

# Nitrogén-oxid emisszió csökkentés a szívóoldali oxigén koncentráció beállításával

## Nitrogen oxide emission reduction with intake side oxygen concentration setting

*NYERGES Ádám*

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépjárműtechnológia Tanszék  
Magyarország, 1111 Budapest, Stoczek utca 6.

[www.gjt.bme.hu](http://www.gjt.bme.hu)

+3614632380, [nyerges.adam@kjk.bme.hu](mailto:nyerges.adam@kjk.bme.hu)

### Abstract

*Nitrogen oxide emissions from Diesel engines can be reduced with in-cylinder and air-path solutions. The pressure, temperature, and composition in the intake manifold significantly affect the emission. This paper presents the effect of the composition of the intake charge. For this aim, measurements are used from a medium duty Diesel engine equipped with dual-loop EGR system. The result of the study can be used to determine an optimal EGR strategy.*

**Keywords:** nitrogen oxide emission, dual-loop exhaust gas recirculation, commercial vehicle diesel engines, engine dyno measurements.

### Kivonat

*A dízelmotorok nitrogén-oxid emissziója egyaránt csökkenthető hengeren belüli és hengeren kívüli megoldásokkal. A szívócsőben lévő közeg nyomása, hőmérséklete és összetétele jelentős befolyással van az emisszióra. Jelen cikk a beszívott közeg összetételének hatását mutatja be, melyhez egy kettős EGR rendszerrel felszerelt haszonjármű dízelmotoron végzett mérések lettek felhasználva. A vizsgálat eredménye felhasználható egy optimális EGR stratégia meghatározásához.*

**Kulcsszavak:** nitrogén-oxid emisszió, kettős kipufogógáz visszavezetés, haszonjármű dízelmotorok, motorfékpadi mérések.

## 1. BEVEZETÉS

A dízelmotorok jövője nem lehetséges radikális emisszió csökkentés nélkül. Az egyre szigorodó emissziós normák miatt a belsőégésű motoros hajtásláncok hamarosan kiszorulnak a gépjárművekből [1]. Személygépjárművek esetén a jövő egyértelműen az alternatív hajtóanyagoké vagy hajtásoké, viszont a haszonjárműveknél középtávon nem ilyen biztos a váltás [2]. A dízelmotoros haszonjárművek több olyan tulajdonsággal is rendelkeznek, amelyek jelenleg nehezen helyettesíthetők más megoldással: nagy hatótáv, gazdaságos üzemeltethetőség, tüzelőanyag tartály gyors feltölthetősége. A dízelmotorok a legkönnyebben megújuló energiaforrásból származó tüzelőanyagokkal tehető környezetbarátabbá, viszont a károsanyag kibocsátásuk ezzel a megoldással még nem feltétlenül csökken [3]. Haszonjárművek esetén az akkumulátoros elektromos hajtások a nagy akkumulátor tömeg, a rövid hatótáv és a hosszú töltési idő miatt egyelőre nem mindig versenyképesek [4]. Ebben a járműkategóriában a jövőben nagyobb esélye van a tüzelőanyag cellás-hidrogén alapú hajtások elterjedésének [5].

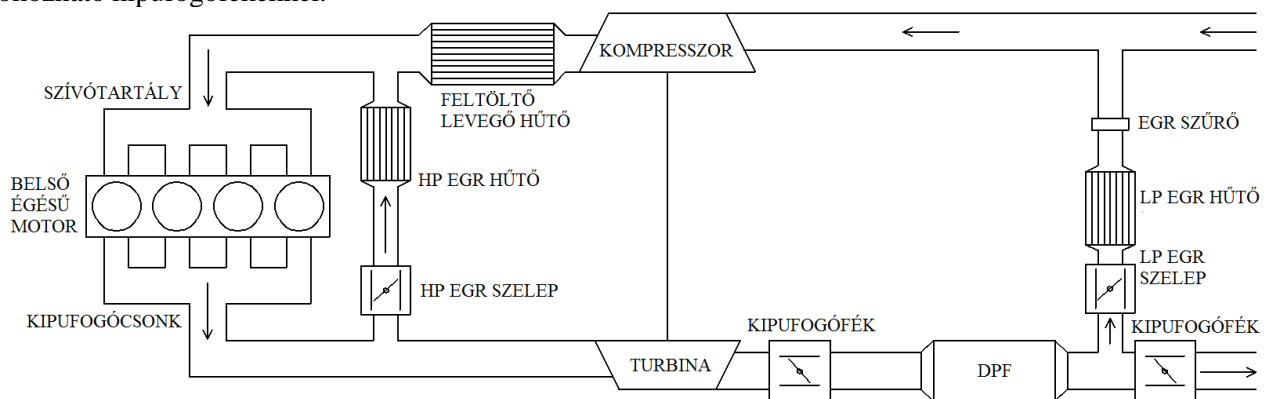
A dízelmotoros égésfolyamatok károsanyag emissziójából a  $\text{NO}_x$  és a szilárd részecske kibocsátás a jelentősebb és a nehezebben kezelhetőbb. A két károsanyag keletkezése egymással kontraproduktív, a magas csúcsnyomású (és hőmérsékletű), gyors dízel égésfolyamat  $\text{NO}_x$  kibocsátása nagy, szilárd részecske kibocsátása kisebb. Az alacsonyabb csúcsnyomású (és hőmérsékletű), és lassabb dízel égésfolyamat  $\text{NO}_x$  kibocsátása pedig kisebb, szilárd részecske kibocsátása pedig nagyobb [6].

A  $\text{NO}_x$  emisszió több motorikus paramétertől is függ. Döntően a befecskendezés paramétere határozzák meg (befecskendezés ideje, előbefecskendezés, stb.) az égésfolyamat lefutásának a befolyásolásával. A befecskendezés mellett viszont komoly hatással vannak még rá a hengerbe jutó közeg paramétere is: közeg hőmérséklete, nyomása és összetétele [6]. Utóbbit jelentősen meg lehet változtatni kipufogógáz visszavezetéssel, aminek a fő célja épp a  $\text{NO}_x$  emisszió csökkentése: a kipufogógázzal kevert hengertöltet hőkapacitása nagyobb, ezért az égési csúcshőmérséklet is csökken, ami miatt a nitrogén kevésbé lép be a reakciófolyamatokba.

Jelen cikk a  $\text{NO}_x$  kibocsátás befolyásolási lehetőségét vizsgálja a szívóoldali  $\text{O}_2$  megváltoztatásával, külső kipufogógáz visszavezetéssel.

## 2. AZ ALKALMAZOTT KUTATÓMOTOR

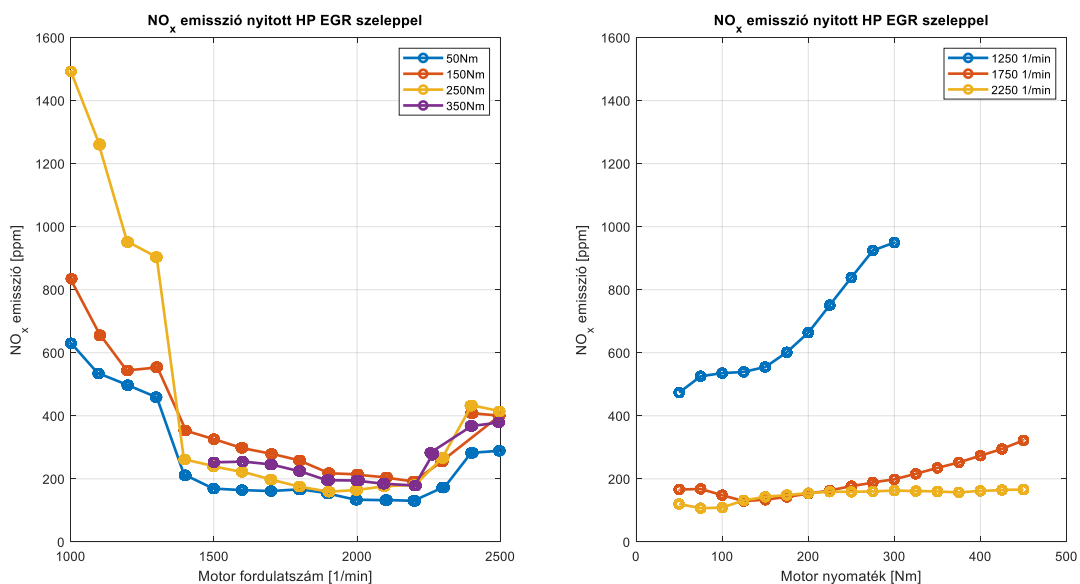
A vizsgálatok egy EURO III-as, 4 literes, turbótöltésű hasznójármű dízelmotoron lettek elvégezve. A motor töltetcsere hálózata az 1. ábrán látható. A motor fel van szerelve alacsony és magas nyomású kipufogógáz visszavezető rendszerrel is (HP és LP EGR). Mindkét EGR rendszer esetén a tömegáram tovább fokozható kipufogófékkel.



1. ábra. A kutatómotor töltetcsere hálózata HP és LP EGR rendszerrel [7]

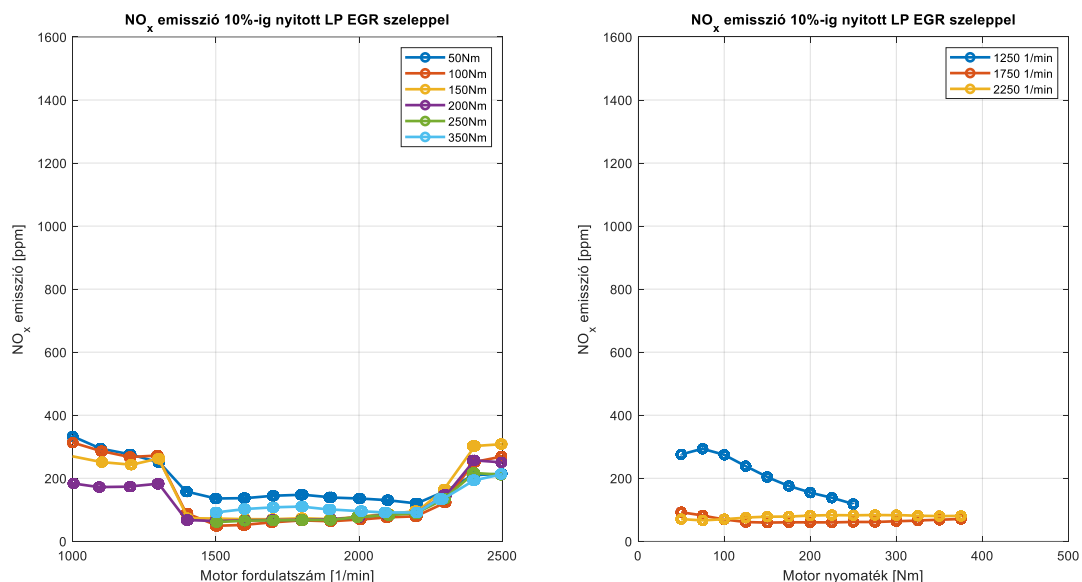
## 3. MEGVIZSGÁLT MOTORIKUS PARAMÉTEREK

A mérések során első lépésként a motor fordulatszám-nyomaték üzemtartományában lett megvizsgálva a  $\text{NO}_x$  emisszió. HP EGR esetén ez nyitott EGR szeleppel történt. LP EGR esetén 10%-ig nyitott EGR szelep volt beállítva, mivel az LP EGR rendszer kisebb EGR szelep nyitásra nagyobb tömegárammal reagált (az EGR tömegáram becslés [7] alapján történt a szívó és kipufogó oldali  $\text{O}_2$  koncentrációkból és a motor fordulatszámából). Ez valószínűleg nem általános tulajdonság, inkább a kutatómotorunk jellemzője.



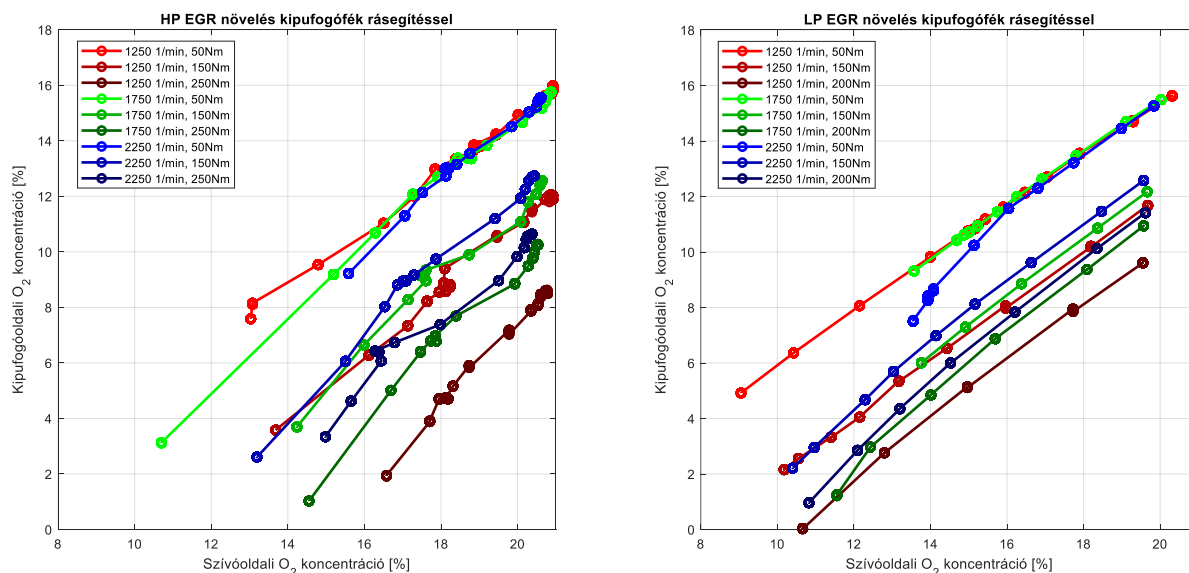
2. ábra. A fordulatszám és nyomaték hatása a  $\text{NO}_x$  emisszióra nyitott HP EGR szeleppel

A 2. és 3. ábrán a fordulatszám és a nyomaték függvényében látható a motor  $\text{NO}_x$  emissziója a két EGR rendszer esetében. A fordulatszám tartomány elején és végén magasabb az emisszió. Ennek oka a motorra vonatkozó emissziós előírásokban keresendő: a befecskendezési stratégia úgy lett kialakítva, hogy ott alacsonyabb a  $\text{NO}_x$  kibocsátás, ahol a mérési ciklus szigorúbb volt. A két EGR rendszer közül az LP EGR esetén alacsonyabb az emisszió, viszont ez csak a nyomáskülönbségből létrejövő nagyobb EGR tömegáramnak köszönhető. A motornyomaték függvényében viszont jelentős eltérés látható a két EGR rendszer között. HP EGR esetén az emisszió minden esetben nő a nyomaték függvényében, kis fordulatszám esetén jelentősebb mértékben. LP EGR esetén viszont kis fordulatszámon az emisszió a nyomaték függvényében csökkenő tendenciát mutat. Nagyobb fordulatszámon a  $\text{NO}_x$  emisszióra csak kis mértékben van hatással a nyomaték.



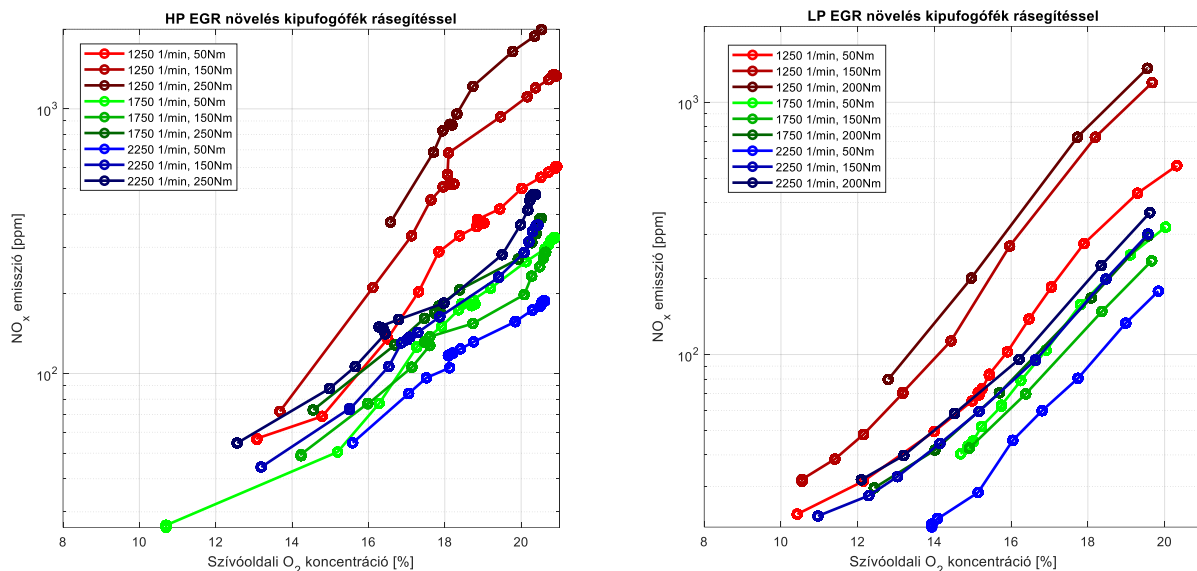
3. ábra. A fordulatszám és nyomaték hatása a  $\text{NO}_x$  emisszióra 10%-ig nyitott LP EGR szeleppel

Az EGR stratégia elveinek meghatározásához meg kell érteni az összefüggést a kipufogó és a szívóoldali  $\text{O}_2$  koncentráció között. Ezt mutatja a 4. ábra, melyen a két EGR rendszer esetén kipufogófék segítségével jelentős EGR ráták kerültek beállításra. LP EGR esetén a görbék alacsonyabb szívóoldali  $\text{O}_2$  koncentrációról indulnak az LP EGR szelep áteresztése miatt. Látható, hogy a két  $\text{O}_2$  koncentráció között lineáris a kapcsolat. Ha figyelembe vesszük, hogy adott munkapontban, a motor levegőfogyasztása állandó (a beállított EGR rátától függetlenül), akkor logikus is a lineáris kapcsolat. Mindezekből az is adódik, hogy az EGR tömegáram elméleti maximuma (és a szívóoldali  $\text{O}_2$  koncentráció minimuma) 0% kipufogóoldali  $\text{O}_2$  koncentrációhoz tartozik, ami egyben a sztöchiometrikus keverési arány is.



4. ábra. A kipufogóoldali  $\text{O}_2$  koncentráció változása a szívóoldali  $\text{O}_2$  koncentráció változtatásával HP és LP EGR alkalmazása esetén

A nagyobb tüzelőanyag fogyasztás nagyobb  $O_2$  fogyasztást is jelent, ilyenkor a 4. ábra görbéi jobbra tolódnak. A két EGR rendszer között jelentkezik némi különbség is: LP EGR rendszer esetén a linearitás egyértelműbb, HP EGR esetén a görbék alja némileg jobbra kanyarodik. Ennek a magyarázata, hogy HP EGR esetén csökken a feltöltőnyomás, emiatt pedig növekszik a tüzelőanyag fogyasztás.



5. ábra. A  $NO_x$  emisszió változása a szívóoldali  $O_2$  koncentráció változtatásával HP és LP EGR alkalmazása esetén

Végül az 5. ábrán a  $NO_x$  emisszió látható a szívóoldali  $O_2$  koncentráció függvényében. A  $NO_x$  emisszió logaritmikus skálán jelenik meg, így a görbék ismét közel lineárisnak adódnak. Az LP EGR rendszerrel itt is alacsonyabb emissziót lehet megvalósítani magasabb szívóoldali  $O_2$  koncentrációval.

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás tárgya egy haszonjármű dízelmotor szívóoldali  $O_2$  koncentrációjának a  $NO_x$  emisszióra gyakorolt hatása. A legfontosabb kutatási eredmények:

- a kutatómotoron az LP EGR kipufogófék nélkül is sokkal nagyobb EGR tömegáramot hozott létre,
- a motorfordulatszám csak kis mértékben befolyásolta a  $NO_x$  emissziót. A motornyomaték kis fordulatszámon jelentősebb mértékben, és a két EGR rendszer esetén ellenkező hatással, LP EGR esetén például csökkentette,
- a motor  $O_2$  fogyasztásának diagramjából kiolvasható a HP EGR tüzelőanyag fogyasztás növelő hatása,
- a szívóoldali  $O_2$  koncentráció függvényében a  $NO_x$  emisszió logaritmusos lineáris összefüggéssel becsülhető.

## IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] United Nations Global technical regulation No. 19; 25 August 2017
- [2] Zöldy M., Török Á. *A forgalomba belépő gépjárművek többlet károsanyag kibocsátásának számítása a nemzetközi határértékek figyelembevételével*, Közlekedéstudományi Szemle 55 pp. 336-339, 4 p. 2005
- [3] Zöldy M. *The effect of bioethanol–biodiesel–diesel oil blends on cetane number and viscosity*. In: 6th international colloquium, January 10–11, 2007, Ostfildern. Germany (TAE); 2007.
- [4] Péter T., Lakatos I., Szauter F. and Pup D. *Complex analysis of vehicle and environment dynamics*, 2016 12th IEEE/ASME MESA, 2016, pp. 1-7, doi: 10.1109/MESA.2016.7587112
- [5] Simon Araya, S., Zhou, F., Lennart Sahlin, S., Thomas, S., Jeppesen, C., Knudsen Kær, S. *Fault Characterization of a Proton Exchange Membrane Fuel Cell Stack*. *Energies* 2019, 12, 152. <https://doi.org/10.3390/en12010152>
- [6] Virt M., Zöldy M., Granovitter G., Bárdos Á., Nyerges Á. *Multi-pulse Ballistic Injection: a novel method for improving Low Temperature Combustion with early injection timings*, *Energies, Energy and Combustion Science Paper*: 1214559 (2021)
- [7] Nyerges Á., Zöldy M. *Verification and Comparison of Nine Exhaust Gas Recirculation Mass Flow Rate Estimation Methods*. *Sensors* 20: 24 Paper: 7291, 24 p. (2020)