

Kaarel Jaksi

ELEKTRILISE VEOAJAMIGA VEOAUTO JA BUSSI HOOLDUSE JA REMONDI TULEOHUTUSNÕUDED

LÕPUTÖÖ

Tehnikainstituut

Autotehnika õppekava

Juhendaja: Henri Vennikas

Tallinn 2023

Autori deklaratsioon ja lihtlitsents

Mina, **Kaarel Jaksi**, 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.

Annan Tallinna Tehnikakõrgkoolile (edaspidi kõrgkool) tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

„ELEKTRILISE VEOAJAMIGA VEOAUTO JA BUSSI HOOLDUSE JA REMONDI TULEOHUTUSNÕUDED“:

reprodutseerimiseks paberkandjal kõrgkooli raamatukogus avaldamise ja säilitamise eesmärgil;

elektroonseks avaldamiseks kõrgkooli repositooriumi kaudu;

kui lõputöö avaldamisele on instituudi direktori korraldusega kehtestatud tähtajaline piirang, lõputöö avaldada pärast piirangu lõppemist;

ning kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid ega muid õigus.

Autor: Kaarel Jaksi

/allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas/

Juhendaja kinnitus

Lõputöö vastab lõputöö ja kirjalike tööde vormistamise juhendile. Lubada lõputöö kaitsmisele instituudi direktori korraldusega.

Juhendaja: Henri Vennikas

/allkirjastatud digitaalselt, kuupäev digiallkirjas/

SISUKORD

SISSEJUHATUS.....	4
1. ELEKTRISÕIDUKID	5
1.1. Alternatiivkütused	6
1.2. Veondusega seotud maksud ja toetused	6
1.3. Elektriajamiga busside ja veokite kasutamise eripärad.	7
1.4. Eestis turul olevad elektriveokid ja bussid	8
1.5. Elektriajaminga veokite ja busside ehitus	10
1.6. Veojõuakude ehitus ja peamised rikked	12
1.7. Elektriajamiga sõidukitega seotud põlengud	14
2. ELEKTRISÕIDUKITE TULEOHUTUS	16
2.1. Elektrisõidukitele mõeldud tulekustutusvahendid.....	17
2.1.1. Liitiumioonakudele mõeldud tulekustutid	17
2.1.2. Tulekustutustekk	18
2.2. Avariiliste sõidukite hoiustamine	20
2.3. Veojõuakude käsitlemine	23
2.4. Ettepanekud tuleohutus nõuetele	26
KOKKUVÕTE.....	27
SUMMARY	28
VIIDATUD ALLIKAD.....	29

SISSEJUHATUS

Järjest enam pööravad sõidukite tootjad rõhku taastuenergia või alternatiivkütuste kasutamisele. Olgu selleks hübriidsõidukid, mis kasutavad tavapärasest sisepõlemismootorit koostöös elektrimootoritega või alternatiiv kütusel põhinevat vesinikelement mootorit ning täiselektrilisi lahendusi. Eesmärgiks on nendel kõigil vähendada maavarade kasutamist fossiilkütuste näol, väiksemat süsinikujalajälge ning paremat elukeskkonda inimestele.

Aastaks 2035 on mitmed sõidukite tootjad lubanud asendada oma tootevalikus sisepõlemismootorid elektrimootorite või mõne muu alternatiivkütusel töötava mootori vastu. Kõige reaalsem lahendus selleks on hetkel elektrienergia kasutamine. Selle juurutamiseks on laias pildis pigem lühikene aeg, ning elektrisõidukid ei suuda veel tugevat konkurentsi pakkuda sisepõlemismootoritele. Kuid sellest sõltumata kasvab täiselektriliste sõidukite turg ning kasutamine märgatavalt.

Antud lõputöö eesmärgiks on uurida erinevate veokite ning busside tootjate poolt sätestatud tuleohutus reegleid ning tööohutus regulatsioone, et sätestada Eestis elektriajamiga veokite ning busside hoolduse ja remondi tuleohutus reeglid.

Töö eesmärgi täitmiseks on püstitatud järgmised ülesanded:

- Avariiliste sõidukite hoiustamine;
- Sõidukite ning nende akude seisukorra hindamine;
- Hoiustamistingimuste ja tehnika seisukorra vaheliste seoste kirjeldamine;
- Tehnika seisukorrast tingitud riskide uurimine;
- Ettepanekute esitamine Päästeametile tuleohutus eeskirja koostamiseks.

Töö teostamiseks on autor kasutanud erinevaid internetiallikaid, tootjate tehnilist infot ning hetkel kehtivaid rahvusvahelisi regulatsioone.

Töö esimeses pooles tutvub autor elektriliste sõidukite eripäraga, nende kasutustingimustega ning leiab võimalikud probleemid nende kasutamisel.

Töö teises osas võtab autor kokku tootjate poolt saadud tehnilise info ning võtab kokku olulised punktid, mille abil saab Päästeamet koostada tuleohutus reeglistiku.

1. ELEKTRISÕIDUKID

Elektrisõidukite kasutamine erineb fossiilkütusega sõidukitest mitmel alal. Suurimaks erinevuseks peetakse sõidukite sõiduulatust ning laadimiseks kuluvat aega, mis erineb tavapärasest sisepõlemismootoriga sõidukist väga suurel määral. Samas kaasnevad elektrisõidukite kasutamisega mitmed positiivsed tegurid, mis inimeste igapäevast elu paremuse poole muudavad. Elektrisõidukite üheks suureks eeliseks peetakse heitgaaside puudumist, mida omakorda võimendab taastuenergia kasutamine. Teiseks suureks eeliseks on mürareostuse vähenemine. Eelmainitud tegureid on tunda kõige rohkem linnapildis.

Lisaks heitmete vähenemisele, on elektriajamid võrreldes sisepõlemismootoriga tunduvalt efektiivsemad. Kui kõige efektiivsemad sisepõlemismootorid saavutavad kasuteguri 50%, siis elektriajamite kasutegur on 95%. On mitmeid variante liikuda elektrijõud, olgu selleks täiselektriliajam või hübriidajam. [1]

Järjest enam on kasutusel liitiumioon akudega sõidukeid üle maailma, selle tõttu on satuvad antud sõidukid ka järjest enam õnnetustesse. Kui tavakütuste kasutamisega kaasnevad riskid on saanud sotsiaalselt aksepteeritavateks, ollakse alternatiivkütuste suhtes endiselt skeptilised. Elektrisõidukite puhul peetakse õnnetusse sattumisel suurimaks ohu allikaks sõiduki veojõuakut, avarii käigus on võimalus, et veojõuaku saab piisavalt kannatada ning süttib. Lisaks on võimalus, et süttimine toimub alles pikemat aega peale aku kahjustamist. Sellel põhjusel ei ole murelikud on tuletõrjujaid, vaid ka ülejäänud avarii järgselt sõidukiga kokku puutuvad isikud. [1]

1.1. Alternatiivkütused

Maksimaalne energia salvestamine on võtmeks rohelisele energiale. Ebakorrapäraselt kättesaadavad energiaallikad tuleks vahetada pidevalt kättesaadavate vastu, mida on võimalik igal ajahetkel salvestada ning transportida. Enamuse jaoks tähendab energia salvestamine akude kasutamist, mis võib aga lähimatel aastatel muutuda. Ühe kilogrammine liitium-ioon aku suudab salvestada 0.15-0.25kWh energiat, samal ajal üks kilogramm vesinikku sisaldab 39.6kWh energiat. Kütuseelemendid töötavad sarnaselt akule, kuid need ei vaja laadimist. Energia tootmine kütuseelemendis töötab senikaua kuni tagatakse kütuse olemasolu. Sellest lähtuvalt on akude tehnoloogial veel pikk maa arened. Lisaks on akud kasutusel peamiselt statsionaarsetel ja suhteliselt väiksetel tarbijatel, näiteks päikseenergia salvestamiseks eramajadel või sõidukitel. [2], [3]

1.2. Veondusega seotud maksud ja toetused

Alates 2003 aastast on Eestis kehtestatud kõikidele alates 12-tonnise või suurema registri- või täismassiga veoautodele ja autorongidele kehtestatud raskeveoki maks. Maksumäär sõltub maksustava veoauto täis- või registrimassist, telgede arvust ning veotelje vedrustuse tüübist. Autorongi maksumäär sõltub autorongi täis- või registrimassist võttes aluseks eelnimetatud veoauto näitajad ning autorongi koosseisus üheagselt kasutatavate haagiste telgede arvu ja suurima massi, mille veoauto omanik või kasutaja on avaldanud Transpordiametile. Raskeveokimaksu maksustamisperiood on kvartal. [4]

Raskeveokimaksust on vabastatud järgmist tüüpi sõidukid [4]:

- Kaitseväe, Kaitseliidu, Politsei- ja Piirivalveameti ja päästeasutuste raskeveokid;
- Päästetöid tegeva kohaliku omavalitsuse, mittetulundusühingu, sihtasutuse või ettevõtja raskeveokid, mida kasutatakse peamiselt päästetööl.

Teekasutustasu kehtestati 2017 aastal eesmärgiga suunata maksutulu transporditaristu hooldamiseks. Maksustamisele kuuluvad kõik üle 3500-kilogrammise täismassiga veoautod koos haagistega. Maksumäär sõltub veoauto ja selle haagise täismassidest, telgede arvust ning veoauto heitgaasiklassist [5].

Teekasutustasust on vabastatud järgmist tüüpi sõidukid [5]:

- Kaitseväge, Kaitseliidu, välisriigi relvajõudude, Politsei ja Piirivalveameti ning päästeasutuste veoautod ja nende haagised;
- Rahvusvahelise abi osutaja veoauto ja selle haagis;
- Kohaliku omavalitsuse üksuse, mittetulundusühingu, sihtasutuse või ettevõtja veoauto ja selle haagis, mida kasutatakse peamiselt päästetööl;
- Vanasõidukile Liiklusseaduse tähenduses.

Eelnevale infole tuginedes, puudub hetkel Eesti maksusüsteemis soodustus elektriliste veokite kasutamiseks. Antud tegur võib olla üks põhjustest vähese elektriliste veoautode huvi vastu.

Elektrisõidukitega seotud toetusi praegusel hetkel napib ning need on pigem suunatud M1 ja N1 kategooria sõidukite suunas. Keskkonnainvesteeringute keskus pakub ostutoetust nullheitega sõidukite soetamiseks füüsilistele ja juriidilistele isikutele M1 ja N1 kategooria sõidukite ostuks. 20 aprilli seisuga 2023 aastal on toetuse saanud sõidukeid 111tk. Toetuse suurus on nii füüsilisele kui juriidilisele isikule M1 ja N1 kategooria sõiduki ostuks 4000€. Toetatud on maksimaalselt 60 000€ maksva M1 ja 80 000€ maksva N1 kategooria sõiduki ost [6].

Lisaks on Keskkonnainvesteeringute Keskus valmis toetama elektribusside ostmist ja laadimistaristu loomist. Toetust oli võimalik taotleda järgnevateks tegevusteks [7], [8]:

- Vähemalt 8 madalapõrandalise elektribussi soetamiseks linnaliinide teenindamiseks;
- Elektribusside laadimistaristu ostmiseks, projekteerimiseks ja ehitamiseks;
- Andmeanalüüsi teostamiseks, et koguda ning analüüsida elektribusside kasutamisel saadavat infot võrdluses diisel- ja gaasibussidega.

1.3. Elektriajamiga busside ja veokite kasutamise eripärad.

Elektriajamiga sõidukite kasutamisega kaasnevad teatud eripärad, mis hõlmavad erinevaid valdkondi. Suurimaks erinevuseks võib pidada tavapärasest harjumusest erinevat laadimisaega elektrisõidukitel. Kui sisepõlemismootoriga sõidukil võtab tankimine aega maksimaalselt 2-5 minutit, ning sellega on võimalik läbida järgnevad 500-1000 km sõiduautodel, veokitel 1000-2500 km sõltuvalt sõidukist, siis elektrisõidukitega, kasutades kiirlaadimist, kulub aku laadimisele keskmiselt aega 1-2 tundi, mille

järel on võimalik olenevalt sõidukist läbida suurusjärgus 200-500 km. Juhul kui kiirlaadimise võimekus pole kättesaadav, muuduvad laadimise ajad kordades pikemaks.

Lisaks kaasnevad eripärad elektrisõidukite järelteenindusel. Kõik täiselektrilised sõidukid sisaldavad endas kõrgepinge elemente, mille tõttu on järelteeninduse teostamisel oluline kinni pidada kõikidest ohutusnõuetest. Tootjapoolt seatud ohtusreeglitest mitte kinni pidamine lõppeb reeglina tõsiste põletushaavadega ning halvimal juhul surmaga.

Lähtudes busside kasutamisest linnaliinide teenindamisel on võrreldes veokitega elektriliste busside kasutamisel teatud eripärad. Tallinna Linnatranspordi AS-i elektribusside hanke tehnilises kirjelduses on sätestatud, et hangitavad elektribussid hakkavad teenindama põhiliselt nelja liini, mille ringi pikkus jääb vahemiku 18-30 km. Sõltuvalt ringist jääb busside päevane läbisõit vahemiku 300-350 km. Antud infot arvesse võttes selgub, et turul on saadaval elektribusse, mis oleksid ideaaltingimustes võimelised antud liine ühe laadimisega teenindama. Lisaks on hanke tehnilises kirjelduses sätestatud, et kõikidel bussidel peab olema valmisolek alalisvoolu laadimiseks depoes kui ka täiendavaks laadimiseks liiniveoajal lõpp-peatuses paikneva pantograafiga. [9]

Erinevalt elektrilisest veokitest, on bussidel lisaks tavapärasele alalisvoolu pistik laadimisele pakutav ka pantograafilt kiirlaadimine, mis on peamiselt kasutusel lõpp-peatuses laadimiseks.

1.4. Eestis turul olevad elektriveokid ja bussid

2023 aasta esimese kvartali seisuga on Eestis registreeritud 1 täiselektriline N3 kategooria sõiduk. Hübriidajamiga N2 ja N3 kategooria sõidukeid reigistris ei ole. Täiselektrilisi busse transpordiameti andmetel registreeritud ei ole, kuid hübriidajamiga M3 kategooria sõidukeid on registreeritud 44. [10]

Järgnevas tabelis (Tabel 1) on välja toodud Eesti turul müüdavad täiselektrilised veokid ja bussid.

Tabel 1. Eestis müüdavate N2 ja N3 sõidukite lühikirjeldus.

Mark, mudel	Sõiduulatus, km	Aku suurus, kWh	Aku pinge, V	Aku tüüp
Volvo FL,FE,FH [11]	200-380	540	600	Liitiumioon
Renault D [12]	200-560	565	600	Liitiumioon
Scania L,P,R,S [13]	350	624	600	Liitiumioon
Daf XD, XF [14]	500	525	600	Liitiumraudfosfaat

Eestis registreeritud hübriidveoajamiga bussidest, ehk M2 ja M3 kategooria sõidukitest moodustab 100%, ehk 44 ühikut Volvo 7900 seeria hübriidbussid, mida kasutab Aktsiaselts Tallinna Linnatransport (TLT), mis on vanusega 5-10 aastat. [10]

Järgnevas tabelis (

Tabel 2) on välja toodud levinumate elektriliste busside lühikirjeldus. Lühikirjelduses on arvestatud 12-meetri pikkuste linnaliini busside tehniliste näitega, mis vastavad Aktsiaselts Tallinna Linnatransport poolt koostatud hanke tehniliste näitajatega [9].

Tabel 2. 12-meetrise elektriliste linnaliini busside tehnilised näitajad.

Mark, mudel	Sõiduulatus, km	Aku mahtuvus, kWh	Aku tüüp
Volvo 7900 [15]	200	380-480	Liitiumioon
Scania Citywide [13]	320	254-330	Liitiumioon
MAN Lion's City12E [16]	350	320-480	Liitiumioon
Irizar ie bus [17]	350	470	Liitiumioon
Solaris Urbino [18]		500	Liitiumioon

2023 aasta jaanuaris kuulutas TLT välja riigihanke ostmaks 15 täiselektrilist bussi ning vajaliku laadimistaristu, lisaks selle võimaluse osta 15 lisabussi. Eelneva hanke käigus taganes Irizar e-Mobility allkirjastamisest, mistõttu korraldati uus hange täiselektriliste busside soetamiseks. TLT on kasutanud ja testinud viimastel aastatel hübriidbusse ning surugaasbusse (CNG). TLT-l on plaan minna aastaks 2035 üle täielikult elektrilistele bussidele. Uutele elektrilistele bussidele üleminek aitab nende sõnul langetada busside ülalpidamise kulusid. Hanke võitja peab lepingu raames bussid üle andma hiljemalt 2024 aasta suveks. Samaks ajaks peab olema välja ehitatud ja testitud busside laadimistaristu. Busside soetamist toetab Keskkonnainvesteeringute Keskus(KIK). [19]

Transpordiameti statistika kohaselt on Eestis kõige levinum täiselektriline sõiduk Nissan Leaf, mille erinevaid mudeli variatsioone on registreeritud 731 [10]. Siinkohal on koostatud koondtabel (

Tabel 3), milles on välja toodud ühe N3, M3 ja M1 sõiduki võrdlus ilmestamiseks antud kategooria sõidukite suurimaid erinevusi.

Tabel 3. M1, N3 ja M3 elektrisõidukite võrdlus.

Mark, mudel	Sõiduulatus, km	Aku mahtuvus, kWh	Aku tüüp
Scania R [20]	250	300	Liitiumioon
Volvo 7900 [15]	200	198-330	Liitiumioon
Nissan Leaf [21]	200	24-62	Liitiumioon

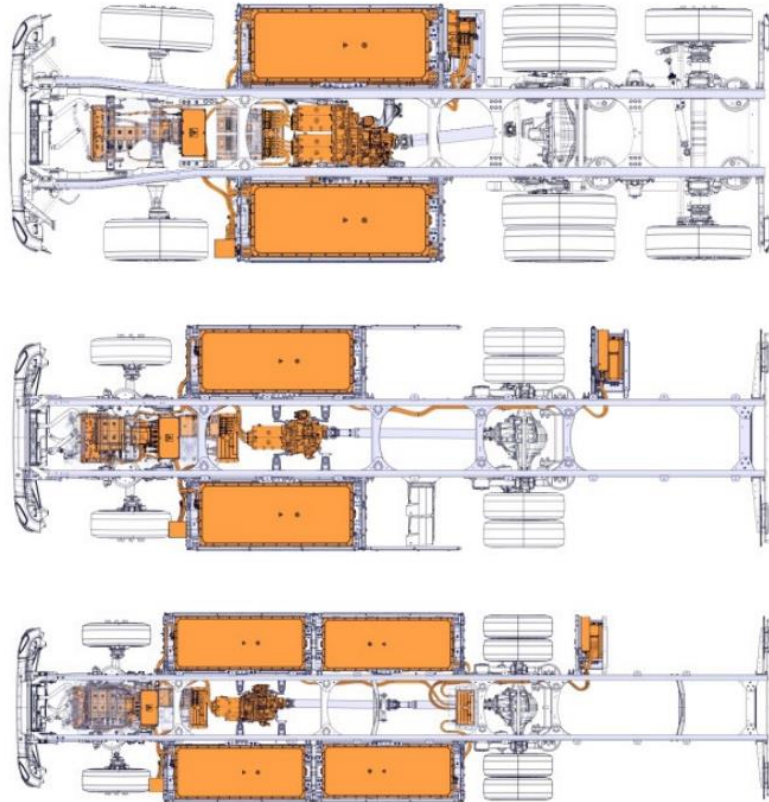
Eelnevast infost tulenevalt on suurimaks erinevuseks tavasõidukite ja tarbesõidukite vahel veojõuaku suurus, millest otseselt sõltub põlengu korral selle kestvus ja intensiivsus.

1.5. Elektriajaminga veokite ja busside ehitus

Väliselt on elektriveokid ja bussid peaaegu identsed tavasõidukitele. Elektriveokite akupakid asetsevad reeglina veoki külgedel, kus sisepõlemismootoriga veokil asetsevad kütusepaagid. Antud lahenduse põhjuseks võib pidada tootmiskulude kokkuhoidu. Paigaldades veojõuakud tavapäraste kütusepaakide asemele, ei pea sõidukitootja tegema sõiduki konstruktsioonis suuri muudatusi. [22]

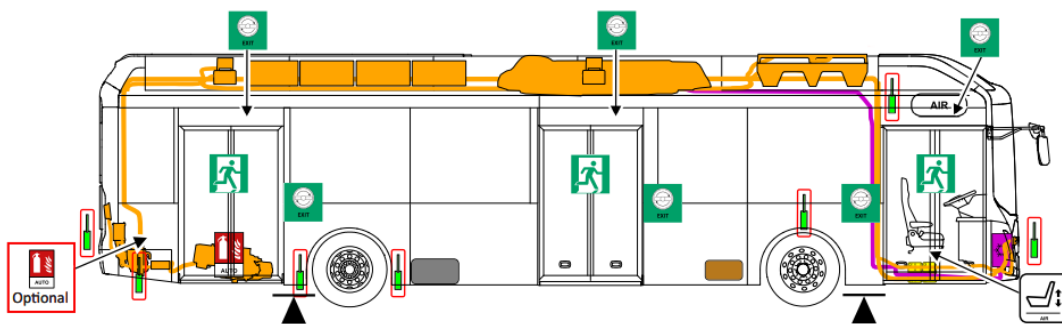
Võttes arvesse, et enamus elektrisõidukitega seotud tulekahjusid saavad alguse akupakist, on veokite ja busside puhul ligipääs akupakkidele lihtsam ning kiirem. Võrdluseks on elektrilistel sõiduautodel akupakid reeglina paigutatud sõiduki põhja alla ning seetõttu on põlengu korral ligipääs akupakile keerulisem. [22]

Kuigi külgedele paigutatud akupakid on tulekahju korral eeliseks ligipääsetavuse suhtes, siis avariasse sattudes on veokite akupakid vähem kaitstud. Külgkokkupõrke korral on akupaki ainsateks kaitsvateks elementideks veoki külgmine allasõidutõke ning veojõuaku enda korpus. Alljärgneval joonisel (Joonis 1) on kujutatud Renault elektriveoki kõrgepinge elementide asetus, kus oranzid ristkülikud veoki külgedel on akupakid.



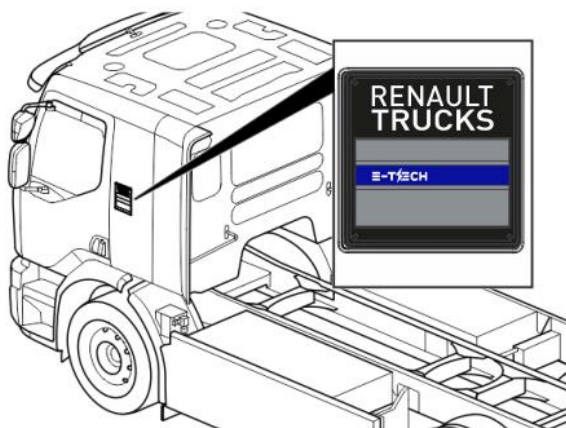
Joonis 1. Renault N2 ja N3 veoki kõrgepinge elementide paigutus. [23]

Hübriid- ja täiselektriliseajamiga bussidel on enamlevinud veoaku paigaldamise koht sõiduki katus. Aku katusele paigaldamine toob endaga kaasa mitmeid positiivseid tegureid. Üheks suurimaks eeliseks on akude parem töökeskkond. Katusele paigaldatuna, on akud rohkem avatud õhuliikumisele, mille kaudu on liikuva õhuga tagatud efektiivsem akude jahutamine sõitmise ajal ning väiksem võimalus akude ülekuumenemiseks. Lisaks on hädaolukordades akule parem ligipääs. Alljärgneval joonisel (Joonis 2) on kujutatud Volvo täiselektrilise bussi kõrgepinge elementide paigutus, kus oranzid riskülikud katusel on veojõuakud. [22], [24]



Joonis 2. Volvo 7900 kõrgepinge elementide paigutus. [24]

Ohutuse valdkonnast on oluliseks punktiks täiselektrilise sõiduki ära tundmine ning eristamine sisepõlemismootoriga sõidukist. Antud info võimaldab ohu tekkimisel ohule vastavalt reageerida ning eriti oluline on elektrilise sõiduki ära tundmine päästetöötajatele. Täiselektrilist sõidukit aitab ära tunda mudeli tunnusele kantud elektrilisele veoajamile viitavad märgised. Joonis 3 näitab Renault elektrilise veoajamiga veoki mudeli märgistust.



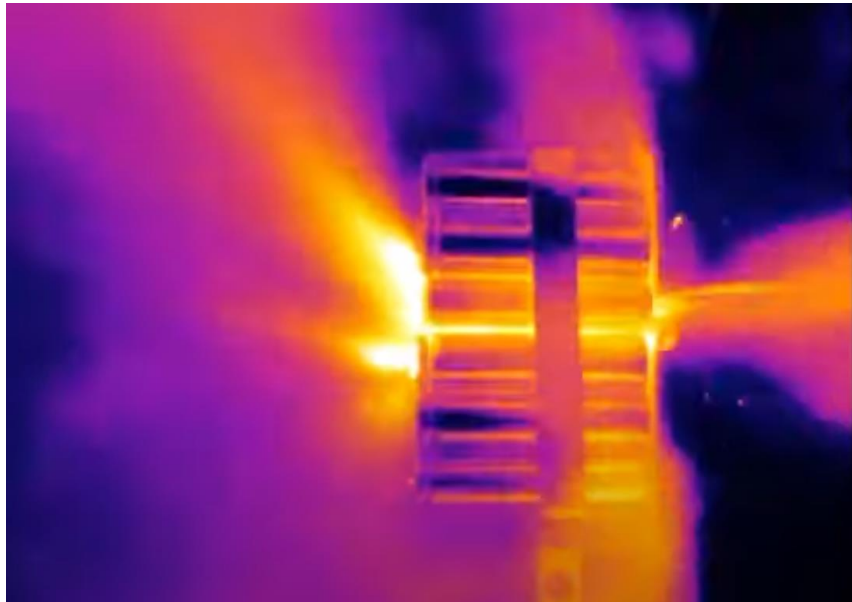
Joonis 3. Renault elektrilise veoajamiga veoki mudeli tähis. [25]

1.6. Veojõuakude ehitus ja peamised rikked

Kõige levinumaks elektrilistel bussidel ja veoautodel kasutatavaks veojõuaku tüübiks on liitiumiuoonaku (Joonis 4). Akupaki moodustavad akumoodulid, mis omakorda koosnevad akuelementidest. Peamine veojõuakude süttimise põhjus on termilise stabiilsuse kadu, mis tuleneb akuelemendi kahjustuse või rikke tagajärjelt. Tegemist on ahelreaktsiooniga kus toimub ühe akuelemendi kontrollimatu soojenemine, mille tagajärjel soojenevad kõrval asuvad aku elemendid. Kui elemendi temperatuur tõuseb piisavalt kõrgeks, hakkab eralduma mürgine tuleohtlik gaas, mis lõpuks süttib. Reeglina toimub süttimine intensiivselt (Joonis 5) . [26], [22], [27]



Joonis 4. Kõrgepinge veojõuaku. [27]



Joonis 5. Liitiumioonaku elemendi süttimine termilise stabiilsuse kao tõttu. [26]

Järgnevalt on välja toodud põhilised liitiumioon aku rikked [1]:

- Sisemine akuelemendi lühis;
- Mehaaniline vigastus;
- Liiga intensiivne laadimine;
- Aku liigne tühjenemine;
- Väline lühis;
- Liiga kõrge temperatuur.

1.7. Elektriajamiga sõidukitega seotud põlengud

Üks liitiumioon akule omane eripära on peale põlengu kustutamist võime uuesti süttida. Antud omadus ei ole probleemne mitte ainult päästeteenistustele vaid ka elektrisõidukitega tegelevatele töökodadele. On olnud juhuseid, kus põlema süttinud elektrisõiduk peale kustutamist süttis uuesti 5 päeva hiljem. Lisaks võrreldes sisepõlemismootoriga sõidukitega, kus põlengu kustutamiseks kulub 750-1100 L vett, võib elektrilise sõiduauto põlengu kustutamiseks vaja minna kuni 10 000 L vett. Elektriliste veokite ja busside puhul veel enamgi. [22]

EV-FireSafe andmetel on elektribussidega seotud liitiumioon akude põlenguid registreeritud 2022 aprilli seisuga 18. Kuuel juhul on süttinud depoos parkiv buss ning viiel juhul laetav buss. Juhtumeid, kus samal ajal hävineb mitu bussi on registreeritud kuus. Elektriajamiga veoautodega seotud põlengute kohta praegu info puudub. Järgnevalt on välja toodud mõned depoodes toimunud elektribussidega seotud põlengud. [28]

2015 aastal toimus Hiinas bussidepoos põleng (Joonis 6), kus elektribussi aku süttis termilise stabiilsuse kao tõttu. Väidetavalt ei toimunud põlengu ajal bussi laadimist. Juhtum leidis aset kolmest küljest suletud depoos bussi parkimise ajal. [28]



Joonis 6. Elektribussi põleng Hiinas. [28]

Saksamaal, Stuttgartis toimus bussidepoos põleng (Joonis 7), mille käigus hävines kokku 25 elektribussi, laadimisjaam ning osa depoost. Põleng toimus busside laadimisjaamas busside laadimise ajal. Põlengu põhjustas laadimise käigus tekkinud elektriline viga. [28]



Joonis 7. Elektribusside põleng Saksamaal. [28]

2. ELEKTRISÕIDUKITE TULEOHUTUS

Elektrisõidukitega seotud põlengud on pigem harv nähtus. Koos tehnoloogia arenguga töötavad ka sõidukite tootjad, et tagada kõige kõrgem kvaliteet enda sõidukite ohutuses ja efektiivsuses. Üldpildis on elektrisõidukite näol tegemist äärmiselt turvaliste sõidukitega, kuid suurimaks ohuallikaks jääb kahjustada saanud liitiumioonaku. [29]

Elektrisõiduki põlengu korral on päästeteenistusel valida kahe variandi vahel, kas lasta tulel lõpuni põleda või see kustutada. Loogiline vastus on, et kustutada, kuid mitmed sõidukite tootjad soovivad päästeteenistustel lasta tulel lõpuni põleda ning keskenduda ümberpaikneva ala kindlustamisele. Tule lõpuni põleda laskmine vähendab riski uuesti süttimisele, samas tule kustutamisel eraldub vähem mürgiseid ühendeid ning keskkond saab vähem saastatud. [29]

2.1. Elektrisõidukitele mõeldud tulekustutusvahendid

Elektrisõidukite puhul on veojõukude põlengul tegemist intensiivse põlenguga ning akuelementide termilist stabiilsust taastada on keeruline. Põlengu kontrollimise muudab keeruliseks veel veojõuaku ehitus. Veojõuaku on reeglina paigaldatud tugevdatud korpusesse, mille ülesandeks on akut kaitsta väliste mõjude eest. Sellest tulenevalt võib veojõukudega seotud põlengute kustutamine olla raskendatud. Enne liitiumioonaku süttimist ilmnevad mitmed hoiatavad tegurid, mille ära tundmisel on õigeaegsel reageerimisel võimalik suurem kahju ära hoida või alustada evakueerimisega. [22]

2.1.1. Liitiumioonakudele mõeldud tulekustutid

Hazard Control Technologies Europe GmbsH on välja töötanud spetsiaalse tulekustutusaine F-500, mis on mõeldud erinevate põlengute, sealhulgas liitiumioonakude põlengute kustutamiseks. Antud aine on tootja andmetel võimeline kustutama A ja B ning osaliselt C, D ja F klassi põlenguid. Tootja poolt läbi viidud testi käigus võrreldi ABC kustuti, vahtkustuti ja F-500EA käsitulekustutite võimet kustutada liitiumioonaku põleng. Testi käigus oli aku põlengu võimeline kustutama ainult F-500EA kustuti. Teiste kustutite kasutamisel, toimus peale kustutamise lõppu uuesti süttimine. Järgneval joonisel (Joonis 8) on kujutatud eelkirjeldatud testi faas, kus on toimunud esmane kustutamine. [30]



Joonis 8. Liitiumioonaku kustutamise test. [30]

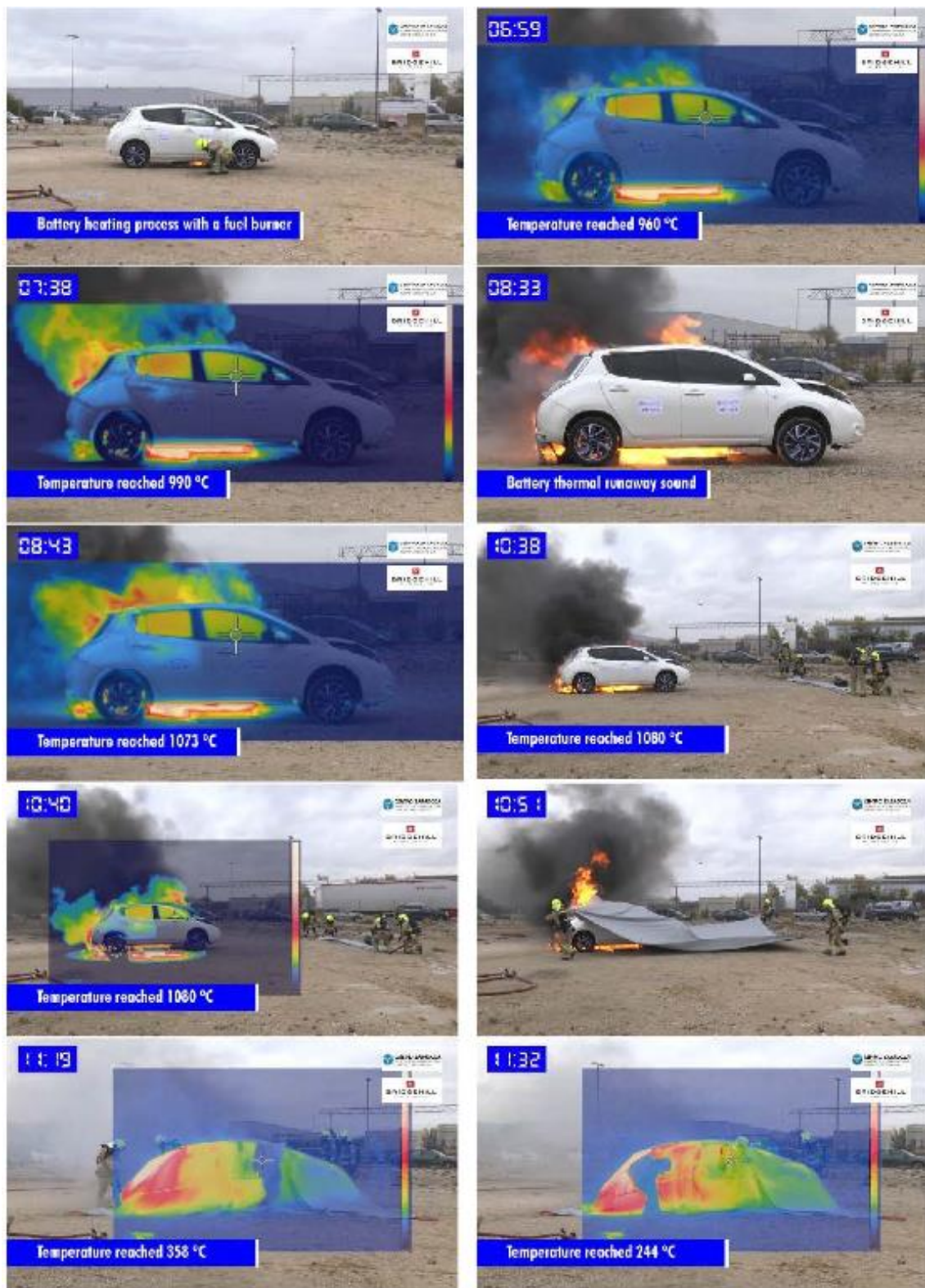
Antud kustutusaine kasutamine põlengu tekke ohul või varajases põlengu faasis, võib aidata ära hoida suurema tule leviku ning anda vajaliku lisaaja ohule reageerimiseks.

2.1.2. Tulekustutustekk

Norra ettevõtte Bridgehill AS on välja töötanud sõidukite kustutamiseks mõeldud kustutusteki, mille eesmärgiks on põlengu isoleerimine ja leviku takistamine. [31] [32]

Teki mõõtmeteks on 6 x 8 meetrit, mis võimaldab katta enamus sõiduautosid täielikult, kuid veoautosid ning busse sellega täielikult ei kata ja seetõttu veokite ja busside juures kasutades oma eesmärki täielikult ei täida. Antud töö käsitluses on tulekustutusteki kasutamine õigustatud näiteks sõidukilt eemaldatud akupakkide süttimise puhul või sõiduki küljes oleva akupaki katmisel tule leviku ning mürgiste gaaside leviku pidurdamiseks. [31]

Järgneval joonisel (Joonis 9) on kujutatud tulekustutusteki kasutamine elektrisõiduki veojõuaku põlengu puhul. Jooniselt selgub, et tulekustutusteki rakendamisel, langeb põlengu temperatuur loetud minutitega mitme kordselt. [33], [34]

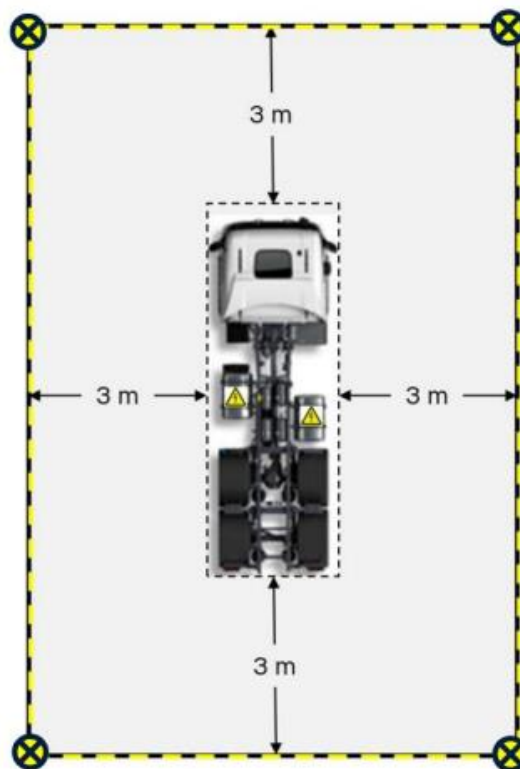


Joonis 9. Tulekustutusteki kasutamine elektrisõiduki põlengul. [33], [34]

2.2. Avariiliste sõidukite hoiustamine

Lähtudes, et suur osa elektrisõidukitega seotud põlengutest tekivad aku vigastamise käigus tekkinud akusisese lühisest, on avariiliste elektrisõidukite hoiustamine kõrge riskiga. Vigastada saanud aku ei pruugi kohe süttida, kuid on olemas oht hilisemaks süttimiseks. Sellest tingituna tuleks avariiliseid sõidukeid parkida välitingimustes, ohutul kaugusel teistest hoonetest ja sõidukitest ning vajadusel katta sobiva ilmastikuolude eest kaitsva kattega. Lisaks tuleks tugevalt kahjustatud sõidukeid pidevalt jälgida. [22]

Scania juhendi kohaselt peab pargitud avariiline elektrisõiduk olema vastavalt märgistatud ning takistatud kõrvaliste isikute juurdepääs sõidukile. Avariilise elektrisõiduki parkimine siseruumides on keelatud. Antud joonisel (Joonis 10) on välja toodud defektse või kahjustatud elektrilise sõiduki parkimisele kehtestatud nõuded. [35]



Joonis 10. Avariilise elektrisõiduki eraldusala Scania näitel. [35]

EDUCAM on loonud seoses elektrisõidukitega ohutusjuhised. Antud ohutusjuhendi esimeseks soovitusel on läbi viia sõiduki ohutuse hindamine. [1]

Hindamisel arvestatakse kolme põhilist näitajat sõiduki juures [1]:

- Sõiduki tüüp;
- Sõiduki seisukord;
- Võimalikud ohud.

Sõiduki seisukord määrab ära kas sõidukit võib hoiustada tavalisel hoiustamise alal või tuleb sõidukit hoiustada selleks kindlaks määratud kohas. Sõiduki seisukorra hindamist on kirjeldatud allolevas tabelis (Tabel 4). [1]

Tabel 4. Sõiduki seisukorra hindamine

Sõiduki seisukord	Soovitav tegevus
• Ideaalne töökorrasolek. • Jõuülekandes ja aku juhtmoodulis veateated puuduvad • Sõiduki kanderamistik on kahjustusteta	Sõidukit võib hoiustada tavalistel tingimustel kuni töö alustamiseni
• Ideaalne töökorrasolek. • Jõuülekandes ja aku juhtmoodulis veateated puuduvad. • Sõiduki kanderamistik on kahjustatud, kuid struktuurne terviklikus on säilinud	
• Jõuülekandes või aku juhtmoodulis on aktiivne veateade • Sõiduki kanderamistik on kahjustusteta	
• Jõuülekandes või aku juhtmoodulis on aktiivne veateade • Sõiduki kanderamistik on kahjustatud, kuid struktuurne terviklikus säilinud	
• Jõuülekandes või aku juhtmoodulis on aktiivne veateade • Sõiduki kanderamistik on kahjustatud, struktuurne terviklikus ei ole säilinud	Sõidukit tuleb hoiustada ohutus kohas kuni töö alustamiseni
• Sõidukil on jäljed tugevast veekahjustusest	

Lisaks on koostatud juhend elektisõiduki ohutuks muutmiseks, mis põhineb elektrisõiduki erinevate komponentidega seotud ohtudel. [1]

Rakendatavad meetmed jagunevad kolme rühma [1]:

- Elektrisõidukid või elektrisõiduki komponendid mis võivad kujutada endas ohtu:
 - Töötajaid tuleb potentsiaalsest ohust teavitada;
- Elektrisõidukid või elektrisõiduki komponendid, mis võivad olla tuleohtlikud:
 - Tuleb järgida tootjapoolset hädaolukorra juhendit. Juhul kui see pole saadaval tuleb lahti ühendada sõiduki madalpinge aku, sõiduk hoiustada vähemalt 10 meetri kaugusel lähedalasuvatest objektidest, 48 tunni möödudes võib vahemaa vähendada 2 meetrini;
 - Tuleohtlike elektrisõidukeid või elektrisõidukite komponente ei tohi hoiustada siseruumides;
- Elektrisõidukid või elektrisõiduki komponendid, mis kujutavad keemilist ohtu:
 - Tuleb järgida tootjapoolset hädaolukorra juhendit. Juhul kui see pole saadaval, tuleb vältida kontakti lekkiva elektrolüüdi ja keskkonna vahel ning see kokku korjata ette nähtud viisil.

Sõidukite tootjad koostavad päästeasutustele mõeldud infomateriale, milles on kirjeldatud võimalikud päästjatele avalduvad ohud päästetöödel. Antud infomaterialide eesmärgiks on anda päästetöötajatele eelteadmised ohututeks ja efektiivseteks töövõteteks kirjeldatava sõiduki kohta. Eelpool mainitud materialid on kõigile vabalt kättesaadavad. Järgnevalt on tabelis (Tabel 5) välja toodud infomaterialidest avariilise elektrisõiduki hoiustamise juhised.

Tabel 5. Tootjapoolsed avariilise elektrisõiduki hoiustamise nõuded:

Tootja	Avariilise elektrisõiduki tootjapoolsed hoiustamise nõuded
Scania [35]	• Sõidukit tuleb hoiustada väliparklas, vähemalt 3m kaugusel teistest sõidukitest • Defektse sõiduki parkimine siseruumides on keelatud • Pargitud sõiduk peab olema vastavalt märgistatud ning kõrvalistel isikutel ligipääs takistatud
Volvo [36]	• Vigastatud sõiduk tuleb parkida sobivasse kohta, mis on ohutul kaugusel teistest sõidukitest, hoonetest ja süttimisohthlikest objektidest • Jälgida sõidukit riskianalüüsis sätestatud aja jooksul.
Renault [25]	• Vigastatud sõiduk tuleb parkida sobivasse kohta, mis on ohutul kaugusel teistest sõidukitest, hoonetest ja süttimisohthlikest objektidest • Sõidukit tuleb jälgida vähemalt 48 tunni jooksul kasutades infapuna termokaamerat.
Nikola [37]	• Avariiliseid elektrisõidukeid on soovitatav parkida avatud alal vähemalt 15 meetri kaugusel hoonetest ja teistest sõidukitest • Jälgida kohaliku seadusandlust elektriliste sõidukite hoiustamise suhtes

2.3. Veojõuakude käsitlemine

Liitiumioonaku läheduses tehtavad tööd ja toimingud tuleb hoolikalt läbi mõelda. Teatud tegevuste käigus võivad tekkida sädemed või tekitatakse akule mehaaniline vigastus. Selliste olukordade tekkimisel võib akule tekitatud vigastus olla piisavalt suur, et toimuks aku süttimine või uuesti süttimine. Sõidukist veojõuaku eemaldamine võib samuti akut vigastada. Sõltuvalt aku kahjustuse astmest on ohtutuse tagamiseks soovitatav aku tühjaks laadida, kuid aku tühjaks laadimise käigus on tuleoht kõrgem. Veojõuakudega seotud riske aitab maandada koolitatud personal. [1]

Liitiumioonaku mahtuvusest ja laadimisastest sõltub suurel osal aku stabiilsus. Suure mahtuvusega akuelemendid, mis on kasutusel elektrisõidukites, eraldavad kasutamisel rohkem soojust. See tuleneb suuremast akuelementi läbivast voolu hulgast. Selle tõttu on suurema mahtuvusega aku elemendil lihtsam kaotada termiline stabiilsus. Läbi viidud testidest, kus mõõdeti akuelemendist eralduvat energiat termilise stabiilsuse kadumise käigus, selgus, et et kõrgema laetusastmega akuelemendid vabastasid energiat kiiremini ning kõrgema tipp väärtusega. Madalama laetusastmega akuelemendid vabastasid energialt aeglasemalt ning pikema perioodi käigus. Samuti selgus testist, et mürgiste gaaside eraldumine on samasuguses suhtes laadimisastmest. [1]

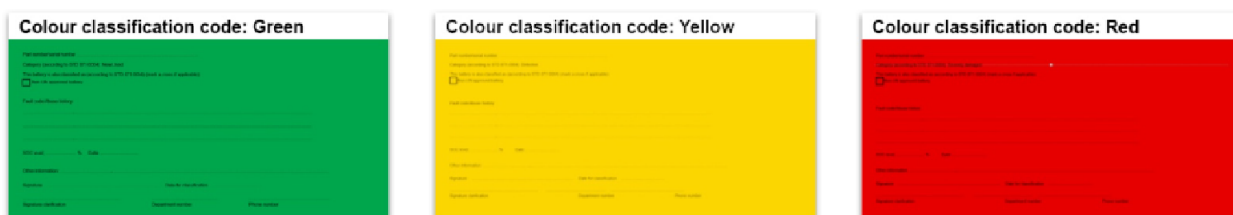
Eelpool kirjeldatud info põhjal on töökojas ohutum remonttöid või hooldusi läbi viia madalama laadimisastmega sõidukiga.

Akude hoiustamisele kehtivad nõuded on otseses sõltuvuses aku seisukorrast ning akule antud värvikoodist. Volvo Group-i puhul sätestatakse kõrgepinge akude käsitlemine ettevõttesiseses standardis STD871-0004 – „Eraldiseisvate liitiumioonakude käsitlemine“. Standardist lähtuvalt jagatakse akude seisukord kolme kategooriasse, sõltuvalt aku tüübist, varasemast korrektsest kasutusest või võimalikust väärkasutusest. Akule antud klassifikatsioonist sõltub edasine aku käitlus ning hoiustamise tingimused. [38]

Akude klassifikatsioonis sisaldub akude seisukorra kirjeldus ning värvikood [38]:

- Uus või kasutatud – „Roheline“;
- Defektne – „Kollane“;
- Oluliselt kahjustatud – „Punane“.

Alloleval joonisel (Joonis 11) on kujutatud veojõuaku pakendite märgistus:



Joonis 11. Veejõuakude märgistus [38]

Standardis välja toodud põhilised liitiumioonakude käitlemise nõuded [38]:

- Hoiustatud eraldi teistest ohtlikest kaupadest;
- Hoiustatud originaal pakendis, aku soovitatakse eemaldada originaalpakendist võimalikult hilja;
- Akud peavad olema kaitstud niiskuse eest;
- Kollase ja punase märgistusega akud tuleb hoiustada ohutus kohas, eelistatavalt ilmastikukaitsega välitingimustes, vähemalt 15 meetri kaugusel inimestest, toimingutest ja ehitistest;
- Kollase ja punase märgistusega akud tuleb tähistada selgelt ning tuleb kindlustada et aku on hõlpsalt ligipääsetav tuletõrjajatele ja regulaarseks kontrolliks.
- Kollase ja punase märgistusega akud võivad olla ebastabiilsed ning tuleohtlikud, seetõttu tuleb tagada regulaarne kontroll;
- Kahjustatud aku elementide korral, kui akust eraldub suitsu või tuld, on tule kustutamiseks vett lubatud kasutada ainult tuletõrjel;
- Akusid tohib hoiustada püstises asendis.

Lähtuvalt regionaalsete nõuete puudumisest liitiumioon akude hoiustamisel, on Ühendkuningriigi *Fire Protection Association* koostanud soovitusliku juhendi liitiumioon akude hoiustamiseks. Järgnevalt toob lõputöö autor välja oluliseimad punktid [39]:

- Aku laetuse tase (SOC) tuleks hoida $\leq 60\%$;
- Akude hoiustamiseks mõeldud eraldiseisvad hooned on kasutusel sihtotstarbeliselt;
- Akude hoiustamiseks kasutatav eraldiseisev kinnine ruum peaks asuma vähemalt 3 meetri kaugusel muudest seadmetest ja ehitistest. Kriitilise tähtsusega ehitiste puhul on suurem vahemaa soovituslik.

2.4. Ettepanekud tuleohutus nõuetele

Lähtudes eelpool väljatoodust pakub autor välja järgmised tuleohutus nõuded koos selgitusega, mis peaksid kehtima lisaks kehtivatele tuleohutusnõuetele Eestis tegutseva elektrilise veoajamiga busside ja veoautode hoolduse ja remondiga tegelevatele asutustele:

- Elektrisõiduki hooldust või remonti teostav tehnik peaks olema läbinud margipõhise koolitusprogrammi, mis võimaldaks ära tunda kõrgepingeakudega seotud tuleohtlikud olukorrad.
- Igal elektrisõidukiga töötamise kohal peaks olema vähemalt üks liitiumioonaku kustutamiseks mõeldud tulekustuti, et ohu varajasel avastamisel oleks võimalik reageerida;
- Elektrisõidukitega samas ruumis tuletööde tegemine peaks olema keelatud;
- Veojõukude käsitlemisel peaks lähedal olema elektrisõidukite kustutamiseks mõeldud tulekustustekk, mille abil on ohu tekkides võimalik veojõuku kinni katta;
- Avariilisi ja defektseid elektrisõidukeid tuleks hoiustada väitingimustes, vajadusel ilmastikuolude eest kaitstuna ning vähemalt 10 meetri kaugusel ehitistest ning 3 meetri kaugusel teistest sõidukitest. Tagatud peaks olema kiire ligipääs sõidukile;
- Defektsete või vigastatud veojõukude hoiustamine peaks toimuma põhiruumidest vähemalt 15 meetri kaugusel asuvas eraldiseisvas hoones. Hoones võiks olla temperatuuri tõusmisele reageeriv tulekahju hoiatussüsteem. Hoone peaks olema lihtsasti ligipääsetav;
- Siseruumides võiks hoiustada ainult uusi või täielikult töökorras veojõukusi. Akud tuleks hoiustada muudest tuleohtlikest ainetest ja esemetest eraldi ning soovituslik oleks hoiustamise ruumis temperatuurile reageeriv tulekahju hoiatussüsteem;
- Siseruumides ei tohiks olla lubatud elektrisõidukite laadimine.
- Töös oleva sõiduki laadimisaste (SOC) võiks jääda $\leq 60\%$ juurde, lähtudes liitiumioonaku stabiilsemast olekust.

KOKKUVÕTE

Töö eesmärgiks oli kaardistada erinevate tootjate poolt esitatud tuleohutusnõuded elektrilise veoajamiga bussi ja veoki hoolduse kohta. Samuti oli eesmärgiks luua seosed sõidukite seisukorra ja tuleohutus tingimuste vahel. Lõputöö teema on elektriliste sõidukite arvu kasvu ning regulatsioonide puudumise tõttu praegusel ajahetkel aktuaalne.

Töö koosneb kahest osast. Esmeses osas kirjeldati elektrilise veoajamiga veokite ja busside ehitust ning nende kasutamisest tingitud eripärasid. Lisaks kirjeldati lühidalt veojõuakude ehitust ja peamiseid rikkeid, mida võib töökojas kohata ning elektriajamiga busside põlenguid. Sellest lähtuvalt käsitleti töö teises osas võimalike töökojas kasutatavaid tulekustutsvahendeid ja suurima tuleohuga sõidukeid ning nende käsitlemist.

Töö väljundiks olulisemate tuleohutus nõuete esile toomine, mida tuleks töökodades järgida. Leitud info saab Päästeamet võtta aluseks elektrilise ajamiga veoautode ja bussidega tegelevate asutuste tuleohutusnõuete sätestamiseks.

SUMMARY

Aim of this graduation thesis was to map fire safety requirements for trucks and buses with electric drivetrain set by different vehicle manufacturers. Another aim of this thesis was to make connections between state of vehicle and fire safety requirements. Due to rising number of electric vehicles and lack of regulations, this is vital topic.

Graduation thesis is composed of two parts. First part described construction of trucks and buses with electrical drivetrain and major differences in usage. In addition most common battery pack malfunctions and construction of battery pack is described. Second part of thesis focused on different fire extinguishing methods that can be used in workshops and most hazardous type of vehicles that can be in workshop.

Outcome of this graduation thesis is list of fire safety precautions which Estonian Rescue Board can lean on during establishing fire safety requirements for trucks and buses with electric drivetrain.

VIIDATUD ALLIKAD

- [1] O. W. F. A. M. R. R. Bisschop, "Fire Safety of Lithium-Ion Batteries in Road Vehicles," 05 2019. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/336640117_Fire_Safety_of_Lithium-Ion_Batteries_in_Road_Vehicles. [Accessed 08 05 2023].
- [2] B. Lipták, "Batteries or fuel cells for energy storage?," Control Global, 21 03 2022. [Online]. Available: <https://www.controlglobal.com/home/article/11288233/batteries-or-fuel-cells-for-energy-storage>. [Accessed 10 04 2023].
- [3] Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, "Fuel Cells," [Online]. Available: <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/fuel-cells>. [Accessed 01 05 2023].
- [4] Riigikogu, "Raskeveokimaksu seadus," 01 01 2021. [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/RVMS>. [Accessed 20 04 2023].
- [5] Riigikogu, "Liiklusseadus," 27 06 2022. [Online]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/120062022070#para190b1>. [Accessed 25 04 2023].
- [6] Keskkonnainvesteeringute Keskus, "Nullheitega sõidukite ostutoetus," [Online]. Available: <https://kik.ee/et/toetatavad-tegevused/nullheitega-soidukite-ostutoetus>. [Accessed 25 04 2023].
- [7] Keskkonnainvesteeringute Keskus, "Elektribusside soetamine ja laadimistaristu loomine," [Online]. Available: <https://kik.ee/et/toetatavad-tegevused/elektribusside-soetamine-ja-laadimistaristu-loomine>. [Accessed 27 04 2023].
- [8] Keskkonnainvesteeringute Keskus, "Elektribusside kasutuselevõtt Tallinna ühistranspordisüsteemis," [Online]. Available: <https://kik.ee/et/projektid/elektribusside-kasutuselevott-tallinna-uhistranspordisusteemis>. [Accessed 28 04 2023].
- [9] A. T. Linnatransport, "Riigihangete register, Elektribusside, laadimistaristute ja keskhaldustarkvara hankimine," 2 01 2023. [Online]. Available: <https://riigihanked.riik.ee/rhr-web/#/procurement/5313920/documents/source-document?group=B&documentOldId=16017409>. [Accessed 1 05 2023].
- [10] Transpordiamet, "Sõidukite statistika," [Online]. Available: <https://www.transpordiamet.ee/soidukite-statistika>. [Accessed 20 04 2023].

- [11] Volvo AB, "Volvo trucks, switch to electric," [Online]. Available: <https://brochures.volvotrucks.com/hq/electromobility/switch-to-electric-master-en/?page=24>. [Accessed 28 04 2023].
- [12] Renault Trucks SASU, "Renault D E-Tech," [Online]. Available: <https://www.renault-trucks.co.uk/product/renault-trucks-e-tech-d-electric>. [Accessed 28 04 2023].
- [13] Scania CV AB, "Scania Citywide BEV Technical data," [Online]. Available: <https://www.scania.com/content/dam/www/market/master/products/buses-and-coaches/pdfs/technical-specification-scania-citywide-bev.pdf>. [Accessed 25 04 2023].
- [14] N.V., DAF Trucks, "Daf XD, XF Electric brochure," [Online]. Available: <https://www.daf.global/-/media/files/document-library/brochures/electric/daf-electric-trucks-xf-xd-driving-zero-emissions-en.pdf?rev=4638ef356d7b437ca36d97b3f0967ed8>. [Accessed 22 04 2023].
- [15] Volvo Bus Corporation, "Volvo 7900 Electric Data Sheet," [Online]. Available: <https://www.volvobuses.com/content/dam/volvo-buses/markets/master/city-and-intercity/complete-buses/volvo-7900-electric/Data%20sheet%207900%20Electric%20EN%202019.pdf>. [Accessed 20 04 2023].
- [16] MAN Truck & Bus SE, "MAN eMobility Broschuere," [Online]. Available: https://www.man.eu/ntg_media/media/en/content_medien/doc/bw_master/bus_1/man-eMobility-broschuere-de.pdf. [Accessed 25 04 2023].
- [17] Irizar e-mobility, "Irizar ie bus datasheet," [Online]. Available: https://irizar-emobility.com/images/01-vehiculos/fichas-tecnicas/ie-bus-12-m_en.pdf. [Accessed 04 05 2023].
- [18] Solaris Bus & Coach sp. z o.o, "Technical details – Solaris Urbino 12 electric," [Online]. Available: https://www.solarisbus.com/public/assets/Biuro_prasowe/2022_10_12_Transexpo/Technical_Details_Urbino_12_electric_Transexpo_EN.pdf. [Accessed 05 05 2023].
- [19] A. T. Linnatransport, "TLT soetab riigihankega 15 elektribussi ning vajaliku laadimistaristu," 02 01 2023. [Online]. Available: <https://www.tlt.ee/tlt-soetab-riigihankega-15-elektribussi-ning-vajaliku-laadimistaristu/>. [Accessed 10 04 2023].
- [20] Scania CV AB, "Scania Akutoitel Elektriveok," Scania CV AB, [Online]. Available: <https://www.scania.com/ee/et/home/products/trucks/battery-electric-truck.html>. [Accessed 20 04 2023].

- [21] Nissan, "Nissan Leaf," [Online]. Available: <https://www.nissan-cdn.net/content/dam/Nissan/ireland/Brochures/Leaf%20Brochure%202017.pdf>. [Accessed 04 05 2023].
- [22] O. W. M. R. R. Bisschop, "Handling Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles: Preventing and Recovering from Hazardous Events," 08 2020. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/344265504_Handling_Lithium-Ion_Batteries_in_Electric_Vehicles_Preventing_and_Recovering_from_Hazardous_Events. [Accessed 3 05 2023].
- [23] Renault Trucks SASU, "Emergency service personnel - Product information on electric trucks," [Online]. Available: https://www.renault-trucks.com/sites/corporate/files/2022-07/EMERGENCY%20SERVICE%20PERSONNEL_Product%20Information%20on%20electric%20trucks_June%202020%200722%20.pdf. [Accessed 15 04 2023].
- [24] V. B. Corporation, "Volvo 7900 Electric rescue sheet," 02 2022. [Online]. Available: [https://www.volvobuses.com/content/dam/volvo-buses/markets/master/why-volvo/safety-first/rescue-sheets/RS_B0E_120_3_sf4\(English\).pdf](https://www.volvobuses.com/content/dam/volvo-buses/markets/master/why-volvo/safety-first/rescue-sheets/RS_B0E_120_3_sf4(English).pdf). [Accessed 3 05 2023].
- [25] Renault Trucks SASU, "Emergency Response Guide Renault Trucks," [Online]. Available: https://www.renault-trucks.com/sites/corporate/files/2023-01/Emergency%20Card%20Renault%20Trucks%20E-Tech%20D%20%26%20Renault%20Trucks%20E-Tech%20D%20WIDE_EN.pdf. [Accessed 25 04 2023].
- [26] G. Brilmyer, "Thermal imaging Li-ion cells in Thermal Runaway," 20 09 2017. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=hwXccpeN6Qc&t=7s&ab_channel=GeorgeBrilmyer. [Accessed 05 05 2023].
- [27] EV Firesafety, "Electric vehicle batteries," [Online]. Available: <https://www.evfiresafe.com/what-is-an-ev-traction-battery>. [Accessed 01 05 2023].
- [28] E. Sutcliffe, "Why do e-buses catch fire?," EV FireSafe, 27 04 2022. [Online]. Available: <https://www.evfiresafe.com/post/why-do-e-buses-catch-fire>. [Accessed 01 05 2023].
- [29] Bedfordshire Fire and Rescue Service, "Fires in Electric vehicles," [Online]. Available: <https://www.bedsfire.gov.uk/Community-safety/Road-safety/Fire-in-Electric-Vehicles.aspx>. [Accessed 07 05 2023].

- [30] Hazard Control Technologies Europe GmbH, "Li-ion Battery Fire Testing with F 500 EA, Foam, Powder - Netherlands," 26 01 2018. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=xjGOEYtqI24&ab_channel=HazardControlTechnologies. [Accessed 07 05 2023].
- [31] Bridgehill AS, "Car Fire Blanket," [Online]. Available: <https://bridgehill.com/fire-blankets/car/>. [Accessed 02 05 2023].
- [32] Bridgehill AS, "Fire blanket test in Umeå, Sweden," 09 08 2022. [Online]. Available: <https://bridgehill.com/news-insights/kgk-and-umeaa-fire-department-has-tested-bridgehill-fire-blankets/>. [Accessed 05 05 2023].
- [33] C. Zaragoza, "Centro Zaragoza tests the Bridgehill Fire Blanket on an electric vehicle," 2020. [Online]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=yO8cVWOqZcg&t=5s&ab_channel=CentroZaragoza. [Accessed 05 05 2023].
- [34] Bridgehill AS, "EV fire blanket test," 23 02 2023. [Online]. Available: <https://bridgehill.com/news-insights/ev-fire-blanket-test/>. [Accessed 05 05 2023].
- [35] E. Olo, Interviewee, *Margiesindustele suunatud TKTK lõputöö küsimustik, Scania Eesti AS*. [Interview]. 05 05 2023.
- [36] "Volvo FH,FM, FMX rescue sheet," 08 2022. [Online]. Available: <https://www.volvotrucks.com/content/dam/volvo-trucks/markets/global/classic/our-values/safety/emergency-information/FH-Electric-FM-Electric-and-FMX-Electric.pdf>. [Accessed 02 05 2023].
- [37] Nikola, "Nikola TRE BEV Rescue Sheet," [Online]. Available: https://www.nfpa.org/-/media/Files/Training/AFV/Emergency-Response-Guides/Nikola/Nikola-First-Responders-Emergency-Rescue-Guide_Tre-Bev-Final_2-7-22.ashx. [Accessed 01 05 2023].
- [38] Volvo AB, "STD 871-0004," 06 2022. [Online]. Available: <https://webstd.volvo.com/webstd/streamDoc?pDocumentId=82451>. [Accessed 22 04 2023].
- [39] The Fire Protection Association, "RE2: LITHIUM-ION BATTERY USE AND STORAGE," 09 01 2023. [Online]. Available: <https://www.thefpa.co.uk/resource-download/629>. [Accessed 07 05 2023].