

# The Impact of Smart Grids on Sustainable Development

## Authors

Paweł J. Piotrowski  
 Piotr Helt  
 Piotr Kapler

## Keywords

sustainable development, renewable energy source, smart grid

## Abstract

The paper discusses the impact of smart grid on sustainable development. The first chapter is an introduction to the discussed topics. The second chapter describes man's attitude toward the environment, and also provides details of threats from wind farms and solar power plants. The third chapter introduces dynamic tariffs for electricity and the current status of smart metering deployment in Poland and in EU countries. The fourth chapter focuses on the energy production in a manner that promotes sustainable eco-development through the use of renewable energy and the concept of energy self-sufficient municipality.

**DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2016408**

## 1. Introduction

Important problems of modern global economy include gradual depletion of fossil fuels, and growing climate changes associated with greenhouse gas emissions into the atmosphere [29]. One of the methods to prevent both problems is to promote the production of electricity from renewable energy sources (RES). Unfortunately, this is still quite an expensive alternative, requiring extra funding. Renewable energy sources are ecologically desirable solutions (solar energy, energy from wind), but they are, unfortunately, unstable energy sources (unmanageable energy sources), and therefore no electricity production can be scheduled, even for another hour of the day, especially for wind farms [24]. Ultimately, RES should be one of the components of a power system called Smart Power Grids. By definition, this is a power system that in a smart way integrates the operations of all participants in the processes of electricity generation, transmission, distribution and use to deliver it reliably, safely and economically, taking into account the requirements of environmental protection [3]. The basis of Smart Power Grids system are the information and communication technologies that enable two-way information flow. One part of Smart Power Grids is Smart Metering, i.e. an intelligent measurement system consisting of many components inter-related with specific interactions [25]. A key element of the measurement system are smart electricity meters installed at electricity consumers. Energy consumers in a smart metering system can be divided into electricity consumers and the so-called prosumers (producer and consumer of electricity). Most often prosumers produce electricity from wind power or solar energy. Worth noting is the strongly local nature of energy production by RES. The local community obtains a

strong impact on the process of sustainable development and is largely responsible for it. This promotes community integration and increase of environmental awareness.

The Polish power sector's development taking into account smart power grids is subject to many analyses and studies [29, 11, 18, 2, 5]. The main aim of this paper is to identify the premises for smart grid development in Poland, and to show the platforms of this development in the context of environmental sustainability. From the point of view of sustainable development attention should be paid to the need to reduce greenhouse gas emissions in order to minimize the deepening of climate changes, and to the need to reduce energy consumption by promoting energy efficient solutions. Humanity is facing a dilemma. On the one hand energy is necessary for the development of civilization, on the other resources on Earth are gradually depleted. To replace non-renewable energy sources with renewable ones seems necessary, but this entails higher expenditures on its acquisition. The use of smart power grids brings great benefits, but also some risks.

## 2. Man's attitude towards the environment and the threat of wind farms and solar power plants

Since the beginning of universal electrification there has been a belief rooted in human consciousness that electricity is a commodity widely available and cheap. This state of affairs has not changed despite many warning signals, such as widespread power system failures, rising fossil fuel prices, and growing concern for the protection of the environment.

Human behaviours very strongly affect the surrounding natural environment. This also applies to a large extent to the way we use

electricity. So far, the priority has been to meet the human needs, side issues, including natural aspects, were addressed to a lesser extent. However, there is potential hope for significant improvement of the situation. We mean the Smart Power Grids concept. This is an idea that all participants in the energy market (from the producers to the consumers) are inter-related, and their actions are aimed at the use of electricity in the best way, with respect for the environment as an objective. The formation of such grids in the near future may improve the now disturbed balance between the economic and social spheres and the natural environment, i.e. broadly meant sustainable eco-development.

### Threats from wind farms

The dynamic development of wind power generation can cause numerous ecological and social conflicts [11]. With the extensive network of protected areas and scattered development in rural areas locations for wind turbines must be selected very carefully. It is worth noting that the process of wind power farm location and operation often creates serious conflicts, revealing in the two basic aspects [11]: impact on the environment and relationship between the municipality, the local public, and the investors. Wind power plants, considered to be environmentally friendly, sometimes in practice cause ecological conflicts. A compromise is hard to find between two very important environmental goals, namely the one hand nature conservation, on the other hand the need for renewable energy development [21]. Location of wind energy facilities must comply with the principle of consistent and sustainable development, which consists of equitable consideration of social, environmental and economic factors. Conflicts associated with wind turbine location in areas generally regarded as valuable nature and landscape do not contribute to rapid development of renewable energy in the country.

Wind farms can also cause health problems in adjacent local communities, as well as a threat to birds [27]. Potentially harmful effects having a potentially negative impact on the health of the local community include: audible noise, infrasound, low frequency electromagnetic field, and flickering shadows. The noise emitted from wind turbines, in terms of sources of acoustic emission, can be divided into mechanical noise (from generator, gearbox, transmission etc.) and aerodynamic noise (from movement of rotating blades, causing abnormal air flow at the ends of the blades, turbulence, air cavitation, or pressure changes during the passage of the blade next to the tower). The sound's nature and propagation in the environment depends on many factors, for example wind turbine design, its height with the rotor, number of turbines [32]. The rotating blades produce a pulsating sound. In addition, there may be interactions between individual turbines [20]. The noise generated by wind turbines, according to the vast majority of research, does not exceed sound pressure level 85 dB [21, 27]. An audible effect of wind power generation is the characteristic whistling coming from the turbine's blades, which is a broadband noise with higher frequencies, and with concurrent amplitude modulation at lower frequencies – it can increase the subjective feeling of volume and potential irritation in humans. Also, characteristic are vibrations, which are likely to make things gently move or window panes tremble [13]. On the

other hand, excessive and prolonged exposure to infrasound and low frequency sounds can cause vibroacoustic disease (VAD) as described by M. Alves-Pereira and B. Castelo [1]. It can manifest with fibrosis in the cardiovascular and pulmonary system and psychomotor disorders. Although the results of research of the impact of wind farms on human health in this area are few, yet they indicate that this fact cannot be ruled out [32].

Described in the literature is the concept of WTS Wind Turbine Syndrome, i.e. a set of problems, which can suffer those residing permanently near wind farms [27]. This term was introduced by N. Pierpont [23]. According to her research wind turbines are the cause of a set of syndromes, which consists of [23]: disorder and quality deterioration of sleep, headache, tinnitus, feeling of pressure in the ear, dizziness, nausea, blurred vision, tachycardia, irritability, problems with concentration and memory, and panic attacks associated with a feeling of movement or tremors inside the body, which appears both during sleep and while awake. Wind Turbine Syndrome occurrence, however, is a controversial and contentious the notion.

Shadow flicker is another phenomenon associated with wind turbines, which can occur when sunlight falls on the blades of a windmill, casting a shadow on objects under the mill. This effect is most common in the morning and evening when the sun is low on the horizon and thus shadows are longer. The problem, however, concerns only the older wind turbines – this phenomenon has virtually disappeared in modern currently built wind turbines. It has been eliminated by covering the blade surfaces with an anti-reflective coating [22, 27].

In collision with rotor blades – the blades' outer ends can reach linear speed to 300 km/h – birds and bats get killed. Some wind farm locations, such as on routes of migratory birds of prey, are especially prone to collisions. In the US, for example, every year almost 600 thousand birds are killed by wind farms. Moreover, barring on some wind turbines is an ideal roost for larger birds of prey, so deadly traps are also attractive to them and entice them. It is worth noting that the construction of a wind farm in an area or near an area where migratory birds rest and feed, often raises concerns that the project may contribute to the loss of these habitats.

### Threats from solar power

As regards photovoltaic systems for electricity generation and solar collectors for thermal energy production, there is the problem of violation of the aesthetics of the buildings and above-ground locations of these devices' installation. The size of a high power solar power plant requires a large plot of land, which also may be a source of social conflict. Another problem is the need to dispose of used devices that contain a lot of harmful substances dangerous for the environment. These devices' useful life is more than 10 years.

Solar power plants can also be very dangerous for animals. The huge US solar power plant Ivanpah in California occupies 1.6 thousand hectares in the Mojave Desert [31]. It consists of three 140 m tall lighthouse-like towers. Each is surrounded by a sheet of mirrors which reflect the sunlight toward the tower. There are 173,000 mirrors altogether. There is water in the towers,

which heated turns into steam and drives turbines that generate electricity. Unfortunately, during the construction migratory turtles had to be caught and relocated, which – as claim environmentalists – might have killed many of them. The plant also often kills birds (including peregrine falcons). The air temperature at the towers, where the rays of thousands of mirrors focus, is about 500°C. Birds are attracted by the mirrors that they have mistaken for water. Also, the other solar power plant based on the same technology and built near the Joshua Tree national park in California gives rise to numerous protests.

### 3. Role of programs for management of demand for electricity

Another aspect in which man can have a positive impact on sustainability, is the use of the new digital electricity meters and variable (dynamic) energy pricing. A meter, which has not aroused much interest of the average energy consumer, will now be a device showing additional, not available before details. They will include consumption profile (waveform of power consumed over time) and current energy price. These signals may provide a significant incentive to change the current electricity consumer attitude. The awareness of your load profile will help to determine the time of increased demand for power, and the appliances the use of which costs the most. It is worth mentioning that people often are not aware of how much does it really cost to use a device. Such awareness can lead to a change in the current pattern of energy use. The other major incentive may be a variable rate of electricity charges, included e.g. in a dynamic tariff.

So far, most of energy consumers have paid for it at a fixed rate, irrespective of the season, in which they used the appliances. However, the power system has its own rules. To generate, and then transmit the energy cannot cost the same throughout the period and in each location. Fixed rates in combination with dynamic changes in demand for power have led to inefficient use of the good, which is electricity. Therefore, it seems necessary to introduce a variable rate of the charge, which at a moment, e.g. at each hour of the day, would be linked with the current technical and economic conditions prevailing in the specific grid area. Lower prices would apply at times of lower demand for power (night, late evening, morning), and higher prices at times of higher demand (afternoon peak). In this way, each of us will be able to decide whether to use the appliance at the moment and pay the set price for this. Variable rate is a gain not only for consumers, but also for energy suppliers, since levelling the power consumption curves implies reduction of the energy supply costs. It should be remembered that tariffs are an effective way of influencing the shape of the load waveform of each consumer. To achieve the proposed results, such tariffs may be applied as: RTP, CPP, TOU. First of them – RTP Real Time Pricing is a real-time tariff, in which electricity price varies in the same way as wholesale prices. In this way, each consumer will be forced to timely pay the costs for the generation of which the consumer is responsible [6]. In addition, consumer must also pay for the delivery of energy. A characteristic feature of this tariff is the rate hourly variability throughout the day [7]. A signal which is an incentive to change behaviour can occur well in advance, e.g. one day or one hour. Of course, the

energy prices at the same time can be different in different parts of the power grid, which is intended to reflect the cost of such factors as the congestion of grid elements. The second type of tariff is – CPP Critical Peak Pricing, a tariff, in which at the times of greatest demand a very high rate of charge is introduced only for a limited number of hours a day. In this way consumers are forced to reduce their consumption at the times of the highest price on the wholesale market. Off-peak charge rates are much smaller. As in the case of RTP, consumers are properly informed in advance about future costs. The third tariff variant is – TOU Time of Use, and is characterized by charge rate change over a longer period, e.g. a day, week or season. It features large differences in prices between peak and off-peak times. Increasing these differences translates into a stronger impact on consumers [18]. In addition to the three above mentioned tariffs there is one other solution that can change the way we use electricity. It is LMP Locational Marginal Pricing, also known as short-term nodal price or spot price (temporary) [4]. It expresses the change in the minimum cost of balancing the demand in the power system, which has been caused by a change in the power of received in a given node. In addition to taking into account technical and economic factors, LMP price is also related to social factors, e.g. it may be increased during periods of severe temperatures, which implies an increase in electricity consumption for heating or air conditioning.

A large part of consumers certainly will not be willing to change their behaviour, e.g. by rescheduling dish washing or clothes washing to another time, when the price will be lower. However, even a small group can at the macro level be an example of pro-ecological attitude and be a contribution to the achievement of measurable financial benefits per year. Also, the generation sector will benefit - reducing the load peaks will allow resigning from operating expensive sources and, consequently, of unnecessary emissions of harmful compounds into the atmosphere. This is an example of balance between economic (saves money and fossil fuels), social (meets their needs with respect for nature) and the environment spheres. The idea of dynamic pricing is not new, but has not been previously approved because of the risks associated with capital expenditures for new hardware (meters), as well as the possibility of negative consumer reaction.

In Poland, the largest project exploring the capabilities of DSM/ DSR (Demand Side Management / Demand Side Response) programs was implemented by Tauron Sprzedaż GZE sp. z o.o., Tauron Dystrybucja SA and Polskie Sieci Elektroenergetyczne SA on 1.09.2013–31.08.2014 [35]. The aim of the project was to investigate the possibility of reducing electricity consumption by consumers provided with remote reading meters, who were offered various programs in the field of innovative tariffs. The project involved demand management programs of three types:

1. Virtual Pricing – large variations were adopted in the electricity prices at the times of peak and off-peak demand
2. Eco-Signal – consumers were called in advance to reduce their electricity consumption in the predetermined two hours, they did not have to answer these calls
3. Eco-Reduction – a call like in Eco-Signal, and if a consumer has not limited their consumption of electricity and their consumption has exceeded a specified threshold for 15 minutes, the

consumer's power supply was disconnected by the remote red-out meter.

For formal and legal reasons, Virtual Pricing program was conducted outside the current billing system.

Over 650 customers participated in the project. According to a survey carried out after the participants' recruitment, the main motive for joining the project was to learn how to save electricity. Other reasons included: environmental awareness, interest in attractive subject, and financial reward for the participation. Most of the participants were pleased with the participation in the program. Virtual Pricing had satisfied 89% of participants, Eco-Reduction – 74%, and Eco-Signal – 63%.

Participation in the project was rewarded with a payment voucher – minimum of 50 PLN, and maximum of 200 PLN, depending on the program and the participant's activities. The greatest effects were obtained in Eco-Reduction. Mean reduction in two peak hours of a single day, compared to two hours before the peak amounted to 24%, and the highest reduction amounted to approx. 61%.

Consumers in this program during all events on average reduced their consumption by 32.7%, and in the winter time by over 40%. In Eco-Signal the mean reduction in two peak hours of a single day, compared to two hours before the peak amounted to 4%, and the highest reduction amounted to approx. 52%. Consumers reduced consumption by 16.3% on average at all events, and by ca. 32.3% in the winter time. The effects of Virtual Pricing were much smaller; the average reduction was 0.2 percent. Consumers have not altered their electricity consumption patterns by moving loads from peak zone to other zones (medium and off-peak). The virtuality of the pricing, on which no actual settlement was based, must have been important.

It should also be noted that the reward for participation was very high, which means a high cost of the electricity consumption reduction. As part of PSE SA's program of demand management service development the value of one MWh in tenders for industrial customers was set at approx. 1,000 PLN. In this project, the reduction costs of one MWh were estimated at over 100,000 PLN in Eco-Reduction, and at tens of millions PLN in Virtual Pricing.

The number of consumers needed to reduce the energy consumption at peak amounted to approx. 5,800 for Eco-reduction, to approx. 49,000.00 for Eco-Signal, and for Virtual Pricing from 125,000.00 to as many as 500,000.00 The following adjustments in Eco-Reduction program were proposed:

1. Change of power reduction limit
2. Change of reward rules
3. Modification of customer base selection.

It was estimated that with such adjustments the cost of MWh could be reduced to little over 6,000 PLN, and with the acquisition costs optimization even to 5,400 PLN.

There were problems in Eco-reduction program with restoring power supply, which had to be done manually by pressing a special button on the meter housing. Several customers could not cope with it due to difficult access to the meter, further dozen or so reported the re-connection problem, one of the reasons turned out to be pressing wrong button. Based on the surveys a profile was developed of the perfect customer, who may want

to reduce their electricity consumption: a person over 50 years of age, staying a lot at home, with large family, average wealthy, living in an area of urban multifamily housing. It was also determined that the main motive of such a person would be to find something interesting to do.

It seems that programs of this type can bring about significant reduction in electricity consumption at peak times, and subsequent programs would be needed to verify the obtained results, especially when considering the need to reduce the excessive rewards for electricity consumers.

Also significant is the feasibility of practical implementation of dynamic multi-zone tariffs in the actual electricity billing.

There are certain risks worth attention. According to [15], in Eco-Reduction program the electricity consumption at peak time of the day was significantly reduced compared to the control group (not covered by the reduction program), while the consumption in the group covered by the program increased significantly in the hour immediately after the 2-hour peak time, to way over the peak consumption in the control group. The consumption peak was postponed, but increased, which may be disadvantageous from the point of view of the power system and the generation capacities that have to be made available.

### European Union regulations

According to the new energy law drafted at the Ministry of Economy, by 2020 there shall be a smart meter installed at every electricity consumer in Poland [25]. However, according to Directive 2009/72/EC of July 2009 on common rules for the internal market in electricity, each Member State could perform a cost-effectiveness analysis of the smart metering deployment by September 2012. Final decision to deploy smart meters could be dependent on the viability study results. Where such analysis result is positive, the remotely-read meters shall be deployed at at least 80% of consumers by the end of 2020 (100% by the end of 2022). The result of an analysis by the Ministry of Economy [2] was positive - the cost was estimated at 9 billion PLN, the benefits in the form of money saved at 9.48 billion PLN, i.e. gain of approx. 500 million PLN.

### Deployment in Poland and the European Union

In seven European Union Member States – Belgium, Czech Republic, Lithuania, Latvia, Germany, Portugal and Slovakia – the results of costs and benefits analyses for large-scale deployment by 2020 they were negative, while in Germany, Latvia and Slovakia smart metering was found economically justified for certain groups of customers [26].

In fifteen EU Member States – Austria, Denmark, Estonia, Finland, Greece, Spain, Ireland, Luxembourg, Malta, Netherlands, Poland, Romania, Sweden, Italy and the United Kingdom – extensive measures are undertaken to improve smart meters' penetration by 2020 [26]. The Swedish market already in 2010 was one hundred percent based on smart devices.

In comparison with other EU countries, Poland is in the middle of smart meter deployment ranking [26]. Well over half a million smart meters have been installed in Poland so far. The most advanced in introducing smart metering systems so far is

ENERGA-OPERATOR SA – the distribution company in Gdansk-based ENERGA group. In the first stage more than 100,000 meters were installed in Kalisz, Drawsko Pomorskie and Hel. In the next stages over 300,000 and over 450,000 meters were installed. The power company from Gdańsk intends to replace by 2017 the measuring devices at all its customers, who are almost 3 million. Total project cost is estimated at more than 1 billion PLN. According to ENERGA in Kalisz, where all meters have been replaced with smart ones, the technical losses decreased over the year by 10%. Tauron Dystrybucja intends to install over 330,000 meters in the next two years. Now completing is the installation of 350,000 smart meters in Wrocław.

In Warsaw, according to the plans of RWE distribution network operator, by the end of 2019 all the houses and buildings shall have smart electricity meters installed. In addition, RWE promotes and introduces solutions for the development of smart cities through the promotion of, among other things, development of renewable energy sources and distributed generation. The company is involved in the development of smart distribution grids, solutions for future homes, energy storage, zero emission buildings and electric transport. RWE has already built a dozen electric vehicle charging stations in Warsaw's prominent locations, thus creating a network of E-mobility. RWE Stoen Operator's total capital expenditures for smart grid development amount to over 400 million PLN.

In 2011 ENERGA-OPERATOR SA launched "Smart Peninsula" project [9]. The aim of the project was practical verification of the performance of the Smart Power Grid technologies and the feasibility of their deployment across the grid. The project covered nearly 200 km of MV lines, 150 MV/LV substations, ca. 150 km of LV lines, and nearly 10,000 customers in the Hel Peninsula. The project included a grid upgrade by deployment of short-circuit current alarms. At key MV/LV substations MV connectors were installed with remote control, and in selected LV switchgears currents and active and reactive powers were measured, and fuse burnout alarms were installed. In a MV overhead line disconnectors or switches with remote control and short-circuit current alarms were installed.

SCADA (control and supervision) system was extended to low voltage grid and integrated with GIS (geographic information) system. Relocated to SCADA was mapping medium and low voltage grids in the geographical system. FDIR Fault Detection, Isolation and Restoration feature was implemented for automatic detection and location of damage in MV grid, and automatic grid reconfiguration. Advanced voltage control algorithm IVVC Integrated Volt/Var Control was applied. The majority of electricity consumers were provided with AMI remote reading meters. Also implemented was computing system ELGrid [12], designed to support the operational optimization and development of distribution grids with distributed generation. Calculations were performed for the LV grid reconfiguration optimization, and the grid was reconfigured in accordance with the calculated configuration. As a result of these actions the electricity losses were reduced by ca. 12%.

Activities executed within the project have shown that it is possible to achieve a significant increase in the grid operation's

effectiveness and flexibility. This will also allow avoiding the problems of grid operation in the event of a mass appearance of micro-sources in LV grid. Increased observability and automation of grid operation are some of the main Smart Power Grid features.

#### 4. Energy conducive to sustainable eco-development

By deployment of Smart Power Grids, the existing structure of electricity generation can be changed into a new, more environmentally friendly form. One of the chances of achieving this is the best use of renewable energy sources. Man has long strived for control over natural resources. In this era of increasing technology development and growing concerns of the environment, the use of wind power or solar radiation is an incentive strong enough to make constructive changes in the generation sector. It is worth noting that electricity can be produced from wind, both at the macro level – through the construction of large wind farms, for example at sea (where the prevailing conditions are favourable, strong enough wind) – and in micro scale, for example in small domestic wind power plants [30], which may cover part of the demand for power, e.g. on farms. Another renewable energy source may be a small hydro power plant, which uses the gravitational potential of water to produce electricity. This solution may be particularly noteworthy in rural areas, where there are rivers of yet untapped potential. Small hydropower plants, with their simple design and positive impact on water retention, may be a good solution.

More and more talked about are energy self-sufficient municipalities [8, 28]. Renewable energy sources built in the municipality would have to balance its energy needs. Contemplated are primarily sources such as:

- biogas plants
- photovoltaic panels
- wind farms.

Building such sources should also be associated with energy efficiency improvement and smart grid development [33, 34]. It should be noted that such ventures are treated as a priority by the European Commission.

In Poland, the best example of energy self-sufficient community is Kisielice municipality, which in 2014 won the EU competition in the category of ManagEnergy Award on the agenda of "Sustainable Energy Week", an annual pan-European initiative organized by the European Commission. The following energy sources have been installed in Kisielice [16]:

1. Wind power plant Limża-Łodygowo, consisting of 27 turbines with installed capacity of 1.5 MW each
2. Wind power plant Łęgowo-Klimy-Pławty Wielkie, consisting of 21 turbines with installed capacity of 2 MW each
3. Wind power plant Jędrychowo, 4 turbines, 3 MW each
4. Municipal biomass (straw) fired heat plant, 6 MW
5. Photovoltaic system with rated power 99.84 kW, for district heating plant supply
6. Biomass fired stove with rated power 125 kW, installed in the building of Primary School in Łęgowo.

Owing to the investment in RES, the municipality's budget revenues increased, as well as its development potential [19]. Local raw materials have been utilised, some farmers obtain additional revenues from leases and easements of land, and the technical infrastructure has been developed. The municipality has become energy self-sufficient, and reduced harmful emissions.

It is planned in Sokoły municipality in Podlaskie voivodeship to build a bio power plant (cattle slurry and corn silage) in Jabłonowie-Wypychy, the target nominal electrical output 1.9 MW, and to build a wind farm in Rzące and Racibory Stare, each consisting of eight 3 MW turbines.

Launched in Tuczępy municipality was "Energy self-sufficient municipality as a guarantee of Poland's energy security" program. The following capex projects are planned in the municipality:

1. Bio power plant, 9.6 MW
2. Wind farm with minimum capacity 18 MW
3. Two solar power plants with capacities 10 MW and 4 MW
4. Hydro power plant with capacity of ca. 20-30 kW.

If hot water deposits are confirmed, a geothermal power plant will be built.

The municipality's current energy demand, including all the needs, amounts to 31 MW.

In many municipalities investments are planned in renewable energy. Also taken into account are bio power plants with stable output that does not depend strongly on changing weather conditions.

Study [14] introduced the concept of Autonomous Energy Region, covering a separate area of rural character, as a model including several to a dozen municipalities. In Poland many municipalities pursue this direction.

It can be stated that the natural consequence of investment in local renewable energy sources will be moving towards the construction of smart grids or even microgrids. Undoubtedly, an important element of such grids should be in the future energy stores, which are now, however, very expensive.

Given the very likely development of the prosumer (small, dispersed renewable energy sources) power sector and municipalities' efforts towards energy self-sufficiency, the Polish energy system may be subject to far-reaching transformations. The system will be no longer based on large centrally controlled sources, and transmission of energy from these sources through a transmission and distribution grid to end users. The power system's operating conditions will change. Perhaps no new investment will be needed in transmission lines or fossil fuel based energy sources. Basic expenditures for the distribution grid upgrade in the whole country until 2020 would amount to 30-60 billion PLN, which at 16,456,000 customers means the cost of 1,800–3,600 PLN / consumer [10]. The rate of rural power grids' depreciation exceeds 75%. The introduction of distributed energy sources does not mean, however, that the grid's upgrade can be abandoned, but the optimum upgrade plan can change. There will be problems, virtually unknown to date, in the distribution network, e.g. energy flow in the other direction – from consumer to distribution grid, and even transmission grid. This involves very probable situations of electricity over-production in the community, the need may then arise to reduce the output

due to the positive balance of power in the entire power system. This can change the profitability of investment in distributed sources, but this problem can be relatively easily resolved by installing energy storage.

It can be expected that with the significant increase in the saturation of the National Power System with distributed energy sources the demand will decrease for fossil fuels. Also, the demand for labour will move from the mining sector towards modern technologies. Important would be the development of renewable energy sources, it involves also the need to produce often innovative information systems and telecommunications equipment.

Obviously renewable energy sources have their drawbacks and are not able to cover the entire electricity demand, e.g. in the entire country or a large area (city, region). However, the increase of their share in the total number of energy sources could contribute to reducing the pressure on the development of the generation sector currently based mainly on fossil fuels. Additionally, the proliferation of renewable energy sources is an opportunity for new jobs – people educated in the new fields of study will be needed, as well as technicians and engineers involved in designing, installation and maintenance of these sources.

## 5. Summary

Nationwide the smart grids are a big technological and economical challenge, but giving hope for sustainable development. It seems important to cope with the problem of avoidance or at least reduction of risks to the environment, including threats to human health resulting from often careless implementation of techniques of electricity generation from non-renewable sources. It is necessary to in the way of public consultation develop legal mechanisms, which will provide greater protection of the environment and human health. In practice, decisions, e.g. the location of a wind farm, are taken arbitrarily without the participation of local communities, which is incompatible with the sustainable development idea.

Man, using electricity, strongly affects the surrounding environment. In many cases, such impact is detrimental in the long term can lead to serious risks. A way to change the situation may be to develop and roll out smart electricity grids, which will provide appropriate tools (e.g. tariffs, meters, financial incentives) to promote better energy management, and thus to promote sustainable development.

The current method of electricity billing, with flat-price tariffs and the same prices in every location of the system, does not respect the rights of electrical engineering and economics alike. Moving away from it will make at least part of the consumers aware how much does using the appliance cost, and how energy prices vary with the energy market situation.

The development of renewable energy sources, along with the growing interest in them, can encourage their increased presence, in rural areas in particular. If in an area there are natural conditions favourable for the construction and operation of such sources, it is worth considering their use.

Also considered should be investments in energy storage, which would allow for significant reduction of the changes in renewable sources' output due to varying weather conditions. Not all EU countries are unanimous on the need to develop smart grids now. Some assume they need to build them in a complete version, others try to minimize implementation costs, selecting those elements of the system, which bring about most of benefits at a relatively low cost. There are also countries, like Italy, where nothing is done in practice, besides the installation of smart meters at every electricity consumer, to build a complete smart grid system. Poland is now at the initial implementation stage, so chances are that this process has been sustainable development – compliant. It seems that these issues require specific strategies for the country's development, not only in the field of renewable energy. We are facing new challenges to, and even fundamental changes in, the National Power System's operating rules. Pursuit of the deployment of smart grids, and especially of a large number of renewable energy sources, will strongly change the needs of investment in energy networks. It may also have a significant impact on the mining sector, reducing the demand for fossil fuels.

## REFERENCES

- M. Alves-Pereira, B. Castelo, "Wind Turbine Noise, In-Home Wind Turbine Noise Is Conducive to Vibroacoustic Disease" [w:] Second International Meeting on wind turbine Noise, Lyon, 2007.
- "Analiza skutków społeczno-gospodarczych wdrożenia inteligentnego opomiarowania" [Analysis of socio-economic effects of smart metering deployment], Minister of Economy, Warszawa 2013.
- D. Baczyński et al., "Mikrosieci niskiego napięcia" [Low voltage microgrids], Warszawa, 2013.
- J. Bil, "Ceny węzłowe jako mechanizm zarządzania ograniczeniami w systemie elektroenergetycznym" [Node prices as a constraint management mechanism in power system, *Biuletyn URE [ERO Bulletin]*, No. 6, 2005.
- K. Billewicz, "Smart metering – Inteligentny system pomiarowy" [Smart metering – smart measuring system], Warszawa 2011.
- K. Billewicz, "Skuteczność DSR – między bodźcem a reakcją" [DSR effectiveness – between stimulus and response], *Przegląd Elektrotechniczny [Electrotechnical review]*, No. 09a, 2012, pp. 308–314.
- S. Borenstein, M. Jaske, A. Rosenfeld, "Dynamic Pricing, Advanced Metering and Demand Response in Electricity Markets", University of California Energy Institute, Center for the Study of Energy Markets, 2002.
- Ekologia.pl [online], <http://biznes.ekologia.pl/energetyka/gminy-samowystarczalne-energetycznie,11726.html> [access: 22.01.2016].
- D. Falkowski, S. Noske, P. Helt, "Monitorowanie, pomiary w sieciach inteligentnych – projekt pilotażowy Smart Grid na Półwyspie Helskim" [Monitoring, measurements in smart grids – Smart Grid on the Hel Peninsula pilot project], conference proceedings, VI Scientific-Technical Conference, "Straty energii elektrycznej w sieciach elektroenergetycznych" [Electricity losses in power grids], Ossa near Rawa Mazowiecka, 7–8 May 2014.
- "Finansowanie inwestycji energetycznych w Polsce" [Financing of capex projects in energy in Poland], PWC, May 2011.
- S. Hajduk, "Planowanie elektrowni wiatrowych jako element zrównoważonego rozwoju na poziomie lokalnym" [Planning of wind power as part of sustainable development at the local level], *Ekonomia i Środowisko [Economics and environment]*, Vol. 44, No. 1, 2013, pp. 177–192.
- P. Helt et al., "Koncepcja systemu ElGrid do optymalizacji pracy i rozwoju rozdzielczych sieci energetycznych" [The concept of ElGrid system to optimize the operation and development of power distribution grids], *Przegląd Elektrotechniczny [Electrotechnical Review]*, Vol. 2, 2011, pp 70–73.
- J. Jakobsen, "Infrasound emission from wind turbines" [Journal of low frequency noise, vibration and active control], Vol. 23, No. 3, 2005, pp. 145–155.
- Klaster 3x20 [online], [http://www.klaster3x20.pl/sites/default/files/klaster3x20pl\\_38f43b6ff3d336337fc543026a9f0ff9.pdf](http://www.klaster3x20.pl/sites/default/files/klaster3x20pl_38f43b6ff3d336337fc543026a9f0ff9.pdf) [access: 22.01.2016].
- T. Koprowiak, "Gospodarka niskoemisyjna w praktyce. Doświadczenia gminy Kisielice" [Low-emission economy in practice. The Kisielice municipality experience] [online], <http://nowamisja-niskaemisja.pl/wp-content/uploads/2015/03/PLANOWANIE-GOSPODARKI-NISKOEMISYJNEJ-W-PRAKTYCE-TOMASZ-KOPROWIAK.pdf> [access: 22.01.2016].
- W. Lubczyński, "Zachowania odbiorców na przykładzie projektu pilotażowego wdrożenia innowacyjnych taryf" [Consumer behaviours on the example of a pilot project of innovative tariffs implementation], Conference „Cyfryzacja sieci elektroenergetycznych" [Digitalisation of power grids], Warszawa, 13 May 2014.
- W. Łukaszek, "Likwidowanie barier energetycznych ograniczających rozwój obszarów wiejskich i gospodarstw rolnych na przykładzie gmin Sokółki i Tuczępy" [Removal of energy barriers limiting the development of rural areas and farms on the example of municipalities Falcons and Tuczępy], XIX International Fair of Agricultural Technology AGROTECH, Kielce 2013.
- J. Malko, "Zrównoważony rozwój – cele i wyzwania elektroenergetyki" [Sustainable development – the goals and challenges of electric power sector], *Teoria i praktyka zrównoważonego rozwoju [Theory and practice of sustainable development]*, edited by A. Graczyk, University of Economics in Wrocław, Department of Ecological Economics, Białystok – Wrocław 2007, pp. 187–194.
- J. Malko, A. Wilczyński, "Oszczędne, racjonalne czy efektywne użytkowanie energii elektrycznej" [Cost-effective, rational, or efficient use of electricity], *Energetyka [Power engineering]*, September 2007.
- Oddziaływanie wiatraków [Windmill impact] [online], <http://www.oddziaływaniawiatrakow.pl/upload/file/287.pdf>, [access: 22.01.2016].
- K. Pawlas, "Wpływ infradźwięków i hałasu o niskich częstotliwościach na człowieka – przegląd piśmiennictwa" [Impact of infrasounds and low frequency noise on man – a literature review], *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy [Premises and methods of working environment assessment]*, Vol. 60, No. 2, 2009, pp. 27–64.
- K. Pawlas, N. Pawlas, M. Boroń, "Życie w pobliżu turbin wiatrowych, ich wpływ na zdrowie – przegląd piśmiennictwa" [Living in the vicinity of wind turbines and their impact on health – a literature review], *Medycyna Środowiskowa – Environmental Medicine*, Vol. 15, No. 4, 2012, pp.150–158.

23. N. Pierpont, "Wind Turbine Syndrome", *A Report on a Natural Experiment*, Santa Fe 2009, p. 294.
24. P. Piotrowski, "Analiza statystyczna danych mających wpływ na produkcję energii elektrycznej przez farmę wiatrową oraz przykładowe prognozy krótkoterminowe" [*Statistical analysis of data affecting wind farm electricity output and examples of short-term forecasts*], "Przegląd Elektrotechniczny" [*Electrotechnical Review*], Vol. 88, No. 3a, 2012, pp. 161–164.
25. P. Piotrowski, "Inteligentne cyfrowe liczniki energii elektrycznej jako element systemu Smart Power Grids – część 1" [*Smart digital electricity meters as part of the Smart Power Grids system – Part 1*], "Elektro.info", Vol. 135, No. 6, 2015, pp. 72–75.
26. P. Piotrowski, "Inteligentne cyfrowe liczniki energii elektrycznej jako element systemu Smart Power Grids – część 2" [*Smart digital electricity meters as part of the Smart Power Grids system – Part 2*], "Elektro.info", Vol. 137, No. 9, 2015, pp. 86–90.
27. P. Piotrowski et al., "Problem narażenia pracowników morskich stacji elektroenergetycznych najwyższych napięć na szkodliwe czynniki oraz działania minimalizujące ryzyko zagrożeń" [*On the exposure of workers at the highest voltage offshore power stations to harmful factors and measures to minimize the risk of the threat*], "Medycyna Pracy" [*Occupational Medicine*], No. 1(67), 2016, pp. 51–72, doi:10.13075/mp.5893.00320.
28. Portal samorządowy [*Self-governmental portal*] [online], <http://www.portalsamorzadowy.pl/gospodarka-komunalna/samowys-tarczalne-energetycznie-gminy-sa-przyszloscia,63026.html> [access: 22.01.2016].
29. A. Pultowicz, "Przesłanki rozwoju rynku odnawialnych źródeł energii w Polsce w świetle idei zrównoważonego rozwoju" [*Premises of the RES market development in Poland in the light of the sustainable development idea*], "Problemy Ekorozwoju" [*Problems of Ecodevelopment*], Vol. 4, No. 1, 2009, pp. 109–115.
30. Warmińsko-Mazurska Agencja Energetyczna, [http://www.wmae.pl/userfiles/file/Aktualnosci/poradnik\\_a5.pdf](http://www.wmae.pl/userfiles/file/Aktualnosci/poradnik_a5.pdf) [access: 22.01.2016].
31. wyborcza.biz, [http://wyborcza.biz/biznes/1,101716,15514325,Nowa\\_elekrownia\\_sloneczna\\_zabija\\_ptaki.html?disableRedirects=true](http://wyborcza.biz/biznes/1,101716,15514325,Nowa_elekrownia_sloneczna_zabija_ptaki.html?disableRedirects=true) [access: 22.01.2016].
32. Związek Gmin Wiejskich Województwa Podlaskiego [*Union of Podlaskie Region Municipalities*] [online], <http://www.zgwwp.org.pl> [access: 22.01.2016].
33. K. Żmijewski, "Szanse i wyzwania – niskoemisyjna energetyka na obszarach wiejskich" [*Opportunities and challenges – Biopower in rural areas*], conference „Bioenergia na obszarach wiejskich" [*Bipenergy in rural areas*], Ministry of Agriculture and Rural Development, Warszawa, 12 May 2014.
34. Program Gospodarki Niskoemisyjnej na terenach wiejskich [*Program of Low-emission Economy in rural areas*], ed. K. Żmijewski, Forum Inicjatyw Rozwojowych [*Development Initiatives Forum*] for the Programme Board of Fundacja Europejski Fundusz Rozwoju Wsi Polskiej [*The European Fund for the Development of Polish Villages Foundation*], 2014.
35. M. Sobczak et al., "Projekt Smart. Pilotażowe wdrożenie innowacyjnych programów redukcyjnych. Raport końcowy" [*Smart Project. Pilot implementation of innovative reduction programmes. Final report*], Wrocław, Gliwice 2014.

### Paweł Janusz Piotrowski

Warsaw University of Technology

e-mail: [pawel.piotrowski@ien.pw.edu.pl](mailto:pawel.piotrowski@ien.pw.edu.pl)

A graduate of Warsaw University of Technology. An assistant professor at the Electrical Power Engineering Institute of Warsaw University of Technology. His PhD thesis: "Optimization of the voltage regulation in power distribution grids based on the neural networks theory" won a nationwide contest for the Siemens Promotional Award. He was awarded the post-doctoral degree in technical sciences, electrical engineering (2014). Title of the habilitation monograph: "Forecasting in the power industry in different time horizons". His research interests refer to forecasting for power engineering and optimization, the use of artificial intelligence in power engineering, power supply reliability in computer networks, AMI systems and RES issues. Author or co-author of over 80 publications (papers, monographs, textbooks), 33 conference papers and 54 scientific studies and works for the industry.

### Piotr Helt

Warsaw University of Technology

e-mail: [piotr.helt@ien.pw.edu.pl](mailto:piotr.helt@ien.pw.edu.pl)

Graduate of Warsaw University of Technology. Since 2009 with his alma mater, where he directs postgraduate studies "Modern Methods of Analysis in Power Engineering". A Smart Grid consultant at Globema sp. z o.o. Area of professional interest: geographical information systems, in particular its applications in power engineering, power grids and systems, especially distribution grids, artificial intelligence methods and their application in optimisation problems. Author of numerous articles and publications on national and international conferences. He has completed numerous research projects, grants and expert opinions, primarily in power engineering.

### Piotr Kapler

Warsaw University of Technology

e-mail: [piotr.kapler@ien.pw.edu.pl](mailto:piotr.kapler@ien.pw.edu.pl)

A graduate of the Electrical Engineering Department of Warsaw University of Technology, major: power engineering (2011). A research assistant and doctoral student at the Department of Power Grids and Systems of Warsaw University of Technology. His research deals with the interactions between power system and individual electricity consumers, and optimal power flow and nodal prices.



This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 97–104. When referring to the article please refer to the original text.

PL

## Wpływ inteligentnych sieci energetycznych na zrównoważony rozwój

### Autorzy

Paweł J. Piotrowski  
 Piotr Helt  
 Piotr Kapler

### Słowa kluczowe

zrównoważony rozwój, odnawialne źródła energii, inteligentne sieci energetyczne

### Streszczenie

W artykule przedstawiono wpływ inteligentnych sieci energetycznych na zrównoważony rozwój. W pierwszym rozdziale zawarto wprowadzenie do poruszanej tematyki. Rozdział drugi zaś opisuje postawę człowieka wobec środowiska naturalnego, a także zawiera informacje na temat zagrożeń ze strony farm wiatrowych i elektrowni słonecznych. Rozdział trzeci prezentuje dynamiczne taryfy za energię elektryczną oraz aktualny stan wdrożeń inteligentnych pomiarów zarówno w Polsce, jak i w krajach Unii Europejskiej. Czwarty rozdział skupia się na wytwarzaniu energii w sposób sprzyjający zrównoważonemu ekorozwojowi poprzez wykorzystanie odnawialnych źródeł energii oraz koncepcję gminy samowystarczalnej energetycznie.

### 1. Wstęp

Do istotnych problemów współczesnej gospodarki światowej można zaliczyć stopniowe zmniejszanie się zasobów surowców kopalnych, a także coraz większe zmiany klimatyczne związane z emisją gazów cieplarnianych do atmosfery [29]. Jedną z metod przeciwdziałania obu problemom jest promowanie produkcji energii elektrycznej przez odnawialne źródła energii (OZE). Niestety, jest to nadal dość droga alternatywa, wymagająca dofinansowania. Odnawialne źródła energii to rozwiązania ekologicznie pożądane (energia słoneczna, energia pozyskiwana z wiatru), ale są to, niestety, niestabilne źródła energii (niedysponowane źródła energii) – nie można zaplanować wielkości produkcji energii elektrycznej często nawet na kolejne godziny doby, szczególnie w przypadku farm wiatrowych [24]. Docelowo OZE powinny stanowić jeden z elementów elektroenergetycznego systemu o nazwie Smart Power Grids. Według definicji jest to system elektroenergetyczny, który integruje w sposób inteligentny działania wszystkich uczestników procesów generacji, przesyłu, dystrybucji i użytkowania w celu dostarczenia energii elektrycznej w sposób niezawodny, bezpieczny i ekonomiczny, z uwzględnieniem wymogów ochrony środowiska [3]. Podstawą systemu Smart Power Grids są technologie informatyczne i komunikacyjne umożliwiające dwukierunkowy przepływ informacji. Jedną z części systemu Smart Power Grids jest Smart Metering, czyli inteligentny system pomiarowy składający się z wielu elementów powiązanych określonymi interakcjami [25]. Kluczowym elementem systemu pomiarowego są inteligentne liczniki energii elektrycznej instalowane u odbiorców energii elektrycznej. Odbiorców energii w systemie inteligentnego systemu pomiarowego można podzielić na konsumentów energii elektrycznej oraz tzw. prosumentów (producent oraz konsument energii elektrycznej). Produkcja energii elektrycznej przez prosumenta odbywa się najczęściej z wykorzystaniem energii wiatru lub energii słonecznej. Warto

podkreślić silnie lokalny charakter produkcji energii przez OZE. Lokalna społeczność uzyskuje silny wpływ na kształtowanie się procesu zrównoważonego rozwoju i jest w dużym stopniu za niego odpowiedzialna. Sprzyja to integracji społeczności oraz wzrostowi świadomości ekologicznej.

Rozwój energetyki w Polsce uwzględniający inteligentne sieci energetyczne jest przedmiotem wielu analiz oraz opracowań [29, 11, 18, 2, 5]. Głównym celem artykułu jest identyfikacja przesłanek rozwoju inteligentnych sieci energetycznych w kraju i ukazanie płaszczyzn, w jakich ten rozwój się dokonuje w kontekście idei rozwoju zrównoważonego. Z punktu widzenia zrównoważonego rozwoju należy zwrócić uwagę na konieczność ograniczenia emisji gazów cieplarnianych w celu minimalizacji pogłębiania się zmian klimatycznych oraz konieczność ograniczania zużycia energii poprzez promowanie rozwiązań energooszczędnych. Ludzkość stoi przed dylematem. Z jednej strony energia jest konieczna do rozwoju cywilizacji, z drugiej strony zasoby naturalne na Ziemi ulegają stopniowemu wyczerpaniu. Zastępowanie nieodnawialnych źródeł energii źródłami odnawialnymi wydaje się konieczne, ale jest związane z większymi nakładami na jej pozyskiwanie. Wykorzystanie inteligentnych sieci energetycznych niesie ze sobą duże korzyści, lecz również pewne zagrożenia.

### 2. Postawa człowieka wobec środowiska oraz zagrożenia ze strony farm wiatrowych i elektrowni słonecznych

Od początku powszechnej elektryfikacji w ludzkiej świadomości zakorzeniło się przekonanie, że energia elektryczna jest dobrem powszechnie dostępnym i tanim. Ten stan rzeczy nie zmienił się pomimo wielu sygnałów ostrzegawczych, takich jak rozległe awarie systemów elektroenergetycznych, rosnące ceny paliw kopalnych oraz coraz większa troska o ochronę środowiska naturalnego.

Człowiek swoim postępowaniem oddziałuje bardzo mocno na otaczające go środowisko naturalne. Dotyczy to także w dużej mierze

sposobu korzystania z energii elektrycznej. Dotychczas priorytetem było zaspokojenie potrzeb człowieka, na dalszy plan spychane były problemy uboczne, w tym aspekty przyrodnicze. Istnieje jednak potencjalna nadzieja na znaczącą poprawę zaistniałej sytuacji. Mowa tu o koncepcji inteligentnych sieci elektroenergetycznych (Smart Power Grids). Jest to idea, według której wszyscy uczestnicy rynku energii (od wytwórców aż po odbiorców) są ze sobą powiązani, a ich działania mają na celu wykorzystanie energii elektrycznej w jak najlepszy sposób, stawiając sobie za cel m.in. poszanowanie środowiska. Powstanie takich sieci w najbliższej przyszłości może poprawić zachowaną obecnie równowagę pomiędzy sferą gospodarczą, społeczną i środowiskiem naturalnym, czyli szeroko rozumiany zrównoważony ekorozwój.

### Zagrożenia ze strony farm wiatrowych

Dynamiczny rozwój energetyki wiatrowej może powodować liczne konflikty ekologiczne i społeczne [11]. Rozbudowana sieć obszarów chronionych i rozproszona zabudowa na obszarach wiejskich powodują konieczność bardzo wnikliwego wyboru terenu dla lokalizacji elektrowni wiatrowych. Warto podkreślić, że proces lokalizacji i eksploatacji elektrowni wiatrowych stwarza często poważne konflikty, ujawniające się w dwóch zasadniczych aspektach [11]: oddziaływaniu na środowisko przyrodnicze oraz relacjach pomiędzy gminą, społeczeństwem lokalnym oraz inwestorami. Elektrownie wiatrowe, uważane za proekologiczne, bywają w praktyce przyczyną konfliktów ekologicznych. Trudno o kompromis związany z dwoma bardzo ważnymi celami ekologicznymi, czyli z jednej strony ochroną przyrody, a z drugiej strony potrzebą rozwoju energetyki odnawialnej [21]. Lokalizacja obiektów energetyki wiatrowej musi być zgodna z zasadą trwałego i zrównoważonego rozwoju, która polega na równoprawnym uwzględnieniu czynników społecznych, środowiskowych oraz gospodarczych. Potrzebie szybkiego rozwoju energetyki odnawialnej w kraju nie

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 97–104. When referring to the article please refer to the original text.

PL

sprzysięgają konflikty związane z lokalizowaniem elektrowni wiatrowych na obszarach uznawanych powszechnie za cenne przyrodniczo i krajobrazowo.

Farmy wiatrowe mogą być również przyczyną problemów zdrowotnych sąsiadujących z nimi społeczności lokalnych, jak również stanowić zagrożenie dla ptaków [27]. Do potencjalnie szkodliwych efektów mających potencjalnie negatywny wpływ na zdrowie lokalnej społeczności zaliczyć można: hałas słyszalny, infradźwięki, pole elektromagnetyczne o niskiej częstotliwości oraz efekt migotania cieni. Hałas emitowany z turbin wiatrowych, pod względem źródeł emisji akustycznej, można podzielić na hałas mechaniczny (pochodzący z generatora, przekładni, skrzyni biegów itd.) oraz hałas aerodynamiczny (generowany ruchem obracających się łopat, powodującym zaburzenia powietrza na końcówkach łopat, turbulencje, kawitację powietrzną, czy zmiany ciśnienia podczas przejścia łopaty obok wieży). Charakter dźwięku oraz jego rozprzestrzenianie się w środowisku zależy od wielu czynników, np. konstrukcji turbiny wiatrowej, jej wysokości wraz z wirnikiem, liczby turbin [32]. Obracające się łopaty wytwarzają dźwięk o charakterze pulsacyjnym. Dodatkowo mogą występować interakcje pomiędzy poszczególnymi turbinami [20]. Hałas generowany przez turbiny wiatrowe, według zdecydowanej większości badań, nie przekracza ciśnienia akustycznego wynoszącego 85 dB [21, 27]. Słyszalnym efektem pracy elektrowni wiatrowych jest charakterystyczny świst pochodzący od śmigieł turbiny, który jest szerokopasmowym hałasem o wyższych częstotliwościach, jednocześnie modulowanym amplitudowo na niższych częstotliwościach – może on zwiększyć subiektywne odczucie głośności i potencjalną irytację u człowieka. Charakterystyczne są również wibracje, które potencjalnie mogą powodować delikatne ruchy przedmiotów lub drgania okien [13]. Z kolei nadmierna i długotrwała ekspozycja na infradźwięki i dźwięki o niskiej częstotliwości może wywoływać chorobę wibroakustyczną (VAD) wg opracowania M. Alves-Pereira i B. Castelo [1]. Może się ona objawiać powstaniem zwłóknień w układzie sercowo-naczyniowym i płucnym oraz zaburzeniami psychomotorycznymi. Wprawdzie wyniki badań wpływu farm wiatrowych na zdrowie człowieka w tym zakresie jest niewiele, ale uzyskane wyniki świadczą, że tego faktu nie można obecnie wykluczyć [32].

W literaturze opisano pojęcie tzw. syndromu turbin wiatrowych (ang. *Wind Turbine Syndrome* – WTS), czyli zespołu dolegliwości, które mogą odczuwać osoby przebywające na stałe w pobliżu farm wiatrowych [27]. Termin ten wprowadzony został przez N. Pierpont [23]. Według jej badań turbiny wiatrowe są przyczyną występowania zespołu objawów, na który składają się [23]: zaburzenie i pogorszenie jakości snu, ból głowy, szum w uszach, uczucie ciśnienia w uchu, zawroty głowy, nudności, pogorszenie ostrości widzenia, tachykardia, drażliwość, problemy z koncentracją i pamięcią oraz napady paniki, związane z uczuciem przemieszczania się lub drżenia wewnątrz ciała, które pojawia się zarówno w czasie

snu, jak i na jawie. Występowanie syndromu turbin wiatrowych jest jednak pojęciem kontrowersyjnym i spornym.

Migotanie cieni jest kolejnym zjawiskiem związanym z turbinami wiatrowymi, który może wystąpić, gdy światło słoneczne pada na łopaty wiatraka, rzucając cień na obiekty znajdujące się pod wiatrakami. Efekt ten występuje najczęściej w godzinach porannych i wieczornych, kiedy słońce znajduje się nisko na horyzoncie i w wyniku tego cienie są wydłużone. Problem dotyczy jednak tylko starszych turbin wiatrowych – w obecnie budowanych turbinach wiatrowych nie występuje w praktyce to zjawisko. Zostało ono wyeliminowane poprzez pokrywanie powierzchni śmigieł powłoką nie odbijającą światła [22, 27].

W wyniku kolizji z łopatkami wirnika – zewnętrzne końce łopat mogą osiągać prędkość liniową do 300 km/h – giną ptaki i nietoperze. Kolizjom sprzyja również lokalizacja farm wiatrowych np. na trasach migracyjnych ptaków drapieżnych. W USA np. rocznie na farmach wiatrowych ginie prawie 600 tys. ptaków. Ponadto okratowanie niektórych turbin wiatrowych stanowi idealną grzędę dla większych ptaków drapieżnych, więc śmiertelne pułapki są zarazem dla nich atrakcyjne i wabią je. Warto dodać, że budowa farmy wiatrowej na terenach lub w pobliżu terenów, które ptaki migrują wykorzystują jako tereny wypoczynkowe i żerowiskowe, często rodzi obawy, że realizacja inwestycji może się przyczynić do utraty tych siedlisk.

#### Zagrożenia ze strony elektrowni słonecznych

W przypadku systemów fotowoltaicznych do produkcji energii elektrycznej oraz kolektorów słonecznych do produkcji energii cieplnej istnieje problem naruszenia estetyki budynków oraz naziemnych miejsc instalowania tych urządzeń. Rozmiar elektrowni słonecznych o dużej mocy wymaga dużych powierzchni terenu, co również bywa źródłem konfliktów społecznych. Innym problemem jest konieczność utylizacji zużytych urządzeń zawierających wiele szkodliwych substancji niebezpiecznych dla środowiska naturalnego. Okres funkcjonowania tych urządzeń wynosi ponad 10 lat.

Elektrownie słoneczne mogą być również bardzo groźne dla zwierząt. Olbrzymia amerykańska elektrownia słoneczna Ivanpah w stanie Kalifornia zajmuje obszar 1,6 tys. hektarów na pustyni Mojave [31]. Składają się na nią trzy wysokie na 140 m wieże podobne do latarni morskich. Każda z nich otoczona jest przez taflę luster, które odbijają światło słoneczne w stronę wież. W sumie zainstalowano 173 tysiące luster. W wieżach znajduje się woda, która rozgrzana zamienia się w parę i napędza turbiny generujące prąd. Niestety, w czasie budowy trzeba było wylać i przenieść w inny rejon wędrownie żółwie, czego – jak twierdzą ekolodzy – znaczna część z nich nie przeżyje. Elektrownia zabija również często ptaki (w tym sokoły wędrownie). Temperatura powietrza przy wieżach, na których skupiają się promienie z tysięcy luster, wynosi około 500°C. Ptaki są wabione przez lustra, które mylą z wodą. Liczne protesty wywołuje również druga elektrownia słoneczna oparta

na identycznej technologii, budowana niedaleko parku narodowego Joshua Tree w stanie Kalifornia.

#### 3. Rola programów służących do zarządzania popytem na energię elektryczną

Kolejnym aspektem, w którym człowiek może pozytywnie oddziaływać na ekorozwój, jest użycie nowych, cyfrowych liczników energii elektrycznej oraz zmiennych (dynamicznych) tarif za energię. Licznik, który dotychczas nie budził większego zainteresowania przeciętnego odbiorcy energii, teraz będzie urządzeniem pokazującym dodatkowe, niedostępne przedtem informacje. Będą to m.in. profil zużycia (przebieg zużytej mocy w czasie) oraz aktualna cena energii. Te sygnały mogą stanowić wyraźne bodźce do zmiany dotychczasowej postawy konsumenta energii elektrycznej. Znajomość swojego profilu obciążenia pomoże w określeniu czasu zwiększonego zapotrzebowania na moc oraz urządzeń, których użycie powoduje największe koszty. Warto nadmienić, że ludzie często nie są świadomi, ile naprawdę kosztuje skorzystanie z danego odbiornika. Taka wiedza może być przyczyną zmiany dotychczasowego sposobu korzystania z energii. Drugim ważnym bodźcem może być zmienna stawka opłat za energię elektryczną, ujęta np. w taryfie dynamicznej.

Dotychczas, korzystając z energii, zdecydowana większość odbiorców płaciła stałą stawkę, niezależnie do pory, w jakiej uruchamiali dane odbiorniki. Jednakże system elektroenergetyczny rządzi się swoimi prawami. Wytworzenie, a następnie przesłanie energii nie może kosztować tyle samo w ciągu całego okresu w każdym miejscu. Stałe stawki w połączeniu z dynamicznymi zmianami w zapotrzebowaniu na moc prowadzą do nieefektywnego wykorzystania dobra, jakim jest energia elektryczna. Wobec tego konieczne wydaje się wprowadzenie zmiennej stawki opłat, która to w danej chwili, np. w każdej godzinie doby, byłaby powiązana z aktualnymi warunkami techniczno-ekonomicznymi panującymi w danym rejonie sieci. Mniejsze ceny obowiązywałyby w okresach zmniejszonego zapotrzebowania na moc (noc, późny wieczór, ranek), a większe w czasie zwiększonego zapotrzebowania (szczyt popołudniowy). W ten sposób każdy z nas będzie mógł podjąć decyzję, czy chce w danej chwili skorzystać z odbiornika i zapłacić za to określoną cenę. Zmienne stawki to nie tylko zysk dla odbiorców, ale również i dostawców energii, bowiem wyrównanie krzywych poboru mocy implikuje zmniejszenie kosztów dostawy energii. Trzeba pamiętać, że to właśnie taryfy stanowią skuteczną formę wpływania na kształt obciążenia u każdego odbiorcy. Aby osiągnąć proponowane rezultaty, można wprowadzić takie rodzaje tarif, jak: RTP, CPP, TOU. Pierwsza z nich – RTP (ang. *Real Time Pricing*) to taryfa czasu rzeczywistego, w której cena za energię elektryczną zmienia się tak samo jak ceny na rynku hurtowym. W ten sposób każdy odbiorca będzie zmuszony na bieżąco ponosić koszty, za których generację sam odpowiada [6]. Ponadto musi on zapłacić również za dostawę energii. Cechą

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 97–104. When referring to the article please refer to the original text.

PL

charakterystyczną tej taryfy jest zmienność stawki opłat w każdej godzinie doby [7]. Sygnał będący bodźcem do zmiany zachowania może się pojawić odpowiednio wcześniej, np. o jeden dzień lub o jedną godzinę. Oczywiście wartość ceny za energię w tej samej godzinie może być różna w różnych rejonach sieci elektroenergetycznej, co ma na celu odzwierciedlenie w kosztach takich czynników jak np. zatłoczenie elementów sieci. Drugi rodzaj taryfy to – CPP (ang. *Critical Peak Pricing*), taryfa, w której w okresie największego zapotrzebowania wprowadza się bardzo wysoką stawkę opłat jedynie w ograniczonej liczbie godzin doby. W ten sposób zmusza się odbiorców, aby ograniczyli oni zużycie w okresie występowania największych cen na rynku hurtowym. Poza szczytem obciążenia stawki opłat są już dużo mniejsze. Podobnie jak w przypadku RTP, odbiorcy są odpowiednio wcześniej informowani o przyszłych kosztach. Trzecią odmianą taryfy jest – TOU (ang. *Time Of Use*), charakteryzuje się ona zmianą stawek opłat w dłuższym okresie, np. doby, tygodnia lub pory roku. Występuje w niej znaczna rozpiętość cen pomiędzy czasem szczytu i czasem poza szczytem. Zwiększenie tej rozpiętości zaś przekłada się na silniejsze oddziaływanie na odbiorców [18]. Oprócz trzech wymienionych powyżej taryf istnieje jeszcze jedno rozwiązanie, które może zmienić dotychczasowy sposób korzystania z energii elektrycznej. Jest to wprowadzenie ceny – LMP (ang. *Locational Marginal Pricing*), zwanej też krótkookresową ceną węzłową lub też ceną spot (chwilową) [4]. Wyraża ona minimalną zmianę kosztu bilansowania zapotrzebowania w systemie elektroenergetycznym, która została wywołana zmianą mocy odbieranej w danym węźle. Oprócz uwzględnienia czynników technicznych i ekonomicznych cena LMP związana jest również z czynnikami społecznymi, np. może być zwiększona w okresie występowania nieprzyjaznych dla człowieka temperatur, co implikuje wzrost zużycia energii elektrycznej na cele ogrzewania lub działania klimatyzacji.

Dużą część odbiorców z pewnością nie będzie skłonna do zmiany swoich zachowań, np. do przesunięcia pory korzystania ze zmywarki do naczyn lub pralki automatycznej na inną porę, kiedy to cena będzie mniejsza. Jednak nawet zmiana małej grupy może w skali makro stanowić przykład proekologicznej postawy i być przyczynkiem do osiągnięcia wymiernych korzyści finansowych w skali roku. Skorzysta na tym również sektor wytwórczy – zmniejszenie szczytów obciążenia pozwoli na rezygnację z uruchomienia drogich źródeł i w konsekwencji zbędną emisję szkodliwych związków do atmosfery. Jest to przykład równowagi pomiędzy strefą gospodarczą (oszczędność pieniędzy, paliw kopalnych), społeczną (zaspokojenie swoich potrzeb wraz z poszanowaniem przyrody) a środowiskiem naturalnym. Idea wprowadzenia dynamicznych cen nie jest nowa, aczkolwiek już dawniej nie spotkała się z aprobatą z powodu ryzyka związanego z wydatkami na nowe urządzenia (liczniki), jak również możliwością negatywnej reakcji odbiorców. W Polsce największym projektem badającym możliwości programów DSM/

DSR (ang. *Demand Side Management / Demand Side Response*) był projekt realizowany przez Tauron Sprzedaż GZE sp. z o.o., Tauron Dystrybucja SA oraz Polska Sieci Elektroenergetyczne SA w okresie 1.09.2013–31.08.2014 [35]. Celem projektu było zbadanie możliwości redukcji zużycia energii elektrycznej przez odbiorców wyposażonych w liczniki zdalnego odczytu, którym zaproponowano różne programy z dziedziny innowacyjnych taryf. W projekcie wykorzystano trzy typy programów oddziałujących na popyt:

1. Wirtualny Cennik – przyjęto duże zróżnicowanie cen energii elektrycznej w okresach zapotrzebowania szczytowego i pozaszczytowego
2. Eko-Sygnał – odbiorca był z wyprzedzeniem wzywany do ograniczenia zużycia energii elektrycznej w okresie z góry określonych dwóch godzin, nie musiał odpowiedzieć na to wezwanie
3. Eko-Redukcja – wezwanie jak w programie Eko-Sygnał, natomiast jeśli odbiorca nie ograniczył swojego zużycia energii elektrycznej i przekroczył zadany próg zużycia w ciągu 15 minut, nastąpiło odłączenie zasilania odbiorcy, realizowane przez licznik zdalnego odczytu.

Program Wirtualny Cennik z przyczyn formalnoprawnych prowadzony był poza obowiązującym systemem rozliczeń.

W projekcie udział wzięło ponad 650 odbiorców. Według przeprowadzonych po akwizycji uczestników badań głównym motywem przystąpienia do projektu była chęć nauczania się oszczędzania energii elektrycznej. Pozostałe powody to: troska o ekologię, zainteresowanie ciekawą tematyką oraz gratyfikacja finansowa za udział w przedsięwzięciu. W większości uczestnicy zadowoleni byli z udziału w programie. Zadowolonych było z wariantu Wirtualny Cennik 89 proc. uczestników, z wariantu Eko-Redukcja – 74 proc., a z programu Eko-Sygnał – 63 proc.

Udział w projekcie wiązał się z gratyfikacją w postaci bonu płatniczego – minimum 50 zł, maksimum 200 zł, w zależności od programu i aktywności uczestnika. Największe efekty uzyskano w programie Eko-Redukcja. Średnia redukcja w dwóch godzinach szczytu pojedynczego dnia w porównaniu z dwiema godzinami przed szczytem wyniosła 24 proc., natomiast najwyższa redukcja wyniosła ok. 61 proc.

Odbiorcy w tym programie podczas wszystkich zdarzeń średnio redukowali swoje zużycie o 32,7 proc., a w okresie zimowym redukcja wynosiła nawet do ponad 40 proc. W programie Eko-Sygnał średnia redukcja w dwóch godzinach szczytu pojedynczego dnia w porównaniu z dwiema godzinami przed szczytem wyniosła 4 proc., natomiast najwyższa redukcja wyniosła ok. 52 proc. Odbiorcy średnio redukowali zużycie o 16,3 proc. podczas wszystkich zdarzeń, dla okresu zimowego było to ok. 32,3 proc. W przypadku Wirtualnego Cennika efekty były znacznie mniejsze, średnia redukcja wyniosła 0,2 proc. Odbiorcy nie dokonali znaczącego przesunięcia zużycia energii elektrycznej ze strefy szczytowej do pozostałych stref (średniej i pozaszczytowej). Wpływ na to niewątpliwie miała właśnie wirtualność cennika, według którego nie

były dokonywane rzeczywiste rozliczenia. Należy również zaznaczyć, że poziom gratyfikacji dla uczestników projektu był bardzo wysoki, co oznacza wysoki koszt redukcji zużycia energii elektrycznej. W ramach realizowanego przez PSE SA programu rozwoju usługi redukcji zapotrzebowania wartość jednej megawatogodziny w przetargach dla odbiorców przemysłowych została określona na ok. 1000 zł. W omawianym projekcie koszty redukcji w przypadku jednej megawatogodziny zostały oszacowane na poziomie ponad 100 000 złotych dla programu Eko-Redukcja i nawet kilkudziesięciu milionów złotych w przypadku Wirtualnego Cennika.

Liczba odbiorców potrzebna do redukcji zużycia energii w szczycie wynosiła ok. 5,8 tys. dla programu Eko-Redukcja, ok. 49 tys. dla programu Eko-Sygnał, a dla Wirtualnego Cennika od 125 tys. do nawet 500 tys. Zaproponowano następujące korekty w programie Eko-Redukcja:

1. Zmiana poziomu ograniczania mocy
2. Zmiana zasad wypłacania gratyfikacji
3. Modyfikacja doboru bazy odbiorców.

Przy takich korektach oszacowano, że koszt megawatogodziny mógłby zmniejszyć się do nieco ponad 6000 zł, a przy optymalizacji kosztów akwizycji nawet do poziomu 5400 zł.

W programie Eko-Redukcja wystąpiły problemy z ponownym przywróceniem zasilania, co należało wykonać ręcznie, wciskając specjalny przycisk na obudowie licznika. Kilku odbiorców nie mogło temu sprostać ze względu na utrudniony dostęp do licznika, dalszych kilkunastu zgłaszało problem ponownego podłączenia, jednym z powodów okazywało się naciśnięcie niewłaściwego przycisku. Na podstawie przeprowadzonych badań określono profil idealnego odbiorcy predestynowanego do redukcji zużycia energii elektrycznej: osoba powyżej 50 roku życia, dużo przebywająca w domu, z dużą rodziną, średnio zamożna, mieszkająca w obszarze miejskiej zabudowy wielorodzinnej. Określono też, że głównym motywem takiej osoby byłoby znalezienie ciekawego zajęcia.

Wydaje się, że programy tego typu mogą przynieść znaczne zmniejszenie zużycia energii elektrycznej w godzinach szczytowych, aczkolwiek przydatne byłyby kolejne programy weryfikujące osiągnięte wyniki, szczególnie gdy uwzględni się konieczność zmniejszenia zbyt wysokich gratyfikacji dla odbiorców energii elektrycznej.

Istotna jest też możliwość praktycznego wprowadzania taryf dynamicznych, wielostrefowych do realnego rozliczania opłat za zużycie energii elektrycznej.

Należy też zwrócić uwagę na pewne zagrożenia. W programie Eko-Redukcja, według [15], zużycie energii elektrycznej w okresie szczytowym wybranego dnia zostało znacząco zmniejszone w porównaniu z grupą kontrolną (nieobjętą programem redukcji), natomiast zużycie to w grupie objętej programem znacznie wzrosło w godzinie bezpośrednio po 2-godzinny okresie szczytu, do wartości mocno przewyższającej szczytowe zużycie w grupie kontrolnej. Szczyt zużycia został przesunięty, ale zwiększył swoją wartość, co może być niekorzystne z punktu widzenia systemu

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 97–104. When referring to the article please refer to the original text.

PL

elektroenergetycznego i koniecznych do zapewnienia zdolności produkcyjnych generatorów.

#### Przepisy Unii Europejskiej

Zgodnie z projektem nowego prawa energetycznego, przygotowanym w Ministerstwie Gospodarki, do roku 2020 każdy odbiorca energii elektrycznej w Polsce będzie miał zainstalowany inteligentny licznik energii [25]. Natomiast zgodnie z Dyrektywą 2009/72/WE z lipca 2009 roku, dotyczącą wspólnego rynku energii, każdy kraj członkowski mógł wykonać analizę opłacalności wdrożenia systemów inteligentnego opomiarowania do września 2012 roku. Kończąca decyzja o wdrożeniu inteligentnych liczników mogła być uzależniona od wyniku analiz opłacalności. W przypadku pozytywnego wyniku analizy wprowadzenie zdalnych odczytów liczników energii powinno nastąpić u co najmniej 80 proc. odbiorców, najpóźniej do końca 2020 roku (100 proc. do końca 2022 roku). Analiza Ministerstwa Gospodarki [2] dała wynik pozytywny – koszt oszacowano na 9 mld zł, korzyści w postaci zaoszczędzonych pieniędzy na 9,48 mld zł, czyli zysk to ok. 500 mln zł.

#### Stan wdrożeń w Polsce oraz w Unii Europejskiej

W siedmiu państwach członkowskich Unii Europejskiej – Belgia, Republika Czech, Litwa, Łotwa, Niemcy, Portugalia i Słowacja – wyniki analiz kosztów i korzyści szeroko zakrojonego wdrożenia do 2020 roku były negatywne, przy czym w Niemczech, na Łotwie i Słowacji uznano inteligentny pomiar za ekonomicznie uzasadniony w przypadku określonych grup klientów [26].

Piętnaście państw członkowskich Unii Europejskiej – Austria, Dania, Estonia, Finlandia, Grecja, Hiszpania, Irlandia, Luksemburg, Malta, Holandia, Polska, Rumunia, Szwecja, Włochy i Wielka Brytania – przeprowadza szeroko zakrojone działania służące rozpowszechnieniu inteligentnych liczników do 2020 roku [26]. Rynek szwedzki już w 2010 roku był w 100 procentach oparty na urządzeniach inteligentnych.

W porównaniu z innymi krajami Unii Europejskiej Polska jest pod względem wdrażania inteligentnych liczników w grupie o średnim poziomie wdrożeń [26]. Do tej pory zainstalowano w Polsce sporo ponad pół miliona inteligentnych liczników. Największe osiągnięcia w dziedzinie wprowadzenia systemu inteligentnych pomiarów zrobiła dotychczas ENERGA-OPERATOR SA – firma dystrybucyjna z gdańskiej grupy ENERGA. W pierwszym etapie zamontowano ponad 100 tys. liczników w Kaliszu, Drawsku Pomorskim i na Helu. W kolejnych etapach zamontowano ponad 300 tys. oraz ponad 450 tys. liczników. Do 2017 r. gdańska firma energetyczna zamierza wymienić urządzenia pomiarowe u wszystkich swoich odbiorców, których jest niemal 3 mln. Łączny koszt projektu jest szacowany na ponad 1 mld zł. Według ENERGI w Kaliszu, gdzie wymieniono wszystkie liczniki na inteligentne, na przestrzeni roku straty techniczne zmalały o 10 proc. Tauron

Dystrybucja zamierza zainstalować przez dwa najbliższe lata ponad 330 tys. liczników. Obecnie kończy się proces instalacji 350 tys. inteligentnych liczników we Wrocławiu.

W Warszawie według planów operatora sieci dystrybucyjnej, firmy RWE, do końca 2019 roku wszystkie domy i budynki mają mieć zainstalowane inteligentne liczniki energii elektrycznej. RWE promuje i wprowadza ponadto rozwiązania służące rozwojowi inteligentnych miast poprzez promowanie m.in.: rozwoju odnawialnych źródeł energii i rozproszonego wytwarzania energii. Firma zaangażowana jest w rozwój inteligentnych sieci dystrybucyjnych, rozwiązań dla domów przyszłości, magazynowania energii, zeroemisyjnych budynków i transportu elektrycznego. W najważniejszych lokalizacjach Warszawy RWE zbudowało już kilkanaście stacji ładowania pojazdów elektrycznych, tworząc sieć E-mobility. Łączne plany inwestycyjne RWE Stoen Operator związane z inteligentnymi sieciami energetycznymi wynoszą ponad 400 mln zł.

ENERGA-OPERATOR SA w 2011 roku rozpoczęła projekt „Inteligentny Półwysep” [9]. Celem projektu była praktyczna weryfikacja efektywności zastosowanych technologii Smart Power Grids oraz możliwości wykorzystania ich w skali całej sieci. Projektem zostało objętych blisko 200 km linii SN, 150 stacji SN/nN, ok. 150 km linii nN oraz blisko 10 tys. odbiorców na obszarze Półwyspu Helskiego. W ramach projektu przeprowadzono modernizację sieci, instalując sygnalizatory prądów zwarciovych. W kluczowych stacjach SN/nN zastosowano łączniki SN ze zdalnym sterowaniem oraz wprowadzono w wybranych rozdzielniach nN pomiar prądów oraz mocy czynnych i biernych, a także sygnalizatory zapalenia się wkładek bezpiecznikowych. W linii napowietrznej SN zainstalowano rozłączniki lub wyłączniki ze zdalnym sterowaniem oraz sygnalizatory przepływu prądów zwarciovych.

Systemem SCADA (sterowania i nadzoru) objęto również sieć niskiego napięcia i zintegrowano go z systemem GIS (informacji geograficznej). Do systemu SCADA przeniesiono odwzorowanie sieci średniego i niskiego napięcia w układzie geograficznym. Zaimplementowano funkcję FDIR (ang. *Fault Detection, Isolation and Restoration*) automatycznego wykrywania i lokalizacji miejsca uszkodzenia w sieci SN oraz automatycznej rekonfiguracji sieci. Zastosowano zaawansowany algorytm sterowania poziomem napięcia IVVC (ang. *Integrated Volt/Var Control*). Większość odbiorców energii elektrycznej wyposażono w liczniki zdalnego odczytu systemu AMI. Wdrożono także system obliczeniowy ELGrid [12], przeznaczony do wspomagania optymalizacji pracy oraz rozwoju rozdzielczych sieci energetycznych z generacją rozproszoną. Wykonano obliczenia optymalizacyjne rekonfiguracji sieci nN i dokonano w tej sieci przełączeń, tak by uzyskać wyznaczoną obliczeniowo jej konfigurację. W wyniku tych działań zmniejszono straty energii elektrycznej o ok. 12 proc.

Działania zrealizowane w ramach projektu dowiodły, że możliwe jest osiągnięcie znacznego wzrostu efektywności i elastyczności

pracy sieci. Pozwoli to również na uniknięcie problemów pracy sieci w przypadku masowego pojawiania się mikroźródeł w sieci nN. Większa obserwowalność i automatyzacja pracy sieci są jednymi z głównych cech sieci Smart Power Grid.

#### 4. Energia sprzyjająca zrównoważonemu ekorozwojowi

Wprowadzając ideę sieci Smart Power Grids, można zmienić dotychczasową strukturę wytwarzania energii elektrycznej na nową, bardziej przyjazną środowisku formę. Szansą na osiągnięcie tego celu jest m.in. jak najlepsze wykorzystanie odnawialnych źródeł energii. Człowiek od dawna dążył do zapanowania nad naturalnymi zasobami przyrody. W dobie coraz większego rozwoju technologii i wzrostu troski o środowisko użycie energii wiatru lub promieniowania słonecznego jest wystarczająco silnym bodźcem do wprowadzenia konstruktywnych zmian w sektorze wytwórczym. W tym miejscu warto zaznaczyć, iż człowiek może pozyskiwać energię elektryczną z wiatru zarówno w skali makro – poprzez budowę dużych farm wiatrowych, np. na morzu (gdzie panują dogodne ku temu warunki, wystarczająco silny wiatr) – jak i w skali mikro, korzystając np. z małych przydomowych elektrowni wiatrowych [30], które mogą pokryć część zapotrzebowania na moc, np. w gospodarstwach rolnych. Kolejnym odnawialnym źródłem energii może być mała elektrownia wodna, która wykorzystuje do produkcji energii elektrycznej potencjał grawitacyjny wody. Rozwiązanie to może się okazać szczególnie godne uwagi na terenach wiejskich, gdzie występują rzeki o niewykorzystanym jeszcze potencjale. Za wykorzystaniem małych elektrowni wodnych przemawia m.in. ich prosta konstrukcja oraz poprawa retencji.

Coraz częściej pojawia się hasło: gmina samowystarczalna energetycznie [8, 28]. Wybudowane na terenie gminy odnawialne źródła energii miałyby bilansować jej potrzeby energetyczne. Brane pod uwagę są przede wszystkim takie źródła, jak:

- biogazownie
- panele fotowoltaiczne
- farmy wiatrowe.

Budowanie takich źródeł powinno być także powiązane z poprawą efektywności energetycznej oraz rozwojem inteligentnych sieci [33, 34]. Należy zaznaczyć, że takie przedsięwzięcia są priorytetowo traktowane przez Komisję Europejską.

W Polsce najlepszym przykładem gminy samowystarczalnej energetycznie jest gmina Kisielice, która w 2014 roku wygrała konkurs Unii Europejskiej w kategorii ManagEnergy Award (Zarządzanie Energią) w ramach „Tygodnia Zrównoważonej Energii”, corocznej ogólnoeuropejskiej inicjatywy organizowanej przy Komisji Europejskiej. W gminie Kisielice zainstalowane zostały następujące źródła energii [16]:

1. Elektrownia wiatrowa Limża-Łodygowo, składająca się z 27 turbin o mocy zainstalowanej 1,5 MW każda
2. Elektrownia wiatrowa Łęgowo-Klimy-Pławy Wielkie, składająca się z 21 turbin o mocy 2 MW każda
3. Elektrownia wiatrowa Jędrychowo, 4 turbiny o mocy 3 MW każda

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 97–104. When referring to the article please refer to the original text.

PL

4. Ciepłownia miejska zasilana biomasą (słoma) o mocy 6 MW
5. Instalacja fotowoltaiczna o mocy znamionowej 99,84 kW, na potrzeby ciepłowni
6. Piec na biomasę o mocy znamionowej 125 kW, zainstalowany w budynku Szkoły Podstawowej w Łęgowie.

Dzięki inwestycjom w OZE zwiększyły się dochody budżetu gminy oraz jej potencjał rozwojowy [19]. Zostały zagospodarowane lokalne surowce, część rolników uzyskuje dodatkowe przychody z tytułu dzierżaw i służebności gruntów, rozwinięta została infrastruktura techniczna. Gmina stała się samowystarczalna energetycznie, ograniczając emisję szkodliwych substancji.

W gminie Sokoły, w województwie podlaskim, planowane jest wybudowanie bioelektrowni (gnojowica bydłęca i kiszonka z kukurydzy) w Jabłonowie-Wypychach, docelowo znamionowa moc elektryczna 1,9 MW, oraz budowa farmy wiatrowej w Rzęcach i Raciborach Starych, w skład której wejdzie 8 turbin o mocy 3 MW każda. W gminie Tuczępy zapoczątkowano program „Samowystarczalność energetyczna gmin gwarancją bezpieczeństwa energetycznego Polski”. Na terenie gminy planuje się realizację następujących inwestycji:

1. Bioelektrownia o mocy 9,6 MW
  2. Elektrownia wiatrowa o minimalnej mocy 18 MW
  3. Dwie elektrownie słoneczne o mocach 10 MW i 4 MW
  4. Elektrownia wodna o mocy ok. 20–30 kW.
- W przypadku potwierdzenia występowania złóż ciepłej wody budowana będzie elektrownia geotermalna.

Bieżące zapotrzebowanie energetyczne gminy, obejmujące wszystkie potrzeby, wynosi 31 MW.

W wielu gminach projektowane są inwestycje w energetykę odnawialną. Brane są pod uwagę również bioelektrownie, których wolumen produkcji energii jest stabilny i nie zależy silnie od zmiennych warunków atmosferycznych.

W pracy [14] przedstawiono koncepcję Autonomicznego Regionu Energetycznego, obejmującego wydzielony obszar o charakterze wiejskim, modelowo obejmujący kilka do kilkunastu gmin. W Polsce działania wielu gmin zmierzają w tym kierunku.

Można stwierdzić, że naturalną konsekwencją inwestycji w lokalne, odnawialne źródła energii będzie zmierzanie w kierunku budowy inteligentnych sieci czy nawet mikrosieci. Niewątpliwie istotnym elementem takich sieci powinny być w przyszłości magazyny energii, które obecnie są jednak bardzo kosztowne.

Biorąc pod uwagę bardzo prawdopodobny rozwój energetyki prosumenckiej (małe, rozproszone odnawialne źródła energii) oraz działania gmin prowadzone w kierunku samowystarczalności energetycznej, polski system energetyczny może ulec daleko idącym przeobrażeniom. System nie będzie się już opierał na dużych źródłach centralnie sterowanych oraz przesyłce energii z tych źródeł przez sieć przesyłową i rozdzielczą do odbiorcy końcowego. Zmieniają się warunki działania systemu elektroenergetycznego. Możliwe, że nie będą konieczne nowe inwestycje w linie przesyłowe czy też źródła energii

oparte na paliwach kopalnych. Podstawowe nakłady na modernizację sieci dystrybucyjnej w skali całego kraju do 2020 roku włącznie miałyby wynieść 30–60 mld zł, co przy 16 456 tys. odbiorców oznacza koszt rzędu 1,8–3,6 tys. zł/odbiorcę [10]. Stopa dekapitalizacji wiejskich sieci energetycznych przekracza 75 proc. Wprowadzenie rozproszonych źródeł energii nie oznacza, co prawda, możliwości całkowitej rezygnacji z modernizacji tej sieci, ale może się zmienić optymalny plan modernizacji.

Pojawia się nieznanne praktycznie do tej pory w sieci rozdzielczej problemy, np. przepływ energii w drugą stronę – od odbiorcy do sieci rozdzielczej, a nawet i przesyłowej. Wiąże się to z bardzo prawdopodobnymi sytuacjami nadprodukcji energii elektrycznej w gminie, może powstać wtedy konieczność ograniczenia produkcji ze względu na dodatni bilans mocy w całym systemie elektroenergetycznym. Zmienić to może analizy opłacalności inwestycji w źródła rozproszone, choć problem ten można stosunkowo łatwo rozwiązać, instalując magazyny energii.

Można przewidywać, że przy znaczącym wroście nasycenia Krajowego Systemu Elektroenergetycznego rozproszonymi źródłami energii zmniejszy się popyt na paliwa kopalne. Również zapotrzebowanie na pracę przesunie się z sektora wydobywczego w stronę nowoczesnych technologii. Ważny byłby rozwój produkcji źródeł odnawialnych, wiąże się to też z koniecznością wytwarzania często innowacyjnych systemów informatycznych oraz urządzeń telekomunikacyjnych.

Oczywiste jest, że odnawialne źródła energii mają swoje wady i nie są w stanie pokryć całego zapotrzebowania na energię elektryczną, np. w skali kraju lub dużego obszaru (miasta, województwa). Jednakże wzrost ich udziału w ogólnej liczbie źródeł energii ma szansę przyczynić się do zmniejszenia presji na rozwój sektora wytwórczego obecnie opartego głównie na paliwach kopalnych. Dodatkowo umasowienie odnawialnych źródeł energii jest szansą na nowe miejsca pracy – potrzeba będzie ludzi wykształconych w nowych kierunkach studiów, techników i inżynierów zajmujących się projektowaniem, montażem i konserwacją tych źródeł.

##### 5. Podsumowanie

Inteligentne sieci energetyczne stanowią w skali kraju duże wyzwanie technologiczne oraz ekonomiczne, ale dające nadzieję na zrównoważony rozwój. Istotne wydaje się zmierzanie z problemem unikięcia lub chociaż ograniczenia zagrożeń dla środowiska naturalnego, w tym zagrożeń dla człowieka wynikające z często nieprzemysłanego wdrażania technik produkcji energii elektrycznej ze źródeł nieodnawialnych. Konieczne jest opracowanie mechanizmów prawnych na drodze konsultacji społecznych, które zapewnią większą ochronę środowiska naturalnego oraz zdrowia człowieka. W praktyce często decyzje np. o lokalizacji farmy wiatrowej podejmowane są arbitralnie bez udziału lokalnych społeczności, co jest niezgodne z ideą zrównoważonego rozwoju.

Człowiek, korzystając z energii elektrycznej, oddziałuje silnie na otaczające go

środowisko. W wielu przypadkach działanie takie jest niekorzystne i w dłuższej perspektywie może prowadzić do poważnych zagrożeń. Sposobem na zmianę zaistniałej sytuacji może być stworzenie i rozwinięcie inteligentnych sieci elektrycznych, które dostarczą odpowiednich narzędzi (m.in. taryf, liczników, zachęt finansowych), sprzyjających lepszej gospodarce energetycznej, a w konsekwencji promujących zrównoważony rozwój.

Obecny sposób rozliczeń za energię elektryczną, poprzez płaskie cenowo taryfy i jednakowe ceny w każdym miejscu systemu, nie respektuje jednocześnie praw elektrotechniki i ekonomii. Odejście od niego pozwoliłoby osiągnąć części odbiorców, ile faktycznie kosztuje korzystanie z danego odbiornika i jak ceny za energię zmieniają się wraz z sytuacją na rynku energii.

Rozwój odnawialnych źródeł energii wraz z coraz większym zainteresowaniem nimi może sprzyjać zwiększeniu ich występowania w szczególności na terenach wiejskich. Jeżeli na danym terenie występują dogodne warunki przyrodnicze do budowy i eksploatacji takich źródeł, to warto zastanowić się nad ich wykorzystaniem.

Należy też rozważać inwestycje w magazyny energii, które pozwoliłyby znacznie ograniczyć zmiany produkcji ze źródeł odnawialnych spowodowane zmiennymi warunkami atmosferycznymi.

Nie wszystkie kraje Unii Europejskiej są jednomyślnie w sprawie konieczności rozwijania obecnie inteligentnych sieci. Niektóre zakładają konieczność ich budowy w wersji kompletnej, inne starają się minimalizować koszty wdrożenia, wybierając te elementy systemu, które przynoszą największą korzyść przy stosunkowo niewielkim koszcie. Są również kraje, np. Włochy, gdzie oprócz instalacji u każdego odbiorcy energii elektrycznej inteligentnych liczników, w praktyce nie robi się nic więcej w zakresie budowy kompletnego systemu inteligentnych sieci. Polska jest obecnie w początkowej fazie wdrożeń, jest więc szansa, aby proces ten odbywał się zgodnie z ideą zrównoważonego rozwoju. Wydaje się, że przedstawione problemy wymagają przyjęcia konkretnych strategii dla rozwoju kraju, nie tylko w dziedzinie energetyki odnawialnej. Stajemy przed nowymi wyzwaniami i wręcz fundamentalnymi zmianami w zasadach funkcjonowania Krajowego Systemu Energetycznego. Zmierzanie w kierunku budowy sieci inteligentnych, a szczególnie budowy dużej liczby źródeł odnawialnych, mocno zmieni potrzeby inwestycyjne w odniesieniu do sieci energetycznych. Może też mieć znaczący wpływ na sektor wydobywczy, zmniejszając popyt na paliwa kopalne.

##### Bibliografia

1. Alves-Pereira M., Castelo B., Wind Turbine Noise, In-Home Wind Turbine Noise Is Conducive to Vibroacoustic Disease [w:] Second International Meeting on wind turbine Noise, Lyon, 2007.
2. Analiza skutków społeczno-gospodarczych wdrożenia inteligentnego

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 97–104. When referring to the article please refer to the original text.

PL

- opomiarowania, Minister Gospodarki, Warszawa 2013.
3. Baczyński D. i in., Mikrosieci niskiego napięcia, Warszawa, 2013.
  4. Bil J., Ceny węzłowe jako mechanizm zarządzania ograniczeniami w systemie elektroenergetycznym, *Biuletyn URE* 2005, nr 6.
  5. Billewicz K., Smart metering – Inteligentny system pomiarowy, Warszawa 2011.
  6. Billewicz K., Skuteczność DSR – między bodźcem a reakcją, *Przegląd Elektrotechniczny* 2012, nr 09a, s. 308–314.
  7. Borenstein S., Jaske M., Rosenfeld A., Dynamic Pricing, Advanced Metering and Demand Response in Electricity Markets, Univeristy of California Energy Institute, Center for the Study of Energy Markets, 2002.
  8. Ekologia.pl [online], <http://biznes.ekologia.pl/energetyka/gminy-samowystarczalne-energetycznie,11726.html> [dostęp: 22.01.2016].
  9. Falkowski D., Noske S., Helt P., Monitorowanie, pomiary w sieciach inteligentnych – projekt pilotażowy Smart Grid na Półwyspie Helskim, VI Konferencja Naukowo-Techniczna „Straty energii elektrycznej w sieciach elektroenergetycznych”, Ossa k. Rawy Mazowieckiej, 7–8 maja 2014.
  10. Finansowanie inwestycji energetycznych w Polsce, PWC, maj 2011.
  11. Hajduk S., Planowanie elektrowni wiatrowych jako element zrównoważonego rozwoju na poziomie lokalnym, *Ekonomia i Środowisko* 2013, vol. 44, nr 1, s. 177–192.
  12. Helt P. i in., Koncepcja systemu ElGrid do optymalizacji pracy i rozwoju rozdzielczych sieci energetycznych, *Przegląd Elektrotechniczny* 2011, nr 2, s. 70–73.
  13. Jakobsen J., Infrasound emission from wind turbines, *Journal of low frequency noise, vibration and active control* 2005, Vol. 23, No. 3, s. 145–155.
  14. Klaster 3x20 [online], [http://www.klaster3x20.pl/sites/default/files/klaster3x20pl\\_38f43b6ff3d336337fc543026a9f0ff9.pdf](http://www.klaster3x20.pl/sites/default/files/klaster3x20pl_38f43b6ff3d336337fc543026a9f0ff9.pdf) [dostęp: 22.01.2016].
  15. Koprowiak T., Gospodarka niskoemisyjna w praktyce. Doświadczenia gminy Kisielice [online], <http://nowamisja-niskaemisja.pl/wp-content/uploads/2015/03/PLANOWANIE-GOSPODARKI-NISKOEMISYJNEJ-W-PRAKTYCE-TOMASZ-KOPROWIAK.pdf> [dostęp: 22.01.2016].
  16. Łubczyński W., Zachowania odbiorców na przykładzie projektu pilotażowego wdrożenia innowacyjnych taryf, Konferencja „Cyfryzacja sieci elektroenergetycznych”, Warszawa, 13 maja 2014.
  17. Łukaszek W., Likwidowanie barier energetycznych ograniczających rozwój obszarów wiejskich i gospodarstw rolnych na przykładzie gmin Sokoły i Tuczępy, XIX Międzynarodowe Targi Techniki Rolniczej AGROTECH, Kielce 2013.
  18. Malko J., Zrównoważony rozwój – cele i wyzwania elektroenergetyki, *Teoria i praktyka zrównoważonego rozwoju*, red. A. Graczyk, Akademia Ekonomiczna we Wrocławiu, Katedra Ekonomii Ekologicznej, Białystok – Wrocław 2007, s. 187–194.
  19. Malko J., Wilczyński A., Oszczędne, racjonalne czy efektywne użytkowanie energii elektrycznej, *Energetyka* 2007, wrzesień 2007
  20. Oddziaływanie wiatraków [online], <http://www.oddzialywaniawiatrakow.pl/upload/file/287.pdf>, [dostęp: 22.01.2016].
  21. Pawlas K., Wpływ infradźwięków i hałasu o niskich częstotliwościach na człowieka – przegląd piśmiennictwa, *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy* 2009, vol. 60, nr 2, s. 27–64.
  22. Pawlas K., Pawlas N., Boroń M., Życie w pobliżu turbin wiatrowych, ich wpływ na zdrowie – przegląd piśmiennictwa, *Medycyna Środowiskowa – Environmental Medicine* 2012, Vol. 15, No. 4, s. 150–158.
  23. Pierpont N., Wind Turbine Syndrome, *A Report on a Natural Experiment*, Santa Fe 2009, s. 294.
  24. Piotrowski P., Analiza statystyczna danych mających wpływ na produkcję energii elektrycznej przez farmę wiatrową oraz przykładowe prognozy krótkoterminowe, *Przegląd Elektrotechniczny* 2012, vol. 88, nr 3a, s. 161–164.
  25. Piotrowski P., Inteligentne cyfrowe liczniki energii elektrycznej jako element systemu Smart Power Grids – część 1, *Elektro.info* 2015, vol. 135, nr 6, s. 72–75.
  26. Piotrowski P., Kapler P., Inteligentne cyfrowe liczniki energii elektrycznej jako element systemu Smart Power Grids – część 2, *Elektro.info* 2015, vol. 137, nr 9, s. 86–90.
  27. Piotrowski P. i in., Problem narażenia pracowników morskich stacji elektroenergetycznych najwyższych napięć na szkodliwe czynniki oraz działania minimalizujące ryzyko zagrożeń, *Medycyna Pracy* 2016, nr 1(67), s. 51–72, doi:10.13075/mp.5893.00320.
  28. Portal samorządowy [online], <http://www.portalsamorzadowy.pl/gospodarka-komunalna/samowystarczalne-energetycznie-gminy-sa-przyszloscia,63026.html> [dostęp: 22.01.2016].
  29. Pultowicz A., Przesłanki rozwoju rynku odnawialnych źródeł energii w Polsce w świetle idei zrównoważonego rozwoju, *Problemy Ekorozwoju* 2009, vol. 4, nr 1, s. 109–115.
  30. Warmińsko-Mazurska Agencja Energetyczna, [http://www.wmae.pl/user-files/file/Aktualnosci/poradnik\\_a5.pdf](http://www.wmae.pl/user-files/file/Aktualnosci/poradnik_a5.pdf) [dostęp: 22.01.2016].
  31. wyborcza.biz, [http://wyborcza.biz/biznes/1,101716,15514325,Nowa\\_elekrownia\\_sloneczna\\_zabija\\_ptaki.html?disableRedirects=true](http://wyborcza.biz/biznes/1,101716,15514325,Nowa_elekrownia_sloneczna_zabija_ptaki.html?disableRedirects=true) [dostęp: 22.01.2016].
  32. Związek Gmin Wiejskich Województwa Podlaskiego [online], <http://www.zgwwp.org.pl> [dostęp: 22.01.2016].
  33. Żmijewski K., Szanse i wyzwania – niskoemisyjna energetyka na obszarach wiejskich, konferencja „Bioenergia na obszarach wiejskich” Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Warszawa, 12.05.2014.
  34. Program Gospodarki Niskoemisyjnej na terenach wiejskich, red. Żmijewski K., Forum Inicjatyw Rozwojowych na zlecenie Rady Programowej Fundacji Europejski Fundusz Rozwoju Wsi Polskiej, 2014.
  35. Sobczak M. i in., Projekt Smart. Pilotażowe wdrożenie innowacyjnych programów redukcyjnych. Raport końcowy, Wrocław, Gliwice 2014.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 97–104. When referring to the article please refer to the original text.

PL

### **Paweł Janusz Piotrowski**

dr hab. inż.

Politechnika Warszawska

e-mail: pawel.piotrowski@ien.pw.edu.pl

Absolwent Politechniki Warszawskiej. Adiunkt w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Warszawskiej. Jego praca doktorska pt. „Optymalizacja regulacji napięć w elektroenergetycznych sieciach rozdzielczych w oparciu o teorię sieci neuronowych” wygrała ogólnopolski konkurs o Nagrodę Promocyjną Siemens. Uzyskał stopień doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie elektrotechnika (2014). Tytuł monografii habilitacyjnej: „Prognozowanie w elektroenergetyce w różnych horyzontach czasowych”. Jego zainteresowania naukowe dotyczą zagadnień prognozowania na potrzeby elektroenergetyki oraz optymalizacji, zastosowania sztucznej inteligencji w elektroenergetyce, niezawodności zasilania w sieciach komputerowych, systemów AMI oraz problematyki OZE. Autor lub współautor ponad 80 publikacji (artykuły, monografie, podręczniki), 33 referatów na konferencje naukowe oraz 54 opracowań naukowych oraz prac dla przemysłu.

### **Piotr Helt**

dr inż.

Politechnika Warszawska

e-mail: piotr.helt@ien.pw.edu.pl

Wychowanek Politechniki Warszawskiej. Pracuje na swojej macierzystej uczelni, od 2009 roku kieruje Studiami Podyplomowymi „Nowoczesne Metody Analiz w Elektroenergetyce”. Konsultant ds. systemów Smart Grid w firmie Globema sp. z o.o. Obszar zainteresowań zawodowych: systemy informacji geograficznej, w szczególności jej zastosowania w elektroenergetyce, sieci i systemy elektroenergetyczne, przede wszystkim sieci rozdzielcze, metody sztucznej inteligencji i ich wykorzystanie w problemach optymalizacyjnych. Autor wielu artykułów i publikacji na konferencjach krajowych i zagranicznych. Wykonawca wielu prac naukowo-badawczych, grantów i ekspertyz, przede wszystkim w dziedzinie elektroenergetyki.

### **Piotr Kapler**

mgr inż.

Politechnika Warszawska

e-mail: piotr.kapler@ien.pw.edu.pl

Ukończył Wydział Elektryczny Politechniki Warszawskiej, specjalność elektroenergetyka (2011). Obecnie asystent i doktorant w Zakładzie Sieci i Systemów Elektroenergetycznych PW. W pracy naukowej zajmuje się badaniem wzajemnych oddziaływań pomiędzy systemem elektroenergetycznym a indywidualnymi odbiorcami energii elektrycznej, zagadnieniem optymalnego rozplywu mocy oraz cenami węzłowymi.