

# Modellen en Simulatie: Beheer van een elektriciteitsnet

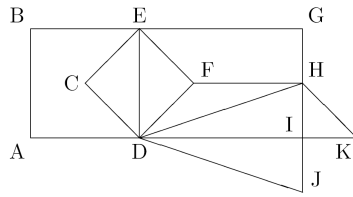
Joris Borgdorff

2 april 2004

## Inleiding

We beschouwen het schematische hoogspanningsnet uit onderstaande figuur. Op de punten A t/m K bevinden zich transformator-stations, waar de hoogspanning omgezet wordt in laagspanning voor de gebruikers. Een aantal van deze knooppunten (A, C, F, G, I en K) bevindt zich bij een elektriciteitscentrale. De levering van elektriciteit brengt een verschillende kosten met zich mee:

- Er twee verschillende typen centrales. Centrales van het ene type leveren 2 GW, centrales van het andere type 3 GW. De kosten van de productie van één MWh elektriciteit in een centrale van 2 GW zijn 105 euro, in een centrale van 3 GW is dat 95 euro.
- Bij het transport van elektriciteit over de hoogspanningskabels treedt verlies op. De extra kosten ten gevolge van dit verlies bedragen 100 euro per GWh per kilometer.
- De onderhoudskosten van het netwerk zijn 100.000 euro per kilometer kabel per jaar.
- De onderhoudskosten van een centrale van 2 GW zijn 50 miljoen per jaar, voor een centrale van 3 GW is dat 60 miljoen per jaar.



	Capaciteit	Behoefte
A	3000 MW	3500 MW
B		700 MW
C	2000 MW	500 MW
D		1500 MW
E		2500 MW
F	2000 MW	500 MW
G	3000 MW	1000 MW
H		1000 MW
I	3000 MW	1200 MW
J		1000 MW
K	3000 MW	1600 MW

	Afstand	Capaciteit
A - B	75 km	5
A - D	225 km	2
B - E	200 km	4
C - D	100 km	4
C - E	75 km	4
D - E	150 km	3
D - F	50 km	3
D - H	250 km	2
D - I	300 km	2
D - J	175 km	1
E - F	125 km	4
E - G	200 km	3
F - H	225 km	2
G - H	250 km	3
H - I	150 km	3
H - K	100 km	3
I - J	200 km	4
I - K	200 km	5

## Aanpassingen aan het net

### De kosten

De gezamenlijke elektriciteitsmaatschappijen willen weten of de kosten van de elektriciteitslevering niet omlaag kunnen. Ze denken hierbij aan de volgende maatregelen:

- het weghalen van hoogspanningslijnen (kosten 200.000 euro per kilometer);
- het installeren van extra hoogspanningslijnen op een bestaand traject (kosten 500.000 euro per kilometer);
- het ontmantelen van een centrale (kosten 5,5 miljoen euro);
- het ombouwen van een 2 GW centrale tot een 3 GW centrale (kosten 70 miljoen euro);
- het ombouwen van een 3 GW centrale tot een 2 GW centrale (kosten 45 miljoen euro);
- het bouwen van een nieuwe 2 GW centrale (kosten 400 miljoen euro);
- het bouwen van een nieuwe 3 GW centrale (kosten 450 miljoen euro);
- het bouwen van een (nieuwe) 4 GW kerncentrale (bouwkosten 1 miljard euro, onderhoudskosten 100 miljoen euro per jaar, productiekosten 80 euro per MWh).

	2 GW	3 GW	4 GW	2 GW weg	3 GW weg
Eenmalig	400	450	1000	5,5	5,5
Per jaar	50	60	100	-50	-60
Totaal	550	630	1300	-144,5	-174,5

Tabel 1: Netto kosten bouwen/ontmantelen centrales in miljoenen

	2 GW → 3 GW	3 GW → 2 GW	3 GW → 4 GW
Eenmalig	70	45	1000
Per jaar	10	-10	40
Totaal	100	15	1120

Tabel 2: Netto kosten ombouwen centrales in miljoenen

De elektriciteitsmaatschappijen spreken de wens uit dat de investeringen zichzelf binnen 3 jaar terugverdienen. Bij het doorrekenen van de effecten van de investeringen wensen ze uit te gaan van de reguliere energiebehoefte (dus niet die op hete zomerdagen).

## Advies aan de elektriciteitsmaatschappijen

Om kosten te besparen heb ik gekeken naar twee dingen: de kosten van de hoogspanningskabels en de kosten van de centrales.

### Elektriciteitscentrales

De elektriciteitscentrales zijn een lastiger geval. In tabel 1 en tabel 2 zie je de netto kosten van het bouwen, ontmantelen of ombouwen van centrales. Met Mathematica kun je nu een verstelbare functie definiëren

```

kosten[x1_, y1_, x2_, y2_, x3_, y3_, x4_, y4_, x5_, y5_, x6_,
      y6_, x7_, y7_, x8_, y8_, x9_, y9_, x10_, y10_, x11_,
      y11_]
:= ConstrainedMin[y1*PA + y2*PB + y3*PC + y4*PD + y5*PE + y6*PF
      + y7*PG + y8*PH + y9*PI + y10*PJ + y11*PK +
      0.1((TAB + TBA)AAB + (TAD + TDA)AAD + (TBE + TEB)ABE +
      (TCD + TDC)ACD + (TCE + TEC)ACE + (TDE + TED)ADE +
      (TDF + TFD)ADF + (TDH + THD)ADH + (TDI + TID)ADI +
      (TDJ + TJD)ADJ + (TEF + TFE)AEF + (TEG + TGE)AEG +
      (TFH + THF)AFH + (TGH + THG)AGH + (THI + TIH)AHI +
      (TIJ + TJI)AIJ + (THK + TKH)AHK + (TIK + TKI)AIK),
      {PA <= x1, PB <= x2, PC <= x3, PD <= x4, PE <= x5,
      PF <= x6, PG <= x7, PH <= x8, PI <= x9, PJ <= x10,
      PK <= x11,
      TAB + TBA <= 2500, TAD + TDA <= 1000, TBE + TEB <= 2000,
      TCD + TDC <= 2000, TCE + TEC <= 2000, TDE + TED <= 1500,

```

```

TDF + TFD <= 1500, TDH + THD <= 1000, TDI + TID <= 1000,
TDJ + TJD <= 500, TEF + TFE <= 2000, TEG + TGE <= 1500,
TFH + THF <= 1000, TGH + THG <= 1500, THI + TIH <= 1500,
THK + TKH <= 1500, TIJ + TJI <= 2000, TIK + TKI <= 2500,
PA + TBA + TDA - TAB - TAD >= WA,
PB + TAB + TEB - TBA - TBE >= WB,
PC + TDC + TEC - TCD - TCE >= WC,
PD + TAD + TCD + TED + TFD + THD + TID + TJD - TDA - TDC
- TDE - TDF - TDH - TDI - TDJ >= WD,
PE + TBE + TCE + TDE + TFE + TGE - TEB - TEC - TED - TEF
- TEG >= WE,
PF + TDF + TEF + THF - TFD - TFE - TFH >= WF,
PG + TEG + THG - TGE - TGH >= WG,
PH + TDH + TFH + TGH + TIH + TKH - THD - THF - THG - THI
- THK >= WH,
PI + TDI + THI + TJI + TKI - TID - TIH - TIJ - TIK >= WI,
PJ + TDJ + TIJ - TJD - TJI >= WJ,
PK + THK + TIK - TKH - TKI >= WK},
{PA, PB, PC, PD, PE, PF, PG, PH, PI, PJ, PK, TAB, TBA, TAD,
TDA, TBE, TEB, TCD, TDC, TCE, TEC, TDE, TED, TDF, TFD,
TDH, THD, TDI, TID, TDJ, TJD, TEF, TFE, TEG, TGE, TFH,
THF, TGH, THG, THI, TIH, THK, TKH, TIJ, TJI, TIK, TKI}];

```

en hiermee kan ja dan kijken wat de verschillende kosten zijn voor verschillende centrales binnen 3 jaar met de opdrachten hieronder:

```

jaar=365*24;
k1=kosten[3000,95,0,0,2000,105,0,0,0,0,2000,105,3000,95,0,0,3000,
95,0,0,3000,95]
k2=kosten[3000,95,0,0,3000,95,0,0,0,0,3000,95,3000,95,0,0,3000,
95,0,0,3000,95]
First[k1]-First[k2];
%*3*jaar

```

Door k2 te variëren door centrales om te bouwen, te ontmantelen of ombouwen zie je precies wat de winst of kost op het net is van een bepaalde keuze. Als de winst lager is dan het verlies die je in de tabellen ziet moet je niks veranderen.

Hier zijn een aantal zaken die winst opleveren:

- De 3 GW centrale op A ombouwen naar een 4 GW centrale.
- De centrale bij C ontmantelen.
- Een 4 GW centrale op E bouwen.
- De 2 GW centrale op F ombouwen tot 3 GW.

De kosten hiervoor in miljoenen zijn, afgelezen van tabel 1 en tabel 2:

$$1120 - 144,5 + 1300 + 100 = 2375,5.$$

De bruto winst is dan te berekenen met

```
jaar=365*24;
k1=kosten[3000,95,0,0,2000,105,0,0,0,0,2000,105,3000,95,0,0,3000,
          95,0,0,3000,95]
k2=kosten[4000,80,0,0,0,0,0,0,4000,80,3000,95,3000,95,0,0,3000,
          95,0,0,3000,95]
First[k1]-First[k2];
%*3*jaar
```

waar ongeveer 6031 miljoen uit komt. De netto winst is dan  $6031 - 2375,5 \approx 3655$  miljoen.

### Hoogspanningskabels

Qua hoogspanningskabels is er een grote overvloed, een groot gedeelte vervoert niet eens stroom. Omdat het weghalen 200.000 euro per kilometer kost en het onderhoud 100.000 euro per kilometer per jaar kan je overbodige hoogspanningskabels weghalen. Hierbij moet echter wel gelet worden op de stabiliteit van het systeem: het is niet de bedoeling dat bij een kleine storing in een centrale het hele net uitvalt. Daarom stel ik voor om de capaciteit van ongebruikte lijnen te verlagen naar 1. Dit zijn de kabels van C naar D, D naar H, D naar J, E naar F, E naar G, F naar H, G naar H, H naar I en I naar K. Dit betekent dat de lengte weggehaalde kabel

$$3 \cdot 100 + 1 \cdot 250 + 0 \cdot 175 + 3 \cdot 125 + 2 \cdot 200 + 1 \cdot 225 + 2 \cdot 250 + 2 \cdot 150 + 4 \cdot 100 = 2750$$

kilometer is, de kosten

$$200.000 \cdot 2750 = 550 \cdot 10^6$$

zijn, dus 550 miljoen euro, en de netto winst na 3 jaar

$$3 \cdot 100.000 \cdot 2750 - 550 \cdot 10^6 = 275 \cdot 10^6$$

euro is.

Bij de wel gebruikte lijnen stel ik voor de capaciteit te verlagen tot er minstens één kabel marge is. Dit is in het geval van A naar B verlagen met drie kabels, B naar E met twee, van C naar E met twee, van I naar J ook met één. Dan haal je in totaal

$$3 \cdot 75 + 2 \cdot 200 + 2 \cdot 75 + 1 \cdot 200 = 975$$

kilometer weg wat als kosten betekent

$$200.000 \cdot 975 = 195 \cdot 10^6$$

euro en als netto winst

$$3 \cdot 100.000 \cdot 975 - 195 \cdot 10^6 = 97,5 \cdot 10^6$$

euro.

Als je nu kijkt of er nog meer kabels aangelegd moeten worden, blijkt dit niet het geval te zijn, de lijnen die aan hun maximum zitten gebruiken ook niet meer stroom als ze meer capaciteit hebben.