



GAMUS DÁNIEL

termékfelelős
IMEX Filtertechnika Kft.

HORVÁTH ANDRÁS

okl. gépészmérnök
MÁV-TRAKCIÓ Zrt.



DR. BOZÓKY LÁSZLÓ DR. BERCZKY ÁKOS

főiskolai docens
Széchenyi István Egyetem
Közúti és Vasúti Járművek Tanszék

egyetemi docens
Budapesti Műszaki és
Gazdaságtudományi Egyetem
Energetikai Gépek és
Rendszerek Tanszék



M47 sorozatú dízelmozdony károsanyag kibocsátásának csökkentése részecskeszűrő berendezés felszerelésével

Fahrzeugentwicklung: Schadstoffemission-Reduzierung bei der Diesellokomotive Type M47 der MÁV mit dem Einbau eines Partikelfilters

Kurzfassung

Heute ist eine der wichtigsten Aufgaben der Eisenbahnfahrzeughersteller und -betreibender Firmen die Entwicklung Lösungen auf effektive Reduzierung von schadhafte Emissionen bei Eisenbahnfahrzeugen mit Dieselmotoren bzw. Testen unter Betriebsumständen und die Anwendung in der Praxis. Zahlreiche Bahngesellschaften haben in den letzten Jahren Betriebsversuche mit Schadstoffemissionsanlagen bei Dieselmotoren durchgeführt.

Die MÁV-Trakció AG hält für besonders wichtig die Modernisierung der bei ihm arbeitenden Lokomotiven und die Verwirklichung verschiedener Entwicklungen aus den zur Verfügung stehenden Mitteln, deshalb hat man 2009 mit der Vorbereitung einer Forschungs- und Entwicklungsprojekt begonnen, dessen Ziel die Prüfung und Realisierung verschiedener Lösungen bei der Reduzierung von Schadstoffemissionen bei Dieselmotoren war. Mit der Realisierung des Projektes wurde 2010 von MÁV-Trakció AG und MÁV-Vasjármű GesmbH die Universitas-Győr Nonprofit GesmbH beauftragt. Die MÁV-Trakció AG hat 2009 für die Hauptrevision und Modernisierung von 4+4 Stk. Diesellokomotiven Type M47 1300 einen Vertrag abgeschlossen, wo sich auch der technische Inhalt durch den Einbau von einem neuen Dieselmotor (Type MTU 8V 4000 R43) geändert hat. Für das F+E-Projekt wurde die Lokomotive Nr. M47 1331 ausgesucht. Auf der Lokomotive wurden parallel zwei Entwicklungen durchgeführt: der Einbau und die Anpassung eines Partikelfilters zur Schadstoffemissionsreduzierung und eines Radio-Fernsteuerungssystems. Im Artikel wird der Einbau des Partikelfilters vorgestellt, der von der Radio-Fernsteuerung wir in einem späteren Artikel beschrieben.

Vehicle development: The emission reduction of M47 series diesel locomotive by diesel particle filter

Summary

In our days the major engine and vehicle manufacturers' and rail companies' most important projects are the development, testing and application of different solutions to reduce the emission levels on diesel locomotives.

In MÁV-TRAKCIÓ Zrt. the modernization and the innovation of latest technologies are very important questions. On this score the Firm prepared a research & development project in 2009 to find an up-to-date technology for the emission reduction and try to install it for functional tests. The project started in 2010, the participants were MÁV-TRAKCIÓ Zrt. and MVJ MÁV-Vasjármű Kft. as procurer and Universitas-Győr Nonprofit Kft. as the project managing company.

MÁV-TRAKCIÓ Zrt. ordered the modernization of 4+4pcs M47 1300 series diesel locomotives in 2009. During this process the contents are changing: the locomotives got brand new MTU 8V4000R43 engines. The M47 Nr.1331 locomotive had been assigned as prototype to demonstrate two different developments: the diesel particle filter for emission reduction and the radio-remote control system. In the following article we introduce the development and installation process of the diesel particle filter.



1. ábra Az M47 1331 pályaszámú mozdony az átalakítás kezdetén, Szombathely 2010.07.20.

Abbildung 1. Die Lokomotive Nr. M47 1331 vor dem Umbau

Figure 1. The M47 Nr. 1331 locomotive at the beginning of modernization

(Fotó: Horváth András)

Bevezetés

Napjainkban a vasúti járműgyártók, vontatójárműveket üzemeltető vasút-vállalatok számára az egyik legkomolyabb műszaki feladat a dízelmotoros vasúti vontatójárművek légszennyező anyag kibocsátásának jelentős csökkentésére irányuló megoldások kifejlesztése, üzemi körülmények közötti tesztelése és gyakorlati alkalmazása.

A világ számos vasútvállalata végzett üzemi kísérleteket az elmúlt években a dízelmotoros vontatójárművek káros anyag kibocsátását csökkentő berendezésekkel.

A MÁV-TRAKCIÓ Zrt. különösen fontosnak tartja az általa üzemeltetett vontatójárművek korszerűsítését és a rendelkezésre álló lehetőségekkel a legújabb technológiákat megvalósító fejlesztések megvalósítását, ezért 2009-ben egy kutatás-fejlesztési projekt előkészítése kezdődött meg a vállalatnál, amelynek célja a dízelmozdonyok károsanyag kibocsátását csökkentő korszerű megoldások vizsgálata és lehetőség szerint egy korszerű technológia gyakorlati megvalósítása volt. A témával kapcsolatos kutatás-fejlesztési projekt kidolgozásával 2010-ben a MÁV-TRAKCIÓ Zrt. és az MVJ MÁV-Vasjármű Kft., mint megrendelők az Universitas-Győr Nonprofit Kft.-t bízták meg. A MÁV-TRAKCIÓ Zrt. 2009-ben 4+4 darab M47 1300 sorozatú dí-

zelmozdony korszerűsítéssel egybekötött fővizsgájára kötött szerződést, ennek során a mozdonyok műszaki tartalma megváltozott többek között az új dízelmotor (MTU 8V 4000 R43) beépítésével is. (1. és 2. ábra)

A kutatás-fejlesztési projektek számára az M47 1331 pályaszámú mozdony került kijelölésre. A mozdonyon két különböző célú fejlesztés megvalósítása történt meg: a légszennyező anyagok kibocsátását csökkentő részecskeszűrő berendezés beépítése és a mozdony rádió-távírányítását megvalósító rendszerek felszerelése és a mozdonyhoz illesztése.

Cikkünkben a részecskeszűrő berendezés beépítését megvalósító fejlesztést mutatjuk be, a mozdony rádió-távírányítását másik cikk mutatja be.

A fejlesztés folyamata

A vasúti dízelmotorok károsanyag kibocsátására vonatkozó előírások egyre inkább szigorodnak, hasonlóan a közúti belsőégésű motorok területén ismert szabályozáshoz. (Bővebben: *Vasútgépészet 2009/2.*) A vasúti dízelmotorok forgalomba hozatalakor valamint az új motorral szerelt vasúti



2. ábra Az M47 1327–1334 pályaszámú mozdonyokba beépített dízelmotor, Szombathely 2010.08.18.

Abbildung 2. Der eingebaute Dieselmotor in den Lokomotiven Nr. M47 1327–1334

Figure 2. The new diesel engine of M47 Nr 1331.

(Fotó: Horváth András)

járművek üzembe helyezésekor az emissziós előírások nem hagyhatók figyelmen kívül. (1. táblázat)

Az aktuális EU direktívák alapján készült, a jelenleg érvényben lévő hazai szabályozás a 75/2005. (IX.29) GKM-Kv-VM Együttes Rendelet „a nem közúti mozgó gépekbe építendő belsőégésű motorok gáznemű és szilárd részecskékből álló szennyezőanyag-kibocsátások korlátozásáról”. E rendelet hatálya alá tartoznak a vasúti dízelmotorok, mely alapján 2009-től csak olyan dízelmotoros járművek helyezhetők üzembe, melyek teljesítik a IIIA szabályozási lépcső előírásait.

A dízelmotorok légszennyező anyagainak csökkentése ún. motoron belüli és motoron kívüli megoldásokkal valósítható meg. A vasúti dízelmotorokra vonatkozó ún. IIIA szabályozási lépcső által előírt emissziós jellemzők megvalósíthatók motorteknikai megoldásokkal, pl. common-rail befecskendező rendszer, megfelelő turbófeltöltő rendszer, töltőlevegő visszahűtés, stb. A szabályozásban szereplő ún. IIIB és a későbbi IV szabályozási lépcsőkben előírt értékek azonban az

eddiggi gyakorlat szerint csak valamilyen kipufogógáz utókezelő technológiával pl. koromrészecske szűrő, redukciós katalizátor, vagy ezek együttes alkalmazásával valósíthatók meg eredményesen és gazdaságosan üzemi körülmények között.

A vasútiüzemi gyakorlatban, – ahol a vontatójárművek tervezett élettartama 20-30 év – üzemeltetői szempontból célszerű olyan műszaki megoldás kiválasztása, amely hosszú távon bizonyítottan működőképes, emisszió csökkentés szempontjából hatékony, a mozdonyon minimális módosítást igényel, valamint a technológiai beruházás megvalósítása és üzemeltetése a rendelkezésre álló forrásokból különösebb nehézségek nélkül megoldható.

A kutatás-fejlesztési projekt fő célja az M47 sorozatú dízelmozdony kipufogógáz károsanyag kibocsátásának csökkentése, a leghatékonyabb módszerek kutatása annak érdekében, hogy a kipufogógáz összetétele a lehető legjobban megközelítse a 2012-ben érvénybe lépő IIIB szabályozási lépcsőben meghatározott értékeket, elsősorban a koromkibocsátás szempontjából.

A fejlesztési projekt és a prototípus mozdony kialakításának célja egy új, eddig a magyar vasúti vontatójárműveken még nem alkalmazott technológia bevezetése, beépítési és kivitelezési tapasztalatok gyűjtése, a berendezés üzemi körülmények között történő tesztelése, valamint a hosszú távú üzemeltetés műszaki kultúrájának megteremtése volt. Fontos célkitűzés volt a károsanyag kibocsátás elvi lehetőségek vizsgálata mellett egy korszerű – lehetőleg az elérhető legjobb technológia gyakorlati megvalósítása és ehhez kapcsolódva a berendezés alkalmazásával elért légszennyező anyag kibocsátás mérése, amely igazolja az alkalmazott technológia az előzetes várakozásoknak megfelelő működőképességét.

Az M47 sorozatú mozdonyokba a remotorizáció folyamán olyan motorok kerültek beépítésre, amelyek megfelelnek a IIIA emissziós normának. A további fejlesztést – figyelembe véve rendelkezésre álló lehetőségeket – elsősorban a kipufogógázban lévő szilárd részecskék csökkentése irányában kellett megtenni.

Szabályozási lépcső	Teljesítmény	Hatályba lépés (típus-jóváhagyás)	Hatályba lépés (üzembe helyezés)	Szénmonoxid (CO) max. mennyisége [g/kWh]	Szénhidrogének (HC) max. mennyisége [g/kWh]	Nitrogén-oxidok (NOx) max. mennyisége [g/kWh]	Szilárd részecskék max. mennyisége [g/kWh]
Motorvonatokra							
IIIA	összes	2005.07.	2006.01.	3,5	4,0		0,2
IIIB	összes	2011.02.	2012.01.	3,5	0,9	2,0	0,025
Mozdonyokra							
IIIA	<560 kW	2006.01.	2007.01.	3,5	4,0		0,2
IIIA	>560 kW	2008.01.	2009.01.	3,5	0,5	6,0	0,2
IIIA	>2000 kW és >5 liter/henger	2008.01.	2009.01.	3,5	0,4	7,4	0,2
IIIB	összes	2011.01.	2012.01.	3,5	4,0		0,025

1. táblázat Emissziós határértékek vasúti vontatójárművekre 97/68 EC szerint

Table 1. Die Emissionsgrenzwerte im Bahnbetrieb laut EC 97/68

Table 1. Emission standards for rail vehicles according to 97/68EC regulations

Műszer	Gyártó, típus	Mérési tartomány
THC (HC) elemző (működési elv: FID)	Bernath Atomic, Modell 9000	0-10, ... 100000 ppm C ₃ H ₈
NO/NO ₂ /NO _x elemző (működési elv: kemiluminescens)	Thermo Environmental Instruments, MODEL 42 C HL	0-10, ... 5000 ppm
CO elemző (működési elv: infravörös)	Thermo Environmental Instruments, MODEL 48 C HL	0-50, ... 20000 ppm
O ₂ elemző (működési elv: paramágneses)	Servomex, I400B4 SPX	0-5, ... 100 V/V %
CO ₂ elemző (működési elv: infravörös)	Servomex, I400B4 SPX	0-10, ... 100 V/V %
Füstölésmérő (PM, működési elv: szűrőpapír elfeketedés)	AVL 415	0-9,99 FSN, 0 – 32000 mg/m ³ érzékenység: 0,01 FSN / 1 mg / m ³

2. táblázat Az összehasonlító mérés során alkalmazott műszerek

Tabelle 2. Die angewandten Messgeräte bei den Vergleichsmessungen

Table 2. The applied instruments during the comparative emission measuring

A prototípus mozdony kialakítása

A célok és lehetőségek ismeretében került sor 2010. év folyamán a majdani részecskeszűrő berendezésre vonatkozó konkrét követelmény rendszer felállítására. Már korábban kiderült, hogy az M47 sorozatú mozdony és az új MTU motor párosítása miatt csak egyedi, kimondottan az adott alkalmazáshoz minden tekintetben illeszkedő részecskeszűrő jöhet szóba. Ennek oka a motortérben illetve magán a mozdonyon rendelkezésre álló, korlátozott méretű tér. Ugyanakkor a berendezés méretezésénél elsődleges szempont a motor által kibocsátott kipufogógáz mennyisége, hiszen a nem megfelelően méretezett részecskeszűrő a motor leadott teljesítményének csökkenéséhez, az üzemanyag fogyasztás növekedéséhez vezethet. Az összes szempontot figyelembe véve tehát olyan részecskeszűrő berendezésre volt szükség, amely egyrészt a mozdonyon végrehajtott minimális átalakítással a hangtompító helyére beépíthető, másrészt kezelni képes az MTU 8V4000R43 motor által kibocsátott kipufogógázt mind mennyiségi, mind emissziós szempontból. Mivel az innováció célja egy napi gyakorlatban is használható berendezés beépítése volt, követelményként jelentkezett egy kipróbált, a gyakorlatban már bizonyított technológia kiválasztása, amely a lehető legkevesebb karbantartással

megbízhatóan üzemeltethető. A fenti követelményeknek az előzetes vizsgálatok alapján leginkább a svájci Hug Engineering AG által gyártott mobiclean® részecskeszűrő berendezés felelt meg. A kiválasztáskor nem lehetett figyelmen kívül hagyni, hogy a Hug Engineering csaknem negyedszázados tapasztalattal rendelkezik nagyteljesítményű dízelmozdonyokra telepített részecskeszűrő berendezések és SCR katalizátorok fejlesztésében illetve gyártásában, és mindegyik nagy motorgyártó cég termékeivel kapcsolatban rendelkezik üzemeltetési tapasztalatokkal, mivel világszerte csaknem kétezer mozdony fut mobiclean® részecskeszűrőkkel.

Legkomolyabb referenciának mégis a DB Schenker 130 db Voith Gravita 10BB típusú (BR 261) dízelmozdonya bizonyult, amelyek a szóban forgó M47 sorozatú mozdonyban is használt MTU 8V4000R43 motorral és Hug Engineering által gyártott részecskeszűrő berendezéssel kerültek leszállításra.

A Gravita mozdonyok esetében szintén problémát jelentett a berendezés elhelyezése, de az egyedi kialakítással tökéletesen sikerült a részecskeszűrőt a mozdonytípus biztosította lehetőségekhez igazítani.

A fejlesztés szempontjából további jelentős referenciaként kell említenünk a Siemens Vectron vonali dízelmozdonyát, amelyben az MTU 16V4000R84 dízelmotorhoz

szintén a Hug Engineering által fejlesztett részecskeszűrő berendezést alkalmazzák.

Az M47 1331 pályaszámú mozdonyba építendő részecskeszűrő berendezés tervezése a típus pontos felmérésével kezdődött. Az első elkészült, újonnan remotorizált M47 sorozatú mozdony (1327 pályaszámú) vizsgálata alapján pontosan meghatározásra került a maximális befoglaló méret, amely gyakorlati megfontolások alapján (a könnyebb szerelhetősége érdekében) mintegy 50 mm-rel rövidebb lett az eredeti hangtompítóhoz képest, viszont áramlási szempontokat figyelembe véve annál magasabb. E magasság változás és a részecskeszűrő szerelőnyílásainak kétoldali elhelyezése megkövetelte a motortér ajtók magasságának minimális növelését. Mivel a motor két hengerosorának kipufogócsövei egy közös csőben egyesülve csatlakoztak a hangtompítóhoz, a részecskeszűrő esetében is ragaszkodni kellett az adott méretű, egy darab belépő csonkhoz.

A részecskeszűrő berendezés mozdonyba történő beépítési terveinek elkészítésében a GanzPlan Hungária Mérnöki Szolgáltató és Kereskedelmi Kft. vett részt.

2010 tavaszára elkészültek a speciálisan az MTU 8V4000R43 motorral szerelt M47 sorozatú mozdony részecskeszűrőjének csaknem végleges tervei. A Hug Engineering AG

Mérés	Szabvány
Szén-monoxid infravörös detektálás 4 mg/m ³ -750 g/m ³ véggáz	MSZ 21853-8:1977
Nitrogén-oxidok kemilumineszcenciás detektálás 2 mg/m ³ véggáz	MSZ 21853-9:1990
Széndioxid infravörös detektálás 0,1-25% véggáz	MSZ 21853-19:1981
Az összes, gázállapotú, szerves kötésben lévő szén tömegkoncentrációjának meghatározása, láng ionizációs detektálás 1,65 mg/m ³ véggáz	MSZ EN 12619:2000
Oxigén paramágneses 0,1-25% véggáz	MSZ 21853-27:1993

3. táblázat Az összehasonlító mérések során figyelembe vett szabványok

Tabelle 3. Die berücksichtigten Standarten bei den Messungen

Table 3. The applied measuring standards

tapasztalatai alapján passzív önregeneráló rendszert javasolt. Ez felépítésében egyszerűbb, karbantartási szempontból könnyebben kezelhető, költségek tekintetében pedig a jármű és a szűrő élettartamát tekintve jelentősen kedvezőbb megoldás, mint az aktív, égőfejes kivitelek (Lásd még *Vasútgépészet 2009/2*). A mobiclean® ER8.52-Special típusjelű részecskeszűrő berendezés (3. ábra) rozsdamentes acél házában 8 db szilícium-karbid szűrőkazetta (4. ábra) kapott helyet, melyek mindegyike ún. előoxidációs fokozattal van ellátva. Ez utóbbi teszi lehetővé, hogy a szűrőbetétek regenerációja már alacsonyabb kipufogógáz hőmérséklet esetében is meginduljon. A szűrőkazetták vízszintesen, a mozdony hossztengegyére merőlegesen helyezkednek el a házban, így karbantartás esetén az oldalsó szerelvénylásokon és a mozdony motorterének ajtóin keresztül kihúzhatók anélkül, hogy a szűrőházat ki kellene emelni a helyéről. (5. ábra) A szűrőház alsó felfüggesztési pontjai úgy lettek kialakítva, hogy ezt a folyamatot szintén ne akadályozzák. A részecskeszűrő kívülről teljes egészében hőszigetelő anyaggal borított, amelynek elsődleges feladata nem a szűrő környezetének védelme, hanem annak belsejében a megfelelő, egyenletes hőmérséklet fenntartása.

A gyártásba kerülés előtt – gyakorlati megfontolásból – néhány részleten változtatni kellett: ilyen volt a felső rögzítési pont átalakítása és a

vízleeresztők kialakítása. A felső rögzítési pont(ok) átalakítására azért volt szükség, mert a viszonylag csekély tömegű hangtompítóval szemben a berendezés tömege a szűrőkazettákkal együtt csaknem 450 kg. A rugalmas kompenzátorokra ültetett részecskeszűrő a mozdony üzemszerű használatában olyan erőhatásoknak lehet kitéve, melyek ellensúlyozására az alsó rögzítési pontok már elégtelennek bizonyulhatnak, emiatt kétoldali felső rögzítéssel kell kivédeni a mozdony hossztengegyével párhuzamosan fellépő erőhatásokat. A részecskeszűrő fenéklemezén kialakítottak két vízleeresztő csonkot, mivel a függőlegesen álló kipufogócsövön keresztül csapadékvíz juthat a szűrőház belsejébe. A víz ugyan nem ártalmas a szűrőbetétekre, de egy esetleges hosszabb állásidő alatt nagyobb mennyiség összegyűlhet, amit el kell távolítani a berendezésből.

A tervrajzok végső pontosítását és jóváhagyását követően a Hug Engineering AG a mobiclean® ER8.52-Special típusjelzéssel ellátott részecskeszűrő berendezést legyártotta, és Kelet-közép európai képviselőtén, az Imex Filtertechnika Kft.-n keresztül 2010 októberében leszállította Szombathelyre, az MVJ MÁV-Vasjármű Kft. telephelyére.

A részecskeszűrő működése

A kipufogógáz a szűrő belépő csonkján keresztül jut be a berendezésbe.

Először annak középvonalában lefelé, majd a fenéklemez elérése két irányban oldalra áramlik. A szűrőház oldalfalát elérve ismét felfelé emelkedik, hogy azután a szűrőbetéteken vízszintesen áthaladva a kilépő oldalra jusson. Itt a szűrőkazettákban zajlik gyakorlatilag a kipufogógáz utókezelése. A gáz először az előoxidációs katalizátor fokozaton halad keresztül, majd a speciálisan kialakított, méhsejt szerkezetű szilícium-karbid részecskeszűrő betéten. A folyamat során a kipufogógáz szén-monoxid tartalma és az el nem égett szénhidrogének oxidálódnak, ezután a részecskeszűrőben a 20 nm-t meghaladó méretű koromrészecskék a szűrőbetét felületén megtapadnak.

A korom a regeneráció során ég ki (oxidálódik) a részecskeszűrőből. A részecskeszűrő önregeneráló, úgynevezett passzív rendszer, külön kezelést nem igényel, azonban lehetőség van az állapotának folyamatos monitorozására, illetve azok adatainak utólagos megjelenítésére. (6. ábra) Erre a berendezéshez kapcsolt Dyntest AML-S monitoring rendszer ad lehetőséget. A részecskeszűrő belsejében a kipufogógáz hőmérsékletét és nyomását folyamatosan szondák mérik, a mért adatokat pedig a Dyntest egység gyűjti és elemzi. A vezetőállásban található LCD kijelzőn a mért aktuális adatok olvashatók. A hőmérséklet folyamatos figyelésére azért van szükség, mert az önregenerálás folyamata csak akkor megy végbe, ha a kipufogógáz hőmérséklete legalább 5 percig folyamatosan meghaladja a 320°C-ot. A modern motorok esetében a kipufogógáz hőmérséklete alapjáraton alig haladja meg a 100°C-ot, egy tolatómozdony esetében pedig az üzemidő jelentős részét az alapjárat fordulatszám teszi ki. A szűrés ebben az esetben is zajlik, de a leválasztott korom illetve a motorolajból származó hamu fokozatosan felgyülemlik a szűrőbetétekben, ezáltal a szűrő ellenállása is növekszik. Amennyiben ez az ellenállás eléri egy bizonyos szintet (az MTU 8V4000R43 motor eseté-

ben 88 mbar értéket), a teljesítmény csökkenésével illetve a fogyasztás növekedésével kell számolni. Ezt megelőzendő a Dyntest egység vezetőállásba telepített kijelzője úgy került beprogramozásra, hogy a motorgyártó által megjelölt határérték 90%-nál fény- és hangriasztást adjon (80 mbar elérésekor). Riasztáskor a fordulatszám – akár üresjárat – emelésével a mozdonyvezetőnek emelnie kell a kipufogógáz hőmérsékletet, és a 320°C elérését követően legalább 5 percig e határérték felett kell tartania azt, amíg a regeneráció végbe nem megy. Normál esetben azonban a vegyes használatból (üresjárat, tolatás, vonatváltás) eredő változó terhelés elegendő időre emeli a gázhőmérsékletet a regenerációs fázisba. A Dyntest berendezés a napi használaton kívül a későbbi elemzéseket is segíti, mivel a kipufogógáz adatokat 365 napra visszamenően tárolja. Ezen adatok alkalmazása akár a mozdony üzemeltetési jellemzőinek utólagos vizsgálatára vagy az esetleges meghibásodások visszakövetésére. (11. ábra)

Passzív önregeneráló kivitele végett az ER8.52-S részecskeszűrő karbantartási igénye meglehetősen szerény, ugyanakkor jelentősen függ az olyan üzemi körülményektől, mint pl.: a használt motorolaj és gázolaj minősége, a mozdony terhelése stb. Emiatt a gyártó a prototípus mozdonyra csak hozzátétőleges karbantartási ciklusokat tudott megadni, amelyek várhatóan jóval pesszimistább becslések a valóságosnál, ugyanakkor javasolja, hogy a motor karbantartási ciklusait követve folyamatos legyen a prototípuson a részecskeszűrő berendezés adatainak nyomonkövetése. A részecskeszűrő berendezés várható maximális üzemideje kb. 36 000 üzemóra, amelyen belül kb. 12 000 és 24 000 üzemóránál ki kell cserélni a szűrőkazettákat. Erre azért van szükség, mert a szélsőségesen változó hőterhelés miatt a kazetták anyaga az idő előre haladtával előregszik. Várhatóan kb. 4000 üzemóránként, de legalább évente egyszer a szűrőkazet-

tákat ki kell tisztítani, mivel a motorolajból származó hamu és az olajsár csökkentheti a szűrés hatékonyságát. A tisztítás a gyártó által speciális vákuumos eljárással történik. Nagyjából 1 500 üzemóránként vagy évente két alkalommal szükséges egy teljes körű egyszerű ellenőrzés, illetve a hőmérsékleti és nyomásmérő szondák tisztítása, valamint 500–1000 óránként a kondenzvíz leeresztő és szükség esetén tisztítása. Ennél pontosabb karbantartási ciklus csak a jövőbeni üzemeltetési tapasztalatok alapján határozható meg.

A már részecskeszűrővel felszerelt M47 1331 pályaszámú mozdony első motorindítására 2010. november 30-án került sor. Ekkor a Hug Engineering AG projektmenedzserének jelenlétében megtörtént a hivatalos átadás, valamint ekkor kerültek beprogramozásra a Dyntest rendszerbe azok a határértékek, melyek a továbbiakban a részecskeszűrő hatékony működését biztosítják.

Összehasonlító mérések és mérési eredmények

A kutatás-fejlesztés során két alkalommal több mozdonyon több mérési sorozat valósult meg. Az első mérés alkalmával a korábban Caterpillar 3412 DITTA JW és MTU 12V 2000 R80 motorral korszerűsített valamint a folyamatban levő MTU 8V 4000 R43 motorral korszerűsített mozdonyok emissziós jellemzőinek összehasonlítása és a mérési módszer kipróbálása valósult meg. A második mérés során a részecskeszűrő nélküli és a részecskeszűrővel felszerelt mozdonyok összehasonlítása történt meg.

A 2010.05.05-én az MVJ MÁV-Vasjármű Kft telephelyén lefolytatott mérésben az M47 1215, M47 1237 és M47 1330 pályaszámú mozdonyok vettek részt; a mozdonyok motorjának terhelt állapotban történő mérését álló helyzetben a mozdonyok hidrodinamikus hajtóműve tette lehetővé, a mérésben résztvevő mozdonyok

befékezett állapota mellett a befékezett és a többi mozdonyal összekapcsolt M62 232 pályaszámú mozdony tette lehetővé a biztonságos mérést a terhelt üzemállapotokban. A vizsgálat során a kipufogógáz összetétele több terhelési pontban (alpjárat, közbelső fordulatszámok: 1000, 1200, 1400 ford/perc terhelt és terheletlen állapotban, valamint maximális fordulatszám: 1800 ford/perc, terhelt és terheletlen állapotban) került mérésre a Hug Engineering által biztosított műszerekkel. A mérés tapasztalatai a későbbi összehasonlító mérés megvalósítása során jól hasznosíthatóknak bizonyultak.

A kutatás-fejlesztés szempontjából a nagyobb jelentőséggel bíró mérés megvalósítására 2010.11.30-án került sor az MVJ MÁV-Vasjármű Kft. telephelyén, amikor a részecskeszűrő berendezés nélküli M47 1334 (7. ábra) és a részecskeszűrő berendezéssel felszerelt M47 1331 (8. ábra) pályaszámú mozdony kipufogógáz összetételének részletes összehasonlító mérésére került sor, a mozdonyokat terhelt állapotban az M62 306 pályaszámú mozdony fékezte. Mindkét mozdony emissziós jellemzőit a kipufogógáz összetételét különböző mérési pontokban, terhelt és terheletlen állapotban mérték a szakemberek. (4. táblázat) A méréseket és a mérési eredmények kiértékelését az OREO-THERM Kft. és a BME, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék Energetikai és Emisszió Vizsgáló-Laboratóriuma végezte az IMEX-Filtertechnika Kft. megbízásából. A vizsgált mozdonyok átadás előtti állapotban voltak, azaz értékelhető üzemidő nélkül.

A mozdonyok emissziós jellemzőinek meghatározása szempontjából az alapjáratú állapot vizsgálata különösen fontos (a tolatómozdonyok üzemidejének jelentős része alapjárat). Ezen kívül a méréseket különböző fordulatszámokon terheletlen és terhelt esetben mérték. Az alapjárat és a motor terheletlen állapotában a magasabb fordulatszámú pontok mérése

egyszerűen megoldható. A terhelt üzemállapotok előállítását a mozdonyok hidrodinamikus hajtóműve tette lehetővé a mozdonyok álló helyzetében. A terhelt állapotokban a mozdony hidrodinamikus hajtóművében alkalmazott folyadék hőmérséklete növekedett, amit a mozdony hűtőrendszere vezetett el. Ez a módszer – figyelembe véve a rendelkezésre álló lehetőségeket – a műszaki gyakorlat szempontjából üzemi körülmények között elfogadhatónak mondható; ezzel kapcsolatban fontos azonban megemlíteni, hogy az emissziós értékek pontos meghatározásának módszerét és mérési eljárását rögzítő előírások pontos betartása csak megfelelő motorvizsgáló próbatereiben valósítható meg.

A mintavételi helyek kialakításához a mozdonyok kipufogócsövére egy toldat darab került legyártásra, amely rendelkezett a szükséges mintavevő szondákkal, melyekhez a mérés során csatlakoztatni lehetett a fűtött mintavevőket. (2. és 3. táblázat) A NO/NO₂/NO_x, CO, O₂ és CO₂ komponens száraz alapon, míg a THC

Mérési pont	Megnevezés
1	alajárat, (650 ford./perc)
2	1000 ford./perc, terhelés nélkül
3	1000 ford./perc, terheléssel
4	1400 ford./perc, terhelés nélkül
5	1400 ford./perc, terheléssel
6	1800 ford./perc, terhelés nélkül
7	1800 ford./perc, terheléssel
8	1200 ford./perc, terhelés nélkül
9	1200 ford./perc, terheléssel
10	1600 ford./perc, terhelés nélkül
11	1600 ford./perc, terheléssel

4. táblázat Az összehasonlító mérések során beállított mérési pontok

Tabelle 4. Die eingestellten Messpunkte bei den Vergleichsmessungen

Table 4. Points of comparative emission measuring

komponens nedves alapon lett mérve. A THC komponenst C₃H₈ (propán) egyenértékben került megadásra a mérések során. A részecske kibocsátás (PM) mérése AVL 415 típusú füstölésmérővel történt. A mérőműszer az úgynevezett szűrőpapír elfeketedés módszerét használja. Egy adott speciális szűrőpapíron a berendezés adott mennyiségű füstgáz mintát szív keresztül, ennek hatására a szűrőpapír színe megváltozik (elfeketedik), az elfeketedésének mértékét egy optikai érzékelő méri. Az átszívott füstgáz mennyiségéből és az elfeketedésből a műszer egy úgynevezett FSN-t (Filter Smoke Number-t) határoz meg, majd ebből számítja a részecske kibocsátást mg/m³ mértékegységben.

A mérési eredmények és értékelésük

A novemberben elvégzett, részecske-szűrő nélküli és részecskeszűrővel felszerelt mozdonyok összehasonlító mérése és a mért adatok értékelése az alábbi tapasztalatokat eredményezte.

A CO₂ koncentráció a motor fordulatszámának növelése hatására folyamatosan növekedett mind terheléses, mind terhelés nélküli esetben. Terhelés esetén a CO₂ koncentráció megnőtt. Az itt tapasztalt tendenciák megfelelnek az elméleti megfontolásoknak. A két mozdony összehasonlítása esetén megfigyelhető, hogy a beállított mérési pontok egybeestek, mivel a két mozdony esetén jelentős eltérés nem volt tapasztalható. A THC kibocsátás szempontjából a részecske szűrő nélküli mozdony esetén a fordulatszám növelésével nőtt a kibocsátás, valamint a terhelés is növelte a kibocsátást. A részecske szűrővel szerelt mozdony esetén a THC kibocsátás folyamatosan alacsonyabb volt, de ennek mértéke változó.

A CO koncentrációmérésekor a részecske szűrő nélküli mozdony esetén a fordulatszám növelésével nőtt, a terhelés hatása viszont nem egyértelmű, kis fordulatokon megnőtt, míg nagyobb fordulatok esetén csökkent a CO kibocsátás. A részecske szűrővel

felszerelt mozdony esetén megállapítható, hogy a terhelés nélküli 1000 és 1800 fordulatszámoktól eltekintve a CO kibocsátás jelentősen csökkent, az említett két pontban is alacsonyabb, mint a részecskeszűrő nélküli mozdonymál. (9. ábra)

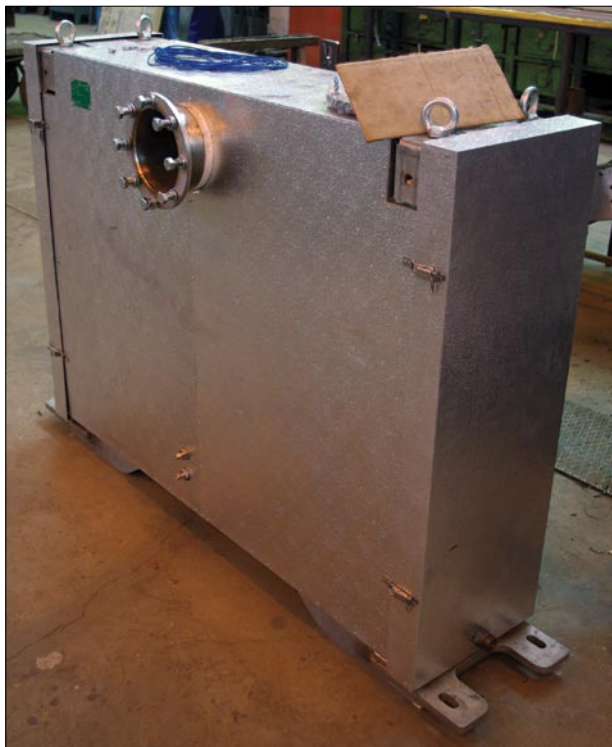
Az NO_x kibocsátásmérése esetén megállapítható, hogy mindkét mozdony esetén a fordulatszám növelésével csökkent a kibocsátás, valamint a terhelés növelte a kibocsátást. A részecskeszűrővel szerelt mozdony esetén ugyan ez hatás mutatható ki. Lényeges eltérés a két mozdony esetén nem figyelhető meg.

A részecske kibocsátás a részecske-szűrő nélküli mozdony esetén a fordulatszám növelésével kismértékben nőtt, míg a terhelés hatása jelentősen megnőtt. A részecskeszűrővel szerelt mozdony esetén a kibocsátás olyan jelentősen lecsökkent, hogy az a mérőműszer által mérhető legalacsonyabb érték közelében volt, illetve nem érte el azt. (10. ábra)

A mérési adatok alapján összefoglalva megállapítható, hogy vizsgált 11 mérési pont alapján átlagosan a részecskeszűrővel felszerelt M47 1331 pályaszámú mozdony esetében a THC kibocsátás átlagosan 46%-kal, CO kibocsátás átlagosan 86%-kal, PM kibocsátás átlagosan több mint 99%-kal, csökkent, míg NO_x kibocsátás átlagosan 1%-kal növekedett az M47 1334 pályaszámú részecske-szűrő nélküli mozdonyhoz képest.

Fontos megemlíteni, hogy a mérések két különböző MTU 8V4000 R43 motorral szerelt mozdonyon valósultak meg, és nem részecske-szűrő beszerelése előtt és után, így bizonyos kisebb különbségek részben a két motor közti eltérésekből is származhatnak.

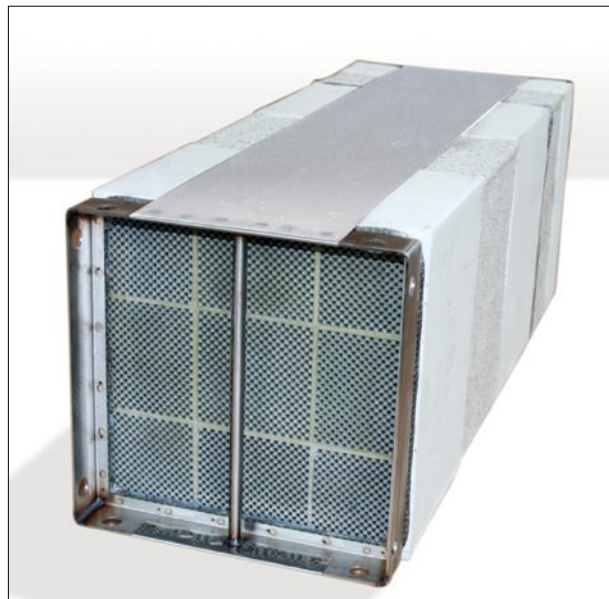
A bemutatott kutatás-fejlesztési projekt eredményeként elkészült a magyar vasút első részecskeszűrő berendezéssel felszerelt dízelmozdonya, amely jelenleg a legkevesebb légszennyező anyagot kibocsátó dízelmotoros vasúti járműnek tekinthető a MÁV hálózatán.



3. ábra Az M47 1331 pályaszámú mozdonyba épített ER8.52-S típusú részecskeszűrő berendezés, Szombathely 2010.10.20.

Abbildung 3. Die in der Lokomotive Nr. M47 1331 Partikelfilteranlage Type ER8.52S

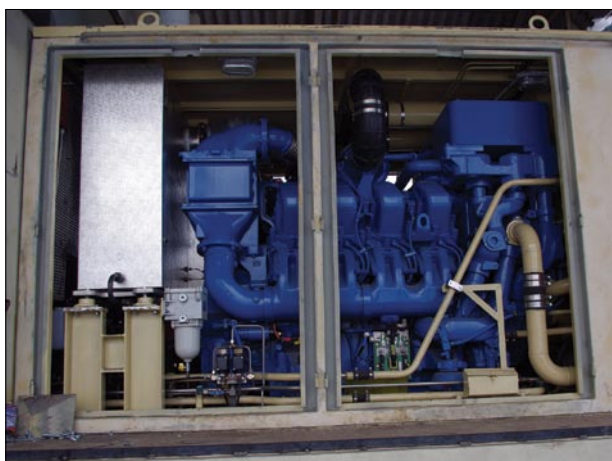
Figure 3. mobiclean®ER8.52-S diesel particle filter for the M47 1300 series
(Fotó: Horváth András)



4. ábra Az ER8.52-S típusú részecskeszűrő berendezésben alkalmazott szűrőkazetta

Abbildung 4. Die im Partikelfilter Type ER8.52-S angewandte Filterkassette

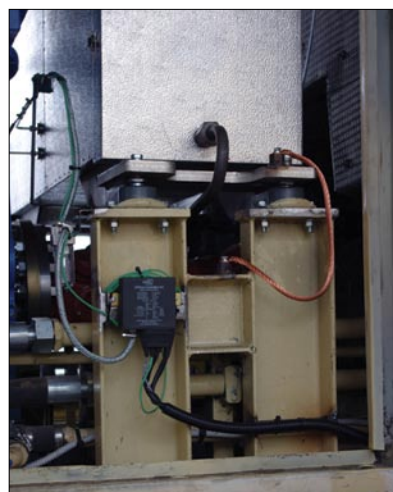
Figure 4. One of the eight filter cassettes of ER8.52-S
(Fotó: Hug Engineering)



5. ábra Az M47 1331 pályaszámú mozdony a beépített dízelmotorral és részecskeszűrővel, Szombathely 2010.11.30.

Abbildung 5. Die Lokomotive Nr. M47 1331 mit dem eingebauten Dieselmotor und Partikelfilter

Figure 5. The installed engine and DPF in the M47 Nr.1331.
(Fotó: Horváth András)



6. ábra A részecskeszűrő berendezés diagnosztikai műszere, Szombathely 2010.11.30.

Abbildung 6. Das Diagnostik-Gerät des Partikelfilters

Figure 6. The monitoring system of the DPF
(Fotó: Horváth András)



7. ábra Az M47 1334 pályaszámú mozdony mérése, Szombathely 2010.11.30.

Abbildung 7. Die Messungen bei der Lokomotive Nr. M47 1334

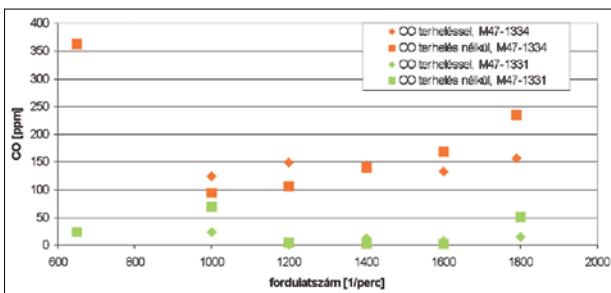
Figure 7. Measuring the M47 Nr.1334 control locomotive
(Fotó: Horváth András)



8. ábra Az M47 1331 pályaszámú mozdony mérése, a mozdony mellett a gázelemző műszereket szállító mérőkocsi, Szombathely 2010.11.30.

Abbildung 8. Die Messungen bei der Lokomotive Nr. M47 1331, neben der Lokomotive der Messwagen mit den Gasanalyse-Geräten

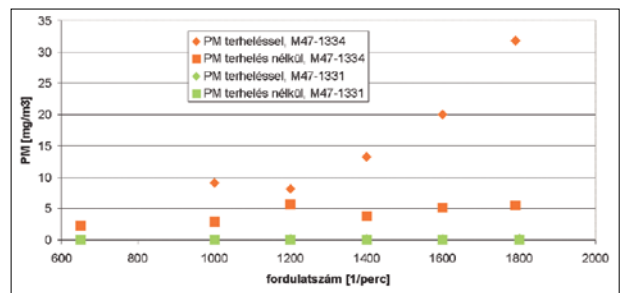
Figure 8. Measuring the M47 Nr.1331 prototype locomotive
(Fotó: Horváth András)



9. ábra A CO mérés eredményei a különböző mérési pontokban

Abbildung 9. Die Ergebnisse der CO-Messungen bei den verschiedenen Messpunkten

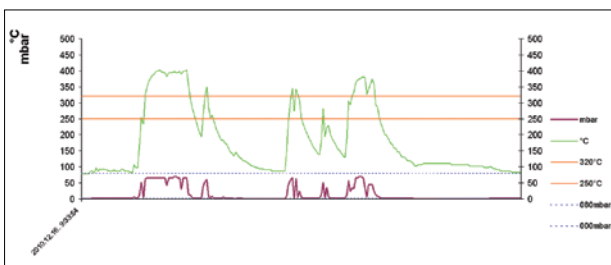
Figure 9. Results of CO measuring



10. ábra A PM (szilárd részecske) mérés eredményei a különböző mérési pontokban

Abbildung 10. Die Ergebnisse der PM-Messungen bei den verschiedenen Messpunkten

Figure 10. Results of PM (soot) measuring



11. ábra A diagnosztikai műszer által rögzített hőmérséklet és nyomás adatok a terhelési próba napján (2010.12.16.)

Abbildung 11. Die durch das Gerät gespeicherten Daten vom 16.12.2010 (Tag der Belastungsprobe)

Figure 11. Thermic and pressure diagram of the monitoring system on the day of load test



12. ábra Az M47 1331 pszú mozdony első önálló útja a MÁV Vasjármű Kft-ben

Fotó: Kovács Károly