



Doctoral Thesis

GIS-based European Energy Systems Modelling to Assess Impact of Policy on Performance and Markets

Author(s):

Singh, Antriksh

Publication Date:

2016

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010739531> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Doctoral Thesis, ETH Zürich No. 23593

GIS-based European Energy Systems Modelling to Assess Impact of Policy on Performance and Markets

A dissertation submitted to

ETH Zürich

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

Antriksh Singh

MPhil, Queen's University, U.K.

born August 08, 1985

citizen of India

accepted on the recommendations of

Prof. Dr. Reza S. Abhari, examiner

Dr. Ndaona Chokani, co-examiner

Prof. Dr. Jorge A. M. de Sousa, co-examiner

Zürich, 2016

Abstract

A high-fidelity unified power and gas systems simulations framework, called EnerPol, is developed in this work. Built using Geographical Information Systems, the developed framework is integrated with numerical weather prediction models, and comprises of high spatial, technical, and temporal resolution models for the complete supply-chain of the power and gas systems. In a bottom-up manner, EnerPol conducts hourly chronological dynamic simulations of power and gas systems on continental scale, which enables the assessment of the impacts of the policy, externalities, contingencies, and changes on components of the power and gas systems. Algorithms for site identification and economic assessment of potential renewable energy projects are developed in Enerpol, which enables a grid-sustainable growth of renewable energy in the member states of EU as they strive to meet their renewables energy targets. Extensive back-testing of various aspects of the power and gas systems modelling is presented in this work. These include validations of simulated power demand, power generation, power transmission, gas storage utilisation, weather, and renewables.

EnerPol is used in this work to assess impact of the policy changes, that influence the composition of the power generation portfolio and transmission infrastructure, in Central and Eastern European countries. Opportunities for development of renewable energy projects are identified for the test cases of Germany and Poland. The test case of Germany used to analyse the consequences of an increased power production from renewable energy sources on Germany's power transmission grid at present and the grid in year 2020. Rapid increase in on-shore wind and solar power capacity with inadequate transmission capacity will increase the curtailment risks for these technologies in Germany. In 2020, Germany would need to maintain the conventional power plants for the integration of high penetrations of renewables, however must address issues of market design that can promote the more profitable operation of conventional power plants. An increase in renewables by 2020, in the absence of the adequate planned transmission capacity, is shown to increase congestion in Germany's transmission system. While the planned transmission grid projects are shown to alleviate the grid congestion and price differentials, they expose more elements of transmission system in Germany to contingent perturbations arising in the system.

The adverse impacts of unplanned power flows arising from Germany in the interconnected transmission system of central and eastern Europe are assessed. A detailed assessment of the potential factors that result in the unplanned power flows shows that the main factors are the renewable generated electricity in Germany, the power demand in Poland, and the commercial power flow between Germany and Austria. The increase in the congestion along western sections of Poland's transmission grid due to the unplanned power flows is identified. As a pathways to develop wind power capacity in Poland, amidst the problems in the transmission grid in the Northern and Western Poland, a case study for potential development of wind power in Eastern Poland is presented. A portfolio of wind power projects in Lubelskie region in Poland is identified. While the wind power projects located in less windy regions, as Lubelskie, will require support from regional authorities to be successful in newly adopted capacity auctions system, the identified grid-acceptable portfolio of wind farms would enhance security of supply, generate revenues, and increase the self reliance of the region.

The impact of contingencies on the operation of the gas networks in Germany and Poland is assessed. In case of complete disruption of cross-border gas flows, Germany could satiate the internal gas demand for over a month for disruption in winter and summer respectively. On the other hand, although the demand for gas in Poland is lower than in Germany, with the existing long-term storage volume, Poland's self sufficiency is estimated to be marginal. This borderline level of self-sufficiency in Poland emphasises on the need for expansion of the long-term storage capacity in the country. Subsequently, a contingency analysis is presented for Germany, potential disruption of the highly used pipelines could have the most impact on the operation of gas network in Germany. However, the operation remains within the constraints of network, indicating that there is adequate capacity and coverage in Germany to compensate for disruptions.

Zusammenfassung

In dieser Doktorarbeit wird EnerPol, ein ganzheitliches und hochpräzises Simulationprogramm für Strom- und Gasnetzwerke entwickelt. Das Programm nutzt Geoinformationssysteme und numerische Wettervorhersage-Modelle, und besteht aus räumlich und zeitlich hochaufgelösten Modellen für die gesamte Wertschöpfungskette des Strom- und Gasnetzwerks. Mittels einer bottom-up Struktur führt EnerPol stündlich chronologische Simulationen des Strom- und Gasnetzwerks auf kontinentaler Ebene durch, woraus sich Rückschlüsse auf die Effekte von politischen Massnahmen, Externalitäten und Systemengpässen auf einzelne Komponenten des Strom- und Gasnetzwerks ziehen lassen. In EnerPol werden Algorithmen zur Identifikation und Wirtschaftlichkeitsanalyse von potentiellen Standorten für erneuerbare Energien entwickelt, was einen Netzwerk-freundlichen Ausbau der erneuerbaren Energien in den EU-Staaten ermöglicht. Die entwickelten Strom- und Gasnetzwerkmodelle werden ausführlich getestet. Simulierte Netzwerkparameter wie Stromnachfrage, Stromproduktion, Netzauslastung, Nutzung von Gasspeichern, Wetterverläufe und erneuerbare Stromflüsse werden validiert.

EnerPol wird in dieser Doktorarbeit verwendet, um die Einflüsse von politischen Massnahmen, welche die Zusammensetzung des Stromproduktionsportfolios sowie die Netzwerkinfrastruktur betreffen, in Zentral- und Osteuropa zu analysieren. Mögliche Projekte erneuerbarer Energien werden für die Testfälle Deutschland und Polen identifiziert. Am Beispiel Deutschlands wird der Einfluss erhöhter erneuerbarer Stromproduktion auf das heutige und zukünftige Stromnetzwerk analysiert. Der beschleunigte Ausbau von Wind- und Solarenergie, ohne hinreichende Ausbaumassnahmen der bestehenden Netze, würde zu erhöhten Produktionseinschränkungen für die erneuerbaren Technologien in Deutschland führen. Im Jahr 2020 wird Deutschland konventionelle Kraftwerke benötigen um die Integration grosser erneuerbarer Kapazitäten zu realisieren, jedoch müssen hierfür neue Marktanreize geschaffen werden, um konventionellen Kraftwerken profitable Geschäftsmodelle zu ermöglichen. Ein Ausbau erneuerbarer Energie bis 2020, ohne gleichzeitige Realisierung der geplanten Netzverstärkungen, wird zu erhöhten Netzüberlastungen im deutschen Hochspannungsnetz führen. Der geplante Ausbau des deutschen Netzes reduziert zwar die Netzbelastungen und die räumlichen Preisdifferenzen, allerdings zum Preis erhöhter Lastfluktuationen in grösseren Bereichen des deutschen Netzes.

Die nachteiligen Effekte von in Deutschland verursachten ungeplanten Stromflüssen im verbundenen Stromnetz von Zentral- und Osteuropa werden analysiert. Eine detaillierte Untersuchung identifiziert die erneuerbare Stromproduktion in Deutschland, die Stromnachfrage in Polen sowie geplante Stromflüsse zwischen Deutschland und Österreich als Hauptursachen für ungeplante Stromflüsse. Eine durch die ungeplanten Stromflüsse hervorgerufene erhöhte Netzauslastung wird in westlichen Bereichen des polnischen Stromnetzwerks identifiziert. Zum Ausbau der Windenergie in Polen wird, neben der Identifikation von Netzengpässen in Nord- und Westpolen, eine Fallstudie zur Entwicklung von Windenergieprojekten in Ostpolen präsentiert. Ein Portfolio von Windenergieprojekten wird für die Lubelskie-Region in Polen identifiziert. Die Projekte würden infolge der Windknappheit in Lubelskie auf staatliche Unterstützung angewiesen sein, um in den neu eingeführten Kapazitätsauktionen erfolgreich zu sein. Gleichzeitig allerdings würden die Projekte die Versorgungssicherheit und Energieautarkie der Lubelskie-Region erhöhen und lokale Umsätze generieren.

Der Einfluss von Netzengpässen auf den Betrieb von Gasnetzwerken in Deutschland und Polen wird untersucht. Im Falle eines kompletten Zusammenbruchs internationaler Gasflüsse könnte Deutschland die interne Gasnachfrage für über einen Monat sowohl in Winter wie auch im Sommer erfüllen. Obwohl die Gasnachfrage in Polen deutlich geringer ist als in Deutschland, kann Polen die interne Nachfrage nur unzureichend aus den existierenden Speichern bedienen. Dieses grenzwertige Niveau an Versorgungssicherheit unterstreicht den Bedarf für weitere Langzeit-Gasspeicher in Polen. Eine Netzengpass-Analyse für Deutschland zeigt, dass Betriebsstörungen in den hoch ausgelasteten Pipelines die grössten Einschränkungen für den Betrieb des Gasnetzwerks nach sich ziehen. Allerdings bewegt sich der Netzbetrieb jederzeit innerhalb der Netzwerkbeschränkungen, was darauf hindeutet, dass das deutsche Gasnetz ausreichend dimensioniert ist, um allfällige Betriebsstörungen zu kompensieren.