

# MODELING AND ANALYSIS OF TECHNO-ECONOMIC INTERACTIONS IN MESHED HIGH VOLTAGE GRIDS EXHIBITING CONGESTION

## Abstract

The purpose of this work is to introduce the problem of transmission constraints management in the liberalized electricity market. It contributes to a better understanding of interactions between the technical and economic aspects of congestion management. Congestion management methods are classified in two main groups, being transfer capacity allocation methods and congestion alleviation methods. Detailed mathematical formulations of each method are given along with a discussion of their pros and cons. Moreover, a detailed analysis of transfer capacity auctioning is provided, including the study implementation aspects. The analysis is supplemented with a case study of explicit capacity auctioning between Belgium, The Netherlands and Germany, which compares the outcome of the day-ahead capacity market, and the energy markets organized by the Power Exchanges involved.

Analysis of cross-border capacity allocation methods shows that it is essential to model the interactions between the zonal imports/exports and cross-border flows. The zonal network model derived in this work allows this by proposing a tool to quantify the influence of the zonal energy transactions on particular borders in the interconnected network by means of a zonal Power Transfer Distribution (PTDF) matrix. The zonal PTDF matrix aggregates the nodes within each zone into equivalent nodes, and all cross-border lines into equivalent border links. Finally, as complementary to the zonal PTDF matrix, an alternative definition the cross-border transfer capacity is suggested. The proposed method uses Monte Carlo-based variations of the base case load and generation dispatch in order to simulate the dispatch changes and their influence on cross-border flows. Linking the transfer capacity to probability of congestion allows for making a trade-off between the increased transfer capacities and the risk of congestion. Depending on network conditions, facing this trade-off can offer significant gains in transfer capacities available for commercial transactions

# MODELLERING EN ANALYSE VAN DE TECHNISCHE EN ECONOMISCHE INTERACTIES BIJ CONGESTIE IN VERMAASDE HOOGSPANNINGSNETTEN

## Samenvatting

Dit proefschrift behandelt het probleem van transmissiebeperkingen in de geliberaliseerde elektriciteitsmarkt. Het draagt bij tot een beter begrip van interacties tussen de technische en economische aspecten van congestiebeheer. Methodes van congestiebeheer zijn onderverdeeld in twee hoofdgroepen, namelijk methodes voor allocatie van de transfercapaciteit en voor de vermindering van congestie. Elke methode wordt gedetailleerd besproken met haar voor- en nadelen. Bovendien wordt een gedetailleerde analyse van transfercapaciteitsveilingen en de implementatie ervan gegeven. De analyse bevat ook een case-studie van expliciete capaciteitsveiling tussen België, Nederland en Duitsland, waarin de prijzen van de geveilde capaciteit vergeleken worden met de energieprijzen in de betrokken beurzen.

De analyse van de grensoverschrijdende capaciteitsallocatiemethodes toont het belang aan van het goed modelleren van de interacties tussen de exports/imports en de cross-border flows. Daarvoor wordt in dit proefschrift een zonaal netwerkmodel ontwikkeld dat de invloeden van zonale energietransacties op de cross-border flows kwantificeert, door middel van een zonale PTDF-matrix. Deze matrix brengt de knopen in elke zone samen tot een equivalente knoop per zone, en alle grensoverschrijdende lijnen tot equivalente interconnectoren. Tenslotte wordt een alternatieve definitie van de grensoverschrijdende transfercapaciteit voorgesteld. De ontwikkelde methode vertrekt van Monte-Carlo variaties op een basisscenario, om veranderingen in generatie- en lastpatronen en hun invloed op cross-border flows te simuleren.

Door het verband tussen transfercapaciteit en de waarschijnlijkheid van congestie in kaart te brengen, kan de toename van transfercapaciteit die aan de markt ter beschikking gesteld wordt afgewogen worden tegen het risico op congestie. Afhankelijk van de generatie- en lastpatroon kan een juiste afweging tot een aanzienlijke toename van beschikbare transfercapaciteit leiden.