

Maciej Dąbski¹
Kamila Łapaj¹
Maksymilian Pudłowski¹

Fotografia lotnicza jako narzędzie do identyfikacji kopalnych poligonów mrozowych

Abstrakt

Artykuł przedstawia historię badań plejstocénskich poligonów mrozowych przy użyciu zdjęć lotniczych. Stosowanie tej techniki daje dobre rezultaty, jeżeli uwilgotnienie osadu wypełniającego kliny (tworzące w planie układ poligonalny) znacznie różni się od uwilgotnienia skały, w której wykształciły się szczeliny mrozowe. Różnice w uwilgotnieniu tych dwóch utworów powodują zwykle zróżnicowanie tempa wzrostu i dojrzewania niektórych roślin uprawnych, co daje się łatwo zauważyć na zdjęciach lotniczych.

Na świecie wspomniane badania prowadzi się od lat sześćdziesiątych XX w., głównie w Anglii, Szwecji, Danii i w Stanach Zjednoczonych. W Polsce, poważniejsze badania poligonów mrozowych z wykorzystaniem zdjęć lotniczych przeprowadzono w okolicach Poznania. Sfotografowane poligony wykształcone były głównie w glinie zwałowej fazy leszczyńskiej ostatniego zlodowacenia i wypełnione były piaskiem eolicznym. Autorzy tego artykułu dysponują zdjęciami podobnych struktur z okolic Kruszwicy. Przeprowadzone przez nich prace terenowe potwierdziły obecność klinów z pierwotnym wy-

¹ Wydział Geografii i Studiów Regionalnych, Uniwersytet Warszawski
ul. Krakowskie Przedmieście 30, 00-927 Warszawa

pełnieniem mineralnym wykształconych w glinie zwałowej zdeponowanej pomiędzy fazą poznańską a subfazą chodzieską Vistulianu.

Uważa się, że optymalnymi warunkami pozwalającymi na sfotografowanie kopalnych poligonów mrozowych są: dwutygodniowy okres suszy poprzedzający fotografowanie, istotna różnica w uziarnieniu między osadem wypełniającym kliny a osadem, w którym szczeliny się wykształciły, względnie młody wiek szczelin mrozowych (ostatnie zlodowacenie) i ich płytkie występowanie (tuż pod glebą) oraz pokrywająca badany obszar dojrzewająca uprawa jęczmienia, owsa lub lucerny. Wykonanie zdjęć pionowych w wystarczająco dużej skali umożliwia łatwe skartowanie badanych struktur.

Wstęp

Techniki teledetekcyjne stanowią cenne narzędzie do identyfikacji struktur geologicznych, które ze względu na swoje duże wymiary lub kopalny charakter są trudne do wykrycia z powierzchni ziemi. Plejstocenijskie kliny mrozowe są zwykle identyfikowane w ścianach kopalni, piaskowni lub wzdłuż podcięć erozyjnych. Struktury te tworzą w planie poligony o różnych wymiarach, od kilku do kilkudziesięciu metrów, przy czym średnica poligonów zależy od materiału, w którym się wykształciły (Jahn, 1970; Washburn, 1973; Goździk, 1973; French, 1996). Możliwości analizy tych struktur w planie są bardzo utrudnione ze względu na ich przykrycie utworami powierzchniowymi. Zdjęcia lotnicze umożliwiają niekiedy skartowanie kopalnych poligonów mrozowych dzięki różnicy w uwilgotnieniu materiału wypełniającego kliny i materiału, w którym wykształciły się poligony. Różnice te bywają podkreślone przez odpowiednią roślinność (znaczniki roślinne, np. jęczmień i owies), która lepiej zakorzenia się w wilgotniejszym i drobnoziarnistym osadzie wypełniającym kliny (Christensen, 1974) lub szybciej dojrzewa w suchszych piaszczystych wypełnieniach szczelin wytworzonych w glinie zwałowej (Bogdański, Kijowski, 1990). Rejestracja występowania poligonów mrozowych, które pokrywają się z minimalnym zasięgiem wieloletniej zmarzliny, umożliwia wyciągnięcie istotnych wniosków paleogeograficznych.

Dotychczasowe prace zagraniczne

Jedną z pierwszych prac dotyczących identyfikacji kopalnych gruntów strukturalnych (poligonów) przy użyciu zdjęć lotniczych przeprowadził w Anglii Shotton (1960), który zauważył, że struktury te uwidaczniają się na zdjęciach dzięki zróżnicowanemu dojrzewaniu zbóż. Svensson (1964) porównał zdjęcia lotnicze współczesnej strefy peryglacjalnej z północnej Norwegii (Półwysep Varanger) ze zdjęciami przedstawiającymi pola orne w południowej Szwecji (Nizina Hallandu) i Danii. Zauważył on, że kopalne poligony najlepiej wychodzą na zdjęciach wykonanych po okresie suszy, gdyż wówczas zboże wyraźnie szybciej dojrzewa (oraz rośnie wyżej i gęściej) na utworach wypełniających kliny mrozowe. Williams (1964) zaobserwował na zdjęciach lotniczych we wschodniej Anglii powierzchnie porośnięte wrzosem i trawą układające się w formy pasów i labiryntów. Wzory te stanowią kopalne grunty strukturalne wykształcone w piaskach pokrywowych zdeponowanych na kredzie. Poligonalny przebieg szczelin mrozowych wykształconych w glinie zwałowej z ostatniego zlodowacenia i wypełnionych piaskami i żwirami ablacyjnymi, eolicznymi lub fluwioglacjalnymi zauważył na zdjęciach lotniczych Morgan (1971) w środkowej Anglii. Poligony najczęściej były widoczne na zdjęciach przedstawiających pola jęczmienia (71%), rzadziej owsa (23%) a najrzadziej pszenicy (6%). Dokładny opis swoich badań w południowo-zachodniej Danii wraz charakterystyką warunków pogodowych poprzedzających wykonanie zdjęć lotniczych przedstawił Christensen (1974). Jako warunki sprzyjające uwidacznianiu się poligonów badacz ten uważa niewielkie opady atmosferyczne w porze dojrzewania zbóż (maj, czerwiec) oraz stosowanie uprawy jęczmienia i owsa. Trawy, żyto i pszenica zwykle uniemożliwiają obserwacje poligonów na zdjęciach lotniczych. Opisane przez Christensena (1974) poligony miały charakter pseudomorfoz po klinach lodowych i były wykształcone w utworach piaszczysto-żwirowych. Walters (1978) na zdjęciach lotniczych z New Jersey (Stany Zjednoczone) zaobserwował poligony wykształcone w cienkoławicowych łupkach triasowych. Istnieją przesłanki, że są to struktury związane z pierwotnymi klinami lodowymi. Wypełnienie klinów stanowią najczęściej mułki piaszczyste, które powodują intensywniejszy wzrost pszenicy, lucerny, koniczyny, soi oraz trawy na koszonych polach (np. polach golfowych, w parkach).

Techniki teledetekcyjne przydatne w wykrywaniu kopalnych struktur peryglacialnych stosunkowo kompleksowo opisał Svensson (1982). Opublikowane przez niego informacje pochodzą z kwestionariusza rozсланego do 124 różnych instytucji i naukowców w 22 krajach. Odpowiedzi nadesłało 37 respondentów, co pozwoliło mu sformułować następujące wnioski. Zdjęcia pionowe umożliwiają kartowanie zasięgu występowania tych struktur i dokładne pomiary morfometryczne. Zdjęcia te zwykle jednak są wykonywane w celach niezwiązanych z geomorfologią peryglacialną, zatem często w niedogodnej porze roku lub w niedogodnej skali. Niekiedy w celu identyfikacji poligonów kopalnych (poprzez zaobserwowanie znaczników roślinnych) wykonuje się zdjęcia ukośne ręcznym aparatem przy zastosowaniu migawki 1/125 - 1/250 i wysokości nalotu 150-250 m. Użyty film zwykle jest czarno-biały, panchromatyczny, rzadziej kolorowy. Niekiedy używa się filmu uczulonego na bliską podczerwień. Struktury poligonów najlepiej są widoczne, gdy znacznikiem roślinnym jest głęboko zakorzeniające się zborze.

W następnych latach ukazała się praca Maizels (1986), dotycząca m.in. poligonów widocznych na zdjęciach lotniczych z Anglii i południowej Szwecji, praca Johnsona (1990), który opisał poligony widoczne na zdjęciach ze środkowej części amerykańskiego stanu Illinois, oraz Waltersa (1994), opisującego poligony widoczne na zdjęciach ze stanu Iowa. Poligony te interpretowane są jako pseudomorfozy po klinach lodowych wykształconych w lessach i diamiktonach glacialnych z ostatniego zlodowacenia.

Wiek opisywanych poligonów mrozowych określa się na ostatnie zlodowacenie (Williams, 1964), jego kulminację (Christensen, 1974; Walters, 1978, 1994) lub schyłek (Morgan, 1971; Maizels, 1986; Johnson, 1990; Walters, 1994), choć w niektórych przypadkach nie wyklucza się wieku starszego, odpowiadającego zlodowaceniu warty (Williams, 1964).

Prace polskie

Jedną z pierwszych prac dotyczących wykorzystania zdjęć lotniczych do identyfikacji kopalnych klinów mrozowych przeprowadzili Bogdański i Kijowski (1990). Pod koniec czerwca i lipca 1983 r., po okresie wiosennej suszy, nad miejscowościami Sulejewo i Grabia-

nowo (okolice Poznania) wykonano pionowe zdjęcia lotnicze w skali 1: 5000 i 1: 10000 wykorzystując filmy panchromatyczny i kolorowy. Na zdjęciach przedstawiających pola zajęte pod uprawy lucerny i jęczmienia uwidoczniły się sieci poligonów należących do dwóch generacji spękań, pierwsza dająca poligony o średniej długości boków 15,2 m i druga 3,95 m. Sfotografowane poligony powstały w glinie zwałowej fazy leszczyńskiej stadiału głównego ostatniego zlodowacenia. W wykopach stwierdzono, że ok. 60 cm pod powierzchnią ziemi uwidaczniają się szerokie na ok. 70 cm górne części klinów mrozowych z drobnym piaskiem, stanowiącym ich pierwotne wypełnienie.

Badania te rozwinął Kozarski (1993, 1995), który poligony mrozowe udokumentował dodatkowo na zdjęciach lotniczych wykonanych po okresie suchej wiosny w czerwcu 1992 r. w pasie o szerokości 25 km i długości 60 km na południe od Poznania, między liniami maksymalnego zasięgu ostatniego zlodowacenia a jego fazą poznańską, czyli w tym samym rejonie, co Bogdański i Kijowski (1990). Na pionowych fotografiach wykonanych w skalach 1:1000, 1:2500, 1:5000 i przy zastosowaniu filmu kolorowego odkryto poligony w rejonie wsi: Dormowo, Czarnów, Włoszakowice, Dobczyn Książa, Gądky, Gorzyczki, Pigłowice, Srocko, Winnagóra, Ceradz Kościelny, Brzoza oraz Sulejewo i Grabianowo. Długości boków zaobserwowanych poligonów były różne w zależności od generacji spękań i wynosiły od 3,3 m do 17,2 m. Sfotografowane poligony przedstawiają spękania w bazalnej glinie polodowcowej wypełnione piaskiem eolicznym. Górne części klinów mają szerokość do 80 cm i zaczynają się ok. 50 cm pod powierzchnią ziemi, nieco niżej kliny zwężają się do ok. 20 cm szerokości. Nad klinami zalega piaszczysta pokrywa ablacyjna, a niekiedy warstwa gliny zwałowej, która zamknęła się nad klinem w obrębie warstwy czynnej (Kozarski, 1995). Na niektórych fotografiach widoczne były poligony wykształcone w osadach fluwioglacjalnych (wieś Dormowo) i wówczas ich średnia średnica była większa, wynosiła ok. 20-30 m (Kozarski, 1995).

Wiek opisywanych przez Bogdańskiego i Kijowskiego (1990) oraz przez Kozarskiego (1993, 1995) poligonów mrozowych szacuje się na schyłek ostatniego zlodowacenia, kiedy ustępujący lądolód umożliwiał rozwój wieloletniej zmarzliny (od ok. 20 tys. lat BP aż do czasu starszego dryasu).

Poligony na Pojezierzu Kujawskim

Poligony mrozowe są często rejestrowane na zdjęciach lotniczych wykonanych do badań archeologicznych i mogą stanowić zbędne tło geologiczne, utrudniające interpretację obiektów antropogenicznych (Champion, 1980; Nowakowski i in., 2005). Dzięki życzliwości profesora archeologii W. Rączkowskiego autorzy tego artykułu dysponują lotniczymi ukośnymi kolorowymi fotografiami wykonanymi w latach 2000-2005 na Pojezierzu Kujawskim.

Na niektórych fotografiach widoczne są fragmenty sieci poligonów lub struktury ją przypominające. W celu potwierdzenia peryglacjalnej genezy poligonów należy wykopać transeje i udokumentować występowanie klinów mrozowych. Fotografie ukośne utrudniają zlokalizowanie się w terenie i wybranie odpowiedniego miejsca do robót ziemnych. Dowiązanie do mapy topograficznej jest szczególnie trudne, gdy fotografie obejmują niewielki obszar, bez charakterystycznych punktów odniesienia (zakręt drogi, rów melioracyjny, słup, studnia, kępa krzaków itp.). Kolejnym utrudnieniem jest obecność sączków drenarskich, które zwykle są zakopane na głębokości ok. 50 cm lub głębiej i dają na zdjęciach podobne linie jak boki poligonów. Sączki można jednak odróżnić ze względu na ich typowy prostoliniowy lub jodełkowy przebieg.

W wyniku dotychczas przeprowadzonych prac udało się potwierdzić peryglacjalne pochodzenie poligonów w miejscowościach Wielki Sławsk i Chełmiczki (okolice Kruszwicy). W obu miejscowościach kliny mrozowe wykształciły się w glinie zwałowej i wypełnione są piaskiem o genezie prawdopodobnie eolicznej. Wstępne wyniki analizy obtoczenia i zmatowienia ziaren kwarcowych pobranych z wypełnień klinów wskazują na bardzo dużą eolizację, zatem litologicznie przypominają struktury opisane przez Bogdańskiego i Kijowskiego (1990) oraz Kozarskiego (1993, 1995).

W Wielkim Sławsku górne części klinów uwidaczniają się bezpośrednio pod poziomem próchnicznym gleby (na głębokości ok. 60 cm) i mają początkową szerokość 60-30 cm. Górne lejkowato rozszerzające się partie klinów są wypełnione piaskiem oraz bryłami gliny, co może być zapisem procesów w obrębie powiększającej się warstwy czynnej lub też pęknięcia ziemi wzdłuż różnych równoległych i blisko siebie biegnących linii.

W Chełmiczkach odkryte w wykopach kliny zaczynają się dopiero na głębokości 110 cm i mają szerokość 35-15 cm. Od górnych części klinów kontynuują się ku powierzchni ziemi wąskie szczeliny wypełnione spieczoną gliną, które biegną ukośnie do powierzchni gruntu przecinając nadległą warstwę gliny. Prawdopodobnie świadczą one o głębokości warstwy czynnej. Możliwe jest, że piasek wypełniał szczeliny z kontrakcji termicznej nie w pełni, co umożliwiło zamknięcie się klina nad stropem wieloletniej zmarzliny.

Opisane poligony mrozowe wykształciły się na glinie morenowej zdeponowanej między fazą poznańską a subfazą chodzieską, czyli między 18,8 tys. a 17,7 tys. lat BP (Kozarski, 1995), a zatem mogły zacząć się rozwijać ok. 1,2 tys. lat później niż poligony opisane przez Bogdańskiego i Kijowskiego (1990) oraz Kozarskiego (1993, 1995). Ich obecność potwierdza istnienie wieloletniej zmarzliny na obszarach uwalnianych spod lądolodu skandynawskiego oraz stosunkowo długi okres utrzymywania się warunków peryglacjalnych na młodoglacjalnym obszarze Pojezierza Wielkopolskiego (Kozarski, 1995).

Podsumowanie

Od ponad 40 lat zdjęcia lotnicze są wykorzystywane do identyfikacji kopalnych poligonów mrozowych w Europie Zachodniej i w Stanach Zjednoczonych. W Polsce struktury te wykryto w ośrodku poznańskim na podstawie zdjęć wykonanych w 1983 i 1992 roku. Dalsze prace geomorfologów nad wykorzystaniem zdjęć lotniczych do identyfikacji i rozpoznania poligonów mrozowych w Polsce nie są autorem tego artykułu znane. Istniejąca okazja do współpracy z archeologami wydaje się zatem bardzo cenna.

Identyfikacji i skartowaniu kopalnych poligonów mrozowych na zdjęciach lotniczych sprzyjają następujące elementy:

- minimum dwutygodniowy okres o niskich opadach atmosferycznych poprzedzający wykonanie zdjęć;
- istotna różnica w uziarnieniu między osadem wypełniającym kliny a osadem, w którym szczeliny się wykształciły (wykształcone w glinie zwałowej epigenetyczne kliny z pierwotnym wypełnieniem piaszczystym);
- względnie młody wiek szczelin mrozowych (ostatnie zlodowacenie) i ich płytkie występowanie (tuż pod glebą);

- dojrzewająca uprawa jęczmienia, owsa, lucerny;
- pionowe zdjęcia wykonane w wystarczająco dużej skali (możliwość dobrego skartowania).

Duże powierzchnie poligonów mrozowych wykształcają się zwykle na terenach równinnych (French, 1996). Dla warunków polskich najkorzystniejsze są zatem fotografie lotnicze przedstawiające pola orne założone na równinnych lub lekko falistych powierzchniach moreny dennej z ostatniego zlodowacenia. Warunki te najczęściej są spełnione na Pojezierzu Wielkopolskim i Dobrzyńskim. Kopalne poligony najlepiej uwidaczniają się na zdjęciach wykonanych wczesnym latem po okresie suchej wiosny.

Podziękowania

Autorzy pragną podziękować prof. Włodzimierzowi Rączkowskiemu z Instytutu Prahistorii UAM za udostępnienie zdjęć lotniczych oraz mgr Annie Miturze za pomoc w pracach terenowych.

Literatura

- Bogdański P. Kijowski A., 1990, Photointerpretation of geometry of Vistulian ice-wedge polygons: the Grabianowo and the Sulejewo sites, south of Poznań. *Quaestiones Geographicae*, 11/12 (1985/1986).
- Champion S., 1980, *A dictionary of Terms and Techniques in Archeology*. Phaidon.
- Christensen L., 1974, Crop-marks revealing large-scale patterned ground structures in cultivated areas, southwestern Jutland, Denmark. *Boreas*, 3.
- French H.M., 1996, *The Periglacial Environment*. Longman, Singapore.
- Goździk J., 1973, Geneza i pozycja stratygraficzna struktur peryglacjalnych w środkowej Polsce. *Acta Geographica Lodziensia*, 31.
- Jahn A., 1970, *Zagadnienia strefy peryglacjalnej*. PWN, Warszawa.
- Johnson W.H., 1990, Ice-wedge Cast and Relict Patterned Ground in Central Illinois and Their Environmental Significance. *Quaternary Research*, 33.
- Kozarski S., 1995, Deglacjacja północno-zachodniej Polski: warunki środowiska i transformacja geosystemu (20 KA - 10 KA BP). *Dokumentacja Geograficzna 1*, IGiPZ PAN, Wrocław.
- Kozarski S., 1993, Late Plenivistulian deglaciation and the expansion of the periglacial zone in NW Poland. *Geologie en Mijnbouw*, 72.

- Maizels J., 1986, Frequency of relict frost-fissure structures and prediction of polygon pattern, a quantitative approach. *Biuletyn Peryglacjalny*, 30.
- Morgan A.V., 1971, Polygonal Patterned Ground of Late Weichselian Age in the Area North and West of Wolverhampton, England. *Geografiska Annaler*, 53 A (3-4).

- Nowakowski J., Prinke A., Rączkowski W., 2005, Biskupin... i co dalej? Zdjęcia lotnicze w polskiej archeologii. Instytut Prahistorii UAM, Ośrodek Ochrony Dziedzictwa Archeologicznego, Muzeum Archeologiczne w Biskupinie, Poznańskie Towarzystwo Prehistoryczne, Poznań.

- Shotton F.W., 1960, Large scale patterned ground in the valley of the Worcestershire Avon. *Geological Magazine*, 97.

- Svensson H., 1982, The use of aerial photographs and remote sensing techniques in research on fossil periglacial features. *Biuletyn Peryglacjalny*, 29.

- Svensson H., 1964, Aerial photographs for tracing and investigating fossil tundra ground in Scandinavia. *Biuletyn Peryglacjalny*, 14.

- Walters J.C., 1994, Ice-Wedge Cast and Relict Polygonal Patterned Ground in the North-East Iowa, USA. *Permafrost and Periglacial Processes*, 5.

- Walters J.C., 1978, Polygonal Patterned Ground in Central New Jersey. *Quaternary Research*, 10.

- Washburn A.L., 1973, *Periglacial processes and environments*. Arnold. London.

- Williams R.B.G., 1964, Fossil patterned ground in eastern England. *Biuletyn Peryglacjalny*, 14.