

ARKADIUSZ KAMIŃSKI¹, AGNIESZKA PUSZ²¹Polski Koncern Naftowy ORLEN S.A., email: arkadiusz.kaminski@orlen.pl²Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska**WODA A ENERGETYKA W OBLICZU WYZWAŃ
I REALIZACJI CELÓW ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU**

Świadomość, że woda pokrywa 72% powierzchni globu, powoduje, że traktujemy ją jako dobro nieograniczone i ogólnodostępne. Wzrost populacji ludzi związany jest z potrzebami w zakresie wytwarzania żywności oraz energii, a do tego woda jest niezbędna. Woda wykorzystywana jest w gospodarstwach domowych w rolnictwie, w transporcie wodnym, w produkcji energii elektrycznej i we wszystkich gałęziach przemysłu. Potrzeby poszczególnych sektorów gospodarki, w zakresie wykorzystania zasobów wodnych, mogą się różnić, a nawet być przeciwstawne. Dlatego rola właściwego zarządzania zasobami wodnymi jest bardzo istotna. Powinna uwzględniać zarówno potrzeby ludności i gospodarki, jak i wymagania ochrony wód i ekosystemów z nimi związanych oraz kwestie dotyczące ochrony przed powodzią i suszą.

Słowa kluczowe: zrównoważony rozwój, energetyka, woda, zasoby wodne

I. WSTĘP

Postęp techniczny i technologiczny prowadzi do rozwoju ludzkości oraz rozwoju i wzrostu gospodarczego. Kluczem do tego jest energia. Energetyka z kolei to poszukiwanie, pozyskiwanie, przetwarzanie, gromadzenie oraz użytkowanie różnych form i nośników energii. Jednym z zasobów, niezbędnych do rozwoju, użytkowanym w energetyce jest woda. Woda to źródło życia, najbardziej rozpowszechniony, a zarazem najważniejszy związek chemiczny na naszej planecie i przede wszystkim główny składnik organizmu człowieka. To jedyna substancja występująca w trzech stanach skupienia. Dla większości z nas swobodny dostęp do wody pitnej jest czymś oczywistym. Odgrywa ona bardzo dużą rolę w przyrodzie i jest czynnikiem kształtującym krajobraz.

Zasoby wodne i energia to kluczowe determinanty zapewnienia warunków do zrównoważonego rozwoju cywilizacyjnego w ujęciu zarówno globalnym, jak i lokalnym. Pojęcie zrównoważonego rozwoju zostało sformułowane przez Hansa Carla von Carlowitza w 1713 roku w dziele pt. *Sylvicultura oeconomica* [Von Carlovitz 2018], które było poświęcone odbudowie zasobów leśnych w Saksonii, wyniszczonych z powodu nadmiernego zużycia drewna na potrzeby wydobywania rud żelaza i intensywnym rozwojem gospodarczym regionu. Von Carlowitz wprowadził zasady uregulowanego oraz przyszłościowego gospodarowania lasami. Wkrótce zaproponowany przez niego model przyjął się w leśnictwie na terenie dzisiejszych Niemiec, a następnie w Europie i na świecie.

Sformułowanie von Carlowitza rozszerzało z biegiem czasu swój zakres pojęciowy, by wreszcie w XX wieku przyjąć następującą formę: proces przemian, zapewniający zaspokajanie potrzeb obecnego pokolenia bez umniejszania szans rozwojowych przyszłych generacji. Takie

rozumienie pojęcia zostało rozpowszechnione dzięki raportowi pt. „Nasza wspólna przyszłość” („raport Brundtland”), który został opublikowany w 1987 r. przez Światową Komisję ds. Środowiska i Rozwoju, działającą od 1983 r. przy ONZ [WCED 1991].

Prace nad koncepcją zrównoważonego rozwoju były kontynuowane podczas Szczytu Ziemi w 1992 roku. Kolejnym etapem w działaniach na rzecz zrównoważonego rozwoju stała się Deklaracja Milenijna Narodów Zjednoczonych z 2000 r. [Deklaracja ... 2000], w której określone zostały Milenijne Cele Rozwoju. Ich realizacja do 2015 roku miała pozwolić na skuteczne stawienie czoła wyzwaniom XXI wieku. Milenijne Cele Rozwoju zostały zastąpione w 2015 roku przez Cele Zrównoważonego Rozwoju zawarte w Agendzie Rozwojowej ONZ nt. „Przekształcanie naszego świata: Agenda na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju – 2030”, która zawiera 17 celów i 169 zadań [Agenda 2015].

Na gruncie polskojęzycznym, zasada zrównoważonego rozwoju pojawia się w Konstytucji Rzeczypospolitej Polskiej [Konstytucja 1997], a w ustawie Prawo Ochrony Środowiska zrównoważony rozwój definiowany jest jako rozwój społeczno-gospodarczy, w którym następuje proces integrowania działań politycznych, gospodarczych i społecznych, z zachowaniem równowagi przyrodniczej oraz trwałości podstawowych procesów przyrodniczych, w celu zagwarantowania możliwości zaspokajania podstawowych potrzeb poszczególnych społeczności lub obywateli zarówno współczesnego, jak i przyszłych pokoleń [Ustawa POŚ 2001].

Koncepcję rozwoju zrównoważonego precyzują dwa dokumenty przyjęte w 1992 roku na Konferencji Narodów Zjednoczonych (Konferencja Szczyt Ziemi) „Środowisko i Rozwój” w Rio de Janeiro. Pierwszym dokumentem jest „Deklaracja w sprawie Środowiska i Rozwoju” (27 zasad), drugim – Agenda 21 (Globalny Program Działań). W związku z powyższym rok 1992 nazywany został „początkiem ery ekologicznej”.

Koncepcja rozwoju zrównoważonego to wynik ewolucji idei postępu, od technokratycznie pojmowanego wzrostu gospodarczego (produkcja, konsumpcja, postęp technologiczny), poprzez ekorozwój (rozwój planowany i realizowany z uwzględnieniem możliwości i skutków środowiskowych), do współczesnej wielodyscyplinarnej i humanitarnej koncepcji (Powszechna Deklaracja Praw Człowieka), w której podmiotem jest człowiek, a zwłaszcza jego prawo do zdrowego i produktywnego życia w zgodzie z naturą, pomyślności globalnej zbiorowości ludzi, sprawiedliwości międzypokoleniowej oraz samorealizacji jednostki. Zatem rozwój zrównoważony można postrzegać jako alternatywę globalizacji.

Cele Zrównoważonego Rozwoju i powiązane z nimi zadania są współzależne i zapewniają równowagę pomiędzy trzema aspektami: gospodarczym, społecznym i środowiskowym. W odniesieniu do zasobów wodnych ważnymi są: cel numer 6 – „Zapewnić wszystkim ludziom dostęp do wody i warunków sanitarnych poprzez zrównoważoną gospodarkę zasobami wodnymi”, cel numer 7 – „Zapewnić wszystkim dostęp do źródeł stabilnej, zrównoważonej i nowoczesnej energii po przystępnej cenie” oraz cel numer 14 – „Chronić oceany, morza i zasoby morskie oraz wykorzystywać je w sposób zrównoważony”.

W artykule podjęto próbę zwrócenia uwagi na zasoby wodne w świetle konieczności realizacji celów zrównoważonego rozwoju ONZ, w obliczu rosnącej populacji ludności na Ziemi. Zwrócono uwagę na państwa oraz sektory zużywające najwięcej zasobów wodnych.

II. METODA PRACY

Opracowanie jest artykułem przeglądowym, opartym na studium problemu i analizie wybranego piśmiennictwa, w tym światowych polityk, trendów i netografii. Ponieważ transformacja energetyczna i rodzaj stosowanych nośników energii będą miały wpływ na emisje gazów cieplarnianych, dostęp do form i nośników energii oraz na bezpieczeństwo energetyczne, przeanalizowano dostępne dane w zakresie ilości zużywanej energii pierwotnej. Przedstawiono

politykę wybranych państw w omawianym zakresie oraz kierunki, w których mogą podążać w celu przejścia na gospodarkę niskoemisyjną, tak aby osiągnąć cele zrównoważonego rozwoju, neutralność klimatyczną, a jednocześnie zapewnić dostęp do wody, która jest jednym z zasobów istotnych do życia.

III. LUDZIE, ZASOBY WODNE, ZUŻYCIE WODY, ENERGIA

W latach 1970-2020 światowa populacja podwoiła się a wskaźnik urbanizacji wzrósł o 50%, co wpłynęło na skokowy wzrost globalnego zużycia materiałów, zarówno w ujęciu jednostkowym, jak i całej planety. Wzrost ten przyczynił się do większego zanieczyszczenia gruntów, jezior, rzek i oceanów, a także przeludnienia miast i większego zapotrzebowania na grunty rolne i słodką wodę (wkraczając z kolei w naturalne ekosystemy). W konsekwencji obecnie konsumowanych jest 1,6 razy więcej zasobów, niż pozwalają na to możliwości regeneracyjne Ziemi [Deloitte 2018]. Jak wynika ze statystyk i badań naukowych [Oberle i in. 2019], przez ostatnie 50 lat roczne światowe wydobycie surowców potroiło się i nadal wzrasta. Każdego roku wydobywane jest około 60 miliardów ton surowców, co w przeliczeniu daje aż 22 kg na osobę dziennie. Na świecie wytwarzanych jest ponad 11 miliardów ton odpadów rocznie [Material Economics 2018]. Jak wynika z obrad The International Resource Panel [2019 rok], ponad 90% utraty bioróżnorodności oraz deficytu wody spowodowane jest właśnie wydobywaniem i przetwarzaniem zasobów.

Prognozy Organizacji Narodów Zjednoczonych [Food and Agriculture Organization 2022, UN DESA 2022] zakładają, że do 2050 r. liczba ludności na świecie wzrośnie o 1/3, co przełoży się na tempo przenoszenia się do miast oraz 50% wzrost zapotrzebowania na wodę i energię. Według Raportu Ellen MacArthur Foundation [2017] miasta będą odgrywały kluczową rolę jako motory światowej gospodarki. Obecnie na Ziemi żyje około 8 miliardów ludzi. ONZ prognozuje, że do 2100 roku liczba ta wzrośnie do 11 miliardów. Około 54% światowej populacji żyje w obszarach miejskich dających 85% światowej produkcji PKB. Miasta są również miejscami kumulowania materiałów i składników odżywczych, odpowiedzialnymi za 75% zużycia zasobów naturalnych, 50% światowej produkcji odpadów i 60-80% emisji gazów cieplarnianych. Przyszłość wzrostu liczby ludności na świecie ma znaczenie dla przyszłego dobrostanu ludzi i interakcji ze środowiskiem naturalnym [Wilmoth i in. 2021, 2022].

Szacuje się, że na ziemi jest około 1 mld 360 mln km³ wody, ale 97% to woda słona w morzach i oceanach, a tylko 3% to woda słodka, nadająca się do picia dla ludzi i zwierząt. Na całym świecie rocznie zużywamy ponad 4 biliony m³ wody słodkiej (dziennie około 10 miliardów ton). Globalnie około 70% poboru słodkiej wody zużywamy w rolnictwie, 20% do celów przemysłowych a pozostałe 10% w sektorze komunalnym. Na poszczególnych kontynentach, w różnych krajach, zużycie wody w poszczególnych sektorach znacznie się różni. Najwięcej wody na świecie zużywają Indie, Chiny, USA (tabela 1).

Pobór słodkiej wody na potrzeby rolnictwa, przemysłu i użytku komunalnego wzrósł prawie sześciokrotnie od 1900 roku. Wskaźniki światowego zużycia słodkiej wody gwałtownie wzrosły od lat 50. XX wieku, a jej zużycie rośnie od 40 lat, co roku o 1%. Jak pokazują dane ONZ, już w tej chwili z powodu niedostatku wody cierpi ponad 40% światowej populacji i ten odsetek będzie rósł. Obecnie ponad 2 mld ludzi żyje na obszarach o ograniczonym dostępie do wody pitnej, w 2050 r. ten problem będzie dotyczyć co czwartej osoby na świecie.

Na niedobór wody wpływają również zmiany klimatu, w ramach których jej zużycie może powodować straty nawet rzędu 6% PKB do roku 2050, wywierając wpływ na rolnictwo, zdrowie, dochody, ale również migracje. Obserwowane jest obniżenie zasobów odnawialnych wody per capita (o 20% pomiędzy 2000 a 2018 rokiem). W największej mierze obniżenie odnawialnych zasobów wody dotyczy Afryki Subsaharyjskiej (41%), centralnej Azji (30%),

zachodniej Azji (29%), Ameryki Północnej (26%) oraz Europy (3%) [FAO Aquastat 2022]. Według prognoz Światowego Instytutu Zasobów – WRI (ang. *World Resources Institute*) przedstawionych w Raporcie Economist Intelligence Unit na 2040 rok 44 kraje staną w obliczu niezwykle wysokiego lub wysokiego poziomu niedoboru wody [FAO 2022].

Tabela 1 – Table 1

Lista krajów, które obecnie zużywają najwięcej wody na planecie na sprawne funkcjonowanie przemysłu, rolnictwa i gospodarstw domowych dla 2020 r [FAO 2022] / *List of countries that currently use the most water on the planet for the smooth running of industry, agriculture, and households for 2020 [FAO 2022]*

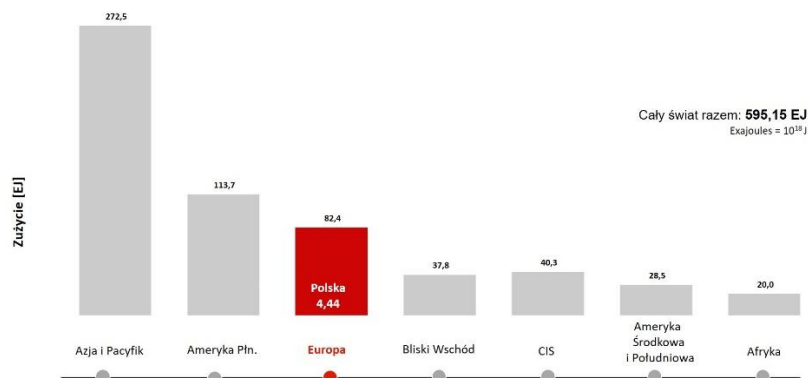
Kraj Country	Zużycie wody Water consumption	Zasoby wodne Water resources	Populacja Population	Pobór na mieszkańca Consumption per capita	Udział przemysłowego zużycia w ogólnym zużyciu wody / Share of industrial consumption in the total water consumption
	mld m ³ /rok	mld m ³ /rok	mln	m ³ /mieszkaniec/dzień	%
Indie	761,00	1 910,99	1 380,00	1,51	2,23
Chiny	581,29	2 840,22	1 471,29	1,08	17,73
USA	444,29	3 069,00	331,01	3,68	47,20
Meksyk	89,55	461,89	128,93	1,90	9,55
Brazylia	67,20	8 647,00	212,56	0,87	14,15
Rosja	64,82	4 525,44	145,93	1,22	44,79
Kanada	36,23	2 902,00	37,74	2,63	75,92
Australia	13,74	492,00	25,49	1,47	21,04
Nowa Zelandia	4,89	327,00	4,82	2,78	24,21
Polska	9,21	60,50	37,85	0,67	63,7

Duże znaczenie dla rozwoju ludzkiego mają, jako zasoby kopalne, nośniki energii w postaci ropy naftowej, węgla i gazu. Działalność człowieka oparta na spalaniu i stosowaniu paliw kopalnych doprowadziła do znacznych antropogenicznych emisji CO₂ do atmosfery, a fakt ten jest obecnie postrzegany, jako główny czynnik przyczyniający się do globalnego ocieplenia i zmiany klimatu. Z drugiej strony te zasoby naturalne poprawiły jakość życia miliardów ludzi zapewniając dostępną, stosunkowo niedrogą energię i surowiec do wszelkiej produkcji dóbr. Zużycie energii pierwotnej w 2021 roku na świecie kształtowało się na poziomie 600 EJ (Exajoules = 10¹⁸J), w tym Europa zużywała około 82,4 EJ, a Polska około 4,44 EJ (rys. 1). Świat potrzebował wtedy 166 000 TWh energii pierwotnej, w tym około 27 000 TWh energii elektrycznej [BP 2021]. Emisja z tym związana kształtowała się na poziomie 35 miliardów ton CO₂. Na całym świecie rocznie zużywamy na mieszkańca 21 093 kilowatogodzin.

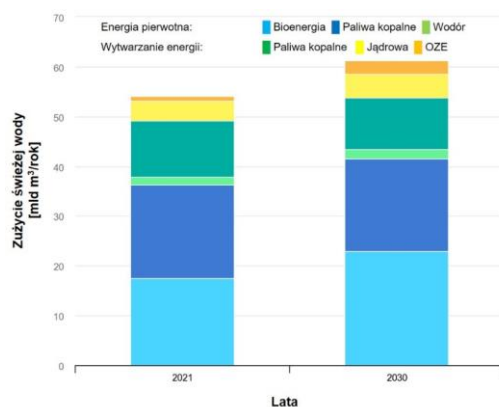
Należy zwrócić uwagę na fakt, że elektrownie produkują terawatogodziny energii. Rysunek 2 przedstawia ilość wody globalnie zużywanej przez światową energetykę wraz z prognozą na 2030 rok. Z danych przedstawionych na tym rysunku wynika, że sektor wytwarzania energii zużywa rocznie około 52-55 mld m³ świeżej wody [IEA 2022].

Z badań przeprowadzonych zarówno przez Międzyrządowy Zespół Zmian Klimatu (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*) oraz Międzynarodową Agencję Energii Odnawialnej (IRENA) wynika, że potencjał odnawialnych źródeł energii jest do wykorzystania. Do 2050 roku wiatr, słońce i inne alternatywne źródła energii mogłyby pokryć od 77 do 86% światowego zapotrzebowania, nawet jeśli zapotrzebowanie na energię elektryczną znacznie wzrośnie, na przykład w wyniku większego wykorzystania samochodów elektrycznych, co pozwoli na redukcję emisji CO₂ o 1/3 (uwzględniając ogólny wzrost zużycia energii). W takim

scenariuszu energia elektryczna byłaby głównym globalnym źródłem energii z 50% udziałem (obecnie jest to około 20%). Wzrost ten wynika z obliczeń, że do 2050 r. na drogach na całym świecie może znajdować się około miliarda samochodów elektrycznych, a energia elektryczna będzie w coraz większym stopniu wykorzystywana do ogrzewania oraz do produkcji wodoru, który z kolei może zastąpić ropę naftową lub olej w transporcie lotniczym i morskim.



Rys. 1. Zużycie energii pierwotnej w 2021 roku w poszczególnych regionach świata [BP 2021]
Fig. 1. Primary energy consumption in 2021 in individual regions of the world [BP 2021]



Rys. 2. Globalne zużycie wody w energetyce według rodzaju wytwarzania paliw i energii w Scenariuszu Zrównoważonym, 2021 i 2030 [BP 2021, IEA 2022]

Fig. 2. Global water consumption in the energy sector by fuel and power generation type in the Sustainable Scenario, 2021 and 2030 [BP 2021, IEA 2022]

IV. POLITYKI I WSKAŹNIKI

Podczas „Szczytu Ziemi” w maju 1992 roku w Rio de Janeiro podpisano Ramową Konwencję Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmian Klimatu UNFCC (ang: *United Nations Framework Convention on Climate Change*), która zmieniła myślenie o środowisku. Międzynarodowym traktatem uzupełniającym UNFCC był Protokół z Kioto z grudnia 1997 roku dotyczący przeciwdziałania globalnemu ociepleniu. Rezolucja

Zgromadzenia Ogólnego A/RES/70/1: w sprawie przyjęcia Agendy rozwojowej po 2015 roku [Przekształcamy nasz świat: Agenda na Rzecz Zrównoważonego Rozwoju 2030] zawiera 17 celów zrównoważonego rozwoju (*The Sustainable Development Goals*) oraz związane z nimi 169 zadań, które mają zostać osiągnięte przez świat do 2030 roku. Dotyczą one osiągnięć w 5 obszarach – tzw. 5xP: ludzie (ang. *people*), planeta (ang. *planet*), dobrobyt (ang. *prosperity*), pokój (ang. *peace*), partnerstwo (ang. *partnership*). W 2015 roku, przyjęto Porozumienie Paryskie (ang. *Paris Agreement*), które zobowiązywało wszystkie kraje do przedstawienia do 2020 roku długoterminowych scenariuszy ograniczenia emisji gazów cieplarnianych zgodnie z metodologią przyjętą przez Międzyrządowy Zespół do Spraw Zmian Klimatu IPCC (ang. *Intergovernmental Panel on Climate Change*). Celem Porozumienia było ograniczenie średniego wzrostu temperatury na Ziemi znacznie poniżej 2°C w latach 1950-2100 oraz dążenie do ograniczenia tego wzrostu do 1,5°C. Porozumienie to dąży także do osiągnięcia neutralności węglowej (ang. *carbon neutrality*) do 2050 roku oraz do adaptacji i ograniczania skutków zmian klimatu, wzmocnienia odporności i niskoemisyjnego rozwoju w sposób, który nie ogranicza produkcji pożywienia.

UE, chcąc być liderem działań w zakresie powstrzymania zmian klimatu, przyjęła plan działań na rzecz zrównoważonej gospodarki o nazwie „Europejski Zielony Ład” (ang. *European Green Deal*), w którym kładzie nacisk na bardziej efektywne wykorzystanie zasobów i przejście na czystą gospodarkę o obiegu zamkniętym (ang. *Circular Economy*), przeciwdziałaniu utracie różnorodności biologicznej i zmniejszeniu poziomu zanieczyszczeń. Europejski Zielony Ład to strategia, której celem jest „przekształcenie UE w sprawiedliwe i prosperujące społeczeństwo żyjące w nowoczesnej, zasobooszczędnej i konkurencyjnej gospodarce, która w 2050 r. osiągnie zerowy poziom emisji gazów cieplarnianych netto, i w ramach której wzrost gospodarczy będzie oddzielony od wykorzystania zasobów naturalnych”. W grudniu 2019 roku Komisja Europejska zaprezentowała pierwszy dokument opisujący „Europejski Zielony Ład”. Choć najmocniejsze akcenty położone zostały na czyste powietrze i energetykę, to również konkretnie identyfikuje on wyzwania związane z wodą, jej niedobory i zanieczyszczenia. Funkcjonuje już odrębna misja w ramach przygotowań Horyzontu Europa (np. zdrowych oceanów, mórz, wód przybrzeżnych i śródlądowych). Ponadto KE dużo uwagi poświęca produkcji żywności, w której woda gra kluczową rolę.

Problem światowych zasobów wody jest przedmiotem zainteresowania jednego z największych programów naukowych – Międzynarodowego Programu Hydrologicznego IHP (ang. *International Hydrological Programme*) nadzorowanego przez UNESCO. Celem tego programu jest, m.in. ocena stanu ekosystemów i zbiorników wodnych, ocena dystrybucji i wykorzystania zasobów wody pitnej oraz poprawa zarządzania niedoborem wody. Co roku, w marcu prezentowany jest aktualny raport na temat wody na świecie – WWDR (ang. *World Water Development Report*), koordynowany przez Program UNESCO Oceny Zasobów Wodnych – WWAP (ang. *UNESCO World Water Assessment Programme*). W ramach Programu, w 2017 roku uruchomiony został System Informacji na temat Wody WINS (ang. *Water Information Network System*), pełniący funkcję ogólnie dostępnej bazy danych na temat zasobów wodnych świata, pomocnej przy planowaniu różnego rodzaju działań, inwestycji czy podejmowaniu decyzji dotyczących zarządzania zasobami wody. WINS ma także służyć krajom członkowskim UNESCO jako narzędzie monitorowania postępu w realizacji Celu 6. Agendy 2030.

Wprowadzane są również nowe wskaźniki w zakresie wody pozwalające na lepsze monitorowanie jej zużycia i zasobów. Pojęcie **stresu wodnego** (ang. *water stress*) dotyczy sytuacji, w której ilość wody o odpowiedniej jakości nie jest wystarczająca, by zaspokoić potrzeby ludzkości i środowiska. Stres wodny powoduje pogorszenie zasobów wody

słodkiej pod względem ilościowym (nadmierna eksploatacja warstwy wodonosnej, wysychanie rzek) i jakościowym (eutrofizacja, zanieczyszczenie materią organiczną, intruzja soli). W porównaniu z pojęciem niedoboru wody sformułowanie stres wodny jest pojęciem bardziej inkluzywnym i szerszym. Uwzględnia kilka fizycznych aspektów związanych z zasobami wodnymi, w tym niedobór wody, ale także jakość wody, przepływy środowiskowe i dostępność wody. Wskaźnik 6.4.2. Celów Zrównoważonego Rozwoju odnosi się do poziomu stresu wodnego, który jest poborem słodkiej wody jako proporcja dostępnych zasobów słodkiej wody, czyli stosunkiem między całkowitą ilością słodkiej wody pobranej przez wszystkie rodzaje działalności gospodarczej, a całkowitymi dostępnymi odnawialnymi zasobami słodkiej wody, biorąc pod uwagę wymagania dotyczące przepływu jej w środowisku. Narzędzie takie, jak Aqueduct Światowego Instytutu Zasobów obrazuje ranking najbardziej cierpiących na niedobór wody krajów prognozowanych na lata 2030 i 2040. Z szacunkowych obliczeń wynika, że niedobory wody w 2040 roku mogą wystąpić w takich krajach jak: Bahrajn, Kuwejt, Palestyna, Katar, San Marino, Singapur, Zjednoczone Emiraty Arabskie, Izrael, Arabia Saudyjska, Oman i Liban oraz Chile, Estonia, Namibia i Botswana.

Wirtualna woda to pojęcie oznaczające rzeczywistą ilość wody, która jest potrzebna do produkcji danego towaru lub uzyskania usługi. Termin ten zaproponował w latach 90. XX w. brytyjski naukowiec John Allan. Jego koncepcja (z 1993 roku) zakładała ideę pomagającą zrozumieć, jak wiele wody jest potrzebne do wyprodukowania różnych produktów i usług. Hoekstra i Chapagain [2006] zdefiniowali zawartość wirtualnej wody w produkcie (towarze, usłudze) jako „objętość słodkiej wody, zużytej do wyprodukowania produktu, zmierzona w miejscu jego produkcji” odnosząca się do sumy zużycia wody na różnych etapach łańcucha produkcji. Na tej bazie zbudowano pojęcie handlu wirtualną wodą.

W 2002 roku Arjen Hoekstra zaproponował mierzenie **śladu wodnego**, czyli ilości wody, która potrzeba jest do wytworzenia zasobów, które na co dzień konsumujemy. Ślad wodny ilustruje zależność pomiędzy konsumowanymi towarami i usługami lub wzorcem konsumpcji, a zużyciem zasobów wodnych i zanieczyszczeniem środowiska. Im bardziej skomplikowany jest proces produkcji danej rzeczy, tym większy jest jej ślad wodny. W związku z rosnącym zainteresowaniem przemysłu śladami wodnymi, założono Water Footprint Network. Celem śladu wodnego jest budowanie świadomości na temat ogromnej ilości wody, której wymagają nasze procesy produkcyjne i styl życia, w celu promowania racjonalnego i zrównoważonego jej użytkowania.

Według Water Footprint Network ślad wodny składa się z trzech elementów w zależności od tego, skąd pochodzi woda:

- *Zielony ślad wodny*; woda pochodząca z opadów atmosferycznych (deszczu lub śniegu), która jest magazynowana w glebie, w strefie korzeni roślin i odparowywana, transpirowana lub wchłaniana przez rośliny. Jest to szczególnie istotne w przypadku produktów rolnych, ogrodniczych i leśnych.
- *Niebieski ślad wodny*; woda, która pochodzi z zasobów wód powierzchniowych lub podziemnych i jest albo odparowywana, włączana do produktu, albo odprowadzana do morza. Nawadnianie rolnictwo, przemysł i zużycie wody w gospodarstwach domowych mogą mieć niebieski ślad wodny, który jest wskaźnikiem konsumpcji wody słodkiej powierzchniowej lub podziemnej.
- *Szary ślad wodny*; ilość świeżej wody potrzebna do przyswojenia (asymilacji) zanieczyszczeń w procesie produkcyjnym, aby spełnić standardy jakości wody, jest on miarą stopnia zanieczyszczenia wód słodkowodnych w procesie produkcji.

Kolejne polityki, zapisy i przepisy związane z dostosowaniem się do zmian klimatu, i transformacji energetycznej na nowo kształtują otoczenie. Przyjęto ambitne cele redukcji gazów cieplarnianych (Porozumienie Paryskie, Europejski Zielony Ład); oczekiwania ludzi i związana z nimi rosnąca świadomość przekładająca się na dostawców produktów i usług oraz zapotrzebowanie na energię niezbędną do wytworzenia zarówno źródeł energii, jak i samej energii, dekarbonizację i zamykanie obiegów. W różnych krajach instytucje rządowe stosują jednak odmienne podejście do kwestii wody i energii.

Chińska polityka klimatyczna została ogłoszona w 2021 roku przed szczytem klimatycznym COP26 w Glasgow. Była to zaktualizowana strategia NDC (ang. *Nationally Determined Contributions*). Zakłada, że przed 2030 roku kraj osiągnie szczyt swoich emisji, po czym będą one już tylko obniżać się. Neutralnym klimatycznie Chiny staną się przed 2060 rokiem. Do 2030 ten kraj ma zamiar obniżyć swój ślad węglowy o 65% wobec poziomu z 2005 roku oraz będą posiadać 1200 GW mocy zainstalowanej w energii wiatrowej i słonecznej. Pomiędzy 2021 a 2022 rokiem Chiny dodały do swojego systemu ponad 1000 GW mocy opartych na węglu. Chiny stały się absolutnym liderem w budowie nowych bloków jądrowych, które oczywiście są źródłem bardzo niskoemisyjnym. Obecnie trwa tam budowa 24 elektrowni atomowych, a działa 54. Pierwsze miejsce zajmują Stany Zjednoczone, posiadając 91,5 GW mocy zainstalowanej w energii atomowej, kolejne Francja z 63,1 GW i Chiny z 50,8 GW.

Indyjska polityka klimatyczna przedstawiona w planie NDC została opublikowana w sierpniu 2022 roku; do 2030 roku Indie zmniejszą emisyjność o 45% w porównaniu do 2005 roku. Do tego samego czasu 50% indyjskich mocy zainstalowanych w energetyce ma pochodzić ze źródeł nieemisyjnych. Według Międzynarodowej Agencji Energii w 2022 roku Indie zainstalowały 175 GW w energii odnawialnej. W 2023 roku prawdopodobnie pracować zaczną kolejne 174 GW, co będzie oznaczać, że 37% energii elektrycznej pochodzić będzie ze źródeł odnawialnych. Szacuje się, że w 2025 roku Indie będą posiadać 280 GW w energii odnawialnej.

Rząd Szwecji poinformował o konieczności wybudowania do 2045 roku co najmniej 10 konwencjonalnych reaktorów jądrowych lub większej ilości ich mniejszych, modułowych odpowiedników. Według prognoz ekspertów w Szwecji w ciągu najbliższych 20 lat dwukrotnie wzrośnie zapotrzebowanie na energię elektryczną w związku z elektryfikacją przemysłu i transportu, mającą ograniczyć emisje gazów cieplarnianych.

Komisja Europejska przedstawiła komunikat pod nazwą REPowerEU (marzec 2022 r.). Dotyczy działań nadzwyczajnych w celu zwiększenia odporności ogólnie unijnego systemu energetycznego przy rosyjskiej inwazji na Ukrainę. Wydano komunikat do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów. Jeden z jego celów zakłada, że do 2025 roku mają zostać zainstalowane nowe panele fotowoltaiczne o mocy ponad 320 GW, a do 2030 roku – o mocy niemal 600 GW. W procesie wyeliminowania gazu ziemnego, węgla i ropy naftowej z gałęzi przemysłu i transportu, kluczową rolę pełni odnawialny wodór. Określono tu cel na poziomie 10 mln ton wewnętrznej produkcji wodoru odnawialnego i 10 mln ton przywozu wodoru odnawialnego do 2030 roku. Komisja zaznacza jednocześnie, że gaz ziemny zastępowany będzie też przez pozostałe formy wodoru wytwarzanego ze źródeł innych niż kopalne, w szczególności przez wodór uzyskany z wykorzystaniem energetyki jądrowej.

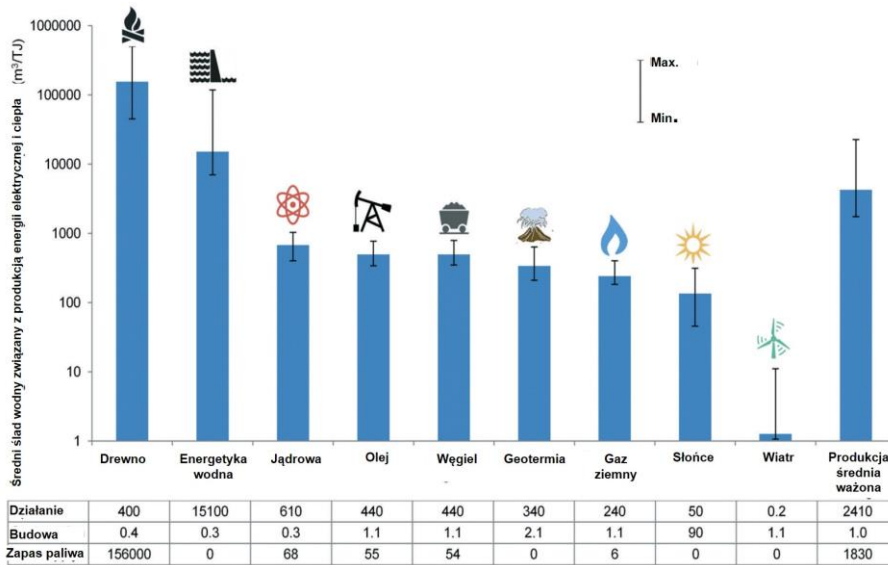
Do realizacji wymienionych polityk niezbędna jest woda. Jej zużycie przez elektrownie waha się w dużym zakresie w zależności od rodzaju paliwa, zastosowanej technologii i rodzaju systemu chłodzenia (tabela 2) [Stolz i in. 2014, Mesfin i in. 2015, IEA 2017, Chandler 2022]. Na rysunku 3 przedstawiono średni ślad wodny na jednostkę wyprodukowanej energii elektrycznej i ciepła w latach 2008-2012 w trzech etapach cyklu życia inwestycji w zależności od sposobu generowania energii [Mesfin i in. 2015].

Tabela 2 – Table 2

Średnie zapotrzebowanie na wodę w elektrowniach konwencjonalnych / Average water demand in conventional power plants

Rodzaj paliwa Fuel type	Średnia zapotrzebowanie na wodę w m ³ na MWh generowanej energii w zależności od sposobu chłodzenia i technologii Average water demand in m ³ per MWh of generated energy depending on the cooling method and technology
Jądrowe / Nuclear	1,02 – 2,30
Gaz ziemny / Natural gas	0,01 – 3,13
Węgiel kamienny / Coal	0,16 – 3,57

za / after Stolz i in. 2014, Mesfin i in. 2015, IEA 2017, Chandler 2022



Rys. 3. Średni ślad wodny na jednostkę wyprodukowanej energii elektrycznej i ciepła [m³/TJ] w latach 2008-2012 [Mesfin i in. 2015]

Fig. 3. Average water footprint per unit of electricity and heat produced [m³/TJ] in 2008-2012 [Mesfin et al. 2015]

Odnawialne źródła energii, jak fotowoltaika wymagają wody. Do produkcji wodoru również niezbędna jest woda (europejski program RePowerEU) w elektrolizerze do jego wytworzenia oraz w innych procesach np. reformowania.

V. REALIZACJA CELÓW ONZ

Cel nr 6. Dostęp do wody, urządzeń sanitarnych i higieny jest prawem człowieka [Sustainable Development Goals ...], ale miliardy ludzi nadal borykają się z codziennymi wyzwaniami w zakresie dostępu nawet do najbardziej podstawowych usług. Przewiduje się, że niedobór wody będzie wzrastał wraz ze wzrostem globalnych temperatur w wyniku zmiany klimatu. W 2020 roku 2,4 miliarda ludzi żyło w krajach dotkniętych niedoborem wody. W 2022 roku 2,2 mld ludzi nadal nie miało dostępu do bezpiecznie zarządzanej wody pitnej, w tym 703 mln było bez podstawowego dostępu do wody; 3,5 miliarda ludzi nie miało dostępu do bezpiecznie zarządzanych urządzeń sanitarnych, w tym 1,5 miliarda nie posiadało podstawowych usług

sanitarnych; a 2 miliardy ludzi nie miało dostępu do podstawowych urządzeń do mycia rąk, w tym 653 miliony ludzi w ogóle nie miało możliwości mycia rąk. Jednocześnie w latach 2015-2022 odnotowano pozytywny postęp, ponieważ odsetek ludności świata mającej dostęp do bezpiecznie zarządzanej wody pitnej wzrósł z 69 do 73%.

Inwestycje w infrastrukturę i urządzenia sanitarne; ochrona i odbudowa ekosystemów wodnych; edukacja w zakresie higieny należą do kroków niezbędnych do zapewnienia wszystkim do roku 2030 powszechnego dostępu do bezpiecznej wody pitnej po przystępnej cenie. Nadal jednak nie jesteśmy na dobrej drodze do osiągnięcia celu nr 6 do 2030 roku. Kluczowe strategie obejmują zwiększenie inwestycji w całym sektorze i budowanie potencjału, promowanie innowacji i działań opartych na dowodach, poprawę międzysektorowej koordynacji i współpracy między wszystkimi zainteresowanymi stronami oraz przyjęcie bardziej zintegrowanego i całościowego podejścia do gospodarki wodnej.

Cel nr 7. Nasze codzienne życie zależy od niezawodnej i niedrogiej energii [Sustainable Development Goals...]. Zużycie energii w największym stopniu przyczynia się do zmiany klimatu i odpowiada za około 60% całkowitej globalnej emisji gazów cieplarnianych. W latach 2015-2021 odsetek światowej populacji mającej dostęp do energii elektrycznej wzrósł z 87 do 91%. W 2021 roku kraje rozwijające się zainstalowały rekordową moc wytwarzania energii odnawialnej wynoszącą 268W na mieszkańca. W 2021 roku na całym świecie nadal 675 milionów ludzi nie miało dostępu do energii elektrycznej. Zapewnienie powszechnego dostępu do niedrogiej energii elektrycznej do 2030 roku oznacza inwestowanie w czyste źródła energii, takie jak energia słoneczna, wiatrowa i ciepła. Rozbudowa infrastruktury i unowocześnienie technologii w celu zapewnienia czystej energii we wszystkich krajach rozwijających się – to kluczowy cel, który może zarówno pobudzić wzrost, jak i pomóc środowisku. Aby zapewnić wszystkim dostęp do energii do 2030 roku, musimy przyspieszyć elektryfikację, zwiększyć inwestycje w energię odnawialną, poprawić efektywność energetyczną oraz opracować sprzyjającą politykę i ramy regulacyjne.

Cel nr 14. Oceany pokrywają trzy czwarte powierzchni Ziemi, zawierają 97% ziemskiej wody i zajmują 99% objętości życia na planecie. Oceany dostarczają m.in. kluczowych zasobów naturalnych, w tym żywności, leków, biopaliw i innych produktów, ich ekosystemy przybrzeżne działają jak bufony ograniczające szkody spowodowane przez burze. Obecnie zanieczyszczenie morza osiąga alarmujący poziom.

Obecnie wartość pH oceanu wynosi około 8,1, czyli obniżyło się o około 30% w porównaniu do czasów przedindustrialnych. Zakwaszenie oceanów zagraża przetrwaniu życia morskiego, zakłóca sieć pokarmową oraz nasze własne bezpieczeństwo żywnościowe. Zarządzanie tym niezbędnym globalnym zasobem jest kluczową cechą zrównoważonej przyszłości. Obejmuje ono zwiększenie funduszy na naukę o oceanach, zintensyfikowanie wysiłków na rzecz ochrony środowiska i pilne odwrócenie trendu zmian klimatycznych w celu ochrony największego ekosystemu planety [UNDE 2022, Shulla i in. 2023].

VI. PODSUMOWANIE

Cele zrównoważonego rozwoju, których ideą jest eliminacja ubóstwa, ochrona planety i zapewnienie dobrobytu wszystkim, są bardzo ważne, ale powstaje pytanie czy są możliwe do realizacji do 2030 roku. Globalne społeczeństwo zużywa ogromne ilości zasobów naszej planety. Niezwykle ważne jest, aby zrównoważony rozwój był podstawą ich zaopatrzenia, produkcji i dystrybucji, aby mieć pewność, że świat, w którym żyjemy obecnie, będzie wciąż nadawał się do zamieszkania przez ludzi. Jednym z kluczowych wyzwań dla ludzi jest pozostawienie Ziemi dla przyszłych pokoleń, co związane jest z przyszłą polityką energetyczno-klimatyczną (polityka środowiskowa – czyli zielona transformacja). Jej kierunek wyznaczają

takie czynniki jak zmiany klimatyczne, potrzeby środowiskowe, ale również oczekiwania konsumentów. Spełnianie nowych, coraz bardziej restrykcyjnych wymagań i regulacji, przestało być wystarczające. Bycie „zielonym”, „prośrodowiskowym”, „prospołecznym” przestało być jedynie nośnym sloganem, a zaczęło być koniecznością. Wyzwaniem dla ludzkości staje się rozwiązanie problemu zaspokojenia potrzeb i oczekiwań rosnącej populacji przy jednoczesnej modyfikacji obecnych wzorców produkcji i konsumpcji w celu osiągnięcia bardziej zrównoważonego modelu rozwoju oraz zajęcia się powiązaniem między rozwojem a szybkimi zmianami populacji.

BIBLIOGRAFIA

1. BP Statistical Review of World Energy 2021 69th edition.
2. Chandler D. A. 2022. New cleaning method could remove dust on solar installations in water-limited regions, improving overall efficiency. MIT News Office Publication Date: March 11, 2022. [dok. elektr. <https://news.mit.edu/2022/solar-panels-dust-magnets-0311>; data wejścia 9.01.2024].
3. Deklaracja Milenijna Narodów Zjednoczonych. 2000. Dokument przetłumaczony przez Ośrodek Informacji ONZ w Warszawie czerwiec 2002. [dok. elektr. https://odpowiedzialnybiznes.pl/wp-content/uploads/2017/10/Deklaracja_milenijna.pdf; data wejścia 8.01.2024].
4. Deloitte. 2018. Zamknięty obieg – otwarte możliwości, perspektywy rozwoju gospodarki o obiegu zamkniętym w Polsce. [dok. elektr. <https://www2.deloitte.com/pl/pl/pages/zarzadzania-procesami-i-strategiczne/articles/innowacje/raport-zamkniety-obieg-otwarte-mozliwosci.html>; data wejścia 8.01.2024].
5. Ellen MacArthur Foundation. 2017. Achieving Growth Within. Systemic SUN Institute.
6. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. – AQUASTAT 2022. [dok. elektr. <https://data.apps.fao.org/aquastat/?lang=en>; data wejścia 8.01.2024].
7. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. 2022. The State of the World's Land and Water. Resources for Food and Agriculture 2021 Systems at breaking point. ISBN978-92-5-136127-6. [dok. elektr. <https://doi.org/10.4060/cb9910en>; data wejścia 8.01.2024].
8. Hoekstra A. Y., Chapagain A. K. 2006. Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern, „Water Resources Management”. 1, 2006, s. 35–48, DOI: 10.1007/s11269-006-9039-x.
9. IEA. International Energy Agency. Photovoltaic Power Systems Programme. 2017. Water Footprint of European Rooftop Photovoltaic Electricity based on Regionalised Life Cycle Inventories. IEA PVPS Task 12, Subtask 2.0, LCA Report IEA-PVPS T12-11:2017 ISBN 978-3-906042-62-6 December 2017.
10. IEA. International Energy Agency. 2022. Global water consumption in the energy sector by fuel and power generation type in the Stated Policies Scenario, 2021 and 2030.
11. Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 kwietnia 1997 r. [Dz. U. z 1997 r. poz. 483, z późn. zm.].
12. Material Economics. 2018. The Circular Economy a Powerful Force for Climate Mitigation. Transformative innovation for prosperous and low-carbon industry.
13. Mesfin M., Mekonnen P., Gerbens-Leenes P. W., Hoekstra A. Y. 2015. The consumptive water footprint of electricity and heat: a global assessment. Environmental Science Water Research & Technology PAPER Cite this: DOI: 10.1039/c5ew00026b Received 29th January 2015, Accepted 8th March 2015 DOI: 10.1039/c5ew00026b rsc.li/es-water.

14. Oberle B., Bringezu S., Hatfield-Dodds S., Hellweg S., Schandl H., Clement J. 2019. Global Resources Outlook 2019 Natural Resources for the Future We Want. United Nations Environment Programme.
15. Przekształcamy nasz świat: Agenda na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030. 2015. Rezolucja przyjęta przez Zgromadzenie Ogólne w dniu 25 września 2015 r. A/RES/70/1. [dok. elektr. https://www.unic.un.org.pl/files/164/Agenda%202030_pl_2016_ostateczna.pdf; data wejścia 8.01.2024].
16. Shulla K., Leal FILHO W. 2023 Achieving the UN Agenda 2030: Overall actions for the successful implementation of the Sustainable Development Goals before and after the 2030 deadline. Policy Department, Directorate-General for External Policies, EP/EXPO/DEVE/FWC/2019-01/Lot3/1/C/10, January2023 -PE 702.576, European Union, 2023. [dok. elektr. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2022/702576/EXPO_IDA\(2022\)702576_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/IDAN/2022/702576/EXPO_IDA(2022)702576_EN.pdf); data wejścia 8.01.2024].
17. Stolz P., Frischknecht R. 2014. Analysis on the Water Footprint of Crystalline Silicon PV System. December 2014 Clean Technology 20(4):449-456 DOI:10.7464/ksct.2014.20.4.449.
18. Sustainable Development Goals: 17 Goals to Transform our World. [dok. elektr. <https://www.un.org/en/exhibits/page/sdgs-17-goals-transform-world>; data wejścia 8.01.2024].
19. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division 2022. World Population Prospects 2022: Summary of Results. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3. United Nations Publication Sales No. E.22.XIII.3 ISBN: 978-92-1-148373-4 eISBN: 9789210014380.
20. Ustawa Prawo ochrony środowiska z dnia 27 kwietnia 2001 r. [Dz. U. z 2024 r. poz. 54].
21. Von Carlovitz H. C. 2018. Sylvicultura Oeconomica. Franklin Classics. ISBN-10: 0343516012.
22. Wilmoth J., Menozzi C., Bassarsky L. 2021. Global Population Growth and Sustainable Development, Department of Economic and Social Affairs Population Division, UN DESA/POP/2021/TR/NO. 2, United Nations New York, 2021, United Nations Publication Sales No.: E.20.XIII.21 ISBN: 978-92-1-1483505 eISBN: 978-92-1-005246-7.
23. WCED. World Commission on Environment and Development. 1991. Nasza wspólna przyszłość: raport Światowej Komisji do spraw Środowiska i Rozwoju. Państwowe Wydawnictwo Ekonomiczne. ISBN 8320807948, 9788320807943.
24. Wilmoth J., Menozzi C., Bassarsky L. 2022. Population Division/UNDESA. Why population growth matters for sustainable development. United Nations Department of Economic and Social Affairs February 2022, POLICY BRIEF NO130.

WATER AND POWER ENGINEERING IN THE FACE OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT CHALLENGES AND GOAL IMPLEMENTATION

Summary

Knowing that the water covers 72% of the globe's surface makes us treat it as an unlimited and universal good. The growth of the human population is related to the needs for food and energy production, and water is essential for this. Water is used in households in agriculture, in water transport, in electricity production and in all industries. The needs of individual economic sectors in terms of the use of water resources may differ and even be contradictory. Therefore, the role of proper management of water resources is very important. It should take into account both the needs of the population and the economy, as well as the requirements for the protection of water and related ecosystems, as well as issues related to protection against floods and drought, and each of us can take action to save the water.

Key words: sustainable development, energy, water, water resources