



18-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos

TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,

vykusios 2015 m. gegužės 6 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 18th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'

TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 6 May 2015, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 18-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»

ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 6 мая 2015 г., Вильнюс, Литва

GARVEŽIŲ PANAUDOJIMO GALIMYBIŲ TYRIMAS

Nerijus Skuodas¹, Rimantas Subačius²

Vilniaus Gedimino Technikos Universitetas

El. paštas: ¹nskuodas@gmail.com; ²rimantas.subacius@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje nagrinėjama galimybė AB „Lietuvos geležinkeliai“ kai kuriuos eksploatuojamus šilumvežius pakeisti šiuolaikiniais garvežiais, kurie naudojami kitose šalyse. Šiuolaikiniai garvežiai su šilumvežiais lyginami pagal naudingumo koeficientą, lyginamąsias kuro / degalų sąnaudas, išmetamųjų dujų kenksmingumą ir planinius remontus. Atlikus analizę nustatyta, kad šiuolaikinio garvežio 52 8055 eksploatacija būtų brangesnė nei šiuo metu AB „Lietuvos geležinkeliai“ eksploatuojamais šilumvežiais ТЕР70, ТЕР70BS, 2М62М, 2М62К ir Siemens ER20CF.

Reikšminiai žodžiai: šiuolaikiniai garvežiai, išmetamųjų dujų kenksmingumas, lyginamosios kuro ir degalų sąnaudos, techninių priežiūrų ir remonto periodiškumas.

Įvadas

Šiuolaikinis garvežys (kitai dar vadinamas „XXI a. garvežiu“ arba „moderniuoju“ garvežiu) – tai naujai suprojektuotas arba modernizuotas XX a. garvežys. Šiame garvežyje įrengti šiuolaikiniai technologiniai įrenginiai, atitinkantys lokomotyvams keliamus kokybės ir saugumo reikalavimus.

Garvežių beveik visame pasaulyje atsiskyta dėl keltos priežasčių: labai sunkus ir atsakingas kūrėjo darbas (garvežio veiklos priklausomybė nuo kūrėjo darbo), didelės garvežio techninės priežiūros išlaidos, žemas variklio terminis naudingumo koeficientas, dūmai ir didelė oro tarša dėl nepilno kuro sudegimo, dideli patiriami nuostoliai dėl garo katilo, vamzdžių ir cilindro nesandarumo, papildoma tendrio priežiūra, reikalinga angliai ir vandeniui gabenti, sudėtingas garo katilo valymas bei ilgai trunkantis garo variklio paleidimas. Tačiau šiuolaikiniai garvežiai gali pasižymėti šiomis savybėmis: valdymui užtenka vieno žmogaus, labai aukštas šviesiosios naftos produktų sudegimo lygis, greitas variklio paleidimas, minimalūs techninės priežiūros reikalavimai sąlygoja mažas aptarnavimo sąnaudas, aukštas mechaninių įrenginių naudingumo koeficientas, nėra tepimo sistemos nesandarumo, alyvos nutekėjimo.

Šio darbo tikslas yra ištirti, ar tikslinga Lietuvoje naudoti garvežius juos modernizuojant. Norint pasiekti šį tikslą, reikia įvertinti šiuolaikinius garvežius įvairiais aspektais (šiuo atveju vertinama: sunaudojamų degalų/kuro kiekis, išmetamųjų dujų tarša, naudingumo koeficientas, techninės priežiūros apimtys) ir atlikti moderni-

zuotų garvežių parametru bei šiuolaikinių eksploatuojamų šilumvežių parametru lyginamąją analizę.

Jei šiuolaikiniai garvežiai pasirodytų pranašesni už šilumvežius, būtų formuluojama išvada, jog tikslinga būtų šilumvežius pakeisti garvežiais.

Modernizuotų garvežių ypatumai

Vienas žymiausių modernių garvežių yra „Tornado A1“, kuris buvo baigtas modernizuoti ir išleistas į pagrindinės Didžiosios Britanijos geležinkelio linijų eksploataciją 2008 m. ir 2012 m. jau buvo įveikęs 805 000 km. Šis garvežys reguliariai vykdo parodomąsias ekskursijas, taip pat dalyvauja traukinių festivaliuose, kurie vyksta Didžiojoje Britanijoje. Šį garvežį modernizavo pagal A1 garvežių patikimumo projektą (angl. *A1 Steam Locomotive Trust project*) taip, kad jis būtų kuo panašesnis į senąjį 1940 m. garvežį „Peppercorn A1 Pacific“. Modernizacija pradėta dar 1990 m. baigta 2008 m. Darlingtono mieste (Engineering & Technology 2012).

Švedijoje ir Australijoje dar 1990 m. buvo modernizuoti 8 garvežiai SLM 0-4-2RT, skirti vežioti turistams po kalnus (New Steam from Switzerland). Senuose 1891 m. ir 1933 m. SLM 0-4-2RT garvežiuose buvo pakeisti seni varikliai naujo dizaino ir patobulinto veikimo naujos konstrukcijos varikliais ir technologija. Be to, buvo sumontuotas suvirintas garo katilas, sumontuoti rutuliniai guoliai, krosnis pritaikyta dyzelinui deginti, pagerinta krosnies ir katilo šiluminė izoliacija bei įdiegta sistema, leidžianti automatiškai tiekti degalus į degimo kamerą, tai leidžia valdyti

garvežį vienam asmeniui – nereikalingas kūrikas. Įdomi naujų variklių naujovė – elektrinis katilo šildytuvas. Jis reikalingas pašildyti garo katilui po kas mėnesinio katilo plovimo. Variklių terminis naudingumo koeficientas siekia daugiau nei 10 %, o palyginus su 1933 originaliu garvežiu, moderniojo garvežio galia padidinta 36 %, galia svorio vienetai padidėjo 82 %, kelionės degalų sąnaudos sumažėjo 41 %, maksimalus greitis padidėjo 56 %.

Vietovėse, kur reikia įveikti nedidelius atstumus, ar dirbti ten, kur yra deguonies stygius (pvz.: šachtose, tune-liuose) yra naudojami akumuliatoriniai (be degimo) garvežiai. Vienas tokių garvežių FLC 03 160 2012 m. pristatytas Šveicarijoje. Akumuliatoriniai garvežiai pasižymi tuo, kad yra visiškai nekenksmingi aplinkai, veikiantys labai tyliai. Akumuliatorinis garvežys nedegina jokio kuro, taigi jam veikti nereikalingas deguonis, greitas akumuliatorių įkrovimas (kraunama (5–20) min.), didelis sukimo momentas, konstrukcija paprasta, pigus aptarnavimas, ilgaamžiškumas (baterijų eksploatacija siekia (5–10) m), slėginių indų (60–100) m, be to, energija nėra naudojama, kuomet šilumvežis yra laukimo režime (Byer 2009, Presentation of DLM's fireless Locomotives...).

Roger Waller su savo įmone SLM 1999 m. modernizavo 52-osios serijos „German Kriegslokomotive 2-10-0“ garvežį Nr. 8055 (toliau – 52 8055) eksploatacijai Europoje (New Steam from Switzerland). Daugiau nei 70 % garvežio detalių buvo pakeistos arba modifikuotos. Šių pakeitimų dėka, maksimalus modernizuoto garvežio greitis išaugo nuo 70 km/h iki 100 km/h, be to, variklio galia padidinta nuo 1200 kW iki 2250 kW. Garvežys varomas lengvaisiais naftos produktais, sumontuoti ritininiai guoliai, centrinė tepimo sistema, padidinta termoizoliacija. Lengvųjų naftos produktų degimo produktų kiekis garo variklio išmetamosiose dujose yra labai mažas. Šis variklis išmeta apie 80 % mažiau nuodingų išmetamųjų dujų (1 kW) nei dyzelinis variklis (Milner 1999). Šis modernus garvežys dėl variklio modifikacijų negavo Vokietijos inspektorių leidimo jį eksploatuoti (nors Šveicarijoje variklio pakeitimai buvo leisti), tad tik 2004 m. atlikus keletą neįdomių modifikacijų, garvežys buvo išleistas į eksploataciją Norvegijoje, kur vežiojami ekskursantai. Šiuo metu šiuolaikinis garvežys išnuomojamas DLM (Šveicarija) įmonės, galimos kelionės Šveicarijoje.

Būtent šio 52 80555 garvežio charakteristikos yra lyginamos su LG eksploatuojamų šilumvežių rodikliais.

Variklių naudingumo koeficientas

Šiuolaikinių dyzelinių variklių terminis naudingumo koeficientas siekia daugiau nei 40 % (Higgins 2011, Bennet 2014). O tai reiškia, jog garo variklis, kuris naudojamas šiuolaikiniuose garvežiuose, šiuo atžvilgiu yra gerokai prastesnis – šiuolaikinio garvežio (pvz.: 52 8055) garo variklio terminis naudingumo koeficientas siekia tik 14 %. Tai reiškia, jog dyzelinis variklis pranašesnis prieš garo variklį apie 3 kartus. Šiuo atžvilgiu AB „Lietuvos geležinkeliai“ (toliau – LG) eksploatuojamų šilumvežių varikliai yra daugiau 3,5 karto ekonomiškesni, t. y. esant toms pačioms eksploatacinėms sąlygoms garvežiui 52 8055 reiktų sudeginti net 3 kartus daugiau degalų tam pačiam darbui atlikti.

Degalų / kuro sąnaudos

Energijos sąnaudų palyginimui imami LG eksploatuojami šie prekiniai ir keleiviniai šilumvežiai: 2M62K, 2M62M, SIEMENS ER20CF ir TEP70 bei TEP70BS.

Nors garvežys 52 8055 yra eksploatuojamas deginant dyzeliną, atliekant nedidelius katilo pakeitimus būtų galima deginti kitos rūšies kurą / degalus, todėl skaičiavimams imama kelios skirtingos degalų/kuro rūšys: anglis, malkos, mazutas, koksas ir dyzelinas.

AB „Lietuvos geležinkeliai“ (toliau AB „LG“) perka dyzeliną už 3470 Lt/t. Akmens anglį siūloma pirkti iš Kuzbaso (Rusija) anglies baseino už 350 Lt/t kainą. Malkos siūlomos pirkti iš Lietuvos miško Biržos už vidutinę 170 Lt/t kainą, koksą siūloma pirkti iš Donecko (Ukraina) akmens anglies kasyklos (1 kg anglies kaloringumas ~25 MJ), o mazutą – iš AB „Orlen Lietuva“ už 1820 Lt/t. Skaičiavimui pateiktos 2014 m. sausio mėn. kainos. Kuro / degalų kaloringumas ir didmeninės kainos pateiktos 1 lentelėje.

1 lentelė. Kuro / degalų kaloringumo ir kainų palyginimas

Kuro / degalų rūšis	Kaina, Lt/t (t = 20 °C)	Tona naftos ekvivalentu, tne (1 tne = 41,868 GJ)	Tonos naftos ekvivalentu kaina, Lt/tne
Dyzelinas	3470	1,022	3395,30
Mazutas	1820	0,955	1905,76
Koksas	300	0,700	428,57
Malkos	170	0,196	867,35
Akmens anglis	350	0,600	583,33

Nors garvežys 52 8055 yra eksploatuojamas deginant dyzeliną, atliekant nedidelius katilo pakeitimus būtų galima deginti kitos rūšies kurą / degalus, todėl skaičiavimams imama kelios skirtingos degalų/kuro rūšys: anglis, malkos, mazutas, koksas ir dyzelinas.

2 lentelėje pateikti nagrinėjamų geležinkelio traukos riedmenų degalų/kuro rūšys ir variklio galia.

2 lentelė. Traukos riedmenų naudojama degalų / kuro rūšis ir variklio galia

Traukos riedmens serija	Kuro / degalų rūšis	Variklio / garo katilo galia P, kW
2M62M		3 400 (2×1700)
2M62K	Dyzelinas	2 940 (2×1 470)
TEP70		2 942
TEP70BS		2 942
ER20CF		2 000
52 8055	Akmens anglis	2200
	Malkos	
	Koksas	
	Mazutas	
	Dyzelinas	

Atsižvelgiant į 2 lentelės duomenis palyginamos kai kurių prekinų bei keleivinių šilumvežių ir garvežio 52 8055 energijos sąnaudos ir variklio pagaminamos 1 kWh kainos. Palyginimui naudojamas garvežys 52 8055, kurio garo variklio galia siekia 2200 kW. Šiam garvežiui vei-

kiant be apkrovos, tuščiaja eiga (N_0), reikia 150 kg/h dyzelino, o esant 50 % ($N_{0,5}$) apkrovai – 560 kg/h. Atsižvelgiant į kuro / degalų kaloringumą bei jo suvartojimą per 1h, apskaičiuojama kiek reikia kitų rūšių kuro tam pačiam garvežio varikliui veikti.

Iš visų pateiktų kuro / degalų rūšių, brangiausiai kainuoja dyzelinas – 3395,30 Lt/tne (tona naftos ekvivalentu), o tai yra 5,8 karto mažiau nei labiausiai paplitęs senų garvežių kuras – akmens anglis, kurio kaina 583,33 Lt/tne. Pigiausias kuras yra koksas, kurio kaina 428,57 Lt/tne, o tai sudaro 7,9 karto mažesnę kainą lyginant su dyzelinu.

Kadangi garvežys 52 8055 gali būti varomas praktiškai bet kokių kuro / degalais (atliekant nedideles krosnies modifikacijas), atliekami skaičiavimai naudojant mazutą, koksą, malkas ir akmens anglį. Lyginamųjų / degalų sąnaudų skaičiavimų rezultatai pateikti 3 lentelėje.

3 lentelė. Traukos riedmens lyginamoji kuro / degalų kaina

Traukos riedmens serija	Kuro / degalų rūšis	Vidutinė valandinė 1 kWh kaina B_{vid} , Lt · 10 ⁻³ /kWh	
		Variklio apkrova tuščioji eiga	50 %
2M62M	Dyzelinas	13,2	80,3
2M62K		10,0	92,9
TEP70		18,8	312,8
TEP70BS		18,8	312,8
ER20CF		10,36	113,74
		Akmens anglis	39,77
52 8055	Malkos	59,14	224,72
	Koksas	29,22	111,04
	Mazutas	129,94	493,77
	Dyzelinas	236,84	899,97

Iš 3 lentelės matoma, jog tiek traukos garvežiui veikiant be apkrovos (N_0), tiek ir su 50 % ($N_{0,5}$) apkrova, brangiausiai 1 kWh energijos pagaminama deginant dyzeliną – atitinkamai 236,84 Lt 10⁻³/kWh ir 899,97 Lt 10⁻³/kWh, o tai yra net iki 12,6 karto daugiau nei brangiausiai 1 kWh energijos pagaminantys TEP70 ir TEP70BS šilumvežiai. Pigiausiai garvežys 52 8055 1 kWh energijos pagamintų deginant koksą – atitinkamai 29,22 Lt 10⁻³/kWh ir 111,04 Lt 10⁻³/kWh, o tai sudaro 1,55 karto brangiau traukos riedmeniui veikiant be apkrovos ir 2,82 karto pigiau veikiant su 50 % apkrova lyginant su keleiviniiais šilumvežiais TEP70 ir TEP70BS, kurių 1 kWh iš šilumvežių yra pati brangiausia.

Išmetamųjų dujų kenksmingumas

Degant degalams/kurui išsiskiria pelenai, anglies, sieros, azoto ir kiti junginiai. Variklių lyginamosios taršos palyginimui su garvežio 52 8055, naudosime LG eksploatuojamus prekinius ir keleivinius šilumvežius: 2M62K, 2M62M, SIEMENS ER20CF ir TEP70 bei TEP70BS. Kadangi garvežio 52 8055 išmetamųjų dujų emisijos tyrimai nebuvo atlikti, atliekamas teorinis išmetamųjų dujų emisijos skaičiavimas pagal kuro rūšies sudėtį. Apskaičiuojama šių teršalų emisija, kai variklis dirba

esant 50 % apkrovai: anglies viendeginis, sieros dvideginis, azoto oksidai kietosios dalelės. Emisijos skaičiavimuose atsižvelgiama į naudojamo kuro ir degalų sudėtį. CO dujų emisija, priklausomai nuo variklio / krosnies apkrovos pateikta 4 lentelėje.

4 lentelė. CO dujų emisija esant skirtingoms variklio apkrovoms

Traukos riedmens serija	Kuro / degalų rūšis	CO dujų emisija, kg/t	
		Variklio apkrova tuščioji eiga	50 %
2M62M	Dyzelinas	3,57	21,28
2M62K		4,10	23,10
TEP70		2,00	9,00
TEP70BS		1,95	9,90
ER20CF		1,65	6,20
		Akmens anglis	3,71
52 8055	Malkos	1,21	15,72
	Koksas	4,33	56,13
	Mazutas	16,20	94,70
	Dyzelinas	15,60	92,30

Iš 4 lentelėje pateiktų duomenų matome, jog varikliui veikiant be apkrovos daugiausia anglies viendeginio dujų išmeta garvežys kūrenamas koku – 3,71 kg/t, tačiau labai panašiai CO išmetamųjų dujų išmeta ir šilumvežis 2M62K, degimui naudojantis dyzelinį kurą – 3,57 kg/t, o tai yra 3,92 % mažiau nei garvežio išmetamųjų CO dujų emisija. Tuo tarpu mažiausiai anglies viendeginio išmeta garvežys 52 8055, jei degimui naudojamos malkos – CO išmetamųjų dujų kiekis siekia vos 1,21 kg/t.

Varikliui veikiant 50 % apkrovos režimu, daugiausia anglies viendeginio taip pat išmeta garvežys 52 8055 kūrenamas koku – 56,13 kg/t, o tai yra 2,43 karto daugiau nei daugiausia CO išmetamųjų dujų išmetantis šilumvežis 2M62K (CO išmetamųjų dujų emisija siekia 23,1 kg/t). Lyginant garvežį kūrenamą koku ir šilumvežį Siemens ER20CF, išmetantį mažiausiai anglies viendeginio (6,2 kg/t), šis skirtumas dar didesnis ir sudaro 9,1 karto. Mažiausiai anglies viendeginio išmeta garvežys naudojantis mazutą arba dyzeliną, tai atitinkamai sudaro 0,76 kg/t ir 0,82 kg/t teršalų.

Tiek varikliui veikiant be apkrovos, tiek ir su apkrova, daugiausiai CO dujų išmeta garvežys 52 8055 kūrenamas koku. Taip yra dėl to, jog kokso anglingumas yra didžiausiais, palyginus su kitomis kieto kuro rūšimis. Mažiausiai CO išmeta Siemens ER20CF – 6,20 kg/t.

Vidaus degimo variklių ir krosnių išmetamosiose dujose sieros dioksido kiekis tonomis tiesiogiai proporcingas sieros, esančios kure/degaluose, kiekiui bei naudojamos filtravimo sistemos, kurią sudaro gesintos kalkės, natrio bikarbonato druska ir keramikinio filtro (UltraCat Catalytic Filters Remove... 2013). Priimama, jog filtravimo sistemos yra nenaudojamos. Apskaičiuota SO₂ emisija pateikta 5 lentelėje.

Kadangi sieros dioksido kiekis yra tiesiogiai proporcingas sieros kiekiui kure/degaluose, nėra svarbu variklio apkrova – visuomet SO₂ kiekis atitiks sudegusių ku-

ro/degalų kiekiui. Mažiausias kiekis SO₂ išmetamosiose dujose yra deginant malkas (1,8·10⁻⁸ kg/t), didžiausias (3,1·10⁻⁷ kg/t) – garvežiui deginant koksą, kurio sieringumas 1,7 %. Palyginus šilumvežių SO₂ išmetamųjų dujų kiekį su garvežiu, deginantį įvairias kuro rūšis, galime pastebėti, jog šilumvežių SO₂ emisija yra mažesnė už garvežio nuo 4,5 karto (deginant malkas) iki 76,5 karto (deginant koksą).

5 lentelė. SO₂ dujų emisija pagal kuro / degalų rūšį dujų emisija esant skirtingoms variklio apkrovoms

Geležinkelių riedmenų serija	Kuro / degalų rūšis	SO ₂ dujų emisija, kg/t
2M62K		
TEP70	Dyzelinas	0,04
TEP70BS		
ER20CF		
	Akmens anglis	1,44
	Malkos	0,18
52 8055	Koksas	3,06
	Mazutas	0,98
	Dyzelinas	0,392

Azoto oksidai susidaro esant aukštai degimo temperatūrai. Iš pradžių susidaro azoto monoksidas NO, o esant pakankamai deguonies, jis virsta NO₂. NO_x yra bekvapės ir bespalvės dujos, degimo šalutinis produktas. Esant 2300 °C azotas susijungia su oksidatoriumi, t. y. azotas tokiu atveju laisvai jungiasi su deguonies atomais ir sudaro NO_x dujas (NO_x yra vienas atomas azoto ir nežinomas skaičius deguonies atomų). NO_x dujų emisija pateikta 6 lentelėje.

6 lentelė. NO_x dujų emisija skirtingiems degalams / kurui ir skirtingai variklio apkrovai

Geležinkelio riedmenų serija	Kuro / degalų rūšis	NO _x dujų emisija, kg/t	
		Variklio apkrova tuščioji eiga	50 %
2M62M		36,58	99,11
2M62K		36,30	95,50
TEP70	Dyzelinas	13,00	33,00
TEP70BS		12,70	32,00
ER20CF		8,20	20,10
	Akmens anglis	2,16	14,14
	Malkos	0,71	4,63
52 8055	Koksas	2,52	16,60
	Mazutas	0,42	2,75
	Dyzelinas	0,45	2,95

Daugiausia NO_x teršalų išmeta prekiniai šilumvežiai 2M62M ir 2M62K – atitinkamai 36,58 kg/t ir 36,3 kg/t, mažiausiai garvežys, deginantis bet kokį kurą – nuo 0,41 kg/t iki 2,54 kg/t. Varikliui veikiant su 50 % apkrova, daugiausia NO_x teršalų išmeta tie patys prekiniai šilumvežiai 2M62M ir 2M62K – atitinkamai 99,11 kg/t ir 95,5 kg/t, mažiausiai garvežys, deginantis bet kokį kurą – nuo 2,75 kg/t iki 16,6 kg/t. Tai 36 kartus NO_x mažiau nei šilumvežių 2M62M ir 2M62K dyzelių išmetamųjų dujose.

Degdamas kuras / degalai išmeta ir kietąsias daleles, kurių kiekis tiesiogiai priklauso nuo kuro / degalų peleningumo ir variklio apkrovos. Priimama, jog mūsų nagrinėjamuose šilumvežiuose ir garvežiuose nėra įrengtų kietųjų dalelių gaudytuvų, todėl pelenai yra nesulaikomi. 7 lentelėje pateikta deginių kietųjų dalelių emisija.

7 lentelė. Kietųjų dalelių emisija deginant skirtingą kuro / degalų rūšį esant skirtingoms variklio apkrovoms

Geležinkelių riedmenų serija	Kuro / degalų rūšis	Kietųjų dalelių emisija, kg/t	
		Variklio apkrova tuščioji eiga	50 %
2M62M		0,25	0,62
2M62K		0,26	0,66
TEP70	Dyzelinas	1,60	3,00
TEP70BS		1,50	3,10
ER20CF		0,40	2,03
	Akmens anglis	15,01	68,80
	Malkos	1,90	8,70
52 8055	Koksas	9,50	43,35
	Mazutas	3,00	26,05
	Dyzelinas	1,00	8,69

Garvežys šiuo atžvilgiu yra teršiantis iki 111 kartų daugiau nei LG šilumvežiai 2M62M, 2M62K, Siemes ER20CF ir TEP70 bei TEP70BS.

Išvados

1. Šiuolaikinio garvežio 52 8055 krosnies terminis naudingumo koeficientas yra vos 14 %, kai tuo tarpu AB „Lietuvos geležinkeliai“ eksploatuojamų šilumvežių vidaus degimo variklių naudingumo koeficientas siekia iki 40 %, t. y. vidaus degimo variklis pranašesnis iki 3,57 kartų;

2. Šiuolaikinio garvežio 52 8055 lyginamosios dyzelino sąnaudos yra iki 23,7 karto didesnės nei nagrinjamų šilumvežių dyzelino sąnaudos.

3. Garvežys 52 8055, degindamas dyzeliną išmeta iki 14,9 karto daugiau CO dujų nei tirti šilumvežiai. Garvežio CO emisija būtų mažiausia deginant malkas ir būtų iki 1,47 karto mažesnė nei 2M62M ir 2M62K serijos šilumvežių.

4. Garvežio 52 8055 deginiuose SO₂ kiekis nuo 4,5 karto iki 76,5 karto didesnis nei nagrinjamų LG šilumvežių.

5. Garvežio išmetamų NO_x dujų kiekis yra iki 87 kartų mažesnis nei šilumvežių 2M62M, 2M62K, Siemens ER20CF ir TEP70 bei TEP70BS. Tai lemia, jog kuro degimo temperatūra krosnyje yra mažesnė nei vidaus degimo variklio kameroje.

6. Garvežys 52 8055 kietųjų dalelių išmeta iki 111 kartų daugiau nei AB „Lietuvos geležinkeliai“ šilumvežiai, kadangi kietas kuras yra peleningesnis už skystuosius naftos produktus.

7. Garvežys 52 8055 planiniame remonte per 1 metus praleidžia 20,4 dienomis trumpiau nei šilumvežiai. Tai reiškia, jog garvežys per 1 metus gali dirbti 489,6 val. ilgiau nei šilumvežiai.

Literatūra

Byer, A. 2009. No smoke, no fire, *Trains* 69(1).

Engineering & Technology (17509637). 2012, Vol. 7 Issue 5, 20.

Featherly, K.; Legal Ledger (MN), St. P. 2012. University of Minnesota: The first of the good old-fashioned steam-powered trains.

Higgings, S. 2011. Rudolf Diesel Powered Up A More Efficient Machine. *Investors Business Daily*. 104.

New Steam From Switzerland [interaktyvus]. [žiūrėta 2014 m. sausio 19 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.trainweb.org/tusp/slm.html>>.

Presentation of DLM's Fireless Locomotives at Schaffhausen [interaktyvus]. [žiūrėta 2014-01-19]. Prieiga per internetą: <<http://www.dlm-ag.ch/en/news/175-vorfuehrungen-der-dlm-speicherlokomotiven-in-schaffhausen>>.

Bennett, S. 2014. *Modern diesel technology*. Second Edition. 379.

UltraCat Catalytic Filters Remove PM, SO₂, HCl, NO_x, Dioxins, HAPs [interaktyvus]. [žiūrėta 2015-03-15]. Prieiga per internetą: <<http://www.tri-mer.com/pdf-files/hot-gas-filtration.pdf>>.