

Česká zemědělská univerzita v Praze  
Technická fakulta

**Porovnání homologačních jízdních cyklů  
používaných v ČR z pohledu produkce  
emisí**

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Jakub Mařík, Ph.D.

Autor práce: Bc. Miroslav Krupička

PRAHA 2018

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Miroslav Krupička

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

**Porovnání homologačních jízdních cyklů používaných v ČR z pohledu produkce emisí**

Název anglicky

**Comparison of homologation driving cycles used in the Czech Republic in terms of emissions**

---

### Cíle práce

Cílem práce je porovnání homologačního cyklu NEDC a WLTP z pohledu produkce emisí a dalších provozních parametrů

### Metodika

1. prostudovat základní literaturu v oblasti produkce emisí a jízdních cyklů
2. praktická analýza jízdních cyklů na konkrétním vozidle z pohledu produkce emisí a dalších provozních parametrů
3. výsledky a diskuse
4. závěr

**Doporučený rozsah práce**

50-60 stran

**Klíčová slova**

jízdní cyklus, emise, NEDC, WLTP

---

**Doporučené zdroje informací**

- EASTWOOD, Peter. Particulate emissions from vehicles. [Online-Ausg.]. Chichester, England: John Wiley, 2008. ISBN 9780470986509
- FAJMAN, M. – ŠMERDA, T. – ČUPERA, J. *Vznětové motory vozidel : biopaliva, emise, traktory*. Brno: CPress, 2013. ISBN 978-80-264-0160-5.
- HROMÁDKO, J. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. TECHNICKÁ FAKULTA. KATEDRA VOZIDEL A POZEMNÍ DOPRAVY. *Posuzování jakosti motorových vozidel z hlediska jejich provozní spotřeby paliva a škodlivých emisí*. Disertační práce. Praha: 2007.
- HROMÁDKO, J. *Spalovací motory : komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2017/18 LS – TF

**Vedoucí práce**

Ing. Jakub Mařík, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra vozidel a pozemní dopravy

---

Elektronicky schváleno dne 17. 1. 2017

**doc. Ing. Miroslav Růžička, CSc.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 23. 1. 2017

**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan

V Praze dne 03. 04. 2018

**ABSTRAKT:** Tato práce je zaměřena na představení a porovnání jízdních cyklů používaných pro homologace v České republice. V úvodní části je popsán historický vývoj produkce emisí z několika pohledů a jejich rozdělení. Dále jsou popsány a teoreticky srovnány zkušební jízdní cykly včetně jejich postupného vývoje. V závěrečné části je provedeno a vyhodnoceno praktické porovnání procedur NEDC a WLTP na vybraném vozidle.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** jízdní cyklus, emise, NEDC, WLTP

## **Comparison of homologation driving cycles used in the Czech Republic in terms of emissions**

**ABSTRACT:** This thesis is focused on introducing and comparing of driving cycles used for homologation in the Czech Republic. The introductory section describes the historical development of emissions from several views and their distribution. The following section describes and theoretically compares the test driving cycles, including their gradual development. In the final section the practical comparison of the NEDC and WLTP procedures on the selected vehicle is performed and evaluated.

**KEY WORDS:** driving cycles, emissions, NEDC, WLTP

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Historický vývoj globální produkce emisí</b>	<b>2</b>
2.1	Historický vývoj emisí ve světě	2
2.2	Deset zemí s nejvyšším podílem emisí tvoří 78 % celkové produkce CO <sup>2</sup>	4
2.3	Globální emise oxidu uhličitého podle odvětví	5
2.4	Podíly jednotlivých druhů dopravy s ohledem na znečišťování ovzduší	6
2.5	Trend růstu silniční automobilové dopravy	7
<b>3</b>	<b>Druhy škodlivin a jejich vliv na zdraví</b>	<b>8</b>
3.1	PM	8
3.2	HC	9
3.3	CO <sub>2</sub>	9
3.4	CO	9
3.5	PAU	10
3.6	VOC (benzen)	10
3.7	NO <sub>x</sub>	10
3.8	O <sub>3</sub>	11
3.9	SO <sub>2</sub>	11
<b>4</b>	<b>Historie emisních norem</b>	<b>12</b>
4.1	USA	12
4.2	Kalifornie	13
4.3	Emisní normy v Evropě pro osobní automobily	13
4.4	Emisní normy v Evropě pro těžká nákladní vozidla a autobusy	17
4.5	Emisní normy v Evropě pro motocykly	17
4.6	Ostatní emisní normy	18
4.7	Emisní normy skleníkových plynů v Evropě pro osobní automobily	18
<b>5</b>	<b>Zkušební cykly</b>	<b>20</b>
5.1	ECE 15 + EUDC	20
5.2	NEDC	22
5.3	WLTP	24

<b>6</b>	<b><i>Teoretické porovnání NEDC a WLTP</i></b>	<b>45</b>
<b>7</b>	<b><i>Laboratorní porovnání</i></b>	<b>47</b>
7.1	Testované vozidlo, zařízení pro testování a testovací metoda	47
7.2	Aplikace pro měření jízdních cyklů	49
7.3	Příprava pracoviště	50
7.4	Měření	51
7.5	Výsledky a diskuze	52
<b>8</b>	<b><i>Závěr</i></b>	<b>54</b>
<b>9</b>	<b><i>Zdroje</i></b>	<b>55</b>
<b>10</b>	<b><i>Seznam Tabulek</i></b>	<b>59</b>
<b>11</b>	<b><i>Seznam Obrázků</i></b>	<b>60</b>
<b>12</b>	<b><i>Seznam Příloh</i></b>	<b>61</b>
<b>13</b>	<b><i>Přílohy</i></b>	<b>62</b>

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Porovnání homologačních jízdních cyklů používaných v ČR z pohledu produkce emisí vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomové práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V Praze dne 31.března 2018

.....

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Jakobovi Maříkovi, Ph.D. za vzorné vedení při vypracování práce. Dále bych chtěl poděkovat celé své rodině za podporu při studiu.



# 1 Úvod

Trendem několika posledních let je minimalizovat dopady jednotlivých odvětví na životní prostředí. Ne jinak tomu je i v automobilovém průmyslu. Technologická úroveň v tomto odvětví jde mílovými kroky kupředu. Výrobci automobilů chtějí svým zákazníkům nabídnout maximum s minimálními náklady. Proto jsou automobily vybaveny prvky zlepšující jejich vlastnosti jak z pohledu komfortu, bezpečnosti, tak i třeba designu, čímž je mnohem lepší celkový dojem z vozu. To vše za adekvátní cenu, kterou je ochoten zákazník za daný produkt zaplatit. Dalo by se tedy z tohoto pohledu říci, že čím více zákazník dostane, tím lépe, protože většinu zákazníků zajímá pouze samotná užitná hodnota vozu namísto jeho dopadu na životní prostředí. A zde částečně začíná jeden z problémů. Mnoho zákazníků příliš nezajímá, jaké vozidlo splňuje nižší hodnoty produkce emisí při provozu a tedy ani tito zákazníci si vozidlo nepořizují dle tohoto kritéria. Proto většina výrobců automobilů nemá velkou snahu u svých vozů dosahovat co nejnižších hodnot produkce emisí, snahou ale je pouze splňovat legislativní požadavky. Ona totiž tato snaha o co nejnižší emise by znamenala růst ceny vozu, neboť veškerá zařízení na snižování emisí jsou poměrně nákladná a s úrovní těchto zařízení roste i jejich cena. A jak už již bylo řečeno dříve, výrobce chce nabídnout maximum toho co ocení zákazník za minimální cenu. Toto by sice nebyl ještě takový problém a při splnění veškerých legislativních povinností mají výrobci veškeré právo takto činit, ale částečně to vykresluje smýšlení výrobců a zákazníků v této problematice.

Hlavním částí problému v této oblasti ale je, že aby výrobci ještě snížili své náklady na vyráběné vozy, využívají legislativních nedokonalostí a tím se pohybují mnohdy na hranici těchto předpisů, ne-li zcela za ní. Problém vysokých emisí automobilů byl již zjištěn u mnoha vozů a mnoha značek, ale samotným důkazem může být známá aféra Dieselgate z roku 2015, kdy vozidla v homologačním testu vykazovala výrazně nižší emise než v reálném provozu. Tato aféra se stala jedním z hlavních podnětů jeden pro legislativní změnu procedury, podle které jsou vozidla schvalována.

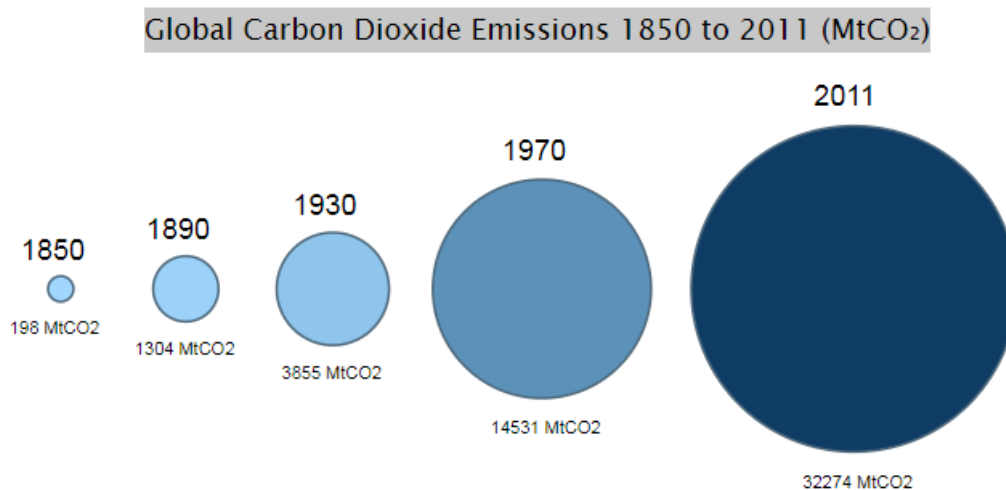
## 2 Historický vývoj globální produkce emisí

Aby si čtenář udělal jasnou představu množství exhalací vypuštěných do ovzduší a o dalších souvislostech, jsou v této kapitole postupně představeny vývoje emisí hned na několika úrovních. Takto lze získat celkový přehled od celosvětového vývoje emisí v rámci jednotlivých států až po vývoj v segmentu dopravy či dopravy osobních automobilů.

Zatímco následující srovnání emisí oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>) zdaleka nenaznačuje celý obraz znečištění životního prostředí, lze CO<sub>2</sub> označit jako dobrý parametr složení pro analýzy znečištění. Přínosy CO<sub>2</sub> z různých zdrojů lze snadno porovnat, jelikož klima ovlivněné CO<sub>2</sub> se vyskytuje nezávisle na zeměpisné šířce. Naproti tomu například emise oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>) mají různorodý vliv na životní prostředí v závislosti na nadmořské výšce původu emise.

### 2.1 Historický vývoj emisí ve světě

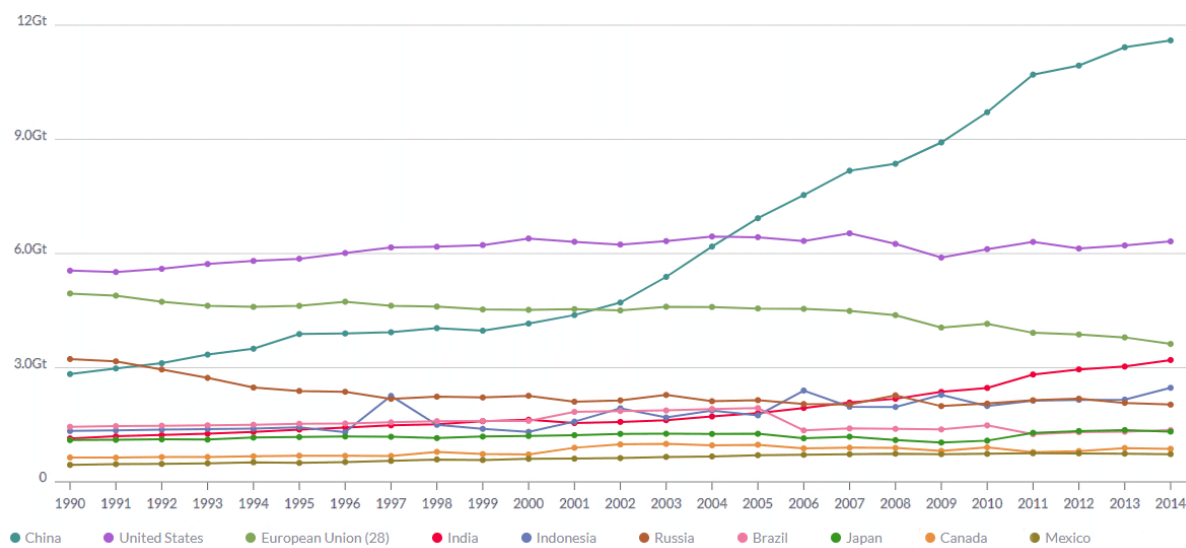
Počátkem roku 1850 byla největším emitorem CO<sub>2</sub> Velká Británie. Její vypuštěné emise do ovzduší dosahovaly téměř šestisetnásobku země s druhým největším podílem emisí – USA. Následovaly země Francie, Německo a Belgie. V roce 2011 se prvenství ujala Čína následována USA, Indií, Ruskem a Japonskem. Zajímavostí je, že ačkoliv Spojené státy v obou letech byl stát s 2. největším množstvím vypuštěného CO<sub>2</sub> do ovzduší, tak v roce 2011 byly emise 266x vyšší než v roce 1850 viz Obrázek 1.



Obrázek 1: Globální emise oxidu uhličitého od 1850 do 2011 roku v Megatunách [1]

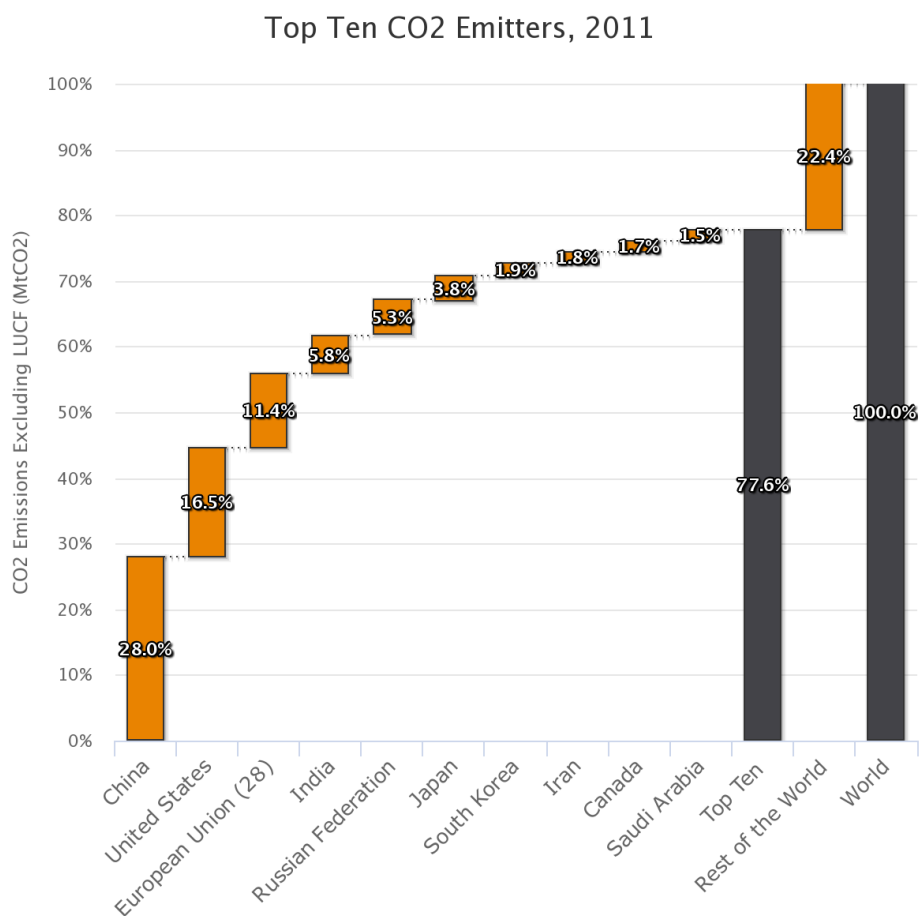
Mezi lety 1850-1960 se svět potýkal neustále s růstem emisí. Důvodem byla industrializace, růst počtu obyvatel a to především ve Spojených státech. Vývoj byl pouze ovlivněn několika historickými událostmi. Mezi ty největší patří Velká hospodářská krize ve 30. letech 20. století a konec 2. světové války v roce 1945. Od padesátých let lze pozorovat růst emisí Ruska a Číny v souvislosti s rostoucí ekonomikou obou zemí.

Po roce 1960 je zaznamenán nový vývoj. Ačkoliv Spojené státy drží světové prvenství až do roku 2005, začínají se objevovat Asijské státy včetně Číny s rapidním nárůstem. Rusko zaznamenalo výrazné snížení se vznikem Sovětského svazu. Jak je vidno, Obrázek 2 níže ukazuje, že nejvýznamnější vývoj růstu emisí byl zaznamenán u Číny v první části 21. století a v roce 2005 dokonce předstihla Spojené státy.



Obrázek 2: Vývoj produkce emisí oxidu uhličitého v rámci jednotlivých regionů [2]

## 2.2 Deset zemí s nejvyšším podílem emisí tvoří 78 % celkové produkce CO<sup>2</sup>



Obrázek 3: Deset největších producentů oxidu uhličitého [1]

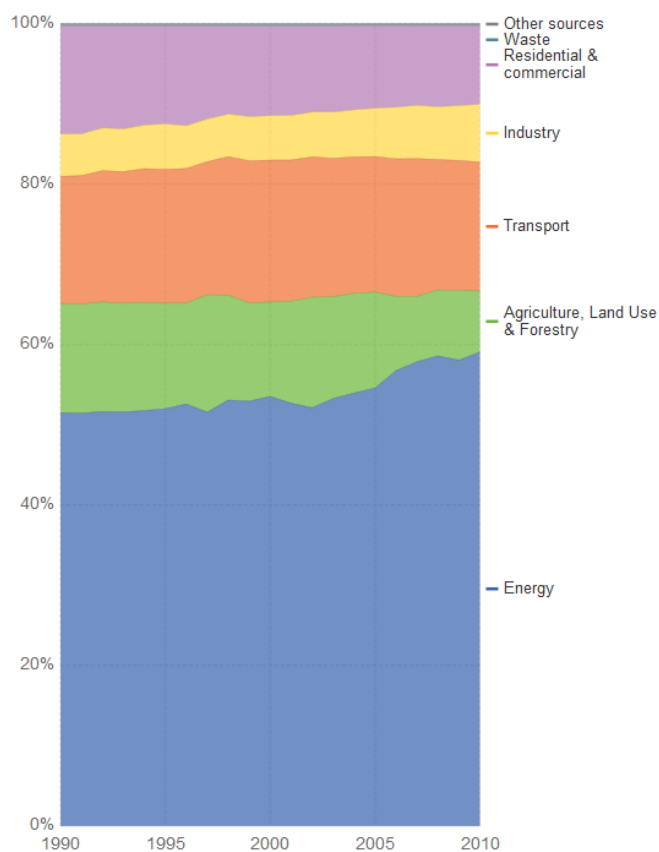
Mobilní zdroje lze označit po celém světě za velice významný zdroj při znečišťování ovzduší. Jejich význam je obzvláště převládající v městském prostředí vzhledem k velké hustotě těchto zdrojů. Určitá část škodlivin se daří především v rozvinutých státech redukovat. Jedná se o SO<sub>2</sub> a PM<sub>10</sub>. Jiné látky se tak lehce nedaří redukovat a úroveň těchto látek v ovzduší se buď nijak zásadně nemění nebo dokonce má rostoucí tendenci. Jsou to hlavně koncentrace oxidu dusíku a těkavé organické látky VOC zůstávající v místech, kde je velká automobilová hustota.

Z výsledků zkoumání Světové zdravotnické organizace lze každoročně označit znečištění ovzduší jako příčinu předčasného úmrtí 370 000 obyvatel Evropy, z toho 9 000 obyvatel České republiky. Dále z výsledků vyplývá, že při dlouhodobém vystavení vysokým koncentracím exhalací motorů s dieselovým pohonem, je výskyt rakoviny zvýšený o 40 %. Podle jiného výzkumu bylo 43 % Evropanů, převážně žijících ve městech, vystaveno v rozmezí let 1990

až 2004 nadměrnému množství prachu. Mezi nejpostiženější země se řadily: Belgie, Nizozemí, Česká republika, Maďarsko, Polsko, Itálie a Španělsko.

### 2.3 Globální emise oxidu uhličitého podle odvětví

Od roku 1990 až do 2010 se koncentrace CO<sub>2</sub> zvýšila o 8,7 %. V grafu níže lze pozorovat rozdělení zdroje skleníkových plynů dle odvětví. Modře vyznačená energetika (energetický, výrobní a stavební průmysl) zahrnuje výrobu tepla a elektřiny. Relativní podíl energetiky na produkci CO<sub>2</sub> se pohybuje okolo 59 %. Oranžově vyznačený druhý největší emitent je doprava s relativním podílem okolo 16 %. Ta zahrnuje vnitrostátní a mezinárodní leteckou dopravu, silniční dopravu, železniční dopravu, vnitrostátní plavby a ostatní druhy doprav. Dále následují rezidenční & komerční odvětví s relativním podílem okolo 10 %, kterému přísluší barva fialová, zemědělství s relativním podílem okolo 8 % vyznačeno zelenou barvou, průmysl s relativním podílem přibližně 7 % vyznačený barvou žlutou. Nejmenšími zdroji je odpad a ostatní zdroje, které v součtu nedosahují ani 0,5 %.



Obrázek 4: Rozdělení emisí oxidu uhličitého podle odvětví [4]

## 2.4 Podíly jednotlivých druhů dopravy s ohledem na znečišťování ovzduší

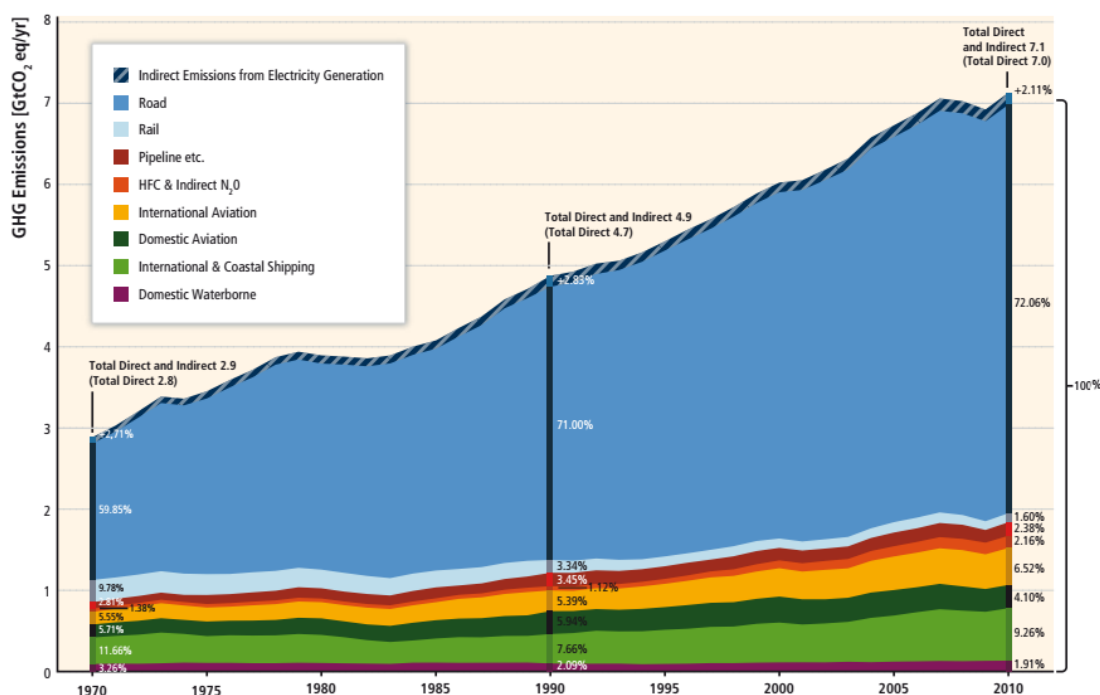
Nejvýznamnějším druhem dopravy, co do znečištění ovzduší, je považována silniční doprava. Její podíl produkce CO<sub>2</sub> se pohybuje okolo 70 % vůči ostatním druhům dopravy. V grafu níže je vyznačena modrou barvou.

Lodní doprava se rozděluje na vnitrostátní, pobřežní a mezinárodní. Tato doprava má celkový podíl produkce emisí CO<sub>2</sub> okolo 11 %.

Další druh dopravy, který má významný vliv na znečišťování dopravy je letecká doprava. Tato doprava se v poslední době stává finančně dostupnější a její podíl každoročně výrazně roste. Letecká doprava zahrnuje vnitrostátní (v grafu níže jim přísluší žlutá barva) i mimostátní lety (označeno tmavě zelenou barvou). Její podíl produkce CO<sub>2</sub> je okolo 10,5 %.

Železniční doprava je z běžných druhů dopravy pro přepravu osob s nejmenším relativním podílem 1,6 % a je vyznačena světle modrou barvou.

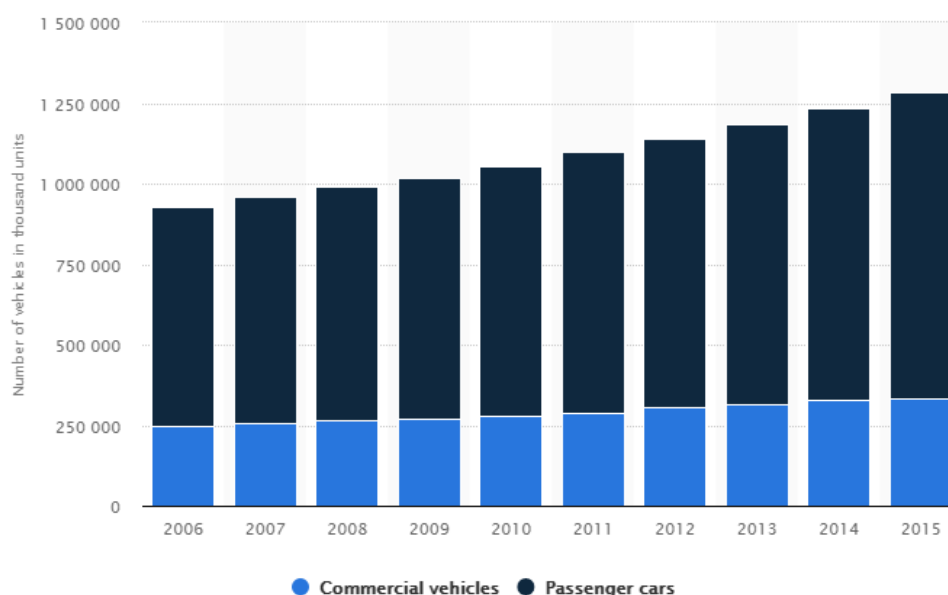
V grafu níže lze ještě pozorovat nepřímé emise z výroby elektřiny (vyznačeno přerušovanou modrou barvou), emise spojené s potrubní dopravou (vyznačeno fialovou barvou) a Fluorované uhlovodíky a nepřímé N<sub>2</sub>O vyznačeny barvou červenou.



Obrázek 5: Rozdělení a trend produkce emisí o ohledem na jednotlivé segmenty dopravy [5]

## 2.5 Trend růstu silniční automobilové dopravy

Jak již bylo řečeno v kapitole výše, silniční doprava je nejvýznamnější druh dopravy s ohledem na znečištění dopravy. Důvodem je jednak její velký objem, který neustále roste, a dále její velká koncentrace v oblastech s velkou osídleností. Již dlouhou dobu je možné sledovat téměř lineárně rostoucí trend počtu vozidel používaných ve světě. Zatímco v roce 2006 bylo ve světě používáno něco okolo 926 miliónů vozidel, v roce 2015 jich však bylo již 1 282 miliónů, z toho 947 miliónů osobních vozidel a 335 miliónů osobních komerčních vozidel. [1], [2], [3], [4], [5], [6], [7]



Obr. 6 Trend růstu počtu silničních vozidel [7]

### 3 Druhy škodlivin a jejich vliv na zdraví

Objem znečištění ovzduší motory je dán především jejich množstvím a druhem paliva pro jeho chod. Například pevné částice jsou u vznětových motorů ve větším množství, než u motorů zážehových. Dalším faktorem objemu vypuštěných emisí je typ motoru a jeho technický stav. Nezanedbatelný podíl na množství škodlivin má obsluha dopravního prostředku a její styl jízdy. U pozemní dopravy má jistý svůj díl i kvalita dopravní infrastruktury.

#### 3.1 PM

PM je to směs pevných částic a na ně absorbovaných látek. Některé částice jako prach, špína, saze a kouř jsou dostatečně velké, že je možné vidět pouhým okem. Ostatní částice jsou tak malé, že je lze detekovat pouze pomocí elektronového mikroskopu.

PM lze rozdělit do základních 2 skupin. PM10 jsou o velikosti 10 mikrometrů a menší. PM2,5 jsou o velikosti 2,5 mikrometru a i menší. Frakce PM10 proniká do dýchacích cest. Částice PM2,5 pronikají ještě hlouběji a to až do plicních sklípků. Největší usazovací schopnost mají částice o velikosti 1-2  $\mu\text{m}$ . Se zmenšující se velikostí částic se snižuje usazovací schopnost. Částice o velikosti 0,001  $\mu\text{m}$  jsou bezezbytku vydechovány. Škodlivost částic je závislá nejen na velikosti, tvaru, chemickém složení, ale také na jejich schopnosti vázat další nečistoty. Ty jsou prostřednictvím těchto pevných částic dopravovány do organismu.

Prachové částice dráždí sliznici dýchacích cest. Je snižena samočistící schopnost organismu, z čehož plyne vyšší riziko vzniku infekce. Krátkodobá vyšší inhalace PM10 vede k prohloubení potíží astmatiků. Při dlouhodobé inhalaci je zhoršena plicní funkce a zvýšen výskytu příznaku chronického zánětu průdušek. Následek je předčasná úmrtnost na srdečně-cévní a plicní onemocnění. Dále byl prokázán nepříznivý účinek na kardiovaskulární systém. V závislosti na tom roste spotřeba léků pro rozšiřování průdušek a počet hospitalizovaných lidí. Mezi nejrizikovější skupiny patří děti, starší osoby, těhotné ženy a osoby s chronickým onemocněním dýchacího a oběhového ústrojí. U dlouhodobého vystavení PM2,5 je zvýšené riziko nádorových a kardiovaskulárních onemocnění jako Ateroskleróza tedy zanášení tepen nebo Hypertenze tedy chronicky zvýšený krevní tlak.



### 3.2 HC

Uhlovodíky reagují s oxidy dusíku za přítomnosti slunečního světla, čímž vzniká ozón, což je primární složka smogu. Zatímco v horní části atmosféry je ozón prospěšný, tak zde v dolní části dráždí dýchací systém, což způsobuje kašel, snížení kapacity plic a případné udušení.

### 3.3 CO<sub>2</sub>

Tento plyn je známý také jako skleníkový plyn, který absorbuje a vydává tepelné záření a vytváří „skleníkový efekt“. CO<sub>2</sub> je důležitý pro udržení života na zemi, protože spolu s jinými skleníkovými plyny je nezbytný pro udržení obyvatelné teploty na Zemi. Od průmyslové revoluce však jeho koncentrace nadměrně vzrostla. Následkem vysoké koncentrace dochází ke globálnímu oteplování planety. Mění se klima má řadu ekologických, fyzikálních a zdravotních dopadů, včetně extrémních povětrnostních jevů jako povodně či častá sucha a bouře.

### 3.4 CO

Oxid uhelnatý je bezbarvý jedovatý plyn bez zápachu. Je tvořen při spalování fosilních paliv. Vznik CO nastává při spalování s nedostatkem přístupu vzduchu nebo při spalování za vysokých teplot. Množství emisí CO je značně závislé na stylu jízdy a jízdním režimu. Například v městském provozu, v režimu vyšší dynamické jízdy s řadou po sobě jdoucích akcelerací a decelerací, je CO emitováno mnohem více než v režimu plynulé klidné jízdy.

Při vdechnutí se váže na krevní barvivo mnohem pevněji jak hemoglobin, což je červený transportní metaloprotein, pomáhající transportu kyslíku z plic do tkání. Oxid uhelnatý tak brání přenosu kyslíku v organismu. CO má 200–300krát vyšší afinitu k hemoglobinu než kyslík.

Z praktického hlediska jsou důsledky emisí CO poměrně nízké, protože při běžných koncentracích žádné nebezpečí nehrozí. Při zvýšené koncentraci by tedy měla být vyšší opatrnost v podzemních garážích či jiných uzavřených prostorech. V takových místech hrozí i riziko udušení.

### 3.5 PAU

Polycyklické aromatické uhlovodíky vznikají při nedokonalém spalování organických materiálů. V minulosti bylo z pokusů na zvířatech prokázáno mnoho nepříznivých účinků PAU jako imunotoxicita, genotoxicita, karcinogenita, reprodukční toxicita. PAU se do organismu dostává vdechnutím vázané na povrch prachových částic. PAU jsou registrovány jako pravděpodobný lidský karcinogen. Chemické složení látek vázaných na vdechitelné prachové částice se mění se zdroji znečištění. Z několika projektů jako např. EXPOLIS plyne, že při stejné koncentraci PM10 lze pozorovat různou koncentraci PAU. Takto byla zjištěna trojnásobná koncentrace PAU v Praze ve srovnání s Aténami.

### 3.6 VOC (benzen)

Benzen je standartní součástí automobilového benzínu. Do ovzduší se dostává nedokonalým spalováním ve výfukových plynech nebo při manipulaci s benzínem. Koncentrace Benzenu v ovzduší je dobrý indikátor znečištění ovzduší výfukovými plyny, protože jeho koncentrace dobře koreluje se škodlivinami z dopravy jako CO, VOC a NO<sub>x</sub>. Dále se také stanovují koncentrace toluenu, etylbenzenu a xylenu známe jako tzv. BTEX. Mezi další VOC, se stanovenými referenčními hodnotami se řadí styren, součet trimetylbenzenů a chlorované alifatické i aromatické uhlovodíky (trichlormetan, tetrachlormetan, trichloreten, tetrachloreten, chlorbenzen, suma dichlorbenzenů).

U benzenu byly prokázány karcinogenní účinky a také je zodpovědný za zhoršení krevetvorby, imunitního a nervového systému.

### 3.7 NO<sub>x</sub>

Při hoření jsou oxidy dusíku produkovány za vysokých tlaků nebo teplot, protože dochází k oxidaci dusíku ve vzduchu. Ze zdroje znečištění je emitováno NO, které se dále rychle mění na NO<sub>2</sub>. Nadměrná koncentrace NO<sub>x</sub> v ovzduší koreluje s množstvím silniční dopravy.

Následkem zvýšené koncentrace NO<sub>x</sub> v ovzduší je dráždění sliznice dýchacího ústrojí. Při dlouhodobému vystavení vysoké hladiny NO<sub>x</sub> jsou ovlivněny dýchací funkce a je snížena odolnost k onemocnění dýchacích cest a plic. Dále je zvýšeno riziko astmatických záchvatů a snižuje se obranyschopnost těla před infekcí. NO<sub>x</sub> pomáhá při tvorbě přízemního ozónu a pevných částic.

### 3.8 O<sub>3</sub>

Ozon je plyn složený ze tří atomů kyslíku O<sub>3</sub>. Ozon se vyskytuje jak v horní atmosféře Země, tak na úrovni Země. Tento plyn může být prospěšný i škodlivý v závislosti kde se nachází.

Prospěšný ozon se vyskytuje přirozeně v horní atmosféře, kde vytváří ochrannou vrstvu, která Zemi chrání před škodlivými ultrafialovými paprsky Slunce.

Škodlivý přízemní ozon není emitován přímo do ovzduší, ale je vytvářen chemickými reakcemi mezi oxidy dusíku „NO<sub>x</sub>“ a těkavými organickými sloučeninami „VOC“. Chemická reakce probíhá za přítomnosti slunečního záření. Přízemní ozon je jedna z hlavních složek smogu.

Dýchání ozonu může vážně poškodit lidské zdraví. Kritickou skupinou jsou osoby s astmatem, děti, starší dospělé osoby a osoby, které jsou aktivní ve venkovním prostředí. Kromě toho jsou lidé s určitými genetickými vlastnostmi a lidé s omezeným příjmem určitých živin, jako jsou vitamíny C a E, vystaveni většímu riziku ozonu. Následkem vdechování ozonu může být bolest na hrudi, kašel, podráždění krku a zánět dýchacích cest. Dále může ozon snížit funkci plic a poškodit plicní tkáň.

### 3.9 SO<sub>2</sub>

Elektrárny a motorová vozidla vytvářejí tuto znečišťující látku spálením paliv obsahující síru. Vysoké koncentrace SO<sub>2</sub> ve vzduchu obecně také vedou k tvorbě dalších oxidů síry SO<sub>x</sub>. SO<sub>x</sub> mohou reagovat s jinými sloučeninami v atmosféře z čehož dále vznikají jemné částice. Tyto jemné částice přispívají k znečištění „PM“, které mohou proniknout hluboko do citlivých částí plic a způsobit další zdravotní potíže. Zdravotní riziko je nejvyšší u malých dětí a astmatiků. Automobilové emise obsahují jen malé množství SO<sub>2</sub>, avšak jejich vznikem a přítomností může dojít k znásobení efektu dalších škodlivých látek.

Při reakci SO<sub>2</sub> s jinými sloučeninami v atmosféře vznikají jemné částice a ty snižují viditelnost. [4], [8], [9], [10], [12], [13], [20]

## 4 Historie emisních norem

Evropské emisní normy jsou historicky velice svázané s normami americkými. Takřka až na přelomu osmdesátých a devadesátých let se tyto normy od sebe vzájemně začaly více odlišovat. Do té doby spolu byly úzce svázané, protože Evropa mnohdy tyto normy převzala – ať už částečně či celé. Podívejme se tedy nyní nejprve na americký systém, jakožto východisko pro ten evropský.

### 4.1 USA

První zmínka o regulaci emisí pochází ze Spojených států. Vláda USA byla nucena zavést emisní limity pro oxid uhelnatý „CO“ a nespálené uhlovodíky „HC“. Příčinou tohoto kroku bylo prudce se zhoršující ovzduší v několika velkých městech. Tyto limity vyšly jako součást zákona o čistém ovzduší roku 1968. Nastavení limitů se týkalo do té doby asi 30–40 % dříve neregulovaných emisí. Roku 1970 byla založena agentura pro ochranu životního prostředí (EPA). Tato agentura byla pověřena spravováním a prosazováním nových emisních limitů. Roku 1973 byly k emisním limitům přidány i regulace oxidů dusíku „NO<sub>x</sub>“. Dále byly sníženy limity oxidu uhelnatého a nespálených uhlovodíků z původních hodnot roku 1968 o 90 %. S blížícím se datem vydání zákona výrobci automobilů namítali, že není doposud známa žádná technologie, která by emise automobilů snižovala. Tak tedy s příchodem data vydání byly tyto emisní limity zrušeny a byly prohlášeny za prozatímní normy. Původní normy z roku 1973 pro CO a HC nebyly dodržovány až do roku 1981 a normy NO<sub>x</sub> s výjimkou Kalifornie dokonce až do roku 1992. Roku 1990 byl schválen nový zákon o čistotě ovzduší. Obsahem zákona byla norma úrovně 1. Dále dle zákona byla nutnost, od roku 1994 snížit emise nespálených uhlovodíků HC o 30 % a emise NO<sub>x</sub> o 60 %. Aby mohl výrobce prodávat v USA, muselo alespoň 40 % objemu jeho výroby splňovat tento zákon do roku 1994, poté alespoň 85 % objemu výroby do roku 1995. Po roce 1995 musí celé portfolio producentovy nabídky splňovat tyto emisní limity. Pokud by tomu tak nebylo, agentura pro ochranu životního prostředí (EPA) má právo po výrobci požadovat stažení z prodeje modely, které tyto limity nebudou splňovat. Součástí tohoto zákona také bylo, závazné prodloužení doby, po kterou musí vozidlo tyto limity splňovat z 80 000 km na 160 000 km. Roku 1992 byla zavedena norma omezující oxid uhelnatý u studeného motoru. Palubní diagnostika 2. řady (OBD II) se stala povinností od roku 1996. Ten samý rok byly přidány normy US06 a SC03. Jedná se o zkušební postupy včetně homologačních

cyklů. Tyto normy byly zaváděny později mezi lety 2000 až 2004. Roku 1999 byla zavedena norma úrovně 2. Poslední vydanou normou je úroveň 3. Dokončena byla roku 2014 a její zavádění bylo naplánováno mezi lety 2017 až 2025. Zajímavostí amerických norem vůči těm evropským je, že všechna vozidla podléhají stejným normám bez ohledu na použité palivo.

## **4.2 Kalifornie**

Do roku 1993 byly emisní limity v Kalifornii stejné jako pro zbytek Spojených států. V roce 1993 však Kalifornská rada pro kontrolu letectví (CARB) předložila vlastní návrh týkající se emisí. Jednalo se o postupné snižování emisních limitů. Od roku 1994 byla schválena norma pro osobní automobily, lehké nákladní automobily a středně těžká vozidla pod zkratkou LEV. Dodatečně na zasedání v roce 1998 byla přeznačena na LEV I. Rok nato byla formálně připravena novější norma LEV II, avšak byla zavedena až roku 2004, kdy nahradila původní normu LEV I. Platnost normy LEV II je plánována, dokud jí postupně nenahradí novější norma LEV III. Ta se postupně zavádí již od roku 2015 a její zavedení v plném rozsahu je naplánováno na rok 2028. Norma je rozčleněna na vozidla s nízkými emisemi (LEV), ultra nízkými emisemi (ULEV), super ultra nízkými emisemi (SULEV) a nulovými emisemi (PZEV).

## **4.3 Emisní normy v Evropě pro osobní automobily**

V roce 1956 Německý parlament požádal Asociaci Německých inženýrů o vypracování obecných pokynů pro snížení znečištění ovzduší. Tyto pokyny také zahrnovaly část o znečištění z vozidel. Touto dobou se podobným problémem zabývali i ve Francii. Jejich program byl z části podnícený prací ve Spojených státech a v Kalifornii. Kvalita ovzduší byl problém v Německu i Francii, proto tedy byly výsledky Kalifornie natolik povzbudivé, že obě země spolu začaly v této oblasti od roku 1961 spolupracovat. Roku 1970 byly Evropskou komisí zavedeny první limity emisí pod označením 70/220/EEC. Tato emisní norma byla ještě několikrát novelizována. Každá další novelizace s sebou nesla zpřísnění emisních limitů. Od roku 1984 byly tyto limity sníženy o 50 % oproti roku 1970.

Roku 1982 Evropská komise rozhodla o Globálním přístupu při tvorbě dalších předpisů a nařízeních. To znamená posouzení všech možných účinků a řešení před konečným rozhodnutím, známo jako „Vývoj pravidel globálního přístupu“ nebo zkráceně ERGA. Cílem ERGA bylo zhodnocení účinků vozidel na zdraví lidí. Sledován byl dopad výfukových plynů, různé technologie pro regulaci emisí a výsledné náklady. Závěrem bylo zjištění, že je obtížné

definovat hraniční velikost pro každou znečišťující látku a nejlepší způsob by byl nastavit omezení, které by bylo žádoucí pro zlepšení situace, avšak takové, které by bylo dosažitelné. Dále byly provedeny analýzy nákladů přínosu různých opatření pro regulaci emisí. Z této analýzy se ukázalo, že do budoucna se jeví jako nejvhodnější technologie pro redukci škodlivých látek spalování chudé směsi, vícebodové vstřikování paliva a technologie oxidačně katalyckého procesu (oxidační katalyzátor). Zajímavostí je, že na rozdíl od Evropy, kde dle analýzy vycházely nejlépe oxidační katalyzátory, tak ve Spojených státech to byly třicestné katalyzátory. Důvodem byly vyšší náklady na 3 cestné katalyzátory a dále nebyla prokázána jejich dobrá funkce v evropských podmínkách.

Mezitím v Německu vyšel článek, který připisoval znečištění lesů výfukovým plynům vozidel. To vzbudilo veřejný zájem a byl vyvinut tlak na německou vládu, aby přijala nějaké opatření. Reakcí vlády byl slib o zavedení emisních norem podobných jako je tomu ve Spojených státech. Reakcí Evropské komise bylo zavedení bezolovnatého benzínu a přistoupení k americkému modelu třicestných katalyzátorů. Vyvrcholením byla směrnice 91/441/EEC (EC93) známa také jako norma Euro 1. Obsahem bylo mimo jiné stanovení úrovně limit na stejné úrovni jako tomu bylo v Americe. Norma Euro 1 byla ještě v roce 1993 novelizována.

$\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$	Benzínové motory	Naftové motory
CO	2,72	2,72
HC + NO <sub>x</sub>	0,97	0,97
PM	/	0,14

*Tabulka 1: Emisní norma Euro 1*

Roku 1996 byla zavedena norma Euro 2 pod označením EC 96. Zásadní změnou u této normy bylo rozlišení benzínových a naftových motorů a nastavení rozdílných limitů pro tyto typy.

$\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$	Benzínové motory	Naftové motory
CO	2,2	1
HC + NO <sub>x</sub>	0,5	0,7
PM	/	0,08

*Tabulka 2: Emisní norma Euro 2*

Roku 2000 vyšla další norma a to Euro 3 pod označením EC2000. Tato norma rozdělovala limity nespálených uhlovodíků a oxidů dusíku u benzínových motorů. U naftových motorů byl přidán limit pro oxidy dusíku. Z procedury zkoušení motorů byl odstraněn čas pro zahřátí motoru.

$\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$	Benzínové motory	Naftové motory
CO	2,3	0,64
HC	0,20	/
HC + NO <sub>x</sub>	/	0,56
NO <sub>x</sub>	0,15	0,50
PM	/	0,05

*Tabulka 3: Emisní norma Euro 3*

Roku 2005 byla zavedena norma Euro 4 pod označením EC2005. Obsahem normy bylo další snížení emisních limitů.

$\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$	Benzínové motory	Naftové motory
CO	1	0,50
HC	0,1	/
HC + NO <sub>x</sub>	/	0,30
NO <sub>x</sub>	0,08	0,25
PM	/	0,025

*Tabulka 4: Emisní norma Euro 4*

Roku 2009 byla opět zavedena další norma Euro tentokrát Euro 5. Největší novinkou bylo zavedení povinných filtrů pevných částic pro vznětové motory a samozřejmě i snížení limitu pevných částic oproti předchozí normě. Norma se týkala vozu homologovaných od září 2011. Od ledna 2013 musela tuto normu splňovat již všechna prodávaná vozidla se vznětovým motorem. Filtr pevných částic zachycuje 99 % všech částic. Každý automobil, aby splnil normu Euro 5, musí mít filtr pevných částic. Ekvivalentem normy Euro 5 jsou pevné částice o velikosti zrna písku na 1 km. S touto normou přišel další limitní parametr sledovaný u automobilů s dieselovým motorem. Jedná se o počet částic emitovaných na jeden kilometr pod zkratkou PN.

$\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$	Benzínové motory	Naftové motory
CO	1	0,50
HC	0,1	/
HC + NO <sub>x</sub>	/	0,23
NO <sub>x</sub>	0,06	0,18
PM	0,005	0,005
PN	/	$6\cdot 10^{11}$

*Tabulka 5: Emisní norma Euro 5*

Roku 2014 vyšla norma Euro 6. Opět došlo ke zpřísnění emisních limitů. U automobilů se vznětovým motorem se limit NO<sub>x</sub> snížil o 50 % na 0,08 g/km oproti předchozí normě. Aby byla dodržena tato norma, někteří výrobci byly nuceni zavést systémy selektivní katalycké redukce nebo alternativní metodu recirkulace výfukových plynů. Dále došlo k rozšíření limitu emitovaných počtu částic na jeden kilometr i na benzínové motory.



$\text{g} \cdot \text{km}^{-1}$	Benzínové motory	Naftové motory
CO	1	0,50
HC	0,1	/
HC + NO <sub>x</sub>	/	0,17
NO <sub>x</sub>	0,06	0,08
PM	0,005	0,005
PN	$6 \cdot 10^{11}$	$6 \cdot 10^{11}$

Tabulka 6: Emisní norma Euro 6

#### 4.4 Emisní normy v Evropě pro těžká nákladní vozidla a autobusy

V Evropě byly poprvé zavedeny emisní normy pro těžká nákladní vozidla a autobusy roku 1988. Řada norem „Euro“ odstartovala roku 1992. Normy byly v průběhu několika let postupně zpřísněny. Aktuální platná norma je „Euro IV“ a byla zveřejněna v roce 2009. Tato norma vstoupila v platnost v roce 2013 a její emisní limity jsou srovnatelné s normami Spojených států „US 2010“. Rozdílné je značení norem, které se liší oproti osobním vozidlům. Normy pro osobní vozidla jsou číslována arabskými číslicemi, zatímco normy pro těžká nákladní vozidla a autobusy jsou značeny římskými číslicemi. Dalším zásadním rozdílem je, že testování emisí se neprovádí na celých vozidlech, ale jen na motorech. Emisní hodnoty jsou vyjádřeny v gramech na kilowatthodinu ( $\text{g/kWh}$ ) na rozdíl od emisí u osobních vozidel, kde jsou výsledky udávány v gramech na kilometr ( $\text{g/km}$ ).

#### 4.5 Emisní normy v Evropě pro motocykly

Roku 1997 byla zavedena první směrnice pod označením 97/24/ES normy Euro 1 upravující emise znečišťujících látek pro dvoukolá a tříkolá vozidla. Druhá etapa této směrnice bylo i emisní omezení mopedů s platností od roku 2002. Roku 2003 byla vydána nová směrnice zavádějící normy Euro 2 a 3 pod označením 2002/51/ES. Doposud poslední nařízení vyšlo roku 2013. Pod označením 168/2013 zavádí emisní normy Euro 4 a 5. Norma Euro 4 krom zpřísnění limitů HC, CO, NO<sub>x</sub> a PM také zavádí povinnost, aby výbava motocyklů a tříkolek obsahovala palubní diagnostiku OBD. Součástí schvalovacího procesu je zpráva o emisích CO<sub>2</sub>.

## 4.6 Ostatní emisní normy

Pro kompletnost je třeba zmínit normy pro lokomotivy a ostatní nesilniční mobilní zařízení, které Evropská unie upravuje.

Směrnice 97/68/ES pro lokomotivy s emisním omezením byla schválena roku 1997. Obsahuje několik etap, které byly postupně zaváděny. Aktuálně platí stupeň 4 pro kolejová vozidla s výkony od 56 až 560 kW. Emisní limity jsou vztaženy na jednotku g/kWh.

Směrnice se vztahují na:

- Samohybné vozy na trati, které jsou určeny pro přepravu nákladů a / nebo cestujících,
- vozidla s vlastním pohonem, která jsou určena k pohonu vozidel, která přepravují náklad a / nebo cestující, ale nejsou určena k přepravě zboží nebo cestujících sama.

Směrnice 97/68/ES z roku 1997 obsahovala také emisní normy pro ostatní nesilniční mobilní zařízení. Tak jako u lokomotiv byla tato část směrnice rozdělena do několika etap. Původní směrnice byla několikrát novelizována. Poslední novelizace mají označení 2010/22/EU a 2010/26. Tyto novelizace poskytují další technické informace o zkouškách a mění předchozí předpisy u zemědělských a lesnických strojů. Emisní limity jsou vztaženy na jednotku g/kWh.

## 4.7 Emisní normy skleníkových plynů v Evropě pro osobní automobily

Vzhledem k růstu koncentrace skleníkového plynu CO<sub>2</sub> a jemu připisované změně klimatu, začala Evropská unie v polovině devadesátých let vytvářet program na snížení průměrné emise CO<sub>2</sub>. Zpočátku byly cíle tohoto programu pro výrobce automobilů dobrovolné. Roku 2009 se toto dobrovolné doporučení stalo povinnou součástí normy 443/2009/ES týkající se omezení CO<sub>2</sub> vozidel. Tyto předpisy se týkaly pouze emisí CO<sub>2</sub>. Ostatní skleníkové plyny nejsou regulovány.

### 4.7.1 Osobní vozidla

Roku 2009 byly stanoveny povinné cíle redukce průměrných emisí CO<sub>2</sub> na hodnotu 130 g/km. Plán tohoto cíle měl být dosažen do roku 2015. Dále navazuje cíl, který by měl být dosažen do roku 2020 a to 95 g/km CO<sub>2</sub>.

#### **4.7.2 Lehká užitková vozidla**

Stejně jako u osobních vozidel byly roku 2009 zavedeny cíle také pro užitková vozidla. Do roku bylo nezbytné splnit průměrné emise CO<sub>2</sub> ve výši 175 g/km. Následuje cíl vydaný roku 2016 s hodnotou průměrných CO<sub>2</sub> na 135 g/km byl později změněn na hodnotu 147 gCO<sub>2</sub>/km. Ten by měl být dosažen roku 2020.

#### **4.7.3 Dvou a tříkolá vozidla**

Od roku 2010 jsou výrobci povinni měřit a omezovat emise CO<sub>2</sub>, ovšem doposud nebyly pro typy těchto vozidel cíle stanoveny. [9], [11], [14], [15], [16], [17], [18], [19]

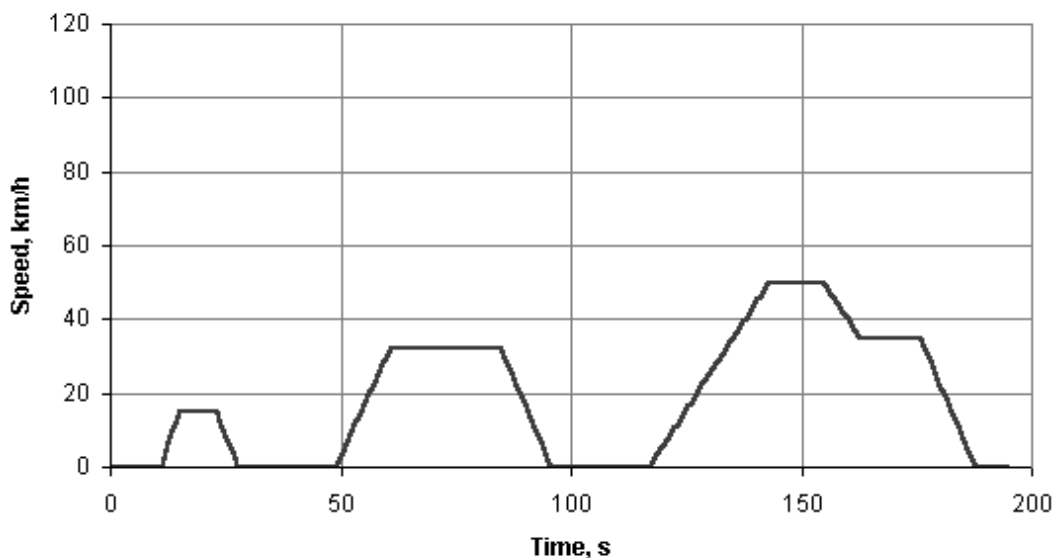
## 5 Zkušební cykly

Testovací cyklus představuje soubor bodů definovaných jako rychlost ku času. Tedy je jasně definována rychlost, kterou musí vozidlo dosáhnout v každém okamžiku v průběhu celého testu. Základní funkcí je určení spotřeby vozidla a množství emisí emitovaných automobilem v průběhu testu. Většina testů probíhá v laboratorních podmínkách na zkušebním dynamometru.

Existují dva druhy jízdých cyklů. Tím prvním jsou modální. Jedná se o kompilaci konstantních zrychlení a konstantních rychlostí. Tento druh cyklu dostatečně nenapodobuje skutečné chování řidiče. Druhým druhem jsou přechodové cykly. Tento druh se již více podobá běžnému chování řidiče.

### 5.1 ECE 15 + EUDC

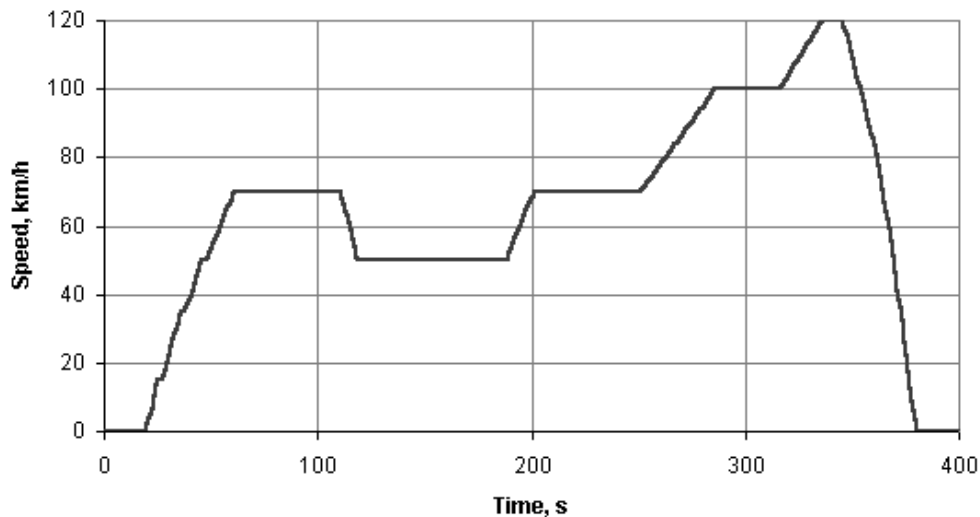
Do roku 1996 bylo testování vozidel prováděno pomocí Urban Driving Cycle (UDC) znám také podle zkratky EDE 15. Protože maximální rychlost u tohoto testu byla stanovena na 50 km/h a jeho tendencí byla simulace jízdy v městském provozu, je charakterizován nízkou rychlostí vozidla, nízkým zatížením motoru a nízkou teplotou výfukových plynů.



Obrázek 6: Grafické znázornění EDE 15 cyklu (městská část) [22]

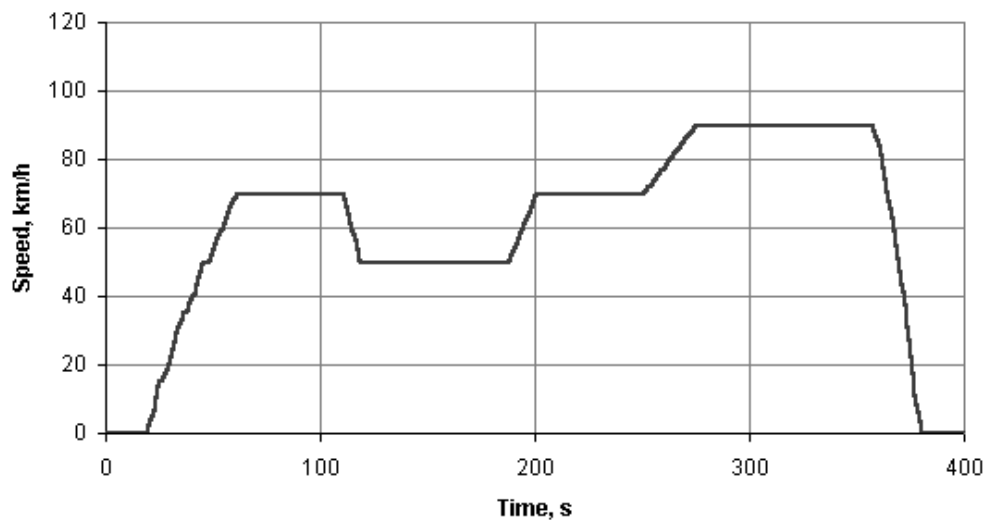
Po roce 1996 byl zaveden cyklus, který čtyřikrát opakuje ECE 15 cyklus a dále bez přestávky navazuje na novou část Extra Urban Driving Cycle (EUDC). EUDC bylo navrženo

tak, aby byla napodobena jízda v neobydlené oblasti. Tím je nasimulován běžný efekt agresivnější jízdy při vyšších rychlostech, který však nepřesahuje maximální rychlost 120 km/h.



Obrázek 7: Grafické znázornění EUDC (mimoměstská část) [22]

Byl také definován alternativní cyklus EUDC pro vozidla nedisponující dostatečným výkonem pro vyšší rychlosti. Tato alternativní verze má maximální rychlost nastavenou na 90 km/h.

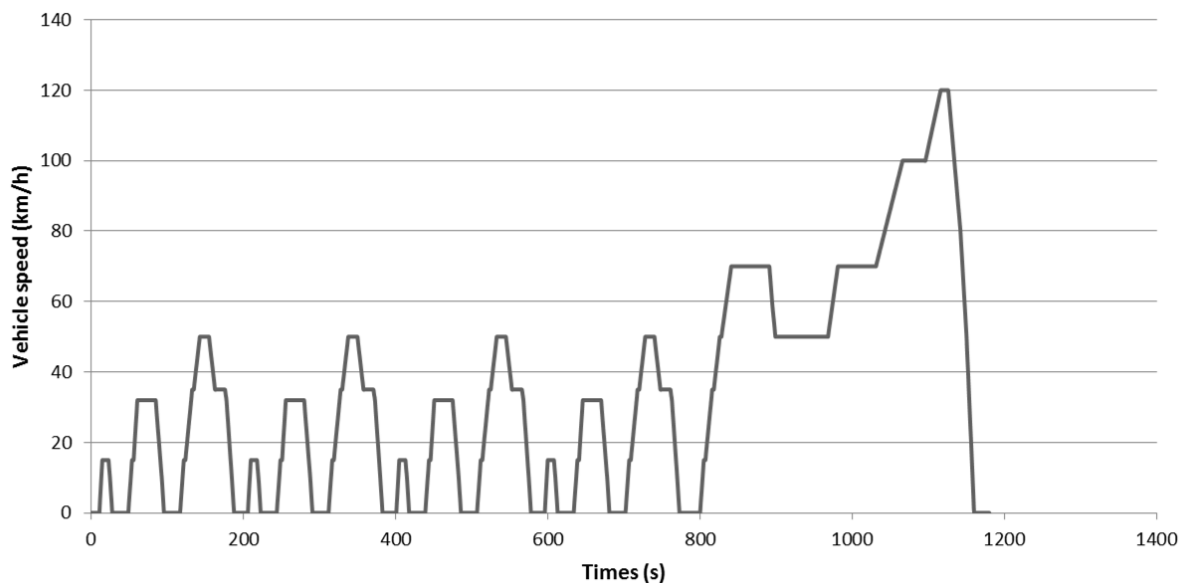


Obrázek 8: Grafické znázornění EUDC (mimoměstská část) s maximální rychlostí 90 km/h [22]

Cílem testování je získání informací o emisích a spotřebě vozidla. Před tím, než se začne vozidlo testovat, je nezbytné ho temperovat po dobu minimálně 6 hodin při zkušební teplotě 20-30 °C. Bezprostředně před spuštěním testovacího cyklu se vozidlo nechává nastartované po dobu 40 sekund na volnoběh a nechá se zahřát. Následně je spuštěn zkušební testovací cyklus, který je měřen v laboratorním prostředí na dynamometru. Délka testu je stanovena na 1 180 na sekund. Při testování vozidla jsou simulovány jízdní odpory valení kol, setrvačné hmoty a aerodynamický odpor. Každá rychlost vozidla odpovídá určitému jízdnímu odporu (odpor v podobě momentu působící na hnací kola). S jedním vozidlem je možné otestovat všechny druhy karoserie daného typu vozu (sedan, hatchback, MPV apod.) pomocí pouhé změny koeficientu dle tabulek. K dynamometru je také připojen ventilátor, který poskytuje chlazení motoru a přívod vzduchu do sání odpovídající aktuální rychlosti vozidla. Při testování nejsou zapnuty žádné spotřebiče jako klimatizace, ventilátory, světla, vyhřívání oken atd. Testovací cyklus je ECE 15 + EUDC je někdy také značen jako MVEG-A.

## 5.2 NEDC

Částečnou modifikací a spojením částí v obydlené a neobydlené oblasti vznikl v roce 2000 cyklus, nazývaný jako New European Driving Cycle (NEDC). Z tohoto cyklu byla vyřazena volnoběžná část před započítáním testování, která sloužila k zahřátí motoru. Stejně jako tomu bylo u zkoušky ECE 15 + EUDC začíná NEDC čtyřmi opakujícími se částmi simulující městskou část a jednou částí simulující mimoměstskou jízdu. To platí i pro méně výkonná vozidla, kde lze zvolit variantu s maximální rychlostí v mimoměstské části 90 km/h namísto 120 km/h. Délka testu zůstala 1 180 sekund.



Obrázek 9: Grafické znázornění NEDC [22]

Emisní vzorky jsou odebírány v průběhu testovacího cyklu metodou konstantního objemu (CVS). Výsledky měření jsou:

- spotřeba paliva v městské části,
- spotřeba paliva v mimoměstské části,
- celková (kombinovaná) spotřeba paliva za celý cyklus,
- emise CO<sub>2</sub> za celý cyklus,
- měřené emise v g/km pro každou jednotlivou látku dle platné emisní normy.

Cyklus NEDC byl používán pro testování vozidel až do normy Euro 6. Také se někdy označuje také jako MVEG-B.

Za účelem dosažení cílů EU pro snižování emisí CO<sub>2</sub> má proto výrobce automobilů zájem o uvedení automobilů na trh s nejnižšími emisemi CO<sub>2</sub>. To v některých případech vedlo k manipulaci se schválením typu u některých výrobců automobilů. Takzvaný skandál Dieselgate z roku 2015 ukázal, že někteří výrobci automobilů používali software, který je schopen detekovat, kdy je vozidlo testováno a v době testování aktivoval určitý motorový režim spalování s nízkými emisemi, které neodráží realitu, ale splňuje emisní normy testu.

Navíc existuje obecná shoda, že testovací postup NEDC je zastaralý. Test byl z velké části vyvinut v 70. letech v době, kdy emise CO<sub>2</sub> nebyly na politické a environmentální agendě vysoké.

Zkouška je také částečně zastaralá kvůli mnoha technologickým vývojem, ke kterým došlo, a které měly dopad na spotřebu paliva (například pohon všech kol, klimatizace, elektrická okna atd.). Dále kvůli měnícím se jízdním podmínkám (zvyšování provozu, dopravní kongesce atd.).

Aby bylo zareagováno na výše uvedené výzvy, se EU rozhodla postupně zavádět od září 2017 nový zkušební postup, jmenovitě Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure (WLTP).

### 5.3 WLTP

Primárním právním předpisem pro WLTP je nařízení EU 2017/1151 a jeho dodatkové předpisy, které byly zveřejněny 7. července 2017 v Úředním věstníku Evropské unie. Tato právní úprava vstoupila v platnost dne 27. července 2017 a stanovuje postupnou výměnu NEDC za nový testovací postup WLTP pro měření spotřeby pohonných hmot a emisí CO<sub>2</sub>:

- od 1.9.2017 platí zkušební cyklus pro všechny nové modely vozidel uváděných na trh EU;
- od 1. září 2018 by všechny nové typy vozidel (tedy nejen modely) měly být testovány pomocí WLTP;
- od tohoto okamžiku do září 2019 existuje přechodná úprava pro některé vozy na konci výrobní série, které byly testovány v režimu NEDC, ale dosud nebyly prodány.

Důležité je, že WLTP je uložena nařízením Evropské unie, a proto je závazná v plném rozsahu a přímo použitelná ve všech členských státech EU bez dodatečných vnitrostátních prováděcích opatření.

Očekává se, že WLTP zajistí realističtější a spolehlivější údaje o spotřebě paliva a emisích CO<sub>2</sub>. Zkušební podmínky v rámci WLTP jsou navrženy, aby odpovídaly více realitě:

- musí být zkoušena vyšší průměrná a maximální rychlost;



- musí být zohledněny různé jízdní podmínky, městská doprava, mimo městská doprava, dynamičtější zrychlení a zpoždění, vyšší výkon motoru a realističtější jízdní vlastnosti;
- vzdálenost a trvání testu jsou delší;
- musí být zohledněno doplňkové vybavení moderního automobilu a jeho dopad na spotřebu paliva a emise.

Ačkoli WLTC zkušební cyklus lépe odpovídá skutečné automobilové dopravě (zaznamenává o 20 % vyšší hodnoty spotřeby CO<sub>2</sub> než NEDC), zůstává test stále v laboratorním prostředí. Zkušební postup WLTP je proto doplněn zkouškou Real Driving Emissions (RDE) v podmínkách jízdy za skutečného provozu. Při RDE je vozidlo vybaveno mobilní měřicí stanicí, která je schopna kdykoli analyzovat emise a ověřit, zda jsou emise v mezích právních norem. Přitom právní předpisy WLTP poskytují dodatečnou záruku, že výsledky získané ze zkoušky odpovídají skutečné spotřebě paliva a emisím.

Obsahem WLTP je i ustanovení pro testování různých kategorií hybridních a elektrických vozidel.

Kategorie těchto vozidel:

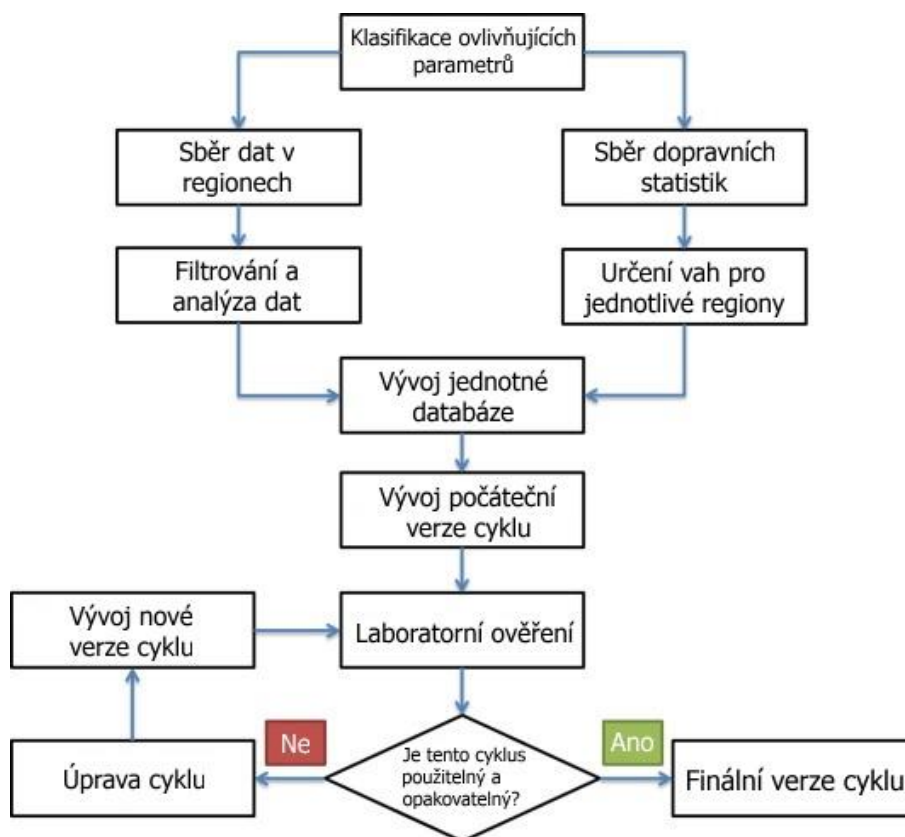
- OVC-HEV – hybridní elektrické vozidlo s externím nabíjením vozidla
- NOVC-HEV – hybridní elektrické vozidlo bez externího nabíjení vozidla
- PEV – pouze elektrické vozidlo

Všechna tato vozidla jsou zařazena do třídy 3. Emise a řada dalších parametrů se testuje podle testovacího průběhu třídy 3. Dále jsou některé parametry testovány pouze podle cyklu WLTC složeného pouze z nízko rychlostní a středně rychlostní fáze.

Cílem WLTP je harmonizovat zkušební postup po celém světě. Tedy měl by co nejvíce napodobit typické jízdní vlastnosti na celém světě. Zkušební postup stanovuje veškeré podmínky, požadavky, tolerance atd., které musí být dodrženy při testování vozidla. Postup zahrnuje vše od přípravy zkušebního vozidla a měřícího zařízení až po postup samotné zkoušky a výpočet výsledných hodnot.

### 5.3.1 WLTC

Znázorněné schéma metodiky pro odvození WLTC uvádí Obrázek 10. Především bylo nutné definovat hlavní parametry charakterizující jízdní cyklus a další vstupy, aby bylo možné dosáhnout celosvětové harmonizace. Údaje o jízdním chování (ve formě profilů rychlosti a zrychlení) a provozní statistiky o použití lehkých užitkových vozidel v různých oblastech světa byly shromažďovány a analyzovány jako základní prvky rozvoje harmonizovaného cyklu. Údaje o chování při jízdě byly poté filtrovány, aby se odstranily chyby, hluk a extrémní chování. Po filtraci byly analyzovány, aby se odvodily hlavní prvky, na jejichž základě bude nový cyklus vyvíjen. Byla provedena analýza pro stanovení průměrné krátké doby trvání a doby volnoběhu. Tyto informace byly použity k určení počtu krátkých cest, které by měly být zahrnuty do každé fáze cyklu.



Obrázek 10: Průtokový diagram vývoje WLTC [28]

Data o chování při jízdách a statistiky provozu byly poté spojeny za účelem vytvoření referenční databáze představující celosvětové chování lehkých užitkových vozidel. Zejména v této databázi byly údaje v provozu váženy a sjednocovány, aby se vytvořily jednotné

distribuce rychlosti a akcelerace. Ze sjednocené databáze byly vybrány krátké cesty a byly kombinovány, aby se vyvinul celý jízdní cyklus. Kombinace byla provedena za účelem dosažení co možná nejreprezentativnějšího jízdního cyklu z hlediska statistické jednotné databáze. Pro tento účel byl použit „Test dobré shody“ pro empirické rozdělení společných rychlostí a akcelerací. Zvláště byla jako ideální vybrána kombinace krátkých cest s nejmenší hodnotou z „Testu dobré shody“. Poté byl vytvořen první jízdní cyklus. Bylo provedeno srovnání dalších relevantních parametrů, jako je průměrná rychlost, relativní zrychlení (RPA) a doba volnoběhu, aby se dále ověřila reprezentativnost a případně byly provedeny změny. První verze cyklu (verze 1) byla vytvořena a předložena pro následnou experimentální validační fázi. Cyklus byl testován v několika laboratořích všech zúčastněných regionů, na různých kategoriích vozidel (M1, M2 a N1) s různými zdvihovými objemy motoru a různými poměry výkonů a hmotností (PMR), aby se zjistila použitelnost a opakovatelnost cyklu. Na základě zkušeností shromážděných během těchto testů byl cyklus upravován, dokud nebyla získána konečná verze.

V dalších částech jsou popsány různé fáze, které vedly k vývoji konečné verze WLTC.

### **5.3.1.1 Klasifikace ovlivňujících parametrů**

Analýza nejdůležitějších parametrů pro vývoj celosvětově harmonizovaného jízdního cyklu vedla zcela samozřejmě ke zdůraznění dvou hlavních prvků:

- Údaje o regionální činnosti: Pro každý region bylo nutné mít k dispozici údaje o činnostech, které by umožnily odvodit chování a jejich rozdělení z hlediska běžně přijatých kategorií silnic (městské, venkovské, dálniční).
- Regionální vážní faktory: Všechny databáze údajů o regionálních činnostech musely být sloučeny do jedné databáze podle jejich specifického váhového faktoru. Tyto váhové faktory měly být stanoveny na základě relativních objemů dopravy.

### **5.3.1.2 Sběr dat**

"Real world" provozní data byla shromážděna ze 441 vozidel vybavených palubními systémy pro sběr dat, které dokáží sbírat:

- rychlost vozidla,

- zrychlení vozidla,
- rychlost motoru.

Frekvence měření dat je nejméně 1 Hz.

Údaje o činnosti používané pro vývoj WLTC byly shromážděny z pěti regionů: Evropa, Indie, Japonsko, Korea a USA. V rámci Evropy byl zorganizován sběr dat v Belgii, Francii, Německu, Itálii, Polsku, Slovinsku, Španělsku, Švédsku, Švýcarsku a Velké Británii. Součástí sbíraných dat byly informace o typech vozidel, počtu vozidel, celkovém počet kilometru pro každý region a metodice použité ke shromažďování údajů.

Státy jako Japonsko, Korea a Indie používaly především „instruované řidiče“, EU a Švýcarsko shromáždily „údaje o zákaznících“ (údaje z vozidel s řidičem bez zvláštních pokynů pro řízení těchto vozidel). USA předložily jak „zákaznické údaje“, tak „instruované řidiče“ pomocí metody „chase car“. Možnost předložit údaje, shromážděné různými přístupy, byla poskytnuta ze dvou důvodů:

- 1) za účelem dokončení projektu v přiměřeném čase a s přiměřenými náklady bylo umožněno předložit údaje shromážděné také v rámci jiných činností, které však byly v souladu s danými kritérii a přesnostmi definovanými pro tento projekt,
- 2) mělo se za to, že kombinací těchto dvou přístupů by byly eliminovány data extrémních jízdních chování, čímž by v důsledku nedošlo k nepřesnostem již při samotném sběru dat. Navíc by byl soubor dat komplexnější a tak by umožnil získat výhody obou metod.

Hlavní charakteristiky různých přístupů jsou uvedeny níže:

- „Instruovaní řidiči“ jsou údaje shromážděné pronajatými vozidly a řidiči, kteří v předem stanovených časech jeli vozidlem na předem definovaných trasách. Výhodou tohoto přístupu je to, že se jedná o plánované shromažďování údajů o činnostech, které jsou reprezentativní pro oblast, ve které se měření provádí. Nevýhodou této metody sběru je, že první denní cesta je určena podle navrženého způsobu měření a nemusí být reprezentativní pro první cestu dne. Dále se instruovaný řidič nemusí chovat tak svobodně jako běžný řidič.

- Metoda shromažďování vozidel „chase car“ využívá přístrojové vozidlo, ze kterého jsou údaje zaznamenávány (s přesností záznamu na 1 sekundu). Cílové vozidlo v dopravním proudu se snaží napodobit jeho chování.
- Metoda „zákaznických dat“ má tu výhodu, že představuje skutečné chování v jízdě, ale pokud množství shromážděných údajů není dostatečně velké, nemůže zaručit statistické pokrytí silničních/dopravních podmínek, jako je metoda instruovaných řidičů.

V případě WLTC byla databáze údajů o zákaznících podrobena několika srovnáním s dalšími veřejně dostupnými statistikami provozních údajů, čímž se zvýšila spolehlivost nasbíraných dat.

### 5.3.1.3 *Filtrování a analýza dat*

Pro zpracování velkého množství zaznamenaných dat (přibližně 765 000 km dat) a pro statistickou analýzu zaznamenaných parametrů byl použit software s programovacím jazykem Visual Basic pro aplikace v programu Microsoft Excel. Zpracování dat zpočátku zahrnovalo filtrování a zúžení dat o činnosti. Filtrování bylo použito k odstranění šumu v důsledku chyb měření (malé fluktuace) a bylo provedeno pomocí standardního vyhlazovacího algoritmu (T4253H), jak je popsáno v programu SPSS. Zužování spočívalo ve snižování datové frekvence z 10 Hz na 1 Hz (nutná pouze pro omezené množství dat, protože většina dat byla 1 Hz).

Výsledné lépe vyfiltrované údaje byly převedeny na krátké cesty a volnoběhy, aby se vytvořily databáze krátkých cest a volnoběhů pro každou oblast/zemi a pro každou část cyklu (např. městské, venkovské, dálniční fáze). Krátká cesta byla definována jako ujetá vzdálenost mezi dvěma okamžiky volnoběhu vozidla. Rychlost krátké jízdy začínala nulou, skončila nulou a sestávala z různých jízdních režimů (zrychlení, zpomalení a konstantní rychlost). Nečinnost byla definována jako doba jízdy s rychlostí vozidla menší než 5 km/h a zrychlením v rozsahu  $[-0.139, +0.139] \text{ m/s}^2$ . Režim zrychlení byl definován jako část krátké cesty, kde bylo zrychlení větší nebo rovno  $0,139 \text{ m/s}^2$ . Režim zpomalení byl definován jako část krátké jízdy, kde zrychlení bylo menší nebo rovno  $-0.139 \text{ m/s}^2$ . Režim jízdy byl definován jako část krátké jízdy s rychlostí vozidla větší nebo rovnou 5 km/h a zrychlením v rozsahu  $[-0.139, +0.139] \text{ m/s}^2$ . Pro databázi byla použita řada eliminačních kritérií pro stanovení krátkých cest a volnoběhů, tím byla některá data vyloučena z následné analýzy.

Hlavními kritérii eliminace některých dat byly:

- doby volnoběhu s trváním delším než deset minut,
- krátké cesty s dobou trvání kratší než deset sekund,
- krátké cesty s maximální rychlostí nižší než 3,6 km/h,
- krátké jízdy se zrychlením vyšší než 4 m/s<sup>2</sup> a menším než -4,5 m/s<sup>2</sup>.

Důvody těchto vyloučení jsou na jedné straně spojeny s úvahami o statistické reprezentativnosti a na druhé straně s proveditelností testu v laboratoři. V důsledku tohoto kroku byly pro následnou analýzu ponechány údaje o 654000 km jízdy. Došlo tedy snížení počátečních údajů o 15 %. Databáze krátkých cest a volnoběhů byla použita k určení rozdělení krátké doby trvání cesty, průměrné rychlosti a trvání volnoběhu.

#### **5.3.1.4 Stávající statistika provozu**

Řízený cyklus byl vyvinut ze záznamu údajů („real world“) z různých regionů světa (EU, Indie, Japonsko, Korea, USA) spolu s vhodnými váhovými faktory. Regionální váhové faktory byly nezbytné k tomu, aby reprezentovaly jednotlivé regionální vlastnosti jízd při vývoji sjednocených distribucí a harmonizovaného cyklu. Váhy byly založeny na objemech dopravy (současná a plánovaná). K odvození takových váhových faktorů byla výchozím bodem národní statistika každé země.

#### **5.3.1.5 Stanovení regionálních váhových faktorů**

Statistická analýza byla zahájena na základě kategorie silničního typu (městské, venkovské, dálniční) podle definice v každém regionu. Aby se však dosáhlo požadované harmonizace, bylo nutné vyvinout WLTC podle rychlostních tříd místo kategorií a koncepcí silnic. Rychlostní třídy byly rozděleny na:

- nízké (L),
- střední (M),
- vysoké (H),
- mimořádně vysoké (Ex-H).

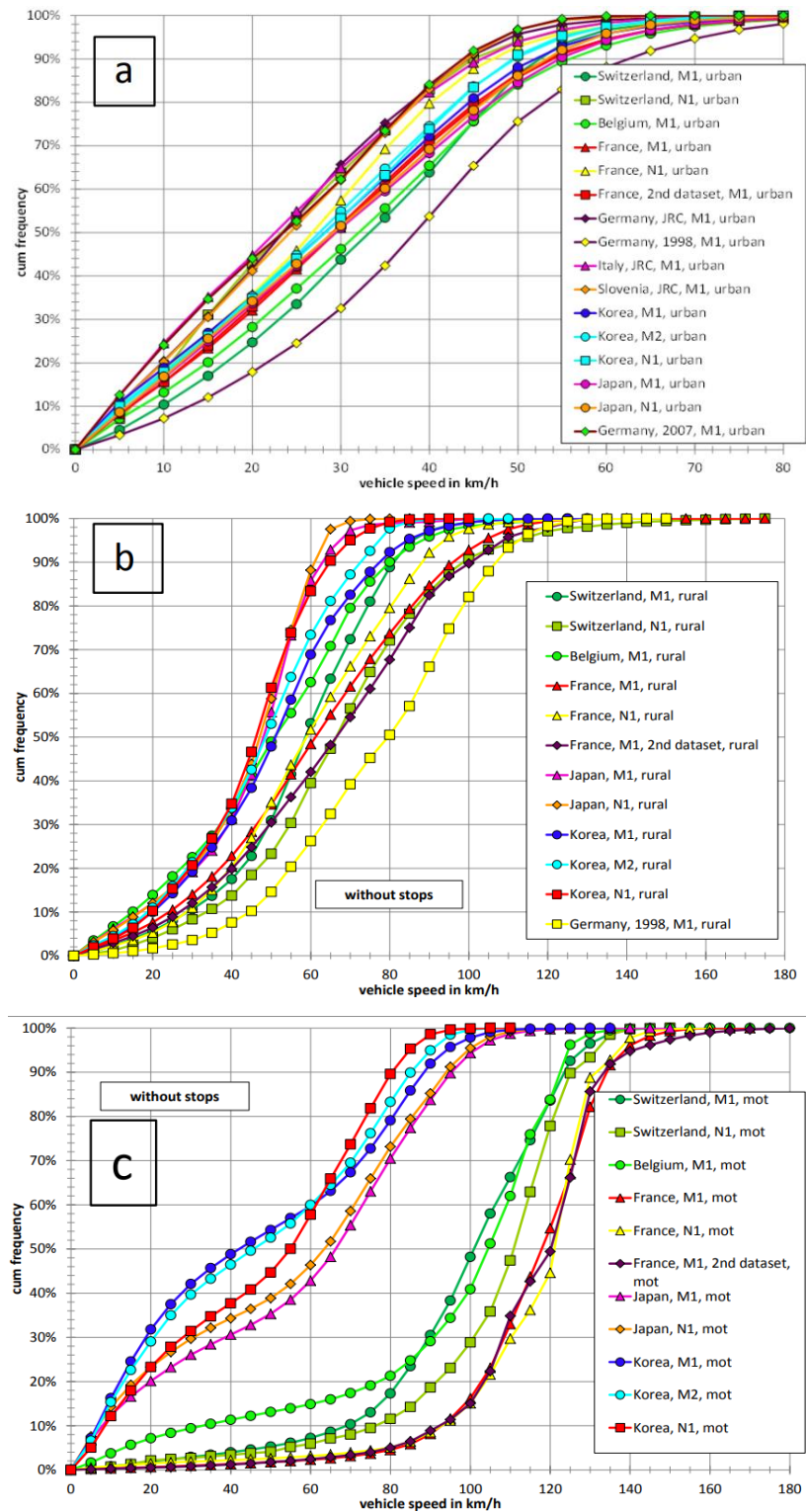
Tato rozdělení nahradila městskou, venkovskou a dálniční klasifikaci. Přechod z kategorií silnic na rychlostní fáze je popsán v následující části.

Regionální databáze (evropské, americké, japonské, indické a korejské) jsou vyjádřené v podobných kategoriích (nízké, střední, vysoké a mimořádně vysoké rychlosti). Proto mohly být sloučeny, aby byla získána jednotná databáze.

Vzhledem k tomu, že údaje o objemu provozu, které byly k dispozici, nebyly vyjádřeny jako rychlostní třídy L/M/H/Ex-H, ale v obvyklém formátu založeném na kategoriích silnic městské/venkovské/dálnice, byly přiděleny váhové faktory založené na kategoriích silnic pro jejich ekvivalentní hodnoty rychlostních tříd. Podrobnosti o odvození váhových faktorů z kategorií silnic do tříd rychlosti jsou uvedeny v části („Regionální váhové faktory“).

#### **5.3.1.6 Vývoj jednotné databáze**

Statistická analýza databáze krátkých cest a volnoběhů byla zahájena na základě kategorií silnic (městských, venkovských, dálnic) definovaných v každém regionu. Na obrázku níže je znázorněna kumulativní distribuce kmitočtu vozidel v různých zemích na základě městských, venkovských a silničních komunikací.



Obrázek 11: Kumulativní součet rychlostí vozidel v různých zemích na silnicích dle typu: městských (a), venkovských (b) a dálnic (c) [36]



Zatímco pro typ městské silnice je kumulativní součet rychlostí vozidel prokázán určitou mírou podobnosti, pro venkovskou silnici je nižší stupeň podobnosti a pro dálnici v kategorii existuje jasný rozdíl mezi Evropou na jedné straně a Japonskem a Koreou na straně druhé. Obrázek ukazuje, že 100 % kumulativního součtu rychlostí vozidel pro Japonsko a Koreu je dosaženo při rychlosti vozidla 80 km/h, zatímco ve všech evropských zemích je 100 % kumulativního součtu rychlostí dosaženo při rychlosti vozidla vyšší než 100 km/h. Na dálnicích je tento rozdíl ještě vyšší. Korea a Japonsko dosahují maximální rychlosti na dálnici ve 100 km/h, zatímco v Evropě je maximální rychlost 120 až 140 km/h. Tato rozdílnost byla dále potvrzena, když byly údaje o Indii a USA přidány do celosvětové databáze. Jak již bylo uvedeno v části „Stanovení regionálních váhových faktorů“, na základě této počáteční analýzy údajů se ukázalo, že kategorie silnic (městská, venkovská, dálniční) nemohla být použita pro vývoj harmonizovaného cyklu kvůli rozdílům v jejich definicích a rychlostech (Příloha III). Proto bylo nutné vytvořit cyklus WLTC na základě spíše rychlostních tříd než na základě kategorií silnic a koncepce nízké (L), střední (M) a vysoké (H) rychlostní fáze nahradila klasifikaci měst, venkova a dálnic. Dále bylo nutné rozdělit vysokorychlostní fázi na dva segmenty: jedna vysokorychlostní fáze s nejvyšší rychlostí reprezentující asijskou jízdu a jednu mimořádně vysokou rychlostní fázi (Ex-H) s maximální rychlostí, která je charakteristická pro evropské a americké jízdy. Použití stejných hodnot horních hranic rychlostí na všechny krátké cesty pro regionální databáze bez ohledu na kategorii silnic (městské, venkovské, dálniční) by znamenalo nepřesnosti. Například krátká cesta s maximální rychlostí pod 60 km/h byla zařazen do fáze nízké rychlosti, a to i když byla zaznamenána na dálnici. Když byly všechny regionální databáze reorganizovány tímto způsobem, vykazovaly jízdní charakteristiky různých regionů mnohem vyšší míru vzájemné podobnosti.

Maximální rychlost vozidel mezi fázemi L/M/H/Ex-H byla vybrána po provedení srovnávací studie různých kandidátních prahů (viz Příloha IV).

Podle metodiky popsané v části Metodika a vývoj jednotné databáze (Příloha I a Příloha II) jsou regionální databáze (evropské, americké, japonské, indické a korejské) vyjádřeny jako nízké, střední, vysoké a mimořádně rychlé fáze. Mimořádně rychlé fáze byly sloučeny, aby byla získána jednotná databáze.

Z jednotné databáze bylo možné odvodit jízdní charakteristiky z hlediska příslušných parametrů (např. rychlostí) a průměrných hodnot.

Součástí jednotné databáze byl také parametr RPA jako „pozitivní relativní zrychlení“. Je to důležitý parametr používaný pro charakterizaci cest vozidel a porovnání dynamiky každé fáze rychlosti mezi různými oblastmi. Je to součinitel zrychlení vozidla (výkon vozidla), vypočtený podle rovnice. (1).

$$RPA = \frac{1}{X} \int_0^T v(t) \cdot a^+(t) \cdot dt \quad (1)$$

„ $a^+(t)$ “ je okamžité zrychlení ( $m/s^2$ ) v čase  $t$  (zvažuje se pouze kladné zrychlení), „ $v(t)$ “ okamžitá rychlost vozidla ve stejnou dobu  $t$  ( $m/s$ ) a „ $X$ “ celková vzdálenost cesty ( $m$ ).

### 5.3.1.7 Vývoj počáteční verze WLTC

Maximální délka globálně harmonizovaného zkušebního cyklu byla nastavena na 1800 s, podobně jako WHDC a WMTC (světový harmonizovaný cyklus pro těžká vozidla a světový harmonizovaný cyklus pro motocykly). Toto trvání cyklu představuje přijatý kompromis mezi statistickou reprezentativností na jedné straně a opakovatelností testu v laboratoři na straně druhé. Délka každé fáze rychlosti byla stanovena na základě poměru objemu provozu mezi fázemi, jak uvádí Příloha I. Počet krátkých cest ( $N_{ST,i}$ ) v každé rychlostní fázi byl vypočten podle následujícího vzorce. Výsledné číslo (2) bylo zaokrouhleno na nejbližší celé číslo  $\geq 1$ .

$$N_{ST,i} = \frac{P_i - \bar{I}_i}{\bar{ST}_i + \bar{I}_i} \quad (2)$$

kde  $P_i$  je doba fáze,  $\bar{ST}_i$  je průměrná krátká doba trvání cesty a  $\bar{I}_i$  je průměrná doba volnoběhu.

Počet volnoběžných period ( $N_{I,i}$ ) pro každou rychlostní fázi byl vypočten jako:  $N_{I,i} = N_{ST,i} + 1$ .

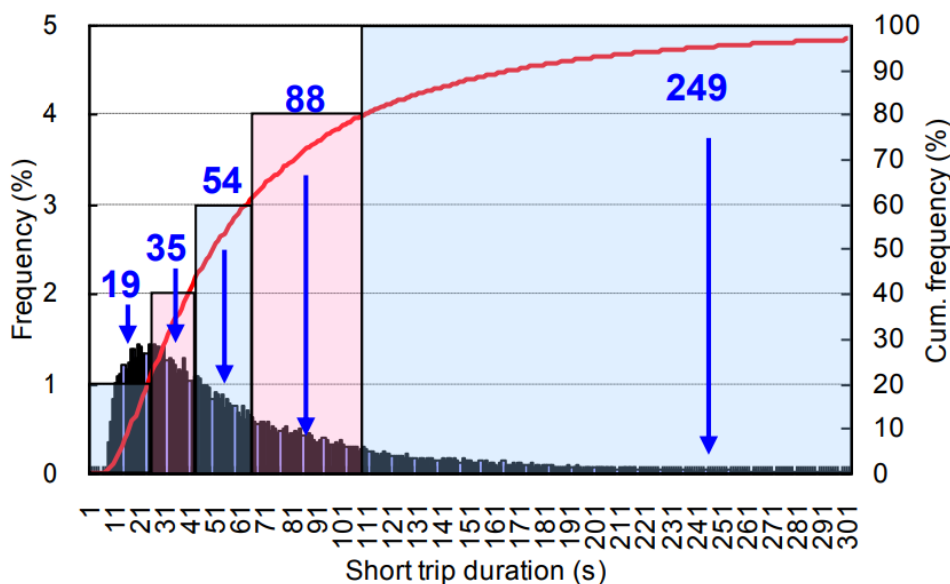
Tabulka 7 ukazuje pro každou rychlostní fázi (L/M/H/Ex-H) celkovou dobu trvání, průměrnou krátkou dobu trvání, průměrnou dobu volnoběhu, počet krátkých cest a počet volnoběhů.

	<b>Celková doba trvání fáze</b>	<b>Průměrná krátká doba trvání cesty</b>	<b>Průměrná doba trvání volnoběhu</b>	<b>Počet krátkých cest</b>	<b>Počet volnoběhu</b>
Nízký	589	84	22	5	6
Střední	433	238	22	1	2
Vysoký	455	446	23	1	2
Extra vysoká	323	824	14	1	2

Tabulka 7: Určení počtu krátkých cest a volnoběhu pro fáze L / M / V / Ex-H

Pro fáze s nízkou a střední rychlostí se počítá počet krátkých cest vypočítaných podle rovnice. (1) je vyšší než 1, zatímco u fází s vysokou a velmi vysokou rychlostí je toto číslo menší než 1 (přibližující se jedné). Použití rovnice (1) pro výpočet počtu krátkých cest bylo možné pouze pro fáze s nízkou a střední rychlostí, zatímco u fází s vysokou a mimořádně vysokou rychlostí byl počet krátkých cest nízký, protože jejich průměrné trvání krátké jízdy (získaná z jednotné databáze a uvedená v tabulce 7) bylo delší než celková délka jejich fází.

Pro stanovení trvání pěti krátkých cest ve fázi nízké rychlosti byl generován kumulativní frekvenční graf krátké doby trvání cesty (viz Obrázek 12 níže). „Y“ osa byla rozdělena na pět stejných částí s výběrem průměrné hodnoty v každé části. Délky krátkých cest jsou  $(ST)_1 = 19$  s,  $(ST)_2 = 35$  s,  $(ST)_3 = 54$  s,  $(ST)_4 = 88$  s,  $(ST)_5 = 249$  s. Podobný postup byl použit pro stanovení doby trvání volnoběhu. Tabulka níže ukazuje krátké cesty a trvání volnoběhu stanovené pro každou rychlostní fázi jízdního cyklu WLTC.



Obrázek 12: Kumulativní rozdělení frekvence krátké doby trvání v nízko rychlostní fázi [36]

Rychlost fáze	Počet krátkých cest	Krátká doba trvání cesty	Počet období volnoběhu	Doba trvání volnoběhu	Celková doba trvání
Nízký	5	19/35/54/88/249	6	2/5/11/22/38/66	589
Střední	1	385	2	11/37	433
Vysoký	1	428	2	4/23	455
Extra vysoká	1	317	2	1/5	323

Tabulka 8: Počet krátkých cest a volnoběžek a jejich délka pro každou fázi WLTC vers.1

Skutečně krátké cesty pro WLTC byly vybrány ze sjednocené databáze. Kritéria výběru byla založena na konceptu, že příslušná kombinace krátkých cest musí poskytnout podobné rozdělení rychlosti, zrychlení atd. vůči těm subjektům, které jsou v jednotné databázi. Toho bylo dosaženo provedením  $\chi^2$  analýzy. Metoda  $\chi^2$  zjišťuje míru neshody mezi dvěma vzorky. V tomto případě mezi jednotnými rozděleními a vybranými kombinacemi krátkých cest. Vzhledem k velkému počtu možných kombinací (celkem  $10^{13}$ ) se určilo několik předběžných výběrových kritérií. Jednalo se o průměrnou rychlost, průměrné zrychlení a poměr zrychlení a zpomalení. Tímto způsobem byly vyloučeny některé krátké cesty s extrémními charakteristikami. Počet

kombinací byl snížen na  $10^7$  a jejich následná analýza  $\chi^2$  dosáhla přiměřeného výpočetního času. Pro jízdní cyklus WLTC vers.1 byla vybrána kombinace krátkých cest s nejmenší hodnotou  $\chi^2$ .

Na základě výše popsané metodiky byla vyvinuta počáteční verze celosvětově harmonizovaného zkušebního cyklu. Cyklus se skládal ze čtyř fází (nízké, střední, vysoké a mimořádně vysoké) o délce 22,7 km a dobou trvání nad 1800 s. Příloha IV ukazuje rychlostní profil WLTC vers.1. První krátká cesta ST4 (88 s) a první doba volnoběhu (11 s) jízdního cyklu byly vybrány jako nejreprezentativnější z prvních krátkých cest a prvního volnoběhu, jak je stanoveno v samostatné statistické analýze. Pořadí ostatních krátkých cest ve fázi nízké rychlosti bylo nastaveno náhodně. Také krátké cesty s nejnižšími rychlostmi byly spojeny s nejdelšími obdobími volnoběhu, které odrážejí dopravní kongesce („start-stop jízda“). Charakteristiky jízdního cyklu WLTC vers.1 shrnuje Tabulka 9.

	Doba trvání cyklu	Ujetá vzdálenost (km)	Průměrná rychlost (km/h)	Poměr volnoběhu (%)	Maximální rychlost (km/h)	RPA (m/s <sup>2</sup> )	$\chi^2$ -hodnota
<i>Celosvětová sjednocená charakteristika</i>							
Nízký	–	–	19.8	24.5	60.0	0.192	–
Střední	–	–	38.4	12.2	80.0	0.188	–
Vysoký	–	–	58.0	6.0	110.0	0.156	–
Ex-Vysoký	–	–	86.8	2.0	194.7	0.108	–
Celkový	–	–	45.9	12.8	194.7	0.167	–
<i>WLTC 1.</i>							
Nízký	589	2.98	18.2	26.3	50.9	0.165	0.244
Střední	433	5.01	41.6	11.1	72.5	0.155	0.629
Vysoký	455	7.01	55.5	7.0	97.4	0.144	0.962
Ex-Vysoký	323	7.72	86.0	1.5	132.0	0.127	5.312
Celkový	1800	22.72	45.4	13.3	132.0	0.144	0.738

Tabulka 9: Charakteristiky celosvětového zkušebního cyklu pro lehká vozidla (WLTC) vers.1

### 5.3.1.8 *Validace a úpravy WLTC vers.1*

WLTC vers.1 byl testován v několika laboratořích všech zúčastněných regionů na různých kategoriích vozidel (M1, M2 a N1) s různými objemy motorů a různými poměry výkonů vůči hmotnosti, aby se zjistila ovladatelnost a opakovatelnost cyklu. Na základě zkušeností shromážděných během těchto testů byl cyklus upraven různými způsoby:

- Body zrychlení byly přezkoumány na základě připomínek zúčastněných laboratoří.
- Maximální zpomalovací hodnoty byly nastaveny na - 5,31 km/h, považované za vhodnou hodnotu pro zabránění zablokování kol a/nebo pro nedostatek výkonu brzd.
- Minimální rychlost cyklu byla nastavena na 12 km/h kvůli problémům s opakovatelností u nižších rychlostí.
- „Malé přechody“ (malé fluktuace rychlostí) byly vyhlazeny, aby se zlepšila ovladatelnost cyklu.

Fáze mimořádné vysoké rychlosti: Výběr fáze rychlosti Ex-Vysoký jako jediné krátké cesty extrahované z jednotné databáze se ukázal být neřiditelný a dostatečně nereprezentativní pro charakteristiky fáze mimořádné rychlosti. Vzhledem k tomu, že jeho trvání 317 s (jak bylo určeno metodou popsanou dříve) bylo příliš malé ve srovnání s krátkými cestami z jednotné databáze v reálném světě, byla rychlostní fáze Ex-Vysoký přepracována modifikovanou metodikou založenou na kombinaci různých extrahovaných částí od skutečných krátkých cest. Kombinaci částí tvořících fázi Ex-Vysoký vyhovovaly nejlépe charakteristiky (maximální rychlost, průměrná rychlost, poměr hmotnosti na výkonu a průměrná akcelerace).

### 5.3.1.9 *Konečná verze cyklu*

Během ověřovací fáze zkušebního cyklu bylo také zjištěno, že u některých kategorií vozidel nebylo možné se řídit cyklem. Proto bylo nutné přizpůsobit zkušební cyklus třem třídám vozidel (třída 1, třída 2 a třída 3) různých kategorií vozidel dle poměru výkonu ku hmotnosti. Počáteční WLTC byl zařazen do nejvyšší kategorie poměru výkonu ku hmotnosti (třída 3) a byly zavedeny dva dodatečné zkušební cykly pro dvě kategorie vozidel (třída 2 a třída 1) s nižším poměrem výkonu ku hmotnosti.

Tyto dva dodatečné zkušební cykly byly získány z prvního zkušebního cyklu a to použitím faktoru snížení rychlosti a zrychlení. Snížení muselo být dostatečné, aby byl cyklus kompatibilní

se skutečnou hodnotou poměru výkon ku hmotnosti vozidel třídy 1 a třídy 2. To byla testováno stejným způsobem jako u původní verze WLTC s opakováním validačních fází a změnami rychlostí, dokud nebylo nalezeno uspokojivé řešení.

V rámci třídy WLTC 3 (poměr výkon ku hmotnosti  $> 34 \text{ kW/tun}$ ) existují dvě verze cyklu WLTC. Verze 3.1 pro vozidla s maximální rychlostí menší než  $120 \text{ km/h}$  a verze 3.2 pro vozidla s maximální rychlostí vyšší než  $120 \text{ km/h}$ .

Třída WLTC 2 ( $22 \text{ kW/tun} < \text{poměr výkon ku hmotnosti} \leq 34 \text{ kW/t}$ ) je určena pro vozidla s nižší energií. Má čtyři rychlostní fáze jako WLTC třída 3, ale s nižšími zrychleními a nejvyššími rychlostmi v každé fázi.

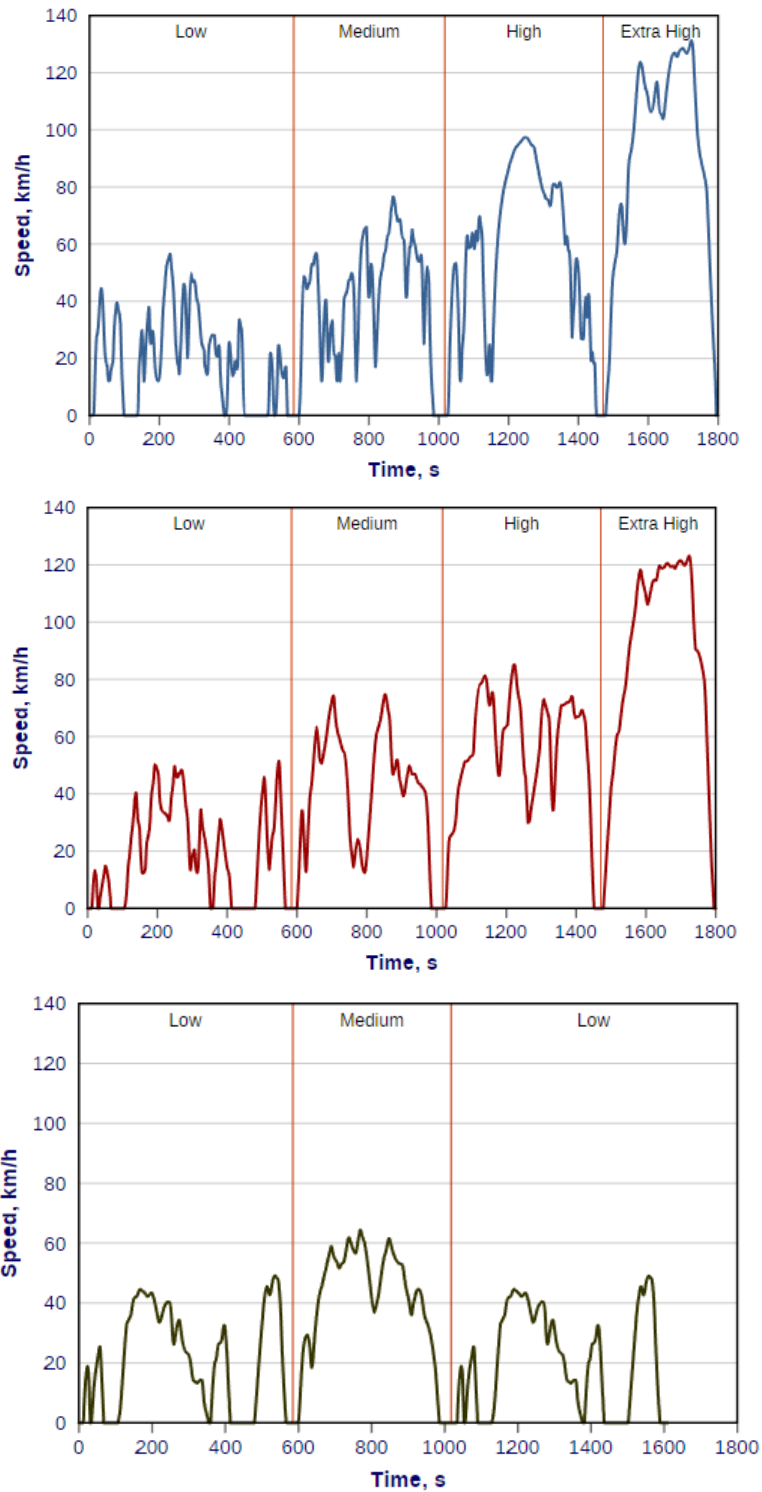
WLTC třída 1 (poměr výkon ku hmotnosti  $\leq 22 \text{ kW/t}$ ) se použije u vozidel s nejnižším poměrem výkon ku hmotnosti a je navržen tak, aby měla pouze nízké a střední rychlostní fáze.

Vybrané jízdní charakteristiky a profily rychlosti a zrychlení vozidla WLTC třídy 3, třídy 2 a třídy 1 uvádí Tabulka 10 a Obrázek 13 (níže).

WLTC	Fáze (s)	Doba trvání (s)	Doba stání (s)	Vzdálenost (km)	Poměr volnoběhu (%)	Maximální rychlost (km / h)	Průměrná rychlost (bez zastávky) (km / h)	Průměrná rychlost (se zastavením) (km / h)	RPA (m/s <sup>2</sup> )
Třída 3	Nízký	589	156	3.09	24.8	56.5	25.7	18.9	0.2046
	Střední	433	48	4,76	10.6	76.6	44,5	39.2	0.1904
	Vysoký	455	31	7,16	6.4	97.4	60,8	56,7	0.1223
	Ex-Vysoký	323	7	8.25	1.5	131.3	94.0	92.0	0.1249
	WLTC	1800	242	23.27	12.6				
Třída 2	Nízký	589	155	3.10	24.6	51.4	25.7	19.0	0.1605
	Střední	433	48	4.73	10.6	74.7	44.3	39.4	0.1236
	Vysoký	455	30	6.79	6.2	85.2	57.5	53.7	0.1218
	Ex-Vysoký	323	7	8.01	1.5	123.1	91.4	89.4	0.0913
	WLTC	1800	240	22.64	12.4				
Třída 1	Nízký	589	154	3.33	24.4	49.1	27.6	20.4	0.0908
	Střední	433	48	4.76	10.6	64.4	44.6	39.6	0.0743
	WLTC	1022	202	8.09	18.4				

Tabulka 10: Jízdní charakteristiky WLTC třídy 1, třídy 2 a třídy 3.





Obrázek 13: Grafické znázornění WLTC cyklu pro třídy 3, 2 a 1 [27]

WLTC musí splňovat dva poněkud protichůdné požadavky: na jedné straně statistickou reprezentativnost jednotné databáze; na druhé straně se musel vypořádat s testovacími

omezeními (trvání, ovladatelnost, opakovatelnost). Z tohoto pohledu se WLTC ukázal jako nejlepší možný kompromis, neboť jakákoli další změna jeho profilu rychlosti ukázala určité zhoršení jednoho nebo obou aspektů. WLTP je téměř vždy velmi blízko ke sjednocené databázi a její parametry jsou mezi odpovídajícími parametry jednotné a regionální databáze. Regionální databáze byly váženy a zprůměrovány tak, aby získaly jednotnou databázi. Proto se nacházejí na obou stranách sjednocené databáze s odchylkou, která je úměrná jejich rozdílu s jednotnou databází. Charakteristiky regionálních databází ukázaly, že z hlediska klesající dynamiky je možné je definovat jako:

- USA (nejdynamičtější jízdni chování),
- Evropa,
- Asie (nejméně dynamické jízdni chování).

Vzhledem k tomu, že evropská databáze se vyskytuje zhruba uprostřed mezi dynamičtější databází USA a nižší dynamickou asijskou databází (Indie, Japonsko a Korea), je tedy blíže k jednotné databázi a tím k WLTC. Databáze USA a Asie jsou o něco vzdálenější od WLTC. Tento kompromis však byl nevyhnutelný k dosažení primárního cíle projektu WLTC, který spočíval v návrhu celosvětově harmonizovaného jízdniho cyklu.

### 5.3.2 RDE

Zkouška reálných jízdniích emisí (RDE) měří znečišťující látky, které jsou emitovány vozidly v běžných jízdniích podmínkách v reálném provozu. Tento test je součástí zkušební procedury WLTP a je nutný pro měření emisí, aby bylo zajištěno splnění předpisů normy Euro6.

Výhodou RDE je, že může testovat věci, které WLTC nemůže – jako jsou povětrnostní podmínky, užitečné zatížení vozidla a různé způsoby řízení. Výsledky RDE budou použity ve spojení s laboratorně řízenými testy WLTC pro výpočet přesnějších údajů o spotřebě paliva a emisích pro každý jednotlivý typ vozidla.

První etapa se technicky uplatňuje na všechny nové vozy, u kterých byla zahájena výroba od 1. září 2017 a pak všechna automobily od září 2019

RDE test (známý jako etapa 2 nebo RDE2) bude povinný pro všechny nové vozy v Evropě od roku 2021.

Zkušební testy RDE jsou podřízeny protokolu o shodě. To dovoluje rozpětí chyb při zohlednění skutečnosti, že současná výkonnost zařízení PEMS není konstantní. Faktor shody je definován jako "nepřekračovat limit", který bere v úvahu rozpětí pro chybu. Rozsah chyb v kroku 1 umožňuje vozidlům vydávat 2,1násobek limitu. V kroku 2 se však sníží na 1,5násobek limitu.

Tato zkušební metoda je navržena tak, aby zjistila, jaké mají automobily emise v reálném provozu namísto hodnotám naměřených ve zkušební laboratoři.

Zkouška touto metodou je prováděna na veřejných komunikacích a s širokou škálou různých režimů. Ty zahrnují vysokou a nízkou nadmořskou výšku, celoroční teploty, stoupání a klesání s přidáním zátěží a různými rychlostmi, které simulují řízení v městském provozu, mimoměstském provozu a na dálnici.

### **5.3.2.1 Měřicí zařízení**

Testování na silnici PEMS může být účinnější než testování na náhodném cyklu při omezování emisí znečišťujících látek, protože umožňuje pokrýt větší škálu jízdních podmínek a je zřejmě účinnější při odhalování případného nesouladu produkce emisí mezi laboratorním měřením a reálným provozem.

Pomocí technologie PEMS je možné ověřit výkonnost technologií pro regulaci emisí v širokém spektru běžných provozních podmínek, jakož i vhodnou platformu pro testování emisí nových paliv, motorů, vozidel po úpravě a hybridních vozidel.

Vybavení instalované na vozidle – Přenosný systém řízení emisí (PEMS) - shromažďuje údaje o vypuštěných znečišťujících látkách a ty jsou kontrolovány, zda nedošlo k překročení limitů.

Jak již bylo dříve řečeno, měřicí zařízení PEMS není tak přesné jako laboratorní systém, protože výsledky jsou ovlivněny různými faktory. V praxi to znamená, že výrobci automobilů musí stanovit své cíle v oblasti emisí značně pod zákonnou hranicí, aby si byli jisti, že splní své požadavky. Vzhledem k tomu, že tedy nejsou zařízení PEMS tak přesná, takže nebudou měřit na stejnou úroveň opakovatelné přesnosti jako laboratorní test.

### 5.3.2.2 Hlavní kritéria pro měření

Požadavky na hlavní testovací cestu pro cyklus RDE jsou popsány v nařízení Komise (EU) 2016/427. Požadavky na dynamiku cest jsou popsány v nařízení Komise (EU) 2016/646.

- Cesta při které bude testováno vozidlo se musí vejít do časového rozsahu 90-120 minut.
- Cesta musí obsahovat určité podíly městské, mimoměstské a dálniční jízdy. Emise (nebo faktory shodnosti) se tedy vztahují na řadu okolních a jízdních podmínek.
- Dále je nutné, aby při testování nebyla jízda příliš agresivní nebo naopak příliš volná (jízda se musí vejít do 95. percentilu rychlostí a zrychlení). V opačném případě nelze považovat takové testování za platné.
- Maximální změna nadmořské výšky je stanovena 100 metrů.
- Teplota se musí pohybovat od 0 °C do 30 °C.
- Minimální délka testu je 16 km pro každou z částí (městská, mimoměstská a dálniční)
- Průměrná rychlost v městské části od 15 km/h do 40 km/h. V mimoměstské a na dálniční části není omezeno.
- Rychlost nesmí překročit 100 km/h v posledních 5 minutách testu.
- Počet zastavení v městské části > 10. V mimoměstské a na dálniční části není omezeno.
- Maximální rychlosti v městské, mimoměstské a dálniční části (60,90,145) km/h.
- Zkouška by měla být dokončena bez přerušení.
- Zkoušení probíhá za běžného provozu.
- Měřit se začíná po dosažení teploty chladicí kapaliny  $\geq 70$  °C nebo po 5 min od nastartování motoru.

Po splnění všech kritérií jsou následně data zpracovávána jednou z dvou metod:

- 1) EMROAD
- 2) CLEAR

Hodnota výstupních emisí musí být nižší než limit NTE. [11], [18], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34]

## 6 Teoretické porovnání NEDC a WLTP

Z důvodu že zkušební postup při měření metodou NEDC je dosti zastaralý, nelze tento postup měření s WLTP kompletně porovnat, protože NEDC je v mnoha ohledech velice benevolentní a nepřesné. Lze ale porovnat rozdíly základních charakteristik. Samotné popisy zkušebních postupů jsou popsány v kapitole 5 a protože nelze kvůli velkému rozsahu vypsát všechny rozdíly, tak jen ty nejdůležitější jsou shrnuty níže.

- Zatímco NEDC je jen samotný jeden cyklus s několika periodicky opakujícími se částmi, WLTC je více dynamický cyklus a je více reprezentativní s ohledem vůči skutečnému provozu.
- Délky testů se vzájemně liší. Zatímco u NEDC je tato doba trvání cyklu stanovena na 20 min, u WLTC je cyklus delší a dosahuje celkové doby trvání 30 min.
- Stejně jako u delší doby trvání cyklu WLTC, tak ujetá vzdálenost je také mnohem delší a to více jak o dvojnásobek. U NEDC jetedy stanovena na 11 km a WLTC má tuto délku 23,25 km.
- Vzrostl také počet fází. NEDC se skládá z 2 fází, kdy 66 % cyklu představuje jízdu v obydlené oblasti a 34 % představuje oblast neobydlenou. WLTC má fáze 4. Tyto fáze jsou celkově více dynamické. Obydlená oblast představuje 52 % cyklu a 48 % představuje oblast neobydlená.
- Cyklus WLTC je celkově provozován ve vyšších rychlostech. Průměrná rychlost u NEDC je 34 km/h a maximální rychlost je 120 km/h. U WLTC je průměrná rychlost 46,5 km/h a maximální je 130 km/h.
- Dalším rozdílem mezi NEDC a WLTC je, že u NEDC není brán zřetel na další příslušenství a zařízení v automobilu, které může mít vliv na konečnou spotřebu. U WLTC se toto příslušenství a zařízení bere v úvah, protože taková výbava vozu se může u každého vozu lišit.
- Velkým rozdílem je volba převodových stupňů. Zatím co u NEDC jsou okamžiky pro přeřazení jasně dány pro všechna vozidla stejně, tak u WLTC se již bere zřetel na výkon vozidla. To znamená, že různé motorizace vozidel mají vzájemně stanoveny rozdílné okamžiky pro přeřazení rychlostních stupňů.

- Laboratorní teplota u testu NEDC se může pohybovat mezi 20-30 °C. U WLTC je předepsaná teplota 23 °C. Konečná hodnota CO<sub>2</sub> je později upravena pro teplotu 14 °C.  
[35]

## 7 Laboratorní porovnání

Aby byly zjištěny rozdíly obou jízdních cyklů, bylo vybráno vozidlo a to bylo změřeno pomocí obou metod, čímž vznikla možnost porovnání reálného dopad obou postupů.

### 7.1 Testované vozidlo, zařízení pro testování a testovací metoda

Škoda Octavia 2.0 FSI se čtyřválcovým atmosférickým motorem. Detailní technické specifikace vozidla uvádí Tabulka 11.

<b>Motor, převodovka</b>	
Druh motoru	řadový
Umístění motoru	vpředu napříč
Příprava směsi	zážehový motor s přímým vstřikem
Přepřehování	není
Poháněné nápravy	přední
Převodovka	manuální
Počet rychl. Stupňů	6
Druh paliva	Natural 98 (95)
Zdvuhový objem	1984 ccm
Počet válců	4
Počet ventilů	16
Točivý moment	200 Nm při 3500 min <sup>-1</sup>
Výkon	110 kW při 6000 min <sup>-1</sup>
Emisní limit	Euro 4
<b>Fyzické parametry</b>	
Pohotovostní hmotnost	1385 kg
Užitečná hmotnost	585 kg
<b>Jízdní parametry</b>	
Maximální rychlost	212 km·h <sup>-1</sup>
Zrychlení 0-100 km·h <sup>-1</sup>	9,4 s
Spotřeba paliva	10,5/5,9/7,6 (litrů·100 km <sup>-1</sup> ) *
<b>Testované vozidlo</b>	
Rok výroby	2004
Stav tachometru	50 358 km

Tabulka 11: Technické údaje Škoda Octavie 2.0 FSI \* Hodnoty spotřeby paliva jsou udávána výrobcem a byla naměřena metodou NEDC.

Vozidlo bylo testováno pomocí válcového dynamometru, jehož technické parametry uvádí Tabulka 12. Nastavení setrvačníků bylo provedeno na 1467,5 kg. Setrvačníky simulují „Dynamické síly při zrychlování a zpomalování vozidla“. Tato hodnota je závislá na hmotnosti vozidla. Jízdní odpory vozidla jsou simulovány stejnsměrným motorgenerátorem a vířivým dynamometrem.

Stejnsměrný motorgenerátor	Maximální brzdňý výkon 56 kW Maximální brzdňý moment 305 Nm Maximální otáčky 3 000 min <sup>-1</sup>
Vířivý dynamometr	Maximální brzdňý výkon 125 kW Maximální brzdňý moment 478 Nm Maximální otáčky 8 000 min <sup>-1</sup>
Tensometr	Jmenovité zatížení: 2 kN Přesnost: 0,5 % jmenovitého zatížení Reprodukovatelnost: 0,05 %
Nastavitelné setrvačníky	Základní hmotnost: 680 kg Další nastavitelné zatížení: 900 kg, 450 kg, 225 kg, 120 kg, 112 kg.

Tabulka 12: Parametry válcového dynamometru

K měření emisí byl použit VMK emisní analyzátor. Analyzátor měří metodou bez rozptylového infračerveného paprsku (NDIR) se schopností detekce emisí CO, CO<sub>2</sub>, HC a elektrochemických buněk pro měření O<sub>2</sub> a NO<sub>x</sub>. Zaznamenávací frekvence analyzátoru je 1 Hz a data jsou dále ukládána na paměťovou kartu. Měřicí koncovka analyzátoru se umísťuje do výfukového ústrojí měřeného automobilu. Technická data analyzátoru shrnuje Tabulka 13.

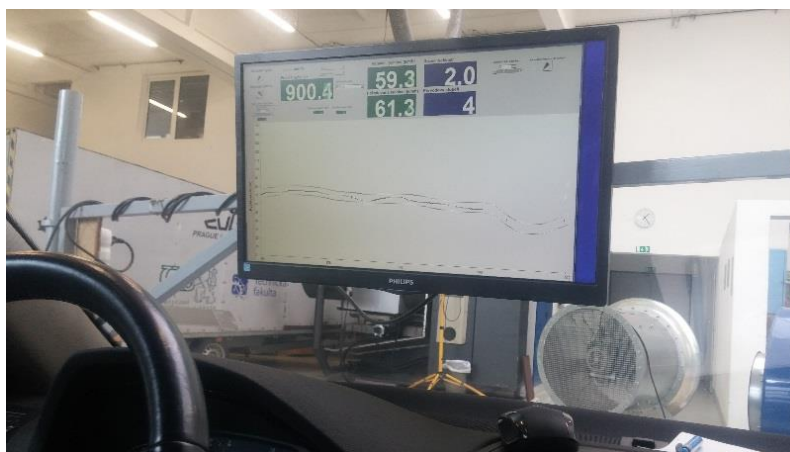
Měřené hodnoty	Měřicí rozsah	Rozlišení	Přesnost
CO	0 ... 10 % Objemu	0,001 % Objemu	0 ... 0,67 % absolutní, 0,67 ... 10 %: 3 % měřených hodnot
CO <sub>2</sub>	0 ... 16 % Objemu	0,01 % Objemu	0 ... 10 %: 0,3% absolutní, 10 ... 16 %: 3% měřených hodnot
HC	0 ... 20 000 ppm	1 ppm	10 ppm nebo 5 % měřených hodnot
NO <sub>x</sub>	0 ... 5 000 ppm	1 ppm	0 ... 1000 ppm: 25 ppm, 1000 ... 4000 ppm: 4% měřených hodnot
O <sub>2</sub>	0 ... 22 % Objemu	0,1 % Objemu	0 ... 3 %: 0,1 % 3 ... 21 %: 3 %

Tabulka 13: Technické parametry mobilního emisního analyzátoru



Během měření byla data nahrávána z řídicí jednotky přes OBD rozhraní (otáčky motoru, zatížení motoru, rychlost vozidla, hmotnostní tok nasávaného vzduchu, teplota nasávaného vzduchu). Pro komunikaci a nahrávání dat z řídicí jednotky bylo použito diagnostické zařízení VAG-COM.

Instrukce testovacímu řidiči byly podávány prostřednictvím vzdálené obrazovky počítače umístěné v jeho zorném poli viz Obrázek 14 níže. Zdrojem instrukcí je počítačová aplikace, která bude popsána později.



Obrázek 14: Vzdálená plocha s instrukcemi testovacímu řidiči

Pro testování byl dále použit ventilátor simulující proudění vzduchu. Rychlost proudění vzduchu z ventilátoru koresponduje s rychlostí válců dynamometru potažmo rychlostí vozidla.

Hmotnostní úbytek paliva byl zaznamenávám prostřednictvím laboratorní váhy ViBRA.

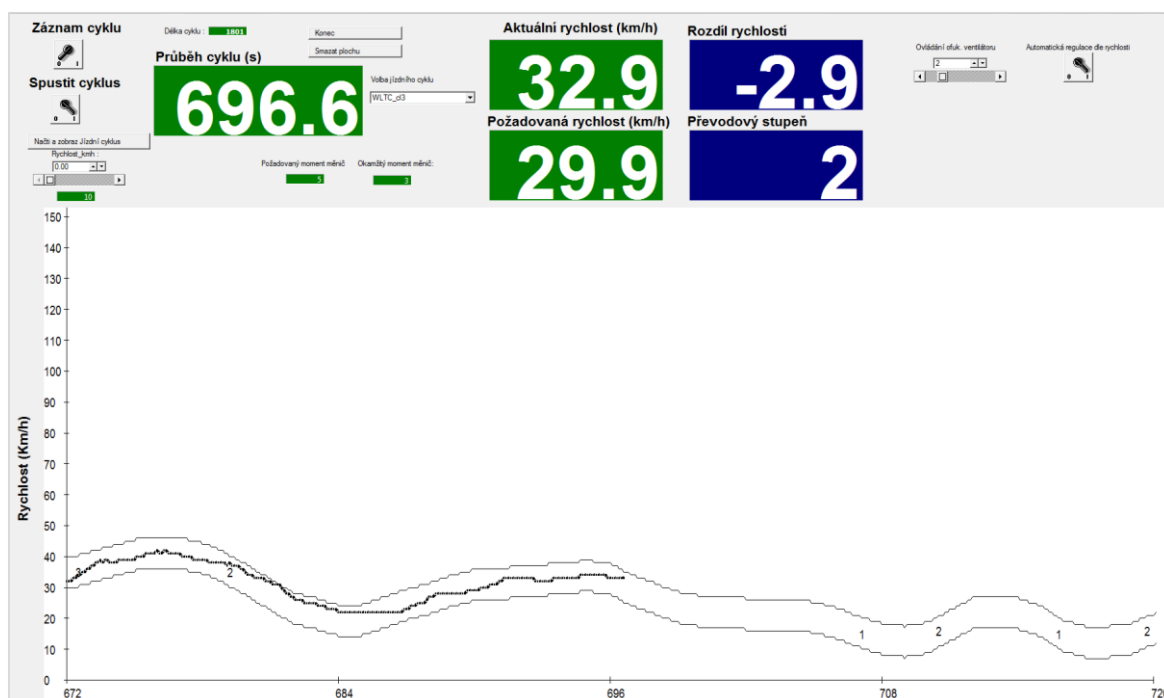
## 7.2 Aplikace pro měření jízdních cyklů

Tato aplikace obsahuje vnesená data jednotlivých cyklů (NEDC, WLTC cl 3, aj...).

Základem aplikace je „x“ osa zobrazující čas v sekundách a „y“ osa zobrazující rychlost v kilometrech za hodinu viz Obrázek 15 níže. V aplikaci jsou integrovány průběhy měřících cyklů. Průběh je definován jako křivka rychlosti tzv. požadovaná rychlost. Tato křivka je definována po celou dobu od začátku až do konce testovacího cyklu a v aplikaci není zobrazena. Od této křivky se odvíjí horní a dolní toleranční mez. Odchylna obou mezí je 5 km/h od křivky požadované rychlosti.

Další nezbytnou funkcí aplikace pro úspěšné měření jsou informace o převodových stupních. Zobrazuje se jak aktuální potřebný převodový stupeň, tak v předčasném předstihu okamžik, kdy musí být zvolen převodový stupeň jiný a informace s hodnotou tohoto stupně. V případě měřicího cyklu NEDC jsou data již předem definována v této aplikaci. V případě WLTC jsou data při zvolení testovacího vozidla externě zanesena do programu. Důvodem je, že u NEDC jsou okamžiky přeražení jasně legislativně definovány v určitých okamžicích, zatímco u WLTC se okamžiky řazení odvíjí od výkonu vozidla. V praxi to znamená, že vozidla s různými výkonnostními parametry budou mít odlišné okamžiky pro řazení jednotlivých stupňů.

Aplikace také umožňuje nahrávání průběhu testování.



Obrázek 15: Rozhraní aplikace pro měření jízdních cyklů

### 7.3 Příprava pracoviště

Teplota ve zkušební laboratoři byla nastavena na 23 °C. Bylo tak učiněno již o den dříve, aby před začátkem testu bylo vozidlo temperováno na teplotu zkušební laboratoře. Před začátkem měření bylo testované vozidlo ustaveno na válce dynamometru a z bezpečnostních důvodů ukotveno pomocí tažných ok. Ventilátor byl umístěn do předepsané vzdálenosti před automobil a byl nasměrován na čelní část automobilu. Měřicí koncovka VMK

emisního analyzátoru byla umístěna do výfukového potrubí automobilu. K výfuku byla také přivedena hadice sloužící k odtahu exhalací mimo zkušební laboratoř. Připravené palivo se nalilo do odměrné baňky a ta se umístila na laboratorní váhu ViBRA. Hadice k palivovému čerpadlu byla odpojena od nádrže automobilu a byla zavedena do baňky, ve které bylo palivo k testování (Natural 95). Zavedení hadice palivového systému vozidla bylo provedeno tak, aby se při měření nedotýkala baňky, ve které je palivo a tak nevznikala chyba při odečtu hmotnosti. Protože nastavení setrvačnicků válcového dynamometru se odvíjí od hmotnosti vozidla, byly nastaveny kombinací několika setrvačnicků na konečnou hodnotu 1467,5 kg (680+225+450+112,5). Do zorného pole řidiče byla umístěna vzdálená plocha od počítače se spuštěnou aplikací pro měření jízdních cyklů.

Zařízení a testovaný automobil připravené k testování jsou zachyceny na Obrázek 16 níže.



*Obrázek 16: Zkušební pracoviště*

## 7.4 Měření

Před začátkem měření bylo nutné nastartovat motor automobilu a zapnout záznam VMK emisního analyzátoru. Následovalo spuštění průběhu cyklu v aplikaci s jejím průběhem. Test začínal při zařazeném neutrálu a nulové rychlosti. Testovací řidič se dále po celou dobu testu držel instrukcí aplikace. Instrukce spočívaly v předepsané rychlosti a předepsaném převodovém stupni, jak už bylo řečeno dříve. Takto testovací řidič postupoval až do konce testu. V případě

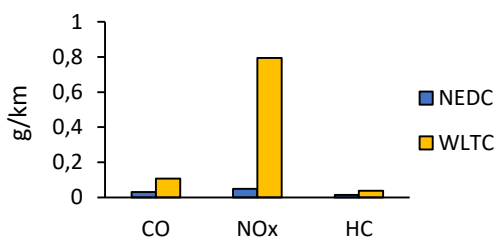
NEDC byla předepsaná délka 1180 sec a v případě WLTC 1800 sec. Po dokončení testu se vypl motor automobilu a uložila naměřená data.

## 7.5 Výsledky a diskuze

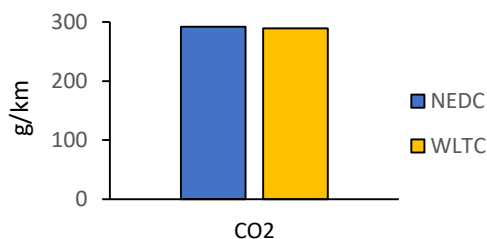
Grafickou závislost průběhu měření cyklů NEDC a WLTP zobrazují a . Při pozorování provedených měření jasně plyne výrazný rozdíl jak co do objemu emisí, tak i spotřeby paliva mezi cykly NEDC a WLTC. Jak je možné pozorovat z Tabulky 14 a Obrázku 18, u WLTC došlo ke zvýšení hodnot vyprodukovaných spalovacím motorem na jeden kilometr u CO, NO<sub>x</sub> a HC. Jediná složka, která se snížila, bylo CO<sub>2</sub> viz obrázek 18. CO vzrostlo o 68 % v porovnání WLTC s NEDC. U oxidů dusíku se rovněž množství zvýšilo ovšem tentokrát o 647 % v neprospěch WLTC. Nespálené uhlovodíky se také zvýšily, ty však pouze o 20 %.

	CO [g·km <sup>-1</sup> ]	CO <sub>2</sub> [g·km <sup>-1</sup> ]	NO <sub>x</sub> [g·km <sup>-1</sup> ]	HC [g·km <sup>-1</sup> ]
NEDC	0,065	292	0,108	0,0312
WLTP	0,109	289	0,807	0,0376

Tabulka 14: Srovnání hodnot CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a HC



Obrázek 17: Množství CO, NO<sub>x</sub> s HC na 1 km



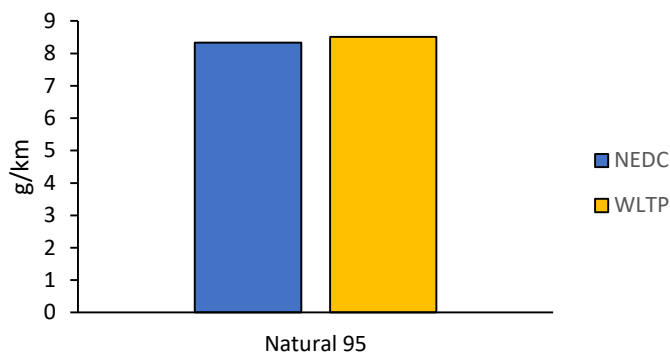
Obrázek 18: Množství CO<sub>2</sub> na 1 km

Spotřeba paliva při porovnání obou cyklů byla u WLTC vyšší o 0,18 l/100 km viz Tabulka 15 a obr. 19. Při přepočtu na procenta tedy nárůst činí přibližně 2 %. Co je ale mnohem zajímavější, je rozdíl mezi udávanou spotřebou výrobcem (měřeno dle NEDC) a spotřebou naměřenou ve školní laboratoři. Výrobce udává kombinovanou spotřebu 7,6 l/100 km. Spotřeba naměřená podle stejného cyklu ve školní laboratoři je 8,33 l/100 km. Nárůst spotřeby oproti té, co udává výrobce je 0,93 l/100 km což je nárůst o 9,6 %.

Při porovnání výsledků měření s emisní normou Euro 4, což je norma kterou by vozidlo mělo splňovat, tak zjistíme, že vozidlo splňuje hodnoty škodlivin pro CO a HC v obou testovacích cyklech. U obou cyklů, ale vozidlo nespĺňuje hodnoty NO<sub>x</sub>. V případě NEDC je tato hodnota překročena o více jak třetinu. V případě WLTC ale vozidlo produkuje více jak desetinásobné množství NO<sub>x</sub>.

	spotřeba hmotnost [g]	spotřeba [l/100 km]	délka cyklu [km]
NEDC	648,7	8,33	10,65
WLTP	1425	8,51	22,91

Tabulka 15: Srovnání spotřeby paliva



Obrázek 19: Spotřeba paliva

## 8 Závěr

V této práci jsem se zaměřil na komplexní popis homologačního testování jízdních cyklů používaných v ČR z pohledu produkce emisí. Z práce vyplývá, že NEDC cyklus již dlouhou dobu neodpovídá aktuálním požadavkům. Jízda dle tohoto cyklu zdaleka nenapodobuje průměrného evropského řidiče v běžném silničním provozu. Dále je patrné, že pravidla testování jsou dosti volně nastavena. NEDC nezohledňují rozdílné parametry vozidel a to jak z pohledu výkonu motoru, tak z pohledu výbavy. Z mnoha těchto důvodů již bylo nezbytné zavést nový zkušební postup WLTP, u kterého se předpokládá, že bude všechny tyto aspekty splňovat. Navíc oproti samotnému laboratornímu testování dle jízdního cyklu NEDC je tento postup doplněn testováním ve skutečném provozu. Otázkou tedy zůstává, jak se tento zkušební postup ověří v brzké budoucnosti v praxi, protože na rozdíl od USA kde homologační měření emisí provádí nezávislé instituce, tak v EU si měření budou zajišťovat samotní výrobci. Proto není jisté, zda skončí podvody udávání nižší spotřeby paliva než je vozidlo schopno v provozu dosáhnout a zda se nepovede výrobcům najít nějaký další způsob jak zákony obejít.

Výsledky testování automobilu Škoda Octavia 2.0 FSI ve školní laboratoři pouze potvrzují to, co je vysvětleno výše. Při porovnávání vycházejí všechny testované hodnoty kromě CO<sub>2</sub> vyšší, nežli tomu tak bylo v případě NEDC. Nejhuře z naměřených hodnot dopadly oxidy dusíků NO<sub>x</sub>, které byly osmkrát vyšší u WLTC. Z výsledku měření spotřeby paliva metodou NEDC byl zjištěn nárůst o 0,93 l/100 km oproti té, co deklaruje výrobce. Rozdíl 1 l/100 km je dalším potvrzením toho, že vzhledem k dosti nepřesně specifikované metodice NEDC může být i za jistých okolností vozidlo nakonfigurováno tak, aby byla výsledná spotřeba nižší. (před nabitá baterie, přehušťené pneumatiky, olej s nízkou viskozitou, atd.)

Bohužel až při vyhodnocování výsledku byl zjištěn fakt, že testované vozidlo má poškozený NO<sub>x</sub> katalyzátor. Proto na výsledné hodnoty nelze pohlížet z absolutního hlediska, ale jen relativně při porovnání obou metod.

## 9 Zdroje

- [1] MENGPIN, Ge. *World resource institut* [online]. November 25, 2014 [cit. únor 5, 2018]. 6 Graphs Explain the World's Top 10 Emitters. Dostupné z WWW: <<https://wri.org/blog/2014/11/6-graphs-explain-world%E2%80%99s-top-10-emitters>>.
- [2] CAIT *Climate Data Explorer* [online]. December 5, 2014 [cit. únor 5, 2018]. Global carbone dioxide emissions. Dostupné z WWW: <<http://cait.wri.org/#overview>>.
- [3] *Centre for Instructional Technology* [online]. October 10, 2016 [cit. únor 5, 2018]. Dostupné z WWW: <<http://blog.nus.edu.sg/transportpollution/2016/10/10/transport-modes-in-direct-comparison/>>.
- [4] HANNAH, Ritchie. *Our world in data* [online]. 2018 [cit. únor 7, 2018]. CO<sub>2</sub> and other Greenhouse Gas Emissions. Dostupné z WWW: <<https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>>.
- [5] *European Automobile Manufacturers* [online]. 2018 [cit. únor 7, 2018]. Statistics. Dostupné z WWW: <<http://www.acea.be/statistics>>.
- [6] *Intergovernmental Panel on Climate Change* [online]. 2014 [cit. únor 8, 2018]. Assessment Reports. Dostupné z WWW: <[https://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_reports.shtml](https://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml)>.
- [7] *Statista* [online]. 2018 [cit. únor 7, 2018]. Number of passenger cars and commercial vehicles in use worldwide from 2006 to 2015 in. Dostupné z WWW: <<https://www.statista.com/statistics/281134/number-of-vehicles-in-use-worldwide/>>.
- [8] *Ministerstvo doprava ČR* [online]. 2008 [cit. únor 8, 2018]. Stručný souhrn vlivů emisí z dopravy na životní prostředí a lidské zdraví. Dostupné z WWW: <<http://www.blokovygrant.cz/download.php?id=830&typ=m>>.
- [9] DUSIL, Tomáš. *Auto.cz* [online]. Duben 5, 2016 [cit. únor 8, 2018]. Evropské emisní normy: Jsou s námi už od roku 1970. Dostupné z WWW: <<http://www.auto.cz/technika-evropske-emisni-normy-jsou-s-nami-uz-od-roku-1970-94232>>.

- [10] *Hluk&emise* [online]. 2007 [cit. únor 8, 2018]. Vliv emisí na zdraví (NO<sub>x</sub>, PM a další). Dostupné z WWW: <<http://hluk.eps.cz/hluk/emise/vliv-emisi-na-zdravi/>>.
- [11] *EUR-Lex* [online]. 2017 [cit. Březen 2, 2018] Dostupné z WWW: <<http://eur-lex.europa.eu/search.html?qid=1522597641273&text=wlt&scope=EURLEX&type=quick&lang=en>>.
- [12] *Union of Concerned Scientists* [online]. December 5, 2014 [cit. únor 9, 2018]. Cars, Trucks, and Air Pollution. Dostupné z WWW: <<https://www.ucsusa.org/clean-vehicles/vehicles-air-pollution-and-human-health/cars-trucks-air-pollution#.WqG30IXiaUI>>.
- [13] *United States Environmental Protection Agency* [online]. January 19, 2017 [cit. Únor 12, 2018]. Air Topics. Dostupné z WWW: <<https://www.epa.gov/environmental-topics/air-topics>>.
- [14] SMITH, A. *University of Central England, Birmingham, UK* [online]. 1996 [cit. Únor 13, 2018]. A review of the history of emission legislation, urban and national transport trends and their impact on transport emissions. Dostupné z WWW: <<https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/UT96/UT96028FU.pdf>>.
- [15] *United States Environmental Protection Agency* [online]. January 19, 2017 [cit. Únor 14, 2018]. Description and History of the MOBILE Highway Vehicle Emission Factor Model. Dostupné z WWW: <<https://www.epa.gov/moves/description-and-history-mobile-highway-vehicle-emission-factor-model>>.
- [16] *TransportPolicy.net* [online]. 2017 [cit. Únor 19, 2018]. EU: Light-Duty: Emissions. Dostupné z WWW: <<https://www.transportpolicy.net/standard/eu-light-duty-emissions/>>.
- [17] *RAC Motoring Services* [online]. April 1, 2017 [cit. Únor 19, 2018]. Euro 1 to Euro 6 – find out your vehicle's emissions standard. Dostupné z WWW: <<https://www.rac.co.uk/drive/advice/emissions/euro-emissions-standards/>>.
- [18] FENGER, J. *Urban Air Pollution – European Aspects*. Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 1998. ISBN 0-7923-5502-4
- [19] *TransportPolicy.net* [online]. 2017 [cit. Únor 19, 2018]. EU: Light-Duty: GHG Emission. Dostupné z WWW: <<https://www.transportpolicy.net/standard/eu-light-duty-ghg-emissions/>>.



- [20] HROMÁDKO, Jan. *Spalovací motory : komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2011. ISBN 978-80-247-3475-0.
- [21] *TransportPolicy.net* [online]. 2014 [cit. Únor 21, 2018]. EU: Light-Duty: New European Driving Cycle. Dostupné z WWW: <<https://www.transportpolicy.net/standard/eu-light-duty-new-european-driving-cycle/>>.
- [22] *DieselNet* [online]. July 1, 2013 [cit. Únor 21, 2018]. ECE 15 + EUDC / NEDC. Dostupné z WWW: <[https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece\\_eudc.php](https://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php)>.
- [23] ROMAIN, Nicolas. *Car engineer* [online]. May 1, 2013 [cit. Únor 21, 2018]. The different driving cycles. Dostupné z WWW: <<http://www.car-engineer.com/the-different-driving-cycles/>>.
- [24] *Wikiwand* [online]. 2017 [cit. Únor 22, 2018]. New European Driving Cycle. Dostupné z WWW: <[http://www.wikiwand.com/en/New\\_European\\_Driving\\_Cycle](http://www.wikiwand.com/en/New_European_Driving_Cycle)>.
- [25] BOUCKAERT, Jan. *Stibbe* [online]. July 27, 2017 [cit. Únor 22, 2018]. Post-Dieselgate: new WLTP test procedure for measuring fuel consumption and CO2 emissions - the standard as from September 2017. Dostupné z WWW: <<https://www.stibbe.com/en/news/2017/july/post-dieselgate-new-wltp-test-procedure-for-measuring-fuel-consumption-and-co2-emissions---the-stan>>.
- [26] *TransportPolicy.net* [online]. 2017 [cit. Únor 25, 2018]. International: Light-Duty: Worldwide Harmonized Light Vehicle Test Procedure (WLTP). Dostupné z WWW: <<https://www.transportpolicy.net/standard/international-light-duty-worldwide-harmonized-light-vehicles-test-procedure-wltp/>>.
- [27] *DieselNet* [online]. August 1, 2017 [cit. Únor 28, 2018]. Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle (WLTC). Dostupné z WWW: <<https://www.dieselnet.com/standards/cycles/wltp.php>>.
- [28] TUTUIANU, Monica. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* [online]. October 1, 2015 [cit. Březen 2, 2018]. Development of the World-wide harmonized Light duty Test Cycle (WLTC) and a possible pathway for its introduction in the European legislation. Dostupné z WWW: <<https://www.sciencedirect->

com.infozdroje.czu.cz/science/article/pii/S1361920915001030/pdf?md5=f6e8af3d2c1d8c3a24d76ef21e90faaf&pid=1-s2.0-S1361920915001030-main.pdf>.

[29] *HonestJohn.co.uk* [online]. November 1, 2017 [cit. Březen 8, 2018]. What is the Real Driving Emissions test?. Dostupné z WWW:

<<https://www.honestjohn.co.uk/news/miscellaneous/2017-11/what-is-the-real-driving-emissions-rde-test/>>.

[30] *Association for Emissions Control by Catalyst* [online]. 2017 [cit. Březen 8, 2018]. Real-Driving Emissions. Dostupné z WWW: <<https://www.aecc.eu/key-topics/real-driving-emissions/>>.

[31] *Cambustion* [online]. 2017 [cit. Březen 8, 2018]. Fast Real Driving Emissions (RDE). Dostupné z WWW: <<https://www.cambustion.com/products/rde>>.

[32] *Green Car Congress* [online]. August 31, 2017 [cit. Březen 10, 2018]. WLTP and RDE tests for measuring emissions come into force in EU tomorrow. Dostupné z WWW: <<http://www.greencarcongress.com/2017/08/20170831-wltp.html>>.

[33] ELS, Peter. *Writing about cars* [online]. November 11, 2015 [cit. Březen 10, 2018]. The real world of emissions testing. Dostupné z WWW: <<http://writingaboutcars.com/the-real-world-of-emissions-testing/>>.

[34] DONATEO, Teresa. *ScienceDirect* [online]. August 1, 2017 [cit. Březen 12, 2018]. Building a cycle for Real Driving Emissions. Dostupné z WWW: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217338213>>.

[35] *WLTP Facts.eu* [online]. 2017 [cit. Březen 14, 2018]. Main differences between the two test procedures. Dostupné z WWW: <<http://wltpfacts.eu/from-nedc-to-wltp-change/>>.

[36] TUTUIANU, Monica [online]. 2017 [cit. Březen 2, 2018]. Development of a World-wide harmonized Light duty Test Cycle (WLTC) and a possible pathway for its introduction in the European legislation. Dostupné z WWW: <<https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1361920915001030-mmc1.docx>>.

[37] TAKÁTS, Michal. *Měření emisí spalovacích motorů* 1.vyd, Praha : ČVUT. 1997. 111 s. ISBN 80-01-01632-3

## 10 Seznam Tabulek

<i>Tabulka 1: Emisní norma Euro 1</i>	14
<i>Tabulka 2: Emisní norma Euro 2</i>	15
<i>Tabulka 3: Emisní norma Euro 3</i>	15
<i>Tabulka 4: Emisní norma Euro 4</i>	15
<i>Tabulka 5: Emisní norma Euro 5</i>	16
<i>Tabulka 6: Emisní norma Euro 6</i>	17
<i>Tabulka 7: Určení počtu krátkých cest a volnoběhu pro fáze L / M / V / Ex-H</i>	35
<i>Tabulka 8: Počet krátkých cest a volnoběžek a jejich délka pro každou fázi WLTC vers.1</i>	36
<i>Tabulka 9: Charakteristiky celosvětového zkušebního cyklu pro lehká vozidla (WLTC) vers.1</i>	37
<i>Tabulka 10: Jízdní charakteristiky WLTC třídy 1, třídy 2 a třídy 3.</i>	40
<i>Tabulka 11: Technické údaje Škoda Octavie 2.0 FSI</i>	47
<i>Tabulka 12: Parametry válcového dynamometru</i>	48
<i>Tabulka 13: Technické parametry mobilního emisního analyzátoru</i>	48
<i>Tabulka 14: Srovnání hodnot CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> a HC</i>	52
<i>Tabulka 15: Srovnání spotřeby paliva</i>	53

## 11 Seznam Obrázků

Obrázek 1: Globální emise oxidu uhličitého od 1850 do 2011 roku v Megatunách	2
Obrázek 2: Vývoj produkce emisí oxidu uhličitého v rámci jednotlivých regionů	3
Obrázek 3: Deset největších producentů oxidu uhličitého	4
Obrázek 4: Rozdělení emisí oxidu uhličitého podle odvětví	5
Obrázek 5: Rozdělení a trend produkce emisí o ohledem na jednotlivé segmenty dopravy	6
Obrázek 6: Grafické znázornění EDE 15 cyklu (městská část)	20
Obrázek 7: Grafické znázornění EUDC (mimoměstská část)	21
Obrázek 8: Grafické znázornění EUDC (mimoměstská část) s maximální rychlostí 90 km/h	21
Obrázek 9: Grafické znázornění NEDC	23
Obrázek 10: Průtokový diagram vývoje WLTC	26
Obrázek 11: Kumulativní součet rychlostí vozidel v různých zemích na silnicích dle typu: městských (a), venkovských (b) a dálnic (c)	32
Obrázek 12: Kumulativní rozdělení frekvence krátké doby trvání v nízké rychlostní fázi.	36
Obrázek 13: Grafické znázornění WLTC cyklu pro třídy 3, 2 a 1	41
Obrázek 14: Vzdálená plocha s instrukcemi testovacímu řidiči	49
Obrázek 15: Rozhraní aplikace pro měření jízdních cyklů	50
Obrázek 16: Zkušební pracoviště	51
Obrázek 17: Množství CO, NO <sub>x</sub> s HC na 1 km	52
Obrázek 18: Množství CO <sub>2</sub> na 1 km	52
Obrázek 19: Spotřeba paliva	53

## 12 Seznam Příloh

<i>Příloha I: Charakteristiky jízdních cyklů NEDC, JC08 a FTP-75 [36]</i>	62
<i>Příloha II: Přehled aktivit používaných pro vývoj WLTC [36]</i>	63
<i>Příloha III: Definice městské, venkovská a dálniční kategorie silnic ve čtyřech světových regionech [36]</i>	64
<i>Příloha IV: Práh rychlosti vozidel mezi L/M/H/Ex-H [36]</i>	65
<i>Příloha V: Naměřený průběh NEDC cyklu</i>	66
<i>Příloha VI: Naměřený průběh WLTC cyklu</i>	67

## 13 Přílohy

Příloha I: Charakteristiky jízdních cyklů NEDC, JC08 a FTP-75 [36]

Parametry	NEDC	JC08	FTP-75
Doba trvání [s]	1180	1204	1874
Celková vzdálenost [km]	11.007	8.171	17.77
Průměrná rychlost s volnoběhy [km/h]	33.6	24.4	34.1
Maximální rychlost [km/h]	120	81.6	91.4
Počet fází	4 x městská / 1 x mimoměstská	-	studený start / stabilní /teplý start
Poměr volnoběhů [%]	23.73	29.7	19.6

## Příloha II: Přehled aktivit používaných pro vývoj WLTC [36]

Region/Země		Druh vozidla	Počet vozidel	Metoda použitá pro sběr dat	Ujetá vzdálenost (km)	
Japan (JP)		PC	11	Instruovaný řidič	25,670	52,955
		LDCV	13		27,285	
Korea (KR)		PC	6	Instruovaný řidič	26,033	34,403
		LDCV	2		8,370	
India (IN)		PC	16	Instruovaný řidič	41,804	55,778
		LDCV	4		13,974	
USA (US)		PC	156	Data od zákazníka	130,188	159,726
		LDCV	20			
		neupřesněno	-	Metoda shromažďování vozidel	29,538	
EU + CH	Germany (DE)	PC	8	Data od zákazníka	23,414	23,414
	Spain (ES)	PC	6		2,619	9,666
		LDCV	4		7,047	
	Italy (IT)	PC	8		57,646	57,646
	Slovenia (SI)	PC	17		48,934	48,934
	Poland (PL)	PC	9		14,648	14,648
	United Kingdom (UK)	PC	10		17,491	31,781
		LDCV	12		14,290	
	Switzerland (CH)	PC	26		22,670	23,619
		LDCV	4		949	
	Sweden (SE)	PC	5		18,525	36,951
		LDCV	2		18,426	
	Belgium (BE)	PC	11		121161	121161
	France (FR)	PC	42		108,916	108,916

## Příloha III: Definice městské, venkovská a dálniční kategorie silnic ve čtyřech světových regionech [36]

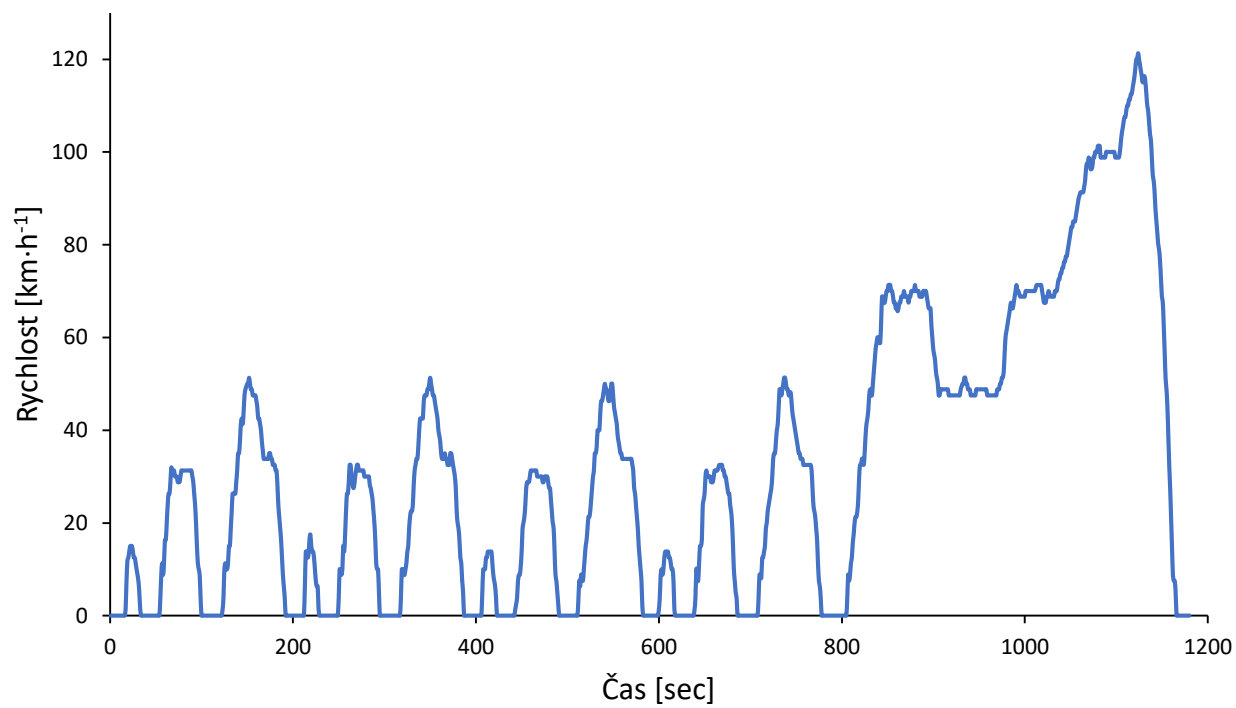
	Městská	Venkovská	Dálniční
Indie	Městské silnice s povolenou rychlostí $\leq 40$ km/hod (mimo horské oblasti)	Mimo dálniční silnice v a mimo městskou část s rychlostním limitem mezi 40 a 60 km/hod	Silnice dálničního typu (víceproudé silnice, specificky konstruovány a řízeny pro rychlou jízdu) s rychlostí od 60 do 80 km/hod
Korea	Arteriální, sběrná a místní komunikace uvnitř a / nebo blízko centrální obchodní čtvrti. Rychlost od 40 do 80 km/hod., V závislosti na druhu silnice	Arteriální, sběrné a místní komunikace v mimo městské oblasti. Omezení rychlosti od 50 do 80 km/hod. V závislosti na druhu silnice.	Dálnice navrženy, konstruovány a řízeny pro rychlou jízdu ve městských a venkovských oblastech. Rychlostní limit od 100 do 120 km/hod, závisí na oblasti.
Japonsko	Hustě obydlený okres. Rychlostní limit $\leq 60$ km/hod (mimo horské oblasti)	Méně hustě obydlený okres. Mimo dálnice Rychlostní limit $\leq 60$ km/hod (mimo horské oblasti)	Dálnice (vnitroměstské a meziměstské). Rychlostní limit $\leq 100$ km/hod (mimo horské oblasti).
EU	Definice závisí na zemi.	Definice závisí na zemi.	Definice závisí na zemi.



## Příloha IV: Práh rychlosti vozidel mezi L/M/H/Ex-H [36]

Počet kombinací	Práh rychlosti vozidel mezi nízkou/střední/vysokou/extra-vysokou rychlostní fází
1.	50/80/110
2.	50/80/120
3.	50/90/110
4.	50/90/120
5.	60/80/110
6.	60/80/120
7.	60/90/110
8.	60/90/120
9.	70/90/110
10.	70/90/120
11.	70/100/120

Příloha V: Naměřený průběh NEDC cyklu



## Příloha VI: Naměřený průběh WLTC cyklu

