

Laura Rohilaid

**Elektriautode meretranspordi riskide analüüs Läänemeresel
tegutsevate laevafirmade näitel**

Lõputöö

Juhendaja: Tõnis Hunt

Tallinn 2024

Olen koostanud töö iseseisvalt.

Töö koostamisel kasutatud kõigile teiste autorite töödele, olulistele seisukohtadele ja andmetele on viidatud.

Laura Rohilaid

(allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas)

Üliõpilase kood: 207699VDSR

Üliõpilase e-posti aadress: larohi@taltech.ee

Juhendaja: doktorant-nooremteadur Tõnis Hunt

Töö vastab lõputööle esitatud nõuetele

(allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas)

Kaitsmiskomisjoni esimees Marko Jürjoja

Lubatud kaitsmisele

(allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas)

Sisukord

Annotatsioon.....	4
Kasutatud lühendid	6
Sissejuhatus	7
1 Elektriauto	10
2 Liitiumioonaku	19
2.1 Liitiumioonaku ehitus.....	19
2.2 Liitiumioonaku kasutusala.....	20
2.3 Liitiumioonaku keskkonnamõjud (ohutus).....	21
3 Elektriautode transport	24
3.1 Transporti reguleerivad õigusaktid.....	24
3.1.1 Rahvusvaheline konventsioon inimeste ohutusest merel	24
3.1.2 Rahvusvaheline ohtlike kaupade mereveo kodeks	25
3.2 Elektriautode vedu laeval	25
3.3 Liitiumioonaku põhjustatud õnnetused	27
4 Metoodika	29
4.1 Meetod	29
4.1.1 Valim ja läbiviimine	30
5 Analüüs.....	31
5.1 Turvariskid ja kogemused elektriautode meretranspordil	31
5.2 Laevaoperatsioonid ja ohutusprotseduurid	32
5.3 Ohutuse ja stabiilsuse tagamine ning hädaolukordade käsitlemine.....	33
Kokkuvõte	37
Summary.....	39
Viidatud allikad	41
Lisa 1. Intervjuu küsimused.....	45

Annotatsioon

Nimetatud lõputöö teema on elektriautode meretranspordi riskide analüüs Läänemeres tegutsevate laevafirmade näitel. Töö on aktuaalne, sest tänapäeva maailmas pannakse väga suurt rõhku keskkonnasäästlikkusele ja elektriautod on üha enam populaarsust kogumas, kui keskkonnasõbralik alternatiiv sisepõlemismootoriga sõidukitele. Nende autodega kaasneb palju riske ja ohutusi ning nende riskidega tuleb tegeleda, et tagada nii laevade, sõidukite kui ka reisijate turvalisus meretranspordi ajal.

Elektriautode ja keskkonnasäästlikkuse teemad on tänapäeval äärmiselt aktuaalsed, sest meie planeet seisab silmitsi tõsiste keskkonnaprobleemidega, mis on suuresti tingitud inimtegevusest. Kliimamuutused, süsinikuheite suuremine ja looduslike elupaikade hävimine on globaalsed probleemid, mis nõuavad kiiret ja tõhusat tegutsemist. Üha enam tunnistatakse, et jätkusuutlike lahenduste leidmine on kriitilise tähtsusega, et vähendada inimkonna ökoloogilist jalajälge ja tagada tulevastele põlvkondadele elamisväärne elukeskkond.

Elektriautode populaarsuse kasv toob kaasa uusi ohuriske, eriti meretranspordis, kus liitiumioonakud võivad tekitada tulekahjusid ning mõjutada laeva stabiilsust sõidul. Elektriautode meretranspordi ohutuse tagamine nõuab põhjalikku riskijuhtimist, analüüsimist ja ohutusstrateegiate rakendamist.

Teoreetilises osas käsitles töö autor elektriautode teemat, liitiumioonakusid ja nende ehitust kasutusala ning keskkonnamõju ja elektriautode transporti, tuues välja kõik olulised aspektid ja riskid, mis nendega seonduvad.

Hüpoteesiks seadis töö autor, et laevafirmad kasutavad erinevaid strateegiaid ja meetmeid, et tagada tuleohutus elektriautode vedamisel, kuid nende meetmete tulemuslikkus võib varieeruda.

Uurimisküsimusteks valis töö autor:

- Millised on elektriautode meretranspordiga seotud riskid ning millised meetmed on käsile võtnud laevafirmad Eestis, et maandada antud elektriautode vedamisega seotud riske?
- Kas praegustest nõuetest ja eeskirjadest piisab?

Uurimisküsimustele sai vastused töö autor tehes intervjuu Eestis tegutsevate laevandusettevõtetega, kelleks olid: DFDS, Viking Line, Tallink ja Eckerö Line. Lisaks ettevõtetele tegi töö autor intervjuu ka Transpordiametis töötava vaneminspektoriga.

Intervjuude põhjal analüüsi tehes järeldas töö autor, et laevandusfirmad tegutsevad erinevate põhimõtete ja strateegiate alusel. Kuna elektriautode riskide teema on üle maailma üsnagi uudne teema kaasaarvatud merenduses, siis pole hetkel välja töötatud kindlaid suuniseid. Erinevad ettevõtted ja liidud on loonud enda nägemuse ja eelnevate kogemuste põhjal erinevaid juhiseid, mille alusel saavad laevafirmad tegutseda. Kindlasti oleks vaja laevafirmadel teha koostööd, et tegutseda koos ühtse eesmärgi nimel. Väga suur rõhk on ennetaval tegevusel nimelt ettevõtted, kellega intervjuu läbi viidi, ei võta keegi avariilisi elektrisõidukeid laeva pardale. Aku seisukord peale avariid on ettearvamatu ja võib kujutada endast olulist tule- ja plahvatusohtu ja mitte pardale võtmisega soovitakse vältida võimalikke õnnetusi ja tagada reisijate ning meeskonna ohutus.

Analüüsi käigus pakkus töö autor ka mitmeid enda poolseid variante välja, mis võiksid aidata kaasa elektriautode meretranspordi parendamisse.

Märksõnad: *elektriauto, liitiumioonaku, laevafirmade ohutusmeetmed,*

Kasutatud lühendid

[illegible]

Sissejuhatus

Keskkonnasäästlikkuse ja hoidmise teemade tähtsus on tänapäeval rohkem esil kui kunagi varem. Meie planeedi ökosüsteem seisab silmitsi mitmete väljakutsetega, mis tulenevad inimtegevusest, sealhulgas süsinikuheitmete suurenemine, kliimamuutused ning looduslike elupaikade hävimine. Seetõttu on üha suurem surve leida jätkusuutlikke lahendusi, mis vähendaksid meie mõju keskkonnale. Mispärast on keskkonnateemad tänapäeval kujunenud prioriteetseks valdkonnaks nii poliitikute kui ka ettevõtjate jaoks üle maailma.

Üks olulisemaid algatusi, mis on keskendunud jätkusuutliku arengu edendamisele, on ÜRO säästva arengu eesmärgid (Sustainable Development Goals). Need 17 eesmärki hõlmavad mitmeid valdkondi, sealhulgas vaesuse vähendamist, hariduse parandamist, puhta vee ja sanitaartingimuste tagamist ning kliimamuutuste leevendamist. (Riigikantselei, 2023) Kliimamuutuste vastu võitlemise osana on üks oluline eesmärk saavutada aastaks 2055 süsinikuneutraalsus ning vähendada süsinikuheitmeid, mis on seotud fossiilkütuste kasutamisega. (Euroopa Ülemkogu, 2024)

Euroopa Liit on võtnud ambitsioonikad eesmärgid kliimamuutuste leevendamiseks ning üheks oluliseks sammuks selles suunas on plaan keelustada aastaks 2035 uute bensiini- ja diiselmootoriga autode müük. See on osa Euroopa Liidu püüdlustest vähendada süsinikuheitmeid ja liikuda ülemineku suunas, kus veelgi enam on rõhk keskkonnasõbralikel transpordiliikidel. Selline muudatus mitte ainult ei mõjuta autotööstust ja tarbijaid, vaid võib oluliselt kaasa aidata ka keskkonnakoormuse vähendamisele ning jätkusuutlikuma transpordisüsteemi loomisele Euroopas. (Euroopa Parlament, 2022)

Lisaks Eestis pakub Keskkonnainvesteeringute keskus ostutoetust nullheitega sõidukite ostmiseks tingimusel, et sõiduk peab olema uus, ostetud peale 06.02.2023, kätte saadud ja Transpordiametis registreeritud toetuse taotleja nimele. Toetuse suuruseks on 4000€ elektriauto kohta ja toetuse eesmärgiks on vähendada Eestis kasvuhoonegaaside heidete vähendamine transpordisektoris ning nullheite sõidukite soetamise ja kasutamise propageerimine. (Keskkonnainvesteeringute keskus, 2022)

Sellised ambitsioonikad eesmärgid ja algatused näitavad, et keskkonnaküsimused on muutunud üha olulisemaks poliitiliseks ja majanduslikuks teemaks kogu maailmas.

Elektriautode kasvav populaarsus, ajendatuna ülemaailmsest pöördest keskkonnasõbralikumate transportimisviiside poole, toob esile mitmed kaubaveoga seotud ohutusriske. Oluliste riskide hulka kuuluvad liitiumioonakude tuleohtlikkus ja elektriautode nõuetekohane käsitus laeva peal, mis nõuavad erilist tähelepanu laadimisprotsesside ja sõidukite paigutamise ohutuse osas. Lisaks sellele võivad liitiumioonakud tekitada ülekuumenemist või mehaaniline kahjustus, mis võivad põhjustada tulekahju. Lisaks seab elektriautode spetsiifiline paigutamine proovile laeva stabiilsuse ja ohutuse. Seetõttu nõuab elektriautode suurenev maht meretranspordis osalejatelt järjest enam keskendumist ohutusmeetmete täiustamisele ja riskijuhtimise strateegiate väljatöötamisele, et tagada nii inimeste, kauba kui ka keskkonna kaitse selles järjest keerukamas ja vastutusrikkamas valdkonnas.

Antud teema aktuaalsus tuleneb ülemaailmsest suundumusest suurendada keskkonnasõbralikke transpordiviise ning elektriautode populaarsuse jätkuvast kasvust. See, kuidas me elektriautosid ja nende komponente, eriti liitiumioonakusid, ohutult veame, on muutumas üha olulisemaks küsimuseks. See ei puuduta ainult otseseid transpordiahelas osalejaid nagu laevaoperaatorid ja logistikaettevõtted, vaid ka laiemat ühiskonda, kuna ohutus- ja keskkonnariskidel võib olla ulatuslik mõju nii keskkonnale kui inimesele. Seega, arvestades elektriautode vedu Läänemeres, on hädavajalik mõista ja adresseerida sellega seotud riske. Tõhus riskijuhtimine ja ohutusstrateegiate rakendamine selles kontekstis ei ole ainult operatiivne vajadus, vaid ka kriitiline samm kestliku tuleviku suunas, muutes selle uurimisteema erakordselt aktuaalseks nii akadeemilises kui ka praktilises plaanis.

Seega on oluline mõista, et elektriautode meretranspordi kasv toob kaasa mitmeid väljakutseid ja riske, millega tuleb tegeleda. Selle bakalaureusetöö eesmärk on uurida neid riske sügavamalt ning pakkuda välja soovitusi, kuidas neid riske tõhusalt maandada ja vähendada, tagades samal ajal jätkusuutliku ja ohutu elektriautode meretranspordi Läänemeres.

Autor seab hüpoteesiks, et Eestis tegutsevad laevafirmad kasutavad erinevaid strateegiaid ja meetmeid elektriautode vedamise tuleohutuse tagamiseks ning nende tulemuslikkus võib erineda.

Töö autor seab endale uurimisküsimused:

- Millised on elektriautode meretranspordiga seotud riskid ning millised meetmed on käsile võtnud laevafirmad Eestis, et maandada antud elektriautode vedamisega seotud riske?
- Kas praegustest nõuetest ja eeskirjadest on piisav?

Uuritavatele küsimustele saab autor vastused läbi viies intervjuu nelja erineva Eestis tegutseva laevanduse ettevõttega, kelleks on Tallink, DFDS, Viking Line ja Eckerö Line ning Transpordiametis töötava vaneminspektoriga.

1 Elektriauto

Elektriautode mõju keskkonnale on mitmetahuline ja tihtipeale positiivne, eriti võrreldes traditsiooniliste sisepõlemismootoriga sõidukitega. Elektrisõidukite kasutuselevõtt aitab vähendada õhusaastet linnades, kuna need ei erita sõidu ajal heitgaase nagu süsinikdioksiid ja lämmastikoksiidid, mis on tavalised sisepõlemismootorite puhul. Lisaks aitab elektriautode levik vähendada sõltuvust fossiilkütustest, edendades seeläbi energiajulgeolekut ja toetades üleminekut taastuvenergiALE. See on kooskõlas globaalsete säästva arengu eesmärkidega, mis rõhutavad vajadust võidelda kliimamuutuste vastu ja edendada puhtamat, rohelisemat tulevikku. Siiski, elektriautode positiivne keskkonnamõju sõltub suuresti elektrienergia tootmise viisist; mida rohkem kasutatakse taastuvenergiat, seda väiksem on nende üldine keskkonnamõju. Seega, arvestades elektriautode meretranspordiga kaasnevaid ohutus- ja keskkonnariske on oluline mõista elektriautode kasvava populaarsuse keskkonnaalaseid eeliseid ning nendega kaasnevaid väljakutseid.

Elektriautosid peetakse suhteliselt uueks leiutiseks, siis esimesed sõidukid toodeti ja kasutati tegelikult juba 19. sajandi alguses. 1820. aastate lõpus ja 1830. aastate alguses oli peamine transpordiliik hobune ja vanker. Ungari, Hollandi, Ühendkuningriigi ja Ameerika Ühendriigi uuendajad hakkasid aga katsetama akutoitega sõiduki kontseptsiooni, luues mõned esimesed väikesemahulised elektriautod. 1859. aastal leiutas Prantsuse füüsik Gaston Planté esimese pliaku, mis pakkus elujõulist viisi sõidukis elektrienergia salvestamiseks. 1881. aastal parandas teine prantsuse teadlane Camille Alphonse Faure oluliselt aku disaini ja mahtuvust. (Woodward, 2021)

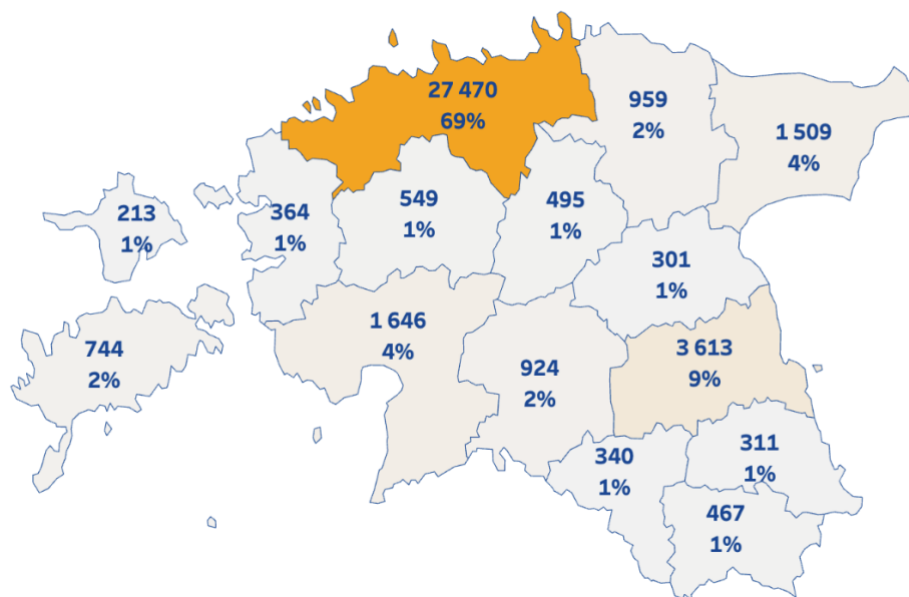
Parem maanteede infrastruktuur, odav ning laialdaselt kättesaadav bensiin aitasid kaasa elektrisõidukite vähenemisele. Elektriautode kasutamine linnades oli nende aeglase kiiruse ja väikese sõiduulatuse tõttu piiratud ning 1935. aastaks olid need täiesti kadunud. (Woodward, 2021)

Ameerika Ühendriikide elektriautode tootja Tesla Motors alustas tööd Tesla Roadsteri kallal 2004. aastal, mis tarniti klientidele esmakordselt 2008. aastal. Tesla mudel oli esimene maanteel legaalne seeriatootmises toodetud puhas elektriauto, mis kasutas liitiumioonakuelemente. See oli ka esimene auto, mis läbis ühe laadimisega rohkem kui 200 miili. (Woodward, 2021)

Täiselektrilised sõidukid, mida nimetatakse ka akuga elektrisõidukiteks, kasutavad mootorit toitava elektrienergia salvestamiseks akut. Akusid laaditakse, ühendades sõiduki elektritoiteallikaga. Kuigi elektritootmine võib õhusaastet soodustada, liigitab Ameerika Ühendriikide Keskkonnakaitseagentuur täiselektrisõidukid saastevabadeks sõidukiteks, kuna need ei tekita kohapeal otsest heitgaasi ega oma summutitoru. (U.S department of energy, n.d.-a)

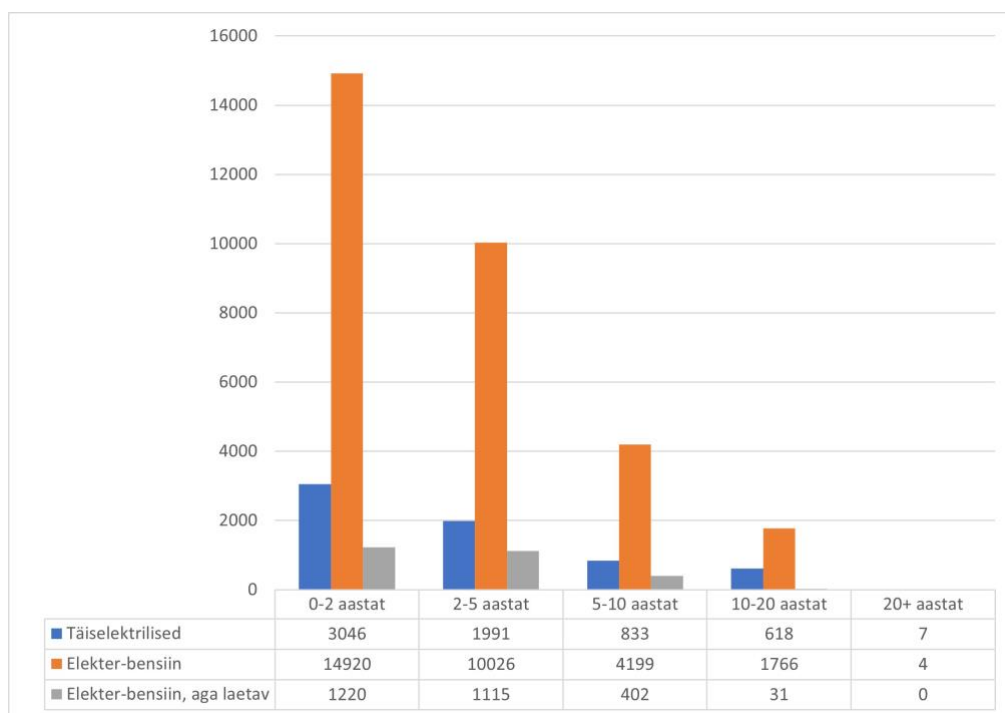
Tänapäeva elektrilistel sõidukitel on üldiselt lühem sõiduulatus (laadimise kohta) kui võrreldavatel tavalistel sõidukitel (kütusepaagi kohta). Uute mudelite suurenev valik, mis kasutavad suurema energiatarbega akusid, ja suure võimsusega laadimisseadmete jätkuv arendamine vähendab aga seda lõhet. Elektriautode tõhusus ja sõiduulatus varieeruvad olenevalt sõidutingimustest oluliselt. Äärmuslikud välistemperatuurid kipuvad vähendama ulatust, kuna salongi kütmiseks või jahutamiseks tuleb kulutada rohkem energiat. Elektrisõidukid on linnasõidul tõhusamad kui maanteel sõites. Linnasõidutingimustes esineb sagedamini peatusi, mis maksimeerivad regeneratiivpidurduse eeliseid, samas kui maanteel sõitmine nõuab tavaliselt rohkem energiat, et ületada suuremal kiirusel suurenenud takistus. Võrreldes järkjärgulise kiirendamisega vähendab kiire kiirendamine sõiduki sõiduulatust. Raskete koormate vedamine või märkimisväärsel tõusudel sõitmine võib samuti vähendada sõiduulatust. (U.S department of energy, n.d.-a)

Transpordiameti statistika andmetel on Eestis 1. aprill 2024 seisuga registreeritud 758935 autot Eestis kokku ja sõiduautosid, mille kütusekombinatsioon on kas ainult elekter, bensiin-elekter ja bensiin-elekter, aga on laetav, neid on Eesti 40078 (joonis 1), kogu autode arvust on see 5,3%. Kõige rohkem elektriautosid on registreeritud Harju maakonnas 27470 tükki ja kõige vähem Hiiu maakonnas 213 tükki. (Transpordiamet, 2023)



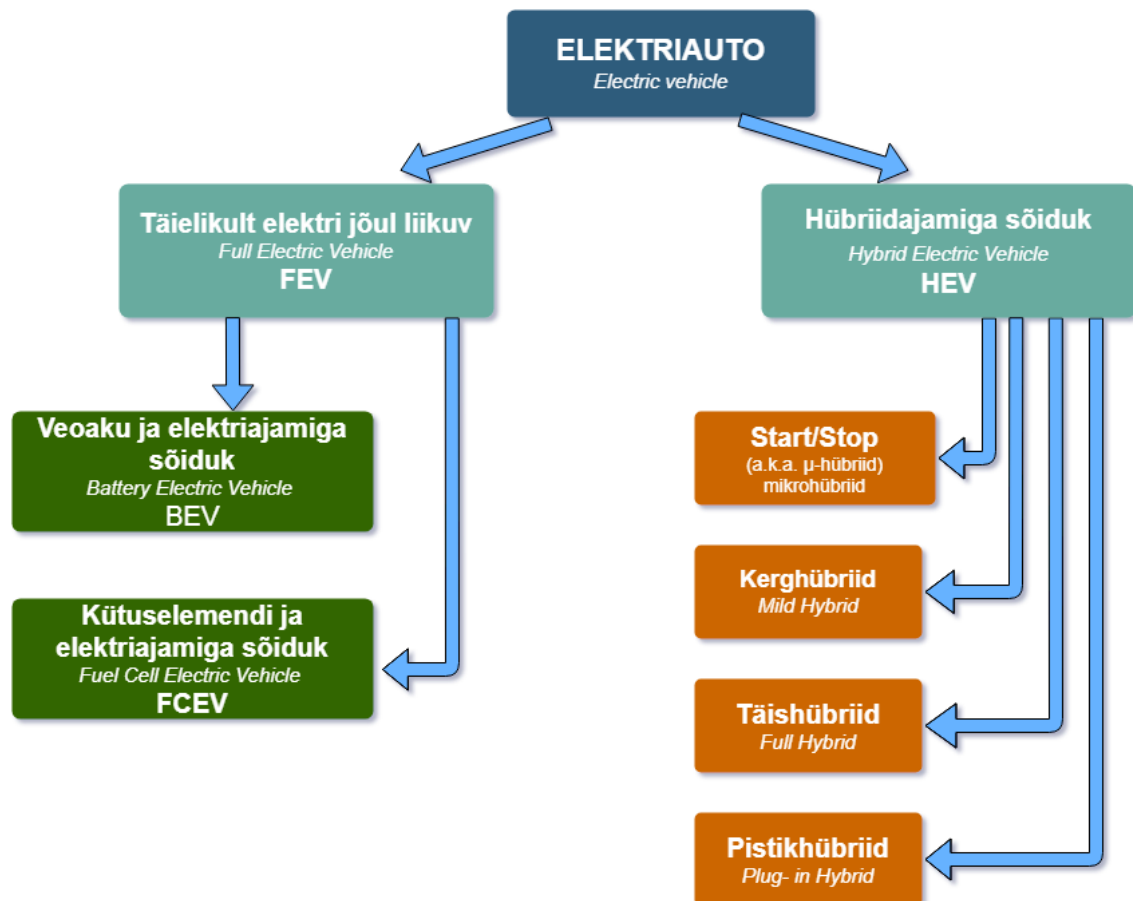
Joonis 1. Elektriautode jagunemine Eestis kütusekombinatsiooni järgi. (Transpordiamet, 2023)

Joonisel 2 on välja toodud, kui palju on registreeritud elektrisõidukeid vastavalt kütusekominatsioonile ja nende vanused. Nende andmete põhjal joonistub välja, et Eestis on elektriautode soetamise arv ainult tõusuteel, kuna autode keskmine vanus varieerub 3-4 aasta vahel.



Joonis 2. Elektriautode vanuseline jagunemine kütusekombinatsooni põhjal. Autori töödeldud. (Transpordiamet, 2023)

Elektriautode tüüpide osas on inimeste ostetav valik palju suurem kui ainult akutoitel. Tänapäeval on leitavad mitmeid erinevaid elektriautode tüüpe, sealhulgas valikuid, mis põhinevad kütuseelementidel või kombineerivad bensiinimootorit hübriid- ja pistikhübriidides. Nad jagunevad kaheks peamiseks liigiks: täielikult elektri jõul liikuv, millel on kaks alamliiki või hübriidajamiga sõiduk, millel on neli alamliiki (joonis 3).



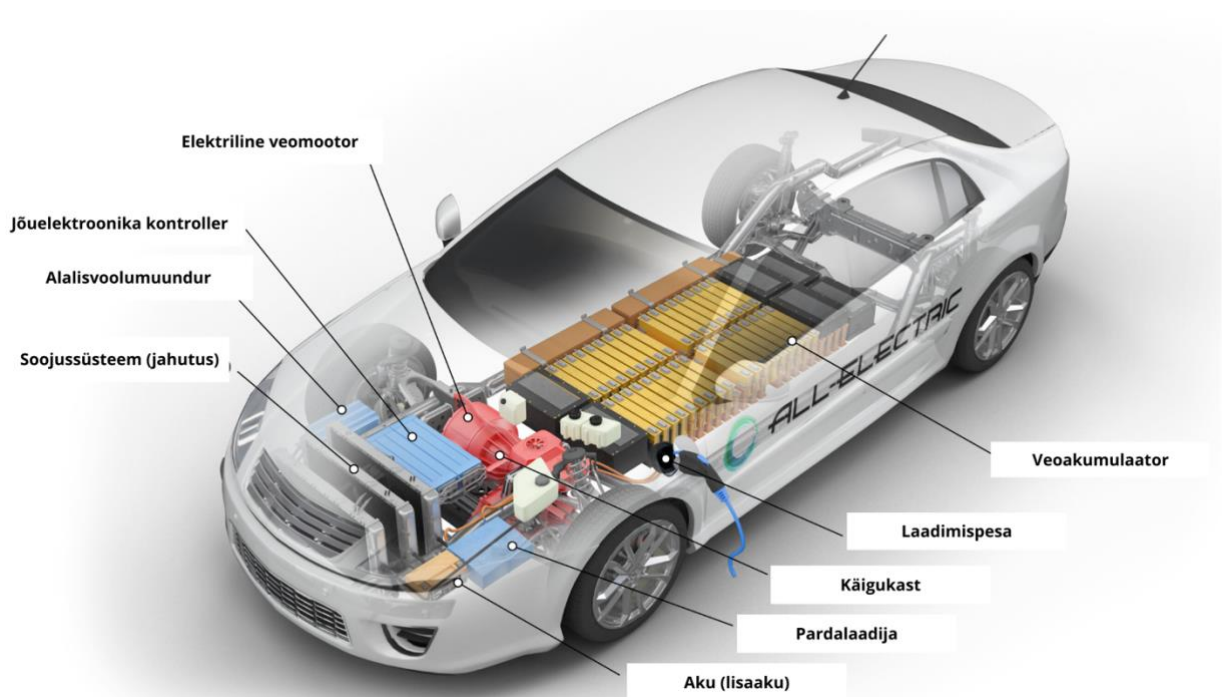
Joonis 3. Elektriautode jagunemine. (Auväart, n.d.)

Täiselektrilistel sõidukitel on laetavad akud ja millel puudub bensiinimootor. Kogu sõiduki käitamiseks vajalik energia pärineb akupaketist, mida laetakse elektrivõrgust. Sõidukid on heitevabad, sest nad ei tekita kahjulikke heitgaase ega õhusaasteohtu, mida traditsioonilised bensiinimootoriga sõidukid tekitavad, seetõttu ei oma nad ka tüüpilisi vedelkütuse komponente, nagu kütusepump, kütusetorustik või kütusepaak. (EVgo, n.d.)

Võtmekomponendid elektriautol (joonis 4):

- Elektriline veomootor: See mootor ajab sõiduki rattaid ringi veoakust saadava energiaga.

- Jõuelektroonika kontrollerr: See seade juhhib veoakust saadud elektrienergia voolu, reguleerides elektrilise veomootori kiirust ja selle toodetud pöördemomenti.
- Alalisvoolumuundur: See seade muundab veoakust pärit kõrgema pingega alalisvoolu madalama pingega alalisvooluks, mis on vajalik sõiduki lisaseadmete käitamiseks ja lisaaku laadimiseks.
- Soojussüsteem (jahutus): Süsteem hoiab mootori, elektrimootori, jõuelektroonika ja muude komponentide nõuetekohase töötemperatuuri.
- Veoakumulaator: Salvestab energiat elektrilise veomootori tarbeks.
- Laadimispesa: Võimaldab sõiduki ühendamist välise toiteallikaga, et laadida veoakut.
- Käigukast: Käigukast edastab elektrilise veomootori mehaanilise jõu rataste liikuma panemiseks.
- Aku (lisaaku): Võtab laadimispesa kaudu sissetuleva vahelduvvoolu ja muundab selle alalisvooluks, et laadida veoakumulaatorit. Samuti suhtleb laadimiseseadmetega ja jälgib aku laadimise ajal aku omadusi, nagu pinge, vool, temperatuur ja laadimisseisund. (U.S department of energy, n.d.-d)



Joonis 4. Täiselektriauto ehitus. Pilt tõlgitud töö autori poolt. (U.S department of energy, n.d.-d)

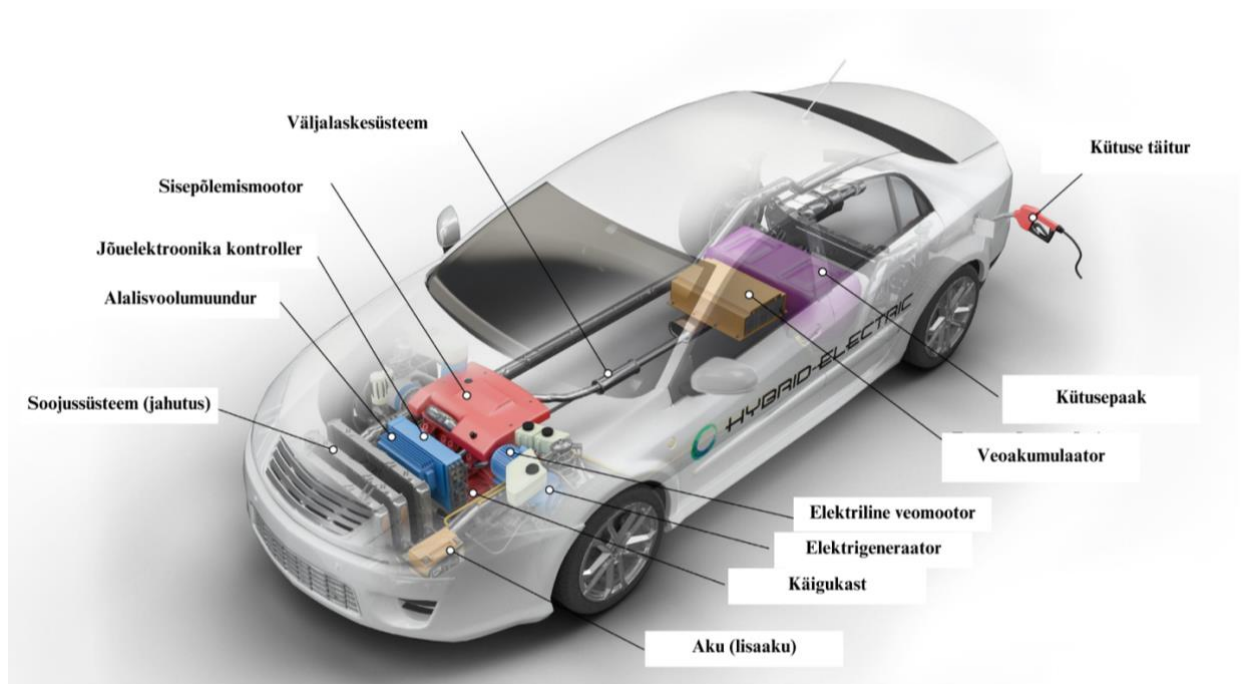
Tänapäeva hübriidelektrisõidukite (*hybrid electric vehicle*) jõuallikaks on sisepõlemismootor koos ühe või mitme elektrimootoriga, mis kasutavad akudesse salvestatud energiat. Hübriidelektrisõidukid ühendavad endas suure kütusesäästu ja madala heitgaasiheitega eelised ning tavapäraste sõidukite võimsuse ja ulatuse. (U.S department of energy, n.d.-b)

Kogu energia aku jaoks saadakse regeneratiivse pidurdamise kaudu, mis taastab pidurdamisel muidu kaduma läinud energia, et kiirendamisel bensiinimootorit aidata. Traditsioonilises sisepõlemismootoriga sõidukis läheb see pidurdusenergia tavaliselt piduriklotside ja -rootorite soojusena kaduma. Tavalisi hübriidautosid ei saa laadimiseks vooluvõrku ühendada. (EVgo, n.d.)

Võtmekomponendid hübriidelektriautol (joonis 5):

- Väljalaskesüsteem: Väljalaskesüsteem suunab mootorist väljuvad heitgaasid läbi väljalasketoru. Kolmekäiguline katalüsaator on ette nähtud mootori väljalaske heitgaaside vähendamiseks heitgaasisüsteemis.
- Sisepõlemismootor (sadesüütega): Kütus süstitakse kas sisselaskekollektorisse või põlemiskambrisse, kus see ühendatakse õhuga, ning õhu ja kütuse segu süüdatakse süüteküünla sädemega.
- Jõuelektroonika kontrolleri: See seade juhib veoakust saadud elektrienergia voolu, reguleerides elektrilise veomootori kiirust ja selle toodetud pöördemomenti.
- Alalisvoolumuundur: See seade muundab veoakust pärit kõrgema pingega alalisvoolu voolu madalama pingega alalisvooluks, mis on vajalik sõiduki lisaseadmete käitamiseks ja lisaaku laadimiseks.
- Soojussüsteem (jahutus): See süsteem hoiab mootori, elektrimootori, jõuelektroonika ja muude komponentide nõuetekohase töötemperatuuri.
- Kütuse täitur: Kütusemahuti otsik kinnitub sõiduki mahuti külge, et täita paaki.
- Kütusepaak (bensiin): See paak säilitab bensiini sõiduki pardal, kuni mootor vajab seda.
- Veoakumulaator: Salvestab energiat elektrilise veomootori tarbeks.

- Elektriline veomootor: See mootor ajab sõiduki rattaid veoakust saadava energiaga. Mõned sõidukid kasutavad mootorigeneraatoreid, mis täidavad nii sõidu- kui ka regenereerimisfunktsiooni.
- Elektrigeneraator: Genereerib pidurdamise ajal pöörlevate rataste elektrienergiat, mis kantakse tagasi veoakusse. Mõned sõidukid kasutavad mootorigeneraatoreid, mis täidavad nii sõidu- kui ka regenereerimisfunktsiooni.
- Käigukast: Käigukast edastab mehaanilist jõudu mootorist ja/või elektrilisest veomootorist rataste käitamiseks.
- Aku (lisaaku): Elektrilise ajamiga sõidukis annab madalpinge abiauto elektrit auto käivitamiseks enne veoaku käivitamist; see varustab ka sõiduki lisaseadmeid. (U.S department of energy, n.d.-c)



Joonis 5. Hübriidelektrisõiduki ehitus. Pilt on tõlgitud töö autori poolt. (U.S department of energy, n.d.-c)

Pistikhübriid elektriautodel (*plug-in hybrid electric vehicles*) (vaata pilt 5) on auto liikuma panemiseks nii mootor kui ka elektrimootor. Nagu tavalised hübriidautod, saavad nad akut laadida regeneratiivse pidurdamise abil. Nad erinevad tavalistest hübriidautodest selle poolest, et neil on palju suurem aku ja neid saab laadida elektrivõrgust. Kui tavalised hübriidautod võivad (madalal

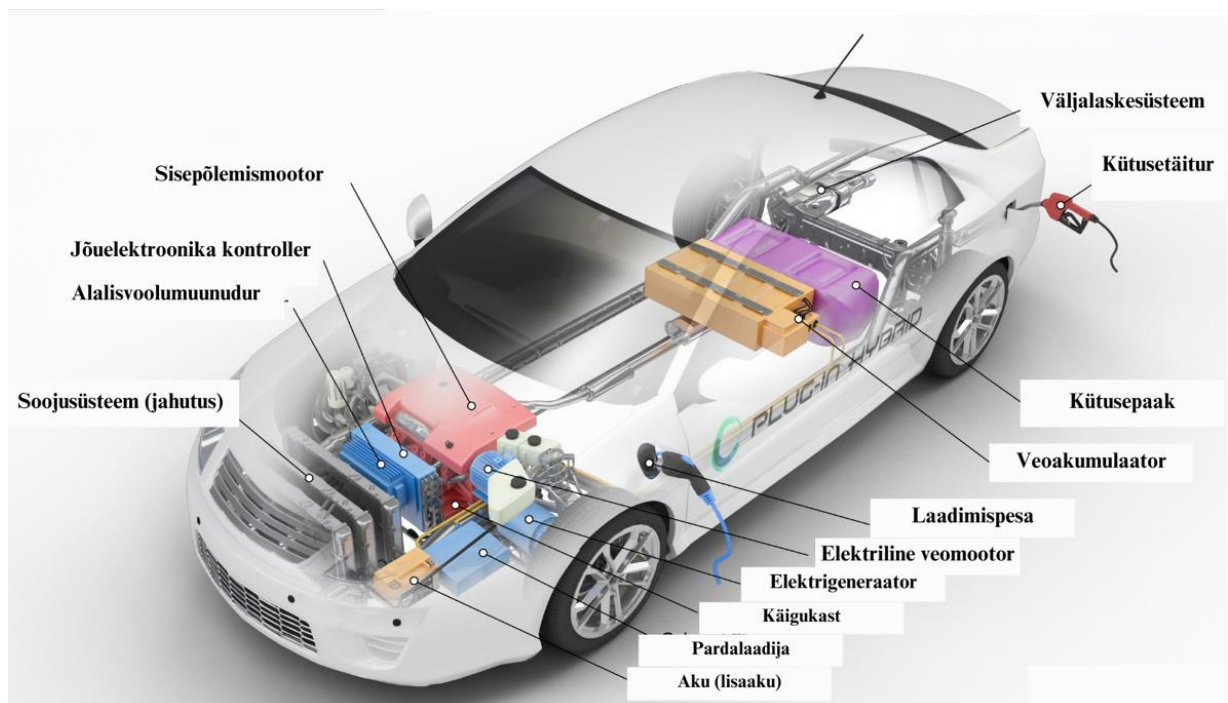
kiirusel) läbida 1-2 miili, enne kui bensiinimootor sisse lülitub, siis pistikhübriidid võivad läbida 10-40 miili, enne kui nende bensiinimootorid abi annavad. Kui täielikult elektriline võimsus on ammendunud, toimivad pistikhübriidid nagu tavalised hübriidautod ja võivad ühe bensiinipaagiga läbida mitusada miili. (EVgo, n.d.)

Pistikhübriidid laiendavad standardse hübriidsõiduki kontseptsiooni. Neil on nii sisepõlemismootor kui ka akutoitel elektrimootor. See võimaldab akul salvestada piisavalt energiat, et toita elektrimootorit ja omakorda vähendada gaasitarbimist kuni 60%. See võib säästa aega ja raha bensiinipumba juures. (Lee, 2021)

Võtmekomponendid pistikhübriid elektrisõidukil (joonis 6):

- Sisepõlemismootor (sädesüütega): Kütus süstitakse kas sisselaskekollektorisse või põlemiskambrisse, kus see ühendatakse õhuga, ning õhu ja kütuse segu süüdatakse süüteküünla sädemega.
- Jõuelektroonika kontrolleri: See seade juhib veoakust saadud elektrienergia voolu, reguleerides elektrilise veomootori kiirust ja selle toodetud pöördemomenti.
- Alalisvoolumuundur: See seade muundab veoakust pärit kõrgema pingega alalisvoolu voolu madalama pingega alalisvooluks, mis on vajalik sõiduki lisaseadmete käitamiseks ja lisaaku laadimiseks.
- Soojussüsteem (jahutus): See süsteem hoiab mootori, elektrimootori, jõuelektroonika ja muude komponentide nõuetekohase töötemperatuuri.
- Väljalaskesüsteem: Väljalaskesüsteem suunab mootorist väljuvad heitgaasid läbi väljalasketoru. Kolmekäiguline katalüsaator on ette nähtud mootori väljalaske heitgaaside vähendamiseks heitgaasisüsteemis.
- Kütuse täitur: Kütusemahuti otsik kinnitub sõiduki mahuti külge, et täita paaki.
- Kütusepaak (bensiin): See paak säilitab bensiini sõiduki pardal, kuni mootor vajab seda.
- Veoakumulaator: Salvestab energiat elektrilise veomootori tarbeks.
- Laadimispesa: Laadimispesa võimaldab sõiduki ühendamist välise toiteallikaga, et laadida veoakut.

- Elektriline veomootor: See mootor ajab sõiduki rattaid veoakust saadava energiaga. Mõned sõidukid kasutavad mootorigeneraatoreid, mis täidavad nii sõidu- kui ka regenereerimisfunktsiooni.
- Elektrigeneraator: Genereerib pidurdamise ajal pöörlevate rataste elektrienergiat, mis kantakse tagasi veoakusse. Mõned sõidukid kasutavad mootorigeneraatoreid, mis täidavad nii sõidu- kui ka regenereerimisfunktsiooni.
- Käigukast: Käigukast edastab mehaanilist jõudu mootorist ja/või elektrilisest veomootorist rataste käitamiseks.
- Pardalaadija: Võtab laadimispesa kaudu sissetuleva vahelduvvoolu ja muundab selle alalisvooluks, et laadida veoakut. Samuti suhtleb laadimisseadmetega ja jälgib aku laadimise ajal aku omadusi, nagu pinge, vool, temperatuur ja laadimisseisund.
- Aku (lisaaku): Elektrilise ajamiga sõidukis annab madalpinge abiauto elektrit auto käivitamiseks enne veoaku käivitamist; see varustab ka sõiduki lisaseadmeid. (U.S department of energy, n.d.-e)



Joonis 6. Pistikhübrid sõiduki ehitus. Pilt on tõlgitud töö autori poolt. (U.S department of energy, n.d.-e)

2 Liitiumioonaku

Liitiumioonakud on kõige sobivam olemasolev tehnoloogia elektrisõidukite jaoks, sest nad suudavad anda suurt energiat ja võimsust aku massiühiku kohta, mis võimaldab neil olla kergemad ja väiksemad kui muud akud. Need omadused selgitavad ka seda, miks liitiumioonakusid kasutatakse juba laialdaselt tarbeelektronikas, näiteks mobiiltelefonides, sülearvutites, digitaalkaamerates/videokaamerates ja kaasaskantavates heli-/mängumängijates. Muud liitiumioonakude eelised akude eelised võrreldes plii- ja nikkel-metallhüdriidakudega on kõrge energiatõhusus, mälu efektide puudumine ja suhteliselt pikk töötsükli kestus. (Lowe et al., 2010)

Liitium-ioon aku sai alguse 1970. aastatel, kui Briti keemik Michael Stanley Whittingham tegi ettepaneku luua liitiumelemente kasutav energiasalvestusseade. Esimesed liitiumpatareid kasutasid liitium- ja titaan(IV)sulfiidmetalle, mis küll töökorras olid ebapraktilised titaan(IV)sulfiidi kallite tootmiskulude tõttu (70ndatel maksid titaansulfiidmetallid umbes 1000 dollarit), rääkimata selle mürgistest kõrvalsaadustest vesiniksulfiidühenditega kokkupuutel. (Johnson, 2019)

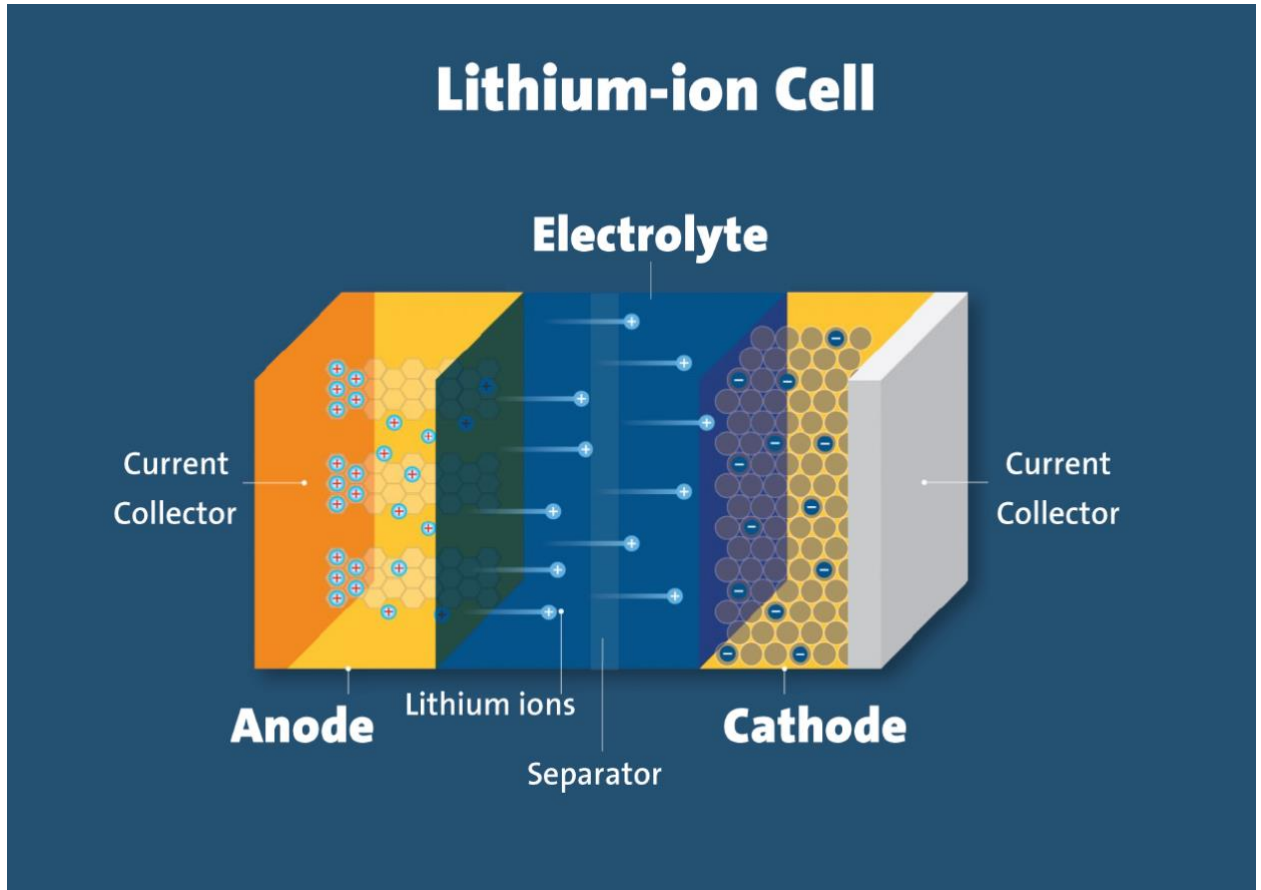
Enamiku 70ndate ja 80ndate aastate jooksul olid erinevad teadlased ja insenerid liitiumaku teerajajaks ja täiustajateks. 1979. aastal lõid ja täiustasid teadlased John Goodenough, Ned A. Godshall ja Koichi Mizushima eraldi katsetel liitiumkoobaltdioksiidi ehk LiCoO_2 . See aku sillutas teed uudsetele laetavatele akudele, millest sai 1985. aastal liitiumioonaku väljatöötamise alus, kui Akira Yoshino pani kokku prototüüpaku, mis kasutas aku elektroodidena nii liitiumiiooni kui ka liitiumkoobaltdioksiidi. (Johnson, 2019)

1991. aastaks alustasid Jaapani ettevõtted Asahi Kasei ja Sony liitiumioonakude masstootmist ja rakendamist paljudele oma elektroonikatoodetele, kusjuures rohkem teadlasi ja insenere on tehnoloogiat täiustanud 90ndatel ja veel tänapäevalgi. 2019. aastal pälvisid teadlased Stanley Whittingham, Akira Yoshino ja John Goodenough Nobeli keemiaauhinna, just nimelt nende töö eest liitiumioonakude arendamisel. (Johnson, 2019)

2.1 Liitiumioonaku ehitus

Liitiumioonaku on laetav aku, milles liitiumioonid liiguvad anoodi ja katoodi vahel, tekitades vastavas elektroonikarakendustes kasutatava elektrivoo. Tühjenemistsükli käigus anoodis olev liitium ioniseerub ja eraldub elektrolüütidesse. Liitiumioonid liiguvad läbi poorse plastseparaatori

ja sisestuvad katoodis olevatesse aatomi suurusega aukudesse. Samal ajal vabanevad elektronid anoodist. See muutub elektrivooluks, mis liigub väljapoole elektriahelat. Kui toimub laadimine, siis liitiumioonid lähevad katoodist anoodi läbi separaatori (joonis 7) Kuna tegemist on pöörduva keemilise reaktsiooniga, saab akut uuesti laadida. (Lowe et al., 2010)



Joonis 7. Liitumioonelement. Pilt on tõlgitud töö autori poolt. (Electrochemical Safety Research Institute, 2021)

Akud on oma kasutusviiside poolest spetsiifilised ja üks tüüp ei sobi kõikidele eesmärkidele. Probleemid tekivad näiteks siis, kui üksikuid akusid kombineeritakse suuremates akusüsteemides. Suuremate kombinatsioonide puhul on vaja jahutust, et vältida ülekuumenemisest tingitud kuumuspunkte ja eluea halvenemist. Samuti on ohutuse tagamiseks vajalik termiline kontroll. (Väyrynen & Salminen, 2012)

2.2 Liitiumioonaku kasutusalad

Liitiumioonakud on saavutanud märkimisväärse tähtsuse mitmesugustes rakendustes tänu nende kõrgele energiatihedusele, pikaajalisele tsüklilisele elule, kiirele laadimisvõimele ja väikesele suurusele ning massile. Nende aku omaduste kombinatsioon teeb neist sobiva valiku

mitmesugusteks kasutusalaadeks alates mobiilseadmetest ja elektriautodest kuni taastuenergia salvestamiseni.

Lisaks elektriautodele kasutatakse liitiumioonakusid ka paljudes teistes igapäevastes vahendites, nagu näiteks:

- Südamestimulaatorid – Taaslaetavad liitumpatareid on muutunud südamestimulaatorites tavaliseks, sest nendel on pikk kasutusiga. Stimulaatorite tüüpiline eluiga on seitse kuni kaheksa aastat ja need kaaluvad sageli vähem kui 30 grammi.
- Nutitelefonid ja sülearvutid – Liitiumioonakud on telefonide, sülearvutite ja muude elektroonikaseadmete puhul väga populaarseks muutunud. Need on väga vastupidavad, suur energiatihedus, kergemad kui enamik akutüüpe, laadimine on lihtne ja kiire.
- Päikeseenergia salvestamine – Päikeseenergia on midagi, millele maailm soovib üha enam toetuda. Ainuüksi Ameerika Ühendriikides prognoositakse, et 2050. aastaks katab päikeseenergia 20% riigi energiavajadusest. Liitiumioonakud on ideaalsed energia salvestamiseks ja neid saab kasutada päikesepaneelide toodetud liigse energia salvestamiseks.
- Valve- ja häiresüsteemid – Liitiumioonakusid saab kasutada erinevate valvetsüsteemide jaoks, mis asuvad kaugetes või raskesti ligipääsevates kohtades, kus puudub juurdepääs elektrivõrgule. (Murden, 2022)

2.3 Liitiumioonaku keskkonnamõjud (ohutus)

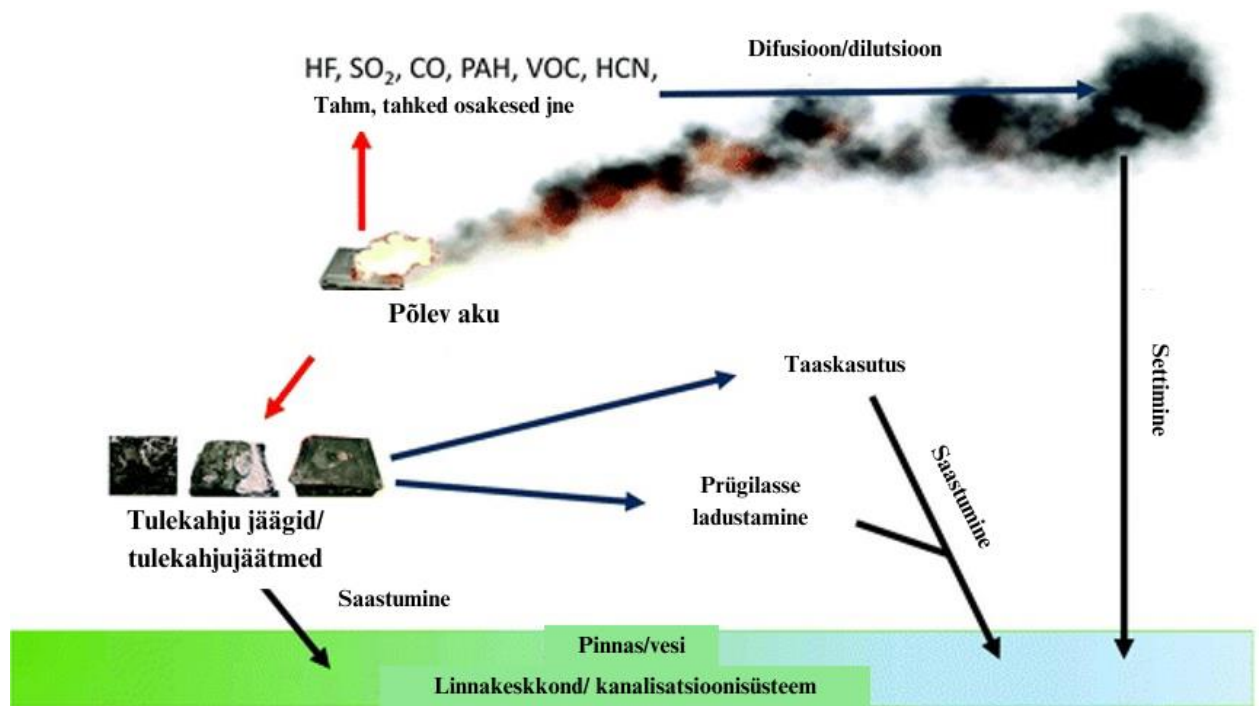
Liitiumioonaku tootmiseks on vaja kriitilisi tooraineid, nagu liitium, nikkel, koobalt ja grafiit. Tooraine nõudlus koormab loodusvarasid ja suurendab kaevandamisega seotud keskkonnaprobleeme. Kuna põhiliste metallide, näiteks vase ja nikli maagikogused vähenevad, on keskkonnamõju piiramiseks oluline, et tootmisprotsesside eel- ja järeltegevused oleksid väga tõhusad ning et lisaks sellele kasutataks vähe süsinikdioksiidiheiteid tekitavaid energiaallikaid. Lisaks tooraine kaevandamise keskkonnaprobleemidele tekitavad tootjatele probleeme ka tarneahela kitsaskohad. (Gutsch & Leker, 2024)

Maailma liitium on praegu pärit kahest peamisest geoloogilisest allikast: liitiumiga rikastatud soolvetest, mis asuvad peamiselt Lõuna-Ameerika soolajärvedes ja liitiumpegmatiitidest

(ebatavaline graniitne kivim, mis on rikastatud mitmete haruldaste metallide poolest). Liitiumpegmatiite kaevandatakse mitmel pool Austraalias, Kanadas, Hiinas ja Zimbabwes, kuid neid on teadaolevalt olemas kogu maailmas. (British Geological Survey, 2021)

Elektrisõidukite toiteallikaks olevate liitium-ioonakude tootmine põhjustab rohkem süsinikdioksiidi heitkoguseid kui bensiinimootoriga autode tootmine ja nende kasutusest kõrvaldamine nende elutsükli lõpus on kasvav keskkonnaprobleem, kuna maailma teedel on üha rohkem elektrisõidukeid. Ligikaudu 40 protsenti liitiumioonakude tootmisest tulenevast kliimamõjust tuleneb vajalike mineraalide kaevandamisest ja töötlemisest. Akumaterjalide kaevandamine ja rafineerimine ning elementide, moodulite ja akupakettide tootmine nõuab märkimisväärses koguses energiat, mis tekitab kasvuhoonegaase. Hiina, mis domineerib maailma elektrisõidukite akude tarneahelas, saab peaaegu 60 protsenti oma elektrist kivisöest, mis on kasvuhoonegaase tekitav kütus. *Wall Street Journali* andmetel on liitiumioonakude kaevandamine ja tootmine kliima jaoks halvemad kui fossiilkütusel kasutatavate sõidukite akude tootmine. Keskmise liitiumioonaku tootmine kasutab tavaakuga võrreldes kolm korda rohkem kumulatiivset energiavajadust. (Institute for Energy Research, 2023)

Liitiumioonakuga seotud intsidendid on enamasti keskendunud tulekahjudele ja mürgiste gaaside eraldumisele. Lisaks ohule, mida need endast kujutavad esmareageerijatele ja pealtvaatajatele näiteks liiklusõnnetuse korral, on olemas ka selliste tulekahjude keskkonnamõju laiem spekter. Lisaks kuumusele, tulekahjule või mürgisele ja potentsiaalselt plahvatusohtlikule aurupilvele on võimalik ka ainete õhuvedu ja aja jooksul nende ladestumine teistes, kaugemates kohtades. Lähikäikude mõjutavad ka tulekahjujäätmekäitumise, saasteainete transport tulekustutusvahenditega ja põlenud rümbast allesjäänud saasteainete vabanemine - sõltuvalt kõrvaldamise tüübist ja kohast (joonis 8). (Mrozik et al., 2021)



Joonis 8. Põleva liitiumioonaku heitekoguste levikuteekond. Pilt on autori tõlgitud. (Mrozik et al., 2021)

3 Elektriautode transport

Elektriautode kiire levik ja tehnoloogilised edusammud on viinud vajaduseni kaasaegsete ja kohandatud õigusaktide järele, mis reguleeriksid nende vedamist ja kasutamist. Elektriautod moodustavad olulise osa üleminekust fossiilkütustelt taastuvatele energiaallikatele ning seetõttu on oluline tagada nende ohutu ja efektiivne kasutamine ja vedamine. Elektriautode vedamist reguleerivate õigusaktide mõistmine on oluline, et toetada jätkusuutlikku ja keskkonnasõbralikku transpordisüsteemi ning tagada sellega seotud õiguste ja kohustuste selgus ning turvalisus.

3.1 Transporti reguleerivad õigusaktid

3.1.1 Rahvusvaheline konventsioon inimeste ohutusest merel

Rahvusvaheline konventsiooni inimeste ohutusest merel (i.k. *Safety Of Life at Sea* – SOLAS) on üks olulisemaid rahvusvahelisi konventsioone. SOLAS-konventsiooni peamine eesmärk on määrata kindlaks laevade ehitamise, varustuse ja käitamise miinimumnõuded, mis on kooskõlas nende ohutusega. Lipuriigid vastutavad selle eest, et nende lipu all sõitvad laevad vastaksid konventsiooni nõuetele ning konventsioonis on ette nähtud mitmeid sertifikaate, mis tõendavad, et seda on tehtud. (International Maritime Organization, n.d.-a)

See konventsioon kehtestati esmakordselt 1914. aastal peale Titanicu katastroofi ja on sellest ajast alates teinud läbi mitmeid muudatusi ja täiendusi, et vastata pidevalt muutuvatele ohutustandarditele ja tehnoloogilistele edusammudele. (International Maritime Organization, n.d.-a)

Elektriautodele kohanduvad peatükid:

- Peatükk 2.2 - Tulekaitse, tulekahju avastamine ja tulekahju kustutamine, see osa sisaldab üksikasjalikke tuleohutust käsitlevaid sätteid kõikide laevade kohta ning erimeetmeid reisi-, kauba- ja tankerite kohta. (International Maritime Organization, n.d.-a)
- Peatükk 6 – Lasti vedu, see hõlmab endas kõiki lastiliike (välja arvatud vedelikud ja gaasid lahtiselt), mis võivad oma erilise ohtlikkuse tõttu laevadele või pardal viibivatele isikutele nõuda erilisi ettevaatusabinõusid. (International Maritime Organization, n.d.-a)

3.1.2 Rahvusvaheline ohtlike kaupade mereveo koodeks

Rahvusvaheline ohtlike kaupade mereveo koodeks (i.k. *the International Maritime Dangerous Goods Code* – IMDG code) töötati välja pakendatud ohtlike kaupade meretranspordi rahvusvahelise koodeksina, et tõhustada ja ühtlustada ohtlike kaupade ohutut vedu ning vältida keskkonna saastamist. Koodeksis on üksikasjalikult sätestatud iga üksiku aine, materjali või eseme suhtes kohaldatavad nõuded, mis hõlmavad selliseid küsimusi nagu pakendamine, konteinerite liikumine ja lastimine, pöörates erilist tähelepanu kokkusobimatute ainete eraldamisele. (International Maritime Organization, n.d.-b)

Eialgu võeti koodeks vastu 1965. aastal soovitusliku dokumendina. 2002. aastal võttis peaassamblee oma seitsmeteistkümnendal istungjärgul resolutsiooniga A.716(17) vastu IMDG koodeksi ja otsustas anda sellele alates 1. jaanuarist 2004 SOLAS konventsiooni raames kohustusliku staatuse. Mõned koodeksi osad jäävad siiski soovituslikuks. (International Maritime Organization, n.d.-b)

Koodeksil on 9 klassi, mille järgi klassifitseeritakse erinevad ohtlikud kaubad. Number 1 on lõhkeained on kõige tõsisemad ained ja number 9 on pealkirjaga "mitmesugused ohtlikud ained ja tooted" ja on selle nimekirja kõige kergema tõsidusega. Elektriautode liitiumioonakud on klassifitseeritud number üheksaga. (International Maritime Organization, n.d.-b)

IMDG koodi 2.9.2 kohaselt tuleb elektriautod klassifitseerida UN 3171, mis on akutoitel töötav sõiduk või akutoitel töötav seade ja ülejäänud alternatiivkütustel sõitvad autod klassifitseerida UN 3166, mis on sõiduk, tuleohtliku gaasiga töötav või sõiduk, tuleohtliku vedelikuga töötav või sõiduk, tuleohtliku gaasiga töötav või sõiduk, tuleohtliku vedelikuga töötav. Nendele kehtib erisäte number 961 ja 962. Sõidukid, mis ei vasta 961 erisätte tingimustele liigitatakse 9. klassi ja peab vastama 962 nõuetele. (European Maritime Safety Agency, 2022)

Hellenic Shipping news ajalehes avaldati artikkel 22. juunil 2023, milles tuuakse välja, et antud klassifikatsioonide põhimõtted on ajas vananenud ja tuleks kindlasti üle vaadata, kuna liitiumioonakud pole piisavalt ohtlikena klassifitseeritud. Patareide suurus ja energiamahd on sellest ajast, kui see koodeks tehti, alates oluliselt muutunud. (*De-Risking the Carriage of Lithium-Ion Batteries* | *Hellenic Shipping News Worldwide*, 2023)

3.2 Elektriautode vedu laeval

Uut tüüpi lasti ja uudsed transpordiviisid võivad kaasa tuua uusi riske. Need riskid tuleks alati õigesti tuvastada, hinnata ja maandada nii madalaks kui mõistlikult võimalik. See on eriti oluline,

kui on muret, et neid riske ei pruugita olemasolevate regulatiivsete standardite ja tööstusharu suuniste abil piisavalt käsitleda. Sellistel juhtudel võib vedajatel olla vajalik kaaluda täiendavate ohutusmeetmete ja kontrollide rakendamist tuvastatud riskide vähendamiseks kuni täiendava teabe, teadmiste, kogemuste ja statistiliste andmete saamiseni.

Elektrisõidukid on klassifitseeritud IMDG koodi 9. klassi kaubaks, mis tähendab, et elektrisõidukeid vedavate konteinerite ja muid IMDG klasse vedavate konteinereid ei ole vaja eraldada. See võib kujutada endast tõsist ohtu, kui elektrisõidukeid laaditakse kõrvuti teiste IMDG veostega, nagu IMDG klass 2 “gaasid” või IMDG klass 3 “süttivad vedelikud”. Elektrisõidukeid vedavad konteinerid on soovitatav paigutada konteineritest, mis veavad muud IMDG lasti, eraldi. (Steamship mutual, 2023)

Euroopa meresõiduohutuse amet on välja töötanud juhised alternatiivkütusel töötavate sõidukite ohutuks veoks kauba- ja reisilaevade ro-ro-ruumides. IMDG koodi 2.9.4 alusel tuleb tuvastada, kas sõidukisse paigaldatud liitiumioonaku on kahjustatud või defektne, kui jah, siis tuleb antud aku eemaldada. Kui akut eemaldada ei tohi sõidukit transpordiks vastu võtta. Kui leitakse, et elektriauto on kahjustatud, aga on ebaselge, kas aku on samuti kahjustatud, siis tuleb antud punkti rakendada ja sõidukit mitte transportida. (European Maritime Safety Agency, 2022)

Elektriautod on eeldatavasti keskmiselt 25% raskemad kui tavalised sõidukid, seetõttu tuleb teha asjakohased kaalutlused seoses piirangute ja stabiilsusarvutustega. Teave kütuse- või energiavarustuse kohta tuleb esitada broneerimisel ja võimalusel kinnitada registreerimisel. Meeskond peaks olema võimeline esitatud teabe põhjal kiiresti kindlaks tegema, millist tüüpi alternatiivkütuse sõidukit kasutatakse. Laeval tuleks sõidukid paigutada nii, et laevameeskonnal on ligipääs autole, kui tehakse ringkäike laevareisi ajal. Laevaliikmed, kes teevad ringkäike, peaksid olema kursis elektriautode põhiomaduste ja ohutusaspektidega. Lisaks ei tohiks sõidukit paigutada ka ruumi, kus toimuvad remonditööd, eriti, kui toimuvad tööd, mis hõlmavad endas lahtise tulega töötamist. Ro-ro reisilaevade pardal ei tohi lubada laadimist, välja arvatud juhul, kui laevaoperaator viib läbi põhjaliku riskianalüüsi ning kiidab heaks ja rakendab asjakohased riskikontrollimeetmed. (European Maritime Safety Agency, 2022)

Rahvusvaheline Merekindlustusliit (i.k. International Union of Marine Insurance - IUMI) tunnistab, et elektriautode vedu sisaldab erinevaid riske võrreldes sisepõlemismootoriga sõidukitega, kuid uuringud näitavad, et need riskid ei ole suuremad. Rahvusvaheline Merekindlustusliit toetab täiustatud tulekahju avastamis- ja kustutussüsteeme, mis on kohandatud erinevatele laevatüüpidele. ELi projekti LASHFIRE raames läbi viidud uuringud näitavad, et

elektrisõidukite tulekahjud ei ole tõsisemad kui sisepõlemisautode tulekahjud, kusjuures sarnased toksiinid eralduvad ja suurem osa tulekahjuenergiast pärineb nii sõidukite kui ka sisepõlemismootoriga autode puhul ühistest plastmassidest.

Liitiumioonakud võivad aga termiliselt üle kuumeneda, mistõttu on vaja erinevaid tulekahju avastamis- ja reageerimismeetmeid. Selliste tulekahjude ohjeldamiseks on väga oluline tulekustutussüsteemide viivitamatu kasutuselevõtt.

Kuigi elektritulekahjud ei ole sagedasemad ega intensiivsemad kui sisepõlemismootoriga autode tulekahjud, peab merendussektor jätkuvalt kohanema uute ohtudega. Traditsiooniliste kütustega seotud riskide mõistmine ja leevendamine on aja jooksul saavutatud ning samasugune lähenemisviis on vajalik ka liitiumioonakude puhul. Teaduslikud tõendid on olulised tõhusate riskide vähendamise strateegiate väljatöötamiseks. (Schuler, 2023)

3.3 Liitiumioonaku põhjustatud õnnetused

Liitiumioonakude kasutamine elektriautode jõuallikana on toonud kaasa mitmeid positiivseid arenguid sõidukite energiatõhususes ja keskkonnasõbraikkuses. Siiski kaasnevad nende akudega ka mitmed potentsiaalsed riskid seoses nende ohutusega transpordi ajal. Arvestades liitiumioonakude spetsiifilisi omadusi, nagu kõrge energiatihedus ja tundlikkus temperatuuri muutustele, on oluline mõista nende potentsiaalseid ohtusid meretranspordi käigus.

24. detsembril 2023 kell 4.40 hommikul teatati tulekahjust Genius XI laeva lastiruumis. Laeva lastiks olid liitiumioonakud. Laevameeskonna kiire töö tulemusena suudeti tulekahju levikut piirata. Meretõrje ekspertide meeskond saabus laevale järgmisel päeval, et hinnata laeva seisukorda. Nad ei tuvastanud väljaspool antud lastiruumi mingeid märke struktuuride deformeerumisest. Päästemeeskonna järelduste põhjal suunati laev ankrupaika ohutusse kohta Alaska, Dutch Harbor lähedusse. Seal on võimalik hoida laev stabiilsena, minimeerides tulekahju uuesti puhkemise riski. Rannavalve andis välja uue korralduse, millega suunati laeva jääma kindlaksmääratud ankrupaika, mis on eemal laevaliiklusest, ja ootama täiendavaid tehnilisi eksperte, kes võiksid kinnitada, et lastiruumi sisenemine on ohutu. Laeva ümbere tehti ühe miili pikkune ohutsoon, et kaitsta veetee kasutajaid ja kohalikku kogukonda. (Blenkey, 2024)

25. juuli 2023 süttis põlema autosid vedav laev nimega The Fremantle Highway, mis on 199 meetrit pikk. Laev vedas umbes 3000 uut autot, millest umbes 500 olid elektrilised sõidukid. Laev

oli teel Saksamaalt Egiptusesse ja Hollandi ranniku läheduses süttis laev. Päästjate sõnul algas tulekahju elektriauto lähedal. Kindlad vastused on veel saamata, kuna uurimine veel alles käib. (The Guardian, 2023)

Tuli levis laeval väga kiirelt, mille tõttu hüppasid mitmed laeva liikmed vette. Päästelaevad pihustasid põleva laeva peale vett, et seda jahutada, kuid liiga palju vett kasutades oli oht, et laev võib uppuda. Ala, kus laeva kustutati, kuulub UNESCO maailmapärandi nimistusse, sest seal on rikkalik mitmekesisus, üle 10000 vee- ja maismaaliigi. Kui laev seal upuks siis oleks see suur katastroof. (The Guardian, 2023)

Laev jõudis sadamasse 3. augustil, peale seda said alata päästetööd, eemaldades autod laevast. Umbes 1000 autot eemaldati autost, enamik näisid olevat ilma kahjustusteta, siis mõned olid selgelt põleda saanud. Vähemalt üks elektriliseks peetav auto süttis laevalt eemaldamise ajal põlema. Kuigi see võib tunduda korras olevat, lastakse see maha teraskonteinerisse ja sinna pritsitakse vett. Seejärel kaetakse see tõrvaplaadiga, et takistada tulekahju hapnikku - see on standardmeetod, mis on aktsepteeritud elektriautode akutulekahjude kustutamisel. (The Maritime Executive, 2023)

4 Metoodika

Elektriautode kasutusele võtt on maailmas ainult suurenemas, kuna inimesed pööravad aina enam tähelepanu keskkonnasõbralikkusele. Sellega koos on ka suurenemas elektriautode vedu laeval, mis toob endaga kaasa mitmeid riske, millest tuleb teadlik olla, nii reisijatel kuid eeskätt laevameeskonnal. Teema kiire arengu tõttu on pidanud laevafirmad kiirelt tegutsema ja välja töötama ohutusnõuded, mis sobivad just nende laevadega ja see kiire tegutsemine võib tuua kaasa ka erinevusi erinevate laevafirmade vahel. Aja arenedes on välja antud erinevate ohutuasutuste poolt vastavaid juhiseid, mille abil laevafirmad saaksid oma tööd efektiivselt teha. Kuid juhised on siiski ainult soovitusel.

4.1 Meetod

Töö autor otsustas läbi viia intervjuud kuna antud lõputöö teema on uus ja selle ümber on väga palju teadmatust ja intervjuu käigus on võimalik saada informatsiooni laevafirmadelt endilt, kuidas nad tegutsevad pidades silmas just antud lõputöö teemat.

Intervjuusid võib liigitada mitmeid moodi, üheks peamiseks on liigitada neid struktuuri alusel:

- Struktureeritud intervjuu
- Poolstruktureeritud intervjuu
- Struktureerimata intervjuu

Struktureeritud intervjuu puhul kasutatakse ankeeti, millel on küsimuste ja väidete vorm ning kindlaks määratud järjekord. (Virkus, 2016)

Poolstruktureeritud intervjuul on teada alateemad, kuid küsimused pole järjestatud ega eelnevalt sõnastatud või küsimused on eelnevalt valmis kirjutatud kuid intervjuueerija otsustab, mida ja millal küsida. (Virkus, 2016)

Struktureerimata intervjuu käigus võib teema muutuda või intervjuueeritava arvamuste ja tunnete kohta küsitakse siis, kui need vestluse käigus loomulikult välja tulevad. Intervjuueerija peab olema väga osav, et suunata vestlus õigele teele. (Virkus, 2016)

Töö autor otsustas kasutada poolstruktureeritud intervjuud, küsimused olid vastajatele ette saadetud, kuid küsimusi võis vahele jätta, kui eelmise vastusega sai ka järgmine küsimus vastatud. Lisaks oli lubatud esitada lisaküsimusi, et sukelduda teemasse sügavamalt.

4.1.1 Valim ja läbiviimine

Intervjuud viidi läbi nelja suurema laevafirmaga, kes tegutsevad Eestis ning Transpordiameti laevade üksuse vaneminspektoriga. Laevafirmadeks olid DFDS, Tallink, Viking Line ja Eckerö Line. Intervjueeritavatele olid küsimused eelnevalt ette saadetud, et nad oleksid valmistunud vastama küsimustele enda jaoks kõige paremini ja andma võimalikult informeeritud vastuseid.

Intervjuu tegemise soovi edastas töö autor ettevõtetele emaili teel. DFDS ja Eckerö Line intervjuud viidi läbi suuliselt *Teams*'i keskkonna vahendusel. DFDS esindasid üldoperatsioonide juht ja klienditeeninduse juht ning Eckerö Line esindaja oli ohutusejuht. Tallink ja Viking Line soovisid vastused anda kirjalikult, kuna intervjuude läbiviimisel ajal oli nende firmades kiired ajad. Tallinki esindaja oli keskkonna- ja jätkusuutlikkuse ametnik ning Viking Line esindaja oli ametilt ohutusjuht. Töö autor viis praktika läbi Transpordiametis, siis oli võimalus teha intervjuu sealse vaneminspektoriga.

Intervjuu (lisa 1) koosnes kaheksast küsimusest, mis olid eelnevalt välja mõeldud töö autori poolt, et saada laevanduse ettevõtetelt vastuseid, mis puudutavad elektriautode vedamise ohutust laeval.

5 Analüüs

Nimetatud peatükis jagas töö autor intervjuul esitatud küsimused kolmeks peatükiks, et neid ühtsemalt käsitleda.

5.1 Turvariskid ja kogemused elektriautode meretranspordil

Elektriautode meretransport toob esile mitmesuguseid riske võrreldes traditsiooniliste sisepõlemismootoriga autode transpordiga. Laevafirmade kogemused näitavad, et peamised murekohad on seotud akude ohutuse ja tuleohutusega. Elektriautode akud võivad olla tuleohtlikud, eriti kui nad on saanud kahjustada, näiteks õnnetuse või löögi tagajärjel. Elektriautosid klassifitseeritakse ohtlike mereveo kaupade koodeksi alusel UN 3171, mis on akutoitel töötav sõiduk või akutoitel töötav seade ja ülejäänud alternatiivkütustel sõitvad autod klassifitseerida UN 3166, mis on sõiduk, tuleohtliku gaasiga töötav või sõiduk, tuleohtliku vedelikuga töötav või sõiduk, tuleohtliku gaasiga töötav või sõiduk, tuleohtliku vedelikuga töötav. Kahjustunud akud võivad süttida ja nende põlemisel eralduvad ohtlikud ja mürgised gaasid, mis võivad laeval viibijate tervist tõsiselt ohustada. Seetõttu on laevandusettevõtted sunnitud võtma kasutusele erilisi ettevaatusabinõusid elektriautode transpordiks.

Laevandusfirmade esindajate intervjuudest saab järeldada, et üldiselt on ettevõtetes tehtud riskianalüüse elektrisõidukite transpordiks ning kehtestatud spetsiaalsed ohutusprotseduurid, nagu näiteks elektriautode märgistamine ja tuleohutuskontrollid. Peamiseks riskiks peetakse kahjustunud akusid, mis võivad süttida ja mille põlemisel eralduvad ohtlikud gaasid. Seetõttu on oluline võtta kasutusele vastavad meetmed, et suudetaks välja sorteerida avariilised elektriautod.

Tehniliselt korras elektriautod ei kujuta endast suuremat riski kui traditsioonilised sisepõlemismootoriga autod. Kuid eriline tähelepanu tuleb pöörata avariiliste või mittetöökorras elektriautode akudele, mis on kõrgendatud turvariskiga. Seetõttu väldivad laevafirmad selliste sõidukite transporti, et ennetada võimalikke ohte. Avariiliste elektrisõidukite mitte pardale võtmine on ka kindlasti klientide seas üks pahameele tekitajaid ning millega tuleb laevandusfirmadel kindlasti igapäevases töös arvestada.

Eelnev kogemus laevafirmadel elektriautode transpordiga on pigem vähene. Kuigi elektriautosid on juba mõnda aega laevadel veetud, on kogemus nende käsitlemisel alles arenemisjärgus. See

tähendab, et pidevalt omandatakse uusi teadmisi ja arendatakse paremaid praktikaid, et tagada ohutu ja tõhus transport.

Elektriautode omanikke ja tootjaid tuleks informeerida antud riskidest, mis kaasnevad elektriautodega ja omanikke tuleks julgustada neid akusid regulaarselt kontrollima ja hooldama. Näiteks on Autohalles elektriautode hoolduse sees kõrgepingeaku kontroll.

Laevandusettevõtted, oma ala spetsialistid erinevatest liitudest, organisatsioonidest ja ühingutest ja elektriautode tootjad peaksid tihedamalt koostööd tegema, et arendada ühtseid standardeid ja parimaid tavasid elektriautode meretranspordiks. Koostöö ja teabevahetus on olulised, et tagada kõigi osapoolte teadlikkus ja valmisolek võimalike riskide ennetamiseks. Ühtsed standardid ja parimad praktikad aitavad ühtlustada protseduure ja vähendada ohtusid, mis võivad tekkida elektriautode meretranspordil.

5.2 Laevaoperatsioonid ja ohutusprotseduurid

Kindlasti oleks elektrisõidukite omanikel huvi laeval laadimise võimaluse osas, kuid üldiselt ei paku laevad elektriautodele laadimisvõimalust, kuna see kujutab endast kõrgendatud riski. Laadimise ajal võivad elektriautod ja nende akud üle kuumeneda või tekkida elektrisüsteemide rike, mis võib viia tulekahjuni. Elektriautod on loodud vähendama heitkoguseid ja fossiilkütuste kasutamist, kuid nende laadimine laeval, seni kuni laevad sõidavad fossiilkütuste baasil, vähendaks nende positiivset keskkonnamõju. Seetõttu ei ole elektriautode laadimine sellistes tingimustes otstarbekas ja kindlasti oleks see suur tulekahju risk.

Elektriautode ohutuse tagamiseks tehakse sageli visuaalseid kontrole, et tuvastada võimalikke kahjustusi enne laeva pardale laadimist. Kahjustamata elektriautosid peetakse üldiselt sama ohutuks kui traditsioonilisi sõidukeid. Samuti järgitakse rangeid ohutusprotseduure, et tagada kõikide sõidukite turvalisus pardal.

Alternatiivsete laadimis võimaluste pakkumine sadamates: Kuna elektriautode laadimine laeva pardal on riskantne, võiksid laevafirmad teha koostööd sadamatega, et pakkuda elektriautodele laadimisvõimalusi sadamates enne ja pärast reisi. See tagaks, et elektriautod saavad vajaliku laengu ohutus ja keskkonnasõbralikus keskkonnas. Antud variant tuleks kindlasti hoolikalt läbi mõelda kuna sadamates on sageli piiratud ruum ja laadijate paigaldamine võib tekitada logistilisi probleeme ja liiklusummikuid, eriti tippaegadel. Kuigi kiirlaadijad suudavad anda suurema laengu

lühikese ajaga, ei toeta kõik elektriautod kiirlaadimist, ning tavaladidjatega võib laadimise aeg osutada liiga pikaks.

Elektrisõidukite teenindamine laevadel hõlmab mitmesuguseid protseduure, mis erinevad olenevalt laevafirmast. Üldiselt ei ole olemas spetsiaalset protseduuri, kuna elektriautod sõidavad pardale ja maha nagu traditsioonilised autod. Siiski on teatud erisused ja ohutusmeetmed, mida tuleb järgida, eriti avariiliste elektriautode puhul.

Erinevate laevafirmade poolt kasutatavad standardid ja protseduurid elektrisõidukite käsitlemisel võivad tõepoolest põhjustada segadust ja ohutusriskide suurenemist. Näiteks kui üks laevafirma järgib ohtlike kaupade mereveo koodeksit, samas kui teine järgib Euroopa Meresõiduohutuse Ameti suuniseid, võivad nende vahel tekkida olulised erinevused ohutusnõuetes ja - protseduurides.

Kui erinevad laevafirmad järgivad erinevaid standardeid, võib see viia ebahühtlase ohutustasemeni. Näiteks võivad ohtlike kaupade mereveo koodeksit järgivad firmad rakendada rangemaid meetmeid avariiliste elektrisõidukite käsitlemiseks kui Euroopa Meresõiduohutuse Ameti suuniseid järgivad firmad. See võib tekitada olukorra, kus üks laev on paremini varustatud ja valmis avariiolekordade lahendamiseks kui teine.

Viking Line puhul on oluline broneeringu tegemisel märkida, et tegemist on elektrisõidukiga. Registreerimisel saavad need autod spetsiaalse sildi, mis paigaldatakse tuuleklaasile. See on oluline teave laeva tuletoerjegruppidele, kuna elektrisõidukite tulekahjud erinevad sisepõlemismootoriga autode omadest. Vastav silt aitab tuletoerjegruppidel paremini valmistuda ja reageerida tulekahju korral.

Rahvusvaheliste ja piirkondlike regulatiivsete organite koostöös, et ühtlustada standardid ja protseduurid elektrisõidukite käsitlemisel. See võiks hõlmata endas ohtlike mereveo kaupade koodeksit ja Euroopa Meresõiduohutuse Ameti suuniste ühtlustamist, et tagada ühtne ohutustase kõikjal laevafirmades.

5.3 Ohutuse ja stabiilsuse tagamine ning hädaolukordade käsitlemine

Elektriautode vedu laevade pardal nõuab erilist tähelepanu ohutusmeetmetele ja hädaolukordade lahendamisele. Laevafirmad on rakendanud erinevaid meetmeid, et tagada elektriautode ohutu kinnitamine ja valmisolek võimalike hädaolukordade korral.

Ohutuse tagamiseks kasutatakse autotekil infrapuna kaameraid, mis võimaldavad ohutusringkäikude ajal tuvastada anomaaliaid temperatuurides ja reageerida kiiresti võimalikele ohtudele, nagu temperatuuritõus või aku ülekuumenemine. Intervjuu käigus tuli välja, et antud ohutusmeede on kasutusel ainult Tallinki laevadel. Lisaks on pardal spetsiaalsed tuletetid ja sprinklersüsteem, mida saab vajadusel kasutada sõidukite jahutamiseks.

Spetsiaalsed tuletõrjeõppused, mis keskenduvad elektriautode tulekahjudele, on oluline osa meeskonna väljaõppest. Need õppused viiakse läbi ekspertide juhendamisel ning neid on korraldatud regulaarselt, et hoida meeskond valmis igasugusteks hädaolukordadeks. Lisaks on laevadel spetsiaalsed vahendid, nagu liitiumioonaku kustutid, mis on mõeldud just elektriautode tulekahjude efektiivseks kustutamiseks.

Investeerima täiendavatesse seire tehnoloogiatesse, nagu täiustatud infrapuna- ja termokaamerad, mis suudavad veelgi täpsemalt tuvastada temperatuuritõuse ja potentsiaalseid tulekahjupunkte - antud praktikat kasutab hetkel neljast laevafirmast ainult üks, see oleks kindlasti väga kasulik investeering ka teistele ettevõtetele. Investeeringute tegemine antud teemal on vajalik kuna võib eeldada, et elektriautode kasutamine kasvab ja seetõttu kasvab ka nende autode vedu laevadel.

Elektrisõidukite teenindamine laevadel toob kaasa mitmesuguseid lisakulutusi ja -tegevusi, mille peamine eesmärk on tagada reisijate ja meeskonna ohutus. Erinevate tulekustutus vahendite või koolituste kulutused võivad olla üsnagi kõrged kuid rõhutatakse siiski, et ohutus on alati prioriteet. Ohutust puudutavate teemade puhul ei ole rahasumma kunagi küsimus.

Lisakulutused hõlmavad spetsiaalsete koolituste korraldamist meeskonnale, et nad oskaksid elektrisõidukitega seotud ohutusriskidega toime tulla. Samuti tuleks hankida erinevaid vahendeid, mis aitavad tulekahjusid varakult avastada ja kustutada, näiteks infrapunakaamerad ja tuletetid, Lisaks vajavad tuletõrjegruppide liikmed spetsiaalseid kaitsevahendeid, et nad saaksid tulekahjude korral tõhusalt tegutseda.

Proaktiivse ohutusalase koolituse investeeringu tasuvust on sageli keeruline hinnata, kuna selle mõju võib olla pikaajaline ja otseselt mõõdetamatu. Kuid ohutusse investeerimine on hädavajalik, sest see aitab ennetada võimalikke õnnetusi ja tagab kõigi laeval viibivate inimeste turvalisuse. Seega, kuigi elektrisõidukite teenindamine toob kaasa täiendavaid kulutusi ja tegevusi, on need investeeringud vajalikud ja õigustatud ohutuse tagamise seisukohalt.

Elektrisõidukite käsitlemine laevadel on kasvav teema, mis nõuab täiendavaid reegleid ja ühtlustatud protseduure. Praegu erinevad laevafirmade reeglid ja protsessid, mis tekitab segadust ja potentsiaalseid riske. Euroopa Meresõiduohutuse Amet on koostanud juhised, mis käsitlevad alternatiivkütusega sõidukite vedu Ro-Ro (*Roll-on/Roll-off*) laevadel. Need juhised ei ole kohustuslikud, kuid paljud laevafirmad on need oma ohutusjuhtimissüsteemidesse integreerinud.

Juhised hõlmavad ohutusmeetmeid, mida tuleb järgida, et minimeerida riske, mis on seotud elektrisõidukite veoga laevadel. Need meetmed sisaldavad spetsiaalseid tulekustutussüsteeme, laadimis- ja tühjendusprotseduure, ning evakuatsiooniplaane juhuks, kui elektrisõidukites peaks tekkima probleeme.

Praegu kehtestavad iga laevafirma oma reeglid ja protseduurid elektrisõidukite käsitlemiseks, mis võib tekitada segadust ja ebakõlasid. Ühtsete reeglite ja protseduuride kehtestamine oleks oluline samm edasi, et tagada järjepidevus ja ohutus kogu valdkonnas. Ühtsete reeglite abil saaks paremini hallata riske ja reageerida kiiresti hädaolukordades. Laevanduses on elektriautode populaarsuse kasvuga kaasnenud uued väljakutsed, sealhulgas tulekahju riskid, mis nõuavad eriväljaõpet ja -varustust. Laevafirmad on sellele riski osas üha teadlikumad ning on viimastel aastatel oluliselt parandanud oma valmisolekut ja võimekust elektriautode tulekahjude käsitlemiseks laeva pardal. Ohutusvahendite tase ja meeskondade valmisolek on tänu pidevatele koolitustele ja õppustele märkimisväärselt paranenud, kuigi arenguruumi on endiselt.

Praeguse olukorra hindamisel on ilmnunud, et meeskondade teadlikkus ja valmisolek reageerida elektriautode tulekahjudele on oluliselt kasvanud. Siiski, elektriautode tulekahjud on endiselt suhteliselt uus ja vähe uuritud teema, mille tõhusad käsitlemisviisid on alles välja arendamisel. Edu võti peitub kiiretes ja otsustavates tegutsemisviisides, mis põhinevad pidevalt areneval teadmistel ja praktilistel kogemustel.

Laevafirmade töötajad on saanud koolitust, mis suurendab nende suutlikkust tulekahjudele kiiresti reageerida. Tänu regulaarsetele õppustele on ohutusvahendid ja -protseduurid paranenud, tagades tõhusama reageerimise võime. Samas, kuna elektriautode tulekahjud on keerulised ja ettearvamatud, on oluline jätkata pidevat koolitust ja praktilist harjutamist.

Luuu koostöö Transpordiameti ja laevafirma broneerimissüsteemi vahel, et broneerimisprotsessi käigus saaks automaatselt kontrollida sõiduki staatust. Kui klient sisestab auto numbrimärgi, edastatakse see teave Transpordiametile, mis vastab, kas sõiduk on elektriline või mitte. Selline

funktsionaalsus lihtsustab broneerimisprotsessi ja võimaldab laevafirmal paremini planeerida oma ressursse, näiteks laadimispunktide kättesaadavust elektrisõidukite jaoks.

Lisaks võiks broneerimissüsteemi integreerida liikluskindlustusfondi andmebaasiga. See võimaldaks automaatselt hankida teavet, kas elektriauto on olnud seotud mõne liiklusõnnetusega. See teave on kasulik nii laevafirmale kui ka kliendile, sest see annab lisainfot sõiduki seisukorra kohta ja võib mõjutada sõiduki pardale võtmise otsuseid.

Kokkuvõttes muudaks selline integreeritud süsteem broneerimisprotsessi sujuvamaks ja efektiivsemaks, pakkudes samal ajal väärtuslikku teavet nii ettevõttele kui ka klientidele.

Kokkuvõte

Elektriautod on muutumas üha populaarsemaks kogu maailmas, pakkudes olulist lahendust kasvavale vajadusele vähendada kasvuhoonegaaside emissioone ja vähendada sõltuvust fossiilkütustest. Elektrisõidukid mängivad olulist rolli keskkonnasäästmise ja kliimamuutuste vastu võitlemise püüdlustes, kuna nad toodavad sõidu ajal null heitkoguseid. Kuigi elektriautod pakuvad mitmeid eeliseid, on nende kasutuselevõtt toonud kaasa ka uusi väljakutseid ja ohutusküsimusi, eriti seoses elektriautode transpordiga meritsi.

Elektriautode meretransport on keerukam ja riskantsem kui traditsiooniliste sisepõlemismootoriga autode vedu ainult juhul, kui tegemist on avariilise sõidukiga. Kui elektrisõiduk on korras, siis ei oma ta suuremat ohtu endast. Peamised riskid on seotud elektriautode akude tuleohtlikkusega, eriti juhul, kui akud on saanud kahjustada. Kahjustunud akud võivad süttida ja nende põlemisel eralduvad ohtlikud ja mürgised gaasid, mis ohustavad laeval viibijate tervist ja ohutust.

Käesoleva lõputöö eesmärgiks oli välja selgitada, millised on need riskid, millega laevandusettevõtted igapäevaselt elektriautodega silmitsi seisavad. Vastuste leidmiseks koostas töö autor küsimused, et laevandusfirmadega ja Transpordiameti inspektoriga intervjuu teha. Töö autor soovis protsessi käigus saada sisendit, kuidas erinevad ettevõtted tegutsevad elektriautode ohtlikkuse ja riskide teemal ja mis oleksid kõige paremad praktikad antud probleemide lahendamiseks.

Lõputöö käigus püstitatud hüpotees, et Eestis tegutsevad laevafirmad kasutavad erinevaid strateegiaid ja meetmeid elektriautode vedamise tuleohutuse tagamiseks ning nende tulemuslikkus võib erineda, pidas paika. Intervjuudest selgus, et laevafirmad rakendavad erinevaid ohutusmeetmeid ja protseduure, mis varieeruvad sõltuvalt ettevõtte sisemistest poliitikast ja rahvusvaheliste juhiste järgimisest. Kuigi üldine valmisolek ja ohutustase on paranenud, on endiselt erinevusi meetodites ja tulemuslikkuses, mis näitab vajadust ühtsete standardite ja parimate praktikate arendamiseks ja rakendamiseks kogu valdkonnas.

Laevafirmade kogemused näitavad, et elektrisõidukite meretransport on valdkond, mis on pidevas arengus ja muutuses. Laevandusfirmad on teinud riskianalüüse ja kehtestanud spetsiaalsed ohutusprotseduurid, et vähendada võimalikke riske. Peamiseks riskiks peetakse avariilisi või mittetöökorras elektriautosid, mille akud võivad olla kõrgendatud tuleohtlikkusega. Seetõttu ei võta laevandusfirmad avariilisi autosid enda pardale.

Laevafirmad on rakendanud erinevaid meetmeid, et tagada elektriautode ohutu kinnitamine ja valmisolek võimalike hädaolukordade korral. Näiteks kasutatakse autotekil infrapunakaameraid, spetsiaalseid tuletekke ja sprinklersüsteeme. Meeskonnad läbivad regulaarselt spetsiaalseid tule tõrjeõppusi, et olla valmis elektriautode tulekahjudele reageerimiseks.

Koostöö ja ühtlustatud standardite arendamine on oluline elektriautode meretranspordi ohutuse tagamiseks. Rahvusvahelised ja piirkondlikud regulatiivsed organid, laevandusettevõtted ja elektriautode tootjad peaksid tihedamalt koostööd tegema, et arendada ühtseid standardeid ja parimaid tavasid. See tagab ühtse ohutustaseme ja vähendab riske, mis võivad tekkida elektriautode meretranspordil.

Elektriautode meretransport on valdkond, mis nõuab pidevat tähelepanu ja arendust. Ohutuse tagamine on võimalik läbi põhjaliku riskianalüüsi, spetsiaalsete ohutusprotseduuride rakendamise ja tiheda koostöö kõigi osapoolte vahel. Laevafirmad, oma ala spetsialistid erinevatest liitudest, organisatsioonidest ja ühingutest ning elektriautode tootjad, kes peavad jätkuvalt panustama uute teadmiste omandamisse ja parimate praktikate väljatöötamisse, et tagada ohutu ja tõhus elektriautode transport merel.

Summary

An Analysis of the Risks of Maritime Transport of Electric Cars Based on Shipping Companies Operating in the Baltic Sea.

Laura Rohilaid

Key words: electric cars, lithium-ion battery, safety measures of shipping companies.

This thesis is written in Estonian, on 46 pages. It includes 1 table, 7 figures and 33 different sources.

The importance of environmental sustainability and conservation is more prominent than ever. Our planet's ecosystem faces several challenges from human activities, including increasing carbon emissions, climate change and habitat loss. As a result, there is increasing pressure to find sustainable solutions that reduce our impact on the environment. This is why environmental issues have become a priority area for policy makers and businesses around the world today.

The European Union has set ambitious targets to mitigate climate change, and one important step in this direction is a plan to ban the sale of new petrol and diesel cars by 2035. This is part of the European Union's efforts to reduce carbon emissions and move towards a transition with an even greater emphasis on environmentally friendly modes of transport.

The growing popularity of electric cars, driven by the global shift towards more environmentally friendly modes of transport, highlights a number of safety risks associated with freight transport. Important risks include the flammability of lithium-ion batteries and the proper handling of electric cars on board, which require particular attention to the safety of charging processes and vehicle stowage. In addition, lithium-ion batteries can cause overheating or mechanical damage, which can lead to fire. Therefore, the increasing volume of electric vehicles requires maritime transport operators to focus more and more on improving safety measures and developing risk management strategies to ensure the protection of people, goods and the environment in this increasingly complex and responsible sector.

The hypothesis that shipping companies operating in Estonia use different strategies and measures to ensure the fire safety of the transport of electric cars and that their effectiveness may vary, was proved to be true. The interviews revealed that shipping companies implement different safety measures and procedures, which vary depending on the company's internal policies and

compliance with international guidelines. While overall preparedness and safety levels have improved, there are still differences in methods and performance, which shows the need to develop and implement common standards and best practices across the industry.

The experience of shipping companies shows that the maritime transport of electric vehicles is an area that is constantly evolving. Shipping companies have carried out risk analyses and put in place specific safety procedures to mitigate potential risks. The main risk is considered to be accidental or inoperable electric vehicles, whose batteries may be highly flammable. For this reason, shipping companies do not take on board broken cars.

The maritime transport of electric cars is an area that requires continuous attention and development. Safety can be ensured through a thorough risk analysis, the implementation of specific safety procedures and close cooperation between all parties involved. Shipping companies, relevant officials and electric vehicle manufacturers must continue to contribute to the acquisition of new knowledge and the development of best practices to ensure the safe and efficient transport of electric vehicles at sea.

Viidatud allikad

- Auväärt, P. (n.d.). *Elektrijamiga sõidukid*.
<https://sites.google.com/hariduskeskus.ee/elektriauto/elektris%C3%B5idukite-t%C3%BC%C3%BCbid>
- Blenkey, N. (2. jaanuar, 2024). *Cargo hold fire breaks out on ship carrying lithium-ion batteries*. Marine Log. <https://www.marinelog.com/legal/safety-and-security/cargo-hold-fire-breaks-out-on-ship-carrying-lithium-ion-batteries/>
- British Geological Survey. (9. juuni, 2021). Lithium: A critical raw material for our journey to net zero. *British Geological Survey*. <https://www.bgs.ac.uk/news/lithium-a-critical-raw-material-for-our-journey-to-net-zero/>
- De-risking the carriage of lithium-ion batteries | Hellenic Shipping News Worldwide*. (22. juuni, 2023). <https://www.hellenicshippingnews.com/de-risking-the-carriage-of-lithium-ion-batteries/>
- Electrochemical Safety Research Institute. (14. september, 2021). *What Are Lithium-Ion Batteries?* <https://ul.org/research/electrochemical-safety/getting-started-electrochemical-safety/what-are-lithium-ion>
- Euroopa Parlament. (3. november, 2022). *Uute bensiini- ja diiselmootoriga autode müügikeeld Euroopa Liidus alates 2035. Aastast*. Teemad | Euroopa Parlament. <https://www.europarl.europa.eu/topics/et/article/20221019STO44572/uute-bensiini-ja-diiselmootoriga-autode-muugikeeld-elis-alates-2035-aastast>
- Euroopa Ülemkogu. (12 aprill, 2024). *Pakett „Eesmärk 55“ – ELi rohepöörde kava*. <https://www.consilium.europa.eu/et/policies/green-deal/fit-for-55/>
- European Maritime Safety Agency. (2022). *Guidance of the carriage of AFV's in ro-ro spaces*. <https://emsa.europa.eu/publications/reports/item/4729-guidance-on-the-carriage-of-afvs-in-ro-ro-spaces.html>

- EVgo. (n.d.). *Types of Electric Vehicles*. <https://www.evgo.com/ev-drivers/types-of-evs/#bevs>
- Gutsch, M., & Leker, J. (2024). Costs, carbon footprint, and environmental impacts of lithium-ion batteries – From cathode active material synthesis to cell manufacturing and recycling. *Applied Energy*, 353, 122132. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.122132>
- Institute for Energy Research. (11. mai, 2023). Environmental Impacts of Lithium-Ion Batteries. *IER*. <https://www.instituteforenergyresearch.org/renewable/environmental-impacts-of-lithium-ion-batteries/>
- International Maritime Organization. (n.d.). *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS)*. [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-\(SOLAS\),-1974.aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Safety-of-Life-at-Sea-(SOLAS),-1974.aspx)
- International Maritime Organization. (n.d.). *The International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code*. <https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/DangerousGoods-default.aspx>
- Johnson, M. (7. jaanuar, 2019). What are Lithium-Ion Batteries Used for? *The Earth Awards*. <https://theearthawards.org/the-common-uses-of-lithium-ion-batteries/>
- Keskkonnainvesteeringute keskus. (1. november, 2022). *Nullheitega sõidukite ostutoetus*. <https://kik.ee/et/toetatavad-tegevused/nullheitega-soidukite-ostutoetus>
- Lee, C. (14. aprill, 2021). *What is EV, BEV, HEV, PHEV?* MarketWatch. <https://www.marketwatch.com/story/what-is-ev-bev-hev-phev-heres-your-guide-to-types-of-electric-cars-11617986782>
- Lowe, M., Tokuoka, S., Trigg, T., & Gereffi Gary. (2010). *Lithium-ion Batteries for electric vehicles: The U.S value chain*. [https://mdgs.un.org/unsd/trade/s_geneva2011/refdocs/RDs/Lithium-Ion%20Batteries%20\(Gereffi%20-%20May%202010\).pdf](https://mdgs.un.org/unsd/trade/s_geneva2011/refdocs/RDs/Lithium-Ion%20Batteries%20(Gereffi%20-%20May%202010).pdf)

- Mrozik, W., Ali Rajaeifar, M., Heidrich, O., & Christensen, P. (2021). Environmental impacts, pollution sources and pathways of spent lithium-ion batteries. *Energy & Environmental Science*, 14(12). <https://doi.org/10.1039/D1EE00691F>
- Murden, D. (15. august, 2022.). *What Are the 14 Most Popular Applications & Uses of Lithium Batteries?* Eco Tree Lithium. <https://ecotreelithium.co.uk/news/lithium-batteries-uses-and-applications/>
- Riigikantselei. (26. jaanuar, 2023). *Ülemaailmsed säästva arengu eesmärgid*. <https://www.riigikantselei.ee/valitsuse-too-planeerimine-ja-korraldamine/valitsuse-too-toetamine/saastev-areng>
- Schuler, M. (2023, August 11). *Burning Questions: Unraveling the Truth Behind Electric Vehicle Fires in Maritime Shipping*. gCaptain. <https://gcaptain.com/burning-questions-unraveling-the-truth-behind-electric-vehicle-fires-in-maritime-shipping/>
- Steamship mutual. (28. september, 2023). *Steamship Mutual—Carriage of Electric Vehicles (EVs) in Containers*. <https://www.steamshipmutual.com/carriage-electric-vehicles-evs-containers>
- The Guardian. (26. juuli, 2023). One killed as ship carrying 3,000 cars catches fire off Dutch coast. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/world/2023/jul/26/cargo-ship-fire-off-dutch-coast>
- The Maritime Executive. (9. august, 2023). *Salvage Completed on Fire-Damaged Car Carrier Fremantle Highway*. The Maritime Executive. <https://maritime-executive.com/article/salvage-completed-on-fire-damaged-car-carrier-fremantle-highway>
- Transpordiamet. (28. august, 2023). *Sõidukite statistika*. <https://www.transpordiamet.ee/soidukite-statistika>
- U.S department of energy. (n.d.). *All-Electric Vehicles*. <https://afdc.energy.gov/vehicles/electric-basics-ev>

- U.S department of energy. (n.d.). *Hybrid Electric Vehicles*.
<https://afdc.energy.gov/vehicles/electric-basics-hev>
- U.S department of energy. (n.d.-c). *Key components of a Hybrid Electric Car*.
<https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-hybrid-electric-cars-work>
- U.S department of energy. (n.d.). *Key Components of an All-Electric car*.
<https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work>
- U.S department of energy. (n.d.). *Plug-In Hybrid Electric Vehicles*.
<https://afdc.energy.gov/vehicles/electric-basics-phev>
- Väyrynen, A., & Salminen, J. (2012). Lithium ion battery production. *The Journal of Chemical Thermodynamics*. <https://doi.org/10.1016/j.jct.2011.09.005>
- Virkus, S. (2016). *Intervjuu liigid | Intervjuu, vaatlus ja sisuanalüüs*.
https://www.tlu.ee/~sirvir/Intervjuu_vaatlus_ja_sisuanals/intervjuu_liigid.html
- Woodward, K. (9. august, 2021). *A brief history of the electric car*. Energy Saving Trust.
<https://energysavingtrust.org.uk/a-brief-history-of-the-electric-car/>

Lisa 1. Intervjuu küsimused

1. Kuidas hindate elektriautode meretranspordi turvariske võrreldes traditsiooniliste sisepõlemismootoriga autode transpordiga?
2. Millised on teie ettevõtte kogemused elektriautode vedamisel laeval Tallinn-Helsinki liinil ning milliseid riske peate kõige olulisemaks?
3. Kuidas hindate elektriautode vedamise potentsiaalseid riske seoses laevaoperatsioonidega, eriti seoses laadimise ja tuleohutusega?
4. Milline on protseduur, kui teenindate EV sõidukeid?
5. Millised on teie meetmed elektriautode ohutuks ja stabiilseks kinnitamiseks laeva pardal ning kuidas on meeskond valmis reageerima võimalikele hädaolukordadele, nagu aku lekke või ülekuumenemise korral?
6. Milliseid lisakulutusi, -tegevusi toob endaga kaasa EV sõiduki teenindamine? (lisa koolitused ja nii edasi)
7. Kas on vaja täiendavaid reegleid EV sõidukite käsitlemise osas?
8. Kuidas hindate oma ettevõtte valmisolekut ja võimekust tegutseda elektriautode põhjustatud tulekahjude korral laeva pardal, eriti arvestades praegust olukorda ja kehtivaid tuleohutusstandardeid?

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina, Laura Rohilaid:

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose „Elektriautode meretranspordi riskide analüüs Läänemeresel tegutsevate laevafirmade näitel“, mille juhendaja on Tõnis Hunt:

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

21.05.2024

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loomingulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.