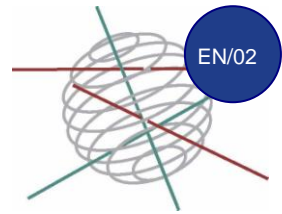


WindBalance - Resultaten



Balancing met windenergie in het elektriciteitsnet: een globale technisch-economische en gecoördineerde aanpak

DUUR VAN HET PROJECT
15/12/2006 - 31/01/2011

BUDGET
789.067€

SLEUTELWOORDEN

Netintegratie, marktintegratie, systeembalans, windenergie.

CONTEXT

Ten gevolge van het huidige Europese energiebeleid, dat de nadruk legt op duurzaamheid, bevoorradingszekerheid en een vrije marktwerking, neemt het aandeel hernieuwbare energiebronnen in de elektriciteitssector snel toe. Het Belgische actieplan dat werd opgesteld om te voldoen aan de EG-richtlijn betreffende hernieuwbare energie (2009/28/EG) schat de geïnstalleerde capaciteit windenergie op 4320 MW tegen 2020. Dit zal naar verwachting resulteren in een jaarlijkse productie van 10.5 TWh of 9% van de geschatte elektriciteitsvraag in 2020.

DOELSTELLINGEN

De algemene doelstelling van het WindBalance onderzoeksproject is een analyse van het potentieel voor windenergie in België. Technische, economische en regelgevende beperkingen voor een betrouwbare en efficiënte integratie in het elektriciteitsnet worden geïnventariseerd, evenals de noodzakelijke maatregelen om deze te overbruggen.

CONCLUSIES

Fase 1: de marktwaarde van windenergie

In de eerste fase van het project werd een marktsimulator ontwikkeld die de korte-termijn kosten en opbrengsten van de elektriciteitsproductie door wind berekent. Deze simulator dient als een handig hulpmiddel om de marktwaarde van wind te bepalen in verschillende marktstructuren, onder verschillende marktomstandigheden en afhankelijk van de voorspelbaarheid van windenergie. De ontwikkelde marktsimulator berekent de waarde van windenergie wanneer deze verhandeld wordt op de lokale energiebeurs, de "Belpex Day-Ahead" markt. Real-time worden voorspellingsfouten van de windproductie verrekend aan de hand van de onbalansstarieven opgelegd door de transmissienetbeheerder. Er wordt abstractie gemaakt van de extra inkomsten uit groenestroomcertificaten die, op het moment van schrijven, aan minimumprijzen tussen 90 - 107 € / MWh verhandeld worden. De waarde van windproductie wordt uitgedrukt per MWh als de "Fixed Price OTC-equivalent" en wordt vergeleken met de vaste prijs onderhandeld in Over-The-Counter (OTC) contracten.

Deze simulator is dus een waardevolle ondersteuning voor de waardering van investeringen in windenergie of onderhandelingen over OTC-contracten. Bovendien biedt deze tool een goede basis voor een objectieve analyse van de werkelijke marktwaarde van windenergie onder verschillende marktomstandigheden en is dan ook een nuttig instrument voor beleidsvorming.

De simulator is gevalideerd voor verschillende configuraties van windenergie: voor een enkele turbine en een gemiddelde Belpex day-ahead markt prijs van 75.3 €/MWh werd de vaste OTC-waarde voor 2009 vastgesteld op 66.3 €/MWh. De beperkte voorspelbaarheid van de windproductie leidt dus tot een verlies aan inkomsten van 18% als gevolg van de onbalansstarieven. Het blijkt dat de marktwaarde kan worden verhoogd met 16% wanneer de winenergie over grotere gebieden geaggregeerd en genomineerd wordt (cfr. Duitsland).

Ten tweede werden verschillende nominatiestrategieën onderzocht, inclusief de waarde van het verbeteren van de nauwkeurigheid van de voorspellingen. Voor een windpark van 8 MW, wordt de OTC-waarde bepaald op 68.6 €/MWh, met inbegrip van het onbalansverlies van 14%, met het gebruik van state-of-the-art prognose-instrumenten. Deze OTC-waarde neemt toe met 5.5% bij het gebruik van intra-day-markten om nominaties aan te passen aan nieuwe voorspellingen.

Omdat deze tool is ontwikkeld met gegevens tot en met december 2008 worden de opbrengsten en kosten redelijk hoog geschat. Dit wordt verklaard door de hoge marktprijzen ten opzichte 2009-2011 (effect van de wereldwijde economische crisis). De onderstaande resultaten worden daarom best vergeleken op een relatieve wijze.

Fase 2: de technische bovengrens voor windenergie in België

In de tweede fase van het project worden beperkingen met betrekking tot de back-up van windenergie in België onderzocht. Een simulatiemodel dat de korte-termijnwerking van het Belgische productiepark weerspiegelt, werd ontwikkeld om de technische grens van windintegratie in de Elia-controle zone (België en Luxemburg) te beoordelen. Dit model veronderstelt dat alle beschikbare centrales in een kostoptimale manier gebruikt worden om aan de vraag te voldoen. In eerste instantie zijn de netwerkbependingen buiten beschouwing gelaten.



WindBalance - Resultaten

Balancing met windenergie in het elektriciteitsnet: een globale technisch-economische en gecoördineerde aanpak

Onder deze veronderstellingen zijn technische belemmeringen voor windintegratie bepaald door de capaciteit van andere beschikbare productie-eenheden om de variabiliteit en de voorspellingsfouten van windenergie te compenseren. Overschatting van de werkelijke windproductie moet worden gecompenseerd door flexibele capaciteit in te zetten: deze reserve kan geactiveerd worden om discrepanties tussen vraag en aanbod te voldoen. Onderschattingen leiden tot dezelfde eisen, maar kunnen desnoods worden opgelost door het verlagen van de injectie van windenergie. Resultaten van de simulaties tonen een inperking van maximaal 7.800 MWh voor 24 uur voor een geïnstalleerde capaciteit windenergie van 3000 MW, afhankelijk van het vraag- en windenergieprofiel. Naast de technische beperkingen van een grote penetratie windenergie, wordt in de simulaties ook de impact op de operationele kosten en de uitstoot van broeikasgassen bepaald.

In België wordt het potentieel om variabele productie te balanceren beperkt door het huidige productiepark. Deze beperking verdwijnt door het hele Europese systeem in rekening te nemen, abstractie makend van potentiële knelpunten in het netwerk, zoals de internationale transmissiecapaciteit. De combinatie van verschillende regio's vermindert de vereiste reserves wanneer de afzonderlijke systeem-onbalansen kleine of tegengestelde correlaties vertonen: dit wordt verklaard doordat fluctuaties en voorspellingsfouten elkaar deels kunnen opheffen in grotere gebieden.

De veronderstelling van geen knelpunten in het Belgische en Europese transmissienet is duidelijk een enorme vereenvoudiging van de werkelijkheid. Daarom richt één van de projecttaken zich op verschillende methodologieën om het bovenstaande model uit te werken aan de hand van gedetailleerde netwerksimulaties. Omwille van praktische beperkingen is er uiteindelijk beslist om verder te werken met een "DC-loadflow" model dat dient als een vereenvoudiging van de "AC-loadflow" simulaties.

Fase 3: balanceren grote variaties in windproductie België

De laatste fase van het project richt zich op het faciliteren van grootschalige integratiescenario's voor windenergie in het Belgische elektriciteitsnet met het oog op 2020. De focus wordt gelegd op technologieën en marktmechanismen die toelaten efficiënt om te gaan met de variabiliteit van windenergie.

Technologieën met het oog op het balanceren van variabele windproductie

Vier technologieën met belangrijk potentieel aangaande het balanceren van variabele windproductie werden bestudeerd en voorgesteld. Ten eerste zijn grote waterkrachtcentrales een aantrekkelijke optie om de variabiliteit van windenergie op te vangen, vanwege hun flexibiliteit en lage exploitatiekosten. Echter door geografische beperkingen is dit potentieel in België klein. Twee pompcentrales worden in België uitgebaat met een capaciteit van respectievelijk 1164 MW in Coe en 224 MW in Plate Taille. Nieuwe, innovatieve concepten zijn nog in onderzoeksfase, waaronder offshore 'energie-eilanden' waarbij energie wordt opgewekt door water uit in offshore reservoir te laten

lopen. Stoom- en gascentrales (STEGs) en piekcentrales zijn minder flexibel maar bieden toch ook mogelijkheden om de variabele productie van wind mee op te vangen. STEG centrales kunnen opgestart worden binnen 40-150 minuten, kunnen hun vermogen snel aanpassen en hebben een hoge efficiëntie. Piekcentrales (turbojets, gasturbines en dieselmotoren) hebben een hoge flexibiliteit (snelle opstart en verandering van vermogen) maar hun efficiëntie is laag. Gasturbines kunnen opstarten binnen drie minuten en zijn op vol vermogen na 6 minuten.

Tot slot werden twee innovatieve concepten geïntroduceerd: *decentrale energieopslag* en *vraagsturing*. Energie-opslagsystemen hebben een snelle respons maar een beperkte opslagcapaciteit. Een grote verscheidenheid aan opslagsystemen is momenteel beschikbaar of in de onderzoeksfase. Bovendien variëren de technische en economische karakteristieken voor elk van de types zeer sterk. Vraagsturing laat het balanceren van vraag en aanbod toe door de vraag van consumenten aan te passen. Dit kan door de vraag te verschuiven in de tijd. Een eerste schatting voor België onthult een potentieel van 358 MW, enkel van huishoudelijke toestellen. Deze raming veronderstelt een minimum aanvaardbaarheid van de consumenten. Met de verwachte toekomstige integratie van plug-in elektrische voertuigen zal de jaarlijkse consumptie van huishoudens kunnen verdubbelen, wat resulteert in een nieuw, belangrijk potentieel, zowel voor opslag en voor vraagsturing.

Marktmechanismen om vraag en aanbod, met wind, te balanceren

Wind wordt in de meeste Europese elektriciteitsmarkten geconfronteerd met een marktcontext waarin elke speler een balanceringsverantwoordelijkheid heeft. De eindverantwoordelijke voor de totale balans tussen vraag en aanbod is de transmissie-netbeheerder: deze reserveert en activeert hiervoor reserve capaciteit. Deze kosten worden doorgaans (deels) overgedragen aan de marktpartijen (BRPs) aan de hand van de onbalanstarieven. Dit leidt dus tot extra kosten voor windgeneratoren die geconfronteerd worden met een beperkte voorspelbaarheid van hun productie. Deze verantwoordelijkheid voor variabele, hernieuwbare energiebronnen is op het moment van schrijven het onderwerp van beleidsdiscussies.

Met het oog op de onzekerheid in hun portfolio kunnen BRPs in België beroep doen op verschillende marktmechanismen. Omdat voorspellingen preciezer worden naarmate de voorspellingshorizon korter bij is, kunnen ze hun onbalanskosten verminderen door hun nominaties aan te passen op de *intra-day* markt. Dit type markt werd geïntroduceerd in België in 2008 en is al uitgebreid met internationale allocaties. Desondanks blijven deze markten gekarakteriseerd door een lage liquiditeit. Dit zal wellicht verbeteren met een toenemende marktintegratie van hernieuwbare energiebronnen en beschikbaarheid van nieuwe flexibele capaciteit. Ten slotte wordt een uitzondering in de Belgische regelgeving onderzocht: offshore wind wordt gedeeltelijk vrijgesteld van de bestaande regelgeving betreffende onbalans. Generatieafwijkingen binnen een marge van 30% van de genomineerde productie profiteren van beperkte onbalanstarieven. Een eerste studie bevestigt een voorspellingsfout (RMSE)



WindBalance - Resultaten

Balancing met windenergie in het elektriciteitsnet: een globale technisch-economische en gecoördineerde aanpak

die 2-6% hoger ligt voor offshore locaties ten opzichte van on-shore. Hoewel deze regeling kan worden verdedigd omdat ze de onbalanskosten rechtstreeks aanpakt, is ze zeer complex en weinig transparant. Door de onbalansstarieven te verlagen, verzwakt het verband tussen de reservemarkt en de onbalansstarieven, dat een voorwaarde is voor het goed functioneren van de onbalansmarkten. Daarom zou dit ondersteuningsmechanisme beter vervangen worden door een verhoging van de minimale prijs van de groene-stroomcertificaten. Deze stijging wordt geschat op 1.4-1.7 €/MWh.

Integratie van grote hoeveelheden windenergie in België

Om te voldoen aan de nationale en Europese doelstellingen voor hernieuwbare energie, schat het Belgisch hernieuwbare actieplan een geïnstalleerd vermogen van 4320 MW aan wind in 2020. In deze studie werd de impact van dit scenario onderzocht aan de hand van het simulatiemodel dat de korte termijnwerking van het Belgische productiepark representeert. Dit model is uitgebreid met de netwerkbepalingen door middel van een DC power flow berekening. Daartoe zijn windparken geïntegreerd in een model dat het Belgische elektriciteitssysteem voorstelt, inclusief geplande investeringen voor 2020. Voor de verdere analyse zijn vier cases ontworpen waarbij telkens een andere combinatie van technologieën geïmplementeerd wordt voor het balanceren van windenergie.

De eerste simulaties tonen grote integratieproblemen: het generieke model is initieel niet in staat om 4320 MW wind, verdeeld over de Belgische controlezone, te faciliteren. Ten eerste is de netwerkkapaciteit in het kustgebied onvoldoende om de grote integratie offshore windenergie toe te laten. Bovendien treedt hetzelfde probleem op in het zuiden van België. Een reeks bijkomende netversterkingen is daarom voorgesteld in het model. Een tweede hindernis voor grote windenergie integratie is het vermeende gebrek aan flexibiliteit van het nucleaire park (in basislast). Lage vraag in combinatie met hoge windgeneratie leidt tot een netto vraag die lager is dan de basislast geleverd door het nucleaire park. Daarom stelt studie voor om de flexibiliteit van het productiepark te verhogen door de kerncentrales modulerend uit te baten (Bv. Frankrijk). Een laatste barrière is afkomstig van de grote onbalansen die kunnen optreden als gevolg van windvoorspellingsfouten. Een voorgedefinieerde capaciteit van 300 MW draaiende reserves en 737 MW niet draaiende reserves blijkt niet voldoende te zijn. Het verhogen van de reserves om de grootste mogelijke voorspellingfout te kunnen dekken is echter niet realistische met het oog op de geïnstalleerde capaciteit.

Daarom zijn in een laatste stap real-time in- en export geïmplementeerd aan kunstmatige hoge kosten. Op die manier blijft de nadruk voor het balanceren van vraag en aanbod op nationaal niveau.

Uit de resultaten voor het referentiescenario blijkt dat de flexibiliteit van de kerncentrales vooral nodig is wanneer geconfronteerd met veel wind en weinig vraag. Verder zijn piekcentrales regelmatig gebruikt in alle scenario's wanneer slechts 300 MW van de draaiende reserve capaciteit wordt gevraagd van het systeem. Om de grootste voorspelfouten evenwicht in te brengen is ook import nodig. Uitvoer wordt anderzijds niet gebruikt omdat kernenergie verondersteld wordt zijn vermogen te regelen tot 60% van het nominale vermogen. Het verhogen van de hoeveelheid draaiende reserves tot 1055 MW vermindert zowel het gebruik van piekcentrales als de invoereisen, wat bijgevolg leidt tot een veiligere Belgisch elektriciteitssysteem.

In deze studie wordt de nadruk gelegd op het vermogen van het elektriciteitssysteem om vraag en aanbod met windenergie in evenwicht te brengen met nationale middelen. Het gebruik van piekcentrales en import wordt beschouwd als een "probleem" voor de voorzieningszekerheid en vertegenwoordigen extra reservecapaciteit. Drie technologieën (STEG-centrales, decentrale energieopslag en *demand response*) worden vergeleken met de uitgangssituatie op het gebruik van reservecapaciteit en import. Bovendien wordt operationele efficiëntie onderzocht.

Omdat het model werkt met een tijdschema op uurbasis en draaiende reserves constant worden gehouden op 300 MW, heeft het toevoegen van extra STEG-centrales geen invloed op de flexibiliteit van het Belgische elektriciteitssysteem om vraag en aanbod in evenwicht te brengen. Het toevoegen van decentrale opslageenheden, in een derde case, heeft geen belangrijke invloed op de resultaten. Dit is vanwege de grote discrepantie tussen de kleine hoeveelheid decentrale energieopslag in vergelijking met de grote hoeveelheid windenergie geïntegreerd in het Belgische (4320 MW), met grote extra onbalansen als gevolg. Deze kunnen niet worden gedekt door een kleine hoeveelheid decentrale energieopslag. Desondanks heeft decentrale energieopslag nog steeds een belangrijke economische impact. De uitbreiding van het aantal decentrale opslageenheden zou wellicht leiden tot meer uitgebreide resultaten, maar is niet voorspeld in 2020. Tenslotte wordt de uitgangssituatie uitgebreid met 1.000 MW vraagsturing: ook in dit geval vertonen de resultaten geen opvallende verschillen in operationele efficiëntie met de uitgangssituatie. Het gebruik van niet-draaiende reservecapaciteit en import neemt echter af in alle onderzochte scenario's, wat betekent dat vraagsturing kan helpen bij het balanceren van vraag en aanbod met voorspellingsfouten veroorzaakt door windenergie



WindBalance - Resultaten

Balancing met windenergie in het elektriciteitsnet: een globale technisch-economische en gecoördineerde aanpak

BIJDRAGE AAN EEN BELEID GERICHT OP DUURZAME ONTWIKKELING

De integratie van een groot aandeel windenergie is, door de variabele productie en beperkte voorspelbaarheid, een grote uitdaging voor het huidige elektriciteitsstelsel. Deze integratie wordt immers beperkt door een technologische, economische en regulatorische realiteit die gebaseerd is op een systeem van conventionele en centrale energieopwekking. De bijdrage van dit project is de identificatie van deze barrières en het aanreiken van oplossingen. De resultaten van dit project kunnen door de Belgische beleidsmakers gebruikt worden wanneer zij trachten het potentieel voor windenergie te verhogen.

Eén van de resultaten stelt een marktsimulator voor die het mogelijk maakt om de invloed van marktwerking op de winstgevendheid van windenergie te beoordelen. Bovendien is ook een simulatiemodel ontwikkeld om de impact van wind op het gehele systeem te onderzoeken. Ten slotte zijn technologieën en marktmechanismen aangereikt die vraag en aanbod met de variabele productie van wind helpen balanceren. Deze zijn dan geïntegreerd in de ontwikkelde tools.

CONTACT INFORMATIE

Coordinator

Ronnie Belmans

Katholieke Universiteit Leuven (KULeuven)
ESAT/ELEN Departement of Electrical
Engineering
Kasteelpark Arenberg 10
B-3001 Heverlee
Tel: +32 (0)16 32.10.20
Fax: +32 (0)16 32.19.85
Ronnie.Belmans@esat.kuleuven.ac.be
<http://www.esat.kuleuven.ac.be/electa/>

Promotoren

Geert Palmers

3E nv
Vaartstraat 61
B-1000 Brussel
Tel: +32 (02) 217 58 68
Fax: +32 (02) 219 79 89
geert.palmers@3E.be
www.3E.be

William D'Haeseleer

Katholieke Universiteit Leuven
(KULeuven)
Applied Mechanics and Energy
Conversion (TME)
Celestijnenlaan 300A
B-3001 Heverlee
Tel: +32 (0)16 32 25 10
Fax: +32 (0)16 32 29 85
William.Dhaeseleer@mech.kuleuven.be
<http://www.mech.kuleuven.be/tme/>

Jean-Claude Maun

Université Libre de Bruxelles (ULB)
Service de Génie Electrique (GENELEC)
Avenue F.D. Roosevelt 50
B-1050 Bruxelles
Tel: +32 (0)2 650 26 62
Fax: +32 (0)2 650 26 53
jcmaun@ulb.ac.be
[http://www.ulb.ac.be/rech/inventaire/
unites/ULB358.html](http://www.ulb.ac.be/rech/inventaire/unites/ULB358.html)

