V2X) – kombinace dvou předešlých typů

Jedním ze základů, na kterém je celý systém platooningu postaven, je komunikace a sdílení informací mezi jednotlivými vozidly ve skupině, tak mezi celými skupinami vozidel. Z tohoto důvodu dělíme komunikaci v platooningu na tři vrstvy dle obrázku 25. [87]

První vrstva (Vrstva I) pracuje s informacemi získanými radary, lidary a různými typy senzorů. Ve vrstvě I se pracuje především s udržení správné vzdálenosti a rychlosti k dosažení bezpečné jízdy a vyhnutí se nebezpečným situacím, stejně jako přizpůsobení jízdy k dosažení ekonomičtější jízdy z hlediska spotřeby paliva. [87]

Vrstva II se zakládá na sdílení informací mezi členy skupiny prostřednictvím bezdrátových technologií. Tyto informace napomáhají k lepšímu a rychlejšímu rozhodování a dále také podporuje lepší spotřebu paliva a bezpečnost provozu. Tato vrstva je příkladem „vehicle to vehicle communication“ (V2V). [87]

Nejvyšší vrstva (Vrstva III) se chová jako řídicí prvek, který dohlíží na tvorbu skupin. Obecně tato vrstva má komplexní přehled o situaci na zpravovaných dopravních cestách a na základě těchto znalostí informuje skupiny a jejich členy o důležitých informacích, které by mohly ovlivnit jejich jízdu. Tato vrstva může obsahovat GPS systém, informace o omezení provozu, o stavu vozovky, o povětrnostních podmínkách atd. Vrstva III komunikuje aktivně s pohybujícími se vozidly, komunikace v této vrstvě je charakterizována jako „vehicle to infrastructure“ (V2I). [87]



Obrázek 25 - Architektura Platooning [87]

## 2.5 Způsob formování skupin

Jednou z otázek, která se s tématem platooningu nabízí a prozatím nebyla zodpovězena, je princip formování skupin v technologii platooning. Tato otázka není v současné době jasně vyřešena a rozuzlení této otázky především závisí na přesných parametrech samotné technologie platooning. Momentálně se nabízejí hlavní dva proudy [102]:

- Kooperace uvnitř jedné společnosti (Intra-Fleet Platooning)
- Kooperace mezi různými společnostmi (Inter-Fleet Platooning)

**Intra-Fleet Platooning** je jednou z možností, jakým způsobem řešit formování skupin v technologii platooning. Jedná se o jednoduchou variantu, která svým způsobem funguje v některých případech již dnes, kdy se nákladní vozidla jedné společnosti pohybují po silniční komunikaci společně v jedné skupině. Prozatím však nevyužívají výhod technologie platooning. Intra-Fleet Platooning je zároveň lehké ohodnotit z finančního hlediska, neboť vzorec pro výhodnost platooningu v případě využití této varianty je následující [102]:

$$UN = N_{p\u00fuv} - N_{plat} \quad (2)$$

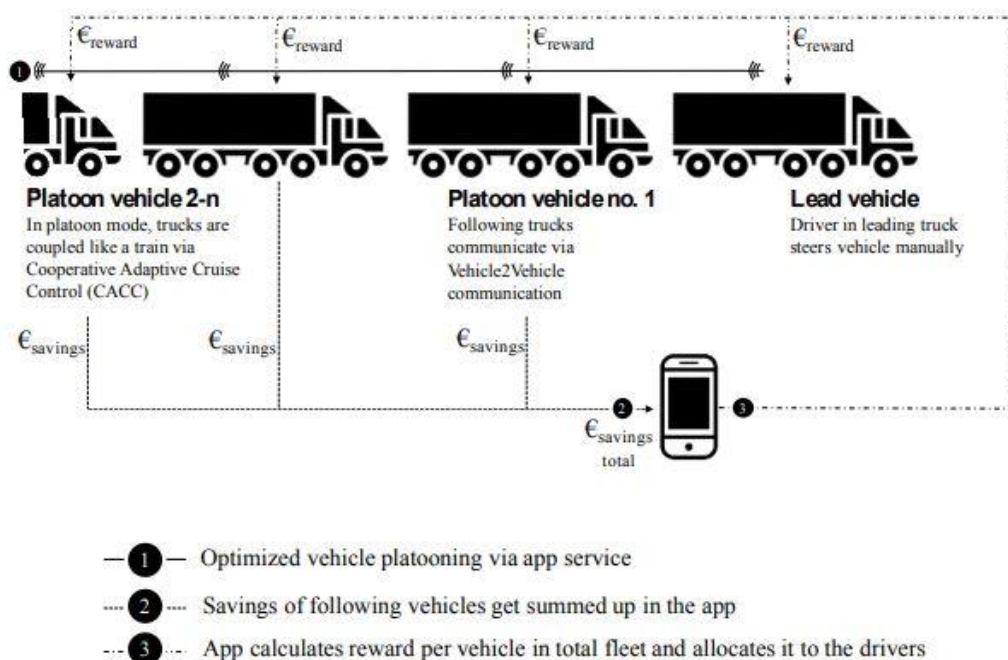
kde,

- $UN$  jsou ušetřené náklady - [Kč]
- $N_{p\u00fuv}$  jsou původní náklady společnosti, bez využití technologie platooning - [Kč]
- $N_{plat}$  jsou náklady společnosti, při využití technologie platooning - [Kč]

Pro tento vzorec, který slouží pro výpočet ušetřených nákladů pro jednu společnost provozující nákladní vozidla, není komplikované nalézt, případně odhadnout s dostatečnou přesností potřebné data pro výpočet. [102]

Organizování platooningu vlastními silami a pouze pro svojí flotilu přináší několik výhod. Tato verze nevyžaduje žádnou dodatečnou IT-infrastrukturu. Řidič a dispečeri mohou trasy přizpůsobovat plány a trasy tak, aby bylo dosaženo maximální efektivity v rámci společnosti, bez jakéhokoliv zásahu z okolí. Na základě této technologie je možné zoptimalizovat trasy v rámci společnosti. Intra-Fleet Platooning oproti těmto výhodám přináší také několik nevýhod. Tou nejvýznamnější je procentuální využití technologie platooning. Malý vozový park společnosti nebo rozmanitost v destinacích a sídlech zákazníků společnosti může způsobit minimální využití technologie platooning a tím pádem i minimalizaci výhod, které platooning přináší. Dále je třeba v rámci společnosti brát v potaz tuto technologii při hodnocení řidičů, neboť některé firmy ve svém hodnocení zahrnují i průměrnou spotřebu paliva. Tato hodnota může být u řidičů jedné společnosti hůře porovnatelná v případě Intra-Fleet Platooningu, neboť jeden řidič se může častěji vyskytovat ve vedení skupiny, kde úspory paliva v rámci platooningu jsou výrazně menší než u vozidel vedoucí vozidlo následující. [102]

**Inter-Fleet Platooning** je další možností formace skupin v technologii platooning. Tato varianta je založena na sdružování vozidel různých společností nezávisle na jejich majitelích. Přesný výpočet ušetřených nákladů pro jednu společnost není pro tuto variantu možný, jelikož tato varianta se chová více flexibilně a je ovlivněna několika faktory. Inter-Fleet Platooning vyžaduje nadřazenou aplikaci nebo technologii, která by daná vozidla sdružovala, například na základě jejich destinace. Tato centrální aplikace může fungovat jako nadstavba pro již dnes fungující systémy u dopravních společností (například Fleet Management Systems Interface). Centrální aplikace kromě poskytování spojování potenciálních partnerů může sbírat další informace jako jsou parametry trasy, zeměpisná poloha, váhu vozidla nebo rychlost. Tyto informace poslouží následně pro výpočet úspor a odměn pro jednotlivá vozidla ve skupině. Již bylo zmíněno, že úspory ve spotřebě paliva závisí na pořadí vozidla ve skupině. Úspory se zvyšují dle pořadí ve skupině. Z tohoto důvodu je ekonomicky nevýhodné celou skupinu vést a pro řidiče je výhodnější se připojit k jiné skupině. Tento problém vyřeší centrální aplikace, jejíž schéma je k dispozici na obrázku 26. Pro každé vozidlo, kromě vedoucího vozidla, jsou vypočítány úspory, které mu přináší začlenění ve skupině. Tyto úspory jsou po opuštění skupiny seskupeny od každého vozidla (kromě vedoucího vozidla) ve skupině a podle daného pravidla jsou tyto úspory rozděleny všem vozidlům ve skupině (včetně vedoucího vozidla). Tento návrh tak motivuje řidiče k vedení skupiny. [102]



Obrázek 26 – Inter-Fleet Platooning [102]

## 2.6 Legislativa

Oblast, která bývá v případě autonomních vozidel a platooningu označována jako nejvíce problémová, je legislativa. Ve skladech a dalších podobných prostorách sice již několik let běžně fungují bezpilotní vozíky a plní jednodušší úkoly. Na pozemních komunikacích jsou však pravidla zcela odlišná a mnohem komplikovanější než v soukromých skladech. [88]

Počítač je velmi užitečný při úkolech, které lze dopředu předpokládat a lze počítač na ně připravit. Pokud počítač řeší jasné a přesně vymezené úkoly, dokáže je provádět nesrovnatelně rychleji a přesněji nežli člověk. Dojde-li však k situaci, kterou nelze předvídat, stroj nedokáže jednat pružně a flexibilně, jako je to u lidské inteligence. Z toho důvodu má autonomie a platooning určitá omezení, a proto není stále připravená potřebná legislativa pro umožnění provozu autonomních vozidel nebo platooningu. [88]

Historie již nabízí několik případů, kdy během autonomního řízení došlo k dopravní nehodě, které dokonce připravily o život účastníky silničního provozu. Například v roce 2017 došlo v americkém městě Tempe k nehodě, která je zaznamenána, jako první nehoda autonomního vozidla během které zemřel chodec. Vozidlo společnosti Uber srazilo chodkyni s kolem, která vstoupila do vozovky. I přesto, že vozidlo ženu detekovalo pomocí radarů 6 sekund před nárazem, samotný pokyn k nouzovému brzdění byl vydán teprve 1,3 sekundy před nárazem. Nouzové brzdění však bylo z několika důvodů vypnuté. Řidič v autonomním vozidle proto impulsivně stačil strhnout volant, čímž byl deaktivován samořídící systém. Samotné nehodě zabránit již nedokázal. Chodkyně přecházela silnici mimo místo tomu určené, zároveň mimo

oblast osvětlenou pouličními lampami a oblečená v tmavém oblečení. Otázkou zůstává, kdo je za tuto nehodu zodpovědný. Může jim být firma výrobce technologie, provozovatel - společnost UBER, jehož nastavení nebylo dostatečné pro zabránění nehodě, řidič autonomního vozidla nebo samotná chodkyně, která přecházela komunikaci nezodpovědným způsobem. Podobným nehodám se autonomní vozidla a vozidla v systému platooning pravděpodobně nevyhnou ani v budoucnosti. Je proto nezbytné vyřešit otázku odpovědnosti za škodu způsobenou u dopravních nehod, ve které jsou zapojena autonomní vozidla nebo vozidla platooningu. [89,90]

Současná legislativa, konkrétně Zákon č.361/200s Sb. (Zákon o provozu na pozemních komunikacích) prozatím počítá s řidičem zodpovědným za jízdu vozidla. Otázkou zůstává, na koho případně odpovědnost za provoz aut v případě autonomních vozidel a vozidel v systému platooning. [91]

Jednou možnou variantou je rozšíření definice řidiče, a to takovým způsobem, že kromě osoby, která řídí motorové vozidlo se jedná také o osobu, která aktivuje automatizovanou funkci řízení. Takový návrh zákona obsahovala novela zákona č.361/2000 Sb. „*Řidič je účastník provozu na pozemních komunikacích, který řídí motorové nebo nemotorové vozidlo anebo tramvaj; řidičem je i jezdec na zvířeti; řidičem je také ten, kdo aktivuje vysoce nebo plně automatizovanou funkci řízení a používá ji pro řízení vozidla, i když vozidlo sám neřídí*“. Tuto novelu můžeme považovat za mezistupeň pro zakotvení autonomních vozidel v právním řádu. Inspirací pro českou legislativu je německý právní řád, která jasně definuje, co všechno autonomní vozidlo musí splňovat a nedovoluje jízdu bez řidiče. Naopak úprava legislativy jasně definuje jeden z požadavků, který žádá, aby autonomní vozidlo dokázalo vyhodnotit kritickou situaci, kdy je nutné převzetí řízení vozidla řidičem. Nejedná se tak o plně autonomním systémem (stupeň 5 dle NHTSA), avšak tato úprava je dostačující pro provoz vozidel v systému platooning. [91,92]

Navržená novela umožňující provoz vozidel s automatizovanou funkcí není ke dni 12.5.2019 ukotvena v zákoně. [93]

## 2.7 Aerodynamický odpor

Následující kapitola popisuje jízdní odpory působící na pohybující se vozidlo se zaměřením na aerodynamický odpor.

Na vozidlo pohybující se po pozemních komunikacích působí síly, které mají vliv na jeho pohyb. Celkový jízdní odpor ( $O_c$ ) se sestává z několika druhů odporů. Mezi tyto odpory jsou řazeny [66]:

- Aerodynamický odpor ( $O_v$ )

- Valivý odpor ( $O_f$ )
- Odpor stoupání ( $O_s$ )
- Odpor zrychlení ( $O_z$ )

V případě, že vozidlo je spojeno s přívěsem, pro přesnější výpočet je nutné přičíst k uvedeným odporům i odpor přívěsu ( $O_p$ ). Pro celkový jízdní odpor působící na vozidlo platí proto následující rovnice [66]:

$$O_c = O_f + O_v + O_s + O_z \quad (3)$$

Z hlediska technologie platooning je nejzajímavější aerodynamický odpor. Aerodynamická síla působí proti relativnímu pohybu vozidla. Tato síla je vytvářena okolním prostředím, ve kterém se vozidlo pohybuje. Celkový vzdušný odpor je možné vypočítat pomocí následující rovnice:

$$O_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S_x \cdot c_x \cdot v_r^2 \quad (4)$$

kde:

- $\rho$  je měrná hmotnost vzduchu - [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]
- $S_x$  je čelná plocha vozidla - [ $\text{m}^2$ ]
- $c_x$  je součinitel vzdušného odporu - [bez jednotky]
- $v_r$  je výsledná rychlost proudění vzduchu kolem vozidla - [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

Při pohybu vozidel na pozemních komunikacích ovlivňuje jeho pohyb odpor. Tento odpor můžeme rozdělit na odpor tlakový a třecí. Tlakový odpor způsobuje rozdíl tlaků před a za vozidlem. Na přední část vozidla naráží při jeho pohybu proud vzduchu, který ztrácí svoji rychlost, a proto se v této části zvýší tlak. Naopak za zadní částí vozidla dochází k poklesu tlaku vlivem vířícího se vzduchu. Rozdílem tlaků mezi jednotlivými částmi vzniká vzdušný odpor. Třecí odpor je způsoben viskozitou vzduchu. Jelikož částice vzduchu, které se pohybují v blízkosti vozidla ulpívají na jeho povrchu, není proudění vzduchu kolem vozidla beze ztrát. [66]

Sílu aerodynamického odporu výrazně ovlivňují charakteristiky vzduchu obklopující vozidlo a tím pádem i jízdní vlastnosti vozidel. Pro výpočet celkového aerodynamického odporu je nezbytné znát hodnotu **měrné hmotnosti vzduchu ( $\rho$ )**. Tato fyzikální veličina charakterizuje míru hmotnosti na jednotku objemu. Přesnou hodnotu této veličiny ovlivňuje také teplota a hustota vzduchu. Pro výpočet měrné hmotnosti vzduchu je možné použít následující rovnici [66]:

$$\rho = \frac{354 \cdot p}{t + 273} \quad (5)$$



Běžně používaná hodnota je  $\rho = 1,25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , která odpovídá teplotě  $t = 15^\circ\text{C}$  a  $p = 1,013\text{bar}$ . [66]

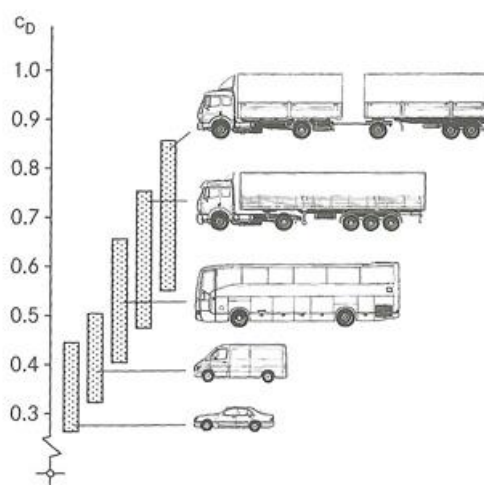
Další faktor, který ovlivňuje výslednou hodnotu aerodynamického odporu, je **velikost čelní plochy vozidla**. Tato veličina je definovaná jako plocha, která se promítne na projekční stěnu vlivem nasvícení paralelním světlem. K určení této plochy existuje několik způsobů [66]:

- Projekční metoda – nasvícení roviny kolmé k ose vozidla světlem a získání obrysu vozidla z projekční stěny
- Použití laserového měřicího systému
- Výpočet plochy z výkresu
- Použití zjednodušeného vztahu  $S_x = B \cdot H$

Kde

- **H** je celková výška vozidla - [m]
- **B** je rozchod kol vozidla - [m]

Pro výpočet aerodynamického odporu je také potřebné získat hodnotu **součinitele vzdušného odporu**. Tato veličina zohledňuje jak tvar tělesa, tak také kvalitu povrchu tělesa. Součinitel vzdušného odporu je bezrozměrná veličina, u dnešních vozidel se pohybuje kolem hodnoty 0,3, u rozměrnějších vozidel, jako je například typ SUV či crossover se tato hodnota pohybuje okolo hodnoty 0,4. U rozměrnějších vozidel, jejichž tvar je méně přizpůsoben proudu vzduchu, dosahují hodnoty součinitele vzdušného odporu vyšších hodnot. U autobusů se tato hodnota pohybuje od 0,4 do hodnoty 0,65, u nákladních vozidel nabývá součinitel vzdušného odporu hodnoty 0,75. U tandemových nákladních vozidel může hodnota součinitele vzdušného odporu vystoupat až na hodnotu okolo 0,85. Přehled typů vozidel a jejich součinitelů odporu vzduchu je k dispozici na obrázku 27. [66, 67, 68]



Obrázek 27 - Součinitele odporu pro vozidla [67]

**Rychlost proudění vzduchu kolem vozidla** je další z veličin, které ovlivňují výsledný aerodynamický odpor. Tuto veličinu je možné si představit jako rychlost proudícího vzduchu ve směru osy x. Jedná se o náporovou rychlost v případě, že se vozidlo pohybuje v prostředí, ve kterém vládne bezvětří, rovná se rychlost proudění vzduchu kolem vozidla rychlosti vozidla. V případě, že započítáváme i rychlost vzduchu, je výsledná rychlost proudění vzduchu kolem vozidla rovna součtu vektorů rychlosti větru a rychlosti vozidla. [66,69]

Platooning je jednou z možných cest jak aerodynamický odpor snížit a docílit tak nižších jízdních odporů vedoucí ke snížení spotřeby paliva.

### 3 Současné projekty platooningu

V předchozí části této diplomové práce již bylo zmíněno, že vývoj technologie platooning je dlouhodobá záležitost, která je řešena několika organizacemi, včetně několika automobilových výrobců. Většina z těchto projektů zaznamenala již své první úspěšné testy, a proto se myšlenka jeví jako možná budoucnost dopravy. Mezi projekty, které se aktivně zabývají platooningem, se řadí [71]:

- Safe Road Trains for the Environment (SARTRE)
- Partial Automation for Truck Platooning (PATH)
- Grand Cooperative Driving Challenge (GCDC)
- Energy ITS
- KONVOI

Jelikož existuje několik projektů na řešení vývoje technologie platooning, je lehké odvodit, že cest k tomuto vývoji vede několik. Hlavním cílem dopravního odvětví by však i přesto mělo být sdílení informací mezi těmito projekty a snaha docílit sjednoceného systému, díky kterému budou rozdíly mezi realizací na jednotlivých kontinentech a v jednotlivých zemích minimální. Takový přístup může zjednodušit implementaci technologie platooning do reality a vyhnout se problémům s nesouladem mezi jednotlivými řešeními problematiky platooningu. [71]

#### 3.1 Safe Road Trains for the Environment (SARTRE)

Jeden ze současných projektů, který se aktivně zabývá vývojem a řešením technologie platooning, je evropský projekt SARTRE („Safe Road Trains for the Environment“).

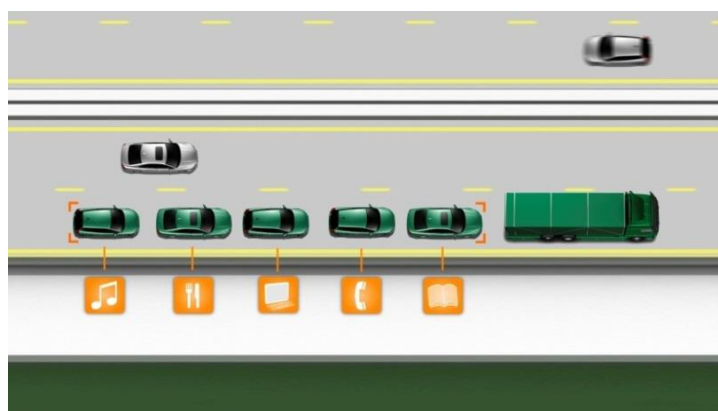
Všechny projekty, které se platooningem zabývají, řeší podélné řízení jednotlivých vozidel. Systém vyvíjený programem SARTRE není výjimkou. Projekt SARTRE řeší také boční ovládání, a to pomocí pozorování a sdílení informací. Díky tomuto faktu se pouze řidič vedoucího vozidla musí aktivně věnovat řízení, ostatní členové skupiny mohou řešit jiné záležitosti. Spojení a odpojení od skupiny v projektu SARTRE funguje dynamicky, obecně je snaha docílit vytvoření skupiny, jejichž členové mají podobný cíl cesty. [36, 71, 97]

Projekt SARTRE je kromě senzorů, jako jsou radary a lidary, založen také na komunikaci V2V mezi členy skupiny. Tato komunikace funguje na principu ITS-G5 a je důležitý a nezbytná pro zajištění bezpečnosti provozu, efektivní spotřeby paliva, pohodlí řidiče a dopravy šetrné k životnímu prostředí. [36, 71]

Hlavním rozdílem oproti dalším projektům je ve složení vytvářených skupin. Většina dalších projektů vytváří skupiny, ve které jsou vozidla stejného typu (např. osobní automobily, nákladní

vozidla). Oproti tomu projekt SARTRE počítá se smíšenými skupinami, kde se v jedné skupině může pohybovat jak osobní, tak nákladní vozidlo. [71]

Tento projekt má již za sebou první úspěšné testy. Největším úspěchem je pravděpodobně úspěšný test absolvovaný v roce 2012, kdy se skupina pěti vozidel pohybovala ve skutečném provozu poblíž španělského města Barcelona. Simulace a testy přímo v reálném provozu potvrdily hypotézu, že platooning vede ke zvýšení průměrné rychlosti dopravního proudu, dokáže redukovat dopravní kongesce a zvyšuje efektivitu dopravního proudu. Teoretický příklad skupiny vozidel, dle projektu SARTRE, je uveden na obrázku 28. Dle tohoto příkladu je patrné, že projekt SARTRE počítá s nehomogenním složením jednotlivých skupin, kde mohou být kombinovány jak osobní, tak nákladní automobily. [71]



Obrázek 28 – SARTRE [71]

### 3.2 Partial Automation for Truck Platooning (PATH)

PATH je projekt vyvíjen ve Spojených státech amerických od 90. let 20. století. Hlavní motivací pro vývoj této technologie bylo zvýšit kapacitu dopravní cesty snížením odstupů mezi vozidly. Simulace prováděné v rámci tohoto projektu ukázaly, že je možné zvýšit kapacitu jízdního pruhu na dvojnásobnou až trojnásobnou hodnotu nad současnou hodnotu, pokud by vozidla tvořila skupiny s přibližně deseti členy. Simulace a modelování možných situací také odhalily výhody technologie platooning oproti obvyklému individuálnímu přístupu k řízení vozidel. Zároveň tento projekt se zabývá řešením dostatečné vzdálenosti mezi jednotlivými skupinami vozidel. Tato vzdálenost má zajistit, že i při nejhorším možném scénáři a vzniku dopravní nehody ve skupině dokáže následující skupina vozidel včas zabrzdit a minimalizovat tak počet vozidel zapojených do dopravní nehody. [36, 71, 107]

Projekt PATH pracuje s variantou, že veškerá vozidla pohybující se ve skupinách budou řízeny autonomně, díky čemuž bude odstraněna možnost chyby řidiče vedoucí k nebezpečným situacím. Tento projekt na rozdíl od ostatních projektů nepotřebuje aktivního řidiče ve vedoucím vozidle skupiny. [36, 71, 107]

PATH poprvé otestoval podélné řízení v roce 1994, kdy úspěšně realizoval provoz čtyř vozidel ve skupině, kde jednotlivé mezery mezi vozidly se rovnaly čtyřem metrům. Podobně úspěšný byl projekt PATH i v roce 1997, kdy se již ve skupině pohybovalo osm vozidel plně pod automatickou kontrolou. PATH od roku 2015 spolupracuje na vývoji CACC společně s automobilovým výrobcem Volvo. [36, 71, 107]

Více pozornosti věnuje projekt PATH nákladním vozidlům, protože právě nákladní vozidla nabízejí větší potenciál v ušetřeném palivu díky výrazně vyššímu snížení aerodynamického odporu oproti vozidlům osobním. Dle výpočtů členů projektu PATH umožňuje jejich řešení platooningu, kdy jedna skupina se skládá ze tří vozidel, kapacitu přibližně rovnou 1500 vozidlům za hodinu. Tato hodnota je dvakrát vyšší než jaké je schopna dosáhnout doprava v současném stavu. Různé experimenty provedené na základě projektu PATH ukázaly, že vedoucí vozidlo ve skupině ušetří přibližně 5% paliva, ostatní členové skupiny pak ušetří 10 až 15%. [36, 71, 107]

### 3.3 Grand Cooperative Driving Challenge (GCDC)

Grand Cooperative Driving Challenge (GCDC) je soutěž několika týmů v oblasti platooningu. Cílem tohoto projektu je rozšířit kooperaci mezi jednotlivými týmy, které se zabývají technologií platooning. Týmy v rámci této soutěže mohou porovnat své zkušenosti a přístupy k řešení jednotlivých problémů. [71,108]

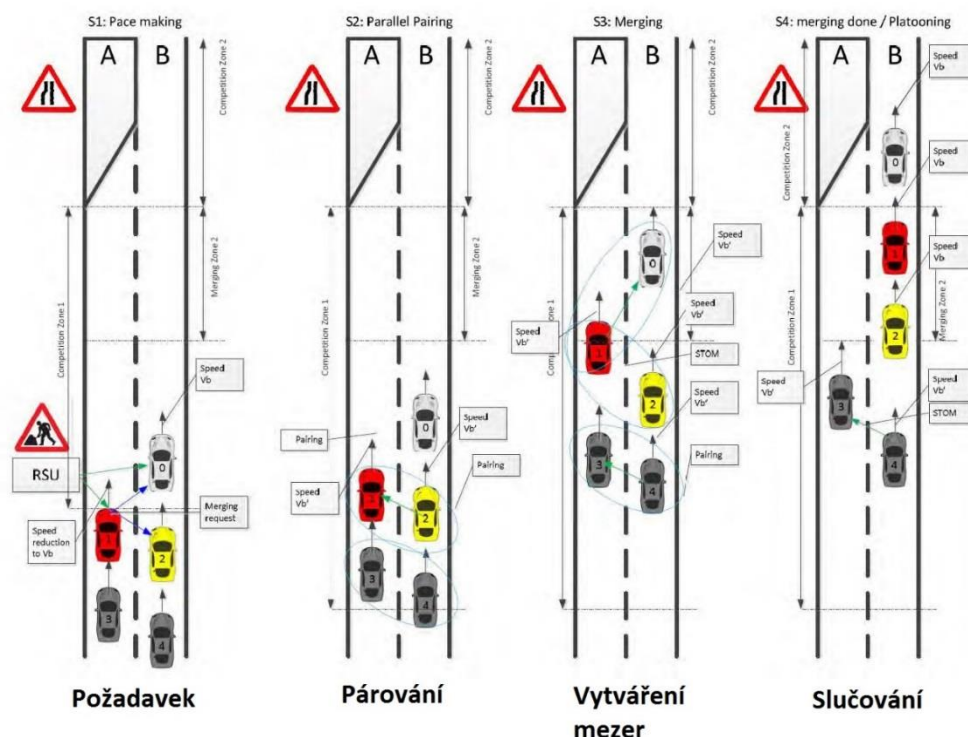
GCDC prozatím uspořádal dvě akce, během kterých se jednotlivé týmy potkaly a porovnávaly se jejich přístupy a řešení modelových situací. První z těchto akcí se konala v roce 2011 v nizozemském městě Helmond, na stejném místě se uspořádala i druhá akce GCDC v roce 2016. [108]

Testování v roce 2011 se účastnilo devět týmů. V rámci tohoto testování, byly vytvořeny dva scénáře, jeden pro městský a druhý pro dálniční provoz. Scénář zaměřený na provoz ve městě měl za úkol spojit dvě po sobě následující skupiny dohromady. Dálniční scénář se pak zaměřoval na formování skupin a sledování výkonnosti platooningu při různých situacích. [108]

V roce 2016, kdy se testování zúčastnilo deset evropských týmů, se projekt zaměřil více do hloubky platooningu, kdy již je brána tato technologie jako základní předpoklad. V rámci těchto testů byly uskutečněny náročnější úkony, jako je spojení více skupin dohromady nebo vyřešení komplikovaných situací na křižovatkách. Oproti roku 2011 také týmy pracovaly nejen s technologií ovládající podélné řízení, ale také se již pracovalo s technologií ovládající boční řízení. [108]

Jeden ze scénářů, který měly zúčastněné týmy vyřešit, je postup slučování dvou skupin, například před zúžením. Takový příklad je zobrazen na obrázku 29. [109]

## POSTUP SLUČOVÁNÍ



Obrázek 29 – Postup slučování GCDC [109]

### 3.4 Energy ITS

Energy ITS je japonský projekt, který byl zahájen v roce 2008. Pouze japonský dopravní systém v tomto roce vyprodukoval 228 milionů tun  $\text{CO}_2$ , a proto japonská vláda zahájila hledání řešení této problematiky. Hlavními cíli bylo: nalezení možnosti úspor energie, snížení produkce oxidu uhličitého a zvýšení komfortu a pohodlí řidiče. [36]

Projekt Energy ITS je založen na skupině tvořené třemi vozidly. Stejně jako projekty SARTRE nebo PATH, i Energy ITS se zabývá jak bočním, tak podélným řízením. I zde fungují různé senzory, které napomáhají podélnému řízení, stejně tak jako s komunikací typu V2V a V2I. [36,71]

Z hlediska náročnosti je pro techniky větší výzvou nalezení finančně uspokojivého řešení boční kontroly pohybu vozidla. Energy ITS řeší toto řízení pomocí systému „čtení“ jízdních pruhů. Vozidla, která se zapojují do skupin v projektu Energy ITS, jsou vybavena na levé straně ve směru jízdy dvěma jednotkami strojového vidění, které mají za úkol určit vzdálenost vozidla od souvislé podélné čáry a na základě této informace systém udržuje vozidlo v jízdním pruhu. Tyto jednotky jsou umístěny na začátku a konci vozidla. Kamerové jednotky nejen, že dokáží určit vzdálenost mezi vozidlem a čarou, ale také dokážou určit úhel natočení vozidla vzhledem k čáře. To hraje velmi důležitou roli pro udržení vozidla ve správném směru. Zmíněné jednotky

strojového vidění se skládají ze dvou částí: CCD kamery a kombinace laserového scanneru s optoelektronickým přijímačem. Ve většině případů je čára jízdního pruhu zaznamenána CCD kamerou, která dokáže určit vzdálenost od čáry s přesností na 1 cm. V některých případech, jako je například hustý déšť nebo jiné případy, kdy je vozovka pokryta vrstvou vody, není CCD kamera schopná zaznamenat polohu čáry jízdního pruhu. V tento moment se využívá laserový scanner, který dokáže rozeznat rozdíl odrazu mezi asfaltem vozovky a čarou jízdního pruhu. [36]

Pro podélné řízení vybavuje projekt Energy ITS každé vozidlo 76 GHz radarem a lidarem, které dohromady dokáží určit vzdálenost mezi vozidly. Komunikace mezi vozidly je zajištěna dvěma způsoby: technologií DSRC a infračerveným zářením. [36]

Energy ITS se soustředí pouze na nákladní vozidla. I zástupci tohoto projektu vidí větší příležitost a potenciál ve zvyšování efektivity v nákladní silniční přepravě. Důvodem je také méně vřelé přijetí tohoto systému řidiči osobních automobilů a jako lepší řešení se jeví zahájení realizaci tohoto projektu u nákladních vozidel s profesionálními řidiči.

V rámci projektu Energy ITS proběhlo již několik testovacích jízd. Jedna z takových je zachycena na obrázku 30. [100]



Obrázek 30 – Energy ITS [100]

### 3.5 KONVOI

Projekt KONVOI byl založen spolkovým ministerstvem hospodářství a energetiky, který trval od roku 2005 do roku 2009. Na tomto projektu se podílela především univerzita v Aachenu.

Cílem tohoto projektu, podobně jako u předešlých, bylo sdružování vozidel do dvou a více členných skupin. I zde bylo první vozidlo řízeno manuálně, zatímco všechna ostatní vozidla následovala vedoucí vozidlo na základě autonomních systémů. Zároveň drží prvenství

v podobě prvního zapojení technologie platooning do reálného provozu. Konkrétně tomu bylo v roce 2009. [36]

KONVOI používá pro boční řízení vozidla pomocí CMOS kamery, stejně tak jako komunikaci V2V. Pro podélné řízení je vozidlo vybaveno dále také radary. Na rozdíl od ostatních projektů, projekt KONVOI ve svých publikovaných výsledcích simulací ohledně úspor paliva počítá i s vlivem okolního prostředí. Skupinu vozidel může například rozdělit vozidlo, které potřebuje odbočit z dálnice na vedlejší komunikace nebo k benzínové pumpě. I tyto vlivy jsou v simulacích započítány. [36]



### 3.6 Shrnutí

Tabulka 6 shrnuje získané informace o vybraných projektech zabývajících se technologií platooning.

Tabulka 6 - Projekty Platooning [36,71,97,107,108]

Projekt	Země	Boční ovládání	Podélné ovládání	Typ skupin	Změny infrastruktury	Vzdálenost mezi vozidly	Rychlost	Úspora paliva	Komunikace
SARTRE	EU	Ano	Ano	S	Žádné změny	4-6 m	90 km/h	8(1.)-16%	ETSI ITS-G5
PATH	USA	Ano	Ano	H	Referenční značky ve vozovce	4-6 m	90 km/h	5 - 10(1.) - 10-15%	DSRC
GCDC	Evropa	2011: NE 2016: ANO	Ano	S	Vysoce přesné polohování	-	-	-	ETSI ITS-G5
Energy ITS	Japonsko	Ano	Ano	H	Žádné změny	4,7 m	80 km/h	18 (13)% -15 (10)%	DSRC
KONVOI	Německo	Ano	Ano	H	Žádné změny	10 m	N	2(1.) - 11%	N

S – Smíšené skupiny (nákladní vozidla, osobní vozidla)

H – Homogenní skupiny

N – Nedohledáno

## 4 SWOT analýza

SWOT analýza je univerzální metoda využívaná pro zhodnocení vnitřních a vnějších činitelů ovlivňujících úspěšnosti konkrétního projektu nebo organizace. Často se tato analýza používá jako situační analýza v rámci strategického řízení.

V rámci této diplomové práce je vypracována SWOT analýza z pohledu dopravní společnosti, která uvažuje o zavedení této technologie ve svém provozu kamionové dopravy. Tato dopravní společnost může být zařazená do skupiny malých nebo středních podniků. Jedná se tedy, dle definice Ministerstva průmyslu a obchodu, o společnost s obratem do 50 milionů € (přibližně 1 283 milionů Kč) nebo s méně jak 250 zaměstnanci. [103] Příklady takových firem sídlících v České republice je možné nalézt v tabulce 7. Obecně se však tyto společnosti považují v rámci nákladní dopravy za velké. Je počítáno odhadem, že každá dopravní společnost působící v oblasti kamionové dopravy obnoví během jednoho roku 10% svého vozového parku. Na základě tohoto předpokladu je vypočítána hodnota v posledním sloupci tabulky 7.

*Tabulka 7 - Malé a střední podniky v kamionové dopravě [110,111]*

Název	Sídlo	Obrat v roce 2017 [tis. Kč]	Počet vozidel	Počet vozidel nových za rok
JAPO -Transport s.r.o.	Jihomoravský kraj	503 070	135	14
ŠINDELÁŘ SPEDITION s.r.o.	Jihočeský kraj	417 260	160	16
QUICKTRANS s.r.o.	Zlínský kraj	147 309	60	6
VPM-Trans s.r.o.	Zlínský kraj	124 605	48	5
Mikostar Logistics s.r.o.	Zlínský kraj	107 662	55	6

Podobných společností, jako jsou uvedeny v tabulce 7, působí v České republice několik desítek. Pro všechny je technologie platooning zajímavým konceptem a budou v budoucnosti uvažovat o jejím užívání. O tuto technologii budou mít zájem také velké dopravní společnosti, jako je například ESA s.r.o., která svým ročním obratem 3 903 142 tis. Kč spadá do skupiny velkých podniků. [111] Flotila čítající více jak 250 vozidel určitě nabízí diskuzi ohledně zavedení technologie platooning. Pro takovou společnost však není následující SWOT analýza primárně určena, i přesto, že některé body mohou platit i pro ní.

SWOT analýza pro malou a střední společnost podnikající v oblasti vnitrostátní a mezinárodní kamionové dopravy je uvedena v tabulce 8.

Tabulka 8 - SWOT Analýza [zdroj: autor]

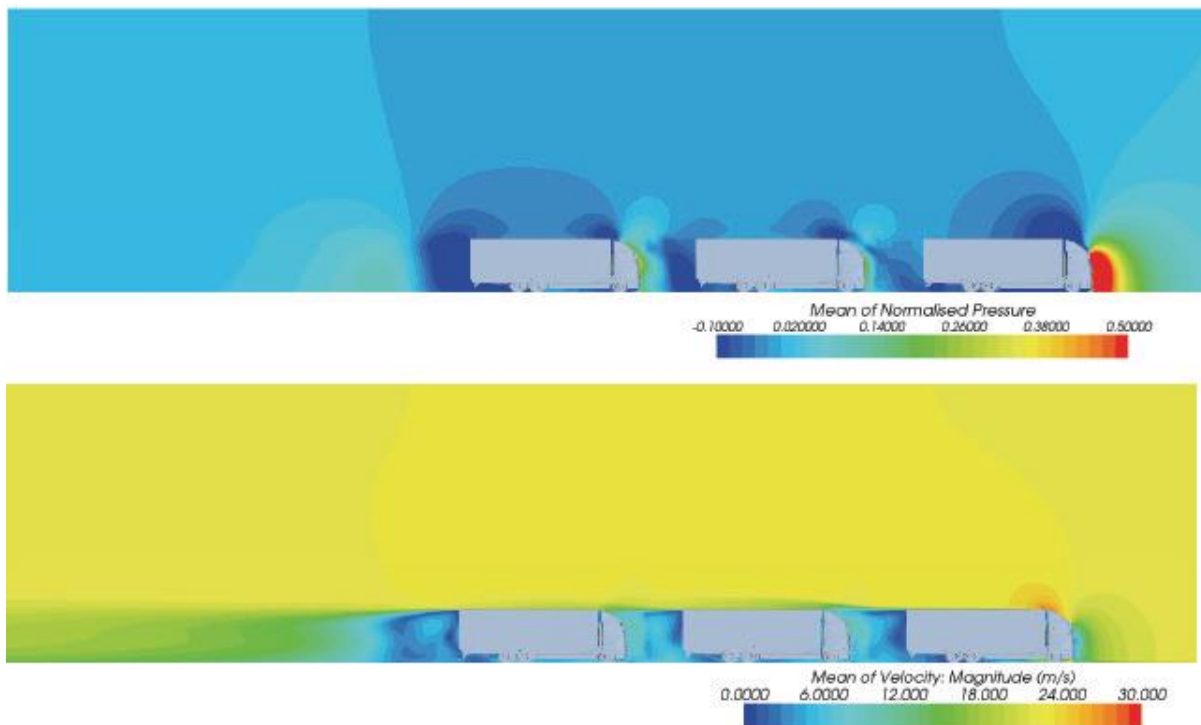
	<b>Pozitivní</b>	<b>Negativní</b>
<b>Vnitřní prostředí</b>	<b>Silné stránky (Strengths)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Snížení nákladů za palivo</li> <li>• Zvýšení kapacity silničních komunikací</li> <li>• Zvýšení bezpečnosti dopravy</li> <li>• Komfort posádky vozidel</li> </ul>	<b>Slabé Stránky (Weaknesses)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Investiční náklady</li> <li>• Reakce na nestandardní situace</li> <li>• Psychologická stránka projektu – řidič</li> <li>• Tvorba Platoon</li> </ul>
<b>Vnější prostředí</b>	<b>Příležitosti (Opportunities)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kooperace s dalšími společnostmi</li> <li>• Snížení dopadů dopravy na životní prostředí</li> <li>• Optimalizace dopravního proudu</li> </ul>	<b>Hrozby (Threats)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kybernetický útok</li> <li>• Doprava nevyužívající Platooning</li> <li>• Legislativa</li> </ul>

#### 4.1 Silné stránky

Silné stránky budou v rámci této diplomové práce rozepsány do podkapitol.

##### 4.1.1 Snížení nákladů za palivo

Jeden ze základních cílů technologie platooning je snížit spotřebu nákladních vozidel, u některých projektů také spotřebu paliva osobních automobilů. Jelikož náklady za palivo tvoří u dopravních společností 1/3 provozních nákladů, je i menší změna v této položce znatelná v celkových provozních nákladech. Snížením mezer mezi vozidly dojde ke snížení aerodynamického odporu. Pohyb vozidla, které se těsně pohybuje za jiným vozidlem, je ovlivněn nižší hodnotou tlaku vzduchu, která ovlivňuje hodnotu měrné hmotnosti vzduchu a zároveň i rychlost proudění vzduchu kolem vozidla je nižší než při podmínkách, kdy technologie platooning není využívána. Jelikož jsou měrná hmotnost vzduchu a rychlost proudění vzduchu kolem vozidla jedny ze složek celkového aerodynamického odporu, je možné technologií platooning snížit aerodynamický odpor, stejně jako celkový jízdní odpor. Výsledná síla působící proti pohybu vozidla je nižší a k dosažení určité rychlosti je potřeba menší síly než za konvenčního provozu. Princip fungování „vzduchového pytle“ je uveden na obrázku 31. Vrchní část obrázku znázorňuje tlak působící v daném místě, přičemž studenější barva charakterizuje nižší tlak vzduchu. U druhého části obrázku je pomocí stejné logiky popsána rychlost vzduchu v okolí vozidel.



Obrázek 31 - Spotřeba paliva [112]

Přesnou hodnotu, o kolik dokáže platooning snížit spotřebu paliva, není možné obecně definovat, neboť závisí na několika podmínkách, ať už je to typ vozidla, typ motoru, rychlost vozidel, povětrnostní podmínky, váha vozidla, počtu vozidel ve skupině a další. Nicméně studované projekty zmíněné v kapitole 4 zaznamenaly vždy ve svých testovacích jízdách zlepšení v oblasti spotřeby paliva. Neoptimističtější je v tomto ohledu japonský projekt Energy ITS, který při vzdálenosti vozidel 4,7 m snížil spotřebu u prázdných nákladních vozidel o 18% u následujících vozidel a o 13% u prvního (vedoucího) vozidla. U naložených vozidel byla spotřeba o 15%, respektive o 10%. Podobné výsledky zaznamenal i evropský projekt SARTRE, kde se pohybuje snížení spotřeby od 8% (u prvního vozidla) až po 16% (následující vozidla). Oproti tomu německý projekt KONVOI je méně optimistický a na základě svých testů uvedl snížení spotřeby paliva o pouhá 2% u prvního vozidla a 11% u následujících. Obecně se uvádí, že snížení spotřeby paliva se pohybuje mezi 4% až 10% pro každé vozidlo ve skupině při rychlosti 80 km/h. [102]

#### 4.1.2 Zvýšení kapacity silničních komunikací

Jedním z problémů, který současnou dopravu trápí, je omezená kapacita silničních komunikací. Zvyšující se objemy dopravy zatěžují současnou infrastrukturu, která není schopná zabezpečit plynulý provoz. Momentálně používané nástroje, jako je dynamické mýto nebo zákaz pohybu nákladních vozidel po komunikacích v určité denní době, jsou účinné, ne však dostatečně efektivní a z hlediska budoucnosti jsou tak nedostačující pro další rozvoj dopravy.

Dle nastudovaných odborných článků a literatury přináší platooning zlepšení v oblasti kapacity silničních komunikací. Snížení mezer mezi pohybujícími se vozidly umožňuje zvýšit hodnotu hustoty dopravního proudu při stejné rychlosti a na základě toho zvýšit intenzitu dopravního proudu. Nejvyšší možná hodnota intenzity dopravního proudu se nazývá kapacita. Cílem dopravních inženýrů je docílit co nejvyšší hodnoty kapacity silniční komunikace.

Na základě teorie dopravního proudu lze vypočítat teoretické hodnoty kapacity silničních komunikací v případě využití technologie platooning a porovnat je se současnými hodnotami. Pro tento účel je vytvořen vzorec (6) a (7). Vzorec (6) zajišťuje výpočet hustoty dopravního proudu, vzorec (7) umožňuje vypočítat hodnotu kapacity silniční komunikace.

$$k = n \cdot \left( \frac{1000}{s \cdot n + (n-1) \cdot d + D} \right) \quad (6)$$

kde:

- k je hustota dopravního proudu pro maximální hodnotu intenzity dopravního proudu - [voz/km]
- n je počet vozidel ve skupině (počet vozidel v platoonu) - [-]
- s je délka vozidla - [m]
- d je vzdálenost mezi vozidly ve skupině - [m]
- D je vzdálenost mezi skupinami - [m]

$$C = v \cdot k \quad (7)$$

kde:

- C je maximální hodnota intenzity dopravního proudu (kapacita) - [voz/km]
- v je rychlosti dopravního proudu - [m/s]
- k je hustota dopravního proudu pro maximální hodnotu intenzity dopravního proudu - [voz/km]

Tabulka 9 obsahuje vypočítané hodnoty kapacity silniční komunikace a hustotu dopravního proudu pro kapacitu silniční komunikace při různých podmínkách. Pro výpočet jsou použity 6 a 7, pro délku vozidla je použita hodnota 16,5 m, která je standardní pro evropský typ návěsové soupravy.

Tabulka 9 - Kapacita silniční komunikace [autor]

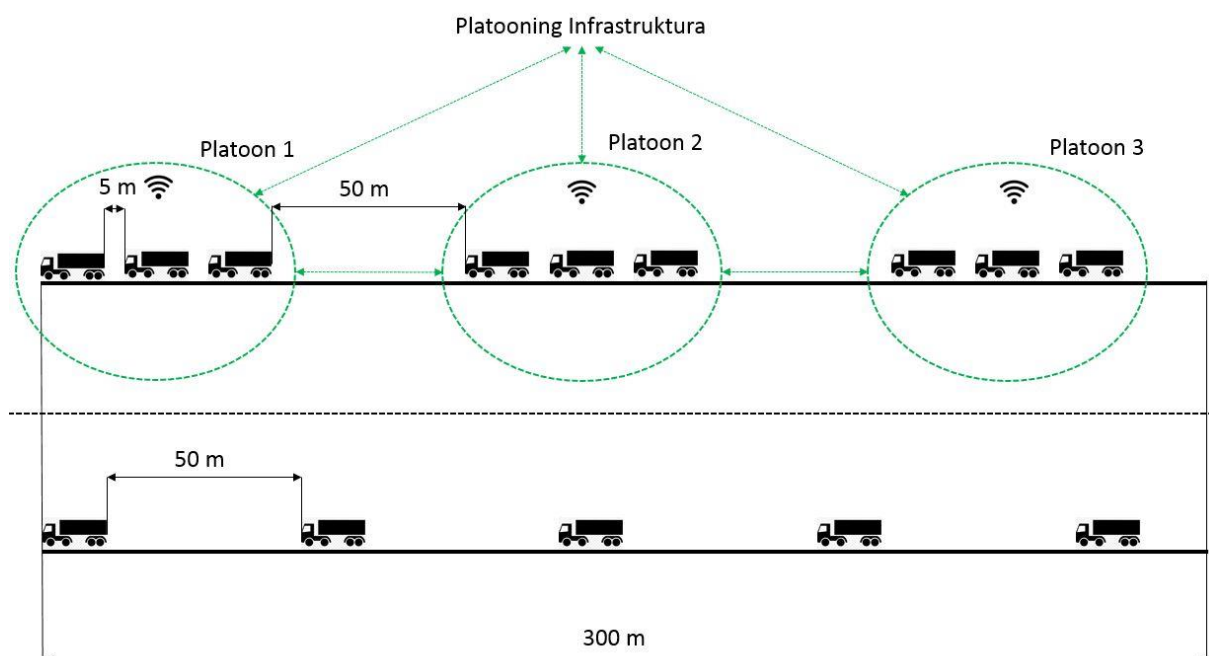
d [m]	v [km/h]	D [m]	n [-]	k [voz/km]	C [voz/h]	% nárůst kapacity
5	60	50	1	15	902	
			3	27	1643	82%
			5	32	1967	118%
			8	36	2211	145%
			10	38	2307	156%
	80	67	1	11	958	
			3	23	1897	98%
			5	29	2359	146%
			8	34	2735	185%
			10	36	2888	201%
10	60	50	1	15	902	
			3	25	1506	67%
			5	28	1739	93%
			8	31	1904	111%
			10	32	1967	118%
	80	67	1	11	958	
			3	21	1758	84%
			5	26	2110	120%
			8	29	2379	147%
			10	31	2484	159%

V tabulce 9 jsou žlutě zvýrazněné hodnoty, které jsou vypočítané pro současný stav, tedy kdy není využita technologie platooning. Tabulka je rozdělena na dva celky, kdy v jedné části je počítáno s rozestupem 5 m mezi vozidly, v druhé části pak je počítáno s 10 m rozestupem. Tyto dvě hodnoty jsou nejčastěji uváděny v projektech a byly již i reálně testovány během různých testovacích jízd. Dále se tabulka člení dle rychlostí dopravního proudu. V tabulce se počítá s rychlostí 60 km/h a 80 km/h. Tyto rychlosti byly vybrány záměrně, jelikož se jedná o rychlosti, kterými se současné nákladní vozidla nejčastěji pohybují po různých typech silničních komunikací (silnice I. třídy a dálnice). Z důvodu zajištění bezpečnosti jsou využity různé vzdálenosti D pro různé rychlosti. Hodnoty vzdálenosti D jsou získány z tabulky 5 a zajišťují tří sekundový rozestup mezi skupinami vozidel. Tato hodnota je postačující pro reakci řidiče a potřebné úkony k zamezení dopravní nehody v případě nestandardních situací na silniční komunikaci. Hodnota D může být nižší, jelikož v platooningu mezi sebou nekomunikují pouze vozidla uvnitř jedné skupiny, ale také jednotlivé skupiny mezi sebou. Proto může být hodnota D ještě snížena. V rámci tohoto výpočtu však je brán v potaz současný standardní časový rozestup zajišťující bezpečný provoz na silniční komunikaci. Dále je výpočet rozdělen dle počtů vozidel v každé skupině. V reálném provozu, při zavedení technologie platooning, je

pravděpodobnost, že taková situace nastane, malá. Dosažení stavu, kdy každá skupina má stejný počet vozidel, je vysoce nepravděpodobné, pro zjednodušení výpočtu však je s touto variantou počítáno.

Poslední tři sloupce jsou vypočítané hodnoty na základě dat ze sloupců předešlých. Porovnáním jednotlivých hodnot kapacit se dá zjistit, že už platooning o třech vozidlech přináší výrazné zvýšení kapacity silniční komunikace, například pro 5 m rozestup a rychlost 80 km/h je hodnota téměř dvojnásobná (1,98x větší kapacita). Nejzajímavější a neoptimističtější výsledky přináší právě varianta s rychlostí 80 km/h a 5 m rozestupem mezi vozidly ve skupině. V případě, kdy ve skupině se pohybuje 10 vozidel, je kapacita jednoho pruhu silniční komunikace rovna 2 888 vozidlům za hodinu, což je oproti hodnotě vypočítané pro současný stav trojnásobná hodnota. I ostatní varianty přináší pozitivní výsledky.

Pro lepší porozumění rozdílů platooning a konvenčního způsobu řízení silniční dopravy je k dispozici obrázek 32. Obrázek zachycuje situaci vypočtenou v tabulce 9 pro situaci 5 metrového rozestupu mezi vozidly v platooningu a 50 m rozestupu mezi vozidly, které nejsou součástí jedné skupiny. V horní části obrázku je znázorněn platooning o třech vozidlech, v dolní části obrázku je znázorněno řešení této situace konvenčním způsobem. Z obrázku je patrné, že 300 m dlouhý úsek silniční komunikace pojme díky technologii platooning o 4 vozidla více, aniž by byla ohrožena plynulost dopravy nebo bezpečí účastníků dopravy.



Obrázek 32 – Platooning [autor]

Nutné je poznamenat, že tento výpočet a výsledky uvedené v tabulce 9 a z toho vycházející schéma na obrázku 32 počítají pouze s homogenním dopravním proudem a neberou v potaz osobní automobilovou dopravu. Pro přesnější výpočet je nutné navrhnout a provést simulace.

Pro společnost podnikající v kamionové dopravě zvýšená kapacita silničních komunikací znamená výrazné zlepšení v oblasti spolehlivosti a dodání zakázek ve slíbený čas. To může výrazně změnit často sledovaný ukazatel zvaný „service level“ (úroveň dodavatelských služeb). Tento ukazatel vyhodnocuje, kolik procent objednávek (zakázek) bylo dodáno v pořádku, tzn. ve správný čas, ve správném množství, ve správné kvalitě, za správnou cenu a na správné místo. Zvýšená kapacita silniční komunikace může pomoci firmám dodávat zboží svým zákazníkům ve správný čas.

#### **4.1.3 Zvýšení bezpečnosti**

Silniční doprava, i přes stále zdokonalující se bezpečnostní systémy vozidel, stále přináší ročně několik desítek tisíc nehod a stovky mrtvých. Konkrétně v roce 2017 Český statistický úřad zaznamenal 103 821 dopravních nehod, při kterých bylo usmrceno 577 osob.

Oproti předchozím letům je však tato statistika pozitivní a hodnoty počtu nehod i úmrtí dlouhodobě klesají. V porovnání s rokem 1994, kdy došlo k 1 637 úmrtí na českých silnicích, je současná hodnota více jak třikrát menší. Výraznou zásluhu na tom zcela jistě mají i bezpečnostní prvky, které výrobci ve vozidle průběžně vylepšují a pečují tak o zdraví a bezpečí řidičů. V roce 1994 bylo běžné, že vozidlo bylo vybaveno bezpečnostním pásy, opěrkami hlav nebo bezpečnostními sloupky. Dnes jsou již vozidla vybavena takovými technologiemi, jako jsou například různé asistenční systémy (adaptivní tempomat, asistent jízdních pruhů, čtení dopravních značek). Naprostým standardem jsou airbagy, ABS a další prvky, které výrazně pomáhají řidičům vozidel zabránit dopravní nehodě nebo minimalizovat její následky.

Technologie Platooning proto může být dalším krokem ke zvýšení bezpečnosti a dalšímu snižování počtu dopravních nehod a úmrtí. Jelikož je řidič nejčastější příčinou vzniku dopravních nehod, je možné očekávat, že platooning skutečně přispěje k zmenšení počtu dopravních nehod.

Důležité je však zmínit fakt, že v rámci této diplomové práce se pracuje s verzí, kdy platooning je k dispozici pouze nákladním vozidlům. Tabulka 4 však vypovídá o tom, že nákladní vozidlo je ihned po letadlu, autobusu a vlaku nejbezpečnější dopravním prostředkem v statistice počtu úmrtí na miliardu ujetých kilometrů. I v ostatních statistikách je silniční nákladní doprava považována za bezpečnější než je například osobní doprava nebo jízda na motocyklu. Z tohoto důvodu nelze očekávat zlepšení příliš výrazné, neboť by do technologie platooning musely být zařazeny i ostatní typy silniční dopravy, aby došlo ke skutečnému zlepšení.



I přesto může dopravní společnost zaznamenat méně dopravních nehod a vyhnout se tak zbytečným komplikacím, které tyto situace přinášejí.

#### 4.1.4 Zvýšení komfortu

Technologie platooning, kromě snížení nákladů za palivo, zvýšení kapacity silničních komunikací a zvýšení bezpečnosti, může také přinést vyšší komfort pro řidiče vozidel využívající tuto technologii. U technologie platooning se počítá se čtvrtým, případně pátým stupněm autonomie. Řidič při zařazení do skupiny může zcela přenechat řízení samotnému vozidlu. Tento čas je potom vhodný k některým dalším činnostem spojenými s prací řidiče nákladního vozidla. Řidič proto může během jízdy ve skupině pracovat například na:

- Zajišťování patřičné administrativy spojené s provozem dopravní společnosti
- Vedení záznamů a dokladů o provozu nákladního vozidla a činnosti řidiče
- Komunikaci se zákazníky a dispečery
- Dalších aktivitách

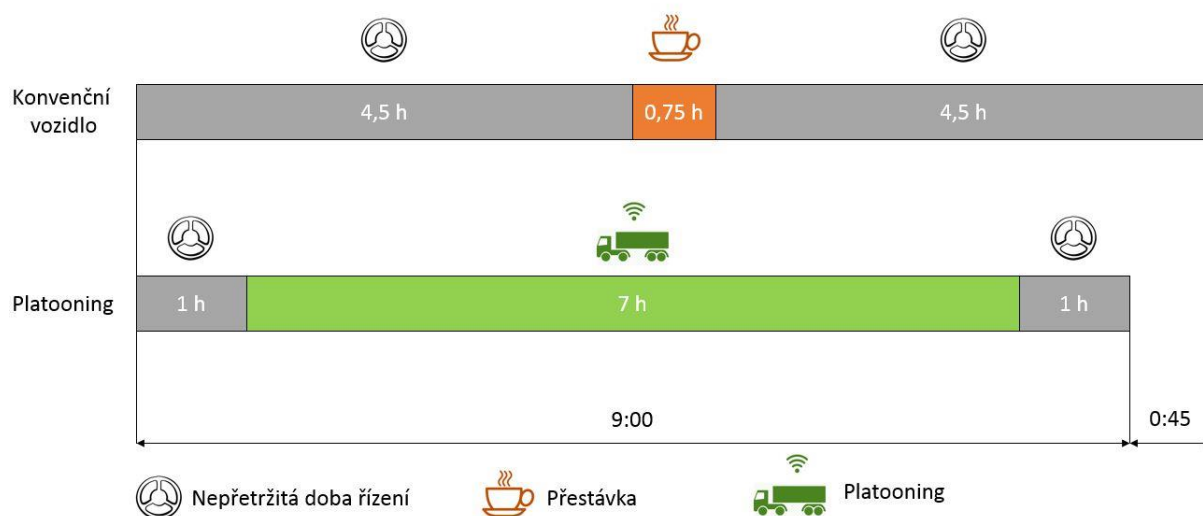
Dále může řidič využít jízdy ve skupině k absolvování povinné bezpečnostní přestávky. Dle nařízení ES č. 561/2006 je nejdelší přípustná doba nepřetržitého řízení rovna 4,5 hodinám. Dále je pak řidič omezen nejdelší dobou řízení mezi dvěma denními odpočinky. Tato hodnota je rovna 9 hodinám. Mezi dvěma týdenními odpočinky lze řízení dvakrát prodloužit na 10 hodin.

- Nejdelší přípustná doba nepřetržitého řízení: 4,5 hodin
- Nejdelší přípustná doba řízení mezi dvěma denními odpočinky: 9 hodin
- Nejkratší přípustná doba bezpečnostní přestávky: 0,75 hodin (může být rozdělena)
- Nejkratší přípustná doba denního odpočinku: 11 hodin (možné čerpat také 9 hodin odpočinku 3x mezi dvěma týdenními odpočinky)
- Dělený denní odpočinek:
  - 3 hodiny
  - 9 hodin
- Nejkratší přípustná doba týdenního odpočinku: 45 hodin

Na základě těchto informací je možné zjistit, že v běžný pracovní den řidič stráví maximálně 9 hodin řízením a 45 minut odpočinkem, dohromady tedy 9,75 hodin. Za tuto dobu je schopen ujet se svým vozidlem 720 km, při průměrné rychlosti 80 km/h. Tato pracovní doba řidiče je znázorněna jako konvenční vozidlo na obrázku 33.

V případě technologie platooning je možné využít této technologie a během jízdy ve skupině čerpat povinnou přestávku předepsanou nařízením ES. Č. 561/2006. Řidič tohoto vozidla nemusí kvůli povinné přestávce vozidlo zastavovat a je proto schopný překonat 720 km za 9 hodin při průměrné rychlosti 80 km/h.

## Pracovní doba řidiče nákladního vozidla



Obrázek 33 - Pracovní doba řidiče nákladního vozidla [autor]

Tento návrh může být podroben detailnější analýze odborníků z oblasti psychologie. Na základě analýz může být hodnota „Nejdelší přípustná doba řízení mezi dvěma denními odpočinky“ upravena dle výsledků a návrhů odborníků z oblasti psychologie a dalších podobných oborů, které dokáží posoudit a navrhnout vhodnou pracovní dobu pro řidiče vozidla využívající technologii platooning.

Platooning přináší v tomto ohledu dopravním společnostem výhodu ve zvýšení efektivity využití svých vozidel. Zavedení technologie platooning může výrazně snížit doby dodání určitých objednávek. Příklady takových objednávek jsou k nalezení v tabulce 10 a 11.

Oba dva příklady porovnávají dobu dodání mezi konvenčním vozidlem a vozidlem využívající platooning, včetně legislativních výhod oproti konvenčním vozidlům. Tabulka 10 konkrétně porovnává tyto dva způsoby na trase Hamburg (EUROGATE Container Terminal) – Praha (Metrans). Na základě mapových podkladů [maps.google.com] bylo zjištěno, že vzdálenost mezi těmito dvěma body je rovna 650 km. Tuto vzdálenost jsou obě dvě vozidla schopna překonat za 8 hodin a 12 minut. Jelikož je však řidič konvenčního vozidla nucen absolvovat povinnou bezpečnostní přestávku a zastavit své vozidlo, dostaví se na místo určení o 45 minut později, než vozidlo využívající technologii platooning.

Tabulka 10 – Hamburg Praha [autor]

Hamburg (EUROGATE Container Terminal) → Praha (Metrans)				
Typ	Rychlost [km/h]	Vzdálenost [km]	Konvenční vozidlo [hh:mm]	Platooning [hh:mm]
Dálnice	80	630	7:52	7:52
Město, vedlejší komunikace	60	20	0:20	0:20
Odpočívadlo	0 (přestávka)	0	0:45	0:00
<b>Souhrn</b>		<b>650</b>	<b>8:57</b>	<b>8:12</b>

Tabulka 11 se zabývá trasou Rotterdam (Europoort Rotterdam) - Praha (Metrans). Tato vzdálenost je rovna 950 km a bylo zjištěno, že nákladní vozidlo je schopné tuto vzdálenost zvládnout za 11 hodin a 26 minut. Pokud řidič využije technologie platooning, může se dostavit na místo určení za tuto dobu. Pokud využije konvenčního způsobu, bude nucen absolvovat nejdříve povinnou bezpečnostní přestávku a dále bude muset čerpat i denní dobu odpočinku. V případě, že využije řidič způsobu dělené doby odpočinku, může se dostavit na místo určení za 15 hodin a 46 minut. V případě, že využije klasické denní doby odpočinku (11 hodin), dorazí na místo určení za 23 hodin a 26 minut.

Tabulka 11 - Rotterdam Praha [autor]

Rotterdam (Europoort Rotterdam) → Praha (Metrans)				
Typ	Rychlost [km/h]	Vzdálenost [km]	Čas jízdy [hh:mm]	Platooning [hh:mm]
Dálnice	80	935	11:41:00	11:41:00
Město, vedlejší komunikace	60	15	0:15:00	0:15:00
Odpočívadlo	0 (přestávka)	0	3:45:00 (11:45:00)	0:00:00
<b>Souhrn</b>		<b>950</b>	<b>15:26:00 (23:26:00)</b>	<b>11:56:00</b>

Z popsaných příkladů plyne, že dopravní společnost může využít platooning pro optimalizaci oběhu vozidel a zefektivnění využití jejich vozového parku včetně řidičů. Další výhodou může být i potřeba nižšího množství řidičů, kterých je na současném trhu práce nedostatek. Tato výhoda však zcela závisí na přesném definování platooningu a k němu vztažené době odpočinku a dalším pravidlům v legislativě. Není proto možné v současně době jasně kvantifikovat, o kolik se sníží poptávka po řidičích nákladních vozidel.

## 4.2 Slabé stránky

Technologie platooning má s ohledem na dopravní společnost provozující nákladní vozidla i několik slabín, které jsou shrnuty v této kapitole.

V první řadě je nutné zařadit mezi slabé stránky vysoké investiční náklady na vozidla vybavené pro technologii platooning. Většina technologií, které jsou pro spuštění platooningu potřeba,

sice jsou již běžně k dispozici, jejich kombinace a dokonalé propojení mohou cenu vozidla výrazně zvýšit. Proto by každá dopravní společnost uvažující o investici do obnovy vozového parku měla pečlivě zhodnotit, jaké investiční náklady přinese platooning společnosti a v jaké míře je možné tuto investici navrátit. V tomto případě hlavní roli hraje především vytížení vozidel. V případě, že vytížení vozidel je vysoké a jejich provoz je téměř nepřetržitý, je pravděpodobné, že investice do technologie platooning může být navracena na ušetřeném palivu. V opačném případě, kdy vytíženost vozidel společnosti je nízká nebo jen občasná, je potřeba detailně propočítat, zda-li se skutečně tato technologie společnosti vyplatí. Konkrétní procentuální vyjádření, o kolik bude vozidlo schopné jízdy ve skupině cenově nákladnější než současná vozidla, není momentálně k dispozici.

Další slabou stránku, kterou je nutné ve SWOT analýze zmínit, je technická dokonalost samotného platooningu. Testy různých autonomních vozidel již odhalily, že tato vozidla nejsou schopna řešit nestandardní situace, na které nejsou předem připravena a které by třeba řidič (myslící flexibilně, nikoliv strojově) dokázal vyřešit s menšími následky než autonomní vozidlo nebo vozidla v technologii platooning. Pro dopravní společnost může sice spoléhat na deklarovanou vyšší bezpečnost vozidel v platooningu oproti vozidlům konvenčním, avšak na základě zpráv z vyšetřování nehod autonomního vozidla z roku 2017 je patrné, že stále existují situace, které stroj nedokáže správně vyřešit.

Další problém, který platooning přináší, je tvorba skupin. Otázka na základě kterého principu by se vozidla měla sdružovat, stále není zodpovězena. Jednodušší varianta zahrnující tvorbu skupin ve flotile vozidel jedné společnosti nabízí technicky jednoduché řešení, avšak lze předpokládat nižší využití technologie platooning v rámci celého dopravního systému. Oproti tomu je varianta sdružující vozidla z různých společností efektivnější, avšak její technické řešení je výrazně náročnější. V takovém případě je zapotřebí vytvořit nadřazený úřad, který za danou záležitost bude zodpovídat, včetně doplňujících problémů jako je rovnoměrné rozdělení výnosů z platooningu mezi všechny účastníky skupiny.

V neposlední řadě je také nutné vzít v úvahu psychologickou stránku projektu. Platooning je efektivním způsobem řešení nejen silniční nákladní dopravy, avšak neprobádanou oblastí je psychologie řidiče a jakým způsobem bude na tento způsob řízení dopravy reagovat. Pro některé řidiče může být malá vzdálenost mezi vozidly stresující a místo očekávaného efektu odpočinku může platooning způsobit opak, vystresovaného a unaveného řidiče. Dalším problémem pro dopravní společnosti může být vysoké zastoupení řidičů předdůchodového věku. Zpravidla bývají tyto osoby méně přizpůsobivé, především technologickým inovacím. Může proto nastat situace, kdy řidiči z nejrůznějších důvodů odmítnou technologii platooning využívat a investice vynaložené do této technologie nemusí být plně využity.

### 4.3 Příležitosti

Pro dopravní společnosti přináší platooning také několik příležitostí v rámci vnějšího okolí.

V technologii platooning, ve variantě, kdy je počítáno se sdružováním vozidel různých společností, je možné docílit zvýšení kooperace mezi jednotlivými dopravními společnostmi. Spolupráce nemusí skončit pouze na bázi jízdy ve skupině. Na základě sdílení dat a informací mohou například dopravní společnosti lépe využít nákladní prostor svých vozidel. Například může nastat situace, kdy společnost A a B mají podobnou destinaci, avšak společnost A nedisponuje dostatečným nákladním prostorem. Aby nemuseli zbytečně vypravovat další vozidlo, mohou kupříkladu využít jiných vozidel se společným cílem, jejichž nákladové prostory nejsou plně využity. Tento návrh však je založen na sdílení interních dat, včetně doplňujících informací, jako je plánovaný čas odjezdu nákladních vozidel, aby následně mohlo dojít k jejich sdružení na silnicích k tomu určeným.

Výraznou příležitostí v rámci platooningu je snížení dopadů silniční dopravy na životní prostředí. Momentálně lidstvo řeší hned několik problémů spojených s globálním oteplováním a zvyšujícím se podílem skleníkových plynů v atmosféře. V případě, že by tento trend pokračoval, je jisté, že by lidstvo mělo se svým přežitím na planetě Zemi v budoucnosti problémy. I přesto, že se může zdát snížení o několik procent jako malé, je i tato malá pomoc potřebná a důležitá pro začátek boje se změnami klimatu. Pokud se chce lidstvo chovat dle pravidel udržitelného rozvoje, je třeba výrazně snížit produkci skleníkových plynů a hledat alternativní způsoby dopravy.

Další příležitostí platooningu je optimalizace dopravního proudu. Během platooningu se bude dopravní proud chovat více jako jeden homogenní celek, ve kterém ve srovnání se současným systémem bude minimální potřeba předjíždění a dalších manévrů.

### 4.4 Hrozby

Posledním bodem SWOT analýze je definování hrozeb, které mohou působit na platooning z vnějšího prostředí.

Platooning je výrazně závislý na technologickém pokroku naší civilizace. Díky tomuto pokroku je možné realizovat takto náročný projekt. Avšak kromě pozitiv přináší závislost na technologickém projektu i několik negativ. Konkrétně je bezpečnost celého systému ohrožena kybernetickými útoky. Stoprocentní bezpečnost celého systému je těžké zajistit pro jakýkoliv systém, i přesto je důležité věnovat bezpečnosti dostatečnou pozornost. V případě napadnutí systému neznámými útočníky mohou být v ohrožení všichni účastníci dopravního systému. Pro dopravní společnost využívající technologii platooning by úspěšný kybernetický

útok mohl mít katastrofální následky, které by mohly vést až k ohrožení životů zaměstnanců a ke zničení vozového parku společnosti.

Dalším nebezpečím pro dopravní společnosti využívající platooning může být propojení technologie platooning s okolní dopravou. Prozatím není jasně vyřešená kooperace vozidel využívající platooning s vozidly řízenými konvenčním způsobem. Konfrontace těchto dvou způsobů může při nedostatečném řešení způsobit nemalé problémy vedoucí až k dopravním nehodám.

Poslední zmíněnou hrozbou v rámci této SWOT analýzy je současná legislativa. Dle odborných článků uvedených v teoretické části této diplomové práce je již technická dokonalost dostačující pro spuštění autonomních vozidel nebo alespoň technologie platooning. Legislativa však není na tuto změnu připravena a především otázka odpovědnosti za škodu stále zůstává nevyřešena. Problém s legislativou je pro dopravní společnost zásadní, Pokud nebude tento problém vyřešen, je nemožné tuto technologii legálně využívat a jakákoli investice do takové technologie může být proto zbytečná a její návratnost nulová.

## 5 Ekonomické a environmentální dopady zavedení technologie platooning

V rámci této kapitoly bude vypočítána ekonomická výhodnost platooning pro celou společnost. Zároveň bude posouzeny i výhody, které platooning přinese pro udržitelný rozvoj a životní prostředí. Cílovým bodem pro obě dvě hodnocení je rok 2030, ke kterému jsou veškeré analýzy směřovány. Tento rok je vybrán jako vhodné měřítko pro střednědobý výhled. Autor práce usuzuje, že toto období (mezi lety 2020 až 2030) je vhodné pro vyjádření důvěryhodných a dostatečně vypovídajících výsledků, na základě kterých lze vyvodit patřičné závěry.

### 5.1 Ekonomické hodnocení

Cílem výpočtu je odhadnout přibližnou hodnotu úspor, kterou platooning může přinést. Jednou z hlavních výhod, kterou má platooning přinést je snížení spotřeby paliva a s tím související nižší náklady. Výpočet je proto soustředěn především na položku nákladů za palivo. Tato analýza je soustředěna na nejbližší vývoj a rozvoj platooningu a stěžejním rokem pro tuto analýzu je rok 2030, ke kterému veškeré jsou veškeré výpočty a odhady směřovány.

Výpočet ekonomické výhodnosti je zaměřen pouze na silnice pro platooning vhodné. Za takové silnice jsou považovány dálnice, které jsou považovány za vhodné pro autonomní vozidla a platooning. Variabilita úkonů na těchto komunikacích je nižší a proto je pro stroj jednodušší řešit situace, které na těchto komunikacích vznikají. Zároveň jsou pro výpočet vyčleněná pouze nákladní vozidla se třemi a více nápravami.

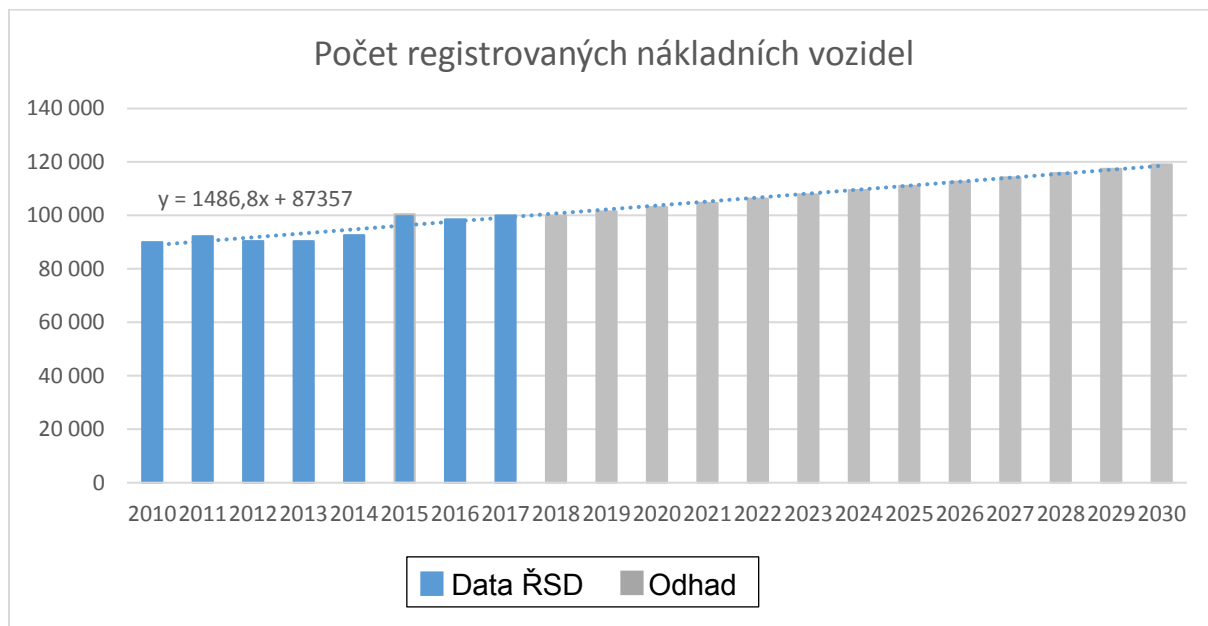
Pro výpočet se vychází z údajů Ředitelství silnic a dálnic, konkrétně ze statistiky „Přehled o projetých km a projetém mýtu“. Z této statistiky je možné získat přesné hodnoty o počtu nákladních vozidel pohybujících se na dálnicích zpoplatněným mýtem. Tato data umožňují získat hodnoty počtů vozidel pro jednotlivé roky. Získané hodnoty jsou uvedeny v grafu na obrázku 34 modrou barvou. [104]

Z hlediska výpočtu je důležité odhadnout, kolik vozidel se bude pohybovat po českých dálnicích v analyzovaném období od roku 2020 do roku 2030. Jelikož se společnost nachází v době ekonomického růstu, lze očekávat, že i poptávka po přepravě bude stoupat a s ní i počet nákladních vozidel na komunikacích. Pro odhad budoucího vývoje je použita lineární regresní přímka (vytvořena v programu MS Excel) o následujícím předpisu:

$$y = 1\,486,8 \cdot x + 87\,357 \quad (8)$$

Pomocí tohoto vzorce je možné vypočítat hodnoty pro následující roky až do roku 2030. Vypočítané hodnoty jsou uvedeny na obrázku 34 šedou barvou. Dle této metody bylo

odhadnuto, že počet nákladních vozidel pohybujících se po mýtem zpoplatněných dálnicích bude roven 119 050 vozidlům v roce 2030.



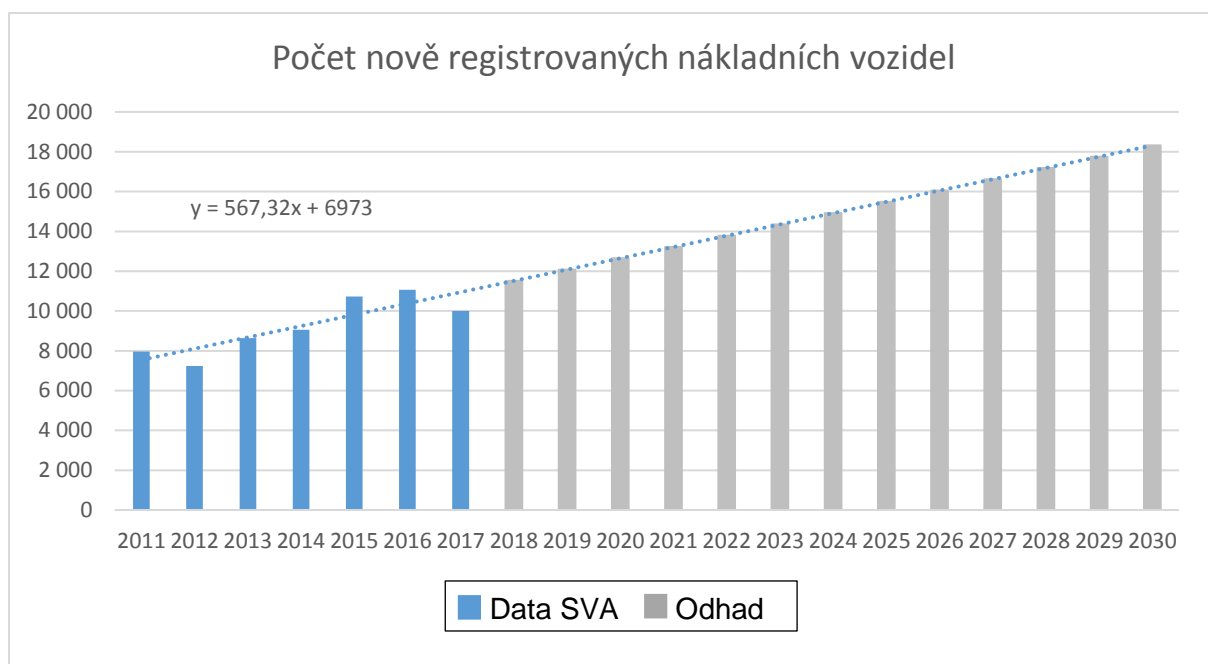
Obrázek 34 – Počet registrovaných nákladních vozidel [autor]

Další potřebnou informací pro lepší odhad budoucnosti platooningu je počet nově registrovaných vozidel v České republice. Pro tento výpočet byl využit zdroj Svaz Dovozců Automobilů. Počet nově registrovaných nových vozidel od roku 2011 do roku 2017 je uveden na obrázku 35 a je znázorněn modrou barvou. Pro odhad budoucích hodnot byla znovu využita lineární regresní přímka vytvořená v programu MS Excel. Její předpis má následující podobu:

$$y = 567,32 \cdot x + 6\,973 \quad (9)$$

Z obrázku 35 je patrné, že dle lineární regrese je možné očekávat nárůst počtu nově registrovaných vozidel. Konkrétně budou následující odhady vycházet z předpokladu, že počet nově registrovaných nákladních vozidel bude v roce 2030 roven hodnotě 18 319.





Obrázek 35 - Počet nově registrovaných nákladních vozidel [autor]

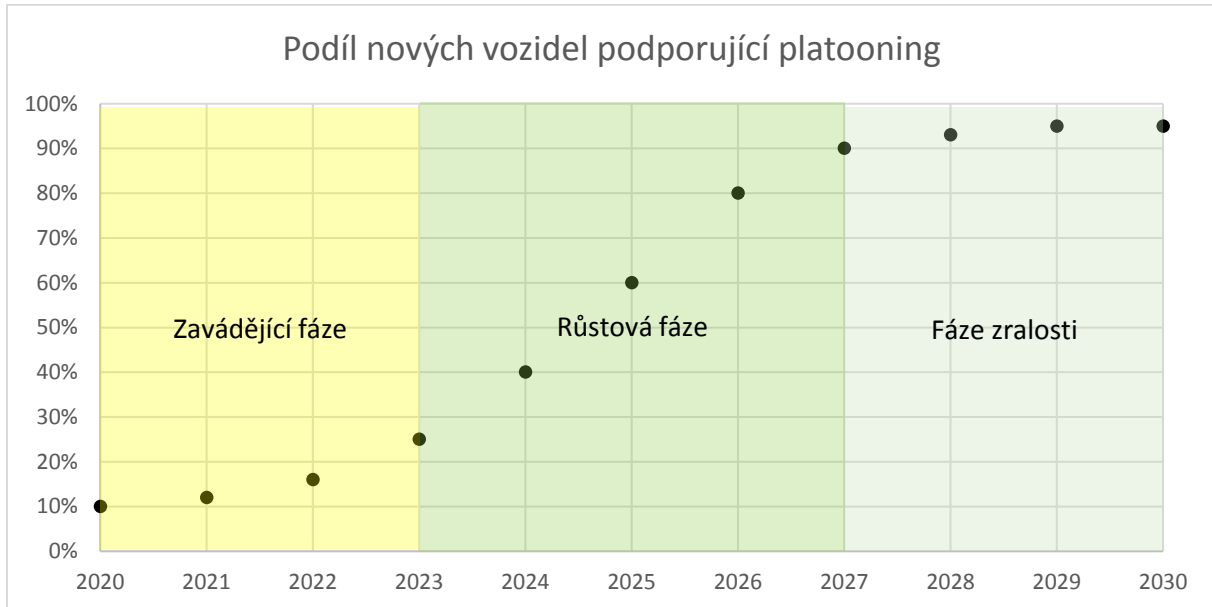
Dále výpočet vychází z marketingové teorie životního cyklu výrobku nebo služby. Tato teorie popsuje životní cyklus výrobku nebo služby pomocí následujících fází:

- Vývojová fáze
- Zaváděcí fáze
- Růstová fáze
- Fáze zralosti
- Fáze úpadku

Dle nastudované literatury a odborných článků lze odvodit, že se platooning (v tomto smyslu brán jako výrobek nebo služba) nachází na zlomu vývojové a zaváděcí fáze. Vývoj této technologie dospěl do stádia, kdy již se dá očekávat její zavedení do normálního provozu v nejbližších letech. Tato analýza proto počítá se zaváděcí fází v období let 2020 až 2023. Na tuto fázi navazuje růstová fáze, kdy již produkt je všeobecně znám a jeho prodej se výrazně zvyšuje. Od roku 2027 tato analýza očekává, že již bude platooning běžnou součástí nových vozidel.

Obrázek 36 popisuje odhadovaný životní cyklus platooningu. Tato teorie je vztažena na procentuální podíl nově registrovaných vozidel podporující technologii platooning. Dle definice životního cyklu produktu je odhadováno, že v zaváděcí fázi bude vybavena touto technologií pouze desetina nových vozidel. Během růstové fáze dojde k výraznému navýšení a od roku 2027 je odhadováno, že devět desetin nových vozidel již bude schopno jízdy v rámci technologie platooning. Tento odhad se zakládá na informacích poskytnutých v odborné

literatuře a odborných článcích o platooningu, stejně jako z teorie životního cyklu produktu se zaměřením na technologické inovace. Hodnoty uvedené na obrázku 36 však nevycházejí z žádných naměřených ani vypočítaných dat. Proto tento odhad slouží pouze pro ilustrativní výpočet v rámci této kapitoly.



Obrázek 36 - Počet nově registrovaných vozidel podporující platooning [autor]

Na základě předchozích hypotéz o počtu nákladních vozidel, počtu nových nákladních vozidel a počtu nově registrovaných vozidel podporující platooning byla vypočítána hodnota počtu vozidel podporující technologii platooning pro jednotlivé roky až do roku 2030. Výsledky tohoto odhadu jsou k dispozici v tabulce 12.

Tabulka 12 – Odhad vozidel využívající platooning [autor]

	Rok	Registrované nákladní vozidla	Registrovaných vozidel bez platooningu	Vozidla podporující platooning	Podíl vozidel podporující platooning
Reálná data	2011	92 243	92 243		
	2012	90 398	90 398		
	2013	90 382	90 382		
	2014	92 620	92 620		
	2015	100 460	100 460		
	2016	98 555	98 555		
	2017	100 008	100 008		
Odhad	2018	99 916	99 916	0	
	2019	101 511	101 511	0	0%
	2020	103 105	101 840	1 265	1%
	2021	104 700	101 849	2 850	3%
	2022	106 294	101 239	5 055	5%
	2023	107 889	99 246	8 642	8%
	2024	109 483	94 875	14 608	13%
	2025	111 078	87 179	23 898	22%
	2026	112 672	75 934	36 738	33%
	2027	114 267	62 573	51 694	45%
	2028	115 861	48 185	67 676	58%
	2029	117 456	32 915	84 540	72%
	2030	119 050	17 106	101 944	86%

Dle postupu použitého pro odhad budoucího počtu vozidel využívající platooning v České republice bude v roce 2030 přibližně 86% nákladních vozidel využívat platooning. Konkrétně tento postup došel k závěru, že z celkového počtu 119 050 nákladních vozidel bude 101 944 (86%) nákladních vozidel podporující platooning a 17 106 (14%) nepodporující platooning. Dle současného stavu technologie platooning a obecně vnímání autonomních vozidel autor této diplomové práce usuzuje, že tyto hodnoty se mohou blížit skutečně realitě a v dalším pokračování této diplomové práce s nimi bude počítáno.

Pro následující pokračování výpočtu jsou zdrojem hodnoty Ředitelství silnic a dálnic. Dle statistiky z roku 2017 byl dopravní výkon na českých dálnicích zpoplatněným mýtem u vozidel s třemi a více nápravami roven 1 008 050 138 vozkm. Vydělením této hodnoty počtem

registrovaných nákladních vozidel za stejný rok je možné získat průměrnou hodnotu počtu ujetých kilometrů na dálnicích jedním nákladním vozidlem za rok. Tato hodnota je rovna 10 080 km a je brána jako konstantní i pro následující roky. Pro výpočet nákladů za palivo je potřeba stanovit průměrnou cenu motorové nafty. Pro tento účel byla stanovena průměrná cena na hodnotu 33,6 Kč za 1 litr motorové nafty. Tato částka je definována dle § 158 odst. 3 věty třetí zákoníku práce. Dále je počítáno s průměrnou úsporou 10% při jízdě aplikování technologie platooning. Veškeré pomocné hodnoty pro výpočet jsou uvedeny v tabulce 13.

Tabulka 13 - Pro výpočet [autor]

Počet projetých kilometrů na dálnicích dle ŘSD (2017)	1 008 050 138
Počet nákladních vozidel (2017)	100 008
Průměrný počet ujetých km jedním nákladním vozidlem za rok	10 080
Cena za jeden litr motorové nafty	33,6 Kč
Spotřeba motorové nafty na 100 km	30
Úspora z platooningu	10%
Spotřeba motorové nafty na 100 km (platooning)	27

Na základě hodnot v tabulce 13 a odhadech v této kapitole byly vypočítány hodnoty dopravního výkonu pro variantu I (bez platooningu) a variantu II (s platooningem). Hodnota dopravního výkonu byla vypočítána dle vzorce:

$$DV = s \cdot PNV \quad (10)$$

kde:

- DV je dopravní výkon na dálnicích - [vozkm]
- s je průměrný počet ujetých km jedním nákladním vozidlem za rok po dálnicích - [km]
- PNV je počet registrovaných nákladních vozidel - [-]

Na základě dopravního výkonu je možné vypočítat roční spotřebu motorové nafty a náklady za palivo pro silniční nákladní dopravu v České republice pro provoz na dálnicích:

$$CS = DV \cdot \frac{S}{100} \quad (11)$$

kde:

- CS je celková spotřeba na dálnicích - [l]
- DV je dopravní výkon na dálnicích - [vozkm]
- S je spotřeba motorové nafty na 100 km - [l]

$$N = CS \cdot C \quad (12)$$

kde:

- N jsou náklady - [Kč]
- CS je celková spotřeba na dálnicích - [l]
- C je cena za jeden litr motorové nafty

Tabulka 14 poskytuje výsledky pro silniční nákladní dopravu bez využití technologie platooning (Varianta I).

Tabulka 14 - Varianta I [autor]

Rok	Dopravní výkon [vozkm]	Spotřeba [l]	Náklady [Kč]
<b>2020</b>	1 039 266 953	311 780 086	10 475 810 891 Kč
<b>2021</b>	1 055 339 027	316 601 708	10 637 817 393 Kč
<b>2022</b>	1 071 411 101	321 423 330	10 799 823 896 Kč
<b>2023</b>	1 087 483 174	326 244 952	10 961 830 399 Kč
<b>2024</b>	1 103 555 248	331 066 574	11 123 836 902 Kč
<b>2025</b>	1 119 627 322	335 888 197	11 285 843 404 Kč
<b>2026</b>	1 135 699 396	340 709 819	11 447 849 907 Kč
<b>2027</b>	1 151 771 469	345 531 441	11 609 856 410 Kč
<b>2028</b>	1 167 843 543	350 353 063	11 771 862 912 Kč
<b>2029</b>	1 183 915 617	355 174 685	11 933 869 415 Kč
<b>2030</b>	1 199 987 690	359 996 307	12 095 875 918 Kč

Tabulka 15 poskytuje výsledky pro silniční nákladní dopravu s technologií platooning. V rámci tohoto výpočtu je zároveň vzato v potaz, že vozidla umožňující technologii platooning využijí tuto technologii pouze v určitém podílu ke své celkové překonané vzdálenosti na dálnici. Zároveň je tento podíl nižší během zavádějí a růstové fáze platooningu. Autor vychází z předpokladu, že při uvedení platooningu do provozu nebude k dispozici dostatečný počet vozidel umožňující platooning, a proto bude složité hledat skupinu, ke které se připojit. Případně bude využívána ve větší míře varianta intra-fleet platooning.

Tabulka 15 - Varianta II [autor]

Rok	Využití platooningu [%]	Dopravní výkon [km]	Spotřeba [l]	Náklady [Kč]
2020	40%	1 039 266 953	311 627 122	10 470 671 307 Kč
2021	45%	1 055 339 027	316 213 859	10 624 785 658 Kč
2022	50%	1 071 411 101	320 659 011	10 774 142 757 Kč
2023	60%	1 087 483 174	324 676 956	10 909 145 721 Kč
2024	65%	1 103 555 248	328 195 232	11 027 359 812 Kč
2025	70%	1 119 627 322	330 829 602	11 115 874 633 Kč
2026	75%	1 135 699 396	332 377 850	11 167 895 775 Kč
2027	80%	1 151 771 469	333 026 036	11 189 674 793 Kč
2028	80%	1 167 843 543	333 981 451	11 221 776 756 Kč
2029	80%	1 183 915 617	334 723 343	11 246 704 311 Kč
2030	80%	1 199 987 690	335 334 854	11 267 251 104 Kč

Porovnání jednotlivých variant je k dispozici v tabulce 16.

Tabulka 16 - Porovnání výsledků [autor]

	Celková spotřeba 2020-2030 [l]	Celkové náklady 2020-2030 [Kč]	Změna
Varianta I	3 694 770 162	124 144 277 447	
Varianta II	3 574 143 330	120 091 215 892	↓2,52%

Je nutné zdůraznit, že výpočet se z velké míry opírá o odhadované hodnoty a týká se pouze vozidel registrovaných při jejich pohybu po českých dálnicích zpoplatněných mýtem. I přesto může posloužit alespoň k obecným vyhodnocením a závěrům.

Dle výpočtu platooning může přinést během prvních deseti let provozu snížení spotřeby motorové nafty na českých dálnicích o 2,52% než při zachování současného řízení dopravy. Jelikož je výpočet založen na odhadech, může být skutečná hodnota odlišná, avšak je možné dojít k závěru, že výsledná hodnota se bude pohybovat v řádu jednotek procent.

Dle výsledků je patrné, že v prvních deseti letech provozu platooningu budou celkové změny na spotřebě paliva a nákladech minimálního charakteru. Obnova vozového parku je kontinuální proces, který nepromění ihned celou flotilu v platooning schopnou skupinu. Jedná se o dlouhodobý proces, proto je nutné brát v potaz při uvažování o aplikování technologie platooning. Je důležité neočekávat přehnaně pozitivní výsledky ihned v začátcích celého

projektu. Během výpočtu došlo i ke zjištění, že komplikované může být celé zavádění platooningu do provozu, jelikož bude chybět dostatečné množství vozidel schopných tuto technologii využít. Nabízí se proto řešení zapojení osobní automobilové dopravy do technologie platooning a minimálně v začátcích a při rozvoji platooningu umožňovat smíšené skupiny ve skupinách. Umožnění smíšených skupin zvýší pravděpodobnost vytvoření skupiny a výhodnost celé technologie. Po úspěšném zavedení a dostatečném zastoupení této technologie i u většiny nákladních vozidel je možné realizovat homogenní skupiny se zastoupením pouze jednoho druhu vozidla. Skupinám složeným osobními automobily to umožní dosahovat vyšších rychlostí a obecně dojde k optimalizování dopravního proudu.

## 5.2 Environmentální dopady

Společnost se v 21. století potýká s několika problémy, ten největší a zároveň i postihující globálně celou planetu, je změna klimatu způsobená globálním oteplováním. Existuje několik odborných zpráv, včetně v teoretické části zmiňované zprávy Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC), které tento fakt potvrzují a upozorňují na dopady, které jsou se zvyšující se průměrnou teplotou na planetě Zemi spojeny. Poslední vydaná zpráva organizace IPCC je často označována jako poslední varování pro lidskou civilizaci, neboť se zdá, že lidská společnost stále nevěnuje dostatečnou pozornost problému globálního oteplování a řešení, které nyní provádí, není dostatečné pro alespoň zpomalení globálního oteplování a změn klimatu. Ze zpráv IPCC, z dalších odborných článků a názorů odborníků plyne, že současné tempo zvyšující se průměrné teploty může dosáhnout zvýšení o 3°C do roku 2100 v porovnání s předindustriální érou. Tři stupně Celsia mohou být vnímána člověkem jako malá změna, avšak skutečné následky jsou odhadovány jako nedozírné a mohou způsobit naprostou destabilizaci lidské společnosti. Na základě těchto skutečností je snaha tempo zvyšování průměrné teploty na planetě Zemi snížit, ideálně dosáhnout hodnoty zvýšení o 1,5°C. Dosažení tohoto cíle je klíčové pro udržitelný rozvoj společnosti. Soulad základních třech pilířů – sociálního, environmentálního a ekonomického vede k všeobecnému blahu. Upřednostnění ekonomického pilíře před pilířem environmentálním se lidské společnosti může vymstít. Může dojít k vytvoření nerovnovážného prostředí, které vede ke sporům, válkám a dalším nežádoucím dopadům. Historie je pro lidskou společnost jasným důkazem, že dobré vztahy, kooperace a spolupráce jsou dobrým základem pro řešení problémů. Z tohoto důvodu je nutné i problém globálního oteplování řešit společně a komplexně, aby výsledek snažení byl maximální.

Dle nastudovaného materiálu, zdrojů a obecných znalostí ke snížení tempa zvyšující se průměrné teploty vede snížení produkce skleníkových plynů, mezi které patří i oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>). Oxid uhličitý je bezbarvý plyn, který vzniká v motorech automobilů při spalování benzínu a motorové nafty. Jednou z podmínek pro dosažení cíle zvýšení průměrné teploty do roku

2100 o 1,5°C je snížit produkci oxidu uhličitého způsobenou člověkem o 45% oproti současným hodnotám (rok 2018). Doprava se podílí na skleníkovém efektu a je proto důležité hledat řešení, jak produkci oxidu uhličitého minimalizovat.

Cílem této diplomové práce proto není pouze posoudit technologii platooning z hlediska ekonomické výhodnosti, ale také vyhodnotit jeho možnosti v rámci boje proti změně klimatu. Pro vyhodnocení technologie platooning jsou použity stejné scénáře jako v kapitole Ekonomické hodnocení této diplomové práce. K dispozici jsou dvě varianty:

- Varianta I – zachování současného stavu (konvenční řízení nákladních vozidel)
- Varianta II – postupné zapojení technologie platooning do řízení nákladních vozidel

Pro obě dvě varianty je počítáno s hodnotou produkce oxidu uhličitého na galon spáleného motorového dieselu uváděnou Agenturou pro ochranu životního prostředí (EPA), spadající pod Federální vládu Spojených států amerických. Při výpočtu se vychází z předpokladu, že hodnoty produkce CO<sub>2</sub> na spálený galon paliva se pro USA a Českou republiku neliší, a proto je možné využít amerického zdroje pro výpočet zaměřený na Českou republiku. Pro úplnost je v tabulce 17 uvedena hodnota i pro benzin. Pro přepočítání z galonu na litr byla využita hodnota získána z odborné literatury. [105, 106]

$$1 \text{ gal} = 3,7854 \text{ l} \quad (13)$$

Tabulka 17 - Emise CO<sub>2</sub> [autor]

Typ paliva	Kg CO <sub>2</sub> na spálený galon	Kg CO <sub>2</sub> na spálený litr
Motorová nafta	10,21	2,6972
Benzin	8,78	2,3194

Díky tomuto koeficientu je možné vypočítat produkci oxidu uhličitého na jeden kilometr, v případě, že je známá průměrná spotřeba vozidla. Pro tento případ je opět využita spotřeba 30l/100km, která se vyskytuje u nejefektivnějších motorů nákladních vozidel, a proto lze odhadovat, že tato spotřeba bude v následujících letech běžná:

$$P = E \cdot \frac{S}{100} \quad (14)$$

kde:

- P – produkce oxidu uhličitého - [kg]
- E – množství oxidu uhličitého vyprodukovaného na spálený jeden litr - [kg]
- S – spotřeba motorové nafty na 100 km - [l]



$$P_K = E \cdot \frac{S}{100} = 2,6972 \cdot \frac{30}{100} = 0,80916 \text{ kg} \quad (15)$$

Na základě výpočtu 15 bylo zjištěno, že nákladní automobil s průměrnou spotřebou 30l/100km vyprodukuje 0,80916 kg oxidu uhličitého na jeden kilometr.

V případě platooningu je výpočet pomocí stejného vzorce. Liší se hodnota průměrné spotřeby motorové nafty na 100 km.

$$P_P = E \cdot \frac{S}{100} = 2,6972 \cdot \frac{27}{100} = 0,72825 \text{ kg} \quad (16)$$

Na základě těchto hodnot jsou porovnány oba dva scénáře. Stejně jako u ekonomického hodnocení je i zde u varianty II vycházeno z předpokladu, že nástup platooningu bude v analyzovaném období pozvolné a nelze počítat s možností, že by veškerá vozidla byla zapojena do technologie platooning. Zároveň je do varianty II také započítáno procentuální využití platooningu. Celkový odhad produkce oxidu uhličitého vyprodukovaného na českých dálnicích nákladními vozidly je vypočítán na základě následujícího vztahu:

$$CP = DV_K \cdot P_K + DV_P \cdot P_P \quad (17)$$

Kde:

- CP – Odhad celkové produkce oxidu uhličitého vyprodukovaného na českých dálnicích nákladními vozidly – [kg]
- $DV_K$  - Dopravní výkon na dálnicích pro konvenční provoz - [vozkm]
- $P_K$  - Produkce oxidu uhličitého na jeden kilometr při konvenčním provozu - [kg]
- $DV_P$  - Dopravní výkon na dálnicích pro technologii platooning - [vozkm]
- $P_P$  - Produkce oxidu uhličitého na jeden kilometr při provozu na základě technologie platooning - [kg]

Pomocí tohoto vztahu byly vypočítány hodnoty pro jednotlivé roky v rozmezí let 2020 – 2030. Výsledky jsou uvedeny v tabulce 18.

Tabulka 18 - CO porovnání I [autor]

Rok	Počet nákladních vozidel	Počet nákladních vozidel využívající platooning	Dopravní výkon [km]	tun CO <sub>2</sub> (varianta I) [t]	tun CO <sub>2</sub> (varianta II) [t]
2020	103 105	1 265	1 039 266 953	840 935	840 522
2021	104 700	2 850	1 055 339 027	853 940	852 894
2022	106 294	5 055	1 071 411 101	866 945	864 883
2023	107 889	8 642	1 087 483 174	879 950	875 720
2024	109 483	14 608	1 103 555 248	892 954	885 210
2025	111 078	23 898	1 119 627 322	905 959	892 315
2026	112 672	36 738	1 135 699 396	918 964	896 491
2027	114 267	51 694	1 151 771 469	931 969	898 240
2028	115 861	67 676	1 167 843 543	944 974	900 816
2029	117 456	84 540	1 183 915 617	957 979	902 817
2030	119 050	101 944	1 199 987 690	970 984	904 467

Jelikož je produkce oxidu uhličitého ovlivněna spotřebou paliva, mají výsledky uvedené v tabulce 18 podobný průběh jako výsledky uvedené v tabulce 14 a 15 týkající se spotřeby a nákladů na palivo. I pro produkci oxidu uhličitého platí, že nelze počítat s okamžitým zlepšením a výrazným snížením produkce oxidu uhličitého v případě zavedení technologie platooning. Nastavený scénář kontinuální proměny, který je však v případě zavedení technologie platooning nejvíce reálný, nepřináší výrazně pozitivní výsledky v prvních letech využívání. Jedná se s v tomto smyslu o dlouhodobý proces, kdy pozitivní výsledky v rámci produkce oxidu uhličitého lze očekávat v dlouhodobém horizontu, nikoliv však v prvních deseti letech po spuštění technologie platooning do provozu.

Porovnání obou variant pro produkci oxidu uhličitého za celé období je uvedeno v tabulce 19.

Tabulka 19 - CO<sub>2</sub> porovnání II [autor]

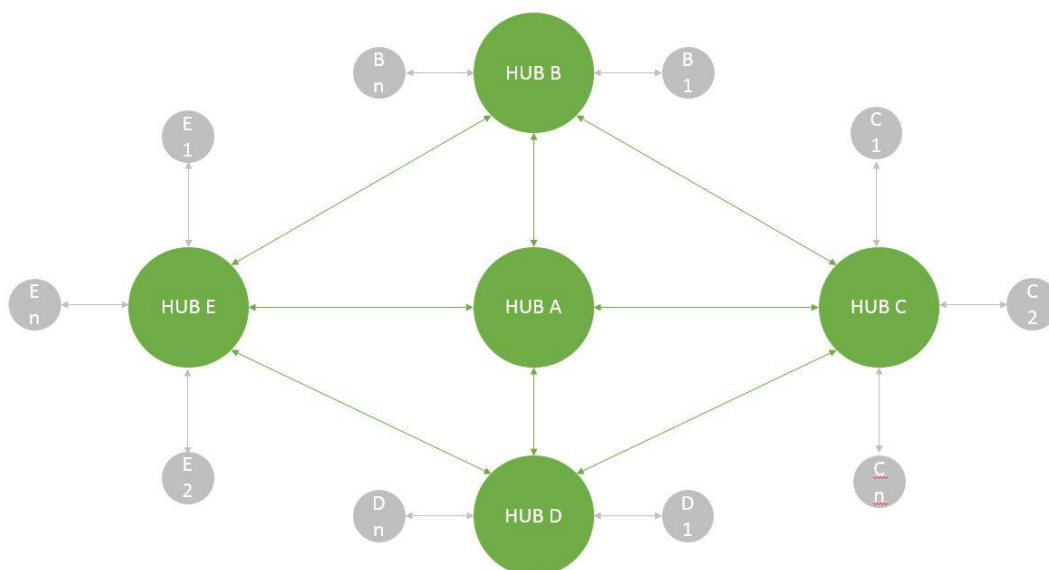
Varianta	t CO <sub>2</sub>
Varianta I (konvenční vozidla)	9 965 553
Varianta II (platooning)	9 714 376

### 5.3 Další možnosti využití technologie Platooning

Jedním ze zmíněných problémů v teoretické části této diplomové práce je současný nedostatek řidičů na trhu nákladní dopravy. V současné době chybí v České republice 15 000 řidičů. Problém postihující velkou část Evropy je nutné řešit, aby i nadále doprava poskytovala dostatečnou nabídku pro stále zvyšující se poptávku. Platooning je technologie, která může tento problém pomoci vyřešit. Technologie platooning je založena na sdružování vozidel a aktivním řízení pouze řidičem v první vozidle. Řidiči v ostatních vozidlech nejsou během jízdy v platooningu aktivní a mohou odpočívat, případně se mohou věnovat jiným aktivitám.

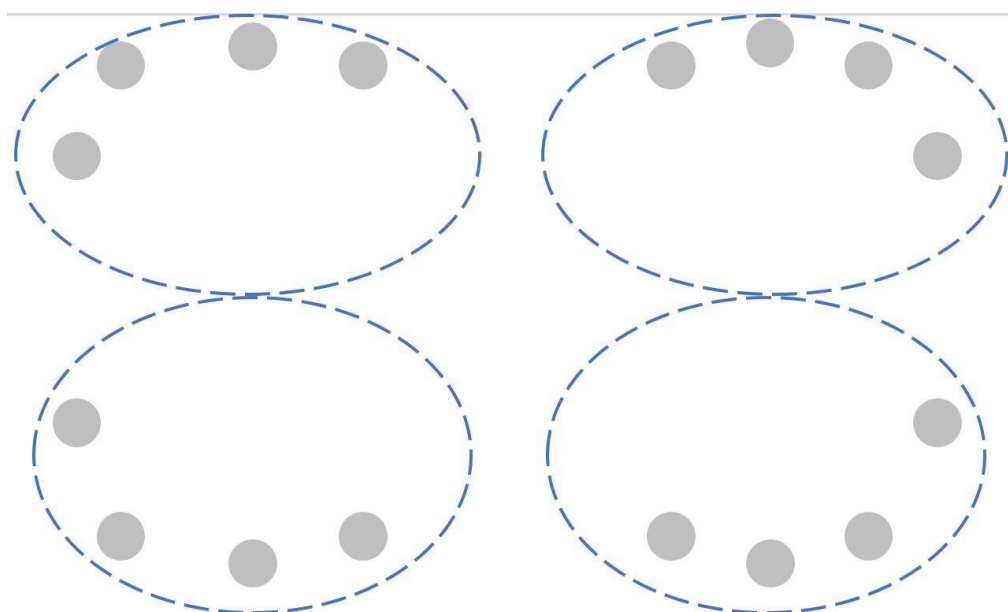
Legislativa v současné podobě nedovoluje autonomní řízení a vyžaduje přítomnost řidiče ve vozidle během jízdy. Avšak v případě vyřešení legislativního problému v rámci autonomního řízení a možnosti plně přenechat řízení autonomnímu systému se nabízí možnost nevyužívat řidiče v některých úsecích vůbec. V takovém případě je možné vytvořit efektivní systém založený na technologii Hub and Spoke. Technologie Hub and Spoke je založena na sdružování menších zásilek do větších celků v „hubu“ a jejich společná přeprava do jiného hubu. Zde jsou opět zásilky rozděleny a putují ke konečnému zákazníkovi individuálně. Princip Hub and Spoke je možné v případě spuštění technologie platooning využít i ve sdružování nákladních vozidel s podobnými destinacemi. V takovém případě budou navrženy huby (důležité dopravní body), kde budou nákladní vozidla sdružovány do skupin. Následně budou vozidla na základě technologie platooning přepraveny do jiného hubu. V rámci tohoto návrhu se počítá s řidičem pouze ve vedoucím vozidle a využití technologie platooning ke snížení potřeby počtu řidičů. Většina řidičů bude obstarávat pouze finální rozvoz z hubu k finálnímu zákazníkovi, případně soz do hubu od odesilatele.

Výhodou propojení těchto dvou technologií je v případě správného plánování potřeba menšího počtu řidičů. Zároveň je možné řidiče soustředit pouze do určitých oblastí (okolo jednoho hubu) a zajistit jim tak lepší pracovní podmínky. Nevýhodou je menší flexibilita celého dopravního systému silniční nákladní dopravy a závislost na existenci jiných vozidlech se stejnou destinací. Dále jsou v případě realizace tohoto propojení nezbytné vysoké investiční náklady pro vybudování zázemí pro huby a zároveň vyřešit technickou náročnost celého systému. Na obrázku 37 je znázorněno schéma propojení technologie platooning a Hub and Spoke. Zelenou barvou jsou zvýrazněny oblasti fungování platooningu. Šedou barvou jsou zvýrazněny finální rozvozy.



Obrázek 37 – Propojení technologie Platooning a Hub & Spoke [autor]

Propojení technologie platooning a hub and spoke je demonstrována na následujícím teoretickém příkladu. Předpokládejme 16 bodů (odesílatelů a zároveň i příjemců), které jsou rozmístěny v území dle obrázku 38. Body jsou rozmístěny do čtyř oblastí ohraničené modrou přerušovanou čarou.



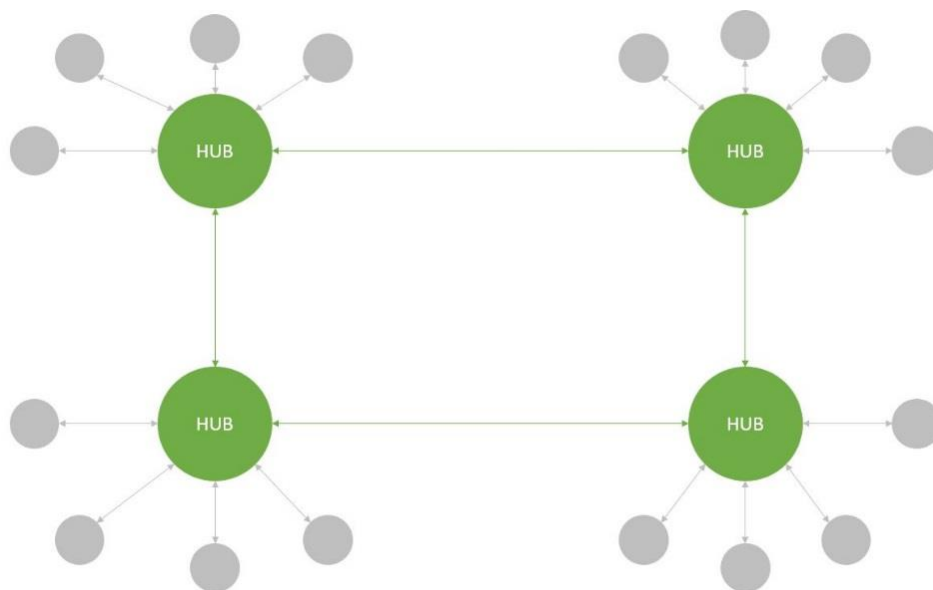
Obrázek 38 - Propojení technologie Platooning a Hub & Spoke II [autor]

Teoretický příklad vychází z hypotézy, že existuje poptávka po přepravě mezi každým bodem v jedné oblasti se všemi body z ostatních oblastí. Přeprava mezi body v jedné oblasti pro tento příklad není brán v potaz. Nabízí se několik variant řešení, jak tuto poptávku uspokojit.

Nejjednodušší variantou pro realizaci je zajistit **přímé zásobování** - přepravu mezi každým bodem v jedné oblasti se všemi body v ostatních oblastí právě jedním vozidlem s řidičem. Pro takové řešení je nutné zajistit pro každé spojení jednoho řidiče, který zajistí přepravu zboží z místa A (z oblasti i) do místa B (mimo oblast i) a zpět. Takové řešení je jednoduché a z hlediska rizika výhodné, neboť při vyřazení jednoho vozidla nejsou ovlivněny ostatní zakázky. Řešení přímého zásobování je však také vysoce neefektivní a vyžaduje vysoký počet pracovníků – řidičů nákladních vozidel.

Další možnou variantou je z každého bodu **zásobovat jednotlivé oblasti**. V takovém případě je nutné vypravit z každého bodu určitý počet vozidel s dostatečnou kapacitou, která je dostatečná pro zásobování všech zákazníků v cílové oblasti. Řešení je oproti přímému zásobování efektivnější a vyžaduje menší počet techniky i řidičů. Počet vozidel mezi jednotlivými body a cílovými oblastmi lze upravovat dle aktuální poptávky po přepravě. Nevýhodou může být vyšší přepravní doba způsobená dodáním více zákazníkům najednou a zdržením v těchto bodech. Obecně je však tato varianta ve většině případů smysluplnější než je to u varianty přímého zásobování.

Varianta **propojení technologií platooning a Hub and Spoke** je z hlediska počtu řidičů nejvýhodnější. Varianta počítá s konsolidací jednotlivých zásilek v hubech a jejich přepravou do hubu v cílové oblasti. V takovém případě je potřeba pro každý hub zajistit dostatečný počet řidičů, kteří budou zajišťovat přepravu mezi hubem a finálními zákazníky. Dále je třeba uvažovat s potřebou operátorů, kteří se budou starat o chod hubů. Mezi sousedními huby bude existovat doprava v technologii platooning, zajišťována v pravidelných intervalech. I přesto, že je tato varianta komplikovanější a vyžaduje více druhů pracovních pozic, obecně nabízí efektivnější řešení ve využití řidičů nákladní dopravy. Tento návrh je znázorněn na obrázku 39.



Obrázek 39 - Propojení technologie Platooning a Hub & Spoke III [autor]

Porovnání jednotlivých variant je uvedeno v tabulce 20

Tabulka 20 – Porovnání variant – zásobování [autor]

Varianta	Výhody	Nevýhody
Přímé zásobování	<ul style="list-style-type: none"> <li>Jednoduchý koncept</li> <li>Flexibilita</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Neefektivní využití řidičů nákladní dopravy</li> <li>Vysoké provozní náklady</li> </ul>
Zásobování jednotlivých oblastí	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menší počet vozidel oproti přímému zásobování</li> <li>Udržení dostatečné flexibility</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Vyšší přepravní čas pro některé zákazníky</li> <li></li> </ul>
Propojení technologie Platooning a Hub & Spoke	<ul style="list-style-type: none"> <li>Možnost dosáhnout vysoké efektivity využití řidičů</li> <li>Nízké provozní náklady</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Náročný koncept</li> <li>Vysoké investiční náklady</li> </ul>

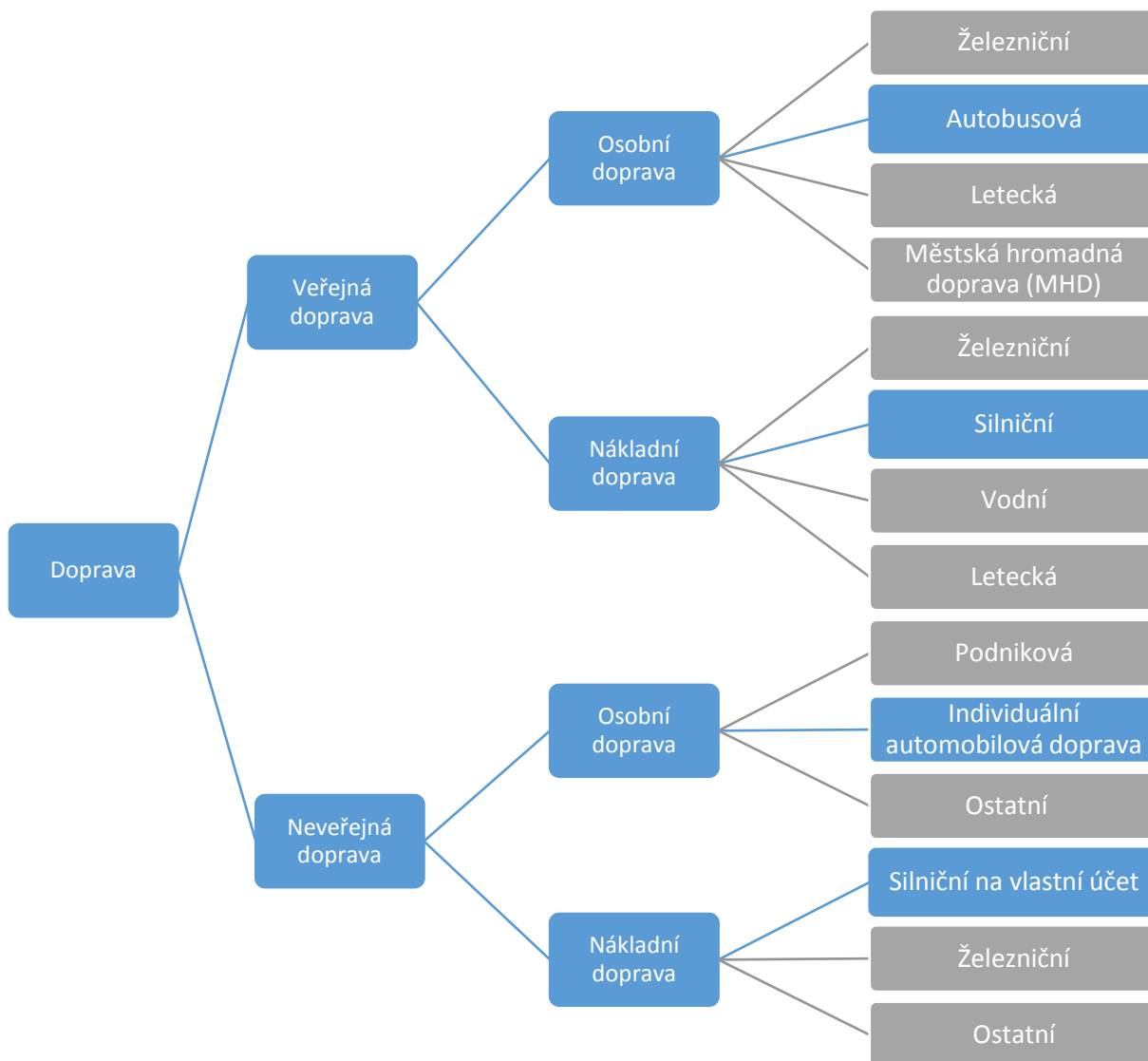
## 6 Legislativní problematika technologie platooning a autonomních vozidel

V této kapitole jsou rozepsány legislativní problémy, které jsou spojeny s autonomními vozidly a vozidly s technologií platooning. Zároveň tato kapitola obsahuje přibližný návrh řešení, které umožní zahájení provozu autonomních vozidel a vozidel s technologií platooning na silničních komunikacích v České republice.

### 6.1 Analýza současného stavu

Pro pochopení obtížnosti legislativního řešení autonomních vozidel je důležité pochopit komplexnost a provázanost dopravního systému. Současná společnost dále směřuje k větší provázanosti, například skrze sdílenou ekonomiku a různé sdílené služby. Na základě toho je lidská činnost nejen v dopravě velmi provázaná. Cílem komplexnosti a provázanosti je zvýšení efektivity, dosahování co nejlepších výsledků při minimálních nákladech. Provázanost také ale způsobuje zvýšení komplikovanosti systému a nutnost spoléhat se na jiné subjekty. Obecně je však usuzováno, že sdílená ekonomika je prostředkem pokroku a vede k dalšímu posilování celosvětového hospodářství.

Legislativní a i technické řešení autonomie je ovlivněné provázaností celého dopravního systému. Patrné je to na obrázku 40, kde jsou modrou barvou zvýrazněny oblasti dopravy, které jsou autonomními vozidly nebo platooningem přímo ovlivněny. Schéma ukazuje, že při řešení legislativních a technických problémů je potřeba přihlížet také k ostatním dopravním módům a k dopravě jako celku. Pouze v takovém případě je možné problém vyřešit, neboť dopravní systém funguje jako jeden celek a v současné době není možné izolovat jeden dopravní mód od ostatních.



Obrázek 40 – Platooning v dopravním systému [23, autor]

Dle teoretické části této diplomové části a dále dle obecných informací z oblasti automobilního průmyslu je patrné, že technická stránka autonomních vozidel a platooningu se postupně vyvíjí a v současné době se nachází v pokročilé fázi, která již pomalu směřuje k možnosti využití v reálném provozu. Potřebné technologie pro ovládání bočního řízení, podélného řízení a dalších technologií vyskytující se v automobilovém průmyslu podpořené komunikační technologií, jsou již na dostatečné úrovni a ke spuštění technologie platooning postačí dořešit pouze několik technických detailů. Úroveň těchto technických zařízení je na takové úrovni, že je možné autonomní vozidla vyslat do provozu alespoň na některých komunikacích. Záleží proto z velké části na výrobcích, kdy uvedou autonomní vozidla na trh.



Jeden z důvodů, proč automobiloví výrobci váhají s výrobou autonomních vozidel je legislativa. Autonomní vozidla prozatím nemají legislativní podporu skoro v žádném státě na světě a jejich provoz na veřejných komunikacích není umožněn. Jednou z výjimek je USA, kde Národní ministerstvo pro bezpečnost silničního provozu Ministerstva dopravy USA (NHTSA) schválilo dokument Automated Vehicle 3.0, na základě kterého je povolen provoz autonomních vozidel na celém území Spojených států amerických, pokud to povolí zákonodárci daného státu.

## 6.2 Autonomní vozidla 3.0

Dokument Autonomní vozidla 3.0 (v celém názvu: „Automated Vehicles 3.0: Preparing for the Future of Transportation) vychází z debat NHTSA (dceřiná organizace Ministerstva dopravy USA) s dalšími zainteresovanými stranami. [113] Na základě těchto diskuzí vyplynulo několik bodů, kterými se Ministerstvo dopravy USA bude řídit při vytváření prostředí vhodného pro autonomní vozidla. Pro tuto diplomovou práci slouží tyto body jako inspirace, na které administrativní oblasti je nutné se zaměřit, aby bylo zajištěno hladké zahájení a provoz systému autonomních vozidel a platooningu. Jedná se následující body:

- Upřednostnění bezpečnosti
- Technologická neutrálnost
- Obnova předpisů
- Jednotné prostředí a regulace
- Proaktivní příprava na automatizaci
- Otevřenost silničních komunikací

Automatizace přináší možnosti vylepšení bezpečnosti pro všechny účastníky dopravního provozu. Zároveň vytváří nová bezpečnostní rizika. Proto je důležité najít a definovat potenciální bezpečnostní rizika vycházející z autonomního řízení, řešit jejich odstranění nebo minimalizovat jejich vznik. Úřad dohlížející na dopravu v daných zemích se vždy zajímá také o bezpečnost. Úřady a automobilovými společnostmi urychlené zavedení autonomních vozidel na úkor bezpečnosti je nebezpečné a zbrklé řešení. **Upřednostnění bezpečnosti** účastníků dopravního provozu je na prvním místě.

Úřad dohlížející na dopravu v daném státě musí zůstat **neutrální v rámci technologického řešení** autonomie a neupřednostňovat některá z řešení. Podpora hospodářské soutěže a inovací vede k dosažení nejlepších výsledků v oblasti bezpečnosti, mobility a ekonomických cílů.

Klíčovou položkou pro úřady zabývající se dopravou je **obnova předpisů**. Obnovou předpisů je myšlena modernizace nebo eliminace zastaralých předpisů, které brání ve vývoji autonomních vozidel nebo neřeší kritické bezpečnostní potřeby vznikající s provozem

autonomních vozidel. Regulace musí být přesná a jednoduchá. Startovním bodem pro tuto oblast může být přesnější interpretace pojmů „řidič“ a „provozovatel“. Tyto pojmy nemusí být v rámci autonomních vozidel vztaženy ke konkrétnímu člověku, ale může popisovat autonomní systém.

Rozdílné zákony a předpisy v různých státech vyvolávají zmatek a nejednotnost nejen u automatizovaných vozidel. **Jednotné prostředí a regulace** pomohou maximalizovat výhody autonomie. Obecně je důležité v dopravě dosáhnout interoperability, schopnosti vzájemně spolupracovat a dosáhnout vzájemné součinnosti. Vytvoření jednotných a provázaných pravidel skrze jednotlivé státy v oblasti technického a legislativního řešení autonomních vozidel a platooningu povede k lepšímu využití těchto technologií.

Odpovědné úřady musí zároveň být **proaktivní v přípravě na automatizaci** a poskytovat podporu a pilotní programy a další asistenci pro pomoc s rozvojem autonomního řízení. Pro plné využití automatizace je potřeba, aby úřady připravily doplňkové technologie, které zvýší výhody automatizace. Příkladem takové doplňkové technologie může být zajištění komunikace mezi vozidlem a infrastrukturou, která je pro platooning klíčová.

Posledním důležitým bodem, který je v rámci autonomních vozidel a platooningu potřebné zajistit úřadem zabývajícím se dopravou, je udržení **otevřenosti silničních komunikací**. Patřičné úřady musí najít řešení, ve kterém autonomní vozidla fungují společně s konvenčními vozidly, řízené manuálně řidičem a dalšími účastníky dopravního provozu.

Šest bodů zmíněných v této kapitole je pouze základní představa o tom, co vše je potřeba administrativně zpracovat pro podporu platooningu a autonomních vozidel. Vzhledem k provázanosti jednotlivých ekonomik je výhodné řešit tento problém na nejvyšší možné úrovni. Evropská unie, politické a ekonomické sdružení 28 států, se nabízí jako ideální prostředek pro vytvoření integrovaného řešení platooningu, které zamezí různým technickým a legislativním řešením pro členské státy. Podobným jednotným způsobem je tato problematika řešena i v USA pomocí zmíněného dokumentu Autonomní vozidla 3.0, který platí pro všech 50 členských států Spojených států amerických.

### 6.3 Návrh postupu změn v legislativě

Dle výstupů z předchozí podkapitoly, platooning a autonomie vyžaduje kromě technického, také řešení administrativní a legislativní. Obnova příslušné legislativy a vytvoření jednotného prostředí je podmínkou pro možnost využití platooningu a autonomních vozidel v reálném provozu. Tato podkapitola slouží jako přehled zákonů, nařízení a dalších legislativních předpisů, které autor diplomové práce navrhuje pozměnit pro vytvoření prostředí podporující provoz technologie platooningu.

V první řadě je nezbytné na úrovni Evropské unie vytvořit potřebné legislativní ukotvení technologie platooning. Tímto ukotvením je myšleno legislativní zpracování následujících oblastí:

- Definice platooningu
- Definice technických standardů u vozidel a infrastruktury potřebných pro využití technologie platooning
- Definice pravidel pro vytváření a jízdu v platooningu
- Definice pravidel pro harmonizaci jízdy vozidel v technologii platooning a konvenčních vozidel k zajištění bezpečnosti silničního provozu

Formulace těchto bodů vytvoří dostatečný základ pro integrované řešení. Vzhledem k platnosti právní síly budou místní zákony jednotlivých států muset být v souladu s nařízeními Evropské unie. Při tvorbě nařízení ohledně platooningu je třeba dbát tento fakt v potaz a vytvářet je takovým způsobem, aby nemohlo dojít k nejednotnosti ve využívání technologie platooning v jednotlivých státech, zároveň však zachovat takovou formu, která neomezuje svobodu jednotlivých států.

Po vytvoření podpůrného prostředí na úrovni Evropské unie je zapotřebí přizpůsobit těmto nařízením legislativu na národní úrovni. V České republice se jedná o Zákon o provozu na pozemních komunikacích (361/2000 Sb.). O novelu tohoto zákona ve prospěch autonomního řízení se již v minulosti pokoušeli někteří zákonodárci. K 12.5.2019 je tento zákon platný ve variantě, která autonomní vozidla nebo platooning nebere v potaz. Hlavním problémem platooningu je definování řidiče. Možným řešením je definovat řidiče nejen jako osobu, která řídí motorové nebo nemotorové vozidlo, ale také ten, kdo aktivuje autonomní řízení a používá ho pro řízení vozidla. V takovém případě musí být řidič stále přítomen ve vozidle, nemusí však po celou dobu jízdy manuálně řídit. Pro technologii platooningu je takové řešení dostatečné. Dále je potřebné definovat situace, během kterých může řidič odvrátit pozornost od dění v provozu na pozemních komunikacích a naopak situace, které vyžadují zásah řidiče do řízení. Obecně je tato problematika komplikovaná. Řešením je postupné upravování řidičových povinností. V začátcích realizace autonomních vozidel a platooningu nejde očekávat úplné vyřazení řidiče z vozidla.

Dále je možné upravit některé další právní normy, u kterých se může zdát, že se týkají platooningu pouze vzdáleně. Příkladem může být Nařízení Evropského parlamentu a rady ES č. 561/2006, které definuje dobu řízení v odvětví silniční dopravy. Definice jednotlivých dob a nařízení jejich minimálních časů trvání jsou k nalezení v kapitole 5.1.4 této diplomové práce. Zajímavé z hlediska platooningu jsou především následující hodnoty:

- Nejdelší přípustná doba nepřetržitého řízení: 4,5 hodin
- Nejdelší přípustná doba řízení mezi dvěma denními odpočinky: 9 hodin
- Nejkratší přípustná doba bezpečnostní přestávky: 0,75 hodin (může být rozdělena)

Při zavedení technologie platooning je nutné přesněji v tomto nařízení definovat pojem „řízení“. V nynějším provedení je pojem „řízení“ možné chápat stejně jako pohyb vozidla, řidič se nachází ve vozidle a manuálně řídí vozidlo. Technologie platooning může způsobit, že řidič se bude nacházet v pohybujiícím se vozidle, ale manuálně jej řídit nebude. Tento čas je možné započítat do nejkratší přípustné doby bezpečnostní přestávky, zároveň je možné prodloužit dobu nepřetržitého řízení, pokud je pojem řízení chápán jako fyzická přítomnost řidiče v pohybujiícím se vozidle.

Česká i evropská legislativa jsou součástí provázaného systému. Z toho důvodu je důležité zmínit, že platooning nebo autonomní vozidla ovlivní výrazně více právních norem než jsou ty zde konkrétně zmíněné. O přesných úpravách a ovlivněných právních normách rozhoduje také přesné technické řešení platooningu a autonomních vozidel, které prozatím není hotové. Přesnější souhrn právních norem a konkrétní změny je možné provést až v momentě, kdy bude technické řešení přesně definované.

Souhrn právních norem týkající se autonomních vozidel a platooningu je uveden v tabulce 21.

Tabulka 21 – Souhrn právních norem [autor]

Úroveň	Právní norma	Označení	Popis	Komentář
Evropská unie	Nařízení Evropského parlamentu a rady	-	-	<b>Nová právní norma:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definice platooningu</li> <li>• Definice technických standardů</li> <li>• Definice pravidel pro jízdu v platooningu</li> <li>• Kooperace konvenčních vozidel a vozidel platooningu</li> </ul>
Česká republika	Zákon České republiky	361/2000 Sb.	Zákon o provozu na pozemních komunikacích	<b>Úprava současného zákona:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Definice řidiče</li> <li>• Definice situací k využití platooningu</li> </ul>
Evropská unie	Nařízení Evropského parlamentu a rady	ES č. 561/2006	Doba řízení v odvětví silniční dopravy	<b>Úprava současného nařízení:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zavedení pojmu platooningu</li> <li>• Úprava nařízení (jednotlivých dob)</li> </ul>

## Závěr

V závěru diplomové práce jsou shrnuty autorem získané vědomosti a zároveň jsou zde vyvozeny závěry praktické části diplomové práce.

Na základě studia odborné literatury autor diplomové práce zjistil, že historie je jasným důkazem provázanosti dopravy, rozvoje hospodářství a obecně lidské společnosti. Doprava a technické inovace v dopravě, výrazně pomáhaly a pomáhají při rozvoji lidské společnosti. Příkladem může být propojení Římské Říše sítí cest, stezky napomáhající obchodu, průmyslová revoluce nebo příchod revolučních metod v 20. a 21. století. Během středověku, kdy nedochází k žádným výraznějším vynálezům a inovacím v oblasti dopravy, není zaznamenán ani růst světového hospodářství.

Následně byly identifikovány problémy současné silniční dopravy. Mezi ty stěžejní, ovlivňující především silniční nákladní dopravu, patří nedostatek řidičů na trhu práce, kapacita pozemních komunikací a dopady dopravy na životní prostředí. Problémy s cenou ropy a nevhodností nejsou pro silniční nákladní dopravu natolik závažné, aby přímo ohrožovaly její provoz. Závažným problémem pro celou lidskou společnost jsou však vyčerpitelné zásoby ropy. Je nezbytné hledat řešení alternativního pohonu vozidel, které konvenční motory nahradí k zachování udržitelného rozvoje lidské společnosti.

Autor diplomové práce seznámil čtenáře s definicemi potřebnými pro pochopení technologie platooning. Technologie propojující podélné řízení, boční řízení a komunikaci má za cíl snížení spotřeby paliva, zvýšení kapacity pozemních komunikací, snížení dopadů na životní prostředí a zvýšení bezpečnosti. Primárně je tato technologie věnována nákladním vozidlům, není však problém aplikovat tuto technologii také na osobní vozidla. Diplomová práce zároveň obsahuje různé projekty, které se technologií platooning zabývají. Jedná se o projekty: SATRE, PATH, GCGC, Energy ITS a KONVOI.

Na základě všech získaných informací a vědomostí z odborné literatury byla provedena SWOT analýza, kladoucí si za cíl vyhodnotit potenciál technologie platooning pro silniční nákladní dopravu v České republice. Výsledky SWOT analýzy je možné brát pozitivně, i přesto že byly identifikovány i některé slabé stránky a hrozby. Mezi nejsilnější stránky, dle SWOT analýzy, patří zlepšení v oblasti spotřeby paliva, zvýšení kapacity na silničních komunikacích, také zvýšení bezpečnosti, komfortu a efektivnosti. Především zvýšení kapacity pozemních komunikací jsou jasně kvantifikované v praktické části diplomové práce. Na druhou stranu je důležité být obezřetný a uvědomovat si, že nové technologie přinášejí také nová bezpečnostní rizika, které nemusí být na první pohled patrné. Důležité je provést důkladnou psychologickou analýzu celého projektu, neboť není jasné, jaké dopady bude mít na řidiče nákladních vozidel

jízda v těsné blízkosti za sebou. Je možné, že takový způsob jízdy bude vyvolávat strach a očekávaný dopad v podobě komfortu a pocitu bezpečí nebude dosažen.

Zásadní kapitolou je 5. kapitola vyhodnocující ekonomické a environmentální dopady technologie platooning pro Českou republiku. Byly navrženy dva scénáře, které odhadují vývoj pro dopravní situaci s konvenčním řízením vozidel a s řízením pomocí platooningu. Tyto scénáře jsou navrženy pro období mezi lety 2020 až 2030. Jejich výsledky dochází k závěrů, že proces zavádění technologie platooning je kontinuální proces, který může trvat až několik desítek let. Proto je možné tvrdit, že ve sledovaném období je v případě zavedení platooningu možné očekávat pouze minimální rozdíly ve spotřebě paliva a v produkci oxidu uhličitého oproti scénáři s konvenčním řízením. Platooning rozhodně nelze brát jako řešení v otázce globálního oteplování, neboť úspory na palivu a snížení produkce oxidu uhličitého nejsou ani zdaleka dostačující. V případě boje se změnami klimatu a dosažení cílů danými organizací IPCC je zapotřebí najít v dopravě a v dalších odvětvích mnoho dalších řešení, které dohromady přispějí ke zpomalení nárůstu průměrné teploty na planetě Zemi.

Diplomová práce obsahuje i návrh ke změnám v legislativě, která vytvoří podpůrné prostředí pro umožnění spuštění technologie v reálném provozu. Tato kapitola není však uceleným řešením a je důležité, aby odborníci z řad legislativy našli komplexní řešení pro legislativní ukotvení autonomního řízení a platooningu. V opačném případě nebude možné technická řešení využít pro reálné situace.

Cílem této práce bylo mimo jiné seznámit čtenáře se základními principy platooningu, čehož bylo dosaženo. Obecně je možné dojít k závěru, že platooning je zajímavou strategií, která výraznou měrou souvisí s technologickým pokrokem lidské civilizace. Tato diplomová práce vyjasnila autorovi, že platooning nevyřeší veškeré problémy dopravy, ale může být startovacím bodem pro další rozvoj. Dále také diplomová práce přinesla další otázky, které je možné zpracovat v budoucnu. Jedná se především o přesné technická řešení projektu platooningu, legislativní stránku projektu platooningu a psychické dopady na řidiče využívající technologii platooning.

Věřím, že veškeré poznatky získané při tvorbě diplomové práce a také navržená řešení využiji i v budoucnu ve své další práci.

## Zdroje

- [1] DANĚK, Jan a Dušan TEICHMANN. Optimalizace dopravních procesů. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005. ISBN 80-248-0996-6
- [2] BRINKE, Josef. Úvod do geografie dopravy. Praha: Karolinum, 1999. ISBN 80-718-4923-5
- [3] ŘÍHA, Zdeněk. Výzkum. Doprava nás baví.cz[online]. [cit. 2019-04-02]. Dostupné z: <http://www.dopravanasbavi.cz/vyzkum>
- [4] NOVÁK, Jaroslav, Václav CEMPÍREK, Ivan NOVÁK a Jaromír ŠIROKÝ. Kombinovaná přeprava. Vydání: páté rozšířené. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2015. ISBN 978-80-7395-948-7.
- [5] MARŠÁLEK, Miroslav. Historie využití koní jako tažné síly a dopravního prostředku [online]. České Budějovice, 2017 [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/18491986-Historie-vyuziti-koni-jako-tazne-sily-a-dopravniho-prostredku-miroslav-marsalek-ju-zf-ceske-budejovice.html>. Přednáška. JU ZF České Budějovice.
- [6] BRYL, Marek a Tomáš MATYÁŠTÍK. Domestikovaní savci [online]. Olomouc, 2005 [cit. 2018-12-10]. Dostupné z: <http://www.savci.upol.cz/teorie/domest.htm>. Internetová encyklopedie savců. Univerzita Palackého v Olomouci.
- [7] GRUBER, Josef. Dějiny techniky pro střední školy [online]. Plzeň [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: [http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef\\_gruber/dte/texty/5-1.pdf](http://www.spstr.pilsedu.cz/osobnistranky/josef_gruber/dte/texty/5-1.pdf). Skriptum. Středisko služeb školám Plzeň.
- [8] HERCIK, Jan. Historický vývoj dopravy: Vybrané kapitoly [online]. Olomouc [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: <https://geography.upol.cz/soubory/lide/hercik/GEDP/Prednasky/historie.pdf>. Přednáška. Univerzita Palackého v Olomouci.
- [9] KUNOVÁ, Michaela. První automobily versus koňská síla: Vynález kola [online]. Cheb [cit. 2019-01-10]. Dostupné z: <http://absolventi.gymcheb.cz/2009/mikunov/oktava/kolo.html>. Seminární práce. Gymnázium Cheb.
- [10] Největší a nejstarší kolo na světě ukazuje, že jeho vynálezci možná nebyli Sumerové. [ne]věda.cz [online]. [cit. 2019-01-15]. Dostupné z: <https://neveda.cz/nejvetsi-a-nejstarsi-kolo-na-svete-ukazuje-ze-jeho-vynalezci-mozna-nebyli-sumerove>



- [11] CHLUBNÝ, Jiří. Římské silnice. Antika[online]. 2004 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <http://antika.avonet.cz/article.php?ID=1499>
- [12] SYNEK, Lukáš. Co to vlastně byla Hedvábná stezka?. HedvabnaStezka.cz: cestovatelský portál [online]. 2013 [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: <https://www.hedvabnastezka.cz/rady/1968-co-to-vlastne-byla-hedvabna-stezka-1/>
- [13] Cestování ve středověku. Zříceniny.cz: STŘEDOVĚK, HRADY, ZŘÍCENINY, HISTORIE, CESTOVÁNÍ [online]. 2012 [cit. 2019-01-25]. Dostupné z: <http://zriceniny.cz/cestovani-ve-stredoveku/>
- [14] NĚMEC, Václav a Jan SURÝ. Anglická průmyslová revoluce a její rozšíření. Dějepis.com [online]. 1997 [cit. 2019-01-28]. Dostupné z: <http://www.dejepis.com/ucebnice/anglicka-prumyslova-revoluce-a-jeji-rozsireni/>
- [15] NĚMEC, Václav a Bronislav TOMEK. Společnost před první světovou válkou. Dějepis.com [online]. 1997 [cit. 2019-01-25]. Dostupné z: <http://www.dejepis.com/ucebnice/spolecnost-pred-prvni-svetovou-vaalkou/>
- [16] TATEK, Martin. Letecká doprava 2018: úspěchy, krachy, rekordy i stávky. Aeroweb.cz [online]. Praha: Aeroweb.cz [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: <https://www.aeroweb.cz/clanky/5853-letecka-doprava-2018-uspechy-krachy-rekordy-i-stavky>
- [17] VELAN, Kristina. Time Travel: Isochronic Charts Map Far-Out Journeys. In: Apex[online]. New York, 2016 [cit. 2019-01-30]. Dostupné z: <https://apex.aero/2016/09/20/time-travel-isochronic-charts-map-journeys>
- [18] Global Space / Time Convergence: Days Required to Circumnavigate the Globe. In: The Geography of Transport Systems: The spatial organization of transportation and mobility [online]. New York: Hofstra University [cit. 2019-02-02]. Dostupné z: [https://transportgeography.org/?page\\_id=462](https://transportgeography.org/?page_id=462)
- [19] HOLMAN, Robert. Ekonomie. Praha: C.H. Beck, 1999. Beckovy ekonomické učebnice. ISBN 80-717-9255-1.
- [20] ZANDEN, J. L. van. GDP per capita since 1820: global well-being since 1820. How Was Life?: Global Well-being since 1820[online]. 2014, [2014], , 57-72 [cit. 2019-02-03]. DOI: 9789264214262. Dostupné z: <https://doi.org/10.1787/9789264214262-en>
- [21] ŘÍHA, Zdeněk. Obchod a doprava. Doprava nás baví.cz [online]. Praha: FD ČVUT [cit. 2019-02-04]. Dostupné z: <http://www.dopravanasbavi.cz/vyzkum/ekonomika-dopravy/historie-ekonomickeho-mysleni-obchod-doprava>
- [22] ŽEMLIČKA, Zdeněk a Jaroslav MYNÁŘÍK. Doprava a přeprava. Praha: Pro Dopravní vzdělávací institut vydal Nadatur, 2008-. ISBN 978-80-7270-030-1.

- [23] MELICHAR, Vlastimil, Jindřich JEŽEK a Jiří ČÁP. *Ekonomika dopravního podniku: studijní opora*. Pardubice: Univerzita Pardubice, 2013. ISBN 978-80-7395-656-1.
- [24] ČERBA, Otakar. *Globalizace* [online]. Plzeň, 2006 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: <http://old.gis.zcu.cz/studium/ssg/Materialy/Globalizace.pdf>. Přednáška. Západočeská univerzita v Plzni
- [25] RODRIGUE, Jean-Paul a Theo NOTTEBOOM. *Transportation and Economic Development*[online]. New York, 2017 [cit. 2019-02-10]. Dostupné z: [https://transportgeography.org/?page\\_id=5260](https://transportgeography.org/?page_id=5260). Skriptum. Hofstra University.
- [26] RODRIGUE, Jean-Paul. *Economic Rationale of Trade* [online]. New York [cit. 2019-02-10]. Dostupné z: [https://transportgeography.org/?page\\_id=4012](https://transportgeography.org/?page_id=4012). Skriptum. Hofstra University.
- [27] ČTK. Česko trápí nedostatek profesionálních řidičů. Podle sdružení Česmad jich chybí až 15 tisíc. IROZHLAS [online]. Praha, 2018 [cit. 2019-02-12]. Dostupné z: [https://www.irozhlas.cz/ekonomika/cesko-nedostatek-profesionalnich-ridicu\\_1807101605\\_bej](https://www.irozhlas.cz/ekonomika/cesko-nedostatek-profesionalnich-ridicu_1807101605_bej)
- [28] Archív. Informační systém o průměrném výdělku [online]. Praha: Ministerstvo práce a sociálních věcí, 2019 [cit. 2019-02-14]. Dostupné z: <https://www.ispv.cz/cz/Vysledky-setreni/Archiv.aspx>
- [29] ŠVEC, Pavel. Průměrný věk řidičů autobusu překročil 50 let, dopravcům chybí stovky lidí. Je to hazard, varuje expertka. Česká televize [online]. Praha, 2018 [cit. 2019-02-14]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/domaci/2456728-prumerny-vek-ridicu-autobusu-prekrocil-50-let-dopravcum-chybi-stovky-lidi-je-hazard>
- [30] Nákladní doprava - časové řady. Český statistický úřad [online]. Praha, 2019 [cit. 2019-02-20]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/csu/czso/nakladni\\_doprava\\_casove\\_rady](https://www.czso.cz/csu/czso/nakladni_doprava_casove_rady)
- [31] VÁCHAL, Adam. Evropě chybí 150 000 řidičů kamionů. V Česku za nedostatek může i zrušení povinné vojenské služby. Hospodářské noviny [online]. Praha: Economia, a.s., 2019 [cit. 2019-02-25]. Dostupné z: <https://archiv.ihned.cz/c1-66447520-evrope-chybi-150-000-ridicu-kamionu>
- [32] BLAŽEK, Josef a Vratislav RÁBL. *Základy zpracování a využití ropy*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-708-0619-2.
- [33] COOPER, Amanda a Christopher JOHNSON. Now near 100 million bpd, when will oil demand peak?. Reuters [online]. Londýn: Thomson Reuters, 2018 [cit. 2019-03-01]. Dostupné z: <https://www.reuters.com/article/us-oil-demand-peak/now-near-100-million-bpd-when-will-oil-demand-peak-idUSKCN1M01TC>

- [34] World Energy Resources: 2010 Survey. World Energy Council [online]. Londýn: Aeroweb.cz, 2016 [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <https://www.worldenergy.org/data/resources/resource/oil/>
- [35] FORMÁNEK, Jan. Co vše ovlivňuje cenu ropy?. Kurzy.cz [online]. Praha, 2015 [cit. 2019-03-08]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/zpravy/387491-co-vse-ovlivnuje-cenu-ropy/>
- [36] TSUGAWA, Sadayuki, Sabina JESCHKE a Steven E. SHLADOVER. A Review of Truck Platooning Projects for Energy Savings. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles [online]. 2016, 1(1), 68-77 [cit. 2019-03-10]. DOI: 10.1109/TIV.2016.2577499. ISSN 2379-8904. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7497531/>
- [37] NOVOTNÝ, Radovan. Závislost na levné ropě. Investiční web [online]. Praha, 2011 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.investicniweb.cz/2011-1-27-ropna-krize-v-70-letech-jak-rust-cen-ropy-vysoka-inflace-daly-vzniknout-stagflaci/>
- [38] KLINGOHR, Jakub. Den, kdy začal první ropný šok. Televize Seznam [online]. Praha: Seznam.cz TV, 2015 [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: <https://www.televizeznam.cz/video/slavedny/den-kdy-zacal-prvni-ropny-sok-16-rijen-152432>
- [39] LALÁK, Dominik. Ekonomické faktory trhu ropy [online]. Praha, 2018 [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/76403/MU-BP-2018-Lalak-Dominik-BP\\_2018\\_Lalak\\_Dominik.pdf?sequence=-](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/76403/MU-BP-2018-Lalak-Dominik-BP_2018_Lalak_Dominik.pdf?sequence=-). Bakalářská práce. ČVUT Masarykův ústav vyšších studií. Vedoucí práce Doc. Ing. Vít Pošta, Ph.D.
- [40] Average annual OPEC crude oil price from 1960 to 2019 (in U.S. dollars per barrel). Statista [online]. New York: Statista, 2019, [cit. 2019-03-12]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/262858/change-in-opec-crude-oil-prices-since-1960/>
- [41] LEDVINOVÁ, Michaela. Dopravní význam a kapacita pozemních komunikací [online]. Pardubice, 2008 [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: [http://pernerscontacts.upce.cz/11\\_2008/ledvinova.pdf](http://pernerscontacts.upce.cz/11_2008/ledvinova.pdf). Akademický článek. Univerzita Pardubice.
- [42] FERNANDES, Pedro a Urbano NUNES. Platooning With IVC-Enabled Autonomous Vehicles: Strategies to Mitigate Communication Delays, Improve Safety and Traffic Flow. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems [online]. 2012, 13(1), 91-106 [cit. 2019-03-18]. DOI: 10.1109/TITS.2011.2179936. ISSN 1524-9050. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6135795/>

- [43] OLSTAM, Johan. Traffic Engineering and Control: Traffic Flow Theory [online]. Linköping, 2017 [cit. 2019-03-20]. Přednáška. Linköping University.
- [44] KŘIVDA, Vladislav. Teorie dopravního proudu [online]. Ostrava, 2015 [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/3304008/>. Přednáška. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [45] Modelování dopravy na pozemních komunikacích. Zvýšení vědeckovýzkumného potenciálu pracovníků a studentů technických vysokých škol v oblasti dopravy a nových dopravních technologií [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2010 [cit. 2019-03-22]. Dostupné z: <http://projekt150.havvel.cz/node/95>
- [46] BERAN, Daniel. Analýzy dopravně inženýrských dat v serverovém prostředí [online]. Plzeň, 2016 [cit. 2019-03-24]. Dostupné z: [https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/23760/1/Daniel\\_Beran\\_BP\\_2016.pdf](https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/23760/1/Daniel_Beran_BP_2016.pdf).  
Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni.
- [47] JIRAVA, Petr – SLABÝ, Petr. Dopravní inženýrství. Praha: Ediční středisko ČVUT, 1990, 165 s., ISBN 80-01-00213-6
- [48] V ČR je 5,59 mil. osobních aut. UAMK [online]. Praha, 2018 [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <http://www.uamk.cz/aktuality/2186-v-cr-je-5-59-mil-osobnich-aut>
- [49] Ceskedalnice.cz [online]. [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <http://www.ceskedalnice.cz/>
- [50] Dopravní infrastruktura - časové řady. Český statistický úřad [online]. Praha, 2019 [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/csu/czso/dopravni\\_infrastruktura\\_casove\\_rady](https://www.czso.cz/csu/czso/dopravni_infrastruktura_casove_rady)
- [51] Dopravní park - časové řady. Český statistický úřad [online]. Praha, 2019 [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/csu/czso/dopravni\\_park\\_casove\\_rady](https://www.czso.cz/csu/czso/dopravni_park_casove_rady)
- [52] COOKSON, Graham. INRIX Global Traffic Scorecard [online]. Mnichov, 2018 [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: [https://www.dmagazine.com/wp-content/uploads/2018/02/INRIX\\_2017\\_Traffic\\_Scorecard\\_Final\\_2.pdf](https://www.dmagazine.com/wp-content/uploads/2018/02/INRIX_2017_Traffic_Scorecard_Final_2.pdf). Výzkum. INRIX.
- [53] MELICHAR, Vlastimil, Jindřich JEŽEK a Kateřina POJKAROVÁ. Ocenění externích účinků a nákladů kongesce [online]. Pardubice, 2008 [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: [http://perverscontacts.upce.cz/12\\_2008/melichar.pdf](http://perverscontacts.upce.cz/12_2008/melichar.pdf). Akademický článek. Univerzita Pardubice.
- [54] Udržitelný rozvoj. Ministerstvo životního prostředí [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí [cit. 2019-03-30]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/udrzitelny\\_rozvoj](https://www.mzp.cz/cz/udrzitelny_rozvoj)

- [55] Cíle udržitelného rozvoje (SDGs). United Nations: Information Centre Prague[online]. Praha: United Nations [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://www.osn.cz/osn/hlavni-temata/sdgs/>
- [56] Přijmout bezodkladná opatření na boj se změnou klimatu a zvládnání jejich dopadů. United Nations: Information Centre Prague[online]. Praha: United Nations [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://www.osn.cz/sdq-13-prijmout-bezodkladna-opatreni-na-boj-se-zmenou-klimatu-a-zvladani-jejich-dopadu/>
- [57] Historical carbon dioxide emissions from global fossil fuel combustion and industrial processes from 1757 to 2017 (in million metric tons)\*. Statista [online]. New York: Statista, 2019 [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/264699/worldwide-co2-emissions/>
- [58] KOLEKTIV AUTORŮ. Global Warming of 1.5 °C [online]. Ženeva, 2018 [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://www.ipcc.ch/sr15/chapter/summary-for-policy-makers/>. Zpráva. Mezivládní panel pro změny klimatu.
- [59] Global Greenhouse Gas Emissions Data. EPA: United States Environmental Protection Agency [online]. Washington: U.S. Environmental Protection Agency, 2014 [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data>
- [60] Nařízení vlády č. 148/2006 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. In: . Praha. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-148>
- [61] BARTÁK, Petr. Dopravní hluk: Je to jako boj s větrnými mlýny. AUTO.CZ [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER a.s, 2015 [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/dopravni-hluk-je-to-jako-boj-s-vetrny-mlyny-88794>
- [62] Hlukové mapy 2017. Geoportál: Ministerstvo zdravotnictví České republiky[online]. Praha: Ministerstvo zdravotnictví, 2017 [cit. 2019-04-03]. Dostupné z: <https://geoportal.mzcr.cz/shm/>
- [63] PATRICIA, Corieri. The Risk Of Travel. REStARTS [online]. Rhode-Saint-Genèse [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <https://www.fp7-restarts.eu/index.php/home/root/state-of-the-art/objectives/2012-02-15-11-58-37/75-book-video/how-a-plane-can-fly-assuring-safety/156-the-risk-of-travel.html>
- [64] Vývoj bezpečnosti automobilů. Bezpečné cesty [online]. Tábor: Simopt [cit. 2019-04-04]. Dostupné z: <https://www.bezpecnecesty.cz/cz/bezpecnost-automobilu/vyvoj-bezpecnosti-automobilu>
- [65] Nehody v dopravě - časové řady. Český statistický úřad[online]. Praha: ČSÚ, 2019 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: [https://www.czso.cz/csu/czso/nehody\\_v\\_doprave\\_casove\\_rady](https://www.czso.cz/csu/czso/nehody_v_doprave_casove_rady)

- [66] PRACHAŘ, Roman. Jízdní odpory vozidel [online]. Brno, 2010 [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=33556](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=33556). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ing. Tomáš Rochla.
- [67] Aerodynamics. In: Platform for Aerodynamic Road Transport [online]. [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <http://development.part20.eu/en/wp-content/uploads/2009/08/aerodynamics2.jpg>
- [68] Aerodynamika automobilů: co to vlastně je? (1. díl). TipCars [online]. Frýdek-Místek: EBM system, 2015 [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <https://www.tipcars.com/magazin/nase-tema/aerodynamika-automobilu-co-to-vlastne-je-1-dil.html>
- [69] JURÁČEK, Petr. Jízdní odpory vozidel [online]. Brno, 2007 [cit. 2019-04-08]. Diplomová práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně.
- [70] REICHL, Jaroslav a Martin VŠETIČKA. Valivý odpor. Encyklopedie fyziky [online]. [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/37-valivy-odpor>
- [71] BERGENHEM, Carl, Henrik PETTERSSON, Erik COELINGH, Cristofer ENGLUND, Steven SHLADOVER a Sadayuki TSUGAWA. Overview of Platooning Systems. Proceedings of the 19th ITS World Congress, Oct 22-26, Vienna, Austria (2012) [online]. 2012 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: [http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/174621/local\\_174621.pdf](http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/174621/local_174621.pdf)
- [72] Development of the world population from 1950 to 2030 (in billions). Statista [online]. New York: Statista, 2019 [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/262875/development-of-the-world-population/>
- [73] BROWN, Mike. Waymo vs. Tesla: Who Will Win the Self-Driving Car Race?. Inverse [online]. New York, 2018 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://www.inverse.com/article/50456-waymo-vs-tesla-who-will-win-the-self-driving-car-race>
- [74] ENGLUND, Cristofer, Lei CHEN, Jeroen PLOEG, SEMSAR-KAZEROONI a VORONOV. IEEE Wireless Communications [online]. 2016, (4) [cit. 2019-05-11]. DOI: 10.1109/MWC.2016.7553038. ISSN 1536-1284. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7553038/>
- [75] Safe following distances. Queensland Government [online]. Brisbane: Queensland Government, 2015 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.qld.gov.au/transport/safety/rules/road/distances>



- [76] CMV Driving Tips - Following Too Closely. FMCSA: Federal Motor Carrier Safety Administration [online]. Washington: United States Department of Transportation, 2015 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.fmcsa.dot.gov/safety/driver-safety/cmv-driving-tips-following-too-closely>
- [77] New Data Shows 94 Percent of Car Accidents Caused by Human Error. Southside Injury Attorneys [online]. Stockbridge: Smith Welch Webb & White, 2016 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: [https://southsideinjuryattorneys.com/lawyer/2016/07/21/Personal-Injury/New-Data-Shows-94-Percent-of-Car-Accidents-Caused-by-Human-Error\\_bl25860.htm](https://southsideinjuryattorneys.com/lawyer/2016/07/21/Personal-Injury/New-Data-Shows-94-Percent-of-Car-Accidents-Caused-by-Human-Error_bl25860.htm)
- [78] European Truck Platooning: creating next generation mobility [online]. [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <https://www.eutruckplatooning.com/default.aspx>
- [79] BELLIS, Mary. Ralph Teetor invented Cruise Control. The Inventors [online]. New York: About, 2006 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: <http://theinventors.org/library/inventors/blcruisecontrol.htm>
- [80] PORFYRI, Kallirroi N., Evangelos MINTSIS a Evangelos MITSAKIS. Assessment of ACC and CACC systems using SUMO. SUMO User Conference 2018 - Simulating Autonomous and Intermodal Transport Systems, At Berlin, Germany, [online]. , 82-69 [cit. 2019-04-15]. DOI: 10.29007/r343. Dostupné z: <https://easychair.org/publications/paper/HvLp>
- [81] Automated Vehicles for Safety. National Highway Traffic Safety Administration[online]. Washington: U.S. Department of Transportation [cit. 2019-04-22]. Dostupné z: <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles-safety#issue-road-self-driving>
- [82] REESE, Hope. Updated: Autonomous driving levels 0 to 5: Understanding the differences. TechRepublic [online]. CBS Interactive. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://www.techrepublic.com/article/autonomous-driving-levels-0-to-5-understanding-the-differences/>
- [83] KILIÁN, Karel. Čím se LIDAR liší od radaru a jaká je jeho role v autonomních vozidlech. <https://vtm.zive.cz/> [online]. Praha: CZECH NEWS CENTER [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://vtm.zive.cz/clanky/cim-se-lidar-lisi-od-radaru-a-jaka-je-jeho-role-v-autonomnich-vozidlech/sc-870-a-195431/default.aspx>
- [84] How autonomus cars map environment. In: Small World [online]. San Francisco: Small World Social [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.smallworldsocial.com/wp-content/uploads/how-autonomus-cars-map-environment-768x434.jpg>

- [85] MORAVEC, Jaroslav. TÉMA - Co se skrývá pod kapotou samořídících automobilů?. CDR [online]. Praha: CDR server [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://cdr.cz/clanek/tema-co-se-skriva-pod-kapotou-autonomnich-vozidel/prehled-senzoru-pouzivanych-v-autonomnich-vozidlech>
- [86] Dedicated Short Range Communications Gaining Momentum In The US. Bold Business: Builds Better World[online]. New York [cit. 2019-04-25]. Dostupné z: <https://www.boldbusiness.com/communications/dedicated-short-range-communications-autonomous-vehicles/>
- [87] ALAM, Assad Al, Ather GATTAMI a Karl Henrik JOHANSSON. An experimental study on the fuel reduction potential of heavy duty vehicle platooning. 13th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems [online]. IEEE, 2010, 2010, , 306-311 [cit. 2019-05-11]. DOI: 10.1109/ITSC.2010.5625054. ISBN 978-1-4244-7657-2. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5625054/>
- [88] TOMAN, Pavel. Překážkou nasazení autonomních vozů je hlavně legislativa a nejasná odpovědnost, technologie už většinu zvládnou. Časopis Logistika: Informace ze světa skladování, dopravy a technologií [online]. Praha: Economia, a.s., 2019 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://logistika.ihned.cz/c1-66424030-prekazkou-nasazeni-autonomnich-vozu-je-hlavne-legislativa-a-nejasna-odpovednost-technologie-uz-vetsinu-zvladnou>
- [89] KUNKLE, Fredrick. Fatal crash with self-driving car was a first — like Bridget Driscoll's was 121 years ago with one of the first cars. The Washington Post: Democracy Dies in Darkness [online]. Washington: Nash Holdings, 2018 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: [https://www.washingtonpost.com/news/tripping/wp/2018/03/22/fatal-crash-with-self-driving-car-was-a-first-like-bridget-driscolls-was-121-years-ago-with-one-of-the-first-cars/?noredirect=on&utm\\_term=.fdd1bfd03995](https://www.washingtonpost.com/news/tripping/wp/2018/03/22/fatal-crash-with-self-driving-car-was-a-first-like-bridget-driscolls-was-121-years-ago-with-one-of-the-first-cars/?noredirect=on&utm_term=.fdd1bfd03995)
- [90] Preliminary Report Highway HWY18MH010 [online]. 2018 [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: [www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/HWY18MH010-prelim.pdf](http://www.nts.gov/investigations/AccidentReports/Reports/HWY18MH010-prelim.pdf). Předběžná zpráva. National Transportation Safety Board
- [91] SŮRA, Jan. Mezi poslance míří první zákon, který řeší provoz samoříditelných aut. ZDOPRAVY.CZ [online]. Praha: Avizer Z, 2018 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://zdopravy.cz/mezi-poslance-miri-prvni-zakon-ktery-resi-provoz-samoriditelnych-aut-12269/>
- [92] CIPRÝN, Štěpán. Odpovědnost za řízení zatím nese člověk. Otázka je, jak dlouho. Auto.idnes.cz [online]. Praha: MAFRA, a. s, 2018 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: [https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/autonomni-auta-pravo-etika-nehoda.A181206\\_160626\\_automoto\\_fdv](https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/autonomni-auta-pravo-etika-nehoda.A181206_160626_automoto_fdv)



- [93] Zákon č. 361/2000 Sb.: Zákon o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů. Zákony pro lidi.cz [online]. Praha, 2019 [cit. 2019-04-29]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-361>
- [94] Populační růst - celosvětový problém 21. století. North Atlantic Treaty Organization [online]. Brusel: NATO [cit. 2019-04-30]. Dostupné z: [https://www.nato.int/docu/review/2011/climate-action/Population\\_growth\\_challenge/CS/index.htm](https://www.nato.int/docu/review/2011/climate-action/Population_growth_challenge/CS/index.htm)
- [95] JERMANN, Jörg. Truck Platooning. Rapp Gruppe [online]. Basel: RAPP [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.rapp.ch/de/stories/truck-platooning>
- [96] CARPENTER, Shawn. Autonomous Vehicle Radar: Improving Radar Performance with Simulation. ANSYS [online]. Canonsburg: ANSYS [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.ansys.com/about-ansys/advantage-magazine/volume-xii-issue-1-2018/autonomous-vehicle-radar>
- [97] The SARTRE project. RISE: Research Institutes of Sweden [online]. [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: [https://www.sp.se/sv/index/research/dependable\\_systems/Documents/The%20SARTRE%20project.pdf](https://www.sp.se/sv/index/research/dependable_systems/Documents/The%20SARTRE%20project.pdf)
- [98] C-ITS: Cooperative Intelligent Transport Systems and Services. CAR 2 CAR Communication Consortium [online]. Braunschweig: ITS mobility [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://www.car-2-car.org/about-c-its/>
- [99] Datově propojená vozidla (C-ITS). Český kosmický portál: Informační stránky Koordinační rady ministra dopravy pro kosmické aktivity[online]. Praha: Ministerstvo dopravy České republiky [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <http://www.czechspaceportal.cz/3-sekce/its---inteligentni-dopravni-systemy/oblasti-rozvoje-its/datove-propojena-vozidla-c-its/>
- [100] Truck Platoon [online]. In: . [cit. 2019-05-01]. Dostupné z: <https://cdn.arstechnica.net/wp-content/uploads/2016/03/truck-platoon-640x360.jpg>
- [101] BERGENHEM, Carl, Erik HEDIN a Daniel SKARIN. Procedia - Social and Behavioral Sciences [online]. 2012, , 1222-1233 [cit. 2019-05-11]. DOI: 10.1016/j.sbspro.2012.06.1098. ISSN 18770428. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1877042812028340>
- [102] KRÜGER, Nicolai a Frank TEUTEBERG. Truck Platooning: Towards Future Business Models: Conference Paper. MKWI [online]. Lüneburg, 2018, , 1-7 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/323628862\\_Truck\\_Platooning\\_Towards\\_Future\\_Business\\_Models](https://www.researchgate.net/publication/323628862_Truck_Platooning_Towards_Future_Business_Models)

- [103] Definice malého a středního podnikatele: Jste malý nebo střední podnikatel?. CzechInvest [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <https://www.czechinvest.org/cz/Sluzby-pro-male-a-stredni-podnikatele/Chcete-dotace/OPPI/Radce/Definice-maleho-a-stredniho-podnikatele>
- [104] Registrace nových NA v ČR 12/2018. Svazu dovozců automobilů [online]. Praha: SDA, 2019 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <http://portal.sda-cia.cz/stat.php?p#rok=2018&mesic=12&kat=NA&vyb=cel&upr=&obd=m&iine=false&ang=CZ&str=nova>
- [105] Emission Factors for Greenhouse Gas Inventories. EPA: United States Environmental Protection Agency [online]. Washington: U.S. Environmental Protection Agency, 2011 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/emission-factors\\_2014.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/emission-factors_2014.pdf)
- [106] MIKULČÁK, Jiří. Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce pro střední školy. Praha: Prometheus, 2003. ISBN 978-80-7196-264-9.
- [107] Truck Platooning. Berkeley: University of California [online]. Berkeley: University of California, 2015 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://path.berkeley.edu/research/connected-and-automated-vehicles/truck-platooning>
- [108] ENGLUND, Cristofer, Lei CHEN, Jeroen PLOEG, Elham SEMSAR-KAZEROONI, Alexey VORONOV, Hoai Hoang BENGTTSSON a Jonas DIDOFF. The Grand Cooperative Driving Challenge 2016: boosting the introduction of cooperative automated vehicles. IEEE Wireless Communications [online]. 2016, 23(4), 146-152 [cit. 2019-05-12]. DOI: 10.1109/MWC.2016.7553038. ISSN 1536-1284. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7553038/>
- [109] VAN ASTEN, Almie. I-Game: Proposal for extended message set for supervised automated driving [online]. 2015 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://cordis.europa.eu/docs/projects/cnect/5/612035/080/deliverables/001-D32.pdf>
- [110] Internetové stránky dopravních firem
- [111] Veřejný rejstřík a Sběrka listin
- [112] TSUGAWA, S., S. KATO a K. AOKI. An automated truck platoon for energy saving. 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems [online]. IEEE, 2011, 2011, , 4109-4114 [cit. 2019-05-12]. DOI: 10.1109/IROS.2011.6094549. ISBN 978-1-61284-456-5. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6094549/>

[113] Automated Vehicles 3.0: Preparing for the Future of Transportation [online]. Washington, 2018 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.transportation.gov/av/3>. Odborná studie. U.S. Department of Transportation.

## Seznam obrázků

Obrázek 1 – Časová vzdálenost v roce 1914 .....	14
Obrázek 2 – Časová vzdálenost v roce 2016 .....	15
Obrázek 3 – Dny potřebné k cestě kolem světa .....	15
Obrázek 4 - Vývoj HDP na obyvatele .....	16
Obrázek 5 – Nespolupracující a spolupracující trhy .....	18
Obrázek 6 - Dopravní systém České republiky .....	19
Obrázek 7 – Silniční nákladní doprava .....	21
Obrázek 8 – Světové zásoby ropy .....	22
Obrázek 9 – Průměrná cena ropy za barel .....	24
Obrázek 10 - Fundamentální grafy .....	26
Obrázek 11 - Fundamentální graf .....	26
Obrázek 12 - Vývoj silniční dopravy v ČR .....	28
Obrázek 13 - Vývoj počtu nákladních vozidel v ČR .....	29
Obrázek 14 – Udržitelný rozvoj .....	32
Obrázek 15 - Globální emise CO <sub>2</sub> .....	33
Obrázek 16 - Produkce skleníkových plynů .....	34
Obrázek 17 - Hluková mapa Prahy .....	35
Obrázek 18 - Nehodovost v ČR.....	37
Obrázek 19 - Počet obyvatel planety Země.....	39
Obrázek 20 – Platooning .....	42
Obrázek 21 - Stupně autonomie .....	44
Obrázek 22 – Lidar .....	46
Obrázek 23 – Technologie autonomního vozidla .....	47
Obrázek 24 - SARTRE komunikační systém .....	49
Obrázek 25 - Architektura Platooning .....	50
Obrázek 26 – Inter-Fleet Platooning .....	52
Obrázek 27 - Součinitele odporu pro vozidla .....	55
Obrázek 28 – SARTRE .....	58
Obrázek 29 – Postup slučování GCDC .....	60
Obrázek 30 – Energy ITS .....	61
Obrázek 31 - Spotřeba paliva .....	66
Obrázek 32 – Platooning .....	69
Obrázek 33 - Pracovní doba řidiče nákladního vozidla .....	72
Obrázek 34 – Počet registrovaných nákladních vozidel .....	78
Obrázek 35 - Počet nově registrovaných nákladních vozidel.....	79

Obrázek 36 - Počet nově registrovaných vozidel podporující platooning .....	80
Obrázek 37 – Propojení technologie Platooning a Hub & Spoke .....	90
Obrázek 38 - Propojení technologie Platooning a Hub & Spoke II .....	90
Obrázek 39 - Propojení technologie Platooning a Hub & Spoke III .....	92
Obrázek 40 – Platooning v dopravním systému .....	94

## Seznam tabulek

Tabulka 1 – Průměrná hrubá měsíční mzda .....	20
Tabulka 2 – Orientační hodnoty kapacit pozemních komunikací v extravilánu .....	27
Tabulka 3 – Přehled 10 německých úseků s nejvyšší hodnotou zdržení .....	30
Tabulka 4 – Porovnání bezpečnosti jednotlivých dopravních módů .....	36
Tabulka 5 - Bezpečné rozestupy vozidel .....	41
Tabulka 6 - Projekty Platooning .....	63
Tabulka 7 - Malé a střední podniky v kamionové dopravě .....	64
Tabulka 8 - SWOT Analýza .....	65
Tabulka 9 - Kapacita silniční komunikace .....	68
Tabulka 10 – Hamburg Praha.....	73
Tabulka 11 - Rotterdam Praha .....	73
Tabulka 12 – Odhad vozidel využívající platooning .....	81
Tabulka 13 - Pro výpočet.....	82
Tabulka 14 - Varianta I .....	83
Tabulka 15 - Varianta II .....	84
Tabulka 16 - Porovnání výsledků .....	84
Tabulka 17 - Emise CO2 .....	86
Tabulka 18 - CO porovnání I .....	88
Tabulka 19 - CO2 porovnání II .....	88
Tabulka 20 – Porovnání variant – zásobování .....	92
Tabulka 21 – Souhrn právních norem.....	99