



Sähköajoneuvot

Jukka Pellinen

12. ja 20.5.2025





Autojen korkeajännitejärjestelmät - perehdytys

- yleistä sähköajoneuvoista
- sähköajoneuvon perusteet
- akkupaketin rakenne ja kytkentä korkeajännitejärjestelmään
- sähköllä ajamiseen vaadittavat komponentit sekä lisälaitteet
- korjaamon erikoistyökalut
- työturvallisuus ja työvarusteet
- ajoneuvon lataus
- sähkövirran tarve ja ajamisen kulutus

Kunnossapidon turvallisuus

- Olennainen osa tieliikenneajoneuvon turvallisuutta on säännöllinen kunnossapito sekä se, että tämä voidaan suorittaa työturvallisesti. Perinteiseen polttomoottoriautoon verrattuna korkeajännitejärjestelmä tuo uutena asiana sähkötyöturvallisuuden huomioimisen.
- Huollot ja korjaukset toteutetaan yrityksissä ja ne suorittavat työsuhteessa olevat työntekijät. Työssä noudatetaan *työturvallisuuslakia* ja sähkökonversion tapauksessa myös *sähköturvallisuuslakia*.
- 1.1.2017 voimaan astuneessa sähköturvallisuuslaissa (STL) on huomioitu sähköajoneuvojen huollon turvallisuuden erityispiirteet. Sähkötöissä on Suomessa 1970-luvulta asti noudatettu lakiin perustuvaa käytäntöä, jossa sähkötöitä itsenäisesti tekeviltä henkilöiltä vaaditaan tietty määrä koulutusta ja työkokemusta. Lisäksi toiminnanharjoittajan on nimettävä sähkötöiden johtaja, jolta työkokemus- ja koulutusvaatimuksen lisäksi vaaditaan sähköturvallisuustutkinto.

Kunnossapidon turvallisuus

- Sähköajoneuvojen osalta lakiin on kirjattu poikkeus (56 §), jonka mukaan sähkötöiden johtajaa, toiminnanharjoittajarekisteriin kuulumista sekä työntekijöiden määrämittaista työkokemusvaatimusta *ei vaadita*
 - *tieliikennekäyttöön soveltuvan sähköajoneuvon voimajärjestelmän sähkötöissä, jos henkilö on riittävästi perehtynyt tai perehdytetty kyseisen ajoneuvomallin sähköjärjestelmään ja sähkön vaaroihin*
- Käytännössä ajoneuvomallin sähköjärjestelmään perehtyminen tapahtuu ajoneuvovalmistajan mallikohtaisella koulutuksella ja sähkön vaaroihin perehtyminen SFS 6002 -standardin mukaisella sähkötyöturvallisuuskoulutuksella.
- *Mikäli korkeajännitejärjestelmää ei vian takia saada kytkettyä jännitteettömäksi tai jännitteettömyyden toteamisen aikana järjestelmässä todetaan korkeita jännitteitä, on mekaanikolla oltava korkeajännitejärjestelmän ammattihenkilön koulutus. Kun todetaan jännite >60 V, on kyseessä korkea jännite. Koulutus antaa pätevyyden työskennellä jännitteellisen järjestelmän parissa.*

Sähköauto korjaamolla

- Citroen C-Zero
 - <https://www.youtube.com/watch?v=pyDAmZggVVM>
- Toyota Prius hybridi
 - <https://www.youtube.com/watch?v=hpsattVrp3k>

Kunnossapidon turvallisuus

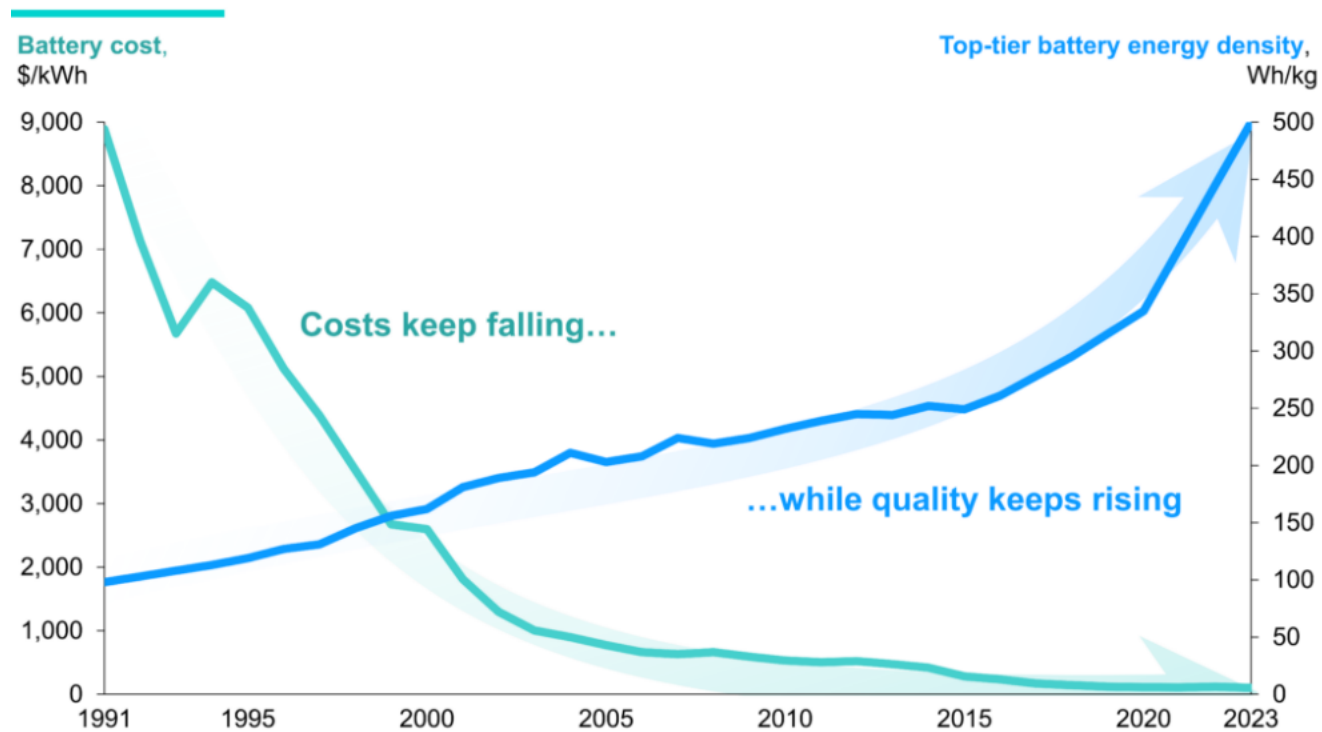
- Sähkötöiksi ei lasketa:
 - Normaalit huoltotoimenpiteet, kunhan ne eivät koske korkeajännitepiiriä
 - Jarrujen korjaus
 - Alustan korjaus
 - Pyöränsuuntaus
 - Rengastyöt
 - Vetokoukun asentaminen
 - Esilämmittimen asentaminen
- Sähkötyöturvallisuuskoulutus SFS6002 on suositeltava kaikille sähköautojen parissa työskenteleville!

Kunnossapidon turvallisuus

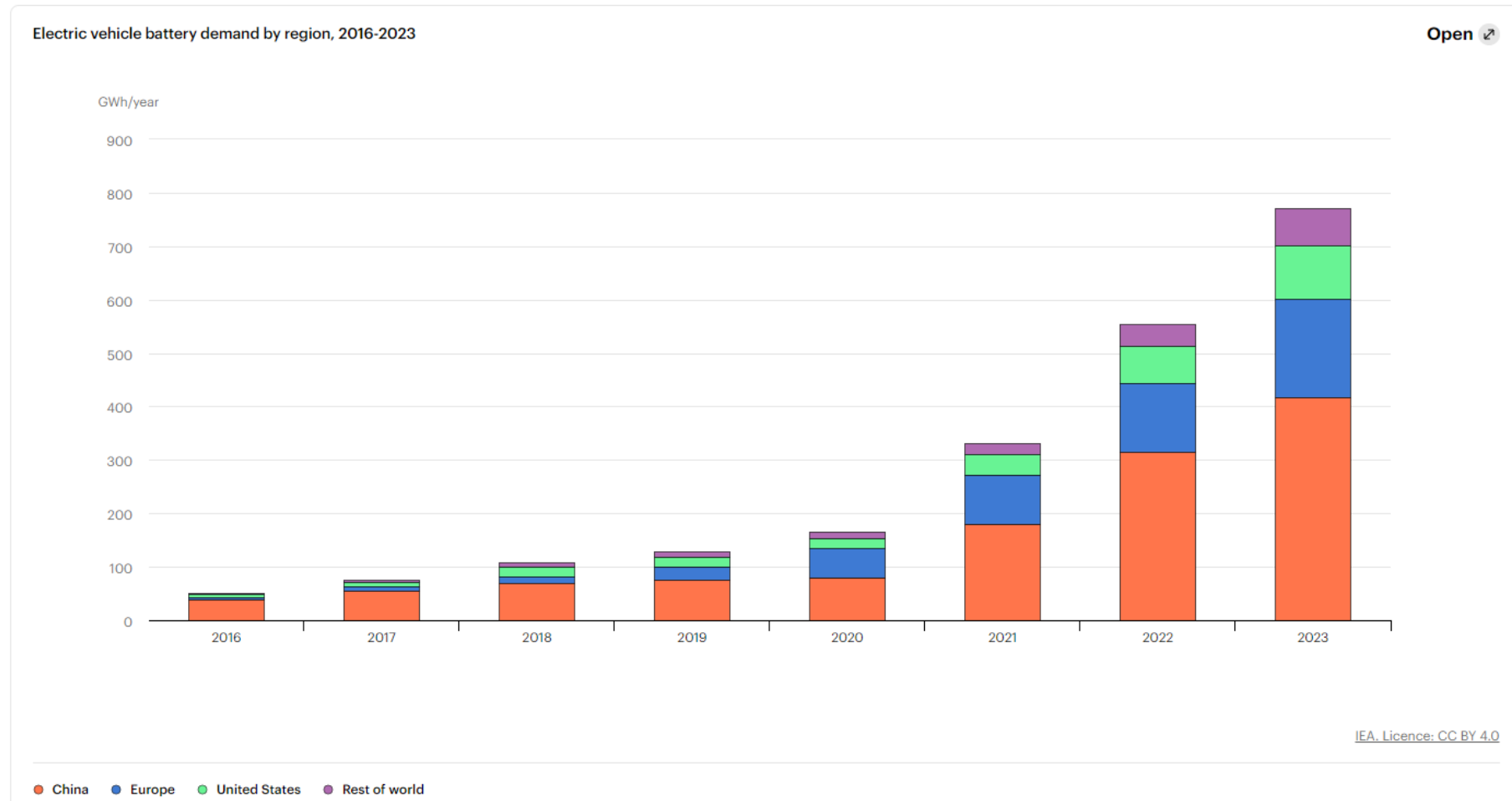
- Sähkötöiksi lasketaan:
 - Kohteen jännitteettömäksi tekeminen
 - Jännitteettömyyden toteaminen
 - Korkeajännitekomponentin irrotus/asennus
 - Korkeajännitepiirin liittimen avaaminen/kytkentä
 - Korkeajännitepiirin vianmääritys
 - **Kaikki työt, jotka vaativat kohteen jännitteettömäksi tekemisen**

Sähköisen liikenteen tilannekatsaus 2025 Q1

Akkujen hinta vs energiatiheys



Akkujen kysynnän kehitys





Esimerkki: Nissan Leaf

- Ensiesittely 2010, ensimmäinen sarjavalmistettu sähköauto
 - Akusto 24 kWh
 - Ajosäde 200 km
- Päivitys 2012
 - Ajosäde 228 km
 - V2H
 - Voimalinja koko -30% ja paino -20%
- Päivitys 2015
 - Akusto 30 kWh
 - Ajosäde 280 km
 - Latausaika ennallaan



Esimerkki: Nissan Leaf

- 2. sukupolvi 2017
 - Akusto 40 kWh
 - Ajosäde 400 km
 - Akuston koko sama kuin 2010, mutta kapasiteetti +67%
- Päivitys 2019
 - Akusto 60 kWh
 - Ajosäde 458 km
 - Voimalinjan koko ei kasvanut
- Edelleen myynnissä
 - Tekniikka nyt vanhentunut, mutta luotettava



Sähkötekniikkaa lyhyesti

Sähkötekniikan perussuureet:

- Sähkövirta I , yksikkö ampeeri (A)
- Jännite U , yksikkö voltti (V)
- Teho P , yksikkö watti (W)
- Resistanssi R , yksikkö ohmi (Ω)
- Taajuus, yksikkö hertsi (Hz)
- Energia, yksikkö Wh

Laskentaa...

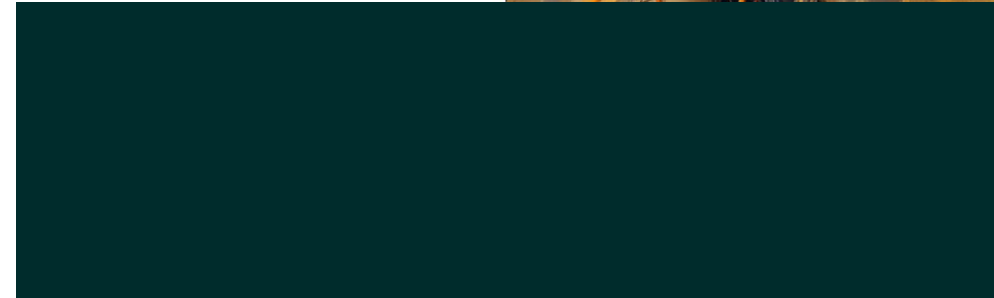
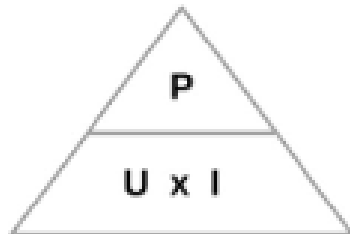
Sähkölaitteen teho on jännitteen ja virran tulo.

Esimerkki:

Jos akuston jännite on 650V ja maksimivirta on 200A, niin akustosta saa tehoa maksimissaan:

$$P = U * I \text{ eli } 650V * 200A = 130\ 000 \text{ VA} = 130\ 000 \text{ W}$$

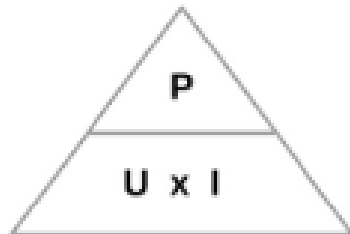
Eli 130 kW

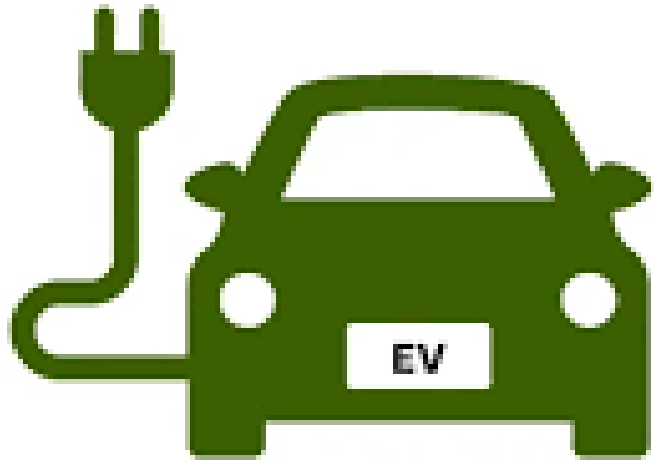


Laskentaa...

Esimerkki 2:

- Sähkökäyttöisen henkilöauton akuston nimellisjännite on 352VDC ja maksimiteho 150 kW. Mikä on laskennallinen maksimivirta korkeajännitejärjestelmässä?
- $P = U * I \Rightarrow I = P / U$ eli $150\ 000\ W / 352\ V = \underline{426\ A}$

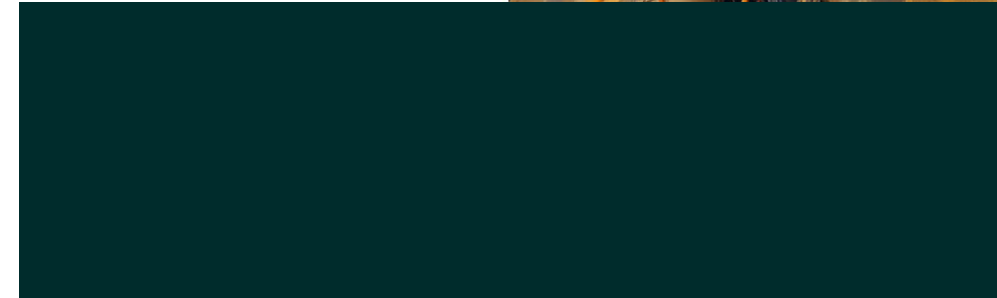
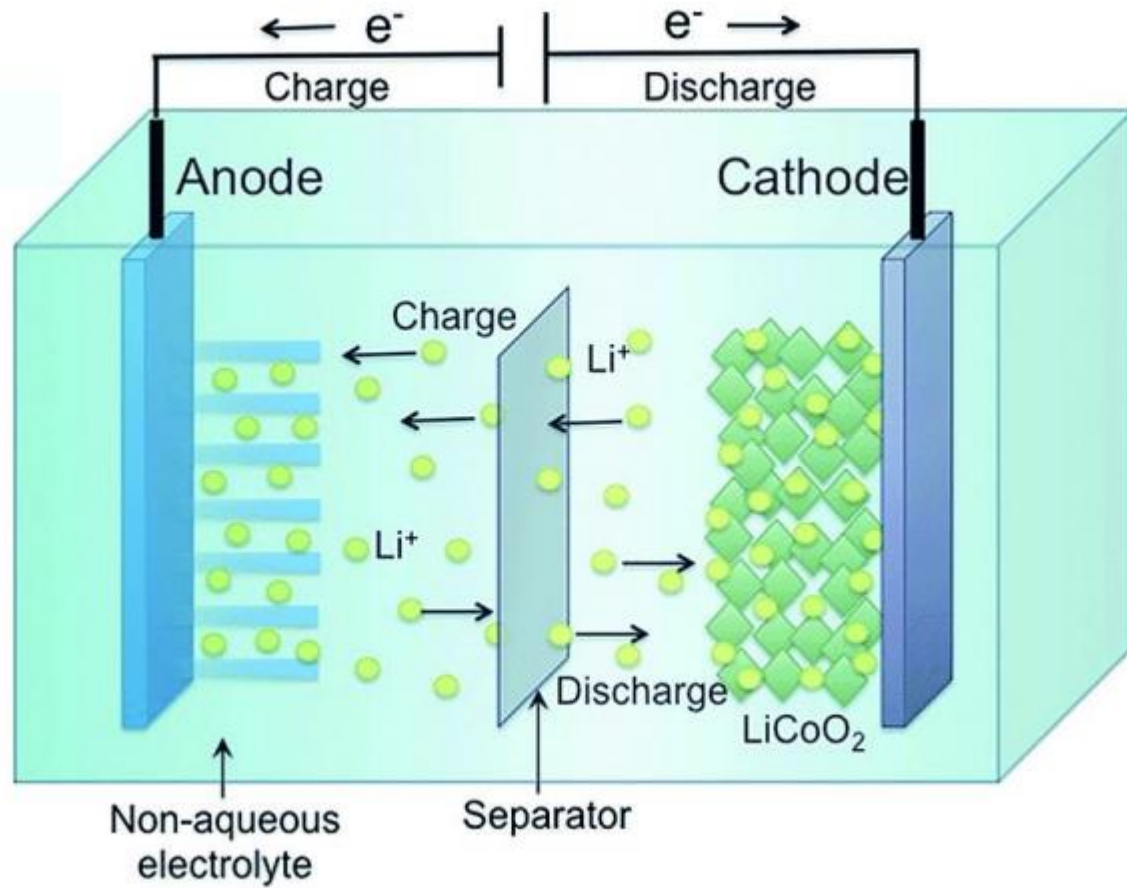


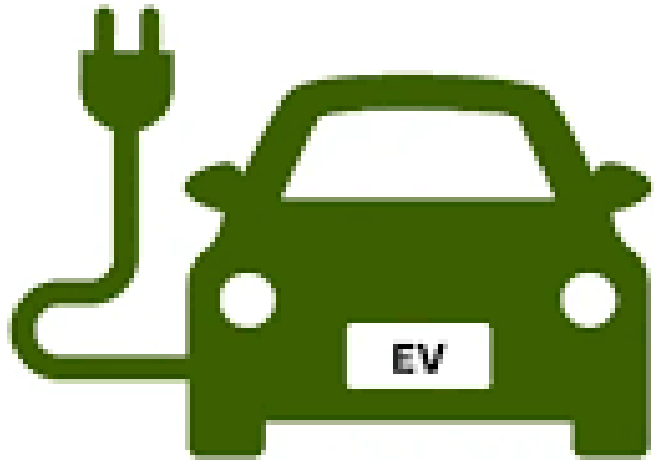


Termistöä

- BMS, Battery Management System
 - Akuston hallintajärjestelmä
- State of Charge, SOC
 - Akuston lataustila verrattuna täyteen akkuun
 - Esim. 80%
- State of Health, SOH
 - Akuston kuntoarvio uuteen akkuun verrattuna
 - Esim. 90%
- V2G, V2X, V2L, V2V
 - Vehicle To Grid jne.

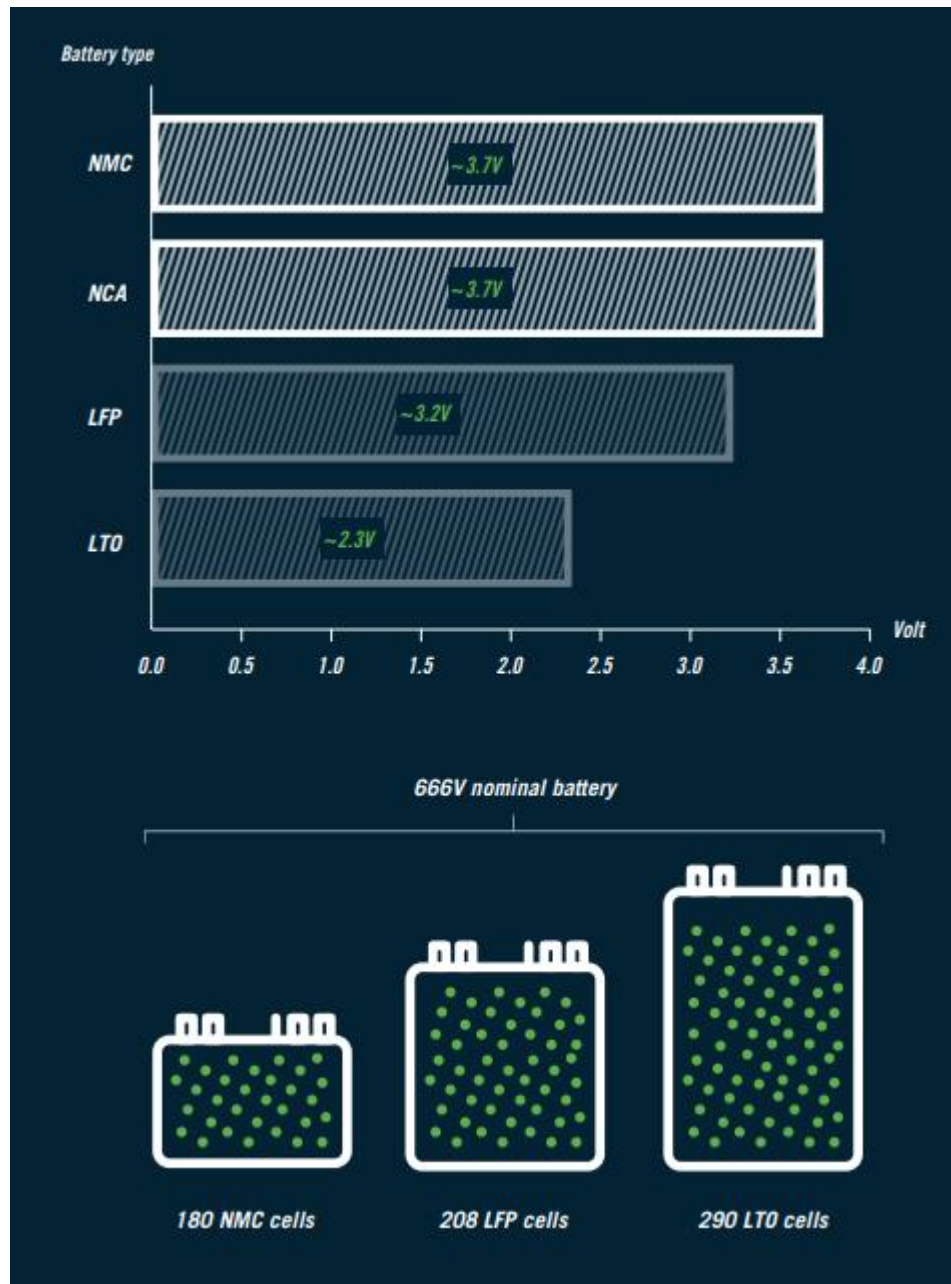
Akkukennon rakenne





Akkukemiat (katodimateriaali)

- Anodi yleensä grafiittia kaikissa katodiversioissa
- LFP, LiFePo4
 - Litium-rauta-fosfaatti
 - Kestävä, kestää tuhansia lataus-purkusyklejä
 - Turvallinen
 - Ei sisällä kobolttia
 - Ei paras energiatiheys
 - Purku/latausvirran kesto kehitty, uusia tehokennoja tulossa
 - Kennon nominaalijännite 3,2VDC
- NMC
 - Litium-nikkeli-mangaani-koboltti
 - Ei yhtä turvallinen kuin LFP ja LTO
 - Kennon nominaalijännite 3,7 VDC
- NCA
 - Litium-nikkeli-koboltti-alumiini
- LTO
 - Litium-titanaatti
 - Kestää suuret purku- ja latausvirrat
 - Turvallinen
 - Kennon nominaalijännite 2,3 VDC
 - Kallis





Kennorakenteet

- Prismaattinen kenno, prismatic cell
- Sylinterikenno, cylindrical cell
- Pussikenno, pouch cell





Kennojen kytkentä

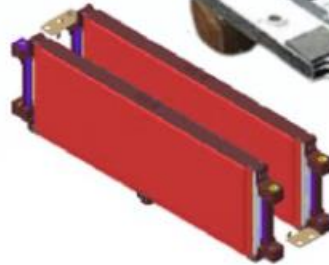
- Kennot kytketään toisiinsa kokoojakiskoilla (busbar) joko hitsaamalla tai pulttiliitoksella
- Kennot voidaan kytkeä sarjaan tai rinnan
 - Sarjaankytkennässä + napa yhdistetään – napaan
 - Jännite summataan eli esimerkiksi 2 kpl 3.2V kennoa kytketään sarjaan -> kokonaisjännite 6.4V
 - Rinnankytkennässä samanmerkkiset navat yhdistetään, jolloin jännite säilyy ennallaan



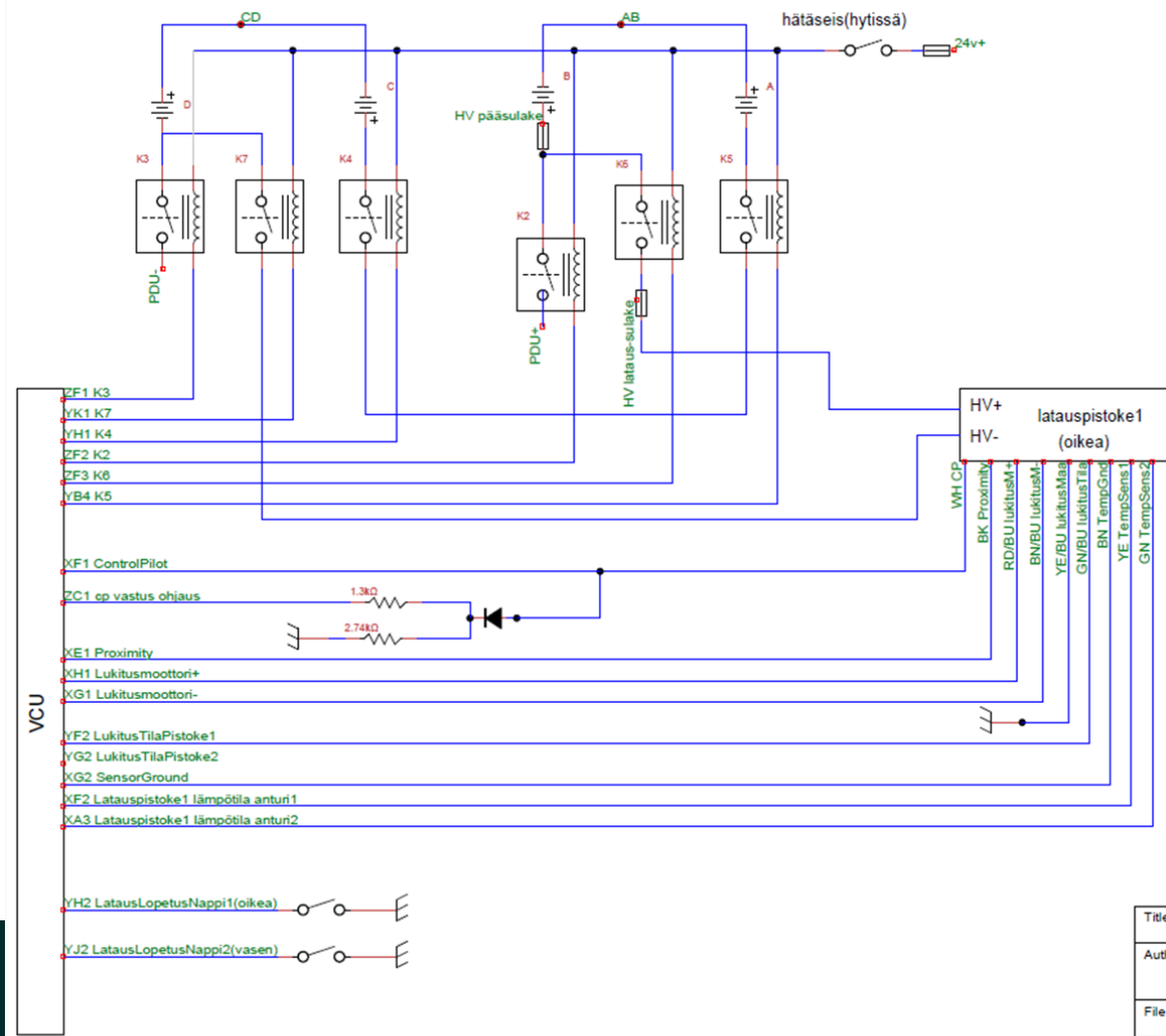
Esimerkki prismaattisesta kennosta

- ETC LFP277Ah

Esimerkki henkilöauton akustosta



Korkeajännitekytkennät akustossa



Title	
Author	
File C:\Users\Simo ... scaniaHVjaLatauspistoke.dsn	Document
Revision 1.0	Date Sheets 1 of 1

Esilatauspiiri

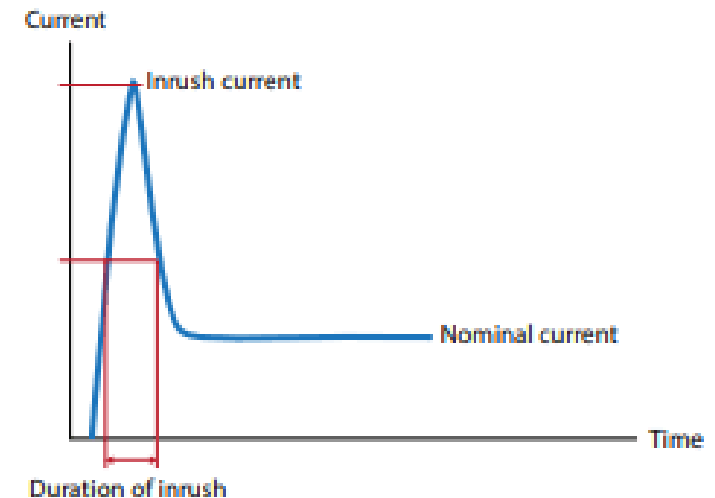
Esilatauspiiriä käytetään kapasitiivisissä järjestelmissä, joissa esiintyy suuria jännite-eroja.

Kapasitiivisyys aiheuttaa suuria syöksyvirtoja (inrush current), jotka voivat olla tuhansia ampeereja.

Syöksyvirrat rikkovat järjestelmän komponentteja esim kor

Kontaktorien kytkentänavat hitsautuvat kiinni

Kondensaattorit palavat



Esilatauspiiri



Esilatauspiiri

Kapasitiivisuus aiheuttaa suuria syöksyvirtoja (inrush current), jotka voivat olla tuhansia ampeereja.

Syöksyvirrat rikkovat järjestelmän komponentteja esim. kontaktorit, kondensaattorit.

- Kontaktorien kytkentänavat hitsautuvat kiinni

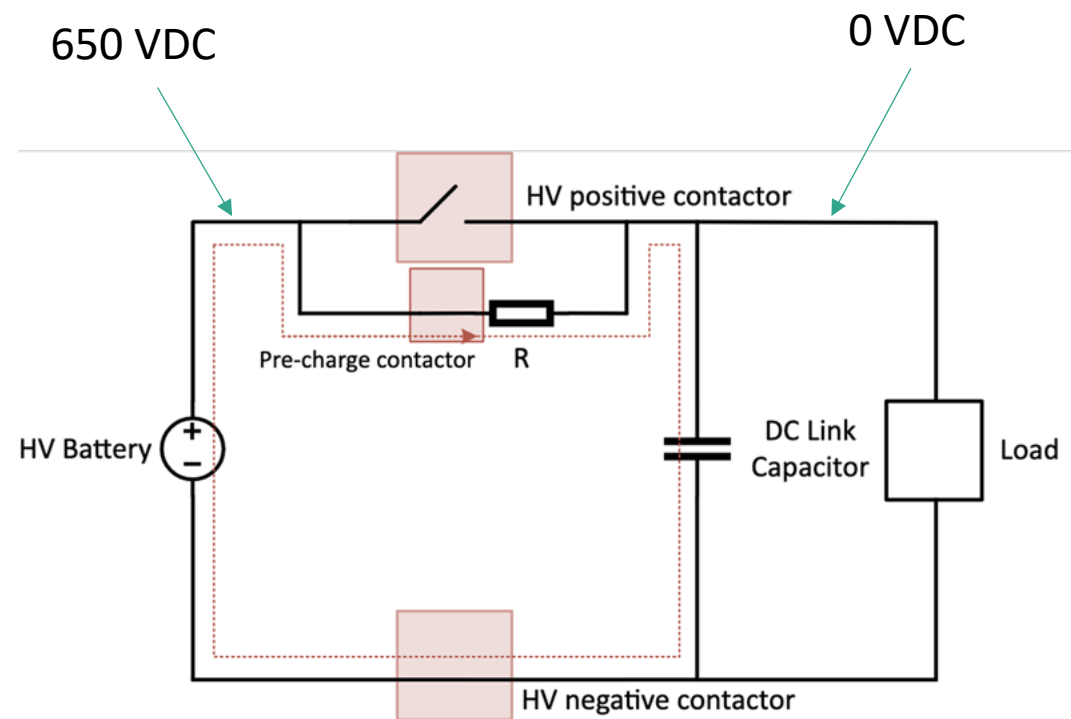
- Kondensaattorit rikkoutuvat

Syöksyvirtoja rajoitetaan *esilatauspiirillä*.

Sähköajoneuvoissa esilatausta käytetään jokaisen käynnistyksen yhteydessä.

Esilatauspiiriä käytetään yleensä korkeajänniteakun +-piirissä.

Esilatauspiiri

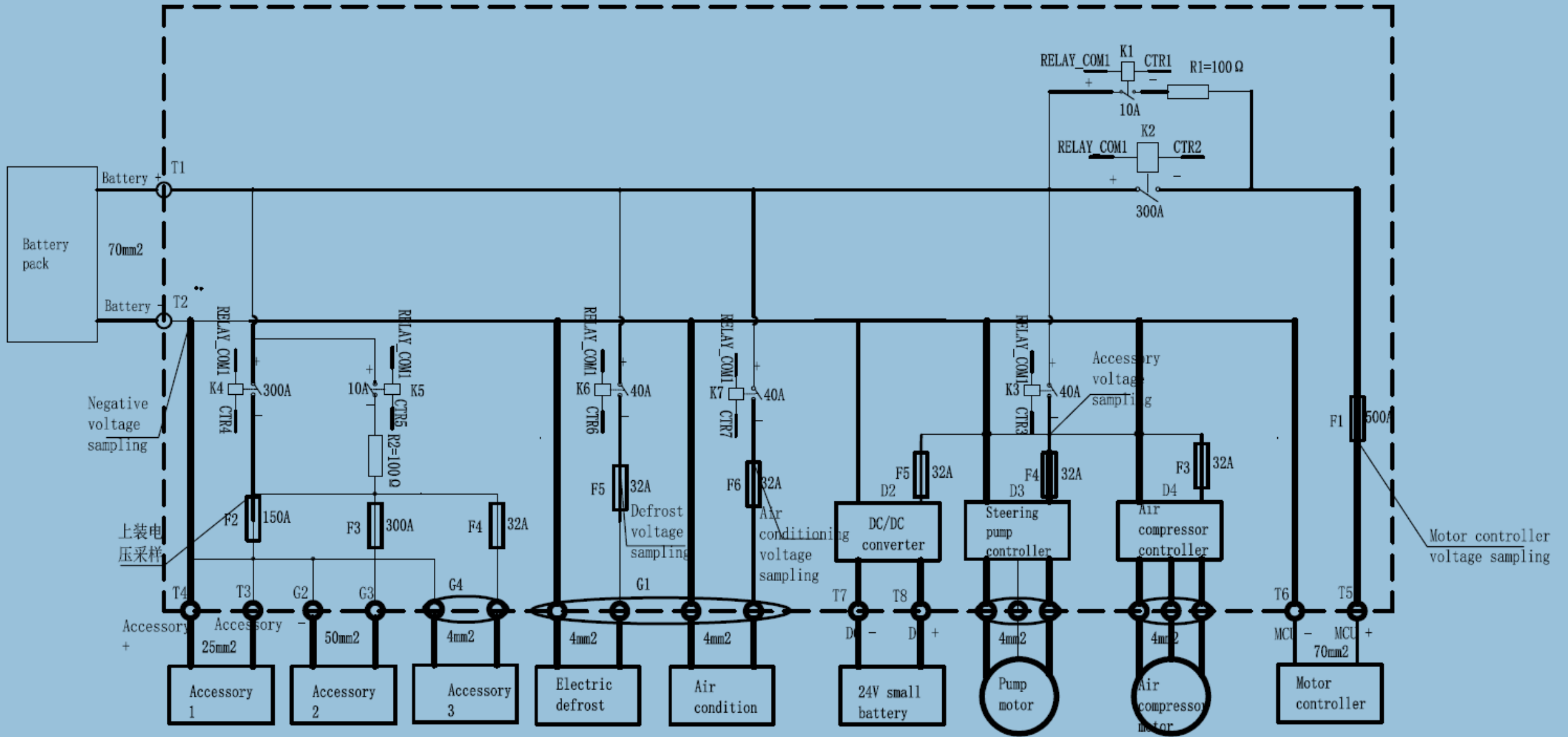


Esimerkki



Power Distribution Unit PDU

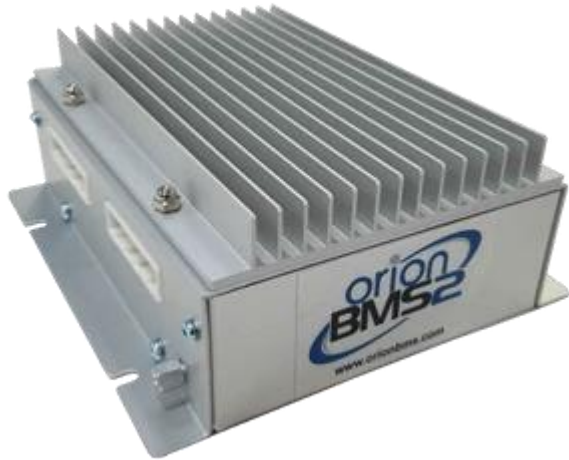




Akuston hallintajärjestelmä

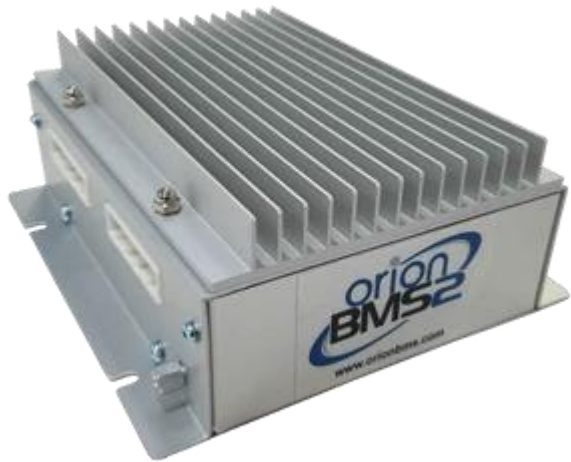
- Battery Management System, BMS
- Kennot herkkiä vaurioitumaan väärinkäytöstä
- Käytössä kennot eivät pysy tasapainossa (jännitetasot)
- Eli tarvitaan järjestelmä, joka huolehtii akuston ja sen kennojen hyvinvoinnista!



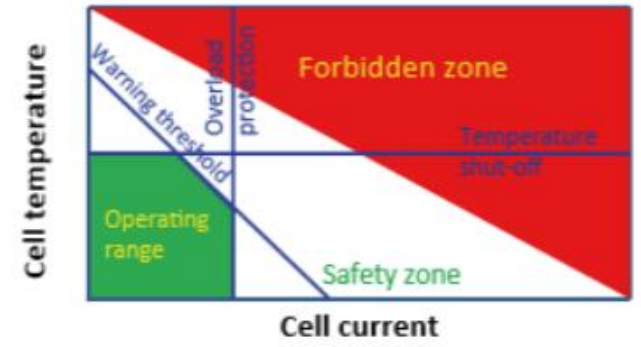
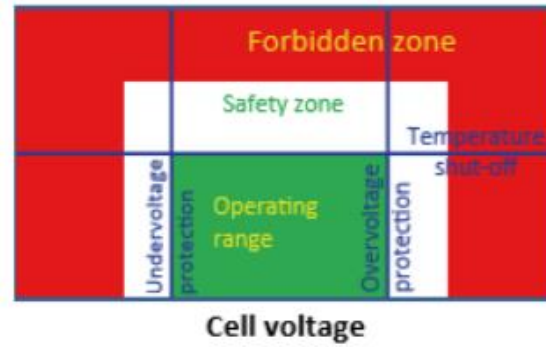


BMS:n tehtävät

- Estää kennon jännitteen ylittymisen katkaisemalla latauksen tai pyytämällä latauksen katkaisua. Tämä on turvallisuuskysymys kaikille litiumionikenoille.
- Estää kennon lämpötilan ylittymisen katkaisemalla virran akulle, pyytämällä virran katkaisua tai pyytämällä jäähdytystä akulle.
- Estää kennon jännitteen putoamasta alle akulle asetetun turvallisen rajan katkaisemalla purkausjännitteen tai pyytämällä purkausjännitteen katkaisun.
- Estää latauksen jännitteen ylittämisen pyytämällä jännitteen vähentämistä tai sen katkaisun.
- Estää purkausjännitteen ylittämisen pyytämällä jännitteen vähentämistä tai sen katkaisun.

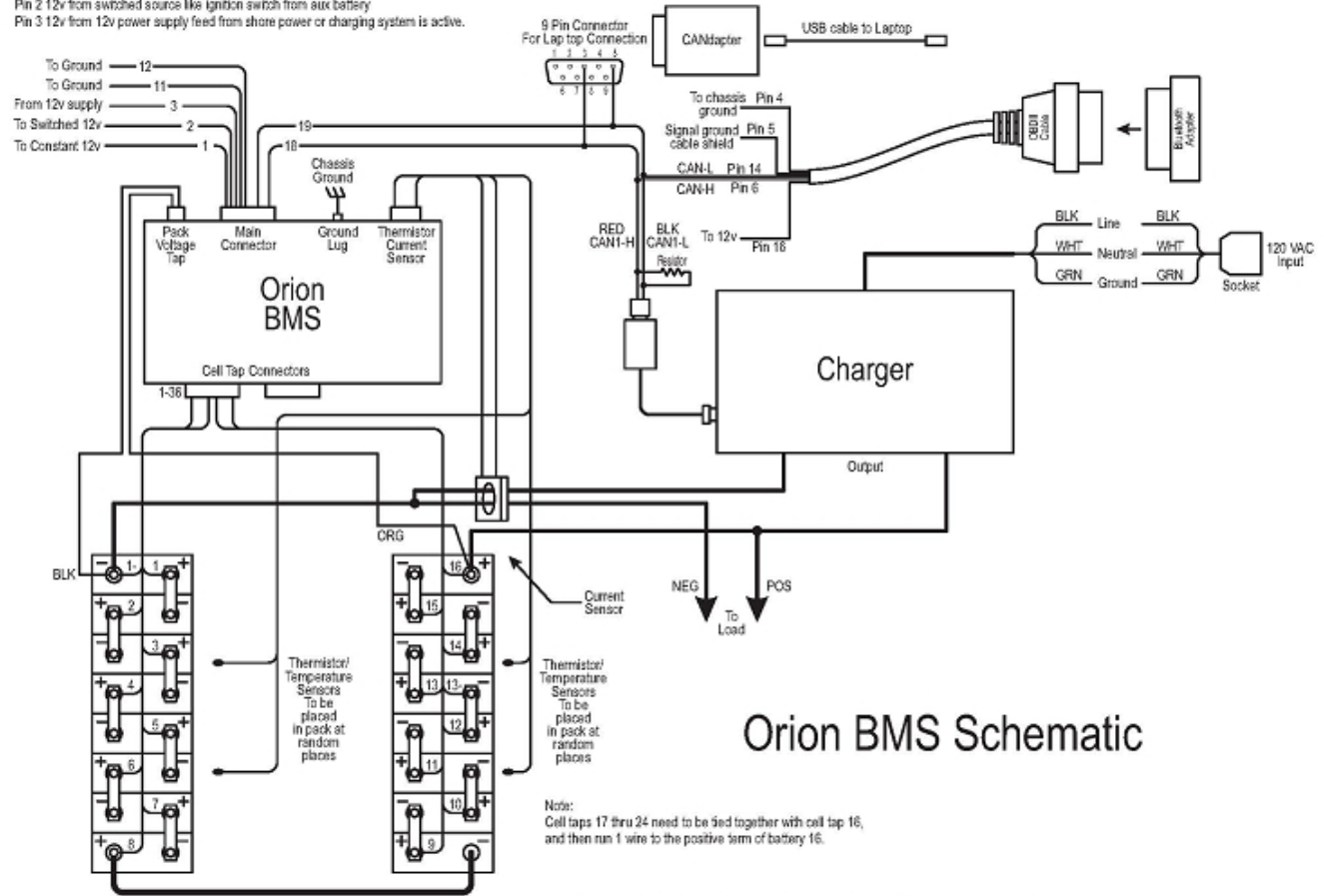


BMS:n tehtävät





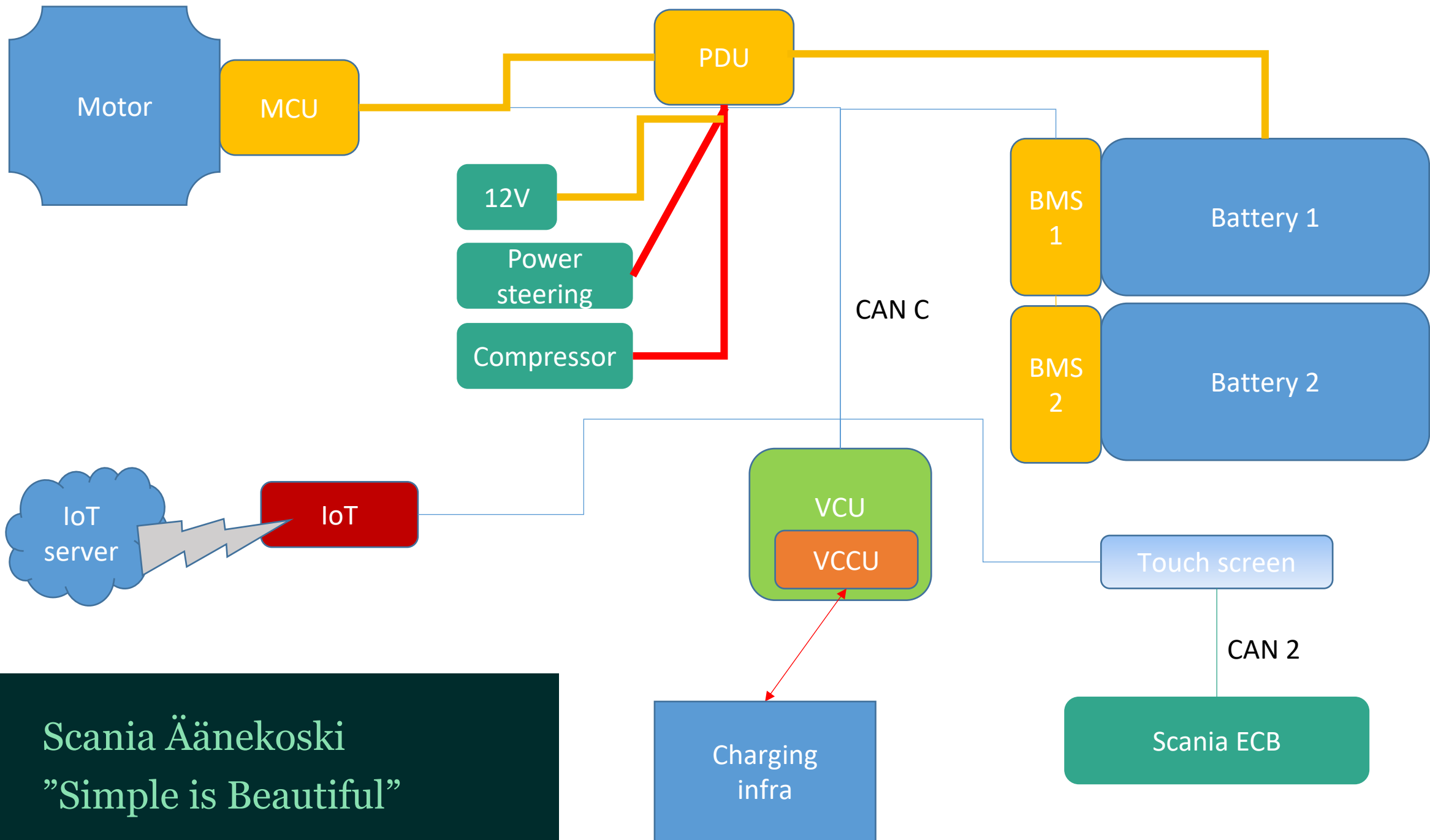
Note:
 Pin 1 12v from constant source like 12v aux battery
 Pin 2 12v from switched source like ignition switch from aux battery
 Pin 3 12v from 12v power supply feed from shore power or charging system is active.



Orion BMS Schematic

Note:
 Cell taps 17 thru 24 need to be tied together with cell tap 16,
 and then run 1 wire to the positive term of battery 16.

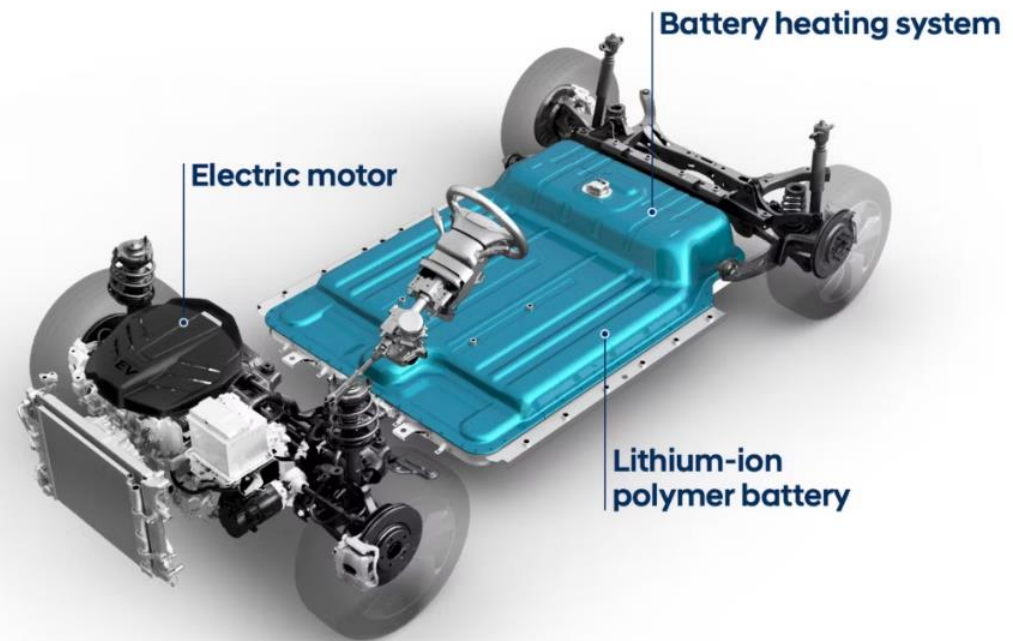
Copyright 2015 Electric Car Parts Company



Scania Äänekoski
 "Simple is Beautiful"

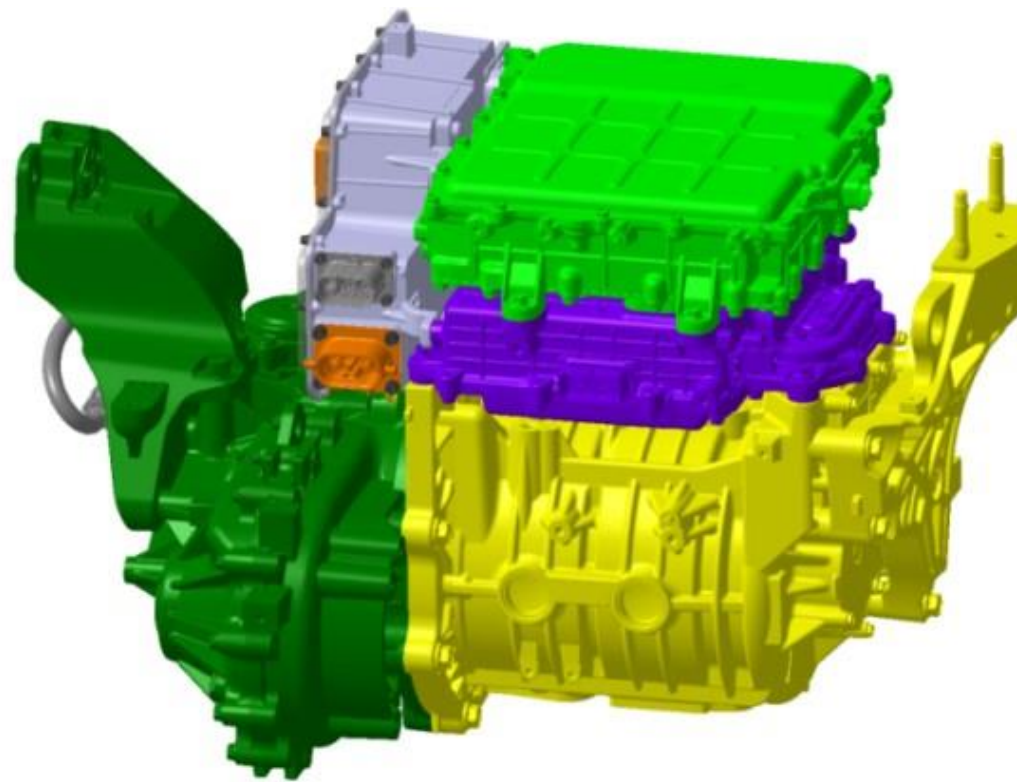


Sähköauton komponentit





Sähköauton komponentit

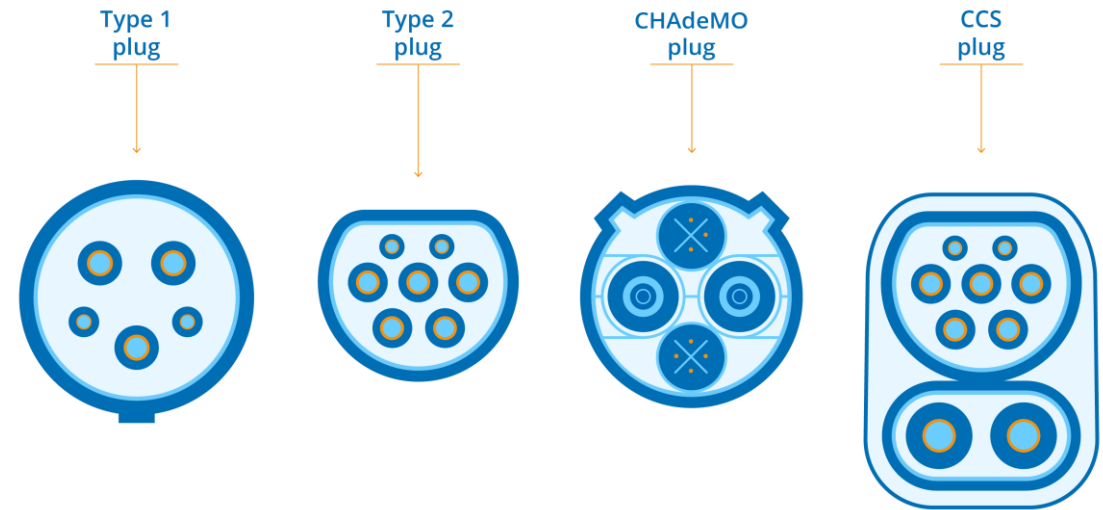




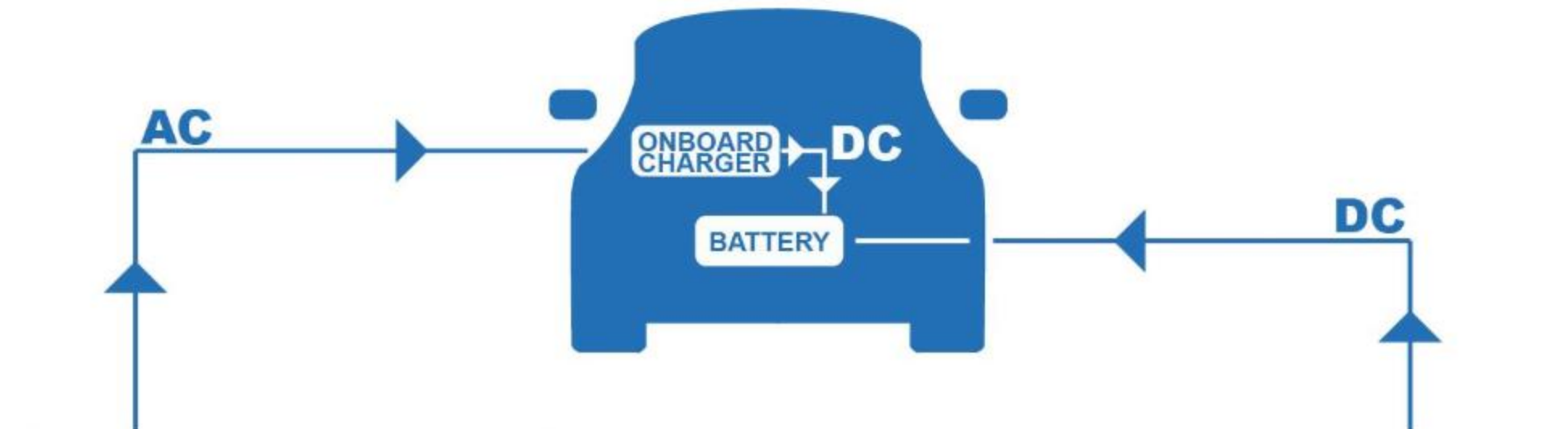
Sähköauton komponentit

- Korkeajännitekomponentit
 - Komponentit, joissa jännite yli 60V
- Matalajännitekomponentit
 - Komponentit, joissa jännite 12V tai 24V
- Ajoneuvoissa korkeajännitekaapelit tai niiden suoja-putket oltava oransseja
- Useissa komponenteissa käytetty kondensaattoreita! Muista aikaraja jännitteen laskuun.

Lataus



- Useita latausstandardeja
 - Type2 AC-lataus käyttää autossa olevaa laturia, OnBoardCharger, OBC
 - DC-latauksessa ladataan suoraan tasavirralla
- Latausteho määräytyy useiden tekijöiden perusteella
 - Kennojen maksimi latausraja
 - Kennojen lataustila (SOC)
 - Kennojen lämpötila
 - Latauslaitteen teho



AC 2 KW TO 43 KW

50 KW TO 150 KW + **DC**

N AMERICA EU CHINA ALL MARKET




J1772 TYPE 1 IEC62196-2 TYPE 2 GB/T TESLA

N AMERICA EU JAPAN CHINA



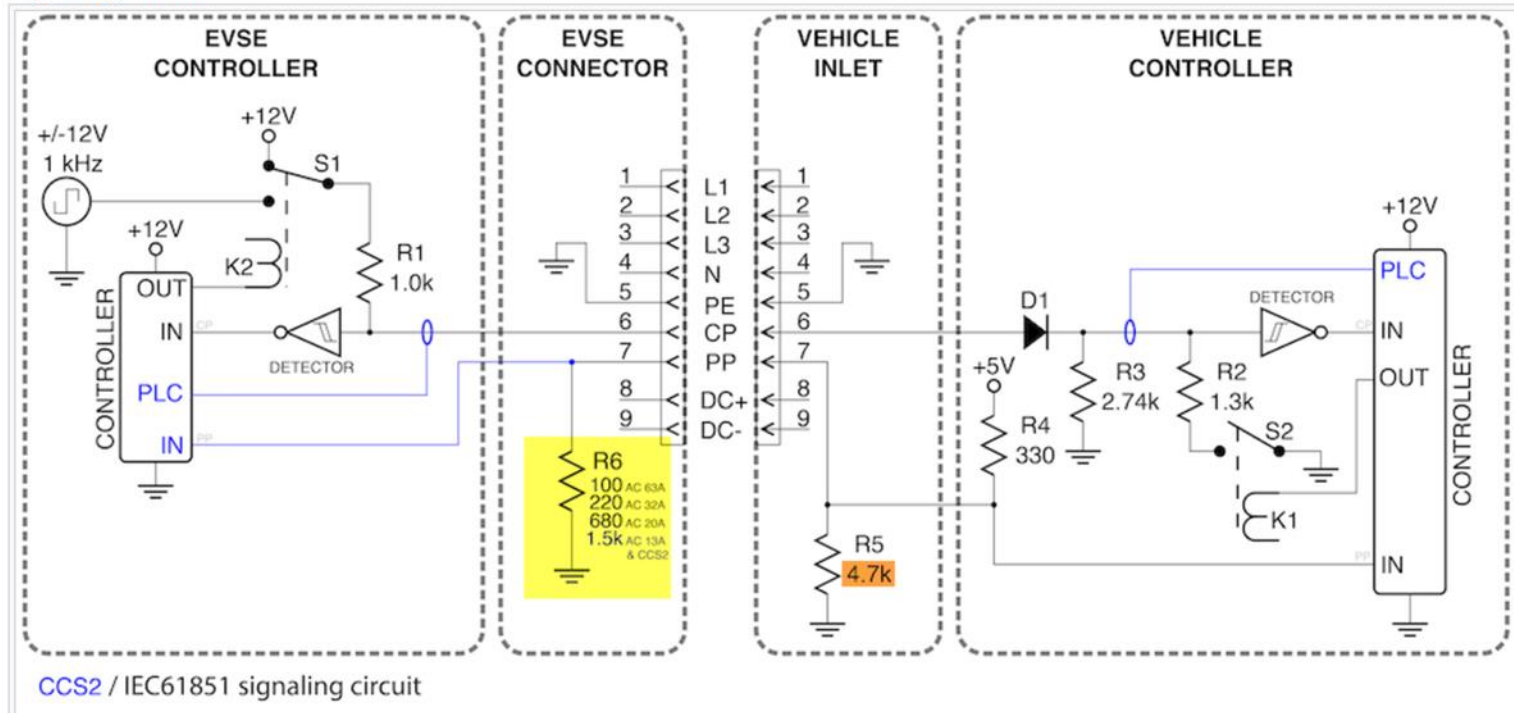
CCS1 CCS2 CHAdeMO GB/T(DC)

Type 2 lataustehon vaihtoehdot (Kona 64 kWh)

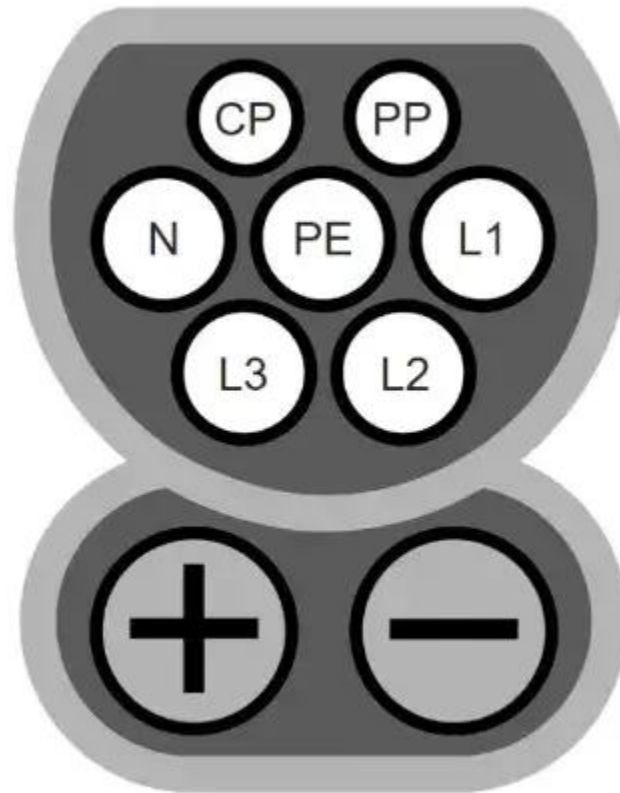
Type 2 (Mennekes - IEC 62196)					
					
Charging Point	Max. Power	Power	Time	Rate	
Wall Plug (2.3 kW)	230V / 1x10A	2.3 kW	32h45m	12 km/h	
1-phase 16A (3.7 kW)	230V / 1x16A	3.7 kW	20h30m	19 km/h	
1-phase 32A (7.4 kW)	230V / 1x32A	7.4 kW	10h15m	38 km/h	
3-phase 16A (11 kW)	400V / 3x16A	11 kW	7 hours	56 km/h	
3-phase 32A (22 kW)	400V / 3x16A	11 kW †	7 hours	56 km/h	

Type 2 jatkoa

Signaling circuit

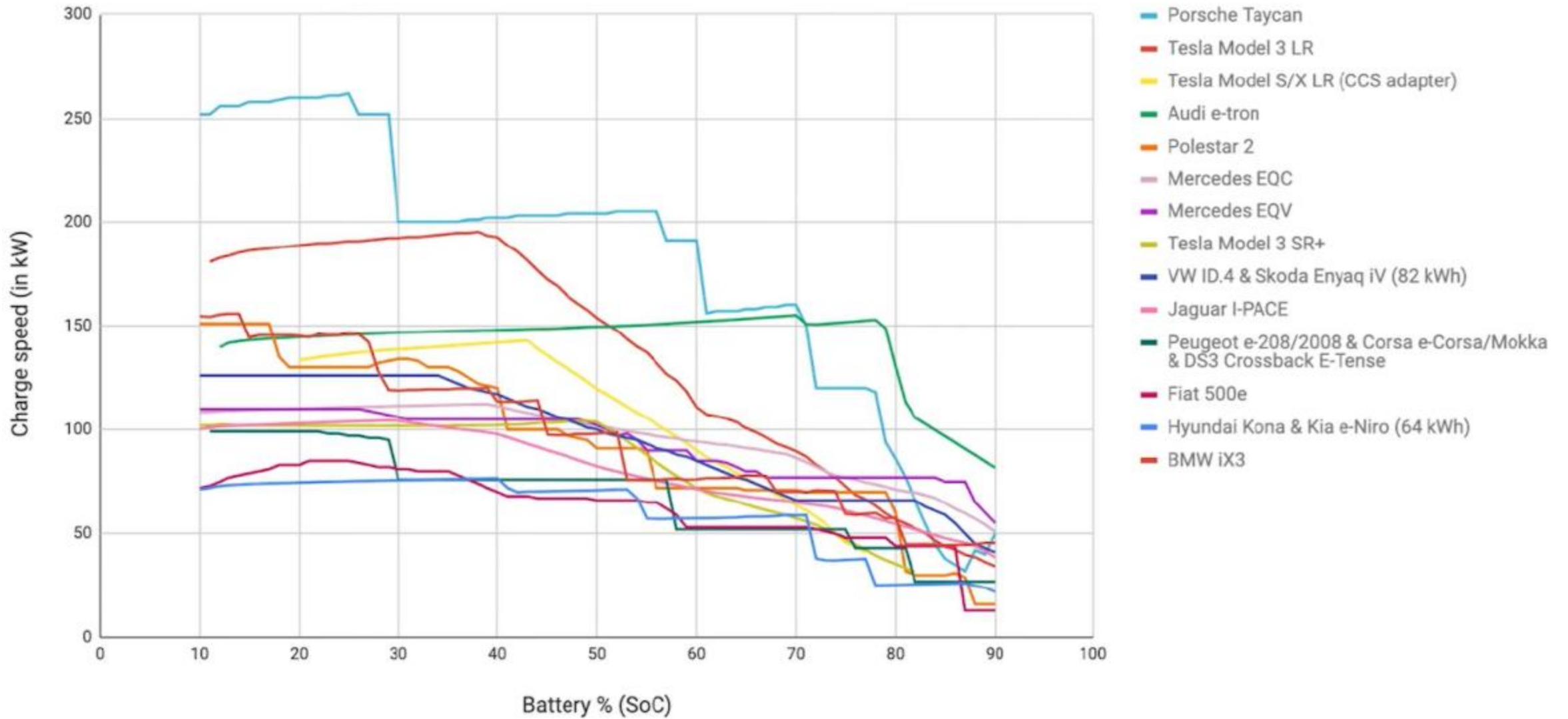


Combined Charging System, CCS2



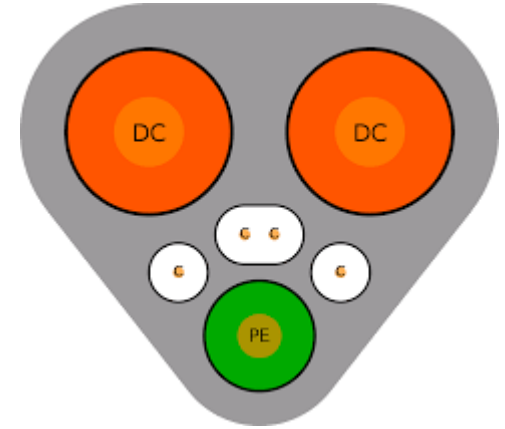
CCS DC Type 2

Charge curves at 300 kW chargers



Raskaan kaluston pikalataus

- Megawatt Charging System (MCS)
 - Megawattitason latausstandardi kehitteillä
 - Maksimi latausteho 3,75 MW – 3000A/1250VDC
 - Tukee V2X

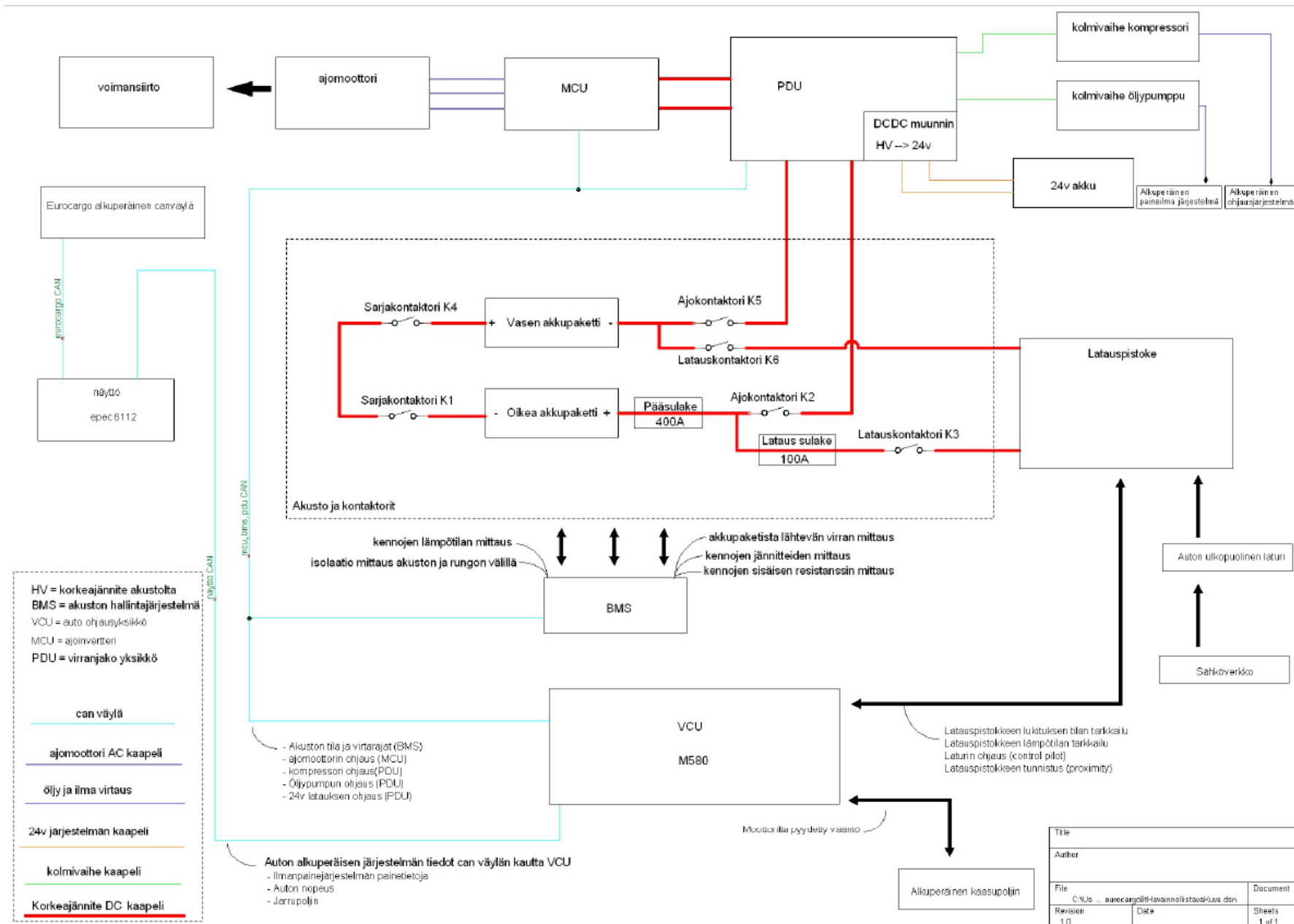




Latauslaitteet

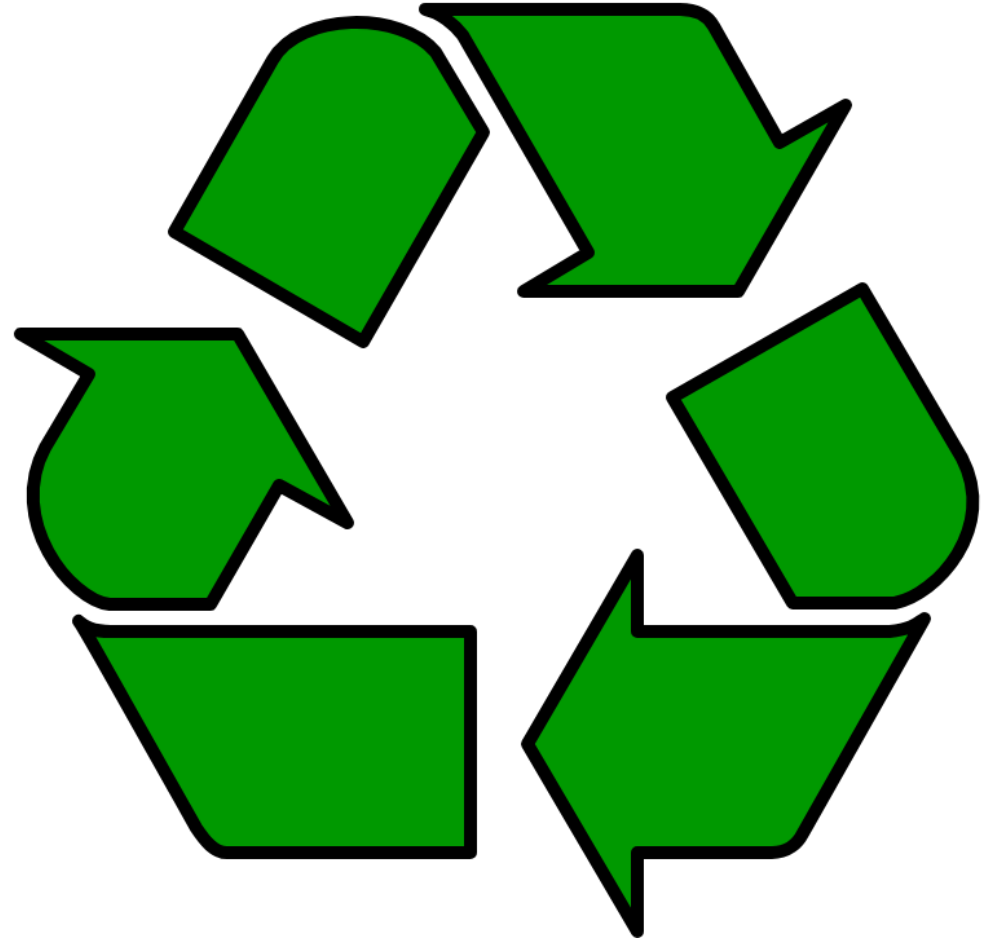
- Kiinteät
- Mobiilit
- Korjaamo/terminaali
- Esim Kempower T-sarja:

Sähkökuorma-autoon tutustuminen ja jännitteettömäksi tekeminen



Akkujen elinkaari ja kierrätys

- Ajoneuvokäytön jälkeen kennot soveltuvat mainiosti energiavarastokäyttöön
 - Lataus- ja purkuvirrat vaatimattomia verrattuna ajoneuvokäyttöön
- Lopuksi kennot kierrätetään
 - Kierrätysraaka-aineet voidaan käyttää uusien kennojen tuotantoon
 - Oikeilla talteenottomenetelmillä saadaan jopa yli 90% hyötysuhde, mikä riittää taloudellisesti kannattavaan litiumioniakkujen kierrätykseen
 - Kierrätysprosessit vielä kehitysvaiheessa



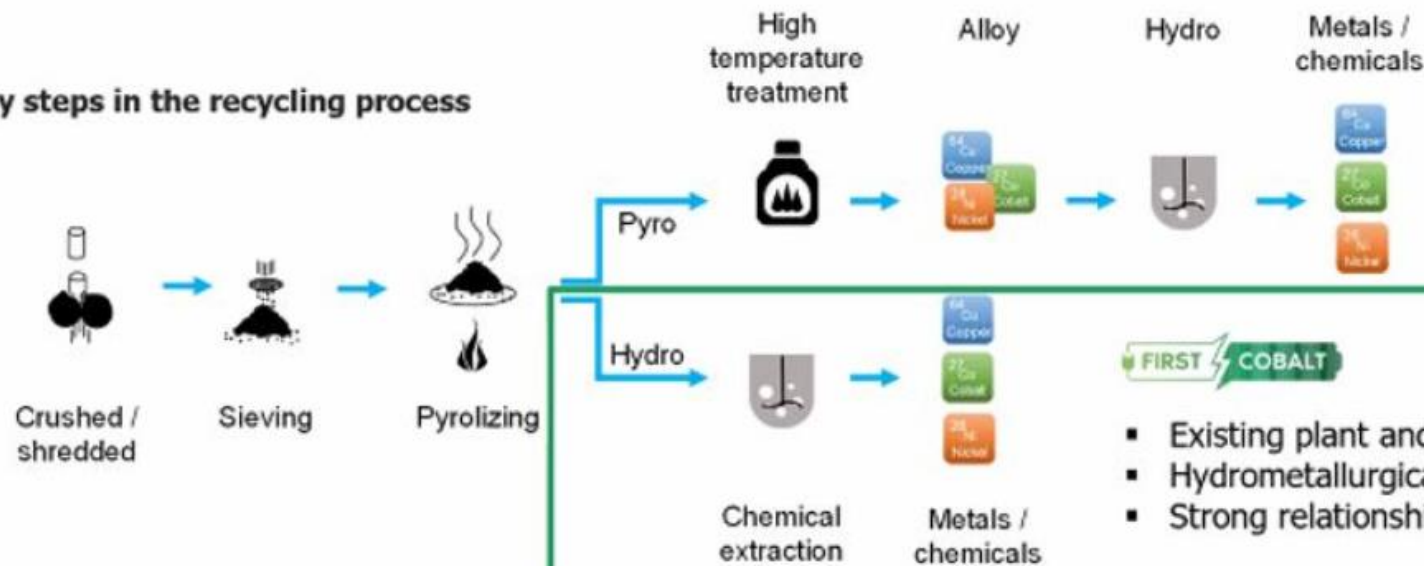
Battery recycling process

Logistics of battery recycling



Refining of black mass to produce battery grade nickel, cobalt, copper and other metals

Key steps in the recycling process

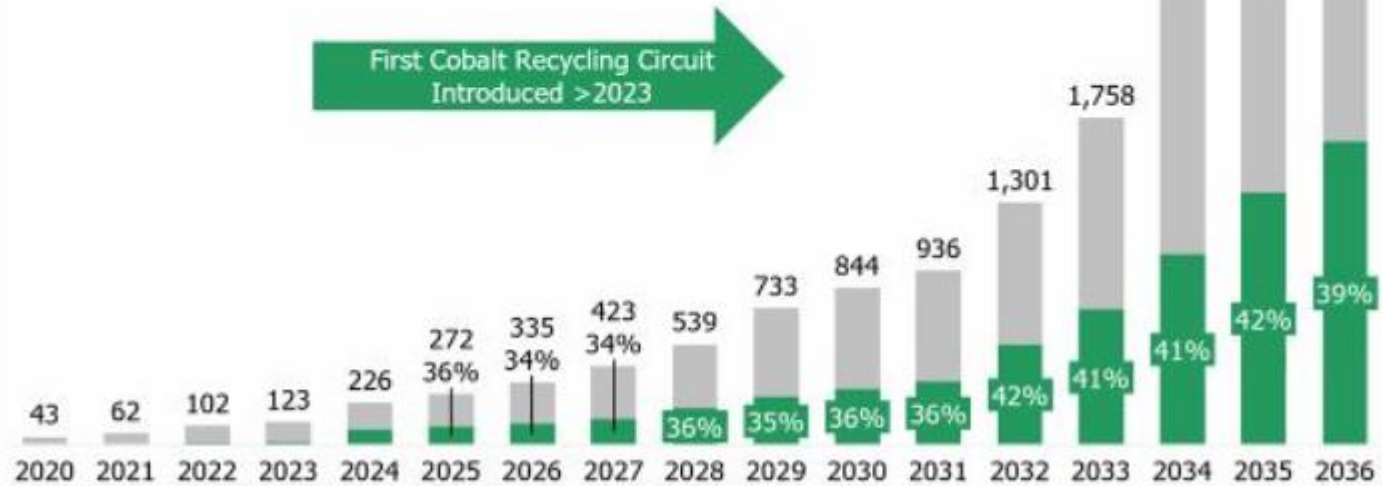


Recycled metals reintroduced into new battery cells, completing a closed-loop supply chain

Annual battery retirements by region

Thousand metric tonnes¹

■ North America and Europe
■ Rest of World



¹ BNEF (Battery Recycling Technology, A Primer)



Rahoittaja



Jatkuvan oppimisen ja
työllisyyden palvelukeskus

Jukka Pellinen

puh 050 9176428

email jukkatpellinen@gmail.com



**Euroopan unionin
rahoittama**

NextGenerationEU

poke

**POHJOISEN KESKI-SUOMEN
AMMATTIOPISTO**