



# Sähköajoneuvot

Jukka Pellinen

22.10.2024





# 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.*

# Kunnossapidon turvallisuus

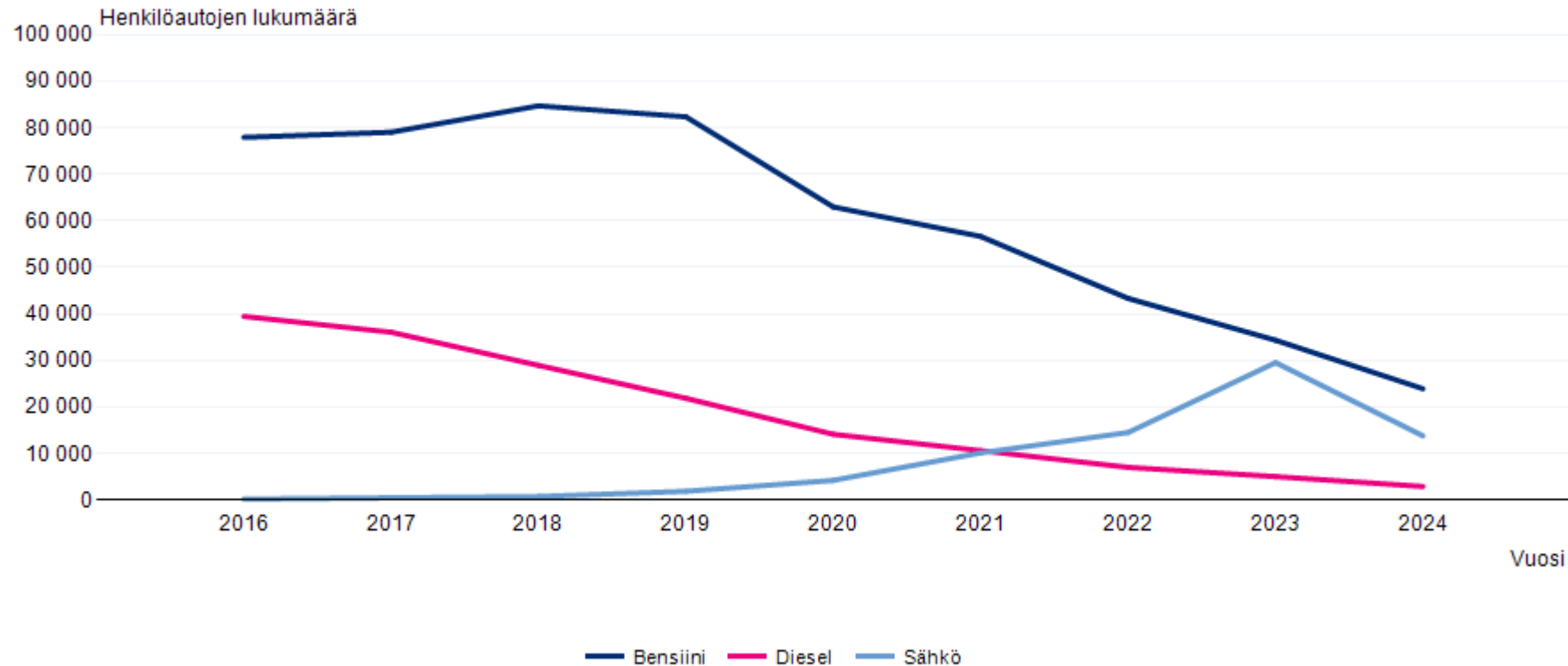
- Sähkötöiksi ei lasketa:
  - Normaalit huoltotoimenpiteet, kunhan ne eivät koske korkeajännitepiiriä
  - Jarrujen korjaus
  - Alustan korjaus
  - Pyöränsuuntaus
  - Rengastyöt
  - Vetokoukun asentaminen
  - Esilämmittimen asentaminen
- Sähkötyöturvallisuuskoulutus SFS6002 on suositeltava kaikille sähköautojen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

# Henkilöautojen ensirekisteröinnit 2016-2024

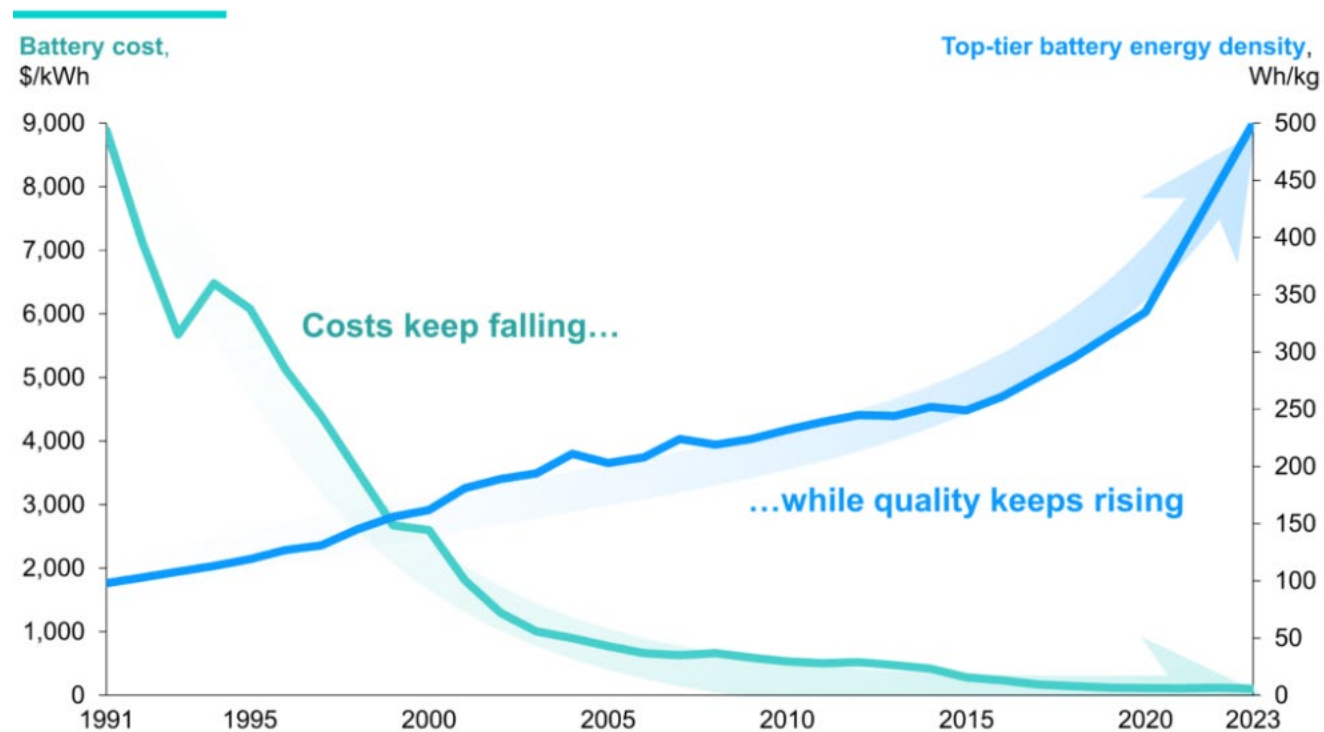
Henkilöautojen ensirekisteröinnit muuttujina Käyttövoima ja Vuosi. MANNER-SUOMI.



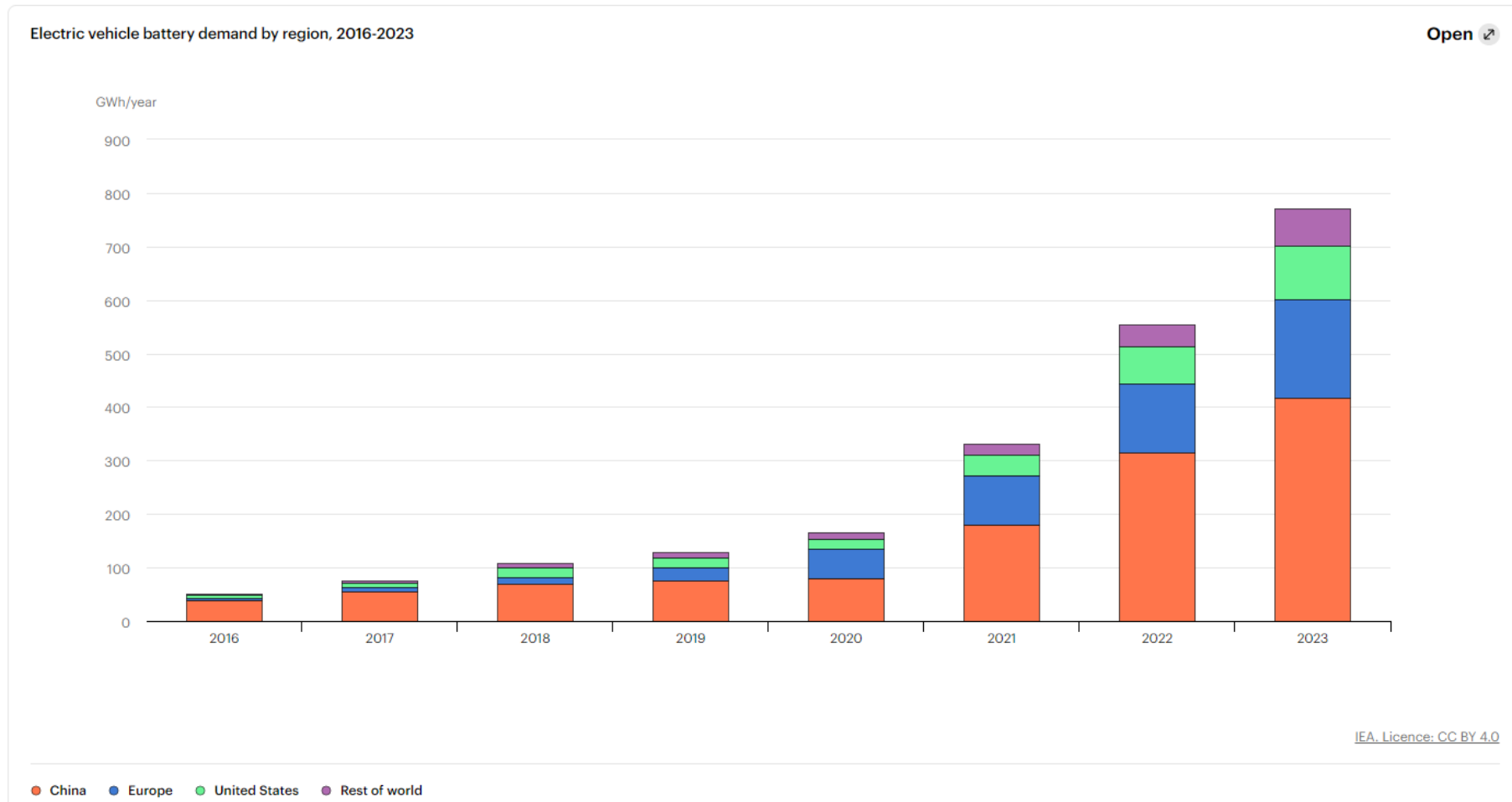
# Henkilöautojen ensirekisteröinnit 2024

	2024
MANNER-SUOMI	
Yhteensä	50 905
Bensiini	23 927
Diesel	2 925
Sähkö	13 804
Vety	-
Maakaasu (CNG)	104
Bensiini/CNG	-
Bensiini/Sähkö (ladattava hybridi)	9 962
Bensiini/Etanoli	37
Diesel/Sähkö (ladattava hybridi)	145
Diesel/Biodiesel	1

# 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 ( $\Omega$ )
- Taajuus, yksikkö hertsi (Hz)
- Energia, yksikkö Wh

# Laskentaa...

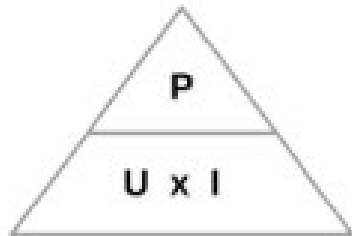
Sähkölaitteen teho on jännitteen ja virran tulo.

Esimerkki:

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

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

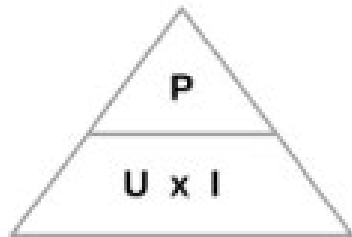
Eli 130 kW

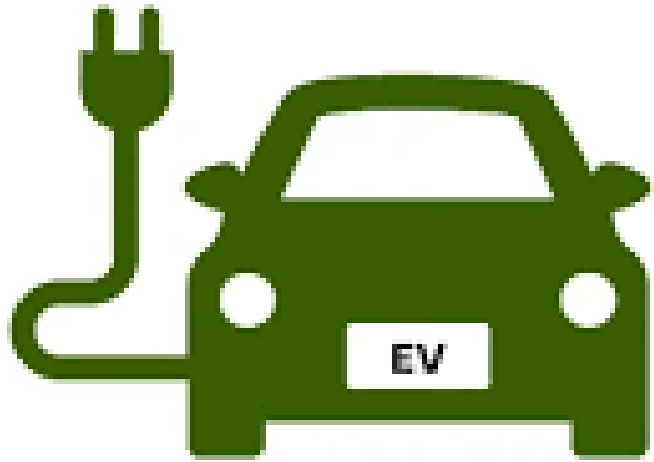


# Laskentaa...

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  $150\ 000\ W / 352\ V = \underline{426\ A}$





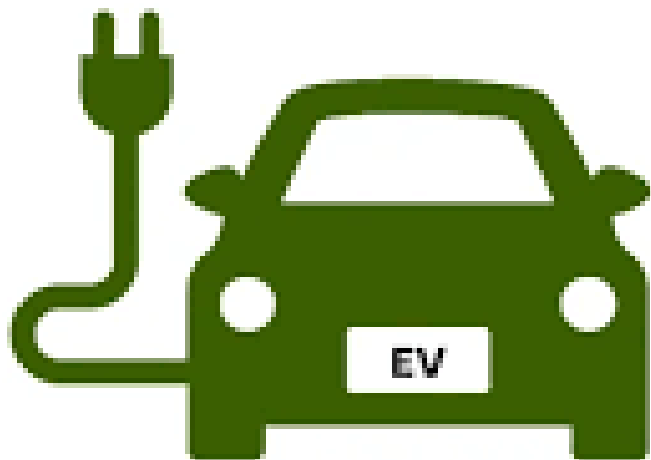
## Termistöä

- 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.

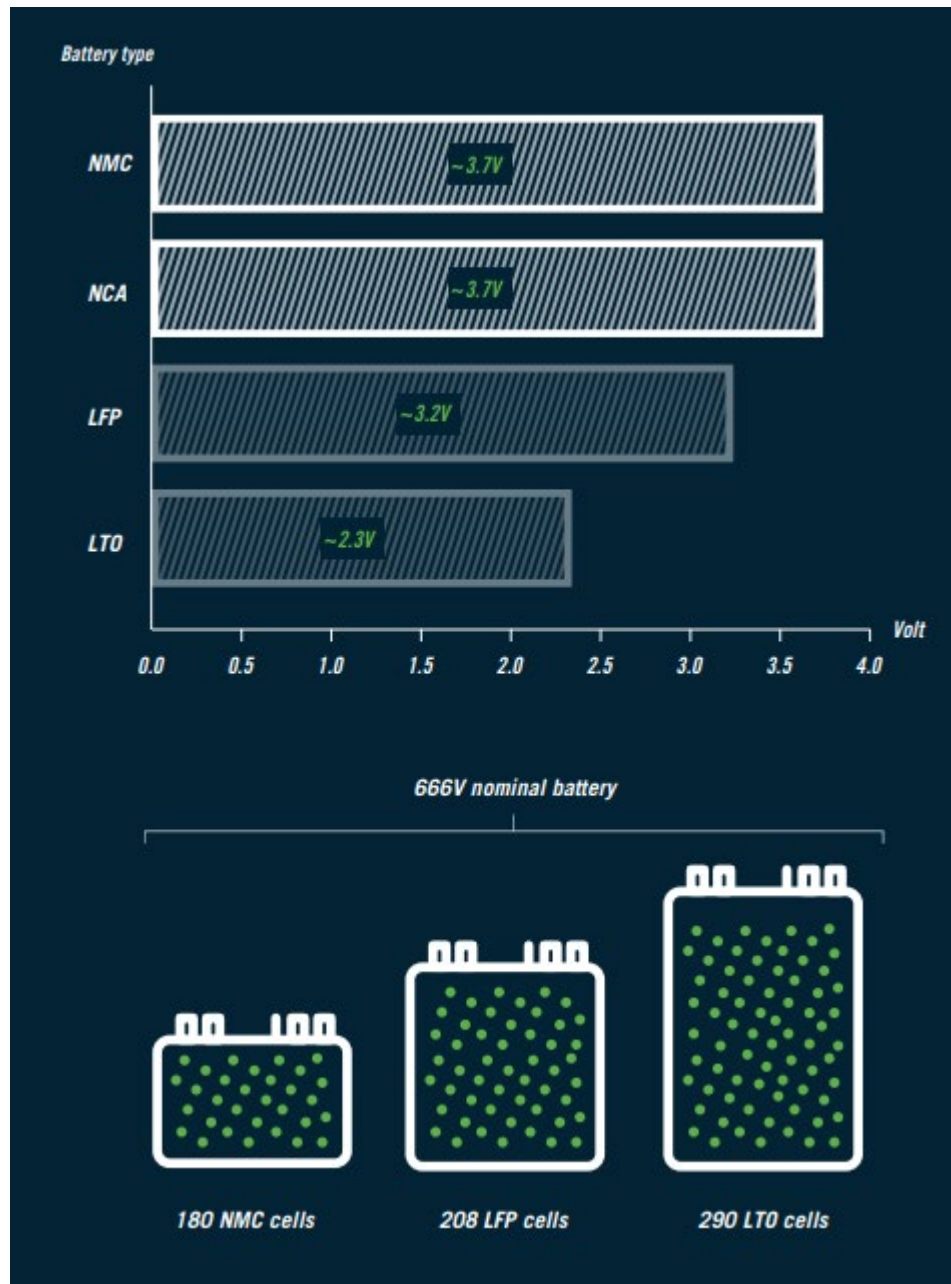
# Akkukennon rakenne



# Akkukemiat (katodimateriaali)



- Anodi yleensä grafiittia kaikissa katodiversioissa
- LFP, LiFePo<sub>4</sub>
  - Litium-rauta-fosfaatti
  - Kestävä, kestää tuhansia lataus-purkusyklejä
  - Turvallinen
  - Ei sisällä kobolttia
  - Ei paras energiatiheys
  - Purku/latausvirran kesto kehittyy, uusia tehokennoja tulossa
  - Kennon nominaalijännite 3,2VDC
- NMC
  - Litium-nikkeli-mangaani-koboltti
  - Ei yhtä turvallinen kuin LFP ja LTO
  - Kennon nominaalijännite 3,7 VDC
- 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

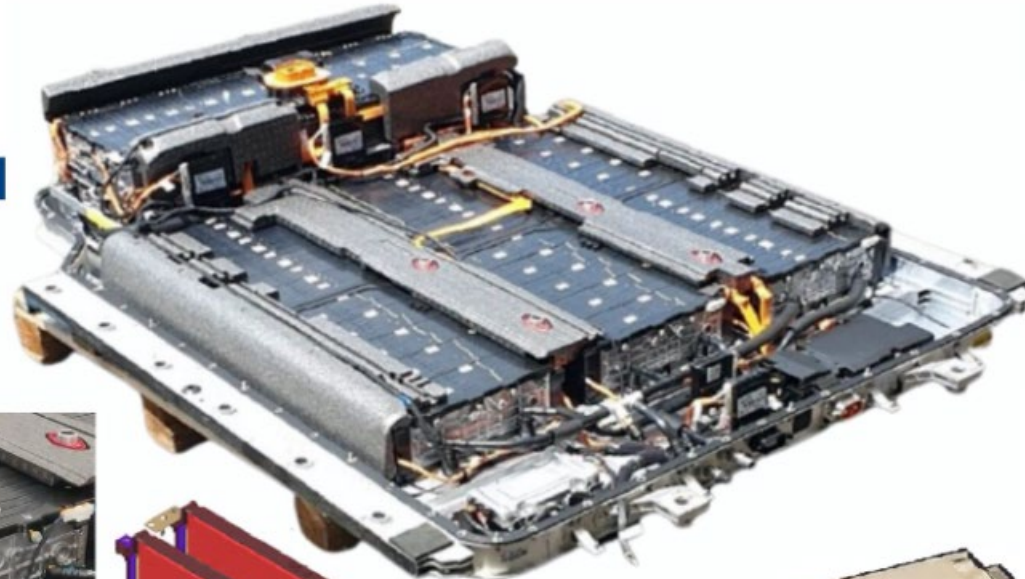
- Kennot kytketään toisiinsa kokoojakiskoilla (busbar) joko hitsaamalla tai pulttiliitoksella
- Kennot voidaan kytkeä sarjaan tai rinnan
  - Sarjaankytkennässä + napa yhdistetään – napaan
    - Jännite summataan eli esimerkiksi 2 kpl 3.2V kennoa kytketään sarjaan -> kokonaisjännite 6.4V
  - Rinnankytkennässä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



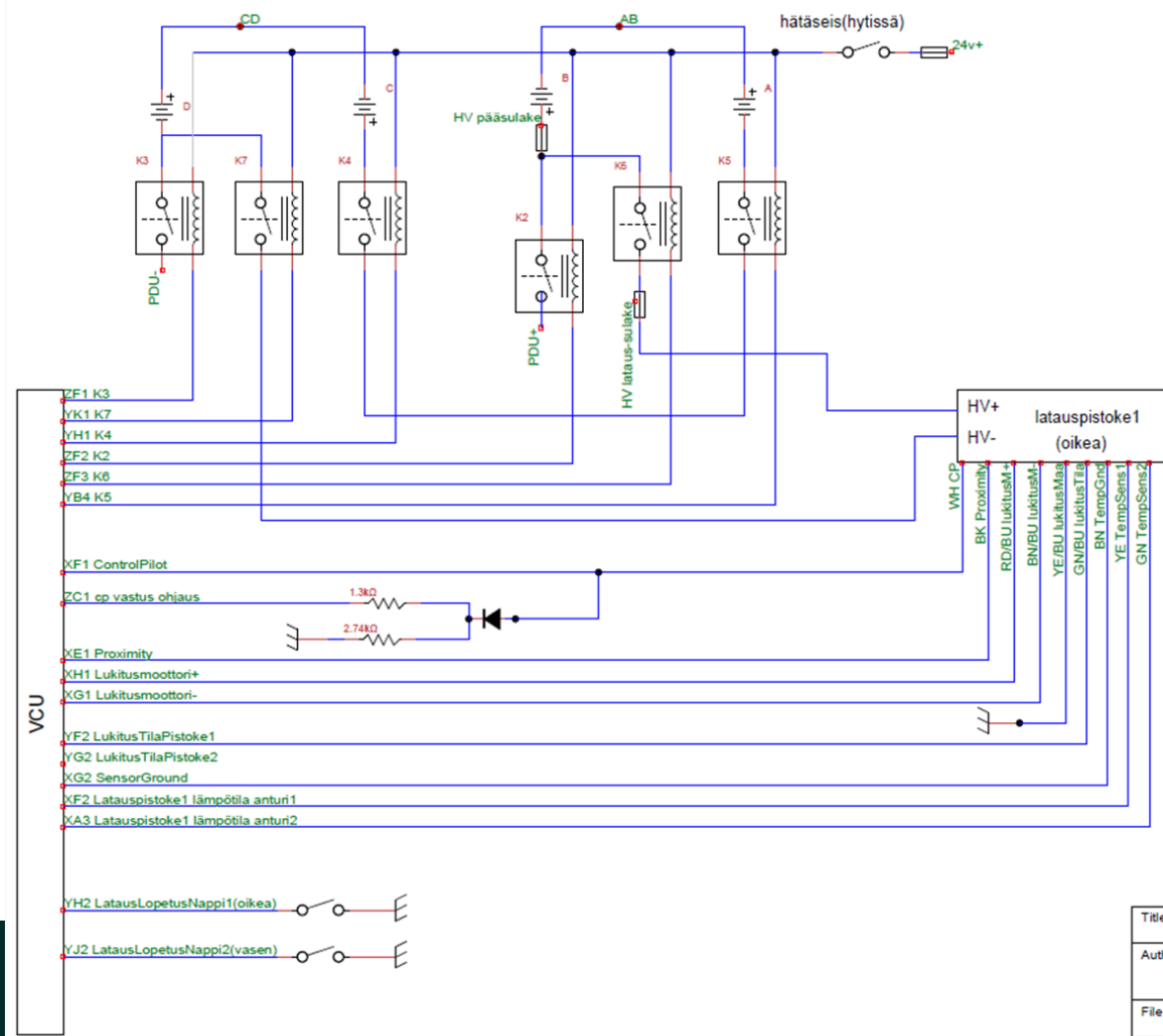
## Esimerkki prismaattisesta kennosta

- 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

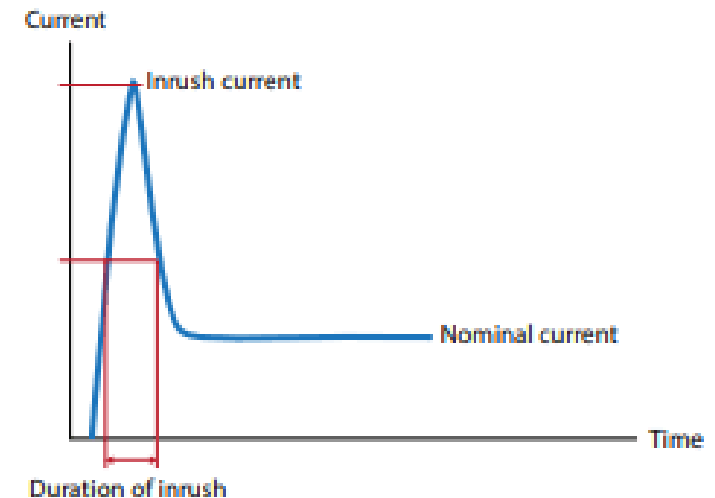
Esilatauspiiriä käytetään kapasitiivisissä järjestelmissä, joissa esiintyy suuria jännite-eroja.

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

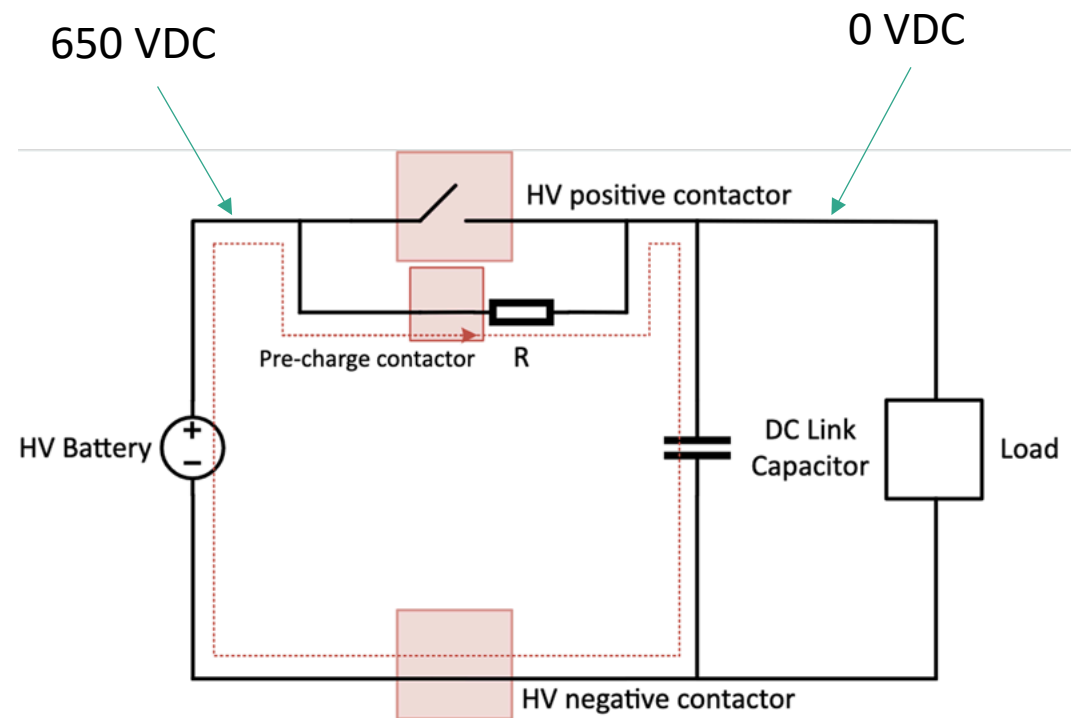
Kondensaattorit rikkoutuvat

Syöksyvirtoja rajoitetaan *esilatauspiirillä*.

Sähköajoneuvoissa esilatausta käytetään jokaisen käynnistyksen yhteydessä.

Esilatauspiiriä käytetään yleensä korkeajänniteakun +-piirissä.

# Esilatauspiiri

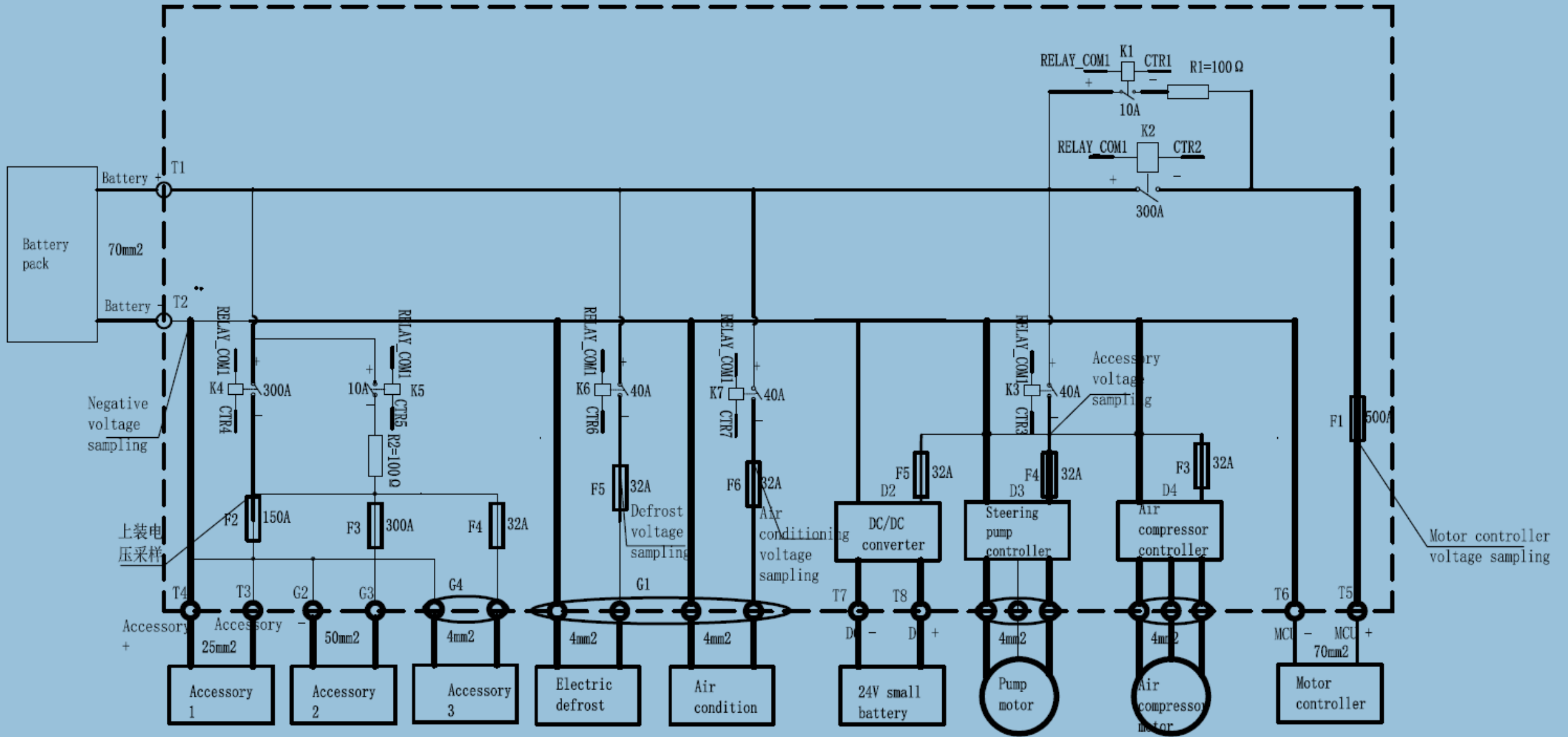


# Esimerkki



Power Distribution Unit PDU

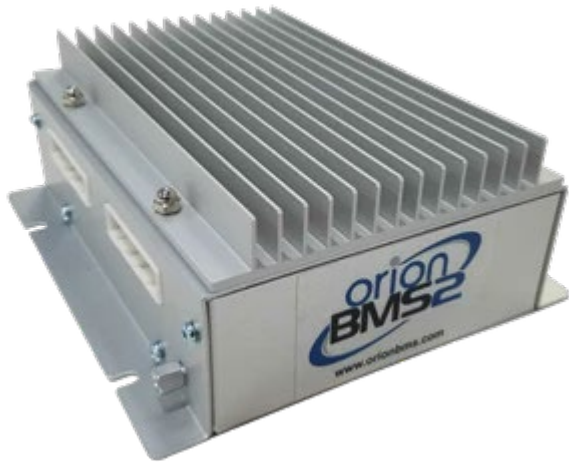




# Akuston hallintajärjestelmä

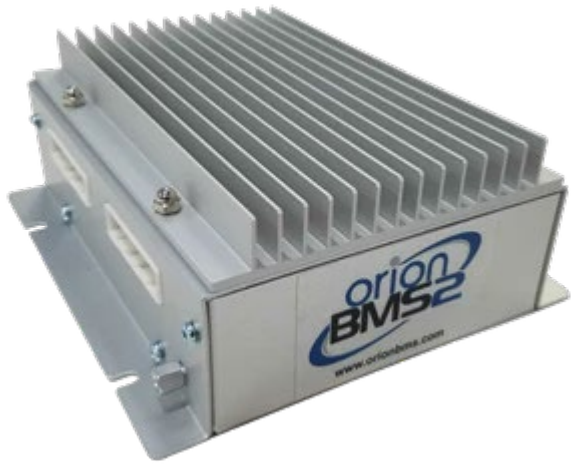
- Battery Management System, BMS
- Kennot herkkiä vaurioitumaan väärinkäytöstä
- Käytössä kennot eivät pysy tasapainossa (jännitetasot)
- Eli tarvitaan järjestelmä, joka huolehtii akuston ja sen kennojen hyvinvoinnista!



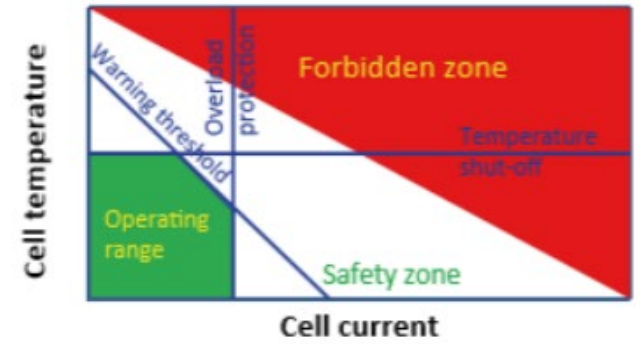
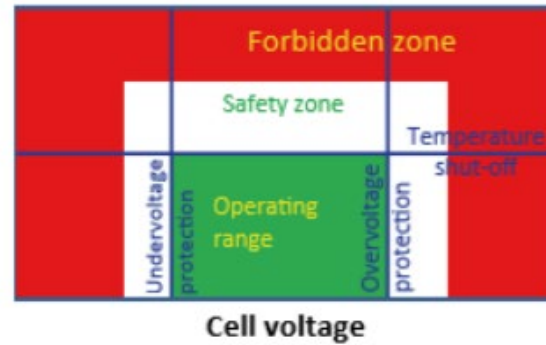


## BMS:n tehtävät

- 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.

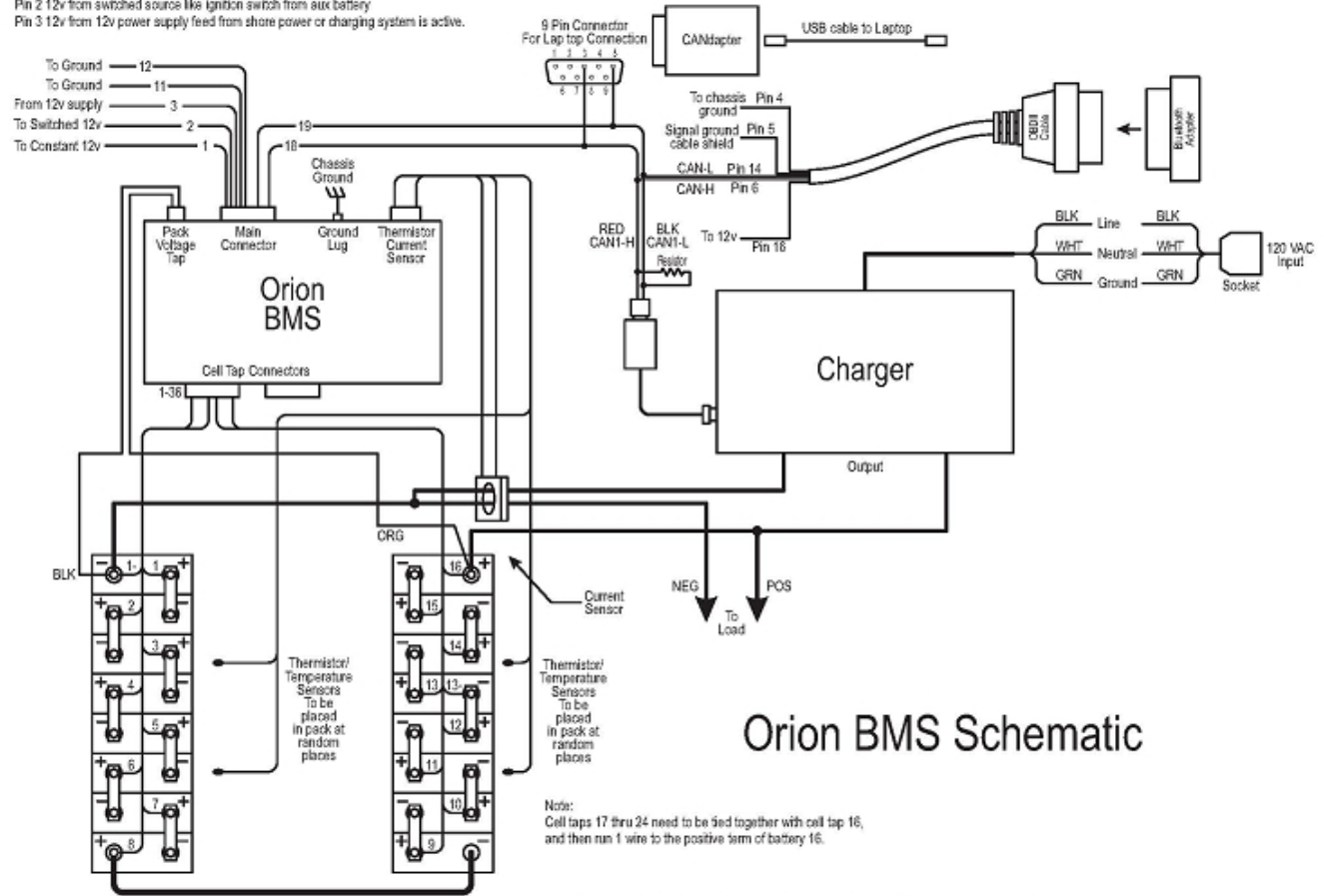


## BMS:n tehtävät



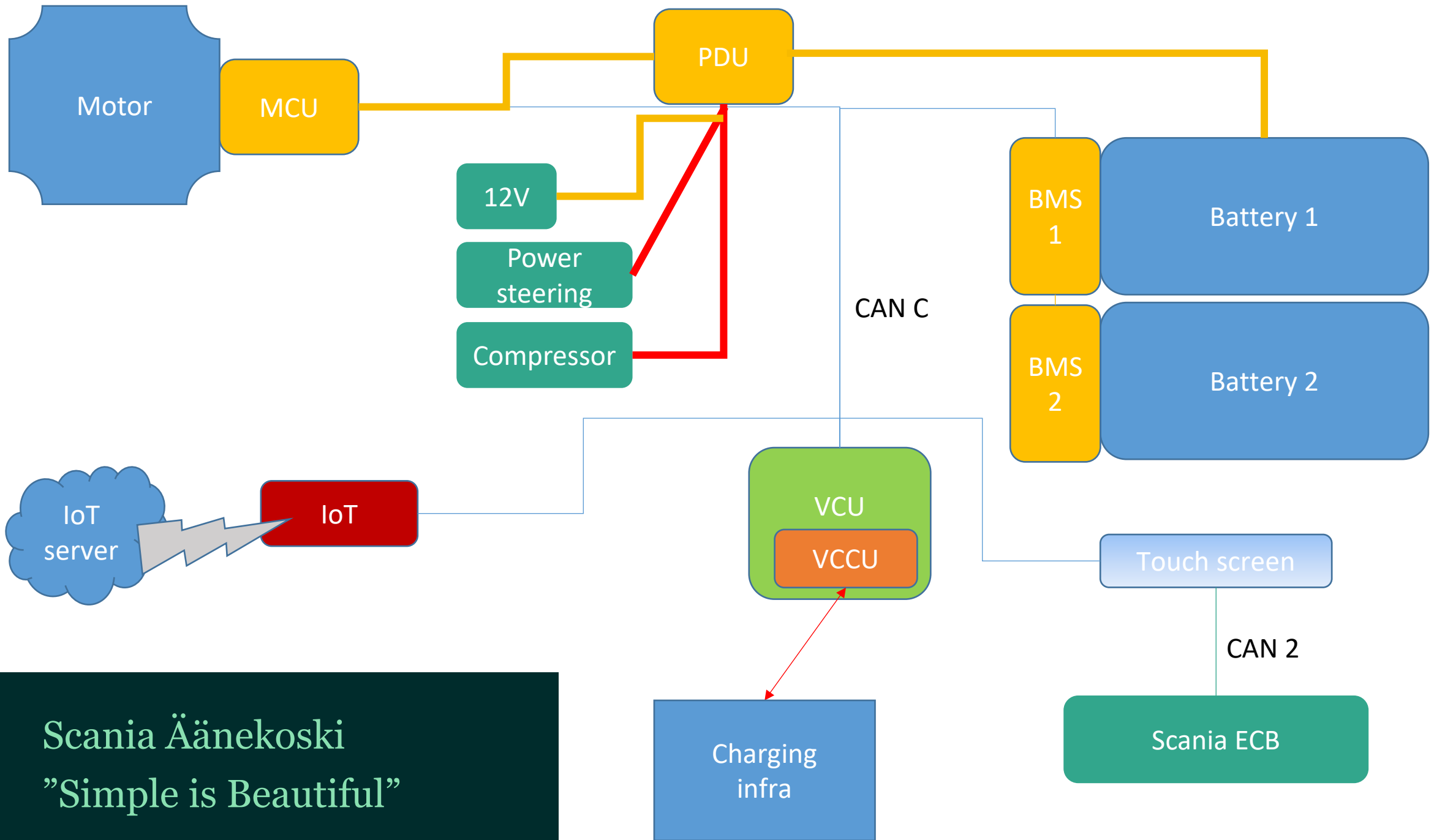


Note:  
 Pin 1 12v from constant source like 12v aux battery  
 Pin 2 12v from switched source like ignition switch from aux battery  
 Pin 3 12v from 12v power supply feed from shore power or charging system is active.



## Orion BMS Schematic

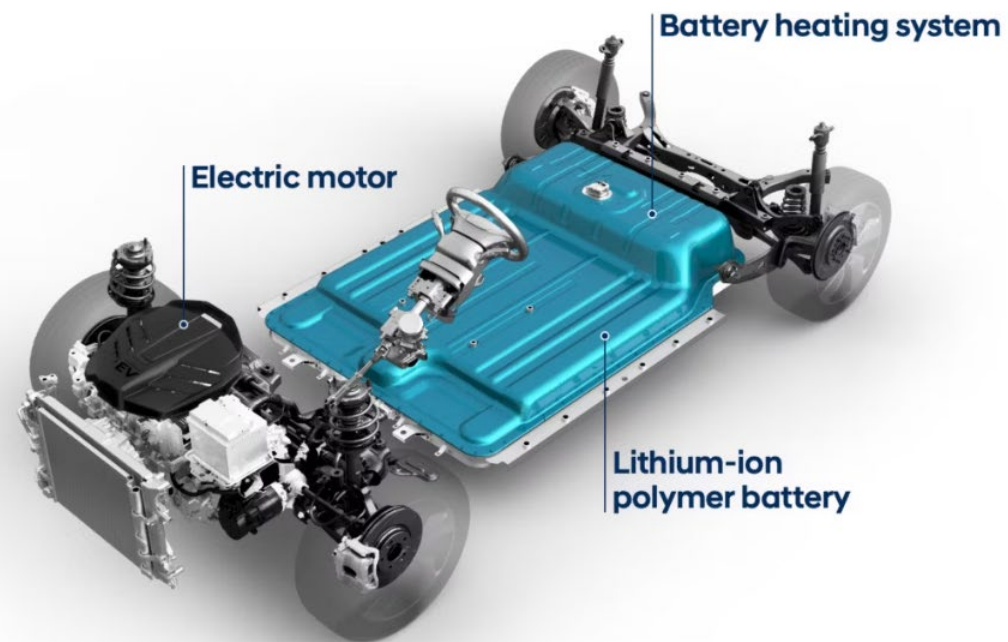
Copyright 2015 Electric Car Parts Company



Scania Äänekoski  
 "Simple is Beautiful"

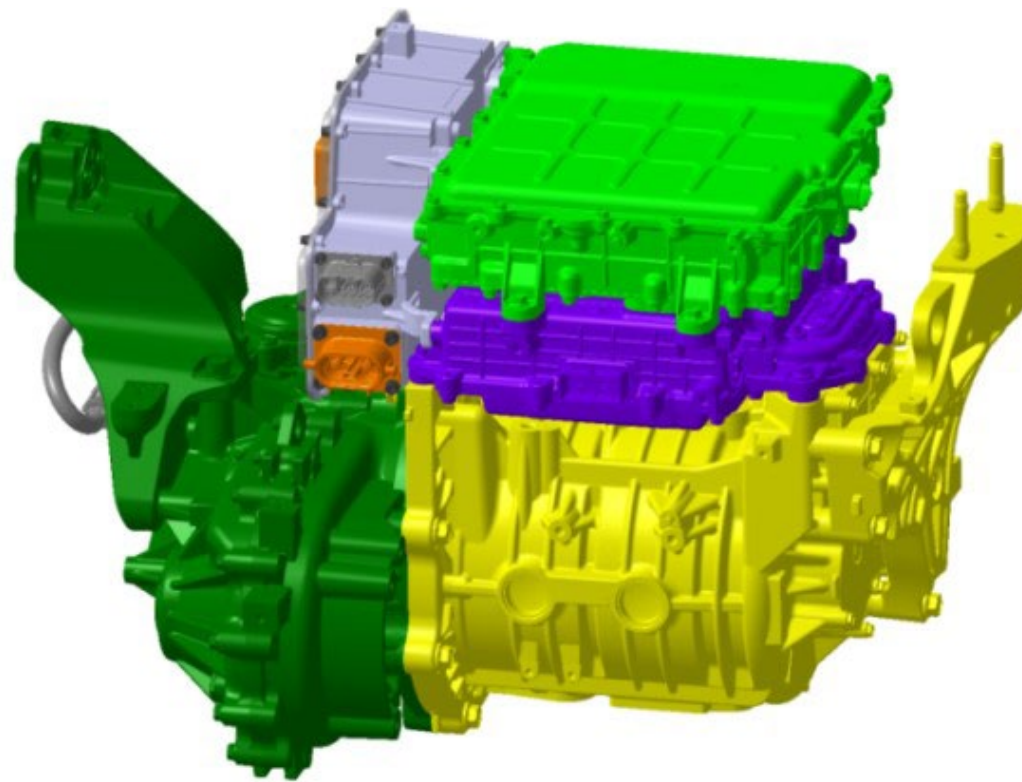


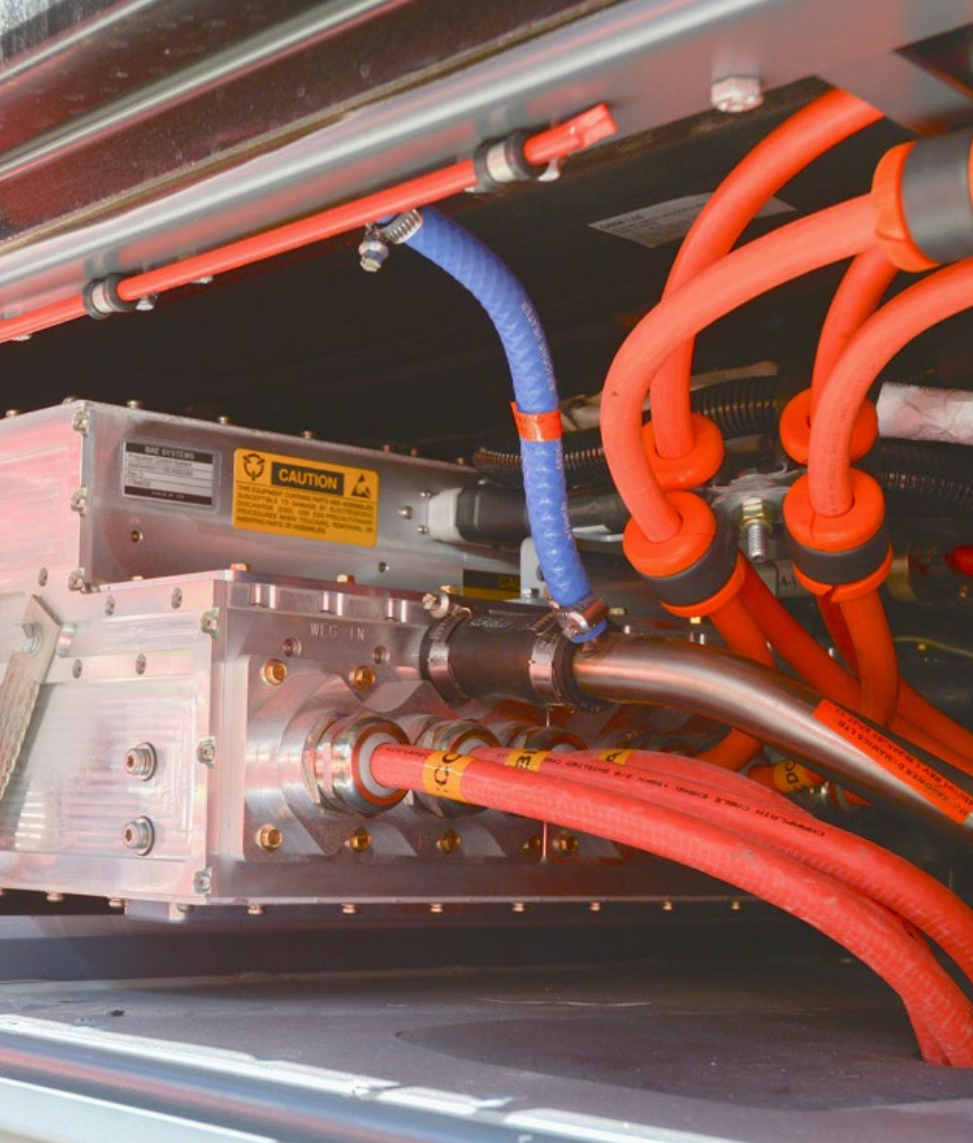
# Sähköauton komponentit





# Sähköauton komponentit

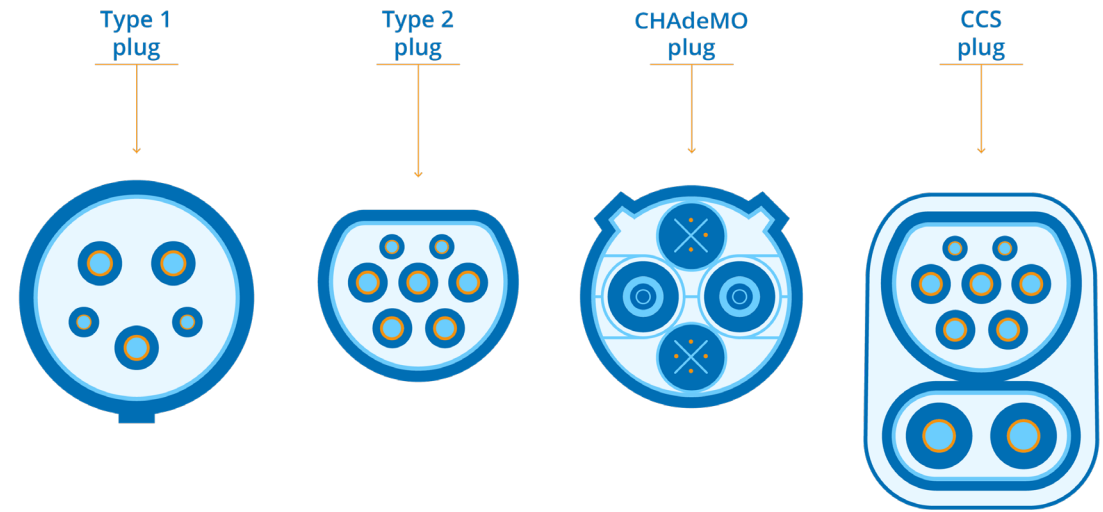




# Sähköauton komponentit

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

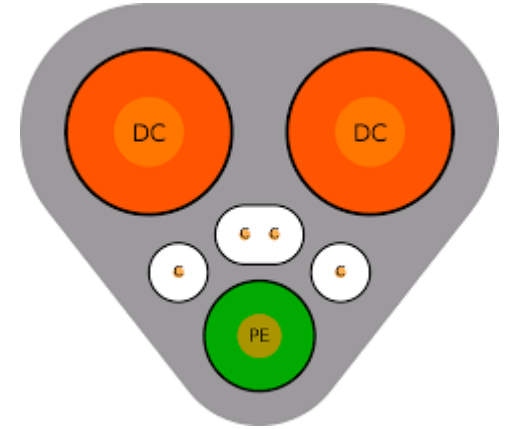
# Lataus



- 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

# Raskaan kaluston pikalataus

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





# Latauslaitteet

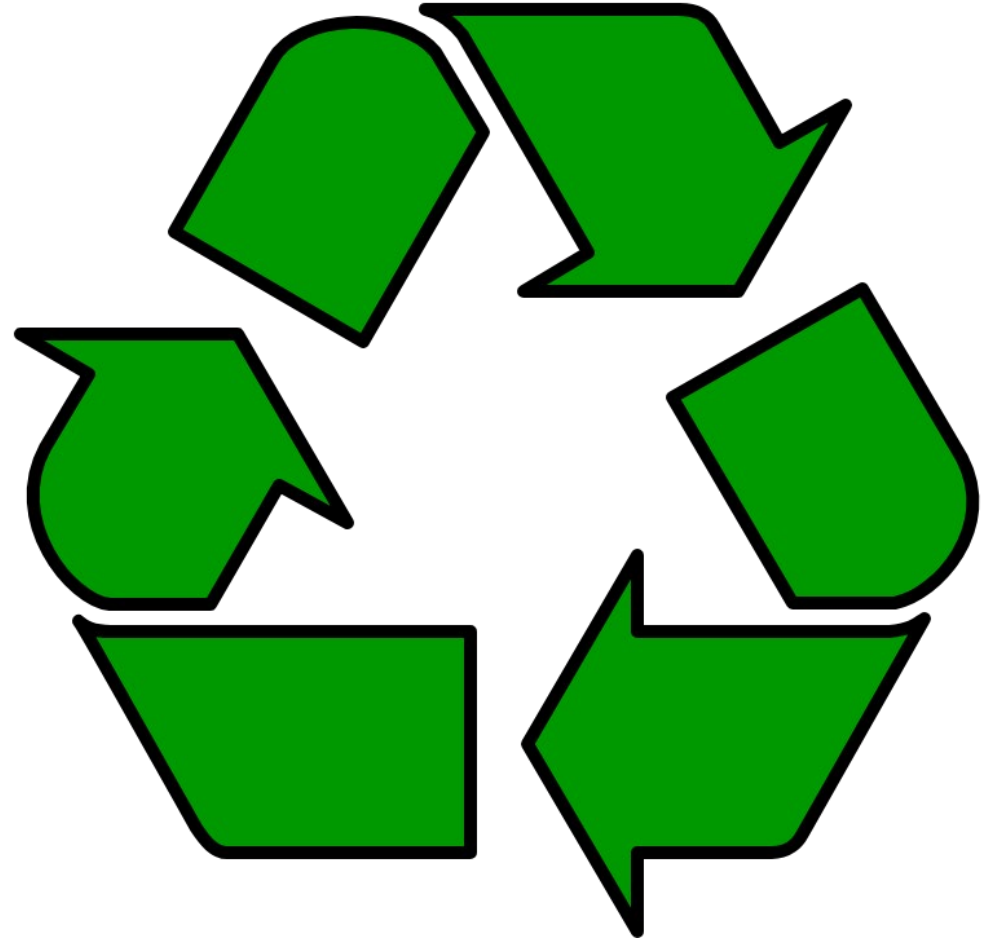
- Kiinteät
- Mobiilit
- Korjaamo/terminaali
- [Esim Kempower T-sarja:](#)

# Sähköauto korjaamolla

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

# 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



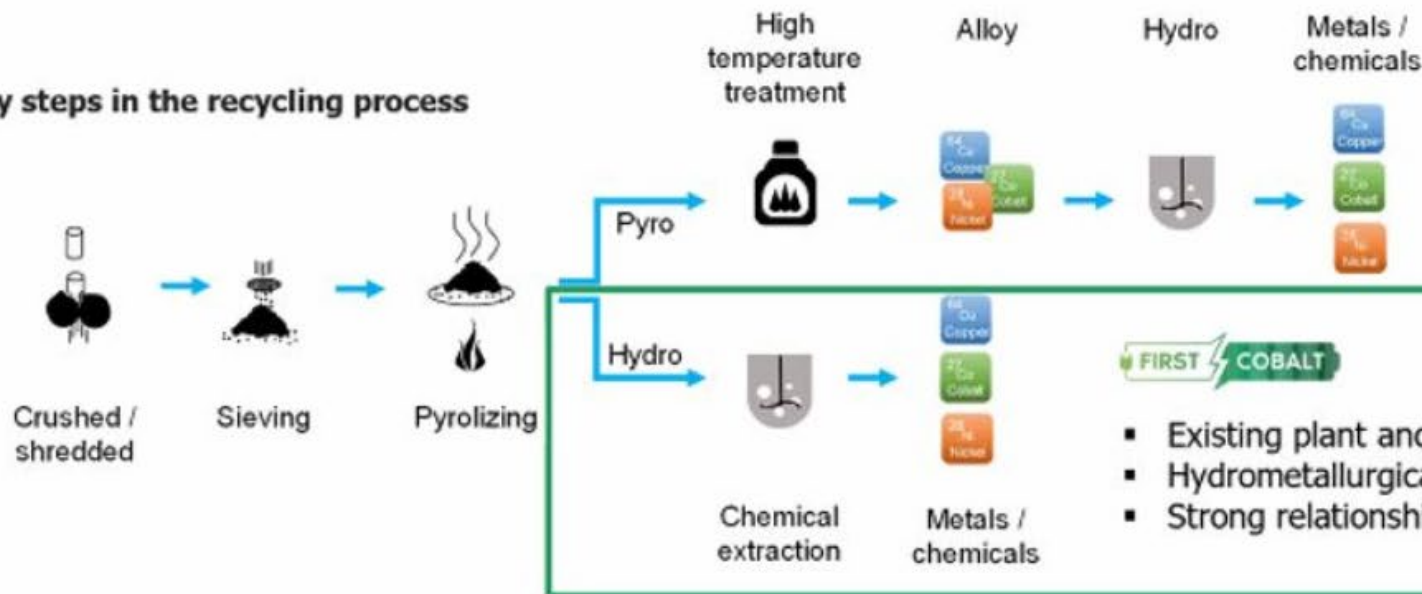
# Battery recycling process

## 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 tonnes<sup>1</sup>

- North America and Europe
- Rest of World



<sup>1</sup> BNEF (Battery Recycling Technology, A Primer)



Euroopan unionin  
rahoittama

NextGenerationEU



Rahoittaja

Jatkuvan oppimisen ja  
työllisyyden palvelukeskus

## Jukka Pellinen

puh 050 9176428

email [jukkatpellinen@gmail.com](mailto:jukkatpellinen@gmail.com)

Koulutus on rahoitettu Euroopan unionin elpymis- ja palautumistukivälineellä (RRF), joka on EU:n elpymisvälineen (Next Generation EU) suurin ohjelma. Rahoituksen on myöntänyt Jatkuvan oppimisen ja työllisyyden palvelukeskus. Palvelukeskus edistää työikäisten osaamisen kehittämistä ja osaavan työvoiman saatavuutta. Palvelukeskuksen toimintaa ohjaavat opetus- ja kulttuuriministeriö sekä työ- ja elinkeinoministeriö.

Sähköajoneuvokoulutus Jotpa -hankkeen toteuttaja:  
Äänekosken ammatillisen koulutuksen kuntayhtymä