



Aleks Joa

**ELEKTRIAJAMIGA SÕIDUKITE
SÜTTIMISOHU ENNETAMINE RO-
RO LAEVADEL**

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Autotehnika eriala

Tallinn 2020

Mina,

Aleks Joa

tõendan, et lõputöö on minu kirjutatud. Töö koostamisel kasutatud teiste autorite, sh juhendaja teostele on viidatud õiguspäraselt.

Kõik isiklikud ja varalised autoriõigused käesoleva lõputöö osas kuuluvad autorile ainuisikuliselt ning need on kaitstud autoriõiguse seadusega.

Lõputöö autor

Aleks Joa

(allkiri ja allkirjastamise kuupäev on digiallkirjas)

Üliõpilase kood 160820552

Õpperühm **AT72/82**

Lõputöö vastab sellele püstitatud kehtivatele nõuetele ja tingimustele.

Konsultandid

Vilik Joa

(allkiri ja allkirjastamise kuupäev on digiallkirjas)

Kaitsmisele lubatud.

Juhendaja

Kaido Hiieleek

(allkiri ja allkirjastamise kuupäev on digiallkirjas)

SISUKORD

SISUKORD.....	3
1 SISSEJUHATUS	5
2 LEVINUMAD ELEKTRIAUTO TÜÜBID	6
2.1 Akuelektriautod.....	6
2.2 Hübriidelektriautod	7
2.3 Pistikhübriidautod	7
2.4 Pikendatud sõiduulatusega elektriautod	8
3 LI-IOON AKU.....	9
3.1 Li-ioon ja levinumate akutüüpide osad ning nende eelised ja puudused	10
3.2 Li-ioon aku rikked.....	12
3.2.1 Akumooduli rikked laetuna: Termilise stabiilsuse kadu.....	13
3.3 Elektri ja hübriidauto akusüsteemi ohutusstandard, SAE J2929.....	14
3.4 Ohutusjuhendid avariilise elektriauto käitlemiseks.....	16
3.5 Kahjustatud kõrgepingeakud elektriautodes	16
3.6 2010-15 Toyota Priuse käitlemine tehase juhendi järgi	17
3.6.1 2010-15 Toyota Priuse väljalülitamine	17
4 RO-RO JA RO-PAX LAEVA TÜÜBID	18
4.1 Ro-ro ja ro-pax laevade tulekahjud	19
4.2 Ro-ro ja ro-pax laevade tuleohutuskorraldused	21
4.3 Tulekahju järgne uuring	24
4.4 Eeldatav tulekahjude arv autotekil	25
5 VÕIMALIKUD PARENDUSED TULEOHUTUSES	26
5.1 Tulekaitse	26
5.2 Tulekahju märkamine.....	26
5.3 Tulekahju tõrjumine	27
5.4 Ettevõtte sisesed meetmed	28
6 TEGEVUSSOOVITUSED VIKING XPRSILE.....	30

KOKKUVÕTE.....	34
SUMMARY	35
VIIDATUD ALLIKAD	37

1 SISSEJUHATUS

Üliõpilane valis antud teema tuginedes eelnevale töökogemusele laevanduses ja huvist elektriautode vastu. Laeval töötades märkas tudeng, et meeskonnal on vähene teadlikkus elektriautode käsitlemisest ja antud probleemist. Samuti täheldas õpilane, et elektriautode tuleohutust ei peeta laeval oluliseks. Väljatoodud põhjused ajendasid antud teemat lähemalt uurima.

Viimase 10 aasta jooksul on elektriautod märkimisväärselt muutnud autotööstust globaalselt tänu Li-ioon akude tehnoloogia kiirele arengule. Selle tulemusena näeme suuremat nõudlust elektriautode järgi, mis omakorda toob meid fakti ette, et rohkem elektriautosid transportitakse üle mere ro-ro ja ro-pax laevadel. Elektriauto akudega seotud tuleriskid ja ohud on tõusnud suureks probleemiks ja sellega tuleb ka arvestades transportides neid üle mere, kus päästeameti abi ei ole võimalik saada.

Uurimistöö eesmärgiks on välja selgitada kõik elektriautodega kaasnevad tuleohud ja riskid, samuti võimalused, kuidas neid ennetada ro-ro ja ro-pax laevadel. Lisaks on sihiks tegevussoovituste pakkumine Tallinn-Helsingi liinil liiklevale Viking XPRS ro-ro laevale. Lõputöös arutletakse, kui ohtlikud on elektriajamiga sõidukite tulekahjud ja kuidas ennetada põlengut, kui süttib elektriajamiga sõiduk.

Uurimistöö jaguneb kolmeks osaks. Töö esimene ja teine osa on teoreetilised. Esimestes peatükkides käsitletakse levinumaid elektriautode tüüpe ja Li-ioon akude rikkeid ning kuidas käsitleda kahjustatud elektriautot. Uurimistöö teises pooles tutvustatakse ro-ro ja ro-pax laevu ja nende tuleohutusmeetmeid. Samuti käsitletakse võimalikke parendusi ro-ro ja ro-pax laevadel. Töö kolmandas osas kasutatakse näidislaevana Viking XPRS ro-ro laeva. Moodustatud töörühma eesmärgiks sai püstitada tegevussoovitused Viking XPRS'ile seoses elektriautode transportimiseks mõeldud tuleohutusmeetmete väljatöötamisega.

2 LEVINUMAD ELEKTRIAUTO TÜÜBID

Tänapäeva elektriautod on võimelised sõitma puhtalt elektri jõul või sümbioosis sise põlemismootoriga. Sõidukit, mis kasutab energiaallikaks ainult akusid, võib nimetada elektriautoks, kuid on ka muid elektriauto tüüpe, mis kasutavad lisaks akudest saadud energiale teisi jõuallikaid. Neid sõidukeid nimetatakse hübriidautodeks [1].

Rahvusvaheline Elektritehnika komisjoni tehniline komitee 69 (Elektrilised maantesõidukid) pakkus välja, et kui sõiduk kasutab kahte või rohkem energiaallikat, saab neid nimetada hübriidelektriautoks, kui vähemalt üks energiaallikas kasutab elektrienergiat. Hübriidauto alla kaastakse nii sise põlemismootori ja elektrimootori kombinatsiooni, aku ja kondensaatori jõul abistatud elektriautosid ning autosid, mis kasutavad akut ja kütuseelementi [1].

Antud terminoloogia on aktsepteeritud laialdaselt ja põhinedes normile, saab elektriautosid kategoriseerida järgnevalt [1]:

- Akuelektriautod
- Hübriidautod
- Pistikhübriidautod
- Pikendatud sõiduulatusega elektriautod

2.1 Akuelektriautod

Elektriautod, mille jõuallikaks on ainult akud, tuntakse laialdaselt akuelektriautodena. Akuelektriautod saavad energiat puhtalt akupakkidelt ning sellest tulenevalt sõltub elektriautode läbivus aku mahutavusest. Premium-klassi elektriautod suudavad läbida kuni 500 kilomeetrit, keskklassi elektrisõidukid suudavad läbida 100–300 kilomeetrit ühe laadimiskorraga [2]. Elektriauto läbivus sõltub suuresti akutüübist, vanusest, sõidustiilist, teeoludest, ilmastikuoludest ja sõiduki seadest. Akupaki laadimine võib võtta kuni 36 tundi [1].

Põhilised elektriautode akutüübid on [1]:

- Pliihape aku
- Nikkel-metall hüdriid (NiMH)
- Liitiumioon (Li-Ion)
- Nikkel-tsink (Ni-Zn)
- Nikkel-kaadium (Ni-Cd)

2.2 Hübriidelektriautod

Hübriidelektriautod kasutavad energiaallikana nii sise põlemismootorit kui elektrimootorit. Elektrimootorit kasutatakse peamiselt siis, kui energia nõudlus on väike. See on suureks eeliseks ja abiks väikestel kiirustel ning ummikutes. Enamus elektriautodel on sel ajal sise põlemismootor täielikult välja lülitatud ja ei toimu heitgaaside eraldumist. Kui tekib vajadus suurema energia järgi, lülitab hübriidauto sisse ka sise põlemismootori. Hübriidjõusüsteeme kasutatakse samuti jõudluse parandamiseks. Elektrimootor aitab vähendada turbo mahajäämust ja suurendada kiirendust. Sise põlemismootor laeb akusid ning samuti kasutatakse ära pidurdusel tekkivat energiat, suunates see akude laadimisse [1].

Kõige arenenumat tehnoloogiat hübriidautode akude valdkonnas kujutasid endast Ni-MH akud 2000. aastate alguses. Antud akudele pakkusid sel ajal konkurentsi Ni-Zn akud ja pliihape akud, kuid Ni-MH akude tehnoloogia vastas kõige paremini autotööstuses esinevatele nõuetele. Eelisteks olid kõrge energia ja jõudlus, võimalus kasutada taastuvenergiat pidurdamisest ning ideaalsed soojusomadused (töötemperatuur -30 °C kuni $+70\text{ °C}$) [3].

2.3 Pistikhübriidautod

Pistikhübriidautod kasutavad sarnaselt hübriidautole nii sise põlemismootorit ja elektrijõuallikat. Peamine erinevus nende vahel on see, et pistikhübriid kasutab peamiseks jõuallikaks elektrit ning sellest tulenevalt vajavad need sõidukid suuremaid akupakke, lülitades sise põlemismootor sisse, kui on vaja lisajõudlust või akupaki laadimist. Lisaks saab pistikhübriidil laadida akut otse, kuid hübriidil laeb akut sise põlemismootor [1]. Pistikhübriidautol kasutatakse tavaliselt Li-ion aku tehnoloogiat, mis on suurem kui 5 kWh. See on auto peamine jõuallikas, mida toetab sise põlemismootor [4].

2.4 Pikendatud sõiduulatusega elektriautod

Pikendatud sõiduulatusega elektriautode jõuallikaks on kütusepakid, mis kasutavad keemilist reaktsiooni, et toota elektrit. Peamiseks kütuse eelistuseks, mida kasutatakse kütusepakkides reaktsiooni tekitamiseks, on vesinik – sellest tulenevalt kutsutakse neid tihti ka vesinikautodeks [1].

Kütusepakid on elektrokeemilised seadmed, mis muudavad keemilise reaktsiooni teel tekkiva energia elektrienergiaks ning mida kasutatakse elektriauto jõudluse tagamiseks. Kuna ei toimu mehaanilist tööd ega kuumuse tootmist, ei ole kütusepakkidel takistuseks termodünaamika piirid, nii nagu on sise põlemismootoril. Kuna sise põlemist välditakse, ei teki ka heitgaase ning reostus on minimaalne [5]. Vesinikku hoiustatakse sõidukis spetsiaalsetes kõrgrõhu paakides. Teiseks oluliseks komponendiks on hapnik, mida suunatakse autosse läbi õhuavade. Kütusepakkidest tekkinud energia suunatakse elektrimootorisse, mis omakorda käitab auto rattaid. Ainsaks tekkivaks jäägiks on vesi, mis üldjuhul väljutatakse sõiduki summutisüsteemist. Peamiseks eeliseks pikendatud sõiduulatusega elektriautol on see, et kõrgrõhupaagi täitmine vesinikuga võtab aega võrdväärselt sama kaua, kui sise põlemismootoriga auto tankimine [1].

Hetkel on peamiseks probleemideks pikendatud sõiduulatusega elektriautode puhul vähene tankurite paiknemine ning oht vesinikukõrgrõhupaakide lekkele. Kui need katsumused ületada, on pikendatud sõiduulatusega elektriautodel võimalus olla tuleviku autod [1].

3 LI-IOON AKU

Li-ioon akupakid on laialdaselt kasutuses tarbijaiühiskonnas. Kuna tehnoloogia on arenenud ja energiatihedus suurenenud, siis kasutatakse tehnoloogiat paljudes tarbimistoodetes kui ka autotööstuses. Väiksed Li-ioon akuelemendid ühendatakse omavahel suureks akumooduliks, mida kasutatakse laialdaselt elektriauto jõuallikaks. Antud keemiline kooslus on erinev eelmistest populaarsetest taaslaetavatest akude keemilistest kooslustest (nikkel-metall hüdriid, nikkel-kaadmium ja pliihape). Tehnilisest seisukohast on peamine erinevus kõrge energiatihedus, mis võimaldab olla ideaalseks toiteallikaks elektriautole. Ohutuse ja tulekaitse seisukohalt kõrge energiatihedusega elektrolüüt on loonud mitmeid katsumusi akude ehitusele ja ohutusele, mis sisaldavad Li-ioon akuelemente [6].

Termin Liitium-ioon (Li-ioon) aku viitab tervele hulgale akukeemiatele. Li-ioon akude valdkond on tänapäeval aktiivne ning uuringuid ja uusi materjale lisaks aku tehnilisele arengule teostatakse pidevalt [7].

Liitium-ioon aku viitab akule, kus negatiivse elektroodi (anood) ja positiivse elektroodi (katood) materjalid on kandjateks liitium-ioonidele. Liitiumioonid liiguvad anoodist katoodile aku töötamisel (tühjenemisel), interkaleerudes (sisenedes vahedesse kristallorgaanilises struktuuris) katoodi. Vigastuse korral, kus toimub aku süttimine, ei ole tavalistest metallpõlengu meetoditest kasu tule kustutamiseks [7].

Li-ioon akumoodulis paigutatakse anoodide ja katoodide kihid sedasi, et nende vahel on separaatorid [6]. Separaator on tahke materjal anoodi ja katoodi vahel, millel on kaks olulist rolli. Esiteks väldib see siselühise teket anoodi ja katoodi vahel, ennetades otsest elektroni voogu anoodist katoodi. Teiseks oluliseks ülesandeks on toetada teed ioonilisele soojusvahetusele vedelas elektrolüüdis separaatori poorses struktuuris [8].

Akumooduli saab kujundada, lisades elektroodide kihte üksteise peale separaatoritega või siis kerides kokku pikki elektroodi ribasid, mida tüüpiliselt nimetatakse silinderpakkideks, kõige levinumad on 18 650 standardiga akud. Elektroodide pakid või rullid pakendatakse tavaliselt

kõvadesse kastidesse, mis suletakse tihendiga. Tavaliselt lisatakse mehaanilisse disaini mitmeid erinevaid turvamehhanisme, näiteks laadimist takistavad seadmed ja positiivse temperatuuri koefitsendi lülitid. Akupakid tehakse paljudest väikestest individuaalsetest pakkidest, mis ühendatakse omavahel sõltuvalt vajadusele. Ühendades pakid omavahel paralleelselt, tõstetakse paki mahutavust. Paki pinge suurendamiseks ühendatakse väiksed pakid omavahel. Enamus akupakkidele märgitakse nominaalpinge, mida saab kasutada seeria elementide arvu ja paki koguenergia tuvastamiseks [6].

3.1 Li-ioon ja levinumate akutüüpide osad ning nende eelised ja puudused

Li-ioon aku põhilisteks osadeks on [1]:

- Positiivne elektrod: oksüdeerunud koobaltermaterjal.
- Negatiivne elektrod: süsinikmaterjal.
- Elektrolüüt: liitiumsoola lahus orgaanilises lahustis.

Li-ioon aku eelised [1]:

- Kõrge energiatihedus, kaks korda kõrgem kui NiMH.
- Hea jõudlus kõrgel temperatuuril.
- Taaskasutatav.
- Minimaalne võimalus mälu efekti tekkimiseks.
- Kõrge võimsus.
- Kõrge energia.
- Pikk eluiga, ligikaudu 1000 tsükli.

Li-ioon aku puudused [1]:

- Kõrged tootmiskulud.
- Ajakulukas laadimine.
- Tuleohtlik.

Nikkel-metall hüdriid aku detailid [1]:

- Elektrolüüt: aluseline lahus
- Positiivne elektrod: Nikkel hüdroksiid.
- Negatiivne elektrod: Nikli, titaani, vanaadiumi ja muude metallide sulam.

NiMH aku eelised [1]:

- Kahekordne energiatihedus võrreldes pliihappe akuga.
- Keskkonnasäästlik.
- Taaskasutatav.
- Ohutu kõrge pinge puhul.
- Suudab salvestada mahulist energiat ja võimsust.
- Pikem tsükli eluiga
- Vastupidav üle- ja mahalaadimisele.
- Suur juhtimistemperatuuri raadius.

NiMH aku puudused [1]:

- Rakendades suurt töökoormust, väheneb eluiga ligi 200 – 300 korda
- Vähendatud kasutatav võimsus aku mälu efekti tõttu.

Pliihape aku osad [1]:

- Negatiivne aktiivne materjal: käsnjas plii.
- Positiivne aktiivne materjal: pliioksiid.
- Elektrolüüt: lahjendatud väävelhape.

Pliihape aku eelised [1]:

- Saadaval suurtes kogustes.
- Väiksemad tootmiskulud võrreldes teiste alternatiividega.
- 50 aastat kasutuses olnud tehnoloogia.

Pliihape aku puudused [1]:

- Ei ole suuteline rakendama üle 20% oma mahutavusest.
- Piiratud elutsükli arv kasutades maksimaalset mahutavust 0%-100%.
- Madal energia ja võimsuse mahutavus.
- Raske kaaluga.
- Võib vajada hooldust.

3.2 Li-ioon aku rikked

Autotööstuse disainerid, tootjad ja varuosade valmistajad töötavad pidevalt selle nimel, et suurendada Li-ioon akude tehnoloogia ohutust. Peamisteks probleemideks on soojuse hajumine, termilise stabiilsuse kadumine, madala temperatuuriga laadimise tingimused, avarii/šoki tagajärjed ja tegurid, mis põhjustavad aku vananemist sõidukis. Viimastel aastatel on arendatud tehnoloogia, mis piirab seadmete laadimis- ja mahalaadimisvoolu [8].

Teatud juhtudel võib akudes tekkida rikkeid, mis on suurendanud üldist avalikku tähelepanu ja teadlikkust akude ohutuse ja kasutamise suhtes. Nii laetud kui ka tühja aku rikked Li-ioon akupakkides võivad esineda mitmetel põhjustel [7]:

- Ebakvaliteetne mooduli disain.
- Ebakvaliteetse akuelemendi tootmine.
- Akumooduli mitteotstarbeline kasutamine.
- Vigane laadija.

Li-ioon aku töökindlus ja ohutus on seotud aku disaini ja ehitusega. Rikete vältimiseks on paljud tootjad rakendanud erinevaid standardeid, näiteks IEEE 1625 ja 1725, mis sisaldavad nõudmisi, et vähendada tootmisel tekkivaid vigu [7].

Li-ioon akudel võib tekkida rikkeid nii laetuna kui tühjana. Tüüpilised põhjused tühja aku puhul on võimsuse kadu, kaitsme või akuelemendi lõplik väljalülitumine, lisaks elektrolüüdi lekkimine, mille tagajärjel element kuivab ja paisub. Tihtipeale on osad neist probleemidest seotud mooduli aegumisega. Ideaalne Li-ioon aku rike on aeglane mahu kadumine ja sisemise takistuse kasv, mis on põhjustatud normaalse akuelemendi aegumisest akumooduli sees. Antud rikke esinemisel kaotab akumoodul mahu ja sisemine takistus tõuseb, kuni aku ei suuda tagada seadme jõudlust ning vajab vahetust [7].

Mehaanilise kahjustuse tagajärjel võib akudes tekkida elektrolüüdi leke, mille tulemuseks on sisemiste elementide korrodeerumine. Lekkimine esineb tavaliselt nii polümeerist tehtud kui kõva korpusega akuelementidel. Polümeerist elemendid on kahjustuse korral tundlikumad korrodeerumisele. Väikeste akuelementide puhul on väga vähe vaba elektrolüüti, sest see on peamiselt koos aktiivse materjaliga. Väikese akupaki kahjustuse korral vabaneb ainult mõni piisk elektrolüüti. Suuremate ja mahukamate akuelementide puhul, mida kasutatakse elektriautodes, on palju vaba elektrolüüti, mis kahjustuse korral põhjustab ohtliku materjali lekke. Lekkekogus sõltub

kahjustuse suurusest akuelemendile ja elektrolüütilise lahusti kogusest akuelemendi sees. Elektrolüüdi leke kujutab endast kahte potentsiaalset ohtu: inimkontakt ja lühised, mis tekivad lekkest. Vältimaks ohtu, on akumoodulid disainitud koos mehhanismidega, mis lülitavad lõplikult välja akuelemendi või terve aku, kui nende jõudlus väheneb märgatavalt [7].

3.2.1 Akumooduli rikked laetuna: Termilise stabiilsuse kadu

Pööramatu elektrokeemiline reaktsioon, mis esineb kahjustuse ja rikke korral, on eksotermiline ja võib tekitada gaase, mis omakorda suurendab sisemist temperatuuri ja rõhu tõusu akumoodulis. Reaktsioonide tõttu hakkab suurenenud temperatuur põhjustama tingimusi termilise stabiilsuse kaoks akumoodulis. Akuelemendid on üksteise külge pakitud tihedalt jõudluse ja ruumi säästlikkuse põhimõttel. Sellest tulenevalt sisemine temperatuuri tõus ja mehaaniline rõhk riknenud pakist võib põhjustada riket ka teistest elementides. Termilise stabiilsuse kao tunneb ära kiirest temperatuuri tõusust mooduli sees. Mooduli temperatuuri tõus võib olla põhjustatud nii termilise, elektrilise või ka füüsilise efekti tulemusena. Põhitegevused termilise stabiilsuse kao kontrollimiseks on piirata temperatuuri tõusu ja kinnitada, et temperatuuri vähendamisel see langeks. Kui laadimine ja tühjenemine ning termilise juhtimise kontrollid töötavad korralikult ja ilma rikeeta, siis sellest olenemata võib temperatuuri tõus olla nii kiire, et kontrollid ei jõua reageerida piisavalt kiiresti või tõhusalt, et jaotada kuumust [8].

Akumooduli termilise stabiilsuse kadu viitab kiirele sisemisele kuumenemisele, mis toimub eksotermilise keemilise reaktsiooni puhul, kus hakkab kõrgelt oksüdeeruma positiivne elektrood ja selle käigus väheneb negatiivne elektrood. See võib juhtuda peaaegu kõigi keemiliste elementidega akudes. Termilise stabiilsuse kao korral akumoodul vabastab kiirelt kogu salvestatud energia. Mida rohkem on akus salvestatud energiat, seda suurem ja tugevam on reaktsioon. Üks põhjustest reaktsiooniks on Li-ioon aku kõrge energiatihedus võrreldes teiste akude keemiliste komponentidega. Teiseks põhjuseks, miks Li-ioon aku termilise stabiilsuse kao reaktsioon on väga kõrge energiaga, on akupakkide põlemisohtliku elektrolüüdi sisaldus [7].

Termilise stabiilsuse kao akus tunneb ära peamiselt järsu temperatuuri tõusu tõttu [8]. Separaatorid, mis hoiavad otsest kontakti anoodi ja katoodi vahel, on tehtud polüetüleenist ja on mõeldud vältimaks stabiilsuse kadu. Polüetüleenist separaatorid sulgevad oma poorid, läbi mille liiguvad ioonid tavaliselt 130–150°C juures. Tänu pooride sulgemisele lõppeb laadimisprotsess. Separaator lülitab mooduli välja 130°C juures. Kui temperatuur tõuseb üle 150°C, sulab separaator täielikult ja ühendus katoodi ja anoodi vahel on taastatud [7]. Elektrolüüdi dekompositsioon hakkab toimuma,

kui temperatuur on üle 200 °C, kus elektrolüüt hakkab lagunema. Alates 220°C hakkab liitium negatiivse elektroodi sees eksotermiliselt reageerima sideainetega ning vabastatakse hapnik. Reaktsiooni puhul, kus vabastatakse hapnik, on oht, et hapnik hakkab reageerima elektrolüütilise lahustiga. Kõrgel temperatuuril, kus hapnik reageerib lahustiga, on oht leegi süttimiseks [8] .

Kui temperatuuri tõus ületab selle jaotamist ehk toimub termilise stabiilsuse kadu, tõuseb akumooduli sisene rõhk piisavalt kõrgeks, et avanevad liigrõhuklapid, mille kaudu moodulist väljub üleliigne rõhk. Kui aga toimub liiga kiire rõhu tõus, ei piisa avatud klappidest ja moodul võib lõhkeda. Kui kiirelt ja kas üldse toimub aku plahvatus, sõltub aku disainist, temperatuuri ja rõhu tõusu kiirusest ning materjalist, millest akumooduli korpus tehtud on. Keemilise reaktsiooni tulemusena, kus akumoodul plahvatab, on oht orgaanilisel elektrolüüdi lahusel sattuda kokku sädemete või kuumade tasapindadega, mis võib tekitada tulekahju. See aga omakorda kujutab tõsist ohtu ümberseisvatele sõidukitele ja inimestele. Keemilised ühendid, mis eralduvad reaktsiooni käigus, on vesinik, vingugaas ja toksilised või korrodeeruvad materjalid, nagu näiteks vesinikfluoriidhape [8].

3.3 Elektri ja hübriidauto akusüsteemi ohutusstandard, SAE J2929

Rahvusvaheline Autoinseneride Ühing (SAE) on soovitanud praktikat J2464 ja Sandia testi juhendit simuleerides mehaanilisi, termilisi ja elektrilisi mitteotstarbepäralist kasutust akudes, viies tingimused kõrgemale ohutustest töötingimustest elektri- ja hübriidautode puhul. SAE J2929 keskendub liitiumi põhjal taaslaetavate akude süsteemidele, mis on mõeldud kasutamiseks kõrgepingesüsteemides. Testi käigus sisaldab akusüsteem detaile, et kopeerida täielikku funktsionaalset energiavaru süsteemi, sealhulgas akuelemente ja vajalikke abisüsteeme nii füüsiliseks toetuseks, temperatuuri kontrolliks kui elektrooniliseks kontrolliks [8].

SAE J2929 vibratsioonitest on akusüsteemi test, mis kasutab SAEJ2380 vibratsiooniprofiili [8]:

- Vibratsioonitesti käigus ei tohi esineda põlenguid ega plahvatusi testi ajal ja tund peale testi.
- Testijärgne avatud voluringi pinge peab olema vähemalt 90% sellest, mis oli enne testi.
- Visuaalse inspektsiooni käigus ei tohi esineda mõrasid ega aku avanemist.

SAE J2929 termilise šoki test simuleerib kõrgeid temperatuuri muutusi keskkonnas, mida tõenäoliselt akusüsteem kogeb enda eluea jooksul [8]:

- Tund enne testi algust ja tund peale testi ei tohi akupakist eralduda suitsu, tuld, plahvatusi ega ventileerimist.
- Visuaalse kontrolli käigus ei tohi esineda akusüsteemis mõrasid, kahjustusi ega lahtiseid kõrgepinge konduktoreid, mis on peamiseks voolu liikumisrajaks.

SAE J2929 niiskuse ja hallituse testis rakendatakse temperatuuri ja niiskuse keskkonda, mida aku võib kogeda enda eluea jooksul, mida testitakse IAW IEC 60068-2-30 nõuete järgi temperatuuril 55°C kuue tsükli kaupa [8]:

- Tund enne testi algust ja tund peale testi ei tohi akupakist eralduda suitsu, tuld, plahvatusi ega ventileerimist.
- Visuaalse kontrolli käigus ei tohi esineda akusüsteemis mõrasid, kahjustusi ega lahtiseid kõrgepinge konduktoreid, mis on peamiseks voolu liikumisrajaks.
- Testijärgne avatud vooluringi pinge peab olema vähemalt 90% sellest, mis oli enne testi.

SAE J2929 akupaki kukkumise testis simuleeritakse juhtumit, kus hoolduse käigus eemaldatakse aku sõidukist ja kukutatakse aku, kui see on sõidukist eemal. Jälgitakse SAE J2464 tingimusi, kus kehtivad nõuded [8]:

- Kukkumise pind peab olema stabiilne ja kõva.
- Kukkumise pind peab olema horisontaalne ja mittedeformeeruv.
- Kukkumise pind peab olema piisavalt suur, et aku kukuks täielikult maha.
- Aku peab olema täiesti täis laetud.
- Kukkumise kõrgus ei tohi olla väiksem kui 1 meeter.
- Tund enne testi algust ja tund peale testi ei tohi akupakist eralduda suitsu, tuld, plahvatusi ega ventileerimist.

SAE J2929 akupaki uputamise testis simuleeritakse juhtumit, kus sõiduk ja aku on uppunud 5 minuti jooksul sõiduki esmasest kontaktist veega. Kõik kontrollid ja aku jälgimissüsteemid on täielikult töökorras. Test loetakse õnnestunuks, kui tund enne testi algust ja tund peale testi ei eraldu akupakist suitsu, tuld, plahvatusi ega ventileerimist [8].

SAE J2929 mehaanilise šoki testis luuakse tingimused, mis võivad esineda sõiduki avariisituatsioonis, kasutades akusüsteemi tasemetesti. Test loetakse õnnestunuks, kui tund enne testi algust ja tund peale testi ei eraldu akupakist suitsu, tuld, plahvatusi ega ventileerimist ning kõrgepingemaanduse isolatsioon on vähemalt 100 Ω/V .

SAE J2929 sõiduki põlengu testis simuleeritakse tingimusi, mis võivad esineda sõiduki põlengu puhul, et veenduda akusüsteemi ohutuses plahvatusohtlikus olukorras. Testi käigus viiakse sõiduki põlengu temperatuur piisavalt kõrgeks ja keskkond selliseks, et terve akusüsteem on osa põlengust. Seejärel eemaldatakse väline kuumus ja põlengu allikas ning akusüsteemil lastakse edasi põleda. Test lõpetatakse siis, kui enam ei ole nähtavaid leeke. Test loetakse õnnestunuks, kui põlengu ajal ja 1 tund peale põlengut ükski akusüsteemi komponent ei ole läbinud turvavõrestikku, mis ümbritseb akumoodulit [8].

3.4 Ohutusjuhendid avariilise elektriauto käitlemiseks

Elektriauto suurimaks riskiks on tulekahju, mis on põhjustatud akudest. Akude tehnoloogia ja ohutussüsteemid arenevad pidevalt kasutades põlemiskindlaid kemikaale akuelementide sees ja disainitud vältimaks termilise stabiilsuse kadumise reaktsiooni. Akumoodulitele lisatakse jahutussüsteeme, et piirata temperatuuri tõusu akupakkide sees, sest säde võib tekkida juba 66,5°C juures [9]. Enamus hübriid- ja elektriautod ning mõned pikendatud sõiduulatusega autod on varustatud ohutussüsteemidega, mis lülitavad sõiduki välja avarii toimumisel. Sellest tulenevalt on enamused sõidukeid välja lülitatud juba avarii ajal [10].

Hübriidauto kaabeldus ja komponendid on peamiselt veetud sõiduki põhja mööda hübriidsõiduki akust mootoriruumi ja sellest tulenevalt ei ole võimalik sõidukit avarii puhul lõigata ega avada tavapärastest lõikamispunktidest. Tänu hübriidsõiduki akude ja komponentide asukohale on vaja eritehnikat ja teadmisi, et sooritada päästmismeetodeid, mis sisaldavad sõiduki põhja lõikamist ning päästmist läbi pagasiruumi [10].

3.5 Kahjustatud kõrgepingeakud elektriautodes

Kahjustatud elektriauto aku võib väljastada ohtlikke gaase ning kui tuvastatakse ebatavalisi lõhnu ja tuntakse ärritust kurgus, silmades, ninas või nahal, tuleb eemalduda sõidukist. Avastades lekkivaid vedelikke, sädemeid, suitsu või mullituse heli elektriauto aku juurest, tuleb avada sõiduki aknad ja

pakiruum, et ennetada aurude teket. Kui esinevad sädemed, suits ja mullitamise heli elektriauto akust, on see märk ülekuumenevast akust, mis võib lõppeda viivitatud põlenguga. Samuti tuleb vältida kokkupuudet kahjustatud elektrisõiduki akuga, et välistada võimalik elektrilöögi oht [10].

Enamus hübriid- ja elektriautosid on varustatud manuaalse või hoolduse kõrgepingelülitiga, kuid kõiki ei ole soovitatud kasutada päästjatel [10].

Kui kõrgepingeaku süttib, on vajalik suur ja pidev veesurve, et summutada põleng. Testimiste tulemusel on selgunud, et põlengu kustutamiseks kulub ligikaudu 9800 liitrit vett või enamgi sõltuvalt aku suuruselt ja asukohast, et kustutada põleng [10].

3.6 2010-15 Toyota Priuse käitlemine tehase juhendi järgi

Lähenedes antud sõidukile, on juhendis ette nähtud kinnitada sõiduki rattad, rakendada seisupidur (antud sõidukil jalgpedaaliga) ning lülitada sõiduki käigukast Park režiimile, mida saab teha nupuvajutusega käiguvalitsi üleval [10].

3.6.1 2010-15 Toyota Priuse väljalülitamine

- Kui sõiduk on sisselülitatud, tuleb süüde välja lülitada läbi vajutuslülitit, mis asub armatuuril paremat kätt. Eemaldada tuleb lähenemisvõti ning hoida minimaalselt 5 meetri kaugusel sõidukist [10].
- Lahti ühendada 12V aku, mis asub pagasiruumis paremal pool [10].
- Juhul kui puudub ligipääs lülitile, tuleb eemaldada kaitsmeploki kate, mis asub mootoriruumis paremal juhust [10].
- Kaitsmeplokist tuleb eemaldada IGCT kaitse 30A roheline ja AM2 kaitse 7.5A oranž. Kui ei õnnestu leida antud kaitsmeid, tuleb eemaldada kõik kaitsmed või kaitsmeplokk [10].

Lisatud on ka hoiatus, mis keelab lõigata ja puudutada kõrgepingekomponente või -kaabeldust. Antud tegevus võib põhjustada tõsiseid vigastusi ja isegi surma. Peale kõrgepingesüsteemi väljalülitamist on see veel voolu all kuni 10 minutit [10].

4 RO-RO JA RO-PAX LAEVA TÜÜBID

Käesolevas uurimistöös käsitletakse peamiselt ro-ro ja ro-pax laevasid.

Ro-ro laevad ehk veeremilaevad transpordivad ratastel lasti, mis laetakse peale ja maha kas läbi külje, vööri või ahtri uste. Ro-ro laevadel saavad autod, veoautod ja rongid sõita tekkidele, mis ulatuvad läbi kogu laeva. Paljudel juhtudel on võimalik ro-ro laevadel muuta tekkide kõrgust. Suuri ja raskeid laste on võimalik tuua laeva nii kahveltõstukite ja veoautodega, vajamata selleks sadama aparatuure. Selline tegevus vähendab ooteaegu, mis omakorda võimaldab kasutada ro-ro laevu lühikestel distantsidel ning asendada suurepäraselt praame [11].

Ro-pax on autotekiga reisilaev. Sarnaselt ro-ro laevadele on sellel mitu tekki, mis on mõeldud sõidukitele, veoautodele ja rongidele. Samuti on võimalik transportida ka tavareisija sõidukeid. Ro-pax laevadel on lisaks autotekile veel kajutid, restoranid ja muud mugavused reisijatele [11].

Ro-ro ja ro-pax tüüpi laevad on ühed kõige edukamad laevatüübid tänapäeval. Tänu nende töökiirusele ja võimalusele integreerida paljusid teisi transpordisüsteeme, on muutunud sellised laevad populaarseks paljudel meremarsruutidel. Võimalus mahutada autosid ja reisijaid on tõstnud populaarsust turisminduses ro-ro laevade vastu [12].

Võrreldes kauba- ja kalalaevadega, on ro-ro laevad disainitud spetsiifiliste erijoontega, milleks on [15]:

- Maksimeerida kaubaala ning võimaldada sõidukitel siseneda ja väljuda kiirelt.
- Võimalus eemaldada heitgaasid suurte sundventilaatoritega.
- Võimalus mahutada suur hulk reisijaid ja ühendada majutustekid kaubatekkidega.
- Kaubatekkidest pääs mootoriruumi.

Need peamised disainiomadused kujutavad väljakutset tuleohutusele ning võimalusele hoida tekkinud tulekahjut ühes ruumis ja piirata tulekahju levikut. Nende omaduste tõttu on kohustuslik

kõikidel laevadel kasutada isesulguvaid tuleuksi, ventilatsioonitiivikutel hädaolukorra stoppereid ning ventilatsioonis kauglülitatavaid klappe, mis võimaldavad hädaolukorras hapniku ligipääsu piirata [15].



Foto 1. Viking Line XPRS ro-ro laev [13]

4.1 Ro-ro ja ro-pax laevade tulekahjud

Aastal 2020 sõidab Shelli uuringute kohaselt Saksamaal 50 miljonit autot. Saksamaa Föderaalvalitsuse sihtmärgiks on saada käesoleval aastal teedele 1 miljon elektrijamiga autot. See toob elektriautode proportsiooniks 2% kõigist teel liiklevatest autodest. See tähendab omakorda, et antud proportsioon hakkab kajastuma ka laevaliikluses [11].

Uuringutest on selgunud, et enamus laevatulekahjusi saavad alguse merel. Lisaks on mainitud, et ilmastikuolud ei mängi olulist rolli laevatulekahjudes. Tulekahjud algavad merel nii heade kui halbade ilmastikutingimustega. Küll aga selgub, et tulekahju kustutamiseks kulub rohkem aega merel kui sadamas või dokis. Peamiseks põhjuseks on laevavälise abi keerulisem kättesaadavus merel. NFPA ülevaatest tuleneb, et päästeamet kustutab 33 korda suurema tõenäosusega 37,16 m2 läbimõõduga tulekahju kui laevameeskond [14].

Läänemeri on Euroopa kõige vähesemate laevapõlengutega liikluspiirkond. Kõikide laevatuüpide peale kokku oli Läänemeres 141 laevatulekahjut aastatel 2004 kuni 2014, mis teeb kogu Euroopa laevapõlengute peale 18%. Ainult 3% tulekahjustest olid tõsised, mis on selgelt alla keskmise (10%). Sellele toetudes võib väita, et paljud antud piirkonnas sõitvad laevad on teinud suuri investeeringuid tuletõrjesüsteemidesse [14].

Toetudes rahvusvahelistele andmebaasidele, klasside andmestikkudele, EMSA mereraportitele ja õnnetuste raportitele on leitud, et aastatel 1990 kuni 2003 on ro-ro laevade tekkidel toimunud 25 tulekahjut erineva raskusastmega. Aastatel 2005 kuni 2016 on ro-ro laevade tekkidel toimunud 35 tulekahjut. Erinevust võib põhjendada nii parema raporteerimise ja suurema laevastiku põhjusel, kuid tuleb märkida, et kui aastatel 1990 kuni 2003 olid õnnetuste ja põlengutega juhtival positsioonil tanker- ja kaubalaevad, siis aastatel 2005 kuni 2016 oli rohkem põlenguid ro-pax laevadel [15].

Ro-ro laeval nimega Pearl of Scandinavia süttis 17. novembril 2010. aastal hübriidelektriauto aku. Hübriidauto oli ühendatud laadimisvõrku. Tuli levis ümbritsevatele autodele. Täpset põlengu põhjust ei osatud kinnitada, kuid oli võimalik välistada laadimiskaabel, millega elektriautot laeti [11].

Kaks päeva hiljem süttis ro-ro laeval Mecklenburg-Vorpommern kinnisel autotekil veotreileril transporditud sõiduauto, mille süttimise põhjustas sõiduauto aku [11].

Aastal 2010 sai vigastada 28 inimest tulekahjus ro-ro laeval nimega Lisco Gloria. On teada, et tuli sai alguse laeva autotekilt [14].

Aastatel 2005 kuni 2016 toimunud 35 põlengust laevatekkidel on sõiduautode tõttu tekkinud 5 tulekahjut. Arvutades riski sõiduki kohta on oht madal, eriti arvestades uusi sõiduautosid. Küll aga peab arvestama ka seda, et laevad mahutavad suurel hulgal sõidukeid oma tekkidele, mis oluliselt suurendab riski [15].

Uuringud näitavad, et 63% kõigist laevade tulekahjustest pärinevad laeva mootoriruumist, 27% kaubatekkidelt ja 10% majutamisruumidest. Uuringutest selgub, et peamiseks tulekahju tekkepõhjuseks mootoriruumis on kahjustus kütuse pritsesüsteemis, mille tagajärjel lekib kütus kuumadele pindadele. Paljud sellised kahjustused on kategoriseeritud õnnetuste alla nagu näiteks ebakorrekne varustus, vigane hooldus, puudused mootori töö jälgimises ja laeva vibratsioon. Põlengud, mis on alanud kaubatekkidelt, on põhjustatud nii kauba transpordi tingimustest kui ka

kauba eripärasustest. Mõned näited õnnetustest, mis on seotud kauba transpordi tingimustest, on kauba süttimine ebatavaliselt kõrge temperatuuri ja ka elektrilise lühise tõttu. Põlengud, mis on põhjustatud kauba eripärasuse tõttu, on hõlmanud keemilisi reaktsioone või ainete süttimist madalal sisepõlemistemperatuuril. Enamus tulekahjusid, mis pärinevad meeskonna või reisijate majutusosalalt, on seotud suitsetamise või elektrilühistega [14].

Laevatulekahjudes, mis on juhtunud Euroopa meredes, on kaotanud elu palju reisijaid ja meremehi. Kõige tõsisemad juhtumid nendest on olnud ro-ro laevadel. Üks halvemaid juhtumeid lähiajaloost pärineb aastast 1990, kui 159 inimest kaotas elu laevatulekahjus, mis leidis aset ro-ro laeval nimega Scandinavian Star. See tragöödia mängis suurt rolli Rahvusvahelise Mereorganisatsiooni otsuses hakata valmistama ette ISM (*International Safety Management*) koodi, mis seab ohutusstandardid merel nii varale, personalile kui ka keskkonnale. Kõikidele ro-ro laevadele kehtestati kohustused ohutussüsteemide rakendamiseks. Meresõidus on tüüpiline, et olulised ja suured muutused toimuvad peale katastroofiliste tagajärgedega juhtumeid selle asemel, et juhinduda riskianalüüsist [14].

Kui uurida laevatulekahjusid aastatel 2004 kuni 2014 selgub, et tõus on olnud just ro-ro, kruiisi- ja kaubalaevadel. Norra kindlustusfirmad ja Euroopa Meresõiduohutuse Amet on märkinud, et laevatulekahjude arv on suurenenud ka väljaspool Euroopa mereteid. Seda ka sellepärast, et Euroopas on vähenenud ro-ro laevade reisijate arv, kuid on tõusnud ro-ro laevade arv väljaspool Euroopat. Teisest küljest on langenud tulekahjud õli- ja keemiatankeritel ning kala- ja kaubalaevadel [14].

4.2 Ro-ro ja ro-pax laevade tuleohutuskorraldused

Tuleohutus ro-ro ja ro-pax laevadel juhindub Solase rahvusvahelise konventsiooni järgi (SOLAS II-2) ja rahvusvahelise tuleohutussüsteemide koodi järgi (FSS Code) [11].

SOLAS II-2 kohaselt peab ventilatsioonisüsteem olema vastav järgnevatele nõudmistele [11]:

- Ühes tunnis 10 siseõhu vahetust.
- Kaubateki ventilatsioon peab olema eraldiseisev teistest ventilatsioonisüsteemidest.
- Tiivikud peavad olema pidevas töös kui sõidukid on laeval.
- Väljaspool laadimistekki peab olema võimalik kontrollida tiivikuid ja tulesiibreid.
- Kui toimub lossimine või laadimine, peab toimuma õhuvahetus vähemalt 20 korda.

Tulemärkamis- ja alarmsüsteemid koosnevad tuleanduritest, mis omakorda jagunevad suitsu- ja kuumuseanduriteks. Kuumuseanduritel on maksimaalne seire ala 37 m² ja suitsuanduritel 74 m². Maksimaalne vahe kuumuseanduritel tohib olla 9 meetrit ja suitsuanduritel 11 meetrit [11].

Vee piserdamissüsteem, mida kutsutakse ka sprinklersüsteemiks, on standard tuletõrjevahend laevadel. Antud süsteem aktiveeritakse manuaalselt ja peab olema suuteline piserdama vett minimaalselt 5 liitrit ruutmeetrile ühes minutis. Alternatiivina vee piserdussüsteemile võib kasutada vee udusüsteemi, mis on vastavuses IMO nõutega, kuid antud süsteemid ei ole kogunud populaarsust [11].

Suletud kaubaaladega ro-ro laevadel võib kasutada süsinikdioksiidi tulekustutussüsteeme alternatiivina veepõhistele süsteemidele [11].

Lisaks on kohustuslik tuletõrjehüdrantide olemasolu tuletõrjeks ning need peavad olema installeeritud selliselt, et igale asukohale tekil oleks võimalik pääseda vähemalt kahe veetõrjepritsiga. Ro-pax laevadel, kus on lisaks veel ka tavareisijad, peab olema hüdrantide süsteem kogu aeg rõhu all [11].

20 meetri raadiuses peab olema kättesaadav nii tulekustuti kui ka kaasaskantav vahusüsteem, et tagada tulesüttimisohu korral kohene ligipääs tuletõrjevahenditele [11].

Ro-ro laevadel kasutatakse tulekahju ennetavate meetoditena järgmisi lähenemisi [14]:

- Tulekaitseisolatsioon kaubaaladel.
- Elektriliste seadmete ja nende juhtmestiku isoleerimine tulekaitsematerjaliga.
- Tule ennetamine meeskonnaga, tulevahi ringid.

Ro-ro laevadel kasutusel olevad kohustuslikud tulekahju ennetavad meetodid on [14]:

- Vee sprinklersüsteem
- Süsinikdioksiid tulekustutussüsteemid
- Tulehüdrandid
- Tuletõrjemeeskond
- Tule tuvastus- ja alarmsüsteem
- Väline abi päästeametilt
- Ventilatsioonisüsteem

Vastavus tuleohutuse regulatsioonidele tagatakse järelvalvega, mida teostab laeva lipuriik ja sadamakontroll välismaade sadamates. Ligikaudu 27 500 inspeksiooni viidi läbi Euroopa sadamates aastatel 2012–2014. Üheks suurimaks puuduseks raportites ilmes tuleohutus, hõivates 14% kõigist inspeksiooni käigus leitud puudustest. Selline tulemus näitab teatud määral hooletust tuleohutuse suunas nii operaatorite kui laeva meeskonna poolt. Peamisteks puudusteks tuleohutuses olid tulekindlad ukсед ja nende korrektne kasutamine, üldine tuleohutus ja tuletõrjevastustus [14].

Vastavus tuleohutuse regulatsioonidele ei garanteeri seda, et laev on ohutu, kuid see on hea stardipunkt tagamaks ohutud tuletõrjeoperatsioonid. Vastavalt uurijatele Soome Ohutusuuringute organis on suhtumisel võtmeroll tulekahju ennetamisel. Head suhtumist ohutuse suunas võib tihti peale näha lihtsate tegevuste põhjal, näiteks hoides alasid puhtana ja korras ning hooldades tuleohutusseadeid. Tulekahjude ennetus võib olla aga raske, kuna on palju potentsiaalseid põhjustajaid, alustades elektrilistest riketest ja lõpetades inimeksimustega. Seetõttu ei ole võimalik kõiki juhtumeid ennetada ning spetsiifilised põhjused tulekahjuks ei ole alati seotud laeva ohutusega. Kohati on lihtsam mõjutada tule märkamist ja efektiivset kustutamist kui üleüldist ohutust [14].

Tuletõrje esmaseks põhimõtteks on hoida tulekahju selle tekkekohal võimalikult kaua. Ro-ro laevade kered ja tekid on jaotatud vertikaalseteks tuletsoonideks, mida piiravad tulekindlad vaheseinad. Peamiselt asetsevad tulekindlad sektorid samal joonel veekindlate sektoritega, mida piiratakse veekindlate ustega. Tavaliselt ei ületa nende sektorite pikkus ega laius 48 meetrit ja maksimaalseks alaks peetakse 1600 ruutmeetrit. Isesulguvad tulekindlad ukсед paigutatakse peamiselt majutustekkkidele ning seal on ohuks suletud tulekahjul levida kajutitesse. Sellepärast kasutatakse isesulguvaid ukseid ja hoitakse sisekorda, kus kõikide kajutite ukсед on pidevalt suletud. Samuti on tuleohutuse nõuanne kontrollida iga kuu uste sulgumist. Ustes on kasutatud minimaalselt 4 mm teraslehte, mis on tugevdatud ning suudab hoida tule ja suitsu levikut 60 minutit [16].

SOLAS II 2 kohaselt peavad olema tuletõrjesüsteemid, mille hulka kuuluvad sprinklersüsteemid, tulekindlad vaheseinad ja ukсед ning tulealarmid, olema alati töökorras. Lisaks sellele peab laeva meeskond olema koolitatud ja omama piisavalt enesekindlust kasutamaks kõiki tuletõrjevahendeid igas olukorras. Seda saab saavutada ainult regulaarsete kontrollide ja õppustega. Nii tuletõrje- kui üldohutusõppuseid viiakse läbi keskmiselt 5–7 korda nädalas ro-ro laevadel. SOLAS II 2 näeb ette kohustuslikke tuletõrje arjutusi korra kuus või siis, kui 25% meeskonnast on vahetunud. Samuti peab iga laeva peal olema detailplaneering, mis sisaldab kogu informatsiooni tulekontrolliplaanist, tuletõrjevahendite ja avariiväljapääsude asukohast ning treeningõpik. Meeskond peab olema

selgeks õppinud terve tuletõrjeplaani, mis sisaldab andmeid peamistest tuletõrjevarustustest – reaalse tulekahju korral ei ole aega õppida selgeks varustuse asukohta ja kasutusmeetodeid [16].

4.3 Tulekahju järgne uuring

Kui laeval on toimunud tulekahju, peab arvestama paljude huvitundvate pooltega, kes soovivad teada nii asjaolusid kui ka tekkepõhjust. Nende hulka kuuluvad [16]:

- Lipuriik
- Sadama riik
- Laeva klassifikatsiooni ühing
- Kere ja masina kindlustusandjad
- Omanik
- Kaubavedajad
- Politsei (eriti kui on kannatajaid)
- Kohalikud ametivõimud (sadam ja päästemeet)

Lipuriigid soovivad uurida kõiki juhtumeid, mis toimuvad nende vetes. Tavaliselt viib seda läbi vastav ametkond või piirivalve [16].

Kere- ja masinakindlustusandjad soovivad uurida kahjude ulatuslikkust ning parandamise või asendamise kulu. Samuti uuritakse, kas põlenguga tekkis reostust ning kas kolmas osapool võis olla tulekahju põhjustajaks, mis omakorda teeks nad vastutavaks põlengu kulude eest [16].

Inspektorid, kes uurivad põlengut, teevad tihtipeale koostööd advokaatidega ning neid huvitavad tulekahju alguskoht, potentsiaalsed tulekahju põhjustajad, selgitada tehtud vead, et hoida ära sarnaseid juhtumeid kas laevakompanii siseselt või siis meretööstusele tervelt. Selgitades välja põhjused, annab see võimaluse ennetada ja paremini valmis olla, kui peaks puhkema uus tulekahju. Õppimine annab võimaluse muuta mereregulatsioone ohutumaks [16].

Tuleinspektorid viivad läbi esialgse uurimise sündmuskohal, kus tulekahju toimus, ilma seda muutmata. Selles staadiumis võtavad tuleinspektorid arvesse kahju ulatust, tulekahju liikumise jälgi, tõendeid tuletõrjest ja iga võimalust, mis võis põhjustada tulekahju. Inspektorid peavad dokumenteerima kogu tehtud toimingute nii piltide kui kirjalike märkmetega. Oluliseks faktoriks tulekahju põhjuse selgitamisel on ka intervjuu meeskonnaga. Meeskond annab inspektorile võimalikult palju informatsiooni tekkinud kahjust ja sisust enne õnnetuse juhtumist. Kõige

olulisemaks teguriks meeskonnaintervjuu puhul on selgitada välja, kus tulekahjut märgati esimesena, kuidas see levis ning milliseid tuletõrjemeetmeid rakendati esimesena. Samuti soovib inspektor kontrollida tule alarmsüsteeme ja videosalvestisi [16].

Tuletõrjeinspektor kaalub kõiki aspekte tulekahjust ja tuletõrjest, et selgitada, mida on võimalik teha, et ära hoida sarnaseid juhtumeid ning kas tuletõrjeõppused ja meeskonna valmidus tulekahjuks oli piisav. Nad soovivad vaadata järgmisi seisukohti [16]:

- Hooldusgraafikud fikseeritud ja kaasaskantavatele tuletõrjesüsteemidele
- Tuletõrje materjalide seisukord
- Tulekindlate uste testimine
- Tule alarmsüsteemide testimine ja töökord
- Tuletõrjeõppuse läbiviimine
- Tulevahi ringide sooritamine
- Meetmed, mida rakendati tulekahju algusest kuni selle kustutamiseni

Et laevakaptenid oleksid teadlikud erinevate poolte huvidest seoses tulekahju uurimisega, soovitatakse neil rangelt pöörduda laeva omanike poole enne, kui uurimist alustatakse [16].

4.4 Eeldatav tulekahjude arv autotekil

Aastal 2013 läbi viidud riskianalüüsis selgub, et elektri- ja hübriidautode populaarsuse tõusu ja jahutusseadega sõidukite tõttu on oodata tulekahjude arvu tõusu. Lähtudes riskianalüüsi tulemustest, on oodata terve ro-pax laevastiku peale elektri- ja hübriidautode transportimise tõttu 12% suurust tulekahjude tõusu [11].

Kui sõidukid on ühendatud laevaelektri jagamissüsteemi, on oodata enamaid tulekahjusid, eriti laadimiskaabliga seotud juhtumeid. Kui kõik elektri- ja hübriidautod oleksid laadimiseks ühendatud laeva elektrisüsteemi, tähendaks see 600 uut tulekahju juhtumit. Enamus neist ei oleks tõsised ja piirduksid kaabli läbipõlenguga. Kui lisada juurde sõidukid, millel on jahutusseade, siis suureneb tulekahjude eeldatav arv 704 juhtumini [11].

Võrreldes neid numbreid kogu ro-ro laevadel toimunud põlengute arvuga, on selge, et elektri- ja hübriidautode populaarsuse kasv on toonud juurde tuleriski ohu, millest ei saa mööda vaadata. Kui vastavaid meetmeid ja ohutustehnikaid ei võeta kasutusele, siis tulekahjude arv kaubatekkidel tõenäoliselt kahekordistub [11].

5 VÕIMALIKUD PARENDUSED TULEOHUTUSES

Et anda parem ülevaade meetmete rakendamise tulemuslikkusest, jaotatakse lõigud järgnevalt: tulekaitse, tulekahju märkamine ja tulekahjuga võitlemine.

5.1 Tulekaitse

Kui pikendatud sõiduulatusega hübriidautot transporditakse kinnisel tekil, siis laieneb potentsiaalne plahvatusohtlik keskkond tunduvalt. Kuna vesinik on õhust kergem, siis vabanedes koguneb ta suletud teki lae alla. Sellest tulenevalt vajaksid kõik kohalikud valgustus- ja õhutussüsteemid lisakaitset plahvatuste vastu, kuna vesinik vajab väga vähest energiat plahvatuseks [11].

Vältimaks kahjustusi kaablitele ja pistikupesadele, mida kasutatakse elektriautode laadimiseks ja mis võivad olla tulekahju põhjuseks, peaks kasutama ainult lukustatavaid pistikupesasid. See ennetaks pistikupesade kulumist lainetuse ajal, mis omakorda suurendab riski tulekahjuks. Samuti tuleks kõik laadimiskaablid ühendada läbi ühise kaitse, mis asub väljaspool autotekki ja võimaldab välja lülitada lisaenergia voolamise akudesse [11].

5.2 Tulekahju märkamine

Liitium-ioon aku tulekahjut ei ole võimalik lõplikult kustutada ilma päästeameti abita. Küll aga toimub aku juures enne süttimist palju protsesse, näiteks gaaside eraldumine ja nende segunemine akukestast. Individuaalsed pakid avanevad ja temperatuur kerkib, kuni aku süttib. Erinev on NiMH akud, mis ei hakka põlema, kuid temperatuur aku sees tõuseb sedavõrd kõrgele, et võib viia sõiduki süttimiseni. Sarnaselt Li-ioon akudele vabastavad ka NiMH akud gaase, mida on võimalik märgata [11].

Sellest lähtuvalt on gaasi või gaaside segude väljumist akupakkidest märgata ja see annab võimaluse tuletõrjemeeskonnale tule asukoha kindlakstegemiseks ja ohu eemaldamiseks võimalikult kiiresti. Kui kasutada piisavalt vett akupaki maha jahutamiseks, on võimalik ära hoida tulekahju teke ja levik ümbritsevatele autodele [11].

Pikendatud sõiduulatusega autod, mis enamasti tarbivad kütusena vesinikku ja hoiavad seda kõrgesurvepaakides, on suureks riskiks juhul, kui vesinikul on võimalus paagist väljuda. See võib tuleneda nii sõiduki enda defektist või sellest, kui kõrgsurvepaagile avaldub liiga suur temperatuur, näiteks tulekahju ajal. See omakorda sunnib vesinikku vabastama kõrgsurvepaagist läbi kaitseklapi. Meeskonnal ei ole võimalik tuvastada, kas vesinik on paagist väljunud või ei, samuti osutub probleemseks asjaolu, et vesinik põleb peaaegu nähtamatu leegiga [11].

Suletud tekkidel on vesiniku väljumise tuvastamise meetodid üliolulised vältimaks plahvatusi ja tulekahjusi ning kaitsmaks reisijaid. Võimalikult varajane vesiniku eemaldumise tuvastamine annab võimaluse ära hoida tulekahju suuremat levikut [11].

Tule ja gaasilekete avastamise parendamiseks SOLAS konventsiooni Peatükk II-2 , regulatsioon 7 järgi oleks järgnev [17]:

Planeerimine: Laadimistekkide tule- ja gaasisüsteemide disainimine võttes arvesse ro-ro/ro-pax laevade samm-sammu haaval protsessi:

- Laadimistekkide disainimine naturaalse õhuringluse tagamisega.
- Võimalikud ventilatsiooni kontseptsioonid.
- Sorteerida veetavad sõidukid (Li-ioon akuga, laetavad konteinerid).

Kogemus on näidanud, et mõnikord ei ole tule tuvastussüsteemid töökorras, kuna need pole paigaldatud õigesti. Sellest tulenevalt on soovituslik kaaluda sertifitseerimisprotseduuri taotlemist ja koostööd hooldusfirmadega, kes tagavad maksimaalse ohutustaseme [11].

5.3 Tulekahju tõrjumine

Elektriautode tulekahju erineb tavalisest laeva tulekahjust, sest näiteks akude põlengu korral eraldub mürgiseid gaase, temperatuur on palju kõrgem ja samuti võib lekkida ohtlikke vedelikke (elektrolüüt, vesinikfluoriidhape). Lisaks on oht plahvatusetele, kuna vesinik on pikendatud sõiduulatusega hübriidide energiaallikaks. Seetõttu peab olema meeskonna koolitamine ja ohutusvarustus vastav uutele riskidele. Vajalikeks osutub nii spetsiaalne kaitseriietus, respiratoorsed kaitsevahendid ja ka termokaamerad [11].

Tulekahju puhul, mis hõlmab või toimub elektri- ja hübriidautode läheduses, on eriti oluline jahutada maha materjalid, mis on tules ja seda ümbritsevas alas. See nõuab suuri veekoguseid. [11].

Testimiste tulemusel on selgunud, et põleng vajab ligikaudu 9800 liitrit vett või enamgi sõltuvalt aku suurusest ja asukohast, et kustutada põleng [10].

Sellest tulenevalt, et mitte ohustada laeva stabiilsust kustutava veega, tuleb veenduda, et veeäravoolud oleks puhtad ja töökorras. Samuti tuleb veeäravoolud hoida puhtana põlenud materjalist ja lastist [11].

Kavandatud täiendavad meetmed, mida kasutada spetsiaalselt elektrisõidukeid veetavas alas, oleksid järgmised [11]:

- Kasutada tekisiseseid tulekustuteid, mis on levinud lennukikandjatel ja helikopteriplatsidel. Keerulise disaini tõttu saab seda kasutada uuematel laevadel.
- Elektriautode aladel kasutada spetsiaalseid andureid, mis tuvastaksid gaasilekkeid enne, kui toimub süttimine.
- Automaatsed tulekustutussüsteemid, mis kasutaksid veepisardamis- või kõrgsurve veedusüsteemi, mis aktiveeruvad automaatselt tulekahju varajases faasis.
- Alad, kus seisavad elektri- ja hübriidautod, saab võimalusel eraldada ülejäänud tekist veeseinaga, kui toimub tulekahju. Selles süsteemis on väga oluline, et piiramatu vee juurdevool oleks tagatud ja et vee äravool oleks alati puhas.
- Avatud kaubatekil transportides elektri- ja hübriidautosid on efektiivseks lahenduseks veekahurid, mida kasutatakse nii tankeritel kui tuletõrjelaevadel ohtlike kemikaalide kustutamiseks.
- Olles kõrgema tuleriskiga allikaks kui tavasõidukid, tuleks elektri- ja hübriidautosid parkida suurematel distantsidel teistest sõidukitest, et tagada tulekahju raskem levik ja lihtsustada päästjate ligipääsu.
- Kasutusele tuleks võtta spetsiaalsed reeglid, mis tagaksid parema ventilatsiooni ja plahvatuskaitse aladel, kus pargitakse elektri- ja hübriidautosid.

5.4 Ettevõtte sisesed meetmed

Uuringute käigus on selgunud, et suureks abiks päästeametile ja tuletõrje meeskonnale oleks elektri- ja hübriidsõidukite markeerimine ning nähtavaks tegemine transpordi ajal. See tagaks sõidukite kiire leidmise ja vastavate ennetavate ohutusmeetmete kasutusele võtmise. Praegused seadused nõuavad ainult kokkusurutud vesinikupaagiga sõidukitel markeerimist väikese sildiga, kuid täislaetud kaubateki korral ei ole see nähtav [11].

Sõidukite markeerimine näiteks magnetitega katusele nõuaks jällegi liigset muretsemist juhtidel selgitamaks, kas ja mis nõuete alla nende sõiduk kuulub, kui nad vormistavad pileteid ja jõudes laevale parkimiseks. Selline informatsioon nõuaks ka eraldi parkimiskohti nendele sõidukitele. Kui elektriautosid laetakse ülesõidu ajal, siis on vajalikud erilised parkimiskohad, kuna kõik tekil olevad parkimiskohad ei võimalda elektriauto laadimispistikut. Sellest tulenevalt, et sõidukid laeval ära jagada, tuleb nad eelnevalt ka terminalis jaotada eraldi ootealadele tavalistest sõiduautodest, see tähendaks lisaradasid terminalialadel [11].

Igas situatsioonis, kus laeval on elektri- ja hübriidautod, tuleks meeskonda teavitada. See informatsioon võib osutada ülimalt oluliseks tulekahju puhkemisel. Samuti suurendatud tuleohu tõttu, mida kujutab endast elektriauto, ei tohiks neid transportida kergesti süttivate ja ohtlike kaubaveoste läheduses [11].

Lisaks peaksid ettevõtted kaaluma võimalust elektriautode laadimiseks laeva vooluringis. Soovituslikult tohib seda teha ainult testitud kaablitega, mis on varustatud laevade poolt ja mida jälgitakse pidevalt. Sellest tulenevalt tohiks neid käsitleda ainult vastava koolituse läbinud laevameeskonna liikmed – nii ühendamine, lahti ühendamine kui ka kaabli vedamine sõidukini [11].

6 TEGEVUSSOOVITUSED VIKING XPRSILE

Antud uurimistöös käsitletakse ka võimalikke tegevussoovitusi elektriautode süttimisohu vältimiseks Viking XPRS ro-ro laeval.

Viking XPRS on Tallinn-Helsingi liinil liiklev ro-ro laev, mis on ehitatud aastal 2008 Soomes. Viking XPRS tehnilised andmed on [18]:

- Jäaklass I A Super
- Pikkus 185m
- Laius 27,7m
- Sügavus 6,55m
- Kiirus 25,0 sõlme
- Mootori võimsus: 40000 kW
- Reisjaid: 2500
- Kajutikohti: 728
- Isikuautosid: 230
- Sõidurea pikkus: 1000m
- Varustatud stabilisaatoritega

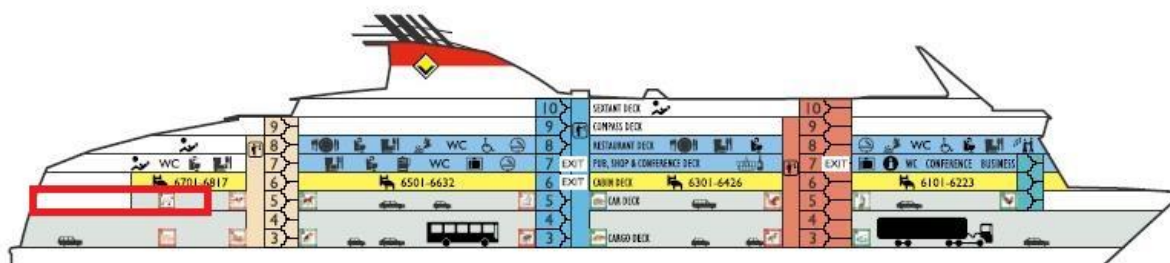
Shelli uuringutest selgub, et aastal 2020 on kõigist teel olevatest autodest 2% elektri- või hübriidajamiga sõidua autod. Sellest tulenevalt on võimalik arvestada ligikaudset elektrisõidukite arvu Viking XPRS ülesõidul. Oodatav arv täislastiga laeva puhul on umbes 5 elektriautot. Tipphooajal, mis kestab maist oktoobrini ja detsembrist märtsini, on laev pidevalt täislastiga.

Uurimistööd koostades konsulteeriti Viking XPRS'il töötava vanemmadrusega, kes on otseselt seotud kaubatekkide laadimise ja lossimisega. Samuti kuulub madrus tulerühma, mis vastutab autoteki ja masinaruumi tulekustutamise eest.

Hetkel märgistatakse sadamas enne laeva sisenemist sõidukid, kes on ostnud park pileti, mis tähendab, et nende sõiduk viibib laeval mitu ülesõitu. Märgistatakse ära invaliidide ja priority (eelisjärjekord) sõidukid.

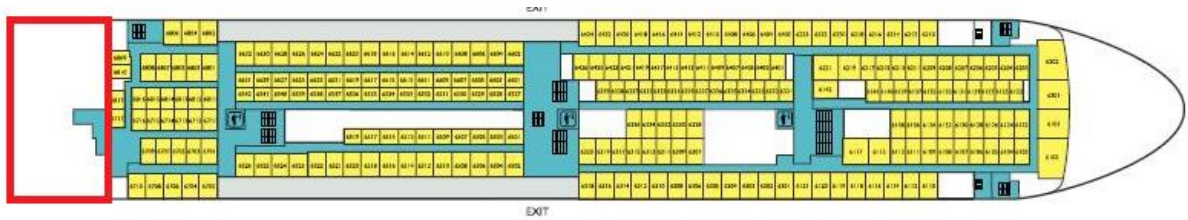
Leiaksime, et on oluline märgistada elektri- ja hübriidautod enne laeva sisenemist ja paigutada need ka ooteplatsil eraldi teistest sõidukitest, nagu tehakse eelnevalt mainitud sõidukigruppidega. See annab laeva meeskonnale informatsiooni, mitu elektrisõidukit on sisenemas laeva ja kuidas laadimisel nendega arvestada. Märgistussilt peaks olema magnetiga katusele kinnitatav, kuid praegused märgistussildid on paberist ja kinnituvad sõiduki salongi tahavaatepeegli külge. Kogemus on näidanud, et tihti kliendid ei paigalda märgistussilti ja ei teavita laeva sisenedes meeskonda. Seda olukorda aitaks vältida märgistussilt, mis kinnitatakse sadamatöötaja poolt sõiduki katusele ja eemaldatakse laeva meeskonna poolt siis, kui sõiduk on pargitud.

Märgistussilt võimaldab laeva meeskonnal paigutada sõiduki selleks ettenähtud parkimiskohale. Elektri- ja hübriidautod tuleks eraldada teistest sõidukitest eraldi ettenähtud kohale. Sobiv koht peab olema valitud sedasi, et ei sega laadimise ega lossimise voogu, tagades minimaalse ruumikao ning sisaldades kõiki lisa tuleohutusseadeldisi. Töörühm leidis, et Viking XPRS'il oleks sobiv koht 5. teki ahtriosas.



Joonis 1. Viking XPRS teki plaan [18]

Joonisel (Joonis 1) punasega märgistatud alal on töörühma planeeritav elektri- ja hübriidautode parkimisala. Selleks on Viking XPRS'i 5. teki kaubaala laeva ahtriosas. Antud ala sai valitud mitmetel põhjusel. Esiteks on ala piisavalt suur, et mahutada ohutu vahega üksteisest 7 elektriautot. Eeldatavaks arvuks on 5 autot täislastiga reisi puhul. Teiseks oluliseks põhjuseks on see, et manööverdamine ja autode suunamine ei sega laadimise ega lossimise tempot, mis toimub sujuval ning ühtlasel kiirusel. Kolmandaks on võimalik väga lihtsalt paigutada vajalikud tuletõrje- ja tuleohutusmeetmed. Samuti ei paikne antud ala reisijate kajutite all, vaid eemal.



Joonis 2. Viking XPRS teki plaan pealtvaates [18].

Ahtriosa kasutamine elektriautode transportimiseks tähendab laevateki mahutavuse vähenemist. Töörühma esialgne hinnang on täislastiga laeva puhul 30 sõiduauto koha kaotamine, et tagada vajalik parkimisala, turvaline perimeeter ja lihtsustatud ligipääs. Turvaliseks perimeetriks soovitaksime elektriautode vahele 2 meetrit ja ülejäänud sõidukitest 10 meetrit.

Tuleennetusmeetmetena tuleks paigaldada spetsiaalsed gaasiandurid, mis suudavad tuvastada keemilisi ühendeid, mis eralduvad elektriauto süttimiseelisel perioodil. Andurid võib ühendada sprinklersüsteemiga, et ohtliku gaasi tuvastamisel aktiveeruksid sprinklerid koheselt, kuid praktika on näidanud, et praegu kasutusel olevad andurid ei suuda eristada laadimise ja lossimise ajal tekkivat heitgaasi ning annavad silda valehäiret. Sellest tulenevalt on laadimise ja lossimise ajal gaasiandurid välja lülitatud.

Teise tuleennetusmeetmena soovib töörühm paigaldada mõlemasse laeva pardasse spetsiaalsed valvekaamerad, mis on suunatud just elektriautode parkimisalale. Paigaldada tuleks nii tavalised valvekaamerad kui ka soojuskaamerad. Soojuskaamerad aitaksid tuvastada temperatuuri tõusu ja võimaldaksid meeskonnal tegutseda enne sõiduki süttimist.

Parkimisala tuleks samuti varustada laadimispistikutega. Selleks tuleks koolitada laeva tekimeeskond ning laadijad peaksid olema ainult laevapoolsed. Laadimisvõrku ühendamise ja lahtiühendamise teostaks kvalifitseeritud meeskonnaliige. Laadimispistikud peaksid olema eraldi lüliti all, mis asub eemal parkimisalast, et ohu korral lõpetada laadimisprotsess.

Töörühm soovib paigaldada alale kaks vahugeneraatorit, optimaalne valik oleks SKUM HIEx veeturbiiniga vahugeneraator, mis suudab toota 190 m³ /min. Vahugeneraatorid asuksid vasakus ja paremas pardas. Vahugeneraator eelisteks on tulekahju kiire summutamine ja erinevalt pulberkustussüsteemist on tulekahjüjargne koristus oluliselt kiirem. Valitud vahugeneraatoreid kasutatakse laialdaselt ka lennukikandjatel.

Tuletõrjemeetmena oleks vajalik paigaldada mobiilne tuletõkissein terve ala laiuselt. See võimaldaks eraldada tekkinud tulekahju teistest sõidukitest ja tulekahju edasilevik oleks

raskendatud. Mobiilne tuletõkissein on võimalik ette seada nii ülesõiduks kui ka ainult tulekahju korral. Mobiilne tuletõkissein asuks eelnevalt mainitud turvalisel perimeetril. Tuletõkissein peaks olema minimaalselt vastavuses A-60 tulekindlusele, ehk pidama vastu intensiivsele tulekahjule 60 minutit ja sisaldama 4 millimeetrist metallplaati. Töörühma soovitusel oleks A-60 tulekindlusega tõkissein kõige optimaalsem kerge kaalu ja laialdase kasutuse tõttu laevanduses. Kindlasti peab arvesse võtma tuletõkisseina kasutusmugavuse, kuna Viking XPRS sõidab päevas 5 reisi ja kasutades iga ülesõit tuletõkisseina, peab olema seda lihtne paigaldada ja eemaldada.

Viking XPRS pardal viiakse läbi keskmiselt 2 kuni 3 tuletõrje harjutust nädalas. Harjutatakse laeva mahajätmist ja erinevaid situatsioone, kus põleb mootoriruum või reisijate teki osa. Töörühm soovitab laeval läbi viia spetsiaalseid koolitusi ja tuua regulaarsete harjutuste hulka ka elektriautode tulekahjude ennetamine ja ohu eemaldamine. Praeguse hetkeni on laeval vaid üks selline koolitus läbi viidud ning seal ei praktiseeritud reaalselt tulekahju kustutamist. Elektriautode koolitused suurendaksid meeskonna toimetulekut elektriauto tulekahju ennetamiseks ja kontrollimiseks.

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärgiks oli koostada tegevussoovitused Viking XPRS laevale elektriautode turvalise parkimise ala loomiseks, mis sisaldab peamisi tuleohutus ja -tõrjemeetodeid. Samuti oli eesmärgiks selgitada välja kõik riskid ja ohud, mida kujutavad endast elektri ja hübriidautod ja kuidas ennetada elektriautode tulekahjusid ro-ro ja ro-pax laevadel.

Autor andis ülevaate tegevussoovitustest, mida võiks rakendada Viking XPRS ro-ro laeval. Üheks olulisemaks nendest on elektri- ja hübriidautode eraldamine tavasõidukitest ja nende märgistamine enne laeva sisenemist. Tuletõrjemeetoditena soovitas autor kasutada A-60 standardiga tuletõkiseina ning paigutada kaks vahugeneraatorit mõlemasse laevapardasse. Tulekahju ennetusmeetmena oleks vajalik paigaldada valve- ja soojuskaamerad elektriautode parkimisalale. Ennetamiseks ja efektiivseks ohu eemaldamiseks soovitab autor Viking Line'il investeerida erikoolitustesse ja võimaldada laevatöötajatele praktilisi regulaarseid harjutusi, mis on seotud elektriautode tulekahjude käsitlemisega.

Antud uurimistööst selgus, et elektriautodega seotud tulekahjud on ohtlikud, nõuavad laevameeskonna suuremat väljaõpet ja on keerulisemad kustutada võrreldes tavasõidukitega. Elektriautode tulekahjud on ohtlikud, kuna eraldub palju mürgiseid gaase ja temperatuur muutub väga kõrgeks. Elektriautode kustutamine nõuab eriteadmisi ja -tehnikat elektriautode kõrgepingesüsteemide ja struktuurse eripära tõttu. Hetkeseisuga on paljude ro-ro ja ro-pax laevade meeskondade teadmised ja oskused puudulikud elektriautode efektiivseks kustutamiseks tulekahju korral ja ohutuks käitlemiseks.

SUMMARY

The aim of this graduation thesis *Prevention of electrically powered vehicle fires on ro-ro ships* is to examine the reasons why electrically powered vehicle catches fire and why it is so dangerous compared to regular car and how the ship industries need to adapt to new fire risks.

The graduation thesis is composed of 6 chapters, each of them dealing with different aspect of problems.

Chapter 1 is introductory and reviews the most common types of electrically powered vehicles. The chapter is subdivided into four parts. Part 1 describes battery electric car. Part 2 and 3 reviews hybrid electric car. Part 4 defines fuel cell vehicles.

Chapter 2 examines Li-ion battery and SAE J2929 battery test and how to safely operate with damaged electric car. The chapter consists of 3 parts. Part 1 focuses on Li-ion and most common battery types used in car industries. Part 2 investigates most common Li-ion faults and thermal runaway. Part three reviews SAE J2929 safety test which uses many ways to abuse Li-ion battery and see how it fails. Part 3 describes Toyota factory safety measures to safely handle damaged Toyota Prius.

Chapter 4 is introductory and reviews ro-ro and ro-pax ships. The chapter is subdivided into 4 parts. Part 1 explains the difference between ro-ro, ro-pax ships compared to tankers and cruise ships. Part 2 reviews fires that have happened on ro-ro ships. Part 3 describes the safety measurements according to SOLAS 2 which are used on ro-ro ships. Part 3 provides an overview what will happen when fire has been occurred on ro-ro ship and what parties are interested to investigate the fire. Part 4 focuses on estimated number of fires on the vehicle deck.

Chapter 5 concentrates on possible improvements on ro-ro ships regarding its fire safety. The chapter is divided into 4 parts. Part 1 focuses on fire protection. Part 2 focuses on fire detection. Part 3 describes fire fighting and Part 4 reviews structural measures regarding electric cars safety onboard.

Chapter 6 uses Reference ship Viking XPRS and how it can increase its fire safety transporting electric cars. Workshop created a special parking place for electric cars and added fire prevention and fire fighting measurements to plan.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] Department of Electrical Engineering & Renewable Energy. (2017) A Comprehensive Study of Key Electric Vehicle (EV) Components, Technologies, Challenges, Impacts, and Future Direction of Development.
- [2] Emma Arfa Grunditz and Torbjörn Thiringer. (2016) Performance Analysis of Current BEVs Based on a Comprehensive Review of Specifications.
- [3] Technical University of Cluj-Napoca. (2017) Comparison of Different Battery Types for Electric Vehicles.
- [4] Exponent, Inc. (2013) Best Practices for Emergency Response to Incidents involving Electric Battery Hazards: A Report on Full-scale Testing Results.
- [5] EG&G Technical Services, Inc ; U.S. Department of Energy. (2004) Fuel Cell Handbook Seventh Edition.
- [6] THE FIRE PROTECTION RESEARCH FOUNDATION ONE BATTERYMARCH PARK QUINCY, MASSACHUSETTS, U.S.A. (2013) Best Practices for Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicles Battery Hazards: A Report on Full-Scale Testing Results.
- [7] Exponent Failure Analysis Associates, Inc. (2011) Lithium-Ion Batteries Hazard.
- [8] D., Shawcross, P., Stout, G., Sullivan, E., Saunders, J., Risser, S., & Sayre, J. Stephens. (2017) Lithium-ion Battery Safety Issues for Electric and Plug-in Hybrid Vehicles.
- [9] Les Donohue-Bromle. (2018) The risks of Lithium ion electric vehicles and considerations for the parking industry.

- [10] National Fire Protection Association. (2018) Emergency Field Guide Hybrid, Electric, Fuel Cell, and Gaseous Fuel Vehicles.
- [11] Nina Kähler Peter Securius. (2013) Study on fire safety in connection with the transport of vehicles with electric generators or electrically powered vehicles on ro-ro and ro-pax ships.
- [12] International Maritime Organization. (1997) IMO and ro-ro safety.
- [13] EPA. [Online]. <https://www.aripaev.ee/uudised/2017/03/23/viking-line-eeesti-kaive-ja-kasum-tousid>
- [14] Baltic Sea Mirg. (2016) European maritime traffic risk assessment on ship fires.
- [15] DNV GL AS. (2016) FIRES ON RO-RO DECKS.
- [16] Standard Club. (2018) Fire Safety on Ferries.
- [17] INTERNATIONAL ASSOCIATION OF CLASSIFICATION SOCIETIES. (2020) Interpretations of the International Convention for the Safety of Life at Sea(Solas) 1974 and its Amendments.
- [18] Viking Line. (2010) Viking XPRS. [Online]. http://hhvferry.com/vikingxprs_2010dp.jpg