

ANALIZA SPOSOBÓW POMIARU ORAZ SKUTKÓW DEFICYTU ZASOBÓW WODNYCH NA ŚWIECIE

ŚLĄSKI
PRZEGLĄD
STATYSTYCZNY
Nr 14(20)

Agnieszka Thier

Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie

ISSN 1644-6739
e-ISSN 2449-9765

DOI: 10.15611/sps.2016.14.07

Streszczenie: W artykule tym przedstawiono cykl hydrologiczny w przyrodzie, analizując pojęcie i sposoby pomiaru zasobów wodnych oraz deficytu zasobów wodnych. Przedstawiona jest też ocena tych zjawisk według kontynentów i regionów, wskazując na trudną sytuację w północnej Afryce, na Bliskim Wschodzie i w Azji Środkowej. Zbadana została korelacja między wielkością dochodu narodowego (PKB) a kilkoma cechami gospodarki wodnej w przekroju kontynentów. Wykazana została wyraźna korelacja między liczbą ludności a zużyciem wody i innymi wskaźnikami gospodarki wodnej. Ponadto sformułowano wniosek, że deficyt zasobów wodnych w gospodarce światowej w zasadzie nie występuje, pojawia się natomiast kryzys zaopatrzenia w wodę o charakterze regionalnym, wynikający z niewystarczającej infrastruktury hydrotechnicznej i wodno-kanalizacyjnej oraz niewłaściwej polityki gospodarczej i ekologicznej.

Słowa kluczowe: deficyt zasobów wodnych, zasoby wodne, cykl hydrologiczny, zarządzanie zasobami wodnymi, polityka gospodarcza, polityka ekologiczna, ekologia, dochód narodowy.

1. Wstęp

Woda od zawsze była, jest i będzie najcenniejszym dobrem naturalnym, a jej brak stwarza poważne kłopoty gospodarcze i społeczne. Z ocen raportu ONZ wynika bowiem, że w latach 1970–1990 przeciętna ilość dostępnych zasobów wodnych przypadająca na 1 mieszkańca świata zmniejszyła się o 1/3 i w ciągu najbliższych 20 lat zmniejszy się również o 1/3 [UNESCO 2015]. Obecnie ok. 40% światowej populacji odczuwa niedobory wody, a ok. 1 mld ludzi nie ma dostępu do czystej wody i aż 2,6 mld ludzi pozostaje bez dostępu do podstawowych urządzeń sanitarnych. Według pesymistycznych prognoz do 2050 r. 7 mld ludzi w 58 krajach będzie cierpieć z powodu chronicznego niedoboru wody, a według optymistycznych przewidywań 2 mld w 48 krajach [United Nations 2015; WHO 2012].

Zasoby wodne są mierzone odpływem rzeczny w skali roku, czyli stanowią corocznie odnawialną ilość wody, wynikającą ze zmienności zjawisk atmosferycznych i dostępną do wykorzystania w gospodarce (natomiast *zapasy wody* oznaczają całkowitą ilość wody występującą

na danym obszarze – w rzekach, jeziorach, lodowcach, zbiornikach sztucznych i podziemnych). Przyczyny zwiększania się deficytu zasobów wodnych w kilku regionach świata są bardzo zróżnicowane: nierównomierny rozkład zasobów w skali kontynentów i regionów, wzrost liczby ludności, zanieczyszczenie środowiska naturalnego oraz zmiany klimatyczne. Warto zauważyć, że tylko z powodu ocieplenia niedobór wody zwiększy się o 20%.

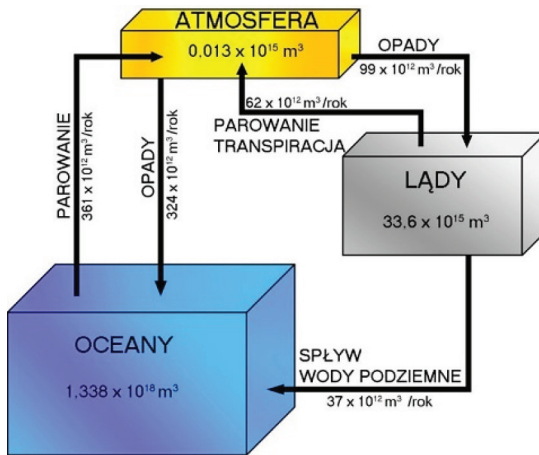
Celem artykułu jest prezentacja problemu deficytu zasobów wodnych, ocena jego skutków gospodarczych i społecznych oraz zarys sposobów zwalczania tego zjawiska.

2. Cykl hydrologiczny w przyrodzie i jego skutki

Okolo 97% światowych zasobów wodnych to wody słone występujące w morzach i oceanach. Zaledwie 3% wód na Ziemi stanowią wody słodkie, z tego ok. 2/3 zgromadzone są w lodowcach, a pozostała część to wody gruntowe, głębinowe oraz rzeki i jeziora. Do naszej dyspozycji pozostaje jedynie 0,5% zasobów ziemskich. Pomimo to Ziemię można metaforycznie określić jako *planetę wodną*, gdyż na ziemskiej scenie oglądanej z perspektywy kosmosu dominującą rolę odgrywa woda [Craig i in. 2003]. Mimo że na Ziemi znajduje się duża ilość zasobów wodnych, to ich rozmieszczenie nie jest równomierne w wyniku kosmologicznej ewolucji globu ziemskiego, która ukształtowała położenie lądów i charakterystykę ich powierzchni oraz zróżnicowanie temperatur.

Ilość wolnej wody na powierzchni Ziemi jest – upraszczając – niezmienna. Woda ta jednak znajduje się w ciągłym ruchu, który przez badaczy został nazwany *cyklem hydrologicznym* [Weiner 2003, s. 47]. Cykl ten przedstawiony jest na rys. 1.

Na powierzchnię Ziemi spada każdego roku ok. 100 tys. km³ wody w postaci opadów atmosferycznych. Ponad połowy tych opadów nie można bezpośrednio wykorzystać, gdyż szybko wyparowują z powrotem do atmosfery oraz transpirują z rosnących roślin. Jest to „zielona woda”, której nie da się odzyskać. Stanowi ona ok. 61% sumy rocznych opadów. Pozostała część opadów, tj. 39%, spływa do rzek, jezior, bagien i wód gruntowych. Jest to „woda niebieska”, którą można wykorzystać w gospodarce, zanim nie wyparuje bądź nie spłynie do mórz i oceanów [Craig i in. 2003, s. 406]. W innym ujęciu opady na świecie wynoszą przeciętnie 710 mm w ciągu roku, z czego 470 mm wraca do atmosfery w wyniku parowania a 240 mm stanowi odpływ powierzchniowy, gruntowy i wgłębny. Średni czas zatrzymania wody w atmosfere-



Rys. 1. Cykl hydrologiczny na Ziemi

Źródło: opracowanie własne na podstawie: http://www.stronameteo.go-longhorn.net/obrazy/bilans_hyd.gif (12.06.2016).

rze wynosi 9 dni, w glebie 1–2 miesiące (w postaci wilgoci), w rzekach 2–6 miesięcy, w jeziorach 50–100 lat, w lodowcach 20–100 lat (na Antarktydzie do 20 tys. lat), w oceanach 3,2 tys. lat, wód podziemnych 10–100 tys. lat. Zatem wody podziemne oraz lodowce na Grenlandii i Antarktydzie stanowią swego rodzaju rezerwowę i strategiczne zasoby wodne, a ich obieg w przyrodzie jest znacznie wolniejszy.

Atmosfera otaczająca Ziemię jest zasilana przez słońce, co powoduje parowanie wody oraz jej przemieszczanie w postaci pary wodnej i chmur, następnie zaś kondensację i opady w postaci deszczu i śniegu. Woda opadowa osiąga koniec cyklu hydrologicznego, gdy spływa do oceanów lub powraca do atmosfery poprzez parowanie z powierzchni lądów albo transpirację z powierzchni roślin. Każdy region świata charakteryzuje się swoim naturalnym bilansem wodnym, na który składają się opady, ewapotranspiracja (parowanie wskutek transpiracji roślin i parowanie z gleby) oraz odpływ wód. Największa ilość wody jest zgromadzona w oceanach przez czas dłuższy niż ten, który jest potrzebny dla pełnego cyklu hydrologicznego. Szacuje się, że oceany w ok. 90% zasilają proces parowania [Kowalczak 2007]. W oceanach są prądy, które mają wpływ na przemieszczanie się dużych mas wody wokół Ziemi. Ruchy te mają wpływ na cykl hydrologiczny, a także na kształt pogody na Ziemi. Nad oceanami parowanie jest większe niż opady, podczas gdy nad lądami opady przewyższają parowanie. Duża ilość wody parującej z oceanów wraca do nich z opadami. Tylko ok. 10%

objętości wody parującej z oceanów przenoszona jest nad lądy, aby tam spaść z opadem. Molekuły parującej wody spędzają ok. 10 dni w powietrzu, zanim wrócą z powrotem na ląd czy ocean.

3. Pojęcie deficytu zasobów wodnych

W potocznym rozumieniu pojęcie *deficytu* wiąże się z pewnym brakiem. W literaturze przedmiotu dotyczącej zasobów naturalnych pojęcie to odnosi się do określonego stanu występowania zasobów w danym regionie globu ziemskiego. W gospodarce wodnej pojęcie to ma charakter operacyjny i określane jest na podstawie obliczania wskaźników, które identyfikują i oceniają stopień niedoboru wody na danym obszarze. Oprócz deficytu określa się także to, czego on dotyczy, czyli zasobów wód powierzchniowych, podziemnych, mineralnych itp. *Ramowa Dyrektywa Wodna* Unii Europejskiej podaje tylko pewne konwencjonalnie przyjęte charakterystyki odnawialnych zasobów wodnych oraz ich deficytu [Komisja Europejska 2000].

W literaturze nie występuje jedna powszechnie uznawana definicja pojęcia „deficyt wody”. Za deficyt uznaje się przede wszystkim taką sytuację, w której niedobór wody staje się istotną barierą rozwoju człowieka, społeczeństwa, gospodarki. Oznacza to brak zaspokojenia podstawowej potrzeby o charakterze biologicznym w postaci spożycia wody, która jest konieczna do przetrwania, przygotowania posiłków i zapewnienia podstawowej higieny. Szacunkowe ilości minimalnej, niezbędnej dla potrzeb człowieka ilości wody są dosyć rozbieżne i kształtują się na poziomie 50 l, a ilości zalecane od 50 do 100 l/dzień, czyli od 18 do 36 m³/osobę/rok [Mikulski 1998].

Zalecenia WHO opiewają na 80–100 l/dobę. W polskim prawodawstwie w zależności od warunków mieszkaniowych przyjmuje się normy dobowego zużycia wody w gospodarstwie domowym od 30 l (brak wodociągu i kanalizacji) do 160 l na osobę przy pełnym zwodociągowaniu i skanalizowaniu, co odpowiada od 10,8 do 64,8 m³/osobę/rok. Dysproporcje w dostępie do zasobów wodnych i zużyciu wody dobrze ilustruje to, że np. w USA średnie zapotrzebowanie na wodę w gospodarstwach domowych wyniosło w latach 1990–2000 ok. 200 m³/osobę/rok, podczas gdy w tym czasie zużycie wody na poziomie tylko 20 m³/osobę/rok było niedostępne dla ponad 1 mld ludzi w 55 krajach. Z innych nowszych danych UNDP wynika, że zużycie wody w Europie sięga 200 m³, a w USA już 400 m³/osobę/rok, gdy w wielu krajach słabo rozwiniętych tylko 5–20 m³/osobę/rok, a w Mali tylko 4 m³/osobę/rok. Najnowsze szacunki ONZ wskazują, że 40% światowej populacji od-

czuwa ograniczoność lub niedobór wody i że wskaźnik ten rośnie [United Nations 2015, s. 55].

Po raz pierwszy problem rosnącego deficytu zasobów wody pitnej rozpatrywany był podczas konferencji ONZ w Rio de Janeiro w czerwcu 1992 r. Jej owocem był m.in. raport *Agenda 21 (Adoption of Agreement on Global Environment and Development)* [Instytut Ochrony Środowiska 1998]. Stwierdzono wówczas, że rozwój cywilizacji – mimo obaw – nie powinien zagrozić życiu biologicznemu na Ziemi ani spowodować ograniczenia możliwości rozwojowych przyszłych pokoleń, jeżeli będzie prowadzony racjonalnie, np. z zastosowaniem recyklingu odpadów i odnawialnej energii. Ten nowy sposób rozwoju gospodarczego nazwano *Sustainable Development* (dosłownie „rozwój samopodtrzymywany”), określane obecnie w Polsce jako rozwój zrównoważony i trwały. W omawianym dokumencie zaapelowano o wzmożoną walkę z nadmiernym pustynnieniem obszarów, zwłaszcza w Afryce, oraz zwrócono uwagę na pojawiające się w związku z tym zjawiskiem niepokoje społeczne na kontynencie. Zaznaczono, że zasoby wodne powinny być objęte tzw. rozwojem zrównoważonym, który determinowałby racjonalne nimi gospodarowanie. Deficyt wody na kontynencie afrykańskim jest bowiem w znacznym stopniu spowodowany brakiem właściwego zarządzania tymi zasobami.

W raporcie *Agenda 21* przedstawiono wyliczenia z końca XX w., z których wynika, że deficyt wody obejmował wtedy 15% światowej populacji (ok. 1,1 mld ludzi) oraz występował na 1/4 lądów Ziemi. *Agenda 21* i inne dokumenty tego typu okazały się programem ogólnym i poruszającym zbyt wiele kwestii (zwłaszcza w kontekście szybko następujących zmian klimatycznych), aby można było uważać ich powstanie za ostateczny sukces. Jednak dokument z Rio wskazał na ważne i pożądane działania zmniejszające zapotrzebowanie na wodę, np. poprzez redukcję strat w sieciach wodociągowych, a przede wszystkim zwrócił uwagę na konsekwencje pogłębiającego się deficytu zasobów wodnych. Raport *Milenijne cele rozwoju z 2015 r.* jeszcze bardziej potwierdza narastanie niedoboru wody na świecie [United Nations 2015].

4. Sposoby pomiaru oraz ocena deficytu zasobów wodnych

Najczęściej jest stosowana skala pomiaru zasobów wodnych w postaci wskaźnika *stresu wodnego*. Stresem wodnym nazwano stan organizmu wywołany działaniem czynnika środowiskowego (stresora), prowadzącego do zaburzeń funkcji i struktury niekorzystnych dla roślin i zwie-

rząt w przypadku deficytu wody (suszy) lub jej nadmiaru (zalania). W praktyce termin ten jest częściej odnoszony do sytuacji powodowanej niedoborem wody w glebie, np. wskutek niedostatecznej ilości opadów lub gdy woda jest obecna w glebie, ale jej pobieranie jest niewystarczające, np. z powodu niskiej temperatury gleby, zalania (niedobór tlenu w podłożu), zasolenia lub uszkodzeń mechanicznych. W wyniku oddziaływania stresu dochodzi do zaburzeń procesów życiowych, a zwłaszcza ograniczenia plonowania roślin. Z czasem stres wodny zaczęto odnosić też do ludzi. Podział zasobów wodnych z uwzględnieniem stresu wywołanego ich niedoborem przedstawia się następująco [Milly i in. 2008, s. 573]:

- powyżej 10 tys. m³/osobę/rok – organiczne problemy korzystania z zasobów wodnych,
- 10 000 – > 1600 m³/osobę/rok – podstawowe problemy korzystania z zasobów wodnych,
- 1600 – > 1000 m³/osobę/rok – stres wodny,
- 1000 – > 500 m³/osobę/rok – chroniczny brak wody,
- poniżej 500 m³/osobę/rok – poniżej progu wodnego.

Należy podkreślić, że chodzi tu o skalę pomiaru zasobów wodnych, a nie minimalne czy średnie zużycie wody, co jest równie ważną, chociaż nieco inną kwestią.

Najbardziej ubogie w wodę są kraje północnej Afryki, Bliskiego Wschodu i Azji Środkowej. Do krajów z zasobami w ilości mniejszej niż 500 m³, a więc poniżej progu wodnego, czyli *bariery wodnej*, należą m.in. Algieria, Arabia Saudyjska, Barbados, Dżibuti, Jordania, Kenia, Libia, Malediwy, Malta, Mauretania, Oman, Pakistan, Sudan, Syria, Tunezja, Turkmenia. Do krajów o zasobach poniżej 100 m³ należą Zjednoczone Emiraty Arabskie, Katar, Rejon Gazy w Palestynie, Wyspy Bahama oraz Kuwejt (10 m³!).

Eksperti UNDP oceniają, że globalny wskaźnik rozwoju społecznego HDI (*Human Development Index*) w perspektywie do 2050 r. obliczany według dotychczasowych zasad będzie o 8% niższy, a w przypadku RPA i Afryki Subsaharyjskiej o 12% niższy, jeżeli uwzględni się skutki globalnego ocieplenia, w tym spadek produkcji rolnej z powodu zmian klimatu i mniejszych opadów, utrudniony dostęp do czystej wody, pogorszenie warunków sanitarnych itp. [UNDP 2011, s. 17]. Przy niskim HDI wpływ tych czynników na jego poziom okazuje się jeszcze wyższy. Z ocen tych wynika także, że wzrost dochodów i wskaźnika HDI może występować równoległe z pogarszaniem się stanu środowiska naturalnego oraz wskaźników ekologicznych, takich jak

jakość gleby i wody, a także z wyższym udziałem grup *ludzi wykluczonych*. Stanowi to oczywiście podstawę krytyki nie tylko miernika wzrostu gospodarczego w postaci PKB, ale także wskaźnika HDI. Dlatego skonstruowano i stosuje się – chociaż w ograniczonym zakresie – wskaźnik wielowymiarowego ubóstwa MPI (*Multidimensional Poverty Index*), w którym brak czystej wody i złe warunki sanitarne odgrywają istotną rolę. Warto przypomnieć, że w rankingu 187 krajów, pod względem poziomu HDI, Polska w latach 2010 i 2011 zajmowała 39 miejsce i należała do grupy państw o wysokim rozwoju społecznym, a pod względem wskaźnika nierówności HDI zajmowała 29 miejsce.

W literaturze przedmiotu występuje jeszcze jedna skala, którą często wykorzystuje się do pomiaru deficytu zasobów wodnych, zwłaszcza w kartografii. Podział na klasy stosowany przez World Resources Institute jest zbliżony do klasyfikacji Falkenmarka [Rockström, Falkenmark 2014], ale zakłada większą rozpiętość przedziałów. Według niej przyjmowany jest następujący podział wielkości zasobów wodnych:

- 15–50 tys. m³/osobę/rok,
- 5–15 tys. m³/osobę/rok,
- 17–5 tys. m³/osobę/rok,
- 1–17 tys. m³/osobę/rok,
- poniżej 1 tys. m³/osobę/rok.

International Water Management Institute w analizie deficytu zasobów wodnych uwzględnia tzw. czynnik potrzeb ludzkich oraz infrastrukturę wodną, czyli innymi słowy bierze pod uwagę warunki zaopatrzenia w wodę, które stanowią bardzo ważny czynnik określania deficytu zasobów wodnych. W określeniu deficytu zasobów wodnych uwzględnia się także tzw. wskaźnik ubóstwa wodnego, opracowany przez C. Sullivan [2002, s. 1195]. Współczynnik ten uwzględnia zaopatrzenie w wodę pojedynczego gospodarstwa rolnego oraz większych społeczności na podstawie oceny wielkości zasobów wodnych, dostępu do wody, zużycia wody przez główne sektory gospodarcze, wpływ gospodarki wodnej na politykę państwa.

W Polsce przyjęła się klasyfikacja zaproponowana przez P. Kowalcza, którą zamieszczono w tab. 1. Wynika z niej, że Polska z zasobami 1600 m³/mieszkańca/rok znajduje się na pograniczu klasy III (stres wodny) i klasy IV (podstawowe problemy zarządzania zasobami wodnymi).

Inni autorzy podejmują również problem określenia wielkości oraz deficytu zasobów wodnych w Polsce, opierając swoje badania na czynniku odpływu jednostkowego [Barszczyńska i in. 2010, s. 23]. Autorzy

Tabela 1. Klasy zasobów wodnych w tys. m³/osobę/rok

Klasa zasobów	Charakterystyka przedziału zasobów	Przedziały		
		wg P. Kowalczaaka	wg M. Falkenmarka	wg World Resources Institute
I	poniżej progu wodnego	do 0,5	do 0,5	do 1
II	chroniczny brak wody	0,5–1,0	0,5–1	do 1
III	stres wodny	1,001–1,7	1–1,6	1–1,7
IV	podstawowe problemy korzystania z zasobów wodnych	1,701–5,0	1,6–10 ^{a)}	1,7–5
V	organiczne problemy korzystania z zasobów wodnych	5,001–10,0	1,6–10	5–15
VI	brak podstawowych problemów korzystania z zasobów wodnych	10,01–100,0	ponad 10	15–50
VII	obfitość wody	ponad 100	x	ponad 50

^{a)} Skala opracowana przez M. Falkenmarka nie wyodrębnia osobnych wartości dla IV i V klasy zasobów.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: [Brown, Matlock 2011; Kowalczak 2007.; <http://www.wri.org/our-work/topics/water>].

ci przyjmują dane pomiarowe z sieci wodowskazowej IMGW za podstawowy wskaźnik zasobów wód powierzchniowych. W pierwszych ocenach przyjęto okres referencyjny dwudziestolecia 1971–1992. W założonej procedurze obliczeniowej każdy wodowskaz reprezentuje różnicę pomiędzy nim a wodowskazami zlokalizowanymi hydrograficznie powyżej. Współczynnik odpływu jednostkowego jest wyliczany poprzez podzielenie przyrostu zasobu przez przyrost zlewni i przypisywany do zlewni różnicowej. Wykorzystanie narzędzia GIS (System Informacji Przestrzennej stworzony przez ESRI Inc.) pozwala na łatwe przeliczanie rezultatów dla różnych obszarów. Natomiast dostępne w ArcGIS narzędzia analiz hydrologicznych (pakiet programów przeznaczony do pracy na danych GIS) można stosować również do obliczania dopływu do dowolnego punktu. W efekcie, przy znajomości współczynników odpływu jednostkowego, użycie technologii GIS pozwala na obliczenia zasobów wodnych dla dowolnego obszaru dorzecza.

Wielkość zasobów wodnych w Polsce w wysokości 1600 m³/mieszkańca jako średni roczny odpływ wód powierzchniowych został potwierdzony także w innych badaniach [Gutry-Korycka i in. 2014, s. 77], ale pojawiają się także oceny w wysokości 1,2–1,4 tys. m³. Jest to ponad dwukrotnie mniej niż średnia europejska, oceniana na 3,9 tys. m³/osobę/rok (przy średniej światowej 5,4 tys. m³). Wynik ten umieszcza Polskę na jednym z ostatnich miejsc w Europie. Jeśli jednak przyjmi-

my wskaźnik eksploatacji wód określający stosunek ilości pobieranej wody do całkowitych zasobów wodnych, to Polska plasuje się lepiej, chociaż poniżej średniej europejskiej. Pobór wód powierzchniowych i podziemnych w Polsce w 2013 r. wyniósł $10,6 \text{ km}^3$ (16% odpływu wód), tj. $275,3 \text{ m}^3/\text{mieszkańca}$, gdy w zachodnich krajach UE wskaźnik ten wyniósł $465,5 \text{ m}^3$, a we wschodnich krajach UE (bez Polski) $407 \text{ m}^3/\text{mieszkańca}$. Problemem gospodarki wodnej w Polsce jest duża czasowa i przestrzenna zmienność opadów oraz ekstremalne zjawiska hydrologiczne, które w ostatnich latach raczej pogłębiły się (natomiast wbrew pojawiającym się opiniom o zmniejszaniu się wielkości opadów, dane statystyczne nie potwierdzają takiej tendencji w latach 1951–2013).

Podstawowy sposób pomiaru i oceny deficytu zasobów wodnych jest dość prosty, ale komplikuje się w praktycznym zastosowaniu w zależności od przyjętych założeń oraz normatywów racjonalnego zapotrzebowania na wodę i jej zużycia. Otóż zasoby w wysokości poniżej 0,5 tys. $\text{m}^3/\text{osobę}/\text{rok}$ uznaje się za wodną barierę zarządzania, natomiast zasoby poniżej 1,6 tys. $\text{m}^3/\text{osobę}/\text{rok}$ ocenia się jako wskaźnik *stresu wodnego*, czyli występowanie trudności w prowadzeniu gospodarki wodnej. Zatem zasoby w wysokości 1,5 tys. $\text{m}^3/\text{mieszkańca}$ lub mniejsze sygnalizują pojawienie się deficytu zasobów wodnych (jak ostatnio w niektórych latach w Polsce), ale może on przyjmować różną skalę. Z kolei zasoby w wysokości 10 lub według innych ocen 15 tys. $\text{m}^3/\text{mieszkańca}$ oznaczają brak podstawowych problemów zarządzania, a zasoby powyżej 50 lub 100 tys. $\text{m}^3/\text{mieszkańca}$ stanowią o obfitości wody. W tym ujęciu największe zasoby występują w takich krajach, jak Gabon, Gujana, Gwinea, Islandia, Kongo.

W raporcie *Milenijne cele rozwoju* za miernik odnawialnych zasobów wodnych przyjęto wskaźnik udziału rocznego poboru wody w wielkości tych zasobów. Jest to tzw. **wskaźnik wykorzystania zasobów wodnych WEI** (*Water Exploitation Index*). Otóż obfitość wody występuje wtedy, gdy jej pobór nie przekracza 25% zasobów wody odnawialnej. Natomiast wskaźnik udziału w wysokości 25–60% znamionuje stres wodny, wskaźnik 60–75% oznacza niedobór wody, a wskaźnik powyżej 75% ostry deficyt wodny. W skali globu pobór wody słodkiej stanowi tylko 9% jej zasobów. W Polsce wskaźnik ten według wyliczenia autorki sięga od 2000 r. 15,6–15,8%, z wyjątkiem 2012 r. z odsetkiem 21,8%, a więc jest korzystny. Okazuje się jednak, że w 1998 r. 36 krajów odczuwało stres wodny, a w 2011 r. już 41 krajów, w tym 10 krajów z północnej Afryki, półwyspu Arabskiego i Azji Środ-

kowej pobiera 100% zasobów świeżej wody odnawialnej. W praktyce jest to więcej, gdyż kraje te korzystają ze studni głębinowych oraz z odsalania wody morskiej bądź importu.

Innym sposobem pomiaru deficytu zasobów jest porównywanie wielkości opadów atmosferycznych z parowaniem wody w dłuższym czasie. Jeśli parowanie wody jest intensywniejsze niż opady, to znamionuje to zmniejszenie zasobów wodnych. W przypadku występowania takiej sytuacji w ciągu kilku lat – opinie hydrologów w tym względzie zależą także od uwarunkowań terenowych – to mamy wtedy do czynienia z *suszą atmosferyczną*, a następnie z *suszą hydrologiczną*, gdy daje się we znaki niedobór wody w rzekach. Oczywiście oznacza to deficyt zasobów wodnych. Wskaźnik suchości klimatu można wtedy określić w postaci różnicy wielkości opadów atmosferycznych (P) i wielkości parowania (E), czyli jako $P - E$, którą z kolei można porównywać z wartością progową deficytu wodnego. Wielkość deficytu wodnego określa się za pomocą różnicy: $W_{zap} - W_{dos}$ w postaci bezwzględnej lub względnej. W pierwszym przypadku jest to wielkość określona wzorem:

$$D [m^3] = W_{zap} - W_{dos},$$

w drugim zaś jako

$$D [\%] = 100 - \frac{W_{dos}}{W_{zap}} \cdot 100\%,$$

gdzie: W_{zap} – zgłoszenie zapotrzebowania na wodę w m^3 w badanym okresie (w ciągu roku lub latem); W_{dos} – rzeczywiste dostawy wody w m^3 .

Wszystkie te kwestie wiążą się z odpływem wód i korzystając z danych statystycznych o odpływie, gromadzonych na przykład w Polsce przez Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej w systemie GIS, można ustalić tzw. współczynnik odpływu jednostkowego. Na tej podstawie łatwo jest obliczyć zasoby wodne danego dorzecza lub jego fragmentu.

Zapotrzebowania na wodę w danym regionie nie możemy utożsamiać ze zgłoszonym popytem – chociaż pierwsze przybliżenie warto w ten sposób zrobić – gdyż trzeba wziąć pod uwagę możliwości racjonalizacji zużycia wody i wtedy pojawiają się trudności z wyszacowaniem oszczędności. Prosty sposób jest korekta wstępnej oceny zbudowanej z wielkości typowych lub przeciętnych wskaźników dotychczasowego zużycia wody z uwzględnieniem specyfiki regionalnej. Na przykład średnie zużycie wody w gospodarstwie domowym kształtuje się od 10 do 20 l/dzień, czyli ok. 7 m^3 /osobę/rok w 55 krajach słabo

rozwinętych (a zdarza się i mniej), do 65 m³ w Polsce oraz 400 l/dzień, czyli 150 m³/osobę/rok w USA. Podobnie duże różnice występują w poborze wody w gospodarce ogółem: np. w Polsce 275–310 m³, w krajach Europy Wschodniej 400 m³ i w Europie Zachodniej 465 m³ na 1 mieszkańca. Wielkość poboru wody analizuje się również w przekroju strukturalnym i wtedy specyfika gospodarki kraju czy regionu określa zaopatrzenie przemysłu oraz rolnictwa i innych działów.

W ten sposób dochodzimy do problemu **wodochłonności** procesów produkcyjnych i usługowych, która decyduje bezpośrednio o wielkości zużycia wody w gospodarce a w pośredni sposób wpływa na występowanie deficytu wody. W pierwszej kolejności bada się wodochłonność dochodu narodowego, mierzonego zużyciem wody w m³/tys. zł PKB oraz wodochłonność produkcji przemysłowej w m³/tys. zł wartości sprzedaży lub wartości dodanej przemysłu ogółem oraz jego poszczególnych gałęzi. Do oceny wodochłonności przemysłu stosuje się ponadto współczynnik wodochłonności definiowany jako iloraz udziału danej gałęzi w zużyciu wody oraz w wartości produkcji sprzedanej:

$$W = \frac{U_w^i}{U_s^i},$$

gdzie: U_w^i – udział i -tej gałęzi w zużyciu wody w przemyśle ogółem w %; U_s^i – udział i -tej gałęzi w wartości sprzedanej przemysłu ogółem w %.

Deficyt wody wynika nie tylko z niedostatecznych zasobów wodnych i rosnącego zapotrzebowania gospodarki na ten surowiec, ale jego występowanie coraz częściej wiąże się ze zjawiskiem suszy. **Susza** oznacza okres bez deszczu lub niewielkich opadów w relacji do średniej wieloletniej opadów atmosferycznych. Z suszą mamy do czynienia, gdy okres niedoboru opadów trwa przynajmniej 20 dni, to znaczy ilość opadów atmosferycznych wynosi poniżej 75% średniej wieloletniej, a temperatura średniodobowa jest wyższa o 1 °C od normy (co przyspiesza parowanie wody). *Susza silna* trwa co najmniej 40 dni, a *susza głęboka* 6 dekad przy opadach poniżej 75% normy. Literatura wyróżnia ponadto następujące rodzaje suszy [Bednarek 2014; Hołdys 2015; Kundzewicz i in. 2010]:

- suszę atmosferyczną, gdy przez 20 dni nie ma opadów lub występuje przewaga parowania nad opadami, co w Polsce zdarza się już dosyć często;
- suszę hydrologiczną, występującą zwykle latem i jesienią, gdy obniża się poziom wody w rzekach, jeziorach i zbiornikach, na ogół

dłuższą i bardziej dotkliwą dla gospodarki (np. mniejsze plony w rolnictwie, większe pożary lasów);

- suszę glebową (rolniczą), czyli niedobór wody w glebie powodujący straty w plonach.

Zatem stopień suchości klimatu powinniśmy oceniać nie tylko według wielkości opadów atmosferycznych, ale również na podstawie różnicy pomiędzy wysokością tych opadów oraz parowania wody. Obserwowane ostatnio zmiany klimatyczne – jako rezultat globalnego ocieplenia – powodują bowiem zwiększanie się intensywności parowania.

Pomimo rosnącego deficytu zasobów wodnych w wielu krajach, w tym także w Europie, oraz wynikającej stąd bariery rozwoju społeczno-gospodarczego, zwłaszcza w krajach słabo rozwiniętych, zaznacza się jednak widoczny **postęp w zwiększaniu dostępu do wody w skali globalnej**. Otóż w latach 1990–2015 udział ludności korzystającej z wody zdatnej do picia wzrósł z 76 do 91%, osiągając wskaźnik 99% w krajach rozwiniętych i 89% w krajach słabo rozwiniętych. Udział populacji bez dostępu do wody pitnej zmniejszył się z 38% do 16% na terenach wiejskich oraz z 16% do 4% w miastach. Z kolei udział ludności z dostępem do urządzeń sanitarnych wzrósł z 54% do 68%. Poprawa jest więc wyraźna, ale nadal znaczący odsetek ludności w krajach słabo rozwiniętych będzie mieć kłopoty z dostępem do wody pitnej oraz urządzeń sanitarnych, co jest rezultatem przede wszystkim niedorozwoju infrastruktury hydrotechnicznej i wodno-kanalizacyjnej. Tak więc szacuje się, że w 2015 r. jeszcze ok. 660 mln ludzi cierpi na niedobór wody pitnej, w tym ok. 160 mln ludzi korzysta tylko z wody powierzchniowej bez uzdatniania. W 3 krajach ponad 50% ludności korzysta z nieuzdatnionej wody pitnej, a w 47 krajach podobny odsetek nie może korzystać z właściwych urządzeń sanitarnych [WHO/UNICEF 2015, s. 22].

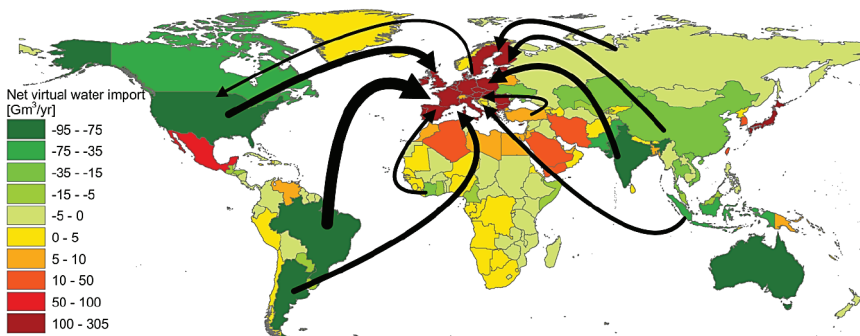
Słaby dostęp do zasobów wodnych w państwach mniej rozwiniętych spowodowany jest niewystarczającą infrastrukturą oraz słabą technologią, która uniemożliwia na przykład pokonywanie naturalnych ograniczeń geograficznych. Przewiduje się, że w 2025 r. już 48 krajów będzie znajdować się w grupie państw zagrożonych deficytem wody. Ich ludność osiągnie liczbę 2,8 mld, czyli 35% ludności świata.

Uważa się, że w 2025 r. tylko w Afryce ok. 230 mln mieszkańców będzie żyło w chronicznym braku wody. Będą to m.in. takie kraje, jak Maroko, Egipt, Somalia, Kenia, RPA, Rwanda, Malawi, Etiopia. Według dalszych przewidywań w 2050 r. omawiany problem obejmować

będzie już nie 48, ale 54 kraje z ok. 4 mld ludności. W 2050 r. liczba ludności zamieszkującej kraje o zasobach wodnych do 1700 m³/osobę/rok wyniesie 4,2 mld ludzi, tj. ponad 45% ludności Ziemi. Terenami najuboższymi w zasoby wodne będą nadal Bliski Wschód oraz niektóre państwa w Afryce. Do szczególnie zagrożonych deficytem będą należały Chiny, kraje arabskie oraz Izrael.

5. Inne ujęcia korzystania z zasobów wodnych

Bilanse gospodarki wodnej uwzględniają zwykle bezpośrednie zużycie wody w ciągu roku. Ostatnio jednak uzupełnia się je o zużycie pośrednie wody do wytwarzania wyrobów finalnych. Jest to tzw. ślad wodny (*water footprint*) na wzór śladu ekologicznego oraz śladu węglowego (emisja CO₂). W Polsce ślad wodny w przypadku konsumpcji żywności wynosi prawie 50 mld m³, tj. 1271 m³/osobę/rok, w tym produkty pochodzenia zwierzęcego 57% i zboża 21% [Stępniewska 2014, s. 321]. Wskaźniki takiego zużycia wody można nazwać również wskaźnikami *ciągnionymi* – jako suma zużycia wody we wszystkich etapach wytwarzania, w tym poza krajem, poprzez import – na wzór już od dawna branych pod uwagę ciągnionych nakładów pracy żywej (mierzonych czasem pracy a częściej płacami) lub ciągnionych nakładów inwestycyjnych. Obrazują one tzw. wodę wirtualną w pełnym łańcuchu produkcyjnym i pozwalają oceniać wpływ struktury konsumpcji na rzeczywiste zużycie wody. Otóż zużycie wody na uzyskanie 1 kg wołowiny sięga 15 m³, a na 1 kg mięsa kurczaka tylko 4 m³, co może wpływać na decyzję konsumentów. Kraje rozwinięte charakteryzują się na ogół mniejszym zużyciem jednostkowym wody oraz importem bardziej wodochłonnych produktów. Problem ten ilustruje rys. 2.



Rys. 2. Przepływy wody wirtualnej w towarach eksportowych do Europy

Źródło: [<http://temp.waterfootprint.org/?page=files/VirtualWaterFlows> (14.07.2016)].

Tak więc dla Europy jako całości 40% śladu wodnego wywodzi się spoza kontynentu. Szczególnym regionem są kraje Ameryki Łacińskiej, które zarówno importują jak i eksportują bardzo dużo produktów wodochłonnych. Największymi eksporterami wody wirtualnej *per saldo* są następujące kraje: USA, Kanada, Brazylia, Argentyna, Indie, Pakistan, Indonezja, natomiast importerami: państwa północnej Afryki, Środkowego Wschodu, Europa, Japonia, Korea Południowa oraz Meksyk, który dzięki importowi kukurydzy (mimo że ma warunki do uprawy) oszczędza 12 mld m³ zasobów wodnych rocznie.

W celu wykazania, że zużycie wody w danym kraju jest w większym stopniu powiązane z jego poziomem rozwoju gospodarczego niż wielkością zasobów wodnych, zastosujemy rachunek korelacji liniowej Pearsona, wykorzystując dane źródłowe w większości państw świata z podziałem na kontynenty. Obliczenia współczynnika korelacji r między wielkością PKB na mieszkańca a wybranymi cechami reprezentującymi gospodarkę wodną oraz współczynnika istotności (ujętego w nawiasie) zawiera tab. 2. Wyniki statystycznie istotne na poziomie istotności 0,1 zostały wyróżnione półgrubą czcionką.

Z tabeli 2 wynika, że w Europie, Azji i Afryce wielkość wewnętrznych zasobów wody słodkiej, jak również rocznego poboru tej wody wykazuje słabą korelację z dochodem narodowym i jest ona ujemna, czyli wzrostowi PKB na 1 mieszkańca towarzyszy spadek poboru wody. Natomiast w Ameryce zależność ta jest dodatnia, przy czym jedynie w USA i Kanadzie korelacja ta jest wysoka i istotna, co zapewne wynika z obfitości wody, stanowiącej czynnik rozwoju gospodarczego. Podobnie mało istotna jest zależność między poziomem PKB a wskaźnikiem WEI, z wyjątkiem Ameryki Południowej, gdzie wielkość poboru wody jest ważnym czynnikiem rozwoju rolnictwa i produkcji żywności. Wszystko to potwierdza przyjętą hipotezę o występowaniu nie tyle deficytu zasobów wodnych, ile kryzysu zaopatrzenia w wodę, który dotyka przede wszystkim kraje słabiej rozwinięte i gorzej zarządzane a niekoniecznie ubogie w zasoby wodne.

Natomiast bardziej wyraźna zależność o charakterze dodatnim występuje między poziomem PKB a zużyciem wody na mieszkańca w Afryce i zwłaszcza w Ameryce Północnej oraz zużyciem wody w przeliczeniu na PKB *per capita*, z tym że ma ona charakter ujemny, czyli spadek obciążeń wytwarzania dochodu narodowego zużyciem wody powoduje wzrost PKB. Jeszcze wyższa korelacja, gdyż $r = 0,6-0,86$, nie licząc Ameryki, występuje w przypadku zależności między poziomem PKB a wielkością PKB uzyskiwaną z 1 m³ pobieranej wody.

Tabela 2. Współzależność pomiędzy PKB i wielkościami reprezentującymi gospodarkę wodną

Zmienne ^{a)}	Kontynent i liczba krajów uwzględnionych w analizie ^{b)}				
	Europa (44 kraje)	Azja (50 krajów)	Afryka (55 krajów)	Ameryka Północna (34 kraje)	Ameryka Południowa (12 krajów)
Wewnętrzne zasoby wodne w mld m ³	-0,072 (0,677)	-0,198 (0,220)	-0,105 (0,489)	0,836 (0,000)	0,133 (0,715)
Roczny pobór wody w mld m ³	-0,138 (0,415)	-0,184 (0,256)	-0,059 (0,693)	0,664 (0,001)	0,470 (0,171)
Udział zużycia wody w zasobach (WEI) w %	-0,221 (0,182)	0,209 (0,196)	0,121 (0,427)	-0,026 (0,903)	0,600 (0,066)
Roczne zużycie wody na 1 mieszkańca w m ³	-0,157 (0,360)	-0,240 (0,141)	0,323 (0,039)	0,720 (0,002)	0,275 (0,473)
Roczne zużycie wody na PKB na 1 mieszkańca w m ³ /tys. USD	-0,613 (0,000)	-0,463 (0,003)	-0,231 (0,146)	-0,631 (0,009)	-0,465 (0,208)
PKB na 1 m ³ zużytej wody	0,862 (0,000)	0,597 (0,000)	0,783 (0,000)	0,261 (0,266)	0,295 (0,407)
Ślad wodny w przemyśle w m ³ /tys. USD wartości dodanej	-0,405 (0,017)	-0,299 (0,060)	-0,209 (0,168)	-0,100 (0,712)	-0,368 (0,265)
Dostęp do wody wodociągowej ludności ogółem w %	0,345 (0,034)	0,342 (0,035)	0,163 (0,278)	0,272 (0,209)	0,671 (0,024)

^{a)} W pierwszym wierszu umieszczono wartości współczynników korelacji r , a w kolejnym – wartość prawdopodobieństwa testowego p -value odpowiadającą sprawdzianowi testu t dla współczynnika korelacji. Wyniki istotne na poziomie istotności 0,1 zostały wyróżnione grubszą czcionką. ^{b)} Liczba krajów uwzględnionych przy obliczaniu współczynników korelacji dla kolejnych zmiennych mogła się zmieniać w zależności od kompletności danych liczbowych. W badaniu pominięto Australię z Oceanią, gdyż dla większości badanych powiązań dla tego kontynentu liczba obserwacji była zbyt mała (mniejsza od 7).

Źródło: opracowanie własne na podstawie materiałów źródłowych Banku Światowego i ONZ.

Z kolei korelacja między dochodem narodowym a tzw. śladem wodnym, czyli skumulowanym zużyciem wody w przeliczeniu na przemysłowe wyroby finalne, ma charakter ujemny, co oznacza, że jego wzrost zmniejsza dynamikę PKB, a innymi słowy wzrost PKB powoduje mniejszą zawartość śladu wodnego w wyrobach przemysłowych w Europie i Azji. Jednak w Ameryce i Afryce korelacja ta jest mniej istotna, zapewne dlatego, że większość krajów zarówno eksportuje jak i importuje wiele towarów charakteryzujących się dużym śladem wodnym, co

zamazuje jednoznaczny obraz badanej zależności. I na koniec, dostęp do wody chronionej przed zanieczyszczeniem, czyli wody wodociągowej, jest dodatnio skorelowany z dochodem narodowym na wszystkich kontynentach, czyli im wyższy jest poziom rozwoju mierzony wielkością PKB, tym większy odsetek ludności ma dostęp do czystej wody. Jednak współczynniki korelacji nie są wysokie, gdyż w Europie i Ameryce Północnej wskaźnik dostępu do wodociągów sięga 99%, a w innych krajach o poziomie infrastruktury wodno-kanalizacyjnej decydują także czynniki społeczno-kulturowe.

Z analizy współzależności między liczbą ludności krajów oraz cechami reprezentującymi gospodarkę wodną wynika, że odnawialne zasoby wodne, a zwłaszcza roczne pobory wody, wykazują dodatni i na ogół bardzo wysoki związek z liczbą mieszkańców na wszystkich kontynentach (od 0,887 w Europie do 0,994 w Azji, jedynie w Afryce $r = 0,266$ ze względu na deficyt wody), co potwierdza wyrażoną opinię o decydującym znaczeniu wzrostu populacji.

6. Zakończenie

Woda jest nie tylko wartością ekonomiczną, ale stanowi dobro biologiczne człowieka i jest koniecznym warunkiem jego przetrwania, stąd też działania promujące i gwarantujące ochronę zasobów wodnych są moralnie dobre i społecznie aprobowane, a działania niszczące zasoby wodne są z natury złe i powinny zostać zaniechane jako szkodliwe dla egzystencji człowieka. Za fundamentalne uznaje się przede wszystkim prawo człowieka do wody, które jest prawem naturalnym, wyrażającym jedno z podstawowych dóbr koniecznych do zachowania podstawowej inklinacji naturalnej, jaką jest przetrwanie.

Zwiększanie zasobów wodnych odbywa się przez retencję wody, zwiększanie dostępności wód podziemnych, zmniejszanie parowania wody (poprzez zalesianie, zadrzewianie oraz stosowanie specjalnych technik upraw), odsalanie wody morskiej, odzyskiwanie wody z lodowców (są pierwsze próby na niewielką skalę). Odsalanie wody morskiej może zapewniać niezbędne ilości wody słodkiej, gdyż ma obfitą bazę surowcową i jest proste technologicznie (przez elektrolizę), ale okazuje się bardzo kosztowne. Mimo to wodę morską odsala się już w wielu krajach, takich jak Arabia Saudyjska, Emiraty Arabskie, Kuwejt, Singapur (10% zużycia pochodzi z tego źródła), a także w Europie – w Grecji, Hiszpanii, na Cyprze i Malcie. Z kolei retencja wody przez budowę zbiorników na rzekach oraz magazynowanie wody deszczowej

wymaga dużych nakładów inwestycyjnych i stąd ma większe zastosowanie w krajach rozwiniętych. Ponadto w pewnych regionach zwiększa się zasoby wodne przez odwracanie biegu rzek, jak kiedyś w republikach azjatyckich Związku Radzieckiego, a ostatnio także w Chinach i Indiach. Jest to jednak metoda oceniana krytycznie z powodu niekorzystnych skutków ekologicznych.

Wzrost podaży wody uzyskuje się dzięki inwestowaniu w infrastrukturę hydrotechniczną i wodnokanalizacyjną oraz sanitariaty, gdyż w ten sposób łatwiej jest udostępniać zasoby wodne potencjalnym odbiorcom (ale wodociągi także zwiększają popyt na wodę). Państwa słabiej rozwinięte cierpią na niedobór środków technicznych i finansowych na ten cel, a jeszcze bardziej odczuwają to w tych krajach warstwy społeczne żyjące w ubóstwie. Niezbędna jest więc pomoc z zewnątrz i społeczność międzynarodowa stara się być solidarna, ale efekty są wysoce niezadowalające.

Zmniejszanie popytu na wodę odbywa się głównie poprzez jej oszczędzanie dzięki nowym technologiom przesyłania wody (ograniczanie strat) i ich stosowaniu w różnych dziedzinach gospodarki i życia społecznego oraz dzięki upowszechnieniu wodomierzy. Wyraźny spadek wodochłonności dochodu narodowego i produkcji przemysłowej oraz zużycia wody w gospodarstwach domowych w przeliczeniu na 1 mieszkańca obserwujemy już w krajach rozwiniętych, w tym w Polsce. Natomiast w krajach słabo rozwiniętych następuje nadal wzrost zużycia wody w wyniku zwiększania się liczby ludności oraz postępu cywilizacyjnego (zainstalowanie wodociągu zwiększa zużycie wody nawet kilka razy, a zbudowanie łazienki może ten wskaźnik podwoić). Próbuje się jednak hamować wzrost zużycia wody przez wydawanie licencji i ograniczeń ilościowych dla rolnictwa i przemysłu, ograniczanie lub rezygnację z dopłat i ulg w przypadku nawadniania bądź korzystania z wód podziemnych (np. w Indiach i Meksyku). Zmniejszenie zużycia wody można też osiągnąć przez import wodochłonnych wyrobów, zwłaszcza żywności – zamiast własnej produkcji – co znane jest pod określeniem *śladu wodnego* oraz tzw. wirtualnej wody.

Literatura

- Barszczyńska M., Madej P., Kubacka D., 2010, *Użycie technik GIS do szacowania zasobów wód powierzchniowych w skali kraju*, Roczniki Geomatyki, t. VIII, z. 5 (41), s. 23–32.
- Bednarek H., 2014, *Susze i ich skutki*, Aura, nr 11, s. 4–7.
- Brown A., Matlock M.D., 2011, *A Review of Water Scarcity Indices and Methodologies*, The Sustainability Consortium, Fayetteville.

- Craig J.R., Vaughan D.J., Skinner B.J., 2003, *Zasoby Ziemi*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Gutry-Korycka M., Sadurski A., Kundzewicz Z.W., Pociask-Karteczka J., Skrzypczyk L., 2014, *Zasoby wodne a ich wykorzystanie*, Nauka, nr 1, s. 77–98.
- Hołdys A., 2015, *Raz za sucho, raz za mokro*, Polityka, nr 33.
- Instytut Ochrony Środowiska, 1998, *Dokumenty końcowe Konferencji „Środowisko i Rozwój”*: *Szczyt Ziemi: Rio de Janeiro, 3–14 czerwca 1992 r.*, tłum. I. Kulisz, Warszawa.
- Komisja Europejska, 2000, Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23.10.2000 r. ustanawiająca ramy wspólnotowego działania w dziedzinie polityki wodnej, Dz.U. L 327 z 22.12.2000 r. oraz Dz.U. 2009, nr 106, poz. 882.
- Kowalczak P., 2007, *Konflikty o wodę*, Wydawnictwo Kurpisz, Poznań.
- Kundzewicz W., Zalewski M., Kędziora A., Pierzgałski E., 2010, *Zagrożenia związane z wodą*, Nauka, nr 4, s. 87–96.
- Mikulski Z., 1998, *Gospodarka wodna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Milly P.C.D., Betancourt J., Falkenmark M., Hirsch R.M., Kundzewicz Z.W., Lettenmaier D.P., Stouffer R.J., 2008, *Stationarity is dead: Whither water management?*, Science, 2008, vol. 319, no. 5863, s. 573–574.
- Rockström J., Falkenmark M., 2014, *Water Resilience for Human Prosperity*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Stępniewska M., 2014, *Ile wody naprawdę zużywamy?*, Gospodarka Wodna, nr 9, s. 321–324.
- Sullivan C., 2002, *Calculating a Water Poverty Index*, World Development, vol. 30, no. 7 s. 1195–1210.
- UNDP, 2011, *Podsumowanie. Raport o rozwoju społecznym. Zrównoważony rozwój i równość: Lepsza przyszłość dla wszystkich*, Waszyngton.
- UNESCO, 2015, *The United Nations World Water Development Report: Water for a Sustainable World*, <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002318/231823E.pdf> (19.06.2016).
- United Nations, 2015, *The Millennium Development Goals Report*, New York.
- Virtual Water Trade*, Water Footprint network, waterfootprint.org/en/water-footprint/national-water-footprint/virtual-water-trade (18.02.2016).
- Weiner J., 2003, *Życie i ewolucja biosfery*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- WHO, 2012, *UN-Water Global Analysis and Assessment of Sanitation and Drinking Water*, Geneva.
- WHO/UNICEF, 2015, *Progress on Sanitation and Drinking-Water. 2015 update*, Geneva.

Websites

- <http://temp.waterfootprint.org/?page=files/VirtualWaterFlows> (14.07.2016).
- http://www.stronameteo.go-longhorn.net/obrazy/bilans_hyd.gif (12.06.2016).
- <http://www.wri.org/our-work/topics/water> (12.06.2016).

ANALYSIS OF WAYS OF MEASUREMENT AND THE CONSEQUENCES OF WATER SHORTAGE IN THE WORLD

Summary: The paper presents a hydrological cycle that takes place in nature and addresses the concept of water resources and the methods of their measurement as well as the shortage of water resources. In the ensuing discussion, the paper assesses those conditions by the continents and regions, pointing out the difficult situation in Northern Africa, the Middle

East and Central Asia. Further, it presents the investigation of the correlation between the volume of GDP and the particular features of water management within the continents. The results of calculations show differences, yet there is a clear correlation between the number of population, the water consumption and other indexes of water management. The paper ends with the conclusion that there is basically no shortage of water resources within the world economy, yet there is more and more acute crisis in water supply on the regional scale due to the insufficient water supply and sewerage infrastructure, improper economic policy and environmental policy, and poverty among large groups of population.

Keywords: deficit of water resources, water resources, water cycle, water management, economic policy, environmental policy, ecology, national income.

