## Hvorfor sammensættes batteriets elementer i serie og i parallel?

**Batteri eller element**

Et batteri er sammensat af flere elementer i serie eller i parallel. På engelsk hedder det *a* *battery pack*, og hvert element kaldes *a cell*, men i daglig tale bruges batteri både om det enkelte element og om en samling af elementer.

**Analogimodel af batterier i serie og i parallel**

Et element fungerer som mekanismen, der trækker vognen op ad bakken i starten af en rutsjebane. Resistorerne fungerer som friktionen fra skinner og luft, og den transporterede ladningsmængde fungerer som antallet af vogne på toget. Løftes en vogn til den dobbelte højde svarer til en serieforbindelse af batterier, hver person får tilført den dobbelte potentielle energi, men der transporteres ikke flere personer. To vogne, der i parallelle spor løftes op til den samme højde, fungerer som to elementer i parallel, hver person får ikke tilført mere energi, men der kan transporteres det dobbelte antal personer.

**Spænding og ladning i serie og i parallel**

Den leverede energi er uafhængig af hvordan elementerne er forbundne i et batteri. To elementer kan derfor levere den dobbelte energi i forhold til 1 element, uanset hvordan de er forbundne. Når to elementer forbindes i serie, adderes spændingen, men det gør den ikke hvis de forbindes parallelt. Da spænding er energi per ladning, kan den leverede energi skrives som spændingen ganget med den transporterede ladning.

$$energi = spænding ∙ strømstyrke ∙ tid$$

$$energi=\frac{energi}{ladning}∙\frac{ladning}{tid}∙tid$$

eller med symboler

$$E=U∙I∙t$$

* *Når to elementer er forbundet i serie, hvor både energi og spænding fordobles, så kan de transportere den samme ladning.*
* *Når to elementer er forbundet i parallel, hvor det kun er energien der fordobles og spændingen er uforandret, så kan de transportere den dobbelte ladning.*

Da strøm er ladning per tid, kan den leverede ladning skrives som strømstyrken ganget med tiden

$$ladning = strømstyrke ∙ tid$$

$$q=I∙t$$

**Hvor lang tid tager en opladning?**

**Eksempel 1.** *Opladning af en Tesla 85 S*

En oplader med effekten 10 kW skal bruge 8,5 h for at give en fuld opladning til en Tesla 85, med en energikapacitet på 85 kWh, fordi

$$ opladetid = \frac{batteriets energikapaciet}{opladerens effekt}=\frac{85 kWh}{10 kW}=8,5 h$$

**Opgave 1.** *Superoplader*

Hvorfor skal en 120 kW lynoplader kun bruge ½ time for at oplade batteriet til 70 % af fuld kapacitet på $85 kWh$

**Indre resistans af en serie-og parallelkobling af elementer**

**Eksempel 2.** *Indre resistans af batteriet i en Tesla 85 S*

Et enkelt Li-ion batteri har en indre resistans på $40 mΩ$. Når de 7102 elementer er forbundet med 96 s 74 p giver det en samlet indre resistans på

$$R\_{i, total}=\frac{antal i serie}{antal i parallel}∙R\_{i, enkelt}=\frac{96}{74}∙41 mΩ=53 mΩ$$

* To elementer i serie giver den indre resistans, der er dobbelt så stor som et enkelt element
* To elementer i parallel giver den indre resistans der er halvt så stor som et enkelt element

**Sammenhæng mellem indre resistens, størrelse, temperatur, ladningstilstand**

Elementets indre resistans.

Den indre resistans er et mål for, hvor svært det er for strømmen, at komme gennem selve elementet. Jo længere et element har været i brug, jo større bliver den indre resistans. Et elements indre resistans

* Aftager med størrelsen
* Aftager med temperaturen
* Vokser med den tid elementet har været i brug.

Den indre resistans af et AA element

* $0,9 Ω ved temperaturen-40 ℃$
* $0,15 Ω ved temperaturen-20 ℃$
* $0,1 Ω ved temperaturen 40 ℃$

*Læg mærke til at den indre resistans ikke opfører sig som en resistor, hvor resistansen vokser med temperaturen*