

Adam Choiński
Andrzej Kijowski

FOTOLIMNOLOGIA



Wydawnictwo Naukowe UAM

FOTOLIMNOLOGIA

UNIwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Adam Choiński, Andrzej Kijowski

FOTOLIMNOLOGIA



POZNAŃ 2015

Recenzent: prof. dr hab. Katarzyna Dąbrowska-Zielińska

© Adam Choński, Andrzej Kijowski 2015

This edition © Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu,
Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań 2015

Fotogramy przygotował Wojciech Mania

Fotografia na okładce: Wojciech Mania „Lot nad Jeziorem Kowalskim”

Okładka wg pomysłu Wojciecha Mani, K. & S. Szurpit

Redaktor: Katarzyna Muzia

Redaktor techniczny: Elżbieta Rygielska

ISBN 978-83-232-2885-1

WYDAWNICTWO NAUKOWE UNIwersytetu IM. ADAMA MICKIEWICZA W POZNANIU
UL. FREDRY 10, 61-701 POZNAŃ

www.press.amu.edu.pl

Sekretariat: tel. 61 829 46 46, faks 61 829 46 47, e-mail: wyd nauk@amu.edu.pl

Dział sprzedaży: tel. 61 829 46 40, e-mail: press@amu.edu.pl

Wydanie I. Ark. wyd. 9,50. Ark. druk. 8,375 + CD.

DRUK I OPRAWA: UNI-DRUK, LUBOŃ, UL. PRZEMYSŁOWA 13



Spis treści

Wstęp	7
1. Techniki pozyskiwania informacji teledetekcyjnej	8
2. Wprowadzenie do fotolimnologii	10
3. Typy genetyczne mis jeziornych	11
Jeziora meandrowe w dolinie Warty (Krajkowo)	12
Jeziora krasowe	14
Jezioro meteorytowe Morasko	16
Jeziora rynnowe	18
Rynna Kórnicko-Zaniemyska	18
Rynna Łagowska	20
Jeziora denno-morenowe	22
4. Batymetria	24
Jezioro Gopło	26
Jezioro Jeziorak koło Jezioraka	28
Jezioro Powidzkie	30
5. Falowanie	32
Zalew Wiślany	34
Jezioro Jamno	36
Jezioro Czaplino	38
Jezioro Jeziorak	40
Czarny Staw i Morskie Oko	46
Jezioro Gopło	48
Jezioro Mamry	50
6. Termowizja w badaniach jezior	56
7. Zjawiska zlodzenia jezior	60
8. Zarastanie jezior	62
Jezioro Łebskie	64
Jezioro Gopło	72
Jezioro Kaczerajno	78
Jezioro Śniardwy	80
Jezioro Tomickie	90

9. Jeziora na obszarach dziedzictwa kulturowego	96
Jezioro Lednickie	98
Jezioro Bytyńskie	100
Zbiornik na rzece Mieszna	102
Jezioro Koziegłowskie	104
Jezioro Łoniewskie	106
Jezioro Bobięcińskie	108
10. Jeziora na terenach miejskich wykorzystywane gospodarczo	110
Jezioro Pniewskie	112
Jezioro Swarzędzkie	114
Jezioro Gopło	116
Jeziora pokopalniane z rejonu Konina i Malińca	118
11. Zanieczyszczenia naturalne i antropogeniczne jezior	122
12. Zdjęcia lotnicze a zagospodarowanie turystyczne jezior	125
Zakończenie	127
Ćwiczenia i literatura	129



Wstęp

Zdjęcia lotnicze wykonywane są od ponad stu lat. Pierwsze obrazy z „lotu ptaka” zrobił nad Paryżem w 1858 r., z gondoli balonu, G.T. Tournachon, a pierwsze zdjęcia lotnicze z pokładu samolotu W. Wright we Włoszech w roku 1909.

W Polsce pierwsze prace fotogrametryczne wykonane przez PLL LOT – Wydział Aerofotogrametryczny – FOTOLOT wykonano w 1930 r. do celów urbanistycznych, regulacji rzek, budownictwa wodnego, rolnictwa i leśnictwa.

Od 1963 r. na wydziałach przyrodniczych uniwersytetów warszawskiego, wrocławskiego, lubelskiego i poznańskiego rozpoczął się proces edukacji studentów z zakresu fotointerpretacji zdjęć lotniczych. Przełom w rozwoju fotointerpretacji miał miejsce w latach 1975–1980, kiedy w Instytucie Geodezji i Kartografii powstał Ośrodek Przetwarzania Zdjęć Lotniczych i Satelitarnych. Ukształtował się w tym czasie klimat do wykonywania i pozyskiwania do celów naukowych i gospodarczych zdjęć lotniczych oraz satelitarnych. Drugi przełomowy okres w rozwoju teledetekcji datowany jest na lata 90. XX w. – początek rynku usług fotolotniczych. Państwowe Przedsiębiorstwo Fotogrametryczne wykonywało zdjęcia lotnicze na potrzeby opracowywania map topograficznych i map gospodarczych w skalach około 1:5000, 1:10 000, 1:25 000. Rozpoczęty przez program Phare PL 9206 w latach 1995–1998 projekt całkowitego pokrycia terytorium Polski kolorowymi zdjęciami lotniczymi w skali ~1:26 000 umożliwił korzystanie z tego zasobu zdjęć lotniczych przez różnych użytkowników.

Autorzy niniejszej publikacji są wieloletnimi gestorami zdjęć lotniczych w sferze badań naukowych z zakresu geomorfologii, limnologii, rolnictwa, planowania przestrzennego i ochrony środowiska.

Ponadto do podręcznika załączono CD z fotogramami, których celem jest wykonanie ćwiczeń ze studentami.



1

Techniki pozyskiwania informacji teledetekcyjnej

Techniki i metody oparte na bezkontaktowej rejestracji promieniowania elektromagnetycznego na odległość od lat 60. ubiegłego wieku zaczęto definiować jako teledetekcja (Ciołkosz i in. 1999). Obraz zdjęcia lotniczego powstaje w wyniku rejestracji na materiale światłoczułym lub matrycy cyfrowej odbitej od powierzchni terenu energii elektromagnetycznej – promieniowania w zakresie od 350 do 1500 nm. Zakres promieniowania elektromagnetycznego wykorzystywany przy fotografii lotniczej nazywamy widzialnym i bliską podczerwienią. Materiał światłoczuły filmów lotniczych umożliwia pozyskanie zdjęć panchromatycznych (czarno-białych), barwnych (kolor naturalny i fałszywy) oraz podczerwonych. Ze względu na różne charakterystyki spektralne odbitych obiektów występujących na powierzchni terenu istnieje możliwość odróżnienia na materiale fotograficznym trzech głównych powierzchni, takich jak roślinność, litologia i wody. Każda z tych powierzchni charakteryzuje się odmiennymi współczynnikami jasności spektralnej, dochodzi zatem do zróżnicowania efektu na obrazach lotniczych. Zróżnicowanie efektu odbicia spektralnego za pomocą rejestracji lotniczej z zastosowaniem specjalistycznych materiałów fotolotniczych pozwala na wykorzystanie pozyskanych informacji zawartych na zdjęciach lotniczych do badań limnologicznych.

Obraz fotograficzny zbiorników wodnych odfotografowany na zdjęciach lotniczych zdecydowanie różni się od powierzchni odkrytej skały, szaty roślinnej. Zdjęcia lotnicze wykonane na materiale panchromatycznym przedstawiają wodę w fototonach ciemnych i ciemnoszarych. Spowodowane jest to małym współczynnikiem odbitego promieniowania widzialnego od powierzchni wody. Zwiększeniu ilości zawiesiny w wodzie towarzyszy wzrost współczynnika odbicia promieni. W rezultacie na zdjęciach woda mętna wychodzi w tonach jaśniejszych. Zależność ta zezwala na przeprowadzenie badań na podstawie pomiarów fotometrycznych stanu zmętnienia wody oraz szacowanie ilości transportowanego materiału. Woda jest substancją różnie przejrzystą dla różnych długości fal promieniowania elektromagnetycznego. W zakresie promieniowania widzialnego zakres niebieski i zielony tego promieniowania przenika w głąb ośrodka wodnego, dając możliwość

interpretacji dna i szelfu zbiorników wodnych. Widoczne jest to w strefach brzegowych akwenów morskich i jeziornych w postaci jasnych wałów rewowych i półki szelfowej. Promieniowanie w bliskiej podczerwieni jest całkowicie pochłaniane przez wodę, dając czarny obraz zbiornika wodnego. Ma to zastosowanie w procesie fotointerpretacji problematyki limnologicznej, ponieważ widoczna jest ostra granica między ośrodkiem wodnym a lądowym. Wyznaczenie granicy akwenu wodnego w stosunku do roślinności pływającej i brzegowo-lądowej umożliwia analizy stref zarastania jezior.

Zdjęcia lotnicze pozwalają na wykonanie charakterystyki fizyczno-biologicznej śródlądowych zbiorników jeziornych. Kształt zbiorników oraz różne morfometryczne elementy można określać za pomocą analizy materiałów fotogrametrycznych. O jakości wody w zbiornikach i warunkach jej zmienności można wnioskować na podstawie przezroczystości wody, barwy oraz składu roślinności wodnej i żyjącej fauny. Bardzo szerokie zastosowanie mają zdjęcia lotnicze w interpretacji trofizmu zbiorników wodnych. Istniejące od roku 1940 w zasobach Polski zdjęcia lotnicze pozwalają na śledzenie tempa eutrofizacji jezior.

Poniżej przedstawiono zakres tematyczny wykorzystywanych filmów lotniczych do wielu zagadnień związanych z problematyką limnologiczną:

Rodzaj materiału fotograficznego:	Skala zdjęć lotniczych:	Zastosowania tematyczne:
panchromatyczny (czarno-biały)	1 : 5000-1 : 30 000	złodzenie, batymetria
kolor naturalny	1 : 10 000-1 : 30 000	zakwity, wegetacja roślinności
spektrostrefowy	1 : 10 000	zarastanie jezior
podczerwień fotograficzna	1 : 10 000	pomiary powierzchni, linii brzegowej, stan fitosanitarny roślinności wodnej
podczerwień termalna	1 : 10 000	zrzuty ciepłej wody, temperatura akwenu.

Współczesny rozwój technik pozyskiwania danych teledetekcyjnych za pomocą Lidaru, hiperspektralnych radiometrów wprowadza nowe możliwości zastosowania danych do analiz limnologicznych. Zdolność rozdzielcza – dokładność przestrzenna oscylująca w granicach 0,2–0,5 m materiałów teledetekcyjnych umożliwia badania w mikroskali zjawisk i procesów zachodzących w zbiornikach wodnych.



2

Wprowadzenie do fotolimnologii

Badania limnologiczne oparte są na bezpośrednich pracach terenowych, analizach różnorodnych materiałów „archiwalnych” oraz połączeniu obu tych metod. Najstarsze podkłady kartograficzne nadające się do analiz porównawczych ze współczesnymi pochodzą z drugiej połowy XIX w. Są to głównie mapy w skali 1 : 25 000. Przyrównanie map z różnych okresów umożliwia określenie zmian zasięgu jezior w poziomie oraz tempa tych zmian (najczęściej prowadzących do zmniejszenia powierzchni zbiornika), czyli ustalenie ewolucji zarysu misy jeziornej. Mimo że względnie dokładne mapy topograficzne wykonuje się od blisko 150 lat, to niestety jest zaledwie kilka ich edycji stanowiących pewnego rodzaju „repery” z danego okresu pomiarowego. Przyrównanie planów batymetrycznych z kolei pozwala oszacować wypływanie (rzadziej przegłębianie dna), czyli obrazuje skalę i tempo „zaniku” jeziora w pionie, a więc do dna. W odróżnieniu jednak od podkładów kartograficznych, starszych planów batymetrycznych, czyli pochodzących z XIX, a nawet z pierwszej połowy XX w., jest niewiele.

Kilkadziesiąt lat temu pojawiło się zupełnie nowe źródło danych – zdjęcia lotnicze. To one często stanowią swoiste brakujące ogniwo w analizie zmian mis jeziornych. Dotyczy to oczywiście tych okresów, dla których istnieją długie luki czasowe w kartowaniu terenu, czego rezultatem są mapy topograficzne. To jedno z cennych zastosowań zdjęć lotniczych, które przy wykonywaniu planowanych nalotów pozwalają na analizę zmiany sukcesji roślinności brzegowej, zanurzonej, antropogenizacji brzegów jeziornych. Zastosowanie metod klasycznych w powyższych przypadkach, czyli kartowanie terenowe jest zbyt czasochłonne i kosztowne w porównaniu do wykorzystania zdjęć lotniczych. W najbliższych latach pozyskiwanie zdjęć lotniczych za pomocą bezzałogowych samolotów umożliwi intensywny rozwój badań limnologicznych.



3

Typy genetyczne mis jeziornych

Ze względu na różne aspekty badawcze jezior opracowano wiele ich klasyfikacji. Jedną z nich jest typologia genetyczna jezior rozumiana jako klasyfikacja ich mis. Zdecydowana większość jezior ma swoje założenia w utworach plejstoceniowych, które utworzyły się w wyniku wytapiania brył martwego lodu, złożenia zagłębień wodami roztopowymi, eworsyjnej działalności wód lądolodu, chaotycznej akumulacji osadów glacialnych czy wyorywania zagłębień masą mobilnego lądolodu. Młodsze misy jezior z okresu holocenu to rezultat wypełnienia wodą zagłębień międzywydmowych, powstawania zagłębień krasowych, międzyrzeczy (starorzeczy) lub zamknięcia zatok morskich przez mierzeje. W Polsce można wyróżnić około 20 typów mis jeziornych. Określenie genezy misy jest bardzo ważne. Pozwala między innymi na ustalenie wieku jeziora, kierunków jego ewolucji, właściwości fizyczno-chemicznych wód, a co niezwykle istotne w odniesieniu do zdjęć lotniczych – określenie związku misy jeziora z jego zlewnią. Analiza różnych typów mis na zdjęciach lotniczych jest bardzo przydatna przy określaniu skali i parametrów powierzchniowych jezior.

Jeziora meandrowe w dolinie Warty (Krajkowo)

Jeziora meandrowe powstają w szerokich dolinach rzecznych. W wyniku separacji meandrów tworzą się jeziora stowarzyszone z blisko przepływającą rzeką. Zmienność ich stanów wód zależna jest od rytmu zmian wody w korycie rzeczonym. Z uwagi na dużą częstość zmian w czasie zdjęcia lotnicze stanowią doskonale narzędzie do ich analizy. Podczas długotrwałych susz jeziora tego typu mogą okresowo być pozbawione wody. W przypadku wysokich stanów wód rzecznych natomiast może dochodzić do zalewania terasy zalewowej (także wyższych) i wówczas jeziora tego typu znajdują się „pod wodą”. Na przedstawionym zdjęciu lotniczym widoczny jest fragment doliny Warty – przykład klasycznego zamkniętego starorzecza dającego podstawę do określenia go jako jezioro meandrowe (1). Barwa wody w jeziorze jest inna niż barwa wód rzecznych (2), co jest spowodowane odmiennymi warunkami środowiskowymi, tzn. klasą wód płynących w rzece Warcie uzależnioną od zrzutów oczyszczanych ścieków komunalnych z miejscowości położonych poniżej badanego terenu, wpływami wód powierzchniowych pochodzących z opadów atmosferycznych i widocznego użytkowania terenów w zlewni rzeki. Wody jeziora meandrowego po zamknięciu szyi meandra rzecznego tworzą środowisko naturalnej eutrofizacji ekosystemu, które wypływając się w miejscach płycizn w dawnym dnie rzeki, zmniejsza swoją powierzchnię, a to prowadzi do całkowitego zarastania jeziora (fot. 1).



Fot. 1. Rzeką Warta i jej odnogą Święconka (jezioro meandrowe) w okolicach Radziewic (2002):
1 - klasyczne jezioro meandrowe, 2 - rzeka Warta; fot. A. Kijowski

Jeziora krasowe

Pojezierze Łęczyńsko-Włodawskie obfituje w jeziora pochodzenia krasowego. Widoczne zbiorniki to pozostałość jeziorzyska Wielki Uściwierz. Stanowią one obecnie rezerwat „Uroczyska Uściwierskich Jezior” pomiędzy miejscowościami **Ostrówek i Grabiniak** (fot. 2). Bezpośrednie sąsiedztwo jezior stanowią łąki (1), pola uprawne (2) i niewielkie kompleksy lasów łęgowych (3). Pierwotny zasięg akwenów wodnych (4) wraz ze strefą współczesnego zarastania (5) z otaczającymi torfowiskami (6) to krajobraz typowy dla Pojezierza Łęczyńsko-Włodawskiego. Proces eutrofizacji jezior zachodzi mimo znacznych głębokości, a widoczna sukcesja roślinności następuje od brzegów. Jezioro Bikcze jest obwałowane (7), czyli występuje tu ograniczenie w podtapianiu gruntów ornych w wyniku wahania poziomów wód w zbiornikach wodnych. Na wahania wód ma wpływ funkcjonowanie w tym rejonie obszaru górniczego kopalni „Bogdanka”, która przez swą eksploatację węgla kamiennego zalegającego pod pokładami osadów kredowych silnie uwodnionych prowadzi do uruchamiania procesów krasowych na różnych głębokościach, zmieniając ukształtowanie powierzchni terenów i tworząc nowe zbiorniki wodne powodujące szkody górnicze na obszarach rolnych. Powyższe zgrupowanie jezior, podobnie jak te w strefie zasięgu ostatniego zlodowacenia, narażone jest na szybki zanik.



Fot. 2. Jezioro Uściwier – przykład jeziora krasowego (1998): 1 – łąki, 2 – pola uprawne, 3 – lasy łęgowe, 4 – pierwotny zasięg brzegu jeziora, 5 – strefa zarastania, 6 – torfowiska, 7 – obwałowanie; fot. A. Kijowski

Jeziorko meteorytowe Morasko

Jeziorka meteorytowe w rezerwacie „Morasko” w **Poznaniu** są ewenementem na skalę światową. Niewiele jest bowiem przykładów tego typu, gdzie zagłębienia po upadku meteorytów wypełniły się wodą i stały jeziorami. Na uwagę zasługuje fakt, iż w sąsiedztwie jezior znaleziono meteoryt o wadze około 200 kg, zaliczany do największych w Europie. Jeziorka pometeorytowe zarówno na mapach, jak i na zdjęciach lotniczych stanowią śródleśne oczka wodne (1). W powyższym przykładzie jest siedem zagłębień, a największe ma 100 m średnicy i 13 m głębokości. Zróżnicowanie wielkości oczek wodnych powiązane było z wielkością obiektów meteorytowych, a ich położenie w przestrzeni spowodował rozrzut obiektów.



Fot. 3. Rezerwat „Meteoryt Morasko” w Poznaniu (2007): 1 - oczka wodne - przykłady jezior meteorytowych; fot. A. Kijowski

Jeziora rynnowe

Rynna Kórnicko-Zaniemyska

Rynna Kórnicko-Zaniemyska (fot. 4) to przykład ciągu jezior, który odbiega znacznie swym przebiegiem od stanu pierwotnego (1). Jeziora w trakcie ewolucji zaczęły, wskutek podziału rynny wypełnionej wodą, dzielić się na mniejsze akweny (2). W przyszłości proces ten będzie postępował. Miejscami go inicjującymi są półwyspy, które „wchodzą” z czasem w głąb jeziora i „przecinając”, dzielą je. Potencjalnie takie miejsca występują na jeziorach Bnińskim, Kórnickim i Skrzyneckim Dużym. Usytuowanie rynny jest bardzo niekorzystne. Położona jest bowiem wśród zwartych kompleksów (3) intensywnie uprawianych rolniczo (4), a ponadto nad jej brzegami leży kilka miasteczek i wiosek. Wpływa to na nasilenie eutrofizacji wód, której rezultatem jest znaczne wypłyconie jezior oraz ekspansja trzcinowisk w płytkich strefach przybrzeżnych. Poprzez intensywną depozycję osadów jeziora są znacznie wypłycone, a ich przykładowe głębokości średnie następujące: Bnińskie 4,2 m, Kórnickie 2,6 m i Skrzyneckie Duże 3,4 m.



Fot. 4. Jeziora Kornickie i Bnińskie (Rynna Kornicko-Zaniemyska) (1996): 1 - pierwotny zasięg rynny jeziornej, 2 - poszczególne jeziora w rynnie, 3 - kompleks leśny, 4 - grunty orne, 5 - obszary zurbanizowane; fot. A. Kijowski

Rynna Łagowska

Rynna Łagowska to „klasyczny” przykład rynny jeziornej (fot. 5). Przebiega na obszarze o wyjątkowo znacznych deniwelacjach powierzchni terenu. Jeziora tego typu odznaczają się dużymi wskaźnikami wydłużenia. Ich izobaty (1) układają się współkształtnie do zarysów linii brzegowych, przy czym występuje wiele progów i głęboczków. Osie jezior są kręte i przypominają meandry rzeczne. Z uwagi na znaczne głębokości nieopodal brzegów sukcesja roślinności jest wyraźnie ograniczona. Dzięki otoczeniu przez kompleksy leśne (2) jeziora są w naturalny sposób „chronione” od intensywnej antropresji. Na uwagę zasługuje fakt, iż położony w północnej części Jeziora Trześniowskiego głęboczek (58,8 m) stanowi największą głębię wśród wszystkich jezior Pojezierza Wielkopolsko-Kujawskiego i jedną z większych w Polsce (10. pozycja). Po obu stronach jezior widoczne osiedla mieszkalne (3) oraz przystanie i kąpieliska (4).



Fot. 5. Rychno Łagowska (1996): 1 – linie batymetrii (izobaty), 2 – kompleksy leśne, 3 – osiedla mieszkalne, miejscowości, 4 – przystanie, kąpieliska; fot. A. Kijowski

Jezióra denno-morenowe

Jezióro Bytyńskie jest przykłądem misy o genezie denno-morenowej (fot. 6). Róźni się ona zasadniczo od misy jezior rynnowych. W tym przypadku izobaty mają układ nieregularny, centralną część zajmuje kilka wysp (1). Pod tym względem Jezióro Bytyńskie jest ewenementem w skali kraju, ponieważ jego uwyspienie wynosi aż 29,5 ha (13. pozycja). Linia brzegowa i dno zbiornika są urozmaicone, co jest efektem procesów wytopiskowych brył martwego lodu. W przyszłości należy liczyć się z tym, że powierzchnie dna między wyspami i łądem będą się wypłycały i jezióro zostanie podzielone na wiele mniejszych akwenów. Na proces wypłykania się jeziora oddziałują: intensywne rolnictwo (4), kompleksy leśne (3) oraz sąsiadujące bezpośrednio z jeziórem miejscowości **Bytyń** i **Sokolniki** (5), zrzut oczyszczonych ścieków z kanalizacji gminy Kaźmierz. Na Wyspie Komorowskiej odkryto grodzisko z okresu kultury łużyckiej. Dobrze zachowały się wały o długości 1000 m, wysokości 4 m i szerokości u podstawy 18 m. W średniowieczu na grodzisku znajdował się zamek.



Fot. 6. Jezioro Bytyńskie (1998): 1 – wyspy, 2 – linia brzegowa, 3 – kompleksy leśne, 4 – grunty orne, 5 – miejscowości; fot. A. Kijowski



4

Batymetria

Rozpoznanie morfometryczne misy jeziornej, czyli sporządzenie planu batymetrycznego oprócz aspektu czysto poznawczego jest niezbędne do opracowań i rozwiązań podstawowych problemów limnologicznych. Można do nich zaliczyć:

- 1) ustalenie kierunku i skali zmian (ewolucji) powierzchni wody oraz dna,
- 2) ocenę zasobów wodnych wraz z ich zmianami,
- 3) określenie warunków rozwoju procesów i zjawisk zachodzących w jeziorach,
- 4) bilans wodny misy jeziornej i jej zlewni,
- 5) możliwości porównywania jezior.

W przeszłości opracowanie planów batymetrycznych było niezwykle pracochłonne. Polegało na pomiarach głębokości jezior przy użyciu sond ciężarkowych wzdłuż wyznaczonych linii profilowych lub sondowań w węzłach siatki kwadratów z pokrywy lodowej. Duży postęp w opracowaniach batymetrii wiąże się z wprowadzeniem techniki sonograficznej i GPS, łącząc obie technologie.

Opracowanie planu batymetrycznego pozwala określić wskaźniki i parametry morfometryczne przydatne do rozwiązywania różnorodnych zagadnień limnograficznych. Spośród elementów subakwalnych, czyli elementów określających podwodną rzeźbę misy można wymienić: długość poszczególnych izobat, powierzchnie objęte poszczególnymi izobatami, powierzchnię dna, głębokość maksymalną, głębokość średnią, wskaźniki głębokości względnej, wskaźniki kształtu mis jeziornych, rozwinięcie głębokości, wskaźniki odsłonięcia, wskaźniki zwartości, wskaźniki nachylenia dna jeziora, objętość jeziora. Pomiedzy parametrami i wskaźnikami zachodzą różnego rodzaju zależności oraz związki, stąd badanie ich może być bardzo przydatne. Główny problem związany z uzyskaniem danych z planów batymetrycznych to niewystarczająca ich liczba, a także nieaktualność części z nich. Z ogólnej liczby około 7 tys. jezior w Polsce o powierzchni równej lub większej od 1 ha zaledwie dla niespełna 3 tys. opracowano plany batymetryczne, przy czym około 80% spośród nich pochodzi sprzed 50 lat. W tej sytuacji

wspomniane wszelkie procedury zmierzające do polepszenia tego stanu rzeczy, a opierające się na analizie zdjęć lotniczych są bardzo przydatne.

Zastosowanie zdjęć lotniczych do badania batymetrii zbiorników wodnych – jezior w literaturze polskiej datuje się od lat 60. ubiegłego wieku, kiedy to w pracy A. Ciołkosz, K. Trafas (1965) wykazano możliwości, jakie wynikają z zastosowania panchromatycznych zdjęć lotniczych do oceny głębokości jezior. W atlasie zdjęć lotniczych Polski przedstawiono przykład analizy półki szelfowej jeziora Miedwie na podstawie panchromatycznego zdjęcia lotniczego (Kijowski 1978).

Badanie batymetrii jezior przy użyciu zdjęć lotniczych związane jest z przezroczystością wody, zawartością substancji organicznych, a w szczególności z życiem biologicznym organizmów w środowisku wodnym. Zawartość fitoplanktonu, okrzemek, glonów powoduje zmianę barwy wody, a co się z tym wiąże – odbicia spektralnego od powierzchni wody oraz transmisji promieniowania w głąb zbiornika wodnego umożliwiającego rejestrację dna. Zastosowanie barwnych zdjęć lotniczych dodatkowo umożliwiło ocenę barwy wody i analizę jej przestrzennego zróżnicowania.

Przedstawione przykłady fotogramów lotniczych ilustrują badanie głębokości jeziora w kontekście widocznych podwodnych wysp będących swoistymi wypłycceniami, półek „szelfowych”, mieszania się wód o różnej barwie (efekt zakwitnięcia wody).

Jezioro Gopło

W jeziorze Gopło (okolice **Ostrowa**) wyraźnie zaznacza się dwudzielność koloru wód (fot. 7). W głównej rynnie, o generalnym przebiegu północ-południe, wody mają barwę znacznie ciemniejszą niż wody części zatokowej dochodzącej od zachodu. Przejście barw jest bardzo wyraźne i wyznacza je niemal linia prosta. Prawdopodobną przyczyną tego stanu są wiatry wzdłuż osi głównej jeziora, które wymuszają „przepływ” wody z południa na północ. Zatokowa, zachodnia część jeziora ma wody bardziej stagnujące (nie znajdują się na głównej drodze przepływu), dzięki czemu przejście barw jest tu tak jednoznaczne. W strefie kontaktu wód o różnych barwach głębokości są znaczne i bardzo zróżnicowane. Wykluczyć należy zatem, iż drastyczne różnice głębokości (między rynną główną i częścią zatokową) stanowią o zmianie koloru wody. Kształt linii zmiany barw wskazuje na przemieszczanie wód z południa na północ. Gdyby przemieszczanie to zachodziło w kierunku odwrotnym, miałyby miejsce wpływ wód do części zatokowej lub ich rozdział w obie osie rynny.

Wybrany przykład zdjęcia lotniczego z jednej strony wskazuje na zastoso-
sowanie materiału fotolotniczego w problematyce batymetrii, a z drugiej
strony możliwości pomiarów sensytometrycznych. Gęstość optyczna, barwa
wody pozwalają na korelowanie informacji teledetekcyjnych z chemizmem
wód, przezroczystością akwenu, biologiczną żywnością zbiornika, dzięki
czemu otwierają się nowe pola badawcze w zakresie batymetrii jezior.

Zdjęcie lotnicze fragmentu jeziora Gopło ilustruje zróżnicowanie barwy
wody, która spowodowana jest ruchem mas wodnych na progu głęboko-
ściowym w rynnie dna jeziora.



Fot. 7. Jezioro Gopło (1996): 1 - zróżnicowanie barwy wody spowodowane ruchem mas wodnych na progu głębokościowym w rynn timer dna jeziora, 2 - strefy brzegowe z roślinnością, 3 - półwysp „nabudowany” na wypłyeniu jeziora, 4 - agrocenozy sąsiadujące z rynn timer jeziora; zasób: CODGiK

Jeziro Jeziorak koło Jezioraka

Różne barwy jeziora koło **Jezioraka** wynikają prawdopodobnie z zakwitów sinic (fot. 8). Ich egzystencja jest bardzo krótkotrwała, gdyż wynosi zaledwie do kilku dni. Miąższość tego typu zakwitu zachodzi jedynie w powierzchniowej warstwie wody do 30 cm głębokości.

Kolor wody w jeziorze jest rezultatem chemizmu, a zarazem żyzności akwenu, rodzaju podłoża i poziomu zanieczyszczenia organicznego systematycznie dostarczanego z sąsiadującego kompleksu leśnego. Drzewostan, z którym wiąże się rodzaj substancji deponowanych w wyniku migracji wód opadowych i podziemnych w postaci związków - kwasów humusowych, stał się podstawą do wytworzenia środowiska podatnego na występowania zakwitów sinic. Takie przykłady zmiany barwy wód jeziornych są obserwowane w wielu zbiornikach.

Zamieszczone kolorowe zdjęcie lotnicze wykonane w pełni wegetacji roślinnej ilustruje granicę zmiany barwy wody między fragmentami jeziora i jest przykładem zamkniętego obszaru wodnego, w którym wystąpiły optymalne warunki zakwitu sinic.

Zadaniem dla studentów opracowujących zagadnienia limnologiczne jest przegląd ogólnie dostępnych zdjęć lotniczych zamieszczonych na takich serwerach teledetekcyjnych, jak na przykład Geoportal, wybranie do opracowania zbiorników położonych w kompleksach leśnych, analiza obrazu pod kątem zmiany barwy wody oraz porównanie chemizmu wód z kart batymetrycznych.



Fot. 8. Jezioro Jeziorak koło Jezioraka (1996): kolorowe zdjęcie lotnicze wykonane w pełni wegetacji roślinnej ilustruje granicę zmiany barwy wody (1) między fragmentami jeziora i jest przykładem zamkniętego obszaru wodnego, w którym wystąpiły optymalne warunki dla zakwitnięcia sinic; zasób: CODGiK

Jezioro Powidzkie

Jezioro Powidzkie w strefie miejscowości **Powidz** jest przykładem zbiornika, w którym w wyniku obniżenia poziomu wody (o 1 do 2 m) nastąpiło „odsłonięcie dna” w strefie brzegowej oraz w rejonie wysp (fot. 9). Mimo stosunkowo wąskiej strefy litoralnej, dzięki tak znacznemu obniżeniu powierzchni wody, pojawiły się szerokie „plaże” zaznaczające się na zdjęciach w postaci jasnych (piaszczystych) stref brzegowych. Ich wyraźne zróżnicowanie szerokości odpowiada układowi izobat sprzed okresu, kiedy poziom wody był wyższy. W tzw. strefie rekreacyjnej można zauważyć (oprócz wydłużenia stref plaż) pomosty oraz infrastrukturę związaną ze sportami wodnymi, która pozostała aktualnie bez kontaktu z wodą. Zachodzi zatem konieczność nadbudowy, tzn. wydłużenia ich w kierunku odpowiednich głębokości.

Na mapie topograficznej z 1933 r. na Jeziorze Powidzkim (rzędna zwierciadła wody 99 m n.p.m.) była tylko jedna wyspa o powierzchni około 1 ha. Na zdjęciu lotniczym z 1996 r. wysp było już sześć przy rzędnej lustra wody w jeziorze wynoszącej 98,4 m n.p.m. Na podstawie przedstawionego zdjęcia lotniczego wykonano pomiar powierzchni wysp w miejscu, gdzie największa z nich miała aż 8,6 ha. Na obrazie możliwe są do wydzielenia jasne powierzchnie widocznego piaszczystego dna jeziora przy głębokościach rzędu od 0,5 do 1,0 m. Z punktu widzenia zagospodarowania akwenu wodnego istotna jest wiedza o aktualnej sytuacji batymetrycznej oraz prognozowaniu ekspansji roślinności podwodnej i nadwodnej w miejscach widocznych wypłyceń (1).

Powyższe materiały teledetekcyjne i kartograficzne umożliwiają weryfikację zmian głębokości strefy przybrzeżnej, lokalizację nowo powstałych obiektów (np. wysp, wypłyceń, półwyspów, progów itp.).



Fot. 9. Jezioro Powidzkie (1996): 1 - wypłylenia i wyspy, 2 - wybrane izobaty; fot. A. Kijowski



5

Falowanie

Pomiary fal z lądu w praktyce są czynnością trudną i obejmują niewielki obszar, zatem obraz sfalowanej powierzchni wody widziany z góry jest „idealnym” materiałem wyjściowym do analizy tego zjawiska. Jego badania mają duże znaczenie praktyczne. Otóż, od procesu falowania zależą np.: rozwój linii brzegowej, związana z tym sukcesja roślinności przybrzeżnej i roślinności zanurzonej, zróżnicowanie układów stratyfikacji termicznej nawet w obrębie jednego jeziora, wzbudzanie prądów litoralnych i związany z tym ruch rumowiska, depozycja zawiesiny, możliwości żeglugi.

Parametry fal nie są bynajmniej jedynie uzależnione od wiatru. Charakter falowania w głównej mierze zależy od warunków naturalnych danego jeziora, tzn. od położenia jego osi względem kierunków wiania wiatrów o maksymalnej częstotliwości, wytłumiania wiatrów przez przyległy ląd (zabudowę, lasy, rzeźbę terenu), średniej efektywnej długości jeziora. Wymienione czynniki stanowią o parametrach fal, te z kolei decydują o całości kształcie dynamiki wód jeziornych. Na przykład, wysokość fal determinuje głębokość zalegania podstawy falowania, a ta z kolei głębokość miksji, która decyduje o stratyfikacji termicznej wód lub jej braku w przypadku jezior płytkich. Następstwem tego jest zjawisko resuspensji osadów lub jego brak (jeziora głębokie, tj. takie, w których oddziaływanie fal nie sięga dna). Powyższe zjawiska ponadto mają ogromny wpływ na fizyczno-chemiczne właściwości wód jeziornych (np. barwa, przewodność wody, zawartość tlenu, właściwości optyczne czy skład chemiczny wód jeziornych).

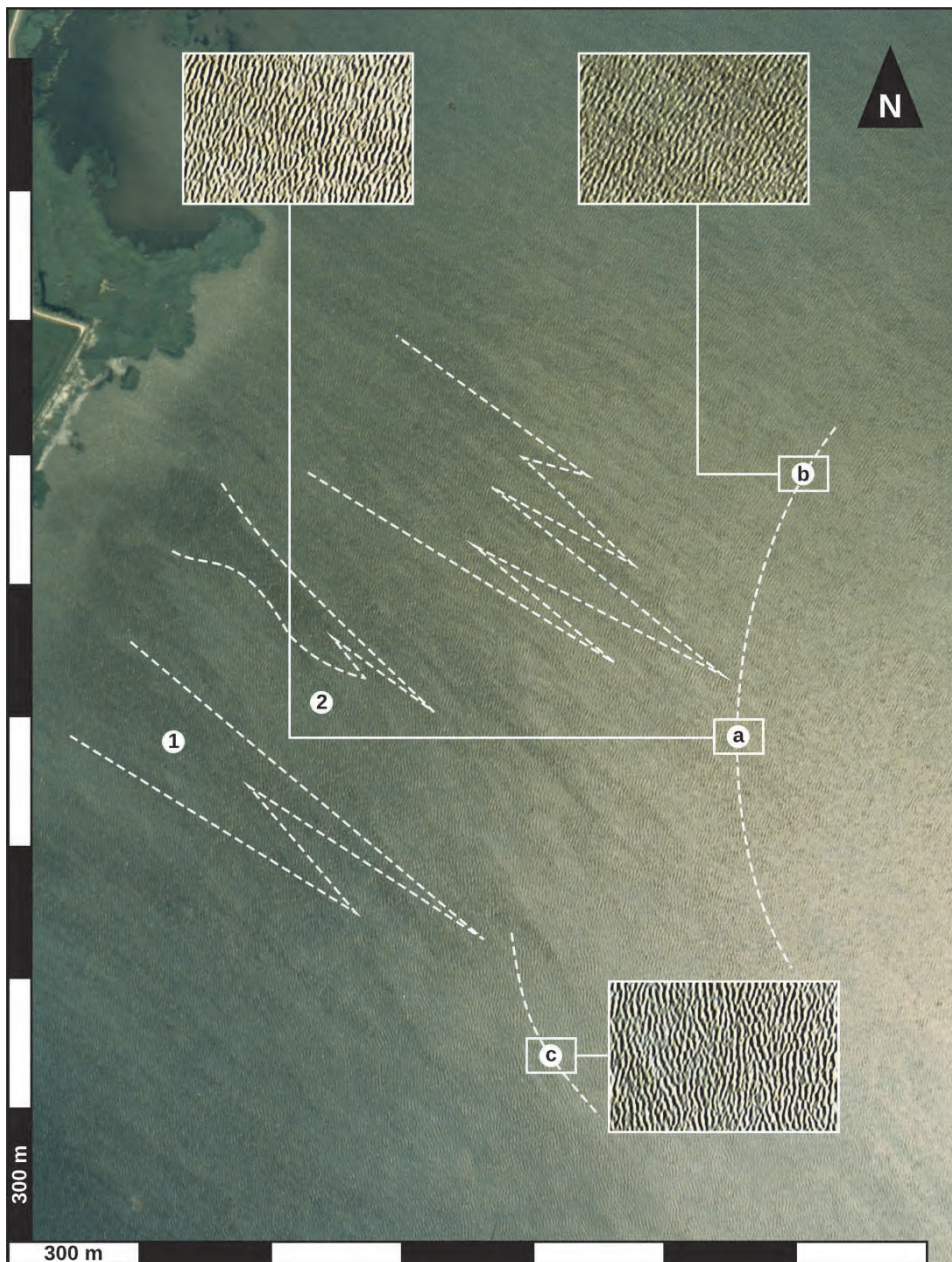
Zakładając, że fale w dużej mierze warunkują zmiany linii brzegowej wespół z mielizną brzegową, widać wyraźnie, iż są one odpowiedzialne z jednej strony za ich erozję, a z drugiej za akumulację. Ta z kolei spełnia rolę pewnego rodzaju ochrony linii brzegowej – poprzez wkraczanie roślinności przybrzeżnej, która spowalnia lub wręcz eliminuje procesy abrazyjne. Z uwagi na to, iż zdjęcia lotnicze obejmują swym zasięgiem znaczny obszar, można analizować zachodzącą propagację fal na całej powierzchni jeziora, a nie tylko w pewnej jego części, jak ma to miejsce przy obserwacjach z lądu. Tego typu metoda badań umożliwia na przykład wyznaczenie obszarów aktywnych i pasywnych na zjawisko falowania, do tego bardzo zmiennych

w czasie. Uwarunkowane jest to następującą relacją: kierunek wiatru–długość jego rozbiegu–prędkość wiatru–osłonięcie wody przez brzeg. Sytuacja ta w szczególności odnosi się do jezior o znacznych wskaźnikach rozwinięcia linii brzegowej. Z analizy porównawczej zjawiska falowania na dwóch sąsiadujących jeziorach bardzo często wynikają istotne różnice między nimi. Świadczy to o dużym stopniu indywidualizmu obiektów wodnych, jakimi są jeziora.

Szczególny przypadek, rozpatrując skutki falowania, stanowią zbiorniki sztuczne. Traktować je można jako obiekty nowo powstałe, a więc nieposiadające ustabilizowanych przez pas roślinności brzegowej linii brzegowych. Tworzą się wówczas nowe, różnorodne formy brzegowe. Ich ewolucję doskonale można śledzić na powtarzanych co jakiś czas zdjęciach lotniczych.

Zalew Wiślany

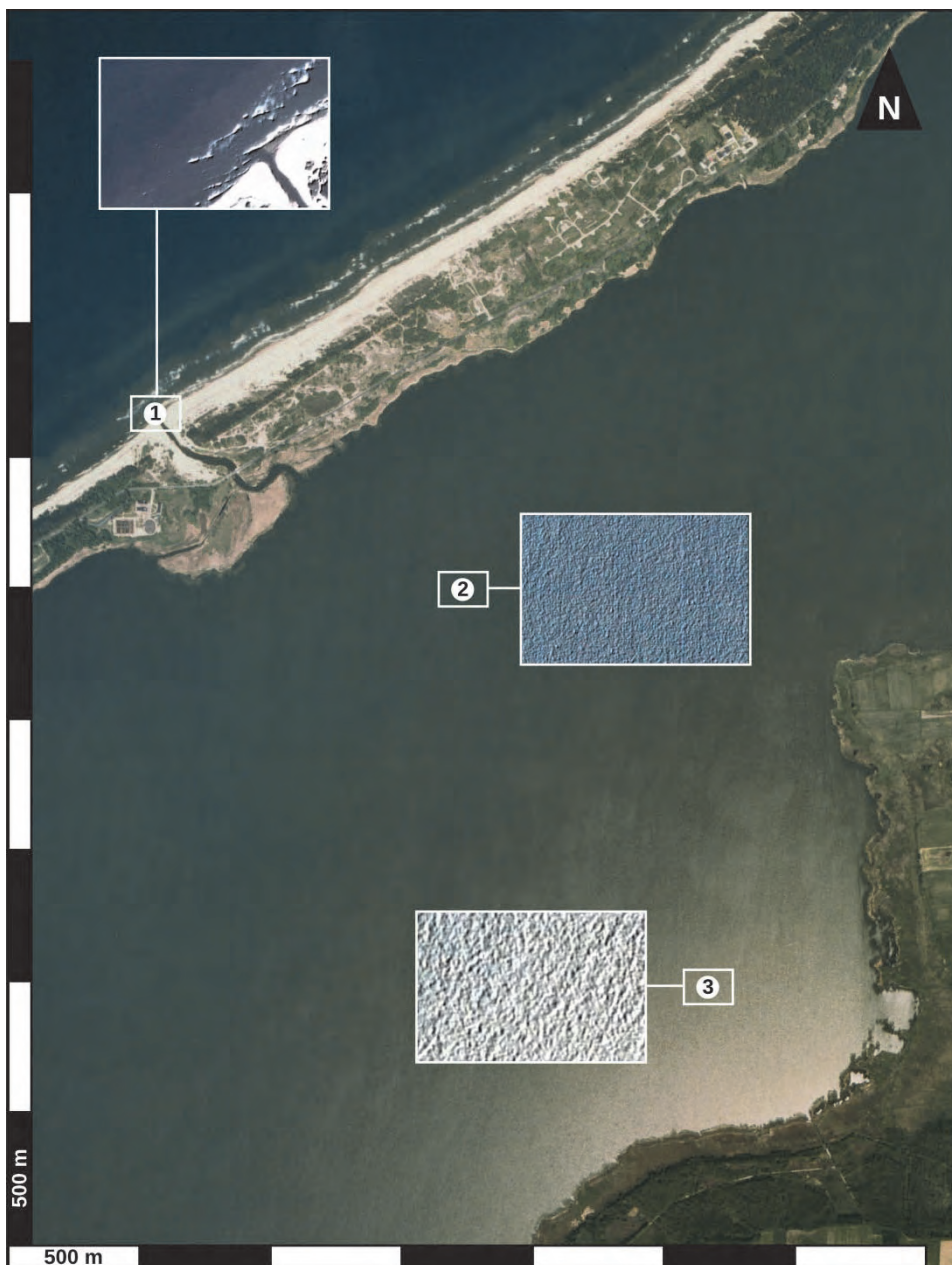
Zalew Wiślany – przy kilkakrotnym powiększeniu zdjęcie doskonale uwiadcza propagację fal. Układ grzbietów fal jest bardzo skomplikowany, co wyraża się częstym nachodzeniem jednego na drugi. Trzy zbliżenia wykazują, że z północy na południe następuje nieznaczna zmiana kierunku nadbiegu czoła fal. Ujęcie najbardziej północne ukazuje nadbieg z północnego zachodu, południowe zaś z zachodu. Znając skalę zdjęcia, na powiększeniach obrazujących układ fal możliwe jest określenie ich długości. W powyższym przypadku długości fal są rzędu około 10 m. Zasięg strefy cienia wiatrowego jest trudny do określenia, gdyż przyjmuje układ „pierzasty”. Wynika to z różnych impulsów wiania wiatru, co objawia się zróżnicowanymi strefami jaśniejszych i ciemniejszych smug na wodzie (fot. 15).



Fot. 10. Zalew Wiślany (1996): 1 - strumienie cienia wiatrowego, 2 - różne układy i kierunki nadbiegu fal; a - kierunek W-E, b - kierunek NW-SE, c - krzyżowanie się fal; zasób: CODGiK

Jeziro Jamno

Na fot. 11 zaznacza się wyraźna dwudzielność falowania. Do brzegu morskigo docierają fale przybojowe (1), które ulegają deformacji na pierwszej rewie przybrzeżnej. Na brzeg fale nacierają w przybliżeniu równolegle (następstwo refrakcji) lub wykazują na występach lądu (wschodni - ujściowy odcinek Nurtu Jamneńskiego) swoiste ugięcie jako efekt dyfrakcji. Długości fal morskich są rzędu kilkunastu metrów. Na jeziorze nieopodal brzegu północnego, z uwagi na cień wiatrowy powodowany zwydmioną mierzeją, fale nie są wykształcone, co wyraża się jedynie nieregularnie „pomarszczoną” powierzchnią wody (2). Przy brzegu południowym, gdzie efektywny rozbieg fal wynosi około 3 km (od brzegu północnego), zaznacza się wyraźna generacja fal (3).



Fot. 11. Jezioro Jamno (1996): 1 - fale przybojowe, 2 - pomarszczone powierzchnie w cieniu wiatrowym, 3 - generacja fal przy brzegu południowym; zasób: CODGiK

Jezioro Czaplino

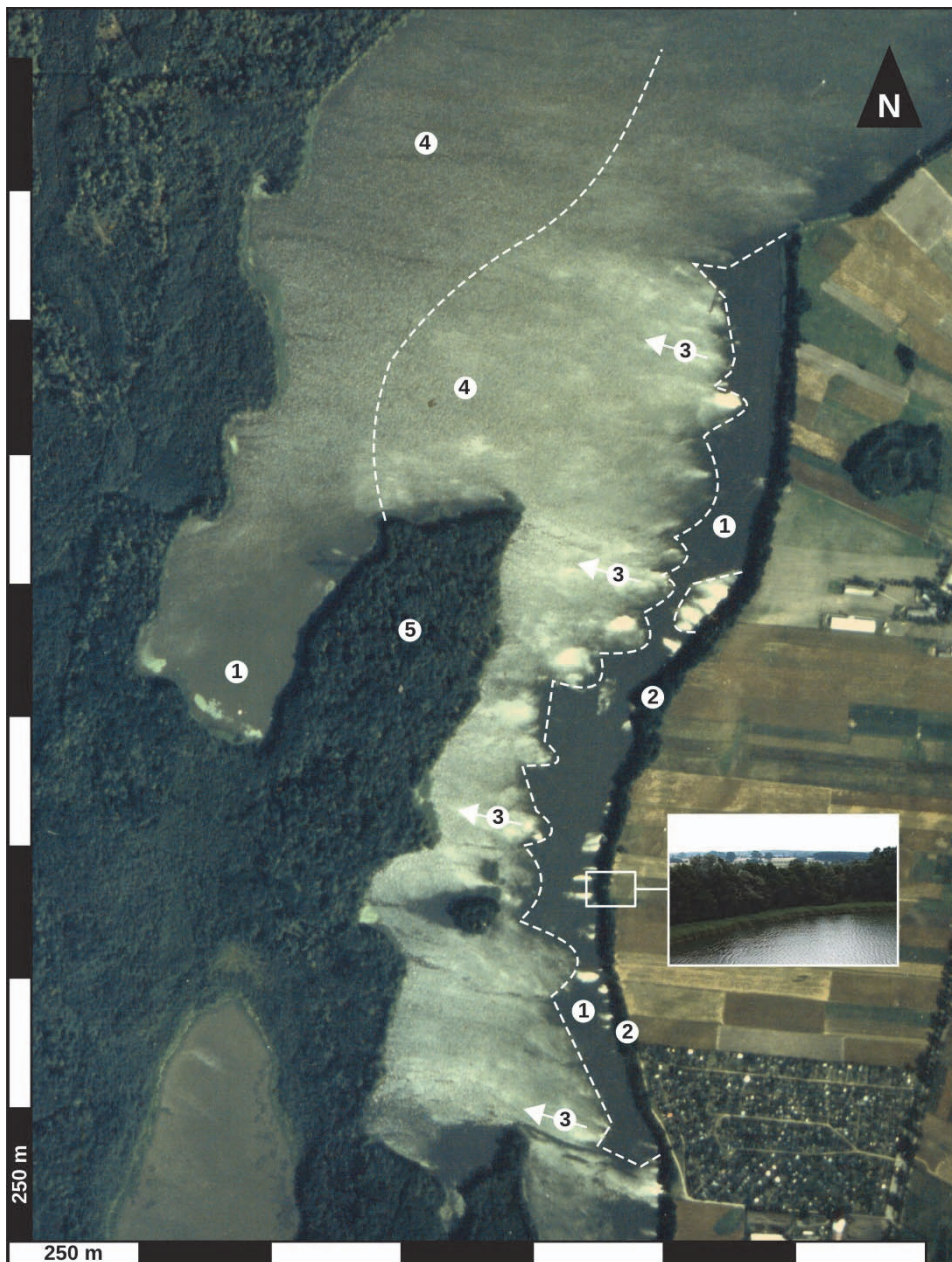
Zdjęcie sfalowania powierzchni jeziora Czaplino po wschodniej stronie miasta **Czaplinek** ukazuje, jak zróżnicowany wpływ na propagację fal mają osłonięcia strefy brzegowej. W powyższym przypadku w momencie wiatru z kierunku północnego był on wytłumiony przez zabudowania oraz pas zadrzewienia (o różnym stopniu „szczelności”) okalający północny brzeg jeziora. W rezultacie fale były wzbudzane w różnej odległości od brzegu, tj. od kilkudziesięciu do około kilkuset metrów. Zróżnicowanie szerokości strefy pasa ciszy (1) zaznacza się także od strony północno-wschodniej. Na zdjęciu widać wyraźne różnice między wzbudzaniem falowania na poszczególnych jeziorach. Cała powierzchnia jeziora, która stanowi niejako kontynuację jeziora Czaplino w kierunku południowym, jest sfalowana. Południowa część zbiornika natomiast jest sfalowana zupełnie inaczej, ponieważ nałożony jest tu refleks odbitego promieniowania od silnie pofalowanej powierzchni wody. Świadczy to z jednej strony o roli, jaką odgrywają osłonięcia powierzchni wody, z drugiej zaś o roli ekspozycji brzegów jezior względem stron świata. Ich przebieg bowiem ma duże znaczenie w „wymuszaniu” kierunków wiania wiatrów. Brzegi jezior, w szczególności rynnowych, stanowią swoisty system tuneli, który ma duży wpływ na falowanie, a co się z tym wiąże – na wiele zjawisk będących jego następstwem (fot. 12).



Fot. 12. Jezioro Czaplino (1997) z następującymi strefami: 1 – pas ciszy wiatru, 2 – częściowe sfalowanie jeziora, 3 – całkowite sfalowanie jeziora; zasób: CODGiK

Jezioro Jeziorak

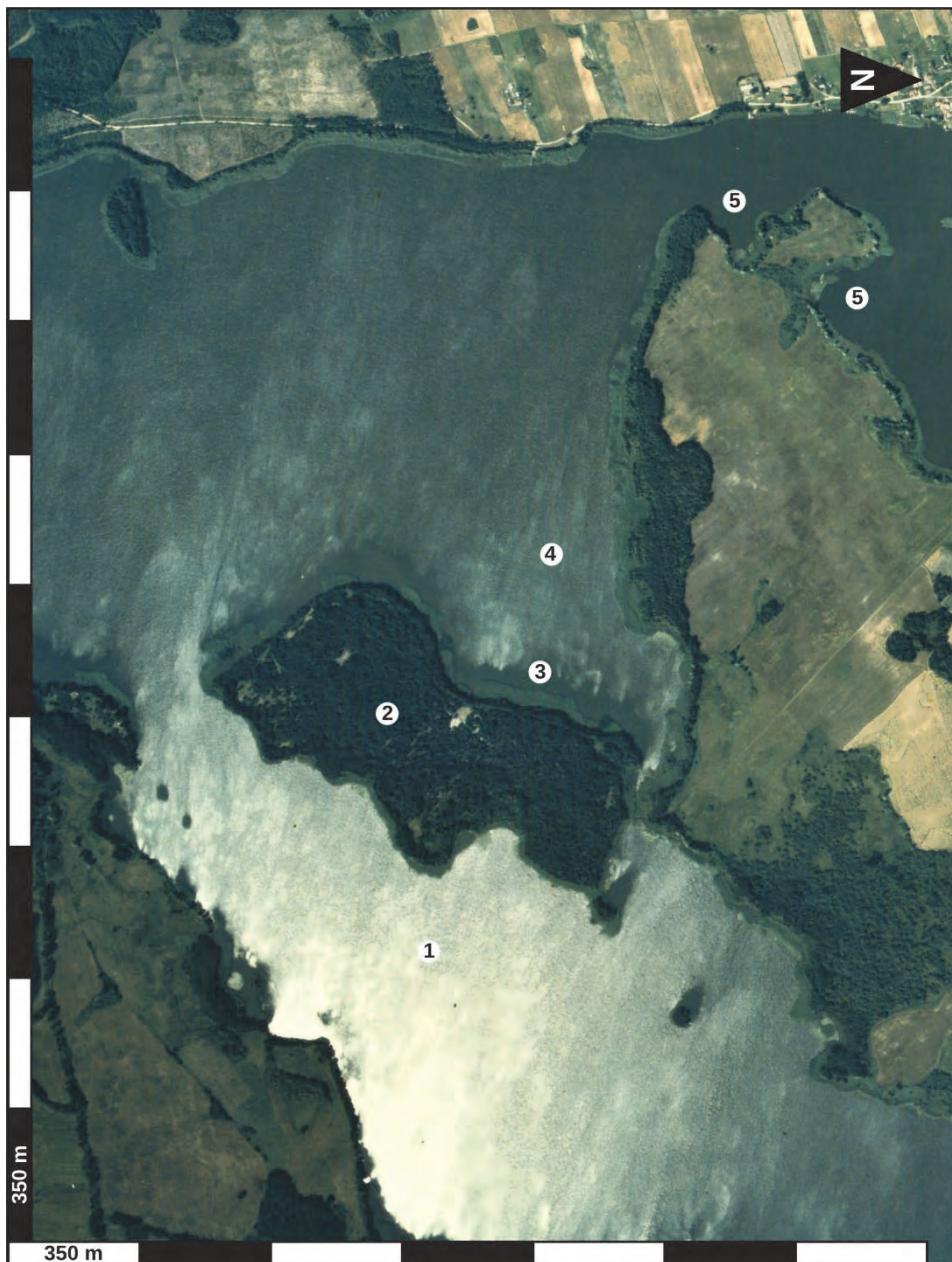
Wymienione strefy wyinterpretowane ze zdjęcia lotniczego, a dotyczące odbicia promieni słonecznych od pofalowanej tafli wód jeziora zostały zarejestrowane na południkowym ramieniu jeziora Jeziorak po północno-wschodniej stronie miasta **Ilawa**. Orientacja południkowa w sytuacji w dniu fotografowania wiatru z kierunku wschodniego umożliwiła zarejestrowanie chwilowego stanu falowania. Zjawisko falowania jest bardzo zmienne i uzależnione od wielu czynników (siła wiatru i jego kierunek, wielkość akwenu wodnego, rzędne terenów otaczających, zagospodarowanie terenu w bezpośrednim sąsiedztwie jeziora). Z analizowanego zdjęcia lotniczego wynika, iż zadrzewienia brzegu o szerokości około 20–30 m przyczyniły się do powstania widocznego pasa ciszy wiatrowej (1) poprzedzianego jasnymi strumieniami falowania wód w miejscach przerw w zadrzewieniach. Szerokość pasa ciszy wiatrowej uzależniona jest od wysokości drzew. Silne strumienie wiatru (3) powyżej koron drzew dały odbicie w najjaśniejszych powierzchniach sfalowania. Na ich podstawie możliwe jest określenie kierunku falowania, a następnie przejścia do strefy wytłumienia fal (4) na przeciwległym brzegu jeziora. Widoczne na zdjęciu elementy ukształtowania linii brzegowej w postaci półwyspu wpływają na tłumienie falowania – obserwujemy kolejne pasy ciszy wiatrowej (fot. 13).



Fot. 13. Jezioro Jeziorak (1997) z następującymi strefami: 1 - pas ciszy wiatrowej, 2 - zadrzewiona strefa brzegowa, 3 - silne strumienie wiatru i sfałowana powierzchnia, 4 - ripplmarki fal - strefa wytłumiania fal, 5 - półwyspy jako przeszkody dla strumieni wiatru; zasób: CODGiK

Jeziro Jeziorak zasługuje szczególnie na analizy badawcze. Wyróżnia się bowiem w skali kraju parametrami morfometrycznymi swojej misy. Na przykład spośród ponad 7 tys. jezior w Polsce ma największy wskaźnik rozwinięcia linii brzegowej, tj. 5,85, jest jeziorem najdłuższym – 27,45 km, cechuje się jednym z większych wskaźników wydłużenia, jest na drugim miejscu pod względem długości linii brzegowej – 117,7 km, w jego obrębie znajduje się największa wyspa jeziorna w Polsce – Ostrów 99,5 ha (Czaplak 54,2 ha jest na 7. pozycji), ma 15 wysp (4. pozycja w kraju), natomiast pod względem zasobów wodnych jest na trzynastej pozycji.

Jeziro Jeziorak stanowi duży zespół rozczłonkowanych ramion jeziora, w których można zaobserwować zróżnicowane nasilenie falowania. Spowodowane jest ono występowaniem wielu wysp (2) i przewężeń, które modyfikują strefy ciszy (5), z powierzchniami o silnym sfalowaniu (1). Prezentowany fragment jeziora wyraźnie ukazuje silne sfalowanie po wschodniej stronie wyspy (fot. 14).



Fot. 14. Jezioro Jeziorak (1997) z następującymi strefami: 1 - silnego sfalowania, 2 - wyspa, 3 - pasa ciszy za wyspą, 4 - sfalowania „łuskowego”, 5 - ciszy w zatokach; zasób: CODGiK

Na północnym fragmencie jeziora Jeziorak widać bardzo wyraźnie duże zróżnicowanie sfalowania. Jest to efekt osłonięć powierzchni wody przez wyspy. Można zatem wydzielić „akweny” o różnym stopniu nasilania propagacji fal. Na przykład, na wschód od **wyspy Bukowiec** zaznacza się strefa intensywnego falowania, sama wyspa w znacznym stopniu je wytłumia, co uwidacznia się po jej stronie zachodniej wyraźnie zredukowanym falowaniem. Na leżącej kilkaset metrów na zachód od niej **wyspie Lipawy Ostrów** następuje już zupełne wytłumienie wiatru, które objawia się niesfalowaną powierzchnią wody na zachód od niej. Ponadto, na północny zachód od wymienionych wysp widać liniowe pasy (zaznaczone strzałkami) odzwierciedlające zróżnicowane strumienie wiatru o różnej intensywności (fot. 14).



Fot. 15. Jezioro Jeziorak (1997) z następującymi strefami: 1 - intensywnego sfalowania, 2 - zredukowanego falowania, 3 - przeszkód w postaci wysp i półwyspów, 4 - strumienia wiatru, 5 - ciszy; zasób: CODGiK

Czarny Staw i Morskie Oko

Jeziora górskie nieco inaczej od jezior niżowych reagują na oddziaływanie wiatru. Wynika to z jednej strony z jego bardzo silnych podmuchów na terenach górskich, które przyrównać można do silnych szkwałów, z tą jednak różnicą, iż są one bardziej długotrwałe. Z drugiej strony, jeziora górskie mają zupełnie inny charakter osłonięcia od wiatru niż jeziora niżowe. Z tego względu można je określić mianem „wspaniale odosobnionych”. Potwierdzeniem tego jest przykład Czarnego Stawu pod Rysami i Morskiego Oka. Na pierwszym zbiorniku widać wyraźnie oddziaływania wiatru na powierzchnię (1), natomiast na drugim nie. Co ciekawe, mimo niewielkiej powierzchni Czarnego Stawu pod Rysami (fot. 16) nie cała jego powierzchnia pokryta jest falami. Zaznaczają się one jedynie w postaci widocznych pasów (1), co objawia się wyraźnymi refleksami promieni świetlnych od sfalowanej powierzchni. Strefa cienia wiatrowego (2) jest bardzo wąska, wynosi bowiem zaledwie od kilku do kilkunastu metrów. Na zdjęciu zaznacza się wyraźny wpływ orografii na ukierunkowanie wiania wiatru. Jako przykład można podać wystające formy skalne (nie przykryte śniegiem), które stanowią skuteczną barierę przed naporem wiatru na powierzchnię wody. Objawia się to szerszą strefą cienia wiatrowego. Należy pamiętać, że przy innym kierunku wiania wiatru układ orograficzny przełoży się na widoczne „strumienie” sfalowanej powierzchni wody.



Fot. 16. Czarny Staw pod Rysami (S) i Morskie Oko (N) (1996): 1 - pasy strumieni sfalowanych (refleksy), 2 - strefy ciszy; zasób: CODGiK

Jezioro Gopło

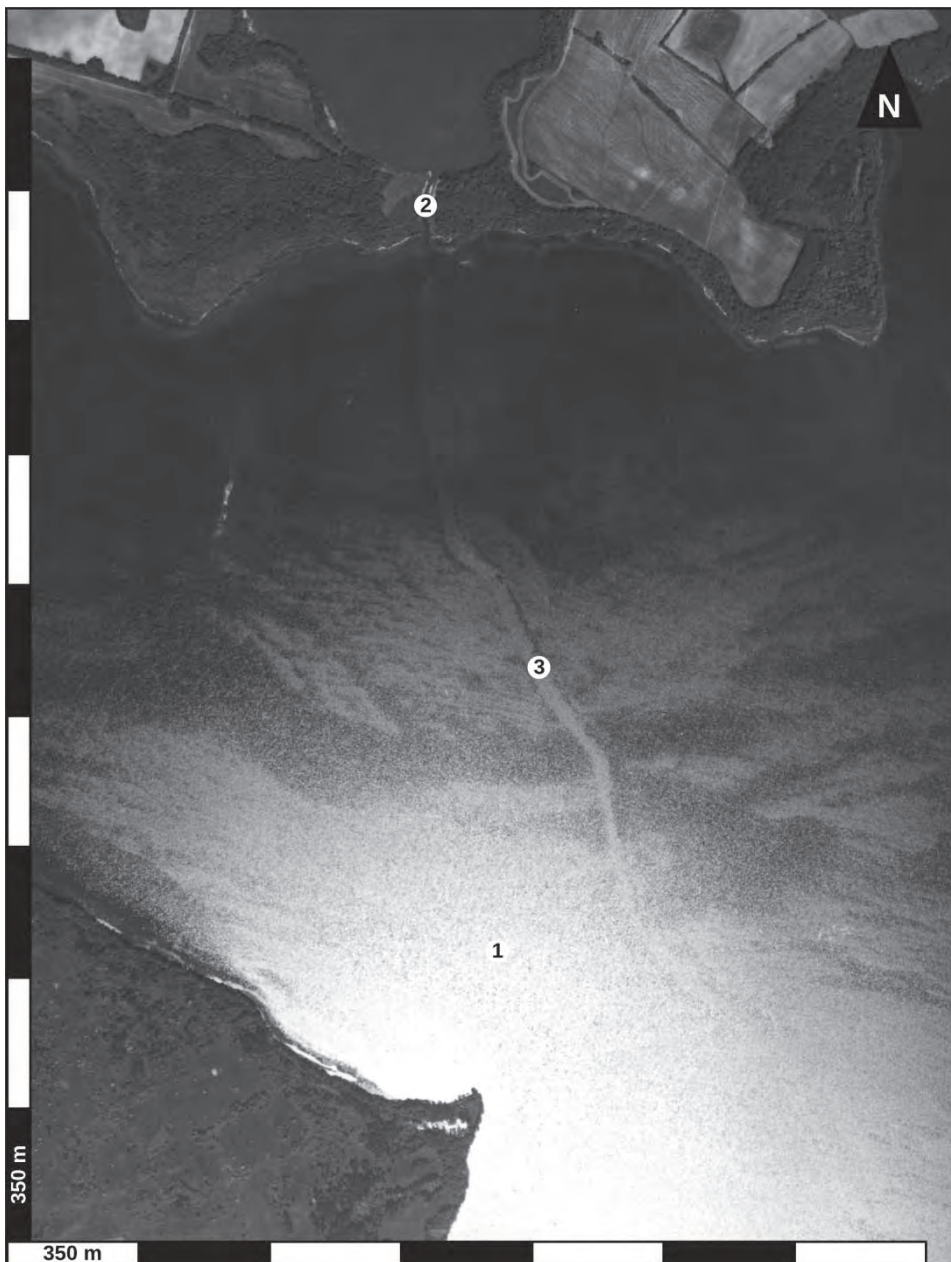
Wzbudzenie fal od wschodniego brzegu jeziora Gopło jest wyraźnie współkształtne w stosunku do linii brzegowej. Dokładnie jest to widoczne na przykład za występem łądu. Pas zadrzewienia stanowi osłonę wody od wiatru, jednak jej efektywność jest bardzo zróżnicowana („poszarpana” linia określająca początek ich wzbudzania). W północnej części zatoki, gdzie las jest najwyższy, wzbudzone falowanie jest najbardziej intensywne. Groble stawów nie są wystarczającą przeszkodą wzbudzania fal. Cały system stawów wespół z groblami powoduje pewnego rodzaju przeszkodę i za ostatnią groblą (o przebiegu północ-południe) zauważa się strefę cienia wiatrowego o wyraźnie nierównej szerokości. Efektywną osłoną powierzchni wody od wiatru jest zalesiana wyspa oraz brzeg porośnięty lasem na wschód od niej. Za tymi „osłonami” powierzchnia wody jest prawie pozbawiona fal (fot. 17).



Fot. 17. Jezioro Gopło (1996): 1 – stawy hodowlane z groblami, 2 – zadrzewienia jako przeszkody naturalne, 3 – pas ciszy brzegowej, 4 – strefy wzbudzenia falowania; zasób: CODGiK

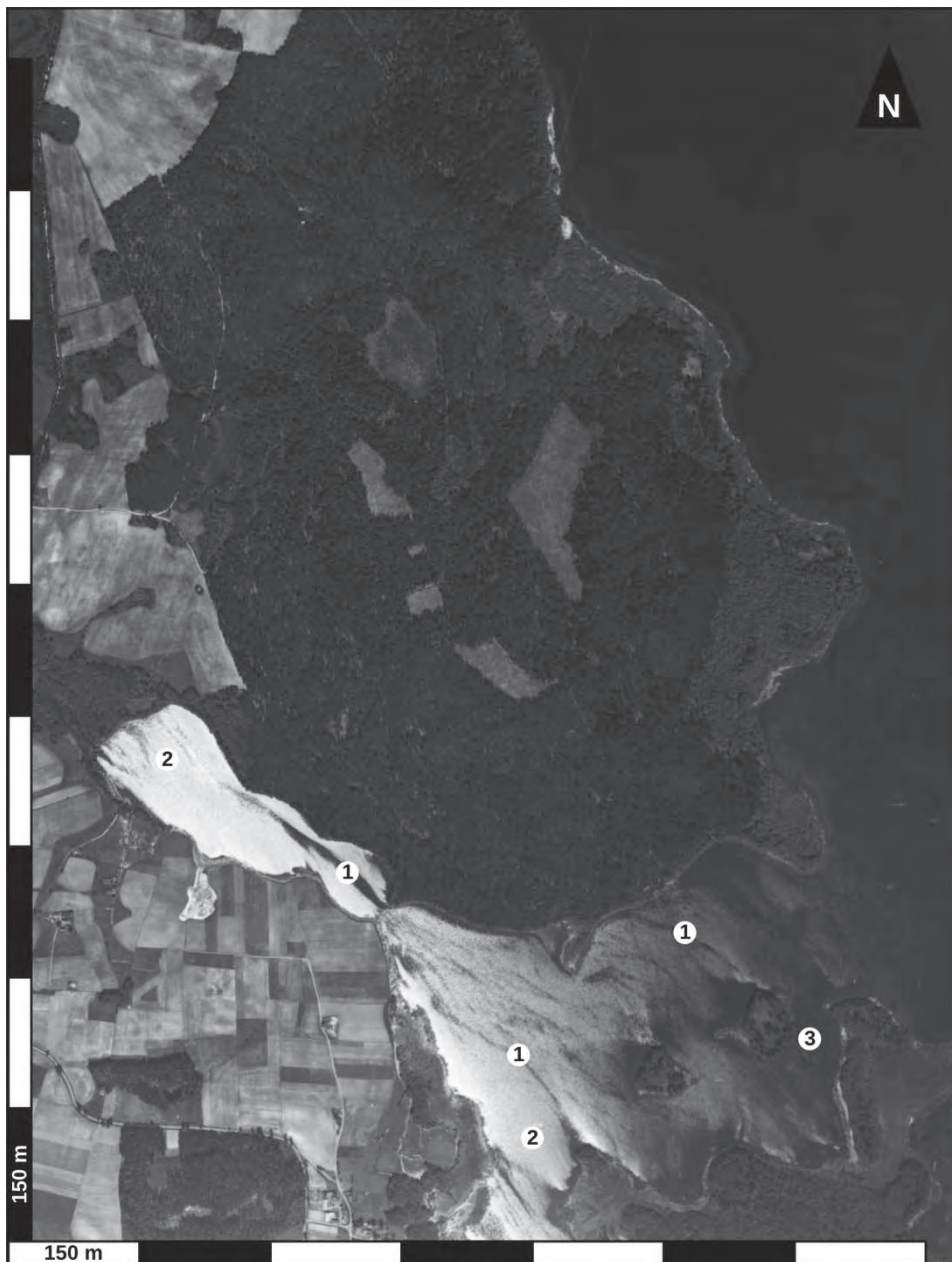
Jezioro Mamry

Przykład jeziora Mamry w okolicy wsi **Sztynort** ilustruje największe powierzchnie sfalowania spowodowane wielkością akwenu zbiornika. Interesująca z punktu widzenia interpretacji zdjęcia lotniczego jest jasna „smuga”, która ma początek w miejscu kanału – drogi wodnej z zatoki w okolicy wsi Sztynort (współcześnie znajduje się tu marina żeglarska), a przez nią prowadzi szlak wejścia do mariny. Smuga ta ma kontynuację w otwartej przestrzeni jeziora Mamry i prowadzi w kierunku południowym do **Giżycka**. Zapis na zdjęciu lotniczym sugeruje, iż jest to kanał w dnie jeziora, który ma większą głębokość od otaczającego go dna zbiornika, wywołując ruch wody, na powierzchni której w wyniku falowania zaznaczył się refleks od powierzchni tafli wody (fot. 18).



Fot. 18. Jezioro Mamry (1979): 1 - sfalowanie - refleks światła, 2 - kanał - droga wodna, 3 - smuga refleksu w linii podwodnej struktury głębokościowej; zasób: CODGiK

Fragment jeziora Mamry w okolicy wsi **Guty** (fot. 19). Na czarno-białym zdjęciu widoczne jest wyraźne zróżnicowanie naporu wiatru na powierzchnię wody objawiające się smugowaną strukturą sfalowania, przy czym owe pasma są bardzo różnej szerokości, „przerwy w braku fal” (czarne powierzchnie) zaś mogą dochodzić do kilkudziesięciu metrów szerokości. Sytuacja tak zróżnicowanego falowania akwenu wodnego występuje w strefach szczególnie rozwiniętej linii brzegowej jeziora, towarzyszy wyspom, przewężeniom i wiąże się z kierunkiem wiania wiatru. Należy stwierdzić, iż otwarte akweny jeziora w takich sytuacjach charakteryzują się minimalnym sfalowaniem wody, a w strefach zatok i brzegów występują odmienne stany powierzchni tafli wód jeziornych.

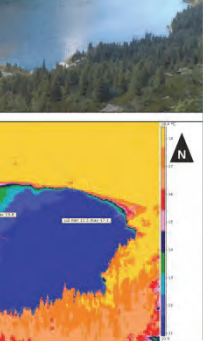


Fot. 19. Jezioro Mamry (1979): 1 - strefa smugi - niesfalowana powierzchnia, 2 - całkowite sfałowanie - refleks, 3 - wyciszenie się fal przy wejściu do zatoki; zasób: CODGiK

Przedstawione na zdjęciu lotniczym (fot. 20) jeziora, położone po wschodniej stronie jeziora Mamry w rejonie wsi **Pieczarki**, posłużyły do zilustrowania zróżnicowanego falowania na powierzchni tafli wód trzech zbiorników – Drgał Wielki, Drgał Mały i Warniak, które charakteryzują się odmiennymi typami falowania. Każdy z typów powierzchni sfalowania (całkowite pomarszczenie (1), typu szkwałowego (2) i łuskowego (3)) ma związek z: wielkością powierzchni jeziora, głębokością, kształtem, położeniem względem kierunku wiatru, rzeźbą terenów otaczających oraz ich użytkowaniem. Na zdjęciu widoczne są klasyczne pasy ciszy przy brzegu, a ich szerokość uzależniona jest od wysokości drzew w sąsiedztwie brzegów, ciągłości i zwartości drzew oraz krzewów na granicy wody i lądu, a także zagospodarowania terenów sąsiadujących typu rolniczego czy leśnego. Przedstawione przykłady ilustrują problematykę badawczą dotyczącą zmienności sfalowania tafli wód jeziornych w kontekście zagospodarowania brzegów, jego dynamiki i procesów natleniania wód, a w konsekwencji tempa eutrofizacji (naturalnej czy antropogenicznej). Porównując przedstawiony przykład z ortofotomapą zamieszczoną na <www.geoportal.pl>, dochodzimy do wniosku, że badanie rodzaju falowania ma związki z wieloma czynnikami kształtującymi funkcjonowanie ekosystemów jeziornych.



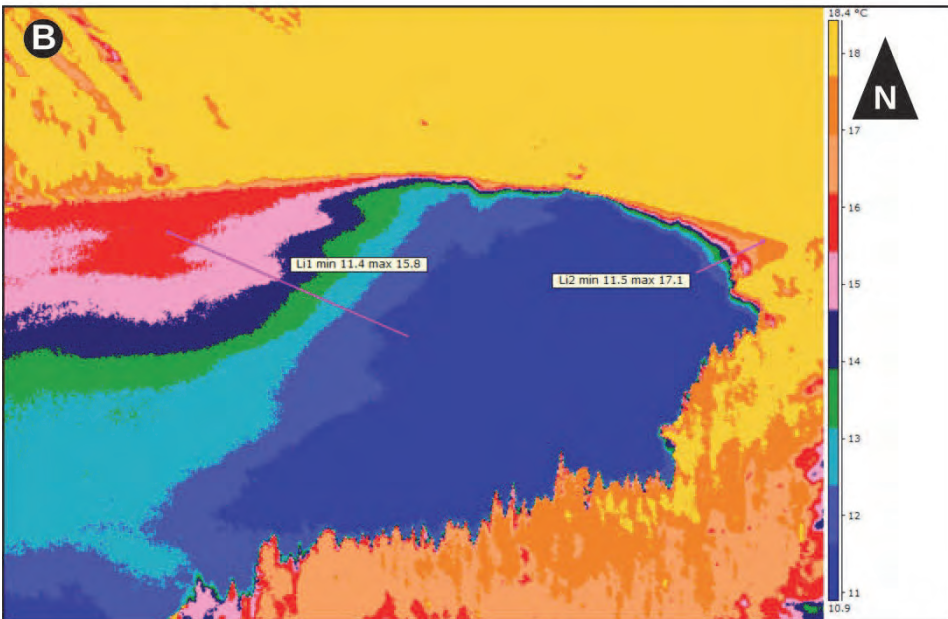
Fot. 20. Jezioro Mamry: jeziora Drgał Wielki (S), Drgał Mały (NW) i Warniak (NE) (1979):
1 - sfałowanie całkowite, 2 - sfałowania szkwałowe, 3 - sfałowanie łuskowe; zasób: CODGiK



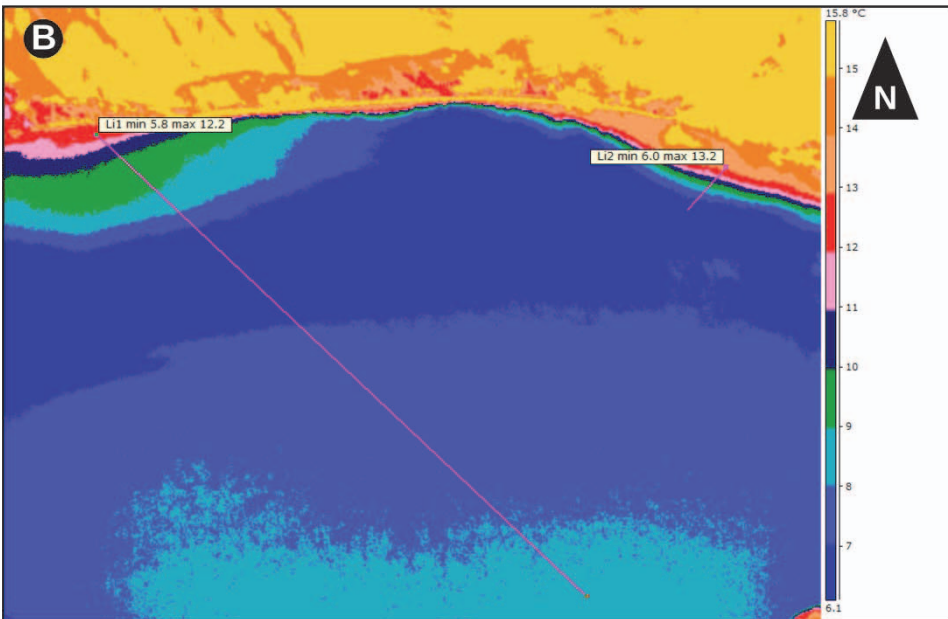
6

Termowizja w badaniach jezior

Ogromnym postępowaniem w badaniach termiki wód jeziornych było zastosowanie kamery termowizyjnej. Wykorzystanie obrazowania termalnego do pomiarów temperatury wód jeziornych ma aspekt naukowy oraz ogromne znaczenie praktyczne w określaniu zanieczyszczeń termicznych. Rozkład temperatury powierzchniowej warstwy wód jeziornych w ujęciu układu izoterm metodami tradycyjnymi praktycznie nie jest możliwy. Obrazowanie za pomocą kamery termalnej z określonej wysokości (pułap lotniczy lub satelitarny) oraz z zadaną powtarzalnością pomiarów w zależności od cyrkulacji i sezonowości topoklimatycznej umożliwia rejestrowanie dynamiki termicznej, która jest bardzo zmienna i uzależniona od różnych procesów zachodzących w środowisku misy jeziornej. Zjawiska takie, jak falowanie oraz cyrkulacja pozioma i pionowa wód jeziornych prowadzą do upwellingów, zatem w celu przedstawienia możliwości wykorzystania obrazów termalnych w badaniach limnologicznych zaprezentowano ukośne zdjęcia fotograficzne oraz odpowiadające im obrazy termalne Morskiego Oka i Czarnego Stawu pod Rysami. Wykorzystanie ekspozycji w terenie wysokogórskim umożliwia wykonanie ukośnych fotografii podobnych do ukośnych zdjęć lotniczych, a także z tych samych miejsc obrazowań termalnych z zadaną częstotliwością powtarzanie pomiarów. Zestawienie i powtarzalność rejestracji termalnej w odstępach czasowych w ciągu doby umożliwia uchwycenie dynamiki zmian temperatury wody. Odpowiedzialna za taki stan jest wyraźna dynamika mas wodnych. Analizując profile termiczne wód w prezentowanych jeziorach górskich, obserwujemy duże gradienty temperatury w niewielkich odległościach od brzegu oraz w otwartej przestrzeni wodnej. Drugim widocznym faktem odnotowanym na obrazach termalnych jest zmiana temperatury wód jezior aż o kilka stopni spowodowana różnicą wysokości pomiędzy Czarnym Stawem a Morskim Okiem, która wynosi około 187 m.

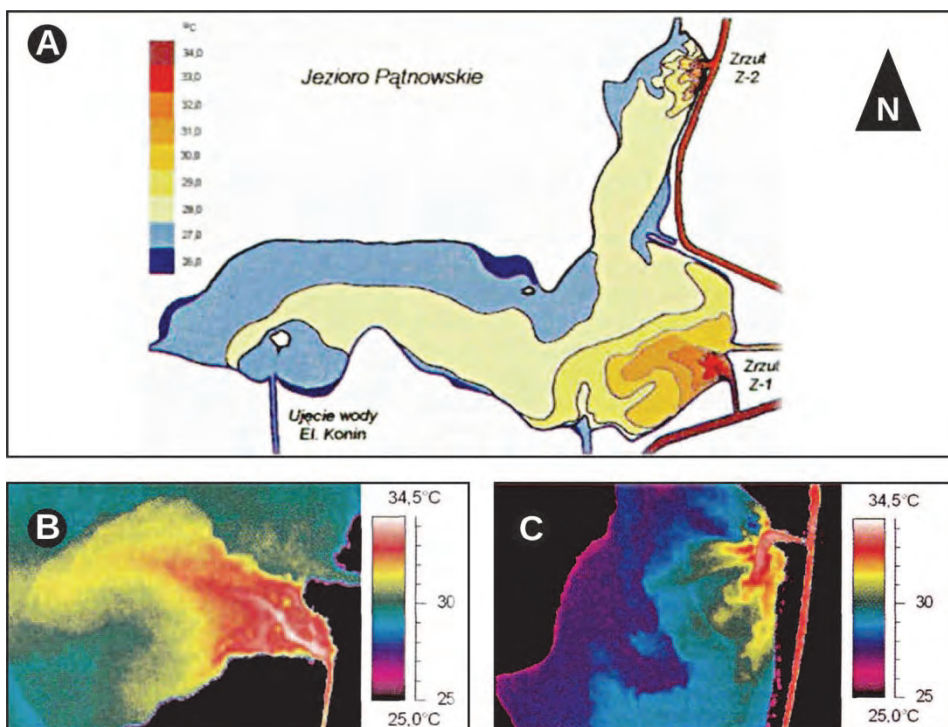


Fot. 21. Ukośne zdjęcie (A) i obraz termalny (B) Morskiego Oka (2012) – rozkład temperatury na powierzchni wody; fot. A. Choiński, T. Heese, T. Oberski



Fot. 22. Ukośne zdjęcie (A) i obraz termalny (B) Czarnego Stawu pod Rysami (2012) – rozkład temperatury na powierzchni wody; fot. A. Choiński, T. Heese, T. Oberski

Drugi przykład zastosowania kamery termalnej do badań wód jeziornych odnosi się do zanieczyszczeń termicznych spowodowanych zrzutami ciepłych wód technologicznych z elektrowni Pątnów. Na fot. 23 przedstawiono Jezioro Pątnowskie, do którego odprowadzana jest woda z chłodzenia turbin elektrowni, a cała powierzchnia jeziora poddana jest presji termicznej podgrzanych wód. W najchłodniejszym miejscu, zgodnie z obrazem termalnym, temperatura wody wynosi aż 26°C. Stan termiczny zaprezentowany na obrazie jest bardzo rzadko spotykany w warunkach naturalnych w naszej strefie klimatycznej. Dwa zrzuty ciepłych wód technologicznych generują określony układ izoterm w całym jeziorze, powodując określone zmiany ekosystemu jeziora w aspekcie fauny i flory. Interesujący z punktu widzenia badań funkcjonowania ekosystemu jeziornego przez hydrobiologów jest aspekt wykorzystania obrazów termalnych, a z drugiej strony poszukiwanie odpowiedzi na pytania dotyczące możliwości deponowania ciepłych wód technologicznych w określonym zbiorniku jeziornym.



Fot. 23. Obraz termalny jeziora Pątnów (2003) – zrzut ciepłych wód pochodzących z systemu chłodzenia turbin elektrowni oraz rozprzestrzenianie się ciepłych wód na całą powierzchnię jeziora; fot. M. Jaroszewski, D. Socha, C. Woźniak

7

Zjawiska zlodzenia jezior

Odmienny problem możliwy do rejestracji za pomocą zdjęć lotniczych to badanie zjawisk lodowych. Przedstawione ukośne zdjęcia ilustrują: fazę zlodzenia, formę zlodzenia, stopień pokrycia powierzchni jeziora lodem, mechanizm migracji mas lodowych, nawarstwiania bądź rozprzestrzeniania kry lodowej w wyniku silnego falowania. Zjawisko zlodzenia wód jeziornych ma ogromne znaczenie dla funkcjonowania ichtiofauny, natleniania wód itd. Fotografia 24 przedstawia gromadzenie się kry lodowej na Morskim Oku i jej nawarstwianie w wyniku silnego wiatru.



Fot. 24. Ukośne zdjęcie fragmentu Morskiego Oka (2013) – migracja kry lodowej; fot. W. Denega

Doskonałym przykładem zróżnicowania zlodzenia jest fot. 25 przedstawiająca w ujęciu ukośnym Morskie Oko widziane od strony północnej schroniska. Zaznacza się na niej wyraźna trójdzielność powierzchni. Największy udział ma pokryta śniegiem zwarta pokrywa lodowa (biały fototon) z systemem spękań, szczególnie w części południowo-wschodniej, o długościach od kilkudziesięciu do kilkuset metrów. Na powyżej opisywanej powierzchni znajduje się kilka przetain, co może sugerować wypływy wód podziemnych (źródła denne) w tych miejscach (koliste ciemne fototony).

Do zwartej pokrywy lodowej z postrzępionymi brzegami przylega pokrywa lodowa, na powierzchni której zalega nadtopiony śnieg (szary fototon).

Najmniejszą powierzchnię zajmują niewielkie fragmenty wolne od pokrywy lodowej, a jednym z nich jest ujście Rybiego Potoku (czarny fototon). Jest to strefa o szerokości zaledwie kilkunastu metrów. Nadtopienie lodu w tym przypadku jest wynikiem wypływu wód podlodowych o dodatniej temperaturze. Dwa niewielkie fragmenty powierzchni tego typu znajdują się przy brzegu południowym, w strefie ujścia dopływów z Czarne Stawu pod Rysami.



Fot. 25. Morskie Oko jako przykład zróżnicowanego tempa topnienia pokrywy lodowej
<www.grzegorzbarciel.pl>

Dlaczego jeziora zanikają? Co stanowi o szybkim tempie łądowienia, czyli wkraczania łądu w obszar wód? Skąd się biorą osady? Źródłem pierwszym jest materia dostarczana z obszaru zlewni, drugim zaś wytwarzana przez sam zbiornik. Następnym pytaniem, jakie należy zadać, jest pytanie o metody wypełniania mis jeziornych? Pierwsza metoda to sedymentacja, czyli proces gromadzenia się na dnie osadów pochodzących z toni wodnej lub wniesionych do jeziora z jego otoczenia. Jest to obumarła materia organiczna i cząsteczki mineralne dostarczone przez ciekę lub pochodzące z abrazji brzegów, dna. Druga metoda to sedymentacja polegająca na tworzeniu się osadów biogenych z biomasy. Wyrasta ona bezpośrednio z osadów, w tym przypadku zatem ma miejsce przyrost materii od brzegów, czyli postępuje łądowienie. W jeziorach młodych (głębokich) przeważa proces sedymentacji, a w jeziorach starszych (płytkich) dominuje sedentacja. Udział tych procesów może mieć różną skalę nie tylko w poszczególnych zbiornikach, ale także w ich fragmentach. Doskonałym przykładem mogą być jeziora rynnowe, gdzie w ich partiach głębokich dominuje sedymentacja, a na końcach sedentacja. Dzięki temu bardzo często dość długie odcinki między jeziorami w rynnach uległy złądowieniu. W końcowej fazie rozwoju jeziora zachodzi proces wygaszania sedymentacji i tworzy się torfowisko. Jeziorom oraz ich otoczeniu można przypisać środowiska akumulacyjne; wodne – limniczne, ziemno-wodne, czyli telmatyczne i łądowe, tj. terestryczne. W środowiskach tych tworzą się charakterystyczne dla nich osady – gytie będące osadami limnicznymi, torfy trzcinowe i szuwarowe jako osady telepatyczne oraz pozostałe torfy pochodzenia terestrycznego.

Zdjęcia lotnicze mają największe zastosowanie w badaniach procesów zarastania zbiorników jeziornych. Dostępne zasoby zdjęć lotniczych w Polsce obejmują okres od lat 60. XX w. do współczesnych ortofotomap. Istnieją także materiały fotolotnicze z okresu drugiej wojny światowej w postaci fotomap niemieckich w skali 1 : 25 000. Archiwa europejskie udostępniają również serie zdjęć lotniczych wykonywanych nad terytorium Polski w czasie operacji wojskowych związanych z działaniami wojennymi. Tak bogaty zbiór materiałów fotolotniczych w różnych skalach i z okresu sprzed 60 lat

umożliwia badania kartograficzne nad tempem zarastania jezior. Zagadnienie kartometryczności zdjęć lotniczych z lat 60. w połączeniu z technikami georeferencjonowania zdjęć lotniczych sprawia, iż można analizować tempo zarastania strefy brzegowej i zmiany zachodzące w długich przedziałach czasowych w badanych zbiornikach. Identyfikacja roślinności wodnej i brzegowej była już wielokrotnie przedstawiana w publikacjach dotyczących zastosowania zdjęć lotniczych.

Metodyka badań nad tempem zarastania jezior i interpretacja roślinności bagiennnej oparta jest na opracowanych kluczach fotointerpretacyjnych z zakresu interpretacji zdjęć lotniczych. Jak podają A. Ciołkosz, J. Miszański, J.R. Ołędzki (1999), zastosowanie zdjęć lotniczych do interpretacji terenów bagiennych w Polsce dotyczyło różnych obszarów pojezierzy i dla różnych obszarów przeprowadzono studia przypadków w tej dziedzinie.

W niniejszym rozdziale przedstawiono charakterystyczne przykłady rozmaitych zagadnień związanych z zarastaniem jezior w strefie brzegowej Bałtyku i wybranych jezior w Polsce.

Jezioro Łebskie

Przyrównanie fotomapy z 1940 r. do zdjęcia lotniczego z roku 1996 pozwala zrekonstruować zmiany strefy ujściowej Łeby. Szerokość „nadbudowanej” strefy waha się od 20 do 200 m. Porównanie materiałów fotolotniczych umożliwia analizę zmiany w użytkowaniu strefy brzegowej, co wyraźnie widać na przykład w zmianach zasięgu lasu, pól uprawnych i łąk. Sposób użytkowania lądowej strefy przybrzeżnej pozwala jednoznacznie określić wcześniejszy (tj. sprzed 60 lat) zasięg linii brzegowej. O wielkiej dynamice strefy ujściowej rzeki Łeby świadczy wyjątkowo urozmaicona linia brzegowa. Na mapach topograficznych w wyniku generalizacji jest to linia prosta. Zdjęcie lotnicze natomiast ukazuje szczegółowy jej przebieg, który z jednej strony wynika z nałożenia procesów będących pochodnymi dynamiki przepływu, charakteru dna, chemizmu wód rzeki, z drugiej strony zaś oddziaływania wód jeziornych (falowania, prądów, piętren wiatrowych, zjawisk lodowych) na strefę kontaktową wody z lądem. Z analizy planu batymetrycznego wynika w tej strefie względnie regularny przebieg izobaty 1 m w stosunku do rozczłonkowanego brzegu. Zdjęcie lotnicze ukazuje szczególnie głębokościowego zróżnicowania dna w tak niewielkim przedziale głębokości, jaki zawiera się między brzegiem a izobata 1 m. Wskazuje na to dynamika fototonu, barwy wody i dna. Mniejsze, aczkolwiek dające się zauważyć, jest zróżnicowanie barwy (a co się z tym wiąże głębokości) między izobatami 1 i 3 m.

Wyjątkowo szybkie tempo przyrostu łądu można zaobserwować, analizując zdjęcia z roku 1998 i 2003. W ciągu bowiem zaledwie pięciu lat nastąpiły znaczące zmiany końcowego fragmentu ujściowego odcinka Łeby w okolicy wsi **Gać**. „Ułatwienie” szybkiego tempa łądowania jest bez wątpienia wynikiem dwóch składowych, tj. dużej ilości zawiesiny niesionej przez Łebę oraz niewielkich głębokości jeziora w strefie ujściowej rzeki, co przyczynia się do intensywnej depozycji osadów.

Zaznacza się wyraźny, aczkolwiek skomplikowany układ wcześniejszych przebiegów koryta jej odcinka ujściowego (fot. 26).



Fot. 26. Jezioro Łebskie w rejonie ujścia rzeki Łeby, widoczny wyraźny, choć skomplikowany układ wcześniejszych przebiegów koryta jej odcinka ujściowego (1996): 1 - wyżej położone terasy brzegu jeziora mogą wskazać pierwotną linię brzegową zbiornika, 2 - stare koryta rzeki Łeby, które tworzyły deltę ujścia rzeki do jeziora, 3 - współczesne uregulowane koryto rzeki Łeby, 4 - pióropusze delty, 5 - różnica koloru wód wpływających do jeziora, 6 - półka szelfowa jeziora; zasób: CODGiK

Jeziro Łebskie w rejonie ujścia rzeki Łeby w okolicy wsi **Gać**, gdzie znajduje się rezerwat ptactwa wodnego z widocznymi wielkopowierzchniowymi strefami zarastania półwyspu. Na zdjęciu lotniczym zaznaczono zróżnicowane strefy zarastania przez rozmaite ekosystemy roślinne, poczynając od roślinności pływającej w strefie bezpośredniego kontaktu z wodą (5). Oddalając się od jeziora, spotykamy powierzchnie trzcinowisk (4), powierzchnie nowych nasadzeń drzewiastych (2), łąki (3) oraz na kontakcie z wysoczyzną (6) lasy sosnowe na powierzchniach zwydmionych (1).



Fot. 27. Jezioro Łebskie w rejonie ujścia rzeki Łeby (1996): 1 - strefa lasów sosnowych na obszarach wydmyowych, 2 - strefa nowych nasadzeń i sukcesji lasów, 3 - strefa łąk, 4 - strefa trzciny, 5 - współczesne zarastanie, 6 - krawędzie wysoczyzny; zasób: CODGiK

Wyraźnie zaznacza się zupełnie inny układ odpływu Łeby (fot. 28) z jeziora w stosunku do jej dopływu w bezpośrednim sąsiedztwie miasta **Łeba**. W przypadku odpływu bowiem (północno-wschodnia część Łebska) ma miejsce okresowy wypływ wody z jeziora do Bałtyku lub podczas sztormów morskich i piętren wiatrowych napływ wód z Bałtyku do jeziora. W wyniku nakładania się tych dwóch procesów powstała wyspa oraz delta wsteczna. Na zdjęciu jest ona bardzo wyraźnie widoczna z uwagi na kolor piasku, który jest w jej obrębie deponowany. Jej wielkość można określić na około 3 ha. Rezultatem procesów zachodzących wzdłuż brzegu na południe od delty wstecznej jest wyraźnie odcięta oraz zgodna na zdjęciu i planie batymetrycznym izobata 1 m. Interesująca jest przy tym dynamika mikrorzeźby. Objawia się ona wieloma przegłębieniami i wypłycceniami, które (skoro leżą w zakresie głębokości od 0 do 1 m) są rzędu zaledwie kilkunastu do kilkudziesięciu cm. Z uwagi na duże ilości frakcji piaszczystych dostarczanych z morza materiał ten jest wleczony przez skośny nadbieg czoł fali względem linii brzegowej, co na zdjęciach zaznacza się jako jasne linie na kontakcie woda-ład.



Fot. 28. Jezioro Łebskie (1996): 1 - rzeka Łeba wypływająca z jeziora, 2 - rozczłonkowany wypływ, 3 - delty wsteczne, 4 - odsypy piasków, 5 - zasięg piasków delty wstecznej; zasób: CODGiK

Jezioro Łebskie w rejonie wsi **Żarnowska** to przykład półwyspu dynamicznie zarastającego jeziora, gdzie najwyżej położona część półwyspu znajduje się na rzędnej 0,7 m n.p.m., użytkowana jest jako łąki wykaszane (1). Zbliżając się do wód jeziora, spotykamy mokradła porośnięte trzcinami (2 i 3), a w bezpośrednim kontakcie z wodami jeziornymi widoczne są pływające wyspy (4) z półką szelfową dna jeziora (5).

Wybrany fragment Słowińskiego Parku Narodowego w południowym rejonie Jeziora Łebskiego to przykład rozwijania się ekosystemów szuwarowo-trzcinowo-trawiastych na półwyspie (brak intensywnej gospodarki rolno-łąkowej). Stwarza to doskonałe środowisko do realizowania się dyrektywy siedliskowej, a przez to naturalnego rozwoju roślinności.



Fot. 29. Jezioro Łebskie, półwysep i dynamicznie zarastająca część jeziora z następującymi strefami (1996): 1 - łąki, 2 - trzciny, 3 - młode trzcinowiska, 4 - pływające wyspy roślinne, 5 - szelf i roślinność denna; zasób: CODGiK

Jezioro Gopło

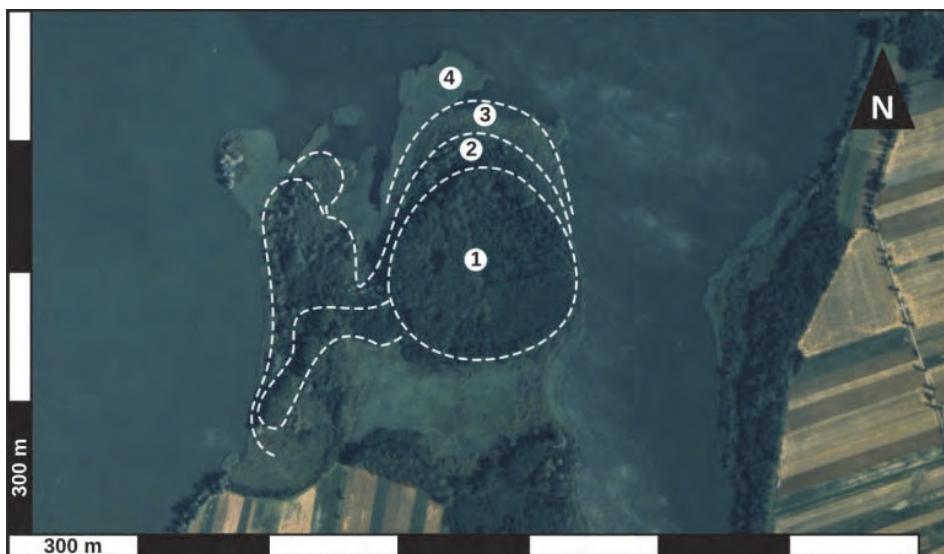
Wschodnia strona jeziora Gopło w rejonie **Potrzymiecha Rzeszynowskiego**, na płaskim skłonie wysoczyzny, jest predysponowana do procesu zarastania brzegowego. Szerokość strefy zarastania w najszerszym miejscu wynosi około 1400 m. Całą tę strefę można podzielić na: płaty użytkowane jako lasy (1), strefę trzcin (2), powierzchnie użytkowane jako łąki (4), wierzby i wikliny (2), pola uprawne (7). Skala oraz dokładność zdjęć lotniczych umożliwiają analizę tempa współczesnego zarastania (8), które spowodowane jest wzmożonym procesem użyźniania wód jeziornych.



Fot. 30. Jezioro Gopło (1996): 1 - strefa lasu, 2 - strefa wierzby, wikliny, 3 - strefa trzcin, 4 - kępy trzcin, 5 - łąki, 6 - zasięg wyspy, 7 - pola uprawne, 8 - strefa współczesnego strefowego zarastania; zasób: CODGiK

Jezioro Gopło w rejonie wsi **Komarnica** to typ zarastania zbiornika na fragmencie półwyspu, gdzie widoczne są klasyczne strefy sukcesji roślinnej w rynnzie jeziora w postaci ekosystemu leśnego (1). Jest to siedlisko łąkowe, gdzie zwartość koron drzew świadczy o właściwym siedlisku. Przechodząc do stref krzewów (2) i trzcin (3), należy stwierdzić, iż naturalność tego fragmentu Nadgoplańskiego Parku Tysiąclecia sprzyja rozwojowi tej formy sukcesji roślinnej w rynnzie goplańskiej. Bezpośrednia strefa kontaktu lądu z taflą wody to powierzchnie zajmowane przez roślinność pływającą i połączoną z dnem (4), które tworzą wyspy roślinne, półwyspy, sukcesywnie powiększając strefę zarastania. Ze względu na rynnowy typ genetyczny jeziora Gopło takich przykładów sukcesji roślinnej, a zarazem zarastania rynnny jest wiele.

Przykładem podobnego zarastania jeziora rynnowego jest lokalizacja w rejonie wsi **Lunin**. Płaska wysoczyzna (1) o rzędnej terenu 80 m n.p.m., bez wyraźnej krawędzi terenowej, jedynie poprzez użytkowanie terenu w postaci kompleksów leśnych, krzewiastych i stref roślinności związanej bezpośrednio z wodami jeziornymi wskazuje na pierwotny zasięg rynnny jeziora Gopło. Na fot. 32 przedstawiono szeroką strefę zarastania z niewielkim oczkiem wodnym – pozostałością pierwotnego jeziora.



Fot. 31. Jezioro Gopło, półwysp w rejonie wsi Komarnica (1996): 1 – lasy, 2 – krzewy, 3 – trzcin, 4 – roślinność pływająca; zasób: CODGiK



Fot. 32. Jezioro Gopło w rejonie wsi Lunin (1996): 1 - wysoczyzna, 2 - ślady pierwotnego zasięgu jeziora, 3 - terasa jeziorna, 4 - strefa lasu iglastego, 5 - strefa lasu liściastego, 6 - strefa wikliny, 7 - strefa trzciny, 8 - strefa roślinności pływającej; zasób: CODGiK

Jeziro Gopło pomiędzy **Mielnicą Dużą** a **Broniszewem** jest przykładem funkcjonowania pierwotnego jeziora jako doliny z kanałem Gopło w wyniku zarastania i obniżenia poziomu wód jeziornych. Widoczny na zdjęciu lotniczym sposób zagospodarowania terenu to strefy pól uprawnych na wysokości oddzielonej od rynny pierwotnego jeziora Gopło krawędzią oraz łąki. Przedstawiony przykład wypełnienia dna rynny jeziora Gopło w wyniku eutrofizacji spowodowanej intensywnym rolnictwem, wycinką lasów w ostatnim 1000-leciu w Wielkopolsce świadczy o możliwości odtwarzania pierwotnych zasięgów jezior różnego typu genetycznego za pomocą współczesnych zdjęć lotniczych. Interpretacja użytkowania terenu oparta na zdjęciach lotniczych poprzez zróżnicowanie ekosystemu z łąkowo-mokradłowego na ekosystem rolny wyznacza zasięg pierwotnej granicy zbiorników wodnych.

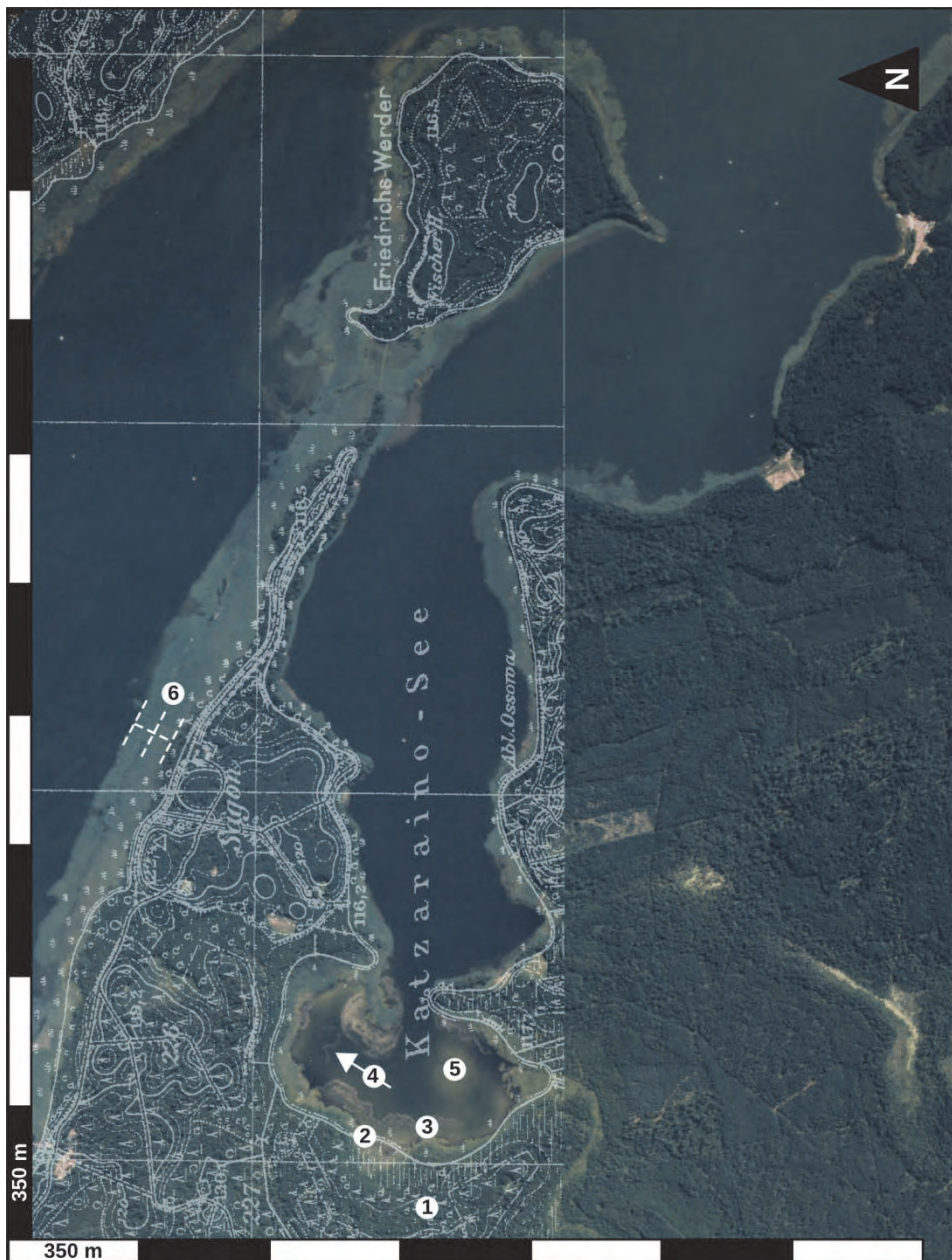


Fot. 33. Jezioro Gopło w okolicach wsi Mielnica Duża (1996): 1 - współczesna misa jeziorna, 2 - krawędzie wysoczyzny, 3 - zarośnięta rynna jeziora, 4 - kanał Gopła, 5 - ślady paleo-zarastania jeziora; zasób: CODGiK

Jezioro Kaczerajno

W celu przedstawienia możliwości pełnego wnioskowania o tempie zarastania jezior, zmianie linii brzegowej, a w następstwie tego zmianie powierzchni jeziora konieczne jest połączenie zdjęcia lotniczego z mapą topograficzną. Na przykładzie jeziora Kaczerajno przedstawiono fotogram ilustrujący nałożenie mapy topograficznej z 1936 r. na zdjęcie lotnicze z roku 1997. Interpretacja połączonych materiałów umożliwia analizy ilościowe dotyczące powierzchni wybranego fragmentu jeziora w badanym przedziale czasowym (60 lat) i określenie tempa zarastania zbiornika wodnego. Jezioro Kaczerajno to fragment wielkiego akwenu jeziora Śniardwy. Położone jest w południowo-wschodniej części Mazurskiego Parku Krajobrazowego, pomiędzy miejscowościami **Karwik** i **Niedźwiedzi Róg**. Analizując treść mapy topograficznej z 1936 r., jednoznacznie stwierdzamy, iż linia brzegowa jeziora wyznaczona była rzędną terenu o wartości 116,2 m n.p.m. Oznacza to, że wyspa o nazwie Friedrichs-Warder nie miała połączenia z półwyspem po zachodniej stronie. W przeciągu 60 lat, jak wynika ze zdjęcia lotniczego z 1996 r., nastąpiło połączenie wyspy z lądem. Świadczy to o intensywnym procesie zarastania jeziora, w wyniku którego widoczny jest 300 m pas roślinnego pomostu łączącego ląd z wyspą.

Celem oznaczeń na fot. 34 jest wskazanie na przykładzie zatoki w jeziorze Kaczerajno strefy zarastania, poczynając od oddzielenia wolnej powierzchni wód jeziora (4) od poszczególnych stref zarastania małego akwenu (3 i 5).



Fot. 34. Jezioro Kaczerajno (zdjęcie lotnicze 1996, mapa topograficzna 1937): 1 – kompleks leśny, 2 – linia brzegowa z 1937 r., 3 – strefa roślinności pływającej, 4 – wolna powierzchnia wody, 5 – płycizna – podwodna wyspa, 6 – półka szelfowa zbiornika głównego jeziora; zasób: CODGIK

Jezioro Śniardwy

Prezentowane zdjęcia lotnicze największego jeziora denno-morenowego Śniardwy podzielono na kilka części (fot. 35–38) w celu omówienia odmiennych przykładów zarastania misy jeziornej.

Na fot. 35 przedstawiono fragment jeziora Śniardwy w rejonie wsi **Suchy Róg**, gdzie ukształtowanie dna jeziora w połączeniu z morfologią otaczającej wysoczyzny umożliwiło przedstawienie strefy zarastania, a zarazem budowania półwyspu. Rozległa brzegowa płycizna o szerokości 800 m jest sukcesywnie zarastana, sięgając do granicy półki szelfowej (7), następnie znajduje się płytki akwen z roślinnością denną (6), kilka stref roślinności brzegowej rozwijającej się w zależności od rzędnej wód jeziora i ich dynamiki falowania (3–5) oraz strefy krzewiastej (2) w połączeniu z obszarem gruntów rolnych już na wysoczyźnie (1). Przykład ten ilustruje możliwości wykorzystania materiałów lotniczych do kartowania trudno dostępnych brzegów jeziora celem określenia przestrzennych zmian powierzchni wód jeziornych w stosunku do granicy misy/brzegów jeziora.



Fot. 35. Jezioro Śniardwy (zdjęcie lotnicze 1996, mapa topograficzna 1937): 1 - grunty rolne, 2 - roślinność krzewiasta, 3-5 - zróżnicowane zakrzewienia, 6 - płytki akwen z roślinnością denną, 7 - półka szelfowa; zasób: CODGiK

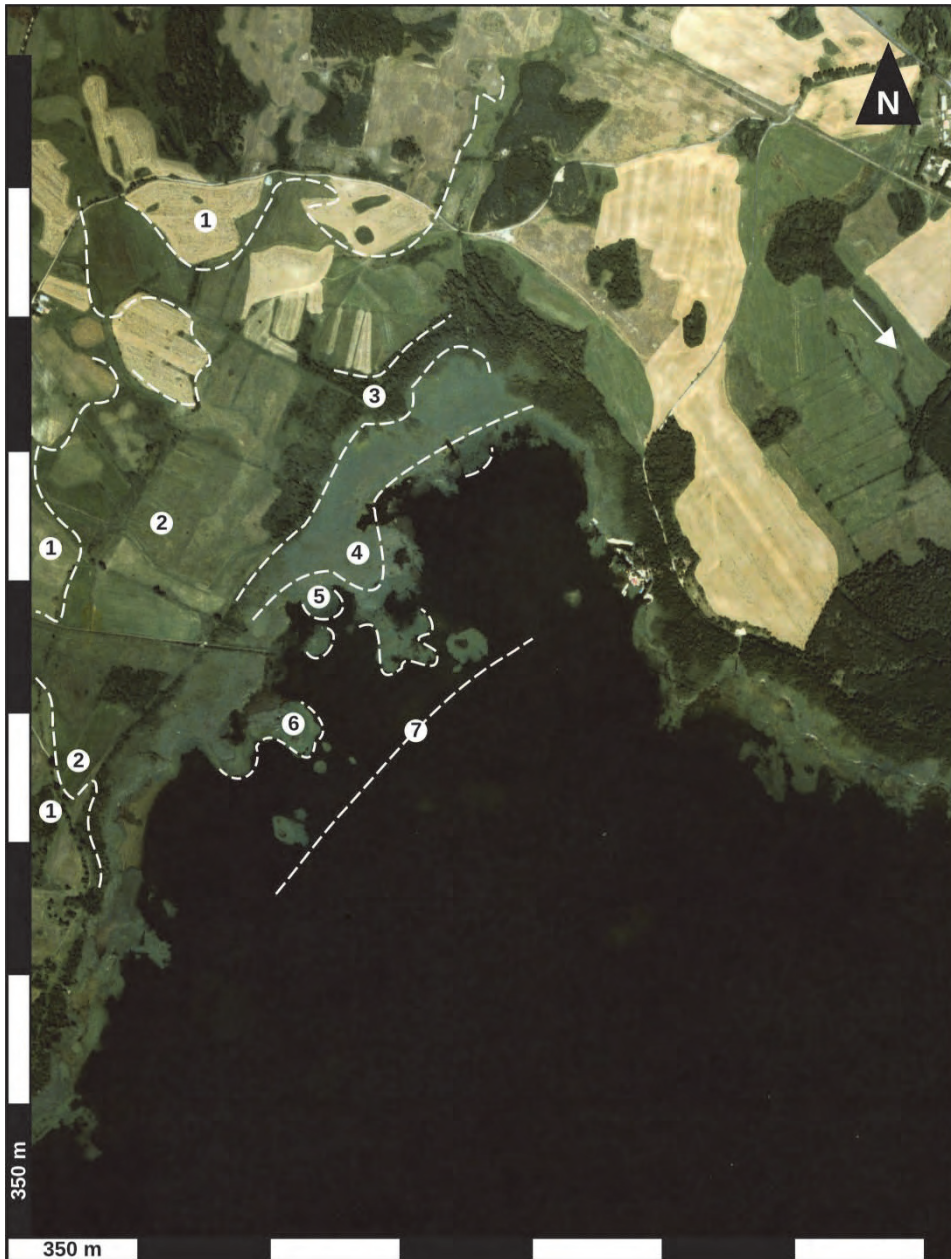
Zdjęcie lotnicze (fot. 36) przedstawia rezerwat „Jezioro Warnołty”, który stanowi bardzo dobrą bazę danych pozwalających na określenie ewolucji jezior. Poniższy przykład ukazuje zamykanie połączenia Jeziora Warnołty z główną częścią jeziora Śniardwy w wyniku procesu zarastania brzegowego. Odseparowanie odnogi jeziora poprzez wkroczenie roślinności lądowej i wodnej na wypływające się przewężenie spowodowało powstanie nowego jeziora (oczka). W wyniku intensywnego zarastania, przyrostu trzcinowisk, które bardzo szybko opanowują powierzchnię wody, jezioro skazane jest na wejście w etap powstawania torfowiska. Po stronie wschodniej Jeziora Warnołty w rejonie wsi **Koncewo**, na prezentowanym zdjęciu lotniczym, widoczne są liczne przypadki wypływania zatok jeziornych.

Nałożenie na zdjęcie lotnicze wykonane w 1996 r. mapy topograficznej z roku 1936 umożliwia badanie za pomocą materiałów kartograficznych i teledetekcyjnych stanu użytkowania oraz zagospodarowania przestrzeni na powierzchni samego jeziora i jego sąsiedztwa. Otaczające lasy na wysokościach (1) dostarczają substancji organicznej do wód jeziora, wzmagając proces eutrofizacji. Zasięg pierwotnej granicy misy jeziornej (łąki) (2) w rejonie wsi Koncewo przedstawia zarastające oczko „Warnold Bruck” z jej rzędną terenu wynoszącą 116,0 m n.p.m. Wewnątrz oczka i na brzegach w miejscach kontaktu z jeziorem Śniardwy widoczne są strefy zarastania w postaci roślinności pływającej (6), młodych trzcinowisk (5), właściwych trzcinowisk (4) oraz strefy zarastania (krzewy wiklinowe).



Fot. 36. Jezioro Śniardwy z zarastającym „oczkiem” wodnym (zdjęcie lotnicze 1996, mapa topograficzna 1944): 1 - wysoczyzna, 2 - strefa łąk, 3 - krzewy, 4 - strefa trzcinowisk, 5 - młode trzcinowiska, 6 - roślinność pływająca i podwodna; zasób: CODGiK

Kolejne zdjęcia lotnicze rejonu wsi **Zdęgowko** po stronie zachodniej (fot. 37) i wsi **Okartowo** po stronie wschodniej (fot. 38) przedstawiają dwie odmienne sytuacje ilustrujące warunki oraz tempo procesu eutrofizacji stref brzegowych jeziora Śniardwy. Konfiguracja skłonu dna jeziora (fot. 37) oraz rzeźna terenu wysoczyzny otaczającej jezioro powodują, że strefa zarastania jest zdecydowanie szersza i wynosi od 300 do 600 m, przyjmując zróżnicowane formy zarastania. I tak, rozcłonkowana wysoczyzna morenowa (1) przedstawia prawdopodobny pierwotny zasięg misy jeziornej. Użytkowanie w postaci łąk (2) o szerokości strefy od 200 do 600 m to płaski teren pierwotnej półki szelfowej jeziora. Kolejne strefy zarastania, czyli las łęgowy (3), strefa trzciny (4 i 5) aż do granicy (7) ze strefą roślinności pływającej (6) wyznaczają wspólnie dynamiczną granicę zarastania (7).



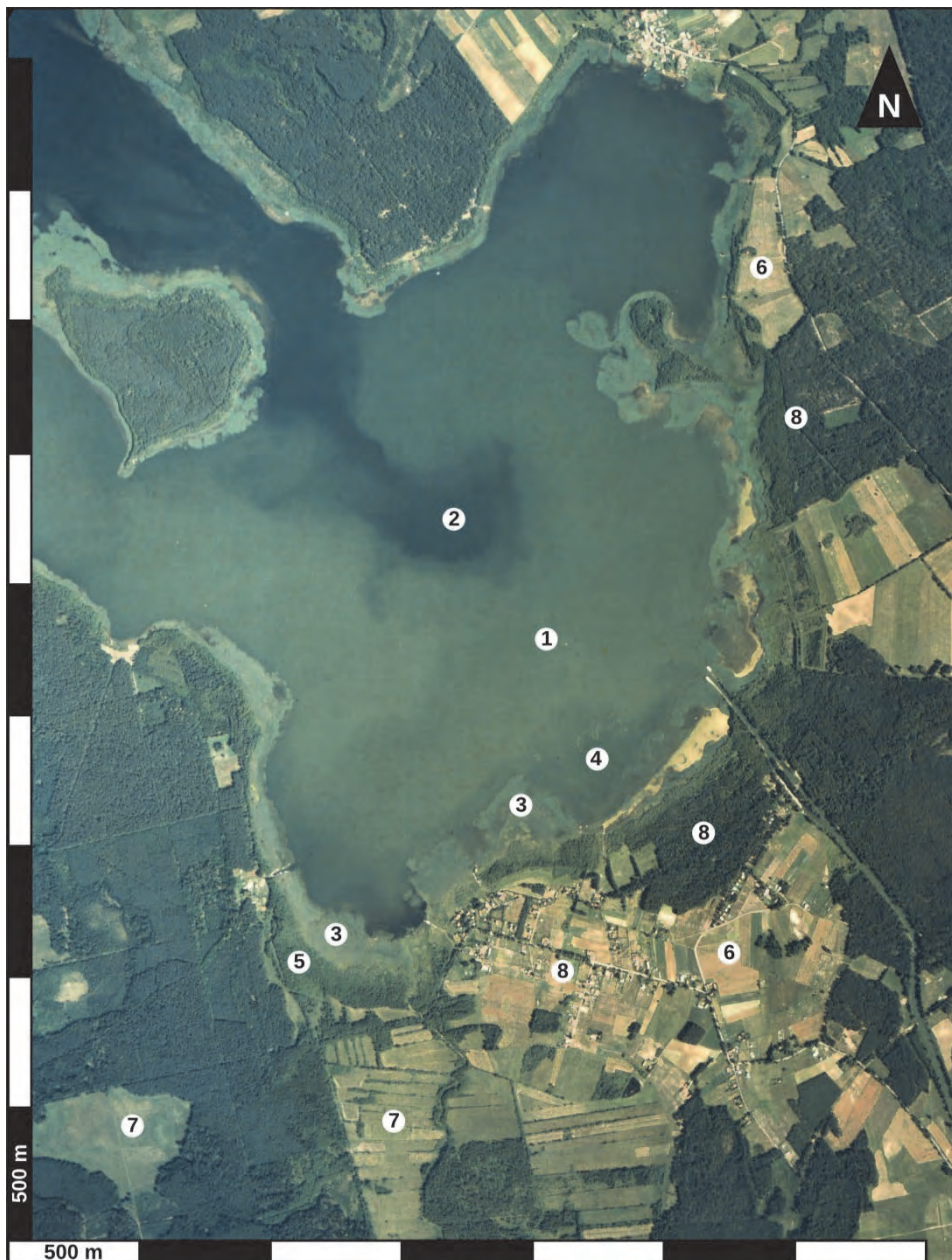
Fot. 37. Jezioro Śniardwy (1996): 1 - rozczłonkowana wysoczyzna (morena denną) przedstawia prawdopodobną pierwotną linię brzegową, 2 - łąki, 3 - las łąkowy, 4 - strefa trzcin, 5 - młode trzciniowiska, 6 - strefa roślinności pływającej, 7 - granica dynamicznego zarastania; zasób CODGiK

Proces zarastania zaprezentowany na fot. 38 po wschodniej stronie wsi **Okartowo** to odmienny jego przykład wynikający z: krótkiej półki brzegowej dna z widocznymi rewami (6), kilkumetrowej strefy roślinności podwodnej (5), wykształconej strefy trzcinowej (4), obecności lasów łęgowych (3) oraz krawędzi wysoczyzny (2 i 1) wyznaczającej pierwotny brzeg jeziora. Morfologia powierzchni wysoczyzny z wyraźnie zaznaczoną krawędzią oraz krótka półka szelfowa jeziora uwarunkowały tak wąską strefę zarastania w prezentowanym fragmencie jeziora Śniardwy (fot. 38).



Fot. 38. Jezioro Śniardwy (1996): 1 - wysoczyzna, 2 - krawędź wysoczyzny - pierwotny zasięg jeziora, 3 - strefa lasu łęgowego, 4 - trzciny, 5 - roślinność podwodna, 6 - szelf - rewy; zasób: CODGiK

Prezentowany fragment jeziora Śniardwy w rejonie miejscowości **Karwik** (fot. 39) ilustruje zróżnicowanie barwy wody w akwenu, które jest spowodowane mieszaniem się wód o różnym chemizmie, różnej zawartości fitoplanktonu, zawiesiny organicznej (1 i 2). Na brzegach prezentowanej zatoki widoczne są poszczególne strefy zarastania, poczynając od roślinności pływającej (3) poprzez roślinność mającą kontakt z dnem (4) aż do roślinności brzegowej (5) obejmującej obszar pierwotnego zasięgu linii jeziornej. Wpływ na widoczny proces eutrofizacji zatoki, na jej tempo ma użytkowanie terenu w bezpośrednim sąsiedztwie jeziora, tzn. występowanie pól uprawnych (6), łąk (7), lasów i stref zamieszkałych (8).



Fot. 39. Jezioro Seksty - południowa zatoka jeziora Śniardwy (1996): 1, 2 - różnica w zawartości zawiesiny w wodzie, 3 - roślinność pływająca, 4 - roślinność przydenna, 5 - roślinność brzegowa - trzciny, 6 - pola uprawne, 7 - łąki, 8 - lasy i obszary zabudowane; zasób: CODGiK

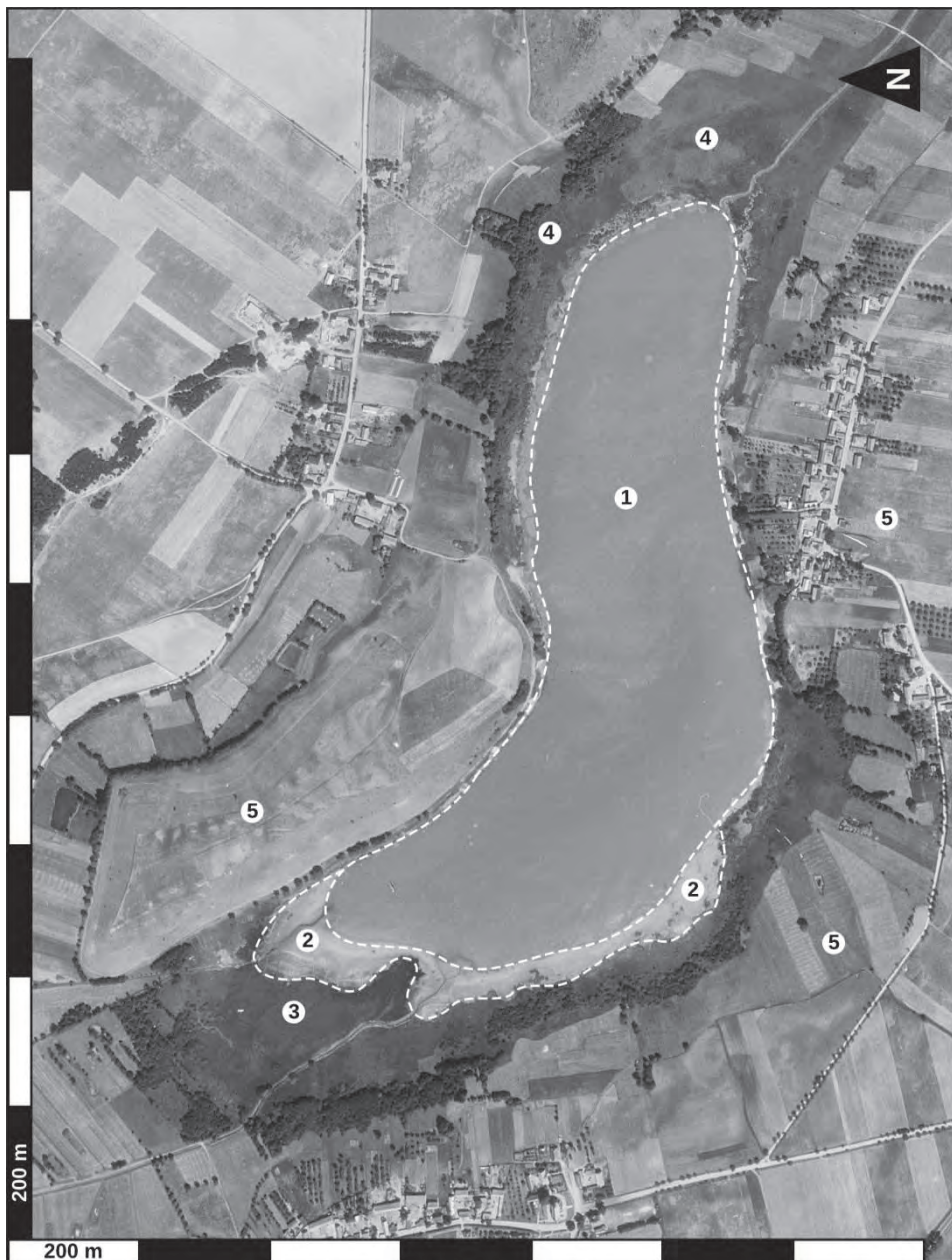
Jezioro Tomickie

Prezentowany komplet zdjęć lotniczych z lat: 1952, 1976, 1983, 1993 i 1997 wybrano, aby przedstawić tempo i kierunki zarastania Jeziora Tomickiego położonego w strefie otuliny Wielkopolskiego Parku Narodowego.

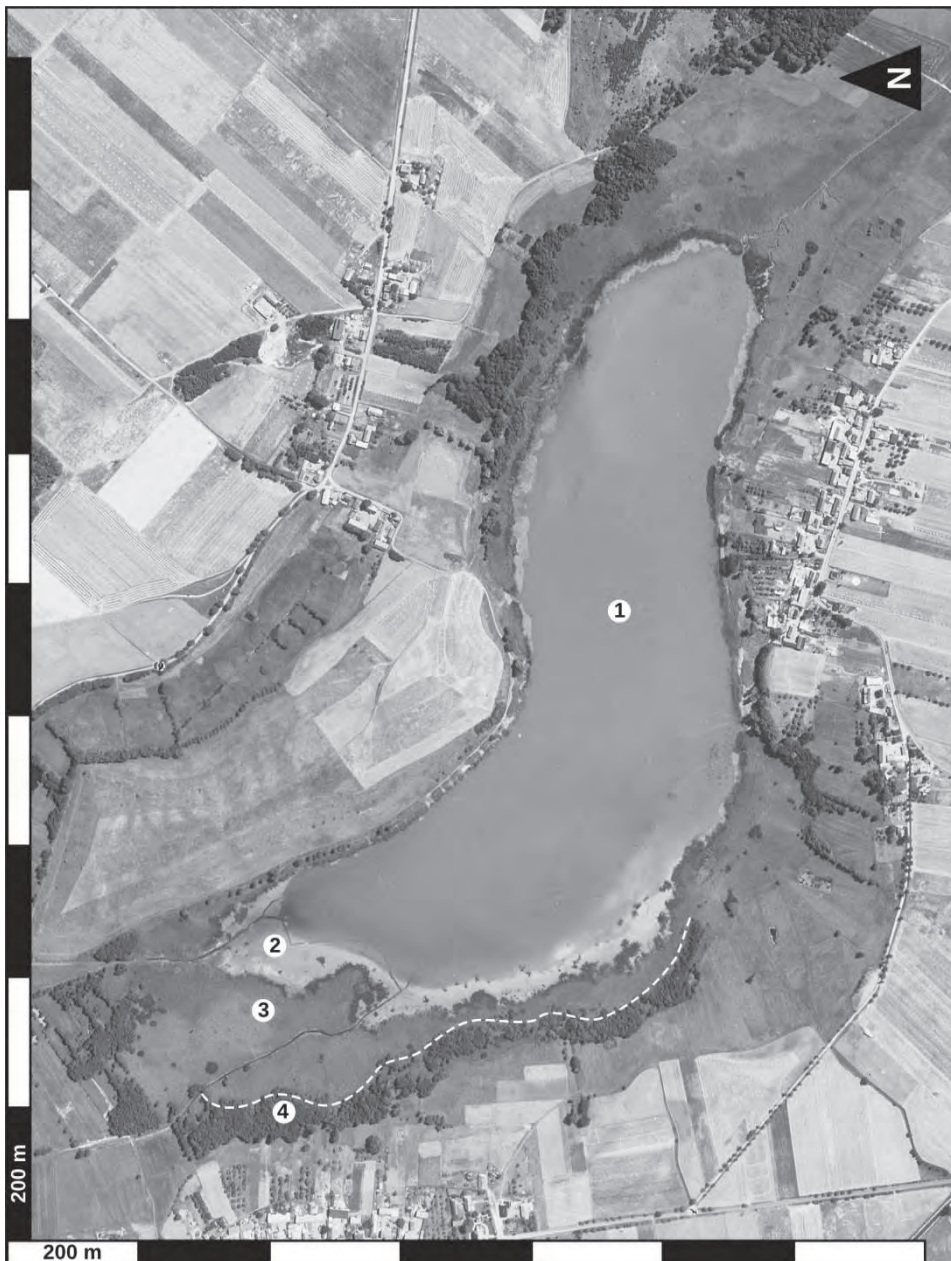
Zaznaczone na zdjęciu lotniczym strefy użytkowania, poczynając od tafli wody (1) poprzez strefę roślinności pływającej (2), roślinność brzegową w postaci trzciny (3) oraz bezpośrednio przylegające łąki (4) i pola uprawne (5), decydowały o stanie eutrofizacji jeziora w 1952 r. (fot. 40). Zaznaczone na zdjęciu wydzielenia umożliwiają wykonanie powierzchniowych pomiarów poszczególnych wydzieleni w postaci stref zarastania i użytkowania terenu. Statystyki ilościowe wymienionych powierzchni charakteryzują stan początkowy w późniejszych analizach zmienności i kierunków antropogenizacji, a przez to eutrofizacji jeziora. Na zdjęciu lotniczym z 1976 r. (fot. 41) zauważalna jest zmiana powierzchni łąk (4) w rejonie wsi **Tomice** oraz przekształcenia w strukturze zagospodarowania gruntów rolnych przylegających do jeziora. Analizując strefy zarastania, nastąpiła zmiana w powierzchni pasa trzciny (2). Na zdjęciu mają one postać jasnych powierzchni – to pozostałe po okresie zimowym niekoszone trzciny. Stan powierzchniowego zagospodarowania otoczenia jeziora nie zmieniał się do roku 1983 (fot. 42). Zdecydowane przekształcenia w strefie roślinności brzegowej (3) nastąpiła w roku 1993 i 1997 (fot. 43 i 44). Zauważalna jest tendencja sukcesji roślinności krzewiastej i lasu łęgowego (4) w miejsca wcześniej opanowane przez trzcinowiska.



Fot. 40. Jezioro Tomickie (1952): 1 - tafla wody, 2 - roślinność pływająca, 3 - trzcinowiska, 4 - łąki, 5 - pola uprawne; zasób: WNGiG



Fot. 41. Jezioro Tomickie (1976): 1 - tafla wody, 2 - roślinność pływająca, 3 - trzciniowiska, 4 - łąki, 5 - pola uprawne; zasób: WNGiG



Fot. 42. Jezioro Tomickie (1983): 1 - tafla wody, 2 - roślinność pływająca, 3 - trzcinowiska, 4 - wkraczające krzewy i las łęgowy; zasób: WNGiG



Fot. 43. Jezioro Tomickie (1993): 1 - tafla wody, 2 - trzcinowiska, 3 - wkraczające krzewy i las łąkowy; zasób: WNGiG



Fot. 44. Jezioro Tomickie (1997): 1 - tafla wody, 2 - roślinność pływająca, 3 - trzcinowiska, 4 - sukcesja krzewów wikliny i lasu łąkowego; fot. A. Kijowski



9

Jeziora na obszarach dziedzictwa kulturowego

Z punktu widzenia limnologii jeziora ich strefy brzegowe i najbliższe okolice to tereny, gdzie można znaleźć ślady najwcześniejszej bytności człowieka. Należy sobie zdać sprawę z tego, iż z uwagi na wahania poziomu wód jeziornych obiekty osadnicze mogą znajdować się pod wodą lub po złądowieniu strefy brzegowej daleko od współczesnej granicy linii brzegowej jeziora. Czynniki, które powodowały lokalizację obiektów osadniczych w strefie jezior, są wielorakie (aspekt obronny, komunikacyjny, egzystencjalny i kulturowy – cywilizacyjny). Zatem, same jeziora i ich strefy brzegowe są przedmiotem rekonesansów lotniczych celem identyfikacji i inwentaryzacji widocznych i zniszczonych obiektów archeologicznych.

Pierwsze fotografie lotnicze stanowisk archeologicznych z terenu pochodzą z okresu pomiędzy pierwszą i drugą wojną światową z rejonu Torunia i okolic. Zostały wykonane przez pilotów pułku lotniczego stacjonującego w Toruniu. Były to zdjęcia rozpoznawcze do celów wojskowych, ale miały także walor dokumentacyjny wykorzystywany przez archeologów i są zarchiwizowane w Toruniu. Znalazły się w publikacji R. Uziembło (2003), w której przedstawiono je jako materiał ilustracyjny stanowisk archeologicznych, udostępniając zarazem zasoby muzealne. W okresie powojennym z powodu ogólnego utajnienia materiałów lotniczych fotografia lotnicza objęta została terminem „lotniczy rekonesans archeologiczny”. Zajmowali się nią tacy badacze, jak K. Żurowski, A. Kola i R. Boguwolski. Przeprowadzili oni serię nalotów w obszarze ziemi chełmińskiej, ilustrując badania archeologiczne. Zdjęcia te stanowią współcześnie materiał o walorach konserwatorskich, umożliwiającą określenie stanu zachowania i zagospodarowania stanowisk archeologicznych (Kola 1991; Chudziakowa 1994).

Profesjonalny z punktu widzenia rekonesansu lotniczego na potrzeby archeologii okres zaczyna się w latach 70.-80., kiedy to między innymi A. Kijowski, W. Rączkowski wykonywali zdjęcia lotnicze celem poszukiwania śladów po klasztorach cysterskich (Łekno), grodziskach i innych obiektach dziedzictwa kulturowego.

W 1998 r. w Lesznie odbyła się Letnia Szkoła Archeologii Lotniczej zorganizowana przez Generalnego Konserwatora Zabytków we współpracy

z Aerial Archaeology Research, Group, Instytutem Prahistorii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Poznańskim Towarzystwem Prehistorycznym i Fundacją Res Publica Multiethnica (Kobyliński 2001, s. 162). W trakcie krótkich warsztatów lotniczych wielu pracowników administracji konserwatorskiej z Polski i Litwy zapoznało się z teoretycznymi podstawami wykonywania zdjęć z powietrza.

Jezioro Lednickie

Rybitwy (Ostrów Lednicki), woj. wielkopolskie, stan. 1, 2. Na wyspie na Jeziorze Lednickim znajdował się gród z okresu wczesnego średniowiecza (IX/X w.). Niewielki początkowo gród został rozbudowany i przekształcony w jeden z najważniejszych ośrodków państwa pierwszych Piastów. Rolę tę pełnił do 1038 r., kiedy został zniszczony przez Brzetysława księcia czeskiego. Siedziba między innymi Mieszka I, Bolesława Chrobrego i Mieszka II stopniowo była rozbudowywana. W obrębie grodu wybudowano kamienny pałac (palatium) oraz kościół grodowy. Przypuszcza się, że to właśnie w tym grodzie nastąpił chrzest Mieszka I w 966 r., a w roku 1000 przebywał tu cesarz Otton III. Obszar poza wałem zajmowało podgrodzie, a wyspa połączona była z lądem dwoma drewnianymi mostami – zachodnim i wschodnim, których pozostałości zostały zidentyfikowane przez archeologów podczas badań podwodnych.



Fot. 45. Rybitwy (Ostrów Lednicki), Jezioro Lednickie (2006): 1 – wał grodu Piastów, 2 – kościół grodowy, 3 – miejsce lokalizacji palatium, 4 – podgrodzie; fot. W. Rączkowski

Jezioro Bytyńskie

Komorowo, woj. wielkopolskie, stan. 1. Na Wyspie Komorowskiej na Jeziorze Bytyńskim znajduje się osiedle obronne z wczesnej epoki żelaza (ok. 500–400 lat p.n.e.). Osada była otoczona drewniano-ziemnym wałem. Pierwsze badania w tym miejscu przeprowadzono w 1926 r., a kolejne w roku 1932 oraz w latach 1970–1971. Badaniami objęto ponad 200 m², głównie na obszarze wnętrza osiedla. Zlokalizowano pozostałości kilku drewnianych chat o ścianach uszczelnianych gliną oraz z glinianą podłogą. Skala rozpoznania nie pozwala na porównanie tego osiedla z lepiej poznanym osiedlem obronnym z tego samego okresu w Biskupinie. Stwierdzono, że chaty zostały zniszczone w wyniku pożaru. Liczne znaleziska grudek bursztynu skłaniają archeologów do wnioskowania, iż osiedle to odgrywało istotną rolę w systemie wymiany dalekosiężnej (Morze Bałtyckie – strefa śródziemnomorska). Chronologię osiedla ustalono na podstawie odkrytych fragmentów naczyń ceramicznych, pozostałości związanych z metalurgią brązu, wyrobów z brązu oraz kości i poroża.



Fot. 46. Komorowo, osadnictwo na Wyspie Komorowskiej, Jezioro Bytyńskie (2009): 1 – wał osady obronnej; fot. W. Rączkowski

Zbiornik na rzece Mieszna

Słupca, woj. wielkopolskie, stan. 1. Zdjęcie przedstawia osadę obronną z wczesnej epoki żelaza (ok. 500–400 lat p.n.e.). Ulokowana ona była na dnie doliny rzeki Mieszna. Jej powierzchnia (łącznie z wałami) to około 1,5 ha. W połowie lat 50. XX w. niewielka zaporą spowodowała utworzenie sztucznego zbiornika wodnego. Przed zalaniem osada ta była w niewielkiej skali badana wykopaliskowo przez archeologa T. Malinowskiego, co pozwoliło na określenie jej chronologii, ale nie struktury zabudowy. Opierając się na pozyskanych danych, porównuje się ją do osady obronnej w Biskupinie.

Górna część wału (1) nie jest zalana wodą. To miejsce wzrostu drzew i krzewów. Zarówno korzenie, jak i falowanie wody powodują stopniowe rozmywanie wału oraz destrukcję reliktyw z przeszłości.



Fot. 47. Słupca, osada obronna w dolinie rzeki Mieszna (zbiornik zalewowy) (2006): 1 – wał osady obronnej; fot. W. Rączkowski

Jezioro Kozięłowskie

Janowo (Kozięłowy), woj. wielkopolskie, stan. 1. Przykład osiedla obronnego zbudowanego na (pół-)wyspie na Jeziorze Kozięłowskim (Izdebińskim). Osiedle wraz z wałami obronnymi zajmowało obszar około 1,3 ha. Zostało odkryte w 1937 r., a badania wykopaliskowe na powierzchni około 670 m² przeprowadzono w latach 1968–1969. Badaniami wykopaliskowymi objęto fragmenty wałów, część wewnętrzną, bramę wjazdową oraz strefę przed bramą. Wały obronne były zbudowane na przygotowanej warstwie niwelacyjnej składającej się z gałęzi, drobnych fragmentów drewna oraz piasku. Konstrukcja wału w zbadanych odcinkach była zróżnicowana, ale opierała się na układach bierwion drewnianych i formach przypominających skrzynie i/lub ruszt. Zachowana wysokość wału dochodzi do 4,5 m powyżej lustra wody. Na zewnątrz wału znajdowały się konstrukcje drewniane interpretowane jako falochron, lecz mogły też być elementem systemu obronnego. W zachodniej części znajdowała się brama wjazdowa, do której prowadziła moszczona drewnem ulica o szerokości około 3 m. Niewiele natomiast wiadomo na temat wewnętrznej zabudowy osiedla. Zarejestrowano tylko kilka skupisk kamieni, które mogły być pozostałościami palenisk.

Znaleziska szkieletów ludzkich w różnych częściach grodu oraz poza nim sugerują, że koniec jego funkcjonowania należy wiązać z najazdem i zniszczeniem przez obcą grupę. Osiedle datowane jest na wczesną epokę żelaza (ok. 500–400 lat p.n.e.).



Fot. 48. Janowo koło Kozieglów, osiedle obronne na (pół-)wyspie Jeziora Kozieglowskiego (Izdebińskiego) (2006): 1 – wał osady obronnej; fot. W. Rączkowski

Jezioro Łoniewskie

Łoniewo, woj. wielkopolskie, stanowisko 1. Na cyplu wcinającym się w Jezioro Łoniewskie we wczesnym średniowieczu usytuowane było grodzisko. Badania przeprowadzone w 1945 r. pozwoliły na sformułowanie tezy, iż było ono otoczone wałem drewnianym z zewnętrzną łąwą kamienną, zarejestrowano nieliczne paleniska. W trakcie badań podwodnych w 2006 r. na północ od grodziska zidentyfikowano liczny materiał archeologiczny (uzbrojenie, narzędzia rolnicze, ceramika, wytwory z poroża) świadczący o intensywnym użytkowaniu grodu i przestrzeni wokół. Na podstawie tego materiału grodzisko jest datowane na X–XII w.



Fot. 49. Łoniewo, grodzisko nad Jeziorem Łoniewskim (2004); fot. J. Nowakowski

Jezioro Bobięcińskie

Bobięcino, woj. pomorskie, stan. 3. Wczesnośredniowieczny zespół osadniczy zajmuje całą wyspę. Badania na wyspie i w jej bezpośrednim otoczeniu w latach 70. i 80. XX w. oraz w roku 2007 prowadził Instytut Archeologii i Etnografii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. W jej północno-wschodniej części znajduje się grodzisko o powierzchni około 1,4 ha, z wałem wznoszącym się 5–6 m ponad powierzchnię lustra wody. Południowo-zachodnią część wyspy zajmowała osada przyrodowa. Wyspę z brzegiem jeziora łączył drewniany most dochodzący do osady przyrodowej w jej południowo-wschodniej części. W samym północno-wschodnim fragmencie wyspy znajduje się gródek. Całość zespołu datowana jest z wykorzystaniem materiału archeologicznego (ceramika, przedmioty żelazne) oraz metodą dendrochronologiczną pozostałości konstrukcji drewnianych na X–XI w. (most, osada, grodzisko) i XII w. (most, gródek).



Fot. 50. Bobięcino, wczesnośredniowieczny zespół osadniczy na wyspie Jeziora Bobięcińskiego (2014): 1 – wał grodu, 2 – osada przyrodowa; fot. W. Rączkowski



10

Jeziora na terenach miejskich wykorzystywane gospodarczo

Miasta położone w pobliżu zbiorników wodnych (jezior), rzek z punktu widzenia czynników swojej lokacji w przeszłości, a współcześnie czynników atrakcyjności, a także znaczenia zieleni w strukturze funkcjonalno-przestrzennej z jednej strony korzystają z klinów zieleni i zbiorników wodnych celem podnoszenia jakości życia w mieście, a z drugiej strony powodują, poprzez zagospodarowywanie brzegów jezior miejskich i ich eksploatację, degradację oraz antropogenizację w wyniku urbanizacji w sąsiedztwie. Z tymi zagadnieniami spotykamy się powszechnie w wielu miastach Polski, chociażby w Wałczu, Chodzieży, Poznaniu, Pniewach, Drawsku, a przedstawione przykłady ilustrują ten stan rzeczy. Odmienne zagadnienie opisane w pracy dotyczy tworzenia w pobliżu miasta zbiorników wodnych powstających w wyniku eksploatacji surowców i kopalin.

Na przykładzie antropogenicznych zbiorników wodnych z okolic **Koni** przedstawiono problematykę sztucznych zbiorników pokopalnianych.

Autorzy szczególną uwagę zwrócili na zagadnienie eutrofizacji zbiorników wodnych i jezior w pobliżu miast w wyniku zanieczyszczeń komunalnych.

W przeszłości, tj. kilkadziesiąt lat temu zabudowa brzegów jezior i ich bliskiego otoczenia wiązała się często ze zrzutami zanieczyszczeń. Doprowadziło to do wzrostu eutrofizacji, co skutkowało wieloma negatywnymi konsekwencjami związanymi z procesami urbanizacji atrakcyjnych środowiskowo obszarów wokół jezior. Poziom prawnej ochrony stref brzegowych jezior uniemożliwia bezpośrednie zagrożenie wód jeziornych, ale pozostałości z okresów poprzednich w postaci zanieczyszczonych osadów, które przy intensywnym falowaniu zasilają wody na przykład w biogeny, są bardzo szkodliwe. Z tego okresu pochodzą także rozbudowane formacje roślinności brzegowej, które z uwagi na dużą ilość miogenów rozwijały się intensywnie, przyspieszając proces sedymentacji. Zatem, czy obecna zabudowa brzegów jezior bez możliwości deponowania zanieczyszczeń do wód nie czyni zmian w ich funkcjonowaniu? Otóż zmiany takie bez wątpienia mają miejsce, a ich wpływ na ekosystem jeziorny zależy od wielkości akwenu oraz jego baty-

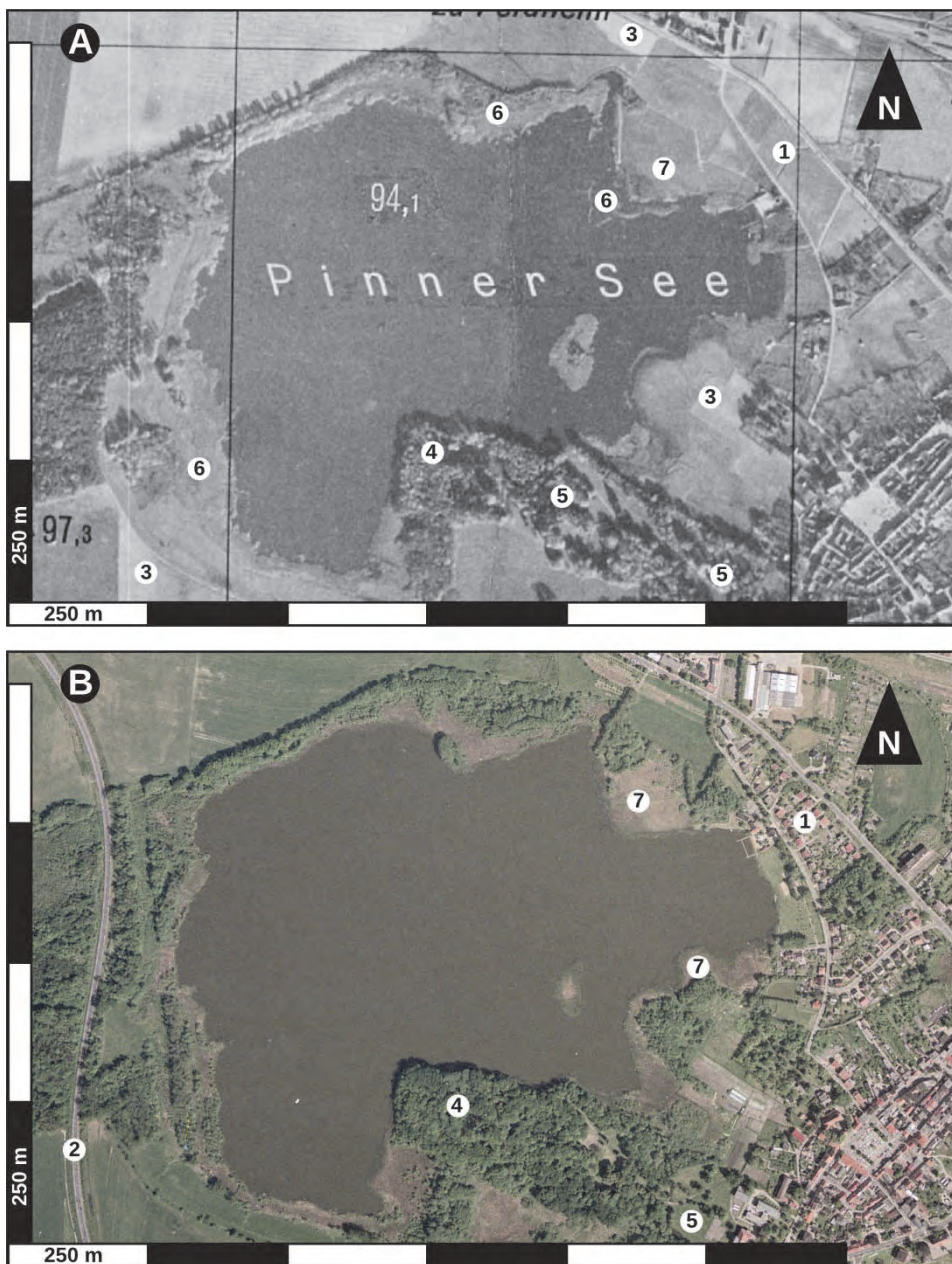
metrii. W przypadku małych i płytkich jezior cień wiatrowy wywołany przez zwartą zabudowę skutkuje mniejszą fiksacją powierzchni jeziora, powodując niewielkie mieszanie wód. Zabudowa brzegowa jezior zmniejsza polimiktyczność wód. W przypadku jezior o większych powierzchniach i głębokościach zjawisko mieszania wód zmniejsza się jedynie w strefie cienia wiatrowego. Niezależnie od powierzchni i głębokości wód jezior w wyniku wytwarzania cienia wiatrowego zbiorniki, które pierwotnie były tachymiktycznymi, stają się bardziej eumiktycznymi lub bradymiktycznymi. Ważnym czynnikiem stanowiącym o ewentualnych powyższych zmianach jest charakter przepływowości, który wespół ze strefą cienia wiatrowego stanowi o stopniu lotyczności lub lenityczności wód. Zabudowa brzegów skutkować może nie tylko zmianami dynamiki wód jeziornych i ich właściwości fizyczno-chemicznych. Te zmiany decydują przecież o całokształcie procesów hydrobiologicznych. W powyższym przypadku wynikiem złagodzenia falowania będą dogodniejsze warunki do sukcesji roślinności brzegowej i zanurzonej, a to wiąże się ze zmianami warunków bytowania dla wybranych gatunków ichtiofauny.

Jezioro Pniewskie

Przykład jeziora miejskiego w **Pniewach** posłużył do zilustrowania kilku procesów, które mają miejsce w sytuacjach bezpośredniego sąsiedztwa obszaru zurbanizowanego z ekosystemem jeziornym. Te dwie odmienne przestrzenie oddziałują na siebie. Akwen wodny wykorzystywany jest w celach gospodarczo-rekreacyjnych, a także traktowany jako odbiornik ścieków z instalacji deszczowej i częściowo komunalnej. Zdjęcia lotnicze z lat 1940 i 2002 umożliwiają analizę porównawczą w zakresie:

- zagospodarowania brzegów jeziora infrastrukturą urbanistyczną,
- użytkowania terenów przylegających do jeziora,
- analizy porównawczej elementów składowych ekosystemu jeziornego.

Wymienione zagadnienia wskazują na: ekspansję urbanizacyjną struktury miasta Pniewy w kierunku brzegów jeziora (1), budowę dróg (2), zmiany w użytkowaniu terenów w postaci gruntów ornych (3), lasów (4), parku przy pałacu (5) aż do widocznych różnic w powierzchni strefy zarastania akwenu wodnego (6), zmniejszanie i powiększanie strefy brzegowej (7), a także pozwalają na określenie powierzchni tafli jeziora i analizę chemizmu wód. W przedstawionych procesach odnotowanych w przypadkach bezpośredniego sąsiedztwa jeziora i miasta zachodzą wzajemne oddziaływania. Z jednej strony kształtują one urbanistycznie strefę brzegową, z drugiej zaś wpływają degradująco na ekosystem wodny, powodując „śmierć biologiczną” środowiska wodnego, tj. zanik procesów naturalnych, co powoduje odwracanie się miasta od jeziora. Współczesne wymogi formalnoprawne dotyczące rewitalizacji zanieczyszczonych jezior doprowadziły do ponownego zainteresowania się strukturą miasta Pniewy jeziorem i ponownego, rozsądnego korzystania z jego walorów.



Fot. 51. Jezioro Pniewskie (A - 1940, B - 2007): 1 - zabudowa, 2 - droga, 3 - grunty orne, 4 - las, 5 - park, 6 - trzciny, 7 - roślinność pływająca; zasób: WNGiG (A), fot. A. Kijowski (B)

Jeziro Swarzędzkie

Jeziro Swarzędzkie wybrano jako przykład w celu przedstawienia sub-urbanizacji strefy brzegowej jeziora i obszarów przylegających w postaci jednostki funkcjonalno-przestrzennej mieszkaniowej (1), aktywizacji gospodarczej (2), komunikacyjnej (3), krzewów i drzew (4), obszaru zdegradowanego w wyniku deponowania odpadów komunalnych – nieczynnego składowiska (5). Na takie sąsiedztwo wokół jeziora nakłada się widoczny proces zwiększonej eutrofizacji ekosystemu wodnego, przejawiający się w przyroście stref zarastania zbiornika (6), jego wypłycaaniu, co prowadzi do zmniejszania się tafli wodnej (7), a od strony brzegowej do występowania ogródków działkowych (8) i lasów komunalnych (9).

Jeziro Swarzędzkie z Jeziorem Pniewskim są wyraźnymi przykładami wzajemnego oddziaływania ekosystemu miasta na ekosystem wodny jeziora w zakresie wzajemnego korzystania obszaru zurbanizowanego ze środowiska przyrodniczego oraz jego degradowania.



Fot. 52. Jezioro Swarzędzkie (2007): 1 - obszar o funkcji mieszkaniowej, 2 - strefa usługowa, 3 - drogi, 4 - krzewy i drzewa, 5 - obszar zdegradowany, 6 - strefa zarastania ujścia rzeki Cybiny, 7 - tafla wód jeziora, 8 - ogródki działkowe, 9 - lasy komunalne; fot. A Kijowski

Jezioro Gopło

W rejonie wsi **Gacanowo** w zatoce jeziora wykorzystano akwen wodny do hodowli ryb. Infrastruktura stawów w postaci licznych grobli (1) oddzielających poszczególne zbiorniki (2) różniące się wielkością oraz budynki techniczne (3) gospodarstwa hodowli ryb zdecydowanie odróżnia te akweny wodne od sąsiadującego naturalnego jeziora. Przedstawiony przykład to ilustracja działalności człowieka przekształcającego terasy – półki jeziorne do celów gospodarczych.

Cechą zbiorników sztucznych w odróżnieniu od zbiorników naturalnych – jezior jest stały wzrost ich liczby. Dotyczy to nie tylko zbiorników o niewielkich powierzchniach (np. glinianki, torfianki, stawy hodowlane), ale także obiektów o znacznych powierzchniach i zasobach wodnych (po eksploatacji kruszywa mineralnego, węgla brunatnego, zbiorniki retencyjne). Zasadność badania sztucznych zbiorników na zdjęciach lotniczych jest niezmiernie przydatna z powodu dużej dynamiki zjawisk rejestrowanych w strefach brzegowych, poziomu wód, chemizmu i znaczenia w rekreacji. Dotyczy to w szczególności tych zbiorników, które powstały niedawno, dla których nie istnieją archiwalne materiały kartograficzne. Zastosowanie zdjęć lotniczych do analizy współcześnie budowanych sztucznych zbiorników wodnych o charakterze poeksploatacyjnym, rekultywacyjnym, retencyjnym czy gospodarczym (hodowlanym) jest konieczne z punktu widzenia dynamiki powstawania i współczesnych procesów zachodzących w tych zbiornikach. Dotyczy to badania dynamiki parametrów hydrotechnicznych, hydrologicznych, morfologicznych stref brzegowych zbiorników. Zamieszczone zdjęcia lotnicze ilustrują wybrane przykłady badań naukowych i aplikacji praktycznych w odniesieniu do funkcjonowania współcześnie powstających zbiorników antropogenicznych wodnych.



Fot. 53. Jezioro Gopło (1996): 1 - grobla, 2 - stawy hodowlane, 3 - budynki gospodarcze, 4 - granica jeziora, 5 - pola uprawne; zasób: CODGiK

Jeziora pokopalniane z rejonu Konina i Malińca

Wybrane dwa sztuczne zbiorniki wodne, które powstały w wyniku odkrywkowej eksploatacji węgla brunatnego w rejonie **Konina**, to ilustracja wykorzystania pozostawionej odkrywki poeksploatacyjnej. Zbiornik Gosławice (fot. 54), przystosowany do deponowania popiołów z elektrowni, wymagał zbudowania odpowiedniej infrastruktury technicznej (1) w postaci kolektora doprowadzającego pulpę popiołową, grodzi zbiornikowych (2), grobli tamujących (3), uniemożliwiających wypływ płynnych popiołów na tereny sąsiadujące. Kolor wód w zbiorniku (5) to wynik wytrącania się w środowisku wodnym związków chemicznych (po procesie sedymentacji osad popiołowy na dnie).



Fot. 54. Konin-Gosławice, zbiornik popiołów (2002): 1 – kolektor doprowadzający, 2 – grodzie w zbiorniku, 3 – groble tamujące, 4 – tereny zrehabilitowane, 5 – zbiornik osadowy;
fot. A. Kijowski

Maliniec (fot. 55) – zbiornik poeksploatacyjny w rejonie huty w **Malińcu** jest przykładem wykorzystania zagłębienia terenowego przez wody. Proces rekultywacji powierzchni zwałowiska zewnętrznego (1) polega na zniwelowaniu powierzchni do określonej rzędnej terenu i prowadzeniu rekultywacji rolniczej poprzez wieloletnią uprawę roślin motylkowych w celu uzyskania próchnicy w glebie. Inne fragmenty o większych deniwelacjach przeznaczają się na obszar rekultywacji o profilu leśnym (2), a końcówki zagłębienia terenowego sukcesywnie wypełnia wodą (3), tworząc sztuczny akwen wodny bez gospodarczego wykorzystania.



Fot. 55. Konin-Maliniec, jezioro pokopalniane (2002): 1 – zwałowisko zewnętrzne, 2 – zwałowisko – las, 3 – koniec zagłębienia wypełniony wodą; fot. A. Kijowski

Wykorzystywanie zbiorników wodnych jako odbiorników zrzutów wód technologicznych przedstawiono poprzez obrazowanie termalne przez materiały teledetekcyjne obrazujące skalę zanieczyszczeń termicznych. Odmiennie sytuacje rejestrowane na zdjęciach lotniczych dotyczą naturalnych nanosów do jezior przez rzeki wpływające. Na fot. 56 przedstawiono ujście rzeki Płoni do jeziora Płoń – przykład delty ujściowej i akumulacji materiału niesionego przez rzekę. Zdjęcia z 1964 r. oraz współczesny obraz zamieszczony na Geoportalu umożliwiają badanie dynamiki przyrostu delty (fot. 57).

Rejestrowane na zdjęciach lotniczych zjawiska antropogenicznych zrzutów osadów do zbiorników jeziornych mają miejsce w przypadku traktowania zbiornika jeziornego jako miejsca zrzutu ścieków komunalnych, zanieczyszczeń rolniczych i innych. Na fot. 57 przedstawiono część Jeziora Ostrowickiego, do którego niewielkim kanałem melioracyjno-zrutowym wpływają wody oraz materiał niesiony o wyraźnie odmiennej barwie od koloru wód otwartych akwenów jeziornych. Pojedyncze zdjęcie oddaje jedynie zasięg zrzutu w danej chwili. Dysponując natomiast wieloma ujęciami, można określić zmienność intensywności (zasięgu) w tym przypadku zrzutów (relacja wielkość dopływu – wielkość obszaru rozprzestrzeniania się).



Fot. 56. Jezioro Płoń i ujście rzeki Płonia (1964): 1 - rzeka, 2 - ujście; zasób: WNGiG



Fot. 57. Jezioro Ostrowickie koło Białych Błot (1977): 1 – ujście kanału do jeziora, 2 – materiał wpływający do jeziora; zasób: WNGiG



12

Zdjęcia lotnicze a zagospodarowanie turystyczne jezior

Analiza zdjęć lotniczych może być bardzo przydatna w badaniach zagospodarowania brzegu jeziornego (rekreacyjne ośrodki wypoczynkowe, infrastruktura wypoczynkowa, pomosty, zamknięte akweny kąpielowe, mariny żeglarskie). Zdjęcia lotnicze rejestrują przestrzenną i statystyczną liczebność oraz pojemność rekreacyjną plaż jeziornych. Szczególnie należy podkreślić zagadnienie zagęszczenia osób na poszczególnych fragmentach plaż zorganizowanych i tzw. plaż dzikich. Na fot. 58 przedstawiono główną plażę Jeziora Skorzęcińskiego w sezonie letnim z kąpiącymi się, z obiektami pływającymi. Z analizy zdjęcia wynika gęstość zajęcia strefy plażowej przez wypoczywających oraz możliwość oceny parametrów półki szelfowej jeziora wykorzystywanej jako zaplecze kąpieliskowe dla dużego ośrodka wypoczynkowego. W sezonie letnim bliskość położenia atrakcyjnego jeziora względem **Gniezna i Konina** powoduje niespotykaną koncentrację rekreantów na plaży. Współczesne instalacje rejestrujące (bezzałogowe samoloty i eurokoptery (drony)) umożliwiają monitorowanie kąpieliska oraz całego akwenu wodnego przez służby ratownicze. Obrazy z pokładu bezzałogowych rejestratorów przekazywane on-line do centrum ratowniczego na bieżąco informują o kąpielisku, pozwalając na ocenę jego bezpieczeństwa. Można zatem w prosty sposób obliczyć zagęszczenie osób plażujących i kąpiących się w danym momencie. Mając natomiast wiele ujęć, można analizować natężenie tego zjawiska w przebiegu dobowym i między kolejnymi dniami, uzależniając je od takich czynników, jak na przykład dzień tygodnia, warunki pogodowe, temperatura wody.



Fot. 58. Jezioro Skorzęcińskie (Niedziegie) (2002): 1 – półka plażowa, 2 – strefa przeznaczona do kąpieli wodnych; fot. A. Kijowski



Zakończenie

Zagadnienia przedstawione w niniejszej pracy dotyczyły różnych kwestii związanych ze środowiskiem przyrodniczym jezior zajmujących zaledwie 0,9% powierzchni Polski. Wskaźnik jeziorności wydaje się nieznaczący z punktu widzenia powierzchni kraju, ale zjawiska związane z problematyką limnologiczną, a rejestrowane na zdjęciach lotniczych udowodniły przydatność materiałów teledetekcyjnych. Zaprezentowano zagadnienia związane z: batymetrią, procesami zarastania, falowaniem, klasyfikacją typów genetycznych mis jeziornych, zagospodarowaniem brzegów jezior oraz znaczeniem jezior w dziedzictwie kulturowym.

Od początku lat 90. ubiegłego stulecia nastąpiła zmiana w pozyskiwaniu zdjęć lotniczych, wynikająca z regulacji prawnych, dostępności materiałów teledetekcyjnych w ramach programu Phare, a także z dyrektywy INSPIRE oraz powołania Centralnego Ośrodka Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej w Warszawie. Zdjęcia lotnicze stały się źródłem informacji o środowisku przyrodniczym wykorzystywanych do celów naukowych.

Niniejsza publikacja przeznaczona jest przede wszystkim dla studentów kierunków związanych z naukami o Ziemi. Zamieszczając w pracy zdjęcia lotnicze wykorzystane do badań limnologicznych, wskazano możliwość interpretacji ich treści pod kątem zjawisk występujących na wodach jezior oraz w ich otoczeniu. Zaproponowano również, poprzez zalecone studentom do wykonania ćwiczenia, wykorzystywanie do celów dydaktycznych ogólnie dostępnych ortofotomap zamieszczonych na <<http://geoportal.gov.pl>>. Szybki rozwój technologii pozyskiwania wysokorozdzielczych zdjęć lotniczych i obrazów satelitarnych oraz zastosowania bezzałogowych statków (eurocopterów) powoduje konieczność przygotowania absolwentów do zadań praktycznych z szeroko rozumianego gospodarowania i zarządzania zasobami wodnymi.

Trzeba zatem zasygnalizować nowe zastosowania technologii teledetekcyjnej w badaniach limnologicznych, tj. termowizja w badaniu zanieczyszczeń termicznych, naturalnego rozkładu temperatury powierzchniowej wód

jeziornych, zjawiska zlodzenia wód. Takich nowych zastosowań materiałów teledetekcyjnych jest zdecydowanie więcej. Jako przykład przedstawiono wykorzystanie informacji pozyskiwanych ze zdjęć lotniczych do określania pojemności rekreacyjnej plaż jeziornych przez rekreantów.

W niniejszej pracy zasygnalizowano jedynie problematykę związaną z możliwością zastosowania zdjęć lotniczych w badaniach jezior i zbiorników wodnych. W przyszłości, w miarę możliwości uzyskiwania większej ilości materiałów, można będzie ją znacznie rozszerzyć. Dotyczy to na przykład przedstawienia rozwoju pełnego cyklu zjawisk lodowych, tj. od ich początku do zaniku. Do realizacji powyższego celu wymagane jest jednak kilkadziesiąt ujęć obrazujących sytuację dzień po dniu, a nawet kilka ujęć w ciągu doby. W tym przypadku zdjęcia lotnicze mają bezsporną przewagę nad obserwacjami stacjonarnymi, które obejmują jedynie powierzchnię ograniczoną zasięgiem wzroku obserwatora. Podobnie jest z analizą migracji zanieczyszczeń. Dysponując serią zdjęć wykonanych w odstępach czasu, można śledzić nie tylko ich zasięg, lecz także kierunki i tempo przemieszczania. Również analiza zdjęć termalnych wykonywanych z dużą częstotliwością pozwoli na uzyskanie odpowiedzi na wiele pytań dotyczących nie tylko częstotliwości i skali zmian temperatury wody na powierzchni danego jeziora, ale pozwoli lepiej zrozumieć cyrkulację wód w obrębie jego misy. Wiele nowych informacji będzie można pozyskać dla jezior, na których nie są prowadzone stałe obserwacje (a tych jest ok. 97%), dotyczy to na przykład zmian poziomu wód, efektem którego są zmiany zasięgu linii brzegowej. Przedstawione powyżej przykłady można mnożyć właśnie w kierunku rozszerzenia wiedzy w tych zakresach.



Ćwiczenia i literatura

3 Typy genetyczne mis jeziornych

Ćwiczenia

1. Na podstawie ortofotomapy z Geoportalu sklasyfikuj jeziora pod kątem typów genetycznych na przykładzie Pojezierza Wałeckiego.
2. Określ uwarunkowania środowiskowe mające wpływ na współczesne funkcjonowanie jeziora wybranego typu genetycznego.

Literatura

- Choiński A., 2007: *Limnologia fizyczna Polski*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.
- Hutchinson G.E., 1957: *A treatise on limnology*, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Jańczak J., 1991: *Fizycznogeograficzna typologia i ocena jezior na przykładzie Pojezierza Wielkopolskiego*, IMGiW, Warszawa.
- Metody badań fizycznolimnologicznych*, 1993: W. Lange (red.), Uniwersytet Gdański, Gdańsk.

4 Batymetria

Ćwiczenie

Na podstawie dostępnych danych teledetekcyjnych zamieszczonych na serwerze <www.geoportal.gov.pl> wybierz przykłady ortofotomap jezior z widocznym szelfem misy jeziornej, wypłyconiami oraz przeprowadź ich analizę batymetryczną w porównaniu z kartą batymetryczną.

Literatura

- Bednarek R., Kozacki L., 1989: *Analiza rozwoju delt w obrębie Jeziora Drużno na podstawie zdjęć lotniczych*, [w:] M. Sinkiewicz (red.), *Materiały z XII Ogólnopolskiej Konferencji Fotointerpretacyjnej, Toruń 21–23 1989 r.*, UMK Instytut Geografii, PTG Komisja Fotointerpretacji, Toruń, s. 13–14.

- Choiński A., 2007: *Limnologia fizyczna Polski*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.
- Choiński A., Ptak M., 2009: *Lake Infill as the Main Factor Leading to Lake's Disappearance*, Polish J. of Environ. Stud., Vol. 18, No. 3.
- Ciołkosz A., Trafas K., 1965: *Fotointerpretacja w geografii*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa.
- Karczewski A., 1988: *Pojezierze Bytowskie*, [w:] J.R. Olędzki (red.), *Polska na zdjęciach lotniczych i satelitarnych*, PWN, Warszawa, s. 42–43.
- Kijowski A., 1978: *Jeziro Miedwie*, [w:] J.R. Olędzki (red.), *Polska na zdjęciach lotniczych i satelitarnych*, PWN, Warszawa, s. 36–37.
- Metody badań fizycznolimnologicznych*, 1993: W. Lange (red.), Uniwersytet Gdański, Gdańsk.
- Szczepaniak W., Marszelewski W., Sinkiewicz M., Oleksowicz A., 1989: *Zróżnicowanie fotonalne obrazu Jeziora Przeddeckiego na panchromatycznych zdjęciach lotniczych*, [w:] M. Sinkiewicz (red.), *Materiały z XII Ogólnopolskiej Konferencji Fotointerpretacyjnej, Toruń 21–23 1989 r.*, UMK Instytut Geografii, PTG Komisja Fotointerpretacji, Toruń, s. 70–72.

5 Falowanie

Ćwiczenia

1. Zanalizuj, na podstawie ortofotomapy z <www.geoportal.pl>, widoczne refleksy od powierzchni wód jeziornych.
2. Dla wybranego jeziora lub kilku jezior przeprowadź interpretację typów falowania pod kątem stref falowania.
3. Zanalizuj poszczególne strefy tafli wodnej jeziora pod kątem zróżnicowania dynamiki wody.

Literatura

- Choiński A., 2007: *Limnologia fizyczna Polski*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.
- Hutchinson G.E., 1957: *A treatise on limnology*, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Jankowski A.T., 1986: *Antropogeniczne zmiany stosunków wodnych na obszarze uprzemysłowionym i zurbanizowanym (na przykładzie Rybnickiego Okręgu Węglowego)*, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- Jańczak J., 1991: *Fizycznogeograficzna typologia i ocena jezior na przykładzie Pojezierza Wielkopolskiego*, Mat. Bad. Ser. Hydrol. i Ocean. 15, IMGiW, Warszawa.
- Metody badań fizycznolimnologicznych*, 1993: W. Lange (red.), Uniwersytet Gdański, Gdańsk.
- Rzętała M., 2008: *Funkcjonowanie zbiorników wodnych oraz przebieg procesów limnicznych w warunkach zróżnicowanej antropopresji na przykładzie regionu górnośląskiego*, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.

7 Zjawiska zlodzenia jezior

Literatura

- Choiński A., Heese T., Oberski T., 2013: *The infrared camera: a tool for mountain lakers research*, *Limnol. Rev.* 13, 3, s. 129–138.
- Kijowski A., Mania W., 2012: *Termowizja lotnicza jako narzędzie monitoringu środowiska geograficznego*, [w:] Z. Zwoliński (red.), *GIS teledetekcja środowiska*, Bogucki Wydawnictwo Naukowe, Poznań, s. 11–19.

8 Zarastanie jezior

Ćwiczenia

1. Korzystając z ortofotomapy z Geoportalu, zanalizuj dowolne jezioro pod kątem stref zarastania.
2. Zinterpretuj elementy terenowe w strefie ujścia rzeki do jeziora.
3. Przeprowadź analizę porównawczą powierzchni tafli wody dowolnego jeziora w stosunku do historycznych map topograficznych.
4. Na przykładzie Jeziora Tomickiego wykonaj pomiary powierzchni poszczególnych stref użytkowania terenu w bezpośrednim sąsiedztwie zbiornika i podaj wskaźniki tempa eutrofizacji.

Literatura

- Ciołkosz A., Miszański J., Olędzki J.R., 1999: *Interpretacje zdjęć lotniczych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Kleczewska-Witt E., 1988: *Mosina*, [w:] J.R. Olędzki (red.), *Polska na zdjęciach lotniczych i satelitarnych*, PWN, Warszawa, s. 100–101.
- Kleczewska-Witt E., 1988: *Pojezierze Myśluborskie Moryń*, [w:] J.R. Olędzki (red.), *Polska na zdjęciach lotniczych i satelitarnych*, PWN, Warszawa, s. 38–39.
- Kowalewski G., 2014: *Alogeniczne i antropogeniczne składowe zarastania jezior: hipoteza wahań poziomu wody*, *Stud. Limnol. et Telmatologica, Monographiae I.*
- Ławniczak A., 2010: *Overgrowing of two polymictic lakes in Central-Western Poland*, *Limnol. Rev.*, 10(3–4), s. 147–156.
- Onoszko J., Furmańczyk K., 1975: *Struktura przestrzenna falowania wiatrowego na Jeziorze Żarnowieckim w świetle zdjęć lotniczych*, *Fotointerpretacja w Geografii*, z. 9, s. 75–83.
- Pieńkowski P., Kupiec M., 2001: *Proces zarastania jeziora Świdwie i zmiany w użytkowaniu jego otoczenia od początku XIX do końca XX wieku*, *Zeszyty Naukowe, Inżynieria Środowiska/Politechnika Zielonogórska*, 125, s. 265–277.

- Ptak M., 2013: *Historical medium-scale maps as a source of information on the overgrowing of lakes*, *Limnol. Rev.*, 13, 3, s. 155–162.
- Tumiałojć A., 1988: *Jezioro Mamry*, [w:] J.R. Olędzki (red.), *Polska na zdjęciach lotniczych i satelitarnych*, PWN, Warszawa, s. 68–69.

9 Jeziora na obszarach dziedzictwa kulturowego

Ćwiczenie

Po zapoznaniu się z przykładami obiektów archeologicznych w otoczeniu jezior oraz na podstawie literatury przeprowadź rekonesans lotniczy oparty na ortofotomapie zamieszczonej na Geoportalu i wskaż prawdopodobne lokalizacje śladów dziedzictwa kulturowego. Przykłady można odczytać na terenach polskich oraz na pojezierzach europejskich.

Literatura

- Biskupin... i co dalej? Zdjęcia lotnicze w polskiej archeologii*, 2005: J. Nowakowski, A. Prinke, W. Rączkowski (red.), Wydawnictwo Ad Rem, Poznań.
- Buko A., 2011: *Archeologia Polski wczesnośredniowiecznej. Odkrycia – hipotezy – interpretacje*, Wydawnictwo TRIO, Warszawa.
- Chudziakowa J., 1994: *Wczesnośredniowieczne grodziska ziemi chełmińskiej. Katalog źródeł*, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń.
- Chudziak W., Kaźmierczak R., Niegowski J., 2011: *Podwodne dziedzictwo archeologiczne Polski. Katalog stanowisk (badania 2006–2009)*, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń.
- Grabowski R., 2005: *Fotografia lotnicza w archeologii a problem wczesnośredniowiecznego osadnictwa obronnego na terenie miasta Człuchowa*, [w:] J. Nowakowski, A. Prinke, W. Rączkowski, *Biskupin ... i co dalej? Zdjęcia lotnicze w polskiej archeologii*, Wydawnictwo Ad Rem, Poznań.
- Kijowski A., Wyrwa A.M., 1989: *Fotointerpretacja i weryfikacja archeologiczna zdjęć lotniczych ze stanowiska nr 3 w Łeknie*, *Studia i Materiały do Dziejów Pałuk* 1, s. 121–135.
- Kobyliński Z., 2001: *Teoretyczne podstawy konserwacji dziedzictwa archeologicznego*, Fundacja Rec Publica Multiethnica, Instytut Archeologii i Etnologii PAN, Warszawa.
- Kola A., 1991: *Grody ziemi chełmińskiej w późnym średniowieczu*, Towarzystwo Naukowe w Toruniu, Toruń.
- Niesiołowska-Wędzka A., 1974: *Początki i rozwój grodów kultury łużyckiej*, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław.
- Uziębło R., 2003: *Rejestr stanowisk archeologicznych i znalezisk z terenu Torunia*, Muzeum Okręgowe, Toruń.

10 Jeziora na terenach miejskich wykorzystywane gospodarczo

Ćwiczenia

1. Na podstawie ortofotomapy z Geoportalu wskaż jeziora powstałe w wyniku działalności człowieka w rejonie poddanym presji gospodarczej lub suburbanizacyjnej.
2. Za pomocą parametrów przestrzennych określ szanse i zagrożenia wynikające z utworzenia sztucznych zbiorników wodnych.
3. Podaj przykład naturalizacji sztucznych zbiorników wodnych, przedstaw je na zdjęciach pozyskanych z <www.geoportal.pl>.

Literatura

- Jankowski A.T., 1986: *Antropogeniczne zmiany stosunków wodnych na obszarze uprzemysłowionym i urbanizowanym (na przykładzie Rybnickiego Okręgu Węglowego)*, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.
- Rzętała M., 2008: *Funkcjonowanie zbiorników wodnych oraz przebieg procesów limnicznych w warunkach zróżnicowanej antropopresji na przykładzie regionu górnośląskiego*, Wydawnictwo Uniwersytetu Śląskiego, Katowice.

Skrypt dotyczy zagadnień z zakresu limnologii i fotointerpretacji. Przedstawiono w nim techniki teledetekcyjne, a także zastosowania archiwalnych i aktualnych materiałów teledetekcyjnych w limnologii. Połączenie danych teledetekcyjnych z różnych okresów wykonywania zdjęć lotniczych stanowi bogaty materiał dydaktyczny umożliwiający nie tylko badanie zbiorników wodnych, ale również pokazujący zmiany, jakie zaszły w nich w przeciągu lat. Przekazanie tej wiedzy studentom pozwoli na uzyskanie przez nich umiejętności interpretacji zagadnień limnologicznych oraz umiejętności modelowania zmian środowiska. Jest to pierwszy skrypt łączący wiedzę teledetekcyjną z wiedzą limnologiczną.



ISBN 978-83-232-2885-1



9 788323 228851