

Säkerhetsguide för användning av begagnad elbilsackumulator som energilagring

Stationär ackumulatorinstallation

Benjamin Salo

Examensarbete för ingenjör (YH)-examen
Utbildningsprogrammet för el- och automationsteknik
Vasa 2024

EXAMENSARBETE

Författare: Benjamin Salo
Utbildning och ort: El- och automationsteknik, Vasa
Inriktning/Fördjupning: Elkraftsteknik
Handledare: Jan Berglund

Titel: Säkerhetsguide för användning av begagnad elbilsackumulator som energilagring

Datum: 7.2.2024 Sidantal: 38 Bilagor: 2

Abstrakt

I takt med att elbilar blir vanligare blir även begagnade elbilsackumulatorer vanligare. Elbilsackumulatorer som inte längre skall, får eller kan användas i elbilar kan gå att använda i en annan tillämpning och således få ett andra liv. Detta examensarbete beställdes av Daniel Öster på Dala's EV Repair och hade som syfte att reda ut vad som i praktiken krävs för att göra dessa så kallade secondlife-installationer säkra. Det behandlar användning av dessa ackumulatorer som energilagring i stationär tillämpning. Arbetet är gjort ur ett finländskt perspektiv med hänsyn endast till de lagar och paragrafer som gäller Finland. Eftersom Finland hör till Europa och berörs av europeisk lagstiftning nämns även en europeisk förordning.

Detta examensarbete har utförts genom efterforskning på nätet och i standarder och lagar. Mycket forskning och dokument av andra, som själv utfört tester eller tagit del av andras forskning, har lästs. Inga egna test har utförts.

Examensarbetet börjar med att försöka ge läsaren en grundläggande förståelse om elbilsackumulatorer, deras uppbyggnad och olika vanliga kemityper. Därefter behandlas kort återvinning av batterier. Efter detta tar arbetet upp farorna med litiumjonackumulatorer, behörighet för installering av elbilsackumulatorer i och utanför elbilen samt vad man skall tänka på vid stationär ackumulatorinstallation, oberoende om ackumulatören är ny eller begagnad. Som sista ämne innan resultatkapitlet berättas om återanvändning av begagnade och förbrukade ackumulatorer.

Språk: svenska

Nyckelord: elbilsackumulator, stationär installation, litiumjonfaror, återanvändning, återvinning

OPINNÄYTETYÖ

Tekijä: Benjamin Salo
Koulutus ja paikkakunta: Sähkö- ja automaatiotekniikka, Vaasa
Suuntautumisvaihtoehto: Sähkövoimatekniikka
Ohjaaja: Jan Berglund

Nimike: Turvallisuusopas käytetyn sähköautoakun käyttämiseen energiavarastona

Päivämäärä: 7.2.2024

Sivumäärä: 38

Liitteet: 2

Tiivistelmä

Sähköautojen yleistyessä myös käytetyt sähköautoakut yleistyvät. Sähköautoakut joita ei enää aiota, saada tai voida käyttää sähköautoissa saattavat sopia toiseen sovellukseen käytettäväksi ja saada siten toisen elämän. Tämän opinnäytetyön tilasi Daniel Öster Dala's EV Repair:ltä ja sen tarkoituksena oli selvittää, mitä näiden niin sanotut secondlife-asennusten turvalliseksi tekeminen käytännössä vaatii. Se käsittelee näiden akkujen käyttämistä energiavarastona kiinteässä asennuksessa. Työ on tehty suomalaisesta näkökulmasta, ottaen huomioon ainoastaan ne lait ja säännöt, jotka Suomea koskevat. Koska Suomi on osa Eurooppaa, koskee myös Euroopan lainsäädäntö Suomea ja tästä syystä yksi eurooppalainen asetus on myös mainittu.

Tämä opinnäytetyö on tehty internettiä, standardeja sekä lakeja tutkimalla. On luettu paljon tutkimuksia ja asiakirjoja, joiden laatijat ovat itse tehneet testejä tai perehtyneet muiden tutkimuksiin. Omia testejä ei ole tehty.

Tämä opinnäytetyö pyrkii aluksi antamaan lukijalle peruskäsityksen sähköautoakuista, niiden rakenteesta, ja tavallisista eri kemioista. Seuraavaksi käsitellään lyhyesti akkujen ja paristojen kierrätystä. Tämän jälkeen työ jatkuu seuraavilla aiheilla: litiumioniakkujen vaarat, pätevyys sähköautoakkujen asentamiseen sähköautossa ja sen ulkopuolella, sekä mitä kiinteässä asennuksessa on otettava huomioon riippumatta siitä, onko kyseessä uusi vai käytetty akku. Viimeisenä aiheena ennen tuloslukua kerrotaan käytettyjen akkujen ja -paristojen sekä jäteakkujen ja -paristojen uudelleenkäytöstä.

Kieli: ruotsi

Avainsanat: sähköauton akku, kiinteä asennus, litiumionivaarat, uudelleenkäyttö, kierrätys

BACHELOR'S THESIS

Author: Benjamin Salo

Degree Programme and place of study: Electrical Engineering and Automation, Vaasa

Specialisation: Electrical Power Engineering

Supervisor: Jan Berglund

Title: A Safety Guide on the Use of Used Electric Car Batteries as Energy Storage

Date: 7.2.2024

Number of pages: 38

Appendices: 2

Abstract

As electric cars are becoming more common so are also used electric car batteries. Electric car batteries that no longer will, may or can be used in electric cars, might be possible to use in another application and thus get a second life. This bachelor's thesis was commissioned by Daniel Öster at Dala's EV Repair with the purpose of finding out what in reality is required to make these second-life installations safe. It deals with the use of these batteries as energy storage in stationary applications. The thesis is made from a Finnish perspective and only considers the laws and regulations that apply to Finland. A European regulation is also mentioned because Finland is a European country and is affected by European laws.

This thesis was carried out by researching on the internet and in laws and standards. A lot of research and documents from other people, who have performed their own tests or learned from other people's tests, have been read. No own tests have been performed.

The bachelor's thesis starts by trying to provide the reader with a basic understanding of electric car batteries, their structure and common chemistry types. Then, the recycling of batteries is briefly mentioned. After this, the thesis addresses lithium-ion safety risks, competence for installing electric car batteries in and outside of the car and what to think about when conducting a stationary installation, regardless of whether the battery is new or used. As the last topic before the results chapter, the reuse of used batteries and waste batteries is discussed.

Language: Swedish

Key words: EV battery, stationary installation, lithium-ion hazards, re-use, recycling

Innehållsförteckning

Orddefinitioner	i
Ordlista, Svenska-Engelska	iii
Kapitelindelningen	v
Allmän notering	vi
1 Inledning	1
2 Olika typer av elbilsackumulatorer	1
2.1 De vanligaste ackumulatorerna idag	1
2.2 Litiumjon	2
2.2.1 Anod och katod	3
2.2.2 Litiumjonkemi i elbilar	3
2.3 Nickel-metallhydrid, NiMH	4
2.4 Sammanfattning kapitel 2	5
3 Elbilsackumulatorers uppbyggnad	6
3.1 Olika cellkannor	7
3.1.1 Cylindriska	7
3.1.2 Prismatiska	8
3.1.3 Pås-celler, Pouch	8
3.2 Ackumulatorpaketet	9
4 Batterihanteringssystemet	11
5 Elbilsackumulatorer, åldrande	12
5.1 Kalenderåldrande och cykelåldrande	12
5.2 Hälsotillstånd, eng. State-of-health	12
5.3 Duglig tjänstgöringstid, End-of-life	13
5.4 Återanvändning, Second life	13
6 Återvinning av batterier	14
6.1 Minska beroende av mineraltillgångar och säkerhetsrisker	14
6.2 Minska skadlig påverkan på miljön	14
6.3 Finlands lag	15
7 Faror med litiumjon	16
7.1 Termisk rusning	16
7.1.1 Orsaker och kritisk temperatur	17
7.1.2 Utmaningar vid brandsläckningen	19

7.2	Giftiga ämnen	19
7.3	Risker med ackumulator som del av en produkt eller anläggning	20
7.4	Temperatur, spänning och ström	21
8	Installering av elbilsackumulator, vem som får göra det	22
8.1	Installering i elbilen	23
8.1.1	Sunt förnuft	23
8.2	Installering i tillämpningar utanför elbilen	24
8.3	Summering av kapitel 8	24
9	Stationär ackumulatorinstallation, säkerhetsaspekter och förordningar	25
9.1	Lagar och standarder i Finland	25
9.1.1	Standardserien SFS 6000	26
9.1.2	Standardserien SFS-EN IEC 62485	26
9.2	Installering av stationär ackumulator, plats	27
9.2.1	Godkända platser	27
9.2.2	Att tänka på vid val av plats	27
9.3	Installering av stationär ackumulator, skydd mot elchock	28
9.3.1	Grundläggande regel	28
9.3.2	Skyddet i praktiken	29
9.4	Installering av stationär ackumulator, brandskydd	29
9.4.1	Hur minska risken för brand	30
9.4.2	Hur minska följderna av brand, Räddningsverkens anvisning	30
9.5	Installering av stationär ackumulator, jordfelsbrytare	32
9.6	Installering av stationär ackumulator, Skyddsjord hölje	32
9.7	Andra krav på stationär ackumulatorinstallation	32
9.7.1	Skyltar och märkningar	33
9.7.2	Frånskiljning	33
10	Användning av begagnad elbilsackumulator	34
10.1	Får man använda begagnad elbilsackumulator i energilagring inom EU?	34
10.2	Olika sätt att återanvända begagnad ackumulator enligt ny EU-lag	34
11	Resultat	36
12	Diskussion	37
13	Källförteckning	38
14	Bilagor	I

Bilaga 1, Ändringar i batterikategorier	I
Bilaga 2, officiella definitioner på återanvändning enligt EU-förordning 2023/1542	II

Orddefinitioner

ORD	DEFINITION
<p>Akkumulator</p> <p>(Inom exempelvis hydraulik talar man också om ackumulator men då handlar det om en trycklagringsreservoar. I detta dokument behandlas enbart elektriska ackumulatorer)</p>	<p>Ett uppladdningsbart batteri.</p> <p>Alltså ett batteri som kan både ge ut och ackumulera (samla/hopa) elektrisk ström.</p> <p>(Använder synonymt med sekundärbatteri)</p>
Batteri	En konstruktion som kemiskt kan hålla och ge ut elektrisk laddning. (Innefattar både primär- och sekundärbatterier)
<p>Cell</p> <p>(Kan även kallas Battericell eller Ackumulatorcell)</p>	Den minsta komponenten i ett batterisystem som självständigt kan avge elektrisk ström. En cell består av en anod, en katod, separator och elektrolyt. Om används i t.ex. ficklampor och dylikt så kallas en cell ofta bara för batteri.
Cellkanna	Battericellens inkapsling/ytterhölje
Energidensitet	<p>Energi per volym (t.ex. Wh/l)</p> <p>Även kallad volymetrisk energidensitet.</p>
energikapacitet	Energin en ackumulator kan hålla. (Ofta mätt i kWh). (eng. power capacity)
Instruerad person	<p>Person som har instruerats tillräckligt av yrkeskunniga personer för att kunna bedöma risker och undvika eventuella faror som elektricitet kan medföra.</p> <p>[1, s. 43]</p>
Kapacitet	Mängden laddning eller mängden energi (energikapacitet) som ett batteri kan hålla. Kan mätas i Ah (laddningsmängd) eller Wh (energimängd).

Klenspänning (eng. Extra-low voltage) (Förkortning: ELV)	Spänningar upp till max 50 VAC och max 120 VDC [1, s. 85]
Lekman (fin. Maallikko)	Person som varken är yrkesman inom området eller av yrkesman instruerad för arbetet. [1, s. 43]
Lågspänning	Högst 1000 VAC (Effektivvärde) och högst 1500 VDC
Primärbatteri	Batteri som ej kan laddas upp
Sekundärbatteri	Uppladdningsbart batteri. (Använder synonymt med ackumulator)
Specifik effekt	Effekt per massa (t.ex. W/kg)
Specifik energi	Energi per massa (t.ex. Wh/kg) Även kallad gravimetrisk energidensitet.
Spänningsarbete (fin. Jännitetyö) (OBS! Spänningsarbeten skall man alltid sträva efter att undvika. Gör spänningslöst innan arbetet inleds om det bara är möjligt!)	Spänningsarbete är arbete där den som utför arbetet medvetet och med avsikt endera berör spänningsförande del eller når spänningsarbetsområdet med endera någon av sina kroppsdelar eller med hanterade verktyg, utrustning eller apparater. Spänningsarbete kräver särskilda arbetsmetoder samt specialutbildning. [2], [3, 6 §]
Yrkesman/Yrkeskunnig person (inom elbranschen)	Person som har lämplig utbildning och erfarenhet för att kunna bedöma risker och undvika eventuella faror som elektricitet kan medföra [1, s. 43].
Ändamålsändring (av batteri)	Varje åtgärd som leder till att ett batteri, som inte är ett uttjänat batteri, eller delar därav används för ett annat ändamål eller en annan tillämpning än vad batteriet ursprungligen utformades för

<p>Ödrift (en. Island mode)</p>	<p>Användning av ett elsystem när det inte är kopplat till det allmänna distributionsnätet. Ett elsystem (t.ex. solpanelssystem) kan vara byggt för både nätdrift och ödrift (Driftläge kan t.ex. väljas med en brytare/omkopplare).</p>
-------------------------------------	--

Ordlista, Svenska-Engelska

En ordlista med vilka svenska översättningar av engelska ord som används i detta dokument.

Svenska	Engelska
<p>Batterihanteringssystem (Användes på Tukes sida)</p>	<p>Battery Management System (BMS)</p>
<p>Bromskraftåtervinning (Kallas även regenerativ bromsning)</p>	<p>Regenerative braking</p>
<p>Cellkanna</p>	<p>(Battery) Cell case</p>
<p>Cykelliv</p>	<p>Cycle life</p>
<p>Cykelåldrande</p>	<p>Cycle aging</p>
<p>Drivbatteri</p>	<p>Traction battery</p>
<p>Effektavmattning</p>	<p>Power fade</p>
<p>Elcykel</p>	<p>e-bike</p>
<p>Energikapacitet</p>	<p>Power capacity</p>

Förbränningsmotor	Internal combustion engine (ICE)
Förbrukat batteri	Waste battery
Helelektriskt fordon	All-electric vehicle
Hälsotillstånd	State of Health (SoH)
Kalenderliv	Calendar life
Kalenderåldrande	Calendar aging
Laddhybrid	Plug-in hybrid
Laddningsstatus (fin. Varaustila)	State of Charge (SoC)
Litiumplättering	Lithium Plating
Natriumjon (Na-jon)	Sodium-ion (engelsk förkortning: SIB eller NIB)
Pås-cell	Pouch cell
Strömuppsamlare	Current collector
Termisk rusning	Thermal runaway
Ultrakondensator (Även kallad superkondensator)	Ultracapacitor (eller supercapacitor)
Återvinning	Recycling
Återvinna	Recycle/recover
Återanvändning	Re-use
Ändamålsändring	Repurposing
Överladdning	Overcharge
Överurladdning	Overdischarge

Kapitelindelningen

Kapitel 1:	Inledning
Kapitlen 2–5:	Baskunskap om batterikemi och elbilsackumulatorer
Kapitel 6:	Återvinning
Kapitlen 7–9:	Litiumjon och stationär ackumulatorinstallation (Faror, lagar och bestämmelser samt behörighet)
Kapitel 10:	Användning av begagnad ackumulator
Kapitel 11:	Resultat
Kapitel 12:	Diskussion (Författarens egna reflektioner)

Allmän notering

NOTERA: Detta examensarbete är till vissa väsentliga delar grundade på lagtexter och standarder. Texterna och punkterna i dessa delar är inte nödvändigtvis en ord för ord-referering från lagtexter och standarder utan de är författarens personliga, och andras, tolkning av texterna. All eventuell feltolkning bör vid tillämpning korrigeras i enlighet med de egentliga lagtexterna och de enligt lag godkända standarderna. Lagtexterna kan hittas på Finlex webbsida och enligt 84 § i elsäkerhetslagen (1135/2016) offentliggör elsäkerhetsmyndigheten en förteckning över godkända standarder [4].

Lite mera info om elsäkerhetslagen och gällande standarder hittas i kapitel 9.

1 Inledning

Ett nytt fenomen som på ett explosionsartat vis håller på att breda ut sig är återanvändningen av uttjänta elbilsbatterier. Alltså sådana elbilsbatterier som är uttjänta vad gäller användningen i elbilen men som ändå har kapacitet för att användas i gynnsammare förhållanden och tillämpningar. Genom att använda sådana begagnade elbilsackumulatorer kan man jämfört med märkesbatterier få samma energilagringsskapacitet till mycket förmånligare pris. Detta examensarbete beställdes av Daniel Öster på "Dala's EV Repair". Syftet med arbetet är att reda ut vad som i praktiken krävs för att göra dessa så kallade secondlife-installationer säkra.

Detta arbete är gjort ur ett finländskt perspektiv och tar hänsyn endast till de lagar och paragrafer som gäller Finland. Det behandlar främst stationära tillämpningar. Målet är att man skall kunna få en bra och övergripande uppfattning om olika säkerhetsaspekter. Man kan således också ha nytta av det även om man bor i ett annat land.

2 Olika typer av elbilsackumulatorer

Elbilar har förutom ett drivbatteri också ett litet bilbatteri/startbatteri på 12 V för att förse olika funktioner, som till exempel belysning, centrallås och batterihanteringssystem med ström. Detta batteri är vanligtvis ett bly-syra batteri men kan också vara ett litiumjonbatteri. I detta examensarbete behandlas inte dessa 12 V bilbatterier utan endast drivbatterier. [5], [6]

Drivbatteriet är enligt namnet det batteri som förser en elbil eller annat elfordon med ström till drivningen av fordonet. I en elbil är drivbatteriet ett stort enhetligt paket innehållande flera moduler och har hög spänning. Den vanligaste elbilsarkitekturen är 400 V men kan även vara högre. [7], [5], [8], [9]

2.1 De vanligaste ackumulatorerna idag

Det finns många olika typer av batterikemi på marknaden idag. Vad gäller helelektriska elbilar samt laddhybrider så används i dagens läge litiumjon (Li-jon) ackumulatorer mest. Dock används nickel-metallhydrid (NiMH) i en bred utsträckning vad gäller vanliga elhybridbilar, alltså icke-laddhybrid. Som en kemi på kommande i elbilar kan nämnas natriumjon (eng. sodium-ion, Na-ion) [10]. [11]

I vissa bilar används ultrakondensatorer i kombination med elbilsackumulatorn. Ultrakondensatorer kan förse kortvarig hög effekt vid till exempel snabb acceleration eller körning uppför backar. De kan också hjälpa till med återvinningen av elenergi vid regenerativ bromsning. Detta med regenerativ bromsning är unikt för elbilar och betyder att elbilar har ett bromskraftåtervinningssystem som tar tillvara elenergi vid inbromsning. Vid lätta tryck på bromspedalen används endast den regenerativa bromsningen. I allmänhet har elbilar ett hybridbromssystem med hydrauliska bromsar. Den hydrauliska bromsen hjälper till vid kraftig inbromsning då den regenerativa bromsningen inte räcker till. Att använda en ultrakondensator i kombination med elbilsackumulatorn kan förlänga både körsträckan och ackumulatorns livslängd. [11], [12, s.25], [13], [14]

2.2 Litiumjon

Av litiumjonbatterier finns det många olika typer av kemiblandningar. Dessa har vanligen en minuspol, ofta kallad anod, gjord av grafit. Pluspolens elektrod, ofta kallad katod, är den vars kemiblandningar man oftast varierar. Undantag finns som till exempel Litium-titanat-oxid (LTO) där det är anoden som är gjord av litium-titanat. Katoden kan i LTO vara gjord av till exempel litium-mangandioxid (LMO) eller Litium-nickel-mangan-koboltoxid (NMC). De vanligaste och alla som behandlas mera ingående i detta dokument har en grafitbaserad anod. Som några av de förekommande kemiblandningar kan nämnas:

- Litium-nickel-mangan-koboltoxid (NMC eller NCM)
- Litium-järnfosfat (LiFePO₄ eller LFP)
- Litium-nickel-kobolt-aluminiumoxid (NCA)
- Litium-mangandioxid (LMO)
- Litium-koboltoxid (LCO)

Av de ovan nämnda så är NMC den vanligaste i elbilar. Mängden nickel, mangan och kobolt kan varieras för att optimera till exempel energidensiteten eller effektdensiteten.

LMO kan ge ut hög effekt och har god termisk stabilitet och bra säkerhet. Den har dock dålig livslängd och låg energidensitet. En vanlig tillämpning av LMO är att man kombinerar den med NMC. LMO delen (kan vara ungefär 30% av hela paketet) står då för den höga effekttillförseln vid till exempel acceleration, och NMC delen står för energimängden för att få längre räckvidd. Idag har LMO dock ett begränsat användningsområde eftersom liknande egenskaper men bättre livslängd kan uppnås med celler baserade på NMC.

Tesla använder till stor del NCA som har den högsta energidensiteten. NCA är dock dyr att tillverka och är en av de minst säkra kemityperna.

LFP har hög effekttäthet och bra livslängd samt är en av de säkraste litiumjonbatterierna. Dock har den lägre nominell spänning (3,2V/cell) vilket ger den dålig energidensitet och gör den mindre attraktiv. LFP tenderar också att ha högre självurladdning än andra litiumjonbatterier. Men den används nog i elbilar. Framför allt i Kina används den mycket i elbussar, detta mycket tack vare den kinesiska statens subventioner till tillverkare av LFP katodmaterial.

LFP används ofta i stället för 12V bly-syra ackumulatorer. I sådana fall används fyra LFP celler i serie för att få en nominell spänning på 12,8V. Med en maxspänning på 3,6V/cell ger fyra LFP-celler i serie en maxspänning på 14,4V vilket passar utmärkt då bilar laddar bly-syra batterier just till 14,4V.

LCO klarar av endast låga effektuttag samt har låg termisk stabilitet och är inte populär i elbilar.

[15], [16], [17]

2.2.1 Anod och katod

Att minuspolen ofta kallas för anod och pluspolen för katod är egentligen aningen felaktigt. Anod är den av batteriets elektroder där oxidering sker, elektroner frigörs, och katoden är den var det sker reduktion, elektroner tas emot. Så när man tar ut ström från batteriet/ackumulatören så stämmer det ju visserligen men när man tillför ström, laddar upp, så är det egentligen tvärtom. Alltså vid uppladdning är det pluspolens elektrod som är anod och minuspolens är katod. [18, s. 6]

2.2.2 Litiumjonkemi i elbilar

Det är stor chans att en begagnad elbilsackumulator är en av typen:

- LFP om från en billigare bilmodell, eller importerad från Kina
- NCA om från en Tesla

- annars NMC, kan vara LMO NMC blandning.

[16], [17], [19], [20]

Litiumjonbatterimarknaden utgörs till största delen av ackumulatorer till eldrivna fordon. Av litiumjonkemierna har globalt sett NMC varit den vanligaste och år 2022 utgjorde den 60% av litiumjonbatterimarknaden. Dock håller LFP på att stiga i popularitet och utgjorde år 2022 nästan 30% av marknaden. Bland annat i Tesla-bilar blir LFP vanligare. NCA utgjorde 2022 endast omkring 8% av marknaden. [10]

2.3 Nickel-metallhydrid, NiMH

NiMH har en relativt bra energitäthet och effekttäthet, dock sämre än litiumjon. NiMH-batteriers kanske största fördel är att de är ganska säkra och toleranta mot missbruk. En av dess största nackdelar är dess höga självurladdning. NiMH kan kräva kylning vid snabb uppladdning. [11], [21], [12], [16]



Figur 1. En 80Ah 1,2V NiMH cell i prismatiskt format. Till höger på bilden är en AA Energizer battericell för storleksjämförelse. Foto av J. Hammerschmidt [22]

2.4 Sammanfattning kapitel 2

Elbilar har ett drivbatteri, vanligtvis 400 V, och ett litet bilbatteri på 12 V. Elbilsackumulatören, alltså drivbatteriet, i en begagnad helelektrisk elbil eller laddhybrid är i dagens läge nästan uteslutande någon av följande litiumjon kemityper: NMC, LMO, LFP eller NCA. Dock förekommer nickel-metallhydrid i många icke-laddningsbara hybridbilar. Som en kemi på kommande i elbilar kan nämnas natriumjon.

I vissa bilar används ultrakondensatorer i kombination med elbilsackumulatören. Ultrakondensatorer kan vara till hjälp när man skall ta hand om kortvariga höga effekter.

3 Elbilsackumulatorers uppbyggnad

Den minsta komponenten av en elbilsackumulator som självständigt kan lagra och ge ut ström kallas för en cell. En cells grundläggande komponenter är en negativ elektrod, en positiv elektrod, separator och elektrolyt samt något sorts hölje. Den negativa elektroden kallas ofta anod och den positiva katod. Cellens hölje kallas för cellkanna. [23], [24], [17]

Det finns olika format på cellkannorna. Det finns cylindriska, prismatiska, pouch celler och knappceller. Av dessa så är det de tre förstnämnda som används i elbilar. Vissa batterier består av en enda cell. Exempel på hur sådana cylindriska och knappceller kan se ut visas i figur 2 här under.



Figur 2. Olika batterier på vit bakgrund. Foto av Marco Verch [25]

[23], [24], [26]

3.1 Olika cellkannor

I detta kapitel berättas om olika typer av cellkannor/cellytterhöljen. Det behandlar cylindriska, prismatiska och pås-celler.

3.1.1 Cylindriska

Cylindriska celler är mekaniskt robusta och klarar av högt inre tryck utan att ändra form. De flesta celler har någon sorts tryckventileringsmekanism som säkerhet för att förhindra alltför höga tryckbildningar.

Cylindriska celler har hög energidensitet men tar upp mycket utrymme genom att det lämnar mycket tomrum. Detta kompenseras dock ganska bra av den höga energitätheten. Men tomrummen är också positiva eftersom de gör det möjligt för luft att strömma igenom och kyla.

Man lämnar ofta ett litet mellanrum mellan cylindriska cellerna för att förhindra fortplantning utifall att en cell skulle överhettas. Cylindriska 18650 litiumjonceller används i bland annat bärbara datorer, elcyklar och elbilar.

[24], [26], [27]

Nedan i figur 3 ser vi två olika cylindriska celler. Till vänster en LR6 cell, alltså ett AA-batteri, och till höger en 18650 cell. 18650 är en cylindrisk batteristorleksstandard som är 18mm i diameter och 65mm lång.



Figur 3. AA-batteri och Li-jon 18650 format. Foto från Wikimedia Commons [28]

3.1.2 Prismatiska

Vad gäller ytterhölje, kanna, så kan prismatiska celler (se figur 1 sid 5) ha metallkanna eller plastkanna. Dessa har lite olika egenskaper. En stor skillnad är att plastkannorna leder värme dåligt, vilket gör kylning svårt, samt att plasten brinner lättare än metall och är således mera eldfångd.

Prismatiska celler med cellkanna av metall är robusta och avger värme bra men är svårare att kyla än cylindriska. De är mera utrymmeseffektiva än cylindriska.

Prismatiska celler kan svälla upp lite med tiden när man använder dem, detta beror på gasuppbyggnad. Så lite utrymme för svällning bör finnas. En 5mm cell kan svälla till 8mm efter 500 cyklar ur- och uppladdning. Den prismatiska cellen bör dock ha ett robust hölje för att erhålla celltryck.

[24], [29]

3.1.3 Pås-celler, Pouch

I figur 4 på sid 9 syns ett exempel på en liten pouch cell. Pouch celler, som på svenska kan benämnas pås-celler [30], kallas också för litium polymer (LiPo) celler. Ibland kan de även bli kallade laminerade celler. Pouch celler har vanligtvis samma konstruktion som de prismatiska med den skillnaden att cellkannen inte är styv och skarp utan utgörs av en tunn laminerad aluminiumfolie och liknar en sorts påse. Den är ömtålig men har en flexibel och enkel design. Den har lägre vikt än de andra och tar tillvara utrymme mest effektivt.

Pouch celler sväller och dras ihop litet under normal användning. Mera laddning gör den tjockare och mindre laddning smalare. Antalet ur- och uppladdningar ger upphov till en bestående ökning av cellens tjocklek. Om cellen sväller upp väldigt mycket är det dock något fel och kan bero på exempelvis överladdning, överhettning eller kortslutning. Denna överdrivna svällning beror på mycket gasbildning. Man skall inte använda ett sådant uppsvullet batteri.

Om det kommer hål på ett svullet pouchbatteri i närheten av någon värmekälla eller eld så kan gaserna som läcker ut antändas. I nyare celldesigner har man gjort förbättringar på detta svällningsproblem. Också större pouchceller sväller mindre.

Om en pouch cell tillåts att svälla fritt så kan man riskera att cellerna förlorar den elektriska kontakten eller kontakten med en kylningsyta. Av dessa skäl bör cellerna monteras så att de är under ett litet tryck utifrån. Även cellernas livslängd kan förbättras och kapacitetsminskningen göras långsammare genom att applicera ett litet tryck på cellerna. Dock har forskning visat att ett högre tryck försämrar livslängden och försnabbar

kapacitetsminskningen av cellerna. Således bör trycket vara ej för lågt men inte heller för högt.

Enligt Arnold och Cannarella brukar man använda sig av ett tryck någonstans mellan 0,1-1 MPa (1-10 bar). Samma forskning visar dock att redan ett initialt tryck på 0,5 MPa (5 bar) påverkar livslängden och kapaciteten negativt. [31]

[24], [29], [17], [32], [33], [34], [35]

Figur 4 är en bild på en liten pouch cell. I elbilar används större celler som sätts ihop till moduler.



Figur 4. Pouch cell. Foto av Adafruit Industries [36]

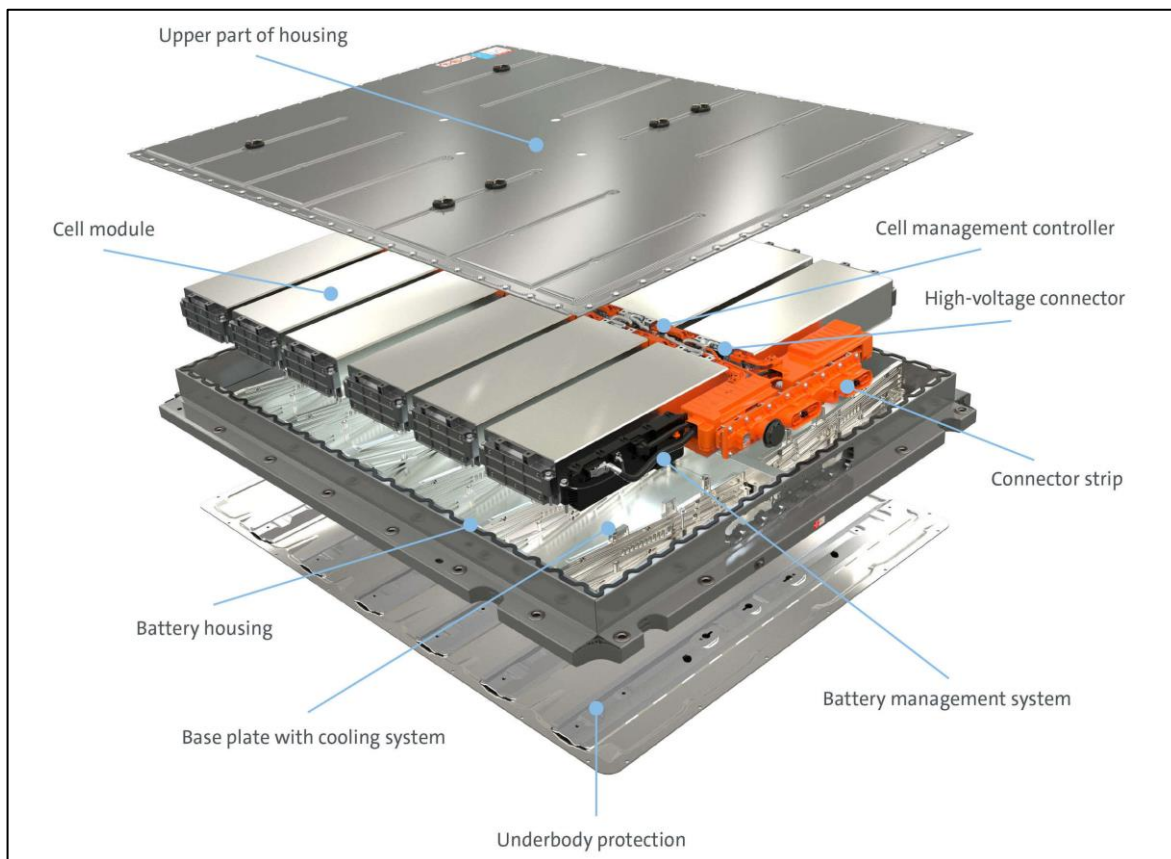
3.2 Ackumulatorpaketet

En elbilsackumulator består av någon av ovannämnda celltyper. Cellerna sätts ihop till moduler och modulerna sätts sedan ihop till ett batteripaket. Detta batteripaket är det vi

brukar kalla för elbilsackumulator eller på engelska Battery pack. Modulerna kan kallas för batterimodul, ackumulatormodul, cellmodul eller enbart modul.

I en elbils ackumulatorsystem ingår också andra komponenter som till exempel batterihanteringssystemet (BMS) och kylsystem. Figur 5 här nedan visar hur en elbilsackumulator ungefär kan se ut. Observera att individuella celler inte syns i bilden utan endast modulerna.

[37]



Figur 5. Huvudsakliga komponenter av ett batterihanteringssystem. Copyright: Volkswagen AG [38]

4 Batterihanteringssystemet

Ett batterihanteringssystem är ett system vars funktioner kan variera beroende på tillämpning samt batteriets typ och storlek. Dess huvudsyfte och mål är att hålla batteriets och enskilda cellers spänning, ström och temperatur inom säkra gränser under både urladdning och uppladdning och i vissa fall även under vila, alltså vid öppen krets. Detta för att bland annat säkerställa batterisystemets säkerhet och pålitlighet. Batterihanteringssystemet kallas ofta för BMS från engelskans Battery Management System. [39], [40]

Säkerhetsproblem med litiumjonbatterier beror i huvudsak på brand och explosion orsakad av termisk rusning [41]. Termisk rusning kallas det när en battericells energi frigörs okontrollerat [42]. Exempelvis överladdning, höga temperaturer eller inre och yttre kortslutning kan orsaka termisk rusning [34], [43].

När det gäller ackumulatorer med många celler parallellt eller i serie, som i en elbil, så spelar BMS en central och viktig roll i att hantera bland annat uppskattning av batteriets olika tillstånd och parametrar samt förhindra överladdning, underurladdning och termisk rusning [40, s. 231]. Vad gäller parametrar och batteritillstånd så använder sig BMS av tre värden från batteriet, spänning, ström och temperatur, för att uppskatta sådant som återstående livslängd, batteriets impedans och kapacitet, laddningsstatus (SoC), hälsotillstånd (SoH) och effektavmattning [44, Abstraktet].

I elbilar är batterihanteringen mycket mer krävande än i vissa andra tillämpningar. Detta bland annat för att BMS i elbilar måste i realtid arbeta med snabbt förändrande upp- och urladdningar när elbilen accelererar och bromsar. BMS i elbilar kan även behöva kommunicera med ett antal andra system i bilen samt arbeta i krävande och okontrollerade omgivningar. [45]

5 Elbilsackumulatorer, åldrande

Detta kapitel behandlar sådant som berör ackumulatorers skick och återanvändning. Det förklarar också kort några begrepp som reversibilitet, hälsotillstånd och End-of-life.

5.1 Kalenderåldrande och cykelåldrande

En ackumulator åldras och dess förmåga att lagra energi och ge ut effekt sjunker. Detta åldrande kan man dela in i två olika huvudgrupper, kalenderåldrande och cykelåldrande. Kalenderåldrande är det som sker bara av att tiden går även fast ackumulatorn inte används. Cykelåldrande beror på ur- och uppladdningar. Kalenderåldrande beror huvudsakligen på att ämnen i anoden och katoden reagerar med elektrolyten. Cykelåldrande innefattar i allmänhet sådant som gör att reversibiliteten blir sämre. Reversibilitet är den kemiska processens förmåga att gå andra vägen när man tillför en elektrisk ström från en yttre källa. Det är svårt i praktiken att åtskilja kalenderåldrande och cykelåldrande och säga vilken som har mera påverkan. [46], [47]

5.2 Hälsotillstånd, eng. State-of-health

En ackumulators förmåga att lagra energi och ge ut effekt sjunker alltså när den åldras och man kan säga att dess "hälsa" försämras. Detta syns i praktiken bland annat på att kapaciteten sjunker och att ackumulatorns inre resistans ökar. För att försäkra en trygg och behaglig körupplevelse samt säkerställa systemets pålitlighet och säkerhet är det viktigt att uppskatta ackumulatorns hälsotillstånd (SoH) med noggrannhet. Hälsotillståndet beskriver en ackumulators aktuella hälsa jämfört med dess hälsa som ny. Normalt används förhållandet mellan ackumulatorns nuvarande kapacitet och dess kapacitet som ny för att uppskatta hälsotillståndet. Hälsotillståndet anges vanligen i procent. Exempelvis en 50kWh ackumulator som sedermera bara kan ge ut 40kWh, har gått från 100% SoH till 80% SoH.

En noggrann hälsotillståndsuppskattning är också viktig för att man skall kunna byta ut en gammal ackumulator i tid innan den blir en säkerhetsrisk. Det finns olika metoder för att uppskatta hälsotillståndet men den så kallade "Coulomb counting" -metoden har varit den allmänt vedertagna metoden. Denna metod innebär att man mäter strömmen in och ut och integrerar den över tiden, man kan alltså säga att man räknar laddningar (coulomb) in och ut. Även spänningen i cellerna mäts. Hälsotillståndsuppskattning görs av batterihanteringsystemet.

[48], [49], [50], [47], [51]

5.3 Duglig tjänstgöringstid, End-of-life

När ackumulatören åldras och kapaciteten försämras så kommer det en gräns när den inte mera är tillräcklig för att möta kundens behov eller önskemål på körräckvidd och effekt. Detta kallas för batteriets end-of-life, alltså när dess tjänstgöringstid som en duglig elbilsackumulator är förbi.

Det är svårt att säga exakt när en ackumulators dugliga tjänstgöringstid är förbi. Detta eftersom det beror mycket på den ifrågavarande bilen och användarens behov. Dock finns det också säkerhetsaspekter att tänka på när det gäller åldrande av elbilsackumulatorer. När en ackumulator blir äldre ökar också dess inre resistans vilket gör att ackumulatören värms upp mera vid höga effektuttag när den är gammal än vad den gjorde när den var ny. Detta gör att den behöver kylas mera när den är gammal för att inte bli för varm.

Vanligt är att man anser en elbilsackumulator ha uppnått sin dugliga tjänstgöringstid när dess kapacitet är 70–80 % av den ursprungliga märkkapaciteten (70–80 % SoH). Så när exempelvis en 40 kWh ackumulator bara kan ge ut ungefär 28–32 kWh brukar man räkna att den nått sin dugliga tjänstgöringstid i elbilen. Vissa studier föreslår dock att man kanske kunde använda större ackumulatorer på 40 kWh och uppåt längre än så, till och med till 40–49 % SoH. Men studien poängterar att man måste ännu göra mera efterforskning och utvärdera om det är säkert att använda en ackumulator så länge. Detta eftersom vid ett så långtgående slitage kommer ackumulatorns inre resistans att ha ökat avsevärt och ge upphov till mycket värmeutveckling inuti ackumulatören.

Så åtminstone för tillfället och med de ackumulatorer som finns på marknaden i dag tycks 70–80 % SoH vara en rätt så bra gräns för när man borde fundera på att förnya elbilens ackumulator.

[46], [48], [52]

5.4 Återanvändning, Second life

En begagnad elbilsackumulator som uppnått sin dugliga tjänstgöringstid i elbilen kan gå att återanvända i andra tillämpningar där kraven på utgiven effekt och kapacitet är lägre, som till exempel i ett solpanelssystem där man kan använda den begagnade elbilsackumulatören som lagringsplats för elenergi. På engelska brukar man tala om "Second life", ett andra liv. Enligt en artikel i tidskriften "Journal of Cleaner Production" så kan man använda en begagnad elbilsackumulator i en sådan andra-livs tillämpning omkring 5–10 år.

[46], [53, Inledning stycke 6]

6 Återvinning av batterier

Utbredd återvinning av batterier och ackumulatorer skulle förhindra skadliga material från att hamna som avfall. Materialåtervinningen från återvinningsprocesserna skulle även återinföra viktiga material in i försörjningskedjan och skulle öka tillgången av inhemska sådana material. Man håller på att jobba för utveckling av batteriåtervinningsprocesser för att minimera livscykelavtryck från användning av litiumjonackumulatorer och andra batterier i elfordon. [11]

6.1 Minska beroende av mineraltillgångar och säkerhetsrisker

I litiumjonackumulatorer används icke förnybara mineraler som till exempel litium, nickel, mangan och kobolt. Vissa livscykelstudier menar att tillverkningen av elbilar är mera beroende av mineraltillgångar än bilar med förbränningsmotorer. Detta beror till stor del just på användningen av mineraler i litiumjonackumulatorerna som används som drivbatteri i elbilar. Det faktum att det behövs massvist av dessa mineraler, brytning av dessa i gruvor samt raffinering har gjort att en del iakttagare börjat ifrågasätta om användning av ackumulatorer faktiskt är en hållbar lösning för att möjliggöra en grönare transport, alltså transport som har mindre skadlig påverkan på natur och omgivning.

Med återvinning av dessa litiumjonackumulatorer kan man dock minska beroendet av mineralbrytning i gruvor. Återvinning kan även minska risker med säkerhet, föroreningar och giftighet. Detta genom att till exempel förhindra att ackumulatormaterial hamnar med annat skräp. Litiumjonackumulatormaterial kan nämligen lätt börja brinna eller till och med explodera om det hamnar i vanlig sophantering.

[54]

6.2 Minska skadlig påverkan på miljön

Uttjänta batterier och ackumulatorer bör bli omhändertagna på ett bra sätt för att förhindra att giftiga ämnen kommer ut i naturen. Exempelvis att lägga uttjänta litiumjonackumulatorer från elbilar på en soptipp (eng. landfill) är inte ett bra sätt utan kan leda till jord- och grundvattenförorening. Litiumjonackumulatorer innehåller giftiga och tunga metaller som kan påverka naturens ekosystem negativt. Återvinning av batterier kan minska både inverkan på naturen och beroendet av råmaterials brytning.

[11], [55], [54]

6.3 Finlands lag

Finlands lagstiftning strävar också efter mera och bättre materialåtervinning av alla typer av batterier och ackumulatörer för att minska skadligheten av dem [56, 1 §]. Detta bland annat genom att ålägga producenterna av bilackumulatörer med skyldighet att ordna mottagning av kasserade bilackumulatörer så att det finns minst 400 fasta mottagningsplatser i hela landet och minst en mottagningsplats i varje kommun [56, 8 §].

7 Faror med litiumjon

När man läser om faror är det bra att minnas att de faror man vet om är de man kan försöka förebygga och således öka säkerheten. Därför är det viktigt att man har kunnat konstatera vilka som är de största farorna med litiumjonackumulatörer.

Faror med litiumjonackumulatörer innefattar brand, kemikaliska faror, explosion och elstötar. Av dessa är brandfaran den mest betydande. Vid användningen av ackumulatörer som del av elanläggning är dock de största riskerna förknippade med säkerheten vid elarbeten. Det kan förekomma spänning även om huvudbrytaren är frånkopplad. Man skall säkerställa och konstatera spänningslöshet innan elarbete inleds.

Brandfaran kommer av att litiumjonackumulatörer är ganska energitäta och att elektrolyten i dem är lättantändlig. Med tanke på energitätheten kan man konstatera att när man ”paketerar in” mycket energi på ett litet utrymme går det inte att undgå att det finns risk för att energin frigörs okontrollerat.

Andra farospekter:

- De vätskor och gaser som ackumulatören avger vid termisk rusning är giftiga
- Explosioner och flygande spillror orsakas i huvudsak av brand men tryckbildning inuti ackumulatören kan uppkomma även utan någon brand
- Elstöt kan man råka ut för ifall man hanterar en skadad ackumulatör, missanvänder ackumulatören eller om den inte har något elektriskt säkerhetssystem.
 - Elektriska säkerhetssystem är fundamentala vid spänningar på 70 V och högre

[57, s. 7], [58, “Användning av batterier som en del av elutrustning”]

7.1 Termisk rusning

Termisk rusning är det fenomen som ligger bakom brandrisken hos litiumjonackumulatörer. Vid termisk rusning ger reaktionerna inne i ackumulatören upphov till mera

värme än ackumulatören förmår leda bort. Detta gör att temperaturen inne i ackumulatören stiger. Den förhöjda temperaturen försnabbar de värmeutvecklande reaktionerna inne i ackumulatören och temperaturen stiger ännu mera. Det blir en kedjereaktion som till sist "rusar iväg". Även värmeförhöjningens påverkan på ackumulatörens uppbyggnad påskyndar reaktionen, till exempel när separaten smälter/brinner.

Denna reaktion kan hända först i en eller flera celler. Gas kan tränga ut ur cellen explosionsartat och brinna med en kraftig låga. Cellerna är tätt förpackade i batterier och den bildade värmen kan spridas till intilliggande celler och reaktionen framskrida från cell till cell inuti batteriet. När reaktionen framskrider utvecklas gaser inuti ackumulatören som fylls upp. Trycket ökar i takt med gasbildningen och gaserna kommer ut ur ackumulatören antingen via någon säkerhetsventil eller när dess konstruktion ger efter, det senare kan ge upphov till flygande spillror.

Gaserna kan antändas vid blandning med syre om temperaturen är tillräckligt hög. Elektrolytvätskorna brinner av sig själva om de kommer i kontakt med syre. Lågor, gnistor och flygande spillror kan antända brännbara föremål i närheten.

Man försöker förhindra den termiska rusningens begynnelse genom att stoppa ackumulatörens inre kortslutning på olika sätt (detta är ständigt under utveckling). Till exempel litiumjonackumulatörens separator är ofta planerad att fungera som en slags säkring genom att börja smälta av värmen vid en kortslutning och få porerna i den att krumpna ihop. Detta förhindrar jonerna och stänger effektivt ner cellen som annars kunde värmas upp ända till punkten för termisk rusning och släppa ut eldsflammar. Om värmen däremot blir så hög att separaten smälter helt, exempelvis vid brand, så kommer ackumulatörens plus- och minuselektroder i direktberöring med varandra och frigör ackumulatörens elenergi okontrollerat. Detta ökar termiska rusningens värmeenergi.

[57, s. 8–9, 14], [58, "Termisk rusning och släckning av brand i litiumjonbatteri"], [59, s. 9], [60]

7.1.1 Orsaker och kritisk temperatur

Akkumulatörer värms upp både vid upp- och urladdning. I praktiken uppkommer termisk rusning av något av följande:

- snabb urladdning, alltså extern eller intern kortslutning
- att värmen inuti ackumulatören inte slipper bort
- yttre faktor som värmer ackumulatören, exempelvis brand.

Att värmen inuti ackumulatören inte kan ta sig bort kan bero på exempelvis bristfällig ventilation i batteriutrymmet, för dålig kylning av ackumulatören eller att ett isolerande dammlager/smuts samlats på ackumulatören.

Yttre faktorer som kan värma upp ackumulatören för högt är bland annat solljus eller placering för nära en värmekälla som till exempel i ett pannrum för nära pannan.

Den kritiska temperaturen för när termisk rusning börjar varierar beroende på kemien. Några exempel på kritiska temperaturer är:

- LCO:
 - 150 °C, termisk rusning börjar
 - 210 °C, snabb termisk rusning
 - 850 °C, maxtemperatur (18650 celler)
- NMC
 - 180 °C
 - 220 °C
 - 680 °C
- LFP
 - 200 °C
 - NA
 - 400 °C
- NCA
 - 150 °C
 - NA
 - NA

Beroende på kemins temperaturbeständighet klassas de som farliga eller säkra kemityper. Kemityper som anses farliga är bland andra NCA och LCO. Kemi som anses säker är bland andra LTO, LFP, LMO och NMC.

[57, s. 8, 13, 15–16], [16]

7.1.1.1 Annat som kan bidra till termisk rusning:

- Fysiska skador såsom stötar/slag, genomträngning av främmande föremål, vibrationer och tryckväxlingar.
- Utsättning av hög spänning

- Laddning till för hög spänning eller i kyla
- Batteriets åldrande
 - Kemiska reaktioner som med tiden sker inne i batteriet sänker både dess kapacitet och säkerhet
- Tillverkningsfel/dålig kvalitet
 - Till exempel orenheter hos batteriets elektroder eller hål i separatorn mellan elektroderna
- Ostabil batterikemi
- Fel förvaringstemperatur påskyndar batteriets åldrande, speciellt alltför hög temperatur
- Fullständig urladdning av batteriet
 - Till exempel långvarig förvaring utan periodvis laddning

[57, s. 10]

7.1.2 Utmaningar vid brandsläckningen

En brinnande litiumjonackumulator ger själv upphov till de tre villkoren för en brand: värme, syre och brännbart material. Släckning av synliga lågor stoppar alltså inte reaktionen inne i ackumulatorn, utan reaktionen måste stoppas genom att förhindra värmeöverföring från cell till cell inuti ackumulatorn genom att till exempel kyla med en stor mängd vatten. Anordningar som innehåller litiumjonackumulatörer och batterier har ofta ett skal och/eller annan konstruktion, vilket gör det svårt att få in nedkylningseffekten direkt mellan cellerna. Vid brand i litiumjonbatterier bildas det rikligt med skadliga föreningar.

[58, "Termisk rusning och släckning av brand i litiumjonbatteri"]

7.2 Giftiga ämnen

Förutom risk för brand orsakad av termisk rusning, så utgör även de giftiga ämnen som finns i litiumjonackumulatörer en central riskfaktor. Dessa ämnen kan vid brand bilda giftiga gaser som kan spridas brett och långt. Vid stor ackumulatorbrand kan de giftiga gaserna färdas med vinden flera kilometer.

Giftiga ämnen och föreningar varierar beroende på ackumulatorkemi. Speciellt kan nämnas vätefluorid (HF) som potentiellt kan utgöra livsfara. Vid brand frigörs 20–200 mg/Wh. Risk

för spridning av vätefluorid gör det nödvändigt att vid ackumulatorbrand skydda luftvägarna. Vätefluorid kan irritera ögon och luftvägar, vid stora mängder orsaka plågsamma skador på hud, ögon och slemhinnor. Ångor kan orsaka frätskador i luftvägarna och lungödem (fin. keuhkopöhö). Även hjärtrytmrubbningar förekommer ofta.

[57, s. 11–12, 84]

7.3 Risker med ackumulator som del av en produkt eller anläggning

Vid elarbeten på anläggningar och anordningar med batterier och ackumulatorer måste man beakta att det på grund av ackumulatorbatteriet kan förekomma spänning i vissa delar av utrustningen. Detta även om huvudbrytaren har öppnats. På grund av detta skall särskild uppmärksamhet fästas vid att säkerställa och konstatera spänningslöshet.

Om en ackumulator används i en produkt och denne får sin drivkraft från ackumulatören är det uppenbart att produkten stannar om ackumulatören slutar att fungera. Ackumulatorbrand kan antända produkten som drivs av ackumulatören samt omgivningens brandlast (brännbart material).

Ett ackumulatorfel kan leda till störningar i funktionen som kan ge upphov till potentiella betydande risker. Ackumulatorsäkerheten bör på grund av detta tagas i beaktande som en central faktor i slutproduktens säkerhet.

I fordon

- Om en ackumulator i ett fordon slutar fungera kan det leda till att även fordonets andra system slutar fungera vilket kan försvåra stannandet av fordonet.
- Ackumulatorbrand i ett fordon antänder fordonet nästan med säkerhet.

I maskiner och anordningar

- Om ackumulatören används i säkerhetskritiska maskiner eller anordningar som exempelvis lyft- och säkerhetsanordningar, bör man kunna signalera ackumulatorfel och vara tillräckligt förberedd.
- Ackumulatorfel kan få bredare påverkan på systemet, till exempel ge upphov till avbrott i produktion
- Ackumulatorbrand antänder maskinen eller anordningen nästan med säkerhet.

I energiförvaring

- Från stor ackumulatorbrand kan giftiga rökgaser sprida sig flera kilometer på vindens nedre sida
- Ackumulatorbrand kan orsaka byggnadsbrand om ackumulatorn inte är installerad i ett brandsäkert utrymme.

[57, s. 12], [58, "Användning av batterier som en del av elutrustning"]

7.4 Temperatur, spänning och ström

Med tanke på säkerheten i litiumjonbatteri skall både temperatur och spänning hållas inom vissa gränser och skall vara varken för höga eller för låga. Strömmen å andra sidan kan inte vara för låg utan endast för hög. Även batteriets försämring för snabbas vid användning utanför säkra områden. Här följer kort några punkter om hur batteriet påverkas av användning utanför tillverkarens specificerade områden:

- För hög spänning leder till inre strukturskador, gasbildning, litiumplätering och värmeutveckling. Vid överladdning är gasbildning och värmeutveckling de mest allmänt rapporterade karaktärsdragen. Överladdning ökar risken för termisk rusning. [61], [62]
- Laddningscyklar som innefattar överurladdning ökar litiumplätering och risk för intern kortslutning samt ökar gasbildningen inne i litiumjonbatteriet. [63]
- Laddning med för hög ström ökar också litiumplätering och således risken för intern kortslutning. Höga strömmar vid ur- eller uppladdning ger också upphov till större värmeutveckling inuti batteriet. Om värmen blir för hög inne i litiumjonbatteriet så triggas termisk rusning som kan leda till självantändning och i vissa fall explosion. [64], [65]
- Även laddning i för låg temperatur ökar litiumplätering. Litiumplätering minskar kapaciteten och kan leda till intern kortslutning. [64], [65]
- Användning av litiumjonbatterier i höga temperaturer försämrar litiumbatteriets prestation och förkortar dess livslängd. Vid alltför höga temperaturer finns risk för att termisk rusning triggas. [65]

Kan även tilläggas följande information:

- Överurladdning i sig själv är inte så farlig, men kombinerad med uppladdning efteråt uppstår problematiska risker som med tiden kan leda till intern kortslutning och utgöra risk för termisk rusning. Därför säger exempelvis batteriföreningen att "En litiumjoncell som laddats ur under 2 V bör av säkerhetsskäl aldrig laddas upp igen.", detta i ett dokument som behandlar litiumjonkemierna NMC, NCA, LFP, LCO och LMO [17]. Det finns dock undantag som exempelvis litium-titanat-oxid (LTO) som har en nominell cellspänning på 2,4 V och ett typiskt spänningsområde på 1,8–2,85 V. [63], [65], [16]
- Både för höga och för låga temperaturer leder till försämrad ackumulatorprestation och bestående skador. Det acceptabla användningsområdet för litiumjonbatterier är normalt -20 °C till 60 °C, men det optimala området är mellan 15 °C och 35 °C. Utanför dessa områden försämras litiumjonbatteriet snabbt och kommer att utgöra större risk för säkerhetsproblem såsom exempelvis brand och explosion. Uppladdning är mera känsligt än urladdning och litiumjonackumulatörer borde laddas inom temperaturområdet 0 °C till 45 °C. Snabbladdning borde göras inom området 5 °C till 45 °C. Under 5 °C skall laddningsströmmen minskas. Under 0 °C borde laddning normalt undvikas men är möjlig med väldigt låga laddningsströmmar (0,02C vid -30 °C). Det finns special litiumjonbatterier som kan laddas ända ner till -10 °C, dock även dessa med en förminskad ström. [65], [66]
- Interna kortslutningar är ett av batteritillverkarnas största bekymmer och kan leda till utsläppning av gas, termisk rusning, samt till gnistor som kan antända elektrolytångor från cellen. Intern kortslutning kan uppkomma av tillverkningsfel, orenheter i cellerna eller dendritisk tillväxt av litium, och orsakar de flesta säkerhetsincidenterna när det gäller batterier. [67, Bilaga V punkt 8], [68, Liite V kohta 8]

8 Installering av elbilsackumulator, vem som får göra det

I detta kapitel nämns ett undantag när man enligt elsäkerhetslagen 1135/2016 paragraf 56 andra momentet får som lekman utföra elarbeten. Dock bör man minnas att samma elsäkerhetslag kräver att även dessa elarbeten utförs på sådant sätt att säkerheten kan tryggas i tillräcklig mån. I bilaga till statsrådets förordning om elarbeten och driftsarbeten tilläggs "Arbetet ska utföras noggrant och yrkesmässigt utan att riskera någons liv eller hälsa."

Kan också nämnas att enligt elsäkerhetslagen får man inte heller ens ta i bruk en elanläggning som medför fara för någons liv, hälsa eller egendom [4, 6 §]. Stationär

ackumulatorinstallation är en elanläggning. Kort sagt måste man alltså alltid, oberoende av undantag, veta hur man skall göra elarbete eller elinstallation på ett säkert vis för att få göra det.

[4, 82 § 2 mom.], [3, 7 §], [3, Bilaga 1 §]

8.1 Installering i elbilen

I elsäkerhetslagen (1135/2016) finns ett undantag gällande elarbete på kraftsystem hos elfordon som lämpar sig för bruk i vägtrafik. Elarbeten på elbilar berörs av detta undantag. Enligt undantaget så räcker det att den som utför arbetet är tillräckligt insatt eller instruerad i elsystemet i den ifrågakvarande fordonsmodellen och farorna med elektricitet. [4, 56 §]

Enligt elsäkerhetskonsult Vesa Linja-aho så kan tillräckliga kunskaper om fordonets elsystem fås till exempel med hjälp av fordonstillverkarens eget utbildningsprogram eller genom att göra sig förtrogen med tillverkarens reparationsanvisningar. Enligt SFS 6002 skall man få nödvändig fordonsmodellvis skolning. SFS 6002 är en standard som behandlar säkerheten vid elarbeten och innehåller föreskrifter för hur man säkert utför elarbeten. Tillräckliga kunskaper om farorna med elektricitet fås genom att undergå en med SFS 6002 -standardens överensstämmande elarbetssäkerhetsskolning. En sådan skolning skall enligt SFS 6002 -standardens ges åt alla som utför service- eller reparationsarbete på el- eller hybridfordon. [69], [70, s. 110], [71, s. 110]

Observera att man måste göra elbilen spänningslös innan man börjar med arbetet, annars klassas arbetet som spänningsarbete, vilket skulle kräva specialutbildning för den som utför arbetet. Man skall alltid sträva till att försöka undvika spänningsarbeten [3, 6 §]. SFS 6002 -standardens kräver även att den som utför service, underhåll och reparation av el- eller hybridfordon alltid skall ha tillgång till fordonsspecifika service-/reparationsanvisningar som innehåller instruktioner om hur man gör fordonet spänningslöst [69], [71, s. 110].

8.1.1 Sunt förnuft

SFS 6002 -standardens påbjuder alltså att åt alla som utför service- och reparationsarbeten på el- och hybridfordon skall ges elsäkerhetsskolning i enlighet med SFS 6002 -standardens tillämpliga delar. Linja-aho säger att standardens ordval i förmedlande av denna förordning ibland har lett till att man övertolkat och krävt till och med att en som skall byta vindrutetorkaren på en elbil måste ha genomgått SFS 6002 -skolning. Linja-aho menar att det även i standarder och lagar är tillåtet att använda sunt förnuft. Han säger att en bra

tumregel är att om servicearbetet är av sådant slag att även en lekman kunde utföra det så krävs ingen SFS 6002 -skolning. Exempel på sådana arbeten är enligt Linja-aho byte av vindrutetorkare, påfyllning av spolarvätska och byte av däck med mera. [71, s. 110], [69]

8.2 Installering i tillämpningar utanför elbilen

Om man vill använda en elbilsackumulator i en tillämpning utanför elbilen så gäller inte ovan nämnda undantag längre. Det finns också ett annat undantag som gäller elarbeten som har en nominell spänning på högst 50 V växelspänning eller 120 V likspänning. Men elbilars ackumulatorpaket har oftast en spänning på 400–800 V. Så inte heller detta undantag gäller vid installering av elbilsackumulatorer i tillämpningar utanför elbilen. [4, 56 §], [9]

Ingendera av dessa två undantag gäller alltså vid installering av elbilsackumulator i tillämpning utanför elbilen. Detta innebär att de allmänna kraven för utförande av elarbeten gäller. Dessa krav är följande:

1. Ledaren av elarbetet skall ha tillräcklig behörighet. Behörigheten skall kunna intygas med ett behörighetsintyg utfärdat av ett kompetensbedömningsorgan.
2. Den som självständigt utför och övervakar arbetet skall ha tillräcklig behörighet eller annars tillräcklig yrkeskunskap. Det måste vara en yrkesutbildad person inom elbranschen. Denna person kan vara samma som i punkt 1 men inte nödvändigtvis vice versa.
 - Alla elarbetsobjekt bör alltså ha en utsedd övervakare som under arbetstiden övervakar elsäkerheten. Övervakaren kan delta i elarbetet eller själv utföra det. [3]
3. Man har full tillgång till arbetsredskap som behövs för arbetet i fråga samt bestämmelser om elsäkerheten.
4. En anmälan om elarbetet har gjorts till elsäkerhetsmyndigheten innan elarbetet inleds.

[4, 55 och 65 §§], [3, Bilaga 2 §]

8.3 Summering av kapitel 8

När man installerar elbilsackumulator i en elbil räcker det om:

- Man har ett i kraft varande SFS 6002 elsäkerhetskort
- Man är tillräckligt insatt eller instruerad i den ifrågavarande fordonsmodellens elsystem.
 - Exempelvis genomgått fordonstillverkarens eget utbildningsprogram eller gjort sig förtrogen med tillverkarens reparationsanvisningar
- Man har under hela arbetets gång tillgång till en fordonsspecifik manual i vilken finns instruktioner om hur man gör fordonet i fråga spänningslöst
- Man har gjort ackumulatorn och bilen spänningslös innan arbetet påbörjas
- Spänning i bilen och ackumulatorn tillförs först när ackumulatorn är installerad i bilen och allt arbete är helt klart

När man installerar en elbilsackumulator i tillämpning utanför bilen gäller de allmänna kraven för utförande av elarbeten. Mera information om dessa krav finns i kapitel 8.2 ovan. Även idrifttagning och underhåll av ackumulatorn borde utföras endast av en yrkeskunnig person [59, s. 18].

9 Stationär ackumulatorinstallation, säkerhetsaspekter och förordningar

Detta kapitel behandlar säkerhetsaspekter och förordningar som gäller allmänt vid stationär ackumulatorinstallation. Alltså sådant som gäller oberoende om ackumulatorn man använder är ny och för ändamålet tillverkad eller om man använder sig av en begagnad elbilsackumulator.

Notering: Detta kapitel behandlar inte eventuella undantag som kan gälla vissa installationer med klenspänning (För definition av klenspänning, se listan med orddefinitioner).

9.1 Lagar och standarder i Finland

I Finland har vi elsäkerhetslagen (i skrivandets stund gäller 1135/2016) som man skall följa vid olika elarbeten, installation och användning av elanläggningar och dylikt. Syftet med denna lag är bland annat att säkerställa en trygg användning av både elektrisk utrustning och elanläggningar. Enligt denna elsäkerhetslags 33 § och 84 § offentliggör elsäkerhetsmyndigheten en lista med de standarder vilka, om de efterföljs, anses uppfylla de väsentliga

säkerhetskraven överensstämmande med elsäkerhetslagen. Elsäkerhetsmyndigheten i Finland heter *Säkerhets- och kemikalieverket* och förkortas Tukes. [4], [72]

Listan som gäller i skrivandets stund är *Luettelo S10-2023*. I denna lista av Tukes finns bland annat *SFS 6000 (2022)* och *SFS-EN IEC 62485-2 (2018)*. SFS 6000 behandlar Lågspänningselinstallationer (spänningar upp till högst 1000 VAC och 1500 VDC) och SFS-EN IEC 62485 del 2 behandlar säkerhetskrav vid installation av stationära ackumulatörer och batteribankar. Dock behandlar den senare nämnda endast ackumulatorkemityperna bly, nickelkadmium och nickelmetallhydrid. SFS 6002 finns också med på listan och behandlar säkerheten vid elarbeten. [73], [74], [75]

9.1.1 Standardserien SFS 6000

SFS 6000 är en väldigt bra och ganska heltäckande helhet när det gäller lågspänningselinstallationer, alltså växelspanning upp till 1000 V och likspanning upp till 1500 V. Serien förnyas vart femte år. Alla standarder i serien grundar sig på internationella standarder förutom del 8. Denna del innehåller endast nationella standarder som inte grundar sig på någon internationell standard, de har alltså inga så kallade internationella förebildsstandarder och är således rent nationella för Finland. De behandlar kompletterande krav. [74], [76]

Den nyaste versionen av standardserien är SFS 6000 (2022) och innehåller 41 stycken enskilda standarder. Jämfört med föregående version (2017) så har bland annat två helt nya standarder blivit tillagda till serien. Dessa två är standarderna SFS 6000-5-57 och SFS 6000-7-716. Standarden SFS 6000-5-57 behandlar stationära ackumulatorinstallationer och är väldigt väsentlig för detta slutarbete. [74]

9.1.2 Standardserien SFS-EN IEC 62485

Del 2 av standardserien SFS-EN IEC 62485 är, som redan nämnts, med i Tukes lista med standarder vilka, om de efterföljs, anses uppfylla Finlands lag. Denna del 2 tillsammans med SFS 6000 (2022) standardserien utgör en ganska långt täckande helhet även för stationära ackumulatorinstallationer.

Det finns även standarder som inte finns med i Tukes lista men som också behandlar stationära ackumulatorinstallationer. Ett sådant exempel är del fem av serien SFS-EN IEC 62485 som behandlar specifikt stationära installationer med litiumjonackumulatörer. Denna del har mycket gemensamt med SFS 6000-5-57 och SFS-EN IEC 62485-2 och man klarar sig utan den här i Finland. Den kan dock hjälpa till att förstå de finländska standarderna när något kan vara uttryckt på annat sätt men den är inte lika sträng på vissa punkter jämfört med SFS 6000-5-57. Exempelvis så tillåter SFS-EN IEC 62485-5 (2021) att

man i stationära ackumulatorinstallationer använder elektrisk separering som skyddsmetod mot elchock medan SFS 6000-5-57 (2022) inte tillåter elektrisk separering som skyddsmetod i sådana installationer.

[77, s. 15], [59, s. 10]

9.2 Installering av stationär ackumulator, plats

Detta kapitel är ämnat att ge läsaren en förståelse för vilken typ av plats som lämpar sig för en stationär ackumulatorinstallation. Det berättar om hurdana platser som är godkända samt vilka faror man skall ta i beaktande. Kapitel 9.4 innehåller kompletterande information som är bra att veta vid val av plats.

9.2.1 Godkända platser

Stationära ackumulatörer skall installeras i skyddat utrymme. Godtagbara typer av utrymmen är:

- Ett separat batterirum i byggnad
- I ett elutrymme, på ett avskilt område speciellt avsett för batterier
- I ett skåp eller annat hölje/inkapsling inomhus eller utomhus
- I en utrustnings batterikapsling.

I utrymmet skall vara tillräcklig ventilation enligt tillverkarens anvisningar.

[59, s. 11, 18]

9.2.2 Att tänka på vid val av plats

Vid val av utrymme skall följande saker beaktas:

- Skydd mot yttre faror som exempelvis brand, vatten, slag och vibrationer, skadegörelse, skadedjur
- Skydd mot interna faror, alltså faror förorsakade av ackumulatören, som exempelvis höga spänningar, explosionsrisker, elektrolytrisker, korrosion och effekterna/inverkan av jordfel
- Skydd så att lekmän ej har åtkomst till ackumulatörerna

- SFS 6000-5-55:2017 punkt 551.8.1 säger följande:
”Stationära ackumulatorbatterier ska installeras så att de är tillgängliga enbart för yrkeskunniga eller instruerade personer”. Den tillägger även att detta i allmänhet kräver installering i ett låst utrymme eller, för mindre ackumulatorer, ett låst hölje.
- Skydd mot omgivningens extrema förhållanden som exempelvis temperatur, fukt och luftburna föroreningar.
- Man borde skydda ackumulatören mot exempelvis direkt solljus och regn.

Vid behov skall ett låsbart utrymme användas. Utrymmet måste vara möjligt att utrymma i en nödsituation. Dess dörr får vara låsbar endast från utsidan och skall i nödsituation kunna öppnas från insidan med hjälp av en nödmekanism, en så kallad panikregel. Dörren måste öppnas utåt.

Läs även kapitel 9.4.2 om räddningsverkens anvisning gällande brandsäkerheten. Informationen i det kapitlet är också bra att tänka på när man väljer plats för stationär installering av ackumulatorer.

[78, s. 24], [79, s. 399], [59, s. 18], [57, s. 13, 66]

9.3 Installering av stationär ackumulator, skydd mot elchock

En del av informationen (Källa [79]) i detta kapitel (9.3) samt här strax ovan, är tagen från SFS 600-1-1:2018. Alltså näst nyaste versionen av standardserien SFS 6000. Detta på grund av brist på tillgång till hela nyaste serien under skrivandets gång. Dock har man haft möjlighet att på slutet kontrollera med den nyaste versionen av standardserien och konstaterat att informationen stämmer överens med den också.

9.3.1 Grundläggande regel

Grundläggande regel för skydd mot elchock:

- Farliga spänningsförande delar får inte vara åtkomliga, och
- åtkomliga ledande delar får inte anta en farlig spänning varken vid normal drift eller när ett fel föreligger.

[79, s. 71]

9.3.2 Skyddet i praktiken

Elinstallationers skydd mot elchock ska bestå av:

- en lämplig kombination av basskydd och separat felskydd, eller
- en utökad skyddsmetod som åstadkommer både basskydd och felskydd.

Basskyddet ska skydda mot elchock vid normal drift. Felskyddet ska skydda mot elchock när ett fel uppkommit. I lågspänningselinstallationer motsvarar basskyddet i allmänhet skydd mot direkt beröring av spänningsförande del och felskyddet skydd mot beröringsspänning då ett fel inträffar i grundisoleringen.

En utökad skyddsmetod skyddar både vid normal drift och när ett fel inträffat. Förstärkt isolering är ett exempel på en utökad skyddsmetod.

I varje del av en elinstallation skall en eller flera skyddsåtgärder användas för skydd mot elchock. Och dessutom skall yttre omständigheter beaktas. I allmänhet används någon/några av följande skyddsåtgärder:

- Skydd genom automatisk frånkoppling av matning (Vanligaste skyddsmetoden)
- Dubbel isolering eller förstärkt isolering
- Elektrisk separation (Får ej användas i fasta ackumulatortillämpningar) [59, s. 10]
- Klenspänning (SELV eller PELV. Kräver spänning om högst 50 VAC eller 120 VDC)

Användning av jordfelsbrytare kan användas som ett tilläggskydd men inte som enda skydd mot elchock. I vissa fall är det dock ett måste att använda jordfelsbrytare som tillägg.

[79, s. 3, 6, 19, 71–72, 75, 85, 88]

9.4 Installering av stationär ackumulator, brandskydd

Även detta kapitel tar upp viktig information. Det handlar om hur man minskar risken för brand samt hur man förminskar följderna av uppkommen brand. Det ger tillsammans med kapitel 9.2 viktig information för väljande av plats åt en stationär ackumulatorinstallation.

9.4.1 Hur minska risken för brand

Bestämmelser som minskar risken för brand:

- Använd ackumulatorerna alltid inom tillverkarens specificerade användningsgränser för cellerna vad gäller spänning, temperatur och ström
- Övervaka strömmen i varje cell samt spänning och temperatur
- Om en eller flera celler ligger utanför ett av sina driftvärden måste de anses vara skadade och bör inte få fortsätta vara i drift.
- Förhindra åtkomst till ackumulator för lekmän
- Batterier avsedda för användning av andra än lekmän måste installeras i kapslingar som endast kan öppnas med nyckel eller verktyg. Alltså åtminstone installationer med spänningar högre än 50 VAC eller 120 VDC.
- Utrymmet där ackumulator installeras skall vara tillräckligt ventilerat i enlighet med tillverkarens anvisningar.
- Sådana elektriska apparater som sannolikt kan ge upphov till gnistor, ljusbågar eller lågor måste installeras på tillräckligt avstånd från ackumulatortyper som producerar gas. (Litiumjonackumulatorer kan ge ifrån sig gas om de skadas eller felanvänds)

[59, s. 9-11, 18], [77, s. 23-25], [4, 56 §]

9.4.2 Hur minska följderna av brand, Räddningsverkens anvisning

I regin av expertnätverket för säkerhetstjänster inom Räddningsverkens partnerskapsnätverk har man utarbetat brandsäkerhetsanvisningar för solelsystem. Många sakkunniga och experter har varit inblandade i detta projekt. I slutskedet har även representanter från Elanläggningar-gruppen vid Säkerhets- och kemikalieverket Tukes varit med. Denna anvisning är inte juridiskt bindande utan är en enstämmig syn på tillämpning av räddningslagen och har uppkommit i samarbete mellan behöriga räddningsmyndigheter.

I denna anvisning finns ett kapitel som behandlar ackumulatorer och ackumulatorutrymmen. Det kapitlets anvisning är sammanställt i detta kapitel.

[80, s. 3]

9.4.2.1 Allmän anvisning

- Batterirum/Ackumulatorutrymmen rekommenderas att man placerar skilt från annan byggnad på minst 8 meters avstånd. Platsen bör vara lättillgänglig för brandmän och annan räddningspersonal.
- En ackumulator som brinner är svår att släcka och ger ifrån sig verkligt giftig rök. Därför bör det vara lätt att i nödfall ta sig bort ur batterirummet.

På grund av det svåra släckandet och den giftiga röken vid brand bör man speciellt tänka på att man lätt och snabbt skall kunna ta sig ut ur utrymmet och att brandpersonalen borde kunna utföra släckningsarbetet på ett effektivt och säkert sätt. På grund av det svåra släckandet och den giftiga röken borde också ackumulatorutrymmen (även utomhus) placeras på avstånd från:

- Byggnaders ingångar och utgångar
- Reserv- och utrymningsvägar
- Huvudleder/-gångar, körvägar och portar

Till ackumulatorutrymmen borde det finnas räddningsväg från två olika riktningar så att räddningsverket har möjlighet att slippa fram med brandbilar från två olika håll. Detta för att möjliggöra närmande från vindens övre sida oberoende vindriktning så att man kan undvika den väldigt giftiga röken. Det svåra släckandet och den giftiga röken gör också att ackumulatorutrymmen borde vara tillgängliga direkt utifrån.

Ifall ackumulatorutrymmet är närmare andra byggnader än 8 meter eller en del av annan byggnad så rekommenderas att man gör utrymmet till ett brandsäkert utrymme minst enligt kraven för brandutrymmen för den ifrågavarande byggnadens brandklass. När man placerar ackumulatorutrymmet i byggnad borde den placeras vid ytterväggen således att man kan ordna tillgång till utrymmet direkt från utsidan.

[80, s. 40]

9.4.2.2 Anvisning för mindre hus

I mindre hus rekommenderas att ackumulatörer inte installeras i bostadsutrymmen eller i omedelbar närhet till sådana utrymmen. Ändamålsenliga utrymmen för ackumulatorinstallation kunde vara exempelvis brandsäkert tekniskt utrymme vars ventilationssystem är skilt från bostadsutrymmens ventilationssystem (Bara det inte är för varmt och dammigt, se kapitel 7.1.1 "Orsaker och kritisk temperatur"). Utrymmet borde ordnas på sådant sätt att det inte kan börja samlas brandbelastning (föremål som vid brand börjar brinna) i ackumulatorns närhet. Det är ändamålsenligt att ordna tillgång till utrymmet direkt utifrån

så att man inte måste gå via bostadsutrymmen, detta speciellt om det är frågan om litiumjonackumulatörer. Det är rekommenderat att installera brandvarnare i ackumulatorutrymmet. [80, s. 40]

9.4.2.3 *Anvisning gällande rökutsuget*

Vid ackumulatorbränder finns det risk för att det snabbt utvecklas höga halter av obrända och lättantändliga gaser. Därav följer att det åtskiljda eller brandklassade batterirummets rökutsug bör vara planerad och dimensionerad så att den är tillräcklig. Rökutsugsarrangemangen borde på ett tryggt sätt vara räddningspersonalen tillhanda utan att de måste gå in i själva batterirummet. [80, s. 40]

9.5 **Installering av stationär ackumulator, jordfelsbrytare**

I de fall när jordfelsbrytare krävs som en del av den fasta ackumulatorinstallationen så ska typ B användas. Typ A räcker inte i sådana fall. Ett sådant fall när jordfelsbrytare krävs är exempelvis i ett vanligt TN-Jordningssystem om DC-AC konvertern inte är galvaniskt isolerad. Om det gäller ödrift (systemet ej anslutet till elnätet) så skall jordfelsbrytare användas på både DC- och AC-sidan. Om man har jordat DC-sidan så är det emellertid ett måste att konvertern är galvaniskt isolerad. [77, s. 16], [59, s. 10]

9.6 **Installering av stationär ackumulator, Skyddsjord hölje**

Så här står det i standarden SFS 6000-5-57:2022 (Svenska versionen):

"570.6.2.1 Allmänt

Om automatisk fränkoppling av matningen eller ett PELV-system används som skydds metod, måste batteriställningar och batteriskåp av ledande material anslutas till skyddsledaren. I annat fall ska batteriställningar eller batteriskåp vara isolerade från batteriet och dess installationsplats."

[59, s. 10]

9.7 **Andra krav på stationär ackumulatorinstallation**

Den nyaste versionen av standardserien SFS 6000 (SFS 6000:2022) kräver att man förser ackumulatorinstallationer med överladdningsskydd, automatisk bortkoppling i nödsituation, överströms- och kortslutningsskydd samt över- och underspänningsskydd.

Utöver detta skall man i installationen även ta i beaktande temperaturförhållanden och ackumulatorernas överhettningrisk. Detta enligt Sähköinfo oy:s tekniske ledare Esa Tiainen. Esa Tiainen är också ordförande för SFS 6000-standardens förnyelsekommitté. Även vid tryckbildning inne i cell/celler skall skyddsanordningar fungera. [76], [59, s. 9]

9.7.1 Skyltar och märkningar

Batterirum ska märkas med minst följande varnings- och identifieringsskyltar:

- Varningsskylt "Farlig spänning" (Om spänningen är över 60VDC)
- Förbudsskylt "Uppgörande av eld och rökning förbjuden"
- Varningsskylt "Batteri, Batterirum" (För att påvisa korrosiv elektrolyt, explosiv gas, farlig spänning och ström)

Dessa skyltar skall vara synliga från utsidan av utrymmet. Deras utseende skall vara i enlighet med standardserien ISO 3864.

[59, Bilaga 57D]

9.7.2 Frånskiljning

Akkumulatorsystemet kan matas från flera kraftkällor. Ackumulatorsystemet anses vara en kraftkälla. Varje matning som är ansluten till ackumulatorsystemet som ingång och/eller utgång skall vara försedd med en frånkopplingsanordning i enlighet med standarden SFS 6000-5-53 punkt 537.2. [59, s. 12]

10 Användning av begagnad elbilsackumulator

De ovanstående kapitlen har behandlat sådant som är bra att veta oberoende om man vill använda en ny eller begagnad ackumulator. Detta kapitel är inriktat specifikt på användningen av begagnade ackumulatorer.

10.1 Får man använda begagnad elbilsackumulator i energilagring inom EU?

Det korta svaret är ja. Faktum är att ny lagstiftning inom EU vill göra det lättare att på olika sätt återanvända begagnade ackumulatorer. Detta samtidigt som den vill säkerställa att de batterier som släpps ut på unionsmarknaden garanterar en hög skyddsnivå för människors hälsa och säkerhet samt egendom och miljön. [67, punkter (12), (28)]

10.2 Olika sätt att återanvända begagnad ackumulator enligt ny EU-lag

I sommar (2023) kom det ut en ny europeisk förordning (2023/1542) gällandes batterier och förbrukade batterier. Den nya lagen hittas på flera språk på EUR-Lex (eur-lex.europa.eu) eller på svenska/finska på Tukes. [67], [81]

Denna förordning säger att "Industriebatterier och elfordonsbatterier som inte längre kan användas för det ursprungliga ändamål för vilka de tillverkades bör kunna användas för ett nytt ändamål, dvs. för stationär energilagring" (Se bilaga 1 för information om batterikategorier). Den säger också att "För varje sådant begagnat batteri bör det göras en bedömning av dess hälsotillstånd och tillgängliga kapacitet i syfte att avgöra huruvida det är lämpligt för användning för ett annat ändamål än det ändamål för vilket det ursprungligen avsågs". [67, punkt (118)]

Enligt denna förordning finns det fem olika sätt man kan återanvända ett begagnat batteri. Dessa är:

1. återanvändning,
2. ändamålsändring,
3. återtillverkning,
4. förberedelse för återanvändning och
5. förberedelse för ändamålsändring

[67, punkt (16)]

Korta sammanfattade definitioner följer här under (Se bilaga 2 för officiella definitioner):

Återanvändning och ändamålsändring är återanvändning av begagnade, icke-förbrukade batterier eller delar därav för samma respektive annat än det ursprungliga ändamålet.

Förberedelse för återanvändning och förberedelse för ändamålsändring är återanvändning av förbrukade batterier, efter att de genomgått nödvändiga åtgärder, eller delar därav för samma respektive annat än det ursprungliga ändamålet.

Återtillverkning är återanvändning av begagnade batterier för ursprungligt ändamål efter att de har genomgått åtgärder medelst vilka batteriet har återställts till en kapacitet på minst 90% av den ursprungliga och hälsotillståndet hos varje enskild battericell korrigerats så att skillnaden mellan dem är högst 3%.

[67, Artikel 3.1 punkter 29–32, Artikel 3.2 a], [82, Artikel 3 punkter 13, 16], [83, Article 3 paragraph 16]

11 Resultat

Syftet med detta examensarbete var att reda ut vad som i praktiken krävs för att göra så kallade secondlife-installationer av begagnade elbilsackumulatorer säkra och trygga. Arbetet kom fram till bland annat att när det handlar om begagnade ackumulatorer är det framför allt viktigt att man kontrollerar att ackumulatorpaketet är i gott skick, utan allvarliga skavanker och bucklor eller dylikt. Om ackumulatorer används som del av elanläggning bör man minnas att det kan förekomma spänning även om huvudbrytaren är frånkopplad. Man skall säkerställa och konstatera spänningslöshet innan elarbete inleds. Läs mera om faror i kapitel 7.

För säkerheten är det också väldigt viktigt att ackumulatorerna alltid används inom tillverkarens specificerade användningsgränser för cellerna. Man får alltså inte belasta cellerna med för hög ström och spänningen och temperaturen i cellerna får inte vara varken för hög eller för låg. I förverkligande av detta är det viktigt att man har ett väl fungerande batterihanteringssystem kopplat till ackumulatorpaketet/-paketen. Batterihanteringssystemet skall också passa ihop med ifrågavarande ackumulatormärke och modell. Läs mera i kapitel 7.4 och kapitel 4.

Även platsen spelar roll för säkerheten. Det måste vara skyddat från yttre påverkan som exempelvis väder och vind, direkt solljus och obehöriga. Platsen skall också skydda ackumulatorns omgivning från de risker som ett ackumulatorfel kan orsaka som exempelvis brand och explosion. Platsen skall vara tillräckligt ventilerad och inte för dammig eller smutsig, det kan annars samlas ett isolerande smuts eller dammlager på ackumulatorn som hämmar kylningen och ökar risk för överhettning och termisk rusning (Se kapitel 7.1.1). Mera info om platsen hittas i kapitlen 9.2 och 9.4.

Viktigt är också att minnas att man alltid, oberoende av undantag, måste veta hur man skall göra elarbetet eller elinstallationen på ett säkert vis för att få göra det. Elarbetet och installationen får inte medföra risk för någons liv eller hälsa. Mera info om detta finns i inledningen till kapitel 8.

12 Diskussion

Efter att ha skrivit detta arbete kan jag konstatera att litiumjonbatterier är en teknik som ännu inte är fullt utvecklat. Det pågår mycket forskning och utveckling inom området och även lagstiftning uppdateras. Man vill gärna använda litiumjonbatterier men det finns ännu problem. Senast i augusti i år (2023) kom det ut en kritisk översikt av litiumbatteriers säkerhetstestning och standarder. Den översiktens avslut börjar med att säga att bredare användning av litiumjonbatterier är begränsat eftersom tekniken kan uppvisa några säkerhetsproblem som ännu inte har blivit helt behandlade. Mera om detta kan läsas på ScienceDirect i "A critical review of lithium-ion battery safety testing and standards" [84].

Dock har jag nog under arbetets gång stött på officiella dokument som säger att litiumjonbatterier är väldigt säkra men poängterar också att man bör använda dem rätt och följa kvalitetssystem. Se exempelvis [57, s. 7, 34].

Jag har konstaterat att det tycks vara viktigt att använda litiumjonbatterierna rätt, de borde inte utsättas för höga temperaturer som exempelvis direkt solljus, inte regn, inte kyla, man borde inte lämna dem oanvända för länge för då kan de riskera överurladdning och så vidare.

Man kan konstatera att en elbilsackumulator har på många sätt ett hårdare liv än en ackumulator som används i stationär tillämpning. Till exempel så måste elbilsackumulatorn tåla mera vibrationer och stötar, den utsätts för mera växlande temperaturer och är i behov av ett mera komplex temperaturregleringssystem. Elbilsackumulatorn utsätts också ofta för höga effektuttag. Så när man tänker logiskt förstår man att en ackumulator som inte mera "orkar" arbeta vidare i elbilen ändå kan klara av att tjänstgöra en tid till i en lättare tillämpning som exempelvis ett stationärt energilagring.

Om jag själv skulle använda en begagnad elbilsackumulator som energilagring skulle jag nog gärna använda mig av en av kemitypen LFP som är en mera stabil kemi och anses vara en av de säkraste typerna.

13 Källförteckning

- [1] SESKO, "Termer och definitioner," i *SFS-handbok 600-1-1:2018:sv Lågspänningseinstallationer. Del 1-1: Allmänna krav (SFS 6000, delarna 1-6)*, SFS, 2018.
- [2] "Sähkötyöturvallisuus | Lainsäädäntö ja vastuut," KIWA INSPECTA, 7 6 2021. [Online]. Hämtat från: <https://koulutusmaailma.fi/fi/news/sahkotyoturvallisuuden-lainsaadanto-ja-vastuut>.
- [3] Statsrådet, "Statsrådets förordning om elarbeten och driftsarbeten (1435/2016)," 2016. [Online]. Hämtat från: <https://www.finlex.fi/sv/laki/alkup/2016/20161435?search%5Btype%5D=pika&search%5Bpika%5D=1435%2F2016>.
- [4] Riksdagen, "Elsäkerhetslag (1135/2016)," 2016. [Online]. Hämtat från: <https://www.finlex.fi/sv/laki/alkup/2016/20161135>.
- [5] C. Molloy, "Understanding EV Battery Life," 24 2 2023. [Online]. Hämtat från: <https://www.seai.ie/blog/understanding-ev-battery/>.
- [6] Tesla, "Ansluta startkablar," 2023. [Online]. Hämtat från: https://www.tesla.com/ownersmanual/model3/sv_us/GUID-3567D5F4-A5F4-4323-8BE0-023D5438FFC6.html.
- [7] EV FireSafe, "03.4 Electric vehicle batteries," 2021. [Online]. Hämtat från: <https://www.evfiresafe.com/what-is-an-ev-traction-battery>.
- [8] D. Lyu, T. B. Soeiro och P. Bauer, "Design and Implementation of a Reconfigurable Phase Shift Full-Bridge Converter for Wide Voltage Range EV Charging Application," 2022. [Online]. Hämtat från: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9779139>.
- [9] Lectrium, "Why does the voltage of my car's battery matter for charging?," 2022. [Online]. Hämtat från: <https://www.lectrium.com/blog/why-does-the-voltage-of-my-cars-battery-matter-for-charging>.
- [10] IEA, "Trends in batteries," 2023. [Online]. Hämtat från: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023/trends-in-batteries>.

- [11] U. D. o. energy, "Batteries for Electric Vehicles," [Online]. Hämtat från: https://afdc.energy.gov/vehicles/electric_batteries.html.
- [12] J. Lowry och J. Larminie, "Electric Vehicle Technology Explained," John Wiley & Sons, Incorporated, 2012.
- [13] K. Chau, "Regenerative Braking/ Pure electric vehicles," 2014. [Online]. Hämtat från: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/regenerative-braking>.
- [14] A. Prasanthi, . H. Shareef, R. Errouissi, M. Asna och A. Mohamed, "Hybridization of battery and ultracapacitor for electric vehicle application with dynamic energy management and non-linear state feedback controller," 2022. [Online]. Hämtat från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590174522000897#s0145>.
- [15] TARGRAY, "CATHODE ACTIVE MATERIALS," TARGRAY, [Online]. Hämtat från: <https://www.targray.com/li-ion-battery/cathode-materials/cathode-active-materials>.
- [16] Battery University, "BU-205: Types of Lithium-ion," Battery University, [Online]. Hämtat från: <https://batteryuniversity.com/article/bu-205-types-of-lithium-ion>.
- [17] Batteriföreningen, "Litiumjonbatterier," [Online]. Hämtat från: <https://batteriforeningen.se/litium-jon/>.
- [18] G. L. Plett, "Battery Modeling," 2015. [Online]. Hämtat från: https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=suLRCgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=Battery+management+system&ots=aBBWGY5xmn&sig=sarNszS2X_XyZBWpOika7IF3yK0&redir_esc=y#v=onepage&q=Battery%20management%20system&f=false.
- [19] T. Lombardo, "Why EV Manufacturers Are Switching from NMC to LFP Batteries," 2022. [Online]. Hämtat från: <https://www.engineering.com/story/why-ev-manufacturers-are-switching-from-nmc-to-lfp-batteries>.
- [20] Battery University, "BU-1003: Electric Vehicle (EV)," 2019. [Online]. Hämtat från: <https://batteryuniversity.com/article/bu-1003-electric-vehicle-ev>.
- [21] B. Lawson, "Nickel Metal Hydride Batteries," [Online]. Hämtat från: <https://www.mpoweruk.com/nimh.htm>.
- [22] J. Figur_1: Hammerschmidt, "File:NiMH-Zellen 80Ah AA-Energizer01.JPG," Published under Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported license; License Hämtat från: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>,

2022. [Online]. Hämtat från: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:NiMH-Zellen_80Ah_AA-Energizer01.JPG.
- [23] Batteriföreningen, "Definition av ett batteri," [Online]. Hämtat från: <https://batteriforeningen.se/definition-av-ett-batteri/>.
- [24] B. Lawson, "Cell Construction," [Online]. Hämtat från: https://www.mpoweruk.com/cell_construction.htm.
- [25] V. Figur_2: Marco, "Variety of batteries on white background," Published under Creative Commons 2.0; License available: <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/>, 2021. [Online]. Hämtat från: <https://foto.wuestenigel.com/variety-of-batteries-on-white-background/>.
- [26] Battery University, "BU-305: Building a Lithium-ion Pack," 2021. [Online]. Hämtat från: <https://batteryuniversity.com/article/bu-305-building-a-lithium-ion-pack>.
- [27] Battery University, "BU-301: A look at Old and New Battery Packaging," 2021. [Online]. Hämtat från: <https://batteryuniversity.com/article/bu-301-a-look-at-old-and-new-battery-packaging>.
- [28] h. Figur_3: Lead, "Liion-18650-AA-battery.jpg," Published under Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported: License available: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>, 2011. [Online]. Hämtat från: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Liion-18650-AA-battery.jpg>.
- [29] Battery University, "BU-301a: Types of Battery Cells," 2019. [Online]. Hämtat från: <https://batteryuniversity.com/article/bu-301a-types-of-battery-cells>.
- [30] D. Sturk och L. Hoffmann, "e-fordons Potentiella Riskfaktorer vid Trafikskadehändelse," SP Electronics, Autoliv Development AB, 2013. [Online]. Hämtat från: <https://rib.msb.se/filer/pdf/27571.pdf>.
- [31] J. Cannarella och C. B. Arnold, "Stress evolution and capacity fade in constrained lithium-ion pouch cells," 2014. [Online]. Hämtat från: <https://spikelab.mycpanel.princeton.edu/papers/103.pdf>.
- [32] "Innovative compression pads for maximum EV battery cell performance," 2020. [Online]. Hämtat från: <https://insights.globalspec.com/article/15156/innovative-compression-pads-for-maximum-ev-battery-cell-performance>.
- [33] Y. Zhao, Y. Patel, I. A. Hunt, K. M. Kareh, A. A. Holland, C. Korte, J. P. Dear, Y. Yue och G. J. Offer, "Preventing lithium ion battery failure during high temperatures by

- externally applied compression,” 2017. [Online]. Hämtat från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352152X17301561#preview-section-cited-by>.
- [34] P. Máté, ” A REVIEW ARTICLE ABOUT THE THERMAL RUNAWAY MECHANISM OF LITHIUM BASED BATTERIES,” 2019. [Online]. Hämtat från: https://www.unimiskolc.hu/~microcad/cd2019/d3/D3_5_Petrik_Mate.pdf.
- [35] J. Siegel, A. Stefanopoulou, P. Hagans, Y. Ding och D. Gorsich, ”Expansion of Lithium Ion Pouch Cell Batteries: Observations from Neutron Imaging,” 2012. [Online]. Hämtat från: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA575499.pdf>.
- [36] Figur_4: Adafruit Industries, ”Lithium Ion Battery - 3.7v 2000mAh,” Published under Creative Commons 2.0; Licence available: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/>, 2014. [Online]. Hämtat från: <https://www.flickr.com/photos/adafruit/15151195075>.
- [37] Outokumpu, ”EV Battery Casings Guide,” [Online]. Hämtat från: <https://www.outokumpu.com/fi-fi/expertise/2022/stainless-steel-makes-a-powerful-case-for-ev-battery-modules>.
- [38] Figur_5: Copyright: Volkswagen AG, ”Key components for a new era – the battery system,” Rights: Use for editorial purposes free of charge, 2023. [Online]. Hämtat från: <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/images/detail/key-components-for-a-new-era-the-battery-system-31847>.
- [39] A. Kirchev, ”Battery Management and Battery Diagnostics,” 2015. [Online]. Hämtat från: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/battery-management-system>.
- [40] R. Xiong och W. Shen, ”Advanced Battery Management Technologies for Electric Vehicles,” 26 2 2019. [Online]. Hämtat från: <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.novia.fi/lib/novia-ebooks/reader.action?docID=5630273&ppg=255>.
- [41] Q. Wang, P. Ping, X. Zhao, G. Chu, J. Sun och C. Chen, ”Thermal runaway caused fire and explosion of lithium ion battery,” 2012. [Online]. Hämtat från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378775312003989>.
- [42] Elsäkerhetsverket, ”Säkerhetsrisker med batterilager,” 2022. [Online]. Hämtat från: <https://www.elsakerhetsverket.se/privatpersoner/din-elanlaggning/bygga-och-renovera/installation-av-batterilager/sakerhetsrisker-med-batterilager/>.

- [43] X. Feng, M. Ouyang, X. Liu, L. Lu, Y. Xia och X. He, "Thermal runaway mechanism of lithium ion battery for electric vehicles: A review," 2017. [Online]. Hämtat från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2405829716303464>.
- [44] B. Balasingam, M. Ahmed och K. Pattipati, "Battery Management Systems— Challenges and Some Solutions," 2020. [Online]. Hämtat från: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/11/2825>.
- [45] G. Pistoia, "Vehicle Applications," 2009. [Online]. Hämtat från: <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/battery-management-system>.
- [46] P. Keil, "Aging of Lithium-Ion Batteries in Electric Vehicles," 2017. [Online]. Hämtat från: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1355829/document.pdf>.
- [47] L. Li, R. Xiong och J. Tian, "Towards a smarter battery management system: A critical review on battery state of health monitoring methods," 2018. [Online]. Hämtat från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S037877531831111X>.
- [48] M. Etxandi-Santolaya, L. Canals Casals och C. Corchero, "Redefining the EV Battery End of Life: Internal Resistance Related Limitations," 2022. [Online]. Hämtat från: <https://www.energy-proceedings.org/wp-content/uploads/icae2022/1663139968.pdf>.
- [49] M. Murnane och A. Ghazel, "A Closer Look at State of Charge (SOC) and State of Health (SOH) Estimation Techniques for Batteries," 2017. [Online]. Hämtat från: <https://www.analog.com/en/technical-articles/a-closer-look-at-state-of-charge-and-state-health-estimation-tech.html>.
- [50] BioLogic, "Battery states: State of charge (SoC), State of Health (SoH). Electrochemistry basics series.," 2023. [Online]. Hämtat från: <https://www.biologic.net/topics/battery-states-state-of-charge-soc-state-of-health-soh/>.
- [51] S. Zhang, X. Guo, X. Dou och X. Zhang, "A rapid online calculation method for state of health of lithium-ion battery based on coulomb counting method and differential voltage analysis," 2020. [Online]. Hämtat från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378775320310442>.
- [52] L. Canals Casals, M. Etxandi-Santolaya, P. A. Bibiloni-Mulet, C. Corchero och L. Trilla, "Electric Vehicle Battery Health Expected at End of Life in the Upcoming

- Years Based on UK Data,” 2022. [Online]. Hämtat från:
<https://www.mdpi.com/2313-0105/8/10/164>.
- [53] E. Kastanaki och A. Giannis, ”Dynamic estimation of end-of-life electric vehicle batteries in the EU-27 considering reuse, remanufacturing and recycling options,” 2022-2023. [Online]. Hämtat från:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652623005073>.
- [54] A. Beaudet, F. Larouche, K. Amouzegar, P. Bouchard och K. Zaghbi, ”Key Challenges and Opportunities for Recycling Electric Vehicle Battery Materials,” 2020. [Online]. Hämtat från: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/14/5837>.
- [55] Battery University, ”BU-705: How to Recycle Batteries,” 2021. [Online]. Hämtat från: <https://batteryuniversity.com/article/bu-705-how-to-recycle-batteries>.
- [56] Statsrådet, ”Statsrådets förordning om batterier och ackumulatorer (3.7.2014/520),” 2014. [Online]. Hämtat från:
<https://www.finlex.fi/sv/laki/ajantasa/2014/20140520>.
- [57] Gaia Consulting Oy, ”Teollisuuden Litium-ioniakut ja turvallisuus,” 2019. [Online]. Hämtat från:
<https://tukes.fi/documents/5470659/6372809/Teollisuuden+akkuturvallisuusopas/68c21eee-cc0f-8184-bed4-aa71e83140b1/Teollisuuden+akkuturvallisuusopas.pdf?t=1569847244000>.
- [58] Tukes, ”Litiumjonbatteriers livscykel,” [Online]. Hämtat från:
<https://tukes.fi/sv/litiumjonbatteriers-livscykel>.
- [59] SFS, ”SFS 6000-5-57:2022:sv,” 2022.
- [60] Battery University, ”BU-306: What is the Function of the Separator?,” 2023. [Online]. Hämtat från: <https://batteryuniversity.com/article/bu-306-what-is-the-function-of-the-separator>.
- [61] P. Sun, X. Zhang, S. Wang och Y. Zhu, ”Lithium-ion battery degradation caused by overcharging at low temperatures,” 2022. [Online]. Hämtat från:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2451904922000737>.
- [62] D. Juarez-Robles, A. A. Vyas, C. Fear, J. A. Jeevarajan och P. P. Mukherjee, ”Overcharge and Aging Analytics of Li-Ion Cells,” 2020. [Online]. Hämtat från:
<https://iopscience.iop.org/article/10.1149/1945-7111/ab9569>.

- [63] D. Juarez-Robles, A. A. Vyas, C. Fear, J. A. Jeevarajan och P. P. Mukherjee, "Overdischarge and Aging Analytics of Li-Ion Cells," 2020. [Online]. Hämtat från: <https://iopscience.iop.org/article/10.1149/1945-7111/aba00a>.
- [64] F. Ringbeck, C. Rahe, G. Fuchs och D. U. Sauer, "Identification of Lithium Plating in Lithium-Ion Batteries by Electrical and Optical Methods," 2020. [Online]. Hämtat från: <https://iopscience.iop.org/article/10.1149/1945-7111/ab8f5a>.
- [65] S. Ma, M. Jiang, P. Tao, C. Song, J. Wu, J. Wang, T. Deng och W. Shang, "Temperature effect and thermal impact in lithium-ion batteries: A review," 2018. [Online]. Hämtat från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1002007118307536>.
- [66] Battery University, "BU-410: Charging at High and Low Temperatures," 2022. [Online]. Hämtat från: <https://batteryuniversity.com/article/bu-410-charging-at-high-and-low-temperatures>.
- [67] Europaparlamentet; Europeiska unionens råd, "EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS FÖRORDNING (EU) 2023/1542," 12 7 2023. [Online]. Hämtat från: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/ALL/?uri=CELEX:32023R1542#d1e2892-1-1>.
- [68] EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON, "EUROOPAN PARLAMENTIN JA NEUVOSTON ASETUS (EU) 2023/1542," 12 7 2023. [Online]. Hämtat från: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/ALL/?uri=CELEX:32023R1542#d1e2892-1-1>.
- [69] V. Linja-aho, "Mitä vaaditaan sähkö- ja hybridautojen korjaajalta?," ETN, 10 12 2021. [Online]. Hämtat från: <https://etn.fi/index.php/13-news/12938-mitae-vaaditaan-saehkoe-ja-hybridautojen-korjaajalta>.
- [70] H. Rousku och P. A. Mäkinen, SFS 6002 i praktiken, Esbo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2015.
- [71] H. Rousku och P. A. Mäkinen, SFS 6002 KÄYTÄNNÖSSÄ, Espoo: Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2018.
- [72] Tukes, "Det här är Tukes," [Online]. Hämtat från: <https://tukes.fi/sv/det-har-ar-tukes>.
- [73] Säkerhets- och kemikalieverket (Tukes), "Luettelo S10-2023 SÄHKÖLAITTEISTOJEN TURVALLISUUTTA JA SÄHKÖTYÖTURVALLISUUTTA KOSKEVAT STANDARDIT," 2023. [Online]. Hämtat från:

<https://tukes.fi/documents/5470659/8178747/Luettelo+S10-2023+Sähkölaitteistojen+turvallisuutta+ja+sähkötyöturvallisuutta+koskevat+standardit.pdf/c590f409-f6b8-83ce-08a3-bcfff12ae1b8/Luettelo+S10-2023+Sähkölaitteistojen+turvallisuutta+ja+sähkötyöturvallisuutta>

- [74] SESKO, "SFS 6000 UUDISTUS 2022," [Online]. Hämtat från: <https://sesko.fi/standardointi/sahkoasennukset/sfs-6000-uudistus-2022/>.
- [75] SESKO, "PAIKALLISAKKUJEN JA AKKUASENNUSTEN TURVALLISUUSVAATIMUKSET," 2018. [Online]. Hämtat från: <https://sesko.fi/paikallisakkujen-ja-akkuasennusten-turvallisuusvaatimukset/>.
- [76] M. Arvinen, "SFS 6 000 -standardin uudistus tuo runsaasti pieniä muutoksia," 2022. [Online]. Hämtat från: <https://www.sahkomaailma.fi/sfs-6-000-standardin-uudistus-tuo-runsaasti-pienia-muutoksia/>.
- [77] International Electrotechnical Commission, "SFS-EN IEC 62485-5:2021:en Safety requirements for secondary batteries and battery installations. Part 5: Safe operation of stationary lithium ion batteries," 2021.
- [78] International Electrotechnical Commission, "Safety requirements for secondary batteries and battery installations - Part 2: Stationary batteries (IEC 62485-2:2010)," 2018.
- [79] SESKO, SFS-handbok 600-1-1:2018:sv Lågspänningselinstallationer. Del 1-1: Allmänna krav (SFS 6000, delarna 1-6), vol. 1, SFS, 2018.
- [80] Pelastuslaitosten kumppanuusverkosto, "AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMIEN PALOTURVALLISUUS- OHJE," 18 1 2023. [Online]. Hämtat från: https://pelastuslaitokset.fi/sites/default/files/2023-01/Aurinkosähköjärjestelmien_paloturvallisuusohje_S_18012023.pdf.
- [81] Europaparlamentet och E. u. råd, "EPRF (EU) 2023/1542 om batterier och förbrukade batterier...", 2023. [Online]. Hämtat från: <https://tukes.edilex.fi/sv/eu-lainsaadanto/32023R1542>.
- [82] Europaparlamentet och Europeiska unionens råd, "EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV 2008/98/EG," 19 11 2008. [Online]. Hämtat från: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/?uri=celex:32008L0098>.

- [83] European Parliament och Council of European Union, "DIRECTIVE 2008/98/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL," 19 11 2008. [Online]. Hämtat från: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32008L0098>.
- [84] J. Jaguemont och F. Bardé, "A critical review of lithium-ion battery safety testing and standards," 2023. [Online]. Hämtat från: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1359431123010438>.
- [85] Europaparlamentet och Europeiska unionens råd, "EPRDir 2006/66/EG om batterier och ackumulatorer och förbrukade batterier och ackumulatorer...", 2006. [Online]. Hämtat från: <https://tukes.edilex.fi/fi/eu-lainsaadanto/32006L0066/sv>.
- [86] E. Parliament och Council of the European Union, "REGULATION (EU) 2023/1542 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 12 July 2023," 12 7 2023. [Online]. Hämtat från: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32023R1542>.

14 Bilagor

Bilaga 1, Ändringar i batterikategorier

Direktiv 2006/66/EG är ett direktiv utfärdat av Europaparlamentet och Europeiska unionens råd. Detta direktiv delar upp batterier och ackumulatorer i tre kategorier:

1. Bärbara batterier och ackumulatorer
2. Industriebatterier och industriackumulatorer
 - a. Inkluderar elbilars och andra elfordons drivackumulatorer samt ackumulatorer som används för energilagring privat och i hem.
3. Bilbatterier och bilackumulatorer
 - a. Hit hör endast batterier eller ackumulatorer som används till startmotor, belysning eller tändningssystem

Detta direktiv har dock upphävts fr.o.m. 18.8.2025.

[85, Inledande punkterna 8–10, Artikel 3 punkt 5–6]

Enligt ny europeisk förordning (EU) 2023/1542 är det ändamålsenligt att vidare uppdelning och lägga till åtminstone kategorierna elfordonsbatterier och batterier för lätta transportmedel (benämningen batteri inkluderar både primär- och sekundärbatterier/ackumulatorer).

Denna nya förordnings svenska version byter även benämningen bilbatteri till startbatteri. Finska versionen behåller termen ajoneuvoakku och engelska versionen byter till SLI battery som står för "starting, lighting and ignition battery".

Den nya uppdelningen är alltså enligt förordningen (EU) 2023/1542 följande:

1. Bärbara batterier
2. Industriebatterier (Inkluderar inte elbilars drivbatteri längre)
3. Startbatteri (bilbatterier)
4. Elfordonsbatterier (Inkluderar exempelvis elbilars drivbatteri)
5. Batterier för lätta transportmedel (Inkluderar exempelvis elcyklar och elskotrar)
 - a. Hit hör inte batterier för framdrivning av hjulförsedda fordon som klassas som leksaker enligt EU direktivet 2009/48/EG. Dessa batterier hör i stället till kategorin bärbara batterier.

[67, Inledande punkt 15, Artikel 1 punkt 3, Artikel 3 punkt 12], [68, Artikla 3 kohta 12], [86, Article 3 paragraph 12]

Bilaga 2, officiella definitioner på återanvändning enligt EU-förordning 2023/1542

1. ÅTERANVÄNDNING: varje förfarande som innebär att produkter eller komponenter som inte är avfall återanvänds i samma syfte för vilket de ursprungligen var avsedda.
[67, Artikel 3.2 a], [82, Artikel 3 punkt 13]

2. ÄNDAMÅLSÄNDRING: varje åtgärd som leder till att ett batteri, som inte är ett förbrukat batteri, eller delar därav används för ett annat ändamål eller en annan tillämpning än vad batteriet ursprungligen utformades för.
[67, Artikel 3.1 punkt 31]

3. ÅTERTILLVERKNING: varje teknisk åtgärd på ett begagnat batteri som innefattar demontering och utvärdering av alla dess battericeller och batterimoduler och användning av ett visst antal battericeller och batterimoduler, som är nya, begagnade eller återvunna från avfall, eller andra batterikomponenter för att återställa batteriets kapacitet till minst 90 % av den ursprungliga nominella kapaciteten, och där hälsotillståndet hos alla enskilda battericeller skiljer sig åt med högst 3 %, och som resulterar i att batteriet används för samma ändamål eller tillämpning som det ursprungligen utformades för.
[67, Artikel 3.1 punkt 32]

4. FÖRBEREDELSE FÖR ÅTERANVÄNDNING: återvinningsförfaranden som går ut på kontroll, rengöring eller reparation, genom vilka produkter eller komponenter av produkter som har blivit avfall bereds för att användas igen utan någon annan förbehandling.
(Slutet översatt från engelska lagtexten lyder enligt följande: ...bereds så att de kan återanvändas utan någon annan förbehandling.)
[67, Artikel 3.1 punkt 29], [82, Artikel 3 punkt 16], [83, Article 3 paragraph 16]

5. FÖRBEREDELSE FÖR ÄNDAMÅLSÄNDRNING: varje åtgärd som innebär att förbrukat batteri eller delar därav förbereds så att det kan användas för ett nytt ändamål eller en annan tillämpning än vad det ursprungligen utformades för.
[67, Artikel 3.1 punkt 30]