



16-osios jaunųjų mokslininkų konferencijos „Mokslas – Lietuvos ateitis“ teminės konferencijos
TRANSPORTO INŽINERIJA IR VADYBA,
vykusios 2013 m. gegužės 8 d. Vilniuje, straipsnių rinkinys

Proceedings of the 16th Conference for Junior Researchers 'Science – Future of Lithuania'
TRANSPORT ENGINEERING AND MANAGEMENT, 8 May 2013, Vilnius, Lithuania

Сборник статей 16-й конференции молодых ученых «Наука – будущее Литвы»
ИНЖЕНЕРИЯ ТРАНСПОРТА И ОРГАНИЗАЦИЯ ПЕРЕВОЗОК, 8 мая 2013 г., Вильнюс, Литва

ELEKTROMOBILIŲ NAUDOJIMO LIETUVOJE PERSPEKTYVŲ TYRIMAS

Justinas Šeškus¹, Valdas Valiūnas², Loreta Levulytė³

^{1, 2, 3}*Vilniaus Gedimino technikos universitetas*

El. paštas: ¹seskus.j@gmail.com, ²valdas.valiunas@vgtu.lt, ³l.levulyte@gmail.com

Santrauka. Šiame straipsnyje nagrinėjami kriterijai, įtakojantys elektromobilių naudojimo Lietuvoje perspektyvas. Panaudojant anketinę apklausą ir ekspertinį vertinimo metodą iširta, kokie kriterijai svarbiausi įsigyjant elektromobilį. Nustatytos tinkamiausios priemonės kompensuoti aukštą elektromobilių kainą. Išanalizuoti veiksmai, kurių imtųsi vairuotojai, siekdami prailginti nuvažiuojamą atstumą. Nustatytos tinkamiausios vietos įkrauti elektromobilių baterijas. Iširta svarbiausia elektromobiliams reikalinga infrastruktūra bei nustatytos svarbiausios ekologinės elektromobilių savybės gyventojams. Straipsnio pabaigoje pateikiamos išvados spartesnei elektromobilių plėtrai Lietuvoje.

Raktiniai žodžiai: baterijos, ekologija, elektromobiliai, infrastruktūra, įkrovimas, tarša.

Įvadas

Kelių transportas yra vienas pagrindinių aplinkos taršos šaltinių Lietuvoje. Dėl jo į aplinką išmetama apie 200 cheminių junginių, o tai būtų 80 % visų į aplinką išmetamų teršalų. Daugumas jų pavojingi žmogaus sveikatai, dalis jų kancerogeniniai – sukeliantys vėžį. Aplinka taip pat teršiama panaudotomis automobilių eksploatacinėmis medžiagomis. Be jau paminėtos daromos žalos žmonėms ir aplinkai, yra keliami ir šiluminė, triukšminė tarša. Norint pagerinti kelių transporto priemonių saugumą, sumažinti kenksmingą poveikį aplinkai ir išlaidas degalams, reikalingas kelių transporto priemonių parko Lietuvoje modernizavimas. Vienas efektyviausių būdų tai padaryti: pereiti prie elektra varomų automobilių – elektromobilių.

1. Mokslo publikacijų apžvalga

Adomavičius straipsnyje (2011) pateikia elektromobilių ir tradicinių automobilių parametrų bei charakteristikų palyginimą. Tyrimu nustatyta, kad pakeitus Lietuvoje 1 mln. tradicinių automobilių elektromobiliais, be milžiniško aplinkosauginio efekto, šalies mastu vai-

ruotojai sutaupytų apie 3–4 mlrd. litų, nes nuvažiuoti 100 km elektromobiliu mūsų sąlygomis vidutiniškai yra apie 5–7 kartus pigiau negu benzinu varomu automobiliu.

Straipsnyje (Berjoza *et al.* 2012) teigia, kad pigiausias elektrinių transporto priemonių įkrovimo būdas yra namų garaže iš įprastinio elektros tinklo, kadangi tam nereikalingos investicijos. Pakrovimas iš greito pakrovimo stotelių ateityje taps mokamas (nemokamas jis tik kol skatinama plėtra), ir klientas mokės pinigus ne tik už sunaudojamą elektros energiją, tačiau ir už stotelių infrastruktūros sukūrimą, jos priežiūrą, bei tam tikrą maržą.

Straipsnyje (Putnieks *et al.* 2012) analizuojama elektromobilių įkrovimo stotelių infrastruktūra ir jos plėtra Latvijoje. Straipsnyje teigiama, kad įkrovimo stotelės turėtų atsirasti šalia prekybos centrų, valstybinių įmonių, daugiaaukščių namų rajonuose, šalia miestų centrų, maitinimo įstaigų ir greitkeliuose.

Tyrimė (Giffi *et al.* 2011) buvo analizuojami 13 000 gyventojų iš 17 pasaulio šalių Šiaurės ir Pietų Amerikoje, Europoje ir Azijoje lūkesčiai dėl elektromobilių, jie palyginti su šiuo metu esančiais pasiekimais šioje srityje. Tyrimas atskleidė, kad pagal prioritetus svarbiausia žmonėms nuvažiuojamas atstumas, antroje vietoje – įkrovimo laikas, trečioje – įsigijimo kaina.

„Deutsche Bank“ atliktame tyrime (2011) analizuojama, kokios priemonės ir aplinkybės būtinos tolimesnei elektromobilių plėtrai. Tyrime smulkiai išnagrinėti su elektromobiliais siejami lūkesčiai, plėtrai išskylantys iššūkiai. Teigiama, kad kainų mažinimas yra svarbiausias kriterijus tolimesnei elektrinių transporto priemonių plėtrai. Tokie trūkumai kaip trumpas nuvažiuojamas atstumas, pakrovimo infrastruktūros nebuvimas ir poreikis naujiems elektros energijos šaltiniams nėra tokie svarbūs kaip kaina.

Straipsnyje (Teichmann *et al.* 2012) tiriamos elektromobilių plėtros perspektyvos ateityje, numatomi teigiamas ir neigiamas plėtros scenarijai, sudaryta elektromobilių SSGG (stiprybių silpnybių galimybių grėsmių) analizė, pateikti pasiūlymai elektromobilių standartizacijai.

„The Royal Academy of Engineering“ straipsnyje (2010) rašoma apie elektromobilių privalumus ir trūkumus, jų plėtros perspektyvas. Čia teigiama, kad plėtojant elektromobilių rinką gali būti pasiektas tikslas iki 2050 m. sumažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį 80 proc. Straipsnyje sakoma, kad elektromobiliai nėra skirti tiesiogiai pakeisti įprastiniais degalais varomus automobilius. Jų paplitimas turi pakeisti požiūrį į automobilių naudojimąsi, įgyvendindamas bendro naudojimo transporto priemonių koncepciją. Tai galėtų būti trumpalaikė transporto priemonių nuoma, baterijų nuoma ar kita.

Straipsnyje (Besselink *et al.* 2010) palygintos serijinio VW Lupo 3L 1.2 TDI energijos sąnaudos, nuvažiuojamo kilometro kaina ir CO₂ emisijos su iš šio automobilio bazės pagaminto elektromobilio savybėmis. Gauta išvada, kad nors paskutinį dešimtmetį ir buvo pasiekta didelė pažanga elektromobilių srityje, jų plėtrai tebetrukdo sunkios baterijos, turinčios labai ribotą talpą bei ilgą jų pakrovimo laiką.

2. Svarbiausių apklausos kriterijų įvertinimo metodika

Tyrime naudojamas ekspertinių vertinimų metodas. Norėdami įvertinti kiekvieno kriterijaus svarbą žmonėms, turime apsibrėžti, kaip apskaičiuosime kriterijų svorius. Sviurių skaičiavimo pagrindą sudaro respondentų (ekspertų) vertinimai. Jį nustato konkordancijos koeficientas, skaičiuojamas lyginamų objektų rangavimo pagrindu. Respondentų pagalba nustatyti kriterijai vertinami rangais. Mažiau svarbūs kriterijai vertinami rangais didėjančia tvarka. Apklausti 25 respondentai. Visi jie baigė transporto inžinerijos specialybės studijas.

Efektivitymo kriterijus nustatomas pagal formulę:

$$\bar{t}_j = \left(\sum_{k=1}^r t_{jk} \right) : r, \quad (1)$$

čia: t_{jk} – j -jo kriterijaus įvertinimas; r – respondentų skaičius.

Apklauso patikimumas charakterizuojamas:

$$\beta_j = \sigma : \bar{t}_j, \quad (2)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{r-1} \sum_{k=1}^r (t_k - \bar{t})^2, \quad (3)$$

čia: σ^2 – dispersijos įvertinimas.

Respondentų vertinimo patikimumas išreiškiamas respondentų nuomonių konkordancijos koeficientu, apibūdinančiu individualių nuomonių sutapimo laipsnį:

$$W = \frac{12S}{r^2(n^3 - n) - r \sum_{k=1}^r T_k}, \quad (4)$$

$$S = \sum_{j=1}^n \left[\sum_{k=1}^r t_{jk} - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r t_{jk} \right]^2, \quad (5)$$

$$T_k = \sum_{l=1}^{H_l} (h_l^3 - h_l), \quad (6)$$

čia: S – kiekvieno rodiklio įvertinimo rezultatų nuokrypio kvadratų suma; T_k – k išsidėstyme susijusių rangų rodiklis; H_l – lygių rangų grupių skaičius k išsidėstyme; h_l – lygių rangų skaičius, l susijusių rangų grupėje, skaičius vertinant k ekspertui; r – ekspertų skaičius; n – vertinamų rodiklių skaičius.

Neesant susijusių rangų, konkordancijos koeficientas išreiškiamas:

$$W = \frac{12S}{r^2(n^3 - n)}. \quad (7)$$

Tačiau žinome, kad konkordancijos koeficiento dydis yra atsitiktinis, todėl ekspertų nuomonių suderinamumui įvertinti tikslinga apskaičiuoti konkordancijos koeficiento reikšmingumą χ .

Konkordancijos koeficiento reikšmingumas nustatomas pagal formulę:

$$\chi^2 = \frac{12S}{r \times n \times (n+1) - \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^r T_k}. \quad (8)$$

Apskaičiuota χ^2 reikšmė turi būti didesnė negu pateikta lentelėje χ^2_{lent} , kuri nustatoma atsižvelgiant į laisvės laipsnių skaičių ir pasirinkimo reikšmingumo lygį, kuris parodo ekspertų nuomonių nesutapimo atvejo tikimybę.

Laisvės laipsnių skaičius apskaičiuojamas pagal formulę:

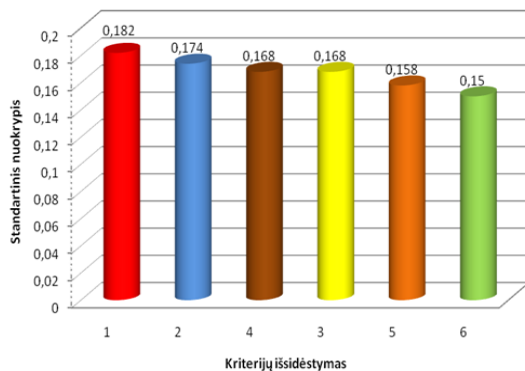
$$v = n - 1, \quad (9)$$

čia: v – laisvės laipsnių skaičius; n – vertinamų rodiklių skaičius.

Pagal kiekvieną anketą nustatomi kriterijų rangai.

3. Tyrimo rezultatų įvertinimas

(1) Nustatome svarbiausius kriterijus, įtakančius elektromobilio įsigijimą. Standartinis nuokrypis yra aukštesnis tuomet, kai kriterijaus svarba apklausos dalyviams didesnė. Atlikus respondentų apklausą, pagal anksčiau minėtas formules, gaunamas toks rezultatų grafikas:



1 pav. Kriterijų, įtakančių elektromobilio įsigijimą, išsidėstymas pagal reikšmingumą

Iš 1 pav. matyti, kad pagal reikšmingumą įsigyjant elektromobilį, kriterijai išsidėstę taip:

- 1) elektromobilio kaina;
- 2) nuvažiuojamas atstumas tarp įkrovimų;
- 3) važiavimo kaina;
- 4) įkrovimo trukmė;
- 5) infrastruktūros išplėtojimas;
- 6) ekologija.

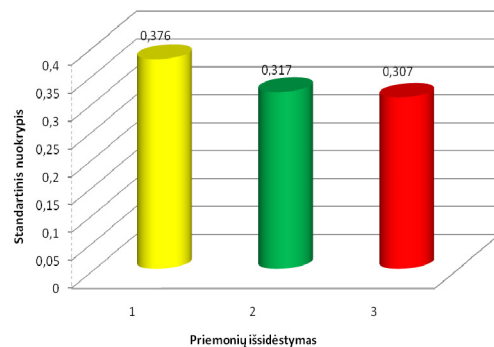
Pirmąją vietą pagal svarbą įsigyjant elektromobilį užima jo kaina.

Esant apskaičiuotam laisvės laipsnių skaičiui lygiam 5 ir pasirinkus 1 proc. reikšmingumo lygį, lentelinė reikšmė $\chi^2_{lent} = 15,09$. Apskaičiuotoji reikšmė $\chi^2 = 50,029$. Lentelinė reikšmė mažesnė už apskaičiuotąją, todėl hipotezė, kad ekspertai sutinka (ekspertų nuomonės sutinka), priimama.

(2) Elektromobilių kaina lenkia įprastinių automobilių kainą du kartus. Išnagrinėsime, kokias priemones respondentai laiko tinkamiausiomis kompensuoti aukštą

elektromobilių kainą. 2 pav. matome, kad pagal reikšmingumą priemonės išsidėstytų taip:

- 1) elektromobilio kaina aukštesnė už įprastinio automobilio 2 kartus, tačiau dėl valstybės mokamų subsidijų ji aukštesnė 1,5 karto (dalį pirkimo išlaidų apmoka valstybė);
- 2) elektromobilio kaina aukštesnė už įprastinio automobilio 2 kartus, tačiau suteikiamas visą eksploatacijos laiką trunkantis nemokamas įkrovimas;
- 3) elektromobilio kaina aukštesnė už įprastinio automobilio 2 kartus, tačiau suteikiamas visą eksploataavimo laiką trunkantis nemokamas parkavimas mieste, nemokama registracija, nemokamai atliekama valstybinė techninė apžiūra (TA).



2 pav. Tinkamiausių priemonių kompensuoti aukštą elektromobilio kainą išsidėstymas pagal reikšmingumą

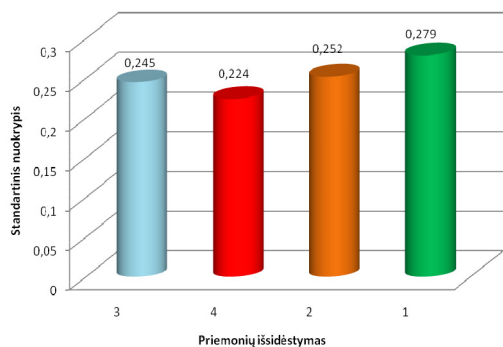
Respondentai pirmenybę teiktų valstybės mokamoms subsidijoms įsigyjantiems elektromobilį.

Apskaičiuotasis laisvės laipsnių skaičius lygus 2, o pasirinkus 1 proc. reikšmingumo lygį, lentelinė reikšmė $\chi^2_{lent} = 9,21$. Apskaičiuotoji reikšmė $\chi^2 = 10,32$. Lentelinė reikšmė mažesnė už apskaičiuotąją, todėl hipotezė, kad ekspertai sutinka (ekspertų nuomonės sutinka), priimama.

(3) Elektromobiliu nuvažiuojamas atstumas tarp įkrovimų sąlyginai mažas. Paanalizuosime, kokių priemonių pirmiausia imtųsi respondentai (arba ko jie atsiskyty), siekdami padidinti nuvažiuojamą atstumą tarp įkrovimų. 3 pav. matome, kad priemonės, kurių imtųsi respondentai, išsidėstę taip:

- 1) nuvažiuojamam atstumui padidinti pasirenkamas
- 2) taupus važiavimo stilius;
- 3) nuvažiuojamam atstumui padidinti pasirenkamos sąnaudas mažinančios padangos ar daugiau pripučiamos esančios;

- 4) nuvažiuojamam atstumui padidinti išjungiamas oro kondicionierius;
- 5) nuvažiuojamam atstumui padidinti išjungiamas radijas.



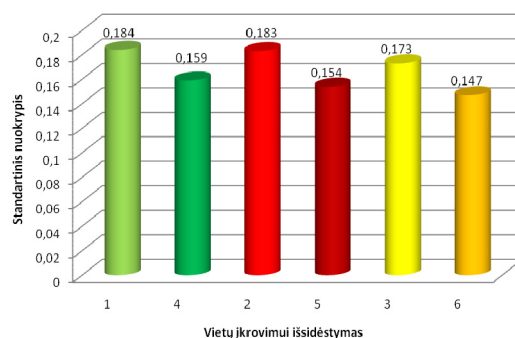
3 pav. Priemonių, prailginančių nuvažiuojamą atstumą tarp įkrovimų išsidėstymas pagal reikšmingumą

Respondentai, siekdami padidinti nuvažiuojamą atstumą, pirmenybę teiktų taupiam važiavimo stiliui.

Esant apskaičiuotam laisvės laipsnių skaičiui lygiam 3 ir pasirinkus 1 % reikšmingumo lygį, lentelinė reikšmė $\chi^2_{lent} = 11,34$. Apskaičiuotoji reikšmė $\chi^2 = 20,568$. Lentelinė reikšmė mažesnė už apskaičiuotąją, todėl hipotezė, kad ekspertai sutinka (ekspertų nuomonės sutinka), priimama.

(4) Išnagrinėsime, kur gyventojai būtų linkę įkrauti elektromobilio baterijas, atsižvelgiant į įkrovimo kainą ir ar keistųsi pasirinkimas esant įkrovimui mokamam – nemokamam. 4 pav. matome, kad pagal kainą įkrovimo vietos išsidėstytų taip:

- 1) nemokamas įkrovimas namų garaže;
- 2) nemokamas įkrovimas darbe, miesto ir prekybos centrų parkavimo aikštelėse;
- 3) nemokamas įkrovimas įkrovimo stotelėse mieste ir užmiestyje;
- 4) mokamas įkrovimas namų garaže;
- 5) mokamas įkrovimas darbe, miesto ir prekybos centrų parkavimo aikštelėse;
- 6) mokamas įkrovimas įkrovimo stotelėse mieste ir užmiestyje.

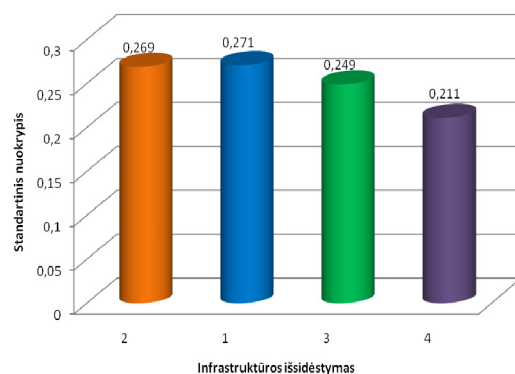


4 pav. Vietų įkrauti elektromobilio baterijai išsidėstymas pagal reikšmingumą

Pirmąją poziciją pasirenkant elektromobilio įkrovimo vietą užima nemokamas elektromobilio įkrovimas namų garaže. Esant mokamam įkrovimui, įkrovimas namų garaže taip pat būtų populiariausias. Tai rodo, kad įkrovimo vietų prioritetai nesiskiria esant joms mokamoms–nemokamoms.

Apskaičiuotasis laisvės laipsnių skaičius lygus 5, o pasirinkus 1 proc. reikšmingumo lygį, lentelinė reikšmė $\chi^2_{lent} = 15,09$. Apskaičiuotoji reikšmė $\chi^2 = 94,874$. Lentelinė reikšmė mažesnė už apskaičiuotąją, todėl hipotezė, kad ekspertai sutinka (ekspertų nuomonės sutinka), priimama.

(5) Viena svarbiausių sąlygų elektromobilių plėtrai – infrastruktūra. Paanalizuosime, kokios infrastruktūros buvimas atrodo svarbiausias respondentams. Gaunamas toks rezultatų grafikas:



5 pav. Infrastruktūros elektromobiliams išsidėstymas pagal reikšmingumą

5 pav. matome, kad svarbiausia infrastruktūra respondentams išsidėsčiusi:

- 1) galimybė įkrauti elektromobilį mieste;
- 2) galimybė įkrauti elektromobilį namų garaže;
- 3) galimybė įkrauti elektromobilį užmiestyje;

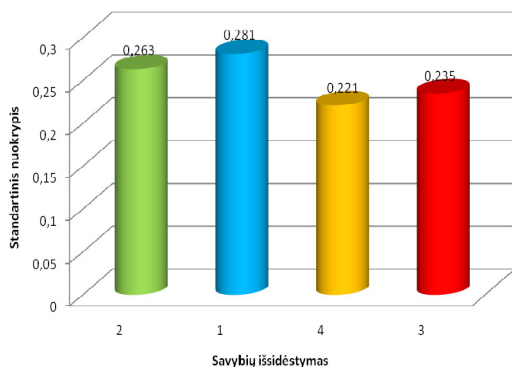
4) galimybė įkrauti elektromobilį užsienio šalyse.

Apklausos dalyviams svarbiausia, kad infrastruktūros išplėtojimas suteiktų galimybę įkrauti elektromobilį mieste.

Esant apskaičiuotam laisvės laipsnių skaičiui lygiam 3 ir pasirinkus 1 proc. reikšmingumo lygį, lentelinė reikšmė $\chi^2_{lent} = 11,34$. Apskaičiuotoji reikšmė $\chi^2 = 31,704$. Lentelinė reikšmė mažesnė už apskaičiuotąją, todėl hipotezė, kad ekspertai sutinka (ekspertų nuomonės sutinka), priimama.

(6) Vienas didžiausių elektromobilių turimų priva-lumų – ekologija. Išnagrinėsime, kokios ekologinės elektromobilių savybės svarbiausios apklausos dalyviams. 6 pav. matome, kad pagal reikšmingumą ekologinės savybės išsidėstę taip:

- 1) neišmeta į orą kancerogeninių dalelių;
- 2) neišmeta į orą kenksmingų dujų;
- 3) sumažinamas reikalingų utilizuoti panaudotų eksploatacinių medžiagų kiekis;
- 4) mažesnė nei automobilių triukšminė tarša.



6 pav. Ekologinių elektromobilių savybių išsidėstymas pagal reikšmingumą

Pirmoje vietoje tarp svarbiausių ekologinių elektromobilių savybių yra ta, kad jie neišmeta į aplinką kenksmingų kancerogeninių dalelių, sukeliančių vėžinius susirgimus.

Apskaičiuotasis laisvės laipsnių skaičius lygus 3, o pasirinkus 1 proc. reikšmingumo lygį, lentelinė reikšmė $\chi^2_{lent} = 11,34$. Apskaičiuotoji reikšmė $\chi^2 = 29,688$. Lentelinė reikšmė mažesnė už apskaičiuotąją, todėl hipotezė, kad ekspertai sutinka (ekspertų nuomonės sutinka), priimama.

Išvados

1) Svarbiausias kriterijus apklausos dalyviams, galvo-jant apie elektromobilio pirkimą, yra jo kaina. Šiuo metu, esant elektromobilių kainoms beveik dukart aukštesnėm nei įprastinių, tai yra vienas pagrindinių faktorių, stabdančių plėtrą.

2) Respondentų nuomone, tinkamiausia priemonė kompensuoti aukštą elektromobilių kainą – valstybės mokama kompensacija daliai elektromobilio pirkimo išlaidų. Ši priemonė taikoma daugelyje elektromobilių plėtrą skatinančių valstybių.

3) Renkantis vietą elektromobilio įkrovimui, didžiausiu privalumu respondentai laiko galimybę jį įkrauti savo namų garaže. Respondentų nuomone, svarbiausia yra turėti galimybę įkrauti elektromobilį mieste. Daugelis miesto gyventojų neturi nuosavų garažų, o įkrovimo sto-telių nebuvimas stabdo mintis apie elektromobilio įsigi-jimą.

4) Svarbiausia elektromobilių savybė ekologijos prasme respondentams yra tai, kad jie į orą neišmeta kenksmingų kancerogeninių dalelių, sukeliančių vėžinius susirgimus.

Literatūra

- Adomavičius, V. 2011. Elektromobiliai ir jų plėtros perspektyvos, *Lietuvos Taikomųjų mokslų akademijos mokslo darbai* 7: 104–119.
- Basselink, I.J.M.; Oorschot, P. F.; Meinder, E.; Nijmeijer, H. 2010. Design of an efficient, low weight battery electric vehicle based on a VW Lupo 3L, in *The 25th World Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium & Exhibition*, Shenzhen, China, 2010. Eindhoven: Eindhoven University of Technology Press: 1–10.
- Berjoza, D.; Jurgena, I.; Vartukapeinis, K. 2012. Research in electro and internal combustion engine motor vehicle energy costs, *Engineering for Rural Development* 24: 331–337.
- Electromobility. Falling costs are a must* [interaktyvus]. 2011. Deutsche Bank Research [žiūrėta 2013 sausio 28 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.dbresearch.com/PROD/DBR_INTERNET_EN_PROD/PROD000000000279687/Electromobility%3A+Falling+costs+are+a+must.pdf>.
- Electric Vehicles: charged with potential* [interaktyvus]. 2010. The Royal Academy of Engineering [žiūrėta 2013 sausio 30 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.raeng.org.uk/news/publications/list/reports/electric_vehicles.pdf>. ISSN 1-903496-56-X
- Giffi, C.; Vitale, J.; Drew, M.; Kuboshima, Y.; Sase, M. 2011. *Unplugged: Electric vehicle realities versus consumer expectations* [interaktyvus]. [Nr.] 1 [žiūrėta 2013 sausio 28 d.]. Prieiga per internetą: <http://www.deloitte.com/assets/UnitedStates/Local%20Assets/Documents/us_auto_DTTGlobalAutoSurvey_ElectricVehicles_100411.pdf>.

- Putnieks, U.; Gailis, M.; Kancievica, L. 2012. Analysis on electric vehicle charging infrastructure in Latvia, *Engineering for Rural Development* 24: 400–405.
- Teichmann, G. A.; Trutzschler, J.; Hahn, Ch.; Schafer, P. K.; Hermann, A.; Hohne, K. 2012. *Electromobility Standarts: Driving the Future* [interaktyvus]. [Nr.] 1 [žiūrēta 2013 gada 20 d.]. Prieiga per internetą: <www.elektromobilitaet.din.de/sixcms_upload/medi-a/3310/DIN_PWC_Studie_Normung_Executive_Summary_en.pdf>.