

Agnieszka THIER

KATEDRA EKONOMIKI I ORGANIZACJI PRZEDSIĘBIORSTW
UNIwersytet Ekonomiczny w Krakowie

OCHRONA ZASOBÓW WODNYCH JAKO CZYNNIK FUNKCJONOWANIA PRZEDSIĘBIORSTW W GOSPODARCE OBIEGU ZAMKNIĘTEGO¹

PROTECTION OF WATER RESOURCES AS A FACTOR
FACILITATING FUNCTIONING OF ENTERPRISES WITHIN
CLOSED CIRCUIT ECONOMY

The author presents a hydrological cycle in nature and describes its impact on the economy as well as the diversification of water resources and the tendencies in the consumption of water in Poland and worldwide. Then she discusses the issue of the deficit of water resources, highlighting the fact that the crisis in water supply is more frequently due to the insufficient technical infrastructure. Finally the author explains the issue of the closed circuit economy from the perspective of the EU recommendations, especially those referring to water resources economy. She concludes with the examples of closed circuit water supply in enterprises and households.

1. Wprowadzenie

Gospodarowanie w obiegu zamkniętym staje się ostatnio coraz bardziej realnym postulatem. Historia tego wyzwania sięga co najmniej lat 60-tych XX wieku, gdy zwrócono uwagę na wyczerpywanie się zasobów naturalnych i degradację środowiska z powodu zanieczyszczeń przemysłowych i komunalnych. Kwestia ta wzbudziła zainteresowanie naukowców, polityków i działaczy gospodarczych po ukazaniu się w 1972 roku I Raportu Klubu Rzymskiego pt. „Granice wzrostu”, który ocenił perspektywy wydobywania surowców mineralnych (Meadows et al. 1973). Jednak również woda, chociaż należy do surowców odnawialnych, staje się czynnikiem ograniczającym rozwój gospodarczy ze względu na nierównomierne rozmieszczenie jej zasobów, perturbacje klimatyczne, zanieczyszczenie ściekami oraz niewystarczającą infrastrukturę hydrotechniczną i wodnokanalizacyjną, zwłaszcza w uboższych regionach.

1 Publikacja została sfinansowana ze środków przyznanych Wydziałowi Zarządzania Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, w ramach dotacji na utrzymanie potencjału badawczego.

Skalę trudności zaopatrzenia ludności i gospodarki w wodę uświadomiono sobie w pełni dopiero na początku XXI wieku po opublikowaniu przez ONZ Raportu o stanie gospodarki wodnej na świecie w 2003 (World Water Development Report 2003) roku oraz Raportu o rozwoju społecznym w 2006 roku (Report on Growth within 2015).

Jednym ze skutków pojawienia się tych trzech raportów o charakterze globalnym i ekologicznym było przekształcenie w latach 80-tych koncepcji ekorozwoju, czyli rozwoju gospodarczego zgodnego z wymaganiami ochrony środowiska naturalnego, w koncepcję rozwoju trwałego (samopodtrzymywanego, *Sustainable Development*), niezręcznie nazwanego w oficjalnych dokumentach w Polsce rozwojem zrównoważonym. Trwałość rozwoju – zapewniająca m.in. odpowiedni stan środowiska i jakość życia także przyszłym pokoleniom – wynika ze stosowania odnawialnych źródeł energii oraz recyklingu odpadów, czyli wykorzystania ich jako surowców wtórnych w miejsce kopalnych surowców pierwotnych. Również w przypadku wody można zadbać o retencję i odnawialność oraz powtórne wykorzystanie tzw. wody szarej i ścieków, a więc intensyfikować jej obieg zamknięty.

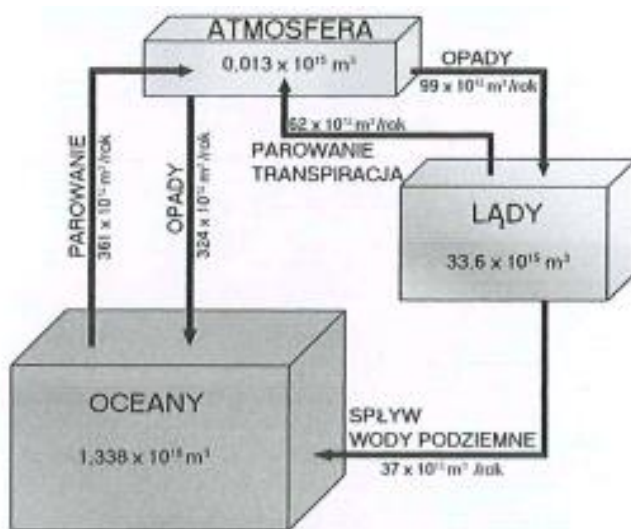
Celem artykułu jest zaprezentowanie stanu zasobów wodnych i tendencji zmian w zużyciu wody na świecie i w Polsce oraz analiza sposobów i skutków oszczędzania wody w wybranych krajach. Polska coraz mocniej odczuwa niedobór wody i dlatego niezbędna jest nowa polityka w zakresie gospodarki wodnej, aby zapobiegać zjawisku narastania suszy, a także stymulować dostosowanie się przedsiębiorstw do skutków zmian klimatycznych. W ten sposób ograniczymy wpływ tych niekorzystnych czynników hydrologicznych na funkcjonowanie i rozwój przedsiębiorstw produkcyjnych i usługowych oraz gospodarstw domowych.

2. Cykl hydrologiczny w przyrodzie i jego znaczenie gospodarcze

Woda na świecie znajduje się w ciągłym zamkniętym obiegu pod wpływem energii słonecznej i grawitacyjnej. Energia słoneczna powoduje podgrzewanie wody w oceanach i morzach, a w konsekwencji jej parowanie. Para wodna na skutek wznoszących prądów powietrza, wywołanych różnicą temperatur w przekroju pionowym atmosfery, jest przenoszona nad oceanów w górne warstwy atmosfery, gdzie ulega schłodzeniu i kondensacji. Poziome prądy powietrza wywołane takimi czynnikami jak różnica ciśnień, czy ruch obrotowy Ziemi, powodują ruchy chmur nad lądami i oceanami. W trakcie tego procesu cząsteczki wody w chmurach zderzają się i łączą się ze sobą, powiększając swoją masę. Po przekroczeniu masy krytycznej spadają na powierzchnię Ziemi w postaci opadu.

Światowe zasoby wodne ocenia się na 1.386 mld km³. Około 97% tych zasobów to wody słone występujące w morzach i oceanach. Zaledwie 3% wód na Ziemi stanowią wody słodkie, z tego 2/3 zgromadzone jest w lodowcach, a pozostała część to wody gruntowe, głębinowe oraz rzeki i jeziora. Do naszej dyspozycji pozostaje jedynie 0,5% zasobów ziemskich (Frerot 2013). Jednak Ziemię można metaforycznie określić jako planetę wodną, gdyż na ziemskiej scenie oglądanej z perspektywy kosmosu dominującą rolę odgrywa woda. Żaden z surowców nie występuje na Ziemi w takiej ilości jak woda. Woda posłużyła zatem do rozwoju przemysłu, transportu, handlu, była i jest ważna dla powstających aglomeracji miejskich jak i dla wsi.

Mimo tego, że na Ziemi znajduje się duża ilość zasobów wodnych, to jednak ich rozmieszczenie nie jest równomierne z powodu odmiennego położenia lądów i charakterystyki ich powierzchni oraz zróżnicowania temperatur. Ilość wolnej wody na powierzchni Ziemi jest – upraszczając – niezmienna. Woda ta znajduje się jednak w ciągłym ruchu, który przez badaczy został nazwany cyklem hydrologicznym (Weiner 2003).



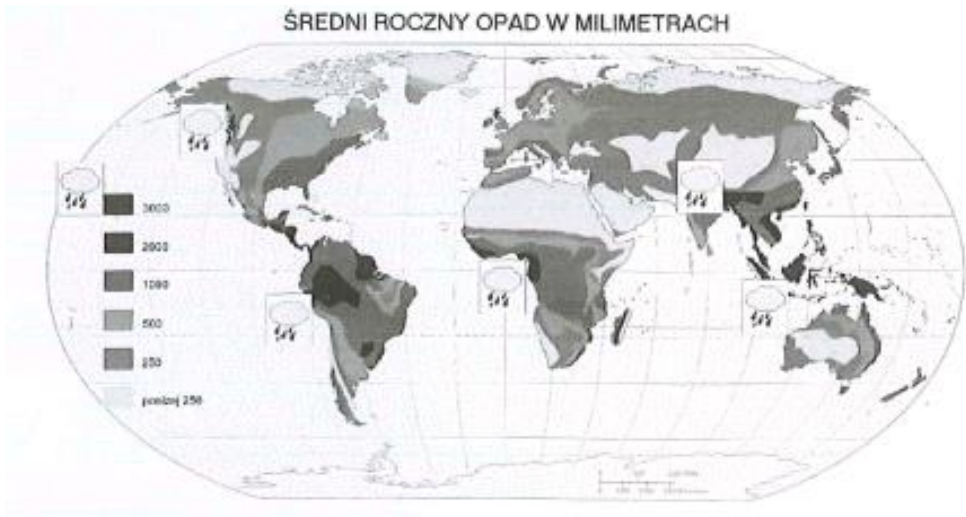
Schemat 1. Cykl hydrologiczny na Ziemi

Źródło: Thier 2016

Cykl hydrologiczny jest naturalnym obiegiem wody na Ziemi. Obejmuje procesy zachodzące zarówno w atmosferze, takie jak: parowanie, kondensacja, opady, transport wilgoci; w biosferze: pobieranie wody i jej oddawanie w procesie oddychania, czyli transpiracji, jak i w litosferze: wsiąkanie, spływ podziemny i powierzchniowy. Warto dodać, że ciepło z wody jest bardzo powoli oddawane do atmosfery i dlatego zbiorniki – naturalne oraz sztuczne – gromadzą dużo ciepła, co wpływa na ich otoczenie. 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 można odzyskać. Stanowi ona ok. 61% sumy rocznych opadów. Pozostała część opadów, to jest 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 et al. 2003). 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 wglębny. Średni czas zatrzymania wody w atmosferze 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, w zbiornikach 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.

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 i odpływ wód. Największa ilość wody jest gromadzona w oceanach przez czas dłuższy niż ten, który jest potrzebny dla pełnego cyklu hydrologicznego. Oceany w około 90% zasilają proces parowania. W oceanach są prądy, które mają wpływ na przemieszczanie się dużych mas wody wokół Ziemi. Ruchy te mają wpływ na cykl hydrologiczny, jak również na kształt pogody na Ziemi. Na przykład Prąd Zatokowy, dobrze znany ciepły prąd atlantycki, przemieszcza wodę z Zatoki Meksykańskiej poprzez Atlantyk w kierunku Wielkiej Brytanii i Norwegii (Kowalczak 2007). Z kolei wzdłuż brzegów Chile płynie na północ od Antarktydy zimny Prąd Peruwiański (Prąd Humboldta).

Parowanie z oceanów to główny sposób przedostawania się wody do atmosfery. W skali globalnej objętość parującej wody jest tego samego rzędu, co objętość wody docierającej do powierzchni Ziemi wraz z opadami, ale wygląda to odmiennie w różnych regionach geograficznych. 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 około 10% objętości wody parującej z oceanów przenoszona jest nad lądy, aby tam spaść z opadem. Molekuły parującej wody spędzają około 10 dni w powietrzu, zanim wrócą z powrotem na ląd czy do oceanu. Również w przypadku opadów zachodzi nierównomierny ich rozkład w poszczególnych częściach świata. Nawet w jednym państwie, czy jednym mieście mogą być znacznie zróżnicowane. W Polsce średnia wielkość opadów wynosi przeciętnie ok. 620 mm rocznie, przy czym najniższe opady są odnotowywane w środkowej Polsce (od 392 mm rocznie), a najwyższe w Tatrach i Sudetach (do 1229 mm rocznie). Nierównomierny rozkład opadów na świecie prezentuje mapa 1.



Mapa 1. Globalny rozkład opadów atmosferycznych

Źródło: *Water Reservoirs and Water Cycle*. <http://cnx.org/contents/1741effd-9cda-4b2b-a91e-003e6f587263@43.2:2>, data dostępu 2016.01.10

Woda, która jest zmagazynowana przez długi okres w lodzie, lodowcach i śniegu, jest stałą częścią cyklu hydrologicznego. Znaczna ilość lodu, bo prawie 90% światowych zasobów, pokrywa Antarktydę. Lód, który jest zgromadzony na Grenlandii, stanowi ok. 10% całkowitej masy lodu i stanowi ważny element cyklu hydrologicznego Ziemi. Jego objętość oceniana jest na 2,5 mln km³. Lód narastał przez wieki w wyniku dużych opadów śniegu. Średnia grubość lodolodu grenlandzkiego wynosi 2135 m, w najgrubszym miejscu lód ma ponad 3 km. W ostatnich latach w wyniku ocieplenia klimatu, obserwujemy cofanie się lodu w Arktyce (ale mniej na Grenlandii). Podobna sytuacja zaczyna się pojawiać na Antarktydzie, ale tylko w jej zachodniej części. Infiltrująca woda opadowa tworzy w gruncie dwie strefy: nienasyconą (aeracji) i nasyconą (saturacji). W strefie aeracji znajduje się wolna woda, ale grunt nie jest nią nasycony. W górnej części strefy nienasyconej mamy warstwę gleby a jej struktura jest kształtowana przez system korzeniowy roślin. Woda z tej strefy wykorzystywana jest przez rośliny do swojego rozwoju. Poniżej strefy nienasyconej znajduje się strefa nasycona, w której woda wypełnia całkowicie przestrzeń pomiędzy cząsteczkami gruntu. Część infiltrujących opadów prowadzi do powstania wód gruntowych. W gruncie część wody przemieszcza się blisko jego powierzchni i szybko przedostaje się do rzek i strumieni. Za pomocą sił grawitacyjnych część wody wnika w głębsze warstwy gruntu. Zatem znaczna ilość wody jest zatrzymywana w gruncie. Porusza się tam znacznie wolniej, ale nadal jest elementem cyklu hydrologicznego. Poniżej znajduje się strefa nasycona, która tworzy wody podziemne lub warstwy wodonośne. Jest to olbrzymi magazyn wody na Ziemi, od którego zależy codzienne życie ludzi na całym świecie.

Proces hydrologiczny ma podstawowe znaczenie dla kształtowania się ilości zasobów wodnych na różnych kontynentach. Proces ten w początkowych okresach ewolucyjnego rozwoju Ziemi wyglądał inaczej w takim sensie, że wpływu nań nie miała działalność człowieka. Obecnie jest on determinowany także przez działalność gospodarczą, co z kolei wpływa na zmiany klimatu.

Wodę uznajemy za ważny czynnik produkcji, która stanowi zarówno środek pracy, jak również przedmiot pracy (surowiec). Zatem woda – a właściwie gospodarka wodna – pełni trzy podstawowe funkcje: gospodarczą (ekonomiczną), społeczną i środowiskową (ekologiczną). Funkcja *gospodarcza* oznacza zaopatrywanie ludności i gospodarki w wodę, co umożliwia prowadzenie działalności gospodarczej – czyli przedsiębiorczej – zapewniającej zatrudnienie i generowanie dochodów z pracy oraz wzrost dochodu narodowego w skali kraju.

Funkcja społeczna jest związana z wartością użytkową wód i ich dostępnością dla społeczeństwa, przy pewnych ograniczeniach. Jej realizacja odbywa się więc na zasadach non profit, chociaż w określonych przypadkach przystanie z akwenów i ich wartości rekreacyjnych może być odpłatne. Natomiast funkcja *środowiskowa* wynika z wartości wewnętrznej (samoistnej) wody i nie jest związana z generowaniem przychodu. Te trzy funkcje nie powinny w skali kraju pozostawać w sprzeczności, co ułatwia fakt, że zasoby wodne są dobrem publicznym i sektor prywatny ma tu znaczenie marginalne.

3. Zróżnicowanie zasobów wodnych w skali globalnej oraz narastanie deficytu wody

Zróżnicowanie zasobów wodnych na świecie jest rezultatem geograficznej dywersyfikacji regionów pod względem ilości opadów oraz zasobności rzek, jezior i lodowców. Natomiast z punktu widzenia zaopatrzenia ludności i gospodarki w wodę występuje ponadto zróżnicowanie dostaw w zależności od stopnia rozwoju infrastruktury hydrotechnicznej i wodno-kanalizacyjnej. Dlatego nie zawsze występuje zgłaszany deficyt zasobów wodnych lecz – zwłaszcza w krajach słabiej rozwiniętych – kryzys zaopatrzenia w wodę. Szczególnie ubogie w tej dziedzinie są kraje północnej Afryki, Bliskiego Wschodu i Azji Środkowej, gdyż regiony te charakteryzują się zarówno skromnymi zasobami wody jak również niedorozwojem infrastruktury technicznej.

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 oraz 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 litrów, a ilości zalecane od 50 do 100 l/dzień, czyli od 18 do 36 m³/osobę/rok. 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 20 m³/osobę/rok było niedostępne dla ponad 1 mld ludzi w 55 krajach (The Millenium Development Goals Report 2015). Z innych nowszych danych UNDP wynika, że zużycie wody w Europie sięga 200 m³, a w USA już ponad 400 m³/osobę/rok, gdy w wielu krajach słabo rozwiniętych tylko 5-20 m³/osobę/rok, a w Mali jedynie 4 m³/osobę/rok (Mikulski 1998). 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 zwierząt w przypadku deficytu wody (suszy) lub jej nadmiaru (zalania). W praktyce termin ten jest najczęściej 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 et al. 2008)

- 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.

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!).

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 istotny czynnik określania deficytu zasobów wodnych. W ocenie deficytu zasobów wodnych uwzględnia się także tzw. wskaźnik ubóstwa wodnego (Sullivan 2002). Współczynnik ten uwzględnia zaopatrzenie w wodę pojedynczego gospodarstwa domowego oraz większych społeczności na podstawie oceny wielkości zasobów wodnych, dostępu do wody, zużycia wody przez główne sektory gospodarcze, wpływu gospodarki wodnej na politykę państwa. W Polsce przyjęła się klasyfikacja zaproponowana przez Piotra Kowalczaaka, którą zamieszczono w tabeli 1.

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

Klasy zasobów	Charakterystyka zasobów przedziału	Przedziały		
		Wg P. Kowalczaaka	Wg M. Falkenmark	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 klas IV i V zasobów.

Źródło: opracowanie własne na podstawie Brown 2011, Kowalczak 2007 P,

<http://www.wri.org/our-work/topics/water> dostęp 2016.02.12

Wielkość zasobów wodnych w Polsce w wysokości 1600 m³/mieszkańca jako średni roczny odpływ wód powierzchniowych został potwierdzony także w innych badaniach (Gutry-Korycka et al. 2014), 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 przyjmiemy wskaźnik eksploatacji wód określający stosunek ilości pobranej wody do całkowitych zasobów wodnych, to Polska plasuje się lepiej, chociaż poniżej średniej europejskiej. Pobór wód powierzchniowych i podziemnych w Polsce w 2013 roku wyniósł 10,6 km³ (16% odpływu wód), tj. 275,3 m³/mieszkańca, gdy w zachodnich krajach UE wskaźnik ten wyniósł 465,5 m³, a we wschodnich krajach UE (bez Polski) 407 m³/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 1951-2015).

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. m³/osobę/rok uznaje się za wodną barierę zarządzania, natomiast poniżej 1,6 tys. m³/osobę/rok jako wskaźnik stresu wodnego, czyli występowanie trudności w prowadzeniu gospodarki wodnej. Zatem zasoby w wysokości 1,5 tys. m³/mieszkańca lub mniejsze sygnalizują pojawienie się deficytu (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. m³/mieszkańca oznaczają brak podstawowych problemów zarządzania, a zasoby powyżej 50 lub 100 tys. m³/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% (w 2012 r. 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 Środkowej 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.

Oprócz wielkości zasobów wodnych i poziomu rozwoju infrastruktury, na kształtowaniu się deficytu wody wpływają też czynniki demograficzne. Otóż w ciągu ostatnich 50 lat spożycie wody na świecie niemal podwoiło się z powodu rozwoju gospodarczego oraz wzrostu liczby ludności, a zasoby wodne w przeliczeniu na 1 mieszkańca zmniejszyły się o 1/3. W raporcie Agenda 21, opracowanym przez ONZ, oceniono, że na niedobór wody pod koniec XX wieku cierpiało ok. 1,1 mld ludzi (15% światowej populacji) i obejmował on 1/4 lądów Ziemi [1]. Obecnie szacuje się, że aż ok. 40% ludności świata odczuwa niedobór wody, w tym ok. 1 mld ludzi nie ma dostępu do czystej wody i 2,6 mld ludzi pozostaje bez dostępu do podstawowych urządzeń sanitarnych. Prognozuje się dalszy wzrost liczby mieszkańców cierpiących z powodu chronicznego niedoboru wody w ok. 50 krajach. Pomimo tych minorowych ocen, w ostatnich latach zanotowano jednak poprawę niektórych wskaźników z zakresu gospodarki wodnej i zaopatrzenia ludności w wodę.

Z punktu widzenia gospodarki obiegu zamkniętego i odnawialności zasobów wodnych na świecie istotnym i niekorzystnym czynnikiem okazuje się wzrost zużycia wody w skali globalnej z powodu rosnącej liczby ludności oraz rozwoju gospodarczego (rozkwit nowych branż i lepsze wyposażenie gospodarstw domowych w urządzenia sanitarne wymaga bowiem większych dostaw wody). Szczególnie dotyczy to krajów słabiej rozwiniętych. Natomiast w Europie i Ameryce Północnej następuje stabilizacja zużycia wody i oczekuje się, że niedługo zanotujemy tendencję spadkową dzięki postępowi technicznemu w zakresie oszczędzania wody oraz zmniejszania wodochłonności produkcji przemysłowej i świadczenia usług. Na przykład w Polsce przed 1990 rokiem zużycie wody wyraźnie rosło na skutek procesu demograficznego i rozwoju społeczno-gospodarczego, ale już w latach 1990-2015 zużycie to zmalało o ok. 25%, w tym w gospodarstwach domowych o 30%. Wraz z tendencją do zmniejszania zużycia wody obserwujemy również spadek ilości odprowadzanych ścieków. Przykładowo, w Polsce w badanym okresie wielkość ścieków wymagających oczyszczania zmalała aż ok. 55%, a udział ścieków nieoczyszczonych w tych ściekach zmniejszył się z 32,5% do 6%. Zatem omawiane tendencje w gospodarce wodno-ściekowej ułatwiają powtórne wykorzystanie wody i zamykanie jej obiegu coraz częściej już na szczeblu przedsiębiorstwa.

4. Istota obiegu zamkniętego w odniesieniu do zasobów wodnych

Programy określane hasłami zielonej lub niskoemisyjnej gospodarki bądź rozwoju trwałego stają się w wielu krajach, szczególnie w USA i w Europie, podstawą koncepcji gospodarowania w obiegu zamkniętym. Unia Europejska wyrasta na lidera w zakresie wzrostu efektywności energetycznej i zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego, a ostatnio można już mówić o kompleksowych działaniach w ramach koncepcji gospodarki obiegu zamkniętego. W 2015 roku Komisja Europejska opublikowała Komunikat pt. „Zamknięcie obiegu – plan działania Unii dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym” a w czerwcu 2016 roku Rada ds. Środowiska UE zaproponowała, aby kraje członkowskie opracowały swoje programy działania w tej dziedzinie.

Unia wyodrębniła początkowo następujące obszary priorytetowe: tworzywa sztuczne, odpady żywnościowe, surowce krytyczne (głównie dla elektroniki), odpady rozbiórkowe i budowlane, biomasa i bioprodukty, a także nowe kierunki działania jak zwiększanie trwałości i możliwości naprawy bądź recyklingu wyrobów oraz promowanie symbiozy przemysłowej (produkt jednej branży surowcem dla drugiej). Zatem szczególnie nacisk położono na usprawnienie gospodarki odpadami, w tym recykling tworzyw sztucznych, oraz opracowanie norm środowiskowych dla surowców wtórnych i innych działań celem stworzenia europejskiego rynku na surowce wtórne, z zapewnieniem wysokiej ich jakości. W tych ramach znaczącą pozycję mają zająć surowce uzyskiwane z oczyszczania ścieków. Realizacja zaleceń unijnych powinna spowodować w okresie 2015-2030 ograniczenie odpadów żywnościowych o 50% (zalecenie także ONZ), zwiększenie recyklingu odpadów komunalnych do 65% i odpadów opakowaniowych do 75% oraz zredukowanie składowania odpadów do 10% i wdrożenie zakazu składowania odpadów segregowanych.

Zalecenia unijne w zakresie gospodarki obiegu zamkniętego obejmują 12 rekomendacji, które można krótko scharakteryzować w następujący sposób (Frerot 2013):

- 1-3. poprawa bezpieczeństwa energetycznego, podniesienie efektywności energetycznej, promowanie odnawialnych źródeł energii,
4. upowszechnienie systemu uprawnień zbywalnych do emisji zanieczyszczeń („handel emisjami”),
- 5-7. intensyfikacja zagospodarowania odpadów,
8. zwiększenie odpowiedzialności producentów za wyroby wprowadzane na rynek,
9. ochrona zasobów wodnych przed zanieczyszczeniami i nadmiernym poborem,
10. lepsze wykorzystanie ścieków i osadów ściekowych,
11. wdrożenie zasady odzysku kosztów gospodarki wodnej przy zapewnieniu lepszego dostępu do wody i urządzeń sanitarnych,
12. opracowanie powszechnie dostępnego zespołu wskaźników wydajności gospodarki wodnej celem m.in. zapewnienia wyższej jakości świadczeń ze strony dostawców wody (jak to jest już we Francji i Wielkiej Brytanii).

W zakresie **gospodarki wodnej** sformułowano aż 4 rekomendacje i ma to poniekąd związek z faktem, że obowiązująca od piątego roku Dyrektywa ramowa UE w sprawie wody nie zapewni jeszcze w perspektywie do 2020 roku dobrego stanu ekologicznego wód europejskich. Dlatego programy unijne eksponują kwestie wtórnego wykorzystania wody, w tym prawne określenie minimum wymogów dotyczących ponownego wykorzystania wody ściekowej, upowszechnienie tzw. najlepszych praktyk w zakresie ścieków oraz odsalanie zasobów wodnych. Zalecają intensyfikowanie badań nad zmianami klimatu oraz zjawiskami stepowienia i pustynnienia (zwłaszcza w południowej Europie, ale susza i stepowienie nasila się również w Wielkopolsce i na Kujawach), a także badań nad wpływem składników wyrobów farmaceutycznych, produktów dla higieny oraz środków ochrony roślin na stan środowiska naturalnego, w tym wód. Istotnym zadaniem staje się również określenie minimum poziomu usług wodnych oraz subsydiowanie ubogich warstw społecznych w dostępie do wody. Unia zaleca bowiem uwzględniać w cenie tych usług zwrot kosztów gospodarki wodnej ale jednocześnie obciążać ludność opłatami za wodę tylko do wysokości 4% budżetów gospodarstw domowych (w Wielkiej Brytanii wskaźnik ten wynosi ok. 3%, w Polsce w wielu gminach sięga już 4%, w krajach słabiej rozwiniętych spoza Unii nawet 8-10%).

Ponadto ważnym problemem jest zintegrowanie gospodarki w dorzeczach, zwłaszcza w sytuacji gdy 150 rzek, 40 jezior i ponad 100 zbiorników wód podziemnych ma w Europie charakter międzynarodowy.

Korzyści odzyskiwania surowców ze ścieków dobitnie ilustruje przykład produkcji nawozów fosforowych (fosforanowych). Otóż osady ściekowe z tych fabryk zawierają duże ilości fosforu i gdyby wprowadzić obieg zamknięty, to 20-30% zapotrzebowania na nawozy fosforowe może pokryć oczyszczanie ścieków. Jest to istotne także z tego powodu, że 90% fosforytów importuje się spoza krajów UE. Podobnie jest z zawartością kadmu w nawozach fosforowych (nawet 60 mg/kg).

W Polsce transformacja gospodarki w kierunku obiegu zamkniętego stanowi w pewnej mierze element *Strategii odpowiedzialnego rozwoju*, nazywanej też Planem Morawieckiego. Wyróżnia się w niej 4 rozdziały, czyli obszary priorytetowe: Zrównoważona produkcja przemysłowa, Zrównoważona konsumpcja, Biogospodarka, Nowe modele biznesowe. Plan ten określa się również jako program reindustrializacji, który ma zapewnić wyższe tempo rozwoju społeczno-gospodarczego. Dość powszechnie ocenia się, że cele tego programu są ambitne i właściwe, ale uwarunkowania i środki realizacji w perspektywie 2020 a nawet 2030 roku wydają się być zupełnie niewystarczające.

Pewne kontrowersje wzbudza także nowe Prawo wodne wchodzące w życie z dniem 1 stycznia 2018 roku, m.in. ze względu na koncentrację zarządzania gospodarką wodną oraz podniesienie stawek opłat ekologicznych za pobór wody. Kwestie te mogą mieć jednak korzystny wpływ na tworzenie zamkniętych obiegu wody.

5. Retencja oraz ponowne wykorzystanie wody w przedsiębiorstwach i gospodarstwach domowych

Ochrona zasobów wodnych w procesie wdrażania gospodarki obiegu zamkniętego odbywa się głównie poprzez oszczędzanie wody w działalności produkcyjnej i usługowej oraz przez zwiększanie dostępnych zasobów wody i jej retencję.

Oszczędzanie wody odbywa się wieloma sposobami począwszy od ograniczenia strat w jej przesyłaniu, stosowania zamkniętych obiegu wody, wdrażania technologii zmniejszających wodochłonność procesów produkcyjnych, usługowych i sanitarnych aż do upowszechnienia pomiaru zużycia wody w gospodarstwach domowych (wprowadzenie wodomierzy zmniejsza zużycie wody o 15-20%) oraz funkcjonowania odpowiednich systemów opłat i cenników. Wielkim problemem okazują się straty wody w przesyłce i sieciach wodociągowych – jako różnica między wodą *wyprodukowaną przez ujęcie* a wodą sprzedaną – gdyż w Polsce przekraczają 2-krotnie wskaźniki w krajach Europy Zachodniej rzędu 7-11%. Mimo wszystko w oszczędzaniu wody zanotowano duży postęp i pobór z dostępnych zasobów krajowych zmniejszył się w okresie powojennym z 30% do ok. 20% rocznego odpływu wód.

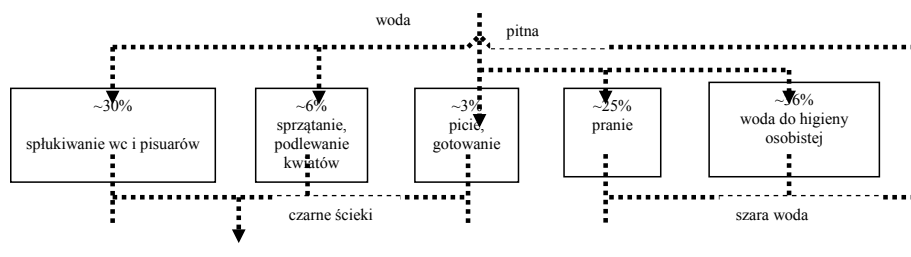
Jak dotąd, przeważa stosowanie obiegu otwartego wody, czyli systemu, w którym wodę pozyskuje się bezpośrednio ze źródła zaopatrzenia i jako zużyta wraca do rzeki. Coraz częściej stosuje się jednak obieg zamknięty (kołowy) i wtedy woda jest zwracana do punktu odbioru – w przypadkach gdy woda służy tylko do chłodzenia, ale także gdy woda obiegowa ulega zanieczyszczeniu i po odnowie wraca do procesu produkcyjnego. Obieg zamknięty wymaga więcej urządzeń, ale oszczędza się wodę, gdyż straty w czasie chłodzenia i uzdatniania wody obiegowej sięgają tylko 3-5%.

W Polsce przykładem obiegu zamkniętego wody są Zakłady Chemiczne „Wizów” SA z siedzibą w miejscowości Łąka koło Bolesławca i obieg zamknięty wody do chłodzenia wykorzystuje się co najmniej w kilkunastu zakładach. Z kolei w cukrowniach w Nakle i Włostowie oszczędza się 50% poboru wody świeżej dzięki wprowadzaniu do obiegu technologicznie biologicznie oczyszczonych ścieków.

Ocenia się, że wykorzystanie ścieków w gospodarce światowej może zaoszczędzić 15% obecnego zużycia wody, a lokalnie nawet więcej. Przykładowo, w USA powtórnie wykorzystaniu ścieków poddaje się 6,4 mln m³/dobę, głównie w stanach o skromnych zasobach wodnych. Ścieki po wstępnym oczyszczeniu stosuje się do nawadniania upraw rolnych, sadów, ogrodów, parków i innych terenów zielonych oraz w elektrowniach w postaci wody chłodniczej, a także w sanitariatach w gospodarstwach domowych, które mają podwójne systemy zaopatrzenia w wodę. Podobne rozwiązania stosuje się we Francji, w W. Brytanii (nawet do przerobu na wodę pitną), Japonii, Izraelu i innych krajach. W południowej Europie jest to już dość powszechny sposób nawodnień rolniczych. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO) opracowała wytyczne w sprawie zasad stosowania w tym celu oczyszczonych ścieków, we Francji i Włoszech obowiązują restrykcyjne przepisy Ministerstwa Zdrowia (w Polsce jeszcze ich nie ma). W Europie funkcjonuje już ok. 200 projektów wykorzystujących ścieki oczyszczone, rzadziej w krajach skandynawskich ze względu na bogate zasoby wodne. W Polsce do badań w tej dziedzinie jako zlewnię pilotażową wybrano zlewnię Proсны.

Jest to dorzecze w strefie niskich opadów atmosferycznych i małej zdolności retencji. W gminie Gołuchów wykorzystuje się ścieki komunalne do nawadniania uprawy wierzby energetycznej oraz podlewania zieleni.

Istotnego znaczenia nabierają możliwości wtórnego wykorzystania wody zużytej w gospodarstwach domowych. Podobnie jak już wprowadziliśmy powszechną segregację stałych odpadów komunalnych – chociaż wyróżniając tylko 3-4 ich rodzaje – to nadszedł czas na segregację również odpadów wodnych. Chodzi tu o tzw. wodę szarą (pitną) z wodociągu po wykorzystaniu do prania oraz higieny osobistej (zwykle 51% zużytej wody w gospodarstwie domowym) (schemat 2).



Schemat 2. Struktura wykorzystania wody w gospodarstwie domowym

Źródło: www.muratorodom.pl Woda z odzysku: Jak gromadzić wodę deszczową i wodę szarą?

Wodę pitną w gospodarstwach domowych stosuje się do spłukiwania toalet i pisuarów (30%) oraz do sprzątania i podlewania kwiatów (6%), co zaliczamy potem do *ścieków czarnych*, a pozostałe ilości służą do prania (25%) i do higieny osobistej (36%), co stanowi *wodę szarą*. Tak więc ok. 51% tej wody możemy odzyskać i użyć ponownie (schemat 2).

Recykling wody szarej stanowi prosty sposób oszczędzania wody, ograniczania ilości ścieków i ochrony środowiska naturalnego. Jeżeli bowiem zmniejszymy zużycie wody pitnej o 30%, to 4-osobowa rodzina zaoszczędzi 150 litrów/osobę/dobę, czyli 65,7 tys. tj. 65,7 m³ wody na rok. Mnożąc tę ilość przez stawki za 1 m³ wody oraz ścieków, to oszczędność wynosi 600-700 zł.

Odzysk wody szarej w systemie wewnętrznym wymaga połączenia zbiornika miski ustępowej z umywalką i wanną oraz pralką, co w praktyce jest na razie trudne do zrealizowania. Bardziej dostępne na rynku są specjalne zbiorniki do montowania w szafkach podumywalkowych, w których woda szara jest wstępnie oczyszczana i odprowadzana do spłuczki toalety. Z kolei w systemie zewnętrznym – stosowanym w większych domach rodzinnych i budynkach – wykorzystuje się wodę szarą oraz wodę z opadów atmosferycznych. Woda ta w zbiornikach może być filtrowana i oczyszczana biologicznie w takim stopniu, że może posłużyć nie tylko do podlewania ogrodu czy mycia tarasów i pojazdów ale również do prania i innych prac domowych. Do oczyszczania i przechowania wody deszczowej stosuje się odrębne zbiorniki retencyjne, z których dostarcza się ją do punktów odbiorczych w budynku za pomocą oddzielnej instalacji. Z dachu o powierzchni 120 m² można zebrać ok. 360 litrów deszczówki podczas opadu trwającego ½ godziny. Woda ta powinna być oczyszczona z liści i gałązek przez sito i gromadzona w zbiornikach zakopanych w ziemi lub zainstalowanych w piwnicy. Przyjmuje się, że 1 m³ objętości zbiornika starcza na odbiór deszczówki z 25 m² powierzchni dachu.

Przeciwdziałanie deficytowi wody przez *zwiększanie jej zasobów* jest w Polsce ograniczone ze względu na charakterystykę głównych rzek i ich dorzeczy oraz dość dobrze rozwiniętą infrastrukturę wodną jak również nieefektywność ekonomiczną odsalania wody morskiej. Natomiast znaczące rezerwy występują jeszcze w odkrywaniu i udostępnianiu wód podziemnych. Pewien potencjał tkwi ponadto w zmniejszaniu intensywności parowania wody a przede wszystkim w *retencji*, co wiąże się już z racjonalnym gospodarowaniem zasobami wodnymi. Spowolnienie parowania osiągamy przez zalesianie ugorów i nieużytków (wskaźnik lesistości w Polsce rzędu 30% nie jest wysoki) oraz zadrzewienia śródpolne a także korzystanie z technologii upraw zwiększających wilgotność gleby oraz z nawadniania. Z kolei w zbiornikach zatrzymujemy jedynie 6,5% rocznego odpływu rzek, ale według ocen IMiGW warunki pozwalają na 15%, jak w wielu krajach Europy Zachodniej. Jest jednak tylko 600 miejsc do znaczącego spiętrzenia wody. Zachowało się niewiele dawnych stawów i torfowisk – osuszanych pod uprawę – lecz niektóre z nich można przywrócić do poprzedniego stanu, czego podejmują się już niektóre nadleśnictwa (po 2000 roku wybudowano już 1,5 tys. małych zbiorników wodnych i 2,5 tys. drobnych budowli piętrzących). Agencje państwowe i komunalne mogą nie tylko rozwijać infrastrukturę wodną przez przebudowę obiektów hydrotechnicznych i sieci wodno-kanalizacyjnej – czyli zwiększać podaż wody – ale także wpływać na zmniejszenie popytu na wodę poprzez wprowadzanie zachęt cenowych i podatkowych dla ludności oraz przedsiębiorców jak również przez stosowanie ograniczeń ilościowych w zużyciu wody przez przemysł i rolnictwo. Istotną rolę mogą odegrać alternatywne źródła wody, jak wspomniane gromadzenie deszczówki oraz korzystanie z oczyszczonych ścieków. Wody deszczowe należy gromadzić celem wykorzystania ich w rolnictwie oraz w gospodarstwach domowych a także do kształtowania elementów krajobrazu.

Analizując inwestycyjne sposoby ochrony wód warto zwrócić uwagę na błędy w tej dziedzinie, jak osuszenie wielu naturalnych bagien, niewłaściwe melioracje pól prowadzące do wysuszenia gleby, regulacje rzek z prostowaniem ich biegów, co sprzyja powodziom. Z kolei w latach 80-tych i 90-tych dzięki dotacjom z zagranicy ponoszono zbyt wysokie nakłady na budowę zbyt dużych oczyszczalni ścieków i innych obiektów (na zapas), nie bacząc na tendencje zmniejszania zużycia wody i odprowadzanych ścieków oraz wysokie przyszłe koszty eksploatacji tych urządzeń, co okazało się później, gdy zaczęło brakować środków na ich utrzymanie. Ponadto można dowodzić, że nadal dość rozrzutnie inwestuje się w sieć wodociągowo-kanalizacyjną i oczyszczalnie ścieków (zamiast np. w budowę małych oczyszczalni przydomowych) na terenach słabo zaludnionych i o rozproszonej zabudowie oraz na terenach wyludniających się. Ostatnio pojawiają się jednak nowe projekty, które są wprawdzie dyskusyjne, ale zapowiadają efektywne rozwiązania, jak w zakresie ochrony przeciwpowodziowej podjęte decyzje o powrocie do idei terenów zalewowych w formie tzw. polderów oraz rezygnacja z niektórych wałów i zbiorników z powodu wyższych kosztów przedsięwzięć od ich efektów, czyli wartości chronionego w ten sposób majątku. Proponuje się więc indywidualne zabezpieczenia dla pojedynczych domów zagrożonych zalaniem do 0,5 m, za pomocą ścianek montowanych na czas powodzi, oraz przesiedlenia, gdyby woda była wyższa.

6. Wnioski

Wdrażanie koncepcji gospodarki obiegu zamkniętego nabiera ostatnio przyspieszenia za sprawą rozszerzenia recyklingu odpadów stałych m.in. w imię zmniejszania zapotrzebowania na surowce mineralne, których pozyskiwanie wywołuje wiele niekorzystnych skutków. Obecnie przychodzi także czas na powszechne stosowanie obiegu zamkniętego wody, co wydaje się łatwiejsze ze względu na odnawialność zasobów wodnych w sposób naturalny. Jednakże narastanie ekstremalnych zmian klimatycznych i pogodowych, w tym zwłaszcza pogłębianie się zjawiska suszy w południowej i środkowej Europie, nieco utrudnia gospodarowanie wodą.

Korzyści obiegu zamkniętego wody są następujące:

- Zmniejszanie poboru wody ułatwia korzystanie z mniej wydajnych źródeł;
- Oszczędzanie wody powoduje mniejsze zużycie energii na jej doprowadzanie do użytkownika i uzdatnianie;
- Zamykanie obiegu wody zwiększa pewność i ciągłość pracy urządzeń produkcyjnych i usługowych, a także:
 - daje możliwości obniżenia rozmiarów i kosztów urządzeń wodnych,
 - zwiększa lub zmienia strukturę nowych miejsc pracy w gospodarce wodno-ściekowej,
 - upowszechnia „najlepsze praktyki” w gospodarce wodno-ściekowej;
- Retencja i ponowne stosowanie oczyszczonych ścieków pozytywnie wpływa na regulowanie stanu wód w rzekach;
- Ograniczanie i likwidacja odprowadzania ścieków i zanieczyszczania zasobów wodnych stanowi istotny czynnik ochrony środowiska naturalnego.

Zamykanie obiegu wody w przedsiębiorstwach także w gospodarstwach domowych charakteryzuje się również pewnymi niedogodnościami technicznymi oraz zwiększonymi kosztami realizacji projektów zaopatrzenia w wodę. Oto niektóre z nich:

- instalowanie dodatkowych urządzeń do oczyszczania oraz chłodzenia wody,
- konieczność chemicznego uzdatniania wody obiegowej, aby uniknąć zwiększenia jej twardości,
- przy zwiększonej liczbie urządzeń większe prawdopodobieństwo wycieków oraz nawodnienia terenu i osiadania fundamentów,
- na ogół wyższa temperatura wody chłodniczej pochodzącej z obiegu zamkniętego,
- zwiększona komplikacja urządzeń gospodarki wodno-ściekowej i w związku z tym ryzyko awarii oraz wyższe wymagania obsługi mimo postępów w informatyzacji i automatyzacji.

Analiza i ocena ekonomicznej oraz ekologicznej efektywności projektów inwestycyjnych w zakresie zaopatrzenia w wodę, przeprowadzana według zasad rachunku efektywności kosztowej (tzw. inwestycji nieprodukcyjnych) czy analizy kosztów i korzyści (Cost-Benefit Analysis), będzie coraz bardziej – wraz z rozwojem społeczno-gospodarczym – wykazywać przewagę zamkniętego obiegu wody nad obiegiem otwartym.

Bibliografia

- 1) Adaption of Agreement on Global Environment and Development. United Nations, Rio de Janeiro – Nowy Jork 1992.
- 2) Brown A., Matlock M.D., A Review of Water Scarcity Indices and Methodologies. The Sustainability Consortium, Fayetteville 2011.
- 3) Chmielewski W., Cele i zadania gospodarki wodnej jako działy gospodarki narodowej. Zakład Gospodarki Wodnej Politechniki Krakowskiej, Kraków 2013.
- 4) Craig J.R., Vaughan D.J., Skinner B.J., Zasoby Ziemi. PWN, Warszawa 2003.
- 5) Frerot A., Gospodarka cyrkulacyjna i efektywność wykorzystania zasobów motorem wzrostu w Europie. Fundacja Roberta Schumana, “Kwestie Europejskie” nr 331, Warszawa 2013.
- 6) Gutry-Korycka M., Kundzewicz Z., Pociask-Karteczka J. et al., Zasoby wodne a ich wykorzystanie. „Nauka” 2014, nr 1, s. 77-98.
- 7) Kowalczak P., Konflikty o wodę. Wydawnictwo Kurpisz, Poznań 2007.
- 8) Królikowska J., Królikowski A., Wody opadowe. Odprowadzanie zagospodarowanie, podczyszczanie i wykorzystanie. Wydawnictwo Seidel-Przeweckie, Warszawa 2012.
- 9) Long R., Obieg wody, <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercyclepolish.html>
- 10) Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J., Behrens W.W., *Granice wzrostu*. PWE, Warszawa 1973.
- 11) Mikulski Z., Gospodarka wodna. PWN, Warszawa 1998.
- 12) The Millenium Development Goals Report. United Nations, Nowy Jork 2015.
- 13) Milly P.C.D., Kundzewicz Z.W., et al., Stationarity is dead: Whither water management? „Science”, 2008, vol. 319, no. 5863, s. 573-574.
- 14) Ochrona środowiska. GUS, Warszawa 2016.
- 15) Progress on Sanitation and Drinking Water. WHO, UNICEF, Genewa 2015.
- 16) Report on Growth within: a circular economy vision for competitive Europe. Ellen MacArthur Foundation, Mc Kinsey Centre for Business and Environment, Londyn 2015.
- 17) Raport o rozwoju społecznym. UNDP, Waszyngton 2006 oraz 2011.
- 18) Rocznik Statystyczny RP. GUS, Warszawa 2016.
- 19) Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 14 stycznia 2002 w sprawie określenia przeciętnych norm zużycia wody. Dz. U. 2002, nr 8, poz. 70.
- 20) Sullivan C., Calculating a Water Poverty Index. „World Development”, 2002, vol. 30, no 7, s. 1195-1210.
- 21) Thier A., Gospodarcze i społeczne przyczyny oraz skutki deficytu zasobów wodnych. Biblioteka „Ekonomia i Środowisko”, nr 36, Kraków 2016.
- 22) Thier A., Kontrowersje wokół proponowanych zmian w Prawie wodnym. „Aura” 2017, nr 4.
- 23) UN-Water Global Analysis and Assessment of Sanitation and Drinking Water. WHO, Genewa 2012.
- 24) Ustawa z dnia USTAWA z dnia 20 lipca 2017 r. Prawo wodne ,Warszawa, dnia 23 sierpnia 2017 r. Poz. 1566
- 25) Weiner J., Życie i ewolucja biosfery. PWN, Warszawa 2003.
- 26) World Water Development Report. UNDP 2013 oraz Ośrodek Informacji ONZ, Warszawa 2015.
- 27) Zamknięcie obiegu – plan działania UE dotyczący gospodarki o obiegu zamkniętym. Komisja Europejska, Bruksela 2015 [COM (2015) 614 final].