



UNIwersytet
MIKOŁAJA KOPERNIKA
W TORUNIU



UNIwersytet
MIKOŁAJA KOPERNIKA
W TORUNIU
Wydział Nauk o Ziemi

STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
SUMMARY OF DOCTORAL THESIS

Marcin Sobiech

**Geomorfologia i formowanie glacialnych stożków
sandrowych w świetle analiz GIS**

*Geomorphology and formation of glacial outwash fans
based on GIS analysis*

Promotor: prof. dr hab. Wojciech Wysota

Toruń 2018

Streszczenie

Stożki sandrowe stanowią powszechnie wskazywany element ukształtowania powierzchni obszarów sandrowych. Dotychczasowe badania współczesnych i plejstocenijskich sandrów, dotyczyły ogólnej morfologii form, wykształcenia facjalnego osadów oraz procesów ich depozycji. Brak szczegółowych opracowań dotyczących ukształtowania powierzchni i cech morfologicznych sandrów, a w szczególności stożków sandrowych, skłoniły autora do podjęcia badań ukierunkowanych na określenie cech morfometrycznych stożków oraz wskazanie potencjalnych mechanizmów powstawania tychże form. Większość udokumentowanych na terenie Polski stożków sandrowych zgrupowana jest w regionie wielkopolsko-kujawskim, pojedyncze obiekty występują na Pomorzu i Mazurach. Udokumentowane stożki, wskazują że ich występowanie związane jest przede wszystkim postojem czoła lądolodu i wpływami wód roztopowych podczas fazy poznańskiej, a rzadziej leszczyńskiej i pomorskiej.

Celem pracy jest rozpoznanie, określenie cech morfometrycznych oraz wskazanie potencjalnych mechanizmów formowania się stożków sandrowych w obszarze młodoglacjalnym północnej Polski w oparciu o ich zapis geomorfologiczny i ukształtowanie powierzchni. W celu realizacji tak postawionego głównego zadania badawczego określono następujące cele szczegółowe:

- a) rozpoznanie obszaru zasięgu ostatniego lądolodu w północnej Polsce pod kątem występowania potencjalnych stożków sandrowych,
- b) analiza wybranych stożków sandrowych pod kątem ich cech morfometrycznych,
- c) klasyfikacja stożków sandrowych na podstawie wybranych parametrów morfologiczno-morfometrycznych,
- d) typologia morfogenetyczna stożków sandrowych,

procesy formowania się stożków sandrowych oraz ich dyskusja w kontekście stożków aluwialnych i sandrów plejstocenijskich.

Dotychczasowy stan badań nad stożkami sandrowymi oraz brak jasnej definicji dały podstawę do sformułowania kilku hipotez badawczych, które starano się zweryfikować w toku niniejszej pracy:

- a) Plejstocenijskie stożki sandrowe to stożki aluwialne.
- b) Plejstocenijskie stożki sandrowe charakteryzują się podobnymi parametrami morfometrycznymi.
- c) Morfologia stożków sandrowych jest zróżnicowana w zależności od typu zasilającego je tunelu subglacjalnego (R lub N).
- d) Stożki sandrowe w plejstocenie formowały się w wyniku wielokrotnych wpływów subglacjalnych wód roztopowych.
- e) Plejstocenijskie stożki sandrowe były kształtowane przez wysokoenergetyczne wpływy subglacjalnych wód roztopowych.

Do realizacji tak zdefiniowanych celów i weryfikacji postawionych hipotez badawczych, wykorzystano odpowiednie źródła danych oraz zastosowano szeroki wachlarz metod i procedur badawczych, które omówiono w kolejnym rozdziale. W obrębie wytypowanych 16 poligonów testowych, opracowano mapy rzeźby terenu oraz powierzchniowej budowy geologicznej, na bazie których wykonano szczegółowe kartowanie ukształtowania powierzchni terenu oraz określono szczegółowe parametry morfometryczne dla 18 zidentyfikowanych stożków sandrowych.

Na podstawie przedstawionych w pracy wyników badań nad geomorfologią i formowaniem glacialmarginalnych stożków sandrowych w świetle analiz GIS sformulowano wnioski dotyczące występowania, cech morfometrycznych oraz genezy stożków sandrowych oraz analizy morfometrycznej i kartowanie stożków sandrowych z zastosowaniem narzędzi GIS. W oparciu

o analizę ukształtowania powierzchni terenu stref marginalnych w Polsce, potwierdzono występowanie wskazywanych w literaturze stożków sandrowych oraz udokumentowano nieznane dotąd stożki sandrowe. Prowadzone badania wykazały podobieństwo cech morfologicznych i możliwych do porównania cech morfometrycznych stożków sandrowych i stożków aluwialnych. Przedstawione w pracy cechy pozwalają traktować stożki sandrowe jako specyficzny typ stożków aluwialnych, kształtowanych w warunkach glacialnych. Na podstawie wyników analizy geomorfologicznej wydzielono dwa typy stożków: stożki sandrowych właściwe i stożki przejściowe. Geometria kanału zasilającego oraz ukształtowanie powierzchni w strefie proksymalnej dały podstawy do wydzieleniu podtypów stożków właściwych zasilanych przez tunele subglacjalne typu N, typu R lub szczeliny w obrębie czoła lądolodu, powstałe po degradacji tunelu typu R. Średnia powierzchnia stożka sandrowego w Polsce wynosi około 27 km² i waha się od 2 do ponad 80 km². Formy sklasyfikowano pod względem wielkości na stożki duże (> 50 km²), średnie (10-50 km²) i małe (< 10 km²). Średnie nachylenie profilu podłużnego stożków sandrowych wynosi 0,20°. Największym spadek profilu stwierdzono w obrębie stożków średnich (0,22°) i dużych (0,18°), najmniejszy zaś w przypadku stożków małych (0,13°). Większość stożków sandrowych cechuje się wypukłym pokrojem zarówno w profilu podłużnym jak i poprzecznym. Szczegółowa analiza rzeźby terenu pozwoliła określić granice stref morfologicznych w obrębie stożków sandrowych. Ustalono, że strefa proksymalna, cechująca się największym różnicowaniem rzeźby terenu, obejmuje około 30% długości średniego promienia stożka licząc od nasady formy. Stożki sandrowe zasilane wyłącznie przez tunele typu N, cechują się większą powierzchnią oraz większym zróżnicowaniem ukształtowania powierzchni niż stożki utworzone u wylotu tuneli typu R. W obrębie stożków sandrowych jak i w ich bezpośrednim sąsiedztwie udokumentowano formy (*obstacle marks, megadunes rimmed-kettle*) wskazujące na udział wysokoenergetycznych (katastrofalnych) przepływów wód roztopowych przed czołem lądolodu. Cechy geomorfologiczne stożków sandrowych wskazują, że ich tworzenie mogło być związane z zmienną aktywnością lądolodu oraz zróżnicowaną dynamiką drenażu subglacjalnych wód roztopowych na linii tuneli typu N, a w czasie zaniku lądolodu także typu R.

Szeroki zakres zastosowanych metod i parametrów do analizy rzeźby terenu, umożliwił bardzo szczegółowe rozpoznanie cech morfometrycznych plejstocęńskich stożków sandrowych. Opracowane i dołączone do pracy algorytmy obliczania poszczególnych parametrów, pozwalają na zastosowanie ich do badań innych form ukształtowania powierzchni terenu, nie tylko na obszarach polodowcowych. Wykorzystanie wysokorozdzielczych danych wysokościowych (LiDAR) pozwoliło rozpoznać nowe formy ukształtowania powierzchni w obrębie stref marginalnych ostatniego zlodowacenia: radialny i skomplikowany układ form w proksymalnych częściach stożków sandrowych, megadiuny, wytopiska pierścieniowe, ślady opływania, doliny proglacjalne i odsypy korytowe na ich dnie, pogrzebane rynny i tunele subglacjalne, rzeźbę typu *hummocky/dead-ice moraine*, formy typu GCL oraz enigmatyczne struktury szczelin powierzchniowych. Zastosowanie wskaźnika TPI pozwoliło na szczegółowe kartowanie powierzchni stożków sandrowych pod kątem występowania form pozytywnych i negatywnych. Wykazano dużą przydatność tej metody podczas analiz ukształtowania powierzchni terenu. Opracowano półautomatową metodę analizy orientacji rzeźby terenu w oparciu o najdłuższe osie form wypukłych i wklęsłych, wykluczając czynnik subiektywizmu obecny podczas wizualnej analizy lineamentów. W oparciu o szczegółową analizę nachylenia i geometrii profilu podłużnych i poprzecznych udokumentowano wewnętrzne zróżnicowanie nachylenia i geometrii stożków sandrowych. Rozwinięto metody oceny poziomej lub pionowej zmienności rzeźby terenu, bazujące na kurtozie nachylenia terenu i wskaźniku zróżnicowania ekspozycji terenu.

Summary

Outwash fans constitute a commonly indicated element of topographical reliefs of sandur areas. The current research on contemporary and Pleistocene sandurs have related to general morphology of forms, facial development of sediment and sediment deposition processes. Absence of detailed studies relating to topographical relief and morphological characteristics of sandurs and, in particular sandur fans, have made the author to undertake research oriented on determination of morphometric characteristics of outwash fans and indication of potential mechanisms of formation of the forms. Most of sandur fans documented in the territory of Poland can be found in the region of Greater Poland [*Wielkopolska*] and Kuyavia [*Kujawy*] and single objects can be found in Pomerania [*Pomorze*] and Masuria [*Mazury*]. The documented fans indicated that their occurrence is connected, above all, with glacier front stopping and flows of melting waters during the Poznan stage and, more rarely, the Leszno and Pomeranian stage.

The aim of this thesis is to identify, determine morphometric characteristics and indicate potential mechanisms of formation of outwash fans in the young glacial area of northern Poland as based on geomorphological records and topographical relief of the same. In order to realize the research task, the following detailed aims have been determined:

- e) identification of the range area of the last glacier in northern Poland with respect to occurrence of potential sandur fans,
- f) analysis of selected outwash fans with respect to their morphometric characteristics,
- g) classification of outwash fans as based on selected morphological and morphometric parameters,
- h) morphogenetic typology of outwash fans,

processes of formation of fans and discussion concerning the same in the context of alluvial fans and Pleistocene sandurs.

The current research on outwash fans and absence of a clear definition have constituted a basis for formulation of several research hypotheses, which the author of this thesis have attempted to verify:

- f) Pleistocene outwash fans are alluvial fans.
- g) Pleistocene outwash fans are characterized by similar morphometric parameters.
- h) Morphology of outwash fans is diversified, depending on a type of fans feeding subglacial tunnel (R or N).
- i) In Pleistocene outwash fans were formed as a result of multiple flows of subglacial melting waters.
- j) Pleistocene outwash fans were developed by high-energy flows of subglacial melting waters.

In order to accomplish such defined aims and verify the research hypotheses, the author have used appropriate sources and applied a wide range of methods and research procedures. Within 16 test fields, the author have developed maps of topographical relief and geological structure of the area, which have been used as a basis for detailed mapping of the topographical relief and detailed morphometric parameters for 18 identified outwash fans have been determined.

Based on results of research on geomorphology and formation of glaciomarginal outwash fans in the light of GIS analysis, the author have formulated conclusions relating to occurrence, morphometric characteristics and genesis of outwash fans as well as morphometric analysis and mapping of outwash fans with the use of GIS tools. Based on the analysis of topographical relief of marginal zones in Poland, the author have confirmed occurrence of sandur zones as referred to in the literature and documented unknown outwash fans. The research has shown similarity of morphological characteristics and comparable morphometric characteristics of outwash fans and

alluvial fans. The characteristics presented in this thesis allow for treatment of outwash fans as a specific type of alluvial fans developed in glacial conditions. Based on results of the geomorphological analysis, the author have distinguished between two types of fans, namely typical outwash fans and transitional outwash fans. The geometry of a subglacial feeding tunnel and topographical relief in the proximal zone constitutes grounds for distinguishing between subtypes of proper fans fed by N type subglacial tunnels, R type subglacial tunnels or fissures or crevasses within the glacier front resulting from degradation of R type of tunnels. The average area of a outwash fans in Poland is about 27 km² and oscillates from 2 to more than 80 km². The forms have been classified with respect to their height into large fans (> 50 km²), average fans (10-50 km²) and small fans (< 10 km²). The average inclination of the longitudinal profile of sandur fans is 20°. The largest slope of the profile was found within middle fan (0,22°) and large fan (0,18°), whereas the smallest slope was found in small fans (0,13°). Most of the outwash fans are characterized by a convex cross-section both as regards the longitudinal and transverse profile. The detailed analyses of topographical relief allowed for determination of borders of morphological zones within outwash fans. It has been established that a proximal zone characterized by diversified topographical relief, covers about 30% of length of an average fan radius counting from the form base. Outwash fans are fed by N type tunnels exclusively and are characterized by greater area and greater diversification of topographical relief as compared to fans formed at the outlet of R type tunnels. Both within outwash fans and in their direct vicinity the author have documented forms (obstacle marks, megadunes, rimmed-kettles) indicating a share of high-energy (catastrophic) flows of melting waters in front of the glacier front. Geomorphological characteristics of outwash fans indicate that their formation could be connected with variable activity of a glacier and diversified dynamics of drainage of subglacial melting waters along N type tunnels and, in the period of decay of the glacier, also T type tunnels.

The wide range of methods and parameters used for analysis of topographical relief made it possible to identify morphometric characteristics of Pleistocene outwash fans in details. Algorithms of calculation of particular parameters as developed and attached to this thesis allow for use of the same for research on other forms of topographical relief and not only on postglacial areas. The use of high-resolution height data (LiDAR) made it possible to identify new forms of topographical relief within marginal zones of the last glaciation: a radial and complicated system of forms in proximal parts of outwash fans, megadunes, rimmed-kettles, obstacle marks, proglacial valleys and channel bars at the bottom of the valleys, buried tunnels and subglacial tunnels, *hummocky/dead-ice moraine type relief*, GCL type forms and enigmatic structures of surface fissures. The use of TPI index allowed for detailed mapping of the area of outwash fans with respect to occurrence of positive and negative forms. The author have shown a high usefulness of the method during analyses of topographical relief. They have developed a semi-automatic method of analysis of orientation of topographical relief as based on the longest axes of convex and concave forms, excluding a subjective factor present during visual analyses of lineaments. Based on the detailed analyses of inclination and geometry of longitudinal and transverse profiles, the author have documented internal diversification of inclination and geometry of outwash fans. They have developed methods of horizontal or vertical evaluation of variability of topographical relief as based on kurtosis of inclination of the terrain and terrain exposure diversification index.