

A belső égésű személygépjármű motorok jövőbeni emissziós típusvizsgálati előírásai

A jövőbeni emissziós típusvizsgálati előírások egyre nagyobb követelményeket támasztanak a személygépjármű motorokat és a személygépjárműveket gyártókkal szemben. Egyik műszaki megoldás lehet az EURO 7 előírásnak való megfelelés érdekében a motorok sztöchiometrikus tüzelőanyag-levegő-keverékkel történő üzemeltetése a motorok teljes terhelés-fordulatszám tartományán. A bemutatott elemzés hasznos, ismeretbővítő információkkal szolgálhat.

DOI: <https://doi.org/10.24228/KTSZ.2021.4.3>

Szabados György – Hézer Jozefin – Szűcs Herman

egyetemi adjunktus Járműmérnök MSc hallgató fejlesztő mérnök
Széchenyi István Egyetem Széchenyi István Egyetem Audi Hungária Zrt.
e-mail: szabados.gyorgy.gergo@ga.sze.hu, hezerjozefin@gmail.com, szucsberman@outlook.hu

1. BEVEZETÉS - A VONATKOZÓ JOGSZABÁLYOK, HATÁRÉRTÉKEK KIALAKULÁSA

Az olyan tüzelőanyagok tökéletes égésekor, amelyek csak szénből és hidrogénből állnak, a kipufogógáz komponensei a nitrogén (N_2), szén-dioxid (CO_2) és vízgőz (H_2O). Azonban az égésfolyamatra rendelkezésre álló rövid idő és az égéstérben a hőmérséklet heterogén eloszlása miatt az égés nem lesz tökéletes a belső égésű motorok valós üzeme során. A valós égésfolyamat során károsanyagok is keletkeznek, úgymint a szén-monoxid (CO), az összes elégetlen szén-hidrogén (Total Hydro-Carbon, THC), a nitrogén-oxidok (NO_x) és egyéb részecskék. A szakirodalom a CO_2 -t nem tekinti károsanyagnak, mivel közvetlenül nem egészségkárosító – az emberiség megjelenése előtt is már jelen volt a légkörben –, azonban környezetterhelő. A közúti gépjárművek motorjai által kibocsátott légszennyező károsanyagok közül a jelenleg szabályozott komponensek

a CO, NO_x , THC, NH_3 , a részecske tömeg (Particulate Mass, PM) és részecske szám (Particulate Number, PN). Az ammónia (NH_3) kibocsátás azoknál a motoroknál jelenik meg a motor kipufogógázában, ahol az NO_x csökkentése érdekében karbamid vizes oldatát alkalmazzák szelektív katalitikus redukcióval (Selective Catalytic Reduction, SCR). Az EU (Európai Unió) és az ENSZ-EGB (Egyesült Nemzetek Szervezete – Európai Gazdasági Bizottság) is a gépjármű műszaki előírásokat a légszennyező károsanyagok vizsgálata tekintetében többféle járműtípusra külön-külön adja meg, úgymint személygépjárművek, tehergépjárművek motorjai, nem közúti gépek motorjai, valamint a két- és háromkerekű járművek. Cikkünkben a személygépjárművek motorjaival és a személygépjárművek vizsgálatával foglalkozunk.

Amikor vizsgálati ciklusról beszélünk akkor az előírásokban található I. típusú vizsgálatról van szó, amit a kipufogó csővégi emisszió

mérése hidegindítás után az adott vizsgálati ciklus lefutása során tapasztalunk. A közúti személygépjárművek belső égésű motorjaira vonatkozó első emissziós előírásokat a benzinmotorokra az 1960-as években alkották meg. Az EU első károsanyag-kibocsátás szabályozása (70/220/EEC irányelv) 1970-ben született meg. Ez a benzinmotorok HC és CO kibocsátásának vizsgálatát írta elő, és a komponensek határértékeit szabta meg. Ezzel analóg volt az ENSZ-ben a 15. számú előírás (ECE R15). Eleinte csak a HC és a CO kibocsátást szabályozták. Ezért a gyártók szegény keverékekkel működtették a személygépjármű benzinmotorokat, így a NO_x kibocsátás megnőtt. Ez eredményezte 1977-ben, hogy már a NO_x kibocsátást is szabályozták. A dízelmotorok károsanyag-kibocsátását Európában 1988-tól szabályozták.

2. AZ EURÓPAI EMISSZIÓS ELŐÍRÁSOK SZIGORODÁSA

Az „EURO” előírásokat 1992-ben az EURO I-gyel (91/441/EEC) készítették el. Az előírásban rögzített követelményeket a kipufogógáz utókezelő katalizátorok és az ólmozatlan benzin használatával tudták elérni a gyártók. A személygépjárművek kibocsátási határértékeinek alakulása meg-

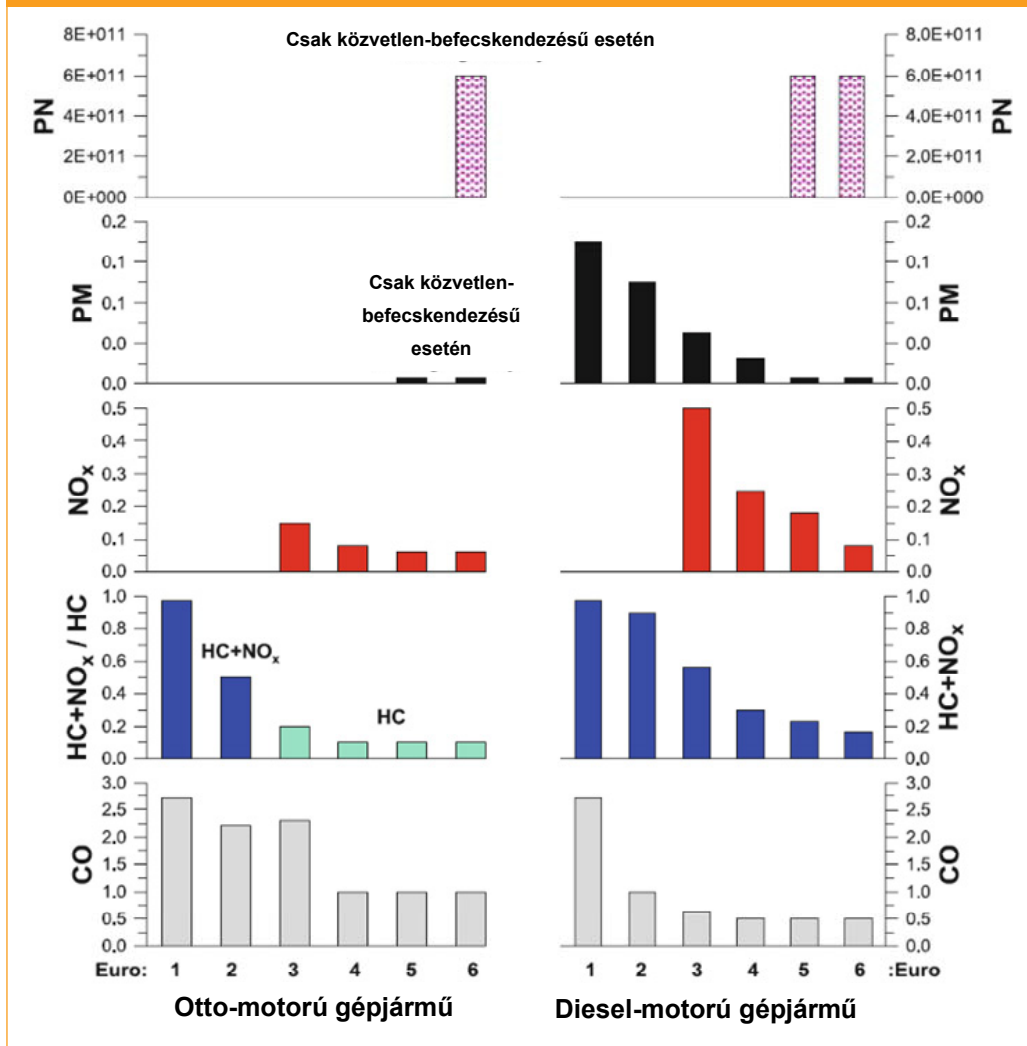
figyelhető az **1. táblázatban** és az **1. ábrán**. Dízelmotoroknál a heterogén keverék miatt elkerülhetetlen a részecske-képződés, ami a szívócsőbefecskendezéses szikragyújtású motoroknál nem volt probléma. A kompressziógyújtású motorok esetében a részecskekibocsátás követelményeinek való megfelelést a dízel részecszeszűrők (Diesel Particulate Filter, DPF) bevezetése megoldotta: A közvetlen benzinbefecskendezésű, szikragyújtású motoroknál a részecskekibocsátás kérdése viszont előtérbe került. Euro 5-től már a közvetlen befecskendezéses benzinmotorokra is vonatkozik határérték a kibocsátott részecskék tömegére, ezért a benzinmotor részecskeszűrők (Gasoline Particulate Filter, GPF) alkalmazása vált szükségessé [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

A dízelmotorok esetében az SCR katalizátorok és a kombinált részecskeszűrő révén mind a PM/PN, mind az NO_x kibocsátás alacsony szinten tartható. A **2. ábra** az európai és az ENSZ személygépjármű emissziós típusvizsgálati előírások jogi aktusait, a vizsgált komponenseket, a jellemző kipufogógáz-utókezelés műszaki megoldásait és az alkalmazott vizsgálati ciklusokat mutatja az idő függvényében kompressziógyújtású és szikragyújtású motorokra egyaránt [5, 6].

1. táblázat: EURO előírások határértékei és mérési ciklusai benzin- és dízelmotorokra [8]

EURO fokozat →		1	2	3	4	5a	5b	6b	6c
Bevezetés éve →		1992	1996	2000	2005	2009	2011	2014	2017
Otto-motorú gépjármű	CO	2720	2200	2300	1000	1000	1000	1000	1000
	HC+NO _x	970	500	-	-	-	-	-	-
	HC	-	-	200	100	100	100	100	100
	NO _x	-	-	150	80	60	60	60	60
	HC	-	-	-	-	68	68	68	68
	PM	-	-	-	-	5	4,5	4,5	4,5
	PN [# /km]	-	-	-	-	-	-	6x10 ¹¹	6x10 ¹¹
Dízel-motorú gépjármű	CO	2720	1000	640	500	500	500	500	500
	HC+NO _x	970	700	560	300	230	230	170	170
	NO _x	-	-	500	250	180	180	80	80
	PM	140	80	50	25	5	4,5	4,5	4,5
	PN [# /km]	-	-	-	-	-	6x10 ¹¹	6x10 ¹¹	6x10 ¹¹

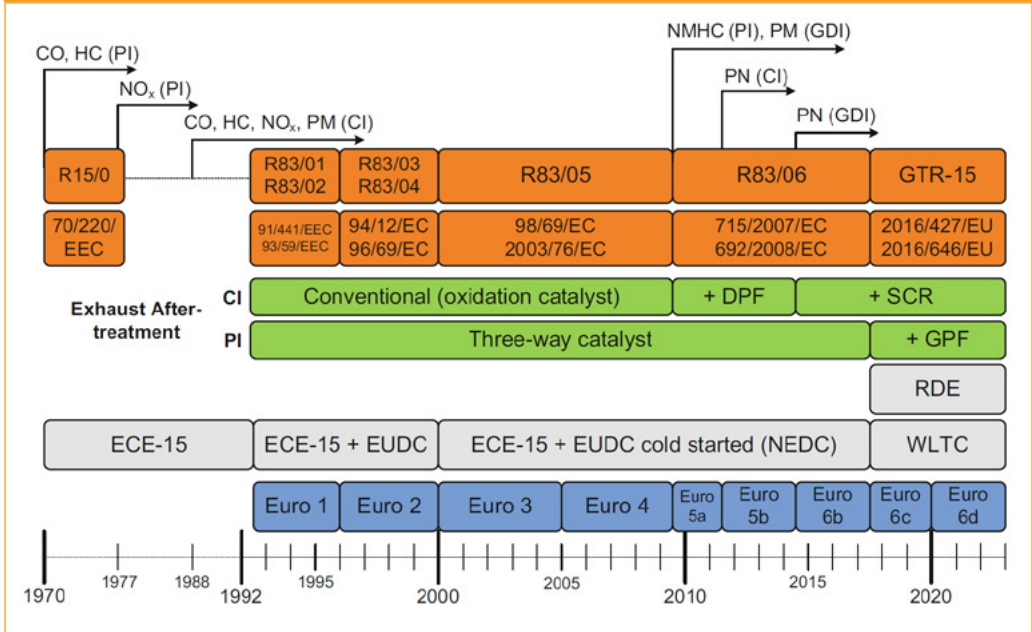
1. ábra: Az „EURO” kibocsátási határértékek alakulása az Európai Unióban az M1 és N1 kategóriájú járműveknél [6]



Az Európai Unióban alkalmazott károsanyag-kibocsátás vizsgálatok alkalmazott vezetési ciklus kezdetben az ECE-R15 előírásból vett vizsgálati ciklus volt, majd az Euro 1-től (1992) ECE+EUDC ciklusok, 2000-től az NEDC (New European Driving cycle) ciklus, 2017-től az Euro 6c szabvánnyal pedig a WLTC (Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Cycle) ciklust alkalmazzák. Az ECE+EUDC ciklus esetében a mintavétel kezdete előtt egy 40 másodperces alapjárat volt. Az Euro

3-tól, 2000-től a kibocsátás mintavétele azonnal megkezdődik a motor indításával, tehát a 40 mp melegítési idő alatti kibocsátást is mintavételezik, mérik. Ez valósul meg tehát az NEDC vizsgálati ciklus során. Ami azért okozott problémát a gyártók számára az ezt megelőző vizsgálat-hoz képest, mert a motorbemelegedési tranziensüzem jelentős károsanyag-kibocsátást eredményez, mivel ekkor a katalizátor még nem az üzemi hőmérsékletén dolgozik.

2. ábra: Áttekintés a személygépjárművek emissziós típusvizsgálati előírásairól [6]



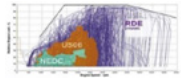




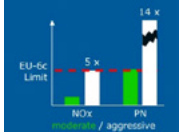
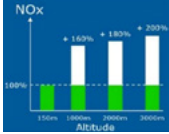
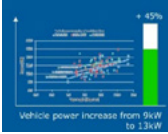
(Jelmagyarázat a 2. ábrához: CO – Carbon-monoxide; HC – HydroCarbon; NO_x – Nitrogen-oxides; PM – Particulate Mass; PN – Particulate Number; NMHC – Non-Methan HydronCarbon; PI – Positive Ignition; CI – Compression Ignition; GDI – Gasoline Direct Injection; R – Regulation; GTR – Global Technical Regulation; EC – European Commission; EU – European Union; Exhaust Aftertreatment – Kipufogógáz utókezelés; Oxidation catalyst – oxidációs katalizátor; Three-way catalyst – hármas hatású katalizátor; DPF – Diesel Particulate Filter; SCR – Selective Catalytic Reduction; GPF – Gasoline Particulate Filter; RDE – Real Driving Emission; ECE – Economic Commission for Europe; EUDC – European Urban Driving Cycle; NEDC – New European Driving Cycle; WLTC – World Lightduty Test Cycle)

A károsanyag-kibocsátások csökkentése és az új vizsgálati módszerek (WLTC és az RDE (Real Driving Emission)) az autóiipar legnagyobb kihívásai, amelyek teljesen megváltoztatták a járművek jóváhagyásának megközelítését. A szigorodó korlátozásokat egyre szélesebb peremfeltételek mellett kell teljesíteni, továbbá a szabályozás alá eső paraméterek (károsanyag-komponensek) is bővültek. A nitrogén-oxidok (NO_x) és a szén-monoxid (CO) emissziójának közüti mérését és ellenőrzését hordozható kibocsátásmérő rendszerek (PEMS, Portable Emission Measurement Systems) felhasználásával végzik az Euro 6c 2016-os megjelenése óta. Az RDE olyan emissziós vizsgálati módszer, amely valós vezetési körülmények között, változó forgalmi feltételek mellett hordozható PEMS berendezéssel méri a jármű csővégi károsanyag-kibocsátását. A valós vezetési körülmények során

a jármű károsanyag-kibocsátására gyakorolt különböző hatásokat mutatja be az **3. ábra** [1, 5, 6, 7].

Az első RDE csomagot az (EU) 2016/427 bizottsági rendeletben tették közzé, a második és a harmadik csomagot az (EU) 2016/626, 2017/1151 és 2017/1154 bizottsági rendeletekben. A negyedik RDE csomag bevezette a használt járművek tesztelését is (ISC, In-Service Conformity). Valós körülmények között mérve egyes komponensek kibocsátási értékei – különösen az NO_x, de a részecske és más komponenseké is, mint a CO₂ – sokkal nagyobbak lehet, mint a laboratóriumi mérés során. Az RDE esetében gyakorlatilag egy sokkal szélesebb motorüzemi tartományban kell megfelelni a kibocsátási határértékeknek. Mind a WLTC, mind az RDE eljárás megköveteli a motor hitelesítését, de az RDE szigorú követelményei

3. ábra: A valós üzemi vizsgálatok során a járművek károsanyag-kibocsátását legnagyobb mértékben befolyásoló tényezők [8]

Vezetési ciklus	Vezetési stílus	Magasság	Szél
			
A jellegző nagyobb részén történik a vizsgálat: NEDC → WLTP RDE	A vezetési stílus nagy hatással van a kibocsátásra: Agresszív Mérsékelt	A magasság hatása: Fizikai Kalibráció	A szél hatása: Oldalszél Forgalmi viszonyok Szélárnyék
Példa:	Példa:	Példa:	Példa:
			

miatt a károsanyag-kibocsátás szempontjából nem a WLTC a fő kihívás [1, 5, 6, 7].

Az „EURO 7” előírásokat a 2023-2025 közötti időszakra prognosztizálják, ami várhatóan sztöchiometrikus keveréket ($\lambda=1$) igényel a hajtómotor teljes jellegzőjében annak biztosítása érdekében, hogy a hármas hatású katalizátor hatékonyan működjön minden körülmények között, ideértve az RDE határértételeit is. Az „EURO 7” várhatóan ugyanazon vizsgálati módszereket szigorított határértékekkel fogja előírni minden motortípusra és motorhajtóanyagra. Ez azt jelentené, hogy egy Otto- és egy dízelmotorral hajtott járműre ugyanazon határértékek lennének érvényesek, amivel az előírások tüzelőanyag és technológia függetlenek lesznek. Várhatóan a részecskék számát egy nagyobb mérettartományon kell megvizsgálni (10 nm-től, szemben a 23 nm-rel). További lehetséges változás az NO_2 , sőt az N_2O , NH_3 és az aldehidek határértékeinek bevezetése. Az EURO 7 határértékek elő-

revetített, valószínűsíthető értékei láthatók a 2. táblázatban [5, 9].

3. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikk bemutatotta az egyre szigorodó károsanyag-kibocsátási előírások legfontosabb paramétereit, és azokat a műszaki megoldásokat, amelyekkel a motorgyártók megpróbálják megvalósítani az előírásoknak való megfelelést.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Bagány M.: *Belsőégésű motorok*, Egyetemi tananyag Kecskeméti Főiskola Gépipari Automatizálási Műszaki Főiskolai Kar, Typotex Kiadó, 2011, ISBN 978-963-279-656-7, pp. 184
- [2] Vas A.: *Belsőégésű motorok szerkezete és működése*, Szaktudás Kiadó Ház, Budapest, 2005, ISBN 963 9553 49 2, 443
- [3] Kalmár I., Stukovszky Zs.: *Belsőégésű motorok folyamatai*, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 1998, ISBN 963 420 565 8, 474

2. táblázat: Euro 7 határértékek várható értékei összehasonlítva az Euro 6d értékekkel [10]

	Vizsgálati ciklus	THC [mg/km]	NMHC [mg/km]	NO_x [mg/km]	NO_2 [mg/km]	CO [mg/km]	PM [mg/km]	PN [/km]	NH_3 [ppm]
Euro 6d	WLTP	100	68	60	-	1000	4,5	6×10^{11}	-
Euro 7	WLTP	50	35	35	20	500	3,0	6×10^{11}	10
Változás	-	50%	51,4%	58,3%	-	50%	66,6%	0%	-

- [4] Merker, G. P., Schwarz, C., Teichmann, R.: *Combustion Engines Development*, Mixture Formation, Combustion, Emissions and Simulation, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012, pp. 642, 10.1007/978-3-642-14094-5
- [5] Bielaczyc, P., Woodburn, J.: Trends in Automotive Emission Legislation: Impact on LD Engine Development, Fuels, Lubricants and Test Methods: a Global View, with a Focus on WLTP and RDE Regulations, *Emission Control Science and Technology* (2019) 5:86–98. DOI: <https://doi.org/gjv4vx>
- [6] Giakoumis, E. G.: *Light-Duty Vehicles' Driving and Engine Cycles*, Springer International Publishing AG, 2017, pp. 65-166. DOI: <https://doi.org/gm36>
- [7] Baumgarten, H., Nijs, M., Lehn, H., Thewes, M., Classen, J., Sterlepper, S.: NEW LAMBDA = 1 GASOLINE POWERTRAINS NEW TECHNOLOGIES AND THEIR INTERACTION WITH CONNECTED AND AUTONOMOUS DRIVING, *30th International AVL Conference "Engine & Environment"*, June 7-8, 2018, Graz, Austria, pp. 16
- [8] AVL List GmbH: *Emission Regulation Trends*, AVL India Seminar, 2018 (URL: https://www.avl.com/documents/10138/8665616/02+AVL+India+Seminar+May+2018_Regulation+Trends_Engeljehring.pdf (2019.10.28.))
- [9] Bontemps, N., Bas, A., Ladonnet, M., Zecchetti, D., Heintz, S., Davies, P., Electric turbo, a key technology to achieve Eu7 hybridized powertrain (lambda 1, performance and energy efficiency), *Internationaler Motorenkongress 2019*, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2019, pp. 103-113, DOI: <https://doi.org/gm37>
- [10] W. Hofegger: Emission legislation update from WLTP/RDE to EU7 (URL: https://www.avl.com/documents/5490654/6605769/AVL+PTE+Techday+%234_03_Emissions+legislation+update+WLTPRDE-EU7_Hofegger (2019.10.28.))
- [11] Horváth, Eszter, Török, Ádám: Development of road transport emission standards, *Production Engineering Archives*, 2015, Vol. 7, No2, pp 6-10.
- [12] Zöldy, M. (2018) "Legal Barriers of Utilization of Autonomous Vehicles as Part of Green Mobility", In: Burnete, N., Varga, B. (eds) *Proceedings of the 4th International Congress of Automotive and Transport Engineering*, pp. 243-248, Springer, Cham, Switzerland. DOI: <https://doi.org/f9wp>
- [13] Adrian Todoruț, Andreia Molea, István Barabás: Predicting the temperature and Composition – dependent density and viscosity of diesel fuel – ethanol blends, *Periodica Politechnica Chemical Engineering*, 64(2), pp. 213-220, 2020. DOI: <https://doi.org/gm38>



Future emission type-approval test requirements for internal combustion engines for cars

The type approval regulations regarding exhaust tailpipe emission of passenger cars place ever greater demands on vehicle and engine manufacturers. One of the technical solutions may be the application of the stoichiometric fuel-air mixture in the whole engine characteristic map in order to comply with the requirements of the EURO 7 emission standard. Our article illustrates the theoretical background of the $\lambda = 1$ operation. That is why we analyse the technical possibilities.



Zusammenfassung Zukünftige Anforderungen bei der Emissionsprüfung von Pkw-Verbrennungsmotoren im Rahmen der Typenzulassung

Die zukünftigen Typprüfungs Vorschriften stellen immer größere Anforderungen an die Fahrzeug- und Motorhersteller. Eine technische Lösung ist die Anwendung des stöchiometrischen Kraftstoff-Luft-Gemisches im gesamten Motorkennfeld, um den Vorschriften der Abgasnorm EURO 7 zu entsprechen. In unserem Artikel wird der theoretische Hintergrund von $\lambda = 1$ verdeutlicht. Aus diesem Grund analysieren wir die technischen Möglichkeiten.