

ELEKTROMOBILIŲ INFRASTRUKTŪROS PLĖTROS ANALIZĖ IR VERTINIMAS

Karolis Ševelis^{1✉}, Vytautas Palevičius²

*Kelių katedra, Aplinkos inžinerijos fakultetas, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, Vilnius 10223, Lietuva*

E-paštas: ¹karolis.sevelis@stud.vgtu.lt; ²vytautas.palevicius@vgtu.lt

Santrauka. Straipsnyje aprašoma elektromobilių plėtros Lietuvoje analizė ir vertinimas. Buvo atlikta užsienio valstybėse taikomų skatinimo priemonių ir mokslinės literatūros apžvalga. Parinkti 9 didelės įtakos elektromobilių plėtrai turintys kriterijai. Pagal šiuos kriterijus sudaryta anketa ir atlikta 11-ties ekspertų apklausa. Remiantis apklausa sudaryta kriterijų rangavimo matrica ir, atlikus ekspertų nuomonių suderinamumo skaičiavimus, nustatytas kriterijų reikšmingumo koeficientas. SAW ir TOPSIS metodais atliktas daugiakriterinis Lietuvos, Latvijos ir Estijos palyginimas. Tyrimas parodė gaires tolimesnei elektromobilių plėtrai Lietuvoje.

Raktiniai žodžiai: ekspertų apklausa, elektromobilis, naudingumo laipsnis, reikšmingumo koeficientas, skatinimo priemonės, subsidijos, vertinimo kriterijai.

1. Įvadas

Vyriausybės visame pasaulyje stengiasi skatinti perėjimą iš nuo iškastinio kuro priklausomos į transporto sistemą paremtą elektros energijos naudojimu. Tačiau šiuo metu daugumoje pasaulio valstybių nėra tinkamai išplėtotą viešąją elektromobilių infrastruktūrą, o ir pati elektromobilių rinka dar labai silpna. Visiems planuojantiems įsigyti elektromobilį kyla daugybė klausimų dėl jų techninių ir eksploatacinių parametrų (Han et al. 2014), įkrovimo prieigų infrastruktūros mieste (Neubauer, Wood 2014; Dong et al. 2014; Wang et al. 2015; Chung, Kwon 2015), dėl kaštų ir naudos elektromobilių naudotojams (Salah et al. 2015), ekonominių ir socialinių veiksnių (Pasaoglu et al. 2014).

Paskutiniaisiais metais Europa išgyvena pradinį elektromobilių priėmimo etapą. Europos Sąjunga (toliau – ES), kaip darniosios plėtros lyderė ir siekianti užtikrinti kokybišką gyvenimo būdą dabartinėms ir ateities kartoms, stengiasi pakeisti nusistovėjusius transporto sistemos ypatumus. Įsisenėjusi transporto sistemos priklausomybė nuo iškastinio kuro apsunkina alternatyviu kuru varomų transporto priemonių įsitvirtinimą rinkoje. Egzistuoja daug ir įvairių būdų, kaip paskatinti naudojimąsi elektromobiliais, tačiau vienos auksinės taisyklės, kaip užtikrinti jų plėtrą, nėra.

Darbo tikslas. Elektromobilių infrastruktūros plėtros analizė ir vertinimas techniniais ir teisiniais aspektais.

Darbo uždaviniai.

1. Atlikti Lietuvos ir užsienio valstybių elektromobilių skatinimo priemonių ir mokslinės literatūros apžvalgą.
2. Nustatyti elektromobilių plėtros kriterijų sąrašą.
3. Atlikti statistinės analizės tyrimą, reikalingą surinkti duomenis ekspertiniam tyrimo metodui.
4. Atlikti elektromobilių naudojimo skatinimo kriterijų svarbos tyrimą subjektyvių svorių skaičiavimo metodu.
5. Atlikti elektromobilių naudojimo skatinimo Pabaltijo valstybėse daugiakriterinį palyginimą SAW ir TOPSIS metodais.

Darbo aktualumas. Europos komisijos dokumento - Baltosios knygos – vizijoje numatoma, kad Europos miestų aplinkoje turi būti palaipsniui atsisakoma iškastiniu kuru varomų transporto priemonių. Vieni pagrindinių Baltosios transporto knygos vizijos rodikliai ir strateginiai tikslai: iki 2030 m. įprastiniu kuru varomų automobilių naudojimą miestuose sumažinti dvigubai, o iki 2050 m. pasiekti, kad miestuose tokių automobilių nebeliktų; iki 2050 m. pasiekti, kad kelių transporto priemonių išmetamo anglies dioksido kiekis sumažėtų 60 proc.

Kitas transporto sektoriaus iššūkis – panaikinti transporto sistemos priklausomybę nuo naftos, nesumažinant sistemos efektyvumo ir nesudarant kliūčių judumui. Tai reiškia, kad sektorius turi naudoti kuo mažiau ir švaresnės energijos, mažinti neigiamą transporto poveikį aplinkai, didinti transporto priemonių efektyvumą – naudoti transporto planavimą, paramą viešajam transportui, skatinti elektra varomų automobilių dalies gamyboje didinimą.

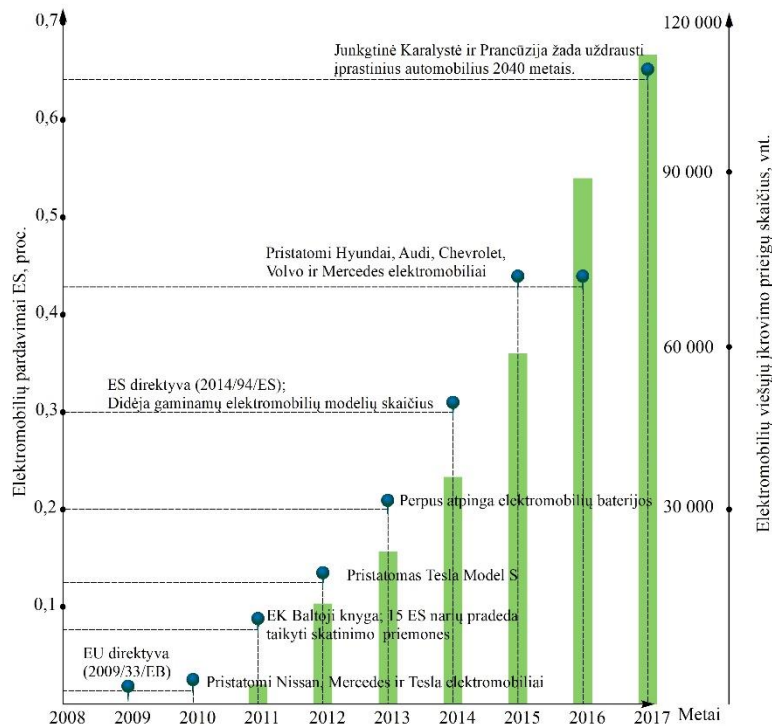
Darbo originalumas. Darbe sukurti ir įvertinami elektromobilių plėtros skatinimo Lietuvoje kriterijai. Naudojantis SAW ir TOPSIS metodais palyginama elektromobilių plėtra Pabaltijo valstybėse. Pagal pateiktus daugiakriterinio palyginimo metodus galima įvertinti elektromobilių plėtros prognozes.

2. Elektromobilių skatinimo praktika užsienyje

Išorinių ekonominių veiksnių sąvoka pirmą kartą paminėta Arthur'o Pigou knygoje „The economics of Welfare“ (Pigou, 1920). Nuo to laiko atsirado vartojama subsidijų sąvoka, kaip vyriausybės taikoma reguliavimo priemonė paveikianti rinkos veiklą, kuri sukelia neigiamą poveikį. Elektromobilių plėtros atžvilgiu, tokia politika gali būti vertinama kaip teigiamas išorinis veiksnys skatinantis elektromobilių pirkimą ir naudojimą, didinant jų konkurencingumą prieš vidaus degimo varikliais varomus automobilius. Parama gali būti piniginė, kaip pirkimo kainos kompensacija ar kompensacija už mažesnę gaunamą praktinę naudą. Taip pat, kaip kompensacija už patiriamą neužtikrintumą dėl ankstyvosios produkto vystymo

stadijos ir negarantuoto įsitvirtinimo rinkoje (Abernathy, 1978). Subsidijos vartotojams laikomos kaip būtinoji priemonė pirmosiose elektromobilių įsitvirtinimo masinėje rinkoje stadijose (Hidruė et al. 2011).

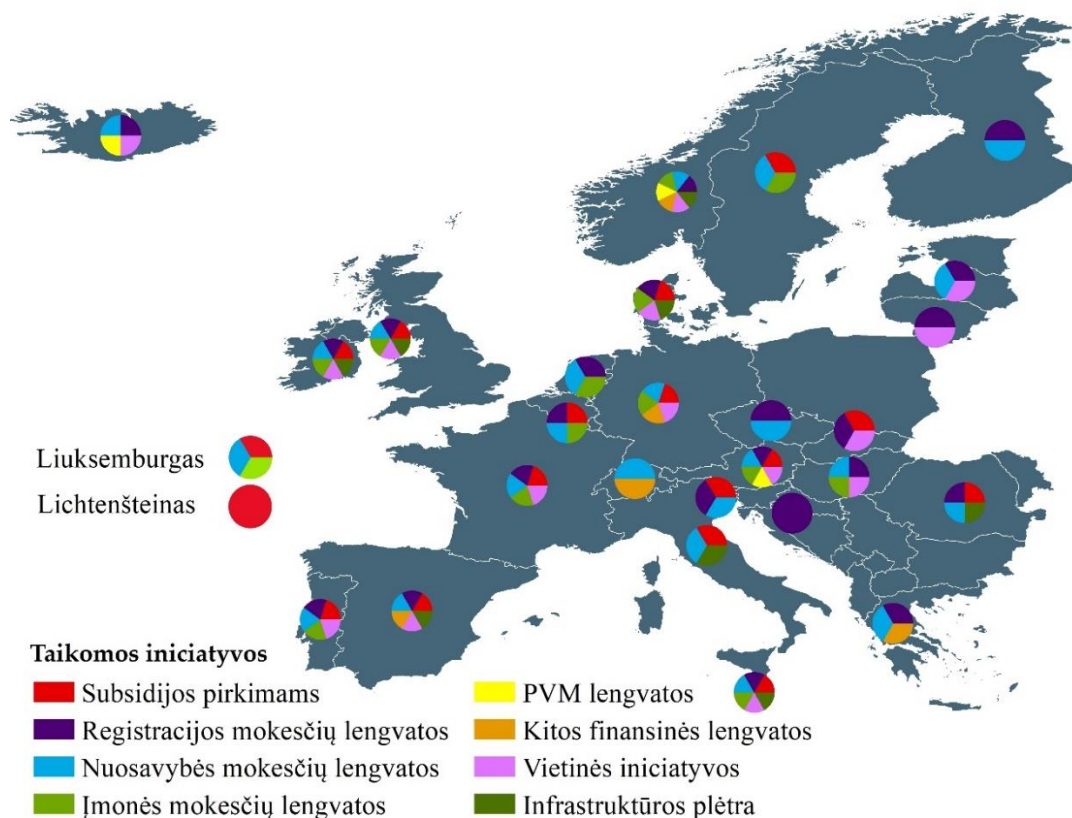
Pastebimas elektromobilių pardavimų skaičiaus ES augimas prasidėjo 2009 metais (žr. pav. 1). Pagrindiniai elektromobilių plėtros stimulatoriai yra teisės aktai, inovacijos pramonėje ir valstybės narėse taikomos skatinimo priemonės. Teisiškai elektromobilių plėtra stimuliuojama ES direktyvomis 2009/33/EB, 2014/94/ES ir EK Baltąja knyga. Direktyvose nurodoma kad ES narės turi skatinti elektra varomų automobilių naudojimą siekdamas sumažinti suvartojamos energijos kiekį ir padidinti jos naudojimo efektyvumą ir reglamentuojamas įkrovimo prieigų elektromobiliams užtikrinimas Europos Sąjungoje. EK 2011 m. paskelbta Baltoji knyga akcentuoja transporto sistemos priklausomybės nuo naftos mažinimą ir nurodė uždavinius: iki 2030 m. dvigubai sumažinti įprastiniu kuru varomų automobilių naudojimą miestuose, o iki 2050 m. pasiekti kad miestuose jų visai nebeliktų.



Pav. 1 Elektromobilių pardavimų pokytis ES 2009-2017

Elektromobilių technologijos gyvuoja jau daugiau kaip 100 metų, tačiau tik visai neseniai į jas vėl buvo atsiųgęžta. Kiekvienais metais elektromobilių konkurencingumas, o dėl to ir populiarumas, tik didėja, kiekvienas naujas elektromobilių modelis vienu įkrovimu nuvažiuoja toliau ir toliau.

Egzistuoja daugelis būdų kaip vyriausybės gali bandyti paveikti elektromobilių įsitvirtinimą: pirkimų premijos, mokesčių lengvatos, investicijos į tyrimus, informacijos sklaida siekiant paveikti vartotojų sąmoningumą, suvaržymai įprastiems automobiliams (žr. pav. 2).



Pav. 2 Elektromobilių skatinimo priemonės Europoje

Kaip matyti 2 paveikslėlyje, Europoje yra nedaug valstybių, pvz. Lenkija, Bulgarija, Serbija, Albanija, Makedonija, Bosnija ir Hercegovina ir kt., kurios nesiima vienokių ar kitokių priemonių siekdamos skatinti elektromobilių išitvirtinimą.

Taikomų skatinimo priemonių skaičius kiekvienoje valstybėje skirtingas ir pobūdis skiriasi. Taikomos automobilio registracijos mokesčio lengvatos gali skirtis nuo 100 proc. lengvatos (Belgija, Graikija, Vengrija, Latvija, Olandija ir Portugalija) iki dalinės lengvatos (Danija, Suomija) ar fiksuotos sumos (Airija). Pirkimų subsidijų dydžiai ir skyrimo tvarka, Švedija ir Rumunija skiria subsidijas visiems automobiliams išmetantiems mažus CO₂ kiekius, o Prancūzija, Vokietija ir Jungtinė Karalystė skiria subsidijas priklausomai nuo transporto priemonės tipo (hibridas ar elektromobilis) ir kategorijos. Prancūzija ir Portugalija skiria premijas tiems kas seną automobilį iškeičia į elektromobilį. Beveik visose valstybėse taikomos nuosavybės mokesčių lengvatos. Švedijoje ir Italijoje elektromobilių savininkai atleidžiami nuo kelių mokesčių pirmuosius penkis metus nuo elektromobilio įsigijimo, Vokietijoje – 10. Belgijoje ir Portugalijoje taikomos pajamų mokesčio lengvatos jei įmonės naudoja mažai aplinką teršiančius automobilius. Čekija, Suomija, Prancūzija, Vokietija ir Ispanija teikia nuolaidas elektros energijai (EAFO, 2018). Valstybių parama elektromobilių plėtrai taip pat išreiškiama viešųjų įkrovimo prieigų plėtra.

Vienas iš paprasčiausių taikomų, netiesioginių skatinimo priemonių yra vietinės iniciatyvos. Tai vietos savivaldybių išduodami nemokami leidimai nemokamai įkrauti elektromobilius ir (ar) statyti automobilius savivaldybių administruojamose stovėjimo aikštelėse, leidimai važiuoti į įprastai automobiliams draudžiamas įvažiuoti zonas (pvz. senamiesčiai) ar naudojimas VT juostomis. Nėra tobulos skatinimo priemonės, kuri pasiektų efektyviausių elektromobilių plėtros rezultatų.

Atliktų tyrimų išvadose teigiama, kad fiksuotų kainų (tai kainos, kurios nekinta nepriklausomai nuo to kiek produktų yra gaminama, t. y. nuomos kaina, draudimai, administraciniai mokesčiai, paskolos mokėjimas, reklamos) sumažinimas turėjo didelę reikšmę apsisprendime pirkti elektromobilį. Kitai didelei grupei svarbiausias faktorius buvo atleidimas nuo kelių mokesčių ir galimybė važiuoti VT juostomis (Bjerkkan et al 2016). Sierzchula teigia, kad finansinė parama ir įkrovimo infrastruktūros plėtra statistiškai reikšmingi veiksniai. Tačiau jis taip pat teigia, kad finansinė parama, dėl neužtikrintumo susijusio su elektromobiliais, gali būti nepakankama, kad motyvuotų pirkti elektromobilį (Sierzchula et al. 2014).

Kiekviena skatinimo politika turi savo ribas. Ekonominės skatinimo priemonės brangiai atsieina vyriausybės biudžetams. Taip pat lėšos, skirtos elektromobilių skatinimui, galėjo būti paimtos iš kitos srities, kuriai taip pat reikalingas finansavimas. Leidimas važiuoti VT juostomis, taip pat sukels spūstis gatvėse, kuomet elektromobilių skaičius ženkliai padidės (Holstmark, 2014).

3. Elektromobilių skatinimo Pabaltijo valstybėse palyginimas

Elektromobilių skatinimo Lietuvos, Latvijos ir Estijos valstybėse palyginimas atliktas daugiakriteriais sprendimo priėmimo metodais SAW ir TOPSIS

Palyginamų alternatyvų (valstybių) kriterijų reikšmės yra nustatomos, o kriterijų reikšmių reikšmingumai apskaičiuojami pagal ekspertų apklausos rezultatus.

Vienas svarbiausių daugiakriterinės analizės etapų – alternatyvas apibūdinančių kriterijų reikšmių ir reikšmingumų nustatymas. Apskaičiavus kriterijų reikšmes ir reikšmingumus bei taikant daugiakriterinės analizės metodus, nustatomi lyginamų variantų naudingumo laipsnis ir prioritetiškumas.

3.1. Elektromobilių skatinimo kriterijų svarbos tyrimas subjektyvių svorių skaičiavimo metodu

Dauguma šiuo metu žinomų ir taikomų daugiakriterinio vertinimo kriterijų svorių nustatymo metodai pagrįsti ekspertiniais vertinimais. Subjektyvių kriterijų svorių nustatymo pagrindą sudaro specialistų ekspertų vertinimai. Atskirtų ekspertų nuomonės dažnai nesutampa, o gali būti ir prieštaringos, t. y. skirtis atskirų ekspertų vertinimų kriterijų svarbumas ir prioritetiškumas.

Kriterijų reikšmingumui nustatyti taikomas ekspertinis rangavimo metodas. Šiuo metodu rodikliai vertinami pagal metodiškai parengtas ir ekspertų užpildytas apklausos anketas, kurios sudaromos taip, kad būtų galima įvertinti rodiklių reikšmingumus (žr. pav. 3).



Pav. 3. Kriterijų reikšmingumų nustatymo veiksmų seka

Vertinimai priklauso nuo ekspertų kvalifikacijos, darbo specifikos, suinteresuotumo gauti tam tikrus įvertinimo rezultatus, darbo stažo ir pan. Kriterijų svorius, kaip apibendrintus ekspertų nuomonių vidurkius, galima taikyti daugiakriteriniame vertinime, jei nustatytas ekspertų vertinimų neprieštarinumas, t. y. įrodyta, kad nuomonės yra statistiškai suderintos (Podvezko, 2014).

Visi apklausoje dalyvavę ekspertai yra susiję su transporto infrastruktūros planavimu. Respondentų pasiskirstymas pagal darbo vietas: 5 – Susisiekimo ministerija, 3 – VGTU APF Kelių katedra, 1 – UAB „CityFormLT“, 2 – VGTU Kelių katedros magistrantai.

Siekiant nustatyti kokie veiksniai labiausiai įtakotų elektromobilių plėtrą Lietuvoje, sudarytas 9 kriterijų sąrašas (žr. lentelė 1).

1. Minkštosios finansinės skatinimo priemonės – elektromobilių savininkams suteikiamos privilegijos: nemokamas automobilio parkavimas mokamose stovėjimo aikštelėse, leidimas važiuoti VT juostomis, atleidžiami nuo transporto priemonės registracijos mokesčių;

2. Kietosios finansinės skatinimo priemonės – elektromobilių pirkėjams teikiamos subsidijos, finansinės išmokos sumažinančios elektromobilio kainą, pirkėjai atleidžiami nuo PVM mokesčio, jiems sumažinamas elektros tarifas;

3. Elektromobilių viešųjų įkrovimo prieigų skaičius tenkantis 1000 gyventojų – plečiamas įprastos ir didelės galios viešųjų elektromobilių įkrovimo prieigų tinklas, mažinantis potencialių elektromobilių pirkėjų baimę nesugebėti elektromobiliu nuvažiuoti į norimą tikslą, dėl negalėjimo pasikrauti elektromobilį pakeliui;

4. Iš atsinaujinančių energijos šaltinių pagaminamas elektros energijos kiekis Lietuvoje – potencialius elektromobilių savininkus skatinantis aplinkosauginis veiksnys, lemiantis, kad jų vairuojamas elektromobilis prisideda prie taršos mažinimo;

5. Elektromobilių naudojimas valstybinėse institucijose – potencialius elektromobilių pirkėjus skatinantis veiksnys.

6. Elektromobilių nuomos punktai/elektromobilių dalijimosi platformos – galimiems elektromobilių pirkėjams dažnai kyla klausimų dėl elektromobilio vairavimo patirties stokos, tad atsiradusi galimybė prieš tai išsinuomoti elektromobilį gali daugiau vairuotojų paskatinti pirkti elektromobilius;

7. Automobilų salonų/auto servisų, gebančių prižiūrėti elektromobilius/konsultuoti, skaičius – daugelį potencialių elektromobilių savininkų neramina klausimai dėl elektromobilių techninio aptarnavimo galimybių, todėl salonų ir servisų buvimas, suteikiančių galimybę konsultuotis ir prižiūrėti elektromobilį, skatina įsigyti elektromobilį;

8. Atstumų, nuvažiuojamų elektromobiliu ir vidaus degimo varikliu už tą pačią kainą, santykis – to paties atstumo nuvažiavimo kaina elektromobiliu gali būti nuo 2 iki 6 kartų pigesnė nei įprastiniu kuru varomų automobilių, todėl mažėjant elektros kainoms ir didėjant iškastinio kuro kainoms, daugelis vartotojų įvertina pigesnio keliavimo galimybes;

9. Skirtingų galimų įsigyti elektromobilių modelių skaičius – vartotojams svarbi pasirinkimų tarp skirtingų dizainų ir techninių specifikacijų galimybė, todėl platesnis elektromobilių markių pasirinkimas rinkoje skatina daugiau vairuotojų domėtis elektromobiliais.

1 lentelė. Kriterijai turintys įtakos elektromobilių plėtrai

Kriterijaus žymuo	Kriterijus	Matavimo vienetas
SK-1.	Minkštosios finansinės skatinimo priemonės (nemokami tr. priemonės registravimai, nemokamas parkavimas, leidimas važiuoti VT juostomis).	Eur.
SK-2.	Kietosios finansinės skatinimo priemonės (subsidijos pirkimams ir išlaikymui, PVM lengvatos).	Eur.
SK-3.	Elektromobilių viešųjų įkrovimo prieigų skaičius tenkantis 1000 gyventojų.	Vnt./1000 gyv.
SK-4.	Iš atsinaujinančių energijos šaltinių pagaminamas elektros kiekis Lietuvoje.	Gwh
SK-5.	Elektromobilių naudojimas valstybinėse institucijose.	EV's
SK-6.	Elektromobilių nuomos punktai/elektromobilių dalijimosi platformos.	EV's/1000 gyv.
SK-7.	Automobilių salonų/auto servisų gebančių prižiūrėti elektromobilius/konsultuoti skaičius.	Vnt./mieste
SK-8.	Atstumų, nuvažiuojamų elektromobiliu ir vidaus degimo varikliu už tą pačią kainą, santykis.	%
SK-9.	Skirtingų galimų įsigyti elektromobilių modelių skaičius.	Vnt.

Anketa sudaryta pagal pasirinktus kriterijus buvo perduota ekspertų įvertinimui. Iš gautų anketos duomenų buvo sudaryta kriterijų rangavimo matrica (lentelė 2). Rangavimas yra procedūra, kai pačiam svarbiausiam kriterijui suteikiamas aukščiausias rangas.

2 lentelė. Kriterijų rangavimo matrica

Kriterijaus žymuo	Eksperto Nr.											Rangų suma	Vieta
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
SK-1	4	3	7	2	4	2	5	4	2	4	6	43	4
SK-2	2	2	1	1	1	1	3	1	3	1	2	18	1
SK-3	3	4	2	4	3	3	2	3	4	6	1	35	3
SK-4	8	8	8	7	8	8	8	8	6	8	8	85	8
SK-5	7	6	6	5	9	9	7	9	9	3	9	79	7
SK-6	5	5	4	8	5	7	6	7	7	7	5	66	6
SK-7	6	7	5	6	6	5	4	6	5	5	3	58	5
SK-8	1	1	3	3	2	4	1	2	1	2	4	24	2
SK-9	9	9	9	9	7	6	9	5	8	9	7	87	9

Vertinimų suderinamumo nustatymui galima taikyti Kendallo konkordancijos koeficientą, kuris skaičiuojamas pagal (1) formulę (Sivilevičius, 2011):

$$W = \frac{12S}{n^2(m^3 - m)}, \quad (1)$$

čia: n – ekspertų skaičius; m – kriterijų skaičius; S – nuokrypio nuo vertinimų bendro vidurkio kvadratų suma.

Nuokrypio nuo vertinimų bendro vidurkio kvadratų suma (3 lentelė) skaičiuojama pagal (2) formulę (Sivilevičius, 2011):

$$S = \sum_{j=1}^m (R_j - \bar{R})^2, \quad (2)$$

čia: R_j – kriterijaus rangų suma; $\bar{R}$ – bendras vidurkis.

K Konkordancijos koeficientas yra atsitiktinis dydis, todėl reikia apskaičiuoti koeficiento reikšmingumą. Konkordancijos koeficiento reikšmingumas nustatomas pagal (3) formulę (Sivilevičius, 2011):

$$\chi^2 = n(m - 1)W, \quad (3)$$

Grupės ekspertų vertinimo suderinamumą nustatome suskaičiuodami konkordancijos koeficiento minimalią reikšmę, naudodami (4) formulę (Sivilevičius, 2011):

$$W_{min} = \frac{\chi^2_{v\alpha}}{n(m-1)}, \quad (4)$$

čia: $\chi^2_{v\alpha}$ gauname iš Montgomerio lentelės parinkdami $v = m - 1$ laisvės laipsnį ir pasirinktu reikšmingumo lygmeniu α artimu nuliui.

Kriterijų rangų svoriai (3 lentelė) yra skaičiuojami pagal (5) formulę (Sivilevičius, 2011):

$$Q_m = \frac{(m+1) - \bar{R}_j}{\sum_{j=1}^m \bar{R}_j}, \quad (5)$$

čia: $\bar{R}_j$ – kriterijaus rangų vidurkis (norminis).

Naudodamiesi kriterijų rangavimo matrica atliekame skaičiavimus (3 lentelė).

3 lentelė. Skaičiavimo rezultatai

Kriterijaus Nr.	Rangų sumos	Rangų vidurkis	Nuokrypio nuo bendro vidurkio kvadratas	Rangų svoriai	Vieta
SK-1	43	3,91	144	0,135	4
SK-2	18	1,63	1369	0,186	1
SK-3	35	3,18	400	0,152	3
SK-4	85	7,72	900	0,051	8
SK-5	79	7,18	576	0,063	7
SK-6	66	6	121	0,089	6
SK-7	58	5,272	9	0,105	5
SK-8	24	2,18	961	0,174	2
SK-9	87	7,91	1024	0,046	9
Rangų sumų vidurkis	55				
Nuokrypio nuo bendro vidurkio kvadratų suma			5504		

Skaičiuojame Kendallo konkordancijos koeficientą (1 formulė):

$$W = \frac{12 \cdot 5504}{11^2(9^3 - 9)} = 0,75813$$

Konkordancijos koeficientas gali kisti nuo 0 iki 1. Kai konkordancijos koeficientas yra lygus vienetui, galima teigti ekspertus vienodai įvertinus visus kriterijus, o kai lygus nuliui – ekspertai vieningos nuomonės neturi. $W = 0,381 > 0$, todėl galima teigti, kad gautų kriterijų reikšmingumų dydžių patikimumas pakankamas.

Skaičiuojame konkordancijos koeficiento reikšmingumą (3 formulė):

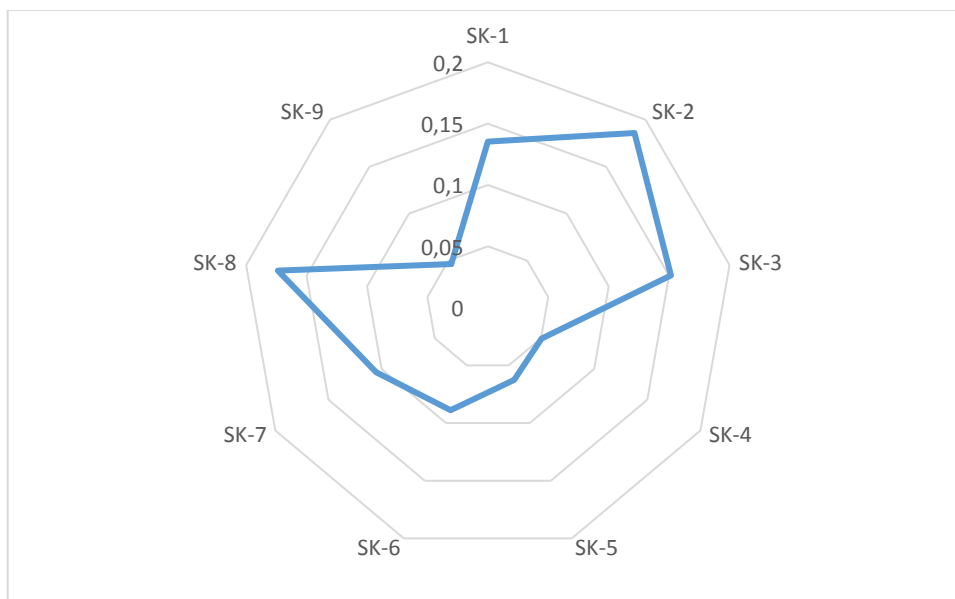
$$\chi^2 = 11(9 - 1) \cdot 0,75813 = 66,7152$$

Iš Montgomerio lentelės su laisvės laipsniu $v = 8$ ir reikšmingumo lygmeniu $\alpha = 0,005$ pasirenkame $\chi^2_{v\alpha} = 21,96$ ir skaičiuojame W_{min} (4 formulė):

$$W_{min} = \frac{21,96}{88} = 0,24955$$

Gauname, kad $W > W_{min}$, tai patvirtina, kad ekspertų nuomonės yra suderintos.

Apskaičiuotos visų ekspertų įvertinimų svorių reikšmės sako, kad didžiausią įtaką skatinant elektromobilių naudojimą Lietuvoje turi kietosios finansinės skatinimo priemonės (subsidijos pirkimams ir išlaikymui, PVM lengvatos) (0,186), atstumų, nuvažiuojamų elektromobiliu ir vidaus degimo varikliu už tą pačią kainą, santykis (0,174), elektromobilių viešųjų įkrovimo prieigų skaičius tenkantis 1000 gyventojų (0,152) (4 pav.)



4 pav. Kriterijų rangų svorių reikšmės, nulemiančios kriterijų svarbą parenkant P+R aikštelių įrengimo vietą

Mažiausią įtaką skatinimui turi skirtingų galimų įsigyti elektromobilių modelių skaičius (0,046) ir iš atsinaujinančių energijos šaltinių pagaminamas elektros kiekis Lietuvoje (0,051).

3.2. Pabaltijo valstybių daugiakriterinis palyginimas SAW ir TOPSIS metodais

Siekiant išsiaiškinti sukurtų skatinimo naudotis elektromobiliais kriterijų teisingumą, reikia palyginti kriterijus turinčius skirtingą prasmę ir dimensijas. Todėl atliekama daugiakriterinė analizė palyginant Lietuvos, Latvijos ir Estijos kriterijų reikšmes ir reikšmingumus. Rezultatai pateikiami sprendimų matricoje (lentelė 4).

Skaičiavimas SAW (adityvių svorių) metodu nereikalauja didelių pastangų – jis vienas iš paprasčiausių ir plačiausiai taikomų metodų (Podvezko 2011).

4 lentelė. Sprendimų matrica daugiakriteriniam vertinimui

Kriterijaus Nr.	Optimizavimo kryptis	Matavimo vnt.	Valstybė		
			Latvija	Lietuva	Estija
SK-1	+	Eur.	49,22	40,00	0
SK-2	+	Eur.	0	0	0
SK-3	+	Vnt./1000 gyv.	0,037	0,035	0,29
SK-4	+	Gwh	2,7	1,75	1,63
SK-5	+	EV's	104	9	500
SK-6	+	EV's/1000 gyv.	0,0031	0,036	0,024
SK-7	+	Vnt./mieste	34	43	50
SK-8	+	%	200	300	266
SK-9	+	Vnt.	9	9	8

Turint visų trijų valstybių duomenis ir rodiklių reikšmingumus, sprendinių matrica yra normalizuojama – dydžiai paverčiami bedimensiais (normalizuotais) duomenimis. Tam taikomos šios formulės (Podvezko 2011):

$$\bar{r}_{ij} = \frac{r_{ij}}{r_{ij}^{max}}, \text{ jei matricos nariai maksimizuojami,} \quad (6)$$

$$\bar{r}_{ij} = \frac{r_{ij}^{min}}{r_{ij}}, \text{ jei matricos nariai minimuojami.} \quad (7)$$

Čia: $\bar{r}_{ij}$ – minimizuota ar maksimizuota reikšmė, r_{ij} – reikšmė, kuri bus minimizuota ar maksimizuota, r_{ij}^{max} - maksimali to paties kriterijaus alternatyvų reikšmė, r_{ij}^{min} – minimali to paties kriterijaus alternatyvų reikšmė.

Sudarius normalizuotą matricą, atitinkamus normalizuotos matricos narius dauginant iš jų reikšmingumų ir juos sumuojant, nustatoma, kurioje valstybėje šiuo metu sąlygos geriausios (Podvezko 2011):

$$A = \sum_{i=1}^k r_{ij} \cdot w_i, i = 1, 2, 3, \dots, m. \quad (8)$$

Čia: w_i = kriterijaus reikšmingumas (svoris).

5 lentelė. SAW metodu normalizuota matrica ir užimama vieta

Kriterijaus Nr.	Reikšmingumas, w	Valstybė		
		Latvija	Lietuva	Estija
SK-1	0,135	1	0,8888	0
SK-2	0,186	0	0	0
SK-3	0,152	0,1276	0,1207	1
SK-4	0,051	1	0,6481	0,6037
SK-5	0,063	0,208	0,018	1
SK-6	0,089	0	1	0,6666
SK-7	0,105	0,68	0,86	1
SK-8	0,174	0,6667	1	0,8866
SK-9	0,046	1	1	0,8888
Reikšmė, A		0,4519	0,5620	0,6042
Vieta		3	2	1

Skaiciavimų rezultatai SAW metodu rodo, kad šiuo metu palankiausios sąlygos elektromobilių plėtrai yra Estijoje, prasčiausios – Latvijoje.

Pagal TOPSIS metodą, laikoma, kad optimali alternatyva turi mažiausią atstumą nuo idealaus sprendimo ir didžiausią atstumą nuo „neigiamo idealaus“ sprendimo. Skaiciavimui TOPSIS metodu pirmiausia normalizuojama pradinė valstybių duomenų matrica pagal formulę (Zavadskas et al. 2006):

$$r_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n a_{ij}^2}}, \quad (9)$$

Čia: r_{ij} – normalizuota reikšmė, a_{ij} – nenormalizuota reikšmė, $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$.

6 lentelė. Pagal TOPSIS metodą normalizuota matrica

Kriterijaus Nr.	Reikšmin- gumas, q_i	Valstybė		
		Latvija	Lietuva	Estija
SK-1	0,135	0,747409319	0,664363839	0
SK-2	0,186	0	0	0
SK-3	0,152	0,125662936	0,118870345	0,984925717
SK-4	0,051	0,748574675	0,48518729	0,451917304
SK-5	0,063	0,203609856	0,017620084	0,978893538
SK-6	0,089	0	0,832050294	0,554700196
SK-7	0,105	0,458247659	0,57954851	0,673893617
SK-8	0,174	0,446370751	0,669556126	0,593673098
SK-9	0,046	0,598671095	0,598671095	0,532152084

Normalizuotos matricos nariai dauginami iš rodiklių reikšmingumų, pagal šią formulę (Zavadskas et al. 2006):

$$V_{ij} = q_i \cdot r_{ij}, \quad i = 1, 2, \dots, m; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

Čia: q_i – reikšmingumas, r_{ij} – nenormalizuota reikšmė, $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$.

7 lentelė. Normalizuota matrica padauginta iš reikšmingumų

Kriterijaus Nr.	Valstybė			Maksimali reikšmė fj+	Minimali reikšmė fj-
	Latvija	Lietuva	Estija		
SK-1	0,105041	0,085364	0	0,105041	0,085364
SK-2	0	0	0	0	0
SK-3	0,01904	0,018011	0,149231	0,149231	0,018011
SK-4	0,037807	0,024504	0,022824	0,037807	0,022824
SK-5	0,012751	0,001103	0,061304	0,061304	0,001103
SK-6	0,006352	0,07396	0,049307	0,07396	0,006352
SK-7	0,048139	0,060882	0,070793	0,070793	0,048139

SK-8	0,077551	0,116327	0,103143	0,116327	0,077551
SK-9	0,027817	0,027817	0,024726	0,027817	0,024726

Sudauginus normalizuotos matricos narius iš rodiklių reikšmingumą, skaičiuojamas jų atstumas iki idealiausio teigiamo ir idealiausio neigiamo variantų, pagal formules (Zavadskas et al. 2006):

$$S_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^k (f_{ij} - f_j^+)^2}, \quad (11)$$

$$S_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^k (f_{ij} - f_j^-)^2}, \quad (12)$$

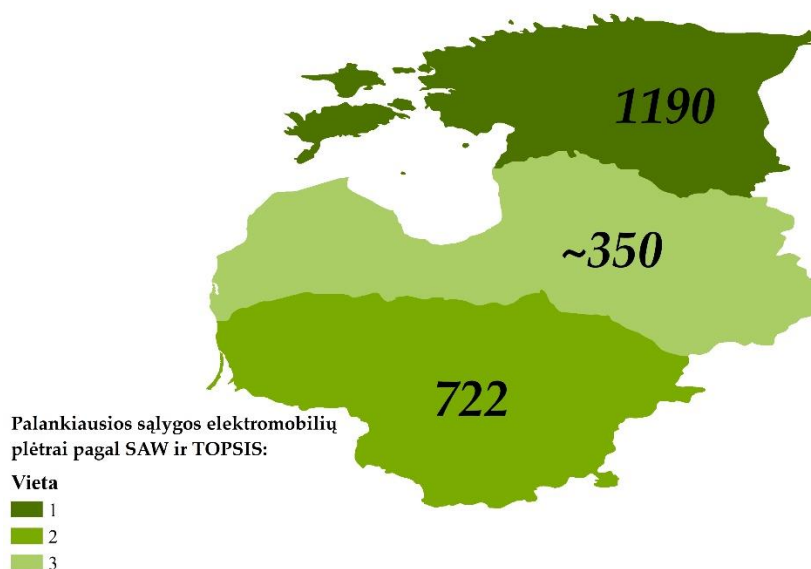
Su maksimalia reikšme f_j^+ skaičiuojamas kiekvieno lyginamo varianto atstumas iki idealiausio sprendimo, su minimalia reikšme f_j^- skaičiuojamas atstumas iki idealiausio neigiamo sprendimo. Geriausia alternatyva išrenkama pagal formulę (Zavadskas et al. 2006):

$$C_j = \frac{S_j^+}{S_j^+ + S_j^-}, \quad (13)$$

8 lentelė. TOPSIS metodu apskaičiuotos reikšmės ir užimama vieta

Valstybė	S_j^+	S_j^-	C_j	Vieta
Latvija	0,55461	0,368498	0,399193	3
Lietuva	0,48405714	0,457243972	0,485757391	2
Estija	0,401109	0,531503	0,569908	1

Rezultatai gauti skaičiuojant abiem metodais sutampa. Palankiausios sąlygos elektromobilių plėtrai Pabaltijo šalyse yra Estijoje, prasčiausios – Latvijoje.



722 - elektromobilių skaičius valstybėse

5 pav. Valstybių užimama vieta pagal SAW ir TOPSIS skaičiavimus ir esamas elektromobilių skaičius valstybėse

Rezultatai gauti skaičiuojant SAW ir TOPSIS metodais sutampa su esamu elektromobilių skaičiumi kiekvienoje Pabaltijo valstybėje. Tai patvirtina ekspertų apklausos metu gautus kriterijų įvertinimo rezultatus.

4. Išvados

1. Sudaryti devyni skatinimo naudotis elektromobiliais kriterijai, pagal kuriuos atlikta ekspertų apklausa. Apklausos pagrindu sudaryta kriterijų rangavimo matrica. Apskaičiavus Kendallo konkordancijos koeficientą ir jo reikšmingumą, nustatyta, kad ekspertų nuomonės yra suderintos, todėl daroma išvada, kad kriterijų reitingavimas turi prasmę.

2. Atlikus kriterijų reitingavimą nustatyta, kad efektyviausias būdas skatinti naudotis elektromobiliais yra kietosios finansinės priemonės (dotacijos ir kt.) - 0,186, atstumas nuvažiuojamas elektromobiliu už tą pačią ar mažesnę kainą nei vidaus degimo variklio automobiliu - 0,174, ir elektromobilių viešųjų įkrovimo prieigų gausa - 0,152.

3. Atlikus elektromobilių naudojimo skatinimo rodiklių vertinimą Lietuvoje, Latvijoje ir Estijoje SAW ir TOPSIS metodais nustatyta, kad šiuo metu palankiausios sąlygos elektromobilių plėtrai yra Estijoje, prasčiausios Latvijoje.

Literatūra

- Abernathy, W. J., Utterback, J. M. 1978. Patterns of industrial innovation, *Technology review*, 80(7), 40-47.
- Bjerkan, K. Y., Nørbech, T. E., Nordtømme, M. E. 2016. Incentives for promoting Battery Electric Vehicle (BEV) adoption in Norway. *Transportation Research Part D* 43: 169-180
<https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.12.002>
- Chung, S. H.; Kwon, C. 2015. Multi-period planning for electric car charging station locations: A case of Korean Expressways. *European Journal of Operational Research*, 242(2), 677-687.
<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.10.029>
- Dong, J.; Liu, C.; Lin, Z. 2014. Charging infrastructure planning for promoting battery electric vehicles: An activity-based approach using multiday travel data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 38, 44-55.
<https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.11.001>
- Han, X.; Ouyang, M.; Lu, L.; Li, J.; Zheng, Y.; Li, Z. 2014. A comparative study of commercial lithium ion battery cycle life in electrical vehicle: Aging mechanism identification. *Journal of Power Sources*, 251, 38-54.
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.11.029>
- Hidruė, M. K., Parsons, G. R., Kempton, W., Gardner, M. P. 2011. Willingness to pay for electric vehicles and their attributes, *Resource and Energy Economics* 33: 686-705.
[doi:10.1016/j.reseneeco.2011.02.002](https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2011.02.002)
- Holtsmark, B., Skonhoft, A. 2014. The Norwegian support and subsidy policy of electric cars. Should it be adopted by other countries? *Environmental science & Policy* 42: 160-168.
<https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.06.006>
- Neubauer, J.; Wood, E. 2014. The impact of range anxiety and home, workplace, and public charging infrastructure on simulated battery electric vehicle lifetime utility. *Journal of Power Sources*, 257, 12-20.
DOI: 10.1016/j.jpowsour.2014.01.075
- Pasaoglu, G.; Zubaryeva, A.; Fiorello, D.; Thiel, C. 2014. Analysis of European mobility surveys and their potential to support studies on the impact of electric vehicles on energy and infrastructure needs in Europe. *Technological Forecasting and Social Change*, 87, 41-50.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2013.09.002>
- Podvezko, V. 2011. The Comparative Analysis of MCDA Methods SAW and COPRAS. *Inžinerinė Ekonomika*.
<http://dx.doi.org/10.5755/j01.ee.22.2.310>
- Podvezko, V.; Podvezko, A. 2014. Kriterijų reikšmingumo nustatymo metodai. *Lietuvos matematikos rinkinys. Lietuvos matematikų draugijos darbai* B(55): 111-116.
- Salah, F.; Ilg, J. P.; Flath, C. M.; Basse, H.; van Dinter, C. 2015. Impact of electric vehicles on distribution substations: A Swiss case study. *Applied Energy*, 137, 88-96.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.091>
- Sierzchula, W., Bakker, S., Maat, K., Wee, C. B. 2014. The influence of financial incentives and other socio-economic factors on electric vehicle adoption, *Energy Policy* 68: 183-194
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.01.043>
- Sivilevičius, H. 2011. Application of Expert Evaluation Method to Determine The Importance of Operating Asphalt Mixing Plant Quality Criteria and Rank Correlation, in *The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering* 6(1):48-58.
DOI:103846/bjrbe.2011.07
- Zavadskas, E. K., Zakarevičius, A., Antuchevičienė, J. 2006. Evaluation of ranking accuracy in multicriteria decisions. *Informatica* 17(4): 601-618.
- Wang, J.; Shan, L.; Dai, Y.; Ming, L.; Yu, D. 2015. A Systematic Planning Method for the Electric Vehicles Charging Service Network [J]. *Journal of Clean Energy Technologies*, 3(2), 155-158.