

## World Water Day 2014 – Water & Energy

### Author

Wojciech Majewski

### Keywords

World Water Day, water resources, virtual water, hydrologic cycle, energy



### Abstract

World Water Day was established in 1992 at the United Nations conference – Environment and Development. It was approved to be held every year on 22 March under the heading, theme selected for a given year. The purpose of WWD was to draw the attention of societies, politicians and decision-makers to the fact that water is essential for life and for conducting economic and social activity. The first WWD was held in 1994 under the theme: Caring for our Water Resources is Everybody's Business. For the subsequent 20 years, the WWD has been held under headings closely related to water and use of water resources.

In 2014, the WWD subject has been extended by the issue of energy. It results from the fact that energy – just like water – is a factor essential for global economic and social development. Moreover, both these areas (water and energy) are strictly related to each other and are interdependent.

**DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2014209**

### Celebrations of WWD 1994–2013

Establishment of WWD in 1992 by the United Nations conference – *Environment and Development* held in Rio de Janeiro was driven by the following facts [1]:

- Water is indispensable for life of all living organisms and plants.
- We are closely interested in fresh water resources, the volume of which accounts for only 2.5% of all the water on the globe.
- The amount of fresh water on the earth is constant and very non-uniformly distributed.
- Water has no substitute.
- Water is used in many industrial processes, for irrigation in agriculture, production of electricity and in inland navigation.
- Water should be saved and above all, it should not be wasted.

Over the past 20 years, the WWD celebrations have been held under the following topics:

**1994** – *Caring for our Water Resources is Everybody's Business*

**1995** – *Women and Water*

**1996** – *Water for Thirsty Cities*

**1997** – *The World's Water: Is There Enough?*

**1998** – *Groundwater – The Invisible Resource*

**1999** – *Everyone Lives Downstream*

**2000** – *Water for the 21st century*

**2001** – *Water for Health*

**2002** – *Water for Development*

**2003** – *Water for the Future*

**2004** – *Water and Disasters*

**2005** – *Water for Life 2005–2015* – it started the decade dedicated to all aspects of water significance in the life of humanity and the environment

**2006** – *Water and Culture*

**2007** – *Coping With Water Scarcity*

**2008** – *Sanitation*

**2009** – *Transboundary Waters*

**2010** – *Clean Water for a Healthy World*

**2011** – *Water for Cities: Responding to the Urban Challenge*

**2012** – *Water and Food Security: The World is Thirsty Because We are Hungry*

**2013** – *Water Cooperation*

Up to the present, selected topics of WWD have presented a broad spectrum of significant problems. Have these problems been solved in the global scale? Certainly not. Only very important issues of water resources management have been manifested in them and ways of solving them have been indicated. However, one should realise that solving even only half of these problems would require huge funds, which unfortunately are unavailable.

It appears that currently approx. 800 million people of the 7.2 billion people living on the earth have no access to healthy drinking water, while more than 2.5 billion people have no appropriate sanitation facilities. This represents a serious hazard for human health. All water-related dangers in the form of rainstorms, floods, mudfloods or hailstorms constitute a very important problem. Severe economic and social losses are caused also by the lack of water related to droughts and very high air temperatures. Provision of a sufficient amount of water for food production, the demand for which is still increasing, is another significant issue. The supply of towns with water becomes an urgent problem due to rapidly developing urbanisation.

In the above-mentioned topics of WWD, special attention is drawn to the fact that the solution of these problems requires close cooperation in many sectors, as well as international cooperation on transboundary rivers and basins.

### Water – how much of it is there and how do we use it?

Water is a chemical compound known commonly as H<sub>2</sub>O. Usually, it occurs as a liquid, but it may also have a solid form as ice or snow and a volatile form as a water vapour. Water is a very good solvent and carrier. It transports in rivers many bed loads and suspended loads, as well as chemical compounds in a dissolved form. Water is characterised with an unusual course of density change with temperature. The highest water density occurs at a temperature of 4°C, which is very important in nature. Water has almost constant specific heat within the whole range of temperature, but it is characterised with high latent heat of evaporation (condensation) and crystallisation (melting) unusual for liquids. How much water is there on the earth? Its estimated value comes to  $1,386 \cdot 10^6 \text{ km}^3$ . This number is hard to imagine. If we distributed all the water uniformly on the surface of the globe, it would form a layer approx. 2,700 m thick. Water appears in the hydrosphere (mainly seas and oceans, but also rivers, lakes, reservoirs), lithosphere (groundwater), atmosphere and biosphere. We are interested mainly in fresh water, the amount of which is estimated at  $35 \cdot 10^6 \text{ km}^3$ . This constitutes only ca. 2.5% of the whole water volume. 69.9% of fresh water volume is frozen in glaciers, while approx. 30% is constituted by groundwater. Water in rivers and storage reservoirs, which we mainly use, constitutes only approx.  $6.4 \cdot 10^3 \text{ km}^3$ , i.e. 0.0002% of fresh water. It may seem very little, but it should be kept in mind that river water is in constant movement and its so-called average retention time is approx. 20 days. This means that it takes approx. 20 days on average for a water particle to flow from the river source to the mouth of the river. Water along the course of rivers may be used several times, e.g. by constructing a cascade of water reservoirs or using river water for subsequent thermal power stations to cool turbine condensers.

It should be emphasised that water frozen in glaciers would form a layer approx. 50 m thick on the globe. If only 2% of ice was melted, as a consequence of climate warming, the sea level would increase by approx. 1 m. It would be a critical situation for some low-lying countries in sea coastal zones.

### Hydrologic cycle

Water on the earth's surface and in its surface layer is in constant motion. This water circulation is defined as a hydrologic cycle. In the hydrologic cycle, water movement is driven by solar energy causing evaporation, and then the force of gravity causing deposition of water drops in the form of precipitation on the ground. Water dropping on the ground in the form of precipitation flows down mainly on the earth's surface, forming streams and rivers, and then flows out to seas. The amount of water flowing during one year to seas and oceans via rivers – and staying mainly at our disposal [2] – is estimated at ca.  $44\text{--}46 \cdot 10^3 \text{ km}^3$ .

Where does river water come from? The answer is: precipitation. However, it should be kept in mind that not all the water evaporating from the surface of seas and oceans returns to them in the form of precipitation. Some water that has evaporated from seas moves above the land surface and drops there in the form of precipitation. While flowing in rivers and in the form of underground flow, it closes the hydrologic cycle balance.

In addition, use of groundwater for economic purposes is possible, but there is much less of its usable resources than in rivers. A part of precipitation water infiltrates to the ground and flows to rivers, lakes and reservoirs, while some water from infiltration flows in the form of underground flow and eventually to seas.

Recently, fresh water resources have been artificially increased in the course of seawater desalination. In some places, water desalination is of high social and economic importance, though globally this amount is insignificant. Fig. 1 presents the hydrologic cycle schematically.

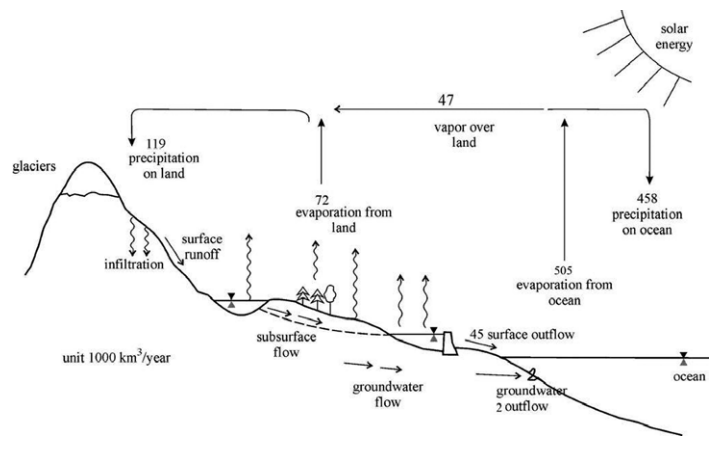


Fig. 1. Hydrologic cycle [2]

Distribution of precipitation on the land surface, and thus of water resources, is very non-uniform. There are places on the earth where even one raindrop has not fallen for the past several years and places where annual precipitation is 11,000 mm. The mean annual precipitation in Poland is approx. 620 mm and is lower than the global average which is around 800 mm. The so-called water availability index is one of the ways to estimate water resources of regions, countries and continents. It is the amount of water flowing out from a given area within one

year by rivers to seas, divided by the number of inhabitants in this area. On the global scale, this index is decreasing, as the amount of water flowing out to seas is constant, while the number of inhabitants is increasing. Given that outflow from rivers to seas is  $46 \cdot 10^3 \text{ km}^3$ , in 2013, when the world's population reached 7.2 billion, the water availability index was equal to  $6,390 \text{ m}^3$  per inhabitant per annum. In 2000, when the world's population was 6 billion, that index was equal to  $7,670 \text{ m}^3$ , and in 1990 with a population of 5.2 billion –  $8,850 \text{ m}^3$ . Thus, on the global scale, the water availability index is regularly decreasing. The amount of water in the global scale per one inhabitant is sufficient for satisfying all needs. However, due to the non-uniform water distribution on the earth and to economic relations, approx. 800 million people have no access to healthy drinking water, while more than 2.5 billion people have no access to appropriate sanitation facilities. Unfortunately, these two facts affect the health conditions of humanity very negatively. The topics of World Water Day emphasising these issues are only headings, as only half fulfilling them would require huge funds.

The water availability index in Poland amounts to ca.  $1,600 \text{ m}^3$  per one inhabitant per annum. This results from the average annual water outflow by rivers from the Polish territory that is  $62 \text{ km}^3$  and the number of inhabitants – 38.5 million. In Poland, the water availability index has been at a similar level for many years, as the population remains at the same level. This index is calculated for average annual outflow and it is at the acceptable limit from the point of view of water resources management. However, for low river outflow, this index drops down below 1,000, which is regarded as a critical condition in water management. With regard to water resources, Poland is placed near the bottom in Europe. The average water availability index in Europe is approx.  $4,500 \text{ m}^3$ , which is almost three times more than the Polish index.

The amount of water retained in storage reservoirs constitutes a very important index demonstrating the capacity of water resources management. Such reservoirs are established by impounding rivers, thus enabling better water utilisation, especially in the period of low flows. In Poland, the volume of storage reservoirs is estimated at approx.  $3.6 \text{ km}^3$ , which constitutes ca. 6% of the average annual outflow. It is little in relation to the corresponding index of neighbouring countries, which usually exceeds 10%. Achieving such a storage index in Poland will be very difficult due to the high cost of these investments and protests of ecological organisations.

## Water demand

The minimum daily amount of water required by people to survive is estimated at 2–3 litres. It is assumed that a minimum of 20–40 litres is needed to satisfy daily municipal needs. Average water use by one person per day in Poland, only for municipal purposes, comes to approx. 150 litres.

In Poland – despite low average water resources amounting to approx.  $1,600 \text{ m}^3$  per one inhabitant a year, the low water storage coefficient (approx. 6%) – the state of water supply for industry, agriculture and municipal services – is sufficient in average flow conditions. This is a consequence of the fact that Polish agriculture withdraws very little water for irrigation. This amount does

not exceed 10% of the total abstraction, while in many European countries it is very high – exceeding even 50% of the total water intake. In Poland, in the event of low flows the situation of water supply may be critical.

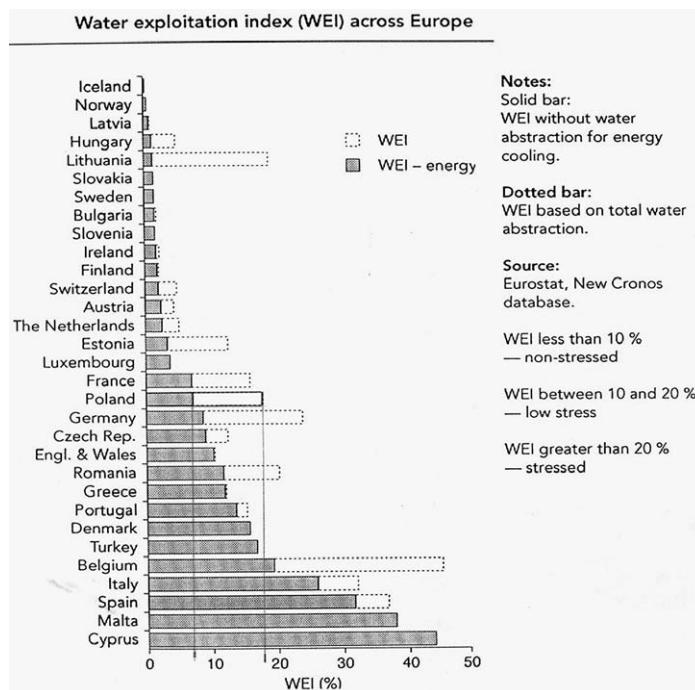


Fig. 2. Water exploitation index, source: EEA 2003, Europe's Water

The commonly known water exploitation index (WEI, European Environmental Agency) describes the relation of total water abstraction for various purposes and available water resources (annual river outflow). Fig. 2 presents this index for European countries. In this approach, with consideration of water abstraction to cool turbine condensers in thermal power stations, Poland's WEI is equal to approx. 18%. With consideration of intake only for municipal and agricultural purposes, Poland is in the middle of European countries, just below France. A value of this index under 20% means a non-stressed situation. In Poland, water withdrawal for cooling turbine condensers is quite important, as thermal power stations constitute a significant source of electricity. In this approach, countries with scarce water resources and small water collection, as well as countries with large water resources and large water intake would have the same WEI. Water withdrawn from surface water to cool turbine condensers flows through them and then returns in the same amount, only at a higher temperature. A large amount of water is required also in various technological processes in heavy, food and pharmaceutical industries. In addition, water is used as a means of transportation of various products and materials by pipelines. Global water consumption is greatly diversified. Currently, 17% of water intake constitutes municipal services, 16% – industry, 67% – agriculture. In Poland, water consumption is completely different. Municipal services collect 13% water, agriculture – 8%, industry, including thermal energy production – 79%.

Water consumption in absolute values calculated per one inhabitant is also greatly diversified. Total water consumption in Poland comes to approx. 300 m<sup>3</sup> per one inhabitant per annum. Average abstraction for Europe comes to approx. 550 m<sup>3</sup>, while the global average is equal to approx. 610 m<sup>3</sup>. Low water consumption in Poland results from the fact that Polish agriculture is based mainly on atmospheric precipitation.

## What types of water do we have?

### Blue and green water

For half of the 20th century, people did not realise the significance of water for the development and life of flora and fauna, as well as the fact that water would be a fundamental factor of economic and social growth. Thus, currently water is an increasingly discussed subject.

In the past, people used to think that water was blue judging by the colour of the sky reflected in it. As time went by, another definition was developed – green water, which is water related to plants and evapotranspiration. Fig. 3 presents a schematic water cycle on the earth and things we understand as blue and green water.

It appears that approx. 70% of green water stream comes from woods, meadows and swamps, in the form of evapotranspiration from plants to the atmosphere. Approx. 10% water evaporating from plants to the atmosphere comes from cultivation of agricultural products. If we intensify cultivation of agricultural products, thus evapotranspiration, a part of blue water will be changed into the green water and thus the existing hydrologic cycle will be disturbed. Thus, water outflow from lands to seas and oceans (blue water) will be decreased, which may have serious consequences for the water balance on the earth. It should be emphasised that increased areas of crops for biofuels or biomass will require significant amounts of water, which may change the global water balance.

ET – evapotranspiration, source: Stockholm Water Front

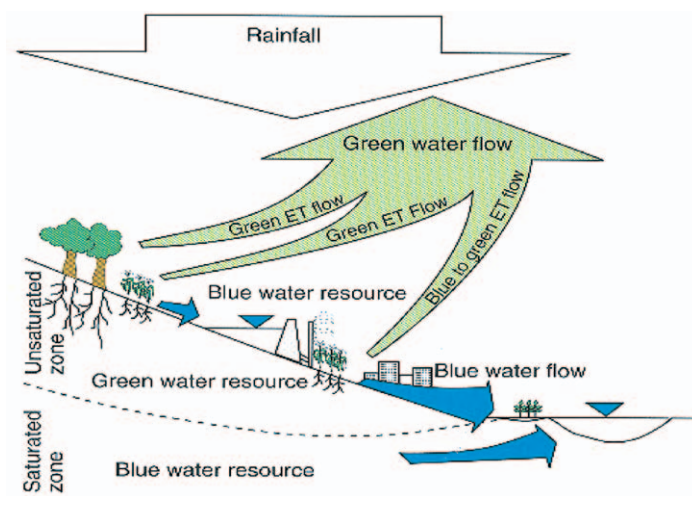


Fig. 3. Schematic presentation of green and blue water in the hydrologic cycle

### Virtual water

This term has appeared relatively recently and is becoming increasingly popular. It means the amount of water to be consumed for manufacturing a specific product. Below you can find several examples concerning agricultural products. It appears that one cup of coffee includes 130 litres of virtual water, which is almost the same as the daily standard of water consumption by one person to satisfy all its municipal needs (bath, toilet, washing, meals). 130 litres of water are needed to grow coffee beans, their collecting, processing and delivering to points of sale. Here, we do not define whether this water comes from precipitation or irrigation. Production of one slice of bread requires consumption of 40 litres of virtual water. Production of 1 kg beef requires 15 thousand litres of virtual water, while 1 kg wheat – 1,500 litres. It is often considered that food export may be identified with the export of water needed for the production of this food.

### Black water

Recently, one more definition has been established – black water. It is becoming more and more important. What is the origin of this term? The urbanisation process is noticeable all over the world. Several years ago, global population in cities and villages became equal. In Poland, there is a significant majority of the urban population over the rural population. A very difficult problem appears with this issue – delivery of the appropriate amount of water for municipal purposes to large urban agglomerations while the process of sewage disposal and its treatment of mechanical, chemical and biological pollutions is even more difficult. Growing populations in towns, but also more and more developed sewer systems, including also rural areas, create a serious problem. Contaminated water from urban areas and industrial plants constitutes black water. Water recovered from wastewater, after its treatment, now forms a significant source of water supply. Depending on the level of treatment, so-called black water may be used for various purposes, like for example, in industry or for irrigation. After appropriate treatment, this water may be discharged back to rivers, from where it was abstracted.

### Thermal pollutions of surface water

The issue of thermal pollution of surface water has been known for a very long time as so-called heated water related to the operation of thermal power stations. Withdrawing water from rivers, storage reservoirs or lakes for cooling and discharging it in the same amount, but at a higher temperature, usually approx. 10°C, is very advantageous for a power station. As time went by, limitations of water temperature became increasingly rigorous, mainly due to ecology. Such solutions are known in the form of open cycles of cooling water. A thermal power station, with a power of 1,000 MW, requires cooling water intake of a volume of approx. 30 m<sup>3</sup>/s. Heated water discharge is always located downstream from the intake in order to avoid recirculation i.e. repeated abstraction of already heated water. The structure of heated water discharge enables the heated water outflow so that it flows on the surface of a recipient or that it results in quicker mixing of cool and heated water. The first solution causes the heat to quickly transfer to the atmosphere as a result of the higher

difference in water temperature on the surface of a recipient and the atmosphere, but producing higher water temperature in the region of discharge. The second solution results in quicker decrease of water temperature in a recipient, thus a slower process of transferring the heat from water surface to the atmosphere. Such solutions have their technical advantages, but also serious ecological consequences. In some events, discharges of heated water to rivers have caused significant changes in the ice regime. It is estimated that, as a result of heated water discharge, evaporation from the free surface assessed as approx. 0.5–0.8% of flow of heated water increases depending on the discharge structure and meteorological conditions. Currently, there exist environmental limitations of a maximum water temperature in the region of discharge. It may limit production of electricity.

### Water and energy

For the first time, this year's WWD has developed the topic: *Water and Energy*, because these two areas are interdependent. Therefore, a very important fact should be noticed – currently, approx. 8% of total produced electricity is used for water abstraction, its transport by pipelines, purification and treatment, delivery to end users and sewage disposal. This serious energy expenditure results from an increasingly frequent use of water transfer by pipelines under pressure substituting a gravity flow in open channels. It is conditioned by land configuration, as well as by larger water losses for evaporation.

At the beginning of the 21st century, the following statement was popular: If all inhabitants of the earth had appropriate access to water and energy, many social problems could be solved. This statement is still fully justified. In the previous section, we have already mentioned that almost one billion people have no access to healthy drinking water, while more than two billion people have no access to appropriate sanitation facilities. Moreover, it appears that approx. 1.3 billion people have no access to electricity, which is currently a serious limitation of social and economic development.

Water and energy are closely related to each other. Water is required in the production of electricity, cooling, energy storage (pumped-storage power plants), production of biofuels, and in classical hydropower. Energy is needed also for water pumping, sewage disposal and desalination. Water and energy are also indispensable in food production for a constantly increasing population.

Basic (non-renewable) energy resources, such as coal, oil, gas or uranium ore, are subject to depletion, and that is why the whole world looks for renewable sources. Some of them, like water or wind energy, were known thousands years ago; some of them have appeared only recently because of new technological solutions (photovoltaics). Today, we need to look at water and energy comprehensively not only under a single sector, but taking into account the benefit of the whole of society or ecosystem. Resolution of these problems requires not only a local perspective, but also a regional, international or even global perspective. It is known that water is necessary for the life of all living organisms and plants. It is hard to imagine the existence of societies

without energy. Electricity, which is in more and more common use, becomes particularly important. Currently, even a temporary lack of it causes complete paralysis of social and economic life. Demography and standard of life constitute basic factors governing the demand for water and energy. These problems very often go beyond territories of particular countries, river basins or power grids. Cooperation in these areas must consist in benefiting whole systems, not only particular sectors, as well as in striving for sustainable development.

### Structure of global production of electricity

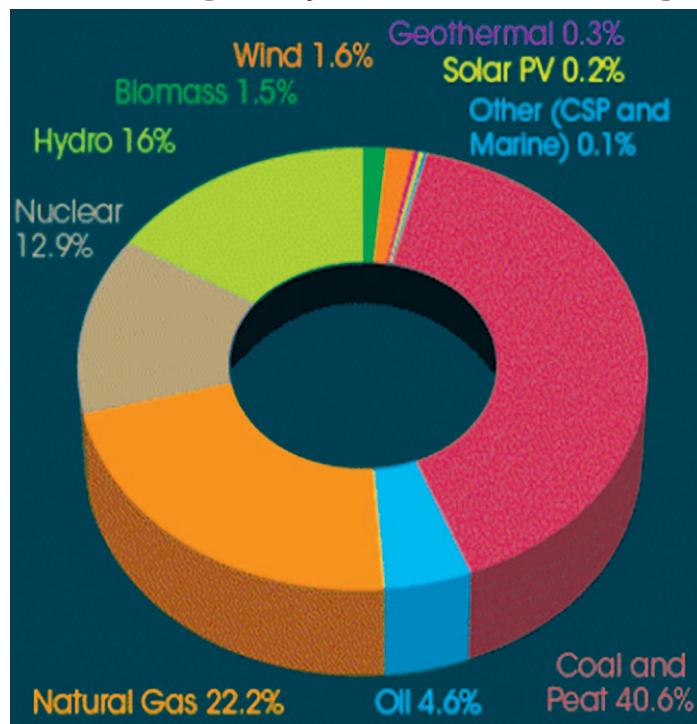


Fig. 4. Global picture of sources of production of electricity in percentages, source: Internet, WWD 2014 materials

It should be emphasised that over 50% of electricity on a global scale is produced in power stations requiring cooling water for turbine condensers (coal and nuclear energy), while hydroelectric power stations produce a significant part – 16% of electricity. Forecasts indicate that the share of hydropower in the production of electricity shall stay at the same level, i.e. approx. 16%, until 2035. As global production of electricity is regularly increasing, both in absolute values and per individual consumer, therefore increased production of electricity in hydroelectric power stations will be needed in order to maintain the level of 16% in the coming years. The percentage share of other sources of electricity will undergo changes.

Today, electricity from waves and tides constitutes a marginal percent. However, theoretical resources of this energy are huge and their use even in a small percentage could cover the entire global demand for electricity. The problem is in the technical capacity and economic profitability of its use.

## Availability of water resources used for energy purposes

Water resources are used for energy purposes mainly in hydroelectric power stations and in thermal power stations. Hydropower concerns two parameters: head (difference between upper and tail water levels) and intensity of flow (discharge). Both these parameters affect obtained power in the same way. The same power may be produced from large head and small discharge, as well as from large discharge and small head. The first option is more favourable with regard to economy, as it requires smaller turbines, thus a smaller hydroelectric power station.

The second option includes mainly barrages on lowland rivers with run-of-river reservoirs, whose basic purpose is the maintenance of the upper water level regardless of flow.

Operation of hydroelectric power stations is closely related to transmission of the appropriate amount of water through turbines, which is not always consistent with current demand for water for other purposes. If a multipurpose equilibrium reservoir operates at a hydroelectric power station, it is necessary to arrange its operation, which in turn requires compromises of its users. It should be remembered that hydroelectric power stations are characterised with high operation flexibility and high efficiency at use of flow and a head lower or higher than the installed one. Moreover, switch-on and off of a hydroelectric power station is very quick and simple.

It should also be remembered that a hydroelectric power station does not consume water – the same amount of water flows into a hydroelectric power station and out of it. In addition, a hydroelectric power station does not cause pollution of the water environment.

Interruption of river continuum is a disadvantage of hydropower facilities. Increasingly developed and efficient fish passages enabling fish migration upstream and downstream can solve this situation.

Development of water and energy sectors is mutually limited by natural and technological factors, as well as by social and economic changes. Currently, water is a significant factor limiting energy production. In addition, energy production affects the water environment. There are modifications in river hydrodynamics downstream of barrages, while thermal regime is changing downstream of heated water discharges.

In the case of applying cooling towers for cooling, it is necessary to provide supplementation of cooling water in the cycle. The cooling process in cooling towers is based mainly on evaporation. Supplementation of cooling water volume ranges approx. 2.5–3.0% of water in the cycle, depending on meteorological conditions. For a volume of water in the cooling cycle coming to  $Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$ , supplementation will be ca.  $0.8\text{--}0.9 \text{ m}^3/\text{s}$ .

The synergic impact of water and energy has not been defined yet. How can activities in both sectors affect sustainable development? Both sectors have their limitations and therefore it is necessary to establish scopes of these limitations for the whole area of water and energy. Such an approach requires innovative thinking not only from the point of view of water or energy, but both of them jointly.

## Sustainable development of the hydroenergetic sector

Increasing demand for water requires more and more frequent water storage in retention reservoirs to avoid local and temporary water deficiencies or deficits in flood protection. Each water damming enables its hydroenergetic use. In most cases, storage reservoirs have a multipurpose character, which generates conflicting situations at their operation. Ideal for hydroenergetics is to maintain a maximum water level in a reservoir because it results in the high head for a hydroelectric power station, while for flood protection it is necessary to maintain a flood reserve in a reservoir. Water demand for various purposes does not always correspond with demand for electricity. It is worth noticing that use of water from storage reservoirs also has a broad social and environmental aspect. Recreational function of all reservoirs becomes very important.

## Development of agglomerations conditioned by water and energy

Intensive development of agglomerations is observed all over the world. On a global scale, in 2012 urban population exceeded rural population. Urban agglomerations have become very complicated systems that have to provide a sufficient amount of water for their inhabitants and industrial plants, as well as electricity, heat, sewage disposal and treatment. In addition, local floods caused by rainstorms are a serious problem. When talking about sustainable development of cities, it is necessary to consider the present state, as well as future situations. In order to ensure sustainable development of cities, knowledge of future technologies is necessary, as they may completely change current management of water, energy and sewage disposal.

## Water, energy and safety of ecosystems

Water is necessary to produce energy, extract and process gas and oil, as well as to produce food. Water is essential also for the functioning of water ecosystems. Increasing demand for energy and food production endangers not only many private and public sectors, but also the functioning of ecosystems. At the same time, one should consider development of technologies and innovativeness, which may provide sustainable development. Maintenance of ecosystems has been frequently perceived as the limitation for increased food production and execution of many investments. Solving these problems in a varied scale requires very thorough analyses concerning the capacity of growth of particular sectors in terms of ecosystem maintenance.

## How to use jointly means of mitigation and adjustment to climatic changes in the water and energy sector

Currently, energy production and its use are responsible for 70% of emissions of greenhouse gas. A recent IPCC report presented in September 2013 has explicitly confirmed that noticeable global warming is occurring and human activity is responsible for this. Energy constitutes the basis of water intake and distribution, as well as of sewage treatment. The hydrologic cycle is

particularly sensitive to all types of climatic changes. Therefore, all activities for the benefit of adjustment to or mitigation of the effects of climatic changes greatly affect both water and energy. It is necessary to adjust to a situation borne by climatic changes. Good understanding of mutual influences of climatic changes on the water and energy sector is particularly significant in selecting a planning and action policy. While planning the water resources management, it is necessary to adapt long-term plans that will be consequently implemented with an option of conducting their periodical analysis and necessary adjustments.

### Integrated policy in the water and energy sector

It appears that water and energy constitute two very separate sectors, and the decision-makers do not realise that planning and investment decisions made in one sector largely affect the other sector. Today, it is necessary to understand that water and energy constitute one very closely connected sector, instead of two separate ones. Integrated management of water resources has led to the allocation of water resources among particular users. Joint management of these two sectors is still very fragmentary. New planning reality should strictly consider areas of management, global warming, competitiveness in both sectors, as well as innovative technologies.

### Combating poverty after 2015: provision of access to energy, food and water

The demand for water, energy and food is increasing significantly all over the world. Global security with regard to water and energy is still far from fulfilled. Approx. 1.3 billion people have no access to electricity, almost 0.8 billion do not use safe drinking water, while almost 2.5 billion do not use appropriate sanitation facilities. In addition, approx. 0.8 billion people are malnourished. No access to components allowing meeting fundamental living needs (water, energy, food) means that many people live in poverty and exclusion. Satisfying fundamental needs within the scope of energy and food will be conditioned mainly by the provision of appropriate water resources.

In 2012, at the Rio + 20 Summit, in the declaration *The Future We Want*, both in the chapter dedicated to energy and in the one concerning water, there were no mutual references. It shows the lack of understanding of both these sectors in the political and organisational sphere. In addition, participation of science and research is necessary to connect management of both sectors.

### REFERENCES

1. Majewski W., Światowy Dzień Wody 2006 [*World Water Day 2006*], *Water Management* 2006, issue 3.
2. Majewski W., Introduction to Water Resources Management in Environmental Engineering, Wydawnictwo IBW PAN 2005.

### Wojciech Majewski

IMGW-PIB Institute of Meteorology and Water Management in Warsaw

e-mail: [wmaj@ibwpan.gda.pl](mailto:wmaj@ibwpan.gda.pl)

Graduated from the Faculty of Hydraulic Engineering of the Gdansk University of Technology, and completed postgraduate studies at the University of Glasgow. Since 1990 he has been titular professor in hydraulic engineering and water management. He works at the Institute of Meteorology and Water Management in Warsaw.

Vice-chairman of the Committee for Water Management of the Polish Academy of Sciences. He has directed the implementation of many important domestic and international projects in hydraulics, hydrology, and water engineering. Prof. Majewski has participated in numerous national and international conferences, presenting papers and general lectures. He has supervised many doctoral dissertations and reviewed doctoral and habilitation dissertations, and scientific works as grounds for professorship applications. He is the author of more than 350 publications in Polish and English in the field of hydraulic engineering and water management. Prof. Majewski is an outstanding engineering and scientific authority at home and abroad.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 91–97. When referring to the article please refer to the original text.

PL

## Światowy Dzień Wody 2014 pod hasłem „Woda i energia”

### Autor

Wojciech Majewski

### Słowa kluczowe

Światowy Dzień Wody, zasoby wodne, woda wirtualna, cykl hydrologiczny, energia



### Streszczenie

Światowy Dzień Wody (ang. *World Water Day*) został ustanowiony na konferencji Narodów Zjednoczonych w 1992 roku – „Środowisko i rozwój” (ang. *Environment and Development*). Przyjęto, że będzie on obchodzony co roku 22 marca pod wybranym na dany rok hasłem. Celem ŚDW miało być zwracanie uwagi społeczeństw, polityków i decydentów na to, że woda jest niezbędna do życia oraz do prowadzenia działalności gospodarczej i społecznej. Po raz pierwszy ŚDW obchodzono w 1994 roku pod hasłem „Dbałość o nasze zasoby wodne leży w interesie każdego człowieka” (ang. *Carrying for our Water Resources is Everybody's Business*). Przez kolejne 20 lat ŚDW obchodzony był pod hasłami ściśle związanymi z wodą i wykorzystaniem zasobów wodnych. W 2014 roku hasło ŚDW zostało rozszerzone o problematykę energii. Wynika to z faktu, że energia – tak jak i woda – staje się czynnikiem niezbędnym do rozwoju gospodarczego i społecznego świata, a ponadto obie te dziedziny (woda i energia) są ze sobą ściśle powiązane i od siebie zależne.

### Obchody ŚDW 1994–2013

Ustanowienie ŚDW przez konferencję Narodów Zjednoczonych w 1992 roku w Rio de Janeiro – „Środowisko i rozwój” (ang. *Environment and Development*) było podyktowane następującymi faktami [1]:

- Woda jest niezbędna do życia wszystkich istot żywych i roślin.
- Jesteśmy ściśle zainteresowani zasobami wody słodkiej (ang. *fresh water*), której objętość wynosi zaledwie 2,5% całej wody zgromadzonej na kuli ziemskiej.
- Ilość wody słodkiej na kuli ziemskiej jest stała i bardzo nierównomiernie rozłożona.
- Nie ma substytutu wody.
- Woda jest wykorzystywana w wielu procesach przemysłowych, w rolnictwie do nawodnień, do wytwarzania energii elektrycznej oraz w żegludze śródlądowej.
- Wodę należy oszczędzać, a przede wszystkim nie marnować.

Na przestrzeni minionych 20 lat obchody ŚDW odbywały się pod następującymi hasłami:

- 1994** – Dbałość o nasze zasoby wodne leży w interesie każdego człowieka (ang. *Carrying for our Water Resources is Everybody's Business*)
- 1995** – Kobiety i woda (ang. *Women and water*)
- 1996** – Woda dla spragnionych miast (ang. *Water for Thirsty Cities*)
- 1997** – Światowe zasoby wody: czy ich wystarczy? (ang. *The World's Water: Is there enough?*)
- 1998** – Wody podziemne, niewidoczne zasoby (ang. *Groundwater – The Invisible Resorce*)

**1999** – Każdy żyje (mieszka) poniżej (w dolnym biegu rzeki) (ang. *Everyone Lives Downstream*)

**2000** – Woda dla XXI wieku (ang. *Water for the 21st century*)

**2001** – Woda dla zdrowia (ang. *Water for Health*)

**2002** – Woda dla rozwoju (ang. *Water for Development*)

**2003** – Woda dla przyszłości (ang. *Water for Future*)

**2004** – Woda i kataklizmy (ang. *Water and Disasters*)

**2005** – Woda dla życia (ang. *Water for Life 2005–2015*), rozpoczęto tym samym 10-letnią dekadę poświęconą wszelkim aspektom znaczenia wody w życiu ludzi i środowiska

**2006** – Woda i kultura (ang. *Water and Culture*)

**2007** – Jak poradzić sobie z niedostatkami wody? (ang. *Coping With Water Scarcity*)

**2008** – Urządzenia sanitarne (ang. *Sanitation*)

**2009** – Woda w strefach transgranicznych (ang. *Transboundary Waters*)

**2010** – Czysta woda dla zdrowego świata (ang. *Clean Water for a Healthy World*)

**2011** – Woda dla miast: odpowiedź na wyzwania miast (ang. *Water for Cities: Responding to the Urban Challenge*)

**2012** – Woda i bezpieczeństwo żywności: świat jest spragniony, ponieważ my jesteśmy głodni (ang. *Water and Food Security: The World is Thirsty Because We are Hungry*)

**2013** – Współpraca w dziedzinie wody (ang. *Water Cooperation*).

Dotychczasowe hasła ŚDW przedstawiały szerokie spektrum bardzo istotnych problemów. Czyte problemy w skali globalnej zostały rozwiązane? Oczywiście nie. Objawiły się jedynie w nich bardzo ważne problemy w gospodarowaniu zasobami wodnymi i wskazano sposoby ich rozwiązania. Trzeba jednak zdawać sobie sprawę, że rozwiązanie tych problemów nawet tylko w połowie wymagałoby ogromnych środków finansowych, których niestety brak.

Okazuje się, że obecnie, z 7,2 miliarda ludzi zamieszkujących kulę ziemską, ok. 800 milionów nie ma dostępu do zdrowej wody do picia, a ponad 2,5 miliarda nie posiada odpowiednich urządzeń sanitarnych. Stanowi to poważne zagrożenie dla zdrowia ludzi. Bardzo ważnym problemem są wszelkie zagrożenia wywołane wodą w postaci nawalnych deszczy, powodzi, lawin błotnych czy gradobii. Poważne straty ekonomiczne i społeczne wywołuje również brak wody związany z suszami i bardzo wysokimi temperaturami powietrza. Istotnym problemem jest zapewnienie odpowiedniej ilości wody dla produkcji żywności, której zapotrzebowanie stale wzrasta. Palącym problemem staje się zaopatrzenie w wodę miast w związku z szybko rozwijającą się urbanizacją.

W wyżej wymienionych hasłach ŚDW zwraca się szczególną uwagę, że rozwiązanie tych problemów wymaga ściślejszej współpracy w wielu sektorach, jak i współdziałania międzynarodowego na rzekach i zlewniach transgranicznych.

**Woda – ile jej jest i jak ją wykorzystujemy?**  
Woda jest związkiem chemicznym znanym powszechnie jako H<sub>2</sub>O. Najczęściej występuje jako ciecz, ale może być również



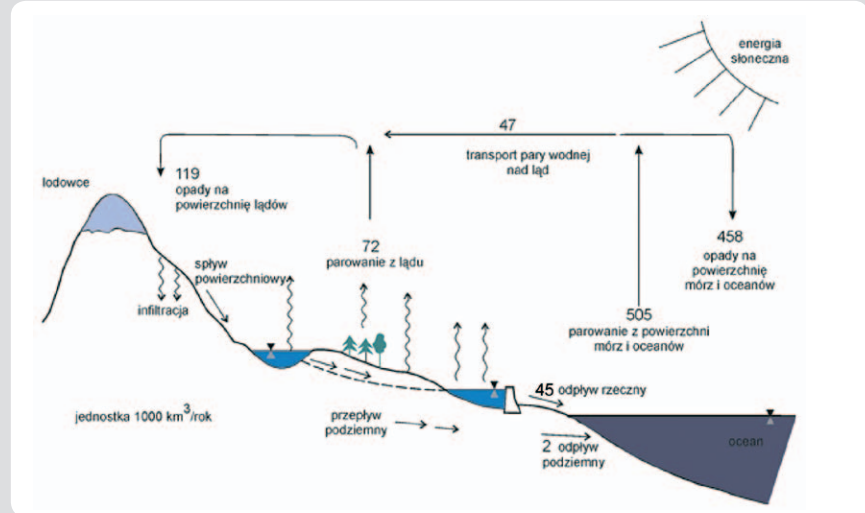
w postaci stałej jako lód lub śnieg i w postaci lotnej jako para wodna. Woda jest bardzo dobrym rozpuszczalnikiem oraz nośnikiem i transportuje rzekami wiele rumowiska w formie wleczonej i unoszonej oraz związków chemicznych w formie rozpuszczonej. Woda charakteryzuje się nietypowym przebiegiem zmiany gęstości z temperaturą. Największa gęstość wody występuje przy temperaturze 4°C, co ma bardzo istotne znaczenie w przyrodzie. Woda posiada prawie stałe ciepło właściwe w całym zakresie temperatury, ale charakteryzuje się nietypowym jak dla cieczy wysokim ciepłem utajonym parowania (kondensacji) i krystalizacji (tajania). Ile jest wody na kuli ziemskiej? Szacunkowa wartość to  $1,386 \cdot 10^6 \text{ km}^3$ . Jest to liczba trudna do wyobrażenia. Gdybyśmy całą wodę rozłożyli równomiernie na powierzchni globu to utworzyłaby ona warstwę o grubości ok. 2700 m. Woda ta występuje w hydrosferze (głównie morza i oceany, ale i rzeki, jeziora, sztuczne zbiorniki), litosferze (wody podziemne), atmosferze i biosferze. Nas interesuje przede wszystkim woda słodka, której wartość szacuje się na  $35 \cdot 10^6 \text{ km}^3$ . Jest to jedynie ok. 2,5% całej objętości wody. Z tej objętości 69,9% wody słodkiej zamrożone jest w lodowcach, a ok. 30% to wody podziemne. Woda w rzekach i zbiornikach retencyjnych, z której głównie korzystamy, stanowi jedynie ok.  $6,4 \cdot 10^3 \text{ km}^3$ , czyli 0,0002% wody słodkiej. Może to wydawać się bardzo mało, jednak należy pamiętać, że woda w rzekach jest w ciągłym ruchu i jej tzw. średni czas retencji wynosi ok. 20 dni. To znaczy, że w rzekach średnio czas przepływu cząstki wody od źródła do ujścia wynosi prawie 20 dni. Wodę wzdłuż biegu rzek możemy wykorzystywać, wielokrotnie budując na przykład kaskadę zbiorników wodnych, czy wykorzystując wodę z rzeki dla kolejnych elektrowni ciepłych do chłodzenia kondensatorów turbin.

Warto zwrócić uwagę, że woda zamrożona w lodowcach tworzyłaby na kuli ziemskiej warstwę o grubości ok. 50 m. Gdyby tylko 2% lodów uległo stopieniu w wyniku ocieplania się klimatu, to w rezultacie mielibyśmy podniesienie poziomu mórz o ok. 1 m. Dla niektórych krajów nisko położonych w strefach przybrzeżnych mórz byłaby to sytuacja krytyczna.

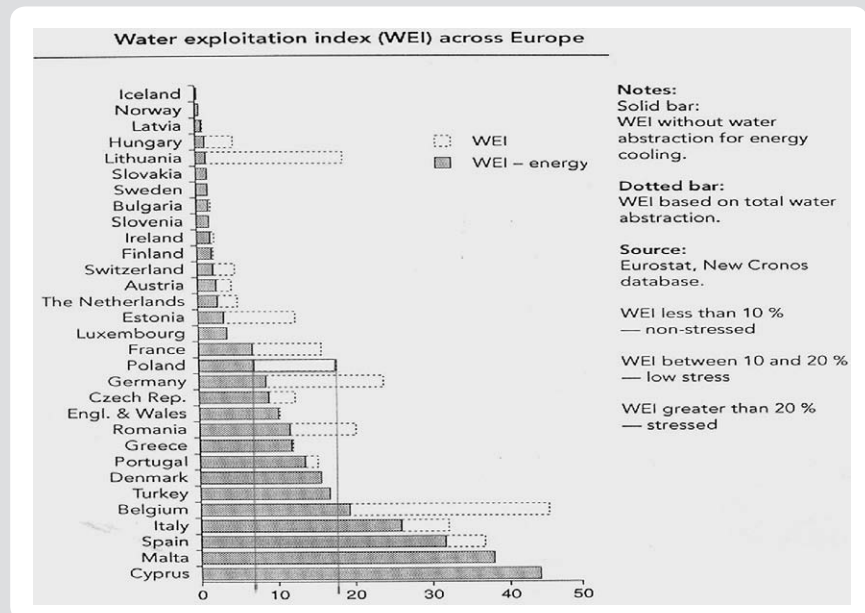
### Cykl hydrologiczny

Woda występująca na powierzchni ziemi i w jej warstwie powierzchniowej jest w ciągłym ruchu. Ten obieg wody jest określanej jako cykl hydrologiczny. Mechanizmem napędzającym ruch wody w cyklu hydrologicznym jest energia słoneczna wywołująca parowanie, a następnie siła grawitacji powodująca opadanie na powierzchnię ziemi kropeł wody w opadach atmosferycznych. Woda spadająca na powierzchnię ziemi w formie opadów atmosferycznych spływa głównie po powierzchni ziemi, tworząc strumienie i rzeki oraz odpływa do mórz. Ilość wody, która rzekami w ciągu roku odpływa do mórz i oceanów – pozostająca głównie do naszej dyspozycji [2] – szacuje się na ok.  $44\text{--}46 \cdot 10^3 \text{ km}^3$ .

Skąd bierze się woda w rzekach? Odpowiedź brzmi: z opadów atmosferycznych. Warto jednak zwrócić uwagę na fakt, że nie cała woda, która wyparowuje z powierzchni mórz i oceanów wraca do nich w formie opadu. Część wody, która wyparowała



Rys. 1. Cykl hydrologiczny [2]



Rys. 2. Współczynnik eksploatacji wody, źródło: EEA 2003, Europe's Water

z mórz, przenosi się nad powierzchnię lądów i tam dopiero spada w formie opadu atmosferycznego. Spływając rzekami i w formie przepływu podziemnego zamyka bilans cyklu hydrologicznego.

Możliwe jest również wykorzystanie do celów gospodarczych wód podziemnych, jednak ich zasoby użytkowe są znacznie mniejsze od tych, jakie mamy w rzekach. Część wody z opadów atmosferycznych infiltruje do ziemi i dopływa do rzek, jezior i zbiorników wodnych, a część wody z infiltracji przepływa w formie przepływu podziemnego i ostatecznie do mórz.

Ostatnio zasoby wody słodkiej są w sposób sztuczny zwiększane na drodze odsalania wody morskiej. W niektórych miejscach odsalanie wody ma istotne znaczenie społeczne i gospodarcze, jednak w skali globalnej ilość ta ma marginalne znaczenie. Schematycznie cykl hydrologiczny przedstawiony jest na rys. 1.

Rozkład opadów atmosferycznych na

powierzchni lądów, a tym samym i zasoby wodne, jest bardzo nierównomierny. Znajdujemy miejsca na kuli ziemskiej, gdzie przez ostatnich kilkanaście lat nie spadła kropla deszczu i takie miejsca, gdzie roczny opad wynosi 11 000 mm. Średni z wieloletnia opad atmosferyczny w Polsce wynosi ok. 620 mm i jest mniejszy od średniej światowej wynoszącej ok. 800 mm.

Jednym ze sposobów oszacowania zasobów wodnych regionów, krajów bądź kontynentów jest tzw. wskaźnik dostępności wody. Jest to ilość wody odpływająca z danego terenu w ciągu roku rzekami do mórz, podzielona przez liczbę mieszkańców żyjących na tym terenie. W skali globalnej wskaźnik ten maleje, bowiem ilość wody odpływająca do mórz jest stała, natomiast liczba ludności rośnie. Przyjmując odpływ rzekami do mórz jako  $46 \cdot 10^3 \text{ km}^3$ , w 2013 roku, gdy ludność świata liczyła 7,2 miliarda, wskaźnik dostępności wody wynosił  $6390 \text{ m}^3$  na mieszkańca rocznie.

W 2000 roku przy liczbie ludności 6 miliardów wskaźnik opiewał na 7670 m<sup>3</sup>, a w 1990 roku przy liczbie ludności 5,2 miliarda – 8850 m<sup>3</sup>. Tak więc w skali globalnej wskaźnik dostępności wody systematycznie maleje. Ilość wody w skali globalnej przypadająca na jednego mieszkańca jest w pełni wystarczająca na pokrycie wszelkich potrzeb. Jednakże ze względu na nierównomierny rozkład wody na kuli ziemskiej oraz względy ekonomiczne ok. 800 milionów ludzi nie ma dostępu do zdrowej wody do picia, a ponad 2,5 miliarda ludzi nie ma dostępu do należytych urządzeń sanitarnych. Oba te fakty mają, niestety, bardzo negatywny wpływ na warunki zdrowotne ludzkości. Hasła Światowego Dnia Wody zwracające uwagę na te sprawy pozostają jedynie hasłami, bowiem spełnienie ich nawet tylko w połowie wymagałoby ogromnych nakładów finansowych.

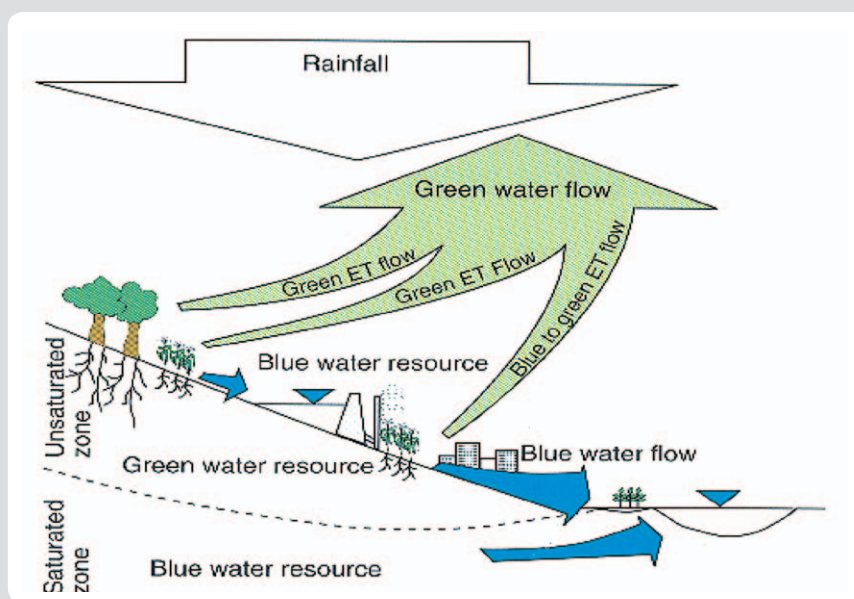
Wskaźnik dostępności wody w Polsce wynosi ok. 1600 m<sup>3</sup> na mieszkańca rocznie, co wynika ze średniego rocznego odpływu wody rzekami z terenu Polski, wynoszącego 62 km<sup>3</sup>, i liczby ludności 38,5 miliona mieszkańców. W Polsce wskaźnik dostępności wody utrzymuje się od wielu lat na zbliżonym poziomie, gdyż liczba ludności nie wzrasta. Niniejszy wskaźnik liczony jest dla średniego rocznego odpływu i jest on na granicy dopuszczalnej z punktu widzenia gospodarki wodnej. Jednak dla odpływu niskiego wskaźnik spada poniżej 1000, co jest w gospodarce wodnej uważane za stan krytyczny. Polska, jeżeli chodzi o zasoby wodne, znajduje się na jednym z ostatnich miejsc w Europie. Średni wskaźnik dostępności wody w Europie wynosi ok. 4500 m<sup>3</sup>, jest więc niemal trzykrotnie wyższy od wskaźnika w Polsce.

Bardzo ważnym wskaźnikiem świadczącym o możliwości gospodarowania wodą jest ilość wody, jaka jest zgromadzona w zbiornikach retencyjnych. Zbiorniki takie powstają przez spiętrzenia na rzekach. Pozwala to na lepsze wykorzystanie wody szczególnie w okresie niskich przepływów. W Polsce pojemność zbiorników retencyjnych szacowana jest na ok. 3,6 km<sup>3</sup>, co stanowi ok. 6% średniego rocznego odpływu. Jest to mało w porównaniu z takim wskaźnikiem krajów sąsiednich, który zazwyczaj przekracza 10%. Osiągnięcie w Polsce takiego wskaźnika retencjonowania będzie bardzo trudne ze względu na wysoki koszt tych inwestycji, jak również protesty organizacji ekologicznych.

#### Zapotrzebowanie na wodę

Minimalna dzienna ilość wody potrzebna człowiekowi do przeżycia szacowana jest na 2–3 litry. Ocenia się, że dla zaspokojenia dziennych potrzeb komunalnych potrzeba minimum ok. 20–40 litrów. Średnie zużycie wody na dobę przez jednego człowieka w Polsce, tylko do celów komunalnych, wynosi około 150 litrów.

W Polsce – mimo niskich średnich zasobów wodnych, wynoszących ok. 1600 m<sup>3</sup> na mieszkańca rocznie, niskiego współczynnika retencjonowania wód (ok. 6%) – stan zaopatrzenia w wodę przemysłu, rolnictwa i gospodarki komunalnej jest wystarczający w średnich warunkach przepływu. Wynika to z faktu, że polskie rolnictwo pobiera bardzo mało wody do nawodnień. Ilość ta nie przekracza 10% całkowitego poboru, podczas gdy w wielu krajach Europy jest on bardzo



Rys. 3. Schematyczne przedstawienie wody zielonej i niebieskiej w cyklu hydrologicznym; ET – ewapotranspiracja, źródło: Stockholm Water Front

wysoki, przekraczający nawet 50% całkowitego poboru wody. W Polsce w przypadku przepływów niskich sytuacja zaopatrzenia w wodę może być krytyczna.

Powszechnie znany jest tzw. współczynnik eksploatacji wody (ang. *water exploitation index* – WEI, European Environmental Agency), który jest stosunkiem całkowitego poboru wody do różnych celów i dostępnych zasobów wodnych (roczny odpływ rzeczny). Współczynnik ten dla krajów europejskich przedstawiono na rys. 2. W tym ujęciu Polska, uwzględniając pobór wody do chłodzenia kondensatorów turbin elektrowni ciepłych, ma WEI równy ok. 18%, natomiast uwzględniając jedynie pobór do celów komunalnych i rolniczych Polska jest w środku krajów europejskich, tuż poniżej Francji. Wartość tego współczynnika poniżej 20% oznacza sytuację niezagrażającą (ang. *non stressed*). Pobór wody do chłodzenia kondensatorów turbin jest w naszym kraju dosyć istotny, bowiem elektrownie ciepłe stanowią zasadnicze źródło energii elektrycznej. W tym ujęciu taki sam WEI będą miały kraje, które mają małe zasoby wodne i mały pobór wody, oraz kraje, które posiadają duże zasoby wodne, ale również duży pobór wody.

Woda, pobrana z wód powierzchniowych do chłodzenia kondensatorów turbin, po przejściu przez nie wraca w tej samej ilości jedynie o podwyższonej temperaturze. Duże ilości wody potrzebne są również w różnych procesach technologicznych w przemyśle ciężkim, spożywczym i farmaceutycznym. Woda jest używana również jako środek do transportu różnych produktów i surowców rurociągami.

Zużycie wody na świecie jest bardzo zróżnicowane. Obecnie 17% poboru to gospodarka komunalna, 16% – przemysł, a 67% – rolnictwo. Zużycie wody w Polsce jest zupełnie inne. Gospodarka komunalna pobiera 13% wody, rolnictwo – 8%, a 79% poboru obejmuje przemysł, w tym energetyka cieplna.

Zużycie wody w wartościach bezwzględnych

w przeliczeniu na mieszkańca jest również bardzo zróżnicowane. Całkowity pobór wody w Polsce wynosi ok. 300 m<sup>3</sup> na mieszkańca rocznie. Średnia poboru dla Europy wynosi ok. 550 m<sup>3</sup>, a średnia światowa to ok. 610 m<sup>3</sup>. Niski pobór wody w Polsce wynika z faktu, że nasze rolnictwo opiera się głównie na opadach atmosferycznych.

#### Jakie mamy rodzaje wody?

##### Woda niebieska i zielona

Jeszcze w połowie ubiegłego wieku ludzie nie zdawali sobie sprawy z ważności wody dla rozwoju i życia flory oraz fauny, a także z tego, że woda będzie podstawowym czynnikiem rozwoju gospodarczego i społecznego. Stąd obecnie coraz częściej mówi się o wodzie.

Niegdyś uważano, że woda jest niebieska, sugerując się kolorem nieba odbijającego się w zwierciadle wody. Z biegiem czasu ukuto określenie – woda zielona, jest to woda związana z roślinami i ewapotranspiracją. Na rys. 3 przedstawiono schematycznie obieg wody na kuli ziemskiej oraz co rozumiemy pod pojęciem wody niebieskiej i wody zielonej.

Okazuje się, że ok. 70% strumienia wody zielonej w formie ewapotranspiracji z roślin do atmosfery pochodzi z obszarów leśnych, łąk i mokradeł. Około 10% wody parującej z roślin do atmosfery pochodzi z upraw rolnych. Jeżeli zwiększymy uprawy rolne, a tym samym ewapotranspirację, to część wody niebieskiej zmienimy na zieloną i tym samym zaburzymy istniejący cykl hydrologiczny. A w ten sposób zmniejszymy odpływ wody z łądów do mórz i oceanów (woda niebieska), co może mieć poważne konsekwencje w bilansie wodnym na kuli ziemskiej. Warto zwrócić uwagę, że wzrost obszarów zasiewu roślin na biopaliwa czy biomasę do spalania będzie wymagać znaczących ilości wody, co może zmienić globalny bilans wody.

##### Woda wirtualna

Określenie to pojawiło się stosunkowo niedawno i zyskuje coraz większą popularność. Pod tym pojęciem rozumiemy

ilość wody, jaką trzeba zużyć do wyprodukowania określonego produktu. Oto kilka przykładów dotyczących produktów związanych z rolnictwem. Okazuje się, że filiżanka kawy zawiera 130 litrów wody wirtualnej, czyli prawie tyle, ile wynosi dzienna norma zużycia wody przez jednego człowieka do pokrycia wszystkich jego potrzeb komunalnych (kąpiel, toaleta, pranie, posiłki). Te 130 litrów wody potrzeba do wyhodowania ziarna kawy, ich zebrania, przetworzenia i dostarczenia do punktów sprzedaży. Nie określamy tu, czy woda ta pochodzi z opadów atmosferycznych czy z nawodnień. Na wyprodukowanie kromki chleba zużywamy 40 litrów wody wirtualnej. Na wyprodukowanie 1 kg wołowiny potrzebujemy aż 15 000 litrów wody wirtualnej, a na wytworzenie 1 kg pszenicy – 1500 litrów. Często uważa się, że eksport żywności może być utożsamiany z eksportem wody, która była potrzebna do wytworzenia tej żywności.

#### Woda czarna

W ostatnich latach powstało jeszcze jedno nowe określenie – woda czarna. Nabiera ono coraz większego znaczenia. Jaka jest geneza tego określenia? Na całym świecie widoczny jest proces urbanizacji. Przed kilkoma laty liczba ludności w skali globu w miastach i na wsi wyrównała się. W Polsce mamy znaczną przewagę liczebną ludności zamieszkującej w miastach nad tą zamieszkującą na wsi. Z tym wiąże się bardzo trudny problem – dostarczenia odpowiedniej ilości wody do celów komunalnych do dużych aglomeracji miejskich, a jeszcze trudniejszy jest proces odprowadzenia ścieków i ich oczyszczenia z zanieczyszczeń mechanicznych, chemicznych i biologicznych. Rosnąca liczba ludności w miastach, ale również coraz bardziej rozbudowane sieci kanalizacyjne, obejmujące również obszary wiejskie, stwarzają poważny problem. Woda zanieczyszczona z obszarów miejskich i zakładów przemysłowych to właśnie woda czarna. Woda odzyskana ze ścieków, po ich oczyszczeniu, stanowi dziś istotnie źródło zaopatrzenia w wodę. W zależności od stopnia oczyszczenia ta tzw. woda czarna może być wykorzystana do różnych celów, jak np. w przemyśle czy do nawodnień. Po odpowiednim oczyszczeniu woda ta może być odprowadzona z powrotem do rzek, skąd została pobrana.

#### Zanieczyszczenia termiczne wód powierzchniowych

Problem zanieczyszczenia termicznego (ang. *thermal pollution*) wód powierzchniowych był znany już bardzo dawno, jako tzw. wody podgrzane związane z pracą elektrowni ciepłych. Bardzo korzystny z punktu widzenia elektrowni był pobór wody do chłodzenia z rzek, zbiorników retencyjnych czy jezior i odprowadzenia ich w tej samej ilości, ale o podwyższonej temperaturze, zazwyczaj ok. 10°C. Z biegiem czasu zaczęły powstawać coraz bardziej rygorystyczne ograniczenia temperatury wody, podyktowane głównie względami ekologicznymi. Takie rozwiązania znane są w postaci otwartych obiegów wody chłodzącej. Elektrownia ciepła o mocy 1000 MW wymaga poboru wody chłodzącej o natężeniu ok. 30 m<sup>3</sup>/s. Zrzut wody podgrzanej znajduje się zawsze poniżej ujęcia, tak aby uniknąć recykulacji, czyli ponownego poboru wody już podgrzanej. Konstrukcja zrzutu wód

podgrzanych pozwalała na odprowadzenie wody podgrzanej, tak aby rozprzynała się na powierzchni odbiornika bądź aby następowo szybsze mieszanie się wody chłodnej i podgrzanej. Rozwiązanie pierwsze powoduje szybsze oddawanie ciepła do atmosfery, wynikające z wyższej różnicy temperatur wody na powierzchni odbiornika i atmosfery, ale konsekwencją tego jest większe podwyższenie temperatury wody w rejonie zrzutu. Rozwiązanie drugie dawało w efekcie szybsze obniżenie temperatury wody w odbiorniku, ale tym samym wolniejszy proces oddawania ciepła z powierzchni wody do atmosfery. Takie rozwiązania mają swoje korzyści techniczne, ale również poważne konsekwencje ekologiczne. W niektórych przypadkach zrzuty wód podgrzanych do rzek powodowały znaczące zmiany reżimu lodowego. Szacuje się, że w wyniku zrzutu wód podgrzanych zwiększa się parowanie ze swobodnej powierzchni, oceniane na ok. 0,5 do 0,8% przepływu wód podgrzanych, zależnie od konstrukcji zrzutu oraz warunków meteorologicznych. Obecnie ze względów środowiskowych istnieją ograniczenia maksymalnej temperatury wody w rejonie zrzutu. Może to powodować ograniczenie produkcji energii elektrycznej.

#### Woda i energia

Tegoroczny SDW ma po raz pierwszy rozbudowane hasło: „Woda i energia”, ponieważ są to dwie dziedziny wzajemnie od siebie zależne. Dlatego też warto zwrócić uwagę na bardzo istotny fakt, że obecnie ok. 8% całej wyprodukowanej energii elektrycznej zużywa się na pobór wody, jej transport rurociągami, oczyszczanie i uzdatnienie, doprowadzenie do końcowych użytkowników oraz odprowadzenie ścieków. Ten poważny wydatek energii związany jest z tym, że coraz częściej stosujemy przesył wody rurociągami pod ciśnieniem wypierający przepływ grawitacyjny kanałami otwartymi, który uwarunkowany jest konfiguracją terenu, ale również większymi stratami wody na parowanie.

Na początku XXI wieku powszechne było stwierdzenie: Gdyby wszyscy mieszkańcy kuli ziemskiej mieli odpowiedni dostęp do wody i energii, wiele społecznych problemów mogłoby być rozwiązanych. Stwierdzenie to jest nadal w pełni uzasadnione. W poprzedniej części mówiliśmy już, że prawie jeden miliard ludzi nie ma dostępu do zdrowej wody do picia, a ponad 2 miliardy nie mają dostępu do odpowiednich urządzeń sanitarnych. Okazuje się ponadto, że ok. 1,3 miliarda ludzi nie ma dostępu do elektryczności, co obecnie jest poważnym ograniczeniem rozwoju społecznego i ekonomicznego.

Woda i energia są ściśle ze sobą powiązane. Potrzebujemy wody przy wytwarzaniu energii elektrycznej, do chłodzenia, magazynowania energii (elektrownie szczytowo-pompowe), wytwarzania biopaliw i w klasycznej energetyce wodnej. Potrzebujemy również energii do pompowania wody, oczyszczania ścieków i odsalania. Woda i energia są również niezbędne przy produkcji żywności koniecznej dla stale rosnącej liczby ludności.

Podstawowe surowce energetyczne (nieodnawialne), takie jak węgiel, ropa naftowa, gaz czy ruda uranowa, ulegają wyczerpywaniu

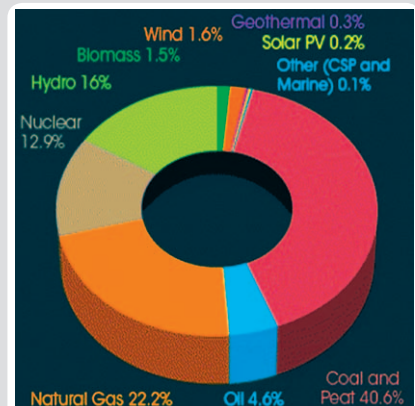
i dlatego cały świat poszukuje odnawialnych źródeł. Niektóre z nich, takie jak energia wiatru czy wiatru, były znane już przed tysiącami lat, inne pojawiają się dopiero ostatnio w wyniku nowych rozwiązań technologicznych (fotowoltaika). Dziś na energię wodę musimy spojrzeć całościowo nie tylko w ramach pojedynczego sektora, ale również uwzględniając dobro całego społeczeństwa czy ekosystemu. Rozwiązanie tych problemów wymaga nie tylko spojrzenia lokalnego, ale również regionalnego, międzynarodowego czy nawet globalnego.

Wiadomo, że woda jest niezbędna do życia wszelkich istot żywych i roślin, trudno wyobrazić sobie egzystencję społeczeństw bez energii. Szczególnego znaczenia nabiera energia elektryczna, która jest w coraz powszechniejszym użyciu. Nawet jej chwilowy brak powoduje obecnie pełny paraliż w życiu społecznym i gospodarczym.

Podstawowymi czynnikami rządzącymi zapotrzebowaniem na wodę i energię są demografia i standard życia. Problemy te wykraczają bardzo często poza obszary poszczególnych państw, dorzeczy czy sieci energetycznych. Współpraca w tych obszarach musi polegać na osiąganiu korzyści dla całości systemów, a nie tylko poszczególnych sektorów, jak również dążeniu do uzyskania zrównoważonego rozwoju.

#### Struktura globalnej produkcji energii elektrycznej

Warto zwrócić uwagę, że ponad 50% energii elektrycznej w skali globalnej wytwarzane jest w elektrowniach wymagających wody chłodzącej kondensatory



Rys. 4. Źródła wytwarzania energii elektrycznej w ujęciu globalnym w procentach, źródło: Internet materiały do WWD 2014

turbin (węgiel i energia jądrowa), a znaczną jej część – 16% energii elektrycznej – wytwarzają elektrownie wodne. Prognozy wskazują, że do 2035 roku udział energetyki wodnej w produkcji energii elektrycznej utrzyma się na tym samym poziomie, to jest ok. 16%. W związku z tym, że następuje systematyczny wzrost wytwarzania energii elektrycznej na świecie, zarówno w wartościach bezwzględnych, jak również i na pojedynczego konsumenta, to potrzebny będzie wzrost produkcji energii elektrycznej w elektrowniach wodnych, tak aby utrzymać w nadchodzących latach poziom 16%. Procentowy udział innych źródeł energii elektrycznej będzie natomiast ulegał zmianie.

Dziś energia elektryczna pochodząca z falowania i pływów stanowi marginalny procent. Teoretyczne zasoby tej energii są jednak ogromne i wykorzystanie ich nawet w niewielkim procencie mogłoby pokryć całe światowe zapotrzebowanie na energię elektryczną. Problem jest jednak w możliwościach technicznych wykorzystania i opłacalności ekonomicznej.

#### Dostępność zasobów wodnych wykorzystywanych do celów energetycznych

Zasoby wodne są wykorzystywane do celów energetycznych przede wszystkim w elektrowniach wodnych oraz elektrowniach ciepłych. Energetyka wodna dotyczy dwóch parametrów: spad wody (różnica poziomów wody górnej i dolnej) oraz natężenie przepływu. Oba te parametry w sposób jednakowy rzutują na uzyskaną moc. Taką samą moc możemy uzyskać z dużego spadku i małego przepływu, jak również z dużego przepływu i małego spadku. Pierwszy wariant jest bardziej korzystny ze względów ekonomicznych, bo wymaga mniejszych gabarytowo turbin, a tym samym mniejszej elektrowni wodnej.

Wariant drugi to głównie stopnie wodne na rzekach nizinnych ze zbiornikami przepływowymi, których podstawowym celem jest utrzymanie poziomu wody górnej niezależnie od przepływu.

Praca elektrowni wodnych jest ściśle związana z przepuszczaniem odpowiedniej ilości wody przez turbiny, co nie jest zawsze zgodne z aktualnym zapotrzebowaniem na wodę do innych celów. Jeżeli przy elektrowni wodnej działa zbiornik wyrównawczy, wielozadaniowy, to istnieje konieczność uzgodnienia sposobu jego wykorzystania, co z kolei wymaga kompromisów ze strony użytkowników. Warto przypomnieć, że elektrownie wodne charakteryzują się dużą elastycznością pracy i wysoką sprawnością przy wykorzystaniu przepływu oraz spadku mniejszego i większego od instalowanego. Ponadto włączenie do pracy elektrowni wodnej, czy jej wyłączenie jest bardzo proste i szybkie.

Należy ponadto przypomnieć, że elektrownie wodne nie zużywają wody, ta sama ilość wody dopływa do elektrowni wodnej i z niej wypływa. Elektrownia wodna nie powoduje również zanieczyszczeń środowiska wodnego.

Mankamentem obiektów hydroenergetycznych jest przerwanie ciągłości rzeki. Wyjściem z tej sytuacji są coraz bardziej rozbudowane i efektywne przepławki pozwalające na migrację ryb, zarówno w górę, jak i w dół rzeki.

Rozwój sektorów wody i energii jest wzajemnie ograniczony czynnikami naturalnymi i technologicznymi, jak również zmianami socjoekonomicznymi. Woda staje się obecnie istotnym czynnikiem ograniczającym produkcję energii. Istnieje również oddziaływanie wytwarzania energii na środowisko wodne. Poniżej stopni wodnych występują zmiany w hydrodynamice rzek, a poniżej zrzutów wód podgrzanych zmianie ulega reżim termiczny.

W przypadku zastosowania do chłodzenia wież chłodzących konieczne jest zapewnienie uzupełnienia wody chłodzącej znajdującej się w obiegu. Proces chłodzenia w wieżach chłodzących oparty jest głównie

na parowaniu. Uzupełnienie objętości wody chłodzącej wynosi ok. 2,5–3,0% wody będącej w obiegu, zależnie od warunków meteorologicznych. Dla objętości wody będącej w obiegu chłodzącym  $Q = 30 \text{ m}^3/\text{s}$  uzupełnienie wyniesie ok. 0,8–0,9  $\text{m}^3/\text{s}$ .

Nie określono dotąd synergetycznego oddziaływania wody i energii. Jak działania w obu sektorach mogą wpływać na zrównoważony rozwój? Oba sektory mają swoje ograniczenia i dlatego konieczne jest określenie, jakie są zakresy tych ograniczeń dla całego obszaru wody i energii. Takie podejście wymaga innowacyjnego myślenia nie tylko z punktu widzenia wody czy energii, lecz ich obu łącznie.

#### Zrównoważony rozwój sektora hydroenergetycznego

Rosnące zapotrzebowanie na wodę wymaga coraz częstszego magazynowania wody w zbiornikach retencyjnych, aby uniknąć lokalnych i czasowych niedoborów wody czy braków w ochronie przeciwpowodziowej. Każde spiętrzenie wody stwarza możliwość wykorzystania hydroenergetycznego. W większości przypadków zbiorniki retencyjne mają charakter wielozadaniowy, co stwarza konfliktowe sytuacje przy ich eksploatacji. Dla hydroenergetyki ideałem jest utrzymanie maksymalnego poziomu piętrzenia w zbiorniku ze względu na wysoki spadek dla elektrowni wodnej, natomiast dla ochrony przeciwpowodziowej konieczne jest utrzymanie rezerwy powodziowej w zbiorniku. Nie zawsze zapotrzebowanie na wodę do różnych celów pokrywa się z zapotrzebowaniem na energię elektryczną. Warto zwrócić uwagę, że wykorzystanie wody ze zbiorników retencyjnych ma również szeroki aspekt społeczny i ekologiczny. Bardzo ważną staje się rekreacyjna funkcja wszystkich zbiorników wodnych.

#### Rozwój aglomeracji miejskich uwarunkowany wodą i energią

Na całym świecie obserwujemy intensywny rozwój aglomeracji miejskich. W skali globalnej liczba ludności w miastach przekroczyła w 2012 roku liczbę ludności zamieszkującą na wsi. Aglomeracje miejskie stają się bardzo skomplikowanymi systemami, które muszą zapewnić odpowiednią ilość wody dla ich mieszkańców i zakładów przemysłowych, lecz także energię elektryczną, ciepło, jak również odprowadzenie i oczyszczenie ścieków. Poważnym problemem w aglomeracjach miejskich są również lokalne powodzie wywołane nawałnymi deszczami. Mówiąc o zrównoważonym rozwoju miast konieczne jest wzięcie pod uwagę stanu obecnego, jak również sytuacji przyszłościowych. Do zapewnienia zrównoważonego rozwoju miast konieczna jest również znajomość przyszłościowych technologii, które mogą całkowicie odmienić obecne sposoby zarządzania wodą, energią i odprowadzeniem ścieków.

#### Woda, energia a bezpieczeństwo ekosystemów

Woda jest niezbędna do wytwarzania energii, wydobywania, przetwórstwa gazu i ropy oraz produkcji żywności. Woda jest również niezbędna do funkcjonowania ekosystemów wodnych. Wzrastające zapotrzebowanie na energię i produkcję żywności stwarza niebezpieczeństwo nie tylko dla

wielu prywatnych i publicznych sektorów, ale również funkcjonowania ekosystemów. Jednocześnie należy brać pod uwagę rozwój technologii i innowacyjność, które są w stanie zapewnić zrównoważony rozwój. Wielokrotnie zachowanie ekosystemów było postrzegane jako ograniczenie dla zwiększenia produkcji żywności, jak również realizacji wielu inwestycji. Rozwiązanie tych problemów w różnej skali wymaga bardzo dokładnych analiz dotyczących możliwości rozwoju poszczególnych sektorów w aspekcie zachowania ekosystemów.

#### Jak wykorzystać łącznie środki złagodzenia i dostosowania do zmian klimatycznych w sektorze wody i energii?

Obecnie wytwarzanie energii i jej użytkowanie są odpowiedzialne za emisję 70% gazów cieplarnianych. Ostatni Raport IPCC przedstawiony we wrześniu 2013 roku jednoznacznie stwierdza, że występuje wyraźne ocieplenie klimatu kuli ziemskiej i za ten wzrost odpowiedzialna jest działalność człowieka. Energia jest podstawą poboru i rozdziału wody oraz oczyszczania ścieków. Cykl hydrologiczny jest szczególnie czuły na wszelkiego rodzaju zmiany klimatyczne. Dlatego też wszelkie działania na rzecz dostosowania się czy złagodzenia skutków zmian klimatycznych mają bardzo silny wpływ zarówno na energię, jak i wodę. Konieczne jest dostosowanie się do sytuacji, jakie niosą zmiany klimatyczne. Dobre zrozumienie wzajemnych oddziaływań zmian klimatycznych na sektor wody i energii ma szczególne znaczenie w wyborze polityki planowania i działania. Przy planowaniu w gospodarce wodnej konieczne jest przyjęcie długofalowych planów, które będą konsekwentnie realizowane z możliwością dokonywania ich okresowych analiz i niezbędnych korekt.

#### Zintegrowana polityka w sektorach wody i energii

Okazuje się, że woda i energia tworzą dwa bardzo odrębne sektory, a zarządzający nimi nie zdają sobie sprawy, że podejmowane decyzje planistyczne i inwestycyjne w jednym sektorze w dużym stopniu wpływają na drugi sektor. Dziś konieczne jest zrozumienie, że woda i energia to nie są dwa sektory, ale jeden bardzo ściśle ze sobą powiązany. Zintegrowane zarządzanie zasobami wodnymi doprowadziło do alokacji zasobów wodnych między poszczególnymi użytkownikami. Natomiast łączne zarządzanie obu sektorami pozostaje nadal fragmentaryczne. Nowe realia planistyczne powinny brać ściśle pod uwagę obszary zarządzania, globalne ocieplenie, konkurencyjność w obu sektorach, jak również innowacyjne technologie.

#### Zwalczanie biedy po 2015 roku: zapewnienie dostępu do energii, żywności i wody

Zapotrzebowanie na wodę, energię i żywność wzrasta w sposób znaczący na całym świecie. Globalne bezpieczeństwo, jeżeli chodzi o wodę i energię, jest nadal dalekie od spełnienia. Około 1,3 miliarda ludzi nie ma dostępu do elektryczności, prawie 0,8 miliarda nie korzysta z bezpiecznej wody do picia, a prawie 2,5 miliarda nie korzysta z prawidłowych urządzeń sanitarnych. Dodatkowo

ok. 0,8 miliarda ludzi jest niedożywionych. Brak możliwości dostępu do składników pozwalających zaspokoić podstawowe potrzeby życiowe (woda, energia, żywność) powoduje, że wielu ludzi żyje w biedzie i wykluczeniu. Spełnienie podstawowych potrzeb w zakresie energii i żywności będzie przede wszystkim uwarunkowane zapewnieniem odpowiednich zasobów wodnych. W 2012 roku na Szczycie Rio + 20 w deklaracji „Przyszłość, jakiej chcemy”, zarówno w rozdziale poświęconym energii, jak i w rozdziale dedykowanym wodzie nie było żadnych wzajemnych odwołań. Świadczy to o braku zrozumienia tych obu sektorów, tak w sferze politycznej, jak i organizacyjnej. Niezbędny jest również udział nauki i badań w celu połączenia zarządzania obu sektorów.

---

#### *Bibliografia*

1. Majewski W., Światowy Dzień Wody 2006, *Gospodarka Wodna* 2006, nr 3.
2. Majewski W., Introduction to Water Resources Management in Environmental Engineering, Wydawnictwo IBW PAN 2005.

---

#### **Wojciech Majewski**

prof. dr hab. inż.

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej PIB w Warszawie

e-mail: [wmaj@ibwpan.gda.pl](mailto:wmaj@ibwpan.gda.pl)

Absolwent Wydziału Budownictwa Wodnego Politechniki Gdańskiej oraz studiów podyplomowych Uniwersytetu w Glasgow. Od 1990 roku jest profesorem tytularnym o specjalności inżynieria i gospodarka wodna. Pracuje w IMGW-PIB w Warszawie. Jest wiceprzewodniczącym Komitetu Gospodarki Wodnej PAN. Kierował realizacją wielu ważnych projektów krajowych i międzynarodowych dotyczących hydrauliki, hydrologii i inżynierii wodnej. Uczestniczy w krajowych i międzynarodowych konferencjach, przedstawiając referaty i referaty generalne. Był promotorem wielu prac doktorskich oraz recenzentem prac doktorskich, habilitacyjnych i dorobku naukowego na tytuł profesora. Jest autorem ponad 350 publikacji w języku polskim i angielskim z dziedziny inżynierii i gospodarki wodnej. Wybitny autorytet inżynierski i naukowy w kraju i za granicą.