



## Kipufogógáz tisztításának története mezőgazdasági erőgépeknél

**Dr. Varga Vilmos**

SZIE Gépészmérnöki Kar, Járműtechnika Tanszék, Gödöllő

A mezőgazdasági erőgépek dízelmotora a kibocsájtott kipufogógázzal szennyezi a környezetet. A szennyezés mérséklésének kézenfekvő módszere a kipufogógáz tisztítása. Az elmúlt két évtized alatt ezen a területen igen jelentős eredmények születtek, amelyek történetét és az alkalmazott módszerek kialakulását érdemes áttekinteni.

A dízelmotorokat 90 éve alkalmazza a járműtechnika és a mezőgazdasági erőgépeknél elterjedésük a második világháborút követően valósult meg. A hazánkban működő traktorok és mobil mezőgazdasági gépek szinte kizárólag dízelmotorral üzemelnek.

A dízelmotor működése közben sajnos szennyezi a környezetet. A dízelmotor kipufogógáz alkotói közül csak a nitrogén, az oxigén és a vízgőz környezetbarát, az összes többi szennyezőanyag (a  $\text{CO}_2$  is!), a káros anyagok jelentős része mérgező (1. ábra).

A dízelmotor kezeletlen kipufogógáz mennyiségének csak 0,3%-a káros anyag, amelynek jelentős része rákkeltő. A káros anyag mintegy felét a nitrogén-oxidok ( $\text{NO}_x$ ) teszik ki és közel egyötödét a szilárd dízlerészecskék (PM) alkotják. A dízelmotor kipufogógázban lévő valamennyi szilárd rész (por, korom, fém kopadék stb.) tömegének jellemzésére összefoglalóan a részecskék tömegét (angolul: *particulate matter*, rövidítve PM) elnevezést használják.

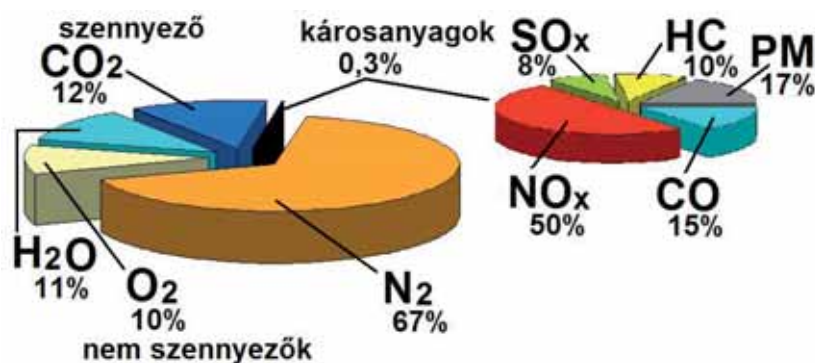
A mezőgazdaságban alkalmazott dízelmotor levegőszennyező hatásának mérséklésével az országok hatásai csak az 1990-es években kezdtek el foglalkozni. A traktormotor típusvizsgálatokra vonatkozó

első hatósági korlátozó előírás Amerikában 1991. június 5-én jelent meg. A traktormotora vonatkozó emissziós határértékeket és vizsgálati módszereket az U.S. EPA (*United States Environmental Protection Agency*/ Egyesült Államok Környezetvédelmi Hivatala) dolgozta ki és az előírásokat 1994-től alkalmazzák. A traktor dízelmotor kipufogógáz emissziós amerikai vizsgálati módszerét és előírásait kisebb módosításokkal a világ több országa is átvette.

Általában a következő kipufogógáz-összetevők korlátozására vonatkoznak a hatósági előírások: szénmonoxid (CO), szénhidrogének (HC), nem metán tartalmú szénhidrogének (NMHC), nitrogén-oxidok ( $\text{NO}_x$ ), részecskék (PM). Az U.S. EPA

előírásaiban a besorolási fokozatokra a „Tier” [tió] angol szót használják, amelynek magyar jelentése sor, sorszám. A Tier 1-től a Tier 4-ig fokozatos szigorodó hatósági előírások betartatására került sor. 2012-ben megkezdődött a Tier 4 fokozat életbe lépése, de részleges bevezetése miatt előzetes „Interim Tier 4” és végleges „Final Tier 4” fokozatot is megkülönböztettek (1. táblázat).

Az Európai Unió először 1997. december 16-án (Directive 97/68/EC) szabályozta a traktor (*nonroad mobile equipment*) dízelmotor típusvizsgálata során betartandó kipufogógáz emissziós határértékeket. Az előírás két fokozatot tartalmazott: a „Stage I”-t, amely érvénybe lépett 1999-ben és a „Stage II”-t, érvénybe



1. ábra A dízelmotor kezeletlen kipufogógáz alkotói

it a 2005/13/EC direktíva rögzíti. Az Európai Unió traktormotor emisszióra vonatkozó előírásait (2. táblázat) 2001-től rendszeresen a magyar joggyakorlat is átvette.

A traktordízelmotor kipufogógáz emissziós vizsgálatának módszere az amerikai és az európai előírások szerint nagyjából megegyeznek, illetve annak megegyezésére törekednek. A traktorból kiserelt dízelmotor kipufogógázának emissziós értékeit fékpadra szerelve vizsgálják.

A traktormotor gyártók folyamatos műszaki fejlesztéseket hajtottak végre hatósági emissziós előírások betartása érdekében. Példaképpen a következőkben levegőszennyezés mérséklésének fejlesztési történetét mutatjuk be röviden, a hazánkban is népszerű John Deere traktorokon keresztül. Traktordízelmotor U.S. EPA besorolás emissziós értékeit és hatályba lépésük időpontjait a 2. ábra szemlélteti.

### Tier 1 (Stage I) besorolás

A Tier 1 előírások betartása 1996-ban kezdődött és 1999-ben lépett életbe valamennyi motorkategóriában. A motorgyártók az előírásokat egyszerűen tudták teljesíteni a fejlesztések során, a gondosabban be szabályozott mechanikus vezérlésű adagoló szivattyúval, a hajtóanyag nagyobb befecskendezési nyomásával, a hengerenkénti 2 esetleg 4 szelepes hengerfejjel, rögzített (fix) beömlési keresztmetszetű, nem szabályozott turbófeltöltővel, megfelelően nagy hengertérfogattal, jobb motorhűtéssel (3. ábra). A kipufogógáz utókezelésére még nem volt szükség.

### Tier 2 (Stage II) besorolás

A Tier 2 határértékek betartása 2001-ben kezdődött és 2004-ben lépett életbe valamennyi motor kategóriára. A traktormotorok megengedhető emissziós értékeit korlátozták. Az átlagos korlátozás PM esetében 50%, a NO<sub>x</sub> esetében pedig 20% mérséklést jelentett. Az előírások betartását elektronikus motorvezérléssel (ECU), nagyobb hajtóanyag befecskendezési nyomással, nagyobb hengertartalommal

P nettóteljesítmény (kW)	Alkalmazás éve	CO (g/kWh)	NMHC (g/kWh)	NMHC+NOx (g/kWh)	NOx (g/kWh)	PM (g/kWh)
P<8	2008	8,0 (6,0)	-	7,5 (5,6)	-	0,4 <sup>a</sup> (0,3)
8≤P<19	2008	6,6 (4,9)	-	7,5 (5,6)	-	0,4 (0,3)
19≤P<37	2008	5,5 (4,1)	-	7,5 (5,6)	-	0,3 (0,22)
	2013	5,5 (4,1)	-	4,7 (3,5)	-	0,03 (0,022)
37≤P<56	2008	5,0 (3,7)	-	4,7 (3,5)	-	0,3 <sup>b</sup> (0,22)
	2013	5,0 (3,7)	-	4,7 (3,5)	-	0,03 (0,022)
56≤P<130	2012-2014 <sup>c</sup>	5,0 (3,7)	0,19 (0,14)	-	0,4 (0,3)	0,02 (0,015)
130≤P<560	2011-2014 <sup>d</sup>	3,5 (2,6)	0,19 (0,14)	-	0,4 (0,3)	0,02 (0,015)

<sup>a</sup> – léghűtéses motorra PM értéke 0,8 g/kWh 2009-ig; illetve 0,6 g/kWh 2010-ig;

<sup>b</sup> – PM 0,4 g/kWh (Tier 2), ha a gyártó vállalja a 0,03 g/kWh érték elérését 2012-ig;

<sup>c</sup> – PM/CO 2012-ig, NOx és HC teljesítése folyamatos, külön szabályozás szerint 2014.12.31-ig;

<sup>d</sup> – PM/CO 2011-ig, NOx/HC a motorok 50%-ának eleget kell tenni 2011-2013 időszakban; interim Tier 4, vagy Tier 4i jelölés, ha a határértékek nem érik el a zárójelben szereplő értéket; transitional Tier 4, vagy Tier 4A jelölés, ha a NMHC+NOx értéke nem éri el a zárójelben szereplőt.

### 1. táblázat Traktor dízelmotor kipufogógáz U.S. EPA Tier 4 emissziós határértékei 560 kW motorteljesítményig

(U.S. EPA Tier 4 Nonroad Diesel Engine Emission Standards Up to 560 kW)

Motor-kategória jele	P nettó teljesítmény kW	Hatályos típusjóváhagyás dátuma	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NOx (g/kWh)	PM (g/kWh)
<b>Stage I</b>						
A	130 ≤ P ≤ 560	1999.01	5.0	1.3		9.2
B	75 ≤ P < 130	1999.01	5.0	1.3		9.2
C	37 ≤ P < 75	1999.04	6.5	1.3		9.2
<b>Stage II</b>						
E	130 ≤ P ≤ 560	2002.01	3.5	1.0		6.0
F	75 ≤ P < 130	2003.01	5.0	1.0		6.0
G	37 ≤ P < 75	2004.01	5.0	1.3		7.0
D	18 ≤ P < 37	2001.01	5.5	1.5		8.0
<b>Stage III A</b>						
H	130 ≤ P ≤ 560	2006.01	3.5	-		4.0
I	75 ≤ P < 130	2007.01	5.0	-		4.0
J	37 ≤ P < 75	2008.01	5.0	-		4.7
K	19 ≤ P < 37	2007.01	5.5	-		7.5
H	130 ≤ P ≤ 560	2006.01	3.5	-		4.0
<b>Stage III B</b>						
P	37 ≤ P < 56	2011.12	5.0	NO <sub>x</sub> +HC 4,7		0,025
L	130 ≤ P ≤ 560	2011.01	3.5	0.19		-
M	75 ≤ P < 130	2012.01	5.0	0.19		-
N	56 ≤ P < 75	2012.01	5.0	0.19		-
P	37 ≤ P < 56	2013.01	5.0	-		4.7
<b>Stage IV</b>						
Q	130 ≤ P ≤ 560	2014.01	3,5	0,19	0,4	0,025
R	56 ≤ P < 130	2014.10	5,0	0,19	0,4	0,025

Az ammónia emisszió nem haladhatja meg a 25 ppm értéket a vizsgálati ciklus alatt.

### 2. táblázat Európai traktor dízelmotor kipufogógáz emissziós határértékei

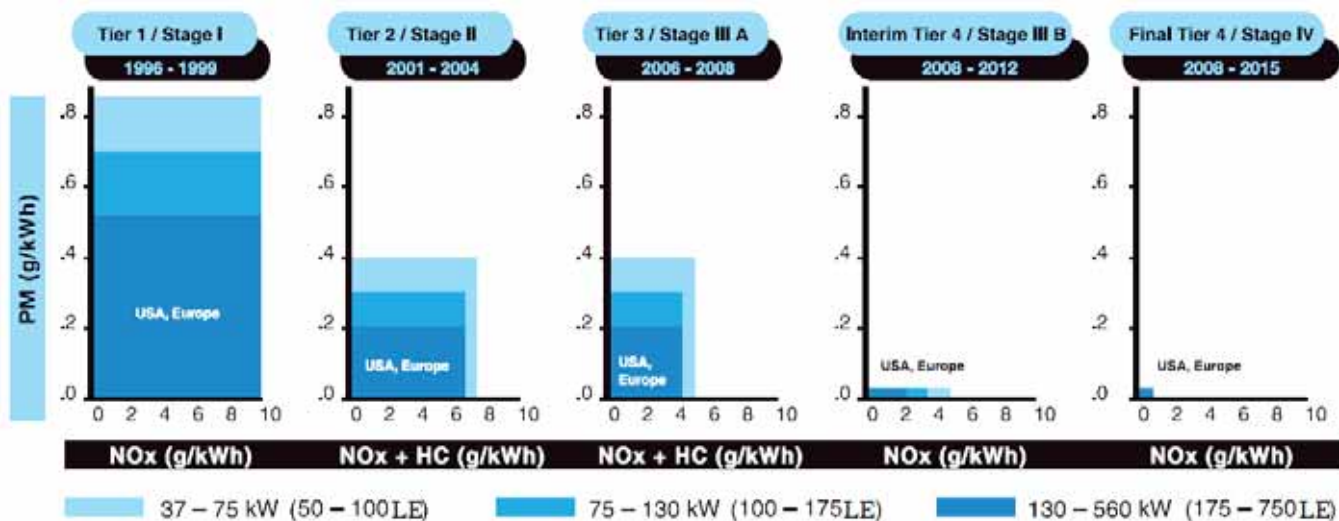
(EU Emission Standards for Nonroad Diesel Engines) (a 2004/26/EC, 2005/13/EC direktívák alapján)

lépett 2001-2004 között, a motor nettó teljesítményének függvényében. A „Stage” [steidzs] angol szó magyar jelentése fokozat, szint.

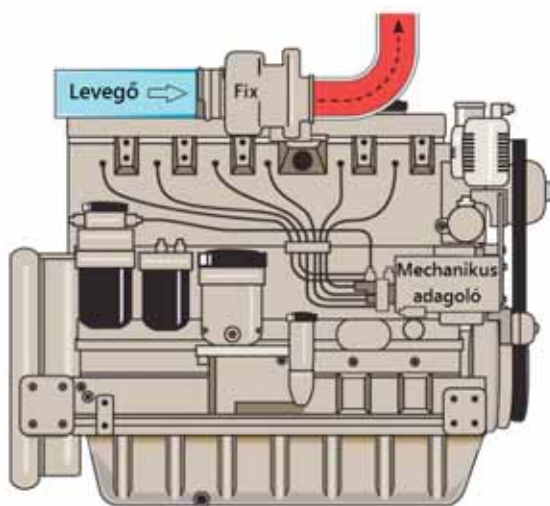
Az Európai Parlament 2004. április

21-én (Directive 2004/26/EC) tovább szigorította a traktormotorra vonatkozó emissziós határértéket Stage III A/B és Stage IV fokozatokkal, amelyek érvénybe lépésének időbonja

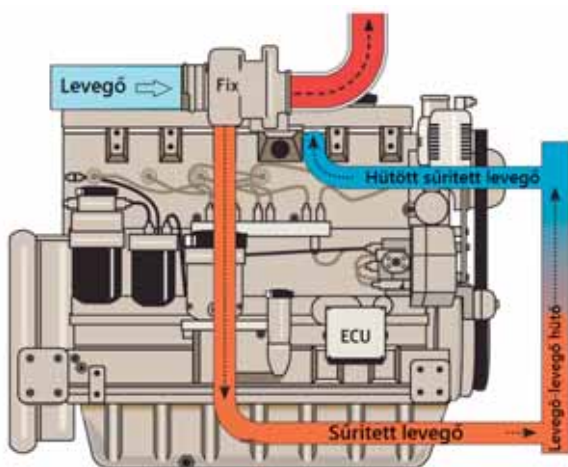




2. ábra Traktordízelmotor PM és NO<sub>x</sub> emissziós értékeinek változása



3. ábra Tier 1 (Stage I) besorolású traktormotor vázlata



4. ábra Tier 2 (Stage II) besorolású traktormotor vázlata

motorokkal, 2 vagy 4 szelep alkalmazásával, olajhűtésű dugattyúkkal,

nem szabályozott (fix) turbófeltöl-

tóvel és levegő-levegő intercooleres hűtéssel biztosították (4. ábra).

### Tier 3 (Stage III A) besorolás

A Tier 3 határértékek betartása 2006-ben kezdődött és 2008-ban lépett életbe. A Tier 3 bevezetésével a kibocsájtott NO<sub>x</sub> értékét 40%-kal kellett mérsékelni. Az előírások betartását nagyobb hengerűrtartalmú, 4 szelepes, olajhűtésű acéldugattyús, teljes elektronikus motorvezérlésű (ECU), Cammon-Rail befecskendező rendszerű, hűtött kipufogógáz visszavezetésű (EGR), wastegate szeleppel (WTG), vagy változtatható beömlésű (VTG) turbófeltöltővel és intercooleres visszahűtéssel rendelkező motorral elégtették ki (5. ábra).

### Interim Tier 4 (Stage III B) besorolás

Az interim (előzetes) Tier 4 (Tier 4i) besorolási fokozat 2008-ben kezdődött és 2013-ban lépett életbe. A Tier 4i fokozat igen drasztikus emissziós korlátozásokat írt elő. Az 56-560 kW teljesítményű traktormotorokra átlagosan PM esetben 90%-os, a NO<sub>x</sub> érték esetében 50%-os emisszió mérséklést vezettek be.

Az előzőekben jellemzett Tier 3 motort tovább kellett fejleszteni, hogy a Tier 4i előírásnak megfeleljen (6. ábra). Tovább növekedett a Cammon-Rail rendszer befecsken-

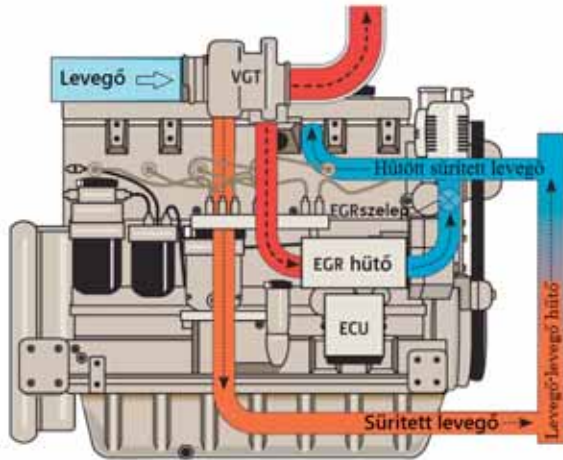
és fejlett elektronikus motorvezérlő (ECU) rendszerrel látták el.

### Final Tier 4 (Stage IV) besorolás

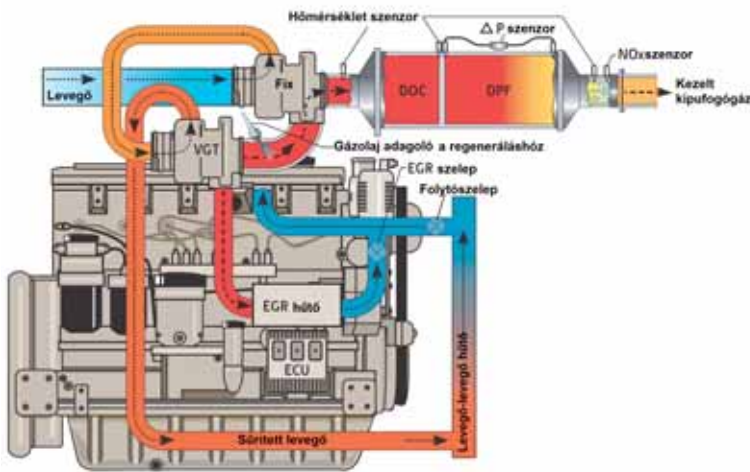
A final (végleges) Tier 4 (Tier 4f) besorolási fokozat 2012-ben kezdődött és 2015-ban lépett valamennyi motorteljesítményű osztályban érvénybe. A Tier 4f fokozat a Tier 4i-hez képest további nagyon drasztikus emissziós korlátozásokat ír elő. Az 56 kW-nál kisebb teljesítményű traktormotorokra PM esetben 50%-os, míg az 56 kW-nál nagyobb teljesítményű motorokra 80%-os NO<sub>x</sub> emisszió mérséklést határoztak meg.

Az előző Tier 4i motor általánossá vált kialakítása mellett a NO<sub>x</sub> emisszió mérséklése érdekében a kipufogógáz utókezelést tovább fejlesztették az AdBlue dízel kipufogógáz (DEF) segédanyagokkal működő szelektív katalitikus redukciós (SCR) rendszer alkalmazásával (7. ábra). Az SCR rendszer végén az ammónia (NH<sub>3</sub>) esetleges légtérbe kerülésének megakadályozása érdekében oxidációs katalizátort (ADC) alkalmaznak. A Tier 4f környezetbarát motortechnika számos elektromos szenzort, fejlett számítógépes motorvezérlő elektronikát alkalmaz.

A bemutatott legfejlettebb kipufogógáz tisztító berendezéssel

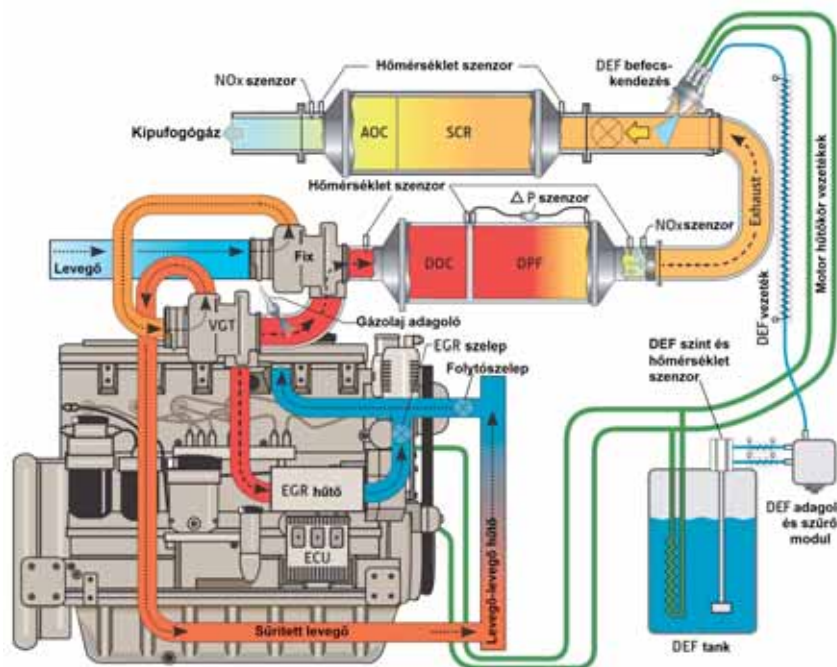


5. ábra Tier 3 (Stage III A) besorolású traktormotor vázlat



6. ábra Interim Tier 4 (Stage III B) besorolású traktormotor vázlat

dező nyomása, átlagosan 2000 bar értékre. A hűtött kipufogógáz visszavezetés (EGR) mértékének növelése és elektronikus vezérlése mellett a kipufogógáz hőmérsékletét szabályozó rendszer (ETM) alkalmazását is bevezették. A levegőellátó rendszert kiegészítették intercooleres kettős turbófeltöltéssel. Az első alacsony nyomású turbófeltöltő nem szabályozott, rögzített (fix) kivitelű és a második magas nyomású levegőtöltő wastegate szeleppel (WGT), vagy változtatható beömlésű keresztmetszettel (VTG) szabályozott. A traktormotort kipufogógáz utókezelő rendszerrel látták el, amely dízeloxidációs katalizátorból (DOC) és regenerálható részecskeszűrőből (DPF) áll. A motor hűtésének szabályozását változtatható fordulatszámú ventilátor segítheti. A motort számos elektromos szenzonnal



7. ábra Final Tier 4 (Stage IV) besorolású traktormotor vázlat





1. kép John Deere 6135HFC09 típusjelzésű Tier 4f környezetvédelmi besorolású dízelmotor

Motor-kategória jele	P nettó teljesítmény (kW)	Hatályos dátum	CO (g/kWh)	HC (g/kWh)	NOx (g/kWh)	PM (g/kWh)	PN (g/kWh)
NRE-v/c-1	P < 8	2019	8.00	7.50 a,c		0.40 b	-
NRE-v/c-2	8 ≤ P < 19	2019	6.60	7.50 a,c		0.40	-
NRE-v/c-3	19 ≤ P < 37	2019	5.00	4.70 a,c		0.015	1×10 <sup>12</sup>
NRE-v/c-4	37 ≤ P < 56	2019	5.00	4.70 a,c		0.015	1×10 <sup>12</sup>
NRE-v/c-5	56 ≤ P < 130	2020	5.00	0.19 c	0.40	0.015	1×10 <sup>12</sup>
NRE-v/c-6	130 ≤ P ≤ 560	2019	3.50	0.19 c	0.40	0.015	1×10 <sup>12</sup>
NRE-v/c-7	P > 560	2019	3.50	0.19 d	3.50	0.045	-

a) HC+NOx b) 0.60 kézi-indításkor c) 1.10 gázmotornál d) 6.00 gázmotornál

3. táblázat Európai Bizottság 2014.09.25.-ei javaslata a nem közúti mozgó gépek és berendezések belső égésű motorjainak kibocsátási határértékeire „Stage V”-re.

rendelkezik például a John Deere PowerTech PSS 9,0 és 13,5 literes lökettérfogató dízelmotor. A 13,5 literes, soros 6 hengeres, 24 szelepes, két turbófeltöltős John Deere 6135HFC09 típusjelzésű motor Tier 4f környezetvédelmi besorolású (1. kép). A motor legnagyobb teljesítménye, a felhasználói igényektől függően, 326-460 kW (437-617 LE), 1.700-1.900 percnkénti főtengely fordulatszám mellett.

A motor gyártók így a John Deere is a költségek csökkentése érdekében gyárt olyan Tier 4f környezetvédelmi besorolású motorokat, amelyek teljesítik a teljesítmény kategóriájuknak megfelelő emissziós szinteket, de nem rendelkeznek SCR rendszerrel.

A Case IH Optum 300 CVX traktor az „Év Traktora 2017” hajtómotorja FPT Industrial NEF típusjelzésű 6,7 literes, 6 hengeres, 221 kW (300 LE) névleges teljesítményű dízelmotor.

Ez az új konstrukciójú Tier 4f besorolású motor viszont olyan szabadalmaztatott Hi-eSRC rendszerrel rendelkezik, amely felesleges teszi a kipufogógáz visszavezető (EGR) és részecske szűrő (DPF) rendszer használatát. Az alkalmazott kipufogógáz tisztító berendezések ma még színes kialakítást mutatnak.

### Mi várható a Final Tier 4 (Stage IV) után?

A Tier 4 final és a Stage IV előírásainak hatályba lépésével a tisztább traktormotorért megkezdett húsz éves fejlesztési tevékenység eredményesen lezárult. Megállapítható, hogy az évek elteltével az új traktormotorok levegőszennyező hatása jelentősen csökkent, de a munka tovább folytatódhat.

Az Európai Bizottság javaslata a mezőgazdasági dízelmotorokra is vonatkozó „Stage V” már ismert. A

javaslatot 2014. szeptember 25-én tették közzé Brüsszelben (3. táblázat) és elfogadása után 2019-től várható alkalmazása.

A „Stage V” javaslat érdekessége többek között, hogy minden motorra vonatkozik (a legkisebb és a legnagyobb motorteljesítményűre is), a motorteljesítmény kategória új jelölésének megfelelően. A környezetet szennyezők közül a részecskék tömegére vonatkozó emissziós értékek (PM) drasztikusan tovább szigorodik. A kipufogógáz részecskéire új paraméterként a megengedhető részecskeszámra tesz javaslatot az előterjesztés. A javaslatban „részecskeszám (PN)” alatt a 23 nanométernél nagyobb átmérőjű szilárd részecskék számát kell érteni.

A kipufogógáz részecske emisszióra tett szigorú javaslatot azzal indokolják, hogy a közelmúltban meggyőző bizonyíték született a dízelmotorok kipufogógáz-kibocsátásának, különösen a részecskék (azaz a dízelkorom) káros hatására vonatkozóan. Az egyik legfontosabb megállapítás szerint a részecskék mérete döntő tényező az egészségre gyakorolt, káros hatás szempontjából. Ezért a közúti ágazatban zajló változásokat követve a mezőgazdasági mobilgépek dízelmotorjára is indokoltnak tűnik egy olyan új kibocsátási előírás bevezetése, amely a részecsketömeg mellett a részecskeszámra vonatkozó határértékekre is vonatkozik.

A következő években a tisztább, a környezet levegőjét gyakorlatilag nem szennyező mezőgazdasági dízelmotor kifejlesztése során nem csak a kibocsátott részecskék tömegének korlátozására, hanem a kisméretű dízel szilárd részecskék számának csökkentésére is megfelelő módszereket kell a motor fejlesztőknek kidolgozni.

### Felhasznált források

- <https://www.deere.com/en-US/docs/html/jdps-brochure/default.html>
- [www.fptindustrial.com/en-UK/innovation/hi-escr](http://www.fptindustrial.com/en-UK/innovation/hi-escr)
- <http://www.dieselnet.com/standards>