

RDE menetciklus során kibocsátott káros anyagok vizsgálata hordozható emisszió mérő berendezés segítségével

Analysis of emissions in spark ignition engines using renewable fuel components in a testbench environment

TÓTH Máté

Széchenyi István Egyetem, Járműhajtás Technológia Tanszék, 9026 Győr, Egyetem tér 1.
tel.: +36 96 613574, fax: +36 96 613677, e-mail: toth.mate@ga.sze.hu, <http://jhtt.sze.hu>

Abstract

Modern internal combustion engines have to pass different test cycles during the official test. In the passenger car sector, Euro 6d emission regulations will be introduced in 2021, requiring passenger cars to be tested under real-world conditions. For this purpose, portable emission measurement systems - PEMS - have been developed. These devices can be used to measure emissions of carbon monoxide, carbon dioxide, nitrogen oxides, particulate matter and unburnt hydrocarbons. In this article, I will present a measurement to meet the requirements of the RDE by mounting the PEMS system on a vehicle and evaluating the measured data.

Keywords: PEMS, RDE, emission measurement

Kivonat

A modern belsőégésű motoroknak a hatásági vizsgálat során különböző tesztciklusoknak kell megfelelniük. 2021-ben a személyautók körében megjelent ez Euro 6d kibocsátási szabályozás, mely során a személyautókat már valós körülmények között is vizsgálni kell. Ezen célokra fejlesztették ki a hordozható emissziómérő berendezéseket – továbbiakban PEMS. Az ilyen berendezésekkel vizsgálni lehet a kibocsátott szén-monoxid, szén-dioxid, nitrogén-oxidok, szilárd részecskék darabszámát valamint az elégetlen szénhidrogéneket. Ebben a cikkben egy RDE mérést mutatok be, a PEMS rendszer autóra építésével valamint a mért adatok kiértékelésével.

Kulcsszavak: PEMS, RDE, károsanyag kibocsátás mérés, emisszió

1. BEVEZETÉS

Napjainkban egyre szigorodók az emissziós értékek szabályozása, mely nagyban kihat a gépjármű-technikában alkalmazott hajtáslánc fejlesztésének metódusaira és irányára. A kipufogóz emisszió tekintetében különféle menetciklusok voltak korábban mérvadók, azonban a közelmúlt eseményei miatt világossá vált, hogy a csupán tesztpadi mérések nem elegendők, a valós kibocsátás vizsgálata során. Ezért 2019-ben bevezetésre került az Euro 6d-TEMP (ideiglenes) előírás, mely szerint a személyi járműveknek át kell esniük egy közúti tesztelésen, mely során a jármű károsanyag kibocsátása mérésre kerül. Ezen határértékek a laboratóriumi tesztekénél (NEDC, WLTP) magasabb határértékkel rendelkeznek. Ezután 2021-től elfogadásra került az Euro 6d-ISC-FCM szabvány. Ezen károsanyag-kibocsátási szabvány hatályba lépése komoly szigorítást eredményezett a valós menetkörülmények között végzett tesztek során, melyet RDE azaz Real Driving Emissions teszteknek nevezünk. [1,2]

A kipufogógázból származó károsanyag kibocsátásának pontos elemzése (illetve, későbbi adat analízise), mint kutatási és ipari érdekeltiségeket is aktuális téma. Jelenleg a laboratóriumi és a valós vezetési körülmények közti határérték elmosódni látszik. A valós vezetési körülmények jelenleg RDE2 megnevezésre hallgatnak, mely változatos körülmények között teszteli a járműveket, városi, országúti és autópályás szakaszokon, meghatározott kondíciók között. Ez a korábbi RDE1 előíráshoz képest főleg a nitrogén-oxidok kibocsátását szigorítja, mely egy emberi szervezetre mérgező anyag. [1,2]

A tesztek során az emisszió mérését hordozható kibocsátásmérő rendszerrel mérik, melynek angol neve Portable Emissions Measurement System, a későbbiekben PEMS. Az ilyen rendszereknek meg kell felelniük az európai jogszabályokban meghatározott pontossági és megbízhatósági követelményeknek, továbbá rendelkezniük kell érvényes kalibrációval, illetve kiegészítő berendezésekkel, hogy a tesztek adatai elérhetőek legyenek a mérést kiértékelők számára. Ilyen PEMS rendszerek például: HORIBA OBS-ONE, AVL M.O.V.E. és Sensors LDV, utóbbival a győri Széchenyi István Egyetem Járműhajtás Technológia Tanszéke rendelkezik. A berendezés alkalmas CO, CO₂, NO_x valamint 10 és 23 nm szilárd részecskék darabszámának megállapítására. [1,2,3]

2. RDE VIZSGÁLAT PARAMÉTEREI

Már előzőekben említett RDE vizsgálatoknak szigorú előírásokat kell teljesíteni, annak érdekében, hogy a mérési teszt hitelesnek vélhető legyen. Vizsgálat ideje 90 és 120 perc közötti időintervallumot kell, hogy elérjen, miközben mind három különböző vezetési körülményt (városi, autóúti és autópályai) lefedi. Vezetési távolságnak a minimum 16 km-t legalább teljesíteni kell minden egyes vezetési körülmények között, illetve optimálisan a körülmények 34%, 33% és 33% százalékos arányban ($\pm 10\%$ megengedett) kell, hogy eloszoljanak. Városi és autóúti menetciklus megkülönböztetésére 60 km/h és 90 km/h a kiszabott határértékek. Méréshez meghatározott menetciklusterv összetételéhez is számos peremfeltételnek kell, hogy megfeleljen a vizsgálat: [4]

- Külső hőmérséklet teszt időtartalma alatt 0 és 30 °C között kell, hogy legyen. Kiterjesztett hőmérséklet változó használatával kiértékelés során, -7 és 30 °C közötti hőmérséklet is megengedett.
- Teszt elvégzése során tengerszint feletti magasság 700 m, illetve 1300 m (kiterjesztett tengerszint feletti magasság esetén) nem haladhatja meg.
- Mérési folyamatok során keletkezendő felesleges, vagy úgynevezett zavaró adatok nem számítódnak bele a végleges kiértékelésbe:
 - Belsőégésű motor indítása és üzemi hőmérséklet eléréséhez megtett idő, ahol is a vízhőfok nem érte még el a 70 °C értéket.
 - Tétlen állapot („Idle”), ahol is a gépjármű sebessége kevesebb mint 1 km/h.
 - Belsőégésű motor leállítása alatt megtett időintervallum.

3. KÁROSANYAG ELEMZÉS METÓDUSA PEMS RENDSZEREKBEN

Kipufogógáz károsanyag elemzése, PEMS rendszeren belül, annak bizonyos komponenseire való felbontásán és mértékének detektálásán alapszik. Különböző komponensek, más-más metódust követelnek meg, melyet az első táblázat mutat be, három különböző gyártó esetén.

1. táblázat: PEMS modulok különböző méréstechnikai eljárásai a kívánt vizsgálandó kipufogógáz komponensek függvényében, illetve tömegáram mérési eljárás bemutatása [3,4,5]

Komponensek	HORIBA OBS-ONE	AVL M.O.V.E.	Sensors LDV
CO	Non-dispersive Infrared (NDIR)		
CO₂	Non-dispersive Infrared (NDIR)		
NO_x	Chemiluminescence (CLD)	Non-dispersive Ultraviolet (NDUV)	
PM	Condensation Particle Counter (CPC)	Diffusion Charger (DC)	Condensation Particle Counter (CPC)
Tömegáram	Pilot flow meter		

Ahogy a táblázatban látható, gyártóként eltérhet a felhasznált mérési elv. Jelen kutatásban a SENSORS LDV berendezés került használatra, így azok mérési módszerei kerülnek részletesebb bemutatásra.

Az NDIR mérés során a gázok infravörös fényelnyelő tulajdonságán alapul. Az infravörös fény a mérőkamrában lévő gázmolekulák a fény egy részét elnyelik, így annak intenzitása csökken, mely során a fényelnyelés arányos az adott gáz koncentrációjával. Minden komponens más-más frekvenciáját nyeli el az infravörös sugárzásnak, ezek specifikus frekvenciatartományok vizsgálatával megállapítható a CO és CO₂ mértéke.

Az NDUV mérési módszer az ultraibolya sugárzás molekuláris elnyelésén alapszik. A módszer során egy UV fényforrás fényét nyeli el az adott gáz, mely szintén egy mérőkamrában átvezetve történik meg. Az UV fény egy részét a vizsgált gáz elnyeli, az elnyelés mértéke pedig csökkenti az UV fény intenzitását, melyből megállapítható a vizsgált gáz koncentrációja. Ez olyan gázok vizsgálatára használható, melyek UV fényt képesek elnyelni, a vizsgáltak közül ilyenek a nitrogén-oxidok.

A szilárd részecskék számlálására egy elterjedt módszer a CPC mérési módszer alkalmazása. Ezen elv a részecskék kondenzációs növekedésén alapul. A bejuttatott részecskék túltelített gőzzel érintkeznek, esetünkben butanol gőzével, mely kondenzációs magnak minősül. Ennek hatására a butanol lecsapódik a részecskék felületén, jelentősen megnövelve azok méretét. Ezen megnövekedett részecskék pedig már elegendő mérettel rendelkeznek az optikai detektorral (például lézer) történő számláláshoz. A jelenleg szükséges CPC rendszereknek 10 és 23 nanométer tartományban szükséges mérniük.

A használni kívánt PEMS mérőrendszer típusa SENSORS DS+ LDV. Ez a gyártó 5. generációs PEMS rendszere, mely a tervezés során könnyű személygépjárművekhez lett tervezve. (3,5 tonna alatti járművek, melyek a személygépkocsi kategóriába tartoznak) A rendszer képes a kalibrálás folyamatáról automatikusan jegyzőkönyvet létrehozni, mely alapján a mérések felhasználhatók engedélyezési folyamatokhoz is. Az alábbi szabályozásoknak felel meg az említett berendezés: [5]

- EU Reg. No. 692/2008, & amendments 2016/427 and 2016/646
Ez az EU-s rendelet a könnyű személy- és haszongépjárművek (Euro 5 és Euro 6) kibocsátásával kapcsolatos típusjóváhagyásról szól, és annak módosításai pontosítják és szigorítják a kibocsátási követelményeket.
- EU Reg. No. 2017/1151 and amendments 2017/1154
Ez a rendelet a könnyű személy- és haszongépjárművek kibocsátásának laboratóriumi és valós vezetési körülmények közötti (RDE) mérésére vonatkozó új eljárásokat vezeti be, ezzel biztosítva a valósághűbb kibocsátási értékeket.
- India's Bharat VI
A Bharat VI India legújabb kibocsátási normája, amely az Euro 6-tal egyenértékű szigorú követelményeket határoz meg a járművek károsanyag-kibocsátására. Tartalmaz RDE méréseket is, a szabvány célja a Nitrogén-oxidok és a részecskék kibocsátásának csökkentése.
- China's National 6
A National 6 Kína legszigorúbb kibocsátási normája, amely szorosan követi az Euro 6d által megszabott határokat. RDE mérést tartalmaz a szabvány.

4. MÉRŐRENDSZER FELÉPÍTÉSE

A mérőrendszer alapját a PEMS mint mérőeszköz, valamint a kiválasztott jármű képzik. A mérőrendszer az alábbi felsorolásban olvasható egységekből áll. A lista végén az 1. ábrán látható a felépített rendszer. [5]

Vonóhorog adapter: A PEMS rendszerhez gyártott, 75 kg terhet is elviselő adapter. A kapcsoló fej surlódással, rugóerővel illetve egy retesszel rögzül a vonógömbön, így elfordulás, lerázkódás ellen védett a rendszer.

Gáz modul: Tartalmazza a NO és NO₂ méréséhez használatos NDUV modult, illetve a CO és CO₂ méréséhez szükséges NDIR analizátor.

Részecske számláló modul: A CPC mérési elvel üzemelő részecske számlálót tartalmazza, mely 10 és 23 nanométeres részecskék mérésére kalibrált eszköz.

Mintavételező és elektronikai modul: Ezen modul felel a gáz mintavételezéséért a kipufogó rendszerből. Tartalmazza az elektronikus feldolgozó illetve adatgyűjtő rendszert, az erőforrás managementet, valamint a kommunikációs portokat. Wifi hálózattal rendelkezik, a jelszó ismeretében bármilyen wifi kompatibilis eszközzel elvégezhető az üzemeltetés, vagy az adatok ellenőrzése.

Kipufogógáz térfogatáram mérő: A megfelelő kibocsátás méréshez elengedhetetlen a pontos kipufogógáz tömegáram mérése. Ehhez egy venturi csöves térfogatáram mérő áll rendelkezésre. Fontos ezel légmentes kapcsolatot biztosítani, hogy tiszta levegővel nem hígítódjon a minta.

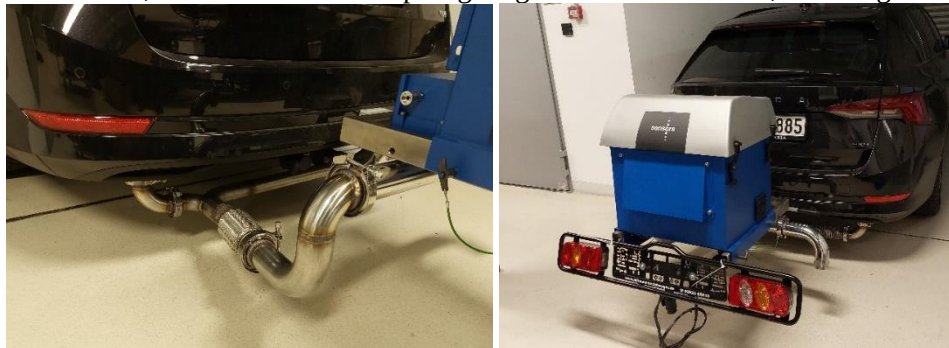
Vezérlő modul: Az autóban a vezető mellett helyezkedik el egy vezérlő modul, mely mérés indítás, vészleállítás, valamint kommunikációs csatlakozási pontokat lát el. Ezen modulba csatlakozik az OBD2 rendszer, mely a jármű élő adatait küldi a PEMS részére. Az OBD2 egy szabványos protokoll, melyen a különféle járműgyártók az emisszió szabályozásához illetve ellenőrzéséhez szükséges adatokat rendelkezésre bocsátják.

GPS modul: GPS alapú dátum, idő, magasság, hosszúság és sebesség rögzítésért fele.

Időjárás adatgyűjtő modul: hőmérséklet, nyomás, illetve relatív páratartalom mérésre szolgáló berendezés. Használata nagyon fontos a perem kondíciók megállapítása miatt.

Tápegység és akkumulátor: A rendszer rendelkezik egy tápegységgel, mellyel az felmelegíthető az üzemi hőmérsékletre, a hálózati áram segítségével. A járműben pedig az áramellátása egy akkumulátor kerül beépítésre. Mivel a teljes rendszer folyamatos fogyasztása megközelíti a 30 Amper áramerősséget, ezért nagy kapacitással, és viszonylag magas kisütési áramot tűrő akkumulátor használata szükséges, ezen célokra LiFePo₄ akkumulátorok megfelelőek, melyek továbbá minden működéshez szükséges funkciót is tartalmaznak. Az általunk használt akkumulátor kapacitása 200Ah, folyamatos kisütő árama pedig maximum 100 Amper. Ezen kapacitással a rendszer 6 órán át működőképes, tehát napi szinten 2-3 RDE mérési is megvalósítható vele. Az akkumulátor töltésére Bosch C80 akkumulátor töltő alkalmas.

Jármű: A Járműhajtás Technológia Tanszék egy Skoda Octavia 4x4 járművel rendelkezik, mely 2.0 literes, 140 kW-os motorral van szerelve. Ezen motor a Skoda esetében egy dupla végű kipufogórendszerrel van ellátva, mely a mérőrendszert tekintve hátrány. Emiatt annak átalakítása volt szükséges, mely egy Y tagon keresztül a két dobból kijövő gázt egy útra tereli, majd bevezeti a mérőrendszerbe. Erre V-band bilicsek, rozsdamentes acél csövek, valamint flexibilis kipufogó tagok lettek kiválasztva, összehegesztve.



1. ábra: PEMS mérőrendszerhez felépített kipufogórendszer csövezés valamint a komplett rendszer ábrázolása

5. PEMS HASZNÁLATHOZ SZÜKSÉGES SZABÁLYOZÁSOK

A mérések végrehajtása során azokat zárt pályán, vagy a közúti forgalomban lehet megtenni. Utóbbi változatosabb és jobban alkalmazható a célokhoz, mint RDE körülmények megteremtése. Azonban a közúti közlekedés több aggályt is felvet a berendezés használata során. Mivel a közúti forgalom szabályozásának meg kell felelni, ezért megkérdőjelezésre került a rendőrség illetve az NKH, illetve internetes kutatómunka lett végezve, a rendszer szabályosságának vizsgálata miatt. Fontos megjegyzés, hogy a PEMS csupán egy kipufogógáz mérőrendszer, ez alapjaiban nem változtat a jármű kibocsátásán.

A fejlesztési célú járműveket az 5/1990. (IV.12.) KöHÉM és az 6/1990. (IV.12.) KöHÉM rendeletek szabályozzák. Azonban ezen rendeletek értelmezése a még nem forgalomban lévő, vagy épp kísérleti, például autonóm járművekre terjed ki. Ez alapján a járművet kísérleti járművé kellene minősíteni, azonban ezen feltételezéssel nem értünk egyet, hiszen a járművön nem lesznek károsanyag kibocsátást befolyásoló változtatások. [6]

Az 1/1975. (II.5.) KPM-BM együttes rendelet 47. § alapján 7. A gépkocsi hátsó részéhez rögzített rakományt úgy kell elhelyezni, hogy

a gépkocsi hátsó részén elhelyezett világító és fényjelző berendezések és a rendszámtábla látható legyen,

b) a gépkocsi hossz tengelye irányában hátrafelé legfeljebb 1 m-re, oldal irányban legfeljebb 0,4 m-re nyúljon ki,

d) a rakomány megjelölése feleljen meg a (6) bekezdésben meghatározott rendelkezésnek. [6]

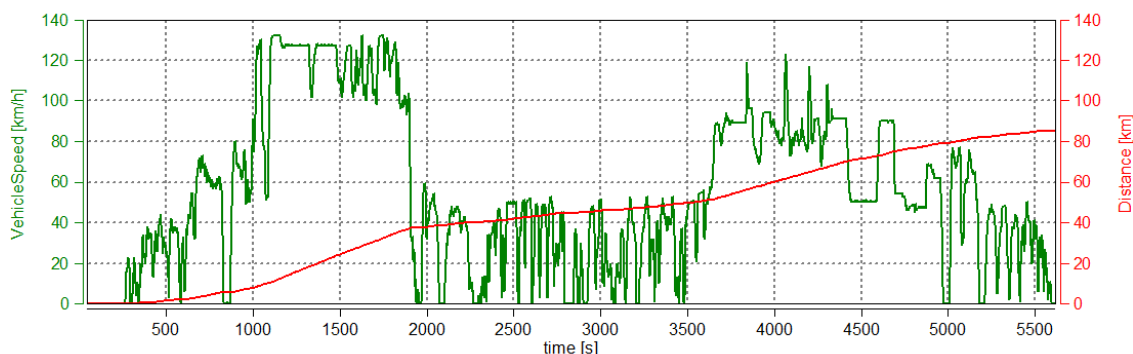
A 6. bekezdés tartalmazza a megfelelő előírásokat a túlnyúlás, valamint a fény és jelző berendezések használatáról. Ezen rendeletből az első feltétel nem teljesíthető, ezért a rendszámtábla átrakásra kerülne ez úton a „rakományra”, vagy arra kerékpár szállító eszközre is alkalmazható, szürke rendszám kerülne, a hozzá tartozó világító berendezésekkel.

Harmadik lehetőségként a rendszer hasonlóan van kezelve, mint a vonóhorogra szerelhető kerékpár szállítók. Ez esetben egy úgynevezett szürke rendszámot kell használni, melyet direkt kerékpárszállítás miatt hoztak létre a szabályozó szervek. Azonban a rendelkezés nem szól egyéb, kerék nélkül a vonóhorogra csatlakozó eszközök használatáról. Ilyen például a különböző vonóhorog csomagtartók használata, melyekhez nem érhető el egyértelműen szabályozás. Továbbá nincs egyértelműen definiálva a kerékpár szállító, valamint, hogy azon szállítható-e más típusú rakomány.

Mindezekon felül biztosítást szükséges kötni az eszközre, hiszen a berendezés az autó értékének sokszorososa.

6. RDE MÉRÉS BEMUTATÁSA

Az RDE mérésekhez útvonal tervezés szükséges, hiszen így lehetséges a legkönnyebben teljesíteni a megfelelő arányokat és kondíciókat. A jelenleg tervezett útvonal Győr-Mosonmagyaróvár közötti szakaszt fedte le. Ezen útvonalnak a sebesség – megtett távolság diagramja a következő ábrán látható.



2. ábra: Jármű sebesség és megtett út ábrázolása az idő függvényében egy RDE mérés közben

Ahogy a diagrammon látni lehet, az RDE mérés közben fontos, hogy szabályok be legyenek tartva, illetve, hogy a különböző szakaszok alkalmazhatóak legyenek a mérésre. A bemutatott mérés város – autópálya – város – autót – város sorrendet követ. A későbbi emissziómérés kiértékelés során fontos szempont, hogy a második pontban leírtakat figyelembe vegyük.

KONKLÚZIÓ

Jelen cikk bemutatta, hogy egy PEMS mérőrendszer milyen kihívásokkal, illetve lehetőségekkel látja el a felhasználót. Összefoglalva, fontos betartani az RDE mérések során felállított követelményeket, ennek függvényében megtervezni az utakat, melyek során az emisszió mérésre kerül. További fontos feladat a berendezés megfelelő ismerete, az időszakos kalibrációk elvégzése. Ezen publikáció egy RDE mérés bemutatásával zárult, mely során látható, hogy a mérés után még milyen utómunka szükséges a későbbi kiértékeléshez. Ebben a cikkben az 5. pontban említett szabályozások miatt nem került tényleges RDE-PEMS mérés bemutatásra, azonban folyamatos kapcsolatban vagyunk a hatóságokkal, hogy a méréseket és a kutatást minél hamarabb el tudjuk kezdeni.

IRODALMI HIVATKOZÁSOK

[1] Wikipédia: Európai kibocsátási normák, <https://hu.wikipedia.org/>

[2] Nagyszokolyai Iván: Autótechnika Magazin: Az Audi módosította modellpalettáját az Euro 6d kipufogógáz előírás alapján, 2021

[3] Vučetić, A., Sraga, V. ., Bućan, B., Ormuž, K. ., Šagi, G. ., Ilinčić, P. ., & Lulić, Z. (2022). Real Driving Emission from Vehicle Fuelled by Petrol and Liquefied Petroleum Gas (LPG). *Cognitive Sustainability*, 1(4). <https://doi.org/10.55343/cogsust.38>

[4] Xin, W.; Daisy, T.; Yunshan, G.; Wenlin, Y.; Bin, S.; Xiaoliu, X.; Sikai, Z.; Zhengjun, Y.; Sheng, S.; Huiming, G.; Shihua, Y., Hongwen, H.; Junqiang, X.; Bingzheng, F.; Hang, Y.; Weicheng, C.; Hu, L. *Proceedings of Real Driving Emission (RDE) Measurement in China. SAE Tech. Paper.* 2018, doi:10.4271/2018-01-0653.

[5] Sensors, Inc. Introduction – PEMS. 2022, (32 oldal), www.sensors-inc.com

[6] 6/1990. (IV. 12.) KöHÉM rendelet a közúti járművek forgalomba helyezésének és forgalomban tartásának műszaki feltételeiről. 1 <https://njt.hu/jogszabaly/1990-6-20-5E>