

Tomasz Kalicki¹ • Cyryl Konstantinovski Puntos² • Jani Konstantinovski Puntos³ ⁽¹⁾ Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Instytut Geografii i Nauk o Środowisku, Zakład Geomorfologii i Geoarcheologii⁽²⁾ Szkoła Doktorska Nauk Społecznych Uniwersytetu Jagiellońskiego, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej⁽³⁾ Badacz niezależny

E-mail: tomaszkalicki@ymail.com

Analiza morfometryczna stożka napływowego Kouris (południowy Cypr) – studium porównawcze metody wizualnej i GIS

Morphometric analysis of the Kouris alluvial fan (S Cyprus) – a comparative study of visual and GIS method

Zarys treści

Celem opracowania było przetestowanie i porównanie dwóch metod: wizualnej (manualnej) i komputerowej GIS (zautomatyzowanej) przy wydzielaniu spłaszczeń w obrębie monotonnej równiny stożka napływowego Kouris w południowej części Cypru. Obie metody bazują na analizie Numerycznego Modelu Terenu (NMT). Przy dostępnej rozdzielczości (90 i 25 m), powierzchnie wyznaczone manualnie są bardziej precyzyjne niż te wytyczone automatycznie. Średnia zgodność dla większości wydzieleni (¾), wykonanych obiema metodami zamyka się w przedziale 35–47%. Obie metody wykazały wewnętrzne zróżnicowanie morfologii stożka napływowego Kouris. Kształt stożka powoduje, że najszerszymi strefami i jednocześnie z najwyższą liczbą spłaszczeń są te położone najbliżej morza. Jednak na zachód od rzeki znajduje się więcej powierzchni płaskich i są one większe niż we wschodniej części. Może to być wynikiem ewolucji tej formy i zmienności akumulacji na różnych pobocznicach stożka, a także zazębianiem się tej głównej formy Kouris z mniejszymi stożkami cieków rozcinających węglanowy płaskowyż.

Słowa kluczowe Cypr, Kouris, rzeźba, stożek napływowy, GIS.

Abstract

The aim of the study was to test and compare two methods: visual (manual) and computer GIS (automated) for the separation of flat areas within the monotonous plain of the Kouris alluvial fan in the southern part of Cyprus. Both methods are based on the analysis of the Digital Elevation Model (DEM). At the available resolution (90 and 25 m), the areas determined manually are more precise than those determined automatically. The average compliance of the results for most of the divisions (¾) made with both methods is in the range of 35–47%. Both methods showed internal differentiation of the morphology of the Kouris alluvial fan. The shape of the alluvial fan means that the widest zones with the greatest number of flat areas are those closest to the sea. However, there are more flat areas on the west of the river and they are larger than in the eastern part. This may be the result of the evolution of this form and the variability of accumulation on different sides of the fan, as well as the overlap of this main Kouris form with smaller stream fans dissecting the carbonate plateau.

Keywords Cyprus, Kouris, relief, alluvial fan, GIS.

1. Wprowadzenie

Analiza wizualna map hipsometrycznych w celu wydzielenia spłaszczeń o różnej genezie i stoków była stosowana przez geomorfologów przez ostatnie 100 lat, od momentu wprowadzenia w kartografię metody przedstawiania rzeźby terenu za pomocą izolinii. W ostatnim czasie wprowadzenie systemów GIS dało możliwość zautomatyzowania tego typu morfometrycznej analizy ukształtowania powierzchni. Skuteczność obu metod jest w znacznym stopniu uzależniona od stopnia urozmaïcenia i charakteru morfologii, deniwelacji, występowania załomów *etc.*, a największe trudności występują w obszarach równin-

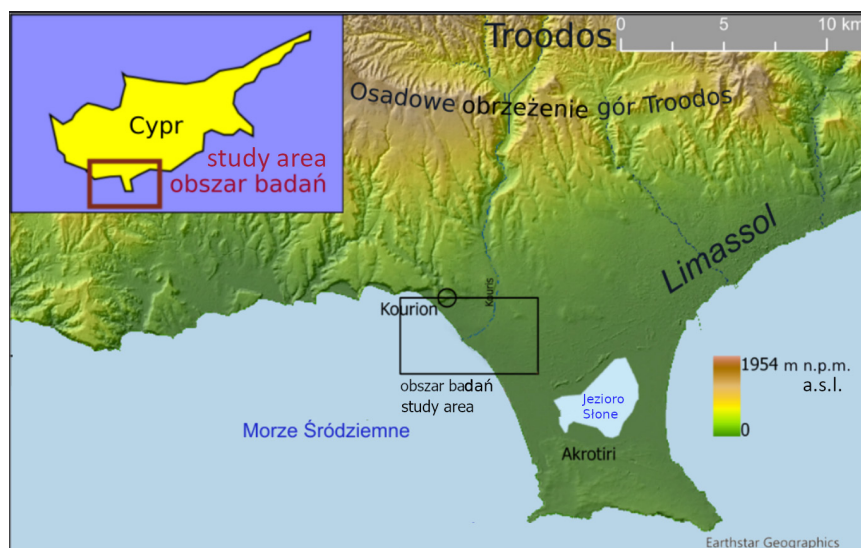
nych i słabo zróżnicowanych. Dlatego w celu przetestowania i porównania obu metod wybrano do analizy bardzo słabo nachylony i monotonny stożek napływowy Kouris na południowym Cyprze.

2. Położenie i morfologia

Cypr położony jest we wschodniej części Morza Śródziemnego, w strefie obdukcji na styku dwóch płyt litosferycznych (anatolijskiej i afrykańskiej) (Harrison i in. 2008) (rys. 1, 2). Powoduje to dużą aktywność tektoniczną obszaru, liczne trzęsienia ziemi (Evelpidou 2023) oraz ruchy wypiętrzające, zaznaczające się w morfologii wybrzeży

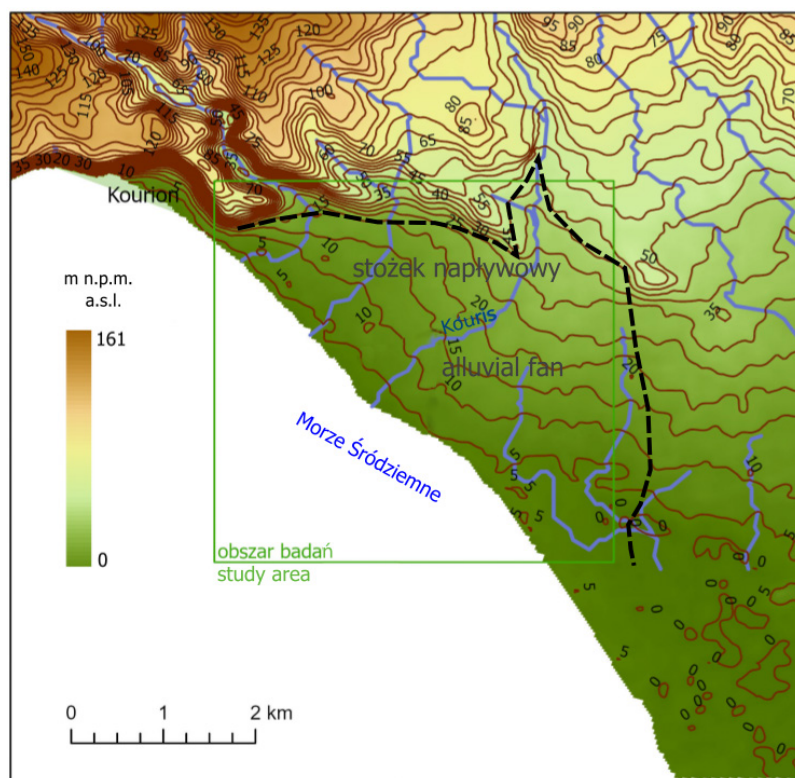
wyniesionymi terasami morskimi. Jednak obszar w rejonie Limassol (Lemesos), w południowej części Cypru, w przeciwieństwie do innych odcinków wybrzeża wyspy, jest bardzo słabo wypiętrzany – 0,02 mm/rok, co wynika z analizy wysokości plejstocénskich teras morskich z okre-

su od MIS 7 (Zomeni 2012). Szczegółowa analiza wahań poziomu morza w ostatnich 2500 latach, oparta o wyniki badań na półwyspie Akrotiri, wskazuje na to, że zawierają się one w przedziale od $-1,15 \pm 0,13$ m (2150 BP) do $+0,5$ m (770 BP) (Polidorou i in. 2021) (rys. 3).



Rys. 1. Mapa hipsometryczna wykonana tzw. metodą klasyczną i oparta na Numerycznym Modelu Terenu NMT (oprac. na podstawie misji SRTM) południowego Cypru. Granica osadowego obrzeżenia gór Troodos (*Circum Troodos Sedimentary Succession*) według Cohena i in. (2012)

Fig. 1. Hipsometric map made classical method and based on the Digital Elevation Model (DEM developed on the basis of the SRTM mission) of southern Cyprus. The boundary of the sedimentary margin of the Troodos Mountains (*Circum Troodos Sedimentary Succession*) according to Cohen *et al.* (2012)

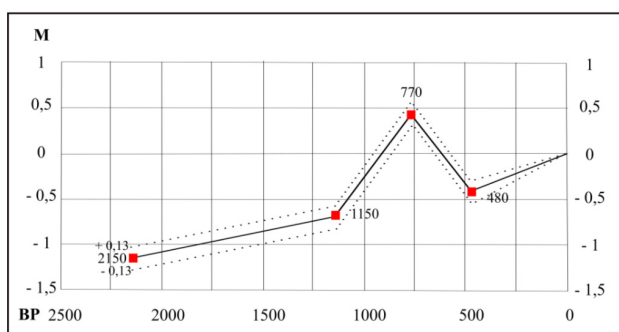


Rys. 2. Mapa hipsometryczna obszaru badań (oprac. na podstawie NMT misji ALOS 2). Granicę stożka napływowego Kouris zaznaczono linią przerywaną

Fig. 2. Hipsometric map of the study area (DEM developed on the basis of the ALOS 2 mission). The boundary of the Kouris alluvial fan is marked with a dashed line

Zlewnia Kouris obejmuje dwie najważniejsze jednostki geologiczne tej części Cypru. Źródła rzeki znajdują się w górach Troodos, należących do późnokredowego kompleksu ofiolitowego (*pre-Campanian Troodos Ophiolite*), które zbudowane są z różnorodnych zasadowych i ultrazasadowych skał magmowych (bazaltów, dajek diabazowych, gabr, piroksenitów, harzburgitów i in.) i metamorficznych. Dalej ciek przecina skały osadowe obrzeżenia

tych gór (*Circum Troodos Sedimentary Succession*), rozcinając wąski pas formacji paleoceńsko-oligocénskich (Lefkara, Kalogrea-Ardana, Lapithos), a później szeroką strefę miocénskich formacji Pakhna (margle, kreda) i Kalavassos (gipsy). Przed ujściem do Morza Śródziemnego, po wylocie z głęboko wciętej w płaskowyż węglanowy doliny, rzeka tworzy rozległy stożek napływowy/deltę (rys. 1, 2).



Rys. 3. Wahania poziomu morza na Płw. Akrotiri (Polidorou i in. 2021)

Fig. 3. Sea level fluctuations on the Akrotiri Peninsula (Polidorou *et al.* 2021)

Stożek napływowy/delta Kouris ma długość około 2 km i szerokość wzdłuż wybrzeża Morza Śródziemnego około 5 km (Kalicki i in. 2022a, b). W zachodniej części zazębiają się z nim niewielkie stożki u wylotu dolin rozcinających węglanowy płaskowyż. Wszystkie one tworzą rozległą równinę pomiędzy węglanowym obrzeżeniem Gór Troodos, z antycznym miastem Kourion na jego krawędzi a Limassol (Lemesos) i półwyspem Akrotiri (rys. 1, 2).

Stożek budują, prawdopodobnie plejstoceny (Dutton 2002), aluwia żwirowo-piaszczyste. Na mapie wyniesionych teras morskich objęty jest w całości wydzieleniem oznaczającym wiek MIS 11-7, czyli 424–243 tys. lat temu (Zomenia 2012). Jego plejstoceny mogą sugerować również wyniki badań nad aluwacją w pobliskiej, położonej na zachód dolinie Ezousas. Stwierdzono w niej dwie główne fazy aktywności fluwialnej datowane na 75–48 ka oraz 25–13 ka i wyraźny jej spadek w holocen (Kalicki i in. 2021).

W czasie prospekcji terenowej w październiku 2021 r. stwierdzono na stożku obecność skalistych ostańców erozyjnych otoczonych osadami fluwialnymi (rys. 4), a na jego powierzchni szereg okresowych koryt roztokowych (rys. 5).



Rys. 4. Skalisty ostaniec erozyjny w obrębie stożka napływowego/delty Kouris (fot. T. Kalicki)

Fig. 4. Rocky erosional remnant within the Kouris alluvial fan/delta (photo by T. Kalicki)



Rys. 5. Koryto okresowe na stożku napływowym/delcie Kouris (fot. T. Kalicki)

Fig. 5. Periodical river channel on the Kouris alluvial fan/delta (photo by T. Kalicki)

W zachodniej, przybrzeżnej części stożek zazębia się z osadami kilkumetrowej wyniesionej terasy morskiej, na której poniżej antycznego Kourion zbudowano w V w. n.e. kompleks bizantyjskiej bazyliki.

W brzeżnej części stożka napływowego/delty (rys. 6) stwierdzono zazębianie się procesów i osadów litoralnych (brzegowych) i fluwialnych, gdyż suche koryta roztokowe w okresie jesiennym 2021 r. były zablokowane przez żwirowe wały sztormowe (rys. 7). Było to prawdopodobnie związane z przechwytywaniem całego przepływu rzeki przez sztuczny zbiornik Kouris, największy na Cyprze, zbudowany w latach 1984–1988 (rys. 8). Po zbudowaniu tamy powódzie poniżej zapory wystąpiły tylko trzykrotnie: 4.03.2004, 6.04.2012 i 7.01.2020 r. Wcześniej przepływy Kouris były prawdopodobnie w stanie corocznie odblokowywać ujścia koryt do Morza Śródziemnego, a cykl erozyjno-akumulacyjny na stożku wyglądał zupełnie inaczej i nawiązywał do naturalnego reżimu pluwialnego rzeki.



Rys. 6. Widok z Kourion na stożek napływowy/deltę Kouris w części przybrzeżnej (fot. T. Kalicki)

Fig. 6. View from Kourion towards the Kouris alluvial fan/delta in the coastal part (photo by T. Kalicki)



Rys. 7. Koryto okresowe na stożku napływowym/delcie Kouris zablokowane przez żwirowy wał sztormowy (fot. T. Kalicki)

Fig. 7. Temporary river channel on the Kouris alluvial fan/delta blocked by a gravel storm ridge (photo by T. Kalicki)

Monotonna rzeźba stożka/delty i rozległość formy uniemożliwiła skartowanie spłaszczeń i „czół” akumulacyjnych w terenie, co pozwoliłoby na określenie faz jego nadbudowy. Dlatego podjęto próbę wydzielenia takich sekwencji w oparciu o dane kartograficzne.

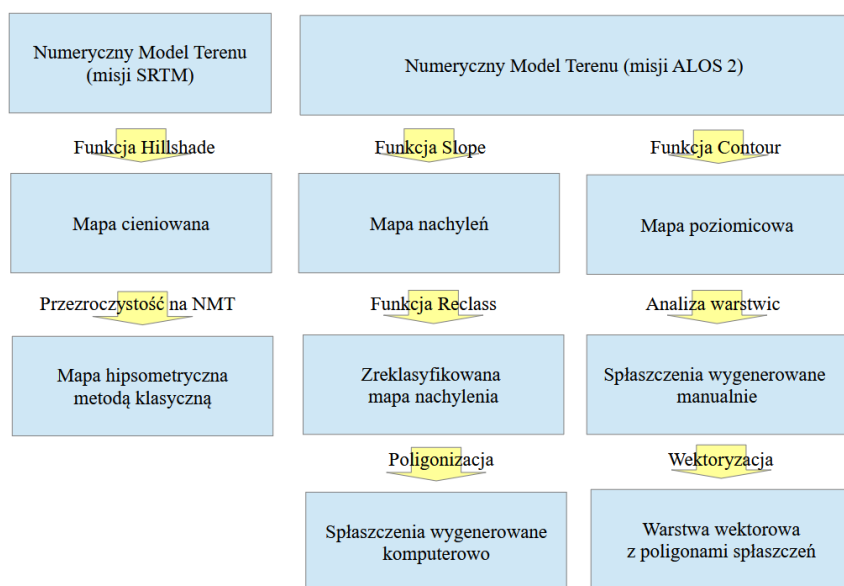


Rys. 8. Zbiornik zaporowy Kouris w obrębie węglanowego (osadowego) obrzeżenia (miocenijska formacja Pakhna) gór Troodos (fot. T. Kalicki)

Fig. 8. Kouris reservoir within the carbonate (sedimentary) margin (Miocene Pakhna Formation) of the Troodos Mountains (photo by T. Kalicki)

3. Metodyka

W analizach, przy opracowaniu map i wizualizacji rzeźby badanego terenu wykorzystano programy: GIS – ArcGIS Pro oraz QGIS (Christophe 2011) oraz kilka geoinformacyjnych danych źródłowych (rys. 9).



Rys. 9. Schemat algorytmu zastosowanych procedur geoinformacyjnych (oprac. C. Konstantinovski Puntos)

Fig. 9. Scheme of the algorithm of the geoinformatic procedures used in the article (by C. Konstantinovski Puntos)

Mapę hipsometryczną (wysokościową) (rys. 1) metodą klasyczną opracowano za pomocą Numerycznego Modelu Terenu (NMT) z misji SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Dane pozyskano ze strony CGIAR DEM (<https://bigdata.cgiar.org/srtm-90m-digital-elevation-database/>), jako zbiór informacji przetworzony na potrzeby nowej, ulepszonej wersji rastra pierwotnego. Rozdzielczość przestrzenna (wielkość pikseli) danych wynosi 90 m. Skorzystano z warstwy cieniowanej (funkcja *hillshade* z zastosowaną przezroczystością 50%, nałożonej na warstwę NMT) (por. Farmakis-Serebryakova, Hurni 2020).

Przyjęto domyślne wartości azymutu padania światła (315°) i kąt padania światła (45°) (por. Siwek, Wacławik 2015).

Do pozostałych analiz opracowano Numeryczny Model Terenu (NMT) (rys. 2) na podstawie danych z misji ALOS 2 (Advanced Land Observing Satellite-2) (Charalambos 2016; https://www.academia.edu/23922627/A_Digital_Elevation_Model_for_Cyprus_based_on_the_ALOS_2_W3D30_Digital_Surface_Model). Wielkość pikseli tego obrazu wynosi 25 m, co stanowi korzystniejszy zbiór danych niż raster SRTM.

Do programu ArcGIS Pro zaimplementowano mapę bazową (Basemap) na podstawie projektu OSM (Open Street Map). Stanowi ona tło w dalszych procedurach geoinformatycznych. W oparciu o mapę bazową wykonano wektoryzację lokalizacji miejscowości oraz starożytnego miasta Kourion.

Na podstawie NMT wygenerowano mapę warstwicową (funkcja *Contour* w ArcGIS Pro) z cięciem poziomowym 1 m (rys. 2), co pozwoliło na manualne wyznaczenie spłaszczeń na stożku i stokach. Na bazie modelu rastrowego (na bazie danych ALOS 2) utworzono mapę nachyleń (funkcja *Slope*) w 5 przedziałach (Wieczorek, Żyszkowska 2011). Obszary o nachyleniu od 0,0° do 0,6° uznano za względnie płaskie (por. Szypuła, Wieczorek 2010). Opracowaną ręcznie mapę nałożono na mapę nachyleń wykonaną w programie ArcGIS Pro. Zwektoryzowano oraz ponumerowano poszczególne poligony spłaszczeń oraz porównano powierzchnie wydzielone manualnie i komputerowo. Mapa posłużyła do dalszych etapów opracowania wizualizacji (por. Urbański 2012).

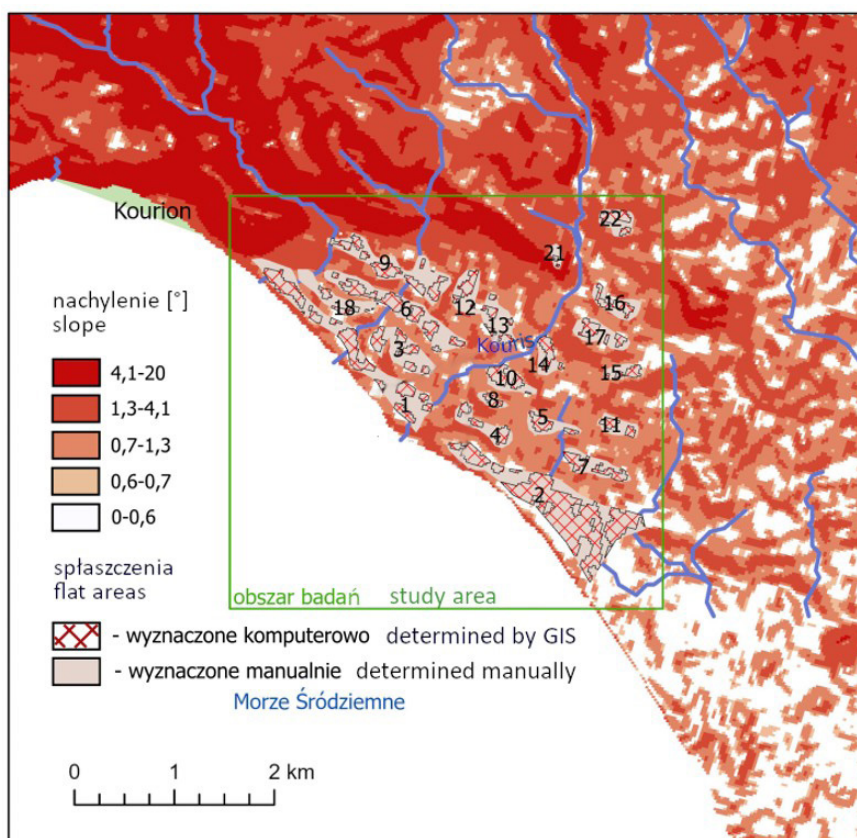
Następnie porównano dwie mapy spłaszczeń wygenerowane komputerowo i manualnie. Używając Statystyk Strefowych w QGIS obliczono zgodność poligonów wydzielonych obiema metodami. Uzyskano procentowe pokrycie obu wydzieleń (warstw). Powierzchnię spłaszczeń obliczono korzystając z Kalkulatora Pól (opcja „area”), a wyniki zestawiono w programie Excel. Obliczono powierzchnię zajmowaną przez spłaszczenia w obrębie poszczególnych przedziałów wysokościowych i w całym obszarze badań.

Przy konstruowaniu schematycznych przekrojów wykorzystano mapę geologiczną Departamentu Służby Geologicznej Cypru (www.geoportal-gsd.moa.gov.cy/) i program Inkscape.

4. Rezultaty

Manualnie wyznaczone spłaszczenia mają zaokrąglone kształty, co wiąże się z metodą ich tworzenia opartą na ręcznym obrysie na mapie warstwicowej. Mają liniową rozciągłość NW–SE, zgodną z kierunkiem przebiegu linii brzegowej (rys. 10). Ich długość waha się od 1500 do 400 m, a szerokość wynosi średnio 300 m. Najbardziej homogeniczne i zajmujące największą powierzchnię (ok. 900 000 m²) znajdują się najbliżej wybrzeża Morza Śródziemnego (poligony 1 i 2). Mają prawie 2000 m długości i szerokość ok. 300 m. Przesuwając się w głąb lądu zaznacza się wyraźna dwudzielność delty Kouris. W jej zachodniej części spłaszczenia (3, 6, 9, 12, 18) są wyraźnie większe (ok. 350 000 m²) niż we wschodniej, gdzie są bardziej rozczłonkowane i zajmują łącznie mniejszą powierzchnię (ok. 120 000 m²).

Wygenerowane z mapy nachyleń powierzchnie płaskie zlokalizowane są w podobnych miejscach jak wyznaczone manualnie, zajmują zbliżone powierzchnie tworząc podobny obraz przestrzenny. Największa różnica występuje we wschodniej części delty, gdzie na obrazie komputerowym zaznacza się spłaszczenie nie wyznaczone manualnie. Jest to obszar otoczony przez płaskie powierzchnie 5, 10, 14, 15 i 20 (rys. 10).



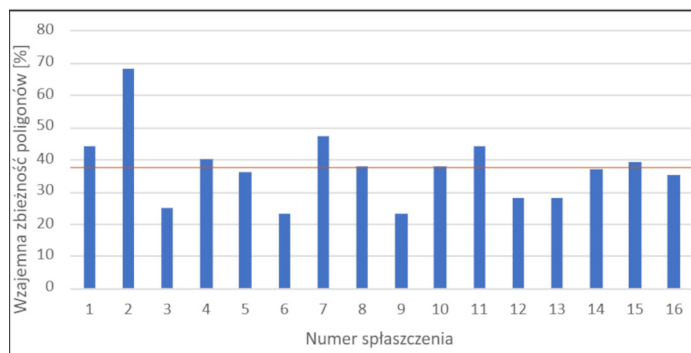
Rys. 10. Mapa nachyleń ze spłaszczeniami (powierzchniami płaskimi) wyznaczonymi manualnie i komputerowo (nachylenie 0,0°–0,6°)

Fig. 10. Slope map with flat areas determined manually and by computer (slope 0.0°–0.6°)

Bez względu na przyjętą metodę, manualną czy cyfrową, po zachodniej części rzeki znajduje się więcej spłaszczeń, są one bardziej rozległe i sumarycznie zajmują większą powierzchnię stożka/delty Kouris.

Porównanie spłaszczeń wyznaczonych obiema metodami pokazuje (rys. 10, 11), że największa zbieżność

występuje w obrębie drugiej powierzchni płaskiej (68%), a najmniejsza w obrębie 6 i 9 (22%). W jedenastu przypadkach na szesnaście zbieżność ta mieści się w przedziale 35–47%. Wartości medialna i modalna są podobne i wynoszą 38%.

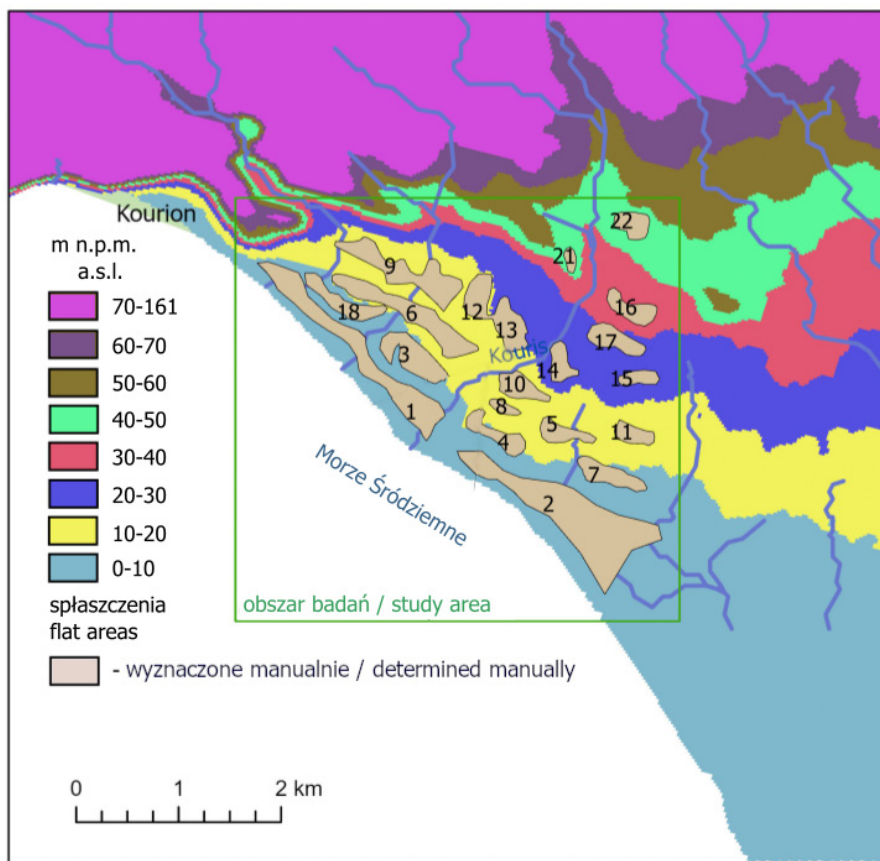


Rys. 11. Porównanie pomiędzy powierzchniami płaskimi wygenerowanymi manualnie i cyfrowo. Wartość średnią i modalną (38%) wyznacza czerwona linia

Fig. 11. Comparison between manually and digitally generated flat areas. The mean and moda values (38%) are indicated by the red line

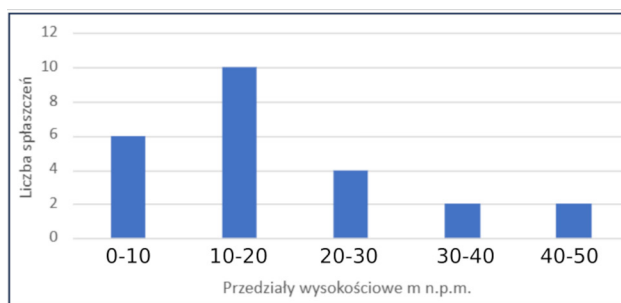
W kolejnym etapie przeanalizowano występowanie spłaszczeń od wybrzeża Morza Śródziemnego w kierunku obrzeżenia osadowego Troodos w poszczególnych przedziałach wysokości bezwzględnych. Przyjęto cięcie poziomowe 10 m (rys. 12, 13). W kilku przypadkach spłaszczenia występują na granicy pomiędzy przyjętymi przedziałami wysokościowymi i wtedy były one liczone w obu grupach.

Spłaszczenia zajmują 27% obszaru badań. Najwięcej spłaszczeń (7) występuje w przedziale wysokości 10–20 m n.p.m. i zajmują 30% jego powierzchni. Niewiele mniej (6) jest ich w najniższym (0–10 m n.p.m.), jednak zajmują sumarycznie największą powierzchnię (38%). Powyżej poziomu 20 m ilość i wielkość powierzchni płaskich wyraźnie spada. W przedziale 20–30 m n.p.m. występują 4 spłaszczenia (12% powierzchni), w przedziale 30–40 m n.p.m. jedno (7% powierzchni), a w najwyższym dwa (8% powierzchni).



Rys. 12. Spłaszczenia wyznaczone manualnie na mapie hipsometrycznej o cięciu poziomowym 10 m

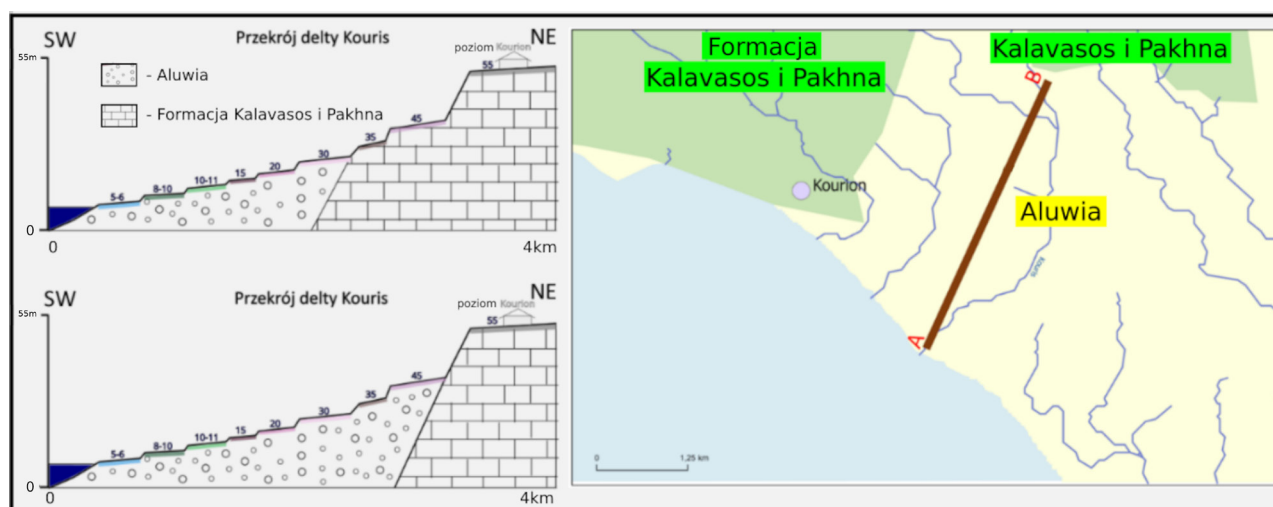
Fig. 12. Flat areas determined manually on the hipsometric map with a contour value of 10 m



Rys. 13. Liczba spłaszczeń wyznaczonych manualnie w przedziałach wysokościowych 10 m

Fig. 13. Number of flat areas determined manually in 10 m height intervals

W oprogramowaniu Inkscape wykonano schematyczne przekroje przez stożek/deltę Kouris od Morza Śródziemnego do węglanowego płaskowyżu osadowego obrzeżenia Troodos (rys. 14). Zaznaczono na nich spłaszczenia wyznaczone manualnie w obrębie aluwii stożka napływowego Kouris. Dla najwyższych zaproponowano dwa warianty, gdyż rozprzestrzenienie formacji Pakhna i Kalavastos na mapie geologicznej w tej skali nie jest precyzyjne i wymagałoby weryfikacji terenowej. Dlatego w pierwszym wariantcie są to, podobnie jak niższe, spłaszczenia akumulacyjne, natomiast w drugim dwa najwyższe poziomy są erozyjno-akumulacyjne (terasy skalno-akumulacyjne?, spłaszczenia strukturalne?) z cokołami skalnymi zbudowanymi z formacji węglanowych.



Rys. 14. Dwa warianty schematycznych przekrojów delty Kouris i przeglądowa mapa geologiczna okolic Kourion w skali 1:125 000

Fig. 14. Two variants of schematic cross-sections of the Kouris delta and a geological overview map of the Kourion area at a scale of 1:125,000

5. Podsumowanie i wnioski

Zastosowanie obu metod morfometrycznych, manualnej i cyfrowej, na monotonnej i bardzo słabo zróżnicowanej równinie stożka napływowego/delty Kouris pozwoliło na wydzielenie spłaszczeń morfologicznych. Wynik zastosowanej analizy dowodzi, że powierzchnie wyznaczone manualnie są wykonane bardziej precyzyjnie niż powierzchnie wytyczone komputerowo. Średnia zgodność dla większości ($\frac{2}{3}$) wydzieleni zamyka się w przedziale 35–47%, a najwyższa (do 68%) jest w dwóch najniższych przedziałach wysokości (0–20 m n.p.m.). Do dalszych szczegółowych badań terenowych najkorzystniejsze byłoby wykorzystanie mapy wykonanej ręcznie, a mapa wygenerowana cyfrowo (raster 90 m) może służyć jedynie do weryfikacji. Jednak wynik mógłby być lepszy lub odmienny w przypadku posiadania rastra o większej rozdzielczości przestrzennej.

Przeprowadzona analiza, bez względu na zastosowaną metodę, pokazała wewnętrzne zróżnicowanie morfologii stożka napływowego/delty Kouris, jeśli chodzi o ilość i rozmiary spłaszczeń. Kształt stożka powoduje, że najszerszymi strefami i jednocześnie z najwyższą liczbą spłaszczeń są te położone najbliżej morza. Jednak na zachód od rzeki znajduje się więcej powierzchni płaskich i są one większe niż we wschodniej części. Może to być wynikiem ewolucji tej formy i zmienności akumulacji na różnych pobocznicach stożka, a także ząbaniem się tej głównej formy Kouris z mniejszymi stożkami cieków rozcinających węglanowy płaskowyż. Różnice te mogą być podstawą do rozważań paleogeograficznych. Wymaga to jednak dalszych badań.

Wyniki powyższych analiz mogą być wykorzystane między innymi do badań geohistorycznych (Wnęk 2010), czy geoarcheologicznych (Kalicki i in. 2022a,b). Rozwój stożka Kourion, zmiany biegu koryt w jego obrębie będą podstawą do takich rozważań, np. lokalizacji i funkcjonowania starożytnego miasta Kourion, czy średniowiecznego zamku w Kolossi.

6. Literatura

- Christophe S. 2011. Cartographic Styles between traditional and original (towards a cartographic style model). Materiał konferencyjny: Auto-Carto Conference.
- Cohen D., Rutherford N.F., Morisseau E., Zissimos A.M. 2012. Geochemical patterns in the soils of Cyprus. *The Science of The Total Environment* 420: 250–262. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.01.036>
- Evlepidou N., Ganas A., Karkani A., Spyrou E., Saitis G. 2023. Late Quaternary Relative Sea-Level Changes and Vertical GNSS Motions in the Gulf of Corinth: The Asymmetric Localization of Deformation Inside an Active Half-Graben. *Geosciences* 13: 329. <https://doi.org/10.3390/geosciences13110329>
- Farmakis-Serebryakova M., Hurni L. 2020. Comparison of Relief Shading Techniques Applied to Landforms. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 9: 1–24.
- Geoportal CY: <https://geoportal-gsd.moa.gov.cy/portal/apps/experiencebuilder/experience/?id=a18a7b0a0c494ef8abc21be965a07308> (dostęp online 2024).
- Harrison R., Newell W., Panayides I., Stone B., Tsiolakis E., Necdet M., Batihanli H., Ozhur A., Lord A., Berksoy O., Zomeni Z., Schindler, J.S. 2008. Bedrock geologic map of the greater Lefkosia area, Cyprus: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Map 3046, 1 map, scale 1:25,000: 1–36.
- Kalicki T., Chwałek S., Konstantinovski Puntos J. 2022a. Environmental conditions of the location and functioning of ancient cities in the SW Cyprus. Abstracts of Conference of Environmental Archaeology (CEA) 2022 “The Environment as an Archive of Past Human Activity” (ed. T. Kalicki), 4–6.04.2022, Kielce–Suchedniów: 35–47.
- Kalicki T., Chwałek S., Konstantinovski Puntos J. 2022b. Environmental conditions of the location and functioning of ancient cities in the SW Cyprus, [in:] *The environment as an archive of past human activities* (ed. T. Kalicki), Kielce–Białystok. Ośrodek Badań Europy Środkowo-Wschodniej: 17–22.
- Siwek J., Wacławik W. 2015. Czy cieniowanie analityczne może być sztuką? Rozważania na kanwie eksperymentu w programach ArcGIS i Surfer. *Polski Przegląd Kartograficzny* 47(3): 197–212.
- Szypuła B., Wieczorek M. 2011. Geomorfometryczna analiza rzeźby Wyżyny Śląskiej metodą wskaźnika TPI. Główne problemy współczesnej kartografii. Zastosowanie statystyki w GIS i kartografii: 73–82.
- Urbański J. 2012. GIS w badaniach przyrodniczych. Uniwersytet Gdański, Gdańsk.
- Wieczorek M., Żyszkowska W. 2011. Geomorfometria – parametry morfometryczne w charakterystyce rzeźby terenu. *Polski Przegląd Kartograficzny* 43(2): 130–144.
- Wnęk K. 2010. Systemy GIS w badaniach historycznych. Zeszyty naukowe Uniwersytetu Jagiellońskiego, Prace historyczne, MCCCXII, 137: 153–171.
- Zomeni Z. 2012. Quaternary Marine Terraces on Cyprus: Constraints on Uplift and Pedogenesis and the Geoarchaeology of Palaipafos (tapescript of PhD dissertation submitted to Oregon State University): 1–120.