



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

## VYUŽITÍ VÁLCOVÉHO DYNAMOMETRU V AUTOMOBILOVÉM VÝVOJI

THE USE OF A CHASSIS DYNAMOMETER IN AUTOMOTIVE DEVELOPMENT

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Daniel Obid

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

BRNO 2020



## Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Student: **Daniel Obid**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.**  
Akademický rok: 2019/20

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

### Využití válcového dynamometru v automobilovém vývoji

#### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Přehled konstrukcí válcových dynamometrů a zařízení na maření výkonu. Zpracování přehledu využití válcových dynamometrů např. emisní testy, testy spotřeby paliva, elektromagnetické kompatibility, hluku a vibrací a životnostní testy.

#### Cíle bakalářské práce:

Vypracování rešerše konstrukčních řešení válcových dynamometrů podle jejich využití. Porovnání měření na válcovém, motorovém dynamometru a testování na zkušební dráze nebo v provozu. Rozdíl ve vývoji a testování automobilů se spalovacím motorem, automobilů s hybridním pohonem a elektromobilů. Vývoj a změny norem pro válcové dynamometry po „aféře DieselGate“.

#### Seznam doporučené literatury:

ATKINS, R. D. An introduction to engine testing and development. Warrendale, Pa.: SAE International, c2009. ISBN 978-0-7680-2099-1.

VLK, F. Zkoušení a diagnostika motorových vozidel. 1. Brno: Vlk, 2001. ISBN 80-238-6573-0.

VENKATESHAN, S. P. Mechanical Measurements. 2. London: John Wiley&Sons, 2015. ISBN 978-1-1911-556-4.

MARTYE, A.J., PLINT, M.A.. Engine Testing Theory and Practice. Third. Oxford: Elsevier, 2007. ISBN 978-0-7506-8439-2.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

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

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

## ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá využitím válcových dynamometrů, které jsou nedílnou součástí vývojových center světových automobilek. Cílem bylo vytvořit přehled konstrukčních řešení. Za pomoci informačních materiálů od firmy AVL bylo shrnuto využití těchto dynamometrů v automobilovém vývoji. Byly představeny používané měřicí cykly a jejich vývoj po „aféře DieselGate“.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Válcový dynamometr, testování vozidel, DieselGate, emisní testy, automobilový vývoj

## ABSTRACT

This bachelor's thesis deals with the use of chassis dynamometers, which are an integral part of the development centers of the world's automobiles. The main goal was to create an overview of design solutions. Using information materials from AVL, the use of these dynamometers in automotive development was summarized. The used measuring cycles and their development after the "DieselGate affair" were presented.

## KEYWORDS

Chassis dynamometer, vehicle testing, DieselGate, emission tests, automotive development

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

OBID, Daniel. Využití válcového dynamometru v automobilovém vývoji [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/121655>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 31 s. Vedoucí práce Josef Štětina.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením prof. Ing. Josefa Štětiny, Ph.D. a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

V Brně dne 26. června 2020

.....

Daniel Obid

## PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěl poděkovat prof. Ing. Josefovi Štětinovi Ph.D., Ing. Františkovi Kmentovi a firmě AVL Moravia za poskytnuté informace a rady nezbytné k vypracování této bakalářské práce. Dále děkuji mé rodině a přátelům za podporu.



## OBSAH

Úvod .....	10
<b>1 Válcový dynamometr .....</b>	<b>11</b>
1.1 Konstrukce .....	11
<b>2 Využití válcových dynamometrů.....</b>	<b>17</b>
2.1 Testování emisí a spotřeby paliva .....	17
2.2 Testování hlučnosti a vibrací .....	17
2.3 Testování elektromagnetické kompatibility .....	18
2.4 Klimatické testy .....	19
2.5 Testování ve větrných tunelech .....	19
2.6 Testování životnosti.....	19
2.7 Měření výkonových křivek.....	20
2.8 Testování na konci výrobní linky .....	20
<b>3 Testování vozů s různými formami pohonu.....</b>	<b>21</b>
<b>4 „Aféra DieselGate“ a její následky.....</b>	<b>23</b>
4.1 Vývoj evropských testovacích postupů .....	23
4.2 Testovací cyklus ECE 15 + EUDC .....	23
4.3 Testovací cyklus NEDC .....	24
4.4 Testovací cyklus WLTP .....	24
<b>5 Rozdíl mezi testováním na dynamometru a v reálném provozu .....</b>	<b>27</b>
<b>Závěr .....</b>	<b>28</b>
<b>Seznam použitých zkratk a symbolů.....</b>	<b>31</b>

## ÚVOD

V posledních letech dochází k rozvoji ve všech oblastech technologií, výjimku netvoří ani automobilový průmysl. Což vede i k nutnosti zlepšovat a zkvalitňovat testovací zařízení. Jedním z nejvíce využívaných přístrojů při testování dopravních prostředků jsou válcové dynamometry. Jejich úkolem je co nejpřesnější zhodnocení jednotlivých vlastností vozidla.

Válcové dynamometry mají všestranné využití při vývoji i běžných kontrolách vozidla a lze je použít na mnoho typů testů, například měření emisí, spotřeby paliva, elektromagnetické kompatibility, hlučnosti, vibrací a životnosti daného dopravního prostředku. Jednotlivým typům zkoušek jsou věnovány následující kapitoly. Dále jsou uvedeny i specifikace týkající se testování vozidel s hybridním pohonem a elektromobilů.

Právě vývoji přesných testovacích zařízení potřebných pro vývoj spalovacích motorů se zabývá firma AVL s pobočkou v Hranicích, v jejíž spolupráci bylo navrženo téma této bakalářské práce. Tato společnost spolupracuje s vývojovými odděleními významných automobilek a na trhu patří ke špičce svého oboru.

Hlavním cílem této práce je popsat specifika k jednotlivým typům testů a podrobněji rozebrat problematiku ohledně testování emisí z výfukových plynů. Práce popisuje dříve používané testovací cykly, které se ukázaly po aféře „DieselGate“ jako nedostačující pro určení správného množství vypouštěných škodlivých látek jako oxid uhelnatý (CO), oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>), oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>), uhlovodíky (CH) a pevných částic. Nové testy se snaží přiblížit výsledky měření laboratorních testů ke skutečné jízdě po vozovce, což bylo u předchozích testů vyhodnocováno chybně.

# 1 VÁLCOVÝ DYNAMOMETR

Pojmem válcový dynamometr označujeme zařízení určené k měření točivého momentu pomocí simulace jízdy po reálné vozovce. Jízdní podmínky jsou simulované v laboratorním prostředí. Při měření točivého momentu vytvářeného pohonnou jednotkou automobilu lze také zjistit práci vykonanou za časový úsek neboli výkon. Všechny tyto charakteristiky lze získat také pomocí výpočtu. Válcové dynamometry mají všestranné využití při vývoji i běžných kontrolách vozidla a lze je použít na mnoho typů testů například měření emisí, spotřeby paliva, elektromagnetické kompatibility, hlučnosti, vibrací a životnosti daného dopravního prostředku. Výkon pohonné jednotky není možné přímo změřit, ale je potřeba ho dopočítat pomocí naměřeného točivého momentu a rychlosti otáčení role dynamometru [1, 2].

$$P = M_k \cdot \omega = M_k \cdot 2 \cdot \pi \cdot n = F \cdot r \cdot 2 \cdot \pi \cdot n, \quad (1)$$

kde  $P$  [W] je výkon,  $M_k$  [Nm] je točivý moment,  $\omega$  [rad·s<sup>-1</sup>] je úhlová rychlost,  $n$  [s<sup>-1</sup>] je rychlost otáčení,  $F$  [N] je síla působící na tenzometr a  $r$  je poloměr role dynamometru [1].

## 1.1 KONSTRUKCE

Všeobecně se válcový dynamometr skládá z válců, motoru nebo jiného zařízení na maření energie, například brzdy a potřebné výpočetní techniky. Tyto válce se otáčejí a slouží k simulaci pohybu dopravního prostředku po vozovce. Motor nebo jiné brzdící zařízení simulují jízdní odpory působící na vozidlo v reálném provozu. Válcové dynamometry můžeme dělit podle více kritérií. Jedná se o kritéria podle velikosti a konfigurace válců pro jednotlivé typy dopravních prostředků a zařízení simulujícího odporové síly [3].

### Rozdělení podle počtu válců:

- Jednoválcové
- Dvouválcové

Uvedené typy dynamometrů jsou zobrazeny na obr. 1.

### Rozdělení jednoválcových dynamometrů podle velikosti válců:

- 25" válce jsou využívány pro testování motocyklů a jiných lehkých vozidel, například malých užitkových vozidel
- 48" válce jsou využívány především pro testování osobních automobilů
- 72" válce jsou využívány pro testování nákladních automobilů a traktorů

### Vlastnosti dvouválcových dynamometrů podle velikosti válců:

- Velikost se pohybuje mezi 8" a 20"
- Nižší přesnost oproti jednoválcovým dynamometrům
- Větší deformace pneumatik

**Rozdělení podle konfigurace válcového dynamometru:**

- Podle počtu měřených náprav
  - 1 náprava (používané pro měření vozidel s poháněnou přední či zadní nápravou)
  - 2 nápravy (používané pro měření vozidel s pohonem obou náprav)
- Podle počtu motorů použitých na jednu nápravu:
  - Jednomotorové
  - Dvoumotorové



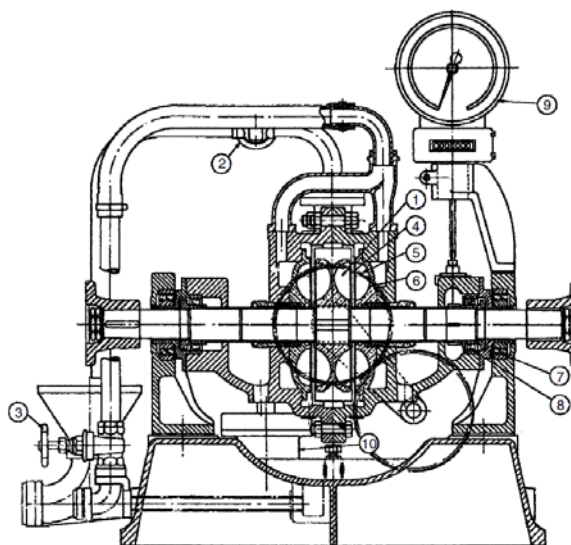
Obr. 1 Jednoválcový dynamometr (vlevo) a dvouválcový dynamometr (vpravo) [1, 4]

Výhodou jednoválcového dynamometru oproti dvouválcovému je vysoká přesnost měření a robustnost díky menšímu počtu pohyblivých částí, menší mechanické ztráty, přesnější simulace kontaktu pneumatiky s vozovkou a menší nároky na údržbu, způsobené nižší rychlostí otáčení. Naopak dvouválcové dynamometry mají výhodu v jednodušším nastavení pozice měřeného vozidla, menší prostorové náročnosti, jelikož vyžadují nižší hloubku instalace a v možnosti přenosu vyšších sil, což je umožněno většími kontaktními plochami. Tyto vlastnosti omezují jejich využití ve vývoji automobilů. Uplatnění najdou spíše v autoservisech, dílnách zabývajících se úpravami pohonného ústrojí, případně na konci výrobních linek [3].

**Rozdělení válcových dynamometrů podle brzdící technologie:**

- Hydrodynamická brzda s konstantním plněním

Točivý moment je ovládán přidáváním nebo odebráním tenkých stavidlových desek mezi rotor a stator, čímž se ovlivňují toroidní víry. Tento systém je dnes již zastaralý, neboť způsob jeho ovládání komplikuje automatizaci. Další nevýhodou je pomalá odezva na změnu zatížení. Jednou z mála výhod je nízká cena použitých kusů. Schéma s popisky jednotlivých částí je vyobrazeno na obr. 2 [2, 5].



Obr. 2 Schéma hydrodynamického dynamometru s konstantním plněním [5]

- 1) Rotor
- 2) Výstupní vodní ventil
- 3) Vstupní vodní ventil
- 4) Stavidlové desky
- 5) Přívod vody na lopatky
- 6) Obložení statoru
- 7) Ložisko pouzdra
- 8) Ložisko hřídele
- 9) Ukazatel rychlosti

- Variabilně plněná vodní brzda

Ovládání točivého momentu je zde zajištěno regulací množství vody v systému. Této regulace je dosahováno vodními ventily, jejichž automatizace se může velmi různit. Oproti předchozímu typu vyniká mnohem rychlejší odezvou na změnu zatížení. Rotory těchto dynamometrů mohou dosahovat průměru až 5 metrů. Pro dosažení co nejvyšší rychlosti odezvy je potřeba mít dobře vyřešený zdroj vody na plnění. Tyto brzdy poměrně dobře snáší přetížení. Problémy může způsobit kavitace [2, 5].

- Hydraulická brzda s diskem

Tento stroj se sestává z jednoho nebo více plochých disků umístěnými mezi plochými statorovými deskami. Síla je pohlcována intenzivním třením vody a točivý moment je ovládán opět pomocí plnění vodou. Pro zvýšení brzdného účinku mohou být v rotoru a statoru vyhotoveny díry. Výkon těchto brzd je při nízkých rychlostech poměrně malý, ale se vzrůstající rychlostí se značně zlepšuje [2, 5].

- Hydrostatická brzda

Hydrostatické brzdy kombinují hydraulické pumpy s pevným a proměnným zdvihem podobným těm, které je možné nalézt v převodovkách velikých terénních vozidel. Výhodou tohoto uspořádání je to, že dokáže vyvíjet plný točivý moment až do nulové rychlosti. Jedná se o mechanicky složité, hlučné a drahé stroje [2, 5].

- Stejnosměrný elektrický motor

Základem je stejnosměrný motorový generátor připevněný na čepu. Jedná se o robustní a jednoduše ovladatelné zařízení. Kromě pohlcování výkonu dokáže dynamometr i pohánět. Omezením je nižší maximální rychlost, vyšší setrvačnost a s tím související pomalejší změny rychlosti. Přítomnost komutátoru ztěžuje údržbu [2, 5].

- Asynchronní elektrický motor

Základní součástí těchto dynamometrů je střídavý motor s rotorem a kotvou nakrátko, jehož rychlost je řízena změnou frekvence přiváděného elektrického proudu. Tento použitý rotor se vyznačuje nižší setrvačností, což dovoluje prudší změny rychlosti. Tyto systémy se ukazují jako velmi spolehlivé s nízkými nároky na údržbu. Motory použité v dynamometrech ovšem vyžadují specifické úpravy, například použití keramických ložisek [2, 5].

- Elektromotor s permanentním magnetem

Jedná se o nejnovější generaci dynamometrového vývoje. Z výše uvedených motorů má elektromotor s permanentním magnetem nejnižší setrvačnost, což umožňuje změny otáček až o velikosti 160 000 ot/s [2, 5].

- Retardér s vířivými proudy

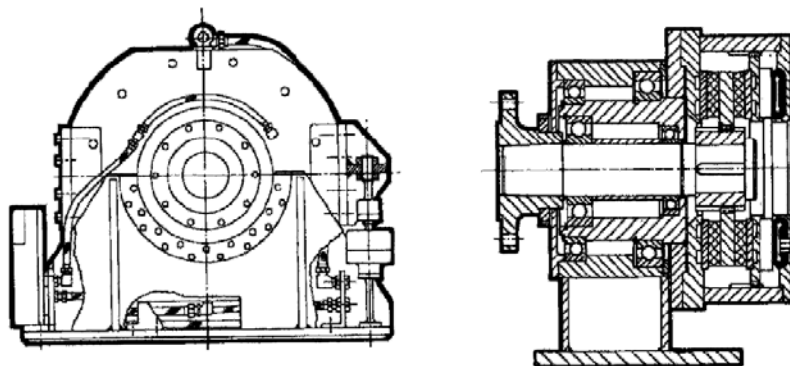
Tyto přístroje využívají principu elektromagnetické indukce k vyvinutí točivého momentu a pohlcení výkonu. Ozubený rotor vyrobený z oceli o vysoké permeabilitě se otáčí mezi vodou chlazenými ocelovými ztrátovými deskami. Dvěma prstencovými cívkami je generováno magnetické pole. Pohyb rotoru způsobuje změny v rozložení magnetického toku ztrátovými deskami. To dává vzniknout vířivým vírům a výkon dodaný na dynamometr je pohlcen ve formě elektrických odporových ztrát. Získaná tepelná energie je přenášena do vodního chladicího systému. Jsou to velmi často používané přístroje. Pro jejich využití hovoří především jednoduchá konstrukce, nízká setrvačnost a jednoduché propojení s automatickými ovládacími systémy. Riziko hrozí při nedostatečném chlazení. Absorbér využívající vířivé proudy je vyobrazen na obr. 3 [2, 5].



Obr. 3 Retardér s vířivými proudy [6]

- Třecí brzda

Třecí brzdné systémy, jejichž schéma je zobrazeno na obr. 4 se skládají z několika vodou chlazených třecích disků. Jsou vhodné při potřebě vysokého točivého momentu za nízkých rychlostí, což je činí užitečné například pro testování převodovek terénních vozidel [2,5].



Obr. 4 Třecí brzda [5]

- Vzduchová brzda

Vzduchové brzdy jsou v současné době velmi zastaralé. Jsou sestaveny z jednoduchého uspořádání radiálně nastavitelných lopatek. Točivý moment produkovaný těmito stroji se dá spíše odhadovat. V současné době se používají téměř výhradně pro testování vrtulníkových motorů, u kterých není vyžadována vysoká přesnost a překážkou není ani vysoká hlučnost [5].

- Hybridní systém

U dynamometrů je možné také kombinovat více brzdících technologií. Může jít třeba o kombinaci stejnosměrného a střídavého elektromotoru nebo kombinaci elektromotoru s variabilně plněnou hydraulickou brzdou. Takové kombinace se používají spíše pro speciální účely, protože jsou technicky složitější, dražší a jejich ovládání je mnohem náročnější. V některých případech ovšem mohou představovat finanční úsporu [5].



## 2 VYUŽITÍ VÁLCOVÝCH DYNAMOMETRŮ

Válcové dynamometry jsou využívány v celém automobilovém odvětví. Před zahájením výroby nových automobilů je nutné provést spoustu testů, aby vozidlo prošlo certifikací. Jedná se o testy emisí, spotřeby paliva, hlučnosti, vibrací, elektromagnetické kompatibility, provozu v rozdílných klimatických podmínkách a životnosti. Dalším testům je podrobeno každé vozidlo předtím, než opustí továrnu a je uvedeno do běžného provozu. V průběhu používání se vozidlo setká s dalšími válcovými dynamometry například na stanicích technické kontroly [1].

### 2.1 TESTOVÁNÍ EMISÍ A SPOTŘEBY PALIVA

Jednou z nejdůležitějších rolí válcových dynamometrů je právě jejich využití při měření emisí a spotřeby paliva. Aktuální ekologické normy platné po celém světě kladou velký důraz na spotřebu paliva a množství vypouštěných emisí. V současné době se v Evropské Unii k tomuto účelu používají testovací cykly WLTP (princip testu je vysvětlen v následující kapitole), kdežto ve Spojených státech amerických je užíván cyklus FTP-75. Tyto cykly přesně určují rychlostní profil, který musí být v rámci určité tolerance simulován skutečným řidičem na válcovém dynamometru. Měřeny jsou především emise oxidu uhelnatého (CO), oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), oxidů dusíku (NO<sub>x</sub>), uhlovodíků (CH) a pevných částic. Tyto emise musí být během vývoje minimalizovány například správným nastavením řídicí jednotky motoru nebo řídicí jednotky převodovky [1, 7].

### 2.2 TESTOVÁNÍ HLUČNOSTI A VIBRACÍ

Při výzkumu a vývoji jsou válcové dynamometry využívány k měření hlučnosti a vibrací. Dynamometry jako laboratorní testovací zařízení musí splňovat mnohé požadavky. Při testování hluku je nutné, aby při rychlosti 100 km/h byla jejich hlučnost nižší než 50 dB, jedná se o hodnotu odpovídající lidskému šepotu na vzdálenost 10 cm. Naměřené hodnoty slouží k optimalizaci vnitřního hluku a vnější hlučnosti a také k minimalizaci vibrací vně i uvnitř vozidla. Pro tento typ testů jsou preferovány jednoválcové dynamometry s motory vedle válců, je zde jednodušší možnost řešení zvukové izolace, díky které je možné oddělit hluk produkovaný testovacím motorem válce od hluku, který vytváří testovaný dopravní prostředek [1, 3, 8].

Jedním z dalších požadavků kladených na válcový dynamometr je možnost simulovat různé povrchy vozovky, k čemuž slouží speciální vyměnitelné návleky a základy tohoto dynamometru musí být odtlumeny od vibrací. Dále jsou kladeny požadavky na místnost, ve které je daný dynamometr umístěn. Při simulaci průjezdu vozidla musí být několik mikrofonů rozestavěno v určitých vzdálenostech. Tyto mikrofony jsou ovládány a vyhodnocovány tak, jako by vozidlo projíždělo kolem jednoho centrálního mikrofonu. Tyto mikrofony mohou být umístěny po obou stranách vozidla, čímž se šetří čas potřebný k testování, ovšem taková konfigurace je prostorově náročnější [3].

Při testování hlučnosti výfuku jsou stanoveny nižší požadavky na válcový dynamometr i na měřicí místnost. Pro správné fungování je důležitý vhodný odvod spalin. Tyto místnosti bývají ventilovány izolovanými otvory. Chlazení vozů je zajišťováno externími ventilátory se

zvukově izolovanými vstupy a výstupy. Při některých částech měření může být dokonce chlazení na chvíli zastaveno, aby bylo možné dosáhnout co největší přesnosti měření [1, 3].



*Obr. 5 Komora na měření hlučnosti [9]*

## 2.3 TESTOVÁNÍ ELEKTROMAGNETICKÉ KOMPATIBILITY

Elektromagnetická kompatibilita může být testována jak na skutečné silnici, tak na válcovém dynamometru. Vzhledem k vysokým finančním nákladům testování mimo laboratoř je upřednostňováno testování v laboratoři. Jedna z těchto laboratoří je na obr. 6. Každá část vozu, ať už autorádio nebo pohonná jednotka musí být otestována, zda není ovlivňována elektromagnetickým zářením vydávaným jinými elektrickými zařízeními nebo i svým vlastním. Se vzrůstající komplexitou vozidel a všudypřítomnými technologiemi, jako jsou 4G, Wi-Fi nebo Bluetooth nabývá toto testování na větší a větší důležitosti, jelikož elektromagnetické záření může ovlivnit i základní bezpečnostní prvky jako například brzdový systém, který se u moderních vozidel bez elektroniky neobejde [3, 10, 11].



*Obr. 6 Testování EMC [12]*

## 2.4 KLIMATICKÉ TESTY

Klimatickými testy se zjišťuje, jak se bude vozidlo chovat v různých povětrnostních podmínkách. Tyto testy zahrnují simulace extrémních teplot, sněhu, deště, technické soli nebo nadmořské výšky. Při těchto testech je pozornost upřena především na měření emisí při startu studeného motoru a jeho chování po nastartování (ohřívání, odmrazování,...), dále chlazení motoru a jednotlivých komponent při rozdílných teplotách a různých stupních zatížení. Změna tlaku je používána pro optimalizaci motoru na různé nadmořské výšky. Zkoumán je také vliv funkce klimatizační jednotky na hodnoty vypouštěných emisí. Během těchto testů se dosahuje teplot až  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  a tlaku odpovídajícího nadmořským výškám nad 5000 m, z čehož vyplývají vysoké požadavky na technické zpracování válcových dynamometrů. Musí být kladen důraz na použití kvalitních materiálů, kabeláže, motorů. Vhodné je také využití vyhřívání senzorů [1, 3].

Samotné klimatické komory dělíme na dvě kategorie podle toho, jestli jejich součástí je či není jáma s technickým vybavením válcového dynamometru. Pokud je toto vybavení součástí komory, je tepelná izolace umístěna okolo celého dynamometru. Toto řešení je technicky jednodušší, avšak je potřeba počítat s teplem vydávaným válcovým dynamometrem a toto zohlednit ve výpočtu chladicího výkonu. Ve druhém případě jáma s technickým vybavením není součástí tepelně izolované komory. To znamená, že dynamometr může téměř celý operovat při běžných podmínkách. Extrémním teplotám jsou v tomto případě vystaveny pouze válce dynamometru [1,3].

## 2.5 TESTOVÁNÍ VE VĚTRNÝCH TUNELECH

Pokud je potřeba nasimulovat reálný tok vzduchu, používá se větrný tunel společně s válcovým dynamometrem. Tyto tunely jsou využívány k testování vlivu technické soli na jednotlivé komponenty vozidla (například brzdy nebo disky kol), výfukového systému v reálném proudu vzduchu, funkci brzd a jejich chlazení v prostředí simulujícím reálný provoz. Proud vzduchu v tomto případě musí být diferencovaný, protože je pro tyto testy potřeba nasimulovat i přízemní efekt [1, 3].

## 2.6 TESTOVÁNÍ ŽIVOTNOSTI

Nedílnou součástí vývoje vozu je testování jeho životnosti na válcovém dynamometru. K tomuto účelu se používají takzvané MACD cykly (Mileage Accumulation Chassis Dynamometer), které mají za úkol dosáhnout co největšího počtu najetých kilometrů během co nejkratších časů. Specifikem těchto testů je využití robotických řidičů a průběžného doplňování paliva. Mimo to se provádí takzvané SHED testy (Sealed Housing Evaporative Determination), u nichž jsou měřeny emise uhlovodíků, které unikají jak během jízdy, tankování, tak i po zaparkování a vypnutí vozidla. Válcové dynamometry určené pro toto měření nesmí samy produkovat žádné měřitelné množství uhlovodíků, proto jsou i jejich ložiska mazány vazivem s velmi nízkým obsahem uhlovodíků [1, 3].

## 2.7 MĚŘENÍ VÝKONOVÝCH KŘIVEK

V průběhu vývoje vozidla jsou také zaznamenány křivky jeho výkonu a točivého momentu. K tomuto účelu se používá celý rozsah rychlosti vozidla, kdy je postupně zvyšována rychlost po krocích o velikosti 10 km/h a za využití různých rychlostních stupňů se zaznamenává hnací síla [1, 3].

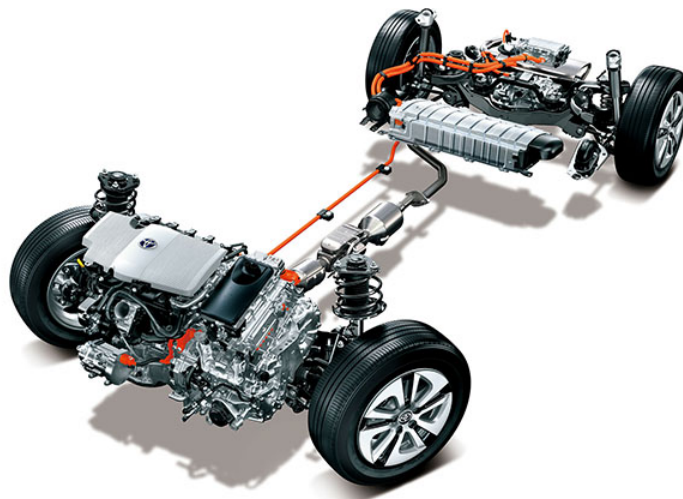
## 2.8 TESTOVÁNÍ NA KONCI VÝROBNÍ LINKY

Když sjede vozidlo z výrobní linky, musí být otestovány jeho základní funkce. Jako například správná funkčnost brzdového systému nebo funkce pohonného ústrojí. Z důvodu bezpečnosti a cenové efektivity se i toto provádí na válcových dynamometrech. Upřednostňovány jsou dynamometry s dvěma válci na jednu nápravu kvůli jednoduchému nastavení pozice vozu, což výrazně snižuje časovou náročnost [1, 3].

### 3 TESTOVÁNÍ VOZŮ S RŮZNÝMI FORMAMI POHONU

Automobilový průmysl se neustále vyvíjí a objevují se nové a šetrnější způsoby pohonu automobilů. Nejrozšířenějšími alternativami ke klasickým spalovacím motorům jsou vozy s hybridním pohonným ústrojím a elektromobily. Tyto pohonné systémy jsou zpravidla komplexnější než konvenční spalovací motory a vyžadují trochu jiný přístup k testování.

Hybridním vozidlem rozumíme vůz, který využívá ke svému pohonu dva nebo více různých zdrojů energie. Nejrozšířenější kombinace na současném automobilovém trhu je elektromotor spojený se zážehovým motorem, ale je možné najít i elektromotory spárované se vznětovými motory. Příklad hybridního pohonu je zobrazen na obr. 7. Kvůli této kombinaci není možné testovat pohonné ústrojí na motorovém dynamometru a jedinou možností, jak tyto vozidla otestovat v laboratorních podmínkách zůstává válcový dynamometr. Hybridní automobily nemusí ovšem používat ke svému pohonu oba dva zdroje energie po celou dobu jízdy, ale mohou mezi nimi přepínat. Tento fakt komplikuje jejich měření. Převážná většina hybridů funguje na principu již zmíněné kombinace elektromotoru a benzínového spalovacího motoru. Což by teoreticky mohlo znamenat, že vůz zvládne celý měřicí proces WLTP za použití pouze elektrické energie, čímž by vykázal nulové místní emise. Z toho důvodu jsou testy WLTP pro tyto automobily upraveny. Měření začíná vůz s plně nabitou baterií a neustále opakuje měřicí cyklus, dokud se baterie nevybíje. Při každém provedeném cyklu měření pracuje spalovací motor o něco déle než při cyklu předchozím. Následně se provede měření ještě jednou, a to za použití pouze spalovacího motoru. Tento dlouhý měřicí proces se neprovádí jen za účelem zjištění reálné spotřeby paliva a množství vypouštěných emisí, ale i k zjištění jak čistě elektrického dojezdu, tak celkového dojezdu. Výsledná hodnota vypouštěných emisí se potom počítá pomocí poměru elektrického dojezdu k celkovému dojezdu. Zde se uplatňuje takzvaný užitečný faktor (UF), který představuje poměr vzdálenosti ujeté čistě na elektrický pohon. U elektrických vozidel s tímto faktorem rovným 100 %, kdežto u vozů s pouze spalovacím motorem je tento faktor roven nule. V případě hybridních automobilů se užitečný faktor pohybuje někde mezi těmito hodnotami. Jeho hodnota se zvětšuje spolu se vzrůstajícím dojezdem na elektrickou energii. V praxi to znamená, že čím větší je užitečný faktor, tím méně emisí dané vozidlo vypouští v místě provozu do ovzduší. To odpovídá tomu, že řidič plug-in hybridního vozu s větším dojezdem na elektrickou energii bude pravděpodobně méně využívat spalovacího motoru a více elektrického pohonu, případně může jezdit pouze na elektrickou energii, čímž nemusí vůbec používat spalovací motor a může dosáhnout i spotřeby paliva 0 l/100 km [13, 14].



*Obr. 7 Platforma hybridního vozu Toyota [15]*

Další specifickou skupinou automobilů jsou elektromobily neboli vozidla poháněná čistě pomocí elektrické energie. Ani pohonný systém elektromobilů není většinou možný testovat na motorovém dynamometru, protože se často skládá z více mechanicky nepropojených motorů (obr. 8). Na trhu můžeme najít i modely elektromobilů, které mají jeden elektromotor pro každé kolo. Tyto vozy se vyznačují lokálně bezemisním provozem. Při měření spotřeby je opět využíván měřicí cyklus WLTP, avšak tentokrát nejsou měřeny vypouštěné emise, ale spotřeba elektrické energie. Na rozdíl od vozidel se spalovacím motorem zde uvádíme spotřebu v jednotkách kWh/100 km. Testovací cyklus WLTC začíná vozidlo s plně nabitou baterií. Ihned po vykonání měřicího cyklu je vozidlo opět připojeno na nabíječku vybavenou elektroměrem. Tento elektroměr měří celkové množství prošlého proudu, což nám umožňuje zjistit energetické ztráty během nabíjení [13].



*Obr. 8 Připravovaná elektrická platforma MEB společnosti VW [16]*

## 4 AFÉRA DIESELGATE A JEJÍ NÁSLEDKY

V průběhu roku 2015 propukla aféra známá jako „DieselGate“, jednalo se o podvedení laboratorního testování nových vozidel vyrobených koncernem Volkswagen. Agentura pro ochranu životního prostředí Spojených států amerických v motorech aut výše zmíněné značky objevila software schopný rozpoznat, že je vůz testován. Během tohoto procesu motor snížil množství vznikajících emisních plynů, aby naměřené hodnoty odpovídaly požadavkům stanovených ekologickými norem. Následně bylo prokázáno, že v porovnání s testy v reálném provozu se emise uhlovodíků pohybují vysoce nad zákonem stanovenými limity. Právě zveřejnění tohoto podvodu, vedlo ke změně ekologických norem a vytvoření nových testovacích cyklů, které by řídicí jednotky vozidel neměly rozpoznat [17].

### 4.1 VÝVOJ EVROPSKÝCH TESTOVACÍCH POSTUPŮ

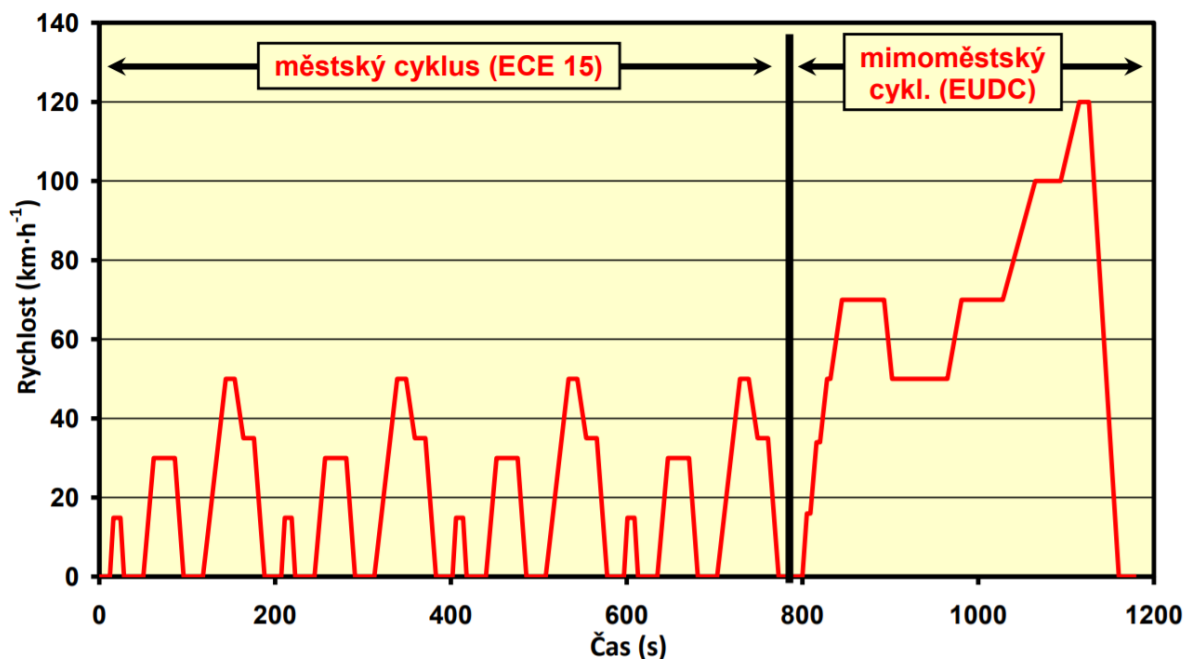
Jednotné evropské normy se objevily v roce 1992, kdy vstoupila v platnost norma EURO 1. Emise automobilů byly regulovány i před tímto rokem, avšak tyto regulace se v Evropě různily. První EURO norma přinesla stejné emisní limity pro všechny státy tehdejší Evropské unie. Později zavedená norma EURO 2 již představila rozdílné emisní limity pro vznětové a zážehové motory. Na začátku roku 2000 byla zavedena norma EURO 3, které se od předchozí normy kromě přísnějších emisních limitů lišila i zavedením testování cyklem NEDC. Začátek roku 2005 představoval příchod emisní normy EURO 4. Ta se zaměřila hlavně na snížení emise oxidu dusíku a množství produkovaných pevných částic, což mělo za následek hojně rozšíření používání filtrů pevných částic u vznětových motorů. Norma EURO 5, platná od září roku 2009 pokračovala ve snaze o snížení emisí oxidu dusíku a pevných částic. Od roku 2014 je platná aktuální norma EURO 6, která opět zpřísnila především limity pro oxidy dusíku. Po propuknutí aféry „DieselGate“ byly vydány aktualizace této normy označované jako EURO 6c, EURO 6d-TEMP a EURO 6d. Od září roku 2018 platná norma EURO 6c znamenala především přechod z testovacího cyklu NEDC na WLTP. Emisní limity zůstaly stejné jako u původní normy EURO 6. Norma EURO 6d-TEMP zavedená o rok později představila povinnost podrobit vozy i testování RDE. To se ukázalo pro výrobce jako veliký problém, protože jejich vozy se nedokázaly během testování na reálných silnicích přiblížit hodnotám naměřeným v laboratořích. Proto byla umožněna odchylka v reálu naměřených hodnot až 110 %. V současné době platí pro nově certifikované automobily emisní norma EURO 6d, která zpřísňuje povolenou odchylku naměřených emisí na 43 % [18, 19, 20].

### 4.2 TESTOVACÍ CYKLUS ECE 15 + EUDC

Tento typ testu byl v Evropské Unii používán pro lehká užitková vozidla. Před zahájením testování se vozidlo nechalo stát v testovací místnosti po dobu 6 hodin při teplotě 20-30°C. Po nastartování vozidla se nechal motor běžet 40 s při volnoběžných otáčkách a teprve potom se začalo s testováním na válcovém dynamometru. Jako první byl na řadě cyklus ECE 15, který simuloval provoz v městských podmínkách. Tento cyklus byl bez přestávek zopakován 4x po sobě. Po dokončení tohoto cyklu se přešlo na cyklus EUDC (Extra Urban Driving Cycle), který měl představovat rychlejší jízdu mimo město. Bylo dosahováno až rychlosti 120 km/h, případně pro vozidla neschopná dosáhnout takové rychlosti existovala i verze testu s maximální rychlostí 90 km/h [21].

### 4.3 TESTOVACÍ CYKLUS NEDC

Nový evropský jízdní cyklus neboli NEDC (New European Driving Cycle) byl zaveden v roce 2000. Přímo vychází z testovacího cyklu ECE 15 + EUDC. Opět se skládá ze 4x opakovaného cyklu ECE 15 a jednou prováděného cyklu EUDC. Celkem tento test trvá 19 minut a 40 sekund, během nichž je ujeta vzdálenost 10,931 km při průměrné rychlosti 33,35 km/h. Hlavní změnou oproti předchozímu cyklu bylo vynechání 40 sekundového zahřívání motoru. Tím se začaly měřit i emise vypouštěné ihned po startu studeného motoru. Svým průběhem příliš nepřipomínal reálnou jízdu, proto ani naměřené hodnoty neodpovídaly hodnotám během reálného používání. Upuštěno od něho bylo po vypuknutí emisního skandálu koncernu Volkswagen. K vylepšení výsledků byly využívány i různé úpravy na vozidlech, například odpojení alternátoru, přehušnění pneumatik či použití jiných pneumatik a disků, než s jakými byl automobil dodáván na trh [19].



Obr. 9 Testovací cyklus NEDC [7]

### 4.4 TESTOVACÍ CYKLUS WLTP

WLTP (Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure) je nově vyvinutý celosvětově uznávaný testovací proces pro určení množství emisí a spotřeby paliva u automobilů se spalovacím motorem, hybridním pohonem či elektromobilů skládající se z částí WLTC (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle) a RDE (Real Driving Emission). Finální verze byla představena Evropskou hospodářskou komisí OSN v roce 2015. Hlavním cílem bylo přiblížit výsledky měření laboratorních testů ke skutečné jízdě po vozovce, jež předchozí testy vyhodnocovaly chybně. Začal se používat v průběhu roku 2017, kdy jím musely projít všechny nově certifikované automobily. Automobily uvedené na trh dříve mohly být i nadále testovány starším procesem NEDC. Toto se změnilo v září roku 2018. Od tohoto data musely být všechny nově registrované automobily měřeny pomocí cyklu WLTP. Nejvýraznějším rozdílem oproti cyklu NEDC je delší ujetá vzdálenost v delším



časovém intervalu, dále je pak vyšší jak průměrná, tak maximální rychlost, prudší akcelerace i brzdění. Mimo to se oproti předchozímu testu berou v potaz i případná nadstandardní výbava vozidla, která může zvýšit jeho hmotnost a tím i spotřebu oproti vozu se standardní výbavou. Další specifikací nové verze cyklu je i definice teplotních podmínek během laboratorního měření. Tato teplota by měla být přesně 23 °C. Poměrně výrazně se zmenšil počet zastavení vozu během testovacího procesu, čímž došlo ke snížení významnosti systému start-stop, který má za úkol vypínat spalovací motor, pokud vůz zastaví. Tento cyklus se následně dělí na tři třídy, z nichž nejpoužívanější je třída číslo 3. Třída testu je vybrána v závislosti poměru výkonu pohonné jednotky k hmotnosti testovaného automobilu [19, 22, 23].

## RDE

Novinkou tohoto procesu je i implementace testování emisí na reálné vozovce. Toto měření je označováno jako RDE. Provádí se pomocí přenosného zařízení, které je připevněno k výfuku automobilu. Toto měřicí zařízení, zobrazené na obr. 10, je nazýváno jako PEMS (Portable Emission Measurement System). Měření v reálném provozu však nebylo povinné již od začátku platnosti WLTP. V rámci průběžného přechodu ze starších emisních testů na nové se stalo toto měření povinnou součástí certifikace až v průběhu roku 2019, když začala platit emisní norma EURO 6d. Tato testovací fáze by měla trvat od 90 do 120 minut. Trasa ujetá automobilem během testování by se měla skládat z jedné třetiny z jízdy ve městě, druhá třetina trasy by měla být tvořena okresními silnicemi a poslední třetina představuje jízdu po dálnici. Převýšení této trasy by nemělo překročit 1200 m/100 km [19, 24].



Obr. 10 Vozidlo vybavené PEMS [1]

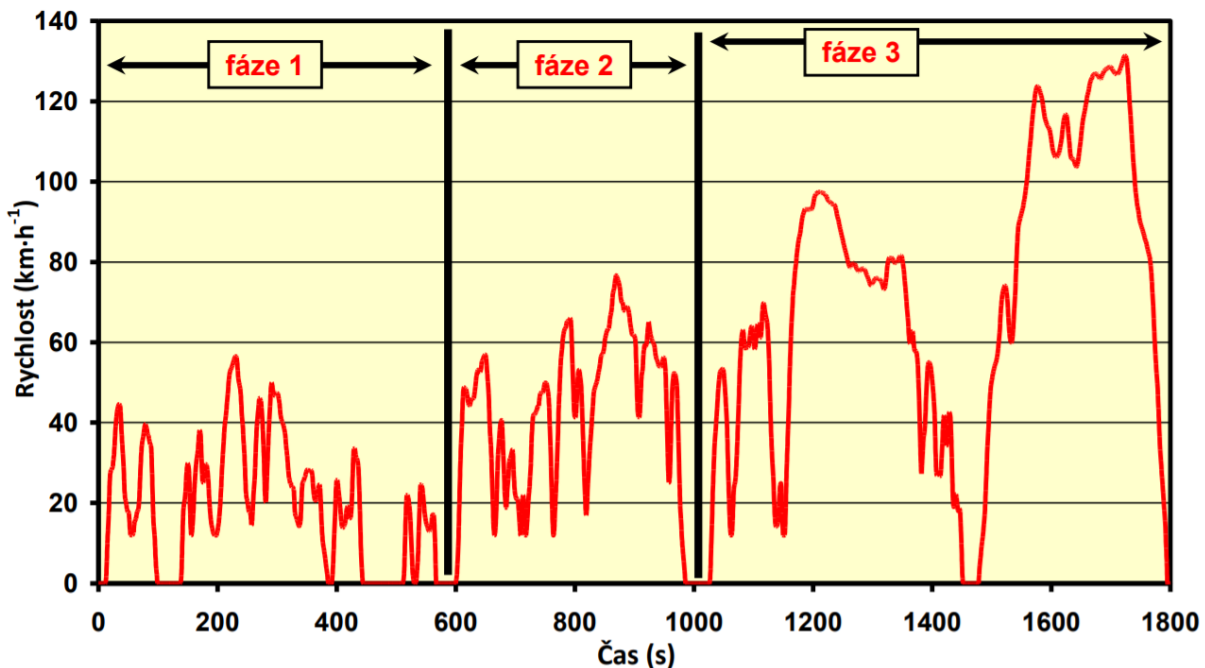
## WLTC

Třída 1 je určena pro vozidla s poměrem výkon k hmotnosti menším nebo rovným 22 W/kg. Test se skládá ze dvou částí, a to z jízdy nízkou a střední rychlostí. Doba trvání je 17 minut a

2 sekundy (1022 s) a dosahuje se při něm maximální rychlosti 64,4 km/h a celkové průměrné rychlosti 28,5 km/h [22, 25].

Testy třídy 2 jsou určeny pro vozidla s poměrem výkonu pohonné jednotky k hmotnosti větším než 22 W/kg a menším nebo rovným 34 W/kg. Testování trvá 24 minut a 37 sekund a je v něm k jízdě nízkou a střední rychlostí přidána i jízda vysokou rychlostí. Průměrná rychlost za celou dobu trvání testu je nyní zvýšena na 35,7 km/h, přičemž maximální dosahovaná rychlost je 85,2 km/h [22, 25].

Testy třídy 3, které podstupuje většina osobních automobilů, přidávají k testování nízkých, středních a vysokých rychlostí i testování rychlosti velmi vysoké, při němž se dosahuje rychlosti 131,3 km/h, což je vyšší rychlost než nejvyšší používaná rychlost při měření NEDC. Díky této přidané části trvá testování celých 30 minut a automobil během celého testu ujede vzdálenost 23,266 km. To je vzdálenost více než dvojnásobná oproti starším testům, čímž přichází o výhodu vozidla s hybridním pohonem, která dokázala ujet většinu starší, 11 kilometrů dlouhé trasy na elektrický pohon, díky čemuž dosahovala velmi nerealistických výsledků [22, 25].



Obr. 11 Měřicí cyklus WLTC třídy 3 [7]

## 5 ROZDÍL MEZI TESTOVÁNÍM NA DYNAMOMETRU A V REÁLNÉM PROVOZU

Emisní certifikační testy mají za úkol porovnávat emise vozidla a kontrolovat, zda v průběhu používání i nadále splňují nastavené limity. Použité testovací cykly se liší podle testovaného dopravního prostředku. U těžkých nákladních vozidel se motory většinou testují samostatně na motorovém dynamometru. Naopak lehká vozidla se testují na válcových dynamometrech. V Evropě se v současné době používá pro certifikaci osobních motorových vozidel měřicí cyklus WLTP. Tento cyklus nahradil dříve používaný měřicí cyklus NEDC (New European Driving Cycle), který se skládal ze dvou částí. První fáze tohoto testu představovala jízdu ve městě a druhá fáze jízdu mimo město. Na základě porovnání získaných dat z testování různých vozidel pomocí NEDC na válcovém dynamometru a měření stejných vozidel na reálné vozovce bylo zjištěno, že se naměřené hodnoty velmi liší. Nejvýznamnější naměřený rozdíl byl zjištěn v hodnotách  $\text{NO}_x$  (oxidy dusíku) a  $\text{CO}$ , které byly v reálném městském provozu až 10x vyšší oproti hodnotám naměřeným pomocí dříve používaného cyklu NEDC. Na tomto příkladu je dobře vidět nevhodnost testovacího cyklu NEDC. Jednou z možných příčin může být vyšší hustota provozu v reálných velkých městech, než jakou předpokládá použitý testovací cyklus. Hodnoty naměřené spotřeby paliva se také liší, avšak ne takovou měrou. Spotřeba paliva a emise  $\text{CO}_2$  jsou v cyklu NEDC podhodnocené zhruba o 10–20%. V rámci přechodu na testovací cyklus WLTP bylo zavedeno i povinné testování emisí v reálném provozu. To může být poměrně náročná disciplína. Kromě toho, že je toto testování časově náročnější, může být ovlivněno spoustou faktorů. Například rozdílnými teplotami, vlhkostí, tlakem vzduchu, dopravní situací nebo i samotným řidičem. Tím je velmi ztížena opakovatelnost měření. V praxi se ukázalo, že i mezi výsledky měření z reálného provozu a hodnotami naměřenými pomocí cyklu WLTC jsou velké rozdíly, proto byl v nové úpravě emisní normy EURO 6 představen tzv. faktor shody, který umožňuje odchylku emisí naměřených v reálném provozu od těch naměřených v laboratoři. Z toho vyplývá, že ani tento nový laboratorní cyklus nedokáže správně nasimulovat reálný provoz [26, 27].

Nejpřesnějších výsledků by tedy pravděpodobně bylo možné dosáhnout, pokud by se nové automobily testovaly pouze v reálném provozu. Ovšem kvůli již výše zmíněným faktorům, které ovlivňují výsledky je toto měření jen těžko opakovatelné a neposkytovalo by optimální porovnání jednotlivých vozů mezi sebou. Určitou alternativou k tomuto testování je měření na reálném okruhu. V tomto případě odpadají některé faktory ovlivňující výsledek, především vliv okolní dopravy. Stále však zůstává vliv například povětrnostních podmínek. Z tohoto důvodu zůstává role válcového dynamometru nepřekonaná [28].

## ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo vypracovat přehled konstrukčních řešení válcových dynamometrů podle požadavků společnosti AVL. Tento přehled byl zaměřen zejména na technické řešení simulace jízdních odporů. Další důležitou součástí bylo shrnutí praktických aplikací válcových dynamometrů v automobilovém průmyslu.

Byly diskutovány rozdíly v testování automobilů se spalovacím motorem, hybridním pohonem a elektrickým pohonem především podle aktuálně používaného testovacího cyklu WLTP.

Po představení „aféry DieselGate“ a jejího vlivu na testovací postupy v Evropě byla zaměřena pozornost na testovací cykly. Byly porovnány dříve používané typy cyklů s cyklem aktuálním. Nastavení těchto testů se všeobecně zlepšuje, ale stále nejsou schopné přinést výsledky odpovídající testování na reálné silnici. Nejpřesnějších výsledků bychom dosáhli právě testováním v reálném provozu, které se již nyní zavádí jako doplněk k testům v laboratoři. Toto měření má však nevýhodu v nízké úrovni opakovatelnosti, což ho činí nevhodným pro porovnávání výsledků vozidel mezi sebou. Z tohoto důvodu válcové dynamometry v blízké budoucnosti určitě nebudou nahrazeny přenosnými testovacími zařízeními ani jinou technologií.

## POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Firemní literatura AVL
- [2] ATKINS, R. D. An introduction to engine testing and development. Warrendale, Pa.: SAE International, 2009. ISBN 978-0-7680-2099-1.
- [3] DÜSER, T., H. OLMS, A. HAASE, R. von GAVEL, C. SCHMIDT a U. SCHMIDT. Vehicle Chassis Dynamometers. AVL List GmbH, Graz, 2011.
- [4] [online]. [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <https://www.mh.cz/wp-content/uploads/sites/76/2016/05/brzda999.jpg>
- [5] MARTYR, A. a M. A. PLINT. Engine testing: theory and practice. Third edition. Amsterdam: Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier, 2007. ISBN 978-0-7506-8439-2.
- [6] [online]. [cit. 2020-05-29]. Dostupné z: [https://www.dynomitedynamometer.com/images/dyno/eddy-current/20\\_eddy\\_current\\_with\\_hand\\_600.jpg](https://www.dynomitedynamometer.com/images/dyno/eddy-current/20_eddy_current_with_hand_600.jpg)
- [7] [online]. [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://cv.vscht.cz/files/uzel/0014041/0013~~c83NLE5VKDu8N600Ox9IJWcoFORU5h1dDwA.pdf?redirected>
- [8] [online]. [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <https://moje-novinky.cz/zpravy/tabulka-hlucnosti-s-decibely-a-priklady-hluku/>
- [9] [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: [https://www.avlcf.com/documents/10138/885973/Akustik-004930-2.2red\\_ok.jpg/469b1f6b-4eaa-4024-a027564cab052b03?t=1399634110000&width=1024&height=551](https://www.avlcf.com/documents/10138/885973/Akustik-004930-2.2red_ok.jpg/469b1f6b-4eaa-4024-a027564cab052b03?t=1399634110000&width=1024&height=551)
- [10] [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://www.testups.com/automotive-electromagnetic-compatibility-emc-test/>
- [11] [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://www.szutest.cz/emc-zkousky-elektromagneticke-kompatibility>
- [12] [online]. [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://bioage.typepad.com/.a/6a00d8341c4fbe53ef0240a4b9fd7d200b-550wi>
- [13] [online]. [cit. 2020-06-12]. Dostupné z: <https://www.vda.de/en/topics/environment-and-climate/Global-WLTP-roll-out-for-more-realistic-results-in-fuel-consumption/WLTP-How-are-plug-in-hybrids-and-electric-cars-measured.html>
- [14] [online]. [cit. 2020-06-12]. Dostupné z: <https://www.caranddriver.com/features/a26390899/what-is-hybrid-car/>
- [15] [online]. [cit. 2020-06-13]. Dostupné z: <https://www.autodeal.com.ph/custom/blog-post/header/toyota-hybrid-system-5d78a8f14e07c.jpg>
- [16] [online]. [cit. 2020-06-14]. Dostupné z: <https://www.cnet.com/roadshow/news/volks-wagen-share-meb-electric-car-platform/>

- [17] [online]. [cit. 2020-06-15]. Dostupné z: <https://www.bbc.com/news/business-34324772>
- [18] [online]. [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: <https://www.rac.co.uk/drive/advice/emissions/euro-emissions-standards/>
- [19] [online]. [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: [https://www.eca.europa.eu/lists/ecadocuments/brp\\_vehicle\\_emissions/brp\\_vehicle\\_emissions\\_en.pdf](https://www.eca.europa.eu/lists/ecadocuments/brp_vehicle_emissions/brp_vehicle_emissions_en.pdf)
- [20] [online]. [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/evropske-emisni-normy-jsou-s-nami-uz-od-roku-1970-94232>
- [21] [online]. [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: [https://dieselnet.com/standards/cycles/ece\\_eudc.php](https://dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php)
- [22] [online]. [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <https://wiki.unece.org/pages/viewpage.action?pageId=2523179>
- [23] [online]. [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <https://www.autorevue.cz/wltp-wiki-cyklusrozdil-nedc>
- [24] [online]. [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <https://www.bosch.com/stories/real-driving-emissions/>
- [25] [online]. [cit. 2020-06-06]. Dostupné z: [http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29glob\\_registry.html#jfmulticontent\\_c29896-15](http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29wgs/wp29gen/wp29glob_registry.html#jfmulticontent_c29896-15)
- [26] PELKMANS, L. a P. DEBAL. Comparison of on-road emissions with emissions measured on chassis dynamometer test cycles. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. 2006, 11(4), 233-241. DOI: 10.1016/j.trd.2006.04.001. ISSN 13619209. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1361920906000253>
- [27] PAVLOVIC, J., A. MAROTTA a B. CIUFFO. CO<sub>2</sub> emissions and energy demands of vehicles tested under the NEDC and the new WLTP type approval test procedures. *Applied Energy*. 2016, 177, 661-670. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.05.110. ISSN 03062619. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261916307152>
- [28] [online]. [cit. 2020-06-07]. Dostupné z: <https://www.fleeteurope.com/fr/new-energies-fiscalite-et-legislation/europe/features/do-you-know-your-euro-6-your-6c-and-6d-temp?a=DQU04&t%5B0%5D=Diesel&t%5B1%5D=RDE&t%5B2%5D=Euro%206d&t%5B3%5D=WLTP&t%5B4%5D=Euro%206d%20TEMP&t%5B5%5D=EVAP&t%5B6%5D=Taxation%20Guide&curl=1>

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$F$	[N]	Síla
$M_k$	[Nm]	Točivý moment
$n$	[s <sup>-1</sup> ]	Rychlost otáčení
$P$	[W]	Výkon
$r$	[m]	Poloměr
$\omega$	[rads <sup>-1</sup> ]	Úhlová rychlost

EUDC = Extra Urban Driving Cycle

MACD = Mileage Accumulation Chassis Dynamometer

NEDC = New European Driving Cycle

RDE = Real Driving Emission

SHED = Sealed Housing Evaporative Determination

WLTC = Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle

WLTP = Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure