

Emisszió csökkentés kettős kipufogógáz visszavezetéssel

Emission reduction with dual loop exhaust gas recirculation

NYERGES Ádám

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

<https://ivt.bme.hu/>
nyerges.adam@kjk.bme.hu

Abstract

In diesel engines, exhaust gas recirculation (EGR) controls combustion from the air-path system. The composition and temperature of the cylinder's intake charge change, as well as the operation of the turbocharger. This article compares four exhaust gas recirculation modes. Carbon dioxide emissions, nitrogen oxide emissions, and exhaust gas opacity are evaluated in the measurement results. The article ranks the exhaust gas recirculation modes based on emission aspects.

Keywords: carbon-dioxide emission, nitrogen-oxide emission, exhaust gas opacity, dual loop exhaust gas recirculation, medium duty diesel engines.

Kivonat

A dízelmotorokban kipufogógáz visszavezetéssel (EGR) hengeren kívüli eszközzel szabályozzuk az égésfolyamatot. Megváltozik a hengerbe beszívott közeg összetétele, hőmérséklete és megváltozik a turbófeltöltő munkapontja is. Jelen cikk négy kipufogógáz visszavezetési módot hasonlít össze. A mérési eredményekben kiértékelésre kerül a szén-dioxid kibocsátás, a nitrogén-oxid emisszió és a kipufogógáz opacitás. A cikk rangsorolja az egyes kipufogógáz visszavezetési módokat az emissziós szempontok alapján.

Kulcsszavak: szén-dioxid emisszió, nitrogén-oxid emisszió, kipufogógáz opacitás, kettős kipufogógáz visszavezetés, hasznójármű dízelmotorok.

1. Bevezetés

A szigorodó emissziós előírások miatt a közlekedés minden ágazatában az alternatívákat keressük hajtóanyagok és hajtásrendszerek területén egyaránt. Az egyik kiemelt terület a hasznójárművek hajtása. A közlekedés elektrifikációja itt a jelentősen nagyobb jármű össztömegek és a nagy hatótáv igény miatt sokkal nagyobb kihívásnak ígérkezik [1]. Várhatóan a dízelmotoros hajtások ezen a területen tovább maradnak használatban.

A dízelmotorok kutatása mindezek miatt még aktív kutatási terület. A jelentősebb kutatások már az alternatív, megújuló forrásból származó tüzelőanyagokat vizsgálják [2], de zajlanak még kutatások a töltetcsere rendszer és az égésfolyamat szabályozási lehetőségeivel kapcsolatban is [3].

A kipufogógáz visszavezető rendszerek fő célja a nitrogén-oxid emisszió csökkentése, cserében viszont növelik a tüzelőanyag fogyasztást (azaz a CO₂ kibocsátást is), a szilárd részecske és az elégetlen szénhidrogén emissziót is. A különféle EGR rendszerek különbözően viselkednek ezekből a szempontokból [4]. Az eltérések fő oka a turbófeltöltővel való együttműködés különbözősége: magas nyomású kipufogógáz visszavezetés (HP EGR) esetén a turbina tömegárama csökken, így a feltöltőnyomást is csökkenti. Alacsony nyomású kipufogógáz visszavezetés (LP EGR) esetén a feltöltőnyomás még növekedhet is. A kipufogógáz visszavezető rendszerek motorra gyakorolt hatásmechanizmusát a cikk részletesen be fogja mutatni

Jelen cikk négy EGR módot fog összehasonlítani: a szívóoldali fojtással, vagy kipufogófékkel támogatott alacsony, vagy magas nyomású kipufogógáz visszavezetést. Az összehasonlítást csak stacioner motor munkapontok alapján fogom bemutatni, így a magas nyomású EGR rendszerek reakcióidő előnye itt nem fog jelentkezni. A konferenciacikk terjedelmi korlátjai miatt csak az EGR rendszerek fő viselkedés típusait fogjuk megismerni.

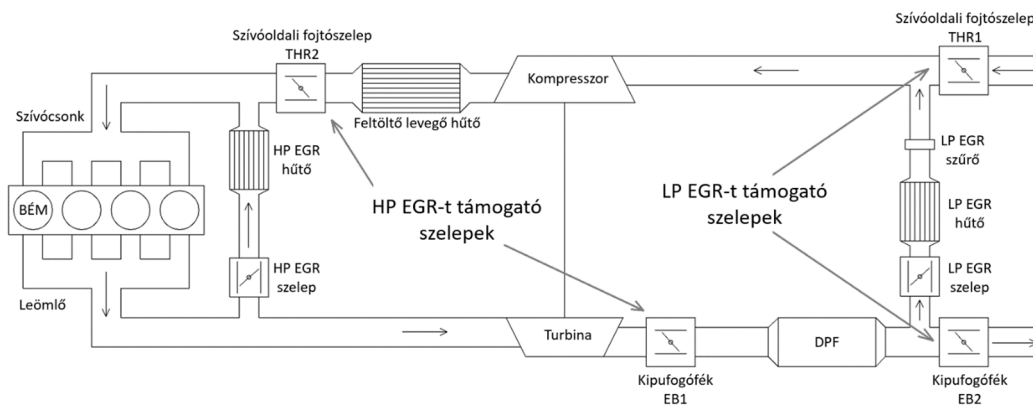
2. Az alkalmazott kutatómotor

A kipufogógáz visszavezető rendszerek összehasonlítására alkalmazott kutatómotor egy négy literes hasznármű dízelmotor, az adatait az 1. táblázat tartalmazza. Gyárilag nem volt felszerelve kipufogógáz visszavezető rendszerekkel. A tanszéki kutatómunkák során épület meg rá először a HP EGR, majd később az LP EGR rendszer is. Mindkét rendszer rásegítőszelepekkel támogatható szívóoldalról és kipufogóoldalról egyaránt. A kutatómotor töltetcsere hálózata megtekinthető az 1. ábrán.

A vizsgált motor paramétereit [5]

1. táblázat

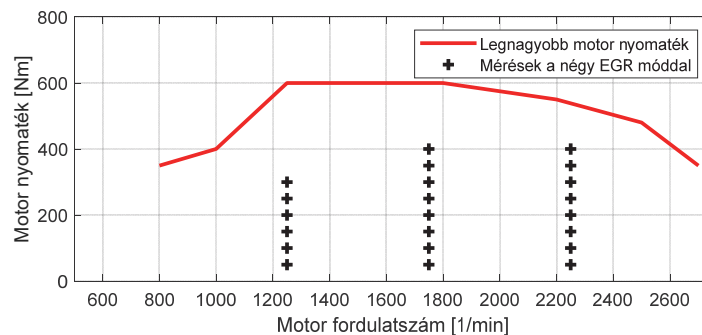
Konstruktó:	Soros, 4 hengeres turbódízel	Löket/furat arány:	1,176
Maximális teljesítmény:	125kW (2500 1/min)	Kompresszióviszony:	17,3
Maximális nyomaték:	600Nm (1200-1600 1/min)	Befecskendezőrendszer:	CR közvetlen befecskendezés
Lökettérfogat:	3,9l	Maximális feltöltőnyomás:	2,5bar



1. ábra. A kutatómotor töltetcsere hálózata HP és LP EGR rendszerrel, rásegítőszelepekkel [5]

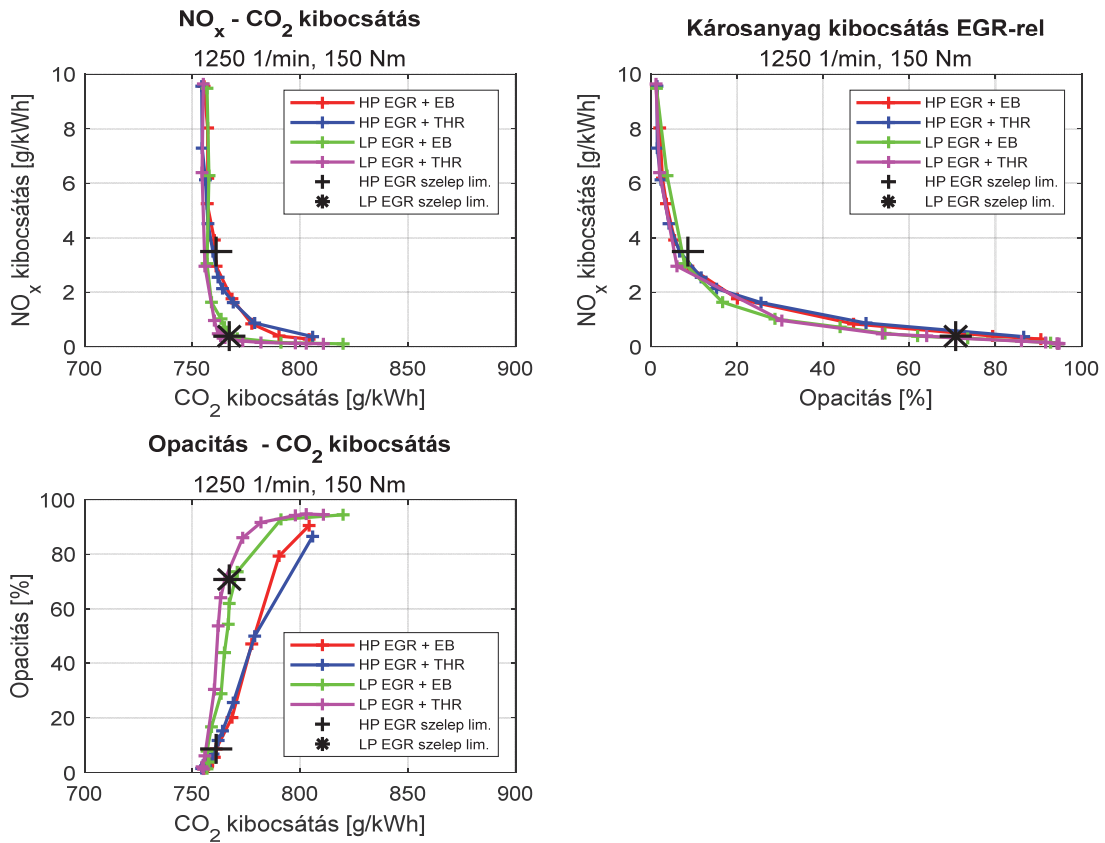
3. Mérési megfontolások és mérési eredmények

Az EGR rendszerek összehasonlítását és rangsorolását stacioner motor munkapontok segítségével végezzük el. A 2. ábra mutatja, hogy mely munkapontok kerültek kiválasztásra. A motor üzemtartományán három fordulatszám szintet jelöltem ki: ezekből az alacsony (1250 1/min) a leginkább jellemző a közúti használatra. A WHTC menetciklus [6] alapján a közepes fordulatszám (1750 1/min) a jellemző üzemtartomány felső része. A legnagyobb fordulatszámot (2250 1/min) pedig azért választottam ki, mert itt már a turbina megkerülő szelep kinyit nagyobb nyomatékok esetén és ez más rangsort fog eredményezni az EGR módok között. Az egyes fordulatszámokon 50Nm-ről indulva 50Nm-es lépcsőkben haladtam felfelé. Kipufogógáz visszavezetés nem alkalmazható nagy nyomatékoknál, mivel ott nem csökkenthető tovább a légviszony. Ezért a legnagyobb vizsgált nyomatékok nem nagyobbak 400Nm-nél.

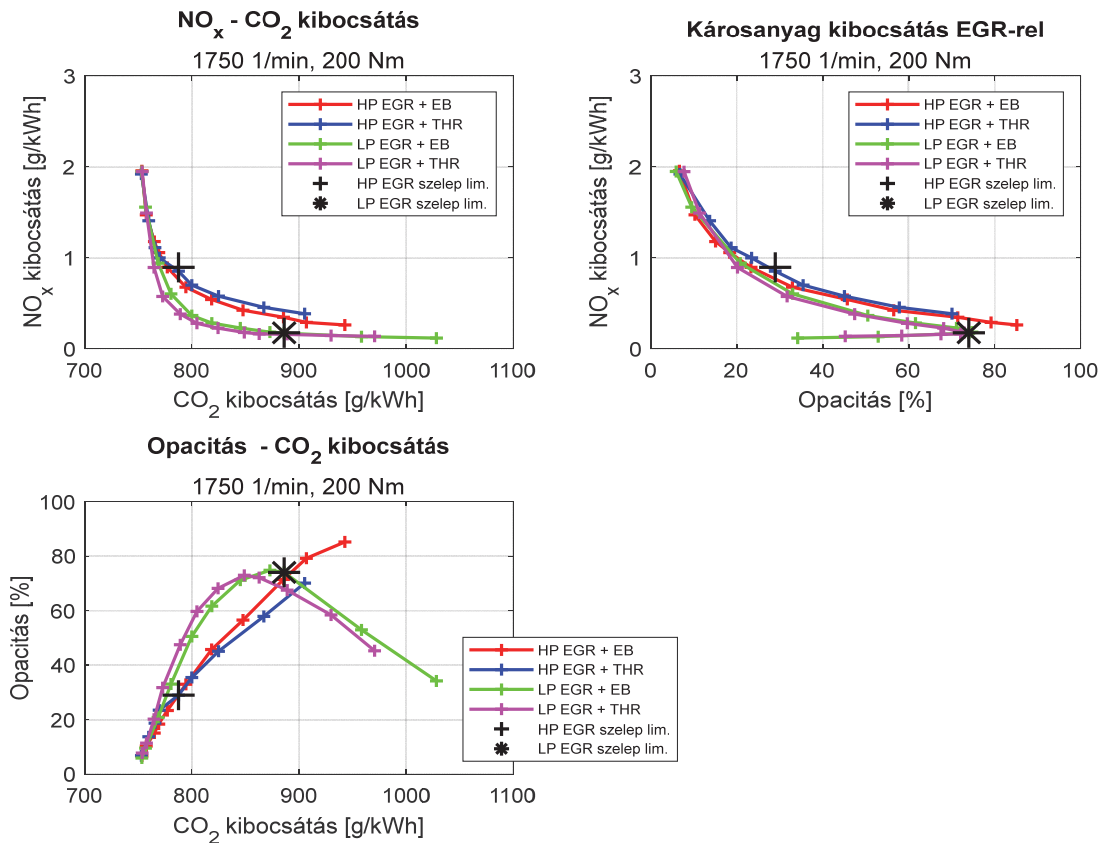


2. ábra. Az EGR módok összehasonlítására alkalmazott stacioner munkapontok

A következő diagramokon öt jellemző munkapontot választottam ki, ahol a négy EGR mód viselkedése különböző viselkedést mutat. A CO₂ és a NO_x kibocsátás, valamint az opacitás egymás függvényében lesz ábrázolva, így egy objektív összehasonlítást kapunk. A CO₂ kibocsátást a tüzelőanyag fogyasztás mérésből becsültem, a NO_x kibocsátást szondákkal, a kipufogógáz opacitást pedig opaciméterrel mértem.



3. ábra. A tüzelőanyag fogyasztás és a károsanyag kibocsátás összefüggése a különböző EGR módokkal (1250 1/min, 150Nm)

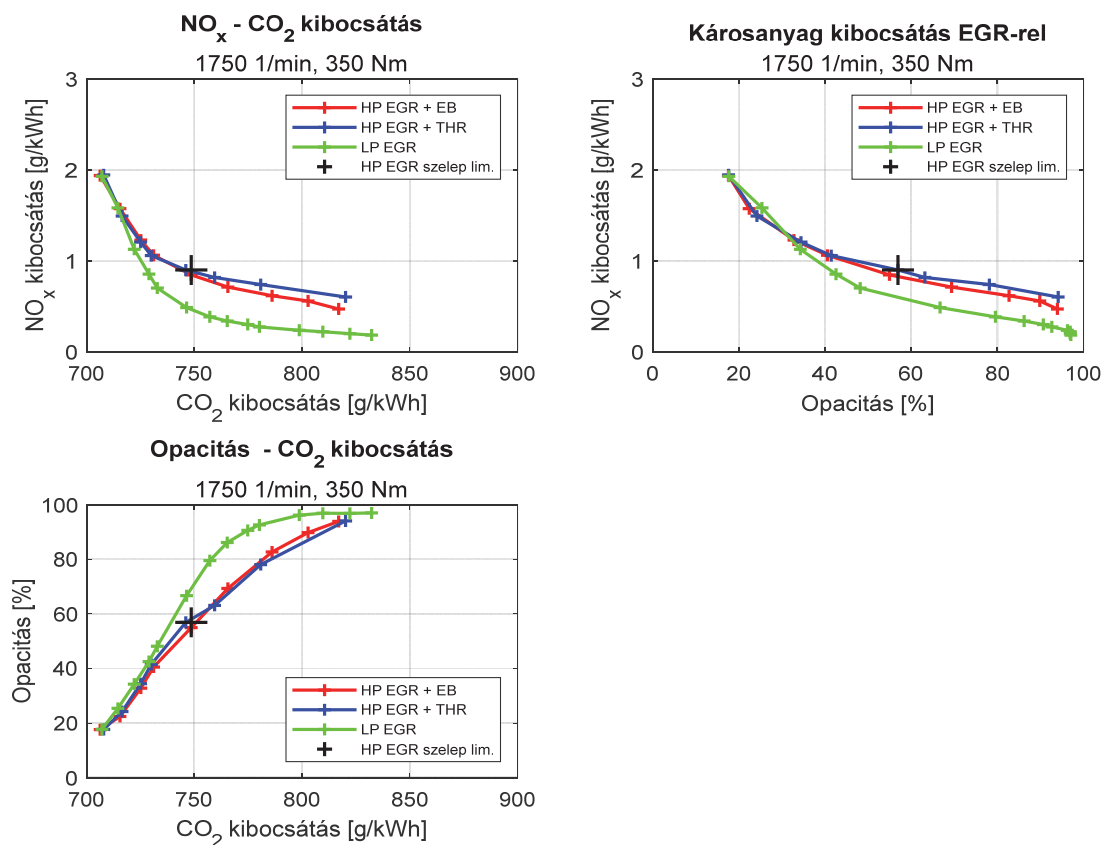


4. ábra. A tüzelőanyag fogyasztás és a károsanyag kibocsátás összefüggése a különböző EGR módokkal (1750 1/min, 200Nm)

A 3. ábrán egy kisebb teljesítményű munkapont eredményeit láthatjuk. Az EGR nélküli működés mindhárom diagram esetén a bal szélső munkapont. Az EGR és a rásegítőszelepek segítségével minden esetben a stabil motorüzem határáig fokoztam az EGR mennyiségét. Az EGR rendszerek között kimutatható eltérés a HP EGR-t támogató rásegítőszelepek működésbe lépése után jelenik meg. Ezekben a munkapontokban az LP EGR alacsonyabb NO_x emissziót, viszont nagyobb kipufogógáz opacitást hoz létre. A károsanyagok közös diagramján látható a kontraproduktivitás: figyelembe véve az opacitás növekedését, az LP EGR NO_x csökkentési előnye kis mértékű. A rásegítőszelepek között jelentős különbség nem mutatható ki.

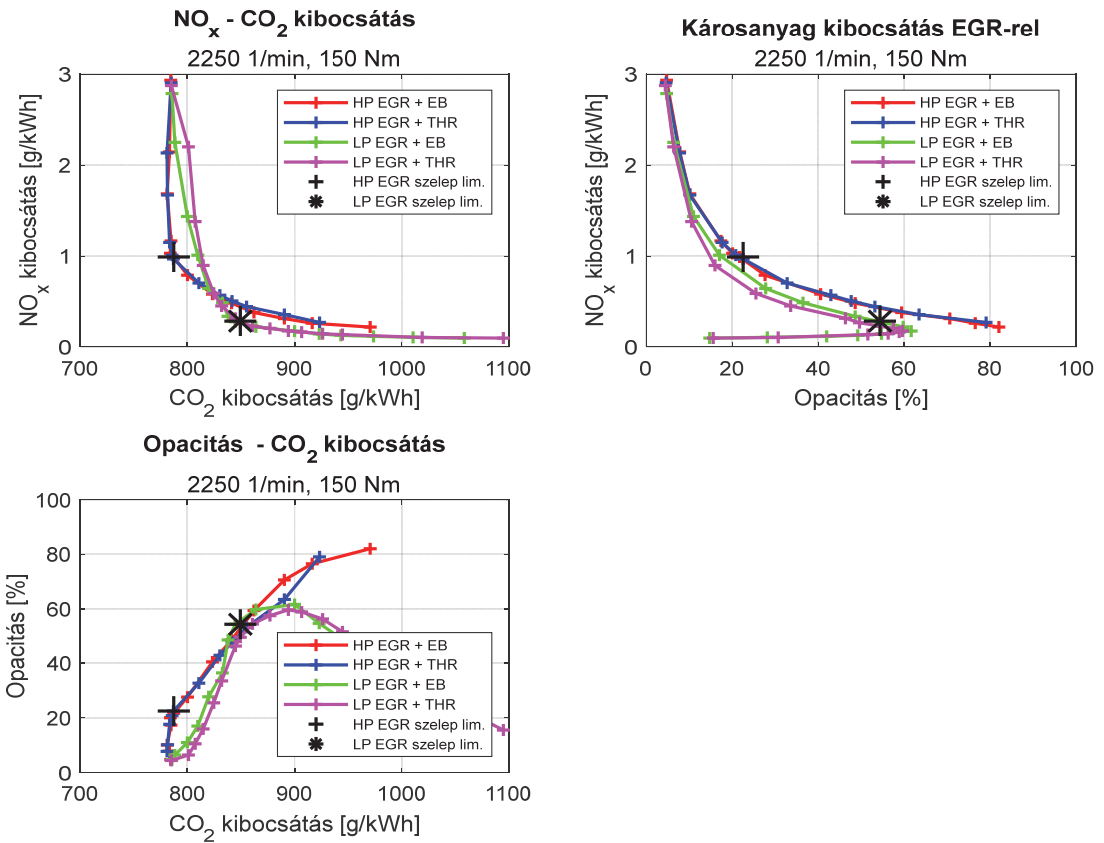
A 4. ábrán a közepes fordulatszámú, közepes nyomatékú munkapontot láthatunk. A 3. ábrához hasonlóan, itt is a HP EGR rásegítőszelepeinek a működésbe lépése után növekednek meg az eltérések. Az LP EGR alacsonyabb NO_x emissziót hoz létre azonos opacitás mellett, sőt, nagy mennyiségű EGR esetén az opacitás is csökkenő tendenciát mutat. Ez viselkedés viszont csak jelentős, több mint 30%-os CO_2 kibocsátás növekedés árán érhető el. A HP EGR rásegítőszelepei közül a kipufogófék kedvezőbb eredményeket ad, ez minden munkapontban jellemző lesz. Az LP EGR rásegítőszelepei között nem mutatható ki határozott eltérés.

Az 5. ábra egy közepes fordulatszámú, de nagyobb nyomatékú munkapont eredményeit mutatja. Ezen a nyomatékszinten az LP EGR rásegítőszelepeit már nem kell alkalmazni, az LP EGR szelep önmagában képes a stabil motorüzem határáig növelni az EGR mennyiségét. Az LP EGR szelep már kisebb EGR mennyiség esetén is kedvezőbb károsanyag eredményeket ad, azonos opacitás mellett lényegében feleakkora NO_x emissziót hoz létre. A kipufogófékkal támogatott HP EGR ebben az esetben is kedvezőbb választás a szívóoldali fojtószelep támogatásánál.

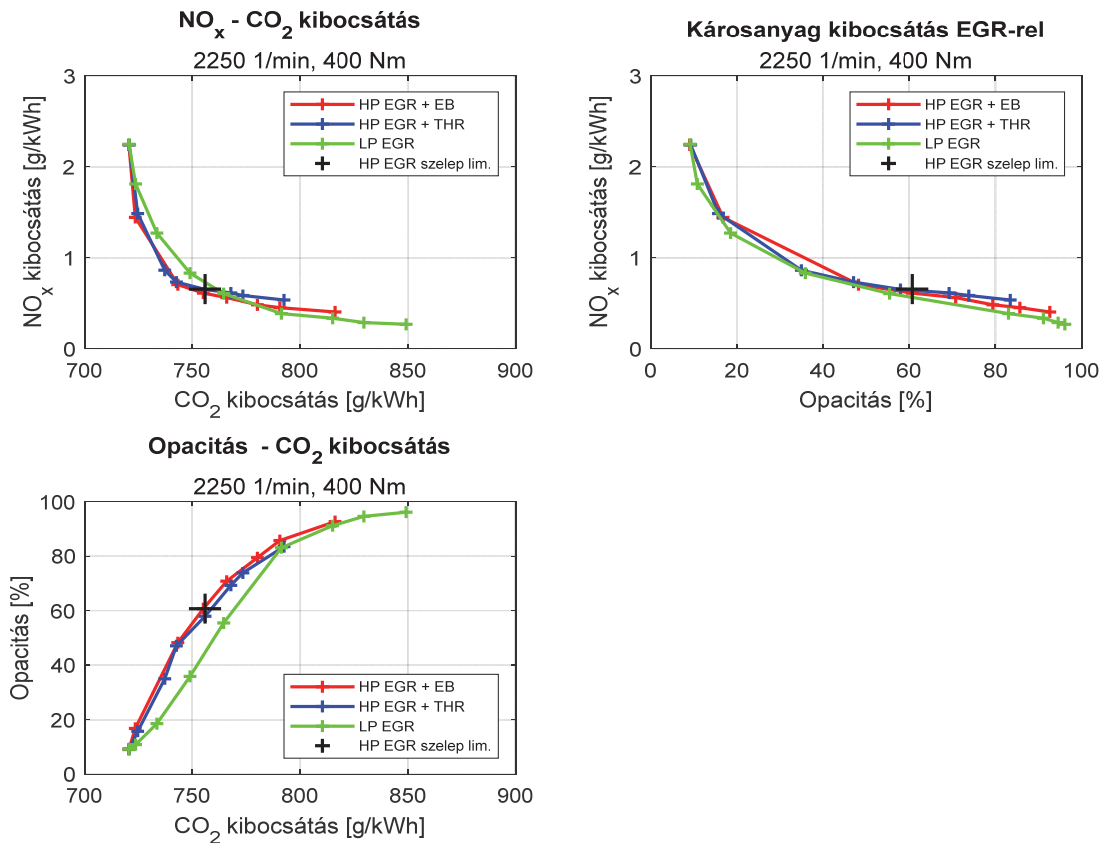


5. ábra. A tüzelőanyag fogyasztás és a károsanyag kibocsátás összefüggése a különböző EGR módokkal (1750 1/min, 350Nm)

A 6. ábrán már a legnagyobb fordulatszámú, de egy kisebb nyomatékú munkapont eredményeit láthatjuk. A turbina megkerülőszelep itt már nyitott állapotban van. Ez hatással van a rangsorra, ugyanis ebben az esetben a HP EGR növeléssel kezdetben nem csökken a turbina tömegárama, csak a megkerülőszelep zár. Emiatt a HP EGR kisebb EGR mennyiség esetén nagyobb mértékben csökkenti a NO_x kibocsátást az LP EGR-nél, úgy, hogy közben egy minimálisan még csökkenti is a CO_2 kibocsátást. Viszont az opacitás növekszik: összességében az LP EGR alkalmazása biztosít mindkét károsanyag tekintetében kedvezőbb értékeket. Az LP EGR ebben a munkapontban is meg tud valósítani alternatív égésfolyamatot, ahol mindkét károsanyag mennyisége csökken az EGR növelésének a függvényében (30-40% CO_2 kibocsátás növekedés mellett).



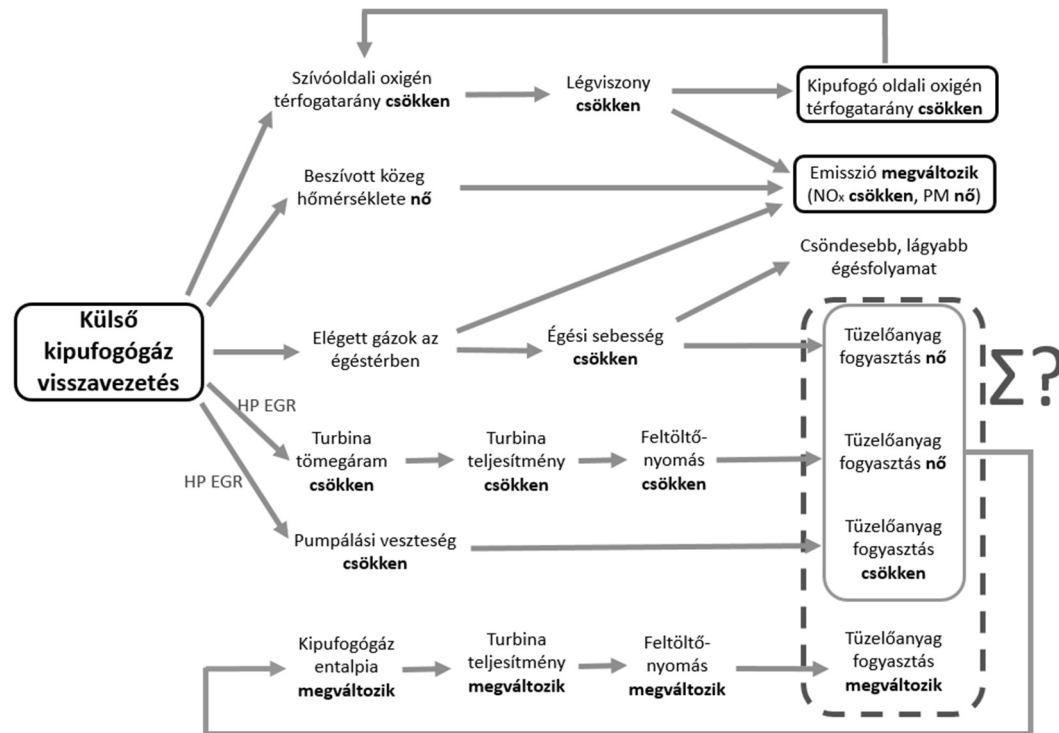
6. ábra. A tüzelőanyag fogyasztás és a károsanyag kibocsátás összefüggése a különböző EGR módokkal (2250 1/min, 150Nm)



7. ábra. A tüzelőanyag fogyasztás és a károsanyag kibocsátás összefüggése a különböző EGR módokkal (2250 1/min, 400Nm)

A 7. ábrán a legnagyobb teljesítményű munkapont eredményei láthatók. A 6. ábra eredményeihez hasonlóan itt is látható, hogy a HP EGR kis mennyiségű EGR esetén gyorsabban csökkenti a NO_x emissziót. A károsanyagok diagramján viszont az eredmények kiegyenlítődnek, ott nincs lényeges eltérés az EGR módok között.

A CO_2 kibocsátás változás fő oka a tüzelőanyag fogyasztás növekedés. A 8. ábra bemutatja, hogy az EGR rendszerek hogyan változtatják meg a tüzelőanyag fogyasztást. A legfőbb hatás az égésfolyamat lelassulása, ami növeli a fogyasztást. Emellett, a feltöltőnyomás változás is befolyásolja a fogyasztást, ahogyan az eredményekből is látható volt a HP EGR hátránya. LP EGR esetén a lelassuló égésfolyamat miatt bekövetkező fogyasztás növekedés még növelheti is a feltöltőnyomást.



8. ábra. A kettős kipufogógáz visszavezetés hatásmechanizmusa a tüzelőanyag fogyasztás változásra

4. Összefoglalás

A cikk bemutatta, hogy a turbófeltöltésű haszonjármű dízelmotorokban alkalmazható EGR módok milyen CO_2 , NO_x kibocsátás és opacitás változást okoznak stacioner motorüzemben. A közúti járműhasználat során jellemző munkapontok alapján az EGR módok rangsora romló emisszió sorrendben:

- 1) Alacsony nyomású kipufogógáz visszavezetés – a ráségítőszelepek között nem mutatható ki eltérés,
- 2) Magas nyomású kipufogógáz visszavezetés kipufogófék támogatással,
- 3) Magas nyomású kipufogógáz visszavezetés szívóoldali fojtószelep támogatással.

Irodalmi hivatkozások

- [1] C. Cunanan, M-K. Tran, Y. Lee, S. Kwok, V. Leung, M. Fowler. (2021). A review of heavy-duty vehicle powertrain technologies: diesel engine vehicles, battery electric vehicles, and hydrogen fuel cell electric vehicles. *Clean Technologies*. 3, 474-489.
- [2] M. Virt, U. Arnold. (2022). Effects of oxymethylene ether in a commercial Diesel engine. *Cognitive Sustainability*. 1(3).
- [3] M. Abián et al. (2018). Interaction of diesel engine soot with NO_2 and O_2 at diesel exhaust conditions. Effect of fuel and engine operation mode. *Fuel*. 212, 455-461.
- [4] Y. Park, C. Bae. (2014). Experimental study on the effects of high/low pressure EGR proportion in a passenger car diesel engine. *Applied Energy*. 133:308 – 316.
- [5] Á. Nyerges, M. Zöldy. (2020). Verification and Comparison of Nine Exhaust Gas Recirculation Mass Flow Rate Estimation Methods. *Sensors*. 20(24), 7291.
- [6] United Nations Global technical regulation No. 19; 25 August 2017