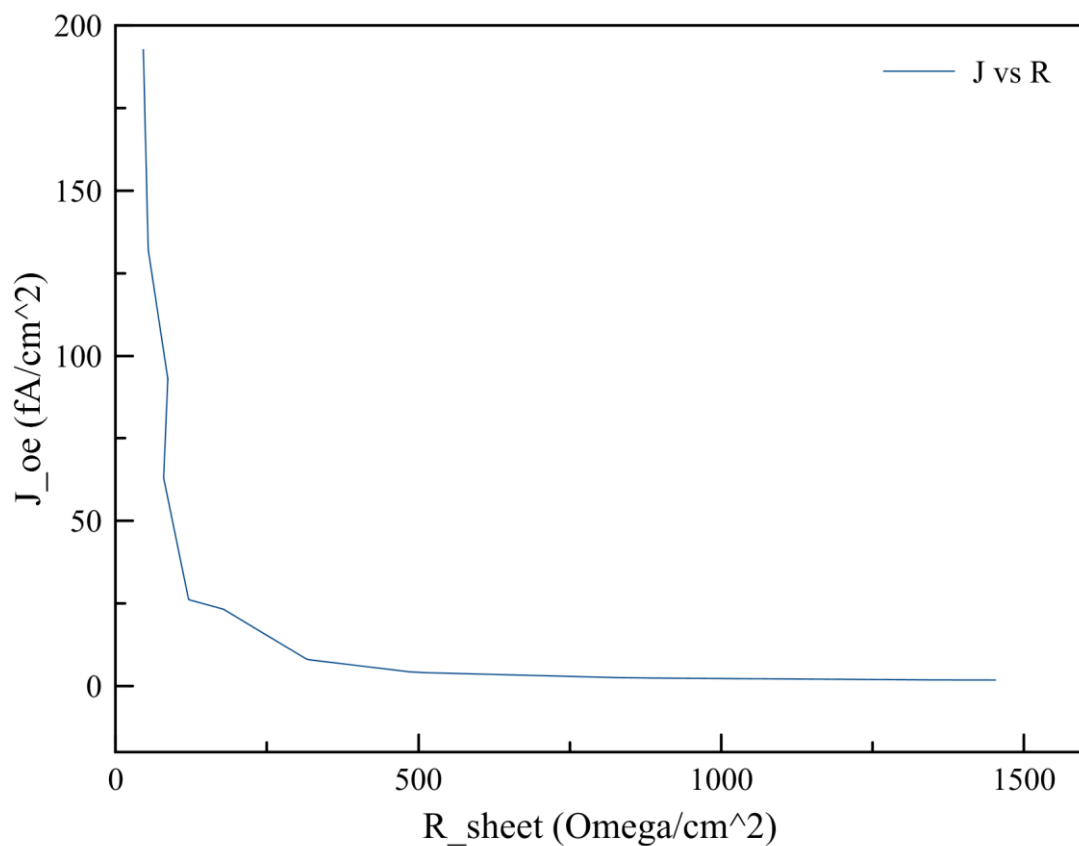


AV FURKAN KAYA

Oppgave 1: Simulasjon av emitter rekombinasjon

a) Vi skal i denne oppgaven simulere J_{oe} fra en serie av forskjellige emitter profiler. Resultatet vil vise i form av graf som viser J_{oe} vs p_{sheet} . Sistnevnte begrep står for sheet resistans (eller motstand på godt norsk).



Figur 1: viser J_{oe} vs R_{sheet}

Neste ledd i oppgaven var å sammenligne den figuren jeg fant med figur 4 i referanse 1. For dette henviser jeg derfor til den figuren før jeg faktisk sammenligner. Den virker å stemme. Her kan det også legges til at J_{oe} er i fA enhetene, mens R_{sheet} er i ohm/kvadrat.

- b) Her skal det gjøres en analytisk del først. Denne skal så sammenlignes med simulasjonsverdier i PC1D. Den analytiske delen ble gjort for hånd og følger nedenfor.

Den analytiske delen er basert på disse verdiene:

- $J_{oe} = 192,3 * 10^{-15} \text{ A/cm}^2$
- $J_{sc} = 38,5 * 10^{-3} \text{ A/cm}^2$
- $Akdop1 = 2.55 * 10^{20} \text{ cm}^{-3}$

Aktuelle ligninger blir da:

$$J_{tot} = J_{oe} \left(\exp\left(\frac{qv}{kt}\right) - 1 \right) - J_{sc} \quad (1)$$

$$V_{oc} = \frac{kt}{q} \ln\left(\frac{J_{sc}}{J_{oe}} + 1\right) \quad (2)$$

$$\eta = \frac{J_{sc} * V_{oc} * FF}{P_{sol}} \quad (3)$$

$$FF = \frac{J_{mpp} * V_{mpp}}{J_{sc} * V_{oc}} \quad (4)$$

Vi setter inn tallverdier inn i (2) for å finne V_{oc} :

$$V_{oc} = \frac{1.38 * 10^{-23} * 298}{1.602 * 10^{-19}} * \ln\left(\frac{38.5 * 10^{-3}}{192.3 * 10^{-15}} + 1\right)$$

$$V_{oc} = 0.668 \text{ V}$$

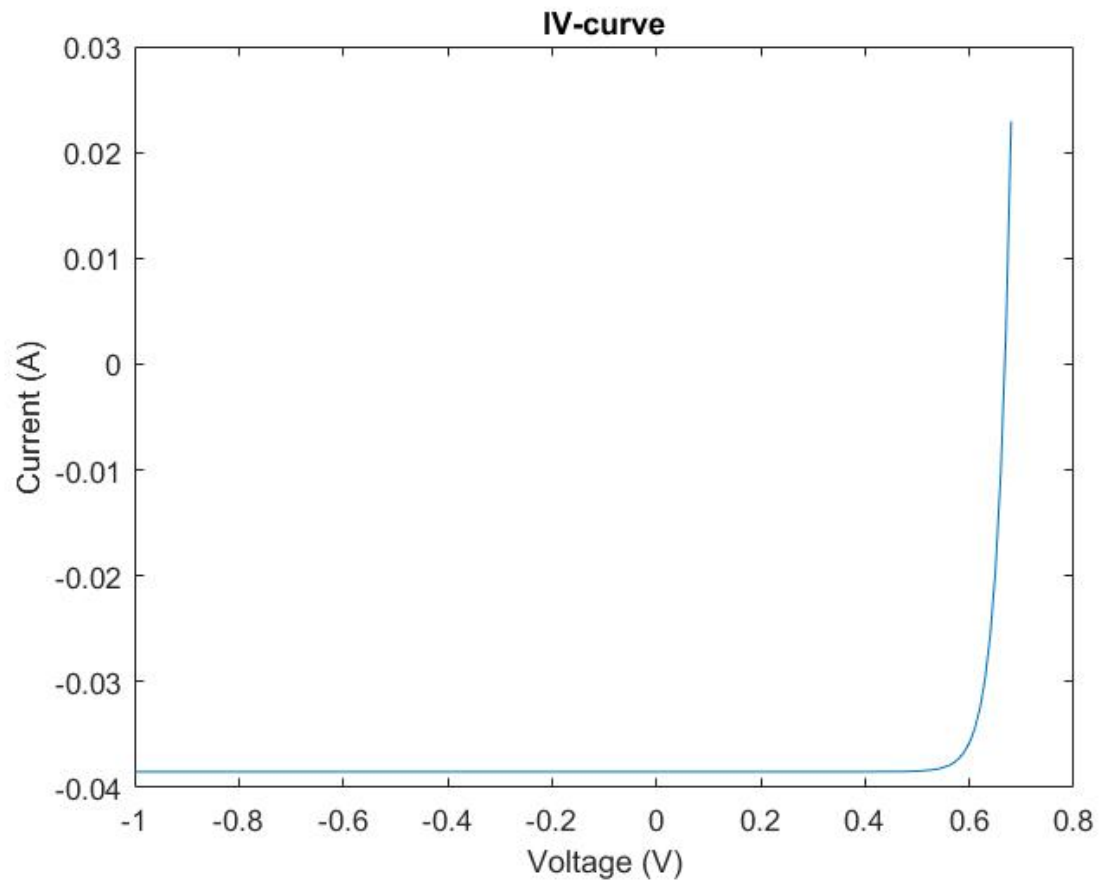
Så finner vi FF gjennom (5). Her måtte jeg finne verdiene for J_{mpp} og V_{mpp} . Dette ble gjort gjennom å plotte (1). Koden ble gjort i MATLAB og plottet følger også nedenfor.

```
J0 = 192.3e-15;
Jsc = 38.5e-3;
k = 1.38e-23;
V = [-1:0.01:0.68];
q = 1.602e-19;
T = 298;
```

```
J = J0 * ((exp((q*V)/(k*T))) - 1) - Jsc;
plot(V,J);
xlabel('Voltage (V)');
ylabel('Current (A)');
```

```
title('IV-curve');
```

Og plottet for I-V kurven er:

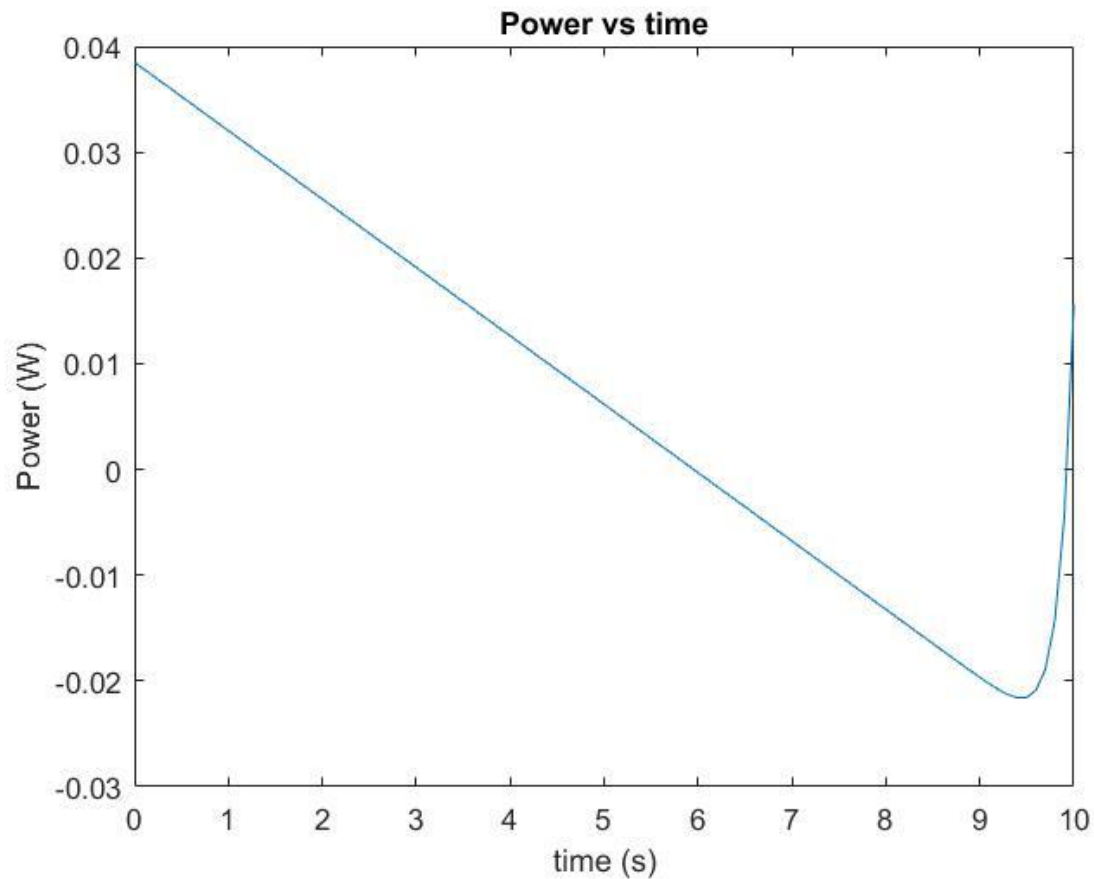


Figur 2: IV-kurve for løsning av analytisk oppgave

Så benyttet jeg meg av formelen for effekt for solceller gitt av:

$$P(t) = J(t) * V(t) \quad (5)$$

Her legger jeg ved koden og grafen for dette nedenfor:



Figur 3: viser forholdet effekt vs tid

Ved å bruke min-funksjonen i MATLAB får jeg effekten 0.0216 W. Denne kan altså brukes i ligning (3). Koden brukt er som følgende:

```
t = linspace(0,10);
P = J.*V;

plot(t,P);
xlabel('time (s)');
ylabel('Power (W)');
title('Power vs time');
```

Fyllfaktoren FF blir da:

$$FF = \frac{0.0216}{38.5 * 10^{-3} * 0.668} = 0.8399 \approx 84 \%$$

Da gjenstår effektiviteten. Denne finnes ved ligning (3).

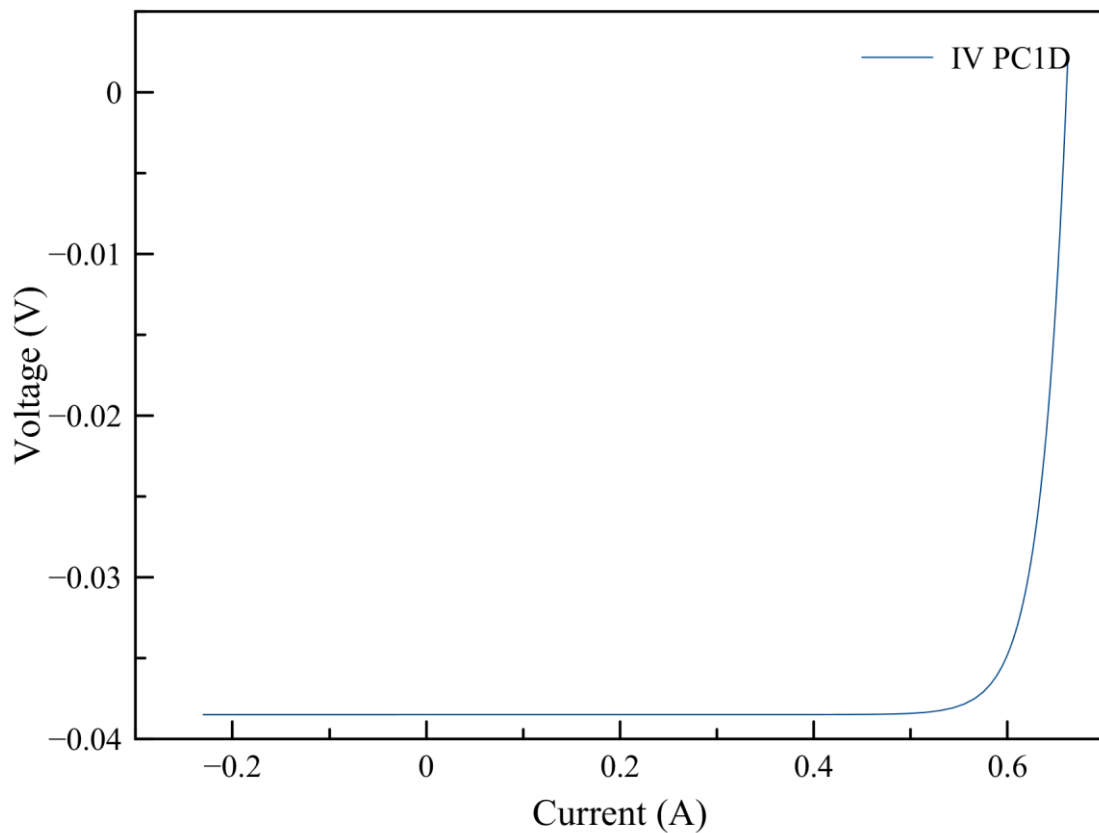
$$\frac{38.5 * 10^{-3} * 0.668 * 0.84}{0.1} = 0.216 \approx 21.6 \%$$

Man kan bruke (1) fordi det følger diodeligningen som en følge av at strømmen kun går i en retning, som sett i grafen i oppgave a). Vi ser også på plotten at det følger en negativ stigningstall som er eksponentiell. Det gir da at det kan beskrives av (1).

Siste punkt i oppgaven var å foreta de samme utregningene i PC1D og sammenligne dette med de analytiske verdiene som ble regnet ut tidligere i oppgaven. Vi skulle forsøke å få en J_{sc} på 38.5 mA/cm². Dette gjorde jeg ved å sette tykkheten til 90 mikrometer. Ellers er alle parametere som i PV_{cell} og med PC1D5 konfigurasjonsfilen. Base circuit er fra -1V til 0.7V. Resultatene og sammenligningen av dem foretas i tabellform (tabell 1).

Parameter	Analytisk	PC1D
J_{sc} (A)	38.5e-3	38.5e-3
V_{oc} (V)	0.668	0.6607
FF	0.84	0.8388
Effektivitet (%)	21.6	21.3

Jeg legger også ved I-V kurven for PC1D-simulasjonen for å vise at alt gikk korrekt for seg og at verdiene ikke er noe jeg har funnet helt opp i hodet.



Figur 4: IV-kurven til PC1D-simulasjonen

- c) I oppgaven antas det at bruk av uttrykket «i mørket» betyr at man ikke bruke illuminasjon og av den grunn skrur intensiteten av.

Her benytter jeg meg av likningen:

$$J_0 = \frac{J}{\frac{qv}{e^{kT}} - 1}$$

For å finne J_{oe} simulerer vi bare front rekombinasjonen, J_{base} finnes ved å simulere bare bulk rekombinasjon og J_{rear} finnes ved å simulere bak rekombinasjon. Når dette er gjort for hver rekombinasjon settes strøm verdien inn i J og en utregning regnes manuelt. Vi ser på et eksempel for bulk rekombinasjon:

$$J_o = \frac{0.6066}{\exp\left(\frac{(1.602 * 10^{-19} * 0.55)}{1.38 * 10^{-23} * 300} - 1\right)} = 3.46 * 10^{-10}$$

Flere simulasjoner gir oss disse verdiene:

$$J_{BSF} = 1.79363 * 10^{-13} \text{ A}$$

$$J_{oe} = 192.3 * 10^{-15} \text{ A}$$

$$J_{obase} = 3.46 * 10^{-13} \text{ A}$$

Fra grunnleggende studier av elektronikk har vi at:

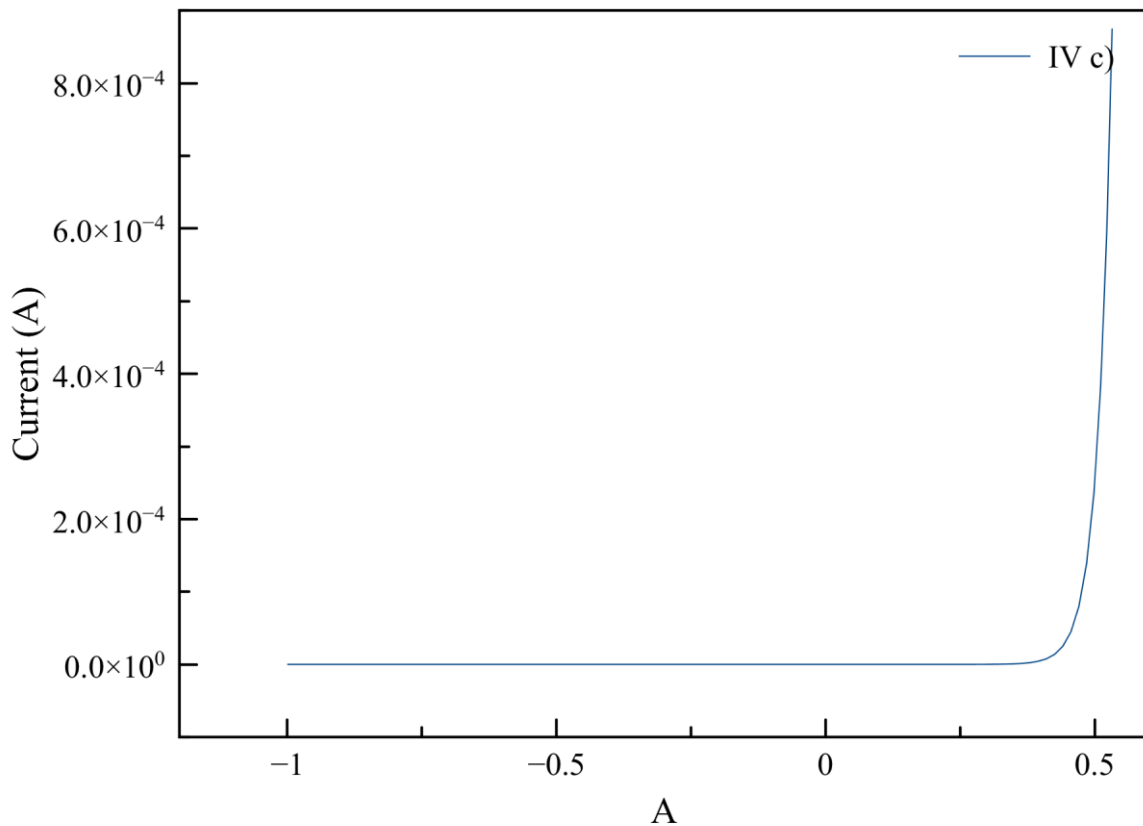
$$J_{tot} = J_{oe} + J_{obase} + J_{BSF}$$

I tallverdier blir dette da:

$$J_{tot} = 3.46 * 10^{-13} + 192.3 * 10^{-15} + 1.79363 * 10^{-13} \text{ A}$$

$$J_{tot} \approx 7.17663 * 10^{-13} \text{ A}$$

IV-kurven skal sammenlignes med den ideelle diodekurven.

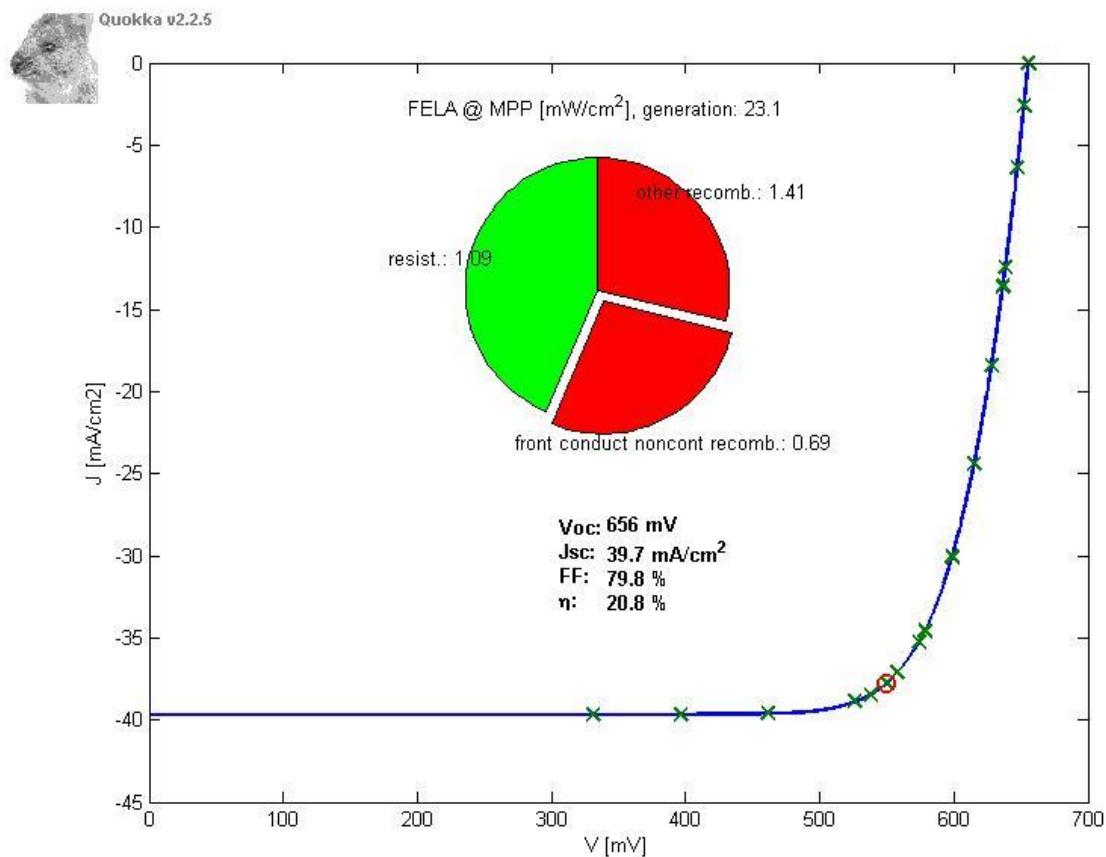


Figur 5: viser IV-kurven til oppgave c

Som man kan se på figur 4, så er formen til kurven lik det til den ideelle diodeligningen. Det gir da at det er ingen forskjell. Bortsett fra at verdiene er lavere for strøm-aksen som en følge av at det ikke var noen illuminasjon. Jeg vil si at kurven stemmer ganske bra med en-diode likningen.

Oppgave 2: Simulasjon av PERC (Passivated emitter and rear cell) solceller med relevante input parametere ved bruk av Quokka 2.2.5

- a) Vi skal vise IV-kurven og fire parametere.



Figur 6: viser IV-kurven gjort på Quokka 2.2.5

De forskjellige parametrene blir skrevet på nytt (de kan sees i figur 5) for sikkerhets skyld.

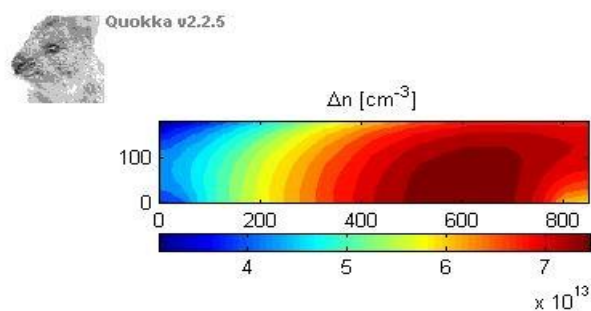
$$V_{oc} = 656 \text{ mV}$$

$$J_{sc} = 39.7 \frac{\text{mA}}{\text{cm}^2}$$

$$FF = 79.8 \%$$

$$\eta = 20.8 \%$$

b) Intensjonen er at vi skal finne Δn for henholdsvis MPP, J_{sc} og V_{oc} .

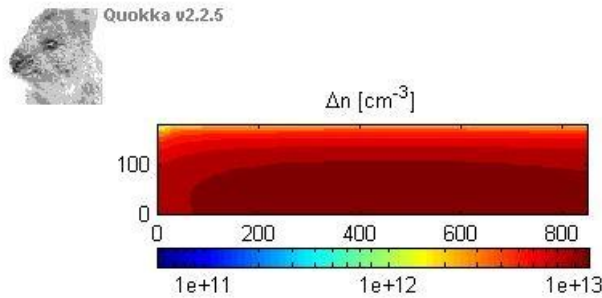


På figur 6 ser man overflødig ladningsbærerkonsentrasjon gitt i Δn for MPP.

Figur 7: viser delta n for MPP

Andre verdier som ble funnet med simulasjonen er: $V_{mpp} = 546 \text{ mV}$, $J_{mpp} = 37.8 \text{ mA/cm}^2$, $\eta = 20.7 \%$ og $n_{avg} = 6.43 * 10^{13} \text{ cm}^{-3}$.

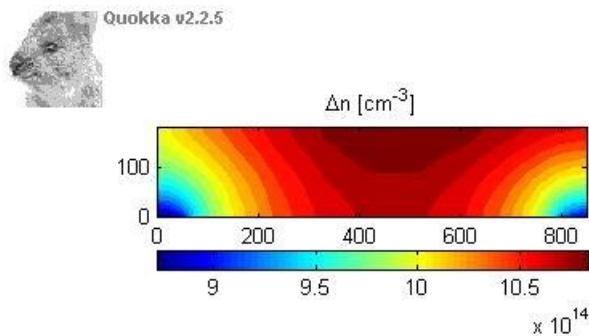
Så kommer figur 7 som viser overflødig ladningsbærerkonsentrasjon for J_{sc} .



Figur 8: Ladning bærerkonsentrasjon gitt for J_{sc}

Her kan man også legge til de andre verdiene som ble funnet. Disse er $n_{avg} = 1.11 * 10^{13} \text{ cm}^{-3}$ og $J_{sc} = 39.7 \text{ mA/cm}^2$.

Figur 8 viser ladningsbærerkonsentrasjonen for V_{oc} .

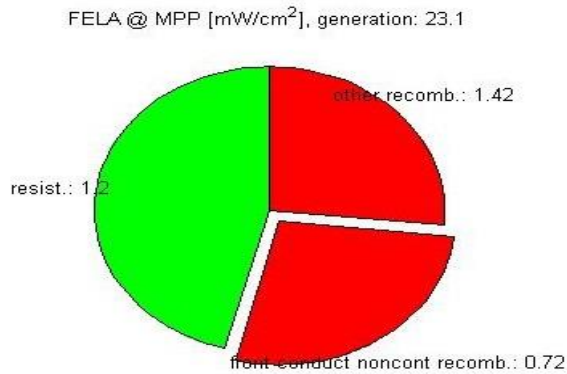


Andre verdier funnet i simulasjonen er:

$V_{oc} = 655 \text{ mV}$, $n_{avg} = 1.05 * 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ og $\tau_{eff} = 75.7 \mu\text{s}$.

Figur 9: viser ladning bærerkonsentrasjonen for V_{oc}

c) Her kan vi enten legge til kake-diagrammet i FELA eller hente resultatene fra resultat-structen i MATLAB. Jeg velger å gjøre begge. Kake-diagrammet blir gjort først.



Figur 10: Kake-diagram for FELA som viser effekt-tap

Det grønne effekt-tapet kommer av at kretsen ikke er en perfekt leder. Det skjer ved motstand i kretsen på en eller annen måte. I tillegg kommer tap i rødt som en følge av rekombinasjon. Kake-diagrammet fra FELA viser hvordan dette effekt-tapet skjer for PERC solcellen.

På figur 9 kan vi da se at av totalt 3.34 mW/cm² er 1.2 av resistans i kretsen, mens 0.72 skyldes rekombinasjon i front konduktiv og ikke-konduktiv grensen. 1.45 skyldes annet rekombinasjon.

Så lovet jeg å legge til flere resultater fra structen i MATLAB.

```

Weff: 179.3154 |   taueff: 85.8410 |   conduct: 3.1030e-04 |   Jrec_bulk: 0.4700

Seff: 63.7684   |   Jrec_front_noncont: 1.2883 |   Jrec_front_cont: 2.0283

Jrec_rear_noncont: 0.0921 |   Jrec_rear_cont: 4.1607   n_front_cont: 3.1518e+13

n_rear_cont: 5.0596e+13 |   Vmpp: 546.5527 |   Jmpp: 37.7671 |   eta: 20.6789

Rseries_mpp_pow: 0.8417

```

Litt vanskelig å forstå muligens, med de viktigste parametre er der.

d) I oppgave d) skal man sette inn verdiene for emitteren, J_{oe} og R_{sheet} fra oppgave 1 for å se på forskjellen.

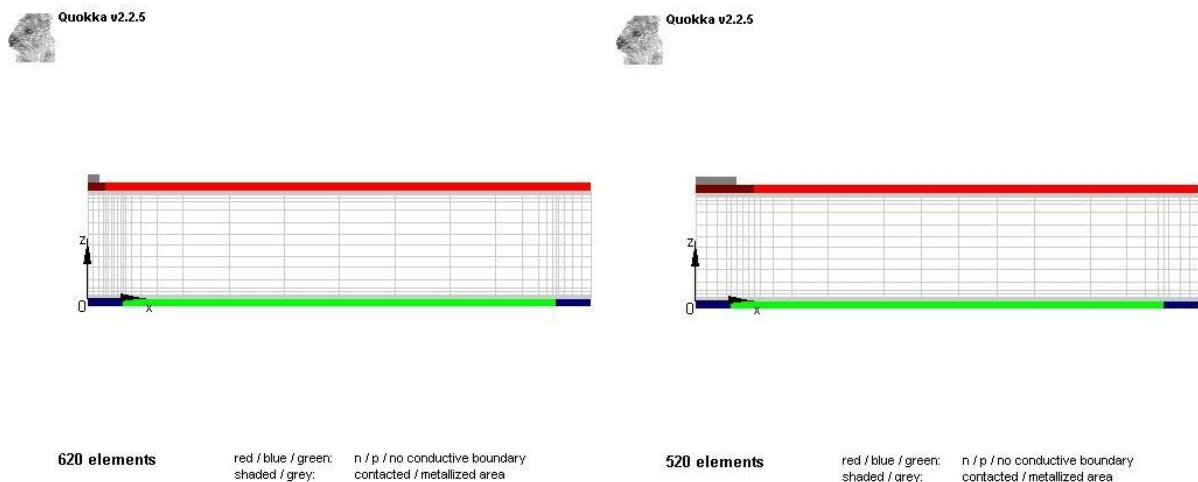
Her antar jeg at man da mener at man skal sammenligne med 2 a). Her fokuserer jeg bare på tallene ettersom plottene ligger ganske nært opp til hverandre.

Parameter	Opprinnelige verdier (fra a)	PC1D verdier (med Quokka)
$V_{oc} (mV)$	656	626
$J_{sc} (\frac{mA}{cm^2})$	39.7	38.9
FF	79.8	81.6
$\eta (i \%)$	20.8	19.9

Her bør jeg vel legge til at jeg brukte $J_{oe} = 192.3 * 10^{-15}$ og $R_{sheet} = 45.75$. Jeg satte inn en litt høyere J_{oe} for områdene under kontakt på $622 * 10^{-15}$ sammenlignet med de områdene som ikke var under kontakten. Dette ble funnet ved hjelp av PC1D.

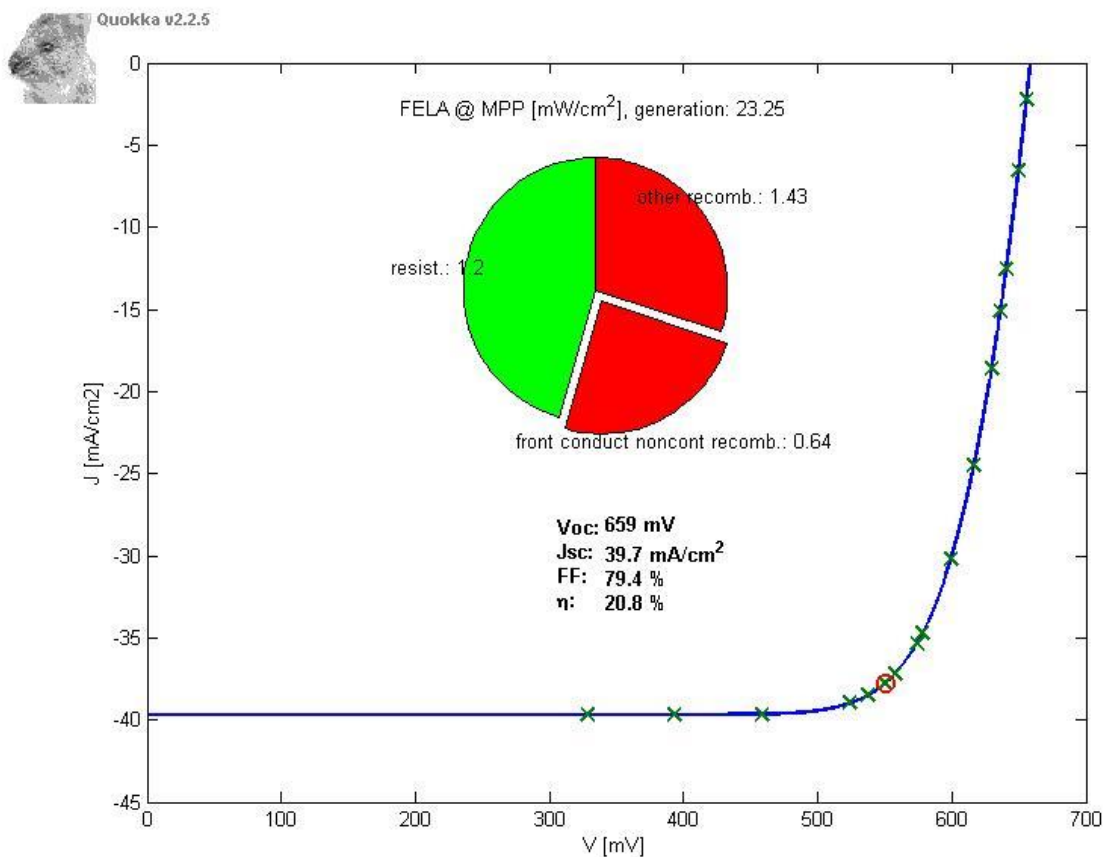
e) Oppgaveteksten sier at vi skal forandre en selvvalgt parameter.

Her velger jeg å forandre størrelsen på kontakten for å se på forskjellen mellom denne kontakten og den opprinnelige kontakten sett i oppgave a med verdier og graf. Jeg forandret front.contact og rear.contact. Verdiene gikk da fra 30 til 100 og 60 til 60. Dette kan sees i figur 10. Samtidig forandret jeg på generation.shading.width = til 100 fra 30 til venstre.

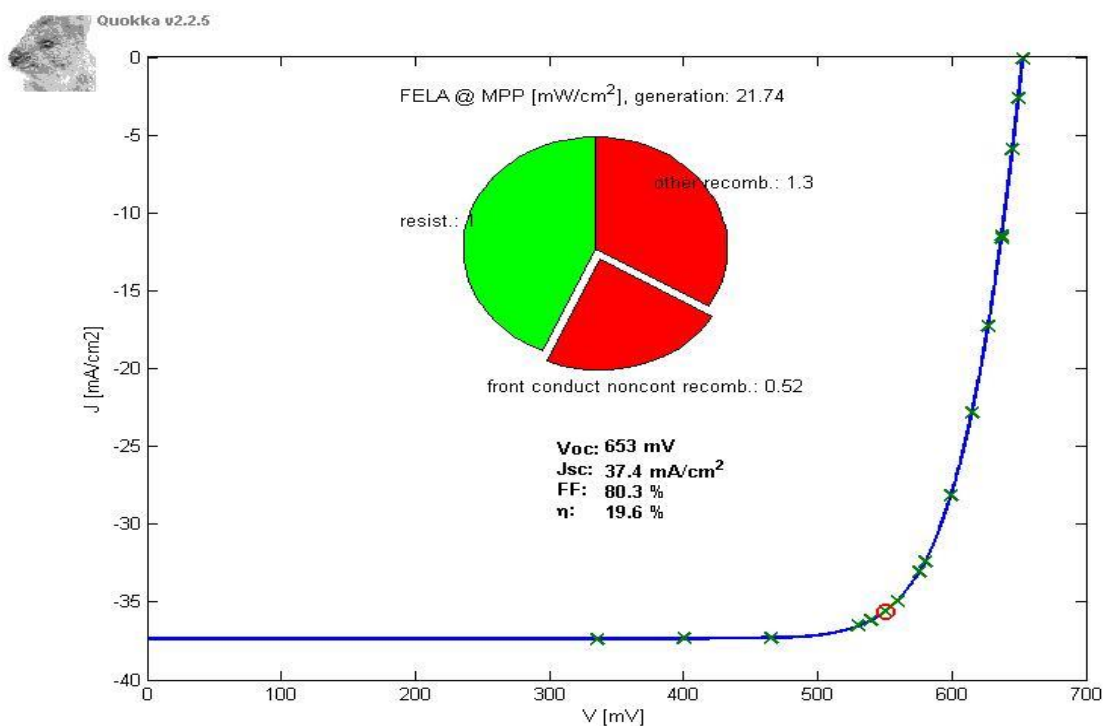


Figur 11: viser front.contact og rear.contact med opprinnelige og forandrete verdier (til høyre)

Så ser vi selve grafene og hvordan de forandret på verdiene, også her la jeg til begge grafene for sammenligningsgrunnlag:



Figur 12: viser graf, FELA og parameter-verdier med gammel kontaktstørrelse



Figur 13: viser figuren med forandrede verdier

Det er relativt små forskjeller i FELA-diagrammene. Her er resistans-delen av effekt-tap nesten halvert og spesielt rear rekombinasjon har tatt som dominerende form for effekt-tap. Effektiviteten er mye lavere og det samme er spenningen. Spenningen er noenlunde det samme, men selvsagt litt lavere her også.