



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

PROBLEMATIKA HODNOCENÍ PRODUKCE ŠKODLIVIN VE VÝFUKOVÝCH PLYNECH OSOBNÍCH VOZIDEL

THE ISSUE OF EVALUATING THE PRODUCTION OF POLLUTANTS IN THE EXHAUST GASES OF
PASSENGER CARS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Radek Jančář

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Beran

BRNO 2021

Zadaní bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Radek Jančář
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Martin Beran
Akademický rok:	2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Problematika hodnocení produkce škodlivin ve výfukových plynech osobních vozidel

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na rozbor metodiky legislativních testů měření produkce škodlivin ve výfukových plynech vzhledem k možnostem záměrného ovlivnění naměřených výsledků. (viz. kauza dieselgate). Stěžejním tématem je rozbor a zhodnocení nově zavedených legislativních emisních testů.

Cíle bakalářské práce:

Stručný přehled legislativních požadavků na soudobé automobily.

Zhodnocení měření pomocí NEDC jízdního cyklu vzhledem k možnostem záměrného ovlivnění výsledků.

Nové způsoby vyhodnocování produkce škodlivin vzhledem k legislativním požadavkům. Problematika RDE (Real Driving Emission test).

Seznam doporučené literatury:

STONE, Richard. Introduction to Internal Combustion Engines. 3rd edition. Hampshire: Palgrave, 1999. ISBN 0-333-74013-01999.

SKOTSKY, Alexander A. Automotive Engines. Springer Verlag, 2009, ISBN 978-3-642-00163-5.

JAN, Zdeněk a ŽDÁNSKÝ, Bronislav. Automobily (3): Motory. Brno: Avid, spol. s r.o., 2009. ISBN 978-80-87143-15-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce rozebírá hodnocení homologačního měření produkce škodlivin osobních automobilů v Evropské unii. Chronologicky jsou popsány používané metodiky měření včetně norem, které je popisují. Spolu s vylepšeními a nedostatky, které s sebou nové požadavky přinesly, je zmíněn i dopad na nové automobily a trendy, které emisní požadavky ovlivnily v oblasti vývoje automobilu. Hlavní část práce se zabývá měřením emisí ve skutečném provozu RDE a popisuje problematiku této přelomové metodiky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Emise, emisní norma, automobil, metodika měření, WLTP, RDE, homologace

ABSTRACT

This thesis analyses evaluation of homologation measurement of pollutant production of passenger cars in the European union. The measurement methodologies used are described chronologically, including the standards that describe them. Along with the improvements and disadvantages that the new requirements have brought, it also deals with the impact on new cars and the trends that have affected emission requirements in the field of car development. The main part of the work deals with the measurement of real driving emissions RDE and describes the issue of this breakthrough methodology.

KEYWORDS

Emission, emission standard, automobile, measurement methodology, WLTP, RDE, homologation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Jančář, Radek. Problematika hodnocení produkce škodlivin ve výfukových plynech osobních vozidel. Brno, 2021. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 49s. Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí bakalářské práce Martin Beran.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Martina Berana a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 21. května 2021

.....

Radek Jančář

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucím práce Ing. Martinu Beranovi za jeho rady a podmínky, které mi při řešení práce pomohly. Velký dík patří zejména mé manželce a rodině, kteří mě ve studiu bezmezně podporují.

OBSAH

Úvod	10
1 Současné homologační požadavky	11
1.1 Důvod zavedení emisních norem	11
1.2 Měřené chemické složky	12
1.3 Emisní požadavky napříč světem	14
1.4 Vývoj emisních norem v České republice	15
1.5 Pohled na snižování emisních limitů v čase	17
1.6 Budoucnost Euro 7	20
2 NEDC	22
2.1 Význam zavedení	22
2.2 Měření cyklu	23
2.3 Nevýhody metody	25
2.4 Dieselgate	26
3 WLTP	27
3.1 Význam zavedení	27
3.2 Rozdělení	27
3.3 Elektrické a plug-in automobily	30
3.4 Trendy vývoje aut ovlivněné WLTP	31
3.5 Zhodnocení změny metodiky	32
4 RDE	34
4.1 Důvod zavedení	34
4.2 Průběh testu	34
4.3 PEMS	35
4.4 Faktor konformity (CF)	36
4.5 Porovnání zátěže motoru napříč jízdními cykly	37
4.6 Dopad RDE	38
4.7 Nedostatky RDE	39
Závěr	42
Seznam použitých zkratk a symbolů	48

ÚVOD

Stěží bychom v oblasti automobilového průmyslu hledali citlivější téma, než jsou emise. Na jedné straně stojí státní úřady a organizace, které bojují za co nejpřísnější limity vypouštěných škodlivin do ovzduší, a na straně druhé jsou výrobci automobilů, kteří musí vytvořit automobil, který nebude zatěžovat ovzduší, ale zároveň bude dostatečně kvalitní na to, aby přilákal zájemce ke koupi.

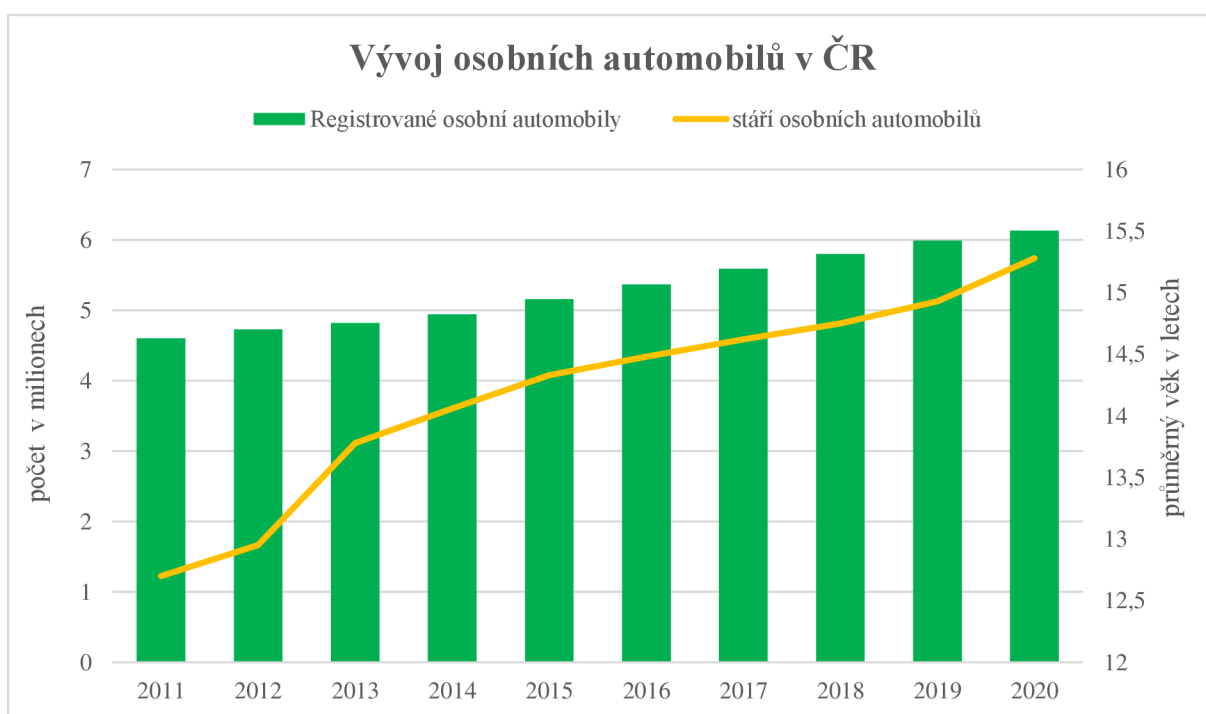
Evropa se od dob průmyslové revoluce potýká s velkým nárůstem oxidu uhličitého, který, jakožto skleníkový plyn, přispívá ke globálnímu oteplování planety. Česká republika patří celosvětově v množství vypouštěného oxidu uhličitého na obyvatele mezi ty největší znečišťovatele. Evropská unie se rozhodla razantně zasáhnout, což výrazně ovlivnilo automobilový průmysl na Starém kontinentu. Vývoj automobilu je z velké části směřován tak, aby vyhověl homologačním zkouškám. Ještě před pár desítkami let se jednalo o oblast, která se nezdála být nikterak důležitou. Při určení množství škodlivin, které vůz při jízdě vypouští do ovzduší, jsou zásadními faktory jeho hmotnost a součinitel odporu vzduchu. Skrze tyto oblasti zasahují emisní limity do celého vývoje vozidla, kde v dnešní době množství výfukových plynů představuje zásadní roli.

1 SOUČASNÉ HOMOLOGAČNÍ POŽADAVKY

1.1 DŮVOD ZAVEDENÍ EMISNÍCH NOREM

První emisní normy byly zavedeny v USA. Důvodem zavedení nebyla samotná ochrana ovzduší a životního prostředí, jako je tomu dnes, ale bezpečnost. V druhé polovině 60. let měly diesellové automobily problémy s kouřivostí. Řidiči jedoucí za takovým vozidlem měli zhoršenou viditelnost, a to iniciovalo zavedení limitů na vypouštěné látky z výfuku do ovzduší. První emisní norma použitá v Evropě byla roku 1970 směrnice 70/220EEC. [1]

Dnes je vývoj emisních norem v Evropě ovlivněn dopadem škodlivých látek, které automobily produkují, na ovzduší. Není výjimkou, že velká evropská města jako Milán, Amsterdam, Brusel, Madrid a mnoho dalších omezují nebo přímo zakazují vjezd motorovým vozidlům do centra města za účelem čistšího vzduchu pro své občany. Problém je především ve zvětšujícím se množství osobních automobilů a také rostoucí průměrný věk automobilu. V roce 2020 bylo průměrné stáří automobilu registrovaného v ČR dokonce 15,17 let. Celkový počet registrovaných automobilů se podle údajů Svazu dovozců automobilů zvýšil na 6,1 milionu. [2][3]



Graf 1 Vývoj počtu registrovaných automobilů v ČR a jejich průměrný věk

S rostoucím množstvím osobních automobilů se zvětšuje jejich podíl na celkovém množství emisí v ovzduší. Evropská unie se dlouhodobě snaží snížit emise skleníkových plynů a dosáhnout klimatické neutrality. Zavedla proto dlouhodobý cíl snížit produkci oxidu uhličitého v dopravě do roku 2050 o 60 % vůči úrovni emisí v roce 1990. [4]

1.2 MĚŘENÉ CHEMICKÉ SLOŽKY

1.2.1 OXID UHELNATÝ (CO)

Oxid uhelnatý je pro lidský organismus jedovatý. Blokuje přesunu kyslíku tělem do krevního oběhu. Podílí se také na vzniku fotochemického smogu. Je produktem nedokonalého spalování. Vyskytuje se především v zážehových motorech, kdy je jeho výskyt zapříčiněn nedostatkem kyslíku ve spalované směsi, to znamená provoz při součiniteli přebytku vzduchu $\lambda < 1$. U zážehových motorů je jeho koncentrace oproti vznětovému motoru asi desetkrát vyšší. U vznětových motorů při velkých přebytcích vzduchu CO oxiduje na CO_2 .

1.2.2 OXID UHLIČITÝ (CO₂)

Oxid uhličitý je produktem dokonalého spalování. Plyn je to velmi stabilní, nejedovatý, ovšem patří mezi skleníkové plyny, které způsobují globální oteplování planety. Jeho množství se od dob průmyslové revoluce mnohonásobně zvýšilo, takže je čím dál více bráněno úniku tepla vytvořeného sluncem ze země zpět do vesmíru. Velká produkce oxidu uhličitého není problémem jen dopravy, ale celého průmyslu.

1.2.3 OXIDY DUSÍKU (NO_x)

Oxidy dusíku se skládají především z oxidu dusnatého (NO) a oxidu dusičitého (NO₂). Podílejí se na vzniku letního smogu a tvorbě kyselých dešťů. Reakce tvořící NO_x je vysoce závislá na teplotě, takže je jeho emise během spouštění motoru relativně nízká. Kromě vysoké teploty je pro jeho tvorbu také potřeba dostatek kyslíku, takže maximální koncentrace nastane při λ mezi hodnotou 1,05 a 1,1. U zážehových motorů je jeho koncentrace vyšší, ale díky třicestnému katalyzátoru je koncentrace dobře pohlcena. U vznětových motorů je jeho koncentrace nižší, ale nelze použít třicestný katalyzátor, tudíž je jeho produkce vysoce problematická. V současnosti se jedná o nejvíce omezovanou složku výfukových plynů z důvodu velké škodlivosti lidskému organismu.

1.2.4 NESPÁLENÉ UHLOVODÍKY (HC)

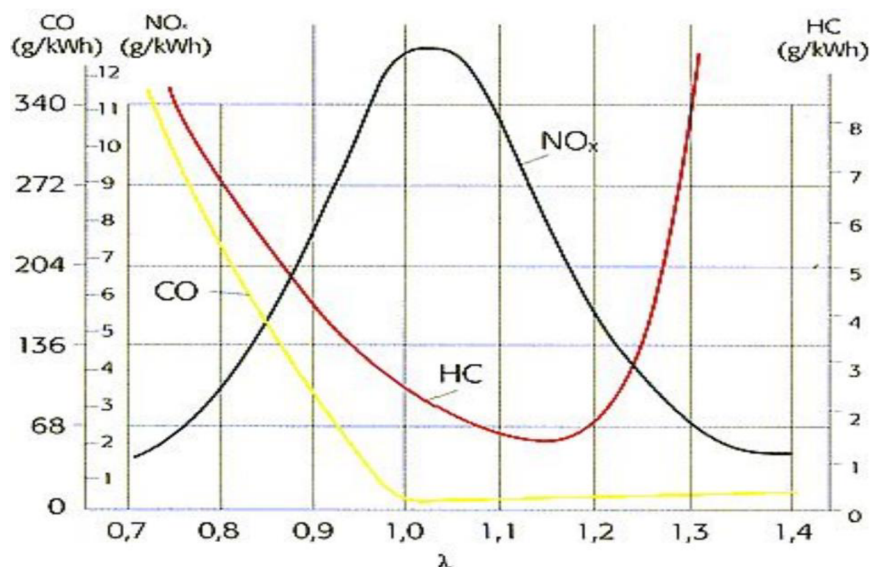
Nespálené uhlovodíky jsou směsí různých skupiny uhlovodíků, které do motoru vstupují jako palivo nebo vzniknou v průběhu spalování. Skupin uhlovodíků je veliké množství a malá část z nich je člověku velmi nebezpečná. Mohou způsobit podráždění očí nebo sliznic, některé z nich jsou rakovinotvorné. Uhlovodíky jsou významnou složkou při vzniku letního smogu. Jejich minimální množství vznikne v oblasti chudé směsi při λ mezi hodnotou 1,1 a 1,2.

1.2.5 OXIDY SÍRY (SO_x)

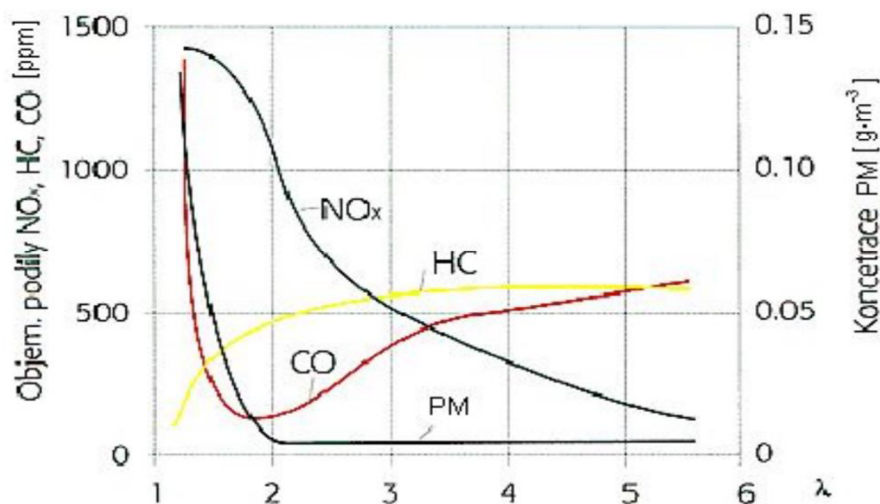
Oxidy síry produkují zejména vznětové motory. Množství těchto oxidů klesá z důvodu snižujícího se obsahu síry v motorové naftě. Podíl ve výfukových plynech je vzhledem k celkové produkci oxidů síry v průmyslu zanedbatelný.

1.2.6 PEVNÉ ČÁSTICE (PM)

Pevné částice obsahují primární uhlík (75 %) ve formě sazí, dále organický uhlík, sulfát, dusík a jiné složky. Vznikají nejčastěji ve vznětových motorech. Jejich škodlivost se odvíjí od velikosti částice. Větší z nich se zachytí v dýchacích cestách. Částice o velikosti menší než 1 μm se mohou dostat do celého krevního řečiště. Hlavní komplikací pevných částic je, že na sebe vážou rakovinotvorné uhlovodíky, které se tak snadno roznáší po celém těle.



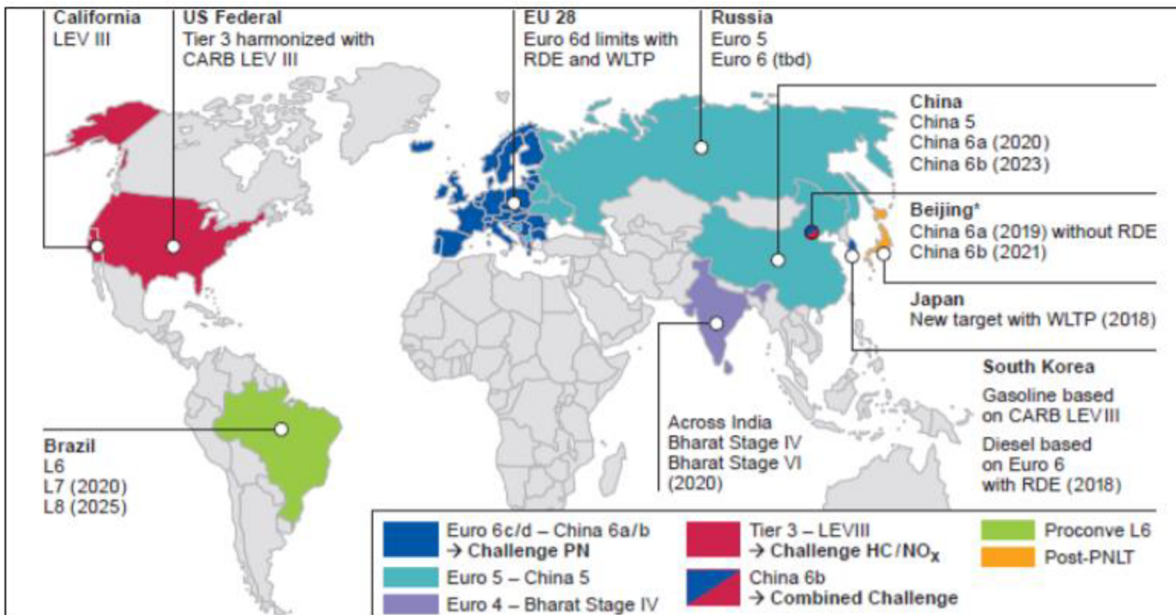
Obrázek 1 Vznik škodlivin v závislosti na přebytku vzduchu pro zážehový motor [5]



Obrázek 2 Vznik škodlivin v závislosti na přebytku vzduchu pro vpravo vznětový motor [5]

1.3 EMISNÍ POŽADAVKY NAPŘÍČ SVĚTEM

Emisní požadavky jsou napříč světem různé a jejich vývoj se také liší. Z dlouhodobého pohledu se dá říct, že nová nařízení vedou ke snižování množství emisních látek, a ke sjednocení způsobu jejich měření. Omezí se tak případ, kdy nějaký model vozidla v jednom státu neprojde homologací, ale v jiném ano.



Obrázek 3 Emisní požadavky napříč světem [6]

1.3.1 USA

Emisní normy jsou v USA strukturovány odlišně oproti normám v Evropě. Vozidla mohou být každý rok zařazena v jiné emisní třídě. Regulují se průměrné emise vozového parku u všech tříd a ty se poté rok od roku snižují. Limity a regulace určuje federální úřad EPA a kalifornský institut CARB. Třídy s nižším číslem mají nižší povolené limity emisí a pro dosažení stanovených limitů je do nich každoročně řazeno víc a víc vozidel.

Kalifornie má z historických důvodů své vlastní limity a nařízení, které jsou v současnosti přísnější než ty federální. Automobilky Ford, BMW, Honda a Volkswagen se dohodly s CARB, že do roku 2026 bude spotřeba benzínu 6,6 litru na 100 kilometrů. To je o 1,3 litru míň, než nařizují federální úřady. Tímto krokem se vytvořil tlak na ostatní automobilky, aby také ještě víc snižovaly spotřebu a tím i emise. USA má v současnosti nejprísnejší emisní limity. [6][8]

1.3.2 Čína

Čína používá od roku 2020 metodiku China 6, která je obecně založena na evropské a americké regulaci, s mírnými změnami. Hlavními rysy emisních požadavků jsou stejně jako v Evropě limitní hodnoty složek spalování a přechod z NEDC na WLTP (tyto metodiky jsou popsány v kapitolách 2 a 3). V roce 2020 byl zaveden systém měření v reálném provozu RDE

(tento systém je popsán v kapitole 4). Do roku 2025 by měl být zaveden cíl spotřeby paliva 4 litry na 100 kilometrů. Od roku 2023 bude mít Čína přísnější emisní limity než Evropa. S cílem snížit produkci emisí v dopravě zavedla čínská vláda dotační program na nákup plug-in hybridních a elektrických vozidel, včetně osvobození od daně z jejich nákupu, čímž výrazně podporuje jejich prodej. [6]

1.3.3 JAPONSKO

Japonsko představilo první emisní normy na konci osmdesátých let. Tyto normy se během devadesátých let neměnily a až roku 2005 došlo k jejich větší úpravě. Od té doby jsou emisní limity srovnatelné s předpisy v Evropě i Americe. Metodika WLTP byla zavedena v roce 2018 a RDE se k ní připojí od roku 2022. Z celkového pohledu se ale Japonsko, stejně jako Čína, snaží maximálně redukovat automobily se spalovacím motorem a nahradit je hybridními či čistě elektrickými vozidly. [6][9]

1.3.4 INDIE

Indie jako rozvojová země nadržuje krok se současným světovým vývojem, ale aspoň se o to se zpožděním snaží. První limity zavedli na začátku devadesátých let. Od roku 2020 Indie přešla z normy Bharat IV na Bharat VI. Výrobci se stále více snaží zaměřit na benzínové motory. Vláda podporuje trh s hybridními a elektrickými vozidly. V Indii se každoročně prodá osmkrát víc motorek než osobních automobilů. Vozidla nejezdí na pravidelné technické kontroly, ale jednou za půl roku podstupují emisní zkoušky. V současné době probíhá tříletý sběr údajů pro měření RDE. [6]

1.3.5 BRAZÍLIE

V Brazílii se používá emisní cyklus FTP-75, který má nejnižší pracovní teplotu 20 °C vzhledem k místním podmínkám. Zvláštní předpisy jsou pro vozidla s alternativním pohonem nebo pohonem na dvě i více paliv. V roce 2016 se prodalo téměř 90 % vozidel na dvě a více paliv. Tím pádem se stalo nezbytné stanovit limity pro různá paliva. V průběhu homologačního procesu musí vozidlo projít zkouškami s třemi různými palivy: benzín E22, ethanol E100 a směs benzínu a ethanolu E61. V případě použití jenom ethanolu je upraven limit nemetalových uhlovodíků. V Brazílii neexistují pravidla pro měření spotřeby paliva, a tak tento údaj nemusí výrobci ukazovat. [6]

1.4 VÝVOJ EMISNÍCH NOREM V ČESKÉ REPUBLICCE

1.4.1 NORMY EURO

Emisní normy pro lehká užitková vozidla platí pro všechna vozidla z kategorií M1, M2, N1 a N2. Předpisy platné pro členské státy Evropské unie a Evropského hospodářského prostoru jsou součástí globální výzvy ve snaze zlepšit kvalitu ovzduší. Obecně se liší předpisy pro vznětový a zážehový pohon. Normy prošly v průběhu let celou řadou změn a úprav za účelem přesnějšího a přísnějšího měření. Měnily se měřené emisní složky, jejich dovolené množství

i samotný jízdní cyklus. Předepsané je takzvané referenční palivo, které se při homologačním měření musí používat. Toto speciální palivo neobsahuje síru a jeho jeden litr stojí 6 euro. [7][10][11]

EURO 1

První Euro norma začala platit pro nově homologované automobily v červenci roku 1992. Od ledna následujícího roku tato norma platila pro všechny automobily. Omezovala množství CO a HC spolu s NO_x. Limity byly shodné pro oba typy spalování. Vznětové motory měly navíc limit PM.

V důsledku těchto nařízení se u vozidel rozšířilo použití trojčinného katalyzátoru, který využívá oxidace i redukce a nejlépe pracuje při hodnotě λ co nejbližší jedné. Toho se dosahuje pomocí lambda sondy, která měří množství kyslíku ve výfuku a podle jeho obsahu mění skrz řídicí jednotku množství dodávaného paliva. [12]

EURO 2

O čtyři roky později došlo k první změně, kdy se snížily maximální přípustné hodnoty všech měřených složek. Hlídané složky zůstaly stejné jako v případě Euro 1. Hlavní rozdíl byl v tom, že se rozlišovalo mezi vznětovými a zážehovými motory. Vznětové motory se rozlišovaly podle způsobu vstřikování na nepřímé a přímé. Přímé vstřikování mělo tříletou přechodnou dobu a poté se hodnoty sjednotily. [12]

EURO 3

O další čtyři roky později, v lednu 2000, začala platit pro nově homologované automobily norma Euro 3. Pro ostatní automobily začala platit s ročním zpožděním. Zahřívání motoru před testem bylo zakázáno, aby se docílilo podmínek bližších skutečné jízdě. Velkou změnou prošly také měřené složky. Stále se měřil CO pro oba typy spalování a pro vznětové motory PM. U benzinových motorů se začaly limitovat zvláště HC a NO_x, které se začaly měřit také u vznětových motorů, kde se navíc stále měřily NO_x spolu s HC.

Novým se stalo zavedení systému palubní diagnostiky OBD pro benzinové motory. Jejím úkolem je zjištění závad vozidla především z pohledu zvýšení tvorby škodlivých emisí. Kromě toho OBD kontroluje i funkci airbagů nebo systému ABS. V případě závady se řidiči rozsvítí příslušná kontrolka na přístrojové desce. Vozidla se vznětovým motorem měla OBD povinné od následující normy Euro 4. [12]

EURO 4

V pořadí čtvrtá norma vyšla v platnosti od roku 2005 opět pro nově homologované vozy a o rok později i pro ostatní vozidla. Došlo k výraznému snížení povolených hodnot, především PM a NO_x. S tím je spojena úprava systému pro snižování emisí a zavedení EGR nebo DPF (jejich princip je popsán v kapitole 1.5.1). [12]

EURO 5

V září 2009 začala platit nová norma pro nově homologované vozy. Pro ostatní vozidla nezačala platit s ročním zpožděním, jako tomu bylo v předešlých normách, ale až od ledna 2011. Tento čas navíc byl potřeba, protože došlo k dalšímu snížení NO_x a především výraznému sražení hodnot PM. Pevné částice se nově začaly měřit také u zážehových motorů vybavených přímým vstřikováním. Povolené množství částic bylo stejné jako u vznětových

motorů. Kromě toho se od roku 2013 kontroloval i počet částic, které vyletí výfukem vznětového motoru (PN). [10][12]

EURO 6

Poslední a stále aktuální platnou verzí emisní normy je Euro 6, která platí od září 2014 pro nově homologované vozy a s ročním zpožděním začala pro většinu prodávaných vozidel. Změna se týkala snížení úrovně emisí NO_x vznětových motorů. Způsobilo ji zjištění Světové zdravotnické organizace (WHO), že tyto emise způsobují dýchací potíže a hlavně zvyšují riziko onemocnění rakovinou. Norma Euro 6 je rozdělena do několika stupňů v závislosti na vývoji měření v reálném provozu RDE, které se stalo nedílnou součástí. [7][12]

1.4.2 EKOLOGICKÁ DAŇ

V době velkého zpříšňování množství emisí z výfuku nově vyráběných automobilů jsou trnem v oku vozidla, která byla vyrobena dřív, než je stihly nové Euro normy poznamenat. Při koupi nebo převodu takového vozidla se platí odpustek ve formě jednorázového poplatku označovaný jako ekologická daň. Automobily splňující emisní normu Euro 3 a výš jsou od poplatku osvobozeny. Pokud už byla u vozidla ekologická daň jednou zaplácena, při dalším přepisu se neplatí.

V případě vozidla, které splňuje nižší normu, závisí výše poplatku na normě, kterou vozidlo splňuje. V případě Euro 2 se jedná o 3000 Kč. Pro Euro 1 je to ještě o dva tisíce víc. V případě, že vozidlo nespĺňuje žádnou z emisních norem Euro se platí nejvyšší poplatek, a to 10 000 Kč. Vozidla této kategorie bývají někdy označována jako Euro 0. To, jakou emisní normu vozidlo splňuje, je uvedeno ve velkém technickém průkazu ve formě vyhlášené směrnice. Osvobození od poplatku se týká osob ZTP a ZTP-P. [13]

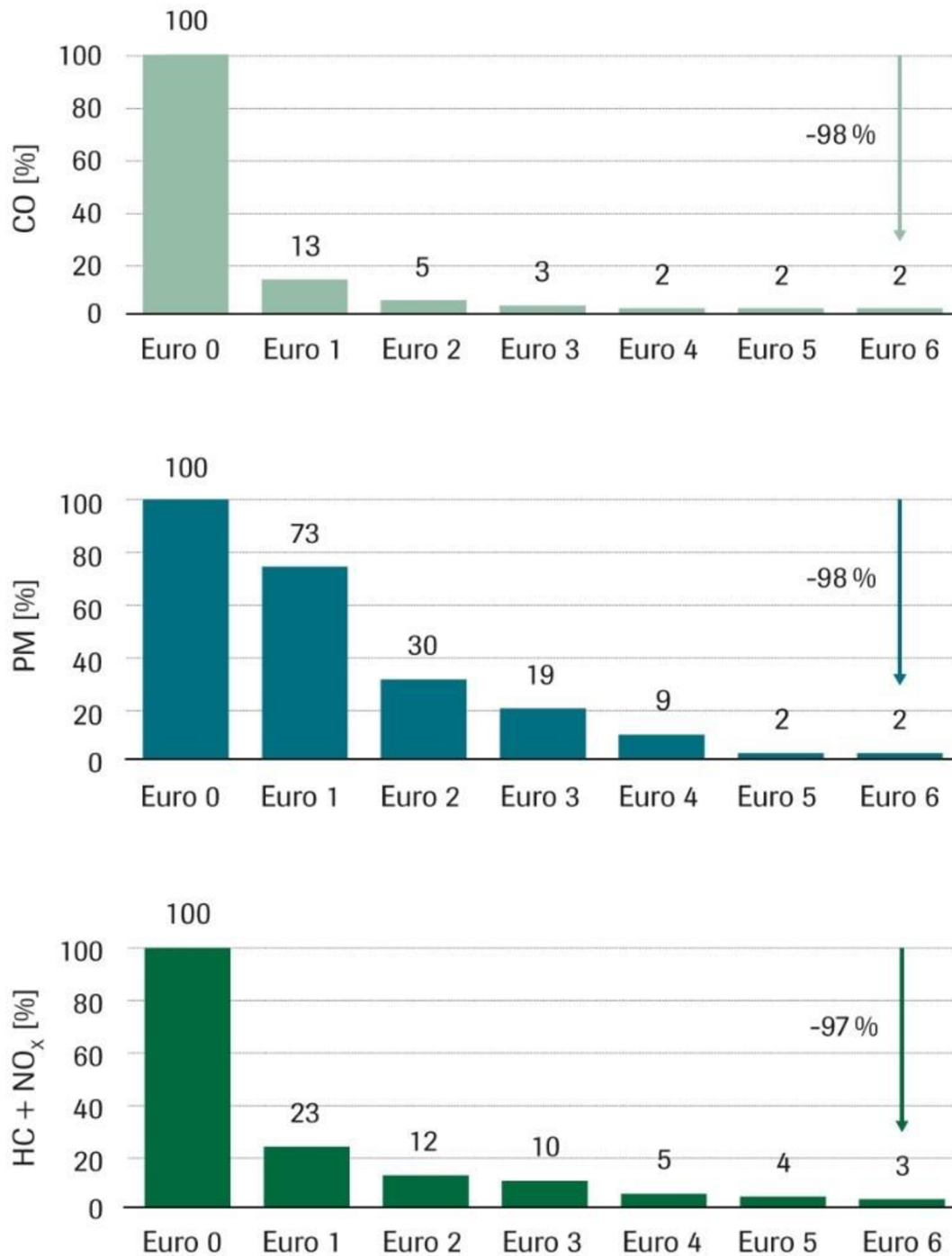
1.5 POHLED NA SNIŽOVÁNÍ EMISNÍCH LIMITŮ V ČASE

1.5.1 VZNĚTOVÉ MOTORY

Velkým procesem si prošel CO, který se od Euro 1 snížil z 2,72 g/km na 0,5 g/km, což představuje více jak 80% snížení. Od normy Euro 4 (2005) je přitom tento limit nezměněný. Tato norma přinesla také velký trend v podobě filtrů pevných částic (DPF), zachytávajících v sobě malé částičky, které by jinak pronikly do ovzduší. Filtr se ovšem časem zaplní. Aby byl stále užitečný, řídicí jednotka dodá vyšší množství paliva, čímž se zvýší teplota výfukových plynů. Nanesené částičky jsou vypáleny horkým vzduchem. V české republice je velká část automobilů s nefunkčním nebo dokonce s odmontovaným DPF, protože hlavně u starších vozů snižuje výkon motoru a zvyšuje spotřebu paliva.

Co se týká oxidů dusíku, ty se začali měřit samostatně normou Euro 3 při limitu 0,5 g/km a v dnešní podobě Euro 6 klesly na 0,08 g/km. V přechodu z páté na šestou Euro normu bylo potřeba vyprodukovat zhruba dvakrát méně NO_x , a to mělo za následek použití dalších metod. Snížení NO_x se dosahuje pomocí zpětného přepouštění výfukových plynů do sání motoru (EGR). Dojde ke snížení teploty spalování a také snížení emise NO_x (a zvýšení HC). EGR má za následek zmenšení počtu vytvořených plynů. Snižování jejich produkce ovšem nejde využívat do nekonečna, tudíž je třeba použít dalších metod.

Jednou z nich je Lean NO_x Trap (LNT), který pracuje na principu DPF jakožto zachytávače oxidů dusíku a oxidačního katalyzátoru, kdy jsou tyto zachycené oxidy přeměňovány pomocí kyslíku na méně nebezpečné látky. Jednou za čas je potřeba zásobník regenerovat. To se děje vypálením zachycených sloučenin za teploty kolem 650 °C, k čemuž je potřeba vyšší dávka paliva a dojde k nárůstu spotřeby. Celý systém je bezúdržbový, ale nevýhoda je v časté regeneraci a tím i dlouhodobé vyšší spotřebě paliva.



Obrázek 4 Vývoj emisních norem pro vznětové motory

Druhou alternativou je selektivní katalytická redukce (SCR). Tento způsob dokáže snížit NO_x díky vstříknutí aditiva do horkých spalin. Toto aditivum zvané AdBlue je z jedné třetiny tvořeno močovinou a dvěma třetinami vodou. Chemickou reakcí vznikne vodní pára a dusík. Při správné teplotě procesu může dojít až k 90 % účinnosti redukce NO_x , což je velká výhoda. Ovšem je třeba mít na paměti, že je nutné AdBlue pravidelně doplňovat stejně jako palivo. [12][14] [15]

1.5.2 ZÁŽEHOVÉ MOTORY

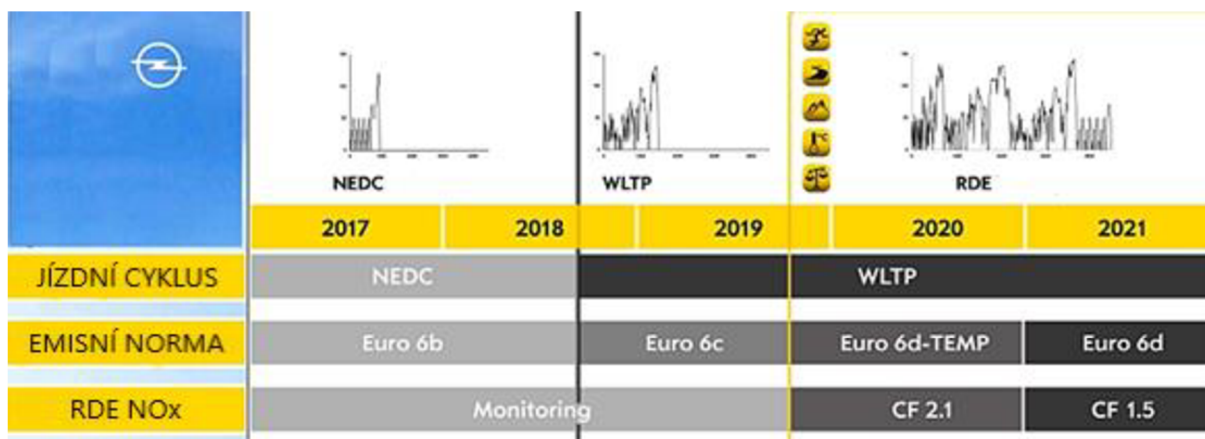
V případě CO došlo ke podobnému vývoji limitů jako v případě naftových motorů, ale přípustné hodnoty jsou dvojnásobně vyšší. Uhlovodíky se začali měřit normou Euro 3, další verzi normy klesl limit na 10 g/km, což představuje snížení na polovinu a tato hodnota platí dodnes. Normou Euro 5 se začaly také regulovat nemetanické uhlovodíky. Hodnota 0,068 g/km neprošla zatím žádným zpřísněním. Pevné částice se regulují od normy Euro 5, kdy mají totožné limity se vznětovými motory pro případ přímého vstřikování, které je v dnešní době běžné. To má za následek využití filtru pevných částic i u zážehových motorů (GPF je popsán v kapitole 3.4.1).

Oxidy dusíku se od normy Euro 3 osamostatnily a přestaly se počítat spolu s HC. Limit se dvakrát změnil a v současnosti je nižší, než u vznětových motorů. Ke snižování oxidů dusíku u motorů s přímým vstřikem paliva se používá stejně jako u vznětových motorů LNT. Zkoušky provedené ICCT zjistily, že moderní automobily poháněné naftou produkují 5-10 krát víc NO_x při běžné cestě na silnici, než je naměřeno v testech. Zážehové motory tento problém nemají a hodnoty z testů přibližně odpovídají těm z jízdy po silnici. Detailnější popis jejich zjištění je uveden jako 17. informační zdroj. [9][17]

1.5.3 ČÁSTI EURO 6

Že není Euro 6 ledajaká norma ukazuje fakt, kdy se rozčlenila do několika stupňů a dá se tak říct, že některé nové automobily jsou víc Euro 6 než jiné. Poprvé není hlavní změna v přípustném limitu škodlivin, ale normu Euro 6 provází změna jízdního cyklu a nástup nové metodiky WLTP spolu s RDE. Tento přechod významně ovlivnil platnost normy Euro 6, která je rozčleněna do několika stupňů podle toho, v jaké fázi přechodu mezi metodikami jsme. Tyto fáze se značí 6a až 6d, přičemž 6c a 6d pod sebe zahrnují ještě další normy, kdy se každá vztahuje na něco jiného a celková složitost homologace rapidně roste.

Zejména zavedení verze 6c znamenalo pro výrobce zcela zásadní změnu, protože jimi navržené vozidlo muselo splnit jiný test, než tomu bylo doposud. Tato změna byla oznámena dopředu, ale ne natolik, aby si výrobci vozidel dokázali přenastavit všechny verze jejich automobilů pro náročnější zkoušku. Pro nové vozy se tak stalo 1.9.2017. O pouhý rok později začala platit další úprava pod názvem Euro 6d-TEMP. Laboratorní test v podobě WLTP, jako tomu bylo už v Euro 6c, doplnila o měření RDE. Základní parametrem, který propojuje laboratorní test se skutečnou jízdou se stal faktor konformity (CF). Ten představuje součinitel, o který může být při RDE přesaženo laboratorních limitů. V začátcích byl nastaven velmi mírně na hodnotu 2,1.



Obrázek 5 Euro 6 pro všechny nově registrované automobily [18]

Dnes platná verze normy 6d (celým názvem Euro 6d-ISC-FCM) platí pro všechna vyráběná vozidla a faktor konformity posunula tak nízkou, jak to jen šlo. Emise ze skutečné jízdy mohou přesáhnout laboratorně naměřené hodnoty jen o nepřesnost měřícího zařízení. CF je tedy 1,43.

Někteří z výrobců už předem vytvářeli vozy, které projdou nejen tehdejší homologací, ale rovnou i těmi budoucími. Je třeba vzít v úvahu, kromě pro výrobce automobilů těžkého období, také nepříznivý dopad probíhající pandemie a dramatický pokles zájmu o nové automobily. Výrobci nestihli prodat po celé Evropě stovky tisíc automobilů, které ovšem už vyrobili a jejich budoucí registrace není možná, protože nebudou vyhovovat novým emisním normám. Řešením, jak využít již vyrobené vozy, zejména z roku 2020, je udělení výjimky, kterou by Evropská unie schválila vozům, který v důsledku globálního snížení trhu nestihla být prodána a bylo by jim umožněno znovu je nabízet k prodeji. [18][19][20]

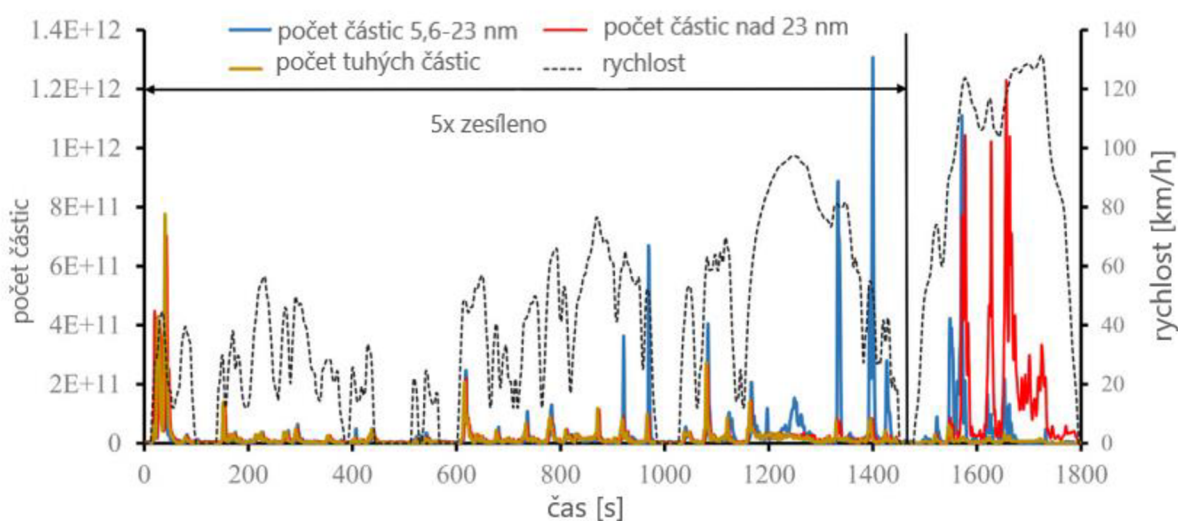
1.6 BUDOUCNOST EURO 7

Přestože se dnešní homologace vozidel točí kolem rámce Euro 6 a jeho verzí, je třeba se zamyslet i nad tím, kam se vývoj posune za pár let. V této době se připravuje další chystaná norma. Její návrh by měl být představen na konci tohoto kalendářního roku a v platnosti by měla vejít od roku 2025. Konečné datum se ale stále vyvíjí a není jisté, kdy se tak opravdu stane. Podle dosud dostupných informací by měla přinést opět velké změny. Snaha nových nařízení je zřejmá. Jedná se o dodržení dlouhodobého cíle v dosažení klimatické neutrality. Pohled automobilek je ovšem odlišný. Mají problém nejen s tím, aby dokázaly vyrobit co nejvíce modelů vozidel splňující současná nařízení, ale také je postihl výrazný propad trhu spojený s koronavirovou krizí. Nová a přísnější nařízení by představovaly dražší náklady na výrobu a vývoj, což se také odrazí ve výsledné ceně zákazníkovi za nový vůz. Která strana nakonec prosadí své argumenty není jisté, ale už teď můžeme očekávat, že výrobci automobilů nebudou mít ani na několik dalších let klidnější situaci ohledně evropských emisních nařízení.

Oblasti, které nová norma může postihnout je několik a důkladněji se jimi zabývalo 6. Mezinárodní sympozium emisí spalovacích motorů (IEES). Mezi nejzásadnější body určitě patří sjednocení testů a limitů pro všechny typy motorů a paliv. Metoda známá jako „palivově neutrální“ nebo „technologicky neutrální“ je již používaná v USA i Číně. Jako další novinka

se nabízí opět ještě větší snížení limitů NO_x a to na hranici 30-40 mg/km. To může představovat propad na přibližně poloviční hodnotu oproti dnešním limitům. Současně s tím se pravděpodobně budou posuzovat zvlášť i jednotlivé dusíkaté složky jako např. oxid dusičitý (NO_2), oxid dusný (N_2O) nebo amoniak (NH_3). [21] [22]

Třetím významným bodem je měření PN částic větších jak 10 nm (dosud 23 nm). To by znamenalo zahrnutí nejen pevných větších částic, ale také menších těkavých částic. Ty působí na lidské tělo neměně nebezpečně. Vliv velikosti částic na jejich počet zkoumala čínská studie Vědy celkového životního prostředí, která pro benzínové automobily s přímým vstřikováním zjistila, že tyto nejmenší částice se tvoří hlavně při vysoké rychlosti jízdy a zahřátém motoru. Všechna vozidla byla při zkoumání vybavena trojčinným katalyzátorem. Vozidlo bez filtr GPF má přibližně 40 % celkových částic tvořených částicemi o velikosti menší než 23 nm. Vozidlo vybavené GPF má tento podíl 75 %, čímž je vidět, že filtr zachytává částice především o větších rozměrech. [23]



Obrázek 6 Emisní charakteristika WLTP z pohledu počtu částic, přeloženo z anglického originálu [23]

2 NEDC

2.1 VÝZNAM ZAVEDENÍ

Zkratka NEDC vznikla z anglického názvu New European Driving Cycle, což v překladu znamená Nový evropský jízdní cyklus. Jeho úlohou bylo nastavit podmínky, za kterých se bude emisní homologace kontrolovat. Tento problém vznikl v roce 1970, kdy se rozhodlo, že se budou hlídat a regulovat emise vypouštěné z osobních automobilů. Dnes je tato metodika pranýřována ze všech stran pro její podobu a funkčnost, ale ve své době měla nenahraditelnou úlohu a dlouhou dobu fungovala bez komplikací. Stanovila jasná pravidla, díky kterým se mohla homologace provádět za stejných podmínek, na různých místech a opakovaně. V pozdějších letech své platnosti se jednalo spíše o porovnání jednoho automobilu s druhým, nikoli automobilu a skutečnosti.

V době vytvoření této metodiky byl účel a využití automobilů zcela odlišný od dnešního. NEDC byl vytvořen v době lehčích vozidel, s nižším výkonem a bez technologických vylepšení dnešního světa. Hustota provozu na silnici byla mnohem menší, než je tomu dnes. Aktualizací a vylepšení metody nebylo mnoho. Od poslední v roce 1997 se propast mezi laboratorním měřením a realitou prohlubovala a od roku 2018 se již dále nepoužívá pro testování a byl nahrazen novou metodikou. V posledních letech si tak zákazník při výběru vozidla mohl všimnout hned dvou údajů o průměrné spotřebě, která hraje při výběru vozu zásadní roli. Jeden údaj byl z původního měření (NEDC) a druhý z nově zavedeného (WLTP). Ten je z pravidla vyšší a mnohdy to nakupujícího, který nemá přehled o aktuální situaci, dostalo do úzkých. [24]



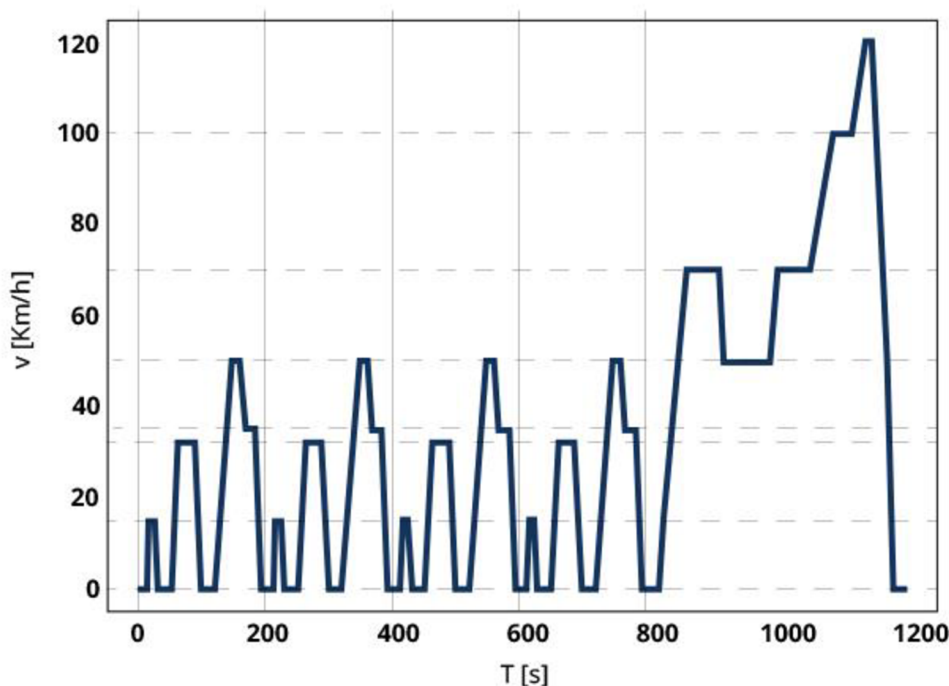
Obrázek 7 Testování ve zkušebně vybavené válcovým dynamometrem [25]

2.2 MĚŘENÍ CYKLU

Měření jízdního cyklu se provádí v laboratorní zkušebně. Je předepsáno několik typů zkoušek, které se provádí vždy v závislosti na parametrech zkoušeného vozidla. Vozidlo vjede na válcový dynamometr, který simuluje setrvačné hmotnosti, valivý odpor pneumatik a aerodynamický odpor vzduchu. Rychlost vozidla se určuje pomocí rychlosti otáčení válce dynamometru. V případě dvouválcového dynamometru pomocí předního válce. Před samotným měřením je nutné provést kalibraci dynamometru. Pro samotnou zkoušku je předepsána také teplota místnosti, vlhkost a složení vzduchu nebo předepsané palivo pro následnou analýzu výfukových plynů. Z důvodu kalibrace a stabilizace zabere zkouška několik hodin, a je tak časově náročná. [25][26]

2.2.1 ZKOUŠKA TYPU I

Zkouška se zaměřuje na výfukové emise po studeném startu. Teplota zkušebny je předepsána v rozmezí 20-30 °C. Zkouší se vozidla, která dříve ujela alespoň 3000 km. Při zkoušce je vozidlo ofukováno ventilátory. Pracovní cyklus se skládá z části městské a mimoměstské.



Obrázek 8 Průběh čtyř městských a jednoho mimoměstského cyklu [27]

Městská část zahrnuje čtyřikrát jízdu základním městským cyklem a poté jednu jízdu mimoměstským cyklem. Tyto cykly mají za úkol reprezentovat typickou jízdu automobilem. Jedna základní městská část trvá 195 sekund při průměrné rychlosti 19 km/h. Cyklus mimo město trvá 400 sekund. Průměrná rychlost je 62,6 km/h a maximální rychlost dosažená během jízdy činí 120 km/h. V každém cyklu jsou přesně vymezeny intervaly přeřazení rychlostních stupňů s odchylkou ± 2 km/h a ± 1 sekundou. Výfukové plyny se musí analyzovat maximálně 20 minut po ukončení zkušebního cyklu. [26]

2.2.2 ZKOUŠKA TYPU II

Druhý typ zkoušky kontroluje emise CO při volnoběžných otáčkách. Zkouška se týká vozidel se zážehovým motorem. V případě, že má vozidlo pohon na LPG nebo CNG, je zkouška prováděna také. Měří se od startu studeného motoru až do doby, kdy se teplota motoru a jeho kapalin ustálí. Sonda pro odběr vzorku se umístí co nejbližší k výfuku do trubky spojující vak pro snímání vzorků a výfuk. [26]

2.2.3 ZKOUŠKA TYPU III

Třetí typ zkoušky se zabývá ověřením emisí z klikové skříně. Provádí se u vozidel se zážehovým motorem po provedení zkoušky typu I, příp. i typu II. Ověřuje se správná funkce systému větrání klikové skříně. Pomocí manometru se měří tlak. Pokud není tlak větší než atmosférický s odchylkou ± 1 kPa je vozidlo vyhovující tomuto typu zkoušky. [26]

2.2.4 ZKOUŠKA TYPU IV

Čtvrtý typ zkoušky stanovuje emise způsobené vypařováním z vozidel se zážehovými motory. Jedná se o emise HC z palivového systému. Vozidlo projede celou zkoušku typu I a poté se určí ztráty vypařováním odstaveného vozidla za tepla. Následně se nechá alespoň 6 hodin vozidlo odstavené, aby se mu snížila teplota na 20 °C, a provede se 24 hodinové měření ztrát HC vypařováním. [26]

2.2.5 ZKOUŠKA TYPU V

Pátý typ popisuje zkoušku stárnutí pro ověření životnosti zařízení regulujících znečišťující látky. Cílem zkoušky je zajistit funkčnost systému regulace emisí po ujetí alespoň 160 000 km. Vozidla se vznětovými motory se kontrolují pomocí provedení řízených regenerací filtrů pevných částic. U vozidel se zážehovým motorem, včetně hybridních vozidel, se hlídá funkce katalyzátoru a kyslíkové sondy. [26]

2.2.6 ZKOUŠKA TYPU VI

Šestý typ zkoušky ověřuje průměrné výfukové emise CO a HC po studeném startu za teploty okolí -7 °C. Zkoušku absolvují zážehové motory poháněné benzínem. Na brzdovém dynamometru se provede jeden cyklus městské části. Měření emisí začne nejpozději při startu motoru a končí po ujetí jízdního cyklu. [26]

2.2.7 ZKOUŠKA OBD

Posledním typem zkoušky je ověření palubního diagnostického systému OBD (z anglického On-board diagnostics). Tento systém mimo jiné reguluje emise motorových vozidel. Pomocí chybového kódu identifikuje zhoršení nebo chybnou funkci systému regulace emisí, jako je kyslíkové čidlo, EGR, katalyzátor, filtr částic a další, v závislosti na typu vozidla. [26]

2.3 NEVÝHODY METODY

Evropský jízdní cyklus vznikl před Euro normami, ale jeho vývoj nebyl tak dynamický jako vývoj evropských norem. Nevýhody se samozřejmě neprojeví ihned, ale s pozdějšími normami vycházely stále více najevo. Jízdní cyklus zaostával za stále přísnějšími emisními normami a přestal odpovídat skutečnému provozu a užívání automobilu. Mezi hlavní nevýhody samotné metodiky patří doba jízdního cyklu, která je příliš krátká. Dále dlouhé a pozvolné akcelerace, kterých bylo pro jejich délku při jízdě nedostatek. Zároveň se testoval pouze jeden typ pneumatik. Výrobce si pro testování vybral typ s nejmenším valivým odporem, který ještě snížil přehustěním pneumatiky. O zohlednění doplňkové výbavy, která má vliv na hmotnost i aerodynamiku, nemůže být ani řeč. Lidem odpovědným za vývoj automobilu tím vznikl prostor, jak alespoň papírově snížit spotřebu paliva a současně vyhovět novým emisním normám. Nejedním zákazník byl následně zklamán, že se mu po pořízení nového vozidla nedaří docílit deklarované spotřeby paliva a cítil se podveden. Tím se mimo jiné zabývala i reportáž investigativního pořadu České televize Černé ovce ze dne 11. 11. 2020. [23][28]

System start-stop je technologií, se kterou se setkala většina řidičů. V pozdějších letech platnosti NEDC metodiky se stal součástí téměř každého nového vozu. Jedná se o zhasnutí motoru při stání vozidla. Typicky se tak stane při červené na semaforu nebo popojíždění v koloně, ale i při zastavení před odbočením z vedlejší komunikace na hlavní, kdy dojde k vypnutí a zapnutí motoru během jedné vteřiny. Právě tímto rychlým vypnutím a zapnutím motoru se stal u řidičů velmi nepopulární a dá se říct, že ve většině případů bývá systém vypínán ihned po nastartování vozidla. Z druhé strany je nutno podotknout, že evropský jízdní cyklus je na něj doslova nachystaný. Doba, po kterou v jízdním cyklu auto stojí činí 25 % celého jízdního času (který je i tak krátký), a pokud bude jednu čtvrtinu motor vypnutý, výrazně se to projeví na výsledné naměřené spotřebě i emisích. Přínos celého systému přijde vniveč, protože je založený na nedostatku jízdní metodiky a ne na skutečné jízdě. Dalším problémem systému je přetížení startéru a baterie, kterým se snižuje životnost. [1][29]

Druhým trendem způsobeným nedostatkem NEDC se downsizing (zmenšování). Tento proces odporuje tradiční heslo „objem ničím nenahradíš“. Jedná se o zmenšování zdvihového objemu motoru. Snížení objemu motoru s sebou nese i snížení počtu válců. Menší objem motoru spotřebuje méně paliva a zároveň vyprodukuje menší množství emisí. Aby byl ovšem zachován výkon srovnatelný s tradičnějšími motory, s objemem okolo dvou litrů, byl přidán důraz na způsob přeplňování a použití několika turbodmychadel. V nabídce motorů pro daný typ vozidla se tak nejdříve objevily varianty s objemem jeden litr i méně. Nevýhodou takto zmenšených motorů bylo jejich použití při vyšším zatížení, kdy spotřeba významně vzrostla. Vedle downsizingu se v poslední době začíná prosazovat metoda rightsizingu, kdy je objem motoru volen vhodně k velikosti automobilu a není za každou cenu zmenšován. [30]

2.4 DIESELGATE

Nejproslulejší kauza spojená s evropským jízdním cyklem je tzv. Dieselgate. Jednalo se o vozy značky Volkswagen (VW), který se snažil prosadit své vznětové automobily na americkém trhu. Ač byly tamější normy přísnější, VW se v roce 2008 podařilo homologovat své motory. Dokonce se jim to podařilo bez použití přídavných metod na snížení emise NO_x (např. vstřík AdBlue). V roce 2009 se na takové vozidla vztahovala v USA daňová úleva v přepočtu přibližně 25 tisíc korun. [31]

Prvním, kdo objevil problém, byla Mezinárodní rada pro čistou dopravu (ICCT). Ta ve spojení s Oddělením pro alternativní paliva a emise Univerzity West Virginia (CAFEE) prováděla výzkum rozdílů naměřených emisí v laboratoři a při reálné jízdě. Překvapení se stalo, když u nových vozidel VW zjistili až 35 násobně překročený limit NO_x, oproti hodnotě naměřené v laboratoři. Následně začali testy opakovat, protože takový výsledek je krajně podezřelý i s ohledem na relevanci jejich měření, ale vždy dospěli ke stejným výsledkům. V roce 2014 začalo vyšetřování dieselových motorů VW institutem CARB. [32]

Vyšetřování ukázalo, že konstrukční řada motorů EA 189 obsahuje software na rozpoznání skutečné jízdy od té na laboratorních válčích. V druhém případě dojde k úpravě chodu motoru a snížení produkce oxidů dusíku. Rozdíl mezi laboratorní a skutečnou jízdou lze zjistit například podle atmosférického tlaku, úhlu natočení volantu nebo rozdílných otáček přední a zadní nápravy. Laboratorní testy jsou jasně definované a tím pádem lze rozpoznat, kdy je prováděna testovací jízda. VW nezbyvalo nic jiného než se k tomuto ovlivnění zkoušek přiznat a téměř půl milionu automobilů prodaných v USA přeprogramovat řídicí jednotku. Zpětně také přiznal, že v celém světě prodal takových vozidel 11 milionů, ale jen legislativa USA umožnila soudit VW. Dosud není objasněno, jak přesně dokázala řídicí jednotka rozpoznat režim testu a jakým způsobem došlo k tak výraznému snížení produkce oxidů dusíku. Zároveň je ale zřejmé, že nemohlo jít o dlouhodobě využívaný způsob práce motoru už jen proto, že by byl jinak využíván neustále. Celý, hojně medializovaný, skandál vyšel známý koncern na desítky miliard eur. [31][32]

Bylo by plytké si myslet, že jediným špatným ohledně podvodů při měření emisí je VW. V návaznosti na Dieselgate se spustila vlna vyšetřování s jediným cílem, a sice odhalit další případné hříšníky. Vyšetřování se týkalo téměř každé automobilky, ale málokterá z nich se také dokázala k podvodu usvědčit. CARB odhalil na konci roku 2016 úpravu řídicí jednotky u Audi. Týkalo se to šestiválcových motorů s automatickou převodovkou. Pokud nebylo po startu otočeno volantem o více jak 15 stupňů došlo ke změně chodu motoru a snížení spotřeby a emisí CO₂. [33]

Kámen úrazu spočívá v emisních normách. Ty se stále zpřísňují a konstruktéři se snaží pomocí nejrůznějších způsobů vyhovět homologační zkoušce. Ta pracuje v úzkém režimu zatížení motoru. Do této oblasti je třeba navrhnout motor, který bude produkovat minimum emisí. Na druhé straně je poptávka po stále více výkonných vozech, které si přímo odporují s emisními normami, a tím vznikne pro konstruktéry a vývojáře situace, kterou se rozhodli řešit tímto faulem vůči emisním normám. Reakcí na četné vyšetřování a zhoršení veřejné pověsti vznětových motorů byl v následujících letech výrazný pokles jejich prodeje. Během následujících dvou let od vypuknutí aféry Dieselgate klesl v České republice prodej dieselových automobilů o 20 %. Až paradoxně může působit fakt, že se v dnešní době staví právě VW do role lídra v oblasti elektromobility (vyjma čistě elektrické značky Tesla) a investuje do vývoje obrovské částky. [34][35]

3 WLTP

3.1 VÝZNAM ZAVEDENÍ

Jak je popsáno v kapitole 2, zkušební cyklus NEDC již mnoho let nepředstavoval skutečnou jízdu automobilem. To se výrazně projevilo na naměřené spotřebě paliva a také emisích CO₂, což se rozhodla Evropská unie řešit. V roce 2007 se rozhodla založit skupinu na přípravu Celosvětové harmonizovaného postupu zkoušky pro lehká užitková vozidla (WLTP). Ta v roce 2015 představila první fázi. Snahou bylo poskytnout celosvětově jednotný postup určování emisí škodlivých plynů a spotřeby paliva pro spalovací motory a také spotřeby elektrické energie a elektrického rozsahu pro vozy využívající elektrickou energii k pohonu. Od roku 2017 musí všechna nově homologovaná vozidla podstoupit měření pomocí WLTP metodiky a opět s ročním zpožděním toto nařízení platí pro všechna ostatní vozidla. Častým názorem je, že za novou metodiku může Dieselgate. Jak je ale vidět, příprava nové metodiky započala mnohem dříve a kauza Dieselgate „pouze“ přispěla urychlení uvedení v platnost nové postupy. [6][36]

V druhé fázi zavedení metodiky, platné od září 2019 (tzv. WLTP second act), došlo k úpravě podmínek testování. Ty zahrnují například zkoušku palubní diagnostiky OBD nebo měření emisí vypařováním. Nejdůležitější částí druhé fáze se stalo měření v reálném provozu RDE, které se stalo povinnou součástí homologace. Rozboru RDE bude věnována část 4 této práce. [6]

Všechny změny a úpravy v novém postupu měření vedou k získání reálnějších hodnot spotřeby paliva (elektrické energie) a emisí. Mimo to jsou lépe srovnatelné výsledky testů po celém světě včetně typů pohonů. Důležitou částí je obsažení kritérií pro elektrická vozidla, která získávají významný prostor. V neposlední řadě bylo velkou snahou odstranit veškeré nedostatky obsažené v předpisech původní NEDC, aby se zamezilo vlivu systémů na principu start-stop a došlo k očekávanému zohlednění doplňkové výbavy jako je například nosič kol, střešní rakev nebo různé rozměry pneumatik. [6][36]

3.2 ROZDĚLENÍ

WLTP, jakožto celosvětový předpis, musí respektovat lokální charakteristiky trhu. Z toho důvodu vozidla rozděluje do tří tříd. Každá třída i podtřída má odlišný jízdní profil. Jízdní profil se nazývá WLTC (z anglického Worldwide harmonized light duty driving cycle). Třetí třída se dělí na dvě podtřídy v závislosti na maximální rychlosti automobilu. Do jaké třídy se řadí dané vozidlo určité poměr P_{hm} , který je dán rovnicí:

$$P_{hm} = \frac{P}{m_{prov-75}}, \quad (1)$$

kde P je výkon vozidla. Jmenovatel je dán rozdílem provozní hmotnosti a váhy řidiče, která je určena na 75 kg. Provozní hmotnost zahrnuje natankovanou nádrž alespoň na 90 % kapacity a váhu rezervního kola. Jízdní cyklus také ovlivňuje maximální rychlost, kterou je dané vozidlo schopno jet.

- třída 1: $P_{hm} \leq 22 \text{ W/kg}$
- třída 1: $P_{hm} > 22 \text{ W/kg}$ a zároveň $< 34 \text{ W/kg}$
- třída 1: $P_{hm} > 34 \text{ W/kg}$

Jízdní cyklus je rozdělen podle velikosti zatížení motoru na nízké zatížení, střední zatížení, vysoké zatížení a extra vysoké zatížení. [6]

3.2.1 TŘÍDA 1

První třída s nejnižším poměrem výkonu k hmotnosti platí především pro automobily v Indii. Testovací jízda se skládá z fáze nízkého zatížení, po kterém následuje střední zatížení, a nakonec ještě jednou nízké zatížení, jak je vidět na obrázku 9. V případě, že vozidlo nedokáže dosáhnout maximální rychlosti při cyklu, zmenší se měřítko cyklu, aby se snížila velikost maximálního zrychlení a dosáhne se nižší maximální rychlosti. Celkový jízdní cyklus trvá téměř 30 minut a ujede se vzdálenost 11,43 km. Maximální dosažená rychlost je 64,4 km/h zrychlení $0,76 \text{ m/s}^2$. [37]



Obrázek 9 WLTC třída 1, přeloženo z anglického originálu [6]

3.2.2 TŘÍDA 2

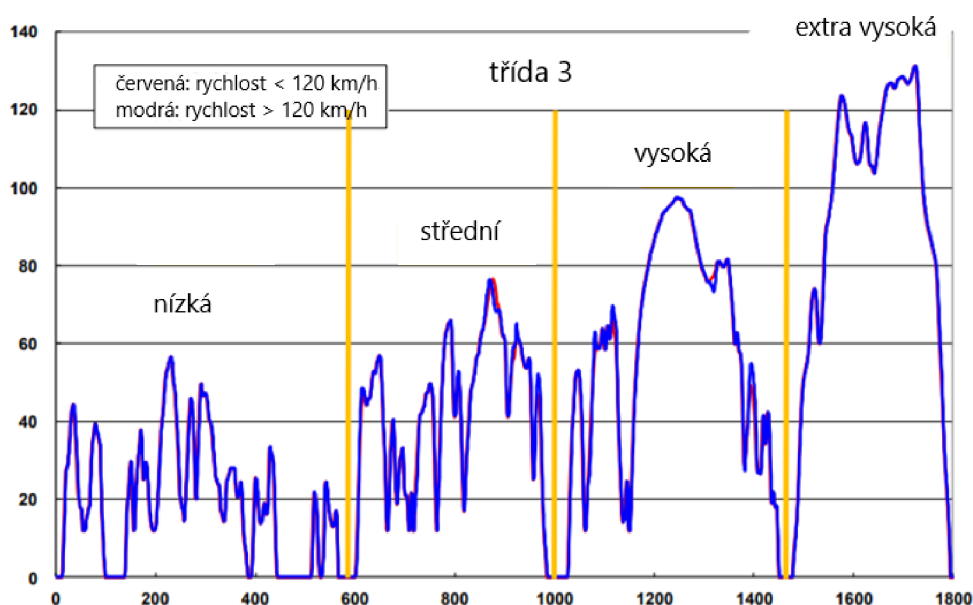
Druhou třídu reprezentují opět vozidla z Indie a také slabší vozidla s Japonska a Evropy. Jízda se skládá z nízké, střední, vysoké fáze a volitelné extra vysoké zatížení motoru. Cyklus trvá 30 minut a ujede se při něm vzdálenost 22,65 km. Maximální rychlost je 123 km/h a nejvyšší dosažené zrychlení je $0,96 \text{ m/s}^2$. [37]



Obrázek 10 WLTC třída 2, přeloženo z anglického originálu [6]

3.2.3 TŘÍDA 3

Třetí třída je pro Evropu nejzásadnější, neboť do ní spadá většina prodávaných automobilů. Protože hodnotu poměru výkonu k hmotnosti 34 přesahuje spousta vozidel více jak dvojnásobně, jsou v rámci třídy zavedeny dvě podtřídy podle toho, zda je maximální rychlost auta udávaná výrobcem vyšší nebo nižší jak 120 km/h. Jízdní fáze jsou obdobné jako u druhé třídy. Rozdíl mezi podtřídami je pouze v hodnotě maximálního zrychlení při střední fázi jízdy. V případě vozidla s maximální rychlostí do 120 km/h je nejvyšší možné zrychlení v rámci cyklu o tři desetiny nižší. Délka celého cyklu je opět 30 minut při ujeté vzdálenosti. Velkým problémem NEDC byl čas, po který nebyl motor v činnosti. Nové metodice se podařilo významně snížit dobu nečinnosti motoru. Podíl času nečinnosti a celkového času testování klesl na 13,4 % (tzn. klesl o 12 %).



Obrázek 11 WLTC třída 3, přeloženo z anglického originálu [6]

Všechny hybridní a elektrická vozidla, včetně vozidel poháněných palivovými články, spadají do třetí třídy a příslušné podtřídy. [6][37]

3.3 ELEKTRICKÉ A PLUG-IN AUTOMOBILY

3.3.1 ELEKTRICKÉ AUTOMOBILY (EV)

V případě automobilů využívajících elektrické energie (Electric Vehicle) je homologační schvalování odlišné oproti tradičním vozům s čistě spalovacím motorem. Tímto typem pohonu se zabývala už NEDC, ale až WLTP přišla s detailnější a přesnější zkouškou. Elektrické automobily se měří při plně nabitě baterii. Ve zkušebně se ujede jeden celý cyklus WLTC pro třetí třídu a ihned po zkoušce se připojí vozidlo k nabíječce. Součástí nabíječky je ampérmetr, který měří dodaný proud baterii. Zpětně se tak určí spotřeba elektrické energie v kilowatthodinách na 100 ujetých kilometrů. Přestože jsou elektrické pohony zcela odlišné od spalovacích, i tady znamenala změna jízdního cyklu nárůst průměrné spotřeby energie. [38]

3.3.2 PLUG-IN AUTOMOBILY (PHEV)

Nejsložitější měření nastává u vozidel využívajících jak elektrické, tak i tepelné energie. Tento typ vozidel představuje kompromis mezi elektrickými vozidly neprodukujícími za jízdy CO₂ a konvenčními vozidly se spalovacím motorem, po kterých je na trhu stále největší poptávka. Protože dokáže jet PHEV (Plug-in Hybrid Electric Vehicle) čistě na jeden i druhý typ pohonu, musí se měřit oba. Při měření se začne s plně nabitou baterií a jízdní cyklus se opakuje stále dokola, dokud se baterie plně nevybíje. Zároveň jsou měřeny emise spalovacího motoru, který je s klesající výdrží baterie více využíván. Poslední částí je ujetí jednoho cyklu s prázdnou baterií, ve kterém se využívá pohonu spalovacího motoru a energie vzniklé rekuperačním brzděním. Po měření se určí spotřeba paliva a emise, ale také dojezd na elektrický pohon a celkový dojezd. Výsledná produkce CO₂ se následně určuje pomocí faktoru užitečnosti UF (z anglického utility factor).

Faktor užitečnosti představuje podíl ujeté vzdálenosti s elektrickým pohonem vůči celkové ujeté vzdálenosti. Pro čistě elektrické automobily je tedy UF jedna a pro spalovací automobily je nula. PHEV vozidla se pohybují v tomto rozmezí. Čím je větší vliv elektromotoru na celkovou jízdu, tím je tento faktor vyšší a spotřeba paliva nižší. [38]

Výsledná spotřeba paliva může být zavádějící. Hybridní vozidlo má své opodstatnění, pokud je využíváno na kratší vzdálenosti, které pokryje baterie elektromotoru, a pak se opětovně nabije. Spalovací motor je pouze pojistka pro nečekaný případ delší cesty, na kterou si baterie nevystačí. Pokud by se ale vozidlo používalo pravidelně na tak dlouhé cesty, že se baterie zcela vyčerpá, už v průběhu jízdy nastane situace, kdy je pohon stejný jako u spalovacích vozidel (s malým příspěvkem rekuperace baterie). Hmotnost baterie se ale výrazně projeví na spotřebě paliva a emisích škodlivin. V případě dlouhé jízdy bez možnosti dobití baterie se výhoda hybridního pohonu stane nevýhodou. Dalším problémem jsou vozidla, která mají takovou kapacitu baterie, aby jim vystačila dodávat energii pouze po dobu jízdního cyklu a po jeho ujetí jí nezbude žádná energie. Tím se uměle vytváří nižší naměřené hodnoty a skutečné využití baterie, mimo jízdní cyklus, není nikterak významné. Je otázkou, zda si své prosadí

Evropská unie, která emisními flotilovými normami tlačí výrobce k nižší spotřebě paliva, a tak prosazuje využívání elektromotorů. Anebo zvítězí výrobci. Ti zatím těží z prodeje spalovacích automobilů, kterými dotují vývoj a výrobu plug-in a elektro vozidel. Tento typ vozidel jim ale zároveň snižuje celkové flotilové hodnoty CO₂ a snižují si tím pokuty vzniklé na spalovacích motorech. [39]

3.4 TRENDY VÝVOJE AUT OVLIVNĚNÉ WLTP

V předešlých kapitolách je popsáno, jak se liší měření a celková homologace nového osobního vozidla. Tyto četné změny a úpravy s sebou přinesly řadu trendů. Některé technologické novinky mají za cíl splnit dosavadní předpisy, ale při ještě přísnějším limitu by na daný problém nestačily. Proto je potřeba k problému přistoupit komplexněji a uzpůsobit vývoj auta jako celku novým a i budoucím nařízením. Hitem posledních let se stávají vozidla typu SUV, které kombinují sportovní a užitkové vlastnosti. Konstrukteři nejsou ovlivněni tradicí vnímání tohoto typu vozidel. Tím mají větší prostor k úpravě tak, aby vozidlo vyhovělo emisním nařízením.

3.4.1 GPF

Zkratka GPF představuje filtr pevných částic pro zážehové motory (z anglického gasoline particulate filter). Ještě před pár lety by se to zdálo jako naprostá zbytečnost, protože problém pevných částic se týkal výhradně vznětových motorů. Doba pokročila a limity pevných částic jsou stejné pro oba typy spalování. Filtr částic se tím stal povinným i pro zážehová vozidla. Předpis ho nevyžaduje u motoru, který používá nepřímé vstřikování, protože takový motor produkuje zanedbatelné množství pevných částic.

Vyčištění filtru se docílí pomocí regenerace, tedy řízeného vypálení usazenin. Využívá se pasivní regenerace, kdy dojde k vypálení při teplotě spalin v rozmezí 400-700 °C. Motor musí být v tu chvíli bez zatížení, kdy jím vzduch jen projde bez zapálení a nezmění se obsah kyslíku. V případě dlouhé jízdy pod stálým zatížením motoru dojde na krátkou dobu k úpravě stechiometrické směsi ve prospěch výrazného přebytku vzduchu, čímž se simuluje případ nezatíženého motoru. Celková konstrukce GPF je oproti DPF menší, a tím dochází k regeneraci po desítkách kilometrů. [40]

3.4.2 MENŠÍ KONFIGURACE AUTOMOBILU

Podle nové metodiky měření se musí testovat všechny varianty modelu vozidla. Zohledňuje se typ karoserie, kombinace motoru s převodovkou, typ pneumatik ale třeba i klimatizace. To v praxi znamená výrazný nárůst počtu měření a zkoušek, které musí výrobce podstoupit, aby mohl dané vozidlo uvést na trh. Nebylo překvapením, když už při přechodu na normu Euro 6, která přinesla přísnější limity, došlo ke zpoždění prodeje automobilů, protože se na ně ještě nedostala řada při homologačním měření. Obdobná situace nastala při přechodu na WLTP metodiku, která přinesla náročnější způsob měření. Zkušební nestíhaly zvýšený nápor a výrobci si museli vybrat, kterým typům dají přednost, které upozadí a které nebudou moct pár let vyvíjet.

Týká se to výrazně sportovních a terénních verzí s nejvýkonnějšími motory. Obecně se dá říct, že velkoobjemové motory jsou dnes už raritou. Automobily menší velikosti bývají často pouze v podání zážehového motoru. Vznětové motory musely ustoupit z ekonomických důvodů. Přídavné technologie ke splnění současných emisních limitů by značně prodražily vývoj vozidla. Příkladem je Škoda Fabia. Stále méně dostupným se stává vznětový motor bez použití AdBlue. [42][43]

3.4.3 OBFCM

Zkratka OBFCM představuje systém monitorování spotřeby paliva nebo elektrické energie. Je součástí normy Euro 6d-ISC-FCM. Evropská unie se rozhodla od roku 2020 zahájit šestiletý sběr dat spotřeby automobilů v reálném provozu. Všechny nově vyráběné vozy musí být tímto systémem vybaveny. Zároveň by měla Evropská unie do roku 2030 ukázat, jak tato data využije. V úvahu připadá zvýšení daně na ty automobily, které budou prokazovat výrazný rozdíl spotřeby paliva oproti laboratornímu testu. Další možností může být i zvýšení daně těm řidičům, kteří jezdí rychleji a jejich vůz produkuje větší množství škodlivin.

Tato novinka má mnoho nejasností. Jednou je zmíněné budoucí využití, další také zjištění naměřených údajů z řídicí jednotky automobilu. Otázkou zůstává i případná anonymizace údajů. V případě PHEV může dojít na to, že jejich spotřeba paliva bude násobně vyšší z důvodu, že majitel vozu pravidelně nedobíjí baterii. V takové situaci by hybridní vozy ztrácely v očích Evropské unie smysl. Spotřebu paliva zásadně ovlivní jízdní styl řidičů, a proto plošné měření a z toho vyvozené důsledky mohou dopadnout kontraproduktivně. Vozidlo si řidiče nevybírání, stejně tak jako neovlivní, v jakých podmínkách bude používáno, a z toho důvodu se zdá regulace množství CO₂ tímto způsobem minimálně jako kontroverzní. [44][45]

3.5 ZHODNOCENÍ ZMĚNY METODIKY

Předem je důležité podotknout, že nová metodika platí stále jen pár let. S tím souvisí fakt, že se ne všechny nedostatky stačily objevit a projevit. Stále se však jedná o laboratorní test, přičemž klíčovou zkouškou je jízda po studeném startu.

Hlavním přínosem WLTP je bezesporu reálnější způsob měření a tím pádem i reálnější výsledky, ať už z pohledu spotřeby paliva, produkce škodlivin nebo výdrže baterie. Toho se dosahuje pomocí delšího jízdního cyklu, který lépe vystihuje zatížení motoru. V případě vozu třetí třídy je doba o polovinu delší, než tomu bylo při NEDC. Druhým důležitým bodem, který přinesl přesnější výsledky, je tvar křivky jízdního cyklu. Ta je mnohem dynamičtější, obsahuje více akcelerací. Kromě toho jsou dosažené zrychlení, stejně jako rychlosti, mnohem vyšší. Tyto změny korespondují s využitím automobilu v dnešním provozu. Dostalo se i na zohlednění doplňkové výbavy, která může výrazně ovlivnit zatížení vozu a jeho aerodynamiku. Za zmínku stojí, že aktuálně zařazený rychlostní stupeň závisí na daném vozidle a není předepsán v pevných intervalech. V neposlední řadě dostaly větší prostor hybridní a elektrické automobily. Když se k tomu přidá, že se měří ve větším rozsahu teplot, je vidět, že změna metodiky přinesla důkladnější a přesnější způsob vyhodnocení produkce emisních složek. [36][46]

Přestože přinesla nová metodika celou řadu vylepšení, stále nedokáže zahrnout všechny problematické situace. Jedná se především o situaci, kdy dojde k regeneraci filtru částic. Při regeneraci se významně zvýší spotřeba paliva, včetně produkce znečišťujících látek. Za připomínku stojí i absence jízdy do kopce či z kopce. Dalším velkým otazníkem je již zmíněné měření hybridních vozidel, která mohou jet delší dobu převážně na spalovací pohon. [46]

Jako poslední kontroverzi bych zmínil samotný přechod z původní metodiky na tu současnou. Všechna osobní vozidla musí od září 2018 splnit WLTP test, který obecně naměří vyšší spotřebu paliva a vyšší produkci CO₂. Evropská unie má ovšem definované flotilové emisní limity do roku 2020 z dob platnosti NEDC metodiky. Proto bylo nutné vozidla do roku 2020, schválená podle nové metodiky, přepočítat na původní metodiku, aby zůstala zachována jednotnost měření. K tomuto přepočtu byl vytvořen nástroj CO₂MPAS. Jedná se o volně přístupný software. Místo přepočtu je možné provést zvlášť měření podle původního jízdního cyklu. Skupina Emissions Analytics zjistila, že přepočet hodnot k určení flotilové spotřeby podle CO₂MPAS a podle zjetí NEDC cyklu není, zvlášť u benzínových automobilů, shodný a stále neodpovídá skutečné produkci CO₂. Není tím jisté, že je určování flotilové produkce oxidu uhličitého smysluplné a stojí na pravdivých informacích. [47][48]

Na závěr bych dodal, že nezastavitelným problémem se zdá stoupající složitost předpisů a nařízeních. První směrnice omezující produkci škodlivých plynů byla v rozsahu 20 stran. V roce 2005 se emisní normy skládali ze 180 stran. NEDC měla konečný rozsah 280. WLTP se skládá dohromady ze 1530 stran (část patří RDE). Výrobci automobilů mají problém nejen se splněním předpisů, ale velkou prací jim dá již samotné správné vyložení nových požadavků. [42]

4 RDE

4.1 DŮVOD ZAVEDENÍ

Ačkoli metodika WLTP přiblížila laboratorní měření skutečnosti, až díky měření v reálném provozu RDE (Real Driving Emission) se propojí laboratorní testy se skutečnou jízdou automobilem. RDE doplňuje WLTP v homologačním procesu schválení vozidla. Dá se říct, že se jedná o přelomový krok v přístupu homologačního měření emisních složek. Jedná se o kontrolu kontroly množství emisních složek. V minulosti se mnohokrát prokázalo, že některé automobily výrazně převyšují emisní limity při běžném používání v provozu. Od září 2018 musí všechny prodané automobily splnit vedle celosvětově harmonizované zkoušky i ověření v reálném provozu RDE, které je součástí tzv. normy Euro 6-AD. [11]

Měření v reálném provozu je ze své podstaty tím nejpřesnějším způsobem určení množství vypouštěných škodlivin. Zároveň s tím se jedná i o nejnáročnější typ homologační zkoušky. Z toho důvodu si u výrobců automobilů tento typ zkoušky vyžádal mnohem větší pozornost, než samotný cyklus WLTC. Na výsledky měření má velký vliv souhra mnoha nových faktorů, jako jsou jízdní podmínky, zvolené trasy, jízdní styl řidiče nebo i stav okolního prostředí. Mnoho proměnných podmínek měření se projevuje také na výsledcích testů, které se od sebe navzájem liší. Opakované měření s totožnými výsledky je z tohoto důvodu téměř nemožné, což značně ztěžuje vlastní zkoušku z pohledu výrobce vozidla, kdy ji může hůře predikovat. [49]

4.2 PRŮBĚH TESTU

Jak již bylo zmíněno, měření probíhá přímo při jízdě v běžném provozu. Oproti laboratorním testům se ale kontrolují pouze emise NO_x a počet pevných částic. Ostatní složky nejsou do měření v reálném provozu zahrnuty. Měření provádí certifikované společnosti poskytující technické služby. V České republice je to například TÜV SÜD Czech. Před samotnou jízdou se k výfukovému potrubí vozidla připevní přenosný analytický systém PEMS (systém je popsán v kapitole 4.3), který zaznamenává množství škodlivin. Následně se provede kalibrace systému PEMS pomocí tzv. kalibračních plynů. Další částí je validace zařízení. Validací jízda se provádí na válcové zkušební. Zjišťuje se tím správnost funkce a přesnost měření systému. Tyto údaje se srovnávají s výsledky z WLTP měření. Poslední částí před jízdou je stabilizace. Ke stabilizaci se zpravidla využívá kondiční prostor laboratoře. Vozidlo musí být před jízdou aspoň 8 hodin v klidu s vypnutým motorem při teplotě kolem 23 °C.

Ještě než začne jízda RDE znovu se provede kontrola upevnění a funkce všech systémů. Jízdní zkouška se skládá ze tří částí. Jede se po předem zvolené trase, kdy je možné používat navigaci. První částí jízdy je jízda v městském provozu. Tato městská část musí být dlouhá nejméně 16 km a musí tvořit 29-44 % z celkové trasy, přičemž z pravidla se jedná o jednu třetinu. Nejvyšší přípustná rychlost vozidla v této části je 60 km/h. Druhou částí jízdy je jízda mimo město v rychlostním intervalu 60-90 km/h. Minimální délka této prostřední části je opět 16 km, přičemž se jedná o 29-43 % celkové vzdálenosti. Závěrečnou částí jízdy je jízda po dálnici při rychlosti vyšší než 90 km/h, ovšem maximálně 160 km/h. Opět se jedná alespoň o 16 km úsek, který musí tvořit 23-44 % celkové jízdní vzdálenosti. Na závěr měření se musí vozidlo co nejrychleji dostat zpět k emisní laboratoři, čímž dojde k ukončení měření. Zpracování dat a vyhodnocení zkoušky lze pomocí automatizovaného postupu provést rychle, ale v případě korekcí a přepočtů měření se může stát, že se na výsledky čeká hodiny.

Je nutné podotknout, že jízdni trasa není volena náhodně. Jezdí se pro předem vytipovaných a o prozkoušených místech a poměrech, které nejlépe vyhovují danému modelu. Zároveň je snaha předejít místům, kde je obecně zhoršená smogová či dopravní situace. Zkrátka se dělá ze strany výrobce automobilu vše pro úspěšné zvládnutí testovací jízdy v mezích předpisů.

Aby jízda odpovídala skutečným podmínkám, musí být dodržena celá řada podmínek, jako je například požadavek na řidiče, kterým musí být laik a nesmí mít informace o parametrech měření. Řidič může při jízdě používat klimatizaci, rádio či vyhřívání sedadla, čímž se zvyšuje spotřeba. V laboratorním testu se využití těchto přístrojů neděje. Další podmínkou je vnější teplota, která nesmí být vyšší než 30 °C, ale nesmí být ani minusové teploty. Jízda se nesmí provádět v noci. Maximální doba jízdy na volnoběh je stanovena na 3 minuty. Zakázáno je i měření ve vyšších nadmořských výškách než 700 metrů. Palivo může být libovolné z běžně dostupných, ale lze využít i certifikovaného paliva používaného při laboratorních zkouškách. Při jízdě na dálnici se musí aspoň 5 minut jet rychleji než 100 km/h a řidič se musí držet všech místních i obecných podmínek a omezení provozu. Nedodržení jakékoli z předepsaných podmínek znamená neplatné celé měření. Každý modelový typ vozidla (při dané karoserii, motoru, převodovce a pohonu) musí podstoupit 3 platná měření RDE. [11][50][51]



Obrázek 12 Měření ve skutečném provozu [25]

4.3 PEMS

4.3.1 TECHNICKÁ STRÁNKA

PEMS (Portable Emission Measurement System) představuje přenosný analyzátor výfukových plynů. K vozidlu se připevňuje na tažné zařízení. V případě, že jím není vozidlo vybaveno, se musí uložit do zavazadlového prostoru. Hlavní částí systému je analyzátor výfukových plynů. Ten se skládá z průtokoměru výfukových plynů. Měří se i teplota výfukových plynů. Na střechu vozidla se připevní GPS snímač polohy a senzory atmosférického tlaku, teploty okolí a relativní vlhkosti. Do zavazadlového prostoru se uloží

počítač pro sběr a uložení naměřených dat. Celý PEMS váží přibližně 45 kg. K jeho napájení se využívá samostatná baterie. Nesmí být využito elektrické sítě vozidla, aby nedošlo ke zkreslení výsledků zkoušky. K co nejtěsnějšímu připevnění měřicího systému k výfukovému potrubí se využívá svařenců nerezových trubek. V místech záhybů a přechodů potrubí se používají silikonové hadice. [11][51]

4.3.2 VYUŽITÍ

Důvodem zavedení měření ve skutečném provozu pomocí přenosného zařízení byla snaha vyhnout se případu odlišného chování motoru vozidla při laboratorní zkoušce a při běžné jízdě (viz kauza Dieselgate). Přestože jsou dnešní válcové zkušebny natolik moderní, že dokážou simulovat libovolné jízdni podmínky a tím provést RDE měření jen na válcové zkušebně, Evropská unie se rozhodla z více či méně politických důvodů pro viditelnější změnu.

V současnosti se PEMS využívá k měření oxidů dusíku a počtu pevných částic. Zvláště měření dusíkatých oxidů a jejich regulace je velmi náročná. Jakkoli je PEMS sofistikovaným přístrojem, z důvodu mnoha proměnných vlivů jízdy nedokáže naměřit vždy stejné údaje. Zároveň musí výsledky měření korespondovat s laboratorním WLTP. Míru shody laboratorního měření s měřením při běžném provozu udává faktor konformity. [52]

4.4 FAKTOR KONFORMITY (CF)

4.4.1 VÝZNAM

Faktor konformity, někdy nazývaný faktorem shody, představuje nepřekročitelnou mez rozdílu mezi laboratorním WLTP testováním a měřením RDE. Jedná se o násobek, o který nesmí být hodnoty z RDE měření vyšší oproti WLTP. Velikost CF je dána chybou měření PEMS a vlivem proměnných individuálních jevů skutečné jízdy, jako jsou jízdni styl řidiče nebo hustota dopravy. [48]

4.4.2 STUPNĚ CF

V minulosti se mnohokrát ukázalo, že vozidla ve skutečném provozu produkují mnohonásobně víc škodlivých látek. Faktor konformity představuje tvrdé srovnání dvou měření. Zásadní je proto určení jeho velikost. Nejdříve byl nastaven tzv. dočasný CF o velikosti 2,1 pro NO_x . Stalo se tak při normě Euro 6d-TEMP. Relativní velikostí tohoto čísla byl dán prostor vývojářům vozidel přizpůsobit se novým pravidlům a vyhnout se tak situaci, kdy by nebyli schopni homologovat své motory. Pro PN byla stanovena hodnota 1,5. Hodnota představuje naprostou shodu měření ($\text{CF} = 1$) a 5 desetin reprezentuje chybu měření PEMS.

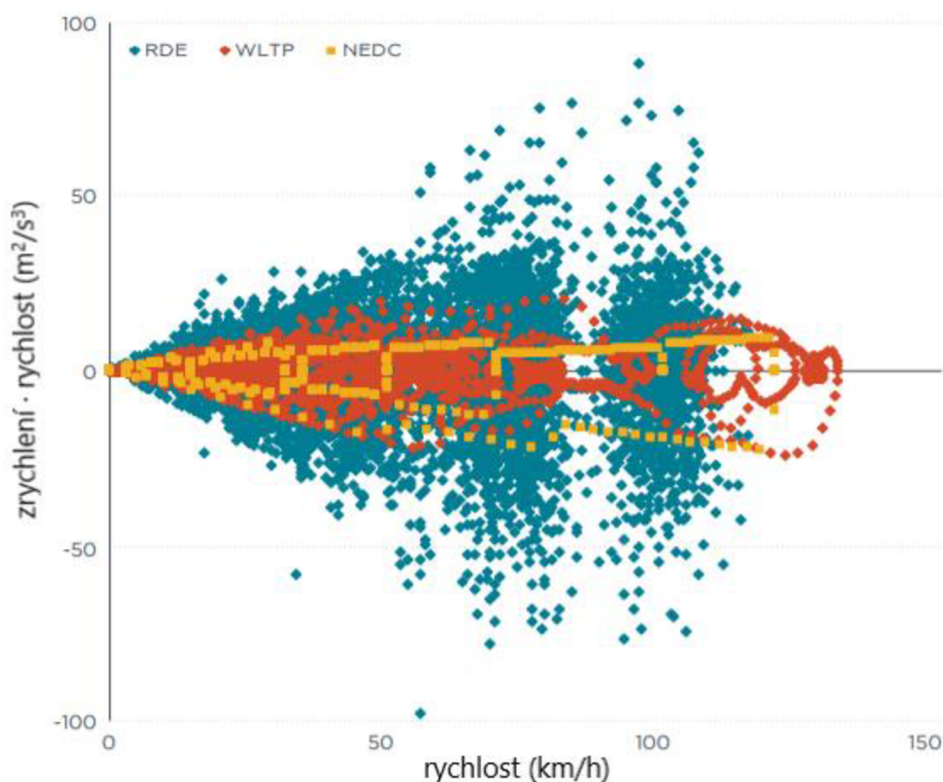
V druhém stupni došlo normou Euro 6d ke stanovení CF pro oxidy dusíku na hodnotu 1,43. To odpovídá naprosté shodě v měření s přihlédnutím na nepřesnost zařízení. Více než rok tedy trvala doba, kdy CF dovoloval mírné překročení limitních hodnot. Začátkem roku 2021 musí všechna nově registrovaná vozidla splnit přísnější stupeň RDE. Pro PN je hodnota nezměněná a zůstává na úrovni 1,5. [6]

Tabulka 1 Vývoj faktoru konformity [6]

Faktor konformity	První stupeň	Druhý stupeň
Datum uvedení (všechna vozidla)	1.9.2019	1.1.2021
NO _x	2,1	1,43
PN	1,5	1,5

4.5 POROVNÁNÍ ZÁTĚŽE MOTORU NAPŘÍČ JÍZDNÍMI CYKLY

Situací, do kterých se může automobil při jízdě dostat, je velké množství. Každá ze tří testovacích metodik se snažila zaštitit typickou jízdu vozidlem. Metodika jízdy ve skutečném provozu RDE se skládá ze tří dílčích úseků. Jedná se o městskou, mimoměstskou a dálniční část. Nicméně jinak často bude jezdit městem, respektive dálnicí menší, lehčí vozidlo s nižším výkonem oproti výkonnějšímu vozidlu. Metodika RDE vykazuje vyšší náročnost oproti NEDC a WLTP cyklům.

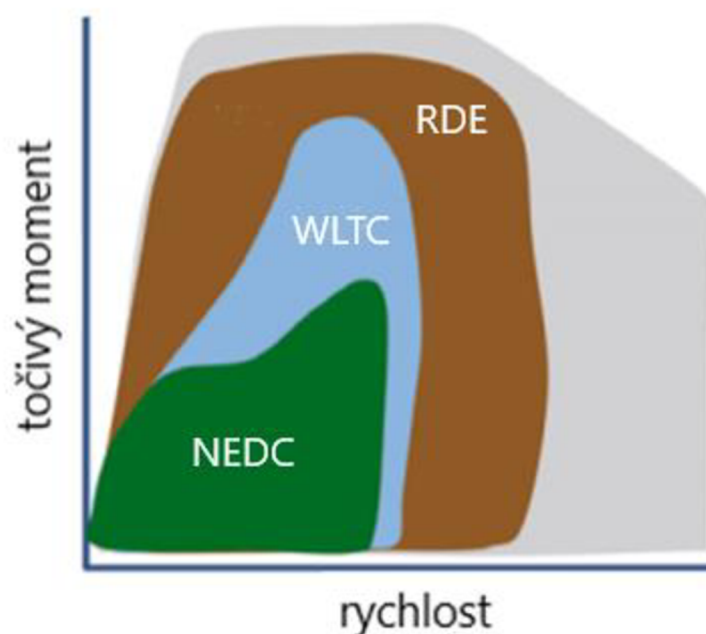


Obrázek 13 Okamžitá rychlost a rychlost vynásobená zrychlením pro NEDC, WLTP a RDE, přeloženo z anglického originálu [53]

Na obrázku 13 je vidět srovnání jízdních bodů všech tří metodik. NEDC vykazuje mírnou náročnost při poměrně ustáleném provozu. Na svislé ose je vidět, že se nejedná o nikterak vysoké akcelerace ani decelerace při dané rychlosti. Jízda podle metodiky WLTP vykazuje jen mírné rozšíření oblasti rozložení jízdních bodů. Výrazně se zvětšil počet naměřených bodů, což odpovídá rozdílu v dynamice jízdních cyklů (viz. obrázky 8 a 11). Násobně víc

provozních bodů, oproti předešlé metodice, nastane při RDE testu. Nejedná se o vysoké rychlosti jízdy, ale především o vyšší hodnoty zrychlení či zpomalení. Je jasně vidět, že RDE mnohem lépe vystihuje jízdu podle skutečnosti. [53]

Obrázek 14 představuje oblasti motoru, do kterých se může během dané jízdy dostat motor dostat. Šedá zóna představuje hraniční provozní oblast. Je patrné, že přechod na WLTP znamenal zvětšení dynamiky jízdního cyklu, což představuje vyšší naměřené točivé momenty. Na druhou stranu jízdní cyklus WLTC pokrývá přibližně polovinu zatížení, která nastanou při jízdě RDE. Nesmí se opomenout platnost CF, který musí být dodržen, i když na mapě zatížení motoru je vidět značný rozdíl provozu motoru mezi metodikami. Jedním z důvodů úpadu downsizingu je i zmenšující se rozdíl jízdy při homologačním testu a při reálné jízdě jak je schematicky znázorněno. [54]



Obrázek 14 Mapa zatížení motoru, přeloženo z anglického originálu [54]

4.6 DOPAD RDE

4.6.1 OBECNÝ POHLED

Jízda ve skutečném provozu svou náročností obsahuje mnoho nových situací, na které musí být vozidlo navrženo, aby obstálo v homologačních zkouškách. Jedná se především o motor a jeho doplňující technologie upravující emise před a po spalování. Motor musí být optimalizován na širokou škálu zatížení. To si vyžaduje další vývoj technologií k úpravě množství vypouštěných škodlivin, což opět zvedá výslednou cenu vozidla.

Většina vozidel se při svém nejčastějším použití nedostane na nejnáročnější podmínky, kterých je při testu dosaženo. Z toho důvodu jsou hodnoty emisních složek při běžné jízdě výrazně nižší, než limitní hodnoty. [55]

4.6.2 VZNĚTOVÉ MOTORY

Pro vznětové motory znamená testování v běžném provozu problém z hlediska množství produkce NO_x . Při vyšším provozním zatížení motoru nebude snížení produkce oxidů dusíku tak výhodné, protože vzroste produkce PM i spotřeba paliva. Vhodnou možností jsou systémy následného zpracování výfukových plynů jako SCR, DPF nebo DOC (Diesel Oxidation Catalysts). Zejména SCR se zdá být nezbytnou pro všechna vznětová vozidla. Naopak LNT systém není při běžném provozu tak vhodný, oproti použití při WLTP měření. [55]

4.6.3 ZÁŽEHOVÉ MOTORY

V dnešní době jsou zážehové motory přizpůsobeny k použití spolu s GPF. Vedle toho je třeba věnovat pozornost produkci CO_2 , NO_x a počtu pevných částic při vysokých otáčkách motoru a nízké teplotě okolí. Benzinové motory musí být navrhovány na náročnější podmínky. Z toho důvodu je trend downsizingu a použití více turbodmychadel na ústupu, protože se v náročné RDE jízdě neprojeví jejich výhody. [55]

4.7 NEDOSTATKY RDE

4.7.1 OBECNÝ POHLED

Že je velký rozdíl mezi naměřeným množstvím emisí a skutečnou produkcí při jízdě, se vědělo již mnoho let. Kauza Dieseldgate výrazně připomněla rozdíl emisí NO_x . Nejprve přišla na řadu změna používané metodiky. Následně došlo k přijetí nového způsobu měření emisí. Měřit množství vypouštěných látek přímo při jízdě působí jako ta nejlepší možnost. Způsob měření ve skutečném provozu v dnešní podobě přinesl mnohé výhody, o kterých je psáno výše v této kapitole, ale i některé komplikace a nové problémy. Níže uvádím výběr aspektů, které považuji za důležité, a které si s sebou RDE ve svůj neprospěch přineslo.

4.7.2 OPAKOVATELNOST A NÁKLADY

Laboratorní testy na válcovém dynamometru měly vlastnost, kterou se RDE chlubit nemůže. Byly téměř dokonale opakovatelné. A to za stejných podmínek, takže i výsledky byly shodné po několika měřeních. Měření ve skutečném provozu používá přenosná analytická zařízení, která jsou vždy před jízdou důkladně zkalibrována. Přesnost zařízení může podřývat faktor konformity. Jeho odchylku od hodnoty 1 ale nejde brát pouze jako nepřesnost měřícího zařízení. Do hodnoty 1,43, resp. 1,5 se musí zahrnout i vliv proměnných podmínek. Těch je oproti laboratorní jízdě hned několik. Není výjimkou, když mají naměřené hodnoty při RDE měření rozptyl 30 %, avšak všechny pokusy musí být v toleranci CF.

Aby tomu tak opravdu bylo, musí výrobci automobilů vynaložit mnohem vyšší náklady na vývoj a výrobu technologií, které sníží množství emisí. Zprvce se jedná o úpravu pohonné jednotky. Snahou je, aby motor spalováním vytvořil co nejméně škodlivin. Za druhé se jedná o úpravu již vzniklých škodlivých látek, ať už jejich chemickou přeměnou na jiné složky, nebo zachycením do filtrů či absorberů. Mnohem náročnější podmínky měření RDE si vyžadují značné vylepšení účinnosti těchto systémů. [42]

4.7.3 ČASOVÁ NÁROČNOST

Velikým problémem se ukázala být časová náročnost celého homologačního procesu. RDE pokračuje v neblahém trendu WLTP. Jedná se o několikanásobně složitější proces, který si vyžaduje delší čas celkového zpracování a splnění. Složitý přechod mezi jednotlivými fázemi, verzemi norem a metodik, které zrovna v tu dobu platí, způsobil pokles výroby nových modelů. Automobilový výrobci nedokázali stihnout upravit všechny své modely a proto museli jeden upřednostnit před druhým. Laboratorní zkušebny mají omezenou kapacitu. Na řadu se dostane automobil v řádu měsíců.

Třebaže jsou legislativní požadavky a normy určující mantinely produkce škodlivin směrodatné pouze pro automobilové společnosti a je čistě jejich záležitostí vyhovět jim a splnit je, v konečném součtu vývojářům automobilu přibude práce a zákazníkovi vzroste cena vozu, a to ne vždy ve smyslu lepších jízdních vlastností. [42][56]

4.7.4 MNOŽSTVÍ EMISÍ V ZÁVISLOSTI NA ROČNÍM OBDOBÍ

V dobách platnosti NEDC nehrálo roční období nebo přímo venkovní teplota žádnou roli. Laboratorní zkušebna byla vždy vytemperována na požadovanou teplotu nehladě na venkovní teploměr. Dnes tomu tak zdaleka není. Ani v České republice nejde kvůli vysokým letním teplotám provádět testování po celý rok. S ohledem na kontinuitu trhu se jedná o komplikaci. [42]

Vliv ročního období potvrzují i vědci z jihokorejského Soulu. Ti provedli na tamějších silnicích měření úrovně NO_x pomocí dvou vznětových vozidel splňujících Euro 6b normu. Vozidlo vybavené LNT testovali v létě, na podzim a zimě. Druhé vozidlo vybavené SCR katalyzátorem podstoupilo měření na jaře a v zimě. Podmínky na jaře považovali za stejné jako na podzim.

Ukázalo se, že je až 6 násobně vyšší množství NO_x při městské fázi jízdy v letním období oproti zbylým dvěma částem jízdy. Vyvodili závěr, že je to způsobeno zvýšenou teplotou motorového prostoru vlivem častých zastávek a pomalé jízdy. Nasávaný horký vzduch zapříčinil vhodné podmínky pro vznik oxidů dusíku. Co se týče LNT, jeho účinnost nezávisí tolik na ročním období, ale spíše na fázi jízdy. Při jízdě městem nedochází tak často k regeneraci, a proto je jeho využití výhodnější ve městě oproti dálnici. V případě SCR je jeho účinnost v zimě výrazně nižší a tím se zvyšuje produkce dusíkatých oxidů a spotřeba AdBlue. Je tedy patrné, že je potřeba věnovat zvýšenou pozornost vlivu teploty okolního prostředí při návrhu správné funkce systémů zpracování výfukových plynů, zejména NO_x . [49]

4.7.5 PROJEVÍ SE ZMĚNA NA ČISTOTĚ OVZDUŠÍ?

Poslední léta se několikrát upravovaly podmínky a požadavky na produkci a limity emisních složek. Důvodem je snaha Evropské unie snížit produkci oxidu uhličitého, a v ideálním případě dosáhnout klimatické neutrality. To je běh na dlouhou trať a nemůžeme očekávat, pokud každé 4 roky vyjde v platnost nová přísnější norma, že se změny hned projeví na kvalitě okolního vzduchu. Zvláště pokud neustále roste průměrné stáří osobních vozidel (viz. graf 1). To ukazuje na fakt, kdy klesá podíl nových „čistších“ automobilů, na úkor těch

starších, které splňují benevolentnější emisní limity a celý proces přeměny ovzduší se zpomaluje.

Velmi zajímavě promluvila koronavirová krize, a s ní způsobené omezení průmyslu, do podílu automobilového průmyslu na produkci celkových emisí. Jedná se o unikátní situaci, která, jak se ukazuje, nahrává ve prospěch automobilového průmyslu a vede odpovědné politiky k zamyšlení. Došlo k razantnímu omezení množství dopravy, a tím pádem se vyskytlo důvodné podezření, že také poklesnou hodnoty CO₂, NO_x a PM v ovzduší. Nic takového se ovšem neprokázalo.

K takovému závěru se dospělo pomocí údajů z měřících stanic. Jejich hodnoty jsou ovlivněny polohou umístění stanice. Dalšími faktory jsou teplota vzduchu a rychlost větru. Některé měřící stanice v Německu ukázaly od poloviny března 2020 mírný pokles, jiné zaznamenaly růst hodnot a na některé nemělo omezení dopravy vliv. To poukazuje na to, že emise z dopravy nehrají zásadní roli v kvalitě ovzduší. Že některé měřící stanice naměřily vyšší či nižší hodnoty, přestože se čekal celkový pokles, značí množství variabilních faktorů jako právě počasí, provoz okolních továren, denní doba nebo roční období.

Je otázkou, zda je to dostatečný argument, pokud takový vůbec může pro EU existovat, aby přehodnotila svůj postoj k výraznému snižování emisí v dopravě, na úkor jiných průmyslových odvětví. Jak se ukázalo, v automobilovém průmyslu již není kde ubírat emisní složky tak, aby se to aspoň částečně projevilo v globálním měřítku. [57][58]

ZÁVĚR

Tato práce se zaměřuje na problematiku hodnocení produkce škodlivin osobních vozidel. Oblast produkce škodlivin nehrála v dobách prvních automobilů žádnou roli. Změna započala v 70. letech minulého století, kdy došlo k prvním emisním regulacím. Postupem času ovšem množství emisních složek, které automobily vypouští, nabývá důležitějších rozměrů a v dnešní době se jedná o jeden ze základních parametrů, které definují dané vozidlo.

Situace je z jednoho pohledu celosvětově podobná. Všechny státy světa se snaží co nejvíce redukovat množství škodlivin. Mezi nimi nechvalně vynikají zejména dusíkaté oxidy pro jejich dopad na lidské zdraví. Každý stát k problému přistupuje svým způsobem, ale z celkového pohledu se dá říct, že dochází k přísnějším emisním testům a především k co nejpodobnějšímu způsobu měření. Evropa patří mezi místa, kde se produkci škodlivin z osobních vozidel věnuje nejvyšší pozornost.

Za tímto účelem byla před několika lety uvedena v platnost nová metodika měření WLTP, která s sebou přinesla zásadní novinku, a to sice měření emisí přímo při „běžné“ jízdě RDE. Na první pohled to působí jako dokonalé řešení. Co by mělo přinést lepší hodnoty, než jejich měření přímo za jízdy v provozu.

Z mého pohledu se jedná o utopii. Tradiční laboratorní test byl jasně předepsán a nevstupovaly do něj žádné proměnné podmínky, jako při měření ve skutečném provozu, kterých je nesčetně. Ze všech bych vybral jízdní styl řidiče. Pokud se bude stále více důležitosti přikládat měření ve skutečném provozu (oproti laboratornímu testu na dynamometru) dojdeme do stavu, kdy budou obrovské odchylky v naměřených hodnotách. Měření přestane vypovídat o automobilu jako takovém a spíše se zjistí, jak moc byl řidič šetrný k planetě a které z okolností ho za jízdy potkaly. Je pravdou, že se při laboratorním měření často nenaměří hodnoty emisí, které následně automobil za jízdy produkuje, ale když nic jiného, minimálně to slouží jako přesné porovnání mezi jednotlivými typy vozidel. Faktem je, že z daleka ne vždy je automobil používán na ten způsob přepravy, na jaký je navržen. Tím mám na mysli vozidlo do městského provozu, do horských prostředí nebo například na delší trasy po dálnici. Pokud bude vystaveno jinému typu přepravy, výrazně to ovlivní jeho množství CO₂ nehledě na to, co bylo naměřeno při homologačním testu.

Oxid uhličitý je totiž ze všech látek výfukových plynů ten nejdůležitější. Jeho množství přímo souvisí s udávanou spotřebou, což je údaj, který zajímá každého zákazníka na prvním místě. K tomu je také součástí tzv. celkové flotilové emise CO₂. Pokud je toto množství víc než 95 gramů na kilometr jízdy vozidla, platí se za každý další gram pokuta. V důsledku se jedná o zdražení prodejní ceny vozidla, a to i řádu několika desítek tisíc korun. Tím vzniká výrobcům vozidel pádný důvod vyrábět vozidla na elektřinu nebo zemní plyn, protože tyto automobily sníží celkové množství CO₂ připadající na automobilku.

Vývoj vozidel jde neustále dopředu. Systémů podporujících nižší produkci škodlivin přibývá. V některých případech se tím omezí kladné vlastnosti automobilu. Tudíž vzniká paradoxní situace, kdy je starší ojeté vozidlo dražší, oproti vozidlu stejného typu, vybaveného systémy, které snižují emise. Je obtížné tvrdit, co se stane v budoucnu, ale je jasné, že se vnímání automobilu doslova mění před očima a najednou se jedná o spotřebič, téměř jako každý jiný. Mnohé nasvědčuje tomu, že obnova vozového parku bude pomalejší, starších automobilů bude přibývat a celková snaha o ekologičtější provoz nedosáhne toho, co si předslala.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] *Normované měření spotřeby dnes a zítra: Ztratí start/stop smysl?* In: *autorevue.cz* [online]. [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/normovane-mereni-spotreby-dnes-azitra-ztrati-start/stop-smysl>
- [2] *Automobilový průmysl: Trendy budoucnosti.* In: *edotace.cz* [online]. [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <http://www.edotace.cz/clanky/automobilovy-prumysl-trendy-budoucnosti>
- [3] *Počet aut v Česku do konce září stoupl o 112 000. Jejich průměrné stáří pak vzrostlo na víc než 15 let.* In: *irozhlas.cz* [online]. [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: https://www.irozhlas.cz/zivotni-styl/auto/koronavirus-auta-skoda-dacia_2011231241_pj
- [4] *Emise CO₂ z aut: fakta a čísla (infografika).* In: *europarl.europa.eu* [online]. [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20190313STO31218/emise-co2-z-aut-fakta-a-cisla-infografika>
- [5] *Emise spalovacích motorů.* In: *slideplayer.cz* [online]. [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/1915312/>
- [6] *Worldwide Emission Standards and Related Regulations.* In: *continental-automotive.com* [online]. [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: https://www.continental-automotive.com/getattachment/8f2dedad-b510-4672-a005-3156f77d1f85/EMISSIONBOOKLET_2019.pdf
- [7] *What does Euro 6 diesel mean for you and your car?* In: *rac.co.uk* [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://www.rac.co.uk/drive/advice/emissions/euro-6-diesel/>
- [8] *Kalifornie zpřísňuje emisní limity u aut Trumpovi navzdory. Spotřeba se má vejít do 6,6 litru na 100 kilometrů.* In: *zahranici.ihned.cz* [online]. [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://zahranicni.ihned.cz/c1-66614840-kalifornie-zavadi-prisne-emisni-limity-podle-medii-je-to-projev-vzdoru-proti-politice-bileho-domu>
- [9] *Japan.* In: *dieselnet.com* [online]. [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://dieselnet.com/standards/jp/index.php>
- [10] *EU: Cars and Light Trucks.* In: *dieselnet.com* [online]. [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: <https://dieselnet.com/standards/eu/ld.php>
- [11] *Automobilky se chystají na nové testy emisí, ale předpisy se stále mění.* In: *idnes.cz* [online]. [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/hrdlicka-co2-vyvoj-motor-skoda-emise.A161109_005723_automoto_fdv
- [12] *Evropské emisní normy: Jsou s námi už od roku 1970.* In: *auto.cz* [online]. [cit. 2021-03-23]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/evropske-emisni-normy-jsou-s-nami-uz-od-roku-1970-94232>
- [13] *Ekologická daň při přepisu automobilu v roce 2021.* In: *autotrip.cz* [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://autotrip.cz/ekologicka-dan-auta-tabulka/>

- [14] *AdBlue: Co se stane, když močovina dojde? A jak tuhle kapalinu správně doplnit?* In: auto.cz [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/adblue-co-se-stane-kdyz-mocovina-dojde-a-jak-tuhle-kapalinu-spravne-doplnit-104277>
- [15] Karafa, P. *Systém pro snížení NO_x* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. [cit. 2021-03-25]. 70 s. Vedoucí diplomové práce Ing. David Svída, Ph.D. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/96776>
- [16] Exhaust emissions. In: *vda.de* [online]. [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://www.vda.de/en/topics/environment-and-climate/exhaust-emissions/exhaust-emissions-legislation-in-europe.html>
- [17] *Five facts about diesel the car industry would rather not tell you.* In: *transportenvironment.org* [online]. In: *transportenvironment.org* [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: https://www.transportenvironment.org/sites/te/files/publications/2015_09_Five_facts_about_diesel_FINAL.pdf
- [18] *Přehled o WLTP, RDE a EURO 6D-TEMP.* In: *autonoviny.cz* [online]. [cit. 2021-03-26]. Dostupné z: <https://www.autonoviny.cz/clanek/34612-prehled-o-wltp-rde-a-euro-6d-temp>
- [19] *Co dělat se staršími vozy? Trh s auty může kvůli emisím čekat slevy a silný prosinec.* In: *zpravy.aktualne.cz* [online]. [cit. 2021-03-26]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/co-delat-se-starsimi-vozy-trh-s-auty-muze-kvuli-emisim-cekat/r~830473aa281311eba6f6ac1f6b220ee8/>
- [20] *Co může nová norma EURO 6D přinést nezávislým servisům?* In: *motofocus.cz* [online]. [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://motofocus.cz/legislativa/63932,co-muze-nova-norma-euro-6d-prinest-nezavislym-servisum>
- [21] *Euro 7: Nová ekonorma zlikviduje v roce 2025 auta bez elektropohonu.* In: *idnes.cz* [online]. [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/euro-7-ekonorma.A201118_212525_automoto_fdv
- [22] BIELACZYC, Piotr a Joseph WOODBURN. *Trends in Automotive Emission Legislation: Impact on LD Engine Development, Fuels, Lubricants and Test Methods: a Global View, with a Focus on WLTP and RDE Regulations* [online]. *Emiss. Control Sci. Technol.* 5, 86–98 (2019). [cit. 2021-03-29]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s40825-019-0112-3>
- [23] Hu Z, Lu Z, Song B, Quan Y. *Impact of test cycle on mass, number and particle size distribution of particulates emitted from gasoline direct injection vehicles.* [online] [cit. 2021-03-29]. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.143128.
- [24] *Aktuální problémy měření a uvádění spotřeby a emisí u osobních vozidel.* In: *epravo.cz* [online]. [cit. 2021-03-31]. Dostupné z:

- <https://www.epravo.cz/top/clanky/aktualni-problemy-mereni-a-uvadeni-spotreby-a-emisi-u-osobnich-vozidel-107754.html>
- [25] *Pohled do zákulisí: Jak se měří emise.* In: *mzone.cz* [online]. [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://www.mzone.cz/pohled-do-zakulisi-jak-se-meri-emise/>
- [26] *Předpis Evropské hospodářské komise Organizace spojených národů (EHK OSN) č. 83 – Jednotná ustanovení pro schvalování vozidel z hlediska emisí znečišťujících látek podle požadavků na motorové palivo [2015/1038].* In: *eur-lex.europa.eu* [online]. [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:42015X0703\(01\)&from=en](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:42015X0703(01)&from=en)
- [27] *WLTP a RDE: nové testy pro certifikaci spotřeby paliva, emisí CO₂ a znečišťujících látek.* In: *fiat.cz* [online]. [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://www.fiat.cz/test-wltp>
- [28] *Spotřeba.* In: *ceskatelevize.cz* [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <https://www.ceskatelevize.cz/porady/1097429889-cernevovce/220452801081111/0/74649-spotreba/>
- [29] *Záškodník jménem stop-start. Proč je dobré ho vždy vypnout?* In: *garaz.cz* [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/zaskodnik-jmenem-stop-start-proc-je-dobre-ho-vzdy-vypnout-21000019>
- [30] *Automobilový konstruktér: Downsizing? Zákazníci se děsí.* In: *tipcars.com* [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <https://www.tipcars.com/magazin/nase-tema/automobilovy-konstrukter-downsizing-zakaznici-se-desi.html>
- [31] *Dieselgate: Jak vlastně Volkswagen obešel metodiku měření emisí.* In: *autorevue.cz* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/dieselgate-jak-vlastne-volkswagen-obesel-metodiku-mereni-emisi>
- [32] *Jak se zrodila aféra „Dieselgate“? Na začátku byli studenti a jedna náhoda.* In: *automix.denik.cz* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://automix.denik.cz/magazin/studenti-kteri-odhalili-afery-dieselgate-zprvu-vubec-netusili-co-objevili-20171025.html>
- [33] *Další podvod kvůli emisím, tentokrát u šestiválcových Audi.* In: *idnes.cz* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/tdi-dieselgate-audi-volant.A161107_232434_automoto_fdv
- [34] *Prodeje dieseli v Evropě mírně klesly. Může za to Dieselgate?* In: *auto.cz* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/prodeje-dieselu-v-evrope-mirne-klesly-muze-za-to-dieselgate-95584>
- [35] *Dieselgate: Skandál VW připomněl slabinu emisních norem.* In: *autorevue.cz* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/dieselgate-skandal-vw-pripomnel-slabinu-emisnich-norem>

- [36] *Co je to metodika WLTP a proč byla zavedena? Původcem je Dieselgate.* In: *autohled.cz* [online]. [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://www.autohled.cz/magazin/co-je-to-metodika-wltp-a-proc-byla-zavedena-puvodcem-je-dieselgate/842>
- [37] *Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle (WLTC).* In: *dieselnet.com* [online]. [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php>
- [38] *Global WLTP roll-out for more realistic results in fuel consumption.* In: *vda.de*. [online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://www.vda.de/en/topics/environment-and-climate/Global-WLTP-roll-out-for-more-realistic-results-in-fuel-consumption/WLTP-How-are-plug-in-hybrids-and-electric-cars-measured.html>
- [39] *Plug-in hybridy a Potěmkinova čísla.* In: *ifleet.cz* [online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <http://www.ifleet.cz/aktuality/fleet-manazer/plug-in-hybridy-a-potemkinova-cisla.html>
- [40] *Všechno, co potřebujete vědět o částicových filtrech pro zážehové motory. Čím se liší od filtrů pro diesely?* In: *auto.cz* [online]. [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/vsechno-co-potrebujete-vedet-o-casticovych-filtrech-pro-zazehove-motory-cim-se-lisi-od-filtru-pro-diesely-124295>
- [41] *Dodávky nových vozů se zpožďují! Problémy má i Škodovka.* In: *garaz.cz* [online]. [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://www.garaz.cz/clanek/dodavky-novych-vozu-se-zpozduji-problemy-ma-i-skodovka-21000056>
- [42] *Emisní předpisy mění svět aut a ztěžují automobilkám práci. Je to chaos.* In: *idnes.cz* [online]. [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/rozhovor-martin-hrdlicka-skoda-autokonstrukter-emise-normy-co2-nox-oxid-dusiku-oxid-uhlicity.A180821_181736_automoto_fdv
- [43] *Přísné emisní normy se blíží. Kvůli WLTP skončí zavedené modely.* In: *auto.cz* [online]. [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/prisne-emisni-normy-se-blizi-kvuli-wltp-skonci-zavedene-modely-113110>
- [44] *Řeknete nám, za kolik jezdíte. Auta budou od příštího roku hlásit svou spotřebu EU.* In: *zpravy.aktualne.cz* [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://zpravy.aktualne.cz/ekonomika/auto/reknete-nam-za-kolik-jezdite-auta-budou-od-pristiho-roku-hla/r~215865aa20ce11ea9d020cc47ab5f122/>
- [45] *Auta začínají hlásit EU svou spotřebu. Novinka má potenciál na zvýšení daní tomu, kdo jezdí rychleji.* In: *autobible.euro.cz* [online]. [cit. 2021-04-18]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/auta-zacinaji-hlasit-eu-svou-spotrebu-novinka-ma-potencial-na-zvyseni-dani-tomu-kdo-jezdi-rychleji/>
- [46] *Nový homologační emisní test WLTP: Opravdu znamená konec lhání?* In: *auto.cz* [online]. [cit. 2021-04-16]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/novy-homologacni-emisni-test-wltp-opravdu-znamená-konec-lhani-110305>
- [47] *WLTP is failing almost before it has begun.* In: *enginetechnologyinternational.com* [online]. [cit. 2021-04-16]. Dostupné z:

- <https://www.enginetechnologyinternational.com/opinion/wltp-is-failing-almost-before-it-has-begun.html>
- [48] *Nové metodiky měření: WLTP a RDE Reforma s výhodou pro zákazníky.* In: *autobible.euro.cz* [online]. [cit. 2021-04-16]. Dostupné z: <https://autobible.euro.cz/nove-metodiky-mereni-wltp-rde-reforma-vyhodou-zakazniky/>
- [49] LEE Yongjoo, Seungil LEE, Seunghyun LEE, Hoimyoung Choi a Kyoungdoug Min. *Characteristics of NO_x emission of light-duty diesel vehicle with LNT and SCR system by season and RDE phase.* [online]. [cit. 2021-4-27]. ISSN 0048-9697. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146750>
- [50] *What is the real driving emissions (RDE) test?* In: *caremissionstestingfacts.eu* [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://www.caremissionstestingfacts.eu/rde-real-driving-emissions-test/>
- [51] *Měření emisí osobních vozidel* [online]. In: *tuvsud.com* [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: <https://www.tuvsud.com/cs-cz/-/media/regions/cz/pdf-files/publikace/produktove-listy/as/tuvsud-fotostory-mereni-emise-rde-a3.pdf?la=cs-cz&hash=2C7BC4699A1AF38031EB48D22F163A4B>
- [52] *Opravdu čistý? Měřili jsme emise Škody Kodiaq podle nové metodiky. V reálném provozu!* In: *auto.cz* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/opravdu-cisty-merili-jsme-emise-skody-kodiaq-podle-nove-metodiky-v-realnem-provozu-101400>
- [53] *LABORATORY AND ON-ROAD TESTING OF EXHAUST EMISSIONS OF TWO MODERN CHINA 5 LIGHT-DUTY GASOLINE VEHICLES.* In: *theicct.org* [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: https://theicct.org/sites/default/files/publications/China5_LDV_testing_White_Paper_20180713.pdf
- [54] Hadler, J., Lensch-Franzen, C., Gohl, M. a Mink, T. *Influencing Factors on Particle Formation under Real Driving Conditions* [online]. [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: [doi:10.1007/s38313-016-0001-x](https://doi.org/10.1007/s38313-016-0001-x)
- [55] *Real Driving Emissions: Implementation and Its Impact on Current Technology.* In: *ww2.frost.com* [online]. [cit. 2021-5-1]. Dostupné z: <https://ww2.frost.com/frost-perspectives/real-driving-emissions-implementation-and-its-impact-on-current-technology/>
- [56] *Editorial: Zas je o čem psát.* In: *Svetmotoru.auto.cz* [online]. [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: <https://svetmotoru.auto.cz/clanek/servis/6284/editorial-zas-je-o-cem-psat.html>
- [57] URBANSKY, Frank. *The Coronavirus, Immissions and the Combustion Engine.* [online]. [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s38311-020-0333-7>
- [58] *Koronavirus jako advokát dieselů: doprava klesla, ale emise zůstaly.* In: *idnes.cz* [online]. [cit. 2021-5-6]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/auto/zpravodajstvi/emise-stuttgart-brno-nox-no2-dusik-limity.A200417_094059_automoto_fdv

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

λ	[-]	Součinitel přebytku vzduchu
ABS	[-]	Anti-lock brake systém (Protiblokovací brzdňý systém)
CAFEE	[-]	Center for alternative fuels, engine and Emissions (Centrum pro alternativní paliva, motory a emise)
CF	[-]	Conformity factor (Faktor shody)
CNG	[-]	Kapalný zemní plyn
CO	[-]	Oxid uhelnatý
CO ₂	[-]	Oxid uhličitý
CO ₂ MPAS	[-]	Výpočetní software
DOC	[-]	Diesel oxidation catalysts
DPF	[-]	Diesel particulate filter
E100	[-]	Ethanol
E22	[-]	Směs 22 % ethanolu a 78 % benzínu
E61	[-]	Směs E22 a E100
EGR	[-]	Exhaust gas recirculation
EPA	[-]	United states environmental protection agency (Agentura pro ochranu životního prostředí Spojených států)
EU	[-]	Evropská unie
EURO	[-]	Evropská emisní norma
FTP-75	[-]	Federal test procedure (Federální zkušební procedura)
GPF	[-]	Gasoline particulate filter (Filtr pevných částic)
GPS	[-]	Globální polohovací systém
HC	[-]	Uhlovodíky
ICCT	[-]	International Council on Clean Transportation (Mezinárodní rada pro čistou dopravu)
IEES	[-]	International exhaust emission symposium (Mezinárodní sympozium emisí spalovacích motorů)
LNT	[-]	Lean NOx trap (Zachytávač dusíku)
LPG	[-]	Zkapalněný ropný plyn
M_{prov}	[-]	Provozní hmotnost
M1	[-]	Motorové vozidlo pro přepravu osob s max. 8 místy k sezení
M2	[-]	Motor. vozidlo s více než 8 místy k sezení a příp. hmot. do 5 000 kg

<i>N1</i>	[-]	Motor. vozidlo pro dopravu nákladu a přípustnou hmot. do 3 500 kg
<i>N2</i>	[-]	Motor. vozidlo pro dopravu nákladu s přípustnou hmot. do 12 000 kg
<i>N₂O</i>	[-]	Oxid dusný
<i>NEDC</i>	[-]	New European driving cycle (Nový evropský jízdní cyklus)
<i>NH₃</i>	[-]	Amoniak
<i>NO</i>	[-]	Oxid dusnatý
<i>NO₂</i>	[-]	Oxid dusičitý
<i>NO_x</i>	[-]	Oxidy dusíku
<i>OBD</i>	[-]	On-board diagnostic (systém palubní diagnostiky)
<i>OBFCM</i>	[-]	On-board fuel consumption meter (Palubní měřič spotřeby paliva)
<i>PEMS</i>	[-]	Portable Emissions measuring systém (Přenosný systém měření emisí)
<i>PHEV</i>	[-]	Plug-in hybrid electric vehicle (Hybridní elektrické vozidlo)
<i>P</i>	[-]	Výkon
<i>P_{hm}</i>	[-]	Výkon připadající na hmotnost
<i>PM</i>	[-]	Particulate matter (Pevné částice)
<i>PN</i>	[-]	Particulate number (počet pevných částic)
<i>RDE</i>	[-]	Real driving emission (Emise při skutečné jízdě)
<i>SCR</i>	[-]	Selective catalysts reduction (Selektivní katalytická redukce)
<i>SO_x</i>	[-]	Oxidy síry
<i>SUV</i>	[-]	Sport utility vehicle (sportovně užitkové vozidlo)
<i>UF</i>	[-]	Utility factor (faktor užitečnosti)
<i>VW</i>	[-]	Volkswagen
<i>WHO</i>	[-]	World health organization (Světová zdravotnická organizace)
<i>WLTC</i>	[-]	Worldwide harmonized light-duty vehicles test cycle (Celosvětově harmonizovaný jízdní cyklus osobních vozidel)
<i>WLTP</i>	[-]	Worldwide harmonized light-duty vehicles test procedure (Celosvětově harmonizovaná testovací procedura osobních vozidel)
<i>ZTP</i>	[-]	Zdravotně tělesně postižení
<i>ZTP-P</i>	[-]	Zdravotně tělesně postižení – průvodce