

Electrical energy in the future. A vision of 2050

Authors

Sławomir Królikowski
 Błażej Walczak
 Adrian Wójcik
 tutor: Andrzej Aftański

Keywords

electrical energy, energetics, electrical power, renewable energy sources, future of energetics, power grids, environmental protection, smart systems, energy transfer, thermo-nuclear power plants, energy security, pro-environmental attitudes, energy crisis

Abstract

The article contains scenarios for the power sector's development until 2050, as proposed by students of Electrical High School No. 4 in Włocławek. Many current trends in the development of technology have led the authors to attribute the verisimilitude to their selected visions of the future. The growing demand for energy, while fossil fuel resources and traditional methods of processing them are shrinking, will cause dissemination of the use of so-called environment-friendly sources of energy, such as wind or biomass. Energy will be commonly converted in domestic power stations equipped with energy storage capabilities and integrated with the grid by smart controllers for two-way energy transfer. The power grid role will change, and the existing energy consumers will become its prosumers. In the opinion of the authors the only alternative for this power sector development vision may be thermonuclear generation, which requires, however, incredibly high capital expenditures and level of technological development. However, launching thermonuclear power plants would free humanity from the fear of a future predominated by energy crisis.

It is difficult not to agree with the statement that energy - in its various forms - is one of the most important drivers of life on Earth. We all need it. Plants use solar energy to grow and bear fruit. Animals need food to live, build nests and dens, to seek new pastures and game areas. People need energy for cooking and heating. Each of us lives in a house illuminated and equipped with appliances which require electricity to operate¹. So it might be asked – is there anybody in the world today, who would envisage life without electricity? Without a computer, TV, telephone, washing machine, radio set, and refrigerator? Perhaps there might be such individuals, who would support their point by referring to the population of the poor regions of Africa, or to ecology or environmental science fanatics². However, most people would find giving up electrically powered things difficult.

We all need secure energy supply

The modern world is very dependent on energy supplies – this refers to every industry and every household. A power outage not only deprives us of lighting, but also stops water pumps, central heating, monitoring and control, and communication. With the development of civilization humans become ever more dependent on their own inventions. A large power system failure can have very dangerous consequences - as evidenced, for example, by events in North America at the beginning of this century. August 2003 saw the largest power outage in American history. Power supply to several East Coast US states was interrupted, as well as to the Canadian province of Quebec. Around 50 million people suffered the electricity shortage. The failure resulted in the outage of over 100 power plants, also including nuclear plants. Fortunately, none of them were damaged³, but events

¹ Based on the study by Agnieszka Kardasz "Renewable energy sources as an energy security element", publication No. 7708 for school year 2009/2010, source: <http://www.publikacje.edu.pl/publikacje.php?nr=7708>.

² Environmental science, in a broad generalization, is a science of active environmental protection, dealing with environmental protection issues, causes and consequences of adverse changes resulting from the development of civilization and occurring in the structure and functioning of natural systems, source: <http://pl.wikipedia.org/wiki/Sozologia>.

such as blackout, as this type of failure is commonly called, always threaten to destabilize social life, and are an excellent opportunity for the emergence of large-scale crimes, robberies, assaults and other acts of violence. In Poland the last major accident took place in Szczecin in 2008 and fortunately did not lead to serious consequences. However, ensuring the power systems' reliable operation, and developing solutions that provide full energy supply in an emergency, should be a priority for those responsible for the energy sector in every country.

The difficult game of divination

In an Acta Energetica article Prof. Jan Popczyk presented a likely vision of the Polish power system at the turn of the eras of the knowledge society and hydrogen⁴. The image outlined by the author is dominated by a significant share of stand-alone power generation systems, the development of wind farms, and it also features the power system's flexibility, competitiveness, and a distributed energy supply offering. As the author argues, apparently neither the power grids nor the number of large energy sources in the form of power units, will be significantly modified. However, alternative energy sources will be launched on a massive scale, leading to the development of energy agriculture and stand-alone domestic mini power plants. The professor's vision refers to 2030, but we'd rather focus on a likely image of electric energy in 2050.

The year 2050 will arrive in 38 years. Just look back 38 years, to see how difficult it is to imagine possible changes around us. In 1974, the Polish public television broadcast two channels only, which our parents viewed mostly in black and white⁵. Only scientists had heard about computers, nay, even manufacturing of the small Fiat, which is today hardly seen on the streets anymore, had only then begun. Bill Gates said in 1981, referring to the need for personal computers, that "640 kB storage should be enough for everybody". Today free mailbox capacities exceed 20 GB, and the home computer hard drive sizes are expressed in TB.

So how will the power world look in 2050? Trying to answer this question, it is worth considering the following issues:

1. demand for electricity
2. massive electricity generation from renewable sources
3. smart power system made up of a network of autonomous subsystems
4. modern transmission grids
5. development of thermonuclear generation.

We need more and more electricity

The development of civilization and growth of consumer needs cause an increase in demand for energy. The scale of this phenomenon can be better illustrated by data published by the Central

Statistical Office. In 2007 electricity consumption in Poland amounted to 136,261 GWh, and in 2010 – to 141,637 GWh.

Region		Total consumption
Voivodeship	dolnośląskie	12 370
	kujawsko-pomorskie	7 350
	lubelskie	5 190
	lubuskie	3 255
	łódzkie	11 096
	małopolskie	12 129
	mazowieckie	21 258
	opolskie	5 005
	podkarpackie	4 967
	podlaskie	2 675
	pomorskie	7 104
	śląskie	24 712
	świętokrzyskie	4 711
	warmińsko-mazurskie	3 430
wielkopolskie	11 024	
zachodniopomorskie	5 361	
Poland		141 637 GWh

Tab. 1. Electricity consumption [GWh] in Poland in 2010 by region (voivodeships)

Source: Own study based on CSO data, <http://www.stat.gov.pl>

As common sense logic dictates, the demand for electricity will keep growing in the future. This is not only because the number of consumer goods and industry needs will grow. The quality of life is changing, as well as the usage of already known and widely enjoyed goods, such as cars, for instance. Probably more and more often we'll drive electric-powered cars, which today can be freely driven around city centres, with their batteries recharged at night in the drivers' own garages.

On the other hand, the tendency will increase for the manufacturing of energy-efficient goods, and demographic processes indicate a stagnation in the development of highly developed societies. So maybe individual households' demand, with the introduction of solutions such as smart homes, will not be so high. Anyway, the overall human energy needs will remain high, and the conventional energy sources, which, according

³ <http://www.tvn24.pl/0,1545231,wiadomosc.html>.

⁴ J. Popczyk, Innowacyjna energetyka. Kontekst ekologiczno-energetyczny i ekonomiczno-cywilizacyjny, Acta Energetica 2009, issue 1, source: <http://actaenergetica.org/pl/wp-content/uploads/2011/11/str.-7-22-J.Popczyk-INNOWACYJNA-ENERGETYKA.-Kontekst-ekologiczno-energetyczny1.pdf>.

⁵ http://pl.wikipedia.org/wiki/Telewizja_Polska.

	2006	2010	2015	2020	2025	2030
Final energy	111.0	104.6	115.2	130.8	152.7	171.6
Energy sector	11.6	11.3	11.6	12.1	12.7	13.3
Transmission and distribution losses	14.1	12.9	13.2	13.2	15.0	16.8
Net demand	136.6	128.7	140.0	156.1	180.4	201.7
Own auxiliaries	14.1	12.3	12.8	13.2	14.2	15.7
Gross demand	150.7	141.0	152.8	169.3	194.6	217.4

Tab. 2. Domestic demand for electricity [TWh]

Source: „Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030 roku”, załącznik 2 do „Polityki energetycznej Polski do 2030 roku”, <http://www.mg.gov.pl/files/upload/8134/Prognoza%20zapotrzebowania%20na%20paliwa%20i%20energje-ost.pdf>

to various estimates, will deplete in the second part of the 21st century, may not be able to cope with the market expectations in this respect⁶.

Therefore, international talks are underway on the rational use of the Earth's natural resources, and the implementation of projects that use alternative energy sources. Also increasingly heard about are the threats to the environment, the ozone hole, the greenhouse effect, and the attempts to prevent these adverse phenomena through protection of the natural environment.

Water and wind, and biomass perhaps?

Analysing electricity generation from renewable sources, it is necessary to consider aspects such as: social and political conditions, cost of energy generation from non-standard sources, geographical location, as well as the issues of energy security and energy storage.

The interest in renewable energy sources in recent years is not only associated with the increased energy demand, but also with excessive pollution⁷. Now the share of renewable energy sources in the world's fuel and energy balance sheet is about 18%. It is, however, very small. Promoting the development of renewable energy sources has therefore become an important objective of European Union policy. The first major document which provided the basis for action at the EU level was "Strategy for the development of renewable energy sources in the European Union Member States of 1997"⁸. Many documents have been drafted

to date closely linked to the issues of renewable energy sources and the associated environmental concerns.

In the framework of its environmental obligations the EU has set quantitative targets for the year 2020, so-called 3x20%, i.e.: reduction of greenhouse gas emissions by 20% compared to 1990, reduction of energy consumption by 20% compared to the forecasts for 2020, and increase in the share of renewable energy to 20% of total energy consumption in the European Union. In December 2008 the European Union adopted the climate and energy package, which specifies the legal tools to be used to achieve these goals⁹.

Also in Poland, since we are obliged to comply with the Community regulations, legislative initiatives are undertaken and concepts are devised in line with the aforementioned package. And so in November 2009, the Council of Ministers adopted "Polish energy policy until 2030"¹⁰. It indicates, among other issues, undertaking efforts to develop nuclear power generation, increase the share of renewable energy in the domestic energy balance, and to energy efficiency.

The most interesting document that addresses the need to decisively turn towards renewable energy sources is a report by the European Climate Foundation, the so called "Roadmap 2050", a declaration to implement the vision of the European power sector 100% based on renewable energy by 2050¹¹. This document is currently endorsed by dozens of organizations and institutions, but the European Union decision-making bodies have not yet granted it binding force. The declaration mainly addresses the fact that because of the climate threats, rising commodity prices, and political dependence related to their import, Europe urgently needs to implement a comprehensive energy system based entirely on renewable energy sources. As the authors point out, it does not go beyond the current capabilities of Europeans; however, it requires wise decisions, effective use of the current potential, and changes in the awareness of energy producers and consumers¹². The available renewable energy resources theoretically significantly exceed our needs. For example, the Sun provides the Earth every day with as much energy as its residents consume in eight years. There is a lot of evidence that we are able to develop by 2050 a coherent system of energy generation entirely from renewable sources. All that is necessary is European leaders' serious involvement in the implementation of this vision, and above all, compliance with the EU directives already issued in the matters of energy management. These directives strongly support the idea of environmental protection, for instance by imposing heavy penalties for environmental pollution. That's why Poland will pay more and more

⁷ <http://energiaodnawialna.republika.pl/>.

⁸ R. Tytko, Odnawialne źródła energii: wybrane zagadnienia. Podręcznik dla uczniów i słuchaczy kształcących się w zawodzie technik elektryk, Dimikor, 2009.

⁹ "Polityka energetyczna Polski do 2030 roku", attachment to Resolution 202/2009 of the Council of Ministers of 10 November 2009, source: <http://www.mg.gov.pl/files/upload/8134/Polityka%20energetyczna%20ost.pdf>.

¹⁰ Resolution 202/2009 of the Council of Ministers of 10 November 2009, source: <http://www.mg.gov.pl/NR/rdoonlyres/5474D2C2-2306-42B0-B15A-7D3E4E61D1D8/58593/uchwala.pdf>.

¹¹ <http://www.100percentrenewables.eu>.

¹² http://www.chronmyklimat.pl/energetyka/polityka-energetyczna/9191-energetyczna_mapa_drogowa_2050_ku_dostatniej_niskoemisyjnej_europie.

severe penalties for the environmental pollution with operational substrates of its obsolete, inefficient, and environmentally unfriendly power plants, the maintaining of which will therefore become uneconomical¹³. On the other hand, the existing environmentally friendly (hydro, wind or solar) power plants today operating in the global power system account for a drop in the ocean of needs. An interesting solution seems to be the power system's distribution and development of individual, renewable energy sources-based mini power plants, which can generate energy for single households¹⁴.

Therefore, all elements of the Polish power system will likely be upgraded by 2050. Electricity will be generated from sources, and that means the following specific benefits: greater degree of independence from external energy suppliers, increased local energy security (due to generation units' locations close to consumers), and reduced transmission losses. The renewable energy generation development will also contribute to the economic development of regions less industrially developed, but rich in renewable energy resources¹⁵.

Poland's climatic conditions determine that we may mainly rely on the exploitation of the following green energy sources: water, wind, solar, biomass and geothermal.

At this point, it seems appropriate to briefly characterize these energy sources dominant in the future.

Water energy – enables electricity generation due to the difference in water levels. The problem is capital intensive power plant development. Such projects also involve changes in aquatic environment, and interference with the natural course of rivers and with aquatic animal life. Despite this, the potential of Polish rivers and lakes will probably be utilised better in the future than today¹⁶.

Wind energy – perhaps in a dozen or so years windmills will become just as important parts of the household, as domestic sewage treatment plants are today. Wind power generation is, of course, constrained by windless weather. However, this problem will be solved by batteries, which allow for storing excess electricity generated in favourable weather conditions.

Solar energy – in the future solar power plants, like windmills, will be parts of households. It is true that photovoltaic cells are expensive to manufacture, but they are less expensive to operate than conventional power plants. Electricity generation depends, of course, on the time of day and the weather, but in adverse conditions the same solutions will be used as for wind farms¹⁷. Moreover, solar and wind farms will be developed together and complement each other.

Biomass energy – the energy generated by organisms in the

environment, and its source can be straw, paper, organic waste, vegetable oils, specially grown energy crops or biogas from landfills or from fermentation. Biomass is available everywhere, so cities will utilise biogas from municipal landfills and sewage treatment plants, and in the countryside farmers will enjoy cheap energy from burning waste straw or sawdust¹⁸.

Geothermal energy – is a natural and inexhaustible source of heat from the Earth's interior. In certain geographic regions of the world geysers are already utilised for heating buildings, such as in Iceland and New Zealand. In Poland geothermal energy is harder to use, but due to the rapid technological development, in the mid- twenty-first century geothermal power plants may be on the agenda here. Today building them is very expensive, but in a few decades such investment is likely to be cost-effective.

All of these sources will be used increasingly, and to an equal extent developed in Poland and other developed countries, because only the diversification of energy sources and the development of small domestic power plants seems to be the future of green energy.

Modern networking systems

No environmental objectives can be achieved without changes in power grids. If large-scale investments are to be made in renewable resources or, for instance, in electric vehicles, this will require an infrastructure capable of active integration of energy producers' and consumers' operations. An issue appears here, however, that the traditional network structure has been developed with the aim of one-way flow of energy. Whereas the presence of multiple small distributed sources will reverse the energy flow direction. As regards the existing and insufficiently upgraded networks, it will certainly lead to serious technical problems in the safety and reliability of the system operation¹⁹.

Therefore, today a priority is the introduction of a new quality to power grids through the deployment of intelligent power supply systems commonly referred to as Smart Grids. This is a response to the threat due to the deficit of energy resources, but also to the very low efficiency of energy generation, transmission, distribution, and use. The term Smart Grid means the provision of energy services to customers with the use of information technology, which reduces the cost and increases the efficiency and the integration of distributed energy sources, including renewable energy²⁰.

Factors contributing to the smart grids concept development include²¹:

1. assurance of energy security, which will be enabled by better, smarter, and faster control and diagnostic systems

¹³ Such power plants are deployed mainly in the south of Poland in the Upper Silesian Industrial District.

¹⁴ <http://energiealternatywne.blogspot.com/2011/09/jak-wielkie-sa-mozliwosci-zastapienia.html>.

¹⁵ <http://www.energie-odnawialne.net/index.php/plany-energetyczne-polski.html>.

¹⁶ A. Kardasz, Odnawialne źródła energii jako element bezpieczeństwa energetycznego, publication No 7708 for school year 2009/2010, source: <http://www.publikacje.edu.pl/publikacje.php?nr=7708>.

¹⁷ Ibidem.

¹⁸ Ibidem.

¹⁹ A. Cieślą, Z. Hanzelka, Inteligentne systemy elektroenergetyczne, source: <http://www.smartgrid.agh.edu.pl/index.php/84-smgrid-rozne/104-inteligentne-systemy-elektroenergetyczne-ang-smart-grid>.

²⁰ Ibidem.

²¹ Ibidem.

2. minimisation of the costs of power services through constant integration of environment-friendly, local energy resources
3. assurance of differentiated and individualised levels of power supply quality, according to the client's needs, through the use of advanced electronic systems, among other measures
4. extension of the functionality of services provided by supplier to customer, i.e. smart energy management and power supply conditions monitoring. This is necessary to provide customers with the possibility to generate their own energy controlled, which in turn is associated with the integration of autonomous generation systems with the power grid.



Fig. 1. An artist's vision of Smart Grid

Source: <http://svtechtalk.com/cleantech/smart-grid/>

According to experts, the introduction of smart grids is inevitable. EU Member States agreed to provide 80% of consumers with smart energy meters, and hence to lay the smart grid foundations²². It should be emphasized that together with the smart grid concept development gaining popularity is the idea of microgrids, which may be a single household, a separate area, or a group of customers with a balanced consumption and local energy generation. Such microgrids would create the sub-base for macro-scale operation of a modern power system.

Smart homes

With the ability to generate electricity on a small scale using photovoltaic panels, small wind turbines, or small hydro power plants, fully integrable with the power grid and connected to it using plug-and-play, the smart home notion will change altogether. So far, using this term, we meant a user-friendly house in which certain tasks, such as lowering blinds at dusk or turning on lights on the property, were executed automatically, hence releasing the residents from thinking about these tasks. Now the

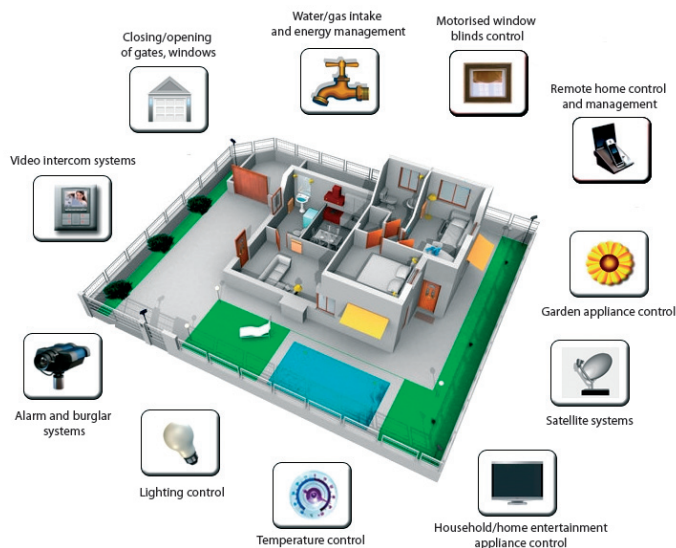


Fig. 2. The smart home concept in the future will not be limited to the control of household appliances

Source: <http://telbit24.pl/public/images/editor/image/Obrazki%20rozne/inteligentny%20dom.png> Source: <http://svtechtalk.com/cleantech/smart-grid/>

smart home concept is extended by the aspect of energy autonomy - such a house not only has its own power sources, but is also able to output its excess power, and treats the power grid as a reserve source. The hitherto traditional, passive electricity consumer assumes therefore the role of prosumer, i.e. an active consumer capable not only of energy consumption, but also of its generation²³.

An active energy co-generator will be using modern technologies, such as wireless charging of car and other household appliance batteries, but the development of technology will require no specialist expertise. A market will emerge instead, of specialists operating the distributed energy system - the demand for staff in the field of electrical engineering will therefore certainly keep growing.

In the context of mini power plants and autonomous prosumer systems there appears, however, a major problem: how to solve the issue of electricity storage? Electricity is easy to acquire, process, and use, but it is difficult to store. In the large-scale power systems this inconvenience is solved by the deployment of pumped storage plants, for instance. Individually, such initiatives are not economically viable, but they constitute an important factor in ensuring the power system's stability and a kind of energy reservoir in the event of a sudden increase in the demand for electricity, such as during mass events, like Euro 2012 football

²² http://www.ure.gov.pl/porta1/pl/424/3322/Perspektywy_rozwoju_inteligentnych_sieci_energetycznych__technologiczny_przelom_.html.

²³ The term prosumer was coined in 1980 by American social writer and futurist Alvin Toffler. Prosumer is someone who has extensive knowledge about products and services, and wants to actively participate in their development. Prosumer is an active consumer who is a partner of the manufacturer, and communication with whom is like a constant dialogue, source: <http://pl.wikipedia.org/wiki/Prosument>.

matches. Perhaps in the future the energy storage problem will be solved by supercapacitors. Perhaps entire supercapacitor or superbattery farms will be developed?

Transmission grids

Managing electricity is not only its generation and storage, but first of all distribution, which in the future must be carried out with minimal losses. This will certainly be enabled by massively deployed HVDC high voltage direct current lines²⁴. However, this will require a more common use of power electronic devices than now. However, the development of power electronics will allow managing energy better and to respond to such needs as:

1. power system flexibility to accommodate energy consumer needs
2. power system stability associated with the balancing of energy resources from various sources and at different periods of time, such as time of year and time of day
3. energy sourcing reliability and efficiency.

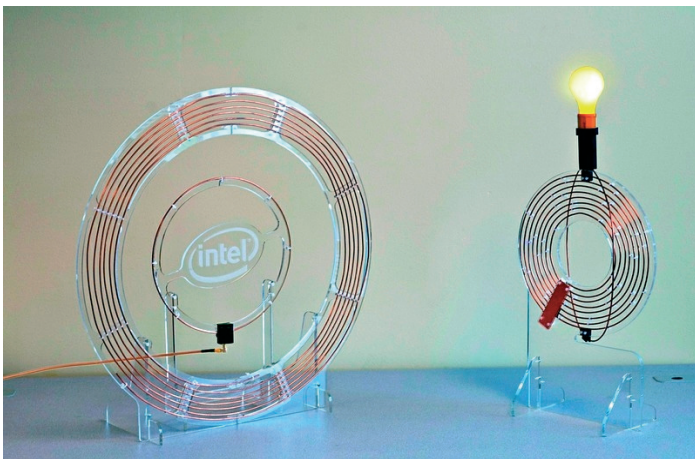


Fig. 3. Wirelessly powered light bulb in an Intel lab

Source: http://www.chip.pl/images/sprzet/WRELLightbulb1.jpg/image_preview

It should be noted that studies are also currently being carried out on wireless energy transfer by electromagnetic field and resonance.

Devices such as a laptop or television set can be wirelessly powered, and in the future it may be possible over longer distances and on a larger scale. A problem which scientists have to solve is the impact of a magnetic field with such a high intensity on living organisms, including the human body, of course²⁵.

Thermonuclear energy

This vision of the power sector seems to be very technically complex, since it requires operation of many different types of power plants, and complex power management and distribution. It is possible that the power sector's future will be much simpler – perhaps it will be based on thermonuclear energy, well recognised by engineering science but still very capital intensive. The basic requirement for thermonuclear fusion is sufficiently high temperature. A fuel for the fusion may be deuterium, a heavy hydrogen isotope. The most serious problem of thermonuclear energy generation is mastering of the fusion reactions occurring managed by man. Resolving this issue has encountered great difficulties²⁶. Opponents of investing in thermonuclear energy development argue against its meaninglessness and the huge economic costs. However, data on electricity generation from different sources is very telling:

- 1 kg of carbon produces up to 7 kWh of energy
- 1 kg of uranium produces from 70,000 kWh up to 12,000 000 kWh of energy
- 1 kg of deuterium in a fusion reaction could produce 24,000,000 kWh (sic!).

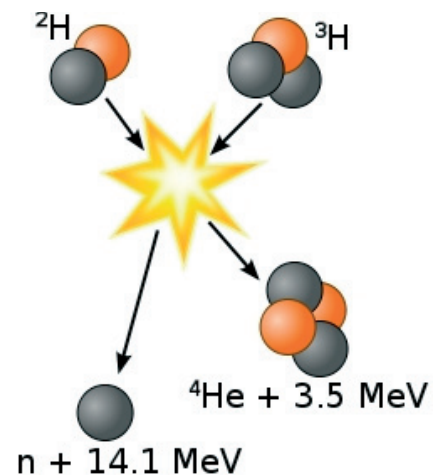


Fig. 4. A single fusion reaction of deuterium and tritium, which produces helium, a neutron, and 17.6 MeV of energy

Source: http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:Deuterium-tritium_fusion.svg&filetimestamp=20091128202729

It is estimated that the carbon resources are sufficient for about 100 years. A similar situation exist is with oil deposits. Uranium resources are sufficient for several decades. Compared to this data

²⁴ There is only one such line today in Poland, connecting Ustka with Karlshamn in Sweden, source: http://pl.wikipedia.org/wiki/Linia_wysokiego_napi%C4%99cia_pr%C4%85du_sta%C5%82ego.

²⁵ http://technologie.gazeta.pl/technologie/1,94881,7496870,Bezprzewodowe_przesylanie_pradu.html.

²⁶ <http://www.1lo.suwalki.pl/energ/doc/term.html>.

²⁷ <http://www.1lo.suwalki.pl/energ/doc/term.html>.

deuterium resources are virtually inexhaustible. They amount to approx. 10^{17} kg, which corresponds to energy resources in the order of 10^{24} kWh. If we assume that energy consumption will remain as it is today, a simple calculation shows that deuterium resources should suffice for around 20 billion years (sic!)²⁷.

So, thermonuclear power generation is an alluring technology. In the European Union by the end of the twentieth century nearly 10 billion EUR had been invested in it, and the newest experimental ITER reactor will cost a similar amount²⁸. An important advantage of thermonuclear energy is that the generation cost will not grow along with installed capacity²⁹. So perhaps thermonuclear energy is the solution to the problems of humankind?

Is the future dark or bright?

The future of electricity will certainly depend on the wisdom of the people using it. Already today we are witnessing conflicting options and views, the supporters of which are trying to argue their case stating views recognizing or denying the negative impact of human activities on the face of the Earth. The best known threat is global warming that leads to the melting of glaciers, and development of massive hurricanes and other destructive natural disasters. Although it has not been proven that the main culprits of this process are human beings, it does not change the fact that changes observed in nature are highly dangerous to human development. According to Stephen Hawking, one of the greatest physicists of our time, "global is now (...) a threat (...) greater even than all nuclear arsenals combined"³⁰.

If the power sector's pessimistic vision, which assumes mankind's passivity to challenges posed by nature, are proven right in the future, we would probably live through times, when, following the crude oil sources' depletion, coal to gasoline processing



Fig. 5. Tsunami in the Japanese prefecture of Fukushima in March 2011
Source: <http://fakty.interia.pl/raport/kataklyzm-w-japonii/galerie/kataklyzm-w-japonii/fukushima-zalana-przez-14-metrowa-fale/zdjecie/duze,1432027>

plants would be launched on a massive scale. Other energy sources would be used marginally. As a result of huge carbon dioxide emissions the climate would change at a very fast pace, bringing about more and more natural disasters such as floods, tsunamis and catastrophic droughts, even in regions not directly responsible for these changes.

In this pessimistic vision the world would experience not only climatic catastrophes, perhaps on the scale of continents, but also conflicts and wars for access to energy resources, and it would mean destruction and millions of refugees³¹. No vision of the future so pessimistic is bound to happen, of course, but we must be aware that the available conventional energy sources known to mankind, such as coal and oil, may soon come to an end, or access to them may be seriously impeded, which will significantly increase energy prices, and will entail a change in public attitudes and awareness with regard to the use of energy, including electricity. So more work is needed on energy generation from the new sources that today may not be considered wonderful alternatives because of their costs, but the exploitation of which is feasible.

Mother Earth's children

In the power sector future's optimistic scenario all concepts discussed here will certainly be fulfilled. In 2050 many of us will be living in smart homes, which not only afford dwelling comfort, but also enable rational management of energy, which can be generated in a backyard plant. We will use wirelessly powered devices, without worrying about recharging them. Even if we move through open spaces, once back home we'll recharge our devices from home charging stations. A computer system will take care of such energy management, which is consistent with our needs and lifestyles.

The social mind frame will change - the attitude of the passive energy consumer will give way to a proactive attitude of a participant in the process of its generation, and, above all, of its distribution management. A sense of responsibility for the fate of the environment will finally find its true dimension. Mass education will be needed in this area and training of personnel in new professions, such as specialist in the field of renewable energy and infrastructure services integrator.

The landscape of our country and of other countries, not only in Europe and America, will change beyond recognition. There will be windmill forests and solar panels seen everywhere, energy crops will mature in fields, and power transmission lines will more subtly blend into the environment. Our surroundings will be cleaner and less contaminated by carbon dioxide, so that we, and animals, will feel better on our Mother Earth. Maybe it's just a dream, but it is dreams that drove mankind to go beyond the reaches of its abilities. It is owing to the dreams of flying that we can now travel around the world in modern aircraft, these were dreams that have

²⁸ <http://www.klimatdla ziemi.pl/index.php?lng=pl&id=64>.

²⁹ *Ibidem*.

³⁰ <http://www.klimatdla ziemi.pl/index.php?id=185&lng=pl>.

³¹ <http://www.klimatdla ziemi.pl/index.php?lng=pl&id=64>.

enabled the development of space exploration and flights to the moon, and in the near future will allow a man to stand on Mars. And at the end of the day, the great visions of people like Steve Jobs have revolutionized electronics and computer science. So, therefore, dreaming pays off – perhaps the world in 2050 will be nothing like today – it will simply be better and more beautiful.

REFERENCES

1. Cieśla A., Hanzelka Z., Inteligentne systemy elektroenergetyczne, source: <http://www.smartgrid.agh.edu.pl/index.php/84-smgrid-rozne/104-inteligentne-systemy-elektroenergetyczne-ang-smart-grid>.
2. Kardasz A., Odnawialne źródła energii jako element bezpieczeństwa energetycznego, publication No 7708 for school year 2009/2010, source: <http://www publikacje.edu.pl/publikacje.php?nr=7708>.
3. Kop J., Kucharska M., Szkurlat E., Geografia, part 2, Zakres podstawowy, Warsaw 2007.
4. Polityka energetyczna Polski do 2030 roku, attachment to resolution 202/2009 of the Council of Ministers of 10 November 2009, source: <http://www.mg.gov.pl/files/upload/8134/Polityka%20energetyczna%20ost.pdf>.
5. Popczyk J., Innowacyjna energetyka. Kontekst ekologiczno-energetyczny i ekonomiczno-cywilizacyjny, *Acta Energetica* 2009, Issue 1, source: <http://actaenergetica.org/pl/wp-content/uploads/2011/11/str.-7-22-J.Popczyk-INNOWACYJNA-ENERGE-TYKA.-Kontekst-ekologiczno-energetyczny1.pdf>.
6. Presentation of Polish Economic Chamber of Renewable Energy "Energetyka odnawialna. Czy Polska posiada odpowiednie zasoby i infrastrukturę?", source: http://change.kig.pl/energia_odnawialna.php#k2.
7. Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030 roku, attachment 2 to Polish energy policy until 2030, source: <http://www.mg.gov.pl/files/upload/8134/Prognoza%20zapotrzebowania%20na%20paliwa%20i%20energie-ost.pdf>.
8. Tytko R., Odnawialne źródła energii: wybrane zagadnienia. Podręcznik dla uczniów i słuchaczy kształcących się w zawodzie technik elektryk, Dimikor, 2009.
9. Resolution 202/2009 of the Council of Ministers of 10 November 2009.
10. <http://www.mg.gov.pl/NR/rdonlyres/5474D2C2-2306-42B0-B15A-7D3E4E61D1D8/58593/uchwala.pdf>.
11. <http://energiaodnawialna.republika.pl/>.
12. <http://energiealternatywne.blogspot.com/2011/09/jak-wielkie-samozliwosci-zastapienia.html>.
13. <http://fakty.interia.pl/raport/kataklizm-w-japonii/galerie/kataklizm-w-japonii/fukushima-zalana-przez-14-metrowa-fale/zdjecie/duze,1432027>.
14. http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:Deuteriumtritium_fusion.svg&filetimestamp=20091128202729.
15. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Prosument>.
16. <http://pl.wikipedia.org/wiki/Sozologia>.
17. http://pl.wikipedia.org/wiki/Telewizja_Polska.
18. <http://svtechtalk.com/cleantech/smart-grid>.
19. <http://telbit24.pl/public/images/editor/image/Obrazki%20rozne/inteligentny%20dom.png>.
20. <http://www.100percentrenewables.eu>.
21. <http://www.1lo.suwalki.pl/energ/doc/term.html>.
22. http://www.chip.pl/images/sprzet/WRELLightbulb1.jpg/image_preview.
23. http://www.chronmyklimat.pl/energetyka/polityka-energetyczna/9191-energetyczna_mapa_drogowa_2050__ku_dostatniej__niskoemisyjnej_europie.
24. <http://www.cire.pl/rynekenergii/podstawa.php?smid=207>.
25. http://www.edf.com/html/panorama/medias/images/durable/solid/reacteur_iter.jpg.
26. <http://www.energie-odnawialne.net/index.php/plany-energetyczne-polski.html>.
27. <http://www.indexmundi.com/g/g.aspx?v=81&c=xx&l=en>.
28. <http://www.klimatdlaziem.pl/index.php?id=185&lng=pl>.
29. <http://www.stat.gov.pl>.
30. <http://www.tvn24.pl/0,1545231,wiadomosc.html>.
31. http://www.ure.gov.pl/portal/pl/424/3322/Perspektywy_rozwoju_inteligentnych_sieci_energetycznych_tehnologiczny_przelom_.html.
32. <http://ziemianarozdrozu.pl/artikul/1987/niemiecka-produkcja-pradu-z-paneli-slonecznych-wzrosla-w-2011-roku-o-60-procent>.

Publication of post-contest

This article was awarded first prize in the "Electrical energy in the future. A vision of 2050" contest, organised by ENERGA SA.

Sławomir Królikowski

Zespół Szkół Elektrycznych we Włocławku

e-mail: slawek.krolikowski@o2.pl

A IV grade student at the Electrical High School in Włocławek. Finalist of the Professional Career Planning and Management Knowledge National Contest (2011) and participant of numerous professional and thematic competitions.

Błażej Walczak

Politechnika Gdańska

e-mail: blazej19992@o2.pl

A graduate of the Electrical High School in Włocławek (2012), now a student at Gdańsk University of Technology. Participant and winner of national knowledge contests, and of MiniSumo robot competitions.

Adrian Wójcik

Politechnika Gdańska

e-mail: adriano.16.92@o2.pl

A graduate of the Electrical High School in Włocławek (2012), now a student at Gdańsk University of Technology. Finalist and participant of national knowledge and professional contests, scholar.

Andrzej Aftański

Zespół Szkół Elektrycznych we Włocławku

e-mail: aaftanski@o2.pl

A certified teacher of theoretical vocational subjects at the Electrical High School in Włocławek, MSc. in electronics and telecommunications, Doctor of Humanities in education, initiator and organizer of a municipal engineering competition for youth, tutor of finalists and winners of many national contests.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 85–93. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Energia elektryczna w przyszłości. Wizja roku 2050

Autorzy

Sławomir Królikowski
Błażej Walczak
Adrian Wójcik
opiekun: Andrzej Aftański

Słowa kluczowe

energia elektryczna, elektroenergetyka, odnawialne źródła energii, przyszłość energetyki, sieci elektroenergetyczne, ochrona środowiska, systemy inteligentne, przesyłanie energii, energetyka termojądrowa, bezpieczeństwo energetyczne, postawy proekologiczne, kryzys energetyczny

Streszczenie

Uczniowie Technikum nr 4 w Zespole Szkół Elektrycznych we Włocławku przedstawiają scenariusze rozwoju elektroenergetyki do 2050 roku. Wiele aktualnych tendencji w rozwoju techniki skłoniło autorów do nadania wybranym wizjom przyszłości cech prawdopodobieństwa. Rosnące zapotrzebowanie na energię, przy jednoczesnym kurczeniu się zasobów paliw kopalnych i tradycyjnych metod ich przetwarzania, spowoduje rozpowszechnienie wykorzystania tzw. źródeł ekologicznych energii, takich jak wiatr lub biomasa. Przetwarzanie energii będzie się odbywało powszechnie w przydomowych stacjach energetycznych wyposażonych w możliwość gromadzenia energii i zintegrowanych z siecią energetyczną za pomocą inteligentnych sterowników służących do dwukierunkowego transferu energii. Zmieni się rola sieci elektroenergetycznej, a dotychczasowi odbiorcy energii będą się stawali jej prosumentami. W odczuciu autorów alternatywą dla takiej wizji rozwoju elektroenergetyki może być jedynie energetyka termojądrowa, która wymaga jednak nieprawdopodobnie wysokich nakładów i poziomu rozwoju technologicznego. Uruchomienie elektrowni termojądrowych uwolniłoby jednak ludzkość od obaw o przyszłość zdominowaną kryzysem energetycznym.

Trudno nie zgodzić się ze stwierdzeniem, że energia – w różnych postaciach – jest jednym z najważniejszych czynników życia na Ziemi. Potrzebujemy jej wszyscy. Rośliny korzystają z energii słonecznej, aby rosnąć i owocować. Zwierzęta potrzebują pożywienia, aby żyć, budować gniazda i legowiska, poszukiwać nowych pastwisk i terenów łownych. Ludzie potrzebują energii do gotowania i ogrzewania. Każdy z nas mieszka w domu oświetlanym i wyposażonym w urządzenia, które do działania wymagają energii elektrycznej¹. Można byłoby więc zapytać – czy znalazłby się dziś na świecie człowiek, który wyobrażałby sobie życie bez energii elektrycznej? Bez komputera, telewizora, telefonu, pralki, radia, lodówki? Zapewne znaleźliby się tacy ludzie, a na poparcie swej tezy wskazywałby ludność z biednych rejonów Afryki albo fanatyków ekologii lub sozologii². Jednak większość z nas trudno byłoby zrezygnować z przedmiotów zasilanych energią elektryczną.

Wszyscy potrzebujemy bezpiecznej energii
Współczesny świat jest bardzo uzależniony od dostaw energii elektrycznej – dotyczy to każdej gałęzi przemysłu, a także każdego gospodarstwa domowego. Brak prądu to nie tylko brak światła, to także zatrzymanie pomp wody, przerwa w pracy instalacji centralnego ogrzewania, niedziałające systemy dozoru i sterowania, brak łączności. Wraz z rozwojem cywilizacyjnym człowiek

coraz bardziej uzależnia się od własnych wynalazków. Duża awaria systemu elektroenergetycznego może być bardzo groźna w skutkach – świadczą o tym na przykład wydarzenia w Ameryce Północnej z początku obecnego stulecia.

W sierpniu 2003 roku miała miejsce największa awaria sieci elektroenergetycznej w historii Ameryki. Przerwa w dostawie energii elektrycznej objęła kilka stanów wschodniego wybrzeża USA, a także kanadyjską prowincję Quebec. Brak energii elektrycznej dotknął ok. 50 mln ludzi. W wyniku awarii wyłączonych zostało ponad 100 elektrowni, w tym również nuklearne. Na szczęście żadna z nich nie uległa uszkodzeniu³, ale zdarzenia takie jak *blackout*, bo tak zwykle się nazywało tego typu awarie, zawsze grożą destabilizacją życia społecznego i są doskonałą okazją do pojawienia się przestępstw na masową skalę, rabunków, napadów i innych aktów przemocy. W naszym kraju ostatnia poważna awaria miała miejsce w Szczecinie w 2008 roku i na szczęście nie doprowadziła do poważnych konsekwencji. Jednak zapewnienie niezawodności w działaniu systemów elektroenergetycznych, tworzenie takich rozwiązań, które zapewnią pełne podtrzymanie dostaw energii w stanach awaryjnych powinno być priorytetem dla osób odpowiedzialnych za sektor energetyczny w każdym kraju.

Trudna zabawa we wróża

W jednym z artykułów w *Acta Energetica* prof. Jan Popczyk przedstawił prawdopodobną wizję polskiego systemu energetycznego na przełomie epok społeczeństwa wiedzy i wodorowego⁴. W nakreślonym przez autora obrazie dominuje znaczący udział autonomicznych systemów wytwarzania energii elektrycznej, rozwój farm wiatrowych, widoczna jest też elastyczność systemu energetycznego, konkurencyjność i rozproszona oferta dostaw energii. Jak przekonuje autor, sieci energetyczne pozornie nie ulegną znaczącym zmianom, podobnie liczba wielkoformatowych źródeł energii w postaci bloków energetycznych. Na masową skalę wprowadzone będą jednak alternatywne źródła energii, prowadząc do rozwoju rolnictwa energetycznego oraz przydomowych, autonomicznych minielektrowni. Wizja profesora dotyczy roku 2030, my jednak chcemy skupić się na możliwym obrazie energii elektrycznej w roku 2050.

Rok 2050 nadejdzie za 38 lat. Wystarczy spojrzeć wstecz również 38 lat, aby przekonać się, jak trudno wyobrazić sobie możliwe zmiany wokół nas. W 1974 roku w Polsce telewizja publiczna nadawała tylko na dwóch kanałach, które nasi rodzice oglądali przeważnie w wersji czarno-białej⁵. O komputerach słyszeli tylko naukowcy; ba, nawet produkcja małego Fiata, którego trudno dzisiaj dostrzec na ulicach, dopiero wówczas się rozpoczęła. Bill Gates

¹ Na podstawie pracy Agnieszki Kardasz pt. „Odnawialne źródła energii jako element bezpieczeństwa energetycznego”, publikacja nr 7708 na rok szkolny 2009/2010, źródło: <http://www publikacje.edu.pl/publikacje.php?nr=7708>.

² Sozologia, ujmując problem w dużym uogólnieniu, to nauka o czynnej ochronie środowiska naturalnego, zajmująca się problemami ochrony środowiska, przyczynami i następstwami niekorzystnych zmian wynikających z rozwoju cywilizacji i zachodzących w strukturze i funkcjonowaniu układów przyrodniczych, źródło: <http://pl.wikipedia.org/wiki/Sozologia>.

³ <http://www.tvn24.pl/0,1545231,wiadomosc.html>.

⁴ J. Popczyk, Innowacyjna energetyka. Kontekst ekologiczno-energetyczny i ekonomiczno-cywilizacyjny, *Acta Energetica* 2009, nr 1, źródło: <http://actaenergetica.org/pl/wp-content/uploads/2011/11/str.-7-22-J.Popczyk-INNOWACYJNA-ENERGETYKA.-Kontekst-ekologiczno-energetyczny1.pdf>.

⁵ http://pl.wikipedia.org/wiki/Telewizja_Polska.

powiedział w 1981 roku, mając na myśli potrzeby komputerów osobistych, że „640 kB wystarczy każdemu”. Dzisiaj pojemności darmowych skrzynek pocztowych przekraczają 20 GB, a rozmiary dysków twardych komputerów domowych wyraża się w TB. Jak więc będzie wyglądał świat energetyki w 2050 roku? Próbując odpowiedzieć na to pytanie, warto rozpatrzyć następujące zagadnienia:

1. zapotrzebowanie na energię elektryczną
2. pozyskiwanie energii elektrycznej na masową skalę z odnawialnych źródeł energii
3. inteligentny system elektroenergetyczny oparty na sieci autonomicznych podsystemów
4. nowoczesne sieci przesyłowe
5. rozwój energetyki termojądrowej.

Potrzebujemy coraz więcej energii elektrycznej

Rozwój cywilizacyjny i wzrost potrzeb konsumenckich powodują wzrost zapotrzebowania na energię. Skalę tego zjawiska mogą przybliżyć dane opublikowane przez Główny Urząd Statystyczny. W 2007 roku w Polsce zużycie energii elektrycznej wyniosło 136 261 GWh, a w 2010 – już 141 637 GWh.

Region		Zużycie ogółem
Województwo	dolnośląskie	12 370
	kujawsko-pomorskie	7 350
	lubelskie	5 190
	lubuskie	3 255
	łódzkie	11 096
	małopolskie	12 129
	mazowieckie	21 258
	opolskie	5 005
	podkarpackie	4 967
	podlaskie	2 675
	pomorskie	7 104
	śląskie	24 712
	świętokrzyskie	4 711
warmińsko-mazurskie	3 430	
wielkopolskie	11 024	
zachodniopomorskie	5 361	
Kraj		141 637 GWh

Tab. 1. Zużycie energii elektrycznej [GWh] w Polsce w 2010 roku w poszczególnych województwach Polski
Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS, <http://www.stat.gov.pl>

Jak przekonuje zdroworozsądkowa logika, zapotrzebowanie na energię elektryczną będzie w przyszłości rosło. Wynika to nie tylko ze wzrostu liczby dóbr konsumpcyjnych i potrzeb przemysłu. Zmienia się jakość życia, ale także wykorzystanie znanych już i masowo stosowanych dóbr, takich jak np. samochody. Prawdopodobnie coraz częściej będziemy korzystać z aut o napędzie elektrycznym, którymi już dzisiaj można swobodnie poruszać się po centrach miast, ładując akumulatory samochodowe w nocy we własnym garażu.

Z drugiej strony nasilać się będzie tendencja do produkcji dóbr energooszczędnych, a procesy demograficzne wskazują na stagnację w rozwoju społeczeństw wysoko rozwiniętych. Być może więc indywidualne zapotrzebowanie gospodarstw domowych, dzięki wprowadzeniu takich rozwiązań jak inteligentne domy, nie będzie tak wysokie. Mimo wszystko ogólne potrzeby energetyczne człowieka pozostaną duże, a oczekiwaniom rynku w tym zakresie mogą nie podołać konwencjonalne źródła energii elektrycznej, które według różnych szacunków wyczerpią się w drugiej połowie XXI wieku⁶.

	2006	2010	2015	2020	2025	2030
Energia finalna	111,0	104,6	115,2	130,8	152,7	171,6
Sektor energii	11,6	11,3	11,6	12,1	12,7	13,3
Straty przesyłu i dystrybucji	14,1	12,9	13,2	13,2	15,0	16,8
Zapotrzebowanie netto	136,6	128,7	140,0	156,1	180,4	201,7
Potrzeby własne	14,1	12,3	12,8	13,2	14,2	15,7
Zapotrzebowanie brutto	150,7	141,0	152,8	169,3	194,6	217,4

Tab. 2. Krajowe zapotrzebowanie na energię elektryczną [TWh]

Źródło: „Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030 roku”, załącznik 2 do „Polityki energetycznej Polski do 2030 roku”,
<http://www.mg.gov.pl/files/upload/8134/Prognoza%20zapotrzebowania%20na%20paliwa%20i%20energie-ost.pdf>

Dlatego prowadzone są międzynarodowe rozmowy na temat racjonalnego wykorzystania zasobów naturalnych Ziemi i wdrożenia projektów wykorzystujących alternatywne źródła energii. Coraz częściej słychać też o zagrożeniach dla środowiska, dziurze ozonowej, efekcie cieplarnianym oraz o próbach zapobiegania tym niekorzystnym zjawiskom poprzez ochronę środowiska naturalnego człowieka.

Woda i wiatr, a może biomasa?

Analizując pozyskiwanie energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych, trzeba rozpatrzyć takie aspekty, jak: uwarunkowania społeczne i polityczne, koszty produkcji energii z niestandardowych źródeł, położenie geograficzne, a także bezpieczeństwo energetyczne i kwestię magazynowania energii.

Widoczne w ostatnich latach zainteresowanie odnawialnymi źródłami energii związane jest nie tylko ze wzrostem zapotrzebowania na energię, ale również z nadmiernym zanieczyszczeniem środowiska⁷. Obecnie udział odnawialnych źródeł energii w bilansie paliwowo-energetycznym świata wynosi ok. 18%. To jednak bardzo mało. Wspieranie rozwoju odnawialnych źródeł energii stało się więc ważnym celem polityki Unii Europejskiej. Pierwszym poważnym dokumentem stanowiącym podstawę działań na poziomie unijnym była „Strategia rozwoju odnawialnych źródeł energii w krajach Unii Europejskiej z 1997 roku”⁸. Opracowano dotąd wiele dokumentów ściśle związanych z problematyką odnawialnych źródeł energii i ze związanymi z nimi kwestiami ekologicznymi.

Na 2020 rok w ramach zobowiązań ekologicznych Unia Europejska wyznaczyła cele ilościowe, tzw. 3x20%, tj.: zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o 20% w stosunku do roku 1990, zmniejszenie zużycia energii o 20% w porównaniu z prognozami dla roku 2020 oraz zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii do 20% całkowitego zużycia energii w Unii Europejskiej. W grudniu 2008 roku został przyjęty przez Unię Europejską pakiet klimatyczno-energetyczny, w którym zawarte są konkretne narzędzia prawne służące do realizacji tych celów⁹.

W naszym kraju, ponieważ jesteśmy zobowiązani do przestrzegania regulacji wspólnoty, również podejmowane są inicjatywy legislacyjne i koncepcje zgodne z wymienionym pakietem. I tak w listopadzie 2009 roku Rada Ministrów uchwaliła „Politykę energetyczną Polski do 2030 roku”¹⁰. Zwraca się w niej uwagę m.in. na podjęcie prac nad rozwojem energetyki jądrowej, na zwiększenie udziału odnawialnych źródeł energii w bilansie energetycznym naszego kraju oraz na efektywność energetyczną.

Najciekawszym dokumentem podejmującym kwestię konieczności zdecydowanego zwrócenia się w stronę odnawialnych źródeł energii jest raport Europejskiej Fundacji Klimatycznej, tzw. Energetyczna mapa drogowa „Roadmap 2050”, będący deklaracją na rzecz realizacji wizji energetyki w Europie opartej w 100% na odnawialnych źródłach energii do 2050 roku¹¹. Dokument ten popierany jest obecnie przez dziesiątki organizacji i instytucji, jednak organy decyzyjne Unii Europejskiej nie nadały mu jeszcze rangi obowiązującego. W deklaracji mowa jest głównie o tym, że z uwagi na zagrożenia klimatyczne, rosnące ceny surowców

⁶ J. Kop, M. Kucharska, E. Szkurlat, Geografia, część 2, Zakres podstawowy, Warszawa 2007.

⁷ <http://energiaodnawialna.republika.pl/>.

⁸ R. Tytko, Odnawialne źródła energii: wybrane zagadnienia. Podręcznik dla uczniów i słuchaczy kształcących się w zawodzie technik elektryk, Wydawnictwo Dimikor, 2009.

⁹ „Polityka energetyczna Polski do 2030 roku”, załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów z dnia 10 listopada 2009 roku, źródło: <http://www.mg.gov.pl/files/upload/8134/Polityka%20energetyczna%20ost.pdf>.

¹⁰ Uchwała nr 202/2009 Rady Ministrów z dnia 10 listopada 2009 roku, źródło: <http://www.mg.gov.pl/NR/rdonlyres/5474D2C2-2306-42B0-B15A-7D3E4E61D1D8/58593/uchwala.pdf>.

¹¹ <http://www.100percentrenewables.eu>.

oraz uzależnienie polityczne związane z ich importem, Europa pilnie potrzebuje wdrożenia kompleksowego systemu energetycznego całkowicie opartego na odnawialnych źródłach energii. Jak wskazują autorzy deklaracji, nie wykracza to poza obecne możliwości Europejczyków, jednak wymaga mądrych decyzji, efektywnego wykorzystania obecnego potencjału oraz przemian w świadomości producentów i konsumentów energii¹². Dostępność energii odnawialnej jest przecież teoretycznie znacznie przekraczająca nasze zapotrzebowanie. Na przykład Słońce codziennie dostarcza Ziemi tyle energii, ile potrzebą jej mieszkańcom przez osiem lat. Wiele dowodów potwierdza, że jesteśmy w stanie opracować do 2050 roku spójny system pozyskiwania energii całkowicie naturalnego. Konieczne jest tylko poważne zaangażowanie liderów europejskich we wdrażanie tej wizji, a przede wszystkim przestrzeganie dotychczas wydanych dyrektyw unijnych dotyczących gospodarki energetycznej.

Dyrektywy te silnie wspierają idee ochrony środowiska, np. nakładając wysokie kary za skażenie środowiska naturalnego. Dlatego też nasz kraj będzie płacił coraz bardziej dotkliwe kary z powodu zanieczyszczenia środowiska funkcjonowaniem starych, niewydajnych i nieekologicznych elektrowni, których utrzymywanie stanie się w związku z tym nieopłacalne¹³. Z drugiej strony istniejące dziś elektrownie ekologiczne, funkcjonujące w ogólnym systemie energetycznym (wodne, wiatrowe lub solarne) to kropla w morzu potrzeb. Ciekawym rozwiązaniem wydaje się więc rozproszenie systemu energetycznego i tworzenie indywidualnych minielektrowni opartych na odnawialnych źródłach energii, dzięki którym można byłoby produkować tanią energię na potrzeby pojedynczych gospodarstw domowych¹⁴.

Do 2050 roku prawdopodobnie nastąpi w związku z tym całkowita modernizacja wszystkich elementów polskiego systemu energetycznego. Energia elektryczna wytwarzana będzie dzięki źródłom odnawialnym, a to oznacza konkretne korzyści: większy stopień niezależności od zewnętrznych dostawców energii, podniesienie lokalnego bezpieczeństwa energetycznego (ze względu na lokalizację jednostek wytwórczych blisko odbiorcy) i zmniejszenie strat przesyłowych. Rozwój energetyki odnawialnej przyczyni się również do rozwoju gospodarczego słabiej rozwiniętych przemysłowo regionów, ale bogatych w zasoby energii odnawialnej¹⁵. Uwarunkowania klimatyczne Polski decydują, że możemy liczyć na wykorzystywanie głównie następujących źródeł zielonej energii: wody, wiatru, słońca, biomasy i geotermii.

W tym miejscu zasadne wydaje się krótkie scharakteryzowanie tych dominujących w przyszłości źródeł energii.

Energia wody – pozwala na wytwarzanie energii elektrycznej dzięki różnicy poziomu wód. Problemem jest kosztowna budowa elektrowni. Takie przedsięwzięcie wiąże się też ze zmianą środowiska wodnego, zakłóceniem naturalnego biegu rzeki i życia zwierząt wodnych. Mimo to w przyszłości potencjał polskich rzek i jezior będzie prawdopodobnie wykorzystany lepiej niż obecnie¹⁶.

Energia wiatru – być może za kilkanaście lat wiatraki staną się tak samo ważnym elementem gospodarstw domowych jak dzisiaj przydomowe oczyszczalnie ścieków. Ograniczeniem elektrowni wiatrowych jest oczywiście bezwietrzna pogoda. Problem ten jednak będzie rozwiązywany za pomocą akumulatorów, które pozwolą na magazynowanie nadmiaru energii elektrycznej wytworzonej w korzystnych warunkach pogodowych.

Energia słoneczna – w przyszłości elektrownie słoneczne, podobnie jak wiatrowe, będą częścią gospodarstw domowych. Co prawda, produkcja ogniw fotowoltaicznych jest kosztowna, ale ich eksploatacja jest tańsza niż zwykłych elektrowni. Wytwarzanie elektryczności oczywiście zależne jest od pory dnia i pogody, ale w niesprzyjających warunkach stosowane będą rozwiązania analogiczne jak na farmach wiatrowych¹⁷. Co więcej, farmy słoneczne i wiatrowe będą występowały razem i wzajemnie się uzupełniały.

Energia biomasy – to energia powstająca dzięki organizmom danego środowiska, a jej źródłem może być słoma, makulatura, odpady biologiczne, oleje roślinne, specjalnie hodowane rośliny energetyczne albo biogaz z wysypisk komunalnych lub z fermentacji. Biomasa dostępna jest wszędzie, dlatego miasta będą wykorzystywać biogaz z wysypisk komunalnych i oczyszczalni ścieków, a na wsiach rolnicy będą cieszyć się tanią energią ze spalania odpadowej słomy lub trocin¹⁸.

Energia geotermiczna – jest naturalnym i niewyczerpalnym źródłem ciepła pochodzącego z wnętrza Ziemi. W niektórych regionach geograficznych świata już teraz gejzery wykorzystywane są do ogrzewania budynków, np. w Islandii i Nowej Zelandii. W Polsce trudniej jest korzystać z energii geotermicznej, ale dzięki szybkiemu rozwojowi technologicznemu w połowie XXI wieku elektrownie geotermiczne będą być może na porządku dziennym. Dzisiaj ich budowa jest bardzo kosztowna, ale za kilkadziesiąt lat inwestycje takie będą jednak prawdopodobnie opłacalne.

Wszystkie wymienione źródła będą wykorzystywane w coraz większym stopniu i w równym zakresie będą rozwijane w naszym kraju i innych krajach

rozwiniętych, ponieważ tylko dywersyfikacja źródeł energii i rozwój małych elektrowni przydomowych wydaje się być przyszłością energetyki ekologicznej.

Nowoczesne systemy sieciowe

Cele ochrony środowiska nie mogą być osiągnięte bez zmian sieci elektroenergetycznych. Jeśli na szeroką skalę mają być prowadzone inwestycje w zasoby odnawialne lub np. w pojazdy elektryczne, to wymaga to infrastruktury, która zdolna będzie aktywnie integrować działania wytwórców i konsumentów. Pojawia się tu jednak problem polegający na tym, że tradycyjne struktury sieci konstruowane były z myślą o jednokierunkowym przepływie energii. Tymczasem obecność wielu małych źródeł rozproszonych spowoduje odwrócenie kierunku przepływu energii. W przypadku istniejących, niezmodyfikowanych dostawców sieci na pewno prowadzić to będzie do poważnych problemów technicznych w zakresie bezpieczeństwa i niezawodności pracy systemu¹⁹.

Dlatego priorytetem jest już dzisiaj wprowadzenie nowej jakości do sieci elektroenergetycznych poprzez stworzenie inteligentnych systemów dostawy energii określanych potocznie jako Smart Grid. Jest to odpowiedź na zagrożenia z powodu deficytu zasobów energii, ale także zbyt niskiej efektywności jej wytwarzania, przesyłu, rozdziału i użytkowania. Termin Smart Grid oznacza dostarczanie odbiorcom usług energetycznych z wykorzystaniem środków technologii informatycznych, dzięki czemu obniża się koszty i zwiększa efektywność oraz integrację rozproszonych źródeł energii, także odnawialnej²⁰.

Czynniki sprzyjające rozwojowi koncepcji inteligentnych systemów elektroenergetycznych to²¹:

1. zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego, które ma być możliwe dzięki lepszym, mądrzejszym i szybszym układom sterowania i diagnostyki
2. minimalizacja kosztów usług elektroenergetycznych przez ciągłą integrację przyjaznych środowisku lokalnych zasobów energii
3. zapewnienie zróżnicowania i zindywidualizowania poziomów jakości dostarczanej energii, zgodnie z potrzebami klienta, m.in. dzięki stosowaniu zaawansowanych układów energoelektronicznych
4. rozszerzenie funkcjonalności usług świadczonych przez dostawcę na rzecz odbiorcy, a więc inteligentnego zarządzania energią oraz monitorowania warunków jej dostawy. Jest to konieczne do zapewnienia odbiorcom możliwości kontrolowanego generowania własnej energii, a to z kolei wiąże się z integracją autonomicznych systemów produkcji energii z siecią elektroenergetyczną.

¹² http://www.chronmyklimat.pl/energetyka/polityka-energetyczna/9191-energetyczna_mapa_drogowa_2050_ku_dostatniej_niskoemisyjnej_europie.

¹³ Takie elektrownie znajdują się głównie na południu Polski w Górnośląskim Okręgu Przemysłowym.

¹⁴ <http://energiealternatywne.blogspot.com/2011/09/jak-wielkie-sa-mozliwosci-zastapienia.html>.

¹⁵ <http://www.energie-odnawialne.net/index.php/plany-energetyczne-polski.html>.

¹⁶ A. Kardasz, Odnawialne źródła energii jako element bezpieczeństwa energetycznego, publikacja nr 7708 na rok szkolny 2009/2010, źródło: <http://www.publikacje.edu.pl/publikacje.php?nr=7708>.

¹⁷ Ibidem.

¹⁸ Ibidem.

¹⁹ A. Cieśla, Z. Hanzelka, Inteligentne systemy elektroenergetyczne, źródło: <http://www.smartgrid.agh.edu.pl/index.php/84-smgrid-rozne/104-inteligentne-systemy-elektroenergetyczne-ang-smart-grid>.

²⁰ Ibidem.

²¹ Ibidem.

Jak twierdzą specjaliści, wprowadzanie inteligentnych sieci energetycznych jest nieuniknione. Unia Europejska zobowiązała państwa członkowskie, aby do 2020 roku wyposażyły 80% odbiorców w inteligentne liczniki zużycia energii, a więc tworzyły zręby sieci inteligentnych²². Trzeba podkreślić, że wraz z rozwojem koncepcji tych sieci na popularności zyskuje koncepcja mikro-sieci, którą może być pojedyncze gospodarstwo domowe, wydzielony obszar lub grupa odbiorców o zbilansowanej konsumpcji i lokalnej generacji energii. Takie mikro-sieci tworzyłyby podbudowę do funkcjonowania nowoczesnego systemu działającego w skali makro.

Inteligentne domy

Dzięki możliwości wytwarzania energii elektrycznej na małą skalę za pomocą paneli fotowoltaicznych, małych turbin wiatrowych lub małych elektrowni wodnych, w pełni integrowalnych z siecią elektroenergetyczną i łączonych z nią na zasadzie *plug-and-play*,



Rys. 1. Artystyczna wizja Smart Grid

Źródło: <http://svtechtalk.com/cleantech/smart-grid/>

zmieni się zupełnie pojęcie inteligentnego domu. Dotychczas używając tego terminu, mieliśmy na myśli przyjazny użytkownikowi dom, w którym pewne czynności, takie jak opuszczanie rolet wraz z zapadnięciem zmierzchu czy zapalenie światła na posesji, odbywają się automatycznie, zwalniając domownika od myślenia o tych czynnościach. Obecnie pojęcie inteligentnego domu poszerza się o aspekt autonomii energetycznej – taki dom nie tylko ma własne źródła zasilania, ale też zdolny jest do przekazywania nadmiaru wytwarzanej energii, a sieć elektroenergetyczną traktuje jako źródło rezerwowe. Dotychczasowy tradycyjny, bierny konsument energii elektrycznej zaczyna więc pełnić rolę prosumenta, czyli aktywnego konsumenta, zdolnego nie tylko do konsumowania, ale także do wytwarzania energii elektrycznej²³.

Aktywny współtwórca energii będzie się posługiwał nowoczesnymi technologiami, takimi jak bezprzewodowe ładowanie akumulatorów zasilających samochód i inne

urządzenia domowe, ale rozwój techniki nie będzie wymagał od niego specjalistycznej wiedzy. Pojawi się za to rynek specjalistów obsługujących rozproszony system energetyczny – zapotrzebowanie na kadry z zakresu elektryczności będzie więc z pewnością rosło.



Rys. 2. Koncepcja inteligentnego domu, który w przyszłości nie będzie się ograniczał do sterowania urządzeniami domowymi
źródło: <http://telbit24.pl/public/images/editor/image/Obrazki%20rozne/inteligentny%20dom.png>

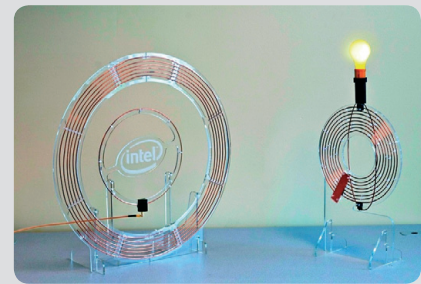
W kontekście minielektroni i autonomicznych systemów prosumenckich pojawia się jednak istotny problem: jak rozwiązać kwestię magazynowania energii elektrycznej? Energię elektryczną łatwo jest pozyskiwać, przetwarzać, użytkować, ale trudno magazynować. W skali dużych systemów elektroenergetycznych rozwiązywano tę niedogodność, budując np. elektrownie szczytowo-pompowe. Jednostkowo takie inicjatywy są nieopłacalne ekonomicznie, ale stanowią ważny czynnik zapewnienia stabilności systemu elektroenergetycznego i swego rodzaju rezerwuaru energii w sytuacjach nagłego zwiększonego zapotrzebowania na energię elektryczną, np. podczas masowych imprez, takich jak mecze w ramach Euro 2012. Być może w przyszłości problem magazynowania energii elektrycznej rozwiążą superkondensatory. Być może budowane będą całe farmy superkondensatorów lub superakumulatorów?

Sieci przesyłowe

Zarządzanie energią elektryczną to nie tylko jej wytwarzanie i przechowywanie, ale przede wszystkim dystrybucja, która w przyszłości musi być prowadzona przy minimalnych stratach. Pozwoli na to z pewnością masowo budowane linie wysokiego napięcia stałego HVDC²⁴. Będzie to jednak wymagało zastosowania w większej niż dotychczas skali urządzeń energoelektronicznych. Rozwój energoelektroniki pozwoli jednak lepiej gospodarować energią i odpowiadać na takie potrzeby, jak:

1. elastyczność systemu energetycznego pod kątem potrzeb konsumentów energii
2. stabilność systemu energetycznego związana z bilansowaniem się zasobów energii z różnych źródeł oraz w różnych okresach czasowych, takich jak pora roku lub pora dnia
3. niezawodność i sprawność źródeł energii.

Warto zauważyć, że współcześnie prowadzi się też badania nad przesyłaniem energii w formie bezprzewodowej za pomocą pola elektromagnetycznego i zjawiska rezonansu. Możliwe jest przekazywanie energii do takich urządzeń, jak laptop czy telewizor, a w przyszłości być może będzie możliwe na większe odległości i w większej skali. Problem, który mają do rozwiązania naukowcy, to wpływ pola magnetycznego o tak dużym natężeniu na organizmy żywe, w tym również oczywiście na organizm człowieka²⁵.



Rys. 3. Żarówka zasilana bezprzewodowo w laboratorium firmy Intel

Źródło: http://www.chip.pl/images/sprzet/WRELLightbulb1.jpg/image_preview

Energetyka termojądrowa

Przedstawiona wizja elektroenergetyki wydaje się bardzo skomplikowana technicznie, wymaga bowiem funkcjonowania wielu różnych typów elektrowni, skomplikowanego zarządzania i dystrybucji energii. Niewykluczone, że przyszłość elektroenergetyki będzie znacznie prostsza – być może opierać się ona będzie na znanej nauce, ale wymagającej wielkich nakładów finansowych, energetyce termojądrowej. Podstawowym warunkiem realizacji reakcji syntezy termojądrowej jest wytworzenie odpowiednio wysokiej temperatury. Paliwem do reakcji termojądrowych jest np. deuter, ciężki izotop wodoru. Najpoważniejszym problemem w energetyce termojądrowej jest opanowanie reakcji termojądrowych przebiegających w sposób kontrolowany przez człowieka.

Rozwiązanie tej kwestii napotyka duże trudności²⁶. Przeciwnicy inwestowania w rozwój energetyki termojądrowej argumentują brak celowości zajmowania się tą

²² http://www.ure.gov.pl/portal/pl/424/3322/Perspektywy_rozwoju_inteligentnych_sieci_energetycznych_tehnologiczny_przelom_.html

²³ Termin prosument został wprowadzony w 1980 roku przez amerykańskiego pisarza społecznego i futurystę Alvina Tofflera. Prosument to osoba, która ma szeroką wiedzę o produktach i usługach, i chce mieć udział w aktywnym tworzeniu produktów i usług. Prosument to aktywny konsument, który jest partnerem producenta, a komunikacja z nim przypomina nieustanny dialog, źródło: <http://pl.wikipedia.org/wiki/Prosument>.

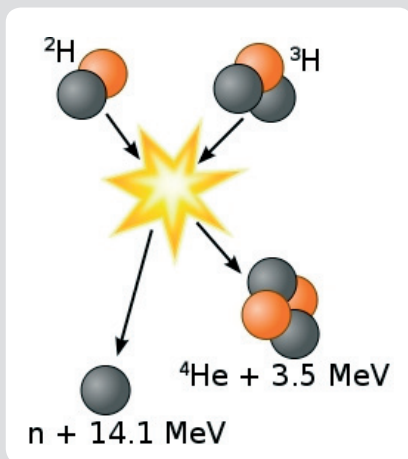
²⁴ Dziś w Polsce jest tylko jedna taka linia łącząca Ustkę z Karlshamn w Szwecji, źródło: http://pl.wikipedia.org/wiki/Linia_wysokiego_napi%C4%99cia_pr%C4%85du_sta%C5%82ego.

²⁵ http://technologia.gazeta.pl/technologia/1,94881,7496870,Bezprzewodowe_przesylanie_pradu.html.

dziedziną energetyki ogromnymi kosztami ekonomicznymi. Jednak dane dotyczące produkcji energii z różnych źródeł są bardzo wymowne:

- 1 kg węgla daje do 7 kWh energii
- 1 kg uranu daje od 70 000 kWh do 12 000 000 kWh energii
- 1 kg deuteru w reakcjach syntezy mógłby wytworzyć 24 000 000 kWh (sic!).

Ocenia się, że zasoby węgla są wystarczające na ok. 100 lat. Podobna sytuacja jest ze złożami ropy naftowej. Zasoby uranu mogą wystarczyć na kilkadziesiąt lat. W porównaniu z tymi danymi zapasy deuteru są właściwie niewyczerpalne. Wynoszą one około 10^{17} kg, co odpowiada zapasom energetycznym rzędu 10^{24} kWh. Jeśli przyjmujemy, że zużycie energii utrzyma się na poziomie dzisiejszym, to prosty rachunek wskazuje, że deuteru powinno starczyć na ok. 20 miliardów lat (sic!)²⁷.



Rys. 4. Pojedyncza reakcja fuzji deuteru i trytu, w której powstaje hel, neutron i wydzielana jest energia 17,6 MeV

Zródło: http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:Deuterium-tritium_fusion.svg&filetimestamp=20091128202729

Energetyka termojądrowa jest więc kuszącą technologią. W Unii Europejskiej do końca XX wieku zainwestowano w nią blisko 10 miliardów euro, a najnowszy eksperymentalny reaktor ITER będzie kosztował zbliżoną sumę²⁸. Istotnym plusem energetyki termojądrowej jest fakt, że koszt pozyskania energii nie będzie rósł wraz z instalowaną mocą²⁹. Może więc energetyka termojądrowa jest rozwiązaniem problemów ludzkości?

Przyszłość w ciemnych czy jasnych barwach?

To, jak będzie wyglądała przyszłość energii

elektrycznej, z pewnością będzie zależało od mądrości korzystających z niej ludzi. Już dzisiaj jesteśmy świadkami ścierających się opcji i poglądów, których zwolennicy starają się przekonać do swoich racji, głosząc poglądy uznające lub przeczące wpływowi działalności człowieka na oblicze Ziemi. Najbardziej znanym zagrożeniem jest globalne ocieplenie prowadzące do topnienia lodowców, powstawania ogromnych huraganów i innych niszczycielskich klęsk żywiołowych. Co prawda, nie dowiedziono, że głównym sprawcą tego procesu jest człowiek, ale nie zmienia to faktu, że obserwowane w przyrodzie zmiany stanowią dla rozwoju człowieka wielkie niebezpieczeństwo. Według Stephena Hawkinga, jednego z najwybitniejszych fizyków naszych czasów, „globalne ocieplenie jest obecnie (...) zagrożeniem (...) większym nawet od wszystkich arsenałów jądrowych razem wziętych”³⁰. Gdyby w przyszłości sprawdziła się pesymistyczna wizja energetyki, zakładająca bierność człowieka wobec wyzwań, jakie stawia natura, dożylibyśmy prawdopodobnie czasów, w których po wyczerpaniu się źródeł ropy naftowej masowo uruchamiane byłyby zakłady przetwarzające węgiel na benzynę. Pozostałe źródła energii byłyby wykorzystywane marginalnie. Na skutek olbrzymiej emisji dwutlenku węgla, w bardzo szybkim tempie zmieniałby się klimat, przynosząc coraz więcej klęsk żywiołowych, takich jak powodzie, tsunami lub katastrofalne susze, również w regionach nieodpowiedzialnych bezpośrednio za te zmiany.



Rys. 5. Fala tsunami w japońskiej prefekturze Fukushima w marcu 2011 roku

Zródło: <http://fakty.interia.pl/raport/kataklyzm-w-japonii/galerie/kataklyzm-w-japonii/fukushima-zalana-przez-14-metrowa-fale/zdjecie/duze,1432027>

W tej pesymistycznej wizji świat przeżywałby nie tylko katastrofy klimatyczne, być może na skalę kontynentów, ale także konflikty i wojny na tle dostępu do surowców energetycznych, a to oznaczałoby zniszczenia i miliony uchodźców³¹. Tak pesymistyczna wizja przyszłości oczywiście nie musi się spełnić, jednak trzeba mieć świadomość,

że dostępne i znane ludziom konwencjonalne źródła energii, takie jak węgiel i ropa naftowa, mogą niedługo się skończyć lub dostęp do nich może być w poważnym stopniu utrudniony, co znacznie podniesie ceny energii i będzie oznaczało zmianę postaw i świadomości społeczeństw wobec korzystania z energii, także elektrycznej. Trzeba więc pracować nad pozyskiwaniem energii z nowych źródeł, które być może dzisiaj nie stanowią cudownej alternatywy ze względu na koszty, ale są możliwe do realizacji.

Dzieci Matki-Ziemi

W optymistycznym scenariuszu przyszłości elektroenergetyki spełnią się z pewnością wszystkie omówione w tym tekście koncepcje. W 2050 roku wielu z nas będzie mieszkając w inteligentnych domach, które nie tylko pozwolą na komfort przebywania w nich, ale też umożliwią racjonalne gospodarowanie energią, która będzie mogła być wytwarzana w przydomowej elektrowni. Będziemy posługiwać się bezprzewodowo zasilanymi urządzeniami, nie martwiąc się o ich ładowanie. Nawet jeśli przemieszczać się będziemy na otwartych przestrzeniach, to wracając do domu, naładujemy nasze urządzenia w stacjach ładujących. System informatyczny zatroszczy się o taki sposób zarządzania energią, który będzie zgodny z naszymi potrzebami i trybem życia.

Zmieni się świadomość społeczna – postawę biernego odbiorcy energii zastąpi aktywna postawa uczestnika procesu jej wytwarzania i przede wszystkim zarządzania jej dystrybucją. Poczucie współodpowiedzialności za losy środowiska naturalnego będzie miało wreszcie swój prawdziwy wymiar. Potrzebna będzie masowa edukacja w tym zakresie oraz przygotowanie kadr w nowych zawodach, takich jak specjalista w dziedzinie energetyki odnawialnej i integrator usług infrastrukturalnych.

Krajobraz naszego kraju i innych państw, nie tylko Europy i Ameryki, zmieni się nie do poznania. Wszędzie będziemy widzieli lasy wiatraków i paneli słonecznych, na polach dojrzewać będą rośliny energetyczne, a linie przesyłowe energii elektrycznej będą subtelnie wtapiać się w środowisko. Nasze otoczenie będzie czystsze, mniej skażone dwutlenkiem węgla, dzięki czemu i my, i zwierzęta, będziemy czuli się na naszej Matce-Ziemi lepiej. Być może to tylko marzenie, ale to dzięki marzeniom człowiek wspiął się na wyżyny swych możliwości. To dzięki marzeniom o lataniu możemy dzisiaj podróżować po świecie nowoczesnymi samolotami, to właśnie marzenia umożliwiły rozwój astronautyki i loty na Księżyc, a już w niedalekiej przyszłości pozwolą człowiekowi stanąć na Marsie. To w końcu wielkie wizje takich ludzi jak Steve Jobs zrewolucjonizowały elektronikę i informatykę. Dlatego warto marzyć

²⁶ <http://www.ilo.suwalki.pl/energ/doc/term.html>

²⁷ <http://www.ilo.suwalki.pl/energ/doc/term.html>

²⁸ <http://www.klimatdlaziemi.pl/index.php?lng=pl&id=64>

²⁹ Ibidem.

³⁰ <http://www.klimatdlaziemi.pl/index.php?id=185&lng=pl>

³¹ <http://www.klimatdlaziemi.pl/index.php?lng=pl&id=64>

– być może świat roku 2050 w niczym nie będzie przypominał dzisiejszego – będzie po prostu lepszy i piękniejszy.

Bibliografia

- Cieśla A., Hanzelka Z., Inteligentne systemy elektroenergetyczne, źródło: <http://www.smartgrid.agh.edu.pl/index.php/84-smgrid-rozne/104-inteligentne-systemy-elektroenergetyczne-ang-smart-grid>.
- Kardasz A., Odnawialne źródła energii jako element bezpieczeństwa energetycznego, publikacja nr 7708 na rok szkolny 2009/2010, źródło: <http://www publikacje.edu.pl/publikacje.php?nr=7708>.
- Kop J., Kucharska M., Szkurłat E., Geografia, część 2, Zakres podstawowy, Warszawa 2007.
- Polityka energetyczna Polski do 2030 roku, załącznik do uchwały nr 202/2009 Rady Ministrów z dnia 10 listopada 2009 roku, źródło: <http://www.mg.gov.pl/files/upload/8134/Polityka%20energetyczna%20ost.pdf>.
- Popczyk J., Innowacyjna energetyka. Kontekst ekologiczno-energetyczny i ekonomiczno-cywilizacyjny, *Acta Energetica* 2009, nr 1, źródło: <http://actaenergetica.org/pl/wp-content/uploads/2011/11/str-7-22-J.Popczyk-INNOWACYJNA-ENERGETYKA.-Kontekst-ekologiczno-energetyczny1.pdf>.
- Prezentacja Polskiej Izby Gospodarczej Energii Odnawialnej pt. „Energetyka odnawialna. Czy Polska posiada odpowiednie zasoby i infrastrukturę?”, źródło: http://change.kig.pl/energia_odnawialna.php#k2.
- Prognoza zapotrzebowania na paliwa i energię do 2030 roku, załącznik 2 do Polityki energetycznej Polski do 2030 roku, źródło: <http://www.mg.gov.pl/files/upload/8134/Prognoza%20zapotrzebowania%20na%20paliwa%20i%20energie-ost.pdf>.
- Tytko R., Odnawialne źródła energii: wybrane zagadnienia. Podręcznik dla uczniów i słuchaczy kształcących się w zawodzie technik elektryk, Wydawnictwo Dimikor, 2009.
- Uchwała nr 202/2009 Rady Ministrów z dnia 10 listopada 2009 roku.
- <http://www.mg.gov.pl/NR/rdonlyres/5474D2C2-2306-42B0-B15A-7D3E4E61D1D8/58593/uchwala.pdf>.
- <http://energiaodnawialna.republika.pl/>.
- <http://energiealternatywne.blogspot.com/2011/09/jak-wielkie-sa-mozliwosci-zastapienia.html>.
- <http://fakty.interia.pl/raport/kataklizm-w-japonii/galerie/kataklizm-w-japonii/fukushima-zalana-przez-14-metrowa-fale/zdjecie/duze,1432027>.
- http://pl.wikipedia.org/w/index.php?title=Plik:Deuteriumtritium_fusion.svg&filetimestamp=20091128202729.
- <http://pl.wikipedia.org/wiki/Prosument>.
- <http://pl.wikipedia.org/wiki/Sozologia>.
- http://pl.wikipedia.org/wiki/Telewizja_Polska.
- <http://svtechtalk.com/cleantech/smart-grid>.
- <http://telbit24.pl/public/images/editor/image/Obrazki%20rozne/inteligentny%20dom.png>.
- <http://www.100percentrenewables.eu>.
- <http://www.1lo.suwalki.pl/energ/doc/term.html>.
- http://www.chip.pl/images/sprzet/WRELLightbulb1.jpg/image_preview.
- http://www.chronmyklimat.pl/energetyka/polityka-energetyczna/9191-energetyczna_mapa_drogowa_2050_ku_dostatniej_niskoemisyjnej_europie.
- <http://www.cire.pl/rynekenergii/podstawa.php?smid=207>.
- http://www.edf.com/html/panorama/medias/images/durable/solid/reacteur_iter.jpg.
- <http://www.energie-odnawialne.net/index.php/plany-energetyczne-polski.html>.
- <http://www.indexmundi.com/g/g.aspx?v=81&c=xx&l=en>.
- <http://www.klimatdlaziem.pl/index.php?id=185&lng=pl>.
- <http://www.stat.gov.pl>.
- <http://www.tvn24.pl/0,1545231,wiadomosc.html>.
- http://www.ure.gov.pl/portal/pl/424/3322/Perspektywy_rozwoju_inteligentnych_sieci_energetycznych_tehnologiczny_przelom.html.
- <http://ziemianarozdrozu.pl/artukul/1987/niemiecka-produkcja-pradu-z-paneli-slonecznych-wzrosla-w-2011-roku-o-60-procent>.

Publikacja pokonkursowa

Artykuł został wyróżniony pierwszą nagrodą w konkursie „Energia elektryczna w przyszłości. Wizja roku 2050”, zorganizowanego przez spółkę ENERGA SA.

Sławomir Królikowski

Zespół Szkół Elektrycznych we Włocławku
e-mail: slawek.krolikowski@o2.pl

Uczeń klasy IV Zespołu Szkół Elektrycznych we Włocławku. Finalista Olimpiady Wiedzy o Planowaniu i Zarządzaniu Karierą Zawodową (2011) oraz uczestnik wielu konkursów zawodowych i tematycznych.

Błażej Walczak

Politechnika Gdańska
e-mail: blazej19992@o2.pl

Absolwent Zespołu Szkół Elektrycznych we Włocławku (2012), obecnie student Politechniki Gdańskiej. Uczestnik i laureat konkursów oraz olimpiad, a także zawodów robotów MiniSumo.

Adrian Wójcik

Politechnika Gdańska
e-mail: adriano.16.92@o2.pl

Absolwent Zespołu Szkół Elektrycznych we Włocławku (2012), obecnie student Politechniki Gdańskiej. Finalista olimpiad i uczestnik wielu konkursów tematycznych i zawodowych, stypendysta.

Andrzej Aftański

mgr inż. i dr nauk humanistycznych
Zespół Szkół Elektrycznych we Włocławku
e-mail: aaftanski@o2.pl

Nauczyciel dyplomowany teoretycznych przedmiotów zawodowych w Zespole Szkół Elektrycznych we Włocławku, mgr inż. elektroniki i telekomunikacji, dr nauk humanistycznych w zakresie pedagogiki, pomysłodawca i organizator miejskiego konkursu technicznego dla młodzieży, opiekun finalistów i laureatów wielu olimpiad.