

Jerzy Onoszko
Kazimierz Furmańczyk
/Gdańsk/

STRUKTURA PRZESTRZENNA FALOWANIA WIATROWEGO NA JEZIORZE ŻARNOWIECKIM W ŚWIETLE ZDJĘĆ LOTNICZYCH

1. Wprowadzenie

Charakterystyka falowania w naturze jest w większości przypadków oparta o pomiary zmian swobodnej powierzchni akwenu w jednym lub w kilku punktach. Tak określona charakterystyka falowania przedstawia zmianę odkształconej swobodnej powierzchni w punktach pomiarowych w funkcji czasu. Nie uwzględnia ona charakteru zmian tych odkształceń w przestrzeni. Fotograficzna rejestracja powierzchni jeziora, przeciwnie, dostarcza informacji o układzie przestrzennym pola falowego w danym momencie. Dopiero przy połączeniu obu metod pomiarowych uzyskuje się pełny materiał mogący stanowić podstawę do całkowitej analizy falowania. W przypadku badań falowania na jeziorze Żarnowieckim zastosowano obie metody pomiarowe, równocześnie. Częstotliwość pomiarów punktowych była większa aniżeli rejestracja przestrzennej całości pola falowego. Ta ostatnia została wykonana przy pomocy zdjęć lotniczych. Należy zaznaczyć, że przedstawione przez nas zdjęcia lotnicze falowania na jeziorze są pierwszymi tego typu badaniami w Polsce. Poniżej przedstawiamy jeden z pomiarów wykonany w dniu 30.V.1974 roku. Szczegółowiej omówimy charakterystykę falowania, na podstawie zdjęć lotniczych. Jedynie w celu porównawczym przytoczymy wyniki pomiarów punktowych.

2. Ogólna charakterystyka jeziora Żarnowieckiego

Jezioro Żarnowieckie jest jeziorem rynnowym /rys. 1/* . Oś podłużna jeziora przebiega z SSE ku NNW. Powierzchnia jego wynosi 1432 ha. Średnia głębokość 8,4 m, objętość wody około 120 mln m³. Maksymalna długość

* Patrz wszystkie rysunki na końcu artykułu.

7610 m, maksymalna szerokość 2600 m /w północnej części jeziora/, maksymalna głębokość 19,4 m. Północna rozszerzona część jeziora jest płytka, a jej średnia głębokość wynosi około 2,7 m. Jezioro obrzeżają od zachodu i od wschodu strome i bogato pocięte erozją krawędzie wysoczyzny morenowej sięgające lokalnie rzędną powyżej 100 m n.p.m.

Konfiguracja terenu otaczającego jezioro wpływa w istotny sposób na charakterystykę wiatrową nad jego powierzchnią. Ograniczenie przeważającej części powierzchni jeziora wysokimi zboczami wysoczyzny, które przybierają cechy wzniesień, ułatwia przepływ mas powietrza wzdłuż osi jeziora, niezależnie od ogólnego kierunku wiatru.

Ze względu na rozszerzenie niecki jeziora w jego północnej części oraz obniżenia wysokości krawędzi po obu jej stronach w tejże części, szczególnie uprzywilejowane są wiatry nad jeziorem z północy na południe. Należy podkreślić, że przeważającymi wiatrami w rejonie nadmorskim są wiatry z sektora zachodniego. Kierunek ten w powiązaniu z konfiguracją otoczenia jeziora powoduje, że najczęstsze i najsilniejsze jest falowanie wiatrowe w południowej części jeziora.

3. Metoda i warunki pomiaru falowania

Zdjęcia lotnicze powierzchni jeziora wykonano kamerą szerokokątną AFA 33/20 o ogniskowej 20 cm i formacie zdjęć 30 x 30 cm z wysokości około 900 m. W celu lepszej czytelności pola falowego, porę wykonywania zdjęć /13²⁰ - 13⁴⁵/ oraz rodzaj kamery dobrano w ten sposób, aby refleks światła słonecznego obejmował maksymalną powierzchnię zdjęć.

Zdjęcia wykonano jako pionowe / $V < 3^{\circ}$ / w trzech równoległych szeregach biegnących wzdłuż osi podłużnej jeziora tak, aby na skrajnych szeregach znalazł się obraz linii brzegowej jeziora. Wobec rozszerzenia powierzchni jeziora w jego północnej części wykonano tam dodatkowy szereg zdjęć /NE/.

Podłużne pokrycie zdjęć w szeregu oraz pokrycie poprzeczne między szeregami wyniosło 70 %. Duża wartość procentowa pokrycia podyktowana była potrzebą uzyskania możliwie dużej powierzchni jeziora pokrytej refleksem światła słonecznego na zdjęciach.

Czas wykonania zdjęć w jednym szeregu wynosił 15 sek., natomiast czas wykonania zdjęć całego jeziora 25 min.

Z odbitek stykowych zmontowano fotoszkieł, którego średnia skala wyniosła 1:4300.

W dniu pomiaru prowadzona była ciągła rejestracja charakterystyki wiatrowej w dwóch stacjach anemometrycznych uwidocznionych na planie. W tablicy 1 podane są wyniki pomiarów kierunków i prędkości wiatru w tych stacjach.

Tablica 1
Pomierzone średnie kierunki i prędkość wiatru
30 maja 1974 roku

s t a c j a	godz. 7.00	godz. 13.00
Ż	WSW - 6	W - 10
K	NW - 5	W - 12

4. Interpretacja zdjęć i wyniki pomiarów

Na zmontowanym fotoszkicu zostały zaznaczone 42 obszary charakteryzujące się prawie jednakowym układem zarejestrowanych ciągów falowych /rys. 2/. Miernikami tych pól były stwierdzone w analizie zdjęć kierunki ciągów falowych oraz wartości ich średnich długości. Każde pole zostało zcharakteryzowane wektorami zaobserwowanych ciągów falowych, przy czym kierunek wektora wskazuje średni kierunek ciągu falowego, a długość wektora - wartość średniej długości fali w danym ciągu. Ponieważ w poszczególnych polach stwierdzono równoczesne występowanie kilku ciągów falowych, w każdym polu wykreślono 1-5 wektorów, charakteryzujących zarejestrowany układ pola falowego.

Należy podkreślić, że na niektórych zdjęciach widoczne były ciągi falowe o mało różniących się kierunkach. W tych przypadkach zastosowano uproszczenie, przyjmując kierunek średni. Pominięto również w analizie ciągi oscylacji, charakteryzujące się mniejszymi długościami fal oraz ciągi słabo czytelne w danym polu, lub których długości fal trudne były do pomierzenia.

W celu bardziej przystępnego przedstawienia zasadniczej struktury przestrzennego falowania dokonano dalej idącej generalizacji układu falowego określając obszary zasadniczych ciągów falowych według ich kierunków z podziałem na pasy według pełnych długości fal średnich /rys. 3/.

Na rys. 3 widoczny jest obszar dwóch zasadniczych układów falowych. Jeden o kierunku NW na SE, przechodzący stopniowo w kierunek zgodny z po-

dłużną osią jeziora, drugi z zachodu na wschód. Ten dwukierunkowy układ pola falowego może znajdować swoje uzasadnienie w dwukierunkowym /z zachodu i z północy/ przepływie mas powietrza generujących falowanie.

Biorąc pod uwagę, że rozciągłość działania fal w kierunku osi jeziora jest większa aniżeli w poprzek jeziora - długości fal ciągu podłużnego osiągają większe wartości /ponad 7,0 m/, aniżeli ciągi fal biegnących w poprzek jeziora. Charakterystyczny, zgodny z teorią generacji i rozwoju fal jest tu wzrost ich długości. Początkowo w miarę wzrostu długości działania wiatru występuje szybszy wzrost długości fali, dalej jest on znacznie powolniejszy. Poprzeczny układ falowy jest słabszy. Przy zachodnim brzegu jeziora prawie brak fal poprzecznych - rozpoczynają się one dopiero w odległości 200-300 m od brzegu stopniowo się rozwijając i osiągając przy brzegu wschodnim długość nawet rzędu 6.0 m.

Falowanie najsilniej zinterferowane występuje w polach nr 7 i 10, por./rys. 2/ gdzie spotykają się oba układy falowe, prawie w pełni rozwinięte. Interesująca sytuacja jest na północnym najpłytszym skraju jeziora. W obszarze tym występuje układ oscylacji, wzniecony bezpośrednio przez wiatr zachodni oraz układ o kierunku SW na NE, będący wynikiem dyfrakcji fal dookoła cypla brzegu w obszarze pól 35 i 36. Fale biegnące początkowo w kierunku wschodnim wyraźnie uginają się tu w kierunku NE.

Na rys. 2 przedstawiono położenie sond do pomiaru falowania w czasie. W okresie pomiarów były one zlokalizowane w południowej części jeziora, a więc w obszarze najbardziej intensywnego falowania. W oparciu o analizę falogramów ustalono wartości parametrów falowania w tych punktach. Są one podane w tabelicy 2.

Tabela 2

Parametry falowania pomierzone w dniu 30 V 1975 roku
w godz. 13³⁵ - 13⁵⁰

Punkt pomiarowy	Głębokość punktu pomiarowego /m/	Wysokość falowania /cm/			Okres fali T /s/	Długość fali L_x /m/
		\bar{h}	$h_{1\%}$	$h_{5\%}$		
S 1	2,4	17,3	47,5	33,0	1,76	4,8
S 2	2,5	19,5	48,0	37,5	2,11	6,9
S 3	5,2	18,2	43,0	32,0	2,03	6,4

Podane w tabelicy 2 długości fal L_x zostały obliczone zgodnie ze wzorem:

$$L_x = 1,56 T^2 \operatorname{th} \frac{2\pi H}{L_x}$$

Porównując średnie długości falowania określone w oparciu o notowania punktowe z długościami określonymi ze zdjęć lotniczych w punktach pomiarowych widać, że różnice między tymi dwoma wielkościami są niewielkie. Porównawczo są one zestawione w tabelicy 3.

Tabelica 3

Porównanie wartości średnich długości fal,
określonych obu metodami pomiarowymi

Metoda pomiaru	Średnia długość fal w m		
	S 1	S 2	S 3
Sonda elektroniczna	4,8	6,9	6,4
Zdjęcie lotnicze	4,55/6,5/	7,1	6,65
Różnica w %	6 % / 25 %/	3 %	4 %

Przytoczone wyniki pomiarów falowania wiatrowego na jeziorze Żarnowieckim stanowią cenny materiał dokumentacyjny do bardziej szczegółowej analizy teoretycznej falowania rzeczywistego w małych zbiornikach wodnych.

Jerzy Onoszko

Kazimierz Furmańczyk

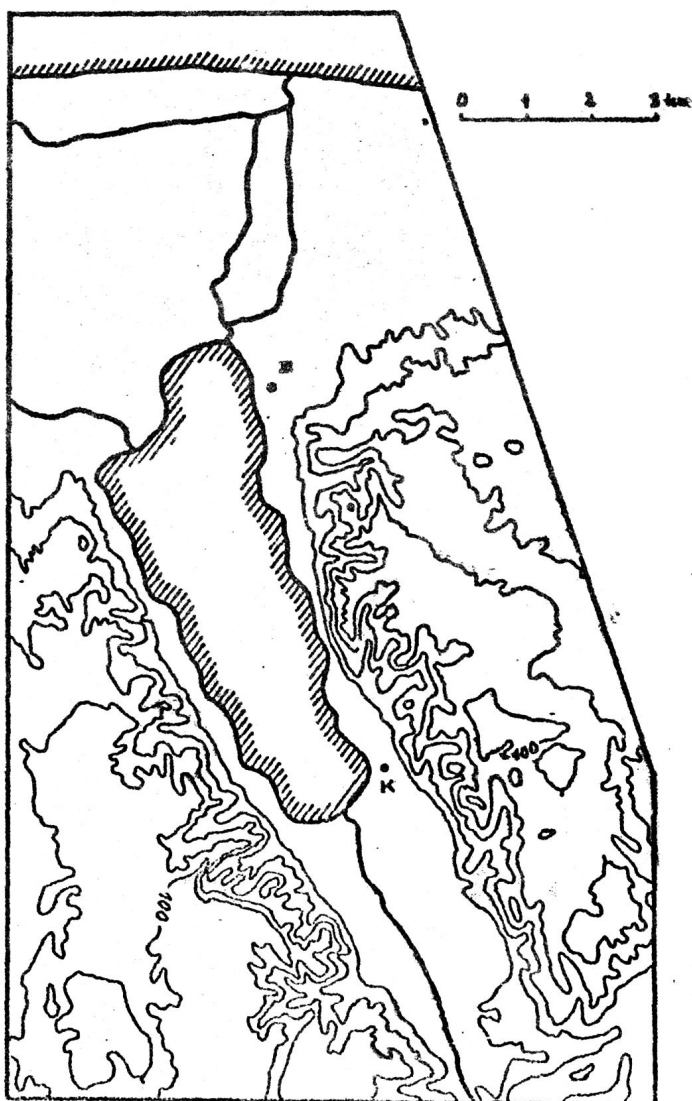
SPATIAL STRUCTURE OF THE WIND WAVES ON LAKE ŻARNOWIECKIE
IN THE LIGHT OF AERIAL PHOTOGRAPHS*

The paper presents the investigation of the wind waves performed on the lake Żarnowieckie. The main part consists of aerial photographs made, however, by means of one camera. That means that the determination of the direction and length of the waves was only possible.

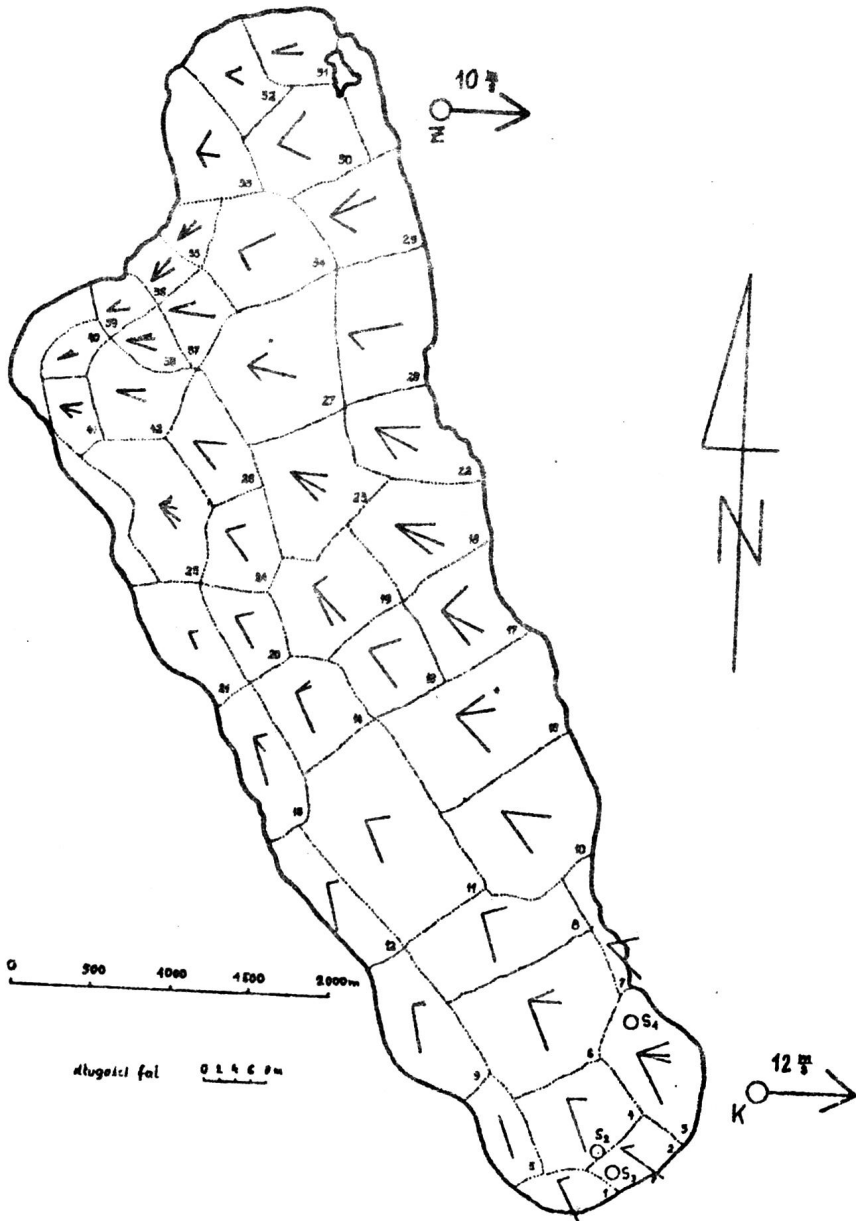
In the performed photo-interpretation analysis the whole area under investigation was characterised and separate wave trains were distinguished /fig. 2/. The generalisation of the whole wave system is given in fig. 3.

* Tłumaczenie autorów.

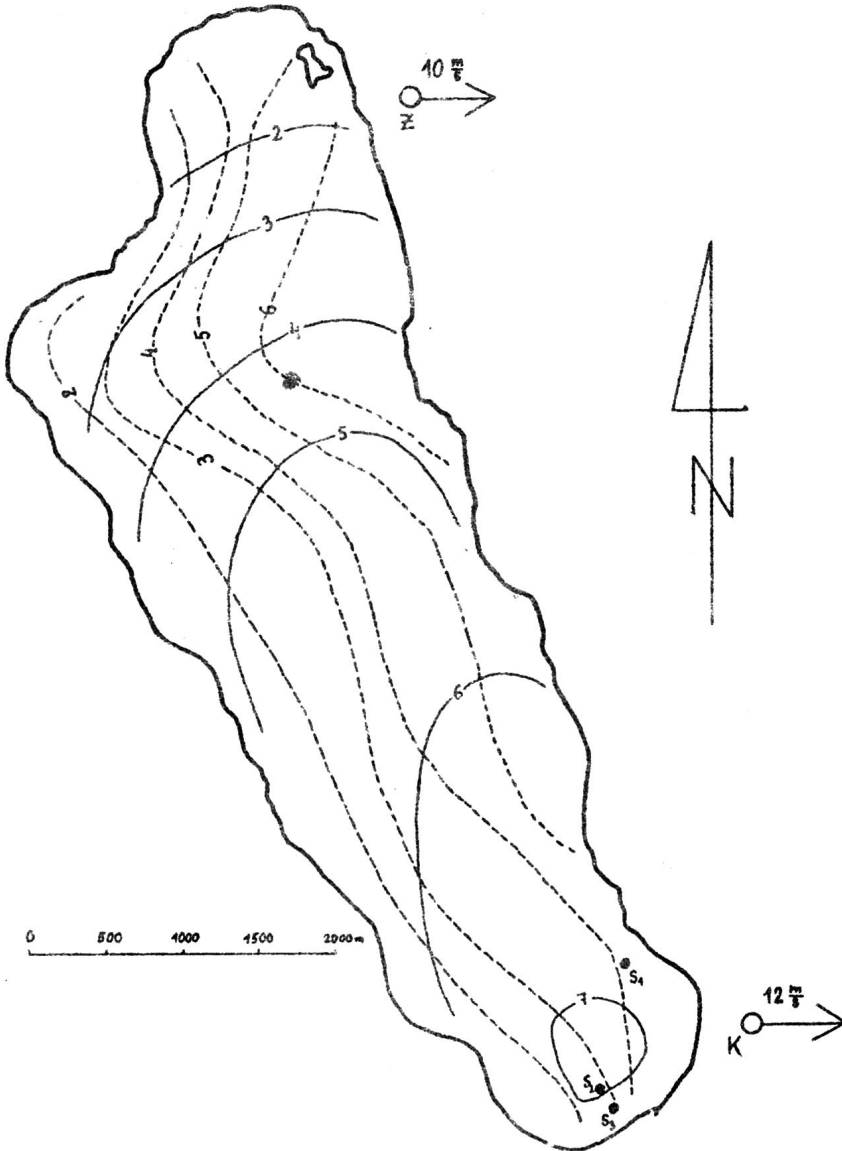
Independent of the aerial photographs the measurements of water level changes in three points were performed. The comparison of the mean wave lengths determined by the two methods has given a very good agreement.



Rys. 1 Plan sytuacyjno-wysokościowy Jeziora Żarnowieckiego



Rys. 2 Charakterystyka przestrzenna pola falowania wiatrowego Jeziora Żarnowieckiego 30 maja 1974 roku o godz. 13.30



Rys. 3 Generalizacja układu pola falowego