

Jerzy Miszański
/Warszawa/

UWAGI O ROZWOJU WYDM WĘDRUJĄCYCH
NA MIERZEI ŁEBSKIEJ

Wydmy ruchome Mierzei Łebskiej budzą powszechne zainteresowanie ze względu na szczególne położenie geograficzne, rozmiary, budowę oraz szybkie zmiany morfologiczne zachodzące na ich obszarze. Stanowią one zwarty obszar wydmowy o powierzchni około 5 km², ograniczony od północy brzegiem morskim, od południa zaś przylegający do jeziora Łebsko. Podłoże zbudowane jest z materiału piaszczystego dostarczonego przez prądy morskie. Zostało uformowane w fazie politorynowej. Wysokość bezszlądna wydm przekracza niekiedy 30 m.npm.

Opracowanie niniejsze oparłem na interpretacji i porównaniu zdjęć lotniczych wykonanych w sześcioletnim odstępie czasu. Jako materiały pomocnicze posłużyły mi mapy archiwalne, najnowsze opracowania kartograficzne, a także wyniki geodezyjnych pomiarów odkształceń.

Już wstępny przegląd zdjęć lotniczych omawianego terenu /rys.2/ pozwala na zdecydowane wydzielenie obszaru wydm ruchomych. Charakteryzują się one jasnym tonem obrazu i pozbawione są śladów roślinności. Model stereoskopowy obszaru wydmowego umożliwia wyróżnienie następujących form akumulacji eolicznej: wiel-



1958



1964

р. 2

kich wydm wędrujących /1/ ¹ wałów wydmowych /2/, form barchanopodobnych /3/ oraz roznorodnych zasp piaszczystych /Rys.3/. Wielkie wzgórza wydmowe charakteryzują się wyraźną asymetrią budowy. Stoki proksymalne posiadają rzeźbę urozmaiconą i niewielkie pochYLENIE. Występujące po stronie wschodniej stoki dystalne /5/ nachylone są pod kątem naturalnego zyspu. W godzinach popołudniowych znajdują się w cieniu i dzięki temu kontrastują z pozostałą częścią wydmy. Na stokach proksymalnych, dzięki zróżnicowaniu fototonu, można odczytać drugorzędne, pojedyncze formy barchanopodobne. Podobieństwo to jest szczególnie dobrze widoczne gdy zdjęcia lotnicze mierzei porównać ze zdjęciami wykonanymi nad obszarem pustynnym, obfitującym w typowe barchany. Czytelne są również efemeryczne mikroformy w postaci regularnych nabrzmiń piaszczystych /6/ związanych z chwilową akumulacją i zmianą prędkości wiatru. Charakteryzuje je określony rytm, najwidoczniej zależny od energii podmuchów wiatru w różnych partiach wzgórz wydmowych. Tam, gdzie wiatr najsilniej oddziałuje na podłoże powstają regularne podłużne nabrzemia, usytuowane prostopadle do kierunku wiatrów. W partiach niżej położonych, gdzie prędkość wiatru jest mniejsza, zasy są niższe, bardziej rozdrobnione a częstotliwość ich występowania jest większa. Opisane zjawisko można interpretować jako odbicie sinusoidalnego charakteru powiewów i transportu eolicznego /Stankowski /5/. Kreśląc kierunki strumieni panujących wiatrów prostopadle do zgeneralizowanych li-

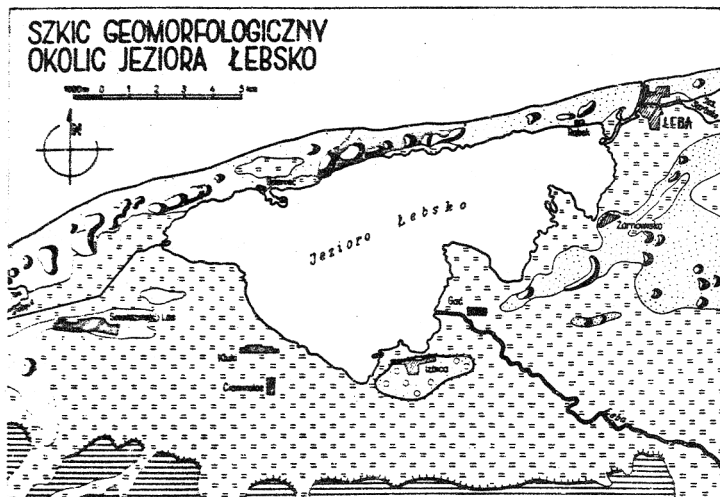
¹ Liczby w nawiasach odnoszą się do kalki interpretacji /rys.3/.

ni i zasp i ozół barchanów można uzyskać efemeryczny, poziomy rozkład wiatrów nad stokiem proksymalnym. O kierunku tych wiatrów na obszarach przyległych świadczą również smugi piasku /7/ akumulowane za przeszkodami. Wyraźne ślady zwydmienia w postaci zasp zaobserwować można również na terenie plaży.

Omawiany obszar obfituje jednocześnie w różnorodne wklęsłe formy deflacyjne: równiny /8/, misy /9/, niecki /10/, rynny /11/ i rowy /12/ /rys.3/. Równiny powstają przeważnie na zapleczu wielkich wydm wędrujących i uwarunkowane są poziomem wód gruntowych. Z tego samego powodu spłaszczone są również dna mis deflacyjnych. Miejsca te charakteryzują się ciemniejszym fototonem, co wiąże się z nawilgoceniem i jest niezależne od kierunku oświetlenia terenu /pory wykonania nalotu/. W okresach wzmożonych opadów atmosferycznych lub też w czasie spiętrzenia wód morskich powodowanego sztormem /M.Czekańska, /1/, poziom wód gruntowych wzrasta ponad poziom dna bezodpływowych zagłębień powodując powstanie na powierzchni okresowych, krótkotrwałych jeziorek /13/. Miejsca te są najktywniej atakowane przez roślinność.

Wklęsłe formy wywiewania, misy, niecki, oraz różnorodne zagłębienia są zależne od odporności podłoża i od lokalnych warunków aerodynamicznych. Występują one na obszarze starszych wydm parabolicznych, głównie w obrębie ich zachodnich stoków. W drodze pomiaru stereomikrometrem ustalono, że głębokości form osiagają 1-7 m, przy średnicy 10-50 m. Stanowią one zaczątkowe gniazda szybko postępującego procesu niszczenia. Rozwój niecek prowadzi do powstania wklęsłych form podłużnych, przypominających swym kształtem rowy,

rynny, czy wanny. Przerzywiają one starsze, utrwalone wydmy paraboliczne /Rys.4./. Konsekwencją rozwoju rynnien jest rozwanie znacznych części wydmy i utworzenie piaszczystych ostańców deflacyjnych izolowanych obniżeniami.



Rys.1. Szkic geomorfologiczny okolic jeziora Lebsko



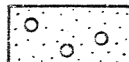
wydmy nadmorskie



ruchome wydmy nadmorskie



równiny torfowe



ostańce abrazyjne pokrywy akumulacji wodnolodowcowej



fragmenty falezy litorynowej



wysoczyzna morenowa



granice stref morfologicznych

Procesowi niszczenia starszych form towarzyszy jednoczesna akumulacja materiału po wschodniej stronie, u wylotu rynien. Liczne wyrwy pogłębiane przez wiatr, i strome stoki mają charakter rzeźby ostrej, korazyjnej. Na uwagę zasługuje wypadkowy kierunek występujących na badanych obszarze podłużnych form wywiewania /rys.3/. Wektory składowe przedstawiają wielkości i kierunki rowów i rynien. Zwrot form ustalono na podstawie odpowiadających im stożków nasypowych. Kierunki poszczególnych rowów są wypadkową uwarunkowaną z jednej strony kierunkami panujących wiatrów, z drugiej zaś odpornością na rozwiewanie starszych wydm. W wypadku badanego obszaru, decydujące znaczenie miały jednak dominujące wiatry, jak na to wskazuje wieloletni ich rozkład /rys.3/. Zwykle wieją one na szerokiej przestrzeni i oddziałują na podłoże powierzchniowo. Niekiedy jednak sytuacja morfologiczna, wąskie przełęcze i przesmyki umożliwiają przepływ mas powietrza ze wzmożoną siłą i prędkością. Szczególnie wiatry przyziemne dostosowują się do układu dolinek, które wobec zwiększonej siły podmuchu są ustawicznie pogłębiane i poszerzane. W ten sposób linijne oddziaływanie wiatru prowadzi do powstania form podłużnych. Najmniej podatne na rozwiewanie są północne ramiona wydm parabolicznych. W procesie rozwoju zbliżają się one do nadbrzeżnego wału wydmowego a następnie "przyrastają" do niego /15/ /rys.3/. Na tej podstawie można przypuszczać, że nadbrzeżny wał wydmowy jest morfologicznym rezultatem zespalania się /nakładania/ północnych skrzydeł kolejnych, wędrujących wydm parabolicznych. Przyrost wału jest czytelny na zdjęciach lotniczych dzięki wyraźnej wielostopniowości /15/

/rys.3/ umożliwiającą obliczenie, ile wydm uczestniczyło w uformowaniu wału. W odróżnieniu od wielostopniowych stoków południowych, północne zbocza wału modelowane przez wiatry wiejące od morza i abrazyjną działalność fal sztormowych odznaczają się większą stromością. Należy jeszcze wspomnieć o czytelnych na zdjęciu formach wałowych powstających w środkowej części mierzei, ich geneza wiąże się prawdopodobnie ze zrastaniem ramion północnych i południowych dwóch równoległych ciągów wydmy /rys.6/.

Podczas, gdy ruch ramion wydmy parabolicznych jest opóźniany przez roślinność, część środkowa wykazuje największą aktywność, przemieszcza się znacznie szybciej a niekiedy odrywa od części utrwalonych.

W celu oszacowania dynamiki rozwoju wielkich wydmy ruchomych porównano zdjęcia lotnicze Mierzei Łebskiej wykonane w latach 1958 - 1964. Analizowano położenie najbardziej aktywnych a jednocześnie ostro rysujących się na zdjęciu stoków dystalnych /rys.2/. Należy podkreślić, że najlepiej do takiego celu nadają się zdjęcia wykonane w tej samej porze roku /sierpień/, o tej samej porze dnia /godzina 14 - 17/, kiedy to stoki dystalne znajdują się w cieniu ostro podkreślającym linie załamania. Pożądane jest również zachowanie zbliżonych warunków pogodowych, typu kamery, skali i materiałów fotograficznych.

W wyniku pomiaru wektorów przesunięcia stoków uzyskano następujące wartości średnie dla poszczególnych wydmy;

Kolejność stoków dystalnychych	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
przeciętne przesunięcia w metrach	29,4	68,5	58,0	28,4	47,5	73,0	48,4	30,0	75,0	61,5	38,0	50,0	43,0

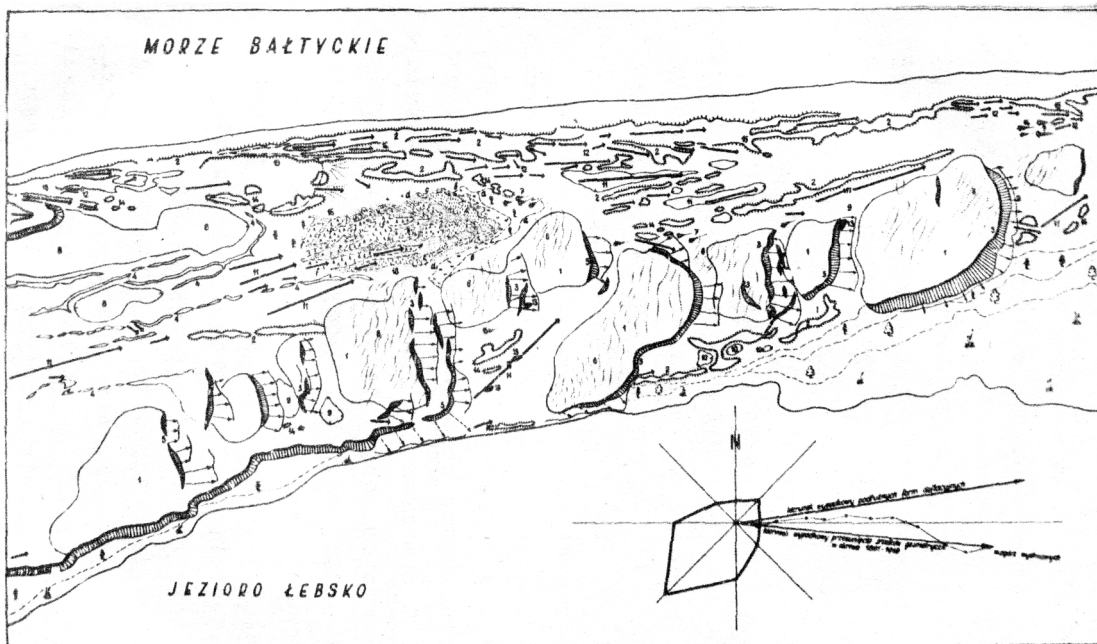
Jak wynika z zestawienia, w okresie sześciu lat wydmy przesunęły się przeciętnie o $50\text{m} \pm 3\text{m}$ na wschód, stąd przeciętne roczne przemieszczenie oscyluje w granicach 8m. Odpowiednie pomiary przesunięcia wydmy przeprowadzone na mapach w skali 1:25 000 sporządzonych w latach 1891 - 1949 dały wynik zbliżony /9m rocznie/, co potwierdza prawidłowość pomiarów i obliczeń dokonanych w oparciu o zdjęcia lotnicze. Podane powyżej wartości liczbowe są prędkościami przeciętnymi. W rzeczywistości istnieją znaczne odchylenia powodowane zróżnicowaniem morfometrycznym form, wielkością ziaren transportowanego piasku, rozkładem i siłą panujących wiatrów, powodowane warunkami terenowymi i przeszkodami na jakie napotyka wydma w swej wędrówce. Kierunek przesunięcia środków geometrycznych wzgórz wydmych /rys.3/ wskazuje na podstawową przyczynę ruchu - dominujące wiatry. Ponieważ kierunek ten jest niezgodny z orientacją mierzei, należy wnioskować, że konsekwencją przesuwania się wydmy jest poszerzanie mierzei w kierunku południowym. Przypuszczenie potwierdzają zarówno pomiary zmiany linii brzegowej dokonane na zdjęciach, jak i konfrontacja różnowiekowych materiałów kartograficznych. W szczególności porównanie map w skali 1:25 000 z roku 1891 i 1949 dowodzi pewnych zmian przebiegu morskiej linii

brzegowej, jednakże powierzchnie pól ubytku i przyrostu łądu są sobie równe. Stąd wniosek, że morska linia brzegowa, a ściślej, jej średnie położenie, jest stałe. Ewentualne przesunięcie wypadkowe w rozpatrywanym okresie czasu jest tak minimalne, że mieści się ono całkowicie w granicach błędów sporządzenia mapy i prowadzonych na niej pomiarów. Odchylenie współczesnej linii brzegowej jeziora w stosunku do brzegu z roku 1891 wykazuje wyraźną jednostronną tendencję i znacznie wykracza poza wartość błędu granicznego zdjęcia szczegółów na porównywanych mapach. Na odcinku wydm ruchomych osiąga ono przeciętną wartość - 55m. Można więc twierdzić, że mierzeja ulega poszerzeniu w kierunku południowym na skutek zasypywania jeziora przez piaski wydmowe, przeciętnie o 1m rocznie. Jest to możliwe jeżeli wziąć pod uwagę kubaturę rocznego przyrostu materiału piaszczystego w obrębie strefy akumulacyjnej¹ wydm ruchomych. Jak wykazały pomiary przeprowadzone na zdjęciach lotniczych przy pomocy stereomikrometru, przeciętny roczny przyrost w obrębie badanego obszaru wynosi około 190 tys. m³.

Rozwój wydm Mierzei Lebskiej jest w dużej mierze uzależniony od szaty roślinnej. Zależność ta jest szczególnie dobrze widoczna na zdjęciach lotniczych. Brak roślinności powoduje natychmiastowe uruchomienie piasków. Sukcesywne wkraczanie roślinności na zbocza prowadzi do zahamowania ruchu wydmy a następnie całkowitego jej ustalenia.

Dzięki zróżnicowaniu fototonu wyróżnić można charakterystyczne strefy roślinne. W generalnych zarysach

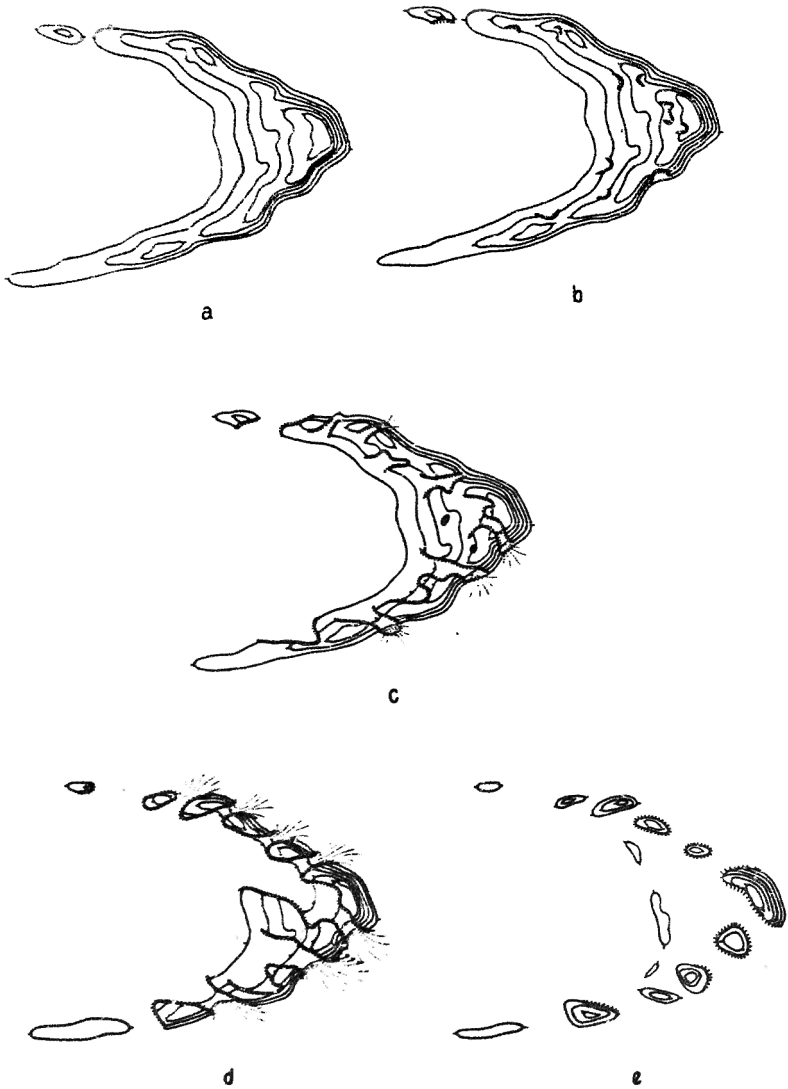
¹ Strefa akumulacyjna - okr. wg Stankowskiego.



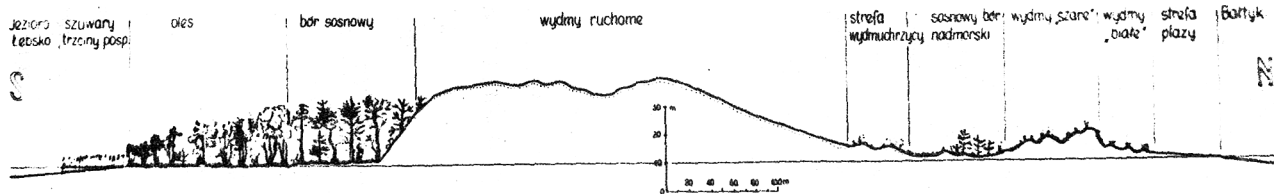
Rys.3. Szkic interpretacyjny zdjęć lotniczych obszaru wydm ruchomych
 1-wielkie wydmy wędrujące; 2-wały wydmowe; 3-wydmy barchanopodobne ;
 4-smugi wydmowe; 5-stoki dystalne; 6-nabrzemia piaszczyste; 7-pod-
 łużne zaspy piaszczyste; 8-równiny deflacyjne; 9-misy deflacyjne ;
 10-niecki deflacyjne; 11-rynnny; 12-rowy; 13-jeziorka efemeryczne;
 14-ostańce deflacyjne; 15-ostańce północnych ramion wydmy parabolicz-
 nych; 16-sukcesja zbiorowisk roślinnych: a-omentarzyska leśna, b-roś-
 linność pionierska, c-zwarta roślinność trawiasta z wrzosem, d- smugi
 wydmowe, e-wrzosowiska z samosiewem sosny, f-bór wrzosowiskowy

sach przebiegają one równoległe do brzegu morza. Szczegółowe rozgraniczenie jest zależne od morfologicznego zróżnicowania terenu. Omówione zjawisko, ilustruje syntetyczny profil poprzeczny mierzei /rys.5/. W celu uwypuklenia zależności rozwoju szaty roślinnej od poziomu występowania wód gruntowych i morfologii terenu zastosowano pięciokrotne przewiększenie skali pionowej w stosunku do poziomej. Profil pomierzony został w terenie metodami geodezyjnymi, strefy roślinne naniesiono na podstawie interpretacji zdjęcia lotniczego, oraz w oparciu o obserwacje terenowe składu gatunkowego roślinności, w konfrontacji z literaturą /Wojterski, 7/. Najbardziej na północ wysunięta jest strefa plaży /rys.5/. Południowy jej skraj oraz strome stoki północne wydm nadbrzeżnych, przednich czyli "białych" /Szafer, 6/ porastają kępy wydmuchrzycy piaskowej /*Elymus arenarius*/ oraz piasownicy zwyczajnej tworzące typowe zbiorowisko roślinne /*Elymeto-Ammophiletum*. Z obszarem tym kontrastuje wyraźnie pas wydm wewnętrznych, czyli "szarych", odfotografowany w postaci szarej mozaiki. Wydmy te są porośnięte przez płaty wydmuchrzycy piaskowej /*Elymus arenarius*/, *Carex arenaria*, *Salix arenaria*, oraz florę porostów. Strefa boru nadmorskiego bażynowego, którego siedliskiem są południowe stoki wału wydmowego oraz obniżenia deflacyjne na jego zapleczu. W tych ostatnich występuje bór wrzoscowy /*Empetro nigri - Pinetum ericetosum*/ /Wojterski, 7/. Na zapleczu wydm wydzielić można torfowiska wrzosowiskowe typu atlantyckiego z dominującym w zespole wrzosem zwyczajnym /*Calluna vulgaris*/. Na obrzeżeniu boru, w sąsiedztwie wydm ruchomych występuje strefa wydmuchrzycy. Wydmy ruchome, ja-

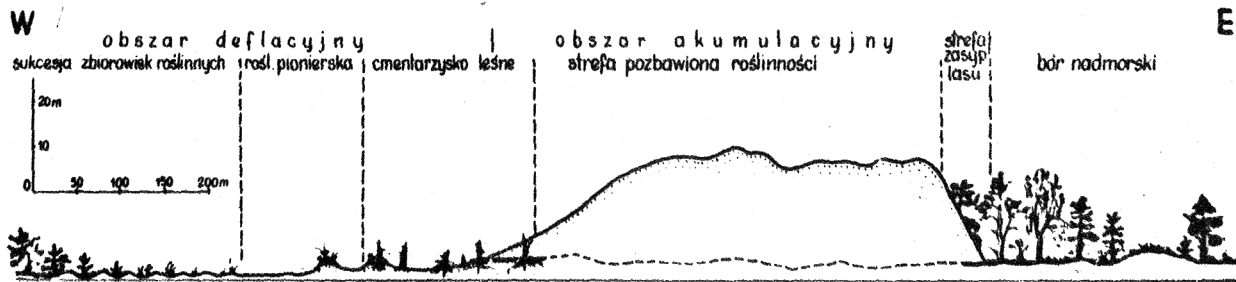
ko środowisko niekorzystne dla wegetacji, pozbawione są szaty roślinnej. Jednak poszczególne formy izolowane są niekiedy obniżeniami deflacyjnymi, w których widoczne są kępy wydmuchrzycy oraz samosiewy sosny i brzozy. Na południe od wydm ruchomych czytelny jest bór sosnowy, a na gruntach podmokłych przylegających do jeziora wydzielić można strefę lasu liściastego - łągu olszowego. Od południa ograniczają mierzeję szuwały trzciny pospolitej. Granice wyszczególnionych stref są często zakłócone, a skład florystyczny uwarunkowany jest morfologią terenu, poziomem wód gruntowych oraz mikroklimatem. Nawilgocenie podłoża w zagłębieniach terenowych i sprzyjające warunki wegetacji sprawiają, że miejsca te są w pierwszym rzędzie atakowane przez roślinność. Jak wynika ze zdjęć /rys.2/, wkracza ona w określonym porządku zbiorowisk roślinnych dających się rozgraniczyć dzięki różnicom fototonu. Zbiorowiska stanowią wyraźne stadia szeregu sukcesyjnego roślinności, obserwowanego na Mierzei Lebskiej już w 1932 roku przez Huecka. Zdjęcia lotnicze w znacznej mierze ułatwiają śledzenie sukcesji, umożliwiając ocenę zjawiska jednocześnie na rozległym obszarze i w określonych odstępach czasu. A zatem pozwalają wnioskować o tendencjach rozwojowych poszczególnych zbiorowisk roślinnych w związku z przemianami morfologicznymi podłoża. Jednocześnie uwidaczniają w sposób szczególnie wyrazisty dążność roślinności do rozprzestrzeniania i tworzenia zwartych skupień. Areał lasów ulega ciągłym zmianom gdyż z jednej strony postępująca wydma przysypuje bór sosnowy i olsy, z drugiej zaś strony na obszarach deflacyjnych rozprzes - trzenia się młody las. W sukcesji lasu zaznacza się



Rys.4. Stadia procesu niszczenia wydm parabolicznych na Mierzei Leśkiej



Rys.5. Profil poprzeczny Mierzei Łebskiej z uwzględnieniem stref roślinnych



Rys.7. Profil podłużny wydmy ruchomej



ryc. 6

określona regularność, określony rytm /rys.6/. Każdemu rocznemu okresowi czasu przyporządkować można widoczny na zdjęciu przyrost lasu. W planie, przyrastające pasma drzew mają zarys wydłużonych, ostro zakończonych, współkształtnych parabol i klinów. Należy podkreślić zgodność osi tych parabol z kierunkiem panujących wiatrów. Pasma drzew wiążą się z takim samym rytmem parabolicznych izolowanych zagłębień terenowych o płytszym poziomie wód gruntowych /rys.6/. Stwarza to możliwość obliczenia ilości lat, w ciągu których las się rozprzestrzenił i dowodzi jednocześnie ciągłości postępowej deflacji towarzyszącej przesuwaniu pojedynczej wydmy. Potwierdzeniem są widoczne na zdjęciu strefy zasypywania boru sosnowego i olsów przez czoła wydmy. Z drugiej zaś strony miejsca odsłaniających szczątków kopalnego lasu i płatków humusu uzupełniają obraz walki roślinności z masami piasków ruchomych. Ten cykliczny proces ilustruje rysunek 7.

Fakt, że deflacja współczesna sięga poniżej poziomu kopalnego humusu jest najprawdopodobniej wynikiem obniżenia poziomu wód gruntowych w stosunku do poziomu z przed kilkudziesięciu lat. Bezpośrednio przyczynił się do tego brak roślinności powodujący zmniejszenie spoistości gruntu i zwiększenie podatności na rozwiewanie.

Na podstawie poczynionych obserwacji wnioskuję, że geneza wydmy Mierzei Lebskiej wiąże się z przybrzeżnymi prądami morskimi, działalnością morfologiczną morza, z dominującymi wiatrami i rozwojem roślinności.

Ruch wydmy ma charakter złożony, obok ciągłych postępowych przemieszczeń dużych form, po ich powierzchni przesuwają się barchany. Jednocześnie, na przed-

polu obszaru wydm ruchomych zaobserwować można powstawanie inicjalnych gniazd deflacyjno akumulacyjnych, które w czasem urastają do dużych form wydmowych. Stąd wniosek, że uruchomienie wydm następuje skokami, a przesunięcie na wschód całego pola może nastąpić szybciej niż na to wskazuje prędkość ruchu postępowego pojedynczej wydmy. Skutkiem gospodarczym wędrówki wydm może być ponowne zasypanie Łeby około roku 2900, lub znacznie wcześniejsze zagrożenie miasta jeżeli wziąć pod uwagę uruchamianie nowych ognisk piasków lotnych.

Porównanie zdjęć lotniczych dowodzi, że formy wydmowe ulegają również przemodelowaniu w kierunku poprzecznym do osi morfologicznej, co przypisać można pracy wiatrów z kierunków północno-zachodnich. Rezultatem tego jest zmiana linii brzegowej i poszerzenie mierzei w kierunku południowym.

Na zakończenie należy stwierdzić, że zdjęcia lotnicze wykonane w określonych interwałach czasu stanowią doskonały materiał umożliwiający badanie dynamiki zjawisk geomorfologicznych, pozwalają uchwycić określony etap rozwojowy w sensie ścisłym, wymiernym. Umożliwiają one rozpatrywanie form morfologicznych w powiązaniu z innymi elementami krajobrazu funkcjonalnie zależnymi od siebie. Oczywiście interpretacja zdjęć lotniczych powinna być poparta wynikami obserwacji i badań terenowych, wynikami pomiarów kartograficznych lub geodezyjnych.

L I T E R A T U R A

1. Czekańska M., Fale burzowe na południowym wybrzeżu Bałtyku, Badania fizjograficzne nad Polską Zachodnią, Poznań 1948.

2. Klimaszewski M., Geomorfologia ogólna, Warszawa 1961.
3. Studium zbiorowe pod red. R. Galona, Wydmy śródlądowe Polski
4. Marsz A., Profil hydrochemiczny Mierzei Łebskiej. Bad. fizjogr. nad Polską Zach., Poznań 1965.
5. Stankowski W., Rzeźba eoliczna Polski zachodniej i półn.-zachodniej na podstawie wybranych obszarów, Poznań 1963.
6. Praca zbiorowa pod redakcją W. Szafera, Szata roślinna Polski, Warszawa 1959.
7. Wojterski T., Schematy strefowego układu roślinności nadmorskiej na południowym wybrzeżu Bałtyku, Bad. fizjogr. nad Polską Zach., Poznań 1964.

Jerzy Miszalski

OBSERVATIONS ABOUT DEVELOPMENT OF WANDERING
DUNES ON "MIERZEJA LEBSKA"

The article deals with eolithic forms appearing on "Mierzeja Lebska". On the base of a comparative analysis of aerial photos made at a six year interval the dynamics of morphological changes has been presented, direction and speed of the wandering dunes stated, and cubature of the transported material designated. At the same time stages of deflationary processes have been reconstructed.

The author has adduced results got from cartometric and geodesic measurement to support the results of the aerial photointerpretation. The interdependence between dune development and vegetation has been shown. With the aerial photo interpretation method the vegetational collection zones and succession of vegetation on deflationary areas have been segregated.

The author has been proving aerial photos of the same territory made at stated intervals to be an excellent material making research of the dynamics of geomorphological phenomena possible in the strict sense.