

Impact van minimale transmissiecapaciteit voor grensoverschrijdende handel op elektriciteitsmarkten in Centraal West-Europa

Ben Callaerts

Thesis voorgedragen tot het behalen
van de graad van Master of Science
in de ingenieurswetenschappen:
energie

Promotor:

Prof. dr. ir. E. Delarue

Assessoren:

Prof. dr. ir. W. D'haeseleer

Dr. ing. H. Ergun

Begeleider:

Ir. M. Kenis

© Copyright KU Leuven

Zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van zowel de promotor als de auteur is overnemen, kopiëren, gebruiken of realiseren van deze uitgave of gedeelten ervan verboden. Voor aanvragen tot of informatie i.v.m. het overnemen en/of gebruik en/of realisatie van gedeelten uit deze publicatie, wend u tot Faculteit Ingenieurswetenschappen, Kasteelpark Arenberg 1 bus 2200, B-3001 Heverlee, +32-16-321350.

Voorafgaande schriftelijke toestemming van de promotor is eveneens vereist voor het aanwenden van de in deze masterproef beschreven (originele) methoden, producten, schakelingen en programma's voor industrieel of commercieel nut en voor de inzending van deze publicatie ter deelname aan wetenschappelijke prijzen of wedstrijden.

Voorwoord

Dit is mijn dankwoord om iedereen te danken die mij bezig gehouden heeft. Hierbij dank ik mijn promotor, mijn begeleider en de voltallige jury. Ook mijn familie heeft mij erg gesteund natuurlijk.

Ben Callaerts

Inhoudsopgave

Voorwoord	i
Samenvatting	iii
Lijst van figuren en tabellen	iv
Lijst van afkortingen en symbolen	v
Sets	v
Parameters	v
Variabelen	v
1 Inleiding	1
1.1 Context en motivatie	1
1.2 Onderzoeksvraag	1
1.3 Samenvatting van de resultaten	2
1.4 Structuur	2
2 Literatuurstudie	3
2.1 Capaciteitstoewijzing	3
2.2 Stroomgebaseerde marktkoppeling	3
2.3 Conclusie	4
3 Modelleren	5
3.1 Conceptueel model	5
3.2 Wiskundige model	5
3.3 Conclusie	6
4 Resultaten	7
4.1 Modus operandi	7
4.2 Resultaten en analyse	7
4.3 Realiteit, beleidsadvies	7
4.4 Conclusie	7
5 Conclusie	9
5.1 Samenvatting	9
5.2 Toekomstig onderzoek	9
Bibliografie	13

Samenvatting

In dit **abstract** environment wordt een al dan niet uitgebreide samenvatting van het werk gegeven. De bedoeling is wel dat dit tot 1 bladzijde beperkt blijft.

Lijst van figuren en tabellen

Lijst van figuren

Lijst van tabellen

Lijst van afkortingen en symbolen

Afkortingen

FBMC	Flow Based Market Coupling
CNTC	Coordinated Net Transmission Capacity
TSB	Transmissiesysteembeheerder
RAM	Remaining Available Margin
DA	Day-Ahead
ID	Intra-Day

Sets

$z \in Z$	zones
$n \in N$	knooppunten
$l \in L$	lijnen
$p \in P$	energiecentrales

Parameters

g_p^{max}	geïnstalleerde generatie-capaciteit van energiecentrale [MW]
c_p^{gen}	marginale generatiekost van energiecentrale [EUR/MWh]
$ptdf^N$	nodale PTDF matrix
$ptdf^Z$	zonale PTDF matrix
f^{D-2}	voorspelde energiestroom op D-2
np^{D-2}	voorspelde netto positie op D-2
$mp(z)$	verzameling van energiecentrales per zone
$mp(n)$	verzameling van knooppunten per zone

Variabelen

G_p	generatie van energiecentrale [MWh]
NP_z	nettopositie van zone [MWh]

Expressies

CG_z	generatiekost van zone [EUR]
F_l^{phys}	fysieke energiestromen [MW]
F_l^{comm}	commerciële energiestromen [MW]
F_l^{loop}	lusstromen [MW]
F_l^{trans}	transitstromen [MW]
RAM_l^{pos}	positieve resterende beschikbare transmissiecapaciteit [MW]
RAM_l^{neg}	negatieve resterende beschikbare transmissiecapaciteit [MW]

Symbolen

Engelse termen

Congestiebeheer	Congestion management
Gecoördineerde nettotransmissiecapaciteit	Coordinated Net Transmission Capacity
Grens- of zoneoverschrijdende capaciteit	Cross-border capacity
Lusstromen	Loop flows
Resterende beschikbare marge	Remaining Available Margin
Stroomgebaseerde marktkoppeling	Flow Based Market Coupling
Transmissiesysteembeheerder	Transmission System Operator

Hoofdstuk 1

Inleiding

Deze thesis ontwikkelt en evalueert een model die de minimale transmissiecapaciteit gegeven aan de markt differentieert over de verschillende biedzones. Het beoogde doel is aan te tonen dat een differentiatie van deze criteria leidt tot een betere welvaart.

Sectie 1.1 beschrijft de actuele context en motivatie van deze thesis. Sectie 1.2 formuleert de onderzoeksvraag en de contributie van reeds bestaande literatuur. Sectie 1.3 geeft een kort overzicht van de bekomen resultaten. Sectie 1.4 schetst de opbouw van de volgende hoofdstukken.

1.1 Context en motivatie

kernwoorden: VN-klimaattop, interconnected electricity markets, modal vs zonal markets, energieprijzen, Europa, Rusland-Oekraïne, loop flows, minRAM criteria, Frankrijk ma 9u 30→3000/MWh, onbeschikbaarheid nucleaire centrales, koud weer, ontsnapt aan black out, energietrilemma

Parijs, 12 December 2015. Het eerste wereldwijde klimaatakkoord is een feit. Tijdens de VN-klimaattop komen bijna tweehonderd deelnemende lidstaten overeen de opwarming van de aarde te beperken tot 2°C, bij voorkeur 1.5°C. Hoe ze dit zullen verwezenlijken, beslissen ze zelf in de zogenaamde nationale bepaalde bijdragen. Lidstaten zijn verplicht een beleid te volgen. Iedere vijf jaar komen ze samen om te evalueren en herzien waar nodig. Als leidraad voor de Europese lidstaten, vaardigt de Europese Unie in 2018 alvast een verordening uit. Vijf dimensies vormen de ruggengraat van de gewenste energie-unie: de continuïteit van de energievoorziening, de interne energiemarkt, energie-efficiëntie, decarbonisatie, en onderzoek, innovatie en concurrentievermogen. Twee jaar krijgen lidstaten de tijd om met een eigen beleid voor de dag te komen. Zo geschied ook.

1.2 Onderzoeksvraag

Wat is de impact van minRAMs **Wat is de impact van diversificatie**
Hoe beïnvloedt een diversificatie van de minimale transmissiecapaciteiten

voor grensoverschrijdende handel op de day-ahead elektriciteitsmarkt het welvaartsoptimum?

1.3 Samenvatting van de resultaten

1.4 Structuur

De thesis is verder opgedeeld in volgende structuur. Hoofdstuk 2 gaat dieper in op de day-ahead stroomgebaseerde marktkoppeling. Het kadert de methodologie als mechanisme voor capaciteitstoewijzing, gaat dieper in op zijn werking, en licht de minimale transmissiecapaciteiten voor grensoverschrijdende handel uitvoerig toe. Hoofdstuk 3 formuleert het model, startende van een conceptueel kader, erna vertaald naar het overeenkomstig wiskundig model. Hoofdstuk ?? analyseert de resultaten van het voorgestelde model toegepast op een fictief elektriciteitsnetwerk. Hoofdstuk ?? vat de conclusies van voorgaande hoofdstukken samen en motiveert suggesties voor verder onderzoek.

Hoofdstuk 2

Literatuurstudie

2.1 Capaciteitstoewijzing

2.1.1 Marktwerving

kernwoorden: zonale/nodale markten, voor/nadelen zonaal nodaal, biedzones, market clearing, prijsconvergentie,

2.1.2 Mechanismen

kernwoorden: net transfer capacity, flow based market coupling,

2.2 Stroomgebaseerde marktkoppeling

2.2.1 Doel

2.2.2 Intuïtief voorbeeld

2.2.3 Lusstromen

kernwoorden: definiëren van loop / transit / interne / en netto export stromen

2.2.4 Commerciele vs fysieke

2.2.5 Overblijvende transmissiecapaciteit

kernwoorden: RAM

2.2.6 Andere parameters

kernwoorden: base case, GSK, PTDF, CNE, FRM

2.2.7 Minimale resterende beschikbare transmissiecapaciteit

kernwoorden: 20-to-70

2.3 Conclusie

kernwoorden: starting point = Schönheit

Hoofdstuk 3

Modellering

Dit hoofdstuk formuleert het model gebruikt voor een stroomgebaseerde marktkoppeling. Sectie 3.1 geeft het model conceptueel weer. Het beschrijft de relatie tussen het DA- en redispatchmodel. Sectie 3.2 vertaalt het conceptueel model naar zijn wiskundige equivalent. Sectie 3.3 concludeert.

3.1 Conceptueel model

3.2 Wiskundige model

Het model geeft de day ahead stroomgebaseerde marktkoppeling weer van de transmissiesysteembeheerder.

$$\min \sum_z CG_z^{D-1} \quad (3.1a)$$

$$s.t. \quad CG_z^{D-1} = \sum_{p \in mp(z)} G_p^{D-1} * c_p \quad \forall z \in Z \quad (3.1b)$$

$$G_p^{D-1} \leq g_p^{max} \quad \forall p \in P \quad (3.1c)$$

$$\sum_{n \in mn(z)} d_n = \sum_{n \in mn(z)} \sum_{p \in mp(n)} G_p^{D-1} - NP_z^{D-1} \quad \forall z \in Z \quad (3.1d)$$

$$\sum_{z \in Z} NP_z^{D-1} = 0 \quad (3.1e)$$

$$RAM_l = X * cap_l \quad \forall l \in L \quad (3.1f)$$

$$RAM_l \leq \sum_{z \in Z} ptdf_{l,z}^Z * NP_z^{D-1} \leq RAM_l \quad \forall l \in L \quad (3.1g)$$

$$\begin{aligned}
\min \quad & \sum_z CC_z^{D-0} \quad [\lambda] \\
& (3.2a) \\
s.t. \quad & CC_z^{D-0} = MC_p \sum_{p \in mp(z)} (1+a) UP_p^{D-0} - (1-a) DOWN_p^{D-0} \quad \forall z \in Z \quad [\lambda_1] \\
& (3.2b) \\
& \sum_{p \in P} UP_p^{D-0} = \sum_{p \in P} DOWN_p^{D-0} \quad (3.2c) \\
& -cap_l \leq \sum_{n \in N} ptdf_N(l, n) \sum_{p \in mp(n)} \left[G_p^{D-1} + UP_p^{D-0} - DOWN_p^{D-0} - d_n \right] \leq cap_l \quad \forall n \in N \quad [\lambda_2] \\
& (3.2d) \\
& UP_p \leq g_p^{max} - G_p^{D-1} \quad \forall p \in P \quad [\lambda_3] \\
& (3.2e) \\
& DOWN_p \leq G_p^{D-1} \quad \forall p \in P \quad [\lambda_4] \\
& (3.2f)
\end{aligned}$$

Het objectief is een minimale generatiekost gesommeerd over alle zones (vgl ??). De generatiekost per zone is een sommatie over alle energiecentrales in diezelfde zone (vgl 3.1b). De marginale generatiekost van de energiecentrales is variabel voor de verschillende energiecentrales. De energiecentrale kan slechts zoveel produceren als er aan generatiecapaciteit geïnstalleerd is (vgl 3.1c). Er geldt een zonale energiebalans: de totale zonale vraag is gelijk aan de totale zonale generatie met inbegrip van de nettopositie (vgl 3.1d). Een verandering van energiestromen in beide richtingen van de lijn door een verandering in nettoposities van de zones is gelimiteerd door de beschikbare overblijvende transmissiecapaciteit (vgl ?? en vgl ??).

De opbouw van het model gebeurt stapsgewijs:

- 1.
2. b

3.3 Conclusie

Hoofdstuk 4

Resultaten

4.1 Modus operandi

4.2 Resultaten en analyse

4.3 Realiteit, beleidsadvies

4.4 Conclusie

Hoofdstuk 5

Conclusie

5.1 Samenvatting

5.2 Toekomstig onderzoek

Bijlagen

Bibliografie