PRACE NAUKOWE UNIWERSYTETU EKONOMICZNEGO WE WROCŁAWIU
RESEARCH PAPERS OF WROCŁAW UNIVERSITY OF ECONOMICS nr 527 ● 2018

ISSN 1899-3192
e-ISSN 2392-0041

Anna Kozielec
Uniwersytet Rolniczy w Krakowie, Wydział Rolniczo-Ekonomiczny
e-mail: anka.kozielec@hotmail.com

WYKORZYSTANIE ENERGII ODNAWIALNEJ W PROCESIE ODSALANIA WODY NA PRZYKŁADZIE RADY WSPÓŁPRACY PAŃSTW ZATOKI PERSKIEJ: MOŻLIWOŚCI I WYZWANIA

USE OF RENEWABLE ENERGY FOR WATER DESALINATION PROCESS ON THE EXAMPLE OF THE GULF COOPERATION COUNCIL: POSSIBILITIES AND CHALLENGES

DOI: 10.15611/pn.2018.527.14
JEL Classification: O3

Streszczenie: Obecna zależność krajów GCC (Rada Współpracy Państw Zatoki Perskiej) od paliw kopalnych i gazu ziemnego nie jest dobrą strategią pod względem ekonomicznym. Szybkie zużywanie się zasobów naturalnych stanowi realne zagrożenie ich bliskiego wyczerpania. Zagrożona jest również możliwość realizacji idei zrównoważonego rozwoju, która mówi: „Postępuj tak, aby zapewniając możliwość zaspokajania potrzeb obecnych pokoleń, nie zagrażać zdolności przyszłych pokoleń do zaspokajania ich własnych potrzeb". Kraje GCC muszą rozważyć wykorzystanie energii odnawialnej, aby poradzić sobie z wahaniami cen ropy i gazu na rynku globalnym oraz w celu zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych. W niniejszym artykule przedstawiono potencjał wykorzystania technologii odsalania do produkcji wody do nawadniania w krajach GCC.

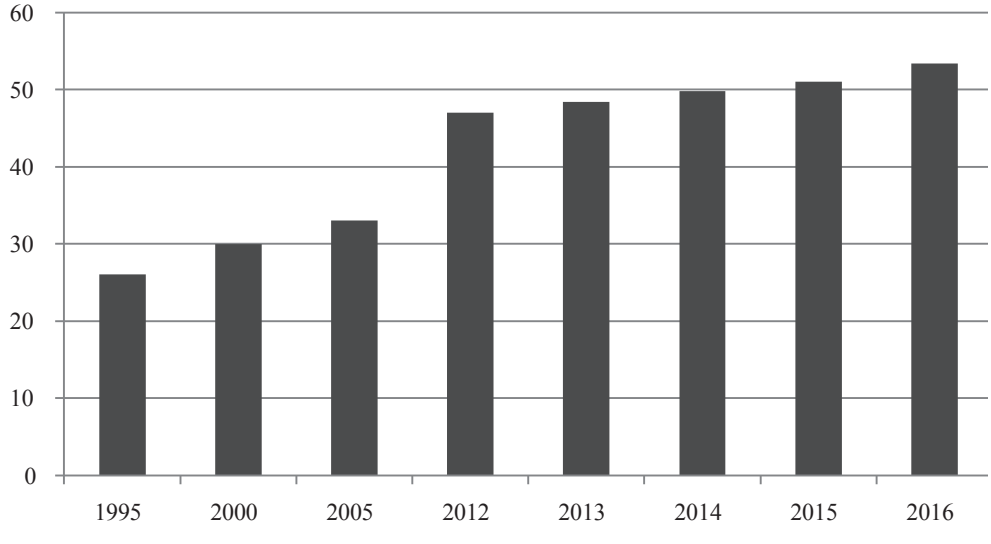
Słowa kluczowe: kraje GCC, odsalanie wody, energia odnawialna, nawadnianie, utylizacja solanki.

Summary: Dependence of the GCC countries on fossil oil and gas is not the best strategy in terms of economic and environmental sustainability. The rapid depletion of natural resources is a threat to their exhaustion. GCC countries must consider the use of renewable energy to cope with price fluctuations of oil and gas in the global market. They also need to lower the emission of greenhouse gases. Several studies pointed out that the desalination technology is probably the only option for producing ample amounts of water for agriculture in arid environments. This article explores the potential use of desalination technology for producing irrigation water in GCC countriesThe main challenge for considering desalination for agriculture is mainly economic. Only intensive horticulture of high value cash crops, such as vegetables is considered.

Keywords: GCC countries, desalination, renewable energy, irrigation, brine disposal.

1. Wstęp

Rada Współpracy Państw Zatoki Perskiej (Gulf Cooperation Council – GCC)[1] powstała w roku 1981 na skutek niekorzystnej sytuacji geopolitycznej w tym rejonie. W jej skład wchodzi sześć państw członkowskich: Bahrajn, Arabia Saudyjska, Kuwejt, Oman, Katar oraz Zjednoczone Emiraty Arabskie. Państwa te przejawiają wiele cech wspólnych na płaszczyźnie ekonomicznej, politycznej, kulturowej i społecznej. Łączy je również religia, język i podobne doświadczenia historyczne, gdyż wszystkie, poza Arabią Saudyjską, znajdowały się od XIX w. pod protektoratem brytyjskim. W latach 60. i 70. XX w. uzyskały niepodległość, niemal od razu stając przed koniecznością przetrwania w niestabilnym regionie i w otoczeniu znacznie silniejszych sąsiadów. Rada powstała przede wszystkim jako odpowiedź na agresywną politykę państw regionu. Położenie geograficzne odgrywa bardzo ważną rolę dla członków GGC ze względu na odkrycie zasobów ropy naftowej i gazu ziemnego w tym rejonie, po II wojnie światowej. Od tego czasu członkowie GCC doświadczyli olbrzymich zmian. Drastycznie zmienił się styl życia mieszkańców, a kraje te, uznawane za najbiedniejsze na świecie, awansowały do grona najbogatszych krajów świata, stając się kluczowymi graczami na globalnym rynku ropy naftowej.



Rys. 1. Liczba ludności (w mln) w krajach GCC w latach 1994-2016

Źródło: Biuletyn statystyczny [GCC statistical biulletin 2016].

[1] W literaturze polskiej ugrupowanie to nazywane jest też: Radą Współpracy Zatoki, Radą Współpracy Państw Zatoki Perskiej, Radą Współpracy Krajów Zatoki Perskiej. Dla potrzeb niniejszego artykułu przyjęto nazwę Rada Współpracy Państw Zatoki Perskiej.

W związku z tym region stał się jednym z najbardziej atrakcyjnych regionów na świecie dla przedsiębiorstw chcących wchodzić na nowe rynki. Spowodowało to olbrzymi przyrost ludności. Szybko rozwijające się gospodarki krajów GCC potrzebują siły roboczej – nie tylko robotników fizycznych, ale także pracowników wysoko wykwalifikowanych. W ciągu ostatnich pięćdziesięciu lat liczba ludności Krajów Zatoki Perskiej zwiększyła się ponad sześciokrotnie. Jeszcze w 1970 roku we wszystkich państwach GCC mieszkało 7,76 mln ludzi. W ciągu kolejnych dziesięciu liczba ta podwoiła się. W roku 2005 mieszkało na ich terytorium ponad 33 mln osób, a w roku 2016 ponad 53 mln. Fenomen tego wzrostu jest związany z gwałtownym zwiększeniem się cen na surowce energetyczne na światowych rynkach. Największe przyrosty populacji w krajach GCC miały miejsce, gdy ceny ropy i gazu rosły najszybciej.

Należy dodać, że dużą częścią ogólnej liczby ludności krajów GCC stanowią obcokrajowcy, których odsetek sięga nawet do 85% [Biuletyn statystyczny GCC, 2016]. Są to niezwykle istotne uwarunkowania dalszego rozwoju.

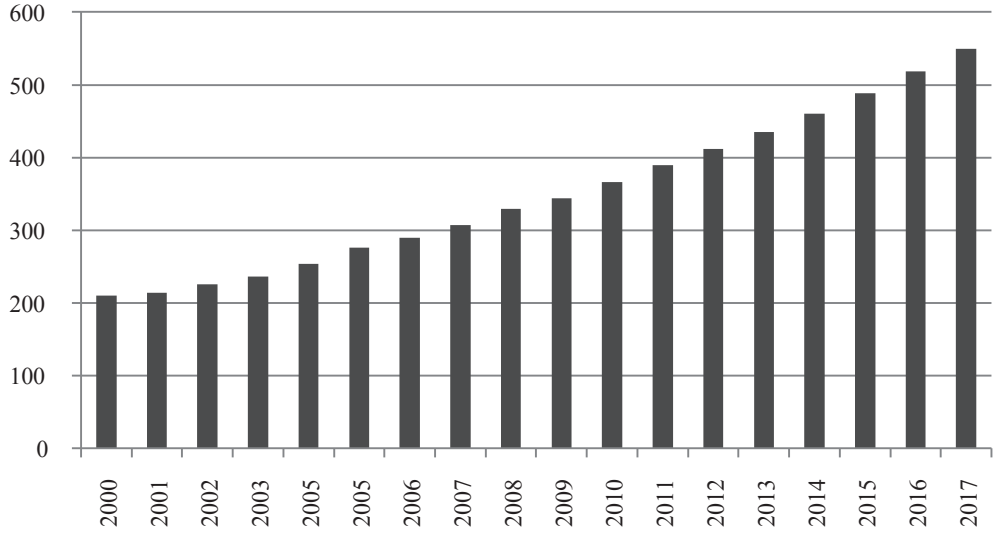
2. Materiał i metody

Celem niniejszego artykułu jest odpowiedź na pytanie: czy możliwe jest zaprzestanie spalania paliw kopalnianych w celu zapewnienia wody pitnej? W artykule wykorzystano analizę literatury przedmiotu w częściach dotyczących zagadnień teoretycznych. Aby uwydatnić podobieństwa i różnice występujące pomiędzy poszczególnymi krajami, zastosowano metodę porównawczą. W celu uporządkowania danych ilościowych posłużono się również ujęciami tabelarycznymi. Wykorzystano też dane statystyczne Biuletynu Statystycznego GCC oraz Banku Światowego. Obiektem badań były kraje: Arabia Saudyjska, Zjednoczone Emiraty Arabskie, Kuwejt, Katar, Bahrajn i Oman.

3. Wyniki i dyskusja

3.1. Zużycie energii elektrycznej w krajach GCC

Rozwój gospodarczy, postępująca industrializacja, przyrost liczby mieszkańców, intensyfikacja handlu i inne czynniki sprawiają, że przed władzami krajów GCC staje wiele wyzwań. Jednym z nich jest zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego. Głównym źródłem energetycznym są surowce mineralne: ropa naftowa i gaz ziemny, ale istnieje wiele czynników przemawiających za ograniczeniem ich roli. Do najważniejszych należą: zagrożenie wyczerpania zasobów, duża emisja dwutlenku węgla podczas spalania, a także niepewność cen na rynkach. Podejmowane są zatem próby pozyskania odnawialnych źródeł energii, zwłaszcza słonecznej i wiatrowej. Rysunek 2 pokazuje, jak ogromne zasoby energetyczne są zużywane z roku na rok do produkcji energii elektrycznej służącej głównie do procesu odsalania wody morskiej.



Rys. 2. Zużycie energii w mln t ropy naftowej w latach 2000-2017 w krajach GCC

Źródło: opracowanie własne na podstawie [Economist Intelligence Unit 2017].

Nawet jeśli oszczędność energii może wydawać się niepotrzebna, kraje GCC muszą podjąć zdecydowane kroki w celu zmniejszenia zużycia energii, a co za tym idzie, zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych. Wyzwania związane z bezpieczeństwem energetycznym, stojące przed członkami organizacji, zależą od wahań cenowych na międzynarodowym rynku ropy naftowej, odkrycia ropy i gazu łupkowego w niektórych krajach oraz programów dotacyjnych na poziomie krajowym. Ponadto niektóre kraje GCC nie są w stanie wyprodukować odpowiedniej ilości gazu ziemnego, w związku z tym importują go od innych członków GCC lub z Iranu. Stało się to powodem inwestowania w nowe technologie, aby w przyszłości unikać takich sytuacji [Economist Intelligence Unit 2010]. Kraje GCC powinny zatem podjąć zdecydowane działania na rzecz zrównoważonego rozwoju w energetyce poprzez poprawę efektywności energetycznej, inwestowanie w paliwa alternatywne i odnawialne źródła energii oraz inwestowanie w nowe technologie do odsalania wody.

3.2. Stan zasobów wodnych w krajach GCC

Niedobór wody w krajach GCC jest bardzo poważnym problemem i stanowi jedną z głównych przeszkód w rozwoju tych krajów, zwłaszcza w zakresie rolnictwa oraz bezpieczeństwa żywnościowego. Świat arabski jest obszarem, na którym występują największe niedobory wody na świecie, natomiast państwa GCC znajdują się w stanie jej „absolutnego braku" (*absolute scarcity*). Sytuacja tych państw jest bardzo trudna z uwagi na to, iż roczna suma opadów wynosi w nich mniej niż 165 m^3 *per*

capita, podczas gdy średnia światowa wynosi 7000 m^3 *per capita* [zob. Arab Sustainable Development 2015].

Co więcej, zmiana klimatu spowodowana wzrostem globalnego ocieplenia oraz emisją gazów cieplarnianych pogarsza sytuację w regionie i skutkuje przedłużającymi się okresami suszy. Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu przewiduje, że region będzie musiał się zmierzyć ze stresem środowiskowym wynikającym ze wzrostu emisji gazów cieplarnianych, które mogą skutkować spadkiem opadów.

Tabela 1 ukazuje rezerwy zasobów wodnych w krajach GCC. Z danych zawartych w niej wynika, że kraje GCC nie mogą uznawać zasobów wód podziemnych za strategiczne źródło wody pitnej. Jedynym sposobem na uzyskanie wody pitnej jest odsalanie.

Tabela 1. Zasoby wodne w krajach GCC

Kraj	Obszar (km^2)	Suma opadów rocznych (mm)	Zasilnie wód podziemnych (Mm^3y^{-1})	Nieodnawialne zasoby wody (Mm^3)
Arabia Saudyjska	2 149 690	30-550	3 850	428 400
Bahrajn	652	30-140	110	Nieistotne
Katar	11 610	20-150	50	Nieistotne
Kuwejt	17 818	30-140	160	–
Oman	300 000	80-400	900	102 000
Zjednoczone Emiraty Arabskie	83 600	80-160	190	–

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych Banku Światowego [World Bank 2015].

Ponadto mieszkańcy krajów GCC zużywają bardzo dużo wody; M. Ahmed [2016] wskazał, że kraje GCC zużywają 816 m^3 na mieszkańca rocznie. Jest to dużo więcej niż średnia światowa, którą szacuje się na 500 m^3 na mieszkańca rocznie [PwC 2014]. Jest to spowodowane wzrostem populacji i stylem życia mieszkańców. Jednak to sektor rolniczy jest największym konsumentem wody w tym rejonie.

Kraje GCC są świadome rosnącej konkurencji na rynku energetycznym oraz zdają sobie sprawę, że zasoby ropy i gazu kiedyś się skończą. Dlatego biorąc pod uwagę obecny stan wód oraz zmiany klimatu, potrzebne jest nowatorskie i innowacyjne podejście, aby uniezależnić się od źródła energii opartego na ropie i gazie oraz znaleźć alternatywne źródło pozyskiwania wody. Badania sugerują, że dzięki technologii odsalania woda dostarczona do nawadniania jest odpowiednia do utrzymania wartościowych upraw oraz uzyskiwania świeżej żywności w krajach GCC.

3.3. Zastosowanie odsolonej wody morskiej w rolnictwie: możliwości i wyzwania

Pobór wód podziemnych w krajach GCC jest dużo wyższy niż zasilanie z nieregularnych i niskich opadów. Ponadto spowodował on spadek wód gruntowych do po-

ziomu krytycznego. Na skutek tego pojawiły się problemy środowiskowe i społeczne. Na przykład w przybrzeżnych warstwach wodonośnych w Omanie wody gruntowe spadły poniżej poziomu wody morskiej. Spowodowało to brak równowagi pomiędzy poziomem morza a warstwami wodonośnymi. To z kolei spowodowało skażenie przybrzeżnych warstw wodonośnych w rejonie Al Batinah wodą morską. Al Batinah to najbardziej rozległy rolniczy region w kraju. Rolnicy nie mają tam innego źródła wody z wyjątkiem wód gruntowych, które zostały skażone przez słoną wodę morską [Al-Belushi 2003; Bajjali 2003; Al Barwani, Helmi 2006; Choudri i in. 2013]. Zasolone gleby rolne to ogromna strata dla rolników: pogorszenie się jakości gleby, utrata plonów i wzrost tolerancji na sól niektórych roślin. Ta sytuacja sugeruje rozważenie alternatywnych źródeł wody w połączeniu z innowacyjnymi technikami zarządzania zasobami wodnymi w celu utrzymania rolnictwa w krajach GCC, a szczególnie w miastach nadmorskich.

Al Khamisi [2014] sugeruje użycie oczyszczonej wody ściekowej (TWW) wraz z wodą gruntową do nawadniania w celu zminimalizowania poboru wód podziemnych i poprawy ciśnienia hydrostatycznego w strefie przybrzeżnych warstw wodonośnych Al Batinah (Oman). Jednak działanie to nie jest opłacalne ze względu na wysokie koszty transportu i dystrybucji. Al Jabri [2012] zbadał możliwość wstrzyknięcia nadmiaru oczyszczonej wody ściekowej do przybrzeżnych warstw wodonoś-nych, aby zmniejszyć możliwość przeniknięcia wody morskiej. Jednak sztuczne zasilanie jest kosztowne i tylko niewielka część wody może być odzyskana [Bouwer 2002]. Zasilenie oczyszczoną wodą ściekową może prowadzić do zmian fizycznych i chemicznych gleb w warstwie wodonośnej. Zanieczyszczenie drobnoustrojami, metalami ciężkimi lub pierwiastkami śladowymi, które są obecne w takiej wodzie, może doprowadzić do jej skażenia [Bouwer 2002]. Elimelech i Philip [2011] wskazują proces odsalania wody morskiej jako najskuteczniejszą opcję, dzięki której możliwe jest uzyskanie wody w dużych ilościach. Według Lattemanna [2010] koszty oczyszczania wody ściekowej i koszty odsalania są bardzo podobne.

3.4. Globalne doświadczenie w zakresie odsalania wody dla rolnictwa

W 150 krajach na całym świecie pracuje obecnie 17 000 zakładów odsalania wody morskiej, a szacunki wskazują, że do roku 2020 liczba ta się podwoi. Wiele krajów wykorzystuje technologię odsalania jako źródło wody do nawadniania. Hiszpania jest wiodącym krajem na świecie – 22% odsolonej wody (14 000 000 m^3/dzień) wykorzystuje się tam do nawadniania upraw [Zarzo i in. 2012]. Przykładami roślin uprawianych w Hiszpanii z wykorzystaniem odsolonej wody są pomidory, papryka, arbuzy, pomarańcze i winogrona. Kuwejt wykorzystuje około 13% odsolonej wody (1 000 000 m^3/dzień) w rolnictwie [Burn 2015]. Arabia Saudyjska, jako największy na świecie producent odsolonej wody, wykorzystuje tylko 0,5% swojej zdolności do odsalania dla rolnictwa. Inne kraje, takie jak Włochy, Australia, Chiny, Chile, Katar, Bahrajn i USA, wykorzystują odsoloną wodę w różnych ilościach.

Odsalanie w rolnictwie ma według S. Burna [2015] wiele zalet:
- dostosowana jakość wody do nawadniania upraw;
- zapewniona podaż wody;
- produkcja odsolonej wody może być zwiększona w porównaniu z innymi źródłami wody;
- odsolona woda może osiągnąć wyższą cenę sprzedaży ze względu na jakość i pewność dostaw;
- odsolenie wody pozwala na odzyskiwanie gleb zasolonych.

Na wybór technologii odsalania ma wpływ jakość pobieranej wody, koszty energii, zużycie energii i cena odsolonej wody. Z wyborem technologii odsalania, w celu wytworzenia wody do nawadniania, wiąże się wiele wyzwań. Głównym wyzwaniem jest czynnik ekonomiczny: odsalanie jest wciąż kosztowne dla rolnictwa. Koszty odsalania można zmniejszyć poprzez stosowanie bardziej wydajnych systemów irygacyjnych oraz intensyfikacji upraw. Kolejnym wyzwaniem jest sposób utylizacji solanki. Proces odsalania z wykorzystaniem odwróconej osmozy wytwarza solankę o dwukrotnie wyższym poziomie zasolenia niż pobrana woda [FAO 2003]. Dlatego też śródlądowe odsalanie jest utrudnione ze względu na utylizację solanki, co zwiększa koszt uzyskania wody odsolonej. Jakość odsolonej wody używanej do nawadniania zwykle spełnia wymagania dotyczące całkowitej zawartości soli rozpuszczonych (TDS) o wartości przewodnictwa elektrycznego (EC) 0,2-0,3 dS/m. W zależności od źródła wody zasilającej należy zachować ostrożność, jeśli chodzi o poziom boru (B) i TDS w odsolonej wodzie. Koncentracja boru w wodzie do nawadniania powinna być mniejsza niż 0,50 mg/l, TDS mniejsza niż 450 mg/l, a stężenie chloru mniejsze niż 105 mg/l [Shaffer i in. 2012].

Kolejną kwestią związaną z procesami odsalania wody jest usuwanie dwuwartościowych kationów, takich jak wapń, magnez i siarczany. Kationy te stabilizują strukturę gleb rolnych i są substancjami odżywczymi dla roślin. Oznacza to, że konieczna jest remineralizacja odsolonej wody i odbywa się, generując dodatkowe koszty w procesie odsalania.

3.5. Przykład odsalania wody morskiej dla rolnictwa w Omanie

Al Jabri [2015] badał proces odsalania wody metodą odwróconej osmozy na wybrzeżu Al Batinah, biorąc pod uwagę następujące wskaźniki: koszt odsalania, eksploatację i koszty utrzymania instalacji odsalających, cel odsalania, ilość i jakość wody odsolonej i solanek, utylizację solanek oraz rodzaje upraw.

Wytworzona woda była zdemineralizowana, jednak spełniała wymagania dotyczące nawadniania.

Badane gospodarstwa nie posiadały szklarni, a odsoloną wodę stosowano do nawadniania palm i pól z warzywami oraz innymi uprawami. Oznacza to, że rolnicy nie brali pod uwagę kwestii ekonomicznych i rentowności. Drugim problemem okazał się sposób utylizacji solanki. Rolnicy nie byli świadomi wpływu solanki na środowisko, zalewając nią stare studnie czy rowy. Woda solankowa natychmiast

niszczy strukturę gleby i zanieczyszcza warstwy wodonośne. Pogorszenie struktury gleby powoduje niskie zdolności filtracyjne, a zatem solanka pozostaje na powierzchni gleby przez dłuższy czas. Rolnicy uważają, że utylizacja solanki jest jedyną barierą, aby korzystać z odsalania wody w ich gospodarstwach.

Rolnicy w Omanie płacą 10 baisas (0,01 OMR/kWh) za kilowatogodzinę, czyli około 2,1 euro, podczas gdy koszt energii elektrycznej wynosi 25 baisas (5,2 euro). Po dodaniu infrastruktury dystrybucyjnej całkowity koszt energii elektrycznej jest szacowany na 50 baisas/kWh (10,4 euro). Al Jabri [2015] przedstawił analizę faktycznych kosztów odsalania dla rolników w Al Batinah. Woda używana do odsalania w Omanie jest słonawa z całkowitą ilością rozpuszczonych soli (TDS) około 10 000 mg/l. Żywotność instalacji odsalających w Omanie wynosi około 10 lat. Zakładając odsetki w wysokości 12% (oprocentowanie małych pożyczek w Omanie) i 10 lat żywotności instalacji odsalających, całkowity koszt odsalania dla rolnika waha się od 215 do 310 baisas/m^3 (45,7-66,4 euro). Różnica między tym, co płacą rolnicy, a rzeczywistym kosztem energii, jest subsydium pośrednim. Dlatego rolnicy mogą zyskać przy obecnych subsydiowanych cenach energii na rynku, prowadząc uprawy. W raporcie FAO [2006] zostały opisane warunki ekonomiczne, w których rolnicy mogą czerpać zyski, wykorzystując technologię odsalania w Omanie. Powinni oni uprawiać rośliny o wysokiej wartości, takie jak papryki, bakłażany, ogórki, cebula, marchew, pomidory koktajlowe i truskawki. Należy zauważyć, że raport FAO [2006] nie zawierał w tej analizie kosztów utylizacji solanki.

3.6. Odsalanie wody z wykorzystaniem energii odnawialnej

Globalnym trendem na rynku energetycznym jest dążenie do zmniejszenia zużycia energii poprzez rozwój bardziej energooszczędnych technologii i znalezienie substytutów paliw kopalnych. Kraje GCC są świadome wzrostu konkurencji na globalnym rynku energii i muszą być gotowe na przyszłość. Muszą szukać alternatywnych źródeł energii ze względu na stale rosnące zapotrzebowanie na świeżą wodę i energię w Zatoce. W międzyczasie muszą również pracować nad rozwojem technologii wykorzystującej odnawialne źródła energii, aby bardziej efektywnie chronić środowisko naturalne. Technologie oparte na odnawialnych źródłach energii, takich jak wiatr, energia słoneczna, energia geotermalna, mogą być również wykorzystane do odsalania wody [Serpen 2010; Gossen 2010].

Połączenie odnawialnych źródeł energii z systemami odsalania ma wielki potencjał środowiskowy i przemysłowy w krajach ubogich w wodę [Mahmoudi i in. 2008, 2010; Gossen, Schaby 1999]. Skuteczna integracja źródeł energii odnawialnej z systemem odsalania pozwoli krajom GCC na rozwiązanie problemu braku wody na poziomie miast bez wpływu na zanieczyszczenie powietrza i globalne ocieplenie spowodowane zmianami klimatycznymi. Ponadto podejście to pomoże ominąć problemy rosnących cen paliw i zmniejszania dostaw paliw kopalnych [Goosen i in. 2011].

W olbrzymim parku solarnym położonym w pobliżu Dubaju – Mohammed bin Rashid Al. Maktum Solar Park, powstał obiekt przeznaczony do odsalania wody. System zasilany jest szeregiem paneli słonecznych i akumulatorów. Jest on w stanie wyprodukować około 50 000 litrów wody pitnej dziennie do użytku na miejscu. Jest to bardzo mało w porównaniu z innymi zakładami do odsalania wody, ale stanowi ważny krok w dalszych rozwoju technologii solarnej.

Według raportu International Food Policy Research do 2050 r. ponad połowa populacji na świecie będzie zagrożona ograniczeniem dostępu do wody pitnej, jeśli obecna tendencja się utrzyma. Raport Banku Światowego podaje, że zasilanie energią solarną jest trzy razy droższe niż zasilanie z sieci. Zakłady do odsalania wody muszą działać 24 godziny na dobę i konieczne jest użycie drogich akumulatorów uzupełniających energię słoneczną po zachodzie słońca. Oczekuje się jednak, że koszty szybko zmaleją dzięki wzrastającej wydajności oraz spadającym cenom energii solarnej. Kolejnym powodem, dla którego inicjatywa okazuje się kosztowna, jest konieczność wykorzystania dużej przestrzeni dla instalacji solarnych.

Spośród znanych sposobów magazynowania energii cieplnej na uwagę zasługują stawy słoneczne. Promieniowanie słoneczne jest kumulowane w zbiorniku wodnym o dużym stężeniu soli. Instalacja połączona jest z organicznym obiegiem Rankine'a. Staw jest sztucznie podzielony na trzy strefy. Górna warstwa powierzchniowa (izolująca), o grubości 0,15-0,3 m i małym zasoleniu, działa jako przezroczysta pokrywa i termiczny izolator. Warstwa środkowa (przejściowa), o grubości 1-1,5 m, służy jako dodatkowy izolator. W warstwie tej następuje wzrost zasolenia i temperatury wraz ze zwiększaniem się głębokości. Dolna warstwa (akumulacyjna), o grubości 2-7 m z dużą koncentracją soli, działa jako pochłaniacz i magazyn energii cieplnej (Tchanche).

Podstawową zaletą stawów słonecznych jest zdolność do magazynowania energii na długi okres, która może być później odzyskana poprzez użycie pompy ciepła.

Zaletami stawu słonecznego są: moc i sprawność wyższa niż kolektora słonecznego; mniejsze straty ciepła do otoczenia w porównaniu z kolektorami słonecznymi; możliwość wykorzystania do odsalania wody morskiej oraz prosta budowa.

Kraje Zatoki Perskiej mają doskonałe warunki naturalne, sprzyjające pozyskiwaniu energii słonecznej. Przeciętne średnie nasłonecznienie w tym rejonie to ok. 6 kWh/m^2 dziennie. W takich warunkach wydajność jednego kolektora może wynieść ok. 9 kg odsolonej wody dziennie.

4. Wnioski

Olbrzymie ilości ropy naftowej i gazu ziemnego są wykorzystywane w procesie odsalania wody w krajach GCC. Spalanie paliw kopalnych powoduje emisję gazów, które przyczyniają się do globalnego ocieplenia i zmian klimatycznych. Pozyskiwanie wody pitnej przy wykorzystaniu energii solarnej przedstawia się jako idealne rozwiązanie w obliczu problemów związanych z występowaniem efektu cieplarnia-

nego. Biorąc pod uwagę warunki pogodowe oraz ilość naturalnych zasobów wodnych w regionie GCC, proces odsalania wody przy użyciu odnawialnych źródeł energii jest prawdopodobnie najlepszym wyborem. Jedyną barierą jest czynnik ekonomiczny. Zasilanie energią słoneczną jest wciąż droższe niż zasilanie z sieci. Najbardziej opłacalną opcją jest użycie energii słonecznej do procesu odsalania metodą odwróconej osmozy w połączeniu z rolnictwem intensywnym. Bardzo ważnym problemem jest sposób utylizacji solanki, nad którym wciąż trwają badania.

Literatura

Ahmed M., Al Jabri S., Choudri B.S., 2016, *Green challenges and some technological solutions in the water sector of the Gulf Cooperation Council countries*, Oxon OX14 4RN, London, UK.

Al-Belushi A.S., 2003, *Desertification in Al Batinah Plain, Sultanate of Oman*, PhD dissertation, Jordan University, Jordan.

Al Jabri S., Ahmed M., Al Maktoumi A., Prathapar S.A., 2012, *Potential of managed aquifer recharge in the Governorate of Muscat, the Sultanate of Oman*, Hannover, Germany.

Al Khamisi S., Prathapar S.A., Ahmed M., 2014, *Conjunctive use of reclaimed water and groundwater in crop rotations*, WLE Journal Articles, Land and Water Productivity.

Bouwer H., 2002, *Artificial recharge of groundwater: hydrogeology and engineering*, Hydrogeol. J. 10:121-142.

Burgess G., Lovegrove K., 2005, *Solar thermal powered desalination: membrane versus distillation technologies*, Australian National Universit, Canberra ACT 0200, Australia.

Danecki J., 2001, *Arabowie*, Państwowy Instytut Wydawniczy, Warszawa.

Danecki J., 2007, *Podstawowe wiadomości o islamie*, Wydawnictwo Akademickie Dialog, Warszawa.

Economic and Social Commission for Western Asia, 2015, Arab Sustainable Development Report, cyt. jako: [Arab Sustainable Development 2015].

Economist Intelligence Unit, 2009, "The GCC in 2020: The Gulf and its people", The Economist, http://www. economist.com/ (dostęp: 20.03.2018), cyt. jako: [The Economist 2009].

Elimelech M., Philip W.A., 2011, *The future of seawater desalination: energy, technology, and the environment*, Science, 333, s. 712-717.

Food and Agriculture Organization (FAO), 2003, Desalination of brackish water and seawater, status in California and the USA by K. Tanji. Draft report, FAO, Rome, Italy, cyt. jako: [FAO 2003].

Fronia M., 2010, *Adaptacja do negatywnych skutków zmian klimatycznych. Znaczenie analizy kulturowej dla skuteczności projektów rozwojowych*, [w:] Górak-Sosnowska K., Jurewicz J. (red.), *Kulturowe uwarunkowania rozwoju w Azji i Afryce*, Wydawnictwo Ibidem, Łódź, s. 351-364.

GCC statistical bulletin. 2016, GCC statistical bulletin 2014, Muscat, Sultanate of Oman, cyt. jako: [GCC statistical bulletin 2016].

Goosen M., Mahmoudi H., Ghaffour N., Sbalani S.S., 2011, *Application of renewable energies for water desalination*, [w:] Schorr M., *Desalination, trends and technologies*, InTech publishing Inc. Rijeka, Croatia.

Kantowicz E., 1999, *Strefa sucha. Zasoby i zagrożenia rolnictwa*, Wydawnictwo Akademickie Dialog, Warszawa.

Kozanecka M., 1968, *Rolnictwo na Bliskim Wschodzie*, Polska Akademia Nauk, Kraków.

Lattemann S., Kennedy M.D., Schippers J.C., Amy G., 2010, *Sustainable water for the future: water recycling versus desalination*, Sustain, Water Future, 2, s. 7-39.

Łęcka I., Plit F., 2006, *Afryka Północna i Azja Południowo-Zachodnia – tradycja i nowoczesność w świecie islamu*, [w:] Makowski J. (red.), *Geografia regionalna świata*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, s. 147-173.

Mahmoudi H., Abdul-Wahab S.A., Goosen M.F.A., Sablani S.S., Perret J., Ouagued A., 2008, *Weather data and analysis of hybrid photovoltaic-wind power generation systems adapted to a seawater greenhouse desalination unit designed for arid coastal countries*, Desalination, 222, s. 119-127.

Otok S., 2004, *Geografia polityczna: geopolityka, ekopolityka, globalistyka*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

Shaffer D.L., Yip N.Y., Gilron J., Elimelech M., 2012, *Seawater desalination for agriculture by integrated forward and reverse osmosis: improved product water quality for potentially less energy*, J. Membrane Sci. 415-416, s. 1-8.

World Bank, 2005, *A Water Sector Assessment Report on the Countries of the Cooperation Council of the Arab States of the Gulf*, Report No. 32539-MNA, cyt. jako: [The World Bank 2005].

Zarzo D., Campos E., Terrero P., 2012, *Spanish experience in desalination for agriculture*, Desalin, Water Treat, 51, s. 53-66.