

# ONTWIKKELEN SIMULATIEMODEL VOOR ELEKTRISCH AANGEDREVEN VOERTUIGEN

Mark Taverniers

December 2019

# INHOUDSOPGAVE

## 1 DOELSTELLINGEN

# INHOUDSOPGAVE

- 1 DOELSTELLINGEN
- 2 ACHTERGRONDEN

# INHOUDSOPGAVE

- 1 DOELSTELLINGEN
- 2 ACHTERGRONDEN
- 3 KEUZE EN VERANTWOORDING

# INHOUDSOPGAVE

- 1 DOELSTELLINGEN
- 2 ACHTERGRONDEN
- 3 KEUZE EN VERANTWOORDING
- 4 METHODIEK

# INHOUDSOPGAVE

- 1 DOELSTELLINGEN
- 2 ACHTERGRONDEN
- 3 KEUZE EN VERANTWOORDING
- 4 METHODIEK
- 5 RESULTATEN

# Doelstellingen 1

## Simulatiemodel

- Ontwikkelen numeriek model voor (elektrisch aangedreven) voertuig
- i.e. batterij - omvormer - motor - aandrijflijn

## Doelstellingen 2

Gewenst resultaat ?

- Simulatie delen/geheel
- Simulatie extreme omstandigheden (boundary values)
- Vergelijken opties voor aankoop/implementatie
- Implementatie wat/als scenarios
- Uiteindelijk: formuleren best practice richtlijnen



# Achtergronden 1

## Stand van zaken algemeen

- Huidig onderwerp = batterij
- Voorlopig Li-ion (evt. andere technologie mogelijk)
- Hoofdgedachte bij bestaande modellen:
  - ① Parameter in  $\rightarrow$  parameter/data out
  - ② Output =  $SOC = f(I_{load})$ ,  $SOH = f(I_{load})$ ,  $V_{load} = f(I_{load})$

## Achtergronden 2

### Bestaande problematiek

- Nauwelijks/geen **data in** modellen
- Nagenoeg enkel **parameter in** gestuurd
- Parameters niet of onvoldoende nauwkeurig gekend
- Toepasingsgebied bestaande modellen beperkt
- Geen temperatuurs- of verouderingsinvloeden mogelijk
- Weinig betrouwbare SOC recovery methode (Coulomb counting)
- Geen combinatie transiënt én steady-state mogelijk
- Nauwkeurigheid output soms treurig ( $\varepsilon \geq 10\%$ )

# Achtergronden 3

## Bestaande modellen

- Drie grote concepten in omloop
  - 1 Elektrochemisch model
  - 2 Dynamisch model
  - 3 Equivalent elektrisch model

# Achtergronden 4

Bestaande modellen: elektrochemisch

- Elektrochemisch model
  - 1 Steunt op inwendige werking batterij (chemisch proces)
  - 2 (Meestal) 6 gekoppelde PDE's
  - 3 Zeer complex, zeer rekenintensief ( $t_{simul} \geq 2h$  !!!)
  - 4 Parameters nauwelijks te bepalen (geen info/fabricagegeheim)
  - 5 Zeer nauwkeurig ( $\varepsilon \leq 0.5\%$ )
  - 6 Vorm/aard outputvariabelen niet geschikt voor onze doelgroep
  - 7 Combinatie transiënt én steady-state mogelijk !
  - 8 Temperatuurs- en verouderingsinvloeden mogelijk

# Achtergronden 5

## Bestaande modellen: dynamisch

- Dynamisch model
  - 1 Steunt op analogie gekoppelde water reservoirs
  - 2 Twee (2) gekoppelde ODE's
  - 3 Weinig complex, weinig rekenintensief ( $t_{simul} \leq 10m$  !!!)
  - 4 Parameters moeilijk te bepalen wegens abstractie niveau
  - 5 Redelijk nauwkeurig ( $\epsilon \leq 5.0\%$ )
  - 6 Vorm/aard outputvariabelen niet geschikt voor onze doelgroep
  - 7 Geen steady-state mogelijk !
  - 8 Soms singuliere oplossingen ( $t \simeq \infty$  ?)
  - 9 Geen oplaadgedrag mogelijk

# Achtergronden 6

Bestaande modellen: equivalent elektrisch

- Equivalent elektrisch model

- 1 Steunt op Thévenin bron +  $n \cdot RC$  netwerken
- 2  $E_{th} + R_{th} = \text{steady state}$
- 3  $n \cdot RC$  netwerken = transiënt
- 4 Redelijk complex en rekenintensief ( $t_{simul} \leq 1 \text{ h} !!!$ )
- 5 Parameters (min. 6) moeilijk te bepalen (onvoldoende info/tests)
- 6 Elke parameter = 8 coëfficiënten =  $[m \times 8]$  datafit-stelsel
- 7 Redelijk nauwkeurig ( $\varepsilon(1 \cdot RC) \leq 5.0\%$ )
- 8 Vorm/aard outputvariabelen onmiddellijk bruikbaar voor doelgroep
- 9 Geen gecombineerde steady-state én transiënt mogelijk !
- 10 Soms  $t_{simul} \simeq \infty$  wegens cond(data arrays)
- 11 Wel oplaadgedrag mogelijk (mits aanpassingen)

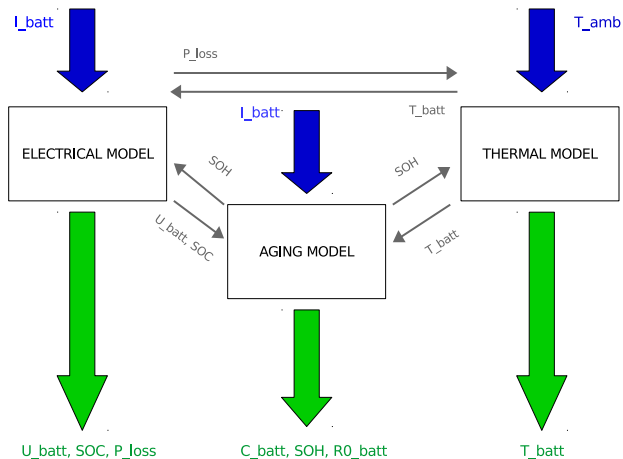
# Keuze en verantwoording 1

Keuze: equivalent elektrisch

- Equivalent elektrisch model met  $2 \cdot RC$
- Maar **data-driven** i.t.t. **parameter-driven**
- Dus parameters afleiden uit data maar...
  - 1 Beschikbare data niet of onvoldoende continu
  - 2 Beschikbare data bevat reeds meetfouten ( $\Delta x$  én  $\Delta y$  resolutie)
  - 3 Beschikbare data ongeschikt of indirect
  - 4 Beschikbare data wisselt ifv. partnerbedrijf
  - 5 Vorm aangeleverde data verschilt ifv. partnerbedrijf

# Methodiek 1

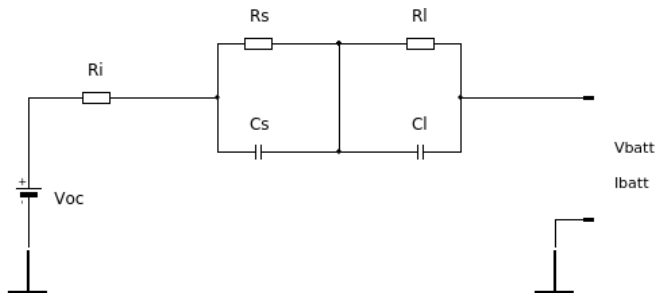
## Voorstel volledig simulatiemodel Li-ion batterij





# Methodiek 2

Keuze equivalent elektrisch: 2 · RC equivalent Thévenin model



## Methodiek 3

- Optimalisatie bestaat 2RC model met parameters
- Beste resultaat:  $\varepsilon(2 \cdot RC) \leq 2.0\%$  !
- Beste resultaat:  $t_{simul} \leq 4.0 \text{ min}$  !
- Uitbreiding naar  $\Delta T$  en  $\Delta t$  (lifecycle) bewerkingen
- Uitbreiding naar  $[E_{th}, R_{th}, RC_i] = f(SOC)$  (lokale terugkoppeling)
- Optimalisatie parameter-variantie matrix: soms niet inverteerbaar dus crash

## Methodiek 4

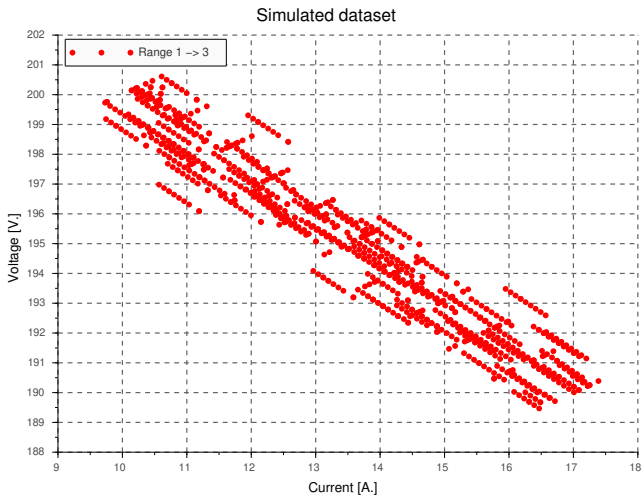
- Hoe parameters (meestal 6 of meer) afleiden uit data ?
  - 1 Selectie correcte en relevante data
  - 2 Aanpassen data lengte door decimatie/interpolatie (tgv. CAN rate)
  - 3 Statistische analyse op data ( $\varepsilon = f(\text{covariantie})$ )
  - 4 Isoleren en correleren subsets
  - 5 Aangepaste LSQ routines voor opstellen parameterset

## Methodiek 5

- Hoe (afgeleide) parameters gebruiken in model ?
  - 1 Model testen met gevonden parameters
  - 2 Waarmee vergelijken?
  - 3 Want:  $data_{in} \rightsquigarrow parameters \rightsquigarrow model \rightsquigarrow data_{out} = f(data_{in})$  ??
  - 4 Uitbreiden model met temperatuursafhankelijkheid
  - 5 Quid correlatie *elek. data - temp. data - life-cycle data* ?
  - 6 Uitbreiden model met SOH-afhankelijkheid
  - 7 Valideren volledig model middels 'onbekende' batterij ?

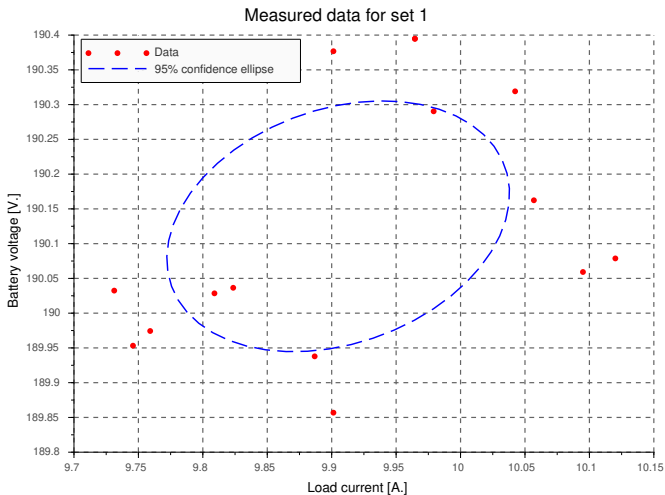
# Resultaten 1

## Gesimuleerde dataset



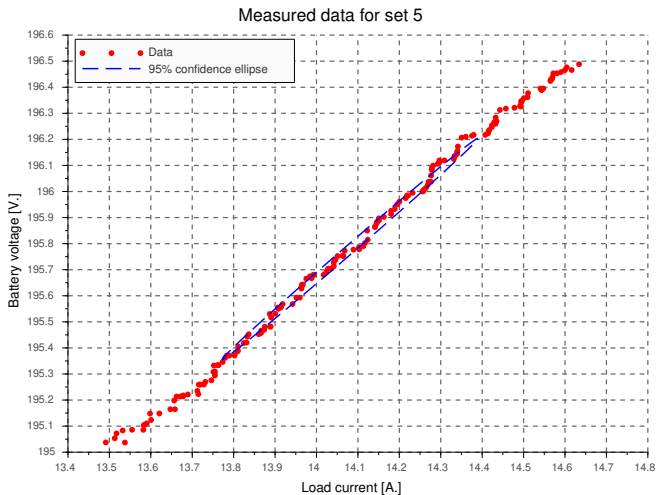
# Resultaten 2

## Geïsoleerde dataset 1



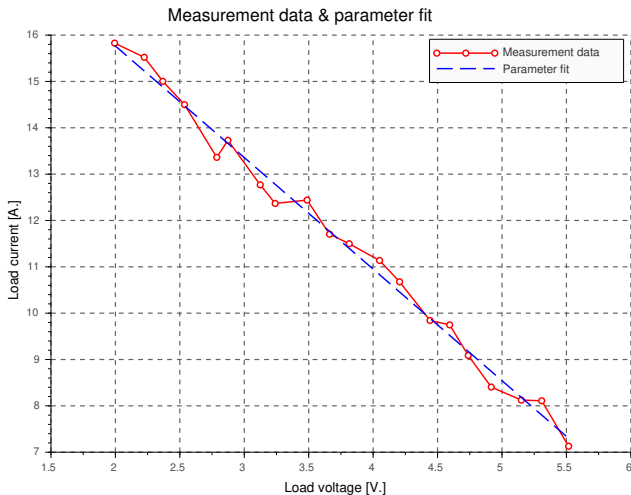
# Resultaten 3

## Geïsoleerde dataset 5



# Resultaten 3

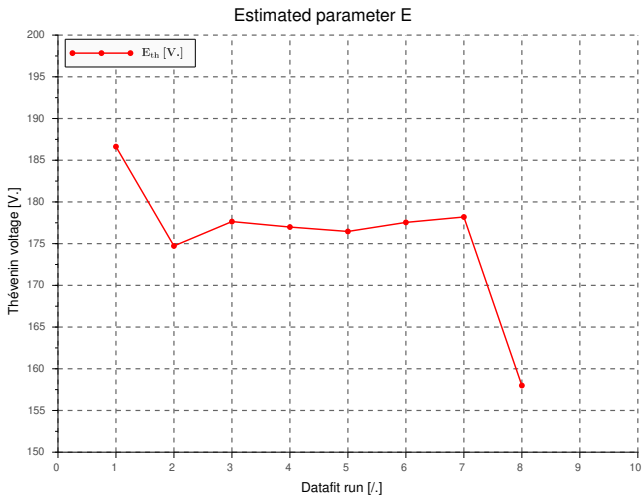
## Meetdata en parameterfit





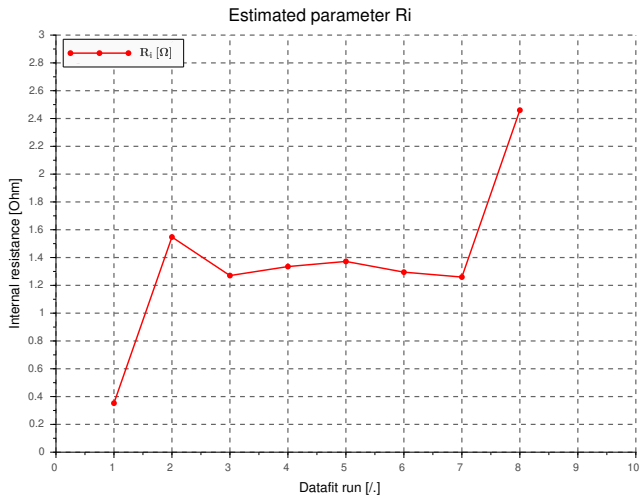
# Resultaten 4

## Thevenin parameter E



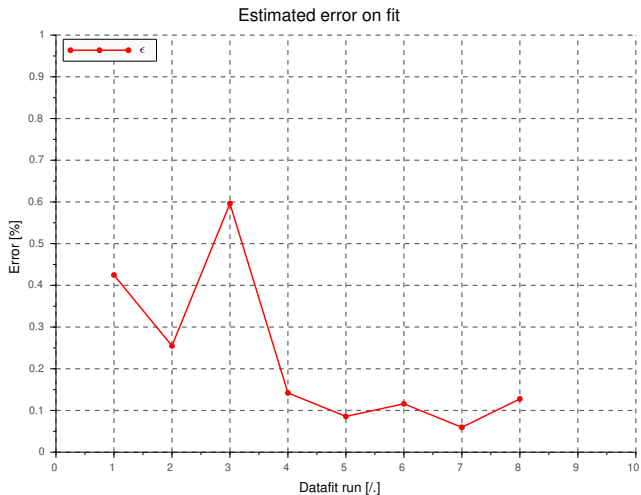
# Resultaten 5

## Thevenin parameter $R_i$



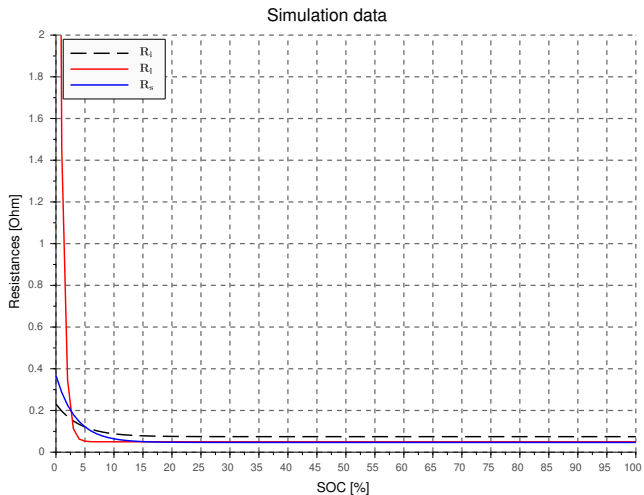
# Resultaten 6

## Thevenin parameter datafit error



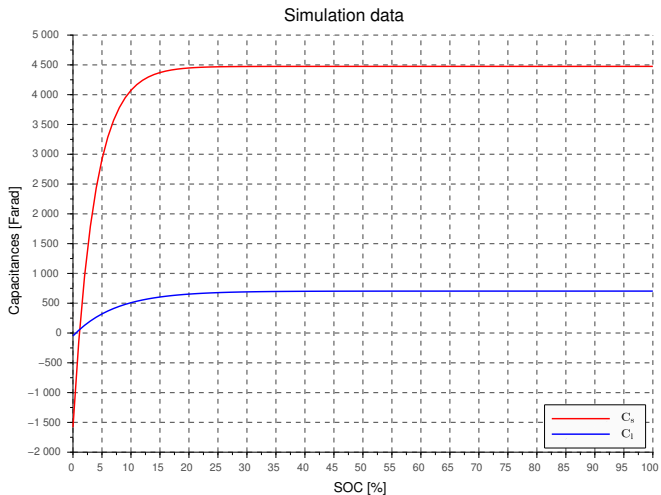
# Resultaten 7

## DP parameters resistanties



# Resultaten 8

## DP parameters capacitancies



Dank voor uw aandacht !!

Vragen ??