

MATERIAŁY DO DZIEJÓW GEOFIZYKI

Jerzy SZKUTNICKI

POLSKIE TOWARZYSTWO GEOFIZYCZNE

MAURITIUS, RODRIGUES (Z WODĄ W TLE)

MAURICE, RODRIGUES
(UNE APPROCHE A TRAWERS LE THEME DE L'EAU)

Wstęp

W trakcie mojej pracy zawodowej byłem wielokrotnie zatrudniony jako hydrolog z ramienia Światowej Organizacji Meteorologicznej (WMO) i Światowej Organizacji Żywności i Rolnictwa (FAO) w krajach określanych jako „będące w drodze do rozwoju”. Jednym z nich była Republika Mauritiusu, gdzie w latach 90. pełniłem rolę konsultanta. Moim zadaniem była orientacyjna ocena zasobów wodnych i stworzenie podstaw służby hydrologicznej na jednej z wysp archipelagu – Rodrigues. Stąd w tytule niniejszego opracowania asekuracyjnie sygnalizuję, że zasoby wodne są tłem dla artykułu, w którym chcę się również podzielić spostrzeżeniami o tym egzotycznym dla nas kraju oraz pokazać, w jakich warunkach były realizowane zadania postawione przez FAO.

Republika Mauritiusu położona jest na Oceanie Indyjskim w archipelagu Maskareny. Największą wyspą archipelagu jest Mauritius, o powierzchni 1865 km², leżąca 900 km na wschód od Madagaskaru, gdzie znajduje się stolica państwa Port Louis. Rodrigues jest znacznie mniejszą wyspą, o powierzchni 109 km², położoną 560 km na wschód od Mauritiusu. Od 2002 roku ma ona znaczną autonomię, pozwalającą na funkcjonowanie zdecentralizowanego systemu rządowego. Największe miasto na Rodrigues, gdzie jest siedziba parlamentu i władz wyspy, to Port Mathurin¹. Wyspa jest otoczona rafą koralową, a dojście do portu stanowi wąski kanał wydrążony w rafie, nazywanej tu *barrière*.

Krajobraz wysp Mauritius i Rodrigues

Centralną część Mauritiusu stanowi płaskowyż o średniej wysokości około 670 m n.p.m., opadający łagodnie w kierunku północno-wschodnim do Oceanu Indyj-

¹ Obszerne informacje na temat wyspy Rodrigues mogą Państwo znaleźć w raporcie Wojciecha Dąbrowskiego: <http://www.kontynenty.net/Rodrig1.htm> (01.07.2019)



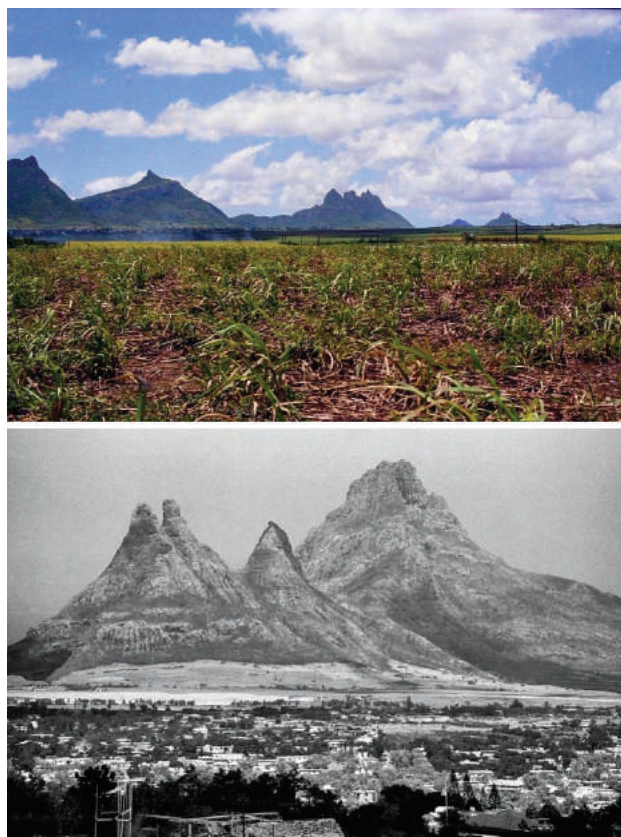
Rys. 1. Wyspy Mauritius i Rodrigues (źródło: Wikipedia Commons Atlas of the World)

Fig. 1. Comparaison des îles Maurice et Rodrigues (selon: L'atlas Wikimedia du monde)



Rys. 2. Wyspa Rodrigues (źródło: Wikipedia Commons Atlas of the World)

Fig. 2. Ile Rodrigues (selon: L'atlas Wikimedia du monde)



Rys. 3. Wybrzeże zachodnie wyspy Mauritius (zdjęcia z prywatnego archiwum autora)

Fig. 3. Côte Oueste de l'île Maurice (photos des archives privées de l'auteur)



Rys. 4. Południowe wybrzeże wyspy Rodrigues (zdjęcia z prywatnego archiwum autora)

Fig. 4. Versant Sude de l'île Rodrigues (photos des archives privées de l'auteur)

skiego. Wybrzeże południowe i zachodnie wieńczą strome urwiska, będące wypiętrzonymi górami bazaltowymi pochodzenia wulkanicznego (najwyższe wzniesienie wyspy to Piton de la Petite Rivière Noire – 826 m n.p.m.), które oddzielają od oceanu wąskie piaszczyste plaże.

Wyspa Rodrigues ma kształt kopulastego wzniesienia, osiągającego w środkowej części 400 m n.p.m. (najwyższy szczyt Mount Limon). Zbocza opadające w kierunku oceanu, zwłaszcza w południowej części, są mocno zdegradowane w wyniku erozji (rys. 4). Jest to wynik intensywnej eksploatacji bujnych lasów tropikalnych, które przed kilkoma stuleciami porastały całą wyspę. Działalność człowieka zmieniła lokalny krajobraz oraz główne składniki bilansu wodnego i zasoby wodne.

Wody powierzchniowe wysp Mauritius i Rodrigues

Rzeki płynące z centralnej części wyspy Mauritius przełamują się przez wyniesienia na obrzeżach. Duże spadki rzek wpływają na krótki czas koncentracji i szybki odpływ powierzchniowy. Wiele cieków ma charakter całoroczny. Służba hydrologiczna, dosyć dobrze zorganizowana, kontroluje stany wody na rzekach, natężenie przepływu i zasoby wodne. Wiele stacji pomiarowych jest wyposażonych w przelewy pomiarowe i urządzenia rejestrujące.



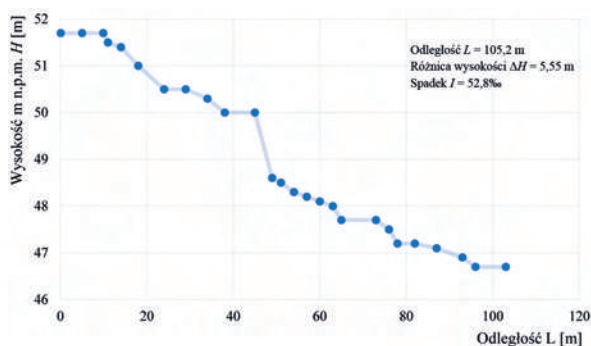
Rys. 5. Wyposażenie posterunków wodowskazowych na Mauritiusie
(zdjęcia z prywatnego archiwum autora)

Fig. 5. Equipement des stations hydrologiques sur l'île Maurice
(photos des archives privées de l'auteur)



Rys. 7. Koryto potoku Riviere Banane w okresie suchym; listopad
(zdjęcia z prywatnego archiwum autora)

Fig. 7. Lit du cours d'eau de la Rivière Banane en période seche; novembre
(photos des archives privées de l'auteur)



Rys. 8. Profil podłużny i spadek dna potoku Anse Raffin (opracowanie własne)

Fig. 8. Profil en long et la déclivité du lit Anse Raffin (propre étude)

Na cieku tym podjęto również próbę oceny prędkości wody z wykorzystaniem równania Manninga (Chow 1959):

$$V = 1/n I^{1/2} R_h^{2/3} \quad (1)$$

gdzie: n – współczynnik szorstkości; I – spadek zwierciadła wody; R_h – promień hydrauliczny, przyjęto $n = 0,12$, $I = 0,05$ (zmierzony); $R_h = 6,0$ m (jako szerokość koryta).

Obliczono, że prędkość przepływu wody może osiągnąć $V \approx 6,08$ m/s. Jest to wartość mocno przybliżona, ponieważ oceny parametrów równania dokonano w okresie suchym. I przyjęto jako zmierzony spadek dna, a promień hydrauliczny R_h jako szerokość zwierciadła na podstawie śladów wezbrania.

Spadek dna potoku Anse Raffin, wyrażony w m/km, wynosi $I = 52.8\%$ – dla porównania spadek dna Dunajca w Nowym Targu wynosi $I = 3\%$, w Koniówce $I = 10\%$, a na Białce w Łysej Polanie $I = 24\%$. Pokazuje to skalę wyzwania, jakim należało sprostać, planując wybór sprzętu hydrologicznego oraz metod pomiaru poziomu wody i natężenia przepływu dla rzek wyspy Rodrigues. W tych warunkach stworzenie podstaw służby hydrologicznej stanowiło poważne wyzwanie, zwłaszcza w kontekście braku wykwalifikowanej, lokalnej kadry hydrologów. Miejscowe władze przeznaczyły do pracy w pierwszej fazie projektu trzy osoby z podstawowym i średnim wykształceniem oraz młodego inżyniera budownictwa ogólnego. Z tym zespołem, po krótkim szkoleniu i przedstawieniu założeń projektu, rozpoczęto realizację dwóch głównych zadań – orientacyjną ocenę zasobów wodnych wyspy i stworzenie podstaw organizacji służby hydrologicznej.

Ocena zasobów wodnych wyspy Rodrigues

Przygotowując wstępną ocenę zasobów wodnych, oparto się na danych dotyczących opadów i parowania z wolnej powierzchni wody z jedynej stacji meteorologicznej Point Canon (Grandjean 1994) oraz temperatury (uzyskane z Internetu, nie podany okres), co umożliwiło ustalenie przybliżonego rozkładu czasowego odpływu powierzchniowego i jego wieloletniej zmienności (tab. 1-4).

Pomiary parowania z wolnej powierzchni wody były dostępne tylko dla 1993 roku. Porównanie wartości opadu atmosferycznego (tab. 5) z wartościami parowania z wolnej powierzchni wody (tab. 6) pokazuje możliwy deficyt odpływu na wyspie Rodrigues.

Chcąc orientacyjnie oszacować zasoby wodne wyspy Rodrigues, na potrzeby określenia możliwości ich zagospodarowania, uzyskano dane hydrologiczne dotyczące przepływu i odpływu rzek na Mauritiusie. Uwzględniono dwa ciekę o różnym charakterze ze względu na warunki glebowe:

- Rzekę Dragon: pole powierzchni zlewni $A_z = 11,1 \text{ km}^2$; jej przepuszczalne podłoże stwarza znaczne możliwości retencji gruntowej; roczne charakterystyki hydrologiczne – przepływ średni $Q_s = 0,553 \text{ m}^3/\text{s}$, przepływ maksymalny $Q_{max} = 15,1 \text{ m}^3/\text{s}$, przepływ jednostkowy $q = 49,8 \text{ l/s km}^2$, współczynnik odpływu $\alpha = 0,54$.
- Rzekę Galets: pole powierzchni zlewni $A_z = 25,6 \text{ km}^2$; jej podłoże bazaltowe ogranicza małą retencję gruntową i sprzyja dużemu odpływowi powierzchniowemu; roczne charakterystyki hydrologiczne – przepływ średni $Q_s = 0,822 \text{ m}^3/\text{s}$, przepływ maksymalny $Q_{max} = 38,9 \text{ m}^3/\text{s}$, przepływ jednostkowy $q = 32,1 \text{ l/s km}^2$, współczynnik odpływu $\alpha = 0,79$.

Przyjmując pole powierzchni wyspy Rodrigues $A = 105 \text{ km}^2$, średni opad wieloletni $P = 1122 \text{ mm}$, a współczynnik odpływu $\alpha = 0,7$, średnie roczne zasoby wody słodkiej można z dużym przybliżeniem ocenić na: V – objętość wody opadowej = 117810000 m^3 , V_o – objętość wody odpływającej = 82467000 m^3 , H – warstwa wody odpływającej = 785 mm , Q_s – przepływ średni = $2,61 \text{ m}^3/\text{s}$, q – przepływ jednostkowy = $24,9 \text{ l/s km}^2$

Informacje te pomogły orientacyjnie określić, z jakimi zasobami wody słodkiej można mieć do czynienia na wyspie, przy ograniczeniu odpływu powierzchniowego i zastosowaniu różnych technik retencjonowania (m.in. budowie zbiorników retencyjnych lub odtworzeniu zniszczonych). Zwracano również uwagę na konieczność zalesień obszarów nie wykorzystanych rolniczo oraz na stosowanie zabiegów agrotechnicznych w poprzek stoku.

Tabela 1. Temperatura powietrza, wartości średnie miesięczne i średnia roczna [°C]
(według Open Database License ODbL)

Tableau 1. Température de l'air, les valeurs moyennes mensuelles et moyenne annuelle [°C]
(selon Database License OdbL)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
23,9	23,8	23,4	21,9	19,9	18,4	18,5	20,4	21,9	23,0	23,2	23,4	21,8

Tabela 2. Opady atmosferyczne, sumy średnie miesięczne i średnia roczna w mm z okresu 1951-1993 (Grandjean 1994)

Tableau 2. Précipitation, les valeurs moyennes mensuelles et moyenne annuelle en mm de 1951-1993 (Grandjean 1994)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
133,6	156,5	143,3	133,8	100,5	74,8	83,2	63,6	42,5	42,5	58,6	88,9	1121,8

Tabela 3. Opady atmosferyczne w mm, rok wilgotny 1972 (Grandjean 1994)

Tableau 3. Précipitation en mm, l'année humide 1972 (Grandjean 1994)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
135,5	547,5	114,0	81,1	143,2	84,2	40,7	43,8	66,7	118,8	76,9	478,5	1930,9

Tabela 4. Opady atmosferyczne w mm, rok suchy 1974 (Grandjean 1994)

Tableau 4. Précipitation en mm, l'année sèche 1974 (Grandjean 1994)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
44,3	44,6	46,1	55,2	32,5	34,4	54,2	57,8	10,1	15,0	6,6	31,9	432,9

Tabela 5. Opad atmosferyczny w mm, rok 1993 (Grandjean 1994)

Tableau 5. Précipitation en mm, année 1993 (Grandjean 1994)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
57,3	91,3	86,9	103,5	102,9	104,6	80,4	77,9	33,1	22,1	4,8	39,1	804,0

Tabela 6. Parowanie z wolnej powierzchni wody w mm, rok 1993 (Grandjean 1994)

Tableau 6. Evaporation de l'eau libre en mm, année 1993 (Grandjean 1994)

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Rok
197	171	157	139	134	109	106	121	146	165	201	209	1855

Propozycja I fazy organizacji służby hydrologicznej na wyspie Rodrigues

Aby poznać i śledzić na bieżąco zasoby wodne, ich zmienność w czasie i na obszarze wyspy, zaproponowano utworzenie służby hydrologicznej i sieci stacji pomiarowych. W tym celu wybrano cztery charakterystyczne potoki, których ujścia do oceanu tworzą małe zatoki nazywane *Anse* – Riviere Pistache, Anse Raffin, Cascade Victoire i Rivière Banane (rys. 6). Na potoku Riviere Pistache przewidziano stację na zbiorniku wodnym Bassin Boeuf, na Anse Raffin – dwie stacje (na zbiorniku wodnym oraz powyżej zbiornika w warunkach naturalnych). Na potoku Cascade Victoire w dalszej przyszłości miała być zainstalowana stacja tylko na zbiorniku (w trakcie realizacji projektu na obiekcie trwały prace remontowe). Na potoku Riviere Banane przewidziano stację w warunkach naturalnych.

W pobliżu stacji zlokalizowano pluwiografy, tak aby każda z nich mogła być obsługiwana przez jednego pracownika. Jako wyposażenie przewidziano limnigrafy i pluwiografy Stevens na karty magnetyczne, uznawane wówczas za nowoczesne i łatwo dostępne, miały one również zabezpieczony na miejscu serwis. Dobór sprzętu oraz sposób jego instalacji niosły ze sobą wiele niepewności, zważywszy na burzliwy przepływ wody i transport grubego rumowiska w potokach o spadkach wynoszących kilkadziesiąt promili. Rozważano instalację limnigrafu w pomieszczeniu na wysokim brzegu z ujęciem podziemnym. Zostały zaproponowane schematy tych ujęć i pomieszczeń na limnigrafy. Wodowskazy miały być wykonane w lokalnych warsztatach. Przewidywano bardzo krótkie łąty bądź wodowskazy palikowe z domiarem manometrycznym, zachodziła bowiem obawa, że podczas wezbrań pionowe łąty wodowskazowe nie wytrzymają naporu wody.

Instalacja sprzętu i rozpoczęcie stałych pomiarów było bardzo czasochłonne, co przewidziano w dalszej fazie organizacji sieci stacji pomiarowych. Aby jak najszyb-



Rys. 9. Wodowskaz na zaporze zbiornika retencyjnego Bassin Boeuf
(zdjęcia z prywatnego archiwum autora)

Fig. 9. Echelle limnimétrique sur le barrage de retenue Bassin Boeuf
(photos des archives privées de l'auteur)

ciej rozpocząć ocenę zasobów wodnych wyspy i przeszkolić personel, prowizorycznie uruchomiono dwie stacje na istniejących zbiornikach retencyjnych – Bassin Boeuf oraz akwienie na potoku Anse Raffin. Wykorzystano w tym celu wodowskazy namalowane na konstrukcjach betonowych zbiorników (rys. 9), nawiązane do poziomu morza, co umożliwiło później instalację stałych wodowskazów na tym samym poziomie i kontynuację pomiarów poziomu wody.

Podziałka na zaporze była przewidziana do wycechowania przelewu i oceny natężenia przepływu. Jej lokalizacja nie była w pełni zgodna z zasadami wodowskazu na przelewie, lecz wynikała z braku sprzętu i środków finansowych. Rozwiązanie to dawało możliwość orientacyjnej oceny przepływu. Wodowskaz stały przewidziano powyżej zapory, mniej więcej w odległości trzech wysokości piętrzenia wody. Na terenie suchego zbiornika wykonano plan batymetryczny, aby oceniać objętość zgromadzonej wody. Ustalono zasady prowadzenia pomiarów stanu wody i opisu zjawisk hydrologicznych i meteorologicznych.

Tak zakończył się pierwszy etap organizacji służby hydrologicznej na wyspie Rodrigues. Stworzone zostały podstawy dalszego jej rozwoju i konsolidacji. Zatrudniony personel wykazywał wielkie zainteresowanie i gotowość do pracy w dziedzinie dotychczas nieznaney. Dalsze losy tego projektu nie są mi znane.

L i t e r a t u r a

Chow V.T., 1959, *Open-channel hydraulics*, McGraw-Hill, New York, 680 s.

Grandjean L., 1994, *Contribution à l'hydrologie de Rodrigues, Gestion des ressources naturelles et Agricole de Rodrigues*, Port Mathurin, maszynopis

S t r e s z c z e n i e

Artykuł ma charakter wspomnienia omawiające warunki, w jakich realizowano projekt FAO, którego celem była ocena zasobów wodnych i organizacja służby hydrologicznej na wyspie Rodrigues, należącej do Republiki Mauritiusu. Na podstawie danych z Mauritiusu, gdzie funkcjonuje dosyć dobrze służba hydrologiczna, oceniono w przybliżeniu zasoby wodne wyspy Rodrigues. Objętość wody opadowej jest duża, ale cyklonalny, zmienny rozkład opadów, wysokie parowanie, a przede wszystkim szybki odpływ powierzchniowy, spowodowany wylesieniem wyspy, powodują dotkliwy niedobór wody słodkiej. Gromadzenie wody poprzez budowę zbiorników retencyjnych, zalesienie i racjonalne metody agronomiczne jest możliwe tylko w sytuacji prawidłowego rozpoznania dyspozycyjnych zasobów wodnych i ich rozkładu w czasie i przestrzeni. W tym celu przewidziano organizację służby hydrologicznej na wyspie Rodrigues, kontrolującej stany wody, natężenie przepływu i zgromadzoną wodę w zbiornikach retencyjnych. Zaplanowano instalację pięciu stacji hydrologicznych: dwóch na istniejących zbiornikach retencyjnych, jednej na zbiorniku projektowanym i dwóch na potokach w warunkach naturalnych. W sąsiedztwie stacji hydrologicznych zaplanowano stacje

opadowe. Wybór sprzętu hydrologicznego i warunki instalacji stacji były trudne ze względu na krótkie czasy koncentracji wezbrań, prędkości wody, które mogą przekraczać 6 m/s oraz transport grubego rumowiska rzeczno. Przewidziano limnigrafy i pluwiografy Stevens na karty magnetyczne. Zainstalowano prowizorycznie dwie stacje na zbiornikach w celu oceny zgromadzonych zasobów wodnych oraz szkolenia personelu. Dalsze prace przewidziano w kolejnych etapach projektu, ale ich losy nie są znane.

Słowa kluczowe: opad atmosferyczny, zasoby wodne, służba hydrologiczna, odpływ powierzchniowy, retencja gruntowa, prędkość przepływu, czas koncentracji, transport rumowiska, Mauritius, Rodrigues.

R e s u m é

Cet article retrace un travail dans le projet de l'FAO sur l'île Rodrigues appartenant à la République Maurice. Le projet avait l'objectif d'évaluer les ressources en eau de l'île Rodrigues qui subit une pénurie en eau douce, et pour d'organiser le service hydrologique inexistant sur l'île. Sur la base des données hydrologiques de l'île Maurice, on a pu estimer les ressources en eau sur l'île. Les apports en eau sur cette île sont relativement importants mais le caractère cyclonal des précipitations, l'évaporation élevée, et surtout l'écoulement superficiel très rapide en raison du déboisement, sont à l'origine de la pénurie de l'eau douce. Afin de retenir l'eau, il faut connaître ses disponibilités et distribution dans l'espace et dans le temps. On a programmé donc la création d'un service hydrologique afin de contrôler la précipitation, le niveau d'eau, le débits et le volume d'eau stocké. On a prévu 5 stations hydrologiques équipées en limnigraphes et pluviographes: dont trois stations sur les réserves d'eau et deux sur les torrents naturels. Le choix du matériel de mesure a été problématique pour les cours d'eaux avec le temps de concentration très court, les grandes vitesses d'écoulement dépassante 6 m/s et le débit solide composé de grandes roches. Les matériels Stevens avec les cartes magnétiques ont été proposés. Deux stations provisoires sur les réseves d'eau ont été installées pour contrôler les volumes d'eau stockés et pour former les jeunes hyroloques, a cette méthode. La suite des travaux suivants a été programée par la phase suivante du projet.

Mots de clef: précipitation, réserves d'eau, service hydrologique, écoulement superficiel, nappe phréatique, vitesse d'écoulement, temps de concentration, débit solide, Maurice, Rodrigues.