

e-Highway 2050: Methodology of Data Contextualization for the Purpose of Scenario Building

Authors

Michał Bajor
 Maciej Wilk

Keywords

long-term grid and generation development, future scenarios, data contextualization

Abstract

The e-Highway 2050 project is co-financed by the EU Seventh Framework Programme and is aimed at developing a methodology to support the long-term planning of the Pan-European Transmission Network, focusing on year 2050, to ensure the reliable delivery of renewable electricity and pan-European market integration. One of the tasks of the project is to create five scenarios covering the time period 2020–2050 and taking into account financial, technological/economic, environmental and socio-political issues. One of the key questions in the context of the whole project is how to select the typical range of technology data according to the five elaborated scenarios. To this end, an approach called data contextualization is suggested. It aims to allocate, for a given technology, typical values to key variables descriptive of this technology, within the 2050 time horizon, for each of the five considered scenarios. The key assumption used is that the main driver for contextualization is the penetration rate of a given technology (cumulated number of units at a given time). It is indeed assumed that the cost and performance trends of a technology by 2050 are directly correlated to its level of deployment. The first stage of the contextualization process was to determine the degree of influence of individual factors (uncertainties as defined for each “future” and options as defined for each “strategy”) on variables selected to be contextualized. Each parameter of the selected scenarios (future uncertainty or option) has then been analysed in order to determine its impact on a potential incentive to develop a given technology as well as its investment and O&M costs. It has been assumed that development of a given technology is stimulated and hence its penetration increases by lowering the overall investment costs and vice versa. Based on the impact of each parameter’s value, a final assessment of the projected level of both types of costs was assigned to each scenario and each technology category. Finally, the values of selected variables have been allocated to individual scenarios and technologies. The allocation has been performed based on the assessment of appropriate technology groups in a given scenario and the range of values for the selected variable.

DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2016203

1. Context and objectives of the eHighway 2050 project

The rapid expansion of renewable electricity sources and demand-side management technologies is going to change the way transmission systems are designed and operated. Electricity should be transported over longer distances, across national borders, in order to connect renewable resources located far from the main European consumption areas. Active demand response services might also be controlled over large geographical areas, therefore involving many stakeholders under different regulatory regimes. A pan-European infrastructure is thus required to enable more power and data exchanges between the

different stakeholders of the power system, in order to comply with these new constraints including the progressive construction of a single European electricity market. This requirement for the development of a pan-European transmission network is addressed by the e-Highway 2050 project supported by the European Commission (DG Research).

The main objective of the project is the development of a methodology to support the planning of the pan-European transmission network by 2050. This planning approach must comply with the objectives of the EU energy policy with regard to ensuring reliable supplies of renewable electricity and pan-European integration of the electricity market. It consists in modular

development planning, taking into account various pan-European grid patterns in order to comply with the five potential scenarios of the power system exerting the biggest impact on the pan-European transmission grid. Its construction involves a consortium of transmission system operators, research institutes, universities, industry associations and non-governmental organizations in order to provide the final results by the end of 2015.

2. General description of the planning methodology

This new “bottom-up” planning methodology is built around four main stages within the framework of which stakeholders from the whole of Europe are invited to discuss assumptions as well as indirect and final results, during workshops and external consultations:

- description of possible assumptions for 2020–2050 involving technology, socio-environmental and political boundary conditions
- building of energy scenarios involving the foreseen generation and demand profiles, while taking into account storage, demand-side management and transmission technologies available by 2050
- grid and market simulations to find optimized grid architectures, which help match electricity production with demand profiles on the European level
- proposal of modular development plans of the pan-European transmission system, covering each of the studied scenarios, and optimized by taking into account social welfare as well as environmental and political conditions.

Simultaneously, a possibility of creating a mathematical description of such a long-term planning method has been studied using enhanced optimization and advanced simulation tools.

The general workflow of the e-Highway 2050 project is presented in Fig. 1. To be more precise, the construction of the algorithm is organized in six technical work packages as follows:

- WP1 – a package of possible strategies and futures are based on technology, socio-environmental and political boundary conditions. Combination of a strategy and a future yields a scenario. A strategy is a set of controllable options, where controllable refers to decision makers. RES deployment policies, R&D funding policies are typical options. A future is a set of non-controllable uncertainties, such as economic growth, the cost of fuels, etc. Five different scenarios have been

selected in the project. Each scenario represents a specific set of quantitative and qualitative values for the ensemble of options and strategies that defines a scenario. Selection has been performed with the aim of retaining the scenarios resulting in the most challenging power flows in the future pan-European electric system

- WP2 – scenarios built as a combination of a given strategy and a given future with associated boundary conditions. These scenarios are used to build Generation, Demand and Exchange (G/D/E) volumes. Next, they are used to express these values in time with various spatial resolutions to conduct market simulations and network analyses. They will enable us to define possible simplified grid systems (a cluster approach) and related technology portfolios in the upcoming decades (2020–2050).
- WP3 – a package in which the technology portfolio is to be developed including all required data used not only in WP2 simulations, but also to conduct more sophisticated analyses (compare WP4 for dynamic data and WP6 for cost and benefit analyses).
- WP4 – a package of operational analyses (including short-circuit and dynamic simulations) as well as environmental performances of possible grid architectures.
- WP6 – a package of socio-economic analyses of the grid infrastructures selected in WP2 and WP4. These analyses include social welfare and environmental protection aspects.

WP8 is a parallel package where the possibility to mathematically formalize such long-term planning methods is investigated using enhanced optimization and advanced simulation tools. The core of the e-Highway 2050 algorithm is developed by WP2, 4 and 6 based upon the data provided by WP3. WP2 shows which possible grid systems are compatible with market simulations and the limited transmission capacities of the lines between the clusters. WP4 and 6 are additional filters: WP4 is oriented on operational aspects of selected systems and includes, among other things, simulations. It also checks which suggested grid systems are optimum, taking into account the system dynamics. However, WP6 constitutes a social-economic filter of grid system selections complying with environmental limitations and social welfare maximisation. Therefore, WP2, 4 and 6 constitute a series of filters allowing the project partners to retain the most probable grid architectures in 2050, based upon a chain of simulation tools with the associated data provided by WP3.

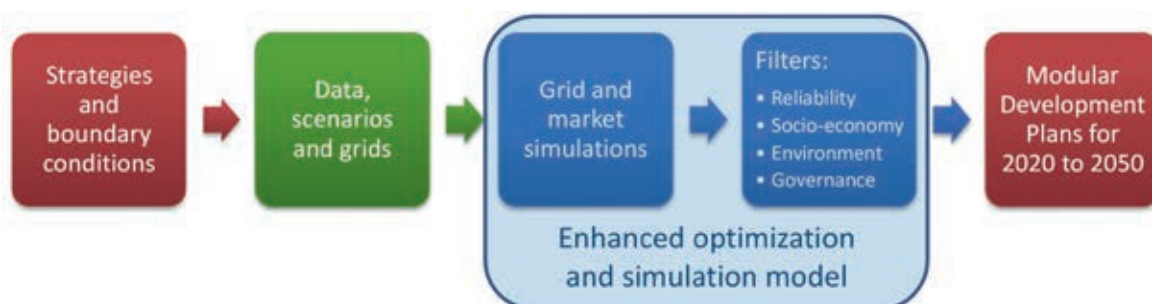


Fig. 1. General workflow of the e-Highway 2050 project

3. Technology portfolio database

Technical and economic data on technologies is a critical building block of the e-Highway 2050 modular development plan. WP3 provides a cost and performance database used for the selection of candidate power system technologies in the 2050 time horizon. It also provides typical technical and economic data used by all numerical simulations performed for the selected grid architectures and each of the five e-Highway 2050 scenarios. Within the WP3 package, a portfolio of technologies (generation, storage, transmission, demand) has been selected according to their impact on transmission networks with regard to planning issues by 2050. A dedicated approach has been developed to identify the demand-side technologies of major impact for the electricity demand at 2050 (i.e. electric vehicles, heat pumps and LED/OLED). The database is divided into technologies (and sub-technologies where applicable, e.g. sea and land wind power generation). See below for these technologies:

- **generation and storage technology:** water generation with or without tanks; PV (photovoltaic panels); concentrated solar energy; sea and land wind power; geothermal energy; gas turbines; from hard coal with or without CCS (*carbon capture storage*); from brown coal with or without CCS; atomic energy; energy from biomass and biogas; pumped storage water energy; CAES; electrochemical storage
- **demand-side technologies:** electric vehicles; heat pumps; lighting
- **passive transmission technologies:** high-voltage AC and DC cables; high-voltage AC and DC overhead lines; high-temperature conductors; combination of HVAC/HVDC transmission; gas insulated lines; superconductors

- **active transmission technologies:** converters for HVDC (CSC and VSC); FACTS (shunt and series); phase shift transformers and transformers with a tap changer; protection and control at substations and at system level.

4. Key features of the database construction process

Collective construction process

The construction process of the database has involved key stakeholders of the electricity supply chain (manufacturers, TSOs, academia, research institutes) and available scientific and technical literature. Data collection, modelling and calculations have been mainly provided by professional associations per domain of expertise.

Data validation

Data has been validated by members of the e-Highway 2050 consortium (via internal workshops and the Quality Commission) as well as external stakeholders in the course of a special workshop.

Data uncertainties and contextualization

Apart from the data collection process, the two main problems concerning databases are: uncertainties and contextualisation.

- Uncertainties refer to the intervals of confidence of the values for given variables. For instance, the value of a given variable in 2050 cannot be stated as 8 MW (if one considers for instance the rated power of a typical offshore wind turbine in 2050), but rather 8 MW (+/- 10%) or it may vary within a min. max. interval that could be [6–10] MW. The increasing uncertainty over time has been a major difficulty when assessing numerical values for several data types such as costs or technical performances.

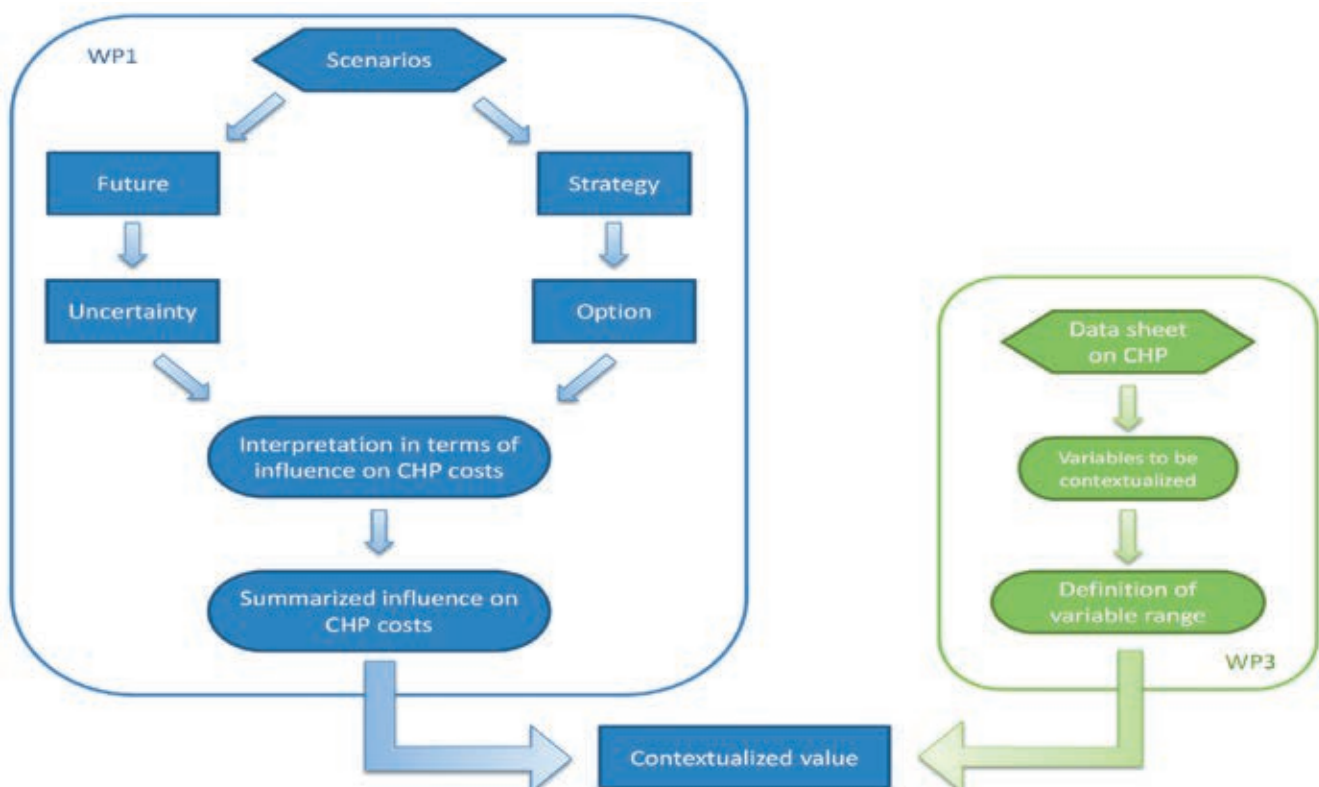


Fig. 2. Overview of the contextualization process

- Contextualization refers to the different values that might be taken by a variable depending on the e-Highway 2050 scenario. For example, in a scenario with 100% penetration of large scale renewables in 2050, one can expect that the investment costs for wind power would be lower than the investments costs for wind power in a Scenario where renewables reach a lower penetration and the thermal electricity generation is roughly at the same level as today.

Contextualization tries to answer the key question for the downstream simulations to be performed: How to adjust the typical range of technology data according to the five selected scenarios?

5. Data contextualization

Data contextualization aims to allocate, for a given technology, typical values to key variables descriptive of this technology, in the 2050 time horizon, for each of the five considered scenarios. The contextualization process will be described using the example of data on the CHP (*Combined Heat and Power*) technology. The data in Fig. 2 presents a step-by-step approach designed and adopted in order to obtain contextualized data.

Future: Uncertainty	Impact on:	
	Investment costs	O&M (operation and maintenance) costs
International Climate Agreement	+	-
Dependency on fossil fuels from outside Europe	+	-
Fuel costs	++	-
CO ₂ emission costs	+	++
Electrification in transport, heating, industry	++	-
Demographic change	+	-

Tab. 1. Impact of selected factors on costs: CHP fired with waste

The input data for the process are data sheets containing range of values of different parameters (variables) describing the CHP technology (present and future) and selected future scenarios described by differing uncertainties and strategy options, which are the result of works of WP1 of the e-Highway 2050 project, in which the Institute of Power Engineering also took part.

Scenario	X5 Large-scale RES & no emissions	X7 100% RES	X10 Big investment & Market	X13 Big investment in fossil fuel with CCS & Nuc	X16 Small and local
Future					
International Climate Agreement	EU alone: prices relatively stable		Global agreement: no available cheaper installations from outside EU, demand exceeding supply leading to higher prices		EU alone: prices relatively stable
Dependency on fossil fuels from outside Europe	Low: low incentive to build waste CHP		Medium: higher incentive to build waste CHP		Medium: higher incentive to build waste CHP
Fuel costs	High: very high incentive for new waste CHP		Low: low incentive to build waste CHP		High: very high incentive for new waste CHP
CO₂ emission costs	High: lead to increasing O&M costs		High: lead to increasing O&M costs		Low: no significant change
CCS maturity	No: higher prices of CCS installations		Yes: lower prices of CCS installations		No: higher prices of CCS installations
Electrification in heating	All: very low incentive to build waste CHP		Large scale (commercial etc.): no significant change		Residential: low incentive to build waste CHP
Demographic change	Growth: more demand for heat		Growth: more demand for heat		Migration only: no significant change
Public perceptions to shale gas	Negative: other fuels (e.g. waste) necessary		Positive: available gas will lower the incentive for other technologies		Negative: other fuels (e.g. waste) necessary
Shift towards greener behaviours	Major: lack of public support for waste CHP		Minor: no significant change		Major: lack of public support for waste CHP
Strategy					
Deployment of de-centralized RES (including CHP and biomass)	Low	High	Medium	Low	High
Increase in energy efficiency (including DSM and flexibility)	Low: higher O&M costs due to frequent need of regulation	High: lower O&M costs due to low need of regulation	Medium: no significant impact	Low: higher O&M costs due to frequent need of regulation	High: lower O&M costs due to low need of regulation
Increase of funds and better coordination of RDD activities (at EU level)	High: technology may become cheaper	High: technology may become cheaper	Medium: prices at medium level	Medium: prices at medium level	Low: higher technology prices
Permitting framework (including EU nature legislation)	Convergent and strong framework: lowering investment costs	Convergent and strong framework: lowering investment costs	Convergent and strong framework: lowering investment costs	Heterogeneous framework at EU level: possibly higher investment costs	Heterogeneous framework at EU level: possibly higher investment costs
Resulting scenario for costs					
Investment	medium	low	high	high	medium
O&M	high	medium	high	high	medium

Tab. 2. Contextualization of cost variables – waste to energy CHP

The first stage of the contextualization process was to determine the degree of influence of individual factors (uncertainties as defined for each “future” and options as defined for each “strategy”) on variables selected to be contextualized. Only variables regarding investment and O&M (*Operational and maintenance*) costs were contextualized. Other variables, such as those regarding emissions or technical parameters, cannot be reliably contextualized.

The analysed technologies have been grouped into four categories based on the type of fuel used by a given CHP technology. The impact of individual factors has been assessed for each of these categories as one of the following values:

- ++ (major impact)
- + (minor impact)
- – (negligible or no impact).

An example of the assessed influence of selected impact factors (future uncertainties) on the projected level of costs for waste-to-energy CHP is presented in Tab. 1.

Each of the selected scenario parameters (future uncertainty or strategy option) has then been analysed in order to determine its impact on a potential incentive to develop a given technology and its investment and O&M costs. It has been assumed that a greater incentive to develop a given technology (and hence a potentially larger penetration of this technology) will result in lowering the overall investment costs and vice versa. Based on the impact of each parameter’s value, a final assessment of the projected level of both types of costs was assigned to each scenario and each technology category (compare Tab. 2 continuing the waste-fired CHP example (in some cases the future uncertainties are the same for various scenarios so they have the same impact on the predicted cost levels).

Finally, the values of selected variables have been allocated to individual scenarios and technologies. The allocation has been performed based on an assessment of final marks to appropriate technology groups in a given scenario and the range of values for the selected variable as determined in the data sheets. The values for three defined levels of final marks for selected variables have been defined as follows:

- If a range of values is available for a given variable in the data sheet, the low end value of the range is assigned to the “low” final mark, the high end value of the range is attached to the “high” final mark, while the “medium” final mark is attached an arithmetical mean of low and high end values of the range

- If only a single value of the variable is available, it is assumed to correspond to the “medium” final mark. The values for “low” and “high” final marks are then calculated using the assumption that they differ respectively by –12.5% and +12.5% from the available “medium” value. This approach is arbitrary due to a lack of better data, but in the case of variables for which a range of values is available, the difference between low and high end values for the range is 25%, therefore the mean value $\pm 12.5\%$.

6. Conclusion

The presented contextualization process designed and performed by the Institute of Power Engineering assists building models corresponding to future scenarios predefined by other work packages of the e-Highway 2050 project by enabling a more accurate reflection of the possible and probable characteristics of individual technologies. This in turn helps support the long-term planning of the pan-European transmission network by 2050, which is the main objective of the project.

REFERENCES

1. e-Highway 2050, Annex 1 to Ms3.1: Combined Heat and Power Technology Assessment Report, written by Institute of Power Engineering.
2. E. Peirano et al., A cost and performance database of power system technologies in support of the development of the pan-European electricity highways system at the 2050 time frame, European Wind Energy Association Offshore 2013, 19–21.11.2013, Frankfurt.
3. Heat Roadmap Europe 2050 Study for The Eu27, Aalborg University, Halmstad University, PlanEnergi, May 2010.
4. F. Starr, FIMMM, Future Challenges for CHP in the UK and Continental Europe, 2010.
5. Speirs J. et al., Building a roadmap for heat 2050 scenarios and heat delivery in the UK, CHPA, Grosvenor Gardens House, London 2010.
6. Combined Heat and Power: a Decade of Progress, a Vision for the Future, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, United States Department of Energy, Washington, DC, 2008.
7. The most efficient waste management system in Europe, Rambøll 2006.
8. Energy Technology Perspectives. 2010 edition, International Energy Agency, France, 2010.
9. Projected Costs of Generating Electricity, International Energy Agency, France, 2015.

Michał Bajor

Institute of Power Engineering, Gdańsk Branch

e-mail: m.bajor@ien.gda.pl

Graduated from Gdańsk University of Technology, Faculty of Electronics, Telecommunications and Informatics, Department of Computer Architecture, specializing in distributed computing. Currently works as a Research Assistant/Project Manager in the Institute of Power Engineering in Gdańsk, Poland. Participated in numerous wind farm grid connection studies, as well as in other studies concerning the impact of wind farms on the electrical system and other types of grid studies. The main areas of his interest include probabilistic aspects of wind generation impact on the power system and non-deterministic computational methods of optimization of various aspects of grid operation..

Maciej Wilk

Institute of Power Engineering Gdańsk Branch | Gdańsk University of Technology

e-mail: m.wilk@ien.gda.pl

Graduated with a major in Electrical Engineering at the Faculty of Electrical Engineering and Automatics of Gdańsk University of Technology. Currently works in the Automatics and System Analyses Department of the Institute of Power Engineering, Gdańsk Branch. He is also doing his PhD at his parent faculty. He has participated in numerous works concerning interconnection studies of wind generation and other analytical works related to dynamics of the power system. He represents the Institute of Power Engineering in the European Commission project e-Highway 2050.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 34–39. When referring to the article please refer to the original text.

PL

e-Highway 2050: Metodyka kontekstualizacji danych na potrzeby tworzenia scenariuszy

Autorzy

Michał Bajor
Maciej Wilk

Słowa kluczowe

długoterminowy rozwój sieci i generacji, przyszłe scenariusze, kontekstualizacja danych

Streszczenie

Projekt e-Highway 2050, współfinansowany przez Siódmy Program Ramowy UE, ma na celu opracowanie metodyki długoterminowego planowania Paneuropejskiej Sieci Przesyłowej, a w dłuższej perspektywie zapewnienia niezawodnych dostaw energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych i ogólnoeuropejskiej integracji rynkowej w roku 2050. Jednym z jego zadań jest stworzenie scenariuszy zdefiniowanych jako pięć charakterystycznych wizji przyszłości na lata 2020–2050, uwzględniających aspekty finansowe, technologiczne/gospodarcze, środowiskowe i społeczno-polityczne. Jednym z kluczowych pytań dla całego projektu jest pytanie: Jak dobrać typowy zakres danych technicznych dla każdego z wybranych scenariuszy? W tym celu proponuje się podejście zwane kontekstualizacją danych, którego celem, dla danej technologii, jest nadanie wartości typowych jej głównym zmiennym opisowym, w perspektywie roku 2050, dla każdego z pięciu rozważanych scenariuszy. Podstawowym założeniem, jakie zostało przyjęte, jest to, że kontekstualizację stymuluje głównie stopień penetracji danej technologii (skumulowana liczba jednostek w danej chwili). W istocie przyjęto, że linie trendu kosztów i wydajności danej technologii do 2050 roku są bezpośrednio skorelowane z poziomem jej wdrożenia. Pierwszy etap procesu kontekstualizacji służy określeniu stopnia wpływu poszczególnych czynników (niepewności, jakie zdefiniowano dla każdej „przyszłości”, oraz opcji, jakie zdefiniowano dla każdej „strategii”) na wybrane do kontekstualizacji zmienne. Następnie poszczególne parametry wybranych scenariuszy (niepewność lub opcja) przeanalizowano pod kątem wpływu na potencjalne stymulowanie rozwoju danej technologii, inwestycji w nią oraz kosztów jej utrzymania i eksploatacji. Założono, że rozwój danej technologii jest stymulowany, a zatem potencjalnie następuje wzrost jej penetracji przez zmniejszenie ogólnych kosztów inwestycyjnych i odwrotnie. Na podstawie wartości wpływu poszczególnych parametrów każdemu scenariuszowi i każdej kategorii technologii przypisano ostateczną ocenę przewidywanego poziomu obu rodzajów kosztów. W końcu poszczególnym scenariuszom i technologiom przypisano wartości wybranych zmiennych. Podstawą tego przypisania były ostateczne oceny grup technologii w danym scenariuszu oraz zakres wartości dla wybranej zmiennej.

1. Kontekst i cele projektu e-Highway 2050

Szybki rozwój odnawialnych źródeł energii i technologii zarządzania popytem zmienia sposób, w jaki projektuje się i eksploatuje systemy przesyłowe energii elektrycznej. Aby przyłączyć odnawialne zasoby bardzo oddalone od głównych obszarów konsumpcji w Europie, energię elektryczną trzeba transportować na duże odległości, także poprzez granice krajów. Usługami aktywnego reagowania na popyt można sterować również na dużych obszarach geograficznych, co angażuje wielu interesariuszy w różnych systemach regulacyjnych. Potrzeba zatem paneuropejskiej infrastruktury, aby poszerzyć wymianę mocy i danych między różnymi interesariuszami systemu elektroenergetycznego, w celu spełnienia nowych ograniczeń, w tym stopniowego

budowania jednolitego europejskiego rynku energii elektrycznej. Odpowiedzią na ten wymóg budowy paneuropejskiej sieci przesyłowej jest projekt e-Highway 2050 współfinansowany przez Komisję Europejską (DG Research).

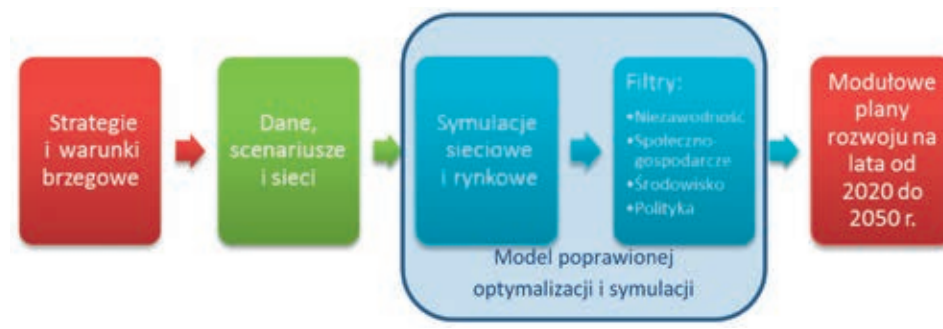
Jego głównym celem jest opracowanie metodyki planowania ogólnoeuropejskiej sieci przesyłowej do 2050 roku. To podejście planistyczne musi być zgodne z celami unijnej polityki energetycznej dotyczącej zapewnienia niezawodnych dostaw energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych i ogólnoeuropejskiej integracji rynku energii elektrycznej. Polega ono na modułowym planie rozwoju z uwzględnieniem różnych paneuropejskich schematów sieciowych, aby sprostać pięciu potencjalnym scenariuszom przyszłego systemu elektroenergetycznego o największym wpływie

na ogólnoeuropejską sieć przesyłową. W jego tworzeniu udział biorą konsorcjum operatorów systemów przesyłowych, instytuty badawcze, uczelnie, stowarzyszenia branżowe oraz organizacje pozarządowe, a ostateczne wyniki ogłoszone zostaną do końca 2015 roku.

2. Ogólny opis metodyki planowania

Ta nowa „oddolna” metodyka planowania zbudowana jest wokół czterech głównych etapów, w ramach których zaprasza się interesariuszy z całej Europy do dyskusji nad założeniami oraz pośrednimi i końcowymi efektami w trakcie warsztatów i konsultacji zewnętrznych:

- opis możliwych założeń na lata 2020–2050 z uwzględnieniem technologicznych, społeczno-środowiskowych i politycznych warunków brzegowych



Rys. 1. Ogólny schemat działania projektu e-Highway 2050

- tworzenie scenariuszy energetycznych przy równoczesnym uwzględnieniu przewidywanych profili generacji i popytu oraz dostępnych w 2050 roku technologii magazynowania, zarządzania popytem i przesyłu
- symulacje sieciowe i rynkowe, w celu zoptymalizowania architektury sieciowej, które przyczyniają się do dopasowania produkcji energii elektrycznej do profili popytu na poziomie europejskim
- propozycja modułowych planów rozwoju paneuropejskiego systemu przesyłowego, obejmująca każdy z badanych scenariuszy i zoptymalizowana przy uwzględnieniu dobrostanu społeczności, uwarunkowań środowiskowych i politycznych.

Jednocześnie zbadano możliwość matematycznego opisania takiej metody planowania długoterminowego przy zastosowaniu wzmocnionej optymalizacji i zaawansowanych narzędzi symulacyjnych.

Ogólny schemat działania projektu e-Highway 2050 przedstawiono na rys. 1. Dokładniej rzecz biorąc, algorytm tworzy się w następujących sześciu technicznych grupach roboczych:

- WP1, pakiet tworzenia zestawu możliwych strategii i przyszłości w oparciu o technologiczne, społeczno-środowiskowe i polityczne warunki brzegowe. Połączenie strategii i przyszłości daje scenariusz. Strategia jest to zestaw kontrolowanych opcji, gdzie kontrola odnosi się do decydentów. Reguły rozmieszczania OZE, finansowania R&D to typowe opcje. Przyszłość jest to zestaw niekontrolowanych niepewności, takich jak wzrost gospodarczy, koszt paliwa itp. W projekcie wybrano pięć różnych scenariuszy. Każdy scenariusz reprezentuje określony zestaw wartości ilościowych i jakościowych dla zespołu opcji i strategii, który go definiuje. Wyboru dokonano w celu zachowania scenariuszy skutkujących najbardziej ambitnymi przepływami mocy w przyszłym ogólnoeuropejskim systemie elektrycznym.
- WP2, pakiet tworzenia scenariuszy jako kombinacji danej strategii i danej przyszłości wraz ze związanymi z nimi warunkami brzegowymi. Scenariusze to wykorzystuje się do budowania wolumenów Generacji, Popytu i Wymiany (*Generation, Demand, Exchange – G/D/E*), a następnie wyrażenia tych wartości w czasie przy różnych rozdzielczościach przestrzennych w celu przeprowadzenia symulacji rynkowych i analiz sieciowych. Pozwólą one na wyznaczenie możliwych uproszczonych układów sieciowych (podejście klastrowe) oraz związanych z nimi portfolio technologii w nadchodzących dziesięcioleciach (2020–2050).
- WP3, pakiet, w którym opracowane zostanie portfolio technologii wraz ze wszystkimi wymaganymi danymi służącymi nie tylko do wykonywania symulacji w WP2, ale także do bardziej wyrafinowanych analiz (por. WP4 dla danych dynamicznych, WP6 dla analizy kosztów i korzyści).
- WP4, pakiet analiz operacyjnych (w tym symulacji zwarciowych i dynamicznych) oraz środowiskowych możliwych układów sieciowych.

- WP6, pakiet analiz społeczno-ekonomicznych infrastruktur sieciowych wybranych w etapach WP2 i WP4. Analizy te obejmują dobrostan społeczny i aspekty ochrony środowiska.

WP8 jest to pakiet równoległy, w ramach którego przy użyciu narzędzi wzmocnionej optymalizacji i zaawansowanej symulacji bada się możliwość matematycznego sformułowania metod planowania długoterminowego. Istota algorytmu e-Highway 2050 powstaje w pakietach WP2, 4 i 6, na podstawie danych dostarczonych przez WP3. WP2 wskazuje, które z możliwych układów sieciowych są zgodne z symulacjami rynkowymi oraz z modelowanymi ograniczonymi zdolnościami przesyłowymi linii pomiędzy klastrami. WP4 i 6 stanowią dodatkowe filtry: WP4 zorientowany jest na aspekty operacyjne wybranych układów, obejmuje między innymi symulacje i sprawdzki, które z zaproponowanych układów sieciowych są optymalne z punktu widzenia dynamiki systemu. WP6 natomiast stanowi filtr społeczno-gospodarczy wyboru układów sieciowych zgodnych z ograniczeniami środowiskowymi i maksymalizacją dobrostanu społeczności. WP2, 4 i 6 stanowią zatem szereg filtrów pozwalających partnerom projektu zachować najbardziej prawdopodobne w 2050 roku układy sieciowe na podstawie łańcucha narzędzi symulacyjnych z danymi pozyskanymi z grupy WP3.

3. Baza danych portfolio technologii

Dane techniczne i ekonomiczne technologii są kluczowym budulcem modułowego planowania rozwoju wg e-Highway 2050. WP3 dostarcza bazy danych kosztów i wydajności używanych do wyboru technologii elektroenergetycznych przewidywanych w perspektywie 2050 roku. Dostarcza także typowych danych technicznych i ekonomicznych wykorzystywanych przez wszystkie symulacje numeryczne przeprowadzone dla wybranych układów sieciowych i każdego z pięciu scenariuszy e-Highway 2050. W ramach prac grupy WP3 wybrano portfel technologii (wytwarzanie, magazynowanie, przesył, popyt) stosownie do ich wpływu na sieci przesyłowe w odniesieniu do kwestii planowania do 2050 roku. Opracowano wyspecjalizowane podejście w celu identyfikacji technologii o dużym wpływie na popyt na energię elektryczną w 2050 roku (tj. pojazdy elektryczne, pompy ciepła oraz LED/OLED). Baza danych jest podzielona na technologie (oraz podtechnologie w stosownych przypadkach, np. morską i lądową generację wiatrową). Te różne technologie wymieniono poniżej:

- **technologie generacji i magazynowania:** generacja wodna ze zbiornikiem i bez; PV (panele fotowoltaiczne); skoncentrowana energia słoneczna; wiatrowa na lądzie i morzu; geotermalna; w turbinach gazowych; z węgla kamiennego z CCS (ang. *carbon capture storage*) lub bez; z węgla brunatnego z CCS lub bez; energia atomowa; z biomasy i biogazu; wodna szczytowo-pompowa; CAES; magazynowanie elektrochemiczne
- **technologie po stronie popytu:** pojazdy elektryczne; pompy ciepła; oświetlenie
- **pasywne technologie przesyłowe:** kable AC i DC wysokiego napięcia;

linie napowietrzne AC i DC wysokiego napięcia; przewody na wysokie temperatury; przesył kombinowany HVAC/HVDC; linie z izolacją gazową; nadprzewodniki

- **aktywne technologie przesyłowe:** konwertery HVDC (CSC i VSC); FACTS (bocznikowe i szeregowo); transformatory z przesunięciem fazowym i transformatory z przełącznikiem zaczepów; zabezpieczenia i sterowanie w podstacjach i na poziomie systemu.

4. Najważniejsze cechy procesu budowy bazy danych

Proces budowy zbiorowej

W proces budowy bazy danych zaangażowano najważniejszych interesariuszy w łańcuchu dostaw energii elektrycznej (producenci, operatorzy systemów przesyłowych, środowiska akademickie, instytuty badawcze) oraz wykorzystywano literaturę naukową i techniczną. Zbieranie danych, modelowanie i obliczenia były wykonywane głównie przez stowarzyszenia zawodowe stosownie do specjalizacji.

Weryfikacja danych

Weryfikację danych zapewnili członkowie konsorcjum e-Highway 2050 (poprzez wewnętrzne warsztaty i komisję ds. jakości) oraz interesariusze zewnętrzni za pośrednictwem specjalnego warsztatu.

Niepewność danych a kontekstualizacja

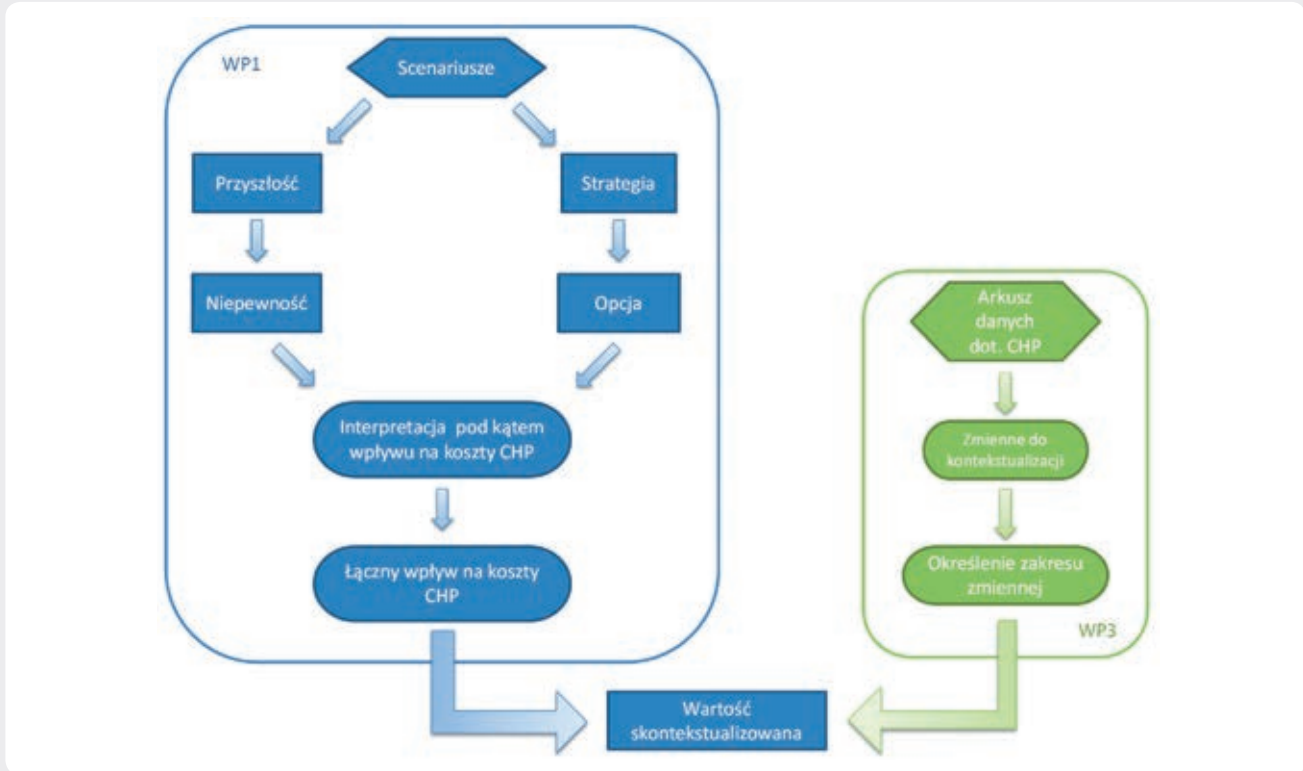
Oprócz procesu zbierania danych dwa główne problemy dotyczące bazy danych to: niepewności i kontekstualizacja.

- Niepewności odnoszą się do przedziałów ufności podanych wartości zmiennych. Na przykład wartości danej zmiennej (np. mocy znamionowej typowej morskiej turbiny wiatrowej) w 2050 roku nie powinno się przyjmować jako 8 MW, ale raczej jako 8 MW (+/- 10%), lub przyjąć, że wartość ta może wahać się w przedziale 6–10 MW. Ta rosnąca niepewność z czasem stała się jednym z głównych problemów przy ocenie wartości liczbowych dla kilku typów danych, takich jak koszty lub osiągi techniczne.
- Kontekstualizacja odnosi się do różnych wartości, które może przyjąć dana zmienna w różnych scenariuszach e-Highway 2050. Na przykład w scenariuszu ze 100-proc. penetracji dużych źródeł odnawialnych w 2050 roku można się spodziewać, że koszty inwestycji w energię wiatrową byłyby niższe niż w scenariuszu, gdzie energia odnawialna osiąga niższą penetrację i generacja w elektrowniach ciepłych pozostaje na mniej więcej tym samym poziomie co obecnie.

Kontekstualizacja próbuje odpowiedzieć na kluczowe dla dalszych symulacji pytanie: Jak ustawić typowy zakres danych technicznych dla każdego z wybranych scenariuszy?

5. Kontekstualizacja danych

Celem kontekstualizacji danych, przy określonej technologii, jest nadanie wartości typowych jej kluczowym zmiennym opisowym, w perspektywie roku 2050, dla każdego z pięciu rozważanych scenariuszy. Proces kontekstualizacji zostanie opisany na przykładzie danych dotyczących technologii CHP (ang. *Combined Heat and*



Rys. 2. Proces kontekstualizacji

Power). Na rys. 2 pokazano podejście „krok po kroku”, zaprojektowane i przyjęte, aby uzyskać dane kontekstualizowane.

Dane wejściowe dla tego procesu to arkusze danych zawierające zbiór wartości różnych parametrów (zmiennych) opisujących technologię CHP (teraźniejsze i te dotyczące przyszłości) oraz wybrane przyszłe scenariusze opisane przez różne niepewności i opcje strategiczne, które są wynikiem prac na etapie WP1 projektu e-Highway 2050, w których Instytut Energetyki także uczestniczył.

Pierwszy etap procesu kontekstualizacji służy określeniu stopnia wpływu poszczególnych czynników (niepewności, jakie zdefiniowano dla każdej „przyszłości”, oraz opcji, jakie zdefiniowano dla każdej „strategii”) na wybrane do kontekstualizacji zmienne. Kontekstualizowano tylko zmienne dotyczące kosztów: inwestycji i O&M (ang. *Operational and maintenance*). Innych zmiennych, np. dotyczących emisji lub parametrów technicznych, nie można wiarygodnie kontekstualizować.

Analizowane technologie podzielono na cztery kategorie w zależności od typu paliwa używanego w danej technologii CHP. Wpływ poszczególnych czynników oceniono dla każdej z tych kategorii jako jedną z następujących wartości:

- ++ (duży wpływ)
- + (mały wpływ)
- - (pomijalny lub żaden wpływ).

Przykład oceny wpływu wybranych czynników (przyszłych niepewności) na przewidywany poziom kosztów elektrociepłowni opalanej odpadami przedstawiono w tab. 1.

Następnie poszczególne parametry wybranych scenariuszy (przyszła niepewność lub opcja strategii) przeanalizowano, aby

określić ich wpływ na potencjalne stymulowanie rozwoju danej technologii, kosztów inwestycji w nią i kosztów jej utrzymania i eksploatacji. Założono, że bardziej stymuluje rozwój danej technologii (a zatem, potencjalnie, wzrost jej penetracji), zmniejszenie ogólnych kosztów inwestycyjnych i odwrotnie. Na podstawie wpływu wartości poszczególnych parametrów każdemu scenariuszowi i każdej kategorii technologii przypisano ostateczną ocenę przewidywanego poziomu obu rodzajów kosztów, por. tab. 2, kontynuując przykład elektrociepłowni opalanej odpadami (w niektórych przypadkach przyszłe niepewności są takie same dla różnych scenariuszy i dlatego mają taki sam wpływ na przewidywany poziom kosztów).

W końcu poszczególnym scenariuszom i technologiom przypisano wartości wybranych zmiennych. Podstawą tego przypisania były ostateczne oceny grup technologii

w danym scenariuszu oraz zakres wartości dla wybranej zmiennej określony w arkuszach danych. Wartości te dla trzech zdefiniowanych poziomów ocen ostatecznych dla wybranych zmiennych zdefiniowano następująco:

- Jeśli zakres wartości zmiennej podano w arkuszu danych, najniższej i najwyższej wartości z tego zakresu przypisuje się, odpowiednio, „niską” i „wysoką” ocenę ostateczną, „średnią” zaś ocenę ostateczną przypisuje się ich średniej arytmetycznej.
- Jeśli podano tylko jedną wartość zmiennej, zakłada się, że odpowiada ona ocenie „średniej”. Następnie oblicza się te wartości dla ocen ostatecznych „niskich” i „wysokich” przy założeniu, że różnią się one, odpowiednio, o -12,5% i +12,5% od podanej wartości „średniej”. Podejście to jest arbitralne z powodu braku lepszych danych, ale w przypadku zmiennych, dla których podano zakres wartości,

Przyszłość: Niepewność	Wpływ na:	
	Koszty inwestycji	Koszty O&M (eksploatacji i utrzymania)
Międzynarodowe porozumienie w sprawie klimatu	+	-
Zależność od paliw kopalnych spoza Europy	+	-
Koszty paliwa	++	-
Koszty emisji CO ₂	+	++
Elektryfikacja transportu, ogrzewania, przemysłu	++	-
Zmiany demograficzne	+	-

Tab. 1. Wpływ wybranych czynników na koszty: CHP opalana odpadami

Scenariusz	X5 Duże OZE i żadnych emisji	X7 100% OZE	X10 Wielkie inwestycje i Rynek	X13 Duże inwestycje na paliwa kopalne z CCS i jądrowymi	X16 Małe i lokalne
Przyszłość					
Międzynarodowe porozumienie w sprawie klimatu	Tylko UE: ceny stosunkowo stabilne		Globalne porozumienie: brak tańszych instalacji spoza UE, popyt przewyższa podaż, co prowadzi do wzrostu cen		Tylko UE: ceny stosunkowo stabilne
Zależność od paliw kopalnych spoza Europy	Niska: mała zachęta do budowy CHP na odpady		Średnia: większa zachęta do budowy CHP na odpady		Średnia: większa zachęta do budowy CHP na odpady
Koszty paliwa	Wysokie: bardzo duża zachęta dla nowych CHP na odpady		Niskie: mała zachęta do budowy CHP na odpady		Wysokie: bardzo duża zachęta dla nowych CHP na odpady
Koszty emisji CO₂	Wysokie: prowadzą do wzrostu kosztów O&M		Wysokie: prowadzą do wzrostu kosztów O&M		Niskie: brak istotnej zmiany
Dojrzałość CCS	Nie: wyższe ceny instalacji CCS		Tak: niższe ceny instalacji CCS		Nie: wyższe ceny instalacji CCS
Elektryfikacja ogrzewania	Całkowita: bardzo mała zachęta do budowy CHP na odpady		Na dużą skalę (komercyjna itp.): brak istotnej zmiany		Mieszankiowa: mała zachęta do budowy CHP na odpady
Zmiany demograficzne	Wzrost: większy popyt na ciepło		Wzrost: większy popyt na ciepło		Tylko migracja: brak istotnej zmiany
Stosunek społeczeństwa do gazu łupkowego	Negatywny: konieczne inne paliwa (np. odpady)		Pozytywny: dostępność gazu zmniejszy zachęte dla innych technologii		Negatywny: konieczne inne paliwa (np. odpady)
Zmiana zachowań na bardziej ekologiczne	Znaczna: brak społecznego poparcia dla CHP na odpady		Nieznaczna: brak istotnej zmiany		Znaczna: brak społecznego poparcia dla CHP na odpady
Strategia					
Decentralizacja OZE (w tym CHP i biomasa)	Niska	Wysoka	Średnia	Niska	Wysoka
Wzrost sprawności energetycznej (m.in. zarządzania popytem DSM i elastyczność)	Niski: wyższe koszty O&M ze względu na potrzebę częstej regulacji	Wysoki: niższe koszty eksploatacji ze względu na małą potrzebę regulacji	Średni: brak znaczącego wpływu	Niski: wyższe koszty O&M ze względu na potrzebę częstej regulacji	Wysoki: niższe koszty eksploatacji ze względu na małą potrzebę regulacji
Wzrost funduszy i poprawa koordynacji działań RDD (na poziomie UE)	Wysoki: technologia może stanąć	Wysoki: technologia może stanąć	Średni: ceny na średnim poziomie	Średni: ceny na średnim poziomie	Niski: wyższe ceny technologii
Tryb uzyskiwania zezwoleń (w tym prawo UE dot. przyrody)	Zbieżny i silny: obniżenie kosztów inwestycji	Zbieżny i silny: obniżenie kosztów inwestycji	Zbieżny i silny: obniżenie kosztów inwestycji	Niejednolity na poziomie UE: możliwe wyższe koszty inwestycji	Niejednolity na poziomie UE: możliwe wyższe koszty inwestycji
Scenariusz wyników dla kosztów					
Inwestycja	średni	niski	wysoki	wysoki	średni
O&M	wysoki	średni	wysoki	wysoki	średni

Tab. 2. Kontekstualizacja zmiennych kosztów – CHP opalana odpadami

różnica pomiędzy wartościami najwyższą i najniższą z tego zakresu wynosi 25%, a zatem wartość średnia to $\pm 12,5\%$.

6. Wnioski

Przedstawiony tu, zaprojektowany i zrealizowany w Instytucie Energetyki proces kontekstualizacji ułatwia budowanie modeli odpowiadających przyszłym scenariuszom wstępnie zdefiniowanym w innych pakietach roboczych projektu e-Highway 2050, umożliwiając dokładniejsze odzwierciedlenie możliwych i prawdopodobnych cech poszczególnych technologii. To z kolei przyczynia się do poprawy długoterminowego planowania ogólnoeuropejskiej sieci przesyłowej do 2050 roku, co jest głównym celem tego projektu.

Bibliografia

1. e-Highway 2050, Załącznik 1 do Ms3.1: Combined Heat and Power Technology Assessment Report, Instytut Energetyki.
2. Peirano E. i in., A cost and performance database of power system technologies in support of the development of the pan-European electricity highways system at the 2050 time frame, European Wind Energy Association Offshore 2013, 19–21.11.2013, Frankfurt.
3. Heat Roadmap Europe 2050 Study for The Eu27, Aalborg University, Halmstad University, PlanEnergi, maj 2010.
4. Starr F., FIMMM, Future Challenges for CHP in the UK and Continental Europe, 2010.
5. Speirs J. i in., Building a roadmap for heat 2050 scenarios and heat delivery in the UK, CHPA, Grosvenor Gardens House, Londyn 2010.
6. Combined Heat and Power: a Decade of Progress, a Vision for the Future, Biuro ds. Efektywności Energetycznej oraz Energii Odnawialnej, Amerykański Departament ds. Energii, Waszyngton, DC, 2008.
7. The most efficient waste management system in Europe, Rambøll 2006.
8. Energy Technology Perspectives. 2010 edition, Międzynarodowa Agencja Energetyczna, Francja, 2010.
9. Projected Costs of Generating Electricity, Międzynarodowa Agencja Energetyczna, Francja, 2015.

Michał Bajor

mgr inż.

Instytut Energetyki Oddział Gdańsk

e-mail: m.bajor@ien.gda.pl

Ukończył studia na Politechnice Gdańskiej, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Katedra Architektury Systemów Komputerowych, specjalność: obliczenia rozproszone. Obecnie pracuje jako asystent/kierownik ds. projektów w Instytucie Energetyki w Gdańsku. Brał udział w licznych studiach przyłączeń farm wiatrowych, a także w innych badaniach dotyczących wpływu farm wiatrowych na system elektroenergetyczny oraz badaniach sieciowych innych rodzajów. Główne obszary zainteresowań to probabilistyczne aspekty wpływu generacji wiatrowej na system elektroenergetyczny oraz niedeterministyczne metody obliczeniowe optymalizacji różnych aspektów funkcjonowania sieci.

Maciej Wilk

mgr inż.

Instytut Energetyki Oddział Gdańsk | Politechnika Gdańska

e-mail: m.wilk@ien.gda.pl

Ukończył studia na Wydziale Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. Obecnie pracuje w Dziale Automatyki i Analiz Systemowych Instytutu Energetyki Oddział Gdańsk. Pracuje nad doktoratem na swym macierzystym wydziale. Brał udział w licznych studiach przyłączeń farm wiatrowych i innych prac analitycznych związanych z dynamiką systemu elektroenergetycznego. Reprezentuje Instytut Energetyki w projekcie Komisji Europejskiej e-Highway 2050.