



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Ústav Dopravní systémy a technika

Snižování negativních vlivů nákladní dopravy na životní prostředí

Bakalářská práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích

Obor: Dopravní systémy a technika

Vedoucí práce: doc. Ing. Kristýna Neubergová, Ph.D.

Kristián Herceg

Praha 2020



K612 **Ústav dopravních systémů**

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Kristián Herceg

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

B 3710 – DOS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Snižování negativních vlivů nákladní dopravy na životní prostředí**

Název tématu (anglicky): Reducing the Negative Environmental Impacts of Freight Transport

Zásady pro vypracování

Při zpracování bakalářské práce se řiďte následujícími pokyny:

- Úvod do řešené problematiky
- Rešerše dostupných zdrojů
- Problémy technické a legislativní
- Přínosy návrhu
- Praktický test
- Doporučení vyplývající z práce
- Závěrečné zhodnocení



Rozsah grafických prací: stanoví vedoucí bakalářské práce

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

Seznam odborné literatury: Smit, R., at all. Validation of road vehicle and traffic emission models. Atmospheric Environment 44 (2010) 2943 – 2953.

Technologické trendy v silniční dopravě [online]. CDV v.v.i., 2018. In: <https://www.tpsd-ertrac.cz/file/oblast-silnicni-doprava-a-zivotni-prostredi/>


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Kristýna Neubergová, Ph.D.**

Datum zadání bakalářské práce: **28. června 2019**

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

Datum odevzdání bakalářské práce: **10. srpna 2020**

- 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


Ing. Martin Jacura, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravních systémů




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

Potvrzuji převzetí zadání bakalářské práce.


Kristián Herceg
jméno a podpis studenta

V Praze dne..... 28. června 2019

Pod'akovanie

V prvom rade by som sa rád poďakoval vedúcej mojej práce, pani docentke Ing. Kristýna Neubergová, Ph.D. za odborné vedenie práce, vecné pripomienky a ochotu nájsť si na mňa vždy čas. Veľké dakujem patrí celej mojej rodine za podporu pri celom štúdiu, ale aj pri vypracovaní tejto práce. V neposlednom rade by som rád poďakoval firme M-EXPRES SPED spol. s r.o., ktorá mi poskytla dáta na overenie môjho návrhu. Menovite by som rád z tejto firmy poďakoval pánovi Ing. Jozefovi Kúdelovi za rady a taktiež by som rád poďakoval všetkým mojim spolužiakom a kamarátom za podporu pri štúdiu.

Prehlásenie

Predkladám týmto k posúdeniu a obhajobe bakalársku prácu, spracovanú na záver bakalárskeho štúdia na ČVUT v Prahe Fakulte Dopravnej.

Prehlasujem, že som predloženú prácu vypracoval samostatne a že som uviedol všetky použité informačné zdroje v súlade s Metodickým pokynom o dodržiavaní etických princípov pri príprave vysokoškolských záverečných prác.

Nemám závažný dôvod proti použitiu tohoto školského diela v zmysle § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o autorskom právu, o právach súvisiacich s právom autorským a o zmene niektorých zákonov (autorský zákon).

V Prahe dňa 10. augusta 2020

.....

podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

SNIŽOVÁNÍ NEGATIVNÍCH VLIVŮ NÁKLADNÍ DOPRAVY NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Bakalářská práce

Kristián Herceg

Abstrakt

Témou bakalárskej práce „Snižování negativních vlivů nákladní dopravy na životní prostředí“ je popísať súčasnú problematiku emisných noriem nákladných vozidiel, ďalej sú predstavené možnosti zníženia spotreby a emisií. Cieľom je navrhnúť najvhodnejšie riešenie, ktorého implementácia do praxe prinesie zníženie spotreby a emisií nákladných vozidiel. Zvolené riešenie bude predstavené a vyhodnotené v praktickej časti tejto práce. V závere práce budú vymedzené podmienky aplikovania môjho návrhu do praxe.

Abstract

The topic of the bachelor's thesis "Reducing the negative effects of freight transport on the environment" is to describe the current issues of emission standards of trucks, then the possibilities of reducing consumption and emissions are presented. The aim is to propose the most suitable solution, the implementation of which in practice will reduce the consumption and emissions of trucks. The chosen solution will be presented and evaluated in the practical part of this thesis. At the end of the work will be defined the conditions of application of my proposal in practice.

Kľúčové slová

spotreba, emisie, cestná nákladná doprava

Keywords

fuel consumption, emissions, freight transport

Obsah

Zoznam použitých skratiek	7
Úvod	8
1 História a súčasnosť emisných noriem	9
2 Možnosti zníženia spotreby a emisií	12
2.1 Typy súprav a súčasná legislatíva	12
2.2 Vylepšenie pohonného ústrojenstva k zníženiu spotreby a emisií	16
2.2.1 Organic Rankine cycle system	16
2.2.2 Turbo compound	18
2.3 CNG	18
2.4 LNG	20
2.5 Električka a hybridy	22
2.5.1 Elektrický nákladný automobil	22
2.5.2 Dieselový motor a batéria	23
2.5.3 Dieselový motor, batéria a zberač	24
2.6 Vodík	25
2.7 Ostatné alternatívne palivá	27
3 Jazdné odpory	28
3.1 Odpor valenia	28
3.2 Odpor vzduchu	28
3.3 Odpor stúpania	29
3.4 Odpor zotrvačnosti	29
3.5 Aerodynamika	29
3.6 Pneumatiky	32
4 Využitie technológií a vplyv vodiča na spotrebu	34
4.1 ACC	34
4.2 Platooning	34
4.3 Autonómne nákladné vozidlá	35

4.4	Vodič	36
5	Vplyv rýchlosti na spotrebu	37
5.1	Praktický test.....	37
5.2	Podmienky aplikovania do praxe	45
	Diskusia.....	48
	Záver.....	50
	Zoznam použitej literatury	51
	Zoznam obrázkov	58
	Zoznam tabuliek	59
	Zoznam rovníc.....	60
	Zoznam grafov.....	61
	Zoznam príloh.....	62

Zoznam použitých skratiek

EGR – re-cirkulácia výfukových plynov „Exhaust Gas Recirculation“

SCR – selektívna katalytická redukcia „Selective Catalytic Reduction“

DPF – filter pevných častí „Diesel Particulate Filter“

EMS – názov pre jazdné súpravy „European modular system“

ORC – systém zvyšujúci tepelnú účinnosť dieselových motorov „Organic Rankine cycle“

CNG – stlačený zemný plyn „Compressed Natural Gas“

ECM – elektronický kontrolný modul „Electronic control module“

LNG – skvapalnený zemný plyn „Liquefied Natural Gas“

PHEV – plug- in hybrid electric vehicle

HEV – hybrid electric vehicle

HVO – hydrorafinovaný rastlinný olej „Hydrotreated Vegetable Oil“

TTW – charakterizuje energetický reťazec vozidla „tank-to-wheel“

ACC – adaptívny tempomat „Automatic cruise control“

AETR – Európska dohoda o práci posádok v medzinárodnej cestnej doprave

Úvod

Nákladná cestná doprava zaznamenala výrazný nárast za posledných 40 rokov. V dnešnej dobe je viac preferovaná cestná nákladná doprava ako železničná, ktorá je konkurencie schopná iba pri veľkých objemoch tovaru.

Rozvoj automobilového priemyslu, technológií a zlepšovanie dopravnej infraštruktúry napomohlo k vývoju nákladnej cestnej dopravy. Jedným z dôvodov prečo sa v minulosti začala rozvíjať boli najmä kratší čas prepravy, nižšia cena a vyššia konkurencie schopnosť než u železničnej dopravy. Ďalším z hlavných dôvodov, prečo je v dnešnej dobe viac preferovaná cestná nákladná doprava než železničná, je takzvaná preprava od „dverí k dverám“. Čo znamená, že nákladné vozidlo naloží tovar od odosielateľa a prepraví ho bez prekladania priamo k príjemcovi. S nárastom cestnej dopravy sa začalo dbať aj na zníženie environmentálneho dopadu na životné prostredie.

Vďaka môjmu záujmu o problematiku cestnej nákladnej dopravy som postupom získaval viac skúseností, informácií z praxe, uvedomenia si nedostatkov zprevádzky a z toho plynúci priestor na zlepšenie. Priviedlo ma to k myšlienke, ako by sa dali znížiť negatívne dopady cestnej nákladnej dopravy na životné prostredie. Je veľa spôsobov akými je možné znižovať negatívne vplyvy a mnohé z nich sú už zavedené. Patrí k nim napríklad zavedenie emisných noriem pre nákladné vozidlá, úpravy pohonného ústrojenstva a alternatívne pohony. Daná téma je z môjho pohľadu veľmi zaujímavá, stále aktuálnejšia a zaslúži si pozornosť celosvetovo.

Témou mojej bakalárskej práce je znižovanie negatívnych vplyvov nákladnej dopravy na životné prostredie. V rámci práce som navrhol ďalšiu možnosť zníženia environmentálnych dopadov a to pomocou využívania kinetickej energie nákladných vozidiel pri jazde z kopca.

V tejto práci je popísaný vznik emisných euro noriem a ich budúci vývoj v danej problematike. Ďalej sú zmienené úpravy pohonného ústrojenstva, alternatívne pohony, zlepšenie aerodynamiky, vývoj technológií v doprave a vplyv vodiča. V praktickej časti sa zaoberám využitím vyššej rýchlosti nákladných vozidiel z kopca a vplyv na spotrebu a emisie pomocou analýzy dát z reálnej prevádzky.

1 História a súčasnosť emisných noriem

V minulom storočí sa cestná nákladná doprava začala využívať v čoraz väčšej miere na prepravu tovarov. S postupným rozširovaním cestnej dopravy a zlepšovaním technológií sa začalo v priebehu osemdesiatych rokov uvažovať aj nad ekologickou stránkou. Európska únia zaviedla takzvané emisné normy "Euro", ktorých cieľom je znižovať hodnoty škodlivín vo výfukových plynoch pre naftové a benzínové motory. Euro normy určujú limity CO (oxid uhoľnatý), HC (uhlíkovodíkov), NO_x (oxidy uhoľnatý) a PM (iných pevných častíc). Euro norma funguje na princípe limitných hodnôt, ktoré sa skúšajú na motore osobitne a nie na celom vozidle v prevádzke. Prvé zavedenie Euro 1 bolo v roku 1992. Časom sa zaviedli aj iné druhy testovania. Jednotkou v tomto prípade pre vyjadrenie limitných hodnôt je g/kWh. Od 01.01.2013 sa v Európskej únii môžu predávať iba nákladné vozidlá, ktoré spĺňajú emisnú normu Euro 6. Najčastejšie sa sleduje množstvo vypustených škodlivín na prejazdený jeden kilometer. [1]

V nasledujúcej tabuľke č. 1 je možno vidieť postupné zavádzanie euro noriem pre nákladné vozidlá. V tabuľke je vidieť triedu emisnej normy. Dátum, odkedy nižšia emisná norma nemohla byť dostupná v nových vozidlách. Taktiež je tam uvedený druh testu a jednotlivé limitné hodnoty pre výfukové plyny.

Tabuľka 1: Zavedenie emisných noriem [1]

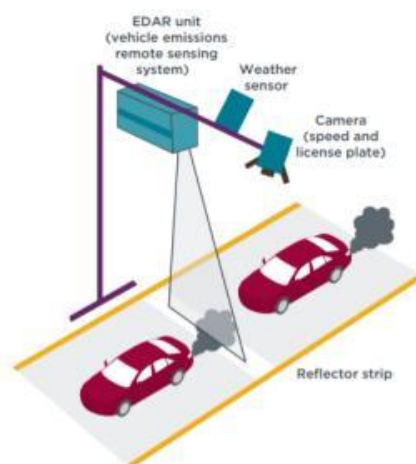
Stage	Date	Test	CO	HC	NO _x	PM	PN	Smoke
			g/kWh				1/kWh	1/m
Euro I	1992, ≤ 85 kW	ECE R-49	4.5	1.1	8.0	0.612		
	1992, > 85 kW		4.5	1.1	8.0	0.36		
Euro II	1996.10		4.0	1.1	7.0	0.25		
	1998.10		4.0	1.1	7.0	0.15		
Euro III	1999.10 <i>EEV only</i>	ESC & ELR	1.5	0.25	2.0	0.02		0.15
	2000.10		2.1	0.66	5.0	0.10 ^a		0.8
Euro IV	2005.10		1.5	0.46	3.5	0.02		0.5
Euro V	2008.10		1.5	0.46	2.0	0.02		0.5
Euro VI	2013.01	WHSC	1.5	0.13	0.40	0.01	8.0×10 ¹¹	

^a PM = 0.13 g/kWh for engines < 0.75 dm³ swept volume per cylinder and a rated power speed > 3000 min⁻¹

Nato, aby nákladné vozidlá poháňané dieselovými motormi dokázali splniť normu euro 6, vid' vyššie. Je potrebné na očistenie výfukových plynov využiť systémy EGR (Exhaust Gas Recirculation) a SCR (Selective Catalytic Reduction). Vo výfukovej sústave je ďalej umiestnený filter pevných častíc (DPF) a vstrekovanie močoviny (Adblue) pre selektívnu katalyckú redukciu. Močovina sa prvý krát objavila pri nástupe euro 4 v roku 2005. Skratka EGR znamená v preklade re-cirkulácia výfukových plynov, skratka SCR znamená v preklade

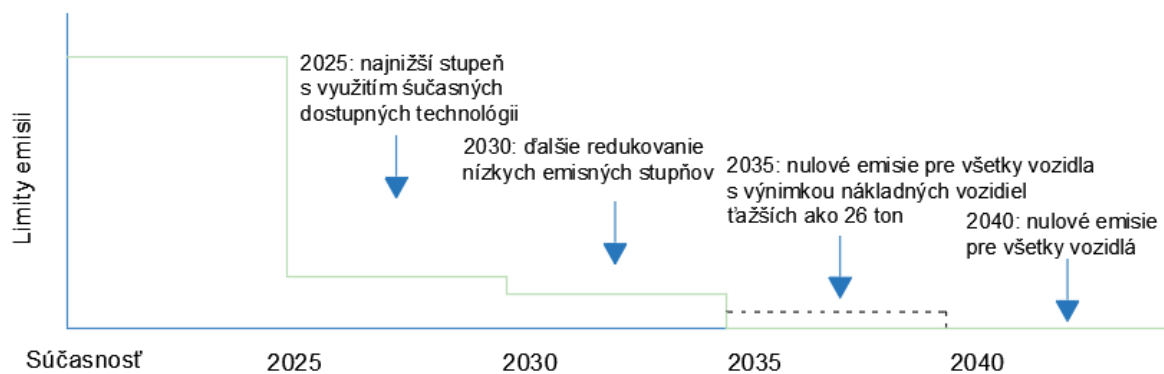
selektívna katalytická redukcia a slúžia na zníženie oxidu dusíka. Filter pevných častíc filtruje pevné častice výfukových plynov. Močovina sa pridáva taktiež na zníženie obsahu oxidu dusíka vo výfukových plynov. Na redukciu oxidov dusíka sa využíva kombinácia EGR s SCR alebo sa využíva iba SCR. [2]

Zavedením zložitejších systémov potrebných na redukciu emisií prináša zvýšené náklady v podobe pravidelného tankovania močoviny a zvýšených cien za údržbu týchto systémov. Preto sa na trhu objavili emulátory. Slúžia na vyradenie spracovania výfukových plynov a tým úplne znížia spotrebu močoviny na nulu. Emulátor dodáva falošné informácie do riadiacich jednotiek, aby nevznikli chybové hlásenia. Vyradený systém púšťa do ovzdušia všetky škodlivé emisie. Využívanie emulátorov v nákladných vozidlách je zakázané a funkčnosť výfukového systému sa kontroluje pri emisnej kontrole alebo pri náhodnej technickej a emisnej kontrole vykonanej políciou. V prvom prípade dopravca vyberie emulátor a bez problémov prejde technickou kontrolou. Na zamedzenie podvodov v oblasti emisií, či už užívateľom vozidiel alebo samotnými výrobcami ako v prípade dieseldgate, sa v Európskej únii rozmýšľa nad zavedením systému diaľkového merania emisií. Princíp je znázornený na obrázku č. 1. Využitím tohto systému sa dajú rýchlo zistiť reálne emisie v doprave. Diaľkovým snímaním emisií vozidiel sa dajú identifikovať napríklad nákladné vozidlá, ktoré využívajú emulátor. Na emisie má vplyv aj vekové zloženie vozového parku. V Českej republike sa pohybuje priemerný vek nákladných vozidiel na úrovni 16,4 rokov, na Slovensku 12,5 rokov a Európsky priemer je 11,7 rokov k 2016 roku. [3, 4]



Obrázok 1: Diaľkové meranie emisii [3]

V súčasnej dobe si dala Európska únia za cieľ znížiť emisie pre nové nákladné vozidlá o 30 %, zníženie emisií CO₂ do roku 2030 s porovnaním s rokom 2019. Aj keď sa v minulosti zavádzali euro emisné normy sa počas uplynulých 30 rokov kvalita ovzdušia v mestách výrazne nezlepšila. Práve naopak v posledných rokoch má stagnujúci charakter. Aj preto sa Európska komisia rozhodla najneskôr do roku 2050 vytvoriť ambiciózný plán a zbaviť dopravu emisií. Na nasledujúcom obrázku č. 2 je vidieť časový plán, kedy sa plánujú zaviesť nulové emisie pre vozidlá. Ale na druhú stranu, konštrukcia dieselových motorov nemusí umožniť v budúcnosti splniť ešte prísnejšie emisné normy. [3, 5]



Obrázok 2: Zavedenie nulových emisií v doprave [3]

2 Možnosti zníženia spotreby a emisií

Spotreba a následné emisie sa dajú znížiť zmenou platnej legislatívy, znížením jazdných odporov a úpravou pohonného ústrojenstva nákladného vozidla. Pod pojmom pohonne ústrojenstvo nákladného vozidla sú myslené hlavné časti potrebné na pohon vozidla. Priestor je viditeľný najmä pri zvýšení efektivity súčasných dieselových motorov alebo využitie alternatívnych druhov pohonu napríklad CNG, LNG alebo palivové články, ktorými sa docieli zníženie spotreby a emisií. V nasledujúcich kapitolách budú popísané jednotlivé zmeny.

2.1 Typy súprav a súčasná legislatíva

Ak by bolo možné zväčšiť rozmery a prípustnú hmotnosť súprav je potenciál ušetriť palivo a znížiť emisie. Taktiež by sa zredukoval počet kamiónov potrebných na prevoz rovnakého objemu tovaru, čo by mohlo prispieť k riešeniu problému s nedostatkom šoférov na trhu. [6]

The European Modular system je názov pre súpravy, ktoré majú celkovú dĺžku 25,25 m a celkovú hmotnosť 60 ton. Takéto súpravy sú najviac vhodné na prepravu tovaru medzi logistickými centrami. [7]

Tieto súpravy sa osvedčili najmä v Dánsku, Švédsku, Fínsku a úspešne sa testujú v Belgicku, Nemecku a Španielsku. Využitím EMS súprav sa dá doceliť zníženie spotreby o 15 % až 20 %. Takéto súpravy dokážu zredukovať potrebný počet súprav na prepravu tovaru z troch na dve. Bez narušenia bezpečnosti v cestnej doprave. [8]

V súčasnosti sa vykonáva v Španielsku test automobilkou SEAT, ktorá testuje súpravy s celkovou dĺžkou 31,7 m a maximálnou úžitkovou hmotnosťou 70 ton. Súpravu tvoria dva 13,60 m dlhé návesy spojené dvojitou dolly nápravou. Očakáva sa zníženie spotreby a emisií o 20 %. Taktiež sa zredukuje potrebný počet kamiónov o 50%. Na obrázku č. 3 sa nachádza testovaná súprava a pre porovnanie na obrázku č. 4 sa nachádza klasická súprava s 13,62 m dlhým návesom. [9]



Obrázok 3: Testovacia súprava s dĺžkou 31,7 m [9]



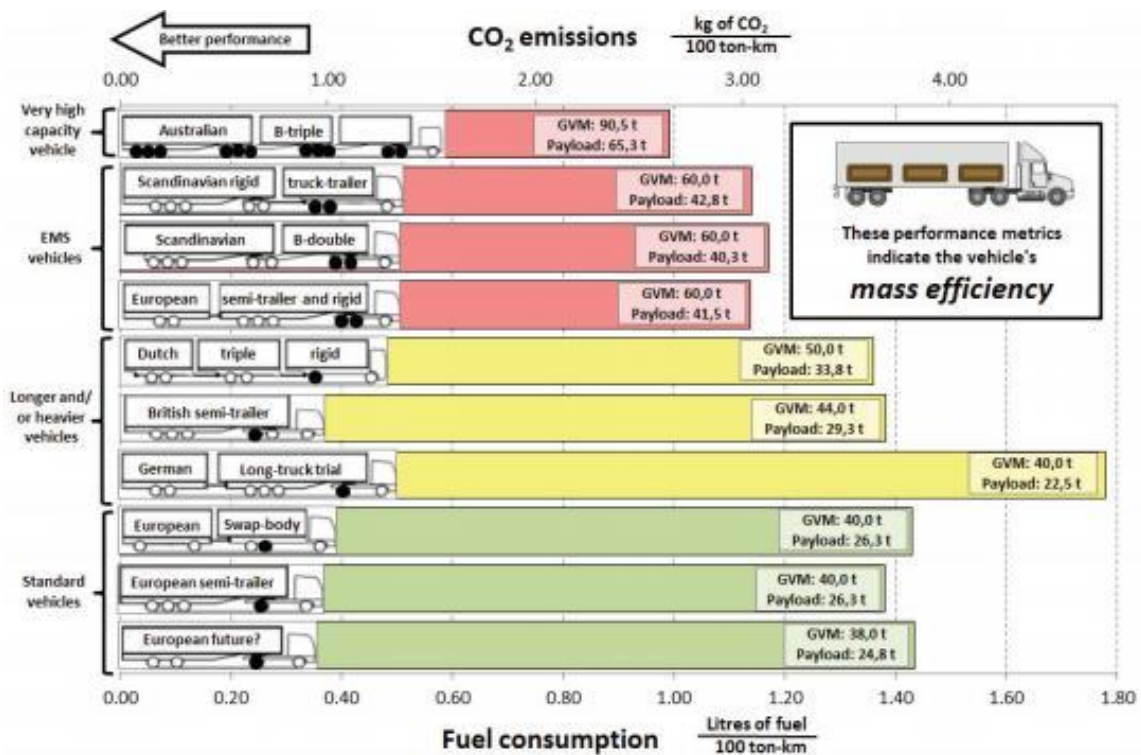
Obrázok 4: Štandardná súprava v Európe [10]

Na základe americkej štúdie, ktorá bola zameraná na porovnanie vplyvov dĺžok súprav na životné prostredie. Bola vykonaná na území USA a Kanady prišli k záveru, že jednotlivé dlhšie kombinácie vozidiel dokážu ušetriť od 15 až 28 % paliva a emisii. Výsledky štúdie sú uvedené v tabuľke č. 2. [11]

Tabuľka 2: Výsledky Americkej štúdie [11]

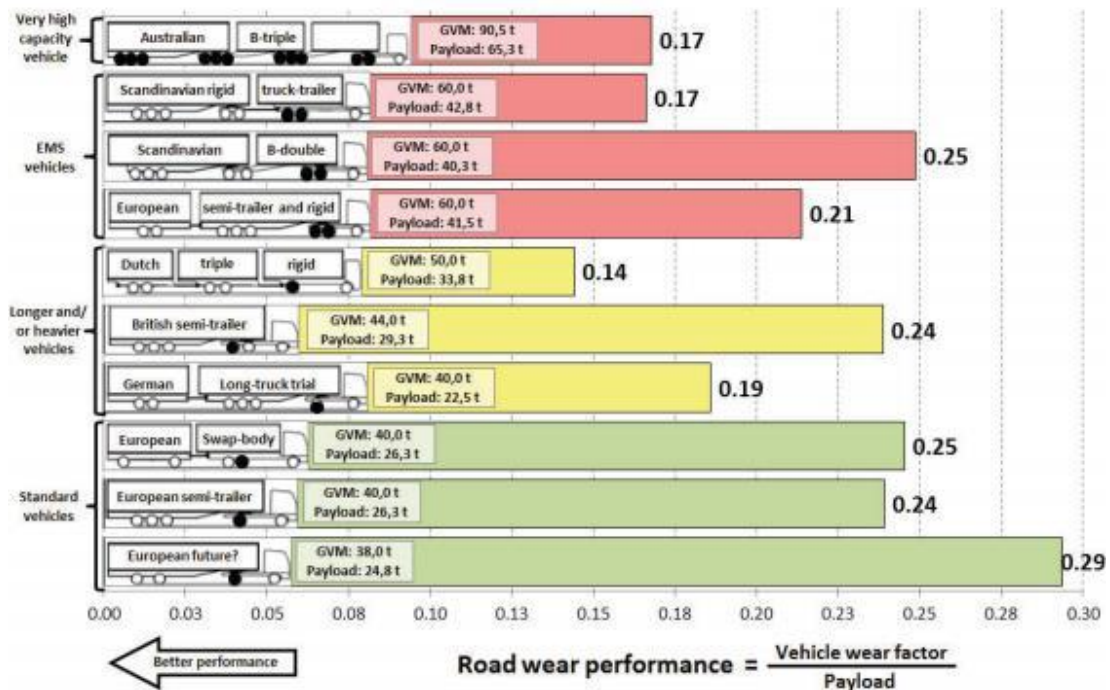
VEHICLE CONFIGURATION	TON-MPG @ 6.93 LB/FT ³ DENSITY	% REDUCTION IN FUEL AND CO ₂	TON-MPG @ MAX. GCW	% REDUCTION IN FUEL AND CO ₂
Baseline 53' trailer	115	N/A	172	N/A
53 Foot Three Axle Trailer	113	-1.7%	203	15.3%
28 Foot Doubles	114	-0.9%	158	-8.1%
33 Foot Doubles	128	10%	192	10%
Rocky Mountain Doubles	138	16%	218	21%
28 Foot Triples	145	21%	207	17%
Turnpike Doubles	160	28%	229	25%

V nasledujúcom obrázku č. 5 je vidieť produkcia emisií v závislosti na celkovej hmotnosti jazdnej súpravy. Ako je vidieť najlepšie vychádza Austrálska jazdná kombinácia B-triple s celkovou hmotnosťou 90,5 t a maximálnym užitočným zaťažením 65,3 t. Ako je vidieť oproti štandardnej európskej (European semi-trailer) s celkovou hmotnosťou 40 t a užitočným zaťažením 26,3 t B-triple súprava vytvára o 20 % menej emisií. [12]



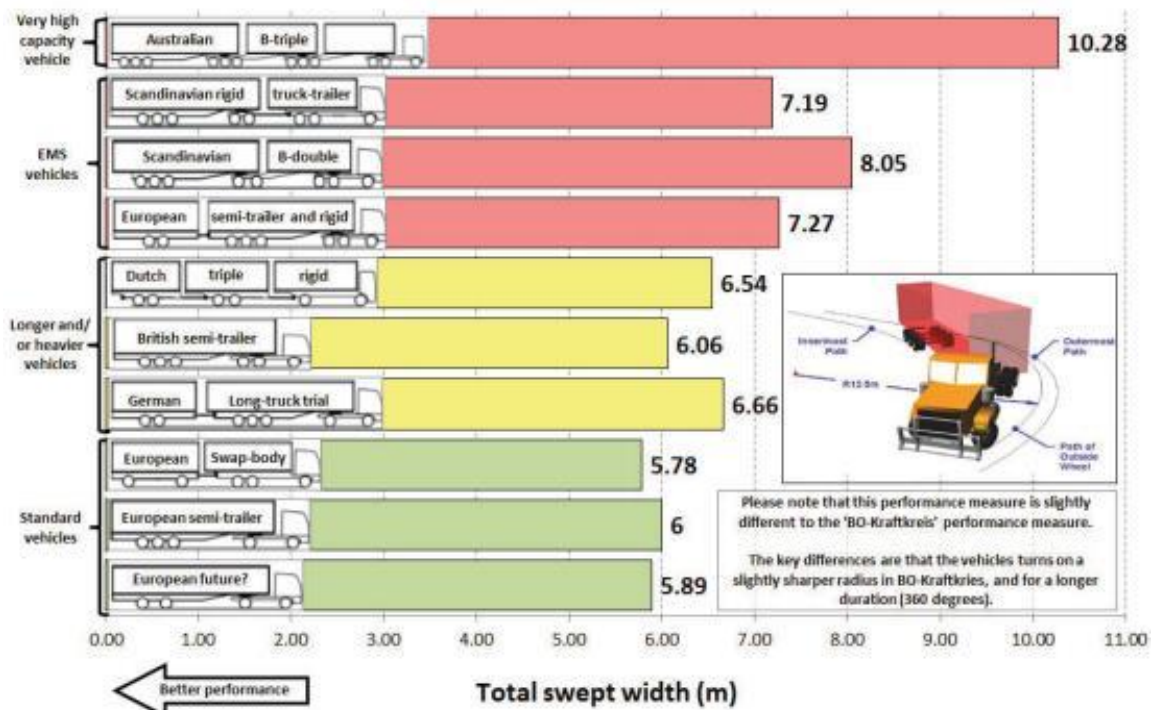
Obrázok 5: Vplyv hmotnosti súprav na emisie CO₂ [12]

Niektorí odborníci radi poukazujú na rýchle opotrebenie a zničenie ciest ťažkými nákladnými autami, tak to platí iba v prípade súprav s menším počtom náprav. Na obrázku č. 6 je vidieť porovnanie medzi jednotlivými jazdnými súpravami a ich faktorom akým opotrebávajú pozemné cestné komunikácie. [12]



Obrázok 6: Vplyv súprav na komunikácie [12]

Nevýhodou B-triple súprav je ich bočná šírka vybočenia. Ako vidíme na obrázku č. 7 oproti štandardnej európskej súprave je takmer dvojnásobná. Zavedenie takýchto súprav by si vyžadovalo úpravy súčasnej infraštruktúry. [12]



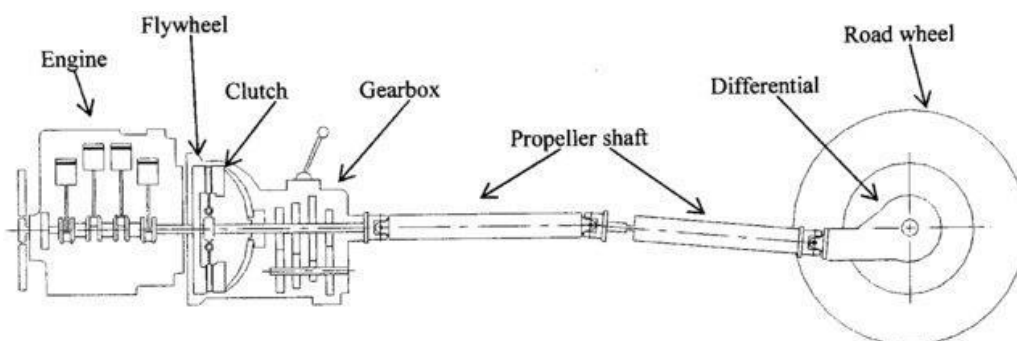
Obrázok 7: Šírka vybočenia súprav [12]

Aktuálne nastavenie pravidiel v cestnej nákladnej doprave v Českej republike neumožňuje využívanie dlhších súprav s dvoma prívesmi alebo náves s prívesom dlhších ako 22 m. Maximálna hmotnosť jazdnej súpravy je 48 t. [13]

Na rýchle zavedenie takýchto súprav do prevádzky je v súčasnej dobe podmienené zmene platnej legislatívy. Ďalší obmedzujúci faktor je súčasná infraštruktúra, ktorá nie je projektovaná na jazdu takto dlhých a hlavne ťažkých súprav. Najväčší problém by mali mostné objekty, ktoré neboli dostatočne dimenzované na ťažké vozidlá. Prispôbiť by sa museli aj parkoviská, aby sa umožnilo vykonávať povinné prestávky pre šóferov jazdiacich na takýchto súpravách.

2.2 Vylepšenie pohonného ústrojenstva k zníženiu spotreby a emisií

Pod pojmom pohonné ústrojenstvo sa myslia hlavné časti vozidla, ktoré umožňujú uviesť vozidlo do pohybu. Na obrázku č. 8 je znázornený zjednodušený pohľad na základné časti pohonného ústrojenstva nákladných vozidiel. Základné časti sú motor (Engine), zotrvačník (flywheel), spojka (clutch), prevodovka (clutch), kardanový hriadeľ (Propeller shaft), diferenciál (Differential) a pneumatika (road wheel). [14]



Obrázok 8: Schéma usporiadania dieselového pohonu [14]

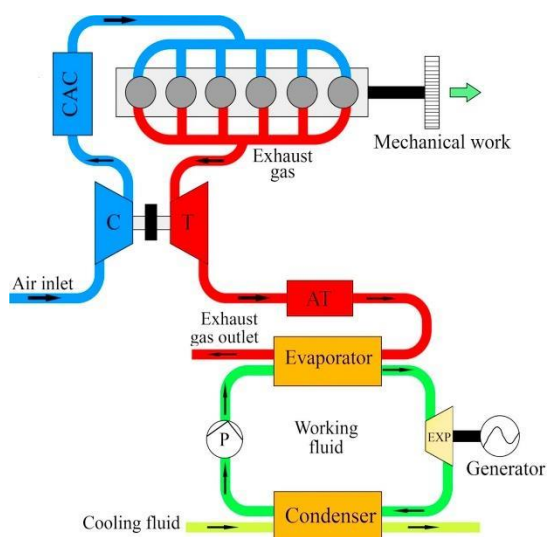
V nasledujúcich kapitolách budú popísané jednotlivé možnosti zlepšenia účinnosti motora v kapitolách č.2.2.1 a č.2.2.2, a využitie alternatívnych druhov palív namiesto dieselového pohonu.

2.2.1 Organic Rankine cycle system

Dieselové motory zohrávajú dôležitú úlohu v doprave a v poľnohospodárstve. Využívajú sa aj ako stacionárne generátory. Vytvárajú najväčšie emisie CO₂ v doprave. Tepelná účinnosť dieselových motorov je na úrovni 40 %, zvyšok energie sa vytráca vo forme výfukových plynov a ďalej sa nevyužíva. Preto sa vyvíja systém nazvaný Organic Rankine Cycle system, ďalej

len ORC, ktorý zlepší tepelnú účinnosť dieselových motorov. Princíp tohto systému je opätovné využitie odpadového tepla na zvýšenie tepelnej účinnosti. [15]

Na obrázku č. 9 je znázornený princíp fungovania najjednoduchšieho jednookruhového ORC systému. Potom ako výfukové plyny prejdú čistením, kde sa zbavia škodlivých spalín, tak aby spĺňali príslušné normy sa zvyšková tepelná energia z výfukových plynov odoberie cez výparník (Evaporator). Odobraté teplo sa dodáva pracovnej tekutine (Working fluid). Tá zmení svoju formu na vysokotlakovú paru, ktorá sa následne vedie z výparníka do expandéra (Expander), kde expanduje a vďaka tomu poháňa alternátor (Generator). Potom ako prebehla adiabatická expanzia, kde sa tlak pary znížil, ale narástol špecifický objem. Táto zmes pary a pracovnej tekutiny sa následne privádza do kondenzátora (Condenser), ktorý sa chladiacou tekutinou (Cooling fluid) vodou alebo vzduchom ochladí a ďalej sa mohla pracovná tekutina znovu použiť. Tento princíp fungovania je znázornený na obrázku č. 9. [15]



Obrázok 9: Princíp fungovania ORC systému [15]

Využitím jednookruhového ORC systému sa dá vylepšiť tepelná účinnosť motora o 10-25 %. Použitím zložitejšieho viacokruhového ORC systému sa zlepší tepelná účinnosť až na úroveň 60-90 %. Tým sa dá docieľiť úspora paliva a emisií až o 10 %. [15]

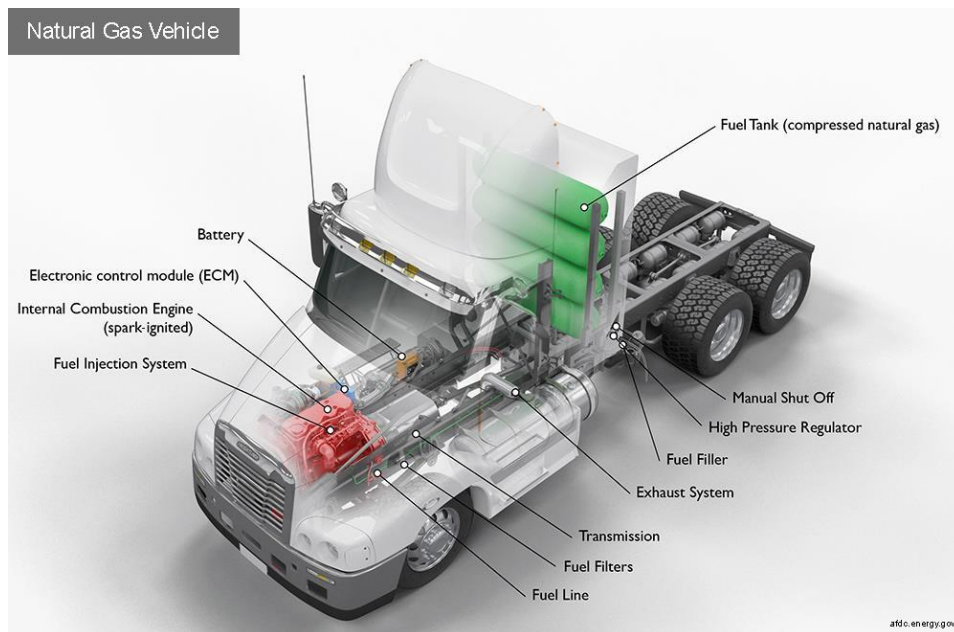
2.2.2 Turbo compound

Turbokompandný motor využíva časť výfukových plynov na pohon turbodúchadla. V motore sa nachádza vysokotlaková a nízkotlaková turbína. Výfukové plyny sú použité na pohon nízkotlakového turbodúchadla, ktoré je spojené pomocou kvapalinovej prevodovky s kľukovým hriadeľom, s cieľom znížiť spotrebu a zvýšiť krútiaci moment bez spaľovania ďalšieho paliva. V prípade, ak nízkotlaková turbína odoberá výkon, kvapalinová prevodovka ju odpojí. [16]

Spoločnosti, ktoré sa zaujímajú touto technológiou sú napríklad švédsky výrobca nákladných vozidiel Volvo Trucks alebo spoločnosť Voith Group, ktorá udáva zníženie spotreby a emisií o 3 %. [17]

2.3 CNG

CNG je skratka z anglického originálu Compressed Natural Gas v preklade stlačený zemný plyn. Princíp fungovania motorov na CNG je podobný s motormi na benzín. Na obrázku č. 10 je znázornené z akých častí sa skladá pohonné ústrojenstvo nákladného vozidla na CNG. Hlavné komponenty sú batéria (Battery), ECM (Electronic control module), výfukový systém (Exhaust System), palivové filtre (Fuel Filters), vstrekovací systém (Fuel Injection System), palivové potrubie (Fuel Line), motor s vnútorným spaľovaním (zapálenou iskrou) (Internal Combustion Engine(spark-ignited), prevodovka (Transmission), vysokotlakový regulátor (High Pressure Regulator), manuálne odpojenie prívodu paliva (Manual Shut Off) a upravené nádrže na stlačený zemný plyn (Fuel Tank CNG). Batéria slúži na zabezpečenie elektrickej energie pre prístroje a na naštartovanie motora. ECM (Electronic control module), čo znamená elektronický kontrolný modul, ktorý slúži na časovanie vstrekovania paliva, ďalej vykonáva kontrolu výfukového systému a zabezpečuje optimálny výkon motora. Výfukový systém je využitý na odvod spalín z motora cez trojcestný katalyzátor na zníženie emisií. Palivový filter zabezpečuje čistotu paliva. Vstrekovací systém zavádza palivo do spaľovacích komôr motora. Palivové potrubie väčšinou kovové potrubie alebo ohybná hadica poprípade ich kombinácia slúži na prepravu paliva z nádrže k vstrekovaciemu systému. Palivové nádrže na CNG uskladňujú palivo potrebné na pohon vozidla. Vysokotlakový regulátor slúži na zníženie tlaku plynu z nádrže na požadovanú úroveň vstrekovacieho systému paliva do motora. Motor slúži na spaľovanie paliva a premenu na mechanickú prácu. Princíp fungovania motora môžeme popísať nasledovne: palivo je vstreknuté do sacieho potrubia, kde sa zmieša so vzduchom a táto zmes je zapálená pomocou iskry zo zapáľovacej sviečky. Manuálne odpojenie prívodu umožňuje vodičovi v prípade potreby manuálne odpojiť prívod paliva. Prevodovka prenáša mechanickú prácu vyrobenú motorom, hriadeľom na pohon kolies. [18]



Obrázok 10: Schéma uporiadania CNG pohonu [18]

Výhody a nevýhody CNG

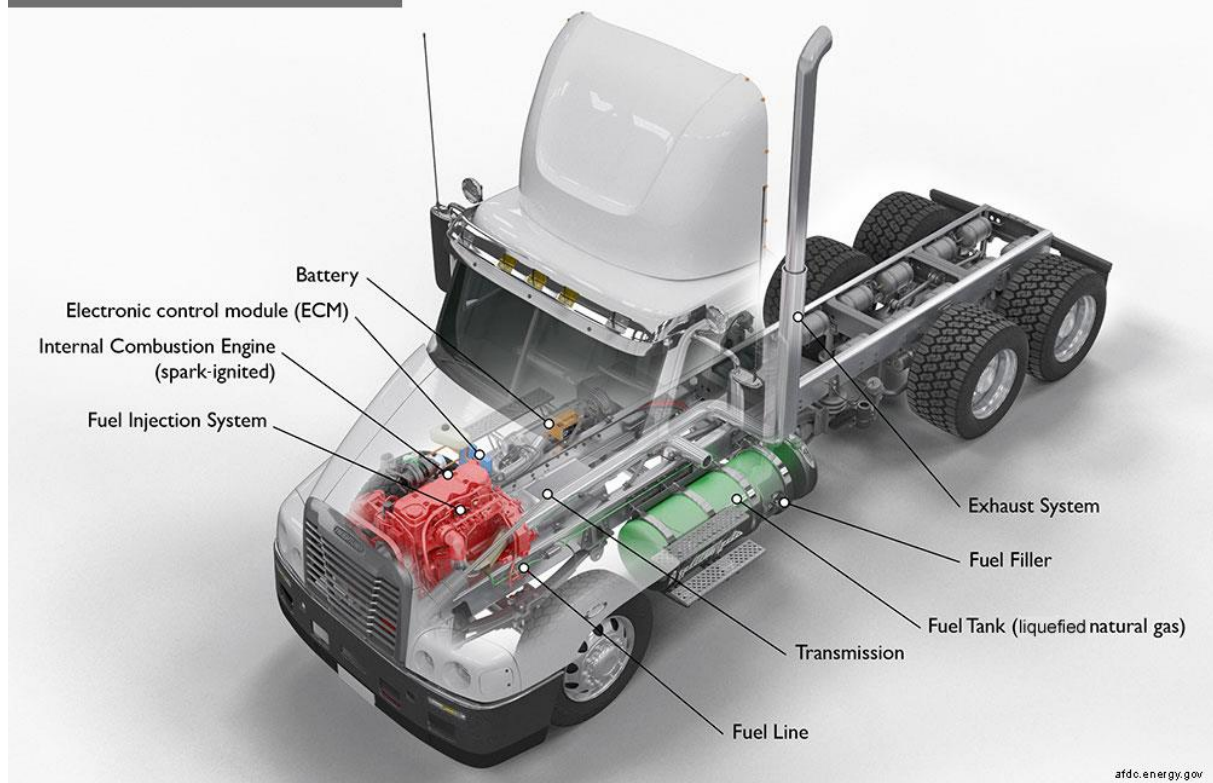
Výhodou využitia tohto paliva v nákladných vozidlách je, že emisie môžu klesnúť až o 70% (tank-to-wheel) oproti konvenčným motorom na naftu. Tank-to-wheel je pojem na charakterizovanie energetického reťazca vozidla. Začína v bode, kedy bola energia absorbovaná napríklad v palivovom čerpadle až do využitia, keď je vozidlo v pohybe. Tank-to-wheel teda opisuje použitie paliva vo vozidle počas jazdy. Taktiež sa dá vyrobiť Bio-CNG z organickej hmoty. [19, 20, 21]

Hlavné nevýhody CNG sú obstarávacia cena a dojazd. Obstarávacia cena, je vyššia ako u vozidla na naftový pohon. Niektoré štáty sa snažia túto prekážku odstrániť pomocou rôznych dotácií na nákup nákladného vozidla na CNG alebo odpustením platenia mýta za využívanie platených pozemných komunikácií ako napríklad Nemecko, ktoré nevyžaduje platbu mýta pre nákladné vozidlo poháňané CNG alebo LNG do roku 2020. Ďalšia nevýhoda je dojazd, ktorý sa pohybuje na úrovni 400 km. Z toho vyplýva, že nákladné vozidlá s pohonom na CNG sú v súčasnej dobe vhodnejšie na mestskú distribúciu. To by sa mohlo zmeniť do roku 2025, kedy Európska únia chce zaviesť čerpacie stanice na CNG každých 150 km. [21, 22, 23]

2.4 LNG

LNG je skratka pre Liquefied Natural Gas v preklade skvapalnený zemný plyn. Skvapalnený zemný plyn vzniká ochladením zemného plynu na teplotu -162°C vďaka čomu sa zredukuje jeho objem 600-krát. Princíp spaľovania LNG v motore je podobný s benzínom. Na obrázku č. 11 je znázornené z akých častí sa skladá pohonné ústrojenstvo nákladného vozidla na LNG. Hlavné komponenty sú batéria (Battery), ECM (Electronic control module), výfukový systém (Exhaust System), palivové filtre (Fuel Filters), vstrekovací systém (Fuel Injection System), palivové potrubie (Fuel Line), motor s vnútorným spaľovaním (zapálenou iskrou) (Internal Combustion Engine (spark-ignited), prevodovka (Transmission) a upravené nádrže na skvapalnený zemný plyn (Fuel Tank LNG). Batéria slúži na zabezpečenie elektrickej energie pre prístroje a na naštartovanie motora. ECM (Electronic control module), čo znamená elektronický kontrolný modul. Slúži na časovanie vstrekovania paliva, kontrola výfukového systému a zabráneniu zneužívaniu motora. Výfukový systém je využitý na odvod spalín z motora cez trojcestný katalyzátor na zníženie emisií. Palivový filter zabezpečuje čistotu paliva. Vstrekovací systém zavádza palivo do spaľovacích komôr motora. Palivové potrubie väčšinou kovové potrubie alebo ohybná hadica poprípade ich kombinácia slúži na prepravu paliva z nádrže k vstrekovaciemu systému. Palivové nádrže na LNG uskladňujú palivo potrebné na pohon vozidla. Motor slúži na spaľovanie paliva a premenu na mechanickú prácu. Princíp fungovania motora je, že palivo je vstreknuté do sacieho potrubia, kde sa zmieša so vzduchom a táto zmes je zapálená pomocou iskry zo zapalovacej sviečky. Prevodovka prenáša mechanickú prácu vyrobenú motorom, hriadeľom na pohon kolies. [24, 25]

Liquefied Natural Gas Truck



Obrázok 11: Schéma uporiadania LNG pohonu [24]

Výhody a nevýhody LNG

Výhody

Medzi hlavné výhody pohonu na LNG je hlavne vyšší dojazd, ktorý je 3,5 násobne vyšší v porovnaní s pohonom na CNG. LNG motory produkujú výrazne menej oxidu siričitého, oxidu dusnatého a taktiež o 15 % menej oxidu uhličitého. LNG nákladné vozidlá sú tichšie približne o 50 % v porovnaní s konvenčným pohonom s naftovým motorom. Za ďalšiu výhodu považujem rozšírenie časového okna, kedy sa umožní vozidlám vstúpiť do mestkej zóny, ktorá je regulovaná hlukovými limitmi. Tie sú definované PIEK certification pre vozidlá a zariadenia, ktoré pri práci vykonávajú menej ako 60 dB v nočnej dobe od 22:00 do 05:00 hod. Ďalšou výhodou LNG motorov je, že sa dá využiť 100 % obnoviteľný metán bez zmeny konštrukcie systému, skvapalnením Bio-CNG, ktoré bolo spomenuté v predchádzajúcej kapitole č. 2.3. Ceny LNG sú nižšie v porovnaní s naftou. Tým sa dá docieľiť zníženie prevádzkových nákladov. Ako bolo spomenuté v predchádzajúcej kapitole č. 2.3 vozidlá s pohonom na LNG nemusia v Nemecku platiť za využívanie platených cestných komunikácií. [26, 27, 28]

Nevýhody

Hlavná nevýhoda pohonu na LNG je malý počet výrobcov, ktorí tieto vozidlá vyrábajú a ich vyššia obstarávacia cena. LNG motory ponúkajú nižší výkon než naftové motory a nižšie užitočné zaťaženie z dôvodu ťažších nádrží. Taktiež nemôžu byť využité na prepravu nebezpečných materiálov. Problémom je aj v súčasnosti nízky počet čerpacích staníc. Na tankovanie LNG do nákladného vozidla je vyžadovaný špeciálny bezpečnostný kurz pre vodiča. Komplexnejšia technológia spaľovania LNG má za následok zvýšené náklady na údržbu na rozdiel od naftového pohonu. Ak sa na problematiku zavedenia LNG hľadí z pohľadu ochrany klímy a dekarbonizácie dopravy. Stojí za úvahy využitie pohonu na LNG v prípade, že sa bude vyrábať zo syntetických látok a obnoviteľných zdrojov elektrickej energie. To však bude mať vplyv na výrobné náklady a zvýšením ceny paliva. [28]

2.5 Električka a hybridy

Využitie pohonu čisto na elektrickú energiu vo forme batérií nemá zmysel v medzinárodnej nákladnej doprave z dôvodu vysokej hmotnosti batérií, ktoré sú potrebné na zaistení využiteľného dojazdu nákladného vozidla. Využitie čisto elektrických nákladných vozidiel má využitie v regionálnej doprave. Využitím vodíkových palivových článkov na výrobu elektrickej energie priamo vo vozidle sa dá doceliť zvýšenie dojazdu čisto elektrického vozidla. Lepšie uplatnenie v nákladnej doprave majú takzvané hybridné systémy. Pod pojmom hybrid sa rozumie využitie dvoch zdrojov energie na pohon vozidla. V nákladnej doprave sú najviac perspektívne hybridné systémy v ktorých sa využíva konvenčný spaľovací motor a elektrická energia. Toto spojenie môže byť vo forme dieselového motora a batérií alebo dieselového motora, batérie a odber elektrickej energie z troleje nad vozovkou.

2.5.1 Elektrický nákladný automobil

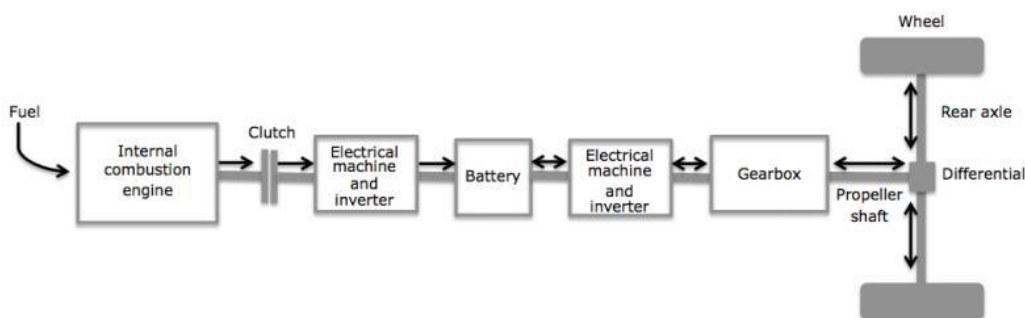
Nákladné vozidlá na čisto elektrický pohon majú výhodu, že neprodukujú žiadne emisie v prípade výroby elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov ani hluk z prevádzky. Na druhú stranu na výrobu batérií je stále treba veľké množstvo energie a drahých kovov. Čisto elektrický pohon pre nákladné vozidlá má reálne využitie v mestskej distribúcii alebo ako odvoz komunálneho odpadu. Hlavné časti, z ktorých sa skladá nákladný elektromobil je podobnými s tými, ktoré sa využívajú v osobných autách. Rozdiel je len v úprave komponentov, aby spĺňali potreby prevádzky nákladného vozidla. Čisto elektrické nákladné vozidlo ponúka napríklad švédsky výrobca nákladných vozidiel Scania. Reálny dojazd sa má pohybovať na úrovni približne 120 km. Vozidlo má mať dve batérie s celkovou kapacitou 165 kWh. Celková

hmotnosť vozidla je 27 ton. V súčasnosti sa zaoberá vývojom čisto elektrického nákladného vozidla aj americká spoločnosť Tesla. Tesla uvádza, že dojazd u čisto elektrického nákladného vozidla bude 300 - 500 mil a premenou na kilometre to je zhruba 482 až 804 km. Obstarávacia cena je len mierna vyššia od štandardného nákladného vozidla poháňaného dieselovým motorom. Rovnako uvádza, že ich produkt dokáže za dva roky ušetriť minimálne 200,000 \$ čo je v prepočte zhruba 4 424 892 Kč . [29, 30]

V Európskej únii nie je rozšírená žiadna sieť elektrických nabíjaciach staníc pre nákladné vozidlá. Tento fakt limituje využitie elektrického nákladného vozidla iba na mestskú distribúciu.

2.5.2 Dieselový motor a batéria

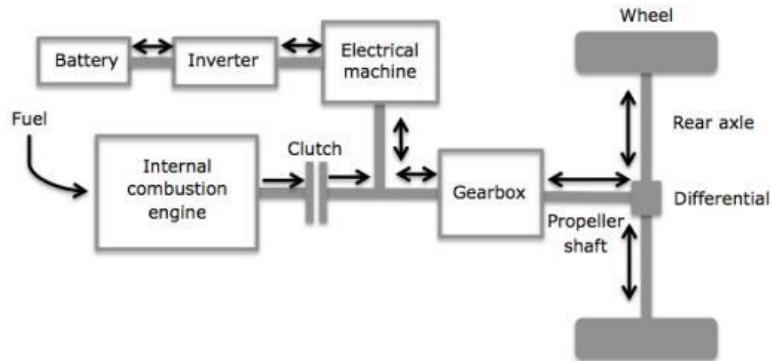
Spojenie dieselového motora a batérie sa dá spraviť v dvoch formách a to PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) a HEV (Hybrid Electric Vehicle). Rozdiel medzi nimi je, že PHEV sa dá dobíjať aj z elektrickej siete a rekuperáciou brzdením a HEV dokáže získavať elektrickú energiu iba z rekuperácie brzdením. Konštrukcia takýchto nákladných vozidiel sa skladá zo štandardného dieselového pohonného ústrojenstva doplnená o kapacitnú batériu a elektromotor. Elektromotor má využitie ako generátor elektrickej energie, ktorá sa následne uskladní v batérii a ako elektromotor na pohon kolies. Možnosť zapojenia hybridnej sústavy môže byť buď sériové alebo paralelne. Paralelne zapojenia hybridného systému umožňuje preniesť mechanickú prácu z viac ako jedného zdroja energie. Na obrázku č. 12 je vidieť schéma pohonného ústrojenstva sériového zapojenia hybridného systému v pohonnom ústrojenstve. [31, 32]



Obrázok 12: Schéma zapojenia sériového hybridného systému [32]

Základné časti znázornené na obrázku č. 12 sú palivo (Fuel), spaľovací motor (Internal combustion engine), spojka (Clutch), elektromotor a menič (Electrical machine and inveter), batéria (Battery), elektromotor a menič (Electrical machine and inveter), prevodovka (Gearbox), kardanový hriadeľ (Propeller shaft), diferenciál (Differential), zadná náprava (Rear

axle) a kolesá (Wheel). Šípky znázorňujú možné smery síl v hnacom ústrojenstve. Na obrázku č. 13 je zobrazené paralelne usporiadanie hybridného pohonného ústrojenstva. Paralelné zapojenie hybridného systému je viac vyhovujúce pre nákladné vozidla, najmä kvôli lepšej efektívnosti a nákladom na výrobu. [32]



Obrázok 13: Schéma zapojenia paralelného hybridného systému [32]

Výhody a nevýhody

Napríklad Scania ponúka PHEV/HEV kde výrobca uvádza, že zvládnu prejsť v čistom elektrickom režime 10 km. Hlučnosť vozidla by sa mala pohybovať na úrovni 72 dB. Pokles spotreby sa očakáva až o 15 %. Ako náhrada za klasickú naftu môže byť využitý HVO (Hydrotreated Vegetable Oil). HVO je skratkou pre hydrolafinovaný rastlinný olej. Využitie týchto vozidiel je vhodné na mestskú distribúciu a v stavebníctve. [33]

Hlavnou nevýhodou hybridných elektrických vozidiel je ich cena oproti klasickým vozidlám na dieselový pohon. Je to spôsobené vyššou cenou prídavných komponentov a stále pomerne malý objem výroby týchto vozidiel. [32]

2.5.3 Dieselový motor, batéria a zberač

O napájaní elektrickou energiou nákladných vozidiel trolejovým vedením nad vozidlom sa začalo diskutovať v posledných rokoch. Trolejové vedenie by napájalo elektrické kamióny na diaľnici. Tento systém je založený na princípe železničného trolejového vedenia. Zberač je zaradenie, ktoré slúži na odber elektrickej energie z trolejového vedenia nad vozidlom na pohon elektrických častí vozidla. Zberač je umiestnený na vrchu kabíny vozidla. Nákladné vozidlá, ale musia disponovať aj druhým zdrojom energie umožňujúci jazdu po komunikáciách bez trolejového vedenia. Ako druhý zdroj energie môže byť dieselový motor, batérie, palivové články alebo motor na CNG/LNG. Uvažované napätie v trolejovom vedení je jednosmerný prúd o napätí 750 V alebo 1500 V. Minimálna výška trolejového vedenia je 5,1 m a potrebná svetlá výška v prípade podjazdu pod mostom je pre 750 V 4,2 m a pre 1500 V až 4,8 m.

Vzdialenosť stožiarov pre trolejové vedenie je rozmedzí 40-50 m. V súčasnosti prebieha test v Nemecku na diaľnici A5 medzi Langenom a Mörfeldeinom od roku 2019 do roku 2022. Na tomto teste sa podieľajú spoločnosti Siemens a Scania. Na obrázku č. 14 je vidieť testovací úsek na spomenutej diaľnici. Zároveň je vidieť princíp fungovania celého systému. [32, 34]



Obrázok 14: Ukážka elektrifikovanej diaľnice v Nemecku [34]

Výhody a nevýhody

Najväčšou výhodou sú nulové emisie, ak je zberač pripojený k trolejovému vedeniu a elektrická energia je vyrobená z obnoviteľných zdrojov. Ďalšou výhodou sú nízke prevádzkové náklady v prípadoch, ak vozidlo prejde dostatočne dlhú vzdialenosť na elektrickú energiu. Rozvoj tejto technológie môže pomôcť k rýchlejšiemu rozvoju výroby elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov. Využitím tejto technológie sa dá ušetriť 6 000 000 ton CO₂ ročne za predpokladu, ak by v Nemecku po diaľniciach jazdilo 30 % nákladných vozidiel na elektrickú energiu odoberanú z trolejového vedenia. [28, 34]

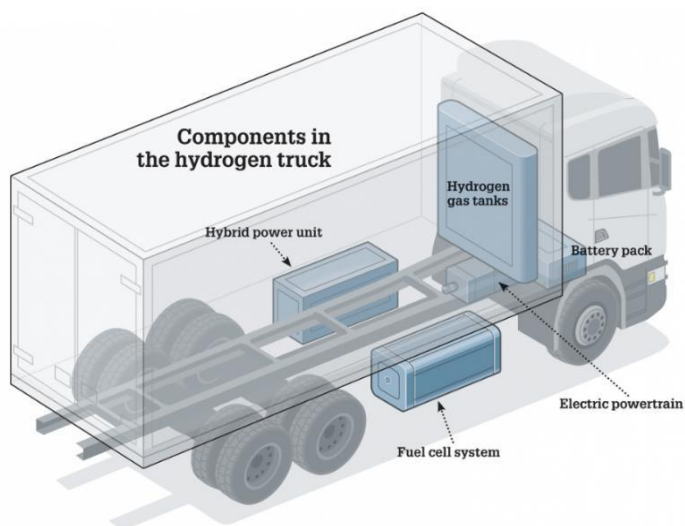
Hlavnou nevýhodou je cena na implementovanie tejto technológie do súčasnej cestnej siete. Taktiež by to vyžadovalo stavebné zásahy, ktoré by obmedzili dopravu. Malo by to aj negatívny bezpečnostný a vizuálny efekt na účastníkov cestnej dopravy. V súčasnosti nie sú dostupné žiadne nákladné vozidlá so zberačom. Všetky tieto vozidlá sú vyrábané iba ako prototypy.

Vplyv na vývoj tejto technológie má aj samotný logistický trh s dynamicky mieniacimi sa podmienkami vo využívaní vozidiel. [28]

2.6 Vodík

Pohonný systém založený na palivových článkoch pozostáva z hybridnej pohonnej jednotky, batérie, vodíkových palivových článkov, nádrže na vodík a elektrického motora. Vodíkové palivové články slúžia na chemickú premenu vodíka a vzduchu. Výsledkom chemickej reakcie

je elektrická energia a ako odpad vzniká voda. Batérie sú v systéme pre prípad, kedy je v systéme treba viac elektrickej energie na zrýchľovanie alebo pri brzdení a pomocou regenerácie vzniká elektrická energia, ktorá sa takto uchováva v systéme. Vodík sa v nádržiach skladuje pod vysokým tlakom až 700 bar. Elektromotor slúži na pohon vozidla pomocou elektrickej energie. Na obrázku č. 15 je vidieť dané komponenty a ich umiestnenie v rámci vozidla. [36]



Obrázok 15: Základné komponenty pohonu na vodík [36]

Výhody a nevýhody pohonu na vodík

Najväčšia výhoda je, že nulová produkcia emisií CO₂ v prípade, že vodík je vyrobený elektrolýzou za použitia elektrickej energie z obnoviteľných zdrojov. Elektrolýza je proces pri ktorom dochádza k rozkladu elektrolytu využitím jednosmerného elektrického prúdu. Taktiež má lepšiu účinnosť palivových článkov a elektrického motora než dieselový motor podľa metodiky TTW. Za zmienku stojí aj nízka hlučnosť, nulová spotreba na voľnobeh a nízke náklady na údržbu. [28]

Nevýhodou palivových článkov je, že majú dosť vysoké straty energie pri produkování elektrickej energie z vodíka pomocou elektrolýzy až 30 % a pomerne vysokú energetickú spotrebu na kilometer. Palivové články sú v súčasnej dobe drahé kvôli využitiu drahých kovov. Nádrže na vodík sú taktiež drahé kvôli ich konštrukcii, objemu a využitiu nových materiálov. V Európe prakticky neexistujú verejné tankovacie stanice. Nie je overené ako sa budú správať palivové články vo vozidle kvôli častým otrasom. [28]

2.7 Ostatné alternatívne palivá

Najvýznamnejšie alternatívne palivá sú HVO zmienené v kapitole č. 2.5.2 a Biodiesel. Za zmienku stojí aj benzín, ktorý sa využíval v starších nákladných automobiloch, ale upustilo sa od neho pre jeho vysokú spotrebu. Biodiesel vzniká pridaním bio komponentov (FAME) do nafty. Maximálne množstvo bio zložky je obmedzené na 5 % podľa normy EN590:2004. Posudzuje sa aj koncentrácia bio zložky až na 30 %, ale takáto koncentrácia bio zložky by si vyžiadala úpravu stability paliva a riedenie motorového oleja. Spaľovaním takéhoto paliva vznikajú na vstrekoch usadeniny. Využitím hydrorafinových rastlinných olejov sa dá zvýšiť pomer bio zložky v nafte. Výhodou týchto palív je redukcia CO₂. Nevýhodou je zníženie výkonu o 2 % až 4 %. [20]

3 Jazdné odpory

Vozidlo musí pri jazde neustále prekonávať jazdné odpory. Jazdné odpory sa delia do základných skupín: valivý a trecí odpor, odpor vzduchu, odpor stúpania a zrýchlenia. Na prekonanie týchto odporov potrebuje nákladné vozidlo 40% výkonu pri jazde po diaľnici konštantnou rýchlosťou. Najviac výrazný vplyv na spotrebu nákladného vozidla ma valivý a aerodynamický odpor. V nasledujúcich častiach budú opísané jednotlivé odpory a vylepšením najdôležitejších z nich. [37]

3.1 Odpor valenia

Vzniká pri styku pneumatiky s povrchom vozovky. Veľkosť odporu závisí od hmotnosti a pneumatík. Vypočíta sa podľa nasledujúceho vzorca. [38]

Rovnica 1: Odpor valenia [38]

$$O_f = m \cdot g \cdot f \cdot \cos \alpha$$

O_f je odpor valenia jeho jednotkou sú [N]. Kde m je známa hmotnosť vozidla udávaná v [kg]. Konštanta gravitačného zrýchlenia g má hodnotu $9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$. Súčiniteľ odporu valenia f je bez jednotkovou veličinou. Uhol α je sklon pojazbovej roviny udávaný v [°]. [38]

3.2 Odpor vzduchu

Odpor vzduchu vzniká pri jazde vozidla, mení sa druhou mocninou rýchlosti. Vypočíta sa podľa nasledujúceho vzorca. [38]

Rovnica 2: Odpor vzduchu [38]

$$O_v = 0,5 \cdot \rho \cdot c_x \cdot S \cdot v^2$$

Kde ρ je merná hmotnosť vzduchu, $1,29 \text{ kg}/\text{m}^3$ pri 0 °C a tlaku $0,101325 \text{ MPa}$. Parameter c_x je súčiniteľ tvaru telesa a je bezrozmerná. S je veľkosť čelnej plochy vozidla udávaná v [m^2]. Najdôležitejším prvkom pre výpočet je v rýchlosť vozidla udávaná v [m/s]. Odpor vzduchu je závislý na druhej mocnине rýchlosti. [38]

3.3 Odpor stúpania

Odpor stúpania vzniká, vždy keď sa vozidlo pohybuje do stúpania. Vypočíta sa podľa nasledujúceho vzorca. [38]

Rovnica 3: Odpor valenia [38]

$$O_s = m \cdot g \cdot \sin\alpha$$

„m je známa hmotnosť vozidla udávaná v [kg]. Konštanta gravitačného zrýchlenia „g“ má hodnotu 9,81 m.s⁻². Uhol α je sklon pojazdovej roviny udávaný v [°]“. [38]

3.4 Odpor zotrvačnosti

Vzniká pri zmene pohybového stavu na ktorú je potrebné využiť silu. Vypočíta sa podľa nasledujúceho vzorca. [38]

Rovnica 4: Odpor zotrvačnosti [38]

$$O_a = m \cdot a \cdot \delta$$

„m je známa hmotnosť vozidla udávaná v [kg], a je zrýchlenie telesa [m.s⁻²]. δ súčiniteľ vplyvu rotujúcich častí, zohľadňuje vplyv motora, spojky, prevodovky a ďalších častí pohonného ústrojenstva a je bezrozmerná veličina“. [38]

3.5 Aerodynamika

Súčasný rozmery kamiónov sú pre aerodynamiku limitujúce kvôli efektívnemu využitiu ložnej plochy súpravy. Ako bolo uvedené v predchádzajúcej kapitole č. 2.1, súčasné predpisy dovoľujú maximálnu dĺžku 16,5 m pre ťahač s návesom a pre súpravu s prívesu maximálne 20 m alebo kombináciu ťahač s návesom a prívesom, kde je maximálna dĺžka 22 m. Tieto pravidlá spôsobujú, že sa maximalizujú rozmery pre využitie ložnej plochy súpravy. To spôsobuje, že tvar kabíny pripomína kváder, ktorý je len málo aerodynamický. Na rozdiel od amerických ťahačov, ktoré majú väčšinou pred kabínou kapotu a tá následne znižuje aerodynamický odpor. Pre porovnanie na obrázku č. 16 tvar európskeho ťahača s porovnaním tvaru s americkým ťahačom na obrázku č. 17.





Obrázok 16: Tvar európskeho ťahača [39]



Obrázok 17: Tvar amerického ťahača [39]

Vylepšiť aerodynamiku ťahača sa dá docieľiť zaguľatením a zlepšením aerodynamických vlastností kabíny. Pri jazde vďaka tvaru návesu vzniká za návesom aerodynamický vír, ktorý taktiež zvyšuje jazdné odpory. Dalo by sa to odstrániť pridaním zadného, medzinápravového spojlera alebo upravením tvaru návesu z kvádra na slzu. V tabuľke č. 3 je vidieť akými spôsobmi sa dá odstrániť vírenie za návesom, ich vplyv na spotrebu a emisie a zároveň akú dĺžku vyžadujú jednotlivé varianty. Z dôvodu bezpečnosti je zavedený maximálny previs spojlerov na 600 mm. Aby sa zabránilo prílišnému bočnému vybočeniu, a tým pádom by to mohlo ohroziť bezpečnosť cestnej premávky. [40]

Tabuľka 3: Možnosti odstránenia vírenia za návesom [40]

Zariadenie	Približne pridané požadované rozmery	Najvhodnejší typ návesu	Približné redukcie CO ₂ v diaľkovej doprave	Obrázok/princíp fungovania
Spojler s otvorenou dutinou	1,0 – 1,5 m	Skriňový (plachtový, chladiaci)	6 %	
Vsunuté spojler s otvorenými dutinami	0,6 – 0,8 m	Skriňový (plachtový, chladiaci)	5 – 8 %	
Nafukovacie spojler s otvorenou dutinou	0,4 – 0,6 m	Skriňový (plachtový, chladiaci)	3 – 4 %	
Nafukovacie spojler s uzavretou dutinou	1,0 – 1,5m	Skriňový (plachtový, chladiaci)	5 %	
Aktívna regulácia prietoku/difúzor	0,3m	Skriňový (plachtový, chladiaci)	7 %	

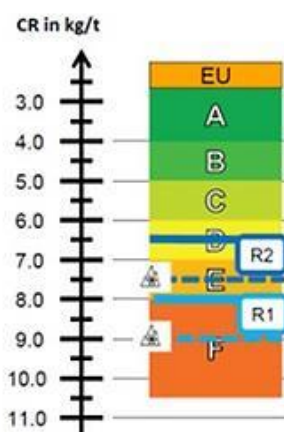
Upravením tvaru návesu na tvar pripomínajúci slzu sa pri rýchlosti 90 km/h dá znížiť aerodynamický vír o 35,7 % oproti štandardnému tvaru. Toto zníženie sa prejaví na spotrebe, ktorá klesne o 10 %. Ušetrené emisie oproti štandardnému tvaru sú ročne okolo 6 ton. Má to aj ďalší benefit v podobe zvýšenia vnútorného objemu návesu o 10 %, čo umožní prepraviť viac tovaru. Tieto návesy sú vo veľkom využívané v Spojenom Kráľovstve. Tvar tohto návesu je možné vidieť na obrázku č. 18. Nevýhodou tohto návesu je ich maximálna výška, ktorá je až 4,65 m. Na území kontinentálnej Európy je výškový limit 4 m. [41, 42]



Obrázok 18: Tvar slzového návesu [42]

3.6 Pneumatiky

Ako bolo spomenuté v predchádzajúcej kapitole, na spotrebu a emisie ma výrazný vplyv odpor valenia. Zavedením nového limitu valivého odporu R2 pre nákladné vozidlá a autobusy sa zvyšuje minimálny valivý odpor o 20 % oproti staršiemu limitu R1. Porovnanie limitov R1 a R2 v jednotlivých energetických kategóriách pre pneumatiky je vidieť na obrázku č. 19. [43]



Obrázok 19: Energetické triedy pneumatík [43]

Označovanie pneumatík energetickým štítkom klasifikuje výkon pneumatiky v troch kategóriách. Tie kategórie sú trieda energetickej účinnosti, brzdenie na mokrom povrchu a vonkajší hluk. Trieda energetickej účinnosti sa pohybuje od A až po G. Pričom trieda A znamená najúčinnjšia a trieda G najmenej účinná. Pneumatika triedy A ma najmenší valivý odpor. Tým pádom znižujeme odpory na pohyb vozidla. To sa premieta znížením spotreby a emisií. Ak by všetky vozidlá boli vybavené najlepšimi pneumatikami v celej EÚ dalo by sa doceliť zníženie CO₂ ročne o 15 miliónov ton. Trieda príľnavosti na mokrom povrchu sa rozdeľuje taktiež do kategórii od A po G. Trieda A má najkratšiu brzdnú dráhu na mokrom asfalte a trieda G najdlhšiu. To má vplyv aj na bezpečnosť cestnej dopravy. Poslednou kategóriou v označovaní pneumatík je trieda vonkajšieho hluku. Na rozdiel od predchádzajúcich dvoch kategórii má iba tri triedy. Trieda A znamená menej hluku mimo vozidla, trieda B viac hluku a trieda C už nie je povolená. Pre porovnanie externého hluku z odvaľovania pneumatík poskytne nasledujúca tabuľka č. 4. [44]

Tabuľka 4: Hlukové limity pre pneumatiky [43]

Pneumatiky pre nákladné vozidlá a autobusy	Limit	Limit
Limity	Fáza 1	Fáza 2
v dB(A)	= 51	= 52
Obyčajné pneumatiky*	76	73
Snežné pneumatiky**	78	74
Špeciálne využitie pneumatík (Terénne)	79	75
Trakčné pneumatiky	-	+2 dB(A)
*Limit sa aplikuje aj na pneumatiky označené M+S **Pneumatika, ktorá prešla snežným testom a je označená Alpskou značkou (3PMSF)		

Výpočet spotreby energie na prekonanie odporu valenia

Výpočet zahŕňa odpor valenia rozšírený o zaťaženie pneumatík a súčiniteľom odporu valenia. Vypočíta sa podľa nasledujúceho vzorca. [59]

Rovnica 5: Celkové straty na pneumatike odporom valenia [59]

$$E_{clk} = O_f * L * F_z$$

E_{clk} – celkové energetické straty [kwh]

L – vzdialenosť [km]

F_z – zaťaženie pneumatík [kg]

O_f – odpor valenia

f – súčiniteľ odporu valenia [-]

4 Využitie technológií a vplyv vodiča na spotrebu

Využitím nových technológií v nákladných vozidlách ako sú ACC a platooning má cieľ znižovanie spotreby a emisií. Na spotrebu má ešte stále výrazný vplyv aj ľudský faktor. V nasledujúcich kapitolách budú popísané jednotlivé technológie a vplyv vodiča.

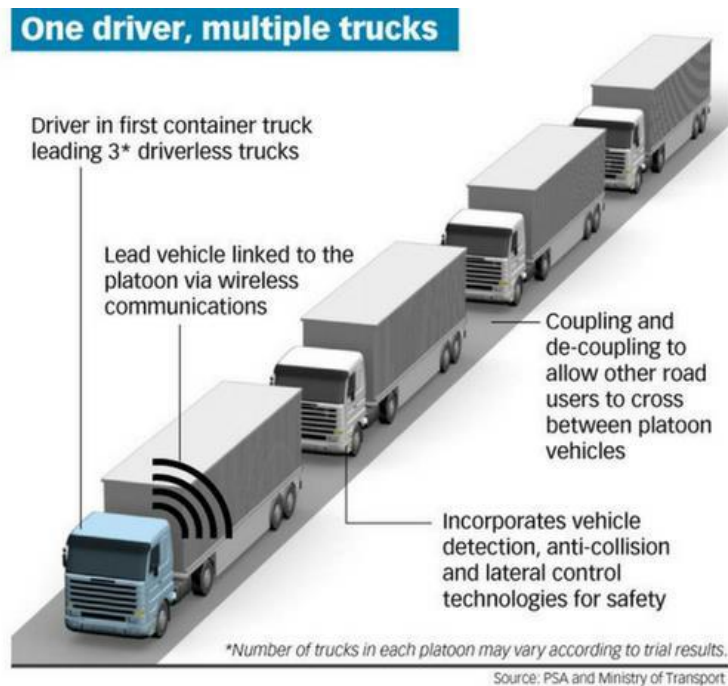
4.1 ACC

ACC je skratkou pre adaptívny tempomat. Jeho princíp je automaticky regulovať rýchlosť vozidla vzhľadom na dopravu pred ním. Na zabezpečenie správnych údajov sú vozidlá vybavené dvoma systémami a to radarom a kamerou. Radar slúži na zachytenie vozidiel idúcich pred ním a zistenie ich rýchlosti a taktiež vzdialenosť k nim. Kamera, ktorá je umiestnená na čelnom skle slúži na rozpoznávanie objektov pred vozidlom. Zároveň slúži na rozpoznávanie jazdných pruhov. Vďaka takto vytvorenému systému je zabezpečené fungovanie aj za zhoršených poveternostných podmienok alebo za tmy. Tento systém taktiež dokáže zabrániť dopravným nehodám v prípade, že by sa vodič plne nevenoval riadeniu. Vylučuje zrážku vozidla narazením do konca iného vozidla. [45]

Na základe testu, ktorý bol v Francúzsku, Švédsku, Nemecku a Taliansku kde vozidlá boli vybavené týmto systémom prišli k záveru, že spotreba a emisie sa dajú redukovať o 1,9 % pri jazde po diaľnici s využitím adaptívneho tempomatu. [46]

4.2 Platooning

Pod pojmom platooning sa rozumie jazda dvoch a viac kamiónov v tesnej vzdialenosti za sebou. Cieľom je zvýšiť aerodynamiku udržiavaním odstupu medzi vozidlami približne na úrovni 10 m. Vozidlá sú spojené bezdrôtovou technológiou. Každé vozidlo musí byť vybavené radarmi a senzormi umožňujúce jazdu v platooningu. Systém reaguje na vedúce vozidlo a podľa toho sa riadia ostatné vozidlá zapojené v systéme. Vozidlá sa dokážu automaticky odpojiť od skupiny a umožniť ostatným účastníkom cestnej prevádzky vykonať bezpečne svoj manéver. Využitím tohto systému sa dá docieľiť zníženie spotreby a emisií až o 10 %. Vďaka rýchlejšim reakciám systému na dianie pred vozidlom sa zvýši aj bezpečnosť cestnej premávky. Nemecký výrobca Man Truck & Bus túto technológiu úspešne testuje v Nemecku v spolupráci s logistickou spoločnosťou DHL. Majú za sebou už úspešne viac ako tisícky kilometrov jazdy vozidiel zapojených v platooningu. Princíp fungovania systému je znázornený na obrázku č. 20. [47]



Obrázok 20: Princíp fungovania platooningu [48]

4.3 Autonómne nákladné vozidlá

Autonómne nákladné vozidlá sa vyvíjajú hlavne kvôli nedostatku šoférov na trhu. Priemerný vek profesionálnych vodičov nákladných automobilov a autobusov je v Európskej únii 50 rokov. Len v Nemecku sa odhaduje, že do roku 2027 pôjde 40 % vodičov nákladných vozidiel a 55 % vodičov autobusov pôjde na dôchodok. To znamená, že bude chýbať až 185 000 profesionálnych šoférov. Autonómne vozidlá sú vybavené rôznymi druhmi snímačej technológie. Pozostáva z Lidaru, radaru a 360 ° kamery ktorá sníma okolie vozidla. Vďaka tejto technológii dokáže zaznamenať iné vozidlo na vzdialenosť až 1600 m. [49, 50]

Autonómna technológia v nákladných vozidlách sa rozdeľuje do piatich kategórii :

- Prvý stupeň: Podpora vodiča – jedna funkcia je kontrolovaná automaticky (napríklad tempomat).
- Druhý stupeň: Čiastočná automatizácia – ovládanie vozidla a pridávanie a uberanie rýchlosti sú riadené systémom, šofér je pripravený prevziať kontrolu nad vozidlom.
- Tretí stupeň: Podmienená automatizácia – bezpečnosť a dôležité funkcie sú zautomatizované, vodič je stále prítomný v kabíne v prípade istých dopravných situácií alebo vplyvov počasia.
- Štvrtý stupeň: Vysoká automatizácia – kompletne zautomatizované ovládanie vozidla systémom po celý čas jazdy, vodič je stále prítomný v kabíne.

- Piaty stupeň: Plná automatizácia – očakáva sa, že systém bude rovnako ako vodič vo všetkých možných prípadoch aké môžu nastať, vodič nie je prítomný v kabíne. [51]

Prvý stupeň obsahuje systém ako napríklad adaptívny tempomat zmienený v kapitole č. 4.1. Druhý a tretí stupeň automatizácie je zameraný na zlepšenie aerodynamiky, spotreby paliva a určenie ideálnej jazdnej rýchlosti. Ďalšie možnosti, kde systém môže byť lepší ako ľudský faktor je optimalizácia rýchlosti a brzdenia, čím sa docieli lepšia efektivita než u najšetrnejšieho šoféra. Štvrtý a piaty stupeň automatizácie obsahuje funkcie na zlepšenie bezpečnosti v doprave. Automatizované vozidlá by mali vedieť zabrániť prevráteniu vozidla poprípade šmyku a majú lepší reakčný čas ako vodič, čo znižuje brzdnú dráhu. Štvrtým stupňom automatizácie sa zaoberá aj americká spoločnosť TuSimple, ktorá na území USA prevádzkuje 200 kamiónov vybavených týmto systémom. Piatym stupňom automatizácie sa v súčasnosti zaoberajú vo Švédsku dve spoločnosti a to Einride a Volvo Trucks. Testy sú vykonávané v kontrolovanom prostredí, nízkou rýchlosťou a jazdou na krátke vzdialenosti. V súčasnej legislatíve nie je možné aby autonómny systém riadil vozidlo na verejných pozemných komunikáciách. Aby sa autonómne vozidlá mohli používať na pozemných komunikáciách sa musí zmeniť aktuálna legislatíva. [51]

4.4 Vodič

Spotreba nie je iba o technológiách a rôznych úpravách. Ešte stále závisí aj na šoférovi a jeho štýlu jazdy. Väčšina európskych výrobcov nákladných vozidiel ponúkajú kurzy pre vodičov kurzy na zlepšenie jazdného štýlu. Vodič po absolvovaní kurzu môže ušetriť až 10 % spotreby a zvýšiť taktiež bezpečnosť jazdy ako uvádza napríklad Švédsky výrobca Volvo Trucks. [52]

Pre vodičov jazdiacich v Európskej únii platia pravidlá o čase práce nazývané AETR a poprípade doplnené o vnútroštátne predpisy. Pravidlá AETR určujú maximálny čas práce, čas jazdy a minimálny čas odpočinku. „Vodič môže jazdiť maximálne 4,5 h a potom vykonať bezpečnostnú prestávku v dĺžke 45 min neprerušovane. Denne môže jazdiť maximálne 9 h a dvakrát do týždňa 10 h. Týždeň sa počíta ako obdobie od pondelka 00:00 do nasledujúcej nedele 24:00. Maximálny týždenný čas jazdy je 56 h. Celkový čas jazdy po sebe nasledujúcich dvoch týždňoch je 90 h. Maximálny denný čas práce je 13 h po ktorých musí čerpať minimálne 11 h odpočinku. Existuje aj výnimka, kedy sa denný odpočinok môže skrátiť na 9h, avšak maximálne trikrát do týždňa. Čas práce sa môže trikrát do týždňa predĺžiť až na 15 h. Týždenná doba odpočinku sa musí čerpať na konci šiestich 24 hodinových cyklov. Doba týždenného odpočinku je 45h, ktorý sa dá skrátiť na 24 h. Toto skrátenie sa však musí nahradiť primeraným odpočinkom čerpaným vcelku pred koncom tretieho týždňa nasledujúceho po predmetnom odpočinku“. [53]

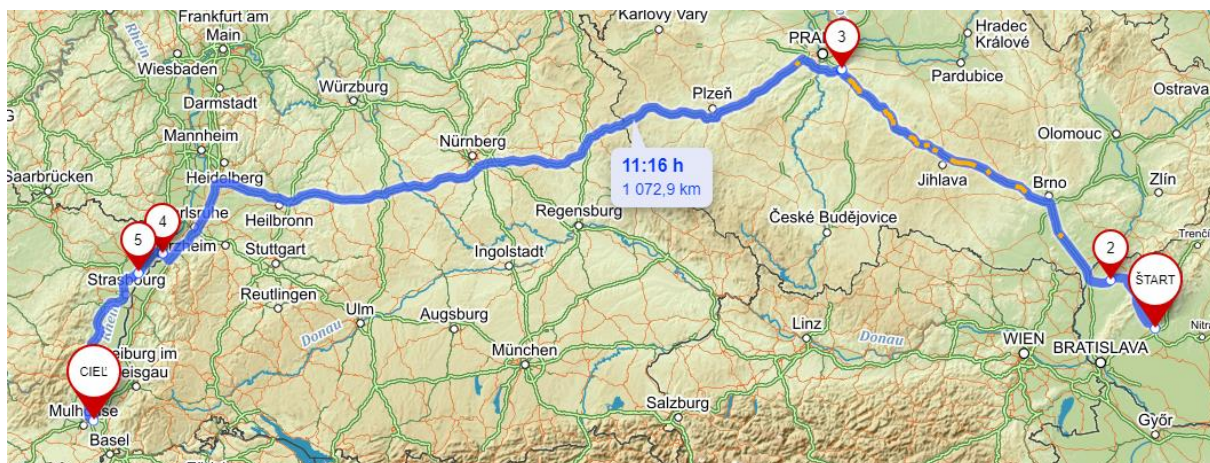
5 Vplyv rýchlosti na spotrebu

V súčasnosti dopravcovia, ktorí chcú doceliť lepšiu spotrebu svojich jazdných súprav, znižujú maximálnu dovolenú rýchlosť pre ich súpravy na 80-82 km/h. Mojim návrhom na zníženie spotreby a emisií nákladných vozidiel je, aby nákladné vozidlá pri jazde po diaľnici z kopca mohli využívať kinetickú energiu. To znamená, že by prekračovali maximálnu povolenú rýchlosť, ktorá je 90 km/h. Tento návrh by sa dal aplikovať na smerovo rozdelených komunikáciách v extraviláne, kde by to dovoľovali miestne pomery, počasie a hlavne, aby bola zachovaná bezpečnosť dopravy. Aby to bolo možné aplikovať v praxi, je to podmienené zmenou platnej legislatívy a úpravou súčasných technológií. V ideálnom prípade, by sa tým dalo doceliť zníženie spotreby a emisií, ale aj vyššia efektivita vozidiel a času práce vodiča. Aplikácia tohoto návrhu má zmysel hlavne v kopcovitom teréne. Taktiež to má aj negatívne dopady, a to možné zníženie bezpečnosti dopravy a zvýšený hluk. Všetky časti budú rozpísané v nasledujúcich kapitolách.

5.1 Praktický test

Overenie môjho návrhu mi pomohla vykonať dopravná firma M-EXPRES SPED spol. s r.o. so sídlom v Trnave, Slovensko. Firma vznikla v roku 1992. Spoločnosť sa zaoberá vnútroštátnou a medzinárodnou kamiónovou dopravou, špedičnými a opravárenskými službami.

V rámci testu boli použité ťahače značky Volvo FH 500 euro 6. Dané vozidlá majú výkon 368 kw pri 1400-1900 ot/min a krútiaci moment 2500 nM pri 1050-1400 ot/min a automatickou prevodovkou I-SHIFT. Diferenciál na zadnej náprave má nastavený prevodový pomer 2,51. Dané vozidlá sú v konfigurácii „mega“ to umožňuje vnútornú výšku v návесе 3 m. Daný test prebiehal na trase Trnava (SK) – Mulhouse (F) – Trnava (SK). Trasa meria 1073 km v jednom smere. Trasa viedla PSA Trnava - I/51 - II/500 - I/2 - D2-hraničný priechod Brodské/Břeclav - D2 – D1 – D0 – D5 – hraničný priechod Rozvadov/Waidhaus – A6 – A5 – B500 – hraničný priechod Baden Baden – D4 – A35 – PSA Mulhouse. Súpravy mali naložené približne 9 ton pri ceste do Francúzska a pri ceste na späť mali naložené 17 ton. Celková hmotnosť prázdnej súpravy je 17 ton. Mapa trasy je znázornená na obrázku č. 21.



Obrázok 21: Testovaná trasa [60]

Na obrázku č. 22 je znázornený výškový profil trasy. Najvyšší bod na trase sa nachádza vo výške 660 m.n.m. v Českej republike, najnižší bod sa nachádza 106 m.n.m v Nemecku. Pribeh daného profilu je vhodný k overeniu návrhu na zníženie spotreby.



Obrázok 22: Výškový profil testovanej trasy [60]

Získané dáta sú uvedené v prílohe č.1.

Ukážka nazbieraných dát za mesiac jún na danej trase je na obrázku č. 23, kde sú vidieť všetky namerané hodnoty ako celková rýchlosť, čas, celkový počet kilometrov, množstvo paliva a celková priemerná spotreba v l/100km. Rovnako je vidieť celkovú priemernú rýchlosť pri prekročení rýchlosti jazdy definovanú pre systém Dynafleet rýchlosťou 85 km/h. Dynafleet je telemtrický systém na vyhodnotenie jazdných údajov z kamiónov.

Hodnota danej rýchlosti je 87,92 km/h bude využitá na ďalšie spracovanie.

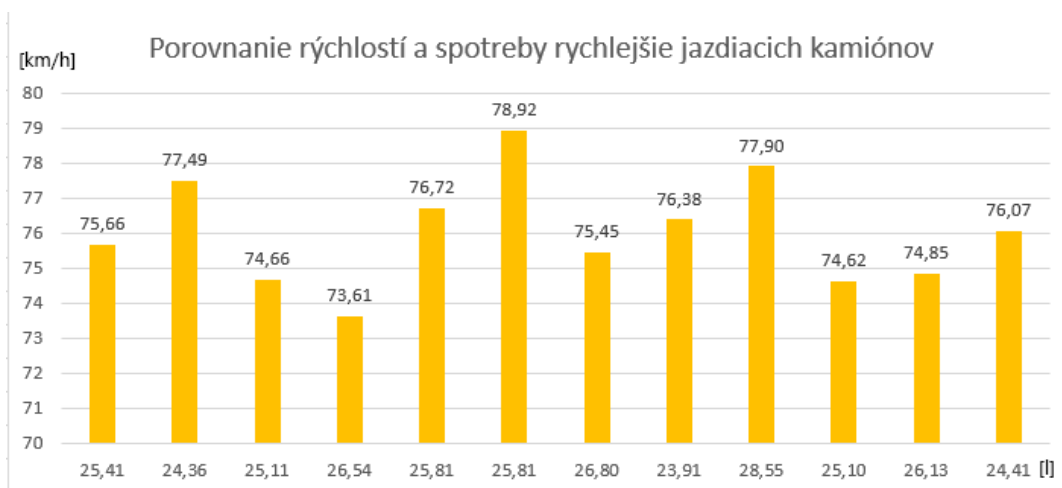
Vůz	Jednotka	Celkem	Jízda	Volnoběh	Zatížení motoru	Úsporná jízda	Neúsporná jízda	Volný dojezd	Tempomat	Překročení rychlosti vozidla (omezení pro vozový park)	Nejvyšší převodový stupeň	Překročení otáček motoru
	km/h	-	75,36	-	74,21	77,33	83,11	72,48	84,59	86,79	83,66	-
	Hodiny	173:54	167:24	6:30	7:38	128:03	6:17	22:53	102:19	60:52	107:35	0:00
			96,3%	3,7%	4,4%	73,6%	3,6%	13,2%	58,8%	35,0%	61,9%	0,0%
	Kilometry	12 615,66	12 615,66	0,00	566,16	9 902,39	521,79	1 658,06	8 653,98	5 282,13	8 999,56	0,00
			100,0%	0,0%	4,5%	78,5%	4,1%	13,1%	68,6%	41,9%	71,3%	0,0%
	Litry	3 158,38	3 148,84	9,54	541,48	3 074,62	21,68	35,36	2 317,70	803,22	2 637,58	0,00
			99,7%	0,3%	17,1%	97,3%	0,7%	1,1%	73,4%	25,4%	83,5%	0,0%
	l/100 km	25,04	24,96	-	95,64	31,05	4,15	2,13	26,78	15,21	29,31	-
TT920FS												
	km/h	-	67,68	-	70,56	70,46	63,92	63,97	83,85	87,70	81,32	-
	Hodiny	143:00	134:53	8:08	2:28	108:37	3:11	18:58	39:32	10:39	73:39	0:00
			94,3%	5,7%	1,7%	76,0%	2,2%	13,3%	27,6%	7,4%	51,5%	0,0%
	Kilometry	9 128,96	9 128,96	0,00	173,68	7 653,93	203,23	1 213,23	3 315,25	933,74	5 988,60	0,00
			100,0%	0,0%	1,9%	83,8%	2,2%	13,3%	36,3%	10,2%	65,6%	0,0%
	Litry	2 297,64	2 282,16	15,48	155,66	2 213,22	16,88	46,52	753,46	169,00	1 660,62	0,00
			99,3%	0,7%	6,8%	96,3%	0,7%	2,0%	32,8%	7,4%	72,3%	0,0%
	l/100 km	25,17	25,00	-	89,62	28,92	8,31	3,83	22,73	18,10	27,73	-
TT979FN												
	km/h	-	74,60	-	74,04	77,63	80,19	65,35	86,25	87,30	84,70	-
	Hodiny	166:28	155:30	10:57	11:13	130:39	6:21	10:00	91:21	79:49	107:46	0:00
			93,4%	6,6%	6,7%	78,5%	3,8%	6,0%	54,9%	47,9%	64,7%	0,0%
	Kilometry	11 601,00	11 601,00	0,00	830,22	10 142,65	508,70	654,00	7 878,61	7 047,53	9 128,44	0,00
			100,0%	0,0%	7,2%	87,4%	4,4%	5,6%	67,9%	60,7%	78,7%	0,0%
	Litry	3 368,82	3 348,64	20,18	751,12	3 228,38	76,04	24,98	2 286,20	1 783,74	2 716,57	0,00
			99,4%	0,6%	22,3%	95,8%	2,3%	0,7%	67,9%	52,9%	80,6%	0,0%
	l/100 km	29,04	28,87	-	90,47	31,83	14,95	3,82	29,02	25,31	29,76	-
Celkem												
	km/h	-	75,10	-	74,86	77,28	79,91	74,48	85,32	87,92	84,31	252,00
	Hodiny	4919:22	4658:04	261:18	191:34	3874:18	146:11	565:32	1751:47	1966:44	3160:26	0:00
			94,7%	5,3%	3,9%	78,8%	3,0%	11,5%	35,6%	40,0%	64,2%	0,0%

Obrázok 23: Ukážka nazbieraných dát z Dynafleetu za mesiac jún Zdroj: Autor

Vyhodnotenie testu

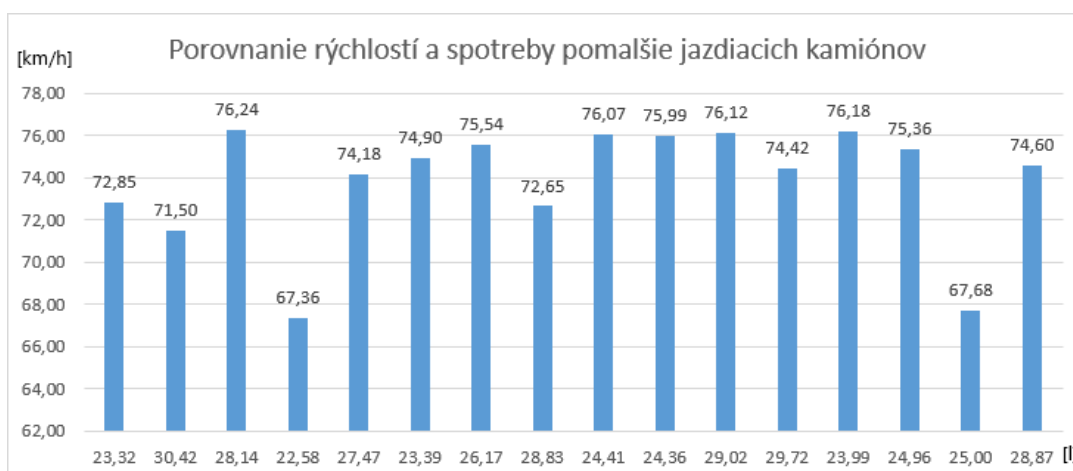
Dané dáta boli vyhodnocované na základe podmienky prekročenia priemernej rýchlejšej jazdy 87,92 km/h. Údaje z vozidiel rozdelím na dve skupiny. Vodiči, ktorí prekročia priemernú rýchlosť definovanú systémom Dynafleet (87,92 km/h) budú zaradení do skupiny rýchlejšie jazdiacich a vodiči neprekračujúci túto priemernú rýchlosť budú zaradení do skupiny pomalšie jazdiacich vodičov. Rozdelenie je z dôvodu relevantného porovnania dát z reálnej prevádzky. V grafe č. 1 sú znázornené namerané hodnoty z vozidiel, ich celkové spotreby a celkové rýchlosti vyhodnotenú na základe podmienky rýchlosti prekročenia nad rýchlosťou 87,92 km/h.

Graf 1: Porovnanie rýchlostí a spotreby rýchlejšie jazdiacich kamiónov Zdroj: Autor



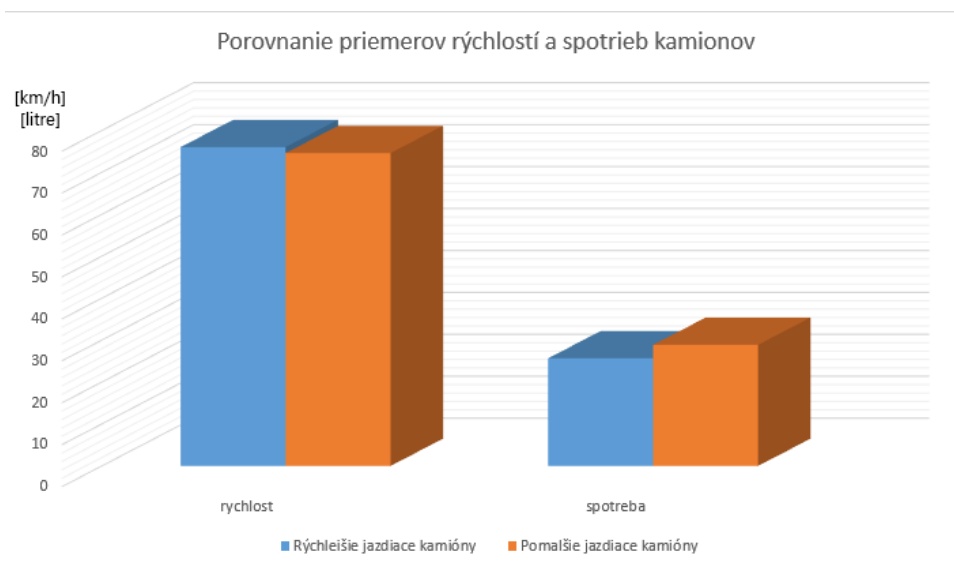
V grafe č.2 sú znázornené namerané hodnoty z vozidiel, ich celkové spotreby a celkové rýchlosti vyhodnotené na základe podmienky rýchlosti prekročenia pod rýchlosťou 87,92 km/h.

Graf 2: Porovnanie rýchlostí a spotreby pomalšie jazdiacich kamiónov Zdroj: Autor



Graf č.3 znázorňuje spriemerované hodnoty rýchlostí a spotrieb z oboch skupín. Na základe týchto dát je vidieť, že prekročením rýchlostí sa dá docíliť vyššia priemerná rýchlosť 76,02 km/h rýchlejšie jazdiacich súprav s porovnaním 73,85 km/h pomalšie jazdiacich súprav čo predstavuje o 2,85 % väčšiu priemernú rýchlosť. Spriemerovaná spotreba vozidiel jazdiacich rýchlejšie je 25,66 litra a pomalšie jazdiacich je 26,29 litra. To je úspora 0,63 litra nafty na 100 km, teda 2,40 %. Úspora by mohla byť aj vyššia, ale z dôvodu nevyužívania plného potenciálu rýchlosti z kopca bolo prekročenie rýchlosti na ukážku efektivity využitia kinetickej energie. Rovnako aj kvôli vysokým pokutám za rýchlosť, ktoré sa môžu kontrolovať a respektívne pokutovať až 28 dní dozadu.

Graf 3: Porovnanie priemerov rýchlostí a spotrieb kamiónov Zdroj: Autor



Ako ďalšia vec, ktorá vychádza z tohto testu je, že daný dopravca využíva dlhšiu trasu o skoro 80 km cez Českú republiku namiesto trasy cez Rakúsko, ktorá meria 993 km. Na obrázku č. 24 je vidieť trasa z Trnavy (SK) cez Rakúsko do Mulhouse (F). Z dôvodu úspory na mýte.



Obrázok 24: Alternatívna trasa cez Rakúsko [60]

Výhody

Z výsledkov testu vychádza, že využívanie kinetickej energie pri jazde z kopca má zmysel. Úspora paliva je v priemere 0,63 l/100km teda 2,40 %. Priemerná rýchlosť je 76,06 km/h čo predstavuje vyššiu rýchlosť o 2,86 % než u pomalších vozidiel. Vďaka vyššej rýchlosti stúpa efektívnosť vozidla a taktiež to prispieva k lepšiemu využitiu času práce vodiča.

Nevýhody

Hlavnými nevýhodami sú možné zníženie bezpečnosti cestnej dopravy a zvýšená hlučnosť. Zvýšená úroveň hlučnosti závisí najmä od maximálnej dosiahnuteľnej rýchlosti nákladného vozidla. Niektoré štáty ako napríklad Rakúsko a Švajčiarsko sa snažia regulovať hluk z cestnej nákladnej dopravy zakázaním jazdy pre nákladné vozidlá v čase od 22:00 – 05:00 hod. [54]

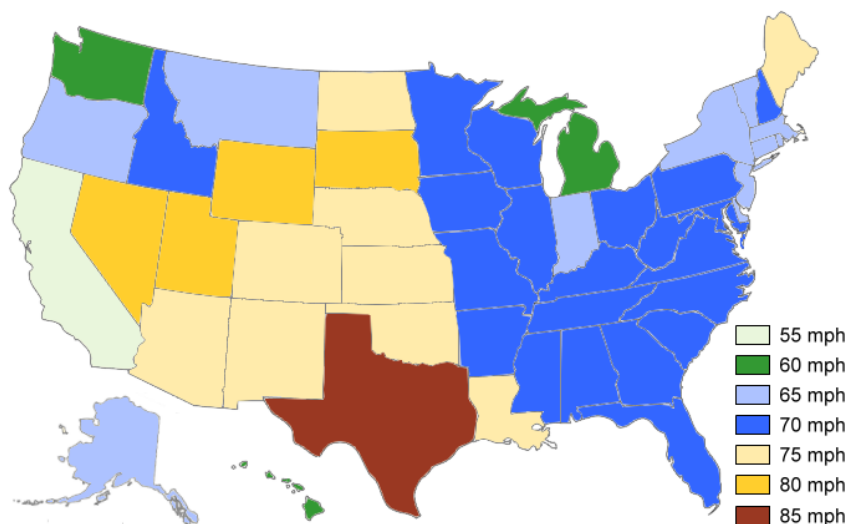
Vplyv na bezpečnosť cestnej dopravy

Zvýšením maximálnej rýchlosti akú môžu nákladné vozidlá dosiahnuť sa zvyšuje ich brzdná dráha a stúpa riziko nehody s fatálnymi následkami. Súčasná maximálna rýchlosť pre nákladné vozidlá na diaľnici je 90 km/h vo väčšine európskych krajín, okrem Dánska, Švédska, Nórska a Fínska, kde je stanovená maximálna rýchlosť pre nákladné vozidlá 80 km/h. Na základe dostupných štatistík zverejnených Políciou ČR, spôsobili vodiči nákladných vozidiel v roku 2019 - 11 489 dopravných nehôd, pri ktorých zahynulo 68 osôb. V nasledujúcej tabuľke č. 5 je vidieť rozdelenie jednotlivých nehôd so smrteľnými následkami podľa hmotnostnej kategórie nákladných vozidiel. Z tabuľky č. 5 je vidieť, že najviac smrteľných nehôd spôsobili vodiči nákladných vozidiel do 3,5 tony. Druhá skupina, ktorá spôsobila smrteľné nehody sú vozidlá nad 12 ton. Návrh by sa mal aplikovať práve na vozidlá nad 12 ton, teda jazdné súpravy. Aby sa znížil negatívny vplyv tohto návrhu na bezpečnosť, mali by byť dodržané všetky náležitosti popísané v kapitole č. 5.2. [55]

Tabuľka 5: Smrteľné nehody za účasti nákladných vozidiel [55]

Hmotnostná trieda	Počet dopravných nehôd	Počet dopravných nehôd v %	Medziročný rozdiel	Počet usmrtených osôb	Počet usmrtených osôb v %	Medziročný rozdiel
Do 3,5 t	5 273	45,9	-135	36	52,9	8
3,6 až 7,5 t	905	7,9	26	6	5,4	3
7,6 až 12 t	1 379	12	38	4	10,7	-2
Nad 12 t	3 862	33,6	21	22	32,1	4
Nezistené	70	0,6	-3	0	1,8	-1
Celkom	11 489	100,0	-53	68	100,0	12

Pre porovnanie vplyvov na bezpečnosť cestnej premávky môže pomôcť porovnanie s USA, kde sú povolené vyššie maximálne rýchlosti pre nákladné vozidlá. Rýchlosti sú rôzne od 55 mph (88,5 km/h) v štáte California až po 85 mph (136,8 km/h) v štáte Texas. Jednotlivé limity maximálnej rýchlosti pre nákladné vozidlá sú vidieť na obrázku č. 25. [56]



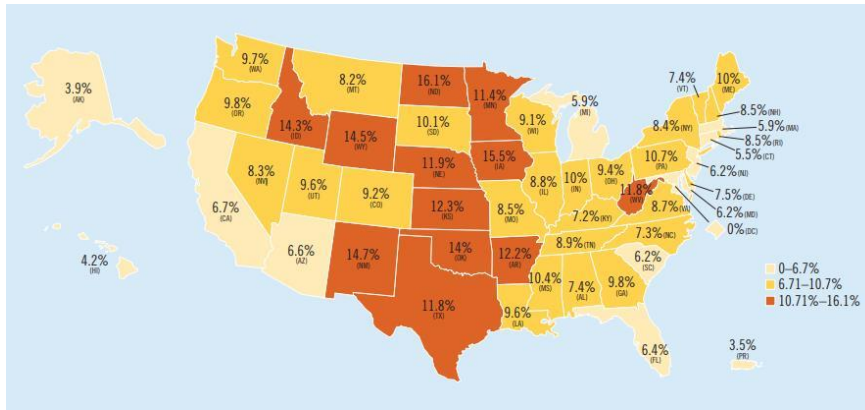
Obrázok 25: Rýchlosti nákladných vozidiel v USA [56]

So zvyšujúcou sa rýchlosťou sa môže zvýšiť aj riziko dopravných nehôd na komunikáciách. V tabuľke č. 6 je vidieť, pri akej rýchlosti sa stali smrteľné nehody, v ktorých boli zapojené aj nákladné vozidlá.

Tabuľka 6: Percentuálne zastúpenie rýchlosti nákladných vozidiel pri smrteľných nehodách [57]

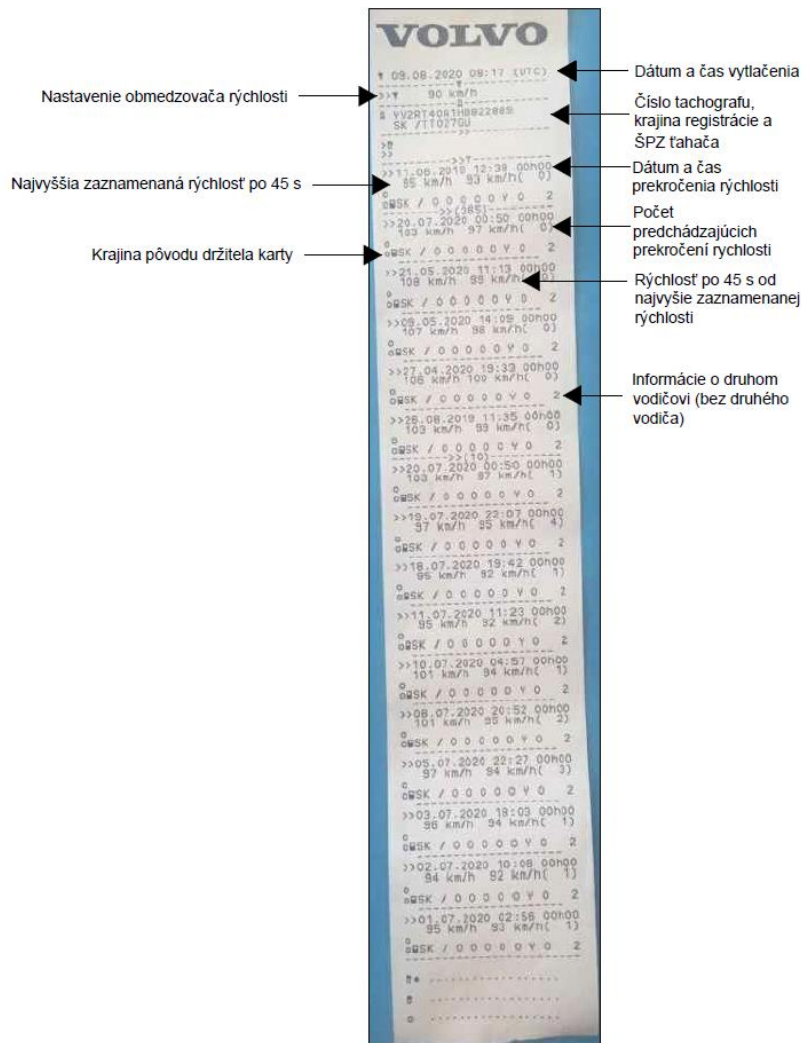
Speed Limit	2015		2016		2017	
	Number	Percent	Number	Percent	Number	Percent
25 mph or Less	66	1,8%	109	2,8%	122	2,9%
30 - 35 mph	242	6,7%	277	7,1%	281	6,6%
40 - 45 mph	458	12,6%	508	13,0%	599	14,1%
50 - 55 mph	1 251	34,5%	1 350	34,7%	1 401	33,1%
60 - 65 mph	763	21,1%	788	20,2%	875	20,7%
70 - 75 mph	695	19,2%	725	18,6%	787	18,6%
80 - 85 mph	17	0,5%	36	0,9%	30	0,7%
No Statutory Limit	29	0,8%	35	0,9%	49	1,2%
Unknown	101	2,8%	68	1,7%	93	2,2%
Total	3 622	100,0%	3 896	100,0%	4 237	100,0%

Z obrázku č. 26 je vidieť účasť nákladných vozidiel na smrteľných nehodách v USA, ktorá je dôkazom, že zvýšená rýchlosť nemusí mať vždy nutne vplyv na zvýšenú nehodovosť na komunikáciách.



Obrázok 26: Percentuálne zastúpenie nákladných vozidiel na smrteľných nehodách v USA [58]

Na obrázku č. 27 je vidieť výťah z tachografu, kde sú vidieť niektoré z prekročených rýchlostí vozidla pri jazde z kopca. Ako je vidieť už aj v súčasnosti sa prekračuje rýchlosť niektorými vodičmi. Najvyššia zaznamenaná rýchlosť bola 108 km/h .



Obrázok 27: Výťah z tachografu Zdroj: Autor

5.2 Podmienky aplikovania do praxe

V tejto kapitole budú vysvetlené základné podmienky zavádzania tohto návrhu do praxe. Taktiež podľa akých pravidiel sa dá jazdiť rýchlejšie, určenie úsekov a vytvorenie nového značenia. A ďalšie potrebné zmeny v rámci pneumatík a školenia vodičov.

Určenie podmienok za akých sa dá jazdiť rýchlejšie

Podmienky na základe, ktorých by bolo možné určiť prekročenie povolenej rýchlosti:

- bezpečnosť,
- intenzita,
- smerové pomery,
- počasie.

Bezpečnosť je prvoradý faktor, ktorý by mal ostať naďalej zachovaný. Na dodržanie bezpečnej jazdy by sa mohla jazda kvalifikovať do nasledujúcich kategórií. Tieto kategórie by sa delili podľa intenzity a smerových pomerov danej smerovo rozdelenej komunikácie. Rozdeľovali by sa nasledovne:

- Vysoká intenzita a vhodné smerové pomery – kategória 1.
- Vysoká intenzita a nevhodné smerové pomery – nepovoľuje sa rýchlejšia jazda.
- Nízka intenzita a vhodné smerové pomery – kategória 2.
- Nízka intenzita a nevhodné smerové pomery – kategória 1.

Prvá kategória by bola jazda výhradne s ACC (adaptívny tempomat) spomínaným v kapitole č. 4.1, ale so stanovením maximálnej rýchlosti, akú môže jazdná súprava dosiahnuť na základe miestnych pomerov. Taktiež by sa muselo upraviť, aby získavala dáta o aktuálnej intenzite. Tým by sa zabezpečilo čo najefektívnejšie využitie novej možnosti na zlepšenie spotreby a zachovanie bezpečnosti. Dáta o intenzite by sa dali získavať priamo na úsekoch nainštalovaním sčítačov vozidiel alebo kamerovým systémom, ktorý by opticky vyhodnocoval intenzitu. Tieto dáta by mali byť dostupné pre každé vozidlo v reálnom čase. Prvú kategóriu môžu využívať iba vozidlá s upraveným softvérom ACC.

Do druhej kategórie by sa radila jazda, ktorá by nevyžadovala ACC a mohlo by sa jazdiť iba podľa rozhl'adových pomerov vodiča. V danom prípade by všetka zodpovednosť bola na vodičovi akú najvyššiu rýchlosť môže dosiahnuť, aby neohrozil bezpečnosť cestnej premávky. Je potrebné dodržiavať minimálny odstup od nasledujúceho vozidla minimálne 40 m.

Vyššie spomenuté kategórie by boli ovplyvnené najmä aktuálnym počasím. Ak by to počasie neumožňovalo či už z dôvodu hustého dažďa, za zhoršenej viditeľnosti, sneženia alebo

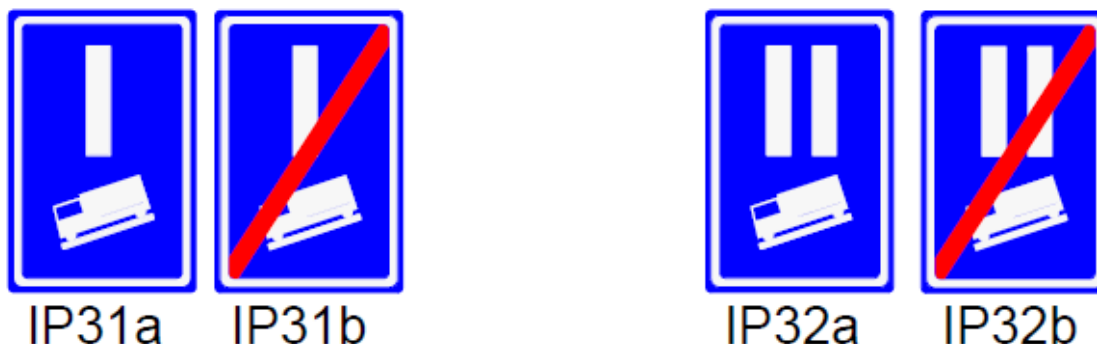
poľadovce by bolo prekročenie rýchlosti zakázané. Ak by boli intenzity príliš vysoké, mohla by sa zaviesť časová podmienka, kedy by sa nedalo jazdiť rýchlejšie, napríklad od 05:00 do 11:00 hod a od 14:00 do 19:00 hod. Taktiež by sa mal brať ohľad na vek a technický stav daného vozidla a prax šoféra.

Určenie úsekov a vytvorenie nového značenia

Určenie úsekov kde by sa dalo jazdiť rýchlejšie by sa stanovovalo na základe týchto pravidiel:

- Splnenie minimálneho smerového oblúku, ktorý by sa stanovil na základe bezpečnosti a navrhnutie maximálnej dosiahnuteľnej rýchlosti súpravy pri jazde z kopca.
- Splnenie minimálnej kategoriálnej šírky smerovo rozdelenej komunikácie, ktorá by bola v parametri C17, 5/80.
- Vykonať bezpečnostný test, ktorý by overoval vhodnosť daného úseku.

Ak by úsek splnil vyššie spomenuté pravidlá, bol by označený nový zvislým dopravným značením. Na týchto úsekoch by sa dalo uvažovať aj nad zmenou vodorovného značenia či už úpravou farby alebo štýlu. Doplniť by sa mohlo vodorovné značenie, určujúce minimálnu vzdialenosť pomocou dištančných šípok. Návrh značiek dovoľujúce rýchlejšiu jazdu na základe kategórii spomenutých vyššie, sú znázornené na obrázku č. 27, označenie značiek je zvolené pre účely tejto práce.



Obrázok 28: Návrh zvislého dopravného značenia Zdroj: Autor

Značka končiaca na „a“ by označovala začiatok úseku a „b“ označuje koniec úseku. Značka označená ako IP31a/b sa vzťahuje na prvú kategóriu pre jazdu z kopca a značka IP32a/b sa vzťahuje na druhú kategóriu spomenutú v kapitole č. 5.3.1. Úpravou by malo prejsť aj vodorovné značenie. Zmena by mohla predstavovať napríklad zmenu farby vodorovného

dopravného značenia po celom úseku. Na obrázku č. 28, je vidieť umiestnenie značky na v praxi, kde označuje úsek s povolením rýchlejšej jazdy ale iba prvej kategórie.



Obrázok 29: Ukážka označenia v praxi [60], úprava: Autor

Pneumatiky

Aby sa zabezpečila čo najväčšia bezpečnosť cestnej dopravy jazdné súpravy, ktoré by využívali toto zlepšenie, by museli byť vybavené certifikovanými pneumatikami. Certifikáciou pneumatík by sa malo overiť či pneumatika zvládne väčšie zaťaženie.

Vodič

Dôležitou súčasťou celého tohto návrhu je samotný vodič. Musela by sa vytvoriť minimálne nová príručka alebo kurz na základe, ktorej by vodič bol oboznámený s novými možnosťami a bol by schopný dodržiavať nové pravidlá z dôvodu bezpečnosti. Pre vodičov, ktorí už majú vodičské oprávnenie vydané, by mali kurz absolvovať v rámci školenia na obnovenie profesijného preukazu, ktoré je v rozsahu 35 hodín za 5 rokov respektíve 7 hodín ročne. Pre nových vodičov by sa upravilo vyučovanie v autoškole s novými pravidlami.

Diskusia

Podľa mojho názoru najväčší priestor vidím v postupnom zavádzaní väčších a ťažších súprav do prevádzky. Má to nesporné výhody v znížení spotreby, emisií a k zredukovaniu počtu jazdných súprav na komunikáciach. Tým sa dá taktiež riešiť problém s aktuálnym nedostatkom profesionálnych vodičov. Najvhodnejším typom súpravy, ktorý by sa mal zaviesť do prevádzky v Českej republike alebo z európskeho hľadiska je austrálska b-triple jazdná súprava, ktorá by avšak vyžadovala úpravu infraštruktúry a legislatívy. Oproti tomu by v súčasnosti bolo možné zaviesť 25,25 m jazdné súpravy označované ako EMS iba úpravou platnej legislatívy a obmedzenie ich využívaniu na jazdu po diaľnici medzi logistickými centrami. Niektorí odborníci by mohli namietat', že ťažšie súpravy budú ničiť komunikácie,, ale to nie je pravda kvôli tomu, že ťažšie súpravy majú nižšie zaťaženie na nápravu než klasické päť či šesť nápravové súpravy.

V ďalšej kapitole som sa venoval úpravám pohonného ústrojenstva dieselových motorov a alternatívnym druhom pohonu. Najväčší potenciál majú pohony na CNG, LNG a elektrických hybridných vozidlách s využitím batérií a dieselového pohonu. CNG a LNG pohony majú výhodu v podobnej prevádzke ako nákladné vozidlá na dieselový pohon, avšak ich rozšírenie príde so zavedením čerpacích staníc, tak ako to plánuje európska komisia do roku 2025. Jedinou ich nevýhodou je možnosť výbuchu palivovej nádrže na CNG/LNG pri nehode. Naproti tomu nevidím veľký potenciál v čisto elektrických nákladných vozidlách pre ich ťažkú batériu a celkovú nevhodnosť na diaľkovú dopravu. Rovnako sa mi nepozdáva nápad elektrifikovať diaľnice trolejovým vedením. Myslím, že rozumnejšie by bolo investovať peniaze do preferencie intermodálnej prepravy. Pozitívne využitie elektrickej energie v nákladnej doprave vidím vo využití hybridnej technológie určenej prevažne na regionálnu a mestskú distribúciu. Pohon na vodík je rovnako čisto elektrický pohon. Ale výhodou je, že si sám vytvára potrebnú elektrickú energiu. Avšak je otázne, či sa podarí zavedenie vodíka do prevádzky a bude záležať od ich overenia v praxi. V súčasnosti v Európe existuje málo verejných vodíkových čerpacích staníc. Pohon na vodík prináša pre vodiča aj negatíva, tým že musí mať školenie, aby mohol tankovať vodík. Čo by v praxi znamenalo školenie vodiča a pre zamestnávateľa ďalšie náklady na zabezpečenie predmetného školenia. Problémom je aj počet výrobcov, ktorí ponúkajú nákladné vozidlá na palivové články.

V tretej kapitole som sa venoval odporom a ich vplyvom na spotrebu. Ak by sa podarilo presadiť dlhšie súpravy dalo by sa upraviť aj čelo ťahača. Upravený tvar by mal byť viac aerodynamickejší ako doteraz. Netreba ale zabúdať ani na šoféra a na možné zväčšenie rozmerov kabíny.

V rámci praktickej časti som navrhol spôsob, ktorým sa dá docieľiť zníženie spotreby a emisií. Ako už bolo spomenuté v práci návrh spočíva vo využívaní vyššej rýchlosti pri jazde z kopca. Osobne si myslím, že na nehodovosť nákladných vozidiel má väčší vplyv nepozornosť za volantom a únava, ako nízka profesionalita vodičov. Ako boli spomenuté pravidlá AETR, tie skôr napomáhajú k zvýšenej nehodovosti z dôvodu zlého nastavenia pravidiel. Tento test preukázal reálne zníženie spotreby v priemere o 0,63 l/100km. Úspora emisií v tomto prípade sa da vypočítať pomocou vzorca, ktorý uvádza americká EPA s použitím doporučenia IPCC v ktorom sa uvažuje, že nedochádza k 100 % spáleniu paliva, ale dokonalo spáleného paliva je 99 %. Vzorec pre výpočet emisií na jeden kilometer pri spálení nafty je $= 10\ 084 / 3,7584 \cdot$ priemerná spotreba [l / 100 km], dosadením do vzorca vychádza priemerná úspora emisií na 1 km približne 16,8 [g CO₂ / km].

Záver

Predmetom tejto bakalárskej práce bola analýza negatívnych vplyvov nákladnej dopravy na životné prostredie. V závere tejto práce dávam do pozornosti získané informácie o možnosti zníženia spotreby a emisií analyzované viacerými možnosťami.

V prvej kapitole bol popísaný vývin európskych emisných noriem. Podvody na emisiách a návrh možného riešenia diaľkového kontrolovania emisií. Spomenutý bol aj návrh na zavedenie do roku 2040 bez emisnú dopravu.

V druhej kapitole bol zmienený návrh na zmenu súčasnej legislatívy, obmedzujúcej maximálne rozmery a hmotnosť jazdných súprav. Umožnilo by to zaviesť dlhšie a ťažšie súpravy, ktoré by mali pozitívnejší vplyv na životné prostredie v podobe zníženia spotreby a emisií. Taktiež by sa znížil celkový počet kamiónov potrebných na prepravu a riešil by sa tým aj aktuálny nedostatok profesionálnych vodičov. Následne boli popísané možnosti úpravy na zvýšenie účinnosti dieselových motorov a vymenované alternatívne druhy pohonu, ich výhody a nevýhody.

V tretia kapitola bola o jazdných odporoch a ich vplyvoch na spotrebu a emisie. Ako najdôležitejšie sa javia odpor vzduchu, respektíve aerodynamika a ďalej odpor valenia, teda pneumatiky. Boli spomenuté možnosti úpravy aerodynamiky k zníženiu negatívnych vplyvov dopravy na životné prostredie.

Štvrtá kapitola bola o technologických úpravách a vplyvoch vodiča na spotrebu. Boli zmienené najperspektívnejšie technologické úpravy, ktoré znižujú spotrebu a emisie, ale zároveň zvyšujú bezpečnosť cestnej premávky.

V rámci zadania bakalárskej práce mal byť vykonaný praktický test. Návrhom tejto práce pre praktický test bolo, aby nákladné vozidlá pri jazde po smerovo rozdelenej komunikácii mohli využívať kinetickú energiu pre zníženie spotreby a emisií. Test bol vykonaný na základe dát z reálnej prevádzky. Vyhodnotením dát sa prišlo k záveru, že vďaka využívaniu vyššej rýchlosti pri jazde z kopca sa dá doceliť zníženie priemernej spotreby o 0,63l. Taktiež bola vyššia aj priemerná rýchlosť, a to na úrovni 76,06 km/h. Aby aplikovanie do praxe neprinieslo zníženie bezpečnosti cestnej dopravy, mali by byť dodržané návrhnuté postupy na dodržanie bezpečnosti dopravy. Tento test odhaľuje aj ďalšiu negatívnu skutočnosť cestnej dopravy a to, že dopravcovia sú ochotní najazdiť viac kilometrov z dôvodu úspory na mýte a tým pádom vyprodukovať viac emisií.

Zoznam použitej literatury

- [1] EU: HEAVY DUTY: EMISSIONS. Transportpolicy.net [online]. Transport policy, © 2018 [cit. 2020-08-04]. Dostupné z: <https://www.transportpolicy.net/standard/eu-heavy-duty-emissions/>
- [2] EU emission standards for heavy-duty CI (diesel) engines: Steady-state testing. In: DieselNet [online]. DieselNet, © 1997 - 2020 [cit. 2020-08-04]. Dostupné z: <https://dieselnet.com/standards/eu/hd.php>
- [3] Road to Zero: the last EU emission standard for cars, vans, buses and trucks. Transport & Environment [online]. European Federation for Transport and Environment, © 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2020_04_Road_to_Zero_last_EU_emission_standard_cars_vans_buses_trucks
- [4] ACEA Report Vehicles in use Europe 2018. European Automobile Manufacturers' Association [online]. Avenue des Nerviens 85 | B-1040 Brussels: European Automobile Manufacturers' Association, 2018 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: https://www.acea.be/uploads/statistic_documents/ACEA_Report_Vehicles_in_use-Europe_2018.pdf
- [5] Emisie CO₂ z automobilov: fakty a čísla (infografika). Európsky parlament: Spravodajstvo [online]. Bratislava: Európsky parlament, 2019, 23. 8. 2019 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/sk/headlines/society/20190313STO31218/emisie-co2-z-automobilov-fakty-a-cisla-infografika>
- [6] Nedostatek řidičů nákladních automobilů je vyvíjející se negativní trend. TRANSEUROPEAN LOGISTIC SERVICES [online]. TRANSEUROPEAN LOGISTIC SERVICES, © 2001–2020, 21. 5. 2018 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: https://telsgroup.cz/media_center/tels_news/4143.html
- [7] Getting Societal Values from Trucks. European Commission [online]. International Transport Forum, 24. 6. 2009 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/modes/road/events/doc/2009_06_24/2009_gigaliners_workshop_oecd.pdf
- [8] REDUCING CO₂ TOGETHER. European Automobile Manufacturers' Association [online]. Avenue des Nerviens 85 | B-1040 Brussels: European Automobile Manufacturers' Association, © 2016 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.reducingco2together.eu/#>

- [9] Aussie-Style A-double Concept Appearing in Europe. Diesel magazine [online]. ©2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.dieselnews.com.au/aussie-style-a-double-concept-appearing-in-europe/>
- [10] European carrier suddenly shut down by parent company. FreightWaves [online]. FreightWaves, © 2020, 23. 8. 2019 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.freightwaves.com/news/european-carrier-suddenly-shut-down-by-parent-company>
- [11] REDUCING Heavy-Duty Long Haul Combination Truck Fuel Consumption and CO2 Emissions. International Council on Clean Transportation [online]. International Council on Clean Transportation, NESCCAF, © 2020, 10/2009 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://theicct.org/.../reducing-heavy-duty-long-haul-combination-truck-fuel-consumption-and-co2-emissions>
- [12] Comparison of the Performance of Heavy Vehicles Results of the OECD Study: 'Moving Freight with Better Trucks'. ScienceDirect [online]. © 2020, 2012 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812027280>
- [13] Limitní rozměry a hmotnosti. TruckStop.cz [online]. TruckStop.cz [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://truckstop.wgz.cz/rubriky/limitni-rozmary-a-hmotnosti/ceska-republika>
- [14] Optimization of the high-frequency torsional vibration of vehicle driveline systems using genetic algorithms. ResearchGate [online]. ResearchGate, © 2020, 9/2002 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/48352850_Optimization_of_the_high-frequency_torsional_vibration_of_vehicle_driveline_systems_using_genetic_algorithms
- [15] Waste heat recovery from diesel engines based on Organic Rankine Cycle. ScienceDirect [online]. ScienceDirect, © 2020, 2018 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261918313308?casa_token=7fuoraQQSwgAAAAA:c3iyd8dHIRb2uZGmSjLZK5pygfhbu96tk2MYyBZcPCImahU9T8wJeQpvnVfsT1n2MUw1tAm2FndT#b0425
- [16] VÝVOJ TURBODMYCHADEL SPALOVACÍCH MOTORŮ [online]. Brno, 2016 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=128440. BAKALÁŘSKÁ PRÁCE. VUT Brno.

- [17] Lowering emissions with exhaust fumes: TurboCompound. VOITH [online]. VOITH, © 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <http://www.voith.com/ca-en/products-services/power-transmission/turbocompound-trucks-20471.html>
- [18] How Do Natural Gas Class 8 Trucks Work? Alternative Fuels Data Center, U.S. Department of Energy's Office of Energy Efficiency and Renewable Energy's Vehicle Technologies Office [online]. Alternative Fuels Data Center, U.S. Department of Energy's Office of Energy Efficiency and Renewable Energy's Vehicle Technologies Office, © 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-natural-gas-class-8-trucks-work>
- [19] A smaller footprint with gas-powered trucks. Volvo Trucks [online]. Volvo Trucks, © 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.volvotrucks.com/en-en/trucks/alternative-fuels/gas-powered-trucks.html>
- [20] Bringing biofuels on the market: Options to increase EU biofuels volumes beyond the current blending limits. European Commission [online]. European Commission, © 2020, 6/2013 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2013_11_bringing_biofuels_on_the_market.pdf
- [21] T is for Tank-to-wheel (TTW). Volkswagen [online]. Volkswagen, © 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.volkswagenag.com/en/group/the-a-to-z-of-e-mobility/t-is-for-tank-to-wheel.html#>
- [22] German toll exemption for non-factory CNG and LNG installations. BAG specifies the requirements. Trans.INFO [online]. trans.INFO, © 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://trans.info/en/german-toll-exemption-for-non-factory-cng-and-lng-installations-bag-specifies-the-requirements-158324>
- [23] Clean fuels for transport: Member States now obliged to ensure minimum coverage of refuelling points for EU-wide mobility. European Commission [online]. Brussels: European Commission, © 2020, 29. 9. 2014 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_14_1053
- [24] How Do Liquefied Natural Gas Trucks Work? Alternative Fuels Data Center, U.S. Department of Energy's Office of Energy Efficiency and Renewable Energy's Vehicle Technologies Office [online]. Alternative Fuels Data Center, U.S. Department of Energy's Office of Energy Efficiency and Renewable Energy's Vehicle Technologies Office, © 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-lng-cars-work>
- [25] SHELL AND VOLVO IN LNG FUEL COLLABORATION. Shell Global [online]. Shell Global, © 2020, 27. 3. 2013 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z:

- <https://www.shell.com/energy-and-innovation/natural-gas/lng-for-transport/news-and-media-releases/shell-and-volvo-in-lng-fuel-collaboration.html>
- [26] PIEK certification. PIEK [online]. PIEK, © 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.piek-international.com/english/?page=home>
- [27] Sustainable transport with LNG trucks. Vos Logistics [online]. Vos Logistics, © 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: [https://www.voslogistics.com/sites/default/files/assets/files/Vos%20Logistics%20Whitepaper%20LNG%20EN%20\(web\).pdf](https://www.voslogistics.com/sites/default/files/assets/files/Vos%20Logistics%20Whitepaper%20LNG%20EN%20(web).pdf)
- [28] Roadmap for an overhead catenary system for trucks: SWOT analysis. Ifue Institut für Energie- und Umweltforschung Heildber [online]. Ifue Institut für Energie- und Umweltforschung Heildber, © 2020, 2017 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/Roadmap-OH-Lkw_SWOT-analysis.pdf
- [29] Scania Deploys Two Battery Electric Trucks In Norway. INSIDEEVs [online]. INSIDEEVs, © 2020, 17. 2. 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://insideevs.com/news/399162/scania-deployed-electric-trucks-norway/>
- [30] Semi. TESLA [online]. TESLA, © 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.tesla.com/semi>
- [31] BEV, PHEV, HEV, ICE. ELECTRICCARHOME [online]. ELECTRICCARHOME, © 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://electriccarhome.co.uk/electric-cars/bev-phev-hev-ice/>
- [32] Electric Road Systems for Trucks [online]. STOCKHOLM, 2013 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:633235/FULLTEXT01.pdf>. Master of Science. KTH School of Industrial Engineering and Management.
- [33] SCANIA HYBRID. Scania [online]. Scania, © 2018 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.scania.com/ie/en/home/products-and-services/articles/scania-hybrid.html>
- [34] EHighway: Electrification of road freight transport. Siemens Mobility [online]. Siemens Mobility, © 2018 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/road/ehighway.html>
- [35] WILL THE AUTOBAHN BECOME AN EHIGHWAY FOR ELECTRICALLY OPERATED TRUCKS? InnoFRAtor [online]. innoFRAtor, © 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.innofrator.com/en/wird-die-autobahn-zum-ehighway-fuer-oberleitungs-lkw/>
- [36] How does a hydrogen fuel cell electric truck work? Scania [online]. Scania, © 2019, 20. 1. 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/news/2020/how-does-a-hydrogen-fuel-cell-electric-truck-work.html>

- [37] The technology powering trucks. Transport & Environment [online]. Transport & Environment, © 2016 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <http://inconvenienttruck.eu/trucks-options-fuel-consumption/>
- [38] JAZDNÉ ODPORY A SPOTREBA PALIVA. Svet Dopravy [online]. Svet Dopravy, © 2020, 30. 1. 2019 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <http://www.svetdopravy.sk/jazdne-odpory-a-spotreba-paliva/>
- [39] What is the difference between an American truck and a European truck? Quora [online]. Quora, © 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.quora.com/What-is-the-difference-between-an-American-truck-and-a-European-truck>
- [40] The case for the exemption of aerodynamic devices in future type-approval legislation for heavy goods vehicles. Transport and Environment [online]. Transport and Environment, © 2020, 1/2010 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/media/2010%2001%20aerodynamic%20hgvs%20report.pdf>
- [41] Height restrictions. Health and Safety Executive [online]. Health and Safety Executive, © 2020, 1/2010 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.hse.gov.uk/workplacetransport/factsheets/height.htm>
- [42] Sleek and Economical. Trailer magazine [online]. Prime Creative Media, © 2020, 1/2010 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.trailermag.com.au/featured/article/sleek-and-economical>
- [43] Rolling Resistance and Rolling Noise Limits for Truck and Bus Tires according to UN Regulation 117. Continental [online]. Continental, © 2020, 1/2010 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.continental-tires.com/transport/knowhow/un-regulation-117>
- [44] Rolling Resistance and Rolling Noise Limits for Truck and Bus Tires according to UN Regulation 117: Energy labelling requirements apply to this product. European Commission [online]. European Commission, © 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/info/energy-climate-change-environment/standards-tools-and-labels/products-labelling-rules-and-requirements/energy-label-and-ecodesign/energy-efficient-products/tyres_en
- [45] ADAPTIVE CRUISE CONTROL (ACC STOP & GO). MAN [online]. MAN, © 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.truck.man.eu/de/en/trucks/truck-assistance-systems/adaptive-cruise-control.html>
- [46] ADAPTIVE CRUISE CONTROL (ACC STOP & GO). U.S. Department of Transportation: Intelligent Transportation Systems [online]. U.S. Department of Transportation, © 2020, 21. 11. 2012 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z:

- <https://www.itsbenefits.its.dot.gov/ITS/benecost.nsf/SummID/B2014-00948?OpenDocument&Query=Home>
- [47] AUTOMATED DRIVING. MAN [online]. MAN, © 2020, 21. 11. 2012 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.truck.man.eu/de/en/Automation.html>
- [48] Truck Platooning: The Band of Semi-Trailers. LabRoots [online]. LabRoots, © 2020, 23. 11. 2017 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.labroots.com/trending/chemistry-and-physics/7405/band-semi-trailers-truck-platooning>
- [49] Truck Platooning. INTELLIGENT MOBILITY XPERIENCE [online]. Messe Berlin, © 2020, 12. 5. 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.intelligent-mobility-xperience.com/where-are-the-autonomous-trucks-a-926566/>
- [50] Tackling Driver Shortage in Europe. European Chemical Transport Association [online]. ECTA, © 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.ecta.com/resources/Documents/Other%20publications/Tackling%20the%20European%20Driver%20Shortage%20-%20IRU%20report.pdf>
- [51] Understanding The 5 Levels of Autonomous Trucking. Breakthroughfuel [online]. Breakthrough, © 2020, 19. 2. 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.ecta.com/resources/Documents/Other%20publications/Tackling%20the%20European%20Driver%20Shortage%20-%20IRU%20report.pdf>
- [52] Driver Development. Volvo [online]. Volvo, © 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.volvotrucks.com/en-ir/services/driver-support/driver-development.html>
- [53] Vysvětlení nařízení (ES) č. 561/2006 za účelem usnadnění jeho harmonizovaného prosazování při silničních kontrolách. TRACE [online]. European Commission, © 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/modes/road/social_provisions/doc/trace_explanatory_text_cs.pdf
- [54] TruckBan. TIMOCOM [online]. TIMOCOM, © 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.truckban.info/sk/Rak%C3%BAsko>
- [55] Ročenka Nehodovosti 2019. Policie ČR [online]. Praha: Policie ČR, © 2020, 5/2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.policie.cz/clanek/statistika-nehodovosti-900835.aspx?q=Y2hudW09Mg%3D%3D>
- [56] MAXIMUM DAYTIME TRUCK SPEED LIMITS BY STATE. ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY [online]. ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY, © 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.energy.gov/eere/vehicles/fact-929-june-13-2016-heavy-truck-speed-limits-are-inconsistent>

- [57] Fatal Crashes Involving Large Trucks by Speed Limit, 2015-2017. Federal Motor Carrier Safety Administration [online]. United States Department of Transportation, © 2020, 6. 5. 2019 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.fmcsa.dot.gov/safety/data-and-statistics/crashes-table-3-fatal-crashes-involving-large-trucks-speed-limit-2015>
- [58] Large Truck and Bus Crash Facts 2017. Federal Motor Carrier Safety Administration [online]. United States Department of Transportation, © 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://www.fmcsa.dot.gov/safety/data-and-statistics/large-truck-and-bus-crash-facts-2017>
- [59] ULTIMATE ENERGY TIRE. MICHELIN [online]. MICHELIN, © 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://thetiredigest.michelin.com/michelin-ultimate-energy-tire>
- [60] Mapy.cz. Mapy.cz [online]. © Seznam.cz, a.s, © 2020 [cit. 2020-08-07]. Dostupné z: <https://sk.mapy.cz/zakladni?planovani-trasy&x=12.1536550&y=49.4951439&z=7&rc=9oAUgxPKXR9Q90kxMgBn&rs=osm&rs=osm&ri=1015738391&ri=59929&mrp=%7B%22c%22%3A111%7D&xc=%5B%5D&rut=1>

Zoznam obrázkov

Obrázok 1: Diaľkové meranie emisii [3].....	10
Obrázok 2: Zavedenie nulových emisii v doprave [3]	11
Obrázok 3: Testovacia súprava s dĺžkou 31,7 m [9].....	13
Obrázok 4: Štandardná súprava v Európe [10].....	13
Obrázok 5: Vplyv hmotnosti súprav na emisie CO ₂ [12].....	14
Obrázok 6: Vplyv súprav na komunikácie [12]	15
Obrázok 7: Šírka vybočenia súprav [12]	15
Obrázok 8: Schéma usporiadania dieselového pohonu [14]	16
Obrázok 9: Princíp fungovania ORC systému [15].....	17
Obrázok 10: Schéma uporiadania CNG pohonu [18].....	19
Obrázok 11: Schéma uporiadania LNG pohonu [24]	21
Obrázok 12: Schéma zapojenia sériového hybridného systému [32]	23
Obrázok 13: Schéma zapojenia paralelného hybridného systému [32]	24
Obrázok 14: Ukážka elektrifikovanej diaľnice v Nemecku [34].....	25
Obrázok 15: Základné komponenty pohonu na vodík [36].....	26
Obrázok 16: Tvar európskeho ťahača [39]	30
Obrázok 17: Tvar amerického ťahača [39].....	30
Obrázok 18: Tvar slzového návesu [42]	31
Obrázok 19: Energetické triedy pneumatík [43]	32
Obrázok 20: Princíp fungovania platooningu [48].....	35
Obrázok 21: Testovaná trasa [60].....	38
Obrázok 22: Výškový profil testovanej trasy [60].....	38
Obrázok 23: Ukážka nazbieraných dát z Dynafleetu za mesiac jún Zdroj:Autor	39
Obrázok 24: Alternatívna trasa cez Rakúsko [60]	41
Obrázok 25: Rýchlosti nákladných vozidiel v USA [56].....	43
Obrázok 26: Percentuálne zastúpenie nákladných vozidiel na smrteľných nehodách v USA [58].....	44
Obrázok 27: Výtlačok z tachografu Zdroj: Autor	44
Obrázok 28: Návrh zvislého dopravného značenia Zdroj: Autor.....	46
Obrázok 29: Ukážka označenia v praxi [60], úprava: Autor	47

Zoznam tabuliek

Tabuľka 1: Zavedenie emisných noriem [1]	9
Tabuľka 2: Výsledky Americkej štúdie [11]	13
Tabuľka 3: Možnosti odstránenia vírenia za návesom [40]	31
Tabuľka 4: Hlukové limity pre pneumatiky [43].....	33
Tabuľka 5: Smrteľné nehody za účasti nákladných vozidiel [55]	42
Tabuľka 6: Percentuálne zastúpenie rýchlosti nákladných vozidiel pri smrteľných nehodách [57].....	43

Zoznam rovníc

Rovnica 1: Odpor valenia [38].....	28
Rovnica 2: Odpor vzduchu [38].....	28
Rovnica 3: Odpor valenia [38].....	29
Rovnica 4: Odpor zotrvačnosti [38]	29
Rovnica 5: Celkové straty na pneumatike odporom valenia [59]	33

Zoznam grafov

Graf 1: Porovnanie rýchlostí a spotreby rýchlejšie jazdiacich kamiónov Zdroj: Autor	40
Graf 2: Porovnanie rýchlostí a spotreby pomalšie jazdiacich kamiónov Zdroj: Autor	40
Graf 3: Porovnanie priemerov rýchlostí a spotrieb kamiónov Zdroj: Autor	41

Zoznam príloh

Príloha č.1 – Nazbierané dáta za mesiac Jún z Dynafleetu vo formate .pdf

Príloha č.2 – Spracované dáta v exceli vo formáte .xlsx