

Papp Csongor¹

Nagyvasúti dízel vontatójárművek károsanyag-kibocsátás csökkentésének lehetőségei a dízelmotor tranziens üzemében

Possibilities of Reducing the Emission of Normal Gauge Diesel Locomotives during the Transient Operation of the Diesel Engine

Napjainkban a járműgyártókra és üzemeltetőkre egyre nagyobb terhet ró a szigorodó környezetvédelmi irányelvek rendszere, a társadalmi elvárás a minél magasabb színvonalú környezetvédelem felé. Egyre több kutatás mutat rá, hogy milyen fontos hatással bír a gyorsítandó dízelmotor tranziens üzemállapotában tapasztalható károsanyag-emisszió túllépés. A nagyvasúti vontatójárművek és egyéb nagy teljesítményű dízelmotorok területén a környezetvédelmi kutatások és fejlesztések elmaradnak a személygépjárművekétől. A kutatás célja, hogy ezt a hiányt pótolja és olyan károsanyag-kibocsátás csökkentésének lehetőségét tárja fel, ami a dízelmotor átalakítása nélkül, a hajtásvezérlésbe beavatkozva csökkentett felfuttatási sebességgel, valamint energiatárolóval történő bővítésével segíti a nagyvasúti dízel vontatójárművek károsanyag-emissziójának csökkentését. Jelen cikkben irodalomkutatásra alapozva kívánja a szerző feltérképezni, milyen elven/elveken lehetséges beavatkozni a vontatásba a tranziens károsanyag-kibocsátás csökkentése érdekében. A lehetséges beavatkozási módszerek ismerete irányt ad a kutatás további folytatására, hosszú távon elősegíti olyan módszer kidolgozását, ami környezetkímélőbb járművek közlekedtetését teszi lehetővé a vasútvállalatok számára.

Kulcsszavak: dízelmozdony, károsanyag-kibocsátás, környezetvédelem, erőátviteli rendszerek, dízel tranziens

¹ Széchenyi István Egyetem, PhD-hallgató, e-mail: pappcsongor@gmail.com, ORCID: 0000-0002-5903-5369

Nowadays, the vehicle manufacturers and operators are facing strict environmental protection regulations, and growing social pressure for higher level of environmental protection. More studies point out the considerable effect the transient operation of the diesel engine has regarding emission. The researches and development in the field of locomotive engines and other high power engines are slower than in the car industry area. The aim of the actual research is to fill this gap and reveal such emission reducing methods that can be carried out without significant modifications on the diesel engine, by intervening in the power-train system. The scope of this article is to find a principle of intervening regarding emission reduction through literature research. The knowledge of plausible ways of intervening points the way of the further research, and will help to develop such a method which makes available operating eco-friendlier locomotives for the railway companies.

Keywords: diesel-locomotive, emission, environmental protection, power-trains, diesel-transient

Bevezetés

Az egyre szigorodó környezetvédelmi előírások és elvárások egyre nagyobb terhet rónak a közlekedésben érdekelt vállalatok terhére. A személygépkocsi-gyártás mellett gyakran háttérbe szorulnak a kötöttpályás, köztük az általam vizsgált nagyvasúti vontatójárművek. Általánosságban elmondható, hogy míg a személygépjárművek motorjára irányuló kutatás és fejlesztés igen dinamikus, addig a nagy teljesítményű, hosszú élettartamú erőgépek esetében ez jóval lassabb, ugyanakkor a különböző előírások késéssel, de ugyanúgy szigorodnak ezekre a járművekre is. Emellett miközben személygépjárművek esetében a benzinüzemanyaggal hajtott motorok környezetkímélőbb alternatívát nyújthatnak a dízelmotorokkal szemben, addig nagyvasúti és egyéb nagy teljesítményigényű alkalmazásban a dízelerőforrás megkerülhetetlen.

Vasúti szakterületen is megjelent a hibridizáció (például dízel-villamos erőátvitelű mozdonyok akkumulátoros hajtással), vagy a hidrogén üzemanyagcellás járművek. Amennyiben régi mozdonyunkat szeretnénk felújítani és környezetbarátabbá tenni ezen új utak igen nehézkesen, sok erőforrást felemészítve valósíthatók meg.

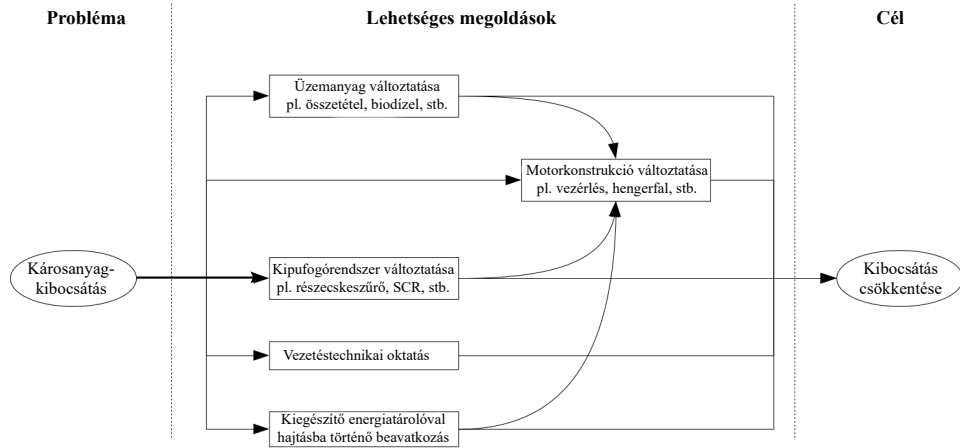
A kutatás motivációját az adja, hogy olyan károsanyag-emisszió csökkentési módszert találjunk, ami a motor, illetve a hajtáslánc teljes konstrukciós megváltoztatása nélkül, kisebb módosításokkal (például a hajtáslánc kiegészítése és megfelelő vezérléssel ellátása) megvalósítható.

Károsanyag-kibocsátás csökkentése

Károsanyag-kibocsátási stratégiák

Dízelüzemanyagú belsőégésű motorok emissziójának csökkentésére számos lehetőséget dolgoztak ki. Ezek közül néhányat mutat be az 1. ábra. Elsődleges lehetőségként kínálgózik a jármű energiaforrásának megváltoztatása, olyan üzemanyag alkalmazása, amelynek égése a hagyományos üzemanyagnál kevesebb károsanyagot eredményez.² Ennek a módszernek az alkalmazására az üzemanyag-előállítóknak van lehetősége, így ezzel jelen kutatásban nem foglalkozok tovább.

² SHI et al. 2006, SHI et al. 2005.



1. ábra. Emissziócsökkentési stratégiák

Forrás: a szerző saját szerkesztése

A motorkonstrukció megváltoztatása nehézkes feladat, mivel egy nagyon komplex és kifinomult rendszer működésébe kell beavatkozni valamilyen módon. Tanulmányok foglalkoznak a különböző motorparaméterek finomhangolásával, hogy optimális kibocsátás-fogyasztás értékeket kapjunk.³ Hatékony megoldás lehet a common-rail rendszerű befecskendezés kiépítése és elő-, illetve utóbefecskendezési stratégia alkalmazása.⁴ Ezek magas szintű belsőégésű motorról való ismereteket, és komoly motorikus beavatkozást jelentenek. A motorvezérlésbe történő beavatkozás már jóval egyszerűbb, és az optimális beállítások könnyebben kikísérletezhetők.

A kipufogórendszer megváltoztatása a már létrejött káros égéstermék szűrésére, közömbösítésére irányulhat. Ennek kivitelezése már jóval egyszerűbb üzemeltetői oldalról is, mivel itt már nem egy komplex rendszert kell megváltoztatni. Megfelelő részecskeszűrő alkalmazása vasúti felhasználás esetén is könnyen kivitelezhető,⁵ de közúti járművek esetében elterjedt módszer még az úgynevezett SCR⁶-módszer, amely során a kipufogógázba olyan anyagot kevernek, amely kémiai reakció útján segít csökkenteni a károsanyag-kibocsátást.

Üzemeltetői szempontból legkönnyebben kivitelezhető lehetne a járművezetők megfelelő oktatása a környezetbarátabb vezetéstechnikából. Ennek legnagyobb problémája a menetrend be nem tarthatósága, illetve a kötöttpályás közlekedés azon sajátossága, hogy egy kismértékű késés is több vonatot érinthet.

³ ALONSO et al. 2007.

⁴ HORVÁTH 2017.

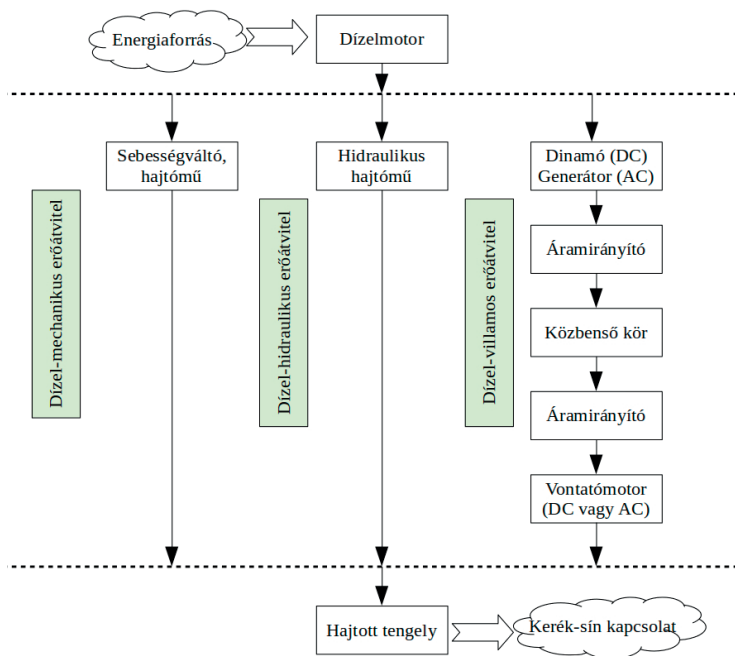
⁵ HORVÁTH 2017.

⁶ SCR = Selective Catalytic Reduction (Szelektív Katalitikus Redukálás).

Az emisszió csökkenésére be lehetne avatkozni a jármű vezérlésébe és a hajtásába is oly módon, hogy jelentősen lecsökkentett töltésráadási sebességet alkalmazunk, amely már elfogadható emissziót eredményez, továbbá energiatárolót alkalmazunk, amelyből szükség esetén extra segédenergia – a dízelmotorból átmenetileg le nem vett – nyerhető a vontatáshoz is. Lényegében ezt a megoldást láthatjuk a különböző hibrid személygépjárművek esetében is, és a kutatás szempontjából ez az a módszer, amely az optimális megoldás lehetőségét hordozza.

Dízelmozdonyok erőátviteli rendszerei

Ahhoz, hogy milyen kibocsátáscsökkentési stratégiát választok, szükséges ismerni a nagyvasúti vontatójárművekben alkalmazott erőátviteli rendszereket. A következő három alapvető erőátviteli rendszert különböztetjük meg (2. ábra).⁷



2. ábra. Dízelmozdony erőátviteli rendszerek

Forrás: a szerző szerkesztése

- Dízel-mechanikus erőátvitel esetében a dízelmotor főtengelye egy mechanikus hajtóművet hajt, amely egyben sebességváltó mechanizmust is tartalmazhat. A hajtómű kimenete kardántengely-fogaskerék áttétel segítségével hajtja a jármű hajtott tengelyeit.

⁷ JANICKI–REINHARD–RÜFFER 2013, 210–252.; LOVAS–MEZEI 1986, 20–177.

- Dízel-hidraulikus erőátvitel esetén a dízelmotor főtengelye egy hidraulikus (többnyire hidrodinamikus) hajtóművet hajt, annak kimenete kardántengely-fogaskerék hajtáson keresztül hajtja a tengelyeket.
- Dízel-villamos erőátvitel esetében legindirektebb a motor-kerék kapcsolat. A jármű dízel erőforrása egy áramfejlesztőt (egyen- vagy váltakozó áramú generátort) hajt meg, amelynek kimenete villamos mennyiség. A kimeneti villamos energiát a generátor gerjesztésszabályozásával állítjuk be a közbenső egyenáramú villamiskör számára megfelelő feszültségszintre. A közbenső körben történik az energia akkumulátorokban történő tárolása, az energia továbbítása, illetve bizonyos fogyasztók ellátása is történhet innen. A villamos energia vontatáshoz történő felhasználása miatt, váltakozóáramú hajtásban, azt újra át kell alakítani a vontatómotoroknak és a vontatási igénynek megfelelően. Ezt újabb áramirányító végzi. A vontatómotorok fogaskerék kapcsolattal hajtják meg a hajtott tengelyeket.

A dízel-mechanikus és -hidraulikus erőátvitel nagyfokú egyszerűséget mutatnak, mivel sokkal kevesebb energiaátalakítás történik a motor és a hajtott kerekek között. Jobban megvizsgálva azt találjuk, hogy ezekben az esetekben a károsanyag-emisszió csökkentése, alkalmas energiatárolás hiányában leginkább a jármű dízelmotorjába, kipufogórendszerébe, illetve az üzemanyagba történő beavatkozással valósítható meg.

Dízel-villamos erőátvitel esetében az előző lehetőségen túl adja magát, hogy valamilyen villamosenergia-tárolót helyezünk el a rendszerben, amelyből felhasználható vontatási energiához juthatunk, így csökkentve a motortól elvárt vontatási teljesítményt, ezáltal is csökkentve a káros égéstermékek kibocsátását. Ugyan ez a rendszer a legindirektebb, ennek ellenére a korszerű villamosenergia-tárolók, a teljesítmény elektronikai alkatrészek és vezérlési rendszerek segítségével itt lehet a legkönnyebb, leghatékonyabb a beavatkozás. Elkerülhető a komplex dízelmotor módosítása is. Ezen erőátviteli rendszerre vonatkoztatott kutatások ígérkeznek a legcélszerűbbnek.

Dízelmotor tranziens üzemállapota

A motorokat legtöbbször statikus üzemállapotukban, tehát egy stabil munkapontban vizsgálják. Napjainkban egyre több kutatás mutat rá, hogy a tranziens üzemállapot – tehát az egyik stabil munkapontból a másikba történő átmenet – vizsgálata is fontos a kibocsátás szempontjából. A témát behatóan vizsgálja Rakopoulos és szerzőtársai,⁸ akik eredményei a következőket mutatják:

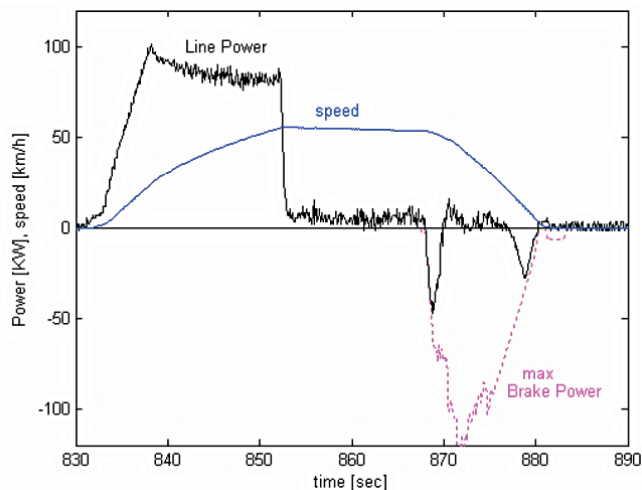
- A motor károsanyag-kibocsátása beálláskor lengő, és függ a motor terhelésétől, a gyorsítás mértékétől.
- A tranziens üzemállapotot a rendszerben található nagyfokú késleltetések okozzák. A gyorsításhoz az üzemanyag-szivattyú növeli a hengerfejbe befecskendezett üzemanyag mennyiségét. A motor fordulatszámának emelkedése, valamint a turbófeltöltő a megnövekedett üzemanyag-mennyiségre nagyfokú késéssel reagál, így a tranziens alatt magasabb üzemanyag-levegő aránynál történik az égés, ami rontja a károsanyag-emissziót.

⁸ RAKOPOULOS et al. 2009.

(Oxigénszegény állapotban a kibocsátott szilárd részecske szám, és valamennyi káros összetevő aránya növekszik meg.)

- A keletkező égéstermékek összetételét a henger hőmérséklet-állapota is nagyban befolyásolja, így például a hengerpersely összetétele, hővezetése, a hűtővíz hőfoka.

Jelen kutatás szempontjából a dízel-tranziens állapot figyelembevételét indokoltá teszi az is, hogy a járművek mozgásállapotának megváltoztatása nagyobb energiafelhasználással jár, mint a mozgásállapot fenntartása (3. ábra). Ezt mutatja meg Steiner és szerzőtársai tanulmánya,⁹ amelyben egy villamos meghajtású LRV¹⁰ energiafelhasználását vizsgálták. Ők az energiafelhasználás csökkentésére ultrakapacitásokat helyeztek el a járművön, ami rövid idő alatt képes felszabadítani nagy mennyiségű villamos energiát, így 50%-kal csökkentették a jármű gyorsításakori energiafelhasználást. A kapacitásokat rekuperációs fékezés megvalósításával újratölthetjük.



3. ábra. Energiafelhasználás vontatás során

Forrás: STEINER–KLOHR–PAGIELA 2007

Dittus és szerzőtársai tanulmánya¹¹ *dízel-motorvonatok fogyasztás és károsanyag-kibocsátás csökkentésének lehetőségét vizsgálja*. A szerzők eredményeinek alapján is a jármű gyorsítása jár a legnagyobb energiaszükséglettel. Vizsgálataik során kidolgoztak egy olyan hibrid járműhajtást, amelyben kétrétegű kondenzátorokat alkalmaznak villamosenergia-tárolóként. A szimulációk és a kis léptékben megvalósított próbapadi modell-vizsgálatok alapján módszerükkel 6-13% energiamegtakarítás eredményezhető.

⁹ STEINER–KLOHR–PAGIELA 2007.

¹⁰ LRV = Light Rail Vehicle (Könnyű Vasúti Jármű).

¹¹ DITTUS–HÜLSEBUSCH–UNGETHÜM 2011.

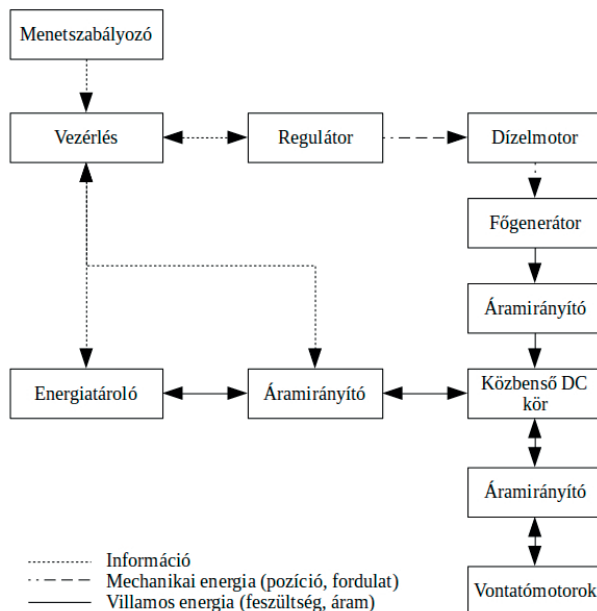
Célszerű a dízel-tranziens üzemállapotra koncentrálni a további kutatások során, mivel ekkor csak gyorsítások közben kell segíteni a dízelmotort. Steiner és szerzőtársai tanulmánya alapján azért is célszerű itt beavatkozni, mert külső energiátárolóként kondenzátor telep használható fel, és nem szükséges nagy akkumulátortelepek alkalmazása, ami a tömeg- és helyigényes lehet, főleg ha a jármű teljes mozgása során használni kívánjuk a benne tárolt energiát.

Kibocsátáscsökkentés elve dízel-villamos erőátvitel esetében

Az előző fejezetekben ismertetett módszerek alapján a kutatás további irányát a következő pontok alapján határozom meg:

- Dízel-villamos erőátvitelű járművekre szűkítjük a vizsgálati területet, mivel ennek az erőátvitelnek az esetében lehet a legkönnyebben villamosenergia-tárolók útján bekapcsolódni a vontatásba és tehermentesíteni a motort.
- A dízel-tranziens üzemállapotú kutatások rámutattak arra, hogy a dízelmotor felfutásának sebessége hogyan növeli a káros égéstermékek kibocsátását. Emellett látható, hogy a jármű gyorsítása jóval nagyobb energiaszükséglettel rendelkezik, mint a mozgásállapot fenntartása.

A meghatározott vezérlési elvet ábrázolja a 4. ábra.



4. ábra. Vontatásvezérlés blokkdiagramja

Forrás: a szerző szerkesztése

Mivel Rakopoulos szerzőtársaival¹² megmutatta, hogy a dízel-tranziensek során komoly befolyása van az üzemanyag beállása és a motorfordulat felfutása közötti időnek, ezért célszerűen az üzemanyag beállási idejét alkalmas vezérléssel növelni kell. A regulátor pillanatnyi pozíciójának értékét a mozdonyvezető az úgynevezett menetszabályozó segítségével állítja be. A menetszabályozó kar állásához különböző motorteljesítmény-állapotok vannak rendelve. A regulátor szükséges helyzetét a vezérlés, a kar állásának megfelelően állítja be.

Az üzemanyag befeckendezés felfutásának lassulása a dízelmotor fordulatszám növekedésének, így a főgenerátor kapocsfeszültség, illetve a motoráram felfutásának lassulását okozza, ami a vontatott elegy csökkent gyorsítását eredményezi. Ezt elkerülendő, a korlátozás nyomán elveszett vontatási teljesítményt pótolni kell. Egy külön erre a célra rendszeresített villamosenergia-tároló egységből (akkumulátoros vagy ultrakapacitásos) a vontatási energia hiány pótolható. A járművezérlés a dízelmotor üzemanyag-korlátozásának mértékéből kiszámítja mekkora villamos energiára van szükség, és ennek megfelelően vezérli az energiatároló áramirányítóját. A csak tranziens üzemben történő beavatkozás előnye, hogy nem kell folytonosan villamos energiát biztosítani a teljes vontatás során, így az energiatároló telep mérete elfogadhatóan kicsi lehet.

A felhasznált villamos energiát pótolni kell. Az energiatároló töltése történhet egyrészt a főgenerátorról. Ekkor a tároló töltésének idejére a vontatáshoz szükséges energián túl a töltési energiát is biztosítani kell a dízelmotornak. Ehhez a töltés idejére a dízelmotort egy kissé magasabb teljesítményen kell járatni, mint azt a vontatási feladat indokolná.

Másik módszer a telepek töltésére, hogy a járművet rekuperációs fékezésre alkalmassá tesszük. Modern mozdonyok erre a feladatra alkalmasabbak, de például a magyar vonatkozásban elterjedt soros gerjesztésű egyenáramú vontatómotorok alkalmazása mellett további átalakításokat igényel a korszerű vezérlés illesztése a rendszerhez, illetve a vontatómotorok külső gerjesztésűvé alakítása. A rekuperációs fékezés nagy előnye, hogy a jármű megállításához szükséges fékenergia jó hatásfokkal visszanyerhető villamos energiává, így a dízelmotort töltésre nem, vagy jóval kevesebbet kell használni.

A rekuperációs fékezés alapvetően azt feltételezi, hogy egy-egy gyorsítási ciklust mindig egy lassítás követ, amely csaknem teljesen képes visszatölteni az energiatárolót. Ez városi kötőpályás járművek esetében (például földalatti, villamos) jobban közelíti a valóságot. Nagyvasúti alkalmazásokban jóval gyakrabban előfordul, hogy egymást követően több gyorsítási ciklus is lehet visszatápláló fékezés nélkül, illetve a visszatápláló fékezés csak a jármű lassítását szolgálja – így nem töltve teljesen vissza a felhasznált energiát –, ami után újabb gyorsítás következik. A fentiek alapján a dízelmotor töltésre történő felhasználása elkerülhetetlen, de csökkenthető ezen üzem aránya.

A jármű vezérlésével szemben támasztott követelmények:

- A menetszabályozó kar új állásából és a regulátor jelenlegi állásából (amely információt közvetlenül a regulátor helyzetének érzékelésével, vagy a menetszabályozó előző állásából számítva nyerheti) kiszámítja, hogyan kell a regulátornak, illetve a dízelmotor-nak beállnia az új állapotba. A számításhoz figyelembe kell venni a motor károsanyag-

¹² RAKOPOULOS et al. 2009.

kibocsátási karakterisztikáját és olyan felfutást kell találni, amivel a kibocsátásfelfutás optimális értéken tartható (tehát a lehető legkisebb kibocsátás mellett a lehető leggyorsabb felfutás).

- A vontatási teljesítményszükségletből (menetszabályozó kar állása) és a regulátor felfutásából képes legyen meghatározni, hogy mekkora vontatási energiát kell pótolni annak érdekében, hogy a jármű gyorsulása megfelelő maradjon. Az ehhez szükséges energiát a villamos energiatároló berendezésből, az áramirányító alkalmas vezérlésével pótolja.
- Az energiatároló töltöttségi szintjének függvényében képes legyen meghatározni, hogy szükség van-e a dízelmotor által segített töltésre, illetve szükség esetén – ha az energiaszint túl alacsony – a dízelmotort normál üzemben működtesse, felfutási korlátozás nélkül.

Következtetések

Vizsgálataim során arra a következtetésre jutottam, hogy a kutatási cél megvalósítására, tehát a nagyvasúti járművek dízelmotorjának égéstermék-kibocsátás csökkentésére a legjobb megoldást az adja, ha dízel-villamos jármű erőátviteli rendszerében viszünk véghez módosításokat. Ezt az indokolja, hogy a villamos rendszerben végzett módosítások jóval egyszerűbben kivitelezhetők, illetve a villamos rendszerek hatásfoka sokkal jobb. A beavatkozást alkalmas vezérléssel kell végezni, amely a menetszabályozó állása alapján meghatározott, kívánt vontatási teljesítményt képes beállítani a dízelmotor regulátorának és egy villamosenergia-tároló áramirányítójának megfelelő irányításával.

A károsanyag-emisszió csökkentése a dízelmotor felgyorsítása közben (tranzienst üzemi állapot) történik oly módon, hogy az üzemanyag befecskendező (regulátor) felfutását a vezérlés korlátozza. A korlátozás során veszített dízelmotor teljesítményt villamos energiatárolók alkalmazásával kell pótolni.

Amennyiben a villamosenergia-tároló töltöttségi szintje megkívánja, úgy annak töltésébe a vezérlés a rekuperációs fékezésen túl, vagy helyette bevonja a dízelmotort. Ha az energiatároló nem képes ellátni a funkcióját, akkor a vezérlésnek képesnek kell lennie arra, hogy a dízelmotort normál üzemben működtesse, esetlegesen mindenféle felfutás-korlátozás nélkül.

Összefoglalás

Írásomban rámutattam arra, milyen elven lehetne beavatkozni egy nagyvasúti dízel-villamos erőátviteli rendszerű mozdony rendszerébe, annak érdekében, hogy csökkentsük a jármű dízelmotorjának károsanyag-kibocsátását. Meg lett határozva néhány irányelv, amelyek mentén szükséges a vezérlést megalkotni.

A jelen írásban leírtak további kutatásokat tesznek szükségessé a rendszer működőképességének érdekében. A további kutatások a következők:

- Meg kell vizsgálni, milyen energiaforrás alkalmazása a legmegfelelőbb adott feladathoz. Szóba jöhet valamilyen akkumulátortelep felhasználása, amely nagyobb energiamennyiség tárolására alkalmas, viszont azt lassabban képes felszabadítani, mint például egy

ultracapacitás telep. Meg kell vizsgálni, hogy nagyvasúti jármű gyorsításához szükséges-e egy akkumulátortelep kapacitása, illetve elegendő-e annak energiafelszabadítási sebessége, vagy elegendő egy kisebb kapacitású, de gyorsabb energiafelszabadítású ultracapacitás telep. Az eredmények alapján egy energiatároló modellt kell alkotni.

- Meg kell vizsgálni legalább egy dízelmotor kibocsátásregulátor felfutás karakterisztikáját, és az adatokból meg kell állapítani, hogyan lehet értelmesen korlátozni a felfutási sebességet ahhoz, hogy a lehető legoptimálisabb károsanyag-emissziót kapjuk. Az eredmények alapján egy kibocsátási modellt kell alkotni.
- A fenti pontok vizsgálatát követően meg kell határozni azon függvényt, amely alapján a vezérlés beállítja a regulátor állapotát és a villamosenergia-tárolóból felszabadított energiát. Az így megalkotott rendszert modellezni és szimulálni kell, hogy ellenőrizzük a kapott eredmények ténylegesen kielégítik a kutatás céljait.

Felhasznált irodalom

- ALONSO, José M. – ALVARRUIZ, Fernando – DESANTES, José M. – HERNÁNDEZ, Leonor – HERNÁNDEZ, Vicente – MOLTÓ, Germán (2007): Combining Neural Networks and Genetic Algorithms to Predict and Reduce Diesel Engine Emissions. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol. 11, No. 1. 46–55. DOI: <https://doi.org/10.1109/TEVC.2006.876364>
- DITTS, Holger – HÜLSEBUSCH, Dirk – UNGETHÜM, Jörg (2011): Reducing DMU fuel consumption by means of hybrid energy storage. *European Transport Research Review*, Vol. 3, No. 3. 149–159. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12544-011-0053-6>
- HORVÁTH András – JAKABFALVY Zoltán – BERECZKY Ákos – KOVÁCS Károly (2017): A hazai dízelmotor fejlesztés legújabb eredményei. *Vasútgépészet*, 3. sz. 25–30.
- JANICKI, Jürgen – REINHARD, Horst – RÜFFER, Michael (2013): *Schienefahrzeugtechnik*. 3. Auflage, Berlin, Bahn Fachverlag GmbH.
- LOVAS József – MEZEI István (1986): *Vasúti dízeljármű-vezetők zsebkönyve*. Budapest, Műszaki Könyvkiadó. 20–177.
- RAKOPOULOS, Constantine D. – DIMARATOS, Athanasios M. – GIAKUMIS, Evangelos G. – RAKOPOULOS, Dimitrios C. (2009): Exhaust emissions estimation during transient turbocharged diesel engine operation using a two-zone combustion model. *International Journal of Vehicle Design*, Vol. 49, No. 1/2/3/4. 125–149. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJVD.2009.024244>
- SHI, Xiaoyan – PANG, Xiaobing – MU, Yujing – HE, Hong – SHUAI, Shijin – WANG, Jianxin – CHEN, Hu – LI, Rulong (2006): Emission reduction potential of using ethanol-biodiesel-diesel fuel blend on a heavy-duty diesel engine. *Atmospheric Environment*, Vol. 40, No. 14. 2567–2574. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.12.026>
- SHI, Xiaoyan – YU, Yunbo – HE, Hong – SHUAI, Shijin – WANG, Jianxin – LI, Rulong (2005): Emission characteristics using methyl soyate-ethanol-diesel fuel blends on a diesel engine. *Fuel*, Vol. 84, No. 12–13. 1543–1549. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2005.03.001>
- STEINER, Myles – KLOHR, Markus – PAGIELA, S. (2007): *Energy storage system with ultracaps on board of railway vehicles*. 2007 European Conference on Power Electronics and Applications, Aalborg. 1–10. DOI: <https://doi.org/10.1109/EPE.2007.4417400>