

**Andrzej Walewski**

Uniwersytet Warszawski  
Wydział Geografii i Studiów Regionalnych  
Zakład Geografii Regionalnej  
awalewsk@uw.edu.pl

**ROLNICZE WYKORZYSTANIE WÓD NA SAHARZE**

**The use of water for agriculture in the Sahara**

*Historia rolnictwa obszarów suchych jest historią  
rozwiązywania przez człowieka problemu braku wody*

(Lawton, Wilke).

**Abstract:** The Sahara has exceptionally unfavourable natural conditions for farming. The extremely low precipitation and the high prevailing temperature allow for plant cultivation only in artificial irrigation conditions. The author discusses the regions' water resources (precipitation, surface, underground waters) and describes various ways of their use for agriculture. He also enumerates the main advantages and limitations of the technologies used, both traditional and modern, while placing special emphasis on the natural conditions of irrigated agriculture.

**Słowa kluczowe:** rolnictwo nawadniane, przyrodnicze uwarunkowania, Sahara

**Key words:** irrigated agriculture, natural conditions, the Sahara

Relacje między człowiekiem a przyrodą nabierają szczególnego charakteru w środowiskach ekstremalnych, takich, jakie panują np. w regionach polarnych, w wysokich górach, na pustyniach. Przyroda piętrzy tam przed ludźmi największe bariery, stawia najwyższe wymagania. Skuteczne pokonanie owych barier warunkuje możliwość egzystencji ludzi na obszarach o skrajnie niekorzystnych warunkach środowiskowych. Do tej kategorii terenów należą obszary suche. Występują one na wszystkich kontynentach (poza Antarktydą), zajmują znaczny obszar, szacowany – wedle różnych kryteriów – na 20–25% powierzchni lądów.

Największym zwartym obszarem suchym na Ziemi jest Sahara. Wyróżnia się nie tylko wielkością powierzchni (ok. 9 mln. km<sup>2</sup>), ale również stopniem natężenia suchości. Przeważająca jej część zaliczana jest bowiem do kategorii

obszarów skrajnie suchych, tj. takich, dla których wskaźnik suchości, wyrażony stosunkiem średniego opadu rocznego do średniej rocznej potencjalnej ewapotranspiracji, jest mniejszy od 0,03. Ekstremalna suchość Sahary jest rezultatem przede wszystkim skrajnie niskich opadów. Południowe i północne granice pustyni są nieostre, umowne; najczęściej prowadzi się je wzdłuż izohiety 200 mm (niekiedy 150 lub 100 mm). Większa część Sahary otrzymuje jednak opady znacznie niższe, poniżej 50 mm; obszary położone w pobliżu zwrotnika Raka – mniej niż 20 mm, w części wschodniej – mniej niż 5 mm. Opady są zazwyczaj gwałtowne i bardzo nieregularne, na niektórych obszarach występują co kilka, kilkanaście lat. Suchość wzmagają dodatkowo wysokie temperatury; średnie miesięczne w okresie lata przekraczają 30°C, miejscami 35°C, a maksymalne – 50°C (tab.1). W miejscowości Al-Azizijja w Libii zanotowano rekordową temperaturę na Ziemi – 57,8°C.

**Tab. 1.** Średnia roczna suma opadów (P w mm) oraz średnia (t) i maksymalna (T) temperatura lipca (w °C) w okresie 1961–90 w wybranych miejscowościach na Saharze  
**Tab. 1.** Average annual precipitation (P in mm) and average (t) and maximum (T) temperature in July (w °C) in selected locations in the Sahara in 1961–1990

Miejscowość	P	t	T
Ad-Dahila (Egipt)	0	30,9	49,5
Asjut (Egipt)	0	29,6	48,4
Asuan (Egipt)	0	33,6	49,5
Charga (Egipt)	1	32,8	50,3
Wadi Halfa (Sudan)	1	32,8	48,7
Dongola (Sudan)	13	33,6	49,1
Faya (Czad)	11	-	-
Dżanat (Algieria)	16	31,1	-
Ajn Salah (Algieria)	18	37,0	-
Adrar (Algieria)	14	36,0	-
Timimun (Algieria)	16	35,3	-

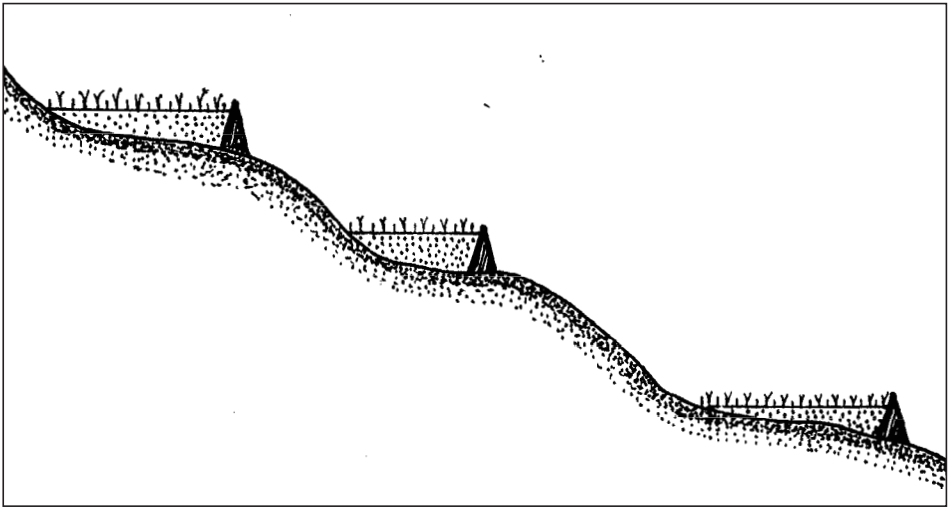
Źródło: Climatological Normals (CLINO) for the Period 1961–1990

Takie warunki klimatyczne sprawiają, że zasadniczym czynnikiem ograniczającym działalność człowieka na Saharze jest niedostatek wody. Egzystencja i funkcjonowanie ludzi uzależnione są w pierwszym rzędzie od możliwości pozyskania dodatkowych ilości wody. W przypadku podstawowego tradycyjnego zajęcia ludności, jakim jest rolnictwo, w grę wchodzi ilość ogromne; do nawodnienia 1 hektara potrzeba w ciągu roku od kilku do kilkudziesięciu tysięcy metrów sześciennych wody (w zależności od wymagań wodnych uprawianych roślin i charakteru gleb). Ze względu na to, że transport dużych ilości wody na znaczne odległości był do niedawna technicznie niemożliwy bądź

nieopłacalny, niezbędnym warunkiem prowadzenia działalności rolniczej było wykorzystanie lokalnych zasobów wodnych. W rezultacie wykształciły się tu różnorodne sposoby pozyskiwania i użytkowania wód opadowych, powierzchniowych i podziemnych.

Wykorzystanie wód opadowych do nawadniania ziem uprawnych może mieć miejsce jedynie na tych terenach, gdzie są one stosunkowo obfite (100–200 mm). Ponieważ rolnicza efektywność opadów jest odwrotnie proporcjonalnie zależna od panującej temperatury, największą wartość dla rolnictwa mają opady występujące w chłodniejszej porze roku. Na Saharze sytuacja taka ma miejsce na północnych jej obrzeżach. W sprzyjających warunkach morfologicznych (powierzchnie stokowe o niewielkim nachyleniu) zatrzymuje się wody opadowe za pomocą serii wałów ziemnych, usypywanych wzdłuż poziomic. Zatrzymują one nie tylko spływającą po powierzchni wodę opadową, ale także splukiwane przez nią z powierzchni cząstki gleby. W rezultacie fragmenty terenu położone powyżej owych wałów posiadają korzystniejsze warunki wodno-glebowe i są często uprawiane. Uprawa na tych gruntach obarczona jest jednak sporym ryzykiem związanym z nieregularnością opadów. Na obszarach o mniejszych opadach podobne wały (często dodatkowo wzmocniane kamieniami) budowane są w niewielkich wadi. Mają zazwyczaj do kilkudziesięciu metrów długości i kilka metrów wysokości. Odległości między wałami zależą od nachylenia dna doliny i wielkości przepływu. Ponieważ po gwałtownych opadach w dnach wadi gromadzą się niekiedy duże ilości wody, wały te posiadają przepusty, umożliwiające spływ nadmiaru wody w dół doliny. Sedymentacja niesionych przez wody osadów powyżej każdego z wałów prowadzi z czasem do powstania swoistych tarasów, poprzecznych do biegu cieku. Tarasy te wykorzystywane są pod uprawę. Z badań przeprowadzonych przez autora w południowej Tunezji wynika, że średnia powierzchnia upraw na tych tarasach („*jassours*”) sięgała 600 m<sup>2</sup> i stanowiła ok. 20% powierzchni dna wadi pomiędzy kolejnymi wałami (ryc. 1). Takie konstrukcje wznoszone są powszechnie m.in. w górach Matmata w Tunezji i Nafusa w Libii.

Rolnicy saharyjscy znacznie częściej wykorzystują do nawadniania wody powierzchniowe i podziemne. Podstawową trudnością stosowania wód powierzchniowych jest ich ubóstwo. Przez Saharę (dorównującą pod względem powierzchni Europie) przepływa tylko jedna rzeka stała – Nil, rzeka tranzytowa, zasilana poza pustynią. Stały przepływ posiada też jego dopływ Nil Błękitny oraz górne odcinki niektórych rzek spływających z gór Atlas (najdłuższą z nich jest Dara w Maroku). Wody cieków stałych są albo bezpośrednio doprowadzane kanałami na grunty uprawne, albo też piętrzone przy pomocy zapór w zbiornikach retencyjnych, skąd rozprowadzane są na pola. Ten drugi sposób pozwala na uniezależnienie się od sezonowych wahań wielkości przepływu i poziomu wód w rzekach (w dolnym biegu Nilu sięgały one kilkunastu



Ryc. 1. Tarasy jassours”

Fig. 1. ‘Jassour’ terraces

metrów), wymaga jednak kosztownych inwestycji – budowy zapór. Największą zaporę na Nilu – Wysoką Tamę o wysokości 111 metrów wzniesiono w pobliżu Asuanu w latach 60. XX wieku. Utworzony przez nią zbiornik – Jezioro Nassera – ma pojemność 160 mld m<sup>3</sup>. Spore zbiorniki istnieją też na Nilu Błękitnym (Sannar, Ar-Rusajris), mniejsze na rzekach spływających z gór Atlas. Nawadniane są zazwyczaj grunty położone w bezpośredniej bliskości rzek, w dnach ich dolin. Niekiedy nawadnianiem objęte są również niższe partie zboczy tych dolin, jednak gdy wymaga to podnoszenia wody na wyższy poziom przy pomocy pomp lub innych urządzeń, ekonomiczna opłacalność ogranicza zasięg takich zabiegów do rzędnej nie przekraczającej kilkunastu metrów. Największym obszarem nawadnianym wodami rzecznyymi jest dolina i delta Nilu w Egipcie, a w Sudanie teren pomiędzy Nilem Białym i Błękitnym (Al-Dżazira).

Znacznie więcej jest na Saharze cieków okresowych i epizodycznych. Niektóre rzeki stałe na jej obrzeżach w miarę spływania w głąb pustyni stopniowo tracą wodę poprzez infiltrację i parowanie i w niższym biegu prowadzą wodę jedynie wyjątkowo (np. Dara). Inne wadi niosą wodę tylko przez pewien okres roku, po wzmożonych opadach w dorzeczu (np. Atbara), jeszcze inne wypełniają się wodą nieregularnie, epizodycznie. Najprostszą formą wykorzystania wód tych cieków jest obsiewanie terenów zalewanych przez okresowe lub epizodyczne wezbrania. Niekiedy stosowane jest tzw. kierowane zatapianie: wody za pomocą prostych tam ziemnych lub kanałów doprowadzane są w określone miejsca, gdzie na nasączonych wodą glebie uprawia się rośliny o krótkim cyklu wegetacyjnym.

Do nawadniania najpowszechniej wykorzystuje się wody podziemne. Są to w przeważającej mierze wody reliktowe, nieodnawialne. Pochodzą z okresów,

gdy na Saharze panował klimat bardziej wilgotny od obecnego (plejstocen, wilgotne okresy holocenu). Jedynie na przedgórzu Atlasu wody podziemne są wciąż zasilane dzięki obfitym opadom występującym w górach. Wielkość tych zasobów, głębokość zalegania oraz jakość wód są silnie zróżnicowane w poszczególnych częściach pustyni. Uwarunkowane jest to głównie budową geologiczną. W skałach krystalicznych platformy prekambryjskiej wody podziemne na ogół nie występują; zbudowane z tych utworów najwyższe masywy Sahary (Tibesti, Ahaggar) są ich pozbawione. Znaczne zasoby wód zawierają natomiast utwory młodsze, zwłaszcza mezozoiczne i paleogeńskie. Rozległe, liczące setki kilometrów kwadratowych baseny wód podziemnych występują w północnej części pustyni, głównie na terenie Algierii i Libii. Warstwy wodonośne mają miąższość od kilkudziesięciu do ponad 1500 metrów. Zasoby wód największych basenów są ogromne: piaskowce systemu Continental intercalaire w Algierii zawierają 24 tys. km<sup>3</sup> wody, a niecek libijskich – ponad 35 tys. km<sup>3</sup>.

Do najprostszych sposobów wykorzystywania płytko zalegających wód gruntowych należy system, który nie wymaga wydobywania ich na powierzchnię. Polega on na sztucznym obniżaniu poziomu gruntu w celu zbliżenia go do poziomu wodonośnego. W luźnych skałach (najczęściej piaskach) wykopywane są doły o głębokości sięgającej kilkunastu metrów. Dna tych obniżen zbliżone są do poziomu wodonośnego tak, że korzenie uprawianych tam roślin (zazwyczaj palm daktylowych) sięgają do wód gruntowych. Ten system uprawy, nazywany lokalnie *bur*, stosowany jest m.in. w regionie Souf na północnym obrzeżu Wielkiego Ergu Wschodniego. Takie sztuczne zagłębienia (*ghout*) wymagają stałej konserwacji, ochrony przed zasypywaniem przez piasek, a w przypadku obniżenia się poziomu wód gruntowych – również pogłębiania.

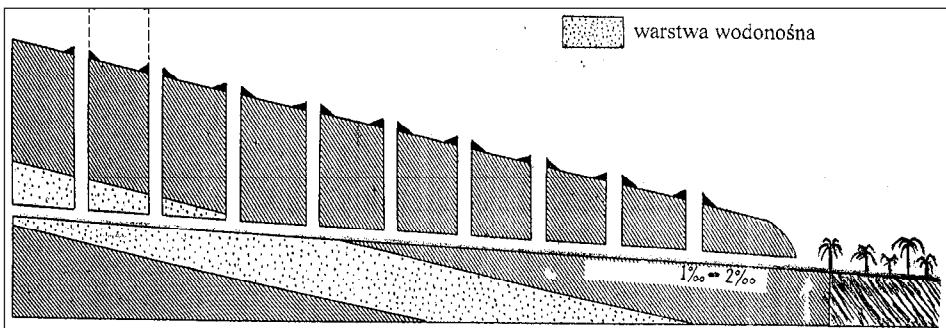
W niektórych regionach Sahary (Obniżenie Szottów, Wadi Ghir) wykorzystuje się do nawadniania wody artezyjskie, wypływające na powierzchnię samoczynnie w postaci źródeł lub po wywierceni studni. Zasoby tych wód są często nadmiernie eksploatowane, co prowadzi do obniżenia ciśnienia hydrostatycznego i spadku ich wydajności.

Do nawadniania używane są też niekiedy wody źródlane. Źródła występują najczęściej na górskich lub wyżynnych obrzeżach pustyni, ale również w jej wnętrzu, na przykład w masywie Tasili n-Azdżar. Mają one zazwyczaj niewielką wydajność, choć są i takie, które dostarczają nawet kilkuset litrów na sekundę (w Kafsie – 400 l/s, w okolicach Biskiry i w Tauzar – 500 l/s). Niektóre duże oazy zawdzięczają swoje istnienie właśnie takim wydajnym źródłom. W skali całej pustyni wody pochodzące ze źródeł naturalnych nie odgrywają jednak istotnej roli w rolnictwie.

Najczęściej wody podziemne wydobywane są na powierzchnię i rozprowadzane na tereny uprawne. Metody ich wydobywania są różnorodne. Obok nowoczesnych, zaawansowanych technicznie urządzeń, nadal szeroko stosowane

są sposoby tradycyjne, praktykowane tu od wieków. Wody zalegające na niewielkich głębokościach wydobywane są najczęściej za pomocą studni. Do podnoszenia wody stosuje się żurawie albo kołowroty (*delou*); te drugie napędzane są przez zwierzęta pociągowe. Wydobywanie wody jest na pustyni zajęciem uciążliwym, wymagającym ogromnych nakładów pracy: dla nawodnienia 1 hektara trzeba podnieść, nierzadko z głębokości kilkudziesięciu metrów, od kilku do kilkudziesięciu tysięcy ton wody. Z tego względu tą metodą nawadniane są niewielkie powierzchnie; przy pomocy żurawia nawodnić można do 1 hektara, przy pomocy kołowrotu – połowę mniej. Obecnie urządzenia te zastępowane są coraz częściej przez motopompy. Dodatkowym ograniczeniem powierzchni nawadnianej ze studni bywa ich wydajność. Nadmierna eksploatacja prowadzi do obniżenia poziomu wód gruntowych, a niekiedy nawet do całkowitego wyschnięcia studni.

Oryginalnym rozwiązaniem uciążliwego problemu podnoszenia wody jest stosowana od wieków metoda wyprowadzania wód gruntowych na powierzchnię poprzez kanały podziemne (foggary, rhattary). Ich budowa wymaga wykopania szeregu szybów, które są następnie łączone podziemną galerią. Możliwość konstrukcji foggar uzależniona jest od odpowiednich warunków hydrogeologicznych oraz rzeźby terenu. Obok istnienia warstwy wodonośnej niezbędne jest istnienie łagodnie nachylnego stoku. W takich warunkach drążone są podziemne kanały o niewielkim spadku (zazwyczaj kilku promili), mniejszym od nachylenia stoku. Doprowadza to do przecięcia się obu tych linii w pewnym punkcie na powierzchni, gdzie płynąca podziemną galerią woda, pochodząca z drenowania warstwy wodonośnej, wydostaje się na powierzchnię (ryc.2).

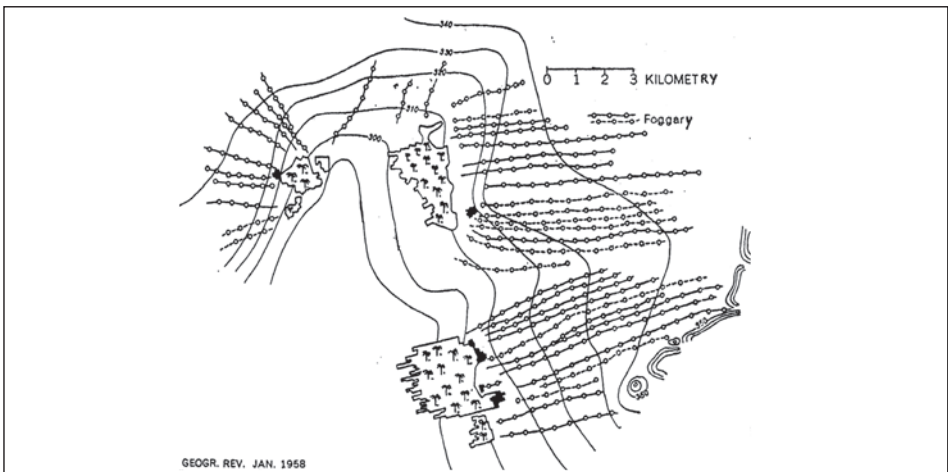


Ryc. 2. Foggara (przekrój)

Fig. 2. Foggara (section)

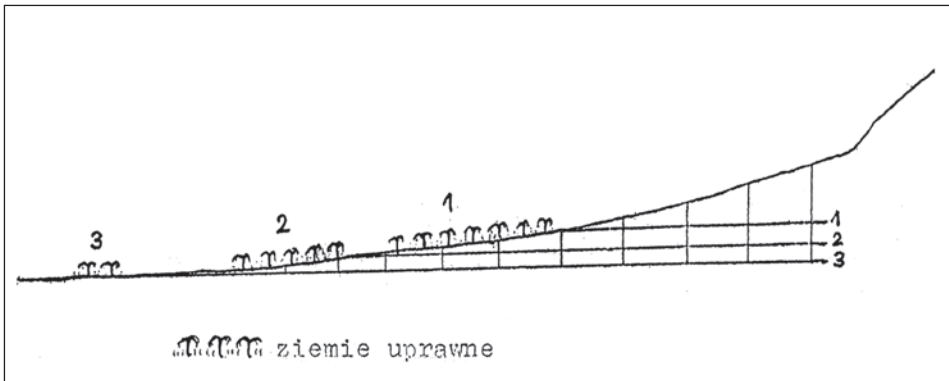
Kapitałną zaletą tego systemu jest uwolnienie od konieczności podnoszenia dużych ilości wody, wadą zaś – ogromne nakłady pracy lub kapitału na wydrą-

zenie podziemnych kanałów i ich późniejszą konserwację. W sprzyjających warunkach topograficznych (na przedgórzach, obrzeżach wyżyn, stożkach napływowych) foggary występują dość powszechnie; najwięcej jest ich w regionie Tawatu, Kurary, Tidikaltu (ryc.3). W oazach Tawatu łączna długość podziemnych galerii przekracza 1500 km. Foggary mają zazwyczaj kilka, kilkanaście kilometrów długości, ich głębokość w części drenującej sięgać może nawet kilkudziesięciu metrów. Wydajność foggar jest zróżnicowana, najczęściej sięga kilku litrów na sekundę, niektóre są bardziej wydajne (jedna z foggar w oazie Aoulaf na południowym obrzeżu wyżyny Tademait dostarcza 50 l/s). Eksploatacja wód podziemnych prowadzi niekiedy do obniżenia ich poziomu i w konsekwencji zmniejszenia wypływu wód na powierzchnię. W takiej sytuacji przywrócenie właściwego funkcjonowania foggary wymaga pogłębienia kanału, co z kolei skutkuje obniżeniem miejsca wypływu wody na powierzchnię i powoduje konieczność przesuwania w dół stoku terenów nawadnianych grawitacyjnie (ryc.4). Takie stopniowe przemieszczanie terenów uprawnych obserwować można w wielu oazach stosujących ten system nawadniania. Większość z funkcjonujących obecnie na Saharze foggar wykonana została dawno temu, w warunkach istnienia taniej, niekiedy niewolniczej siły roboczej. Wielka pracochłonność ich drążenia i eksploatacji powoduje, że w czasach współczesnych rzadko podejmuje się trud ich budowy. Wśród nielicznych doniesień o nowych inwestycjach tego typu istnieje także relacja geografów warszawskich, którzy podczas badań w oazie Al-Farafira w Egipcie natknęli się na foggarę zbudowaną w 1990 roku. W trakcie kilku pobytów w różnych częściach Sahary autor tylko raz napotkał nową foggarę, wydrążoną w latach 70. w oazie Akka Iguirene w południowym Maroku.



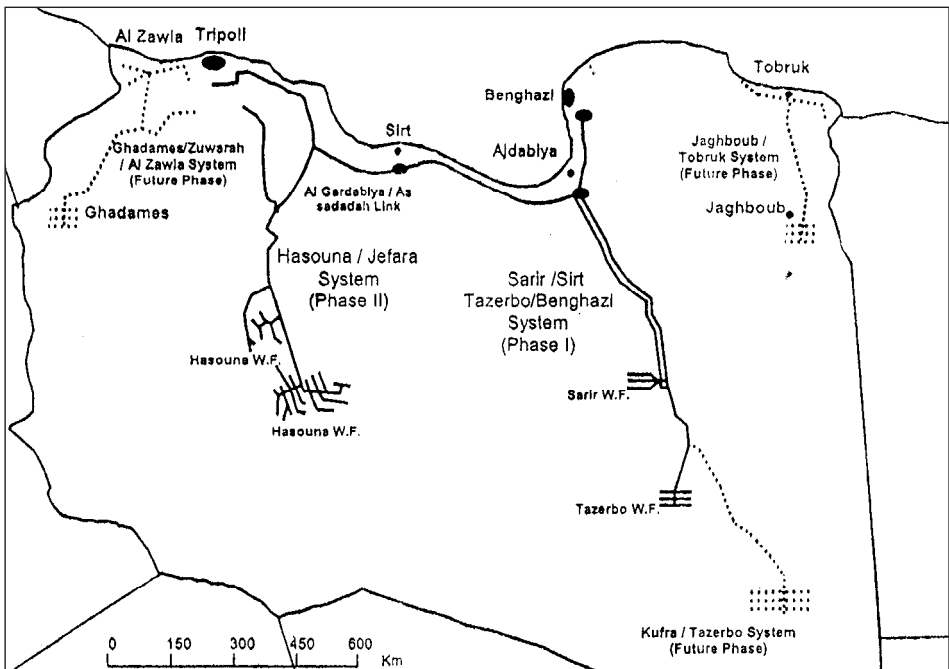
Ryc. 3. Oazy Tidikaltu nawadniane przez foggary

Fig. 3. Tidikaltu oases with water supplied by foggaras



Ryc. 4. Stadia (1-3) przemieszczania ziem nawadnianych w oazach nawadnianych foggarami

Fig. 4. Stages (1-3) of the movement of soil in oases with water supplied by foggaras



Ryc. 5. Wielka Sztuczna Rzeka w Libii

Fig. 5. The Great Manmade River in Libya



Aktualnie na Saharze realizowanych jest kilka wielkich, nowoczesnych projektów hydrotechnicznych, mających na celu pełniejsze wykorzystanie zasobów wodnych dla potrzeb rolnictwa. Największym tego typu przedsięwzięciem jest realizowany od połowy lat 80. w Libii projekt przerzutu na północ wód podziemnych, występujących w centrum i na południu kraju. Łączne zasoby tych reliktowych wód, zalegających w 6 dużych basenach, szacuje się na 35–40 tys. km<sup>3</sup>. Wody te, zalegające na głębokości kilkuset metrów, wydobywane są na powierzchnię, a następnie przesyłane betonowymi rurociągami o średnicy 4 metrów na północ. Projekt zakłada wywiercenie blisko tysiąca studni o głębokości od 450 do 650 metrów w rejonie Sarir, Tazirbu, Al-Kufra i Al-Dżaghbug na wschodzie kraju oraz Hassouna i Ghadamis na zachodzie. Oba rurociągi, wschodni i zachodni, będą połączone na północy i zaopatrzą w wodę regiony nadbrzeżne od Trypolisu po Tobruk. Łączna długość rurociągów przesyłowych sięgnie 3,5 tys. km. Docelowo ma nimi przepływać dziennie 6 mln m<sup>3</sup> wody, przeznaczonej zarówno dla nawadniania pól, jak i dla celów komunalnych. Po ukończeniu budowy Wielkiej Sztucznej Rzeki (Great Man-made River) nawodnione zostanie na północy kraju ponad 150 tys. hektarów nowych ziem.

Inną wielką inwestycją, realizowaną od 1997 roku w Egipcie, jest przekierowanie części wód Nilu z Jeziora Namera na Pustynię Libijską. Projekt Tuszka (Toshka) zakłada budowę kanału doprowadzającego wody Nilu do 4 zespołów oaz: Charga, Ad-Dachila, Al-Farafira i Al-Bahrija i utworzenie drugiej Nowej Doliny Nilu. Kanał ma doprowadzać 14 mln m<sup>3</sup> wody na dobę, nawodnionych zostanie blisko 250 tys. hektarów nowych ziem. Zbudowano już stację pomp i pierwszy odcinek kanału z okolic zatoki Toshka nad Jeziorem Namera do Baris o długości 310 km i nawodniono ponad 100 tys. hektarów.

W 2009 roku ukończono budowę zapory na Nilu w pobliżu IV katarakty w Sudanie. Zapora Merowe ma 9 kilometrów długości i 67 metrów wysokości, pojemność nowopowstałego zbiornika o długości 175 kilometrów sięga 13 mld m<sup>3</sup>. Zaawansowane są prace przy budowie kolejnej zapory na Nilu, Kajbar, zlokalizowanej przy III katarakcie. Inwestycje te, służące przede wszystkim produkcji energii elektrycznej, pozwolą także na zwiększenie areału gruntów uprawnych.

Działalność rolnicza na Saharze uwarunkowana jest możliwościami pozyskania dużych ilości wody. Istotną kwestią jest jednak również ich odpowiednia jakość. Często wody podziemne są nadmiernie zmineralizowane, a ich użycie do nawadniania prowadzi do szybkiego zasolenia gleb. Niebezpieczeństwo zasolenia gleb istnieje także przy stosowaniu wód odpowiedniej jakości. Jest ono następstwem intensywnej ewaporacji, powodującej wynoszenie na powierzchnię i akumulację soli rozpuszczalnych w glebie. Nawadnianiu towarzyszyć powinno drenowanie gleb. Nadmierne ich zasolenie uniemożliwia prawidłowy rozwój roślin i powoduje wypadanie ziem z uprawy. Rekultywacja gleb zasolonych polega głównie na ich przemywaniu dużymi ilościami wody.

Zjawiskiem charakterystycznym dla rolnictwa saharyjskiego jest też sezonowa zmienność wielkości areału upraw. Sezonowe różnice temperatur pociągają za sobą zmienne zapotrzebowanie roślin na wodę w okresie gorącym i chłodnym. Przykładowo, w oazach regionu Kurara te same dawki nawodnień stosowane są w lecie co 8, a w zimie – co 15 dni. Rolnicy, dysponujący określoną ilością wody, w okresie gorącym są w stanie nawodnić nią mniejszą powierzchnię, niż w okresie chłodnym.

Racjonalne korzystanie z ograniczonych zasobów wodnych wymaga stopniowego odchodzenia od powszechnie stosowanego obecnie nawadniania zalewowego i upowszechnienia wodooszczędnych technik nawodnień (nawodnienia kropłowe, wgłębne itp.). Jednak nawet wówczas niedostatek wody pozostanie istotną, trudną do pokonania barierą rozwoju rolnictwa na obszarach suchych.

### **Literatura:**

?????????