

Artykuł naukowy

## **Problematyka potencjalnej lokalizacji karpackich grodzisk wczesnośredniowiecznych w oparciu o modelowanie GIS**

Issue of the potential of Early Medieval hillforts localization  
in Carpathians based on GIS analysis

**Cyryl Konstantinowski Puntos**

Szkoła Doktorska Nauk Społecznych Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie, Instytut  
Geografii i Gospodarki Przestrzennej, Uniwersytet Jagielloński w Krakowie

### *Abstract*

*The research gap is still in studies on the location of Early Medieval hillforts in mountainous areas in Poland. It concerns the difficulties with automatic detection of strategically important places - which are particularly important to geoarchaeological analysis. The most important goal of this study is: to indicate a potential hillfort could be located on the map of Early Medieval Poland. The second goal is: to develop a model of detecting potential archaeological objects and to determine whether these points correlate with current hillforts and the correlation to its extent. After that it's important to find potential archaeological sites based on the developed model. The Polish Carpathians provided a diversified landscape with favourable strategic conditions. For analysis using modern GIS tools, an algorithm was developed based on the Digital Elevation Model, allowing the classification of hills that could have been used by the early medieval population and the Piast Monarchy. The use of this classification makes it easier to recognize whether a given stronghold is in a favourable location for topographic reasons and can be used to search for structures of this type that have not yet been discovered in the field works. Additionally, checking the location conditions and visibility analysis were used to find examples of places outside strategic use in space (lack of protection due to the lack of a nearby hillfort) where an appropriate stronghold should be located. Using the example of one of the potential strongholds (Łososina Dolna), the model was verified to check how well the created model works in practice. In terms of defence, it is a border area, which makes it logical that it was huge in many defensive structures. This opens a lot of research opportunities within this region. As a result, the discussed original model, showing the*

*locations of hillforts and hills, can be more broadly applied to other analysis - conducted by researchers with various specializations. The developed algorithm (after certain changes) can also be used for other mountainous regions.*

**Słowa kluczowe:** analiza przestrzenna, wczesne średniowiecze, grodziska, geoarcheologia, GIS, Karpaty

**Keywords:** spatial analysis, Early Medieval, hillforts, geoarcheology, GIS, Carpathians

## Wprowadzenie

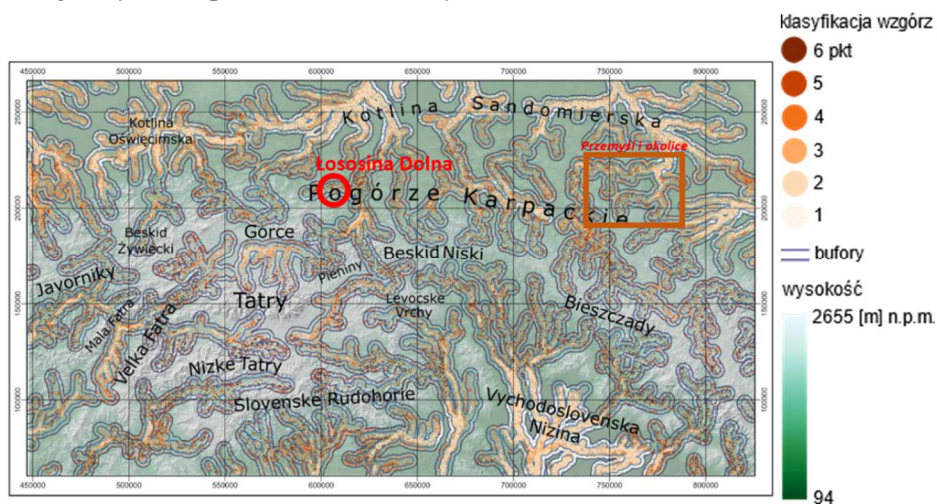
Tematyka grodzisk wczesnośredniowiecznych nie jest wystarczająco opisana i przez to owiana jest aurą tajemniczości. Grody, zarówno plemienne (VIII-X w.), jak i państwowe (X-XIII w.) stanowią istotne miejsca geohistoryczne, w których wprost zapisana jest wiedza na temat początkowej fazy wymienionej epoki (Chudziak 2016). W czasach początkowego kształtowania się polskiego organizmu państwowego, nie pisano jeszcze szczegółowych kronik o Karpatach i nie tworzone dokładnych map opisujących problematykę grodową. Dlatego też istnieje luka badawcza – brak dokładnego wskazania potencjalnych lokalizacji poszczególnych grodzisk we wczesnośredniowiecznych Karpatach. Możliwe jest ich odkrycie poprzez zastosowanie geoinformatyki powiązanej niekiedy z geoarcheologią. Takie poszukiwanie określić nazwać mianem detekcji na podstawie sklasyfikowanych wzgórz. W ten sposób wygenerowane zostają potencjalne lokalizacje, które można brać pod uwagę do prospekcji lub weryfikacji obiektów archeologicznych o dawnym charakterze wojskowym. W tej pracy miano okręgu odnosi się do buforu na bazie kulminacji wzgórz, punkt zaś wskazuje dane grodziska w przestrzeni.

Zagadnienie samej detekcji grodów wczesnośredniowiecznych dla Karpat nie jest wystarczająco przedstawiane w literaturze. Sposób, który jest opisany w mojej pracy, można porównać z automatyzacją procesów detekcji w publikacji (Bakuła, Ostrowski i Zapłata 2010, s. 10). Wśród podobieństw modelu można wyróżnić generowanie punktów na podstawie danych ALS (*Airborne Laser Scanning*). Utworzono obiekty wykryte poprawnie, obiekty niewykryte i obiekty wykryte błędnie. Model ten dotyczy danych archeologicznych w najbliższej okolicy Sereczic, Pakosław i Ilży na terenie Polski. Różne metody analiz cieniowania (Kiarszys i Banaszek, 2018) są przydatne do określenia obiektów archeologicznych widzianych w planie. Stosując algorytm w niniejszym opracowaniu, można wykorzystać mapę cieniowania do udowodnienia istnienia grodziska (poprzez widoczne wały obronne). Dane LiDAR (*Light Detection and Ranging*) stosowane

są również do oceny ukształtowania terenu, w tym do odkrywania obiektów archeologicznych (Lech 2015). Najlepszym przykładem wykorzystania chmury punktów do celów eksploracyjnych jest odkrywanie piramid w Meksyku (Chase i Chase 2017, s. 455-468). Pod względem historyczno-archeologicznym występuje kilka skupisk grodzisk wczesnośredniowiecznych, obejmujących teren południowej Małopolski. W fazie plemiennej grody stanowiły centra osadnicze w obrębie ekumeny (Poleski 2013, s. 54). Interesująca pod względem flory w kontekście siedzib ludzkich jest publikacja (Wacnik, Szczepanek i Harmata, 2006, s. 742). Zawarto tam wyniki interdyscyplinarnych badań przyrodniczo-środowiskowych z możliwościami, jakie daje datowanie stanowisk archeologicznych. W książce tej (pod redakcją Gancarskiego) zauważalna jest niewielka liczba artykułów dotyczących grodzisk wczesnośredniowiecznych, łączących archeologię z geoinformatyką. W niniejszym opracowaniu nie rozróżniano funkcji grodów. Klasyfikację grodów znajdujemy w pracach Kajkowskiego (2018), Poleskiego (Poleski, 2004) oraz Olczaka i Siuchnińskiego (Olczak i Siuchniński, 1976), w szczególności w odniesieniu do kształtu grodzisk w przestrzeni. Detekcja takich miejsc może opierać się na innych parametrach, ponieważ grody te są inne w planie (gród Wapiennica). Tworzono również atlasy lub katalogi grodzisk. Poza katalogiem Marszałka (1993) oraz Atlasem Grodzisk (Atlas Grodzisk Wczesnośredniowiecznych z obszaru Polski) można też odnaleźć katalog grodzisk w dawnym woj. wrocławskim Kaletynów i Lodowskiego (za: Chrzan, Moździoch i Rodak, 2019, s. 12). Ciekawe jest też zastosowanie najnowszych metod eksploracyjnych do identyfikacji grodzisk wczesnośredniowiecznych na terenie Sudetów (Lisowska i Jaworski, 2021). Szczególnie ważna jest część technologiczna i porównanie różnego rodzaju technik badawczych do odkrywania “nowych” grodzisk na terenie górskim.

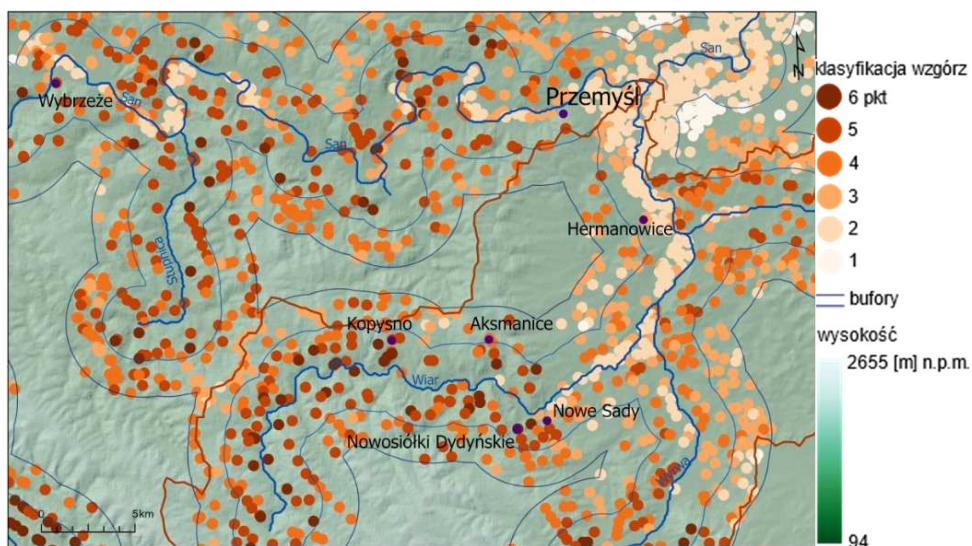
Zadaniem niniejszego opracowania jest przygotowanie modelu detekcji potencjalnych obiektów archeologicznych (obszar badań na Rys. 1), określenie, czy punkty te korelują z obecnymi grodziskami i w jakim stopniu oraz znalezienie potencjalnych stanowisk archeologicznych na podstawie opracowanego modelu. Powyższe cele pomogą określić miejsca pod budowę potencjalnych grodów za pomocą narzędzi GIS (Systemów Informacji Geograficznej). Utworzony, szczegółowy model (powiększenie na Rys. 2) może być wielce przydatny dla archeologów, pomagając im w zlokalizowaniu lub potwierdzeniu pewności lokalizacji danego (nowego) grodziska. Zastosowano również dwa podstawowe założenia początkowe: w Karpatach budowano grody na wzgórzach; doliny rzeczne stanowiły trzon komunikacyjny i transportowy dla wczesnośredniowiecznych społeczności. Pierwsze z nich obejmuje złożony wybór wzniesienia do możliwych konstrukcji przez średniowiecznych władców. Drugie dotyczy w sposób bezpośredni ciągów komunikacyjnych, które miały bardzo istotne znaczenie we

wczesnym średniowieczu dla przemieszczania się wojsk czy kupców. Gród z założenia powinien chronić dany teren i zamieszkującą go społeczność. Stąd też czynnik geograficzny jest aż tak ważny dla określenia sensu geolokalizacji danego grodziska. Jest to model teoretyczny, do potwierdzenia innymi metodami geoarcheologicznymi i archeologicznymi. Porównano również lokalizację okręgów na bazie kulminacji wzgórz z lokalizacją obecnych grodzisk wraz z uwzględnieniem topografii wybranych stanowisk archeologicznych, co przedstawiono na Rysunkach 3-4.

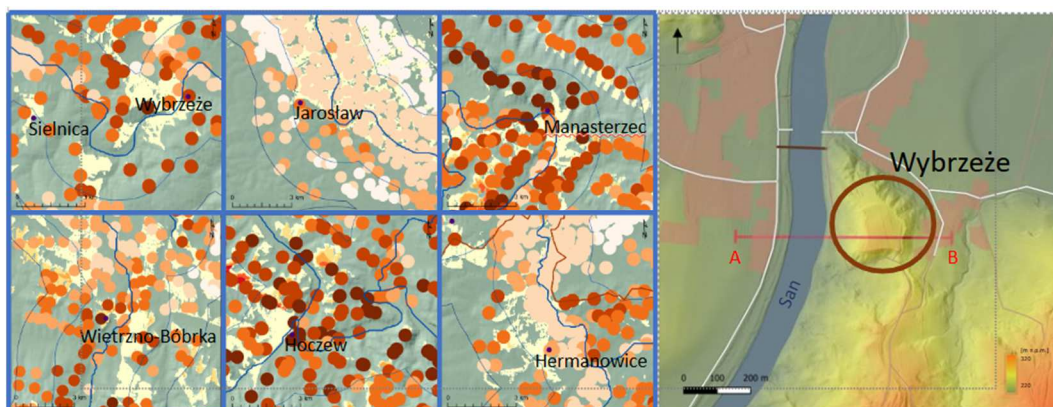


Rys. 1. Mapa ukazująca klasyfikację wzgórz na badanym terenie (opracowanie własne)

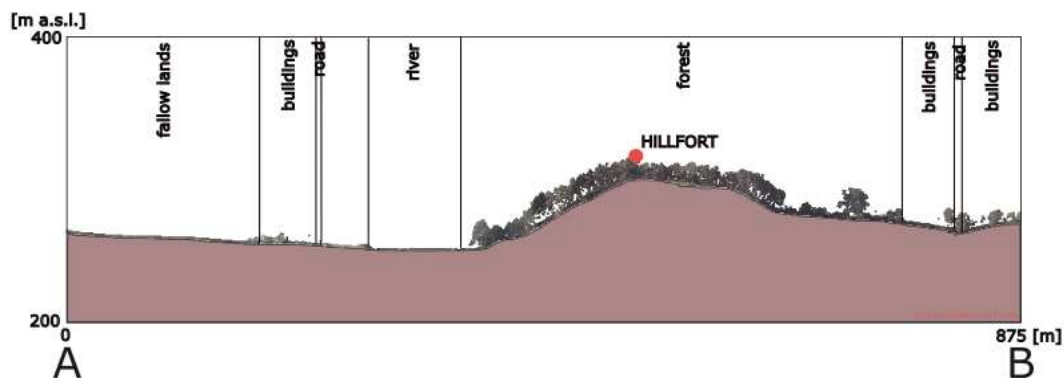
Wyszczególniono wszystkie punkty w zakresie buforu wielopięściowego (dokładniej dwa równoległe do siebie bufory na podstawie głównych cieków wodnych). Dodatkowo wyróżniono najważniejsze nazwy gór, pogórzy i kotlin. Okręgiem zaznaczono lokalizację Łososiny Dolnej oraz prostokątem okolice Przemyśla, uwzględnione na Rysunku 2.



Rys. 2. Przykład (w powiększeniu) okolic Przemysła (Pogórze Przemyskie i Dynowskie) i potencjalnych grodzów w ich obrębie zgodnie z Rys. 1 (opracowanie własne)



Rys. 3. Wybrane sześć miejsc testowych, korzystnych pod względem strategicznym. Zaliczyć można (w nawiasie liczba punktów): Wybrzeże (5+1), Jarosław (3+1), Manasterzec (5+1), Wietrzno-Bóbrka (5+1), legenda zgodnie z Rys. 1 i Rys. 2 (opracowanie własne)



Rys. 4. Profil hipsometryczny okolic grodziska w Wybrzeżu (opracowanie własne)

## Materiały i metody

### Procedura i zastosowanie algorytmu

Dane, wykorzystane na potrzeby badań, pochodziły z literatury przedmiotowej oraz rastrów NMT (Numerycznych Modeli Terenu) SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) i EU-DEM (EU-DEM), zastosowano do procedur geoinformatycznych opisanych w tekście. Obydwa zbiory danych różnią się m.in. rozdzielczością (drugi ma wyższą, przez co stanowił podstawę do analiz generowania potencjalnych wzgórz). Przekształcenia Numerycznego Modelu Terenu przykładowo użyto w badaniach morfometrycznych i geoinformatycznych naturalnego krajobrazu (Giętkowski i Zachwatowicz, 2008), co wiąże się z przekształceniami rastra wejściowego (poddanego w konsekwencji inwersji). Do wykonania wizualizacji skorzystano też z wtyczki do QGIS (Qgis2threejs). Geoportal Krajowy (chmura punktów) zastosowano do opracowania profilu terenu – w szczególności roślinności i zabudowań na grodzisku Wybrzeże k. Dubiecka. Dane te wraz z innymi warstwami GUGiK (cieniowanie, ortofotomapa) przydały się do odkrycia „nowych” grodzisk, co jest procesem dosyć żmudnym (Bryk i Chyla, 2013). Dlatego, aby ułatwić pracę, wykorzystano WMS i WMTS z Geoportalu Krajowego (Geoportal Krajowy).

Baza danych na temat grodzisk wczesnośredniowiecznych została utworzona na podstawie Atlasu Grodzisk (atlasgrodzisk.pl) oraz Katalogu Marszałka (1993). Punkty lokalizacyjne wyznaczano na podstawie obydwu źródeł w taki sposób, że najpierw

sprawdzano na mapie lub planie, gdzie się znajdują – a następnie wychwycono na geoportalu krajowym (wykorzystując warstwę cieniowaną *hillshade*), dokładne lokalizacje wałów obronnych. Następnie grody poddano wektoryzacji i naniesieniu na mapę bazową w ArcGIS Pro. Dzięki temu utworzono zwięzłą bazę danych grodzisk wczesnośredniowiecznych, do późniejszej korelacji ze wzgórzami wygenerowanymi na modelu. Do utworzenia bazy danych wykorzystano głównie lokalizację, którą należało wstępnie zweryfikować. Część z grodzisk nie miała tak dokładnej lokalizacji, dlatego wykorzystano dane z interaktywnej strony internetowej NID (Narodowego Instytutu Dziedzictwa). Zastosowanie danych z AZP (Archeologicznego Zdjęcia Polski) byłoby zbyt żmudne ze względu na brak zdigitalizowanego źródła. Stanowi to jednocześnie podstawową metodykę badań archeologicznych. Prawdopodobnie z tej przyczyny tworzono regionalne bazy danych, przykładowo ArPol (Łapkowski, 2004). Dodatkowo niektóre grodziska są podane w Open Street Map (dalej OSM). Poprzez uwzględnienie każdego punktu w przestrzeni utworzono tabelę atrybutów związaną z egzystencją poszczególnych grodów w określonym czasie. Istotny jest także wiek – jest wyznacznikiem sytuacji geopolitycznej w kolejnych etapach wczesnego średniowiecza. Każdy element bazy danych został utworzony po to, by zweryfikować sens algorytmu, czyli potwierdzenia działania modelu. Jeżeli dany gród istniał, to był na określonym wzgórzu, a każde z nich miało własne walory obronne. W wielu przypadkach na postawie algorytmu stwierdzono, że lokalizacje grodów miały bardzo przemyślany charakter. Pokrywają się z wymodelowanymi okręgami (buforami), co jest przydatną informacją. Dzięki temu przy określonych warunkach topograficznych można uzupełnić listę grodzisk na terenie polskich Karpat (Rys. 5).

FID	Shape *	Id	nazwa	roznica_ni	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	zrodlo
0	Point	0	Nowe Sady	0	0	1	1	0	0	0	0	Katalog Grodzisk i Zam...
1	Point	0	Nowosiółki Dydyńskie	8	0	0	1	1	0	0	0	Katalog Grodzisk i Zam...
2	Point	0	Przemysł	0	0	1	1	1	1	1	1	atlasgrodzisk.pl
3	Point	0	Aksmanice	155	0	0	1	1	0	0	0	atlasgrodzisk.pl
4	Point	0	Hermanowice	0	0	0	0	1	1	1	0	atlasgrodzisk.pl
5	Point	0	Kopyšno	0	0	0	1	1	0	0	0	atlasgrodzisk.pl
6	Point	0	Treocza 2	21	0	1	1	0	0	0	0	atlasgrodzisk.pl

Rys. 5. Schemat początku tabeli atrybutów bazy danych grodzisk wczesnośredniowiecznych (opracowanie własne)

Wyszczególniono nazwy, poszczególne wieki oraz źródło danych o określonym grodzisku. Tabela pokazana na Rys. 5 wygenerowana została w programie ArcGIS Pro. Dlatego utworzono algorytm, pozwalający w łatwy sposób ocenić, które wzgórze mogłoby się nadawać do lokalizacji grodu. Jest to metoda dosyć innowacyjna, ponieważ w większości metodologię poszukiwania odpowiedniej lokalizacji stosuje się częściej w ekonomii (Rogers, 2005) i w archeologii krajobrazu (Landscape Archaeology). W niniejszym opracowaniu oparto się na poniższych zasadach:

Wzgórza o największej wysokości względnej w zasięgu koła ( $r=300$  m) mają największą wartość strategiczną (cztery klasy utworzone do jak najdokładniejszej oceny).

Wydzielono dwie klasy buforów od głównych rzek regionu. Przyjęto założenie, że ich zasięg wyznaczono na podstawie średniej odległości do cieków danego grodu (zarówno refugium, jak i grodu stale zamieszkiwanego). Granica drugiego bufora została poprowadzona poprzez dwukrotność wymienionej wcześniej średniej. Obydwa bufory opierają się na głównych traktach komunikacyjnych (rzekach), ponieważ w Karpatach dostęp do wody stanowił najważniejszy czynnik lokalizacyjny we wczesnym średniowieczu. Oparto się szczególnie na zamieszkiwanych grodach (poza Tuligłowami), jednak wzięto pod uwagę też tzw. refugia, czyli miejsca, w którym chroniono się w czasie wojen. Dlatego uśredniona rozpiętość bufora opiera się na wartości geostatystycznej, którą przyjęto, aby rozdzielić miejsca najbliższe cieków wodnych oraz dalej od dolin rzecznych.

Reszta grodzisk poza dwoma buforami otrzymała w klasyfikacji 0 pkt (ok. 5000 m szerokości bufora najbliższej rzeki), ze względu na dalekie położenie od cieków wodnych.

Dane zgromadzone do artykułu podzielono na dwa różne rodzaje:

- Geoinformatyczne:

- EU-DEM (Numeryczny Model Terenu dla Europy – wybrany region południowej Polski) o większej rozdzielczości przestrzennej, niż dane SRTM (Copernicus),

- SRTM (The Shuttle Radar Topography Mission – Numeryczny Model Terenu dla Świata – mniejsza rozdzielczość przestrzenna, Encyklopedia leśna.

- Geoarcheologiczne:

- podstawowe informacje zawarte w Atlasie Grodzisk Wczesnośredniowiecznych z obszaru Polski i Katalogu Grodzisk i Zamczysk w Karpatach,

- lokalizacje grodów z danych online i artykułów (zwektoryzowane na podstawie rycin z powyższych publikacji).

Metody obejmowały jedynie analizy z zastosowaniem narzędzi GIS (wraz z analizą literatury przedmiotu – czyli książkami i artykułami dotyczącymi tego tematu). Do wykonania dokładnej mapy grodzisk i klasyfikacji wzgórz (na poszczególne 5 klas + 1



klasa buforu) wykorzystano poszczególne metody geoprocesingu i wizualizacji kartograficznej (Paślawski, 2010):

Procedura inwersji rastra (Esri):

$$R_{invert} = ((R_{first} - V_{max}) * (-1)) + V_{min} \quad (1)$$

gdzie:

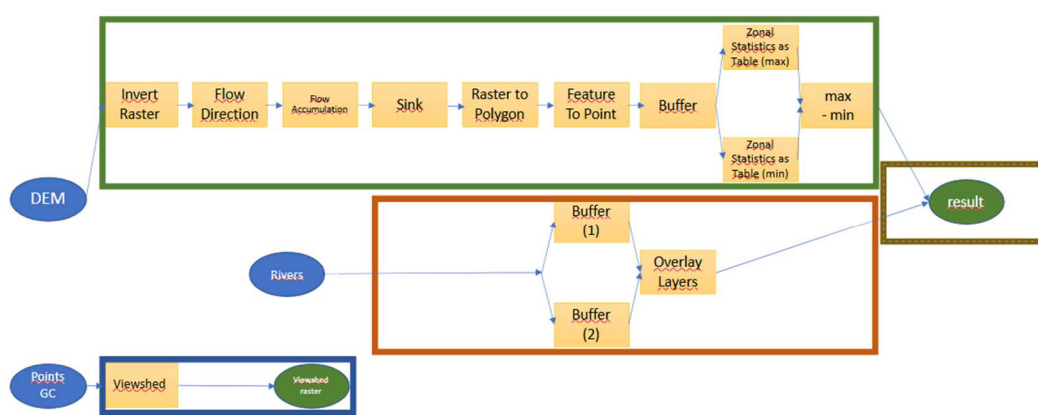
$R_{invert}$  – Raster po inwersji

$R_{first}$  – Raster początkowy

$V_{min}$  – Wartość maksymalna rastra

$V_{max}$  – Wartość minimalna rastra

Schemat ukazujący resztę procedury pokazana na Rysunku 6.



10

Rys. 6. Schemat procedur utworzony w ModelBuilder (ArcGIS Pro)

Inwersja rastra następuje poprzez zamianę wartości każdej komórki na odwrotną, wraz z nadaniem odpowiedniej wartości danemu pikselowi (co wiąże się z jego kolorem). Dlatego też, prościej ujmując, doliny stają się grzbietami i vice versa. Na Rysunku 2 zaznaczono intensywniejszą barwą piksel o mniejszej wartości. Przykładowo po prawej stronie ryciny wierzchołek ma wartość 5. Analogicznie po lewej zagłębienie ma wartość 1. Jest to ściśle związane z hydrologią badanego obszaru, czyli układem sieci hydrograficznej (Schreg, 2020), gdyż możliwy jest spływ powierzchniowy od większych wartości komórek

rastra do mniejszych. Zgodnie z publikacją Kozaka (Kozak, 2021) punkty wierzchołkowe zaznaczono punktem  $(x_1, y_1)$ ;  $z_1$ . Są to równocześnie współrzędne tego wierzchołka.

Po uzyskaniu rastra po inwersji (Rys. 7) wykonano dalszą analizę, opartą na odwróconym Numerycznym Modelu Terenu. Jest ona podzielona na dwie ścieżki. Pierwsza z nich obejmuje wykonanie buforów (okręgów) wokół danego punktu. Są one wyznaczone po to, aby uzyskać miejsca (wzgórza) o najkorzystniejszym znaczeniu obronnym w okresie wczesnego średniowiecza. Grodów nie budowano w dolinie (trudno byłoby bronić terenu w jego obniżeniu, choćby przez możliwy ostrzał łuczniczych). Dlatego w założeniach dodano czynnik topograficzny, niezbędny dla pozytywnego przeprowadzania akcji obronnej (ze wzgórza zasięg obrony łuczniczej jest większy, a atakujący musieliby się wspinać, aby zdobyć gród). Do uzyskania tego wyniku, obliczono wysokość względną w obrębie danego bufora. Przedstawiono tę zależność na rysunku 3.

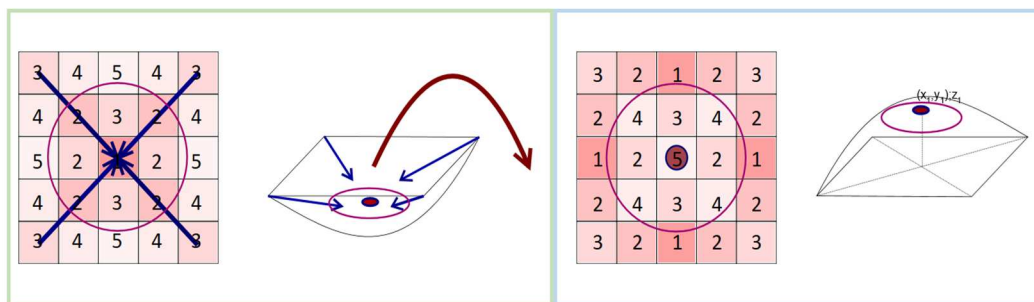
W analizie zastosowano ModelBuilder w ArcGIS Pro i procedurę *Flow Direction*. Następnie każde obniżenie zostało wydzielone (obszary bezodpływowe). W dalszej kolejności zamieniono te wartości (rastrowe) w poligony, a później przekształcono w punkty. Wokół tych punktów (jak napisano w poprzednim akapicie) utworzono bufory w formie okręgów. Wszystkie poddano analizie zonalnej (strefowej) i wyznaczono wartości minimalne (i analogicznie maksymalne). Tak utworzony model podzielono na sześć odmiennych klas, zgodnie z metodą *Natural Breaks* (Jenks), Wybrano tylko sześć, w celu możliwie prostego wyznaczenia korzystnych strategicznie wzgórz, każdą z nich określa inny kolor (Rys. 8). Dla przejrzystości sklasyfikowano też punkty, tworząc osobną warstwę wektorową. Klasyfikacja poszczególnych elementów krajobrazu może posłużyć do określenia kulminacji wzgórz (Guarino i Brucato, 2024). Zostały one utworzone na bazie danych z tabeli atrybutów. Poprzez funkcję *Add Join* połączono dwa zbiory danych: warstwa buforów oraz wspomniana warstwa punktów. Dzięki funkcji *Calculate Field* wykonano dalsze obliczenia do uzyskania  $\Delta z$ . Promień każdego okręgu (bufora) wyniósł w rezultacie 300 m (Rys. 9).

Wykonano również bufory na bazie linii rzecznych (Renfrew i Bahn, 2012, s. 231), wykorzystując już opracowaną warstwę hydrologiczną (por. Nsanziyera i in., 2018). Wyznaczono dwa bufory (pierwszy o szerokości 5 km od każdej rzeki, drugi szerszy o kolejne 5 km) – na podstawie oszacowanej średniej odległości grodów od rzek (Konstantinovski Puntos, 2022), wykorzystując wyniki analiz zawartych w pracy o Grodach Czerwieńskich (Konstantinovski Puntos i Luc, 2022). Dzięki temu wyznaczono dwie klasy punktów, związane bezpośrednio z warstwą buforów. Nie łączono ich później z poprzednio wygenerowanymi warstwami, przez co bardziej istotny był tutaj aspekt „wizualny” (aby uzyskać rozgraniczenie pomiędzy grodami najbliższej rzek i tymi bardziej

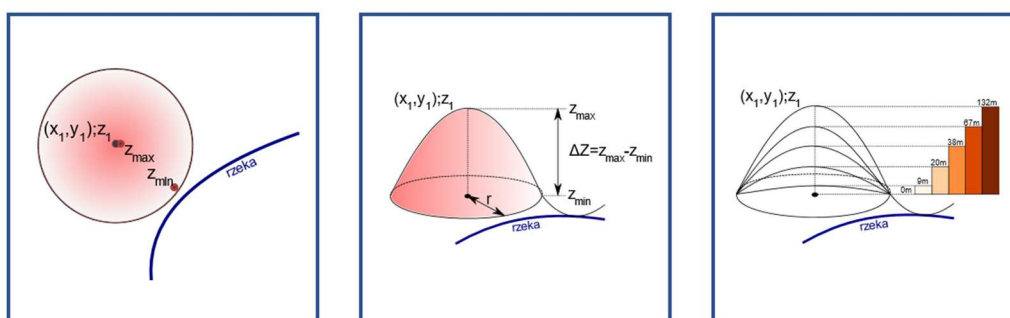
oddalonymi). Przeprowadzona została prosta analiza pomiaru odległości. Po wspomnianym opracowaniu wykonano intersekcję dwóch warstw (bufory, poligony i kulminacje wzgórz w obrębie majdanu – punkty), aby wydobyć jedynie punkty grodów najbliższej rzek.

Analiza widoczności to praktyczne zastosowanie wykonanego algorytmu. Mapę widoczności (O'Driscoll, 2017) opracowano na podstawie punktów (grodzisk) i rastra o mniejszej rozdzielczości przestrzennej niż EU-DEM (SRTM), aby sprawdzić wynik *Viewshed* (widoczności) w przybliżeniu (Rys. 4.). W QGIS zastosowano wtyczkę *Visibility Analysis*. Najpierw warstwę wektorową punktów dostosowano do punktów obserwacyjnych. Następnie zmieniono układ współrzędnych obu warstw (rastra i punktów) na metryczny. W dalszej kolejności utworzono rastrowe przestrzenie w obrębie zasięgu widoczności. W końcu w ArcGIS Pro nałożono rastrowe przestrzenie (odpowiedniki poligonów) na warstwę (punkty) po wykonaniu algorytmu.

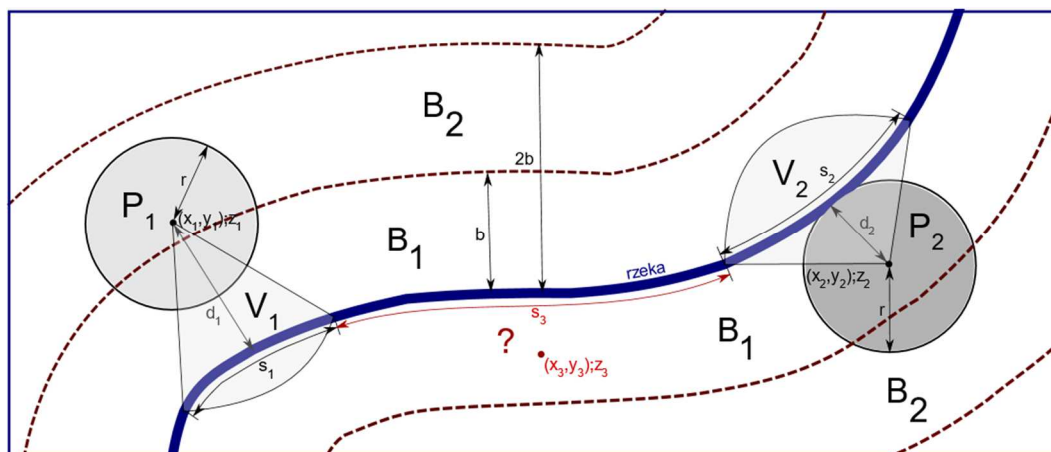
Punkt, dla którego modelowano widoczność, lokalizowano na obszarze każdego grodziska, które jest pewne. Za punkt centralny wzięto pod uwagę majdan grodu, który był centralną i zarazem kluczową częścią dawnego grodu. Wzięto pod uwagę dodatkową wysokość 1,75 m (przeciętna wysokość ludzi w średniowieczu to 1,6-1,7 m). Można przyjąć takie założenie, gdyż EU-DEM nie ma tak dużej rozdzielczości, jak rozdzielczość Numerycznego Modelu Terenu – przykładowo dane GUGiK z Geoportalu Krajowego. W pierwszym przypadku nie są widoczne wały obronne. Korzystniej jednak jest analizować tak duży obszar widoczności, ze względu na mozaikowanie bardzo dużej liczby kafelków rastrowych. Na takim poziomie ogólności to w zupełności wystarcza (dlatego też rzeźbę terenu w okresie od średniowiecza do współczesności przyjęto również za podobną). Nie jest to Numeryczny Model Pokrycia Terenu, który obrazowałby roślinność – obecnie przeważające las i krzewy. Wynika z tego, że mankamentem może być jedynie nieuwzględnienie obecności szaty roślinnej i jej zmian sezonowych, choć też interesującym zagadnieniem może być zasięg i rodzaj występującej tam roślinności w średniowieczu. Ponadto pewne obszary nie są objęte analizą, a największy z nich to teren wokół Limanowej. Prawdopodobnie warunki środowiskowe nie sprzyjały osadnictwu na tym obszarze (Parczewski, 2005).



Rys. 7. Przykład inwersji rastra (opracowanie własne)



Rys. 8. Przykład wydzielenia klas wzgórz. A - okrąg z punktami obrazującymi różnicę w wysokościach bezwzględnych, B – przykład wydzielenia klasy wzgórz w zgeometryzowanym kształcie, C - podział na poszczególne klasy wysokości względnej ( $z$ ) z wyszczególnieniem rzek. (opracowanie własne)



**Rys. 9.** Parametry związane z widocznością i lokalizacją potencjalnych grodzisk.

Wyszczególniono: P<sub>1</sub> – pole koła wokół punktu o współrzędnych (x<sub>1</sub>, y<sub>1</sub>); z<sub>1</sub>. V<sub>1</sub> – możliwa widoczność z tego punktu, B<sub>1</sub> – bufor, b – szerokość bufora, r<sub>1</sub> – promień koła, ? – możliwy inny gród (opracowanie własne)

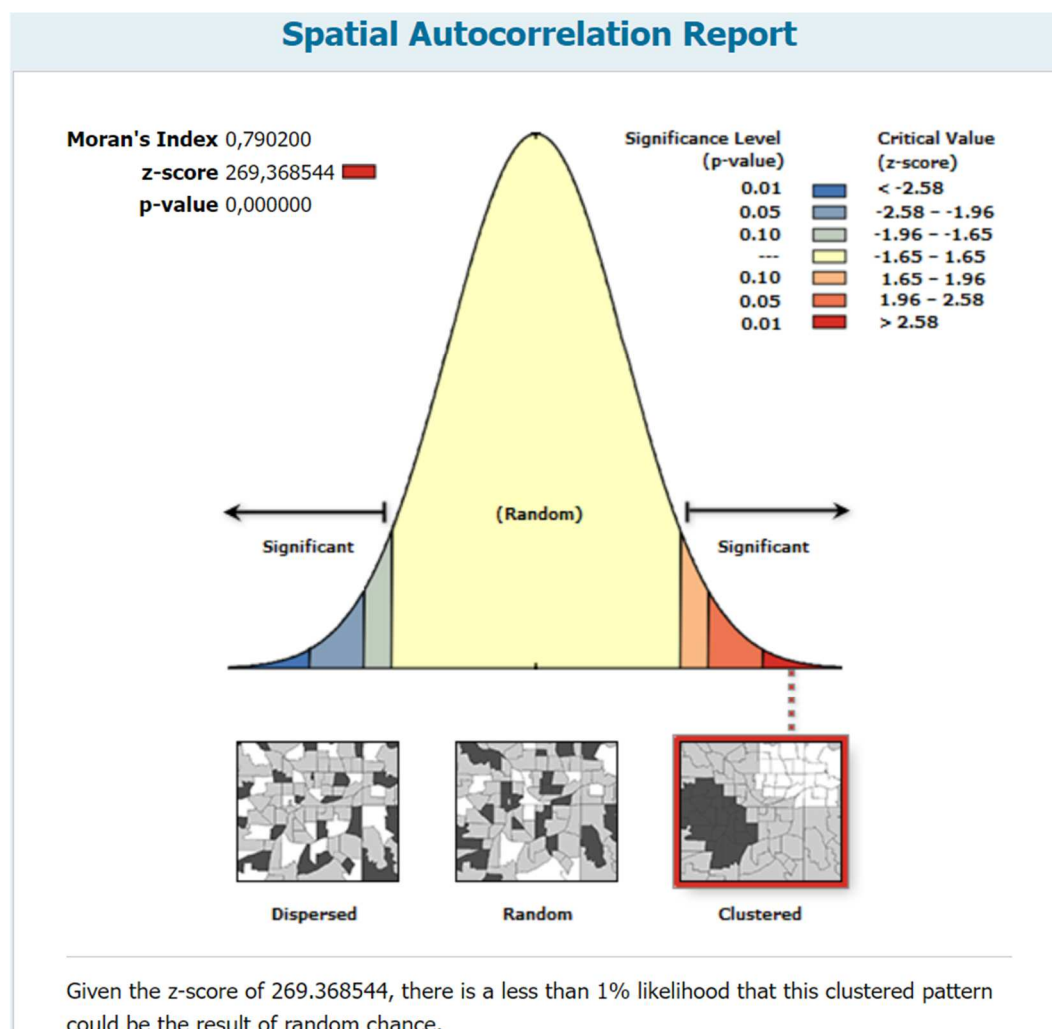
Do wykonania modelu 3D zastosowano QGIS i przeglądarkę 3D na podstawie NMT z Geoportalu Krajowego. Ustawiono punkt padania światła od strony wschodniej dla większej przejrzystości wizualizacji. Czerwonymi punktami oznaczono lokalizacje wygenerowanych miejsc kulminacji wzgórz, według wykorzystanego algorytmu. Zaznaczono również cztery najważniejsze grody pasma Pogórza Przemyskiego, broniące dostępu do doliny rzeki Wiar (Nowosiółki Dydyńskie, Nowe Sady, Aksmanice i Kopyšno). Model ten ukazuje w sposób przestrzenny zagadnienie systemu militarnego – analogicznego do Sanoka.

Obszar badań zawężono do Karpat i jego przedpola, jednak niecały obszar został w pełni uwzględniony w analizach. Pominięty jest teren centralnego woj. małopolskiego i podkarpackiego, gdzie występowały miejsca niezamieszkałe/niezaludnione.

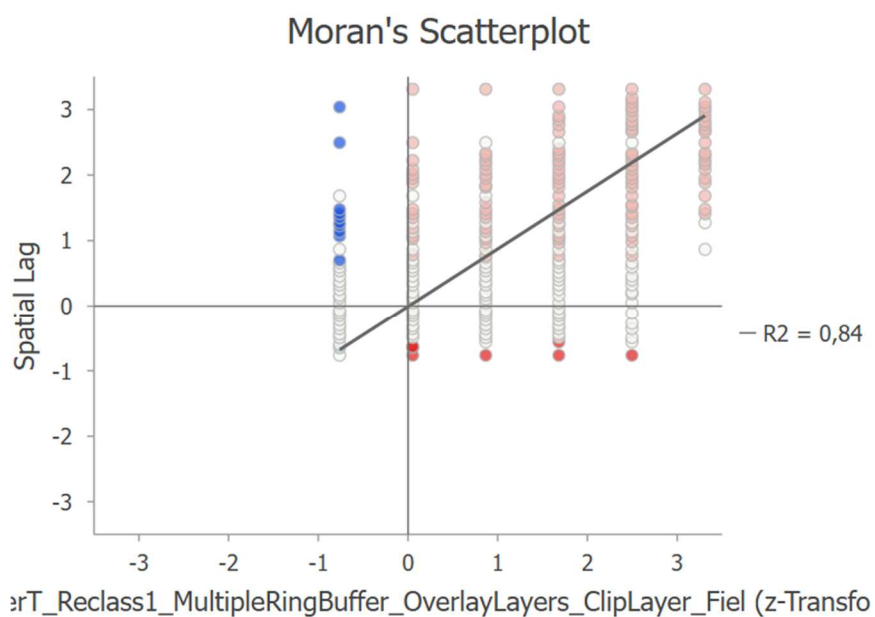
### Sprawdzenie uzyskanych wyników

Aby model był wiarygodny, niezwykle ważne jest potwierdzenie uzyskanych wyników za pomocą metod statystycznych (za: Gillings, Haciguzeller i Lock, s. 9), Rys. 10-11. Dla warstwy poligonowej poszczególnych wierzchołków wzgórz, najważniejszym aspektem badań były klasy okręgów utworzonych w ArcGIS Pro. Dzięki lokalizacji i klasyfikacji kulminacji wzgórz określono autokorelację przestrzenną wygenerowanych okręgów na mapie (wewnątrz buforu, ze szczególnym uwzględnieniem wewnętrznego

– najbliżej tak ważnych cieków wodnych). Na podstawie wykresu z wygenerowanego raportu (por. Cui i in., 2021) z ArcGIS Pro (Rys. 10) można stwierdzić, że okręgi te korelują w formie klastrów (autokorelacja dodatnia). Nie są one rozproszone. Indeks Morana wyniósł ok. 0,79 (świadczy to o występowaniu klastrów o podobnej wartości). Wynika z tego, że sklasyfikowane punkty są wydzielone „wyspowo”. Wartość p wyniosła poniżej 0,05, co świadczy o możliwości podważenia postawionej hipotezy zerowej.

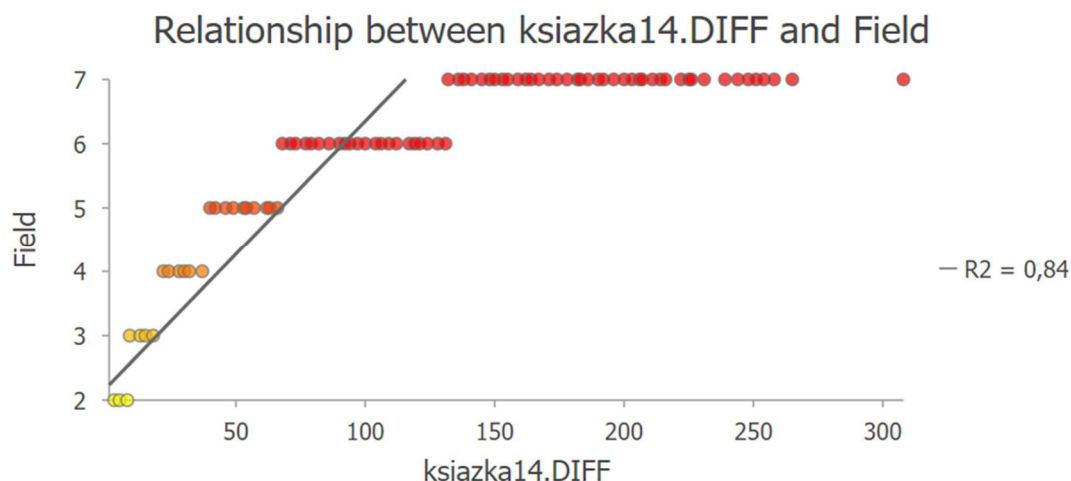


**Rys. 10.** Wykres przedstawiający wygenerowany raport autokorelacji w ArcGIS Pro dla poszczególnych sklasyfikowanych wierzchołków wzgórz wewnątrz obszaru badań (wykres wygenerowany w oprogramowaniu GIS)



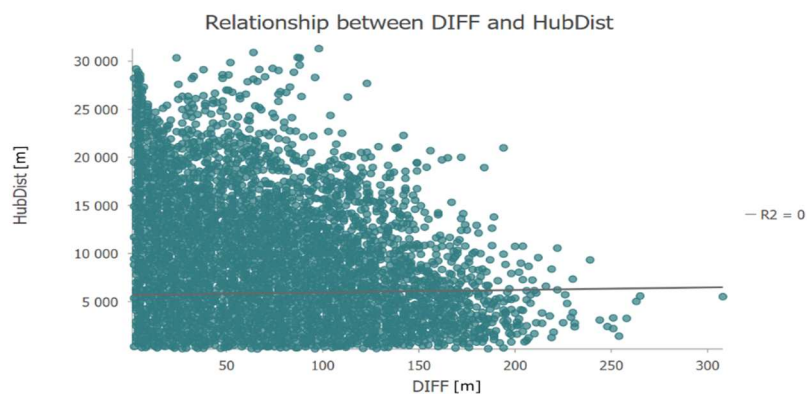
**Rys. 11.** Wykres Morana i autokorelacja. Punkty przeważają w I i III ćwiartce (opracowanie własne)

Największa liczba punktów w I i III ćwiartce świadczy o autokorelacji dodatniej. Klastry są o podobnych wartościach. Funkcja linii trendu wynosi:  $y = -0,0062359652 + 0,8805172517 * x$ , którą wykreślono również na powyższym wykresie (Ryc. 11). Współczynnik R-Kwadrat wynosi 0,84. Ponadto zawarto dwie relacje pomiędzy zmiennymi. Pierwsza z nich: pomiędzy daną klasą a różnicą pomiędzy wartościami max i min (Rys. 12) oraz druga z nich: pomiędzy odległością od rzeki do grodziska i różnicą pomiędzy wartościami max i min (Rys. 13). W pierwszym przypadku korelacja zachodzi, w drugim nie, co jest widoczne na wykresach.



**Rys. 12.** Wykres ilustrujący korelację zmiennych takich jak: klasy [-] i wysokość względna DIFF [m]. Współczynnik R-Kwadrat wyniósł 0,84 [-] (opracowanie własne)

Obliczony współczynnik Pearsona wynosi 0,91 [-]. Do jego wyznaczenia zastosowano kalkule w Excelu. Wynik ten świadczy o bardzo znaczącej korelacji pomiędzy zmiennymi. Zgodnie z informacjami na stronie (Współczynnik korelacji r-Pearsona - Predictive Solutions) korelacja jest silna/idealna (pow. 0,9 na 1,0 max). Uzyskane wyniki świadczą o dobrze wykonanym modelu pod względem obliczeniowym i technicznym.

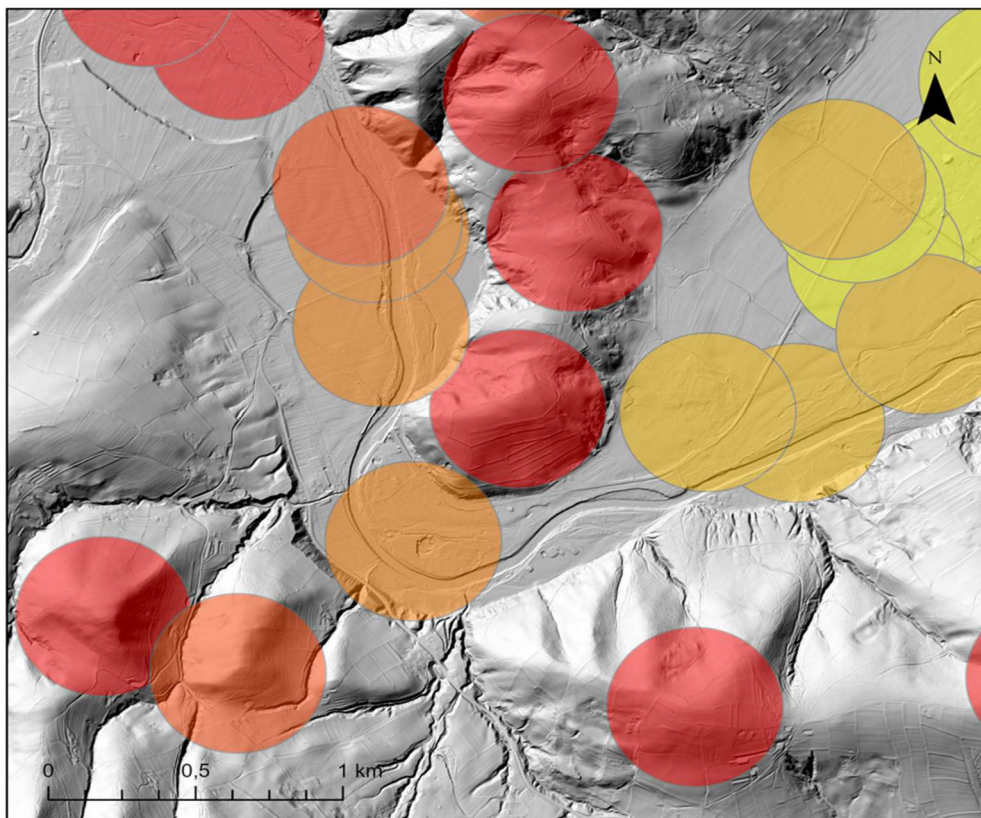


**Rys. 13.** Korelacja dwóch zmiennych: HubDist (odległości od potencjalnego wzniesienia pod budowę grodu do cieków wodnych) i DIFF (wysokość względna wzniesienia). Linia trendu (funkcja):  $y=5667,65+2,68x$ . Wartość R-Kwadrat wynosi 0 (opracowanie własne)



### Studium przypadku

Potencjalne miejsce do detekcji lokalizacji grodziska wczesnośredniowiecznego może znajdować się nieopodal wsi Łososina Dolna na pograniczu Pogórza Rożnowskiego i Beskidu Wyspowego (nr porządkowy warstwy wynikowej algorytmu 143276), Rys.14. Najkorzystniejsze miejsce zaznaczono czerwonym okręgiem. Opis stanowiska (5 punktów z racji hipsometrii i topografii +1 punkt związany z oddaleniem grodu od głównych cieków wodnych).



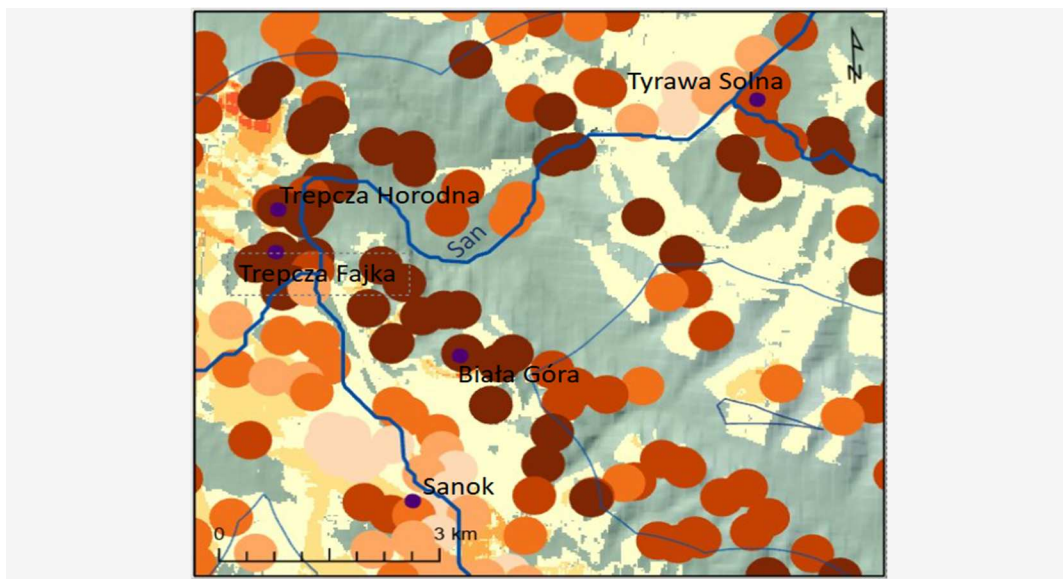
**Rys. 14.** Studium przypadku związane z potencjalnymi grodziskami w okolicach Łososiny Dolnej. Ilustruje praktyczne zastosowanie algorytmu (opracowanie własne na podkładzie mapy cieniowania)

Miejsce to charakteryzuje się brakiem potwierdzenia stanowiska archeologicznego. Grzbiet jest zakończony szczytem z dogodnym miejscem obserwacyjno-obronnym. Grunty orne znajdują się po południowej części stoków. Zauważyć można też liczne drogi, wiodące na szczyt wzgórza. Grzbiet styka się od strony północnej z kolejnymi miejscami korzystnymi do budowy grodów (wg. algorytmu). Miejsce (cypel?) stanowi interesujący

teren do budowy siedzib ludzkich. Warstwa szczytowa – wypłaszczone elipsoidalnie w planie. Rzeka widoczna od zachodu i od południa. Podstawowym pytaniem jest, czy Łososina była spławna w czasach średniowiecza? Obecnie przy cieku wodnym znajduje się las (z wyjątkiem północnej strony). Przy podanej rozdzielczości wały obronne nie są jednak widoczne, które świadczyłyby o konstrukcji wczesnośredniowiecznej.

Różnice z innymi czerwonymi okręgami (potencjalnymi grodziskami) są zauważalne. Dla wybranego miejsca widać z czterech stron znaczne nachylenie wzgórza (szczególnie dobre warunki strategiczne w stronę S, W i E). Strona N wykazuje grzbiet łączący cypel z resztą wyniesienia ponad poziom zwierciadła Łososiny. Wzgórze na "osi" NE – SW świadczy o kontroli możliwego szlaku handlowego, gdyby istniał w tej okolicy. Północne miejsca są mniej korzystne, ponieważ nie mają jasno zarysowanych stoków wzgórz. Wynika z tego, że idealne na strażnice byłoby „grodzisko” w Łososinie Dolnej. Dwa kolejne nie pasują na mały gród, ale może na rozleglejszy, nie mają też dobrych walorów strategicznych. Obecna zabudowa dla północnych (czerwonych) okręgów świadczy o korzystnym wykorzystaniu terenu, co może być też dobrym ułożeniem siedzib ludzkich. Interesujące mogą być również dwa miejsca (SW i SE), gdzie możliwe byłoby skonstruowanie grodów. Jednak najlepszą lokalizacją wydaje się, przytoczona na początku artykułu, Łososina Dolna. Zgodnie z przykładem regionu sanockiego, występuje tutaj bardzo dobra baza do budowy systemu obronnego. Przykładem podobnego umiejscowienia (Rys. 15) są: Trepcza Horodna i Horodyszczce, Sanok, Biała Góra, zlokalizowane nad rzeką San w woj. podkarpackim. Analogicznie sytuacja obronna obejmuje zakole rzeki, a wzgórza tej lokalizacji są wyjątkowo dobrym miejscem widokowym (zgodnie z hipsometrią obszaru) i dodatkowo o wysokich walorach dla wczesnośredniowiecznych konstruktorów wojskowych. Znajduje się też wiele okręgów wzdłuż rzeki, które występują w nietypowych miejscach (co jest związane ze znaczną różnicą wysokości względnej pomiędzy bulwarami a lustrem wody). Dlatego wielce istotne jest skalowanie poszczególnych wzgórz.

Umieszczone okręgi (Rys. 16) w modelu można skorelować z innymi warstwami podkładowymi (Basemap). Dzięki usługom WMS i WMTS jest korzystne nałożenie na siebie mapy cieniowanej lub ortofotomapy z danych GUGiK z określonymi poligonami. Dużym ułatwieniem dla badacza może być zmiana przezroczystości, która pozwoli ukazać poszczególne elementy topograficzne oraz krajobrazowe i przeprowadzić dokładną analizę terenu pod kątem możliwości występowania na nim grodzisk.



Rys. 15. Okolice Sanoka i najważniejsze grodziska (opracowanie własne)



Rys. 16. Studium przypadku związane z potencjalnymi grodziskami w okolicach Łososiny Dolnej. Sklasyfikowane wznieszenia na podkładzie ze zdjęć lotniczych Google (opracowanie własne)

## Dyskusja

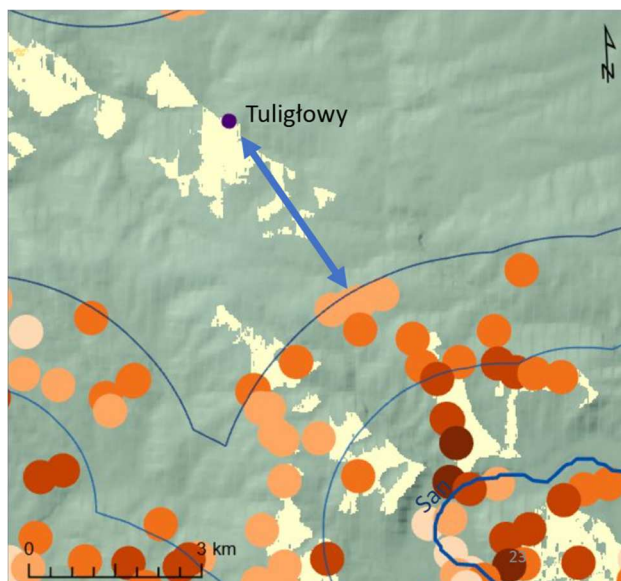
Niniejszy artykuł stanowi swoisty przegląd badań czynników lokalizacyjnych, które potencjalnie mogłyby wpływać na wybór miejsc pod budowę grodów. Przeważają punkty o klasie 1 (46%), kolejnych klas jest już dużo mniej. Świadczy to o wyłonieniu jak najbardziej korzystnych kulminacji wzgórz do badań geoinformatycznych. Analiza pokazała miejsca najbardziej korzystne do budowy grodów. Jest to początkowy etap poszukiwań, dzięki którym w najprostszy sposób dałoby się znaleźć jak najlepsze metody znajdowania potencjalnych lokalizacji. Pomocny byłby raster LiDAR o większej rozdzielczości przestrzennej (najlepiej jeszcze dokładniejszy niż z informacji przestrzennych GUGiK).

Dzięki metodzie, opisanej w procedurze w ModelBuilder, możliwe jest łatwe wydzielenie miejsc korzystnych dla celów obronnych (przy założeniu, że elewacja obszaru była jednym czynnikiem lokalizacji obiektów obronnych). Jej uniwersalność sprawdza się nie tylko w badaniach nad wczesnym średniowieczem, ale przydaje się również przy badaniach znacznie urozmaiconych terenów, a właściwie jedynie tylko tam się sprawdza. Z pewnością można tę metodę udoskonalić, wskazując najbardziej dogodne wzgórza. Można też zastanowić się, czy nie zwiększyć jeszcze liczby klas do ośmiu. Równocześnie trzeba zaznaczyć, że nie uzyskuje się wtedy rezultatu w formie (najczęściej) „zero-jedynkowej”, czyli nie dostaje się odpowiedzi na pytanie, dlaczego gród jest w danym, a nie innym miejscu. Najlepiej sprawdzają się do tego klasy: 5 i 6 (Tabela 1), choć niektóre lokalizacje często nie są w pełni zrozumiałe, bez szerszego wglądu w środowiskowe aspekty lokalizacyjne. Takim miejscem przykładowo są Tuligłowy k. Jarosławia (Rys. 17), gdzie gród jest bardzo mocno oddalony od głównych cieków wodnych. Jest to dowód na to, że stosując wszelkie analizy lokalizacyjne, warto wziąć też pod uwagę nie tylko kwestię wysokościową, ale też m.in. społeczno-ekonomiczną (Konstantinovski Puntos i Kalicki, 2021).

**Tabela 1.** Punktacja w klasyfikacji oraz liczba potencjalnych okręgów kulminacji wzgórz

Punktacja	1	2	3	4	5	6
Liczba	46571	28822	10007	7743	7366	1194
Suma: 101703						

(opracowanie własne)



**Rys. 17.** Położenie Tuligłów względem drugiego bufora na bazie rzeki San. Nietypowa lokalizacja. (opracowanie własne)

Warto zaznaczyć, że nie każde wzgórze nadawało się do budowy grodu. Do oceny przydatności modelu wydzielono obszary testowe (tzw. *case study*). Dzięki nim lepiej widać, czy model jest korzystny i czy cały algorytm działa. Za pomocą analizy porównawczej sprawdzono klasę punktów na modelu, w kontekście lokalizacji rzeczywistej grodzisk. Wybrane obszary (okolice Sanoka i Dubiecka) wybrano ze względu na znaczne urozmaicenie terenu i wysokie znaczenie strategiczne we wczesnym średniowieczu. Zaproponowana metoda może mieć zastosowanie także poza Karpatami. Mogą to być dowolnie wybrane inne tereny, należy tylko odpowiednio zmodyfikować parametry w aplikacji ModelBuilder.

Kluczem do rzetelności wyników badań jest raster o optymalnej rozdzielczości przestrzennej EU-DEM, który został wykorzystany do utworzenia modelu, omawianego w publikacji (im większa rozdzielczość, tym większa liczba widocznych wzgórz). Dobór rzek (najważniejszych do przeprowadzenia badań geoinformatycznych) można dowolnie zmieniać. Dobrano takie, które znajdują się najbliższej wczesnośredniowiecznych grodzisk. Analiza widoczności przewiduje obszary, gdzie możliwe jest „odkrycie” nowego grodu w miejscach, gdzie zasięg widoczności z innych, okolicznych grodów nie istnieje.

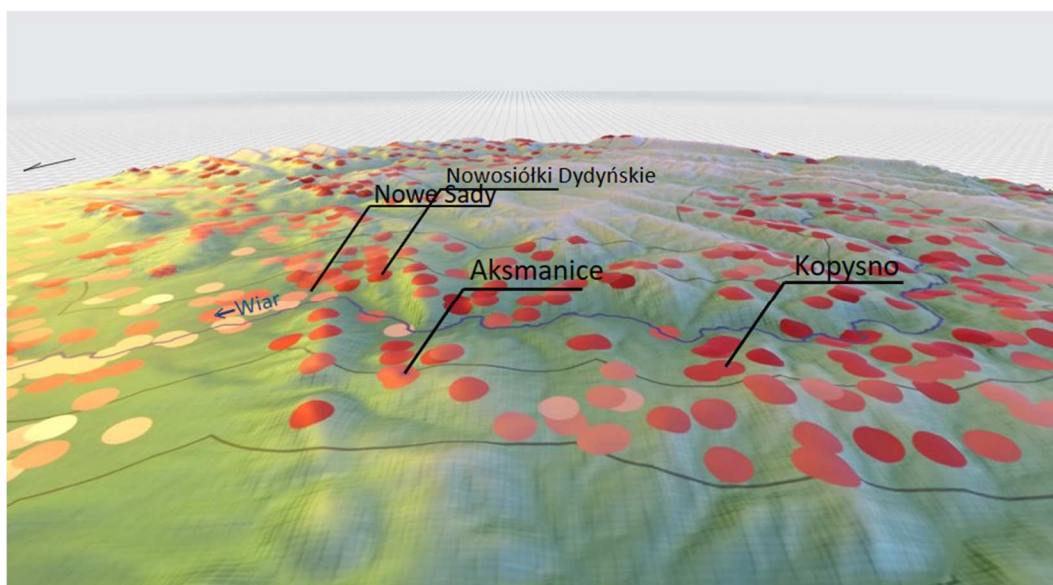
Na podstawie NMT (Lisowska i Jaworski, 2021) możliwa jest komputerowa eksploracja do wyznaczenia predestynowanych obszarów, które nadawałyby się do lokalizacji prawdopodobnych grodów poprzez (Štular i Lozić, 2022):

- sklasyfikowanie potencjalnych wzgórz (algorytm),
- wyszukanie najkorzystniejszych miejsc pod budowę grodu,
- naniesienie tych punktów na mapę cieniowaną,
- sprawdzenie, czy widoczne wały obronne należą do badanego okresu,
- przeprowadzenie badań powierzchniowych.

Przedstawiony model może przydać się również do innych celów, przykładowo dla geomorfologów czy leśników. Z pomocą tej metody można byłoby również zanalizować wypełnienie obszarów bezodpływowych rastra (przed dokonaniem jego inwersji). Wtedy byłoby mniej wierzchołków do interpretacji (mniej wzgórz do analizy), co też w tym konkretnym przypadku nie byłoby korzystne.

Algorytm mógłby być bardziej wydajny, po zastosowaniu detekcji, na podstawie określonego kształtu grodziska w planie. Mógłby bazować na wypracowaniu metody wyszukiwania podobnych tego typu obiektów w przestrzeni, przy zastosowaniu tzw. *Machine Learning* (uczenia maszynowego stosującego sztuczną inteligencję). Możliwe jest też określenie odpowiednich parametrów – przykładowo bazujących na przekroju poprzecznym. Aby cała procedura zadziałała, należałoby najpierw: 1. określić dokładne lokalizacje grodów, 2. wydzielić i sklasyfikować poszczególne grodziska, 3. wygenerować poszczególne parametry i rozplanowanie danego grodu na określonym typie wzgórza, 4. przygotować modele do *Machine Learning*, 5. detekcję na podstawie modeli, 6. wyszczególnić punkty i porównać je z modelem opracowanym w niniejszym opracowaniu. Model ten, odpowiednio dostosowany, może również spełniać inne role, jeżeli wprowadzi się kolejne zmienne. Algorytm jest adekwatny do realiów wczesnego średniowiecza. W okresie późnego średniowiecza warunki stawiania obiektów o charakterze obronnym zmieniły się, zaczęto budować wtedy pierwsze zamki, których podstawowym budulcem był kamień. Niekiedy zamek budowano na miejscu grodu (jak w Monastercu), jednak nie było to aż tak częste na analizowanym obszarze. Studium przypadku w Łososinie Dolnej pokazuje bardzo dobre warunki do konstrukcji grodowej. Świadczy o tym nie tylko czerwony okrąg sklasyfikowany jako (5+1). Przykładowo stanowi to zakole rzeczne i wzgórze, skąd roztacza się widok na dolinę Łososiny. Podobne warunki znajdują się w wielu miejscach w Karpatach, nie tylko w Polsce. Dlatego interesujące byłoby prześledzenie możliwych lokalizacji grodów np. na Słowacji. Istnieje dosyć bogata literatura dotycząca tego problemu (Hradiska). Możliwe jest skorelowanie i udowodnienie,

czy model ten jest uniwersalny dla całych północnych Karpat, czy tylko dla polskiej części tych gór (Rys. 18).



Rys. 18. Model 3D grodzisk i okręgów (kulminacje wzgórz) (opracowanie własne)

### Podsumowanie

Liczba pogrupowanych i sklasyfikowanych wzgórz wykazała, jak wiele miejsc było godnych zauważenia i wykorzystania do wzniesienia konstrukcji. Występowanie 44 poznanych grodzisk, na tak urozmaiconym górskim terenie, świadczy o odpowiednim doborze lokalizacji. Władcy kierowali się też różnymi kryteriami – przykładowo: społecznymi, kulturowymi, kultowymi i strategicznymi. Możliwe, że o wielu grodach jeszcze nie wiemy, stąd też analiza widoczności wykazała takie zasięgi. Ich brak to obszary pomiędzy: Przemyślem a Bachowem, Hermanowicami a Sólczą i Sielnicą a Temeszowem. Możliwe, że na tych obszarach mogą być jeszcze nieodkryte grodziska, dla obrony traktów handlowych i rzecznych. Punkty na mapie (wierzchołki wzgórz) stanowią bardzo duży zbiór, który można zaliczyć nawet do tzw. *Big Data*. Stanowi on pomoc topograficzną do wyszczególnienia optymalnego miejsca do dla potencjalnej konstrukcji. Dlatego model ten stanowi dobrą pomoc dla mediewistów, którzy mogą posłużyć się gotowym modelem do korelacji informacji geograficznej z funkcjami (kryteriami) wyszczególnionymi

w niniejszym opracowaniu. Algorytm jest uniwersalny, pod warunkiem zmiany niektórych parametrów (wysokość względna i podział na odpowiednie klasy). Łatwo można przeprowadzić podobną analizę, wykorzystując SRTM lub EU-DEM dla innych części Europy, ale najważniejszym warunkiem jest urozmaicona rzeźba badanego terenu. Poza samym geograficznym aspektem pracy, istotna jest też metodyka zastosowana do opracowania algorytmu. W prosty sposób, na podstawie wysokościowej warstwy rastrowej, można znaleźć i określić najbardziej istotne wierzchołki. Każdorazowo możliwe jest znalezienie interesujących miejsc do przyszłej analizy, wyszczególniając ich określone cechy lokalizacyjne. Na podstawie studium przypadku wokół Łososiny Dolnej znaleziono za pomocą algorytmu wzgórze, które idealnie nadaje się do budowy grodu. Zaproponowana lokalizacja jest interesująca topograficznie, jednak potwierdzenie występowania tam grodziska musiałoby być poparte badaniami powierzchniowymi, szczególnie, że wały obronne mogłyby się nie zachować. Dodatkowo możliwe jest opracowanie modelu 3D na podstawie modelu 2D, aby lepiej zobrazować przestrzeń obrony (szczególnie dolin rzecznych). Model ten może jedynie teoretycznie pomóc w wyszukiwaniu potencjalnych grodzisk. Potwierdzeniem są badania powierzchniowe. Występujące grodziska za buforami prawdopodobnie są lokowane na innych zasadach niż omawiane w literaturze. Przykładem są Tuligłowy, znajdujące się w znacznej odległości od buforu rzeczno, których położenie świadczy o złożonej funkcji grodu, szczególnie pod względem refugialnym. Należy zwrócić wtedy uwagę na inne czynniki lokalizacyjne – szczególnie w kierunku północnym (gdzie wysokości względne wzgórz mogą być niższe niż w wyższych partiach gór). Niektóre grodziska znajdują się poza buforami rzeczno, co przypuszczalnie świadczy o określonych funkcjach takich miejsc – interesujących pod względem społeczno-ekonomicznym. Na podstawie porównania modelu z lokalizacjami obecnych grodzisk, można wywnioskować jednoznacznie, że algorytm funkcjonuje w sposób poprawny. Potwierdzeniem tego są wysokie wartości sklasyfikowanych wzgórz w miejscu, gdzie występują pozostałości po dawnych grodach.



## Literatura (References)

- ArcGIS Pro:  
<https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/geoprocessing/modelbuilder/modelbuilder-quick-tour.htm> (dostęp: 24.07.2024).
- Atlas Grodzisk Wczesnośredniowiecznych z obszaru Polski: [www.atlasgrodzisk.pl](http://www.atlasgrodzisk.pl) (dostęp: 24.07.2024).
- Bakula K., Ostrowski W., Zapłata R., 2014: Automatyzacja w procesie detekcji obiektów archeologicznych z danych ALS. In: Minta-Tworzowska D. (ed.) *Folia Praehistorica Posnaniensia*, v. XIX, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza, s. 189-206.
- Bickler S., *Machine Learning Arrives in Archaeology.*, 2021: *Advances in Archaeological Practice*, 9(2), Cambridge University Press dla Society for American Archaeology, s. 186–191.
- Bryk M., Chyla K., 2013: Zastosowanie technologii GIS w lokalizacji stanowisk archeologicznych podczas prospekcji terenowej. In: *Roczniki Geomatyki*, t. XII, 1(63), s. 19-29.
- Chase A., Chase D., 2017: Detection of Maya Ruins by LiDAR: Applications, Case Study, and Issues, 22. In: N. Masini, F. Soldovieri (ed.) *Sensing the Past, Geotechnologies and the Environment*, Springer, 16, s. 455-468.
- Chrzan K., Moździoch S., Rodak S., 2019: *Wczesnośredniowieczne grodziska w Polsce Tom 5 powiat polkowicki województwo dolnośląskie*, Wrocław, IAiE PAN, s. 12.
- Copernicus: <https://spacedata.copernicus.eu/collections/copernicus-digital-elevation-model> (dostęp: 07.04.2024).
- Cui J., Liu Y., Sun J., Hu D., He H., 2021: G-STC-M Spatio-Temporal Analysis Method for Archaeological Sites, In: *International Journal of Geo-Information*, 10(5), s. 1-25.
- Encyklopedia Leśna: <https://www.encyklopedialesna.pl/haslo/srtm/> (dostęp: 20.07.2024)
- Esri: <https://support.esri.com/en-us/knowledge-base/how-to-invert-a-surface-using-arcgis-spatial-analyst-000006694> (dostęp: 20.07.2024).
- EU-DEM (<https://land.copernicus.eu/imagery-in-situ/eu-dem/eu-dem-v1.1/>), (dostęp: 15.09.2022).
- Fontana G., 2022: Italy's Hidden Hillforts: A Large-Scale Lidar-Based Mapping of Samnium. *Journal of Field Archaeology*, 47(4), s. 245–261.
- Geoportal Krajowy: <https://www.geoportal.gov.pl/> (dostęp: 04.07.2024).
- Giętkowski T., Zachwatowicz M., 2008: Klasyfikacja rzeźby w oparciu o pochodne Numerycznego Modelu Wysokości i jej potencjalne zastosowania w badaniach krajobrazowych, *Polska Asocjacja Ekologii Krajobrazu, Problemy Ekologii Krajobrazu*, t. XXI, s. 111-125.
- Gruszka B., 2016: Układ Przestrzenny Wczesnośredniowiecznego Grodu W Połupinie, stan. 2. W: B. Gruszka (ed.) *Wczesnośredniowieczny gród w Połupinie, stan. 2. Nowe analizy i interpretacje źródeł archeologicznych i przyrodniczych*, Wydawnictwo Fundacji Archeologicznej w Zielonej Górze, Zielona Góra, t. II, s. 72-100.
- Guarino, G., Brucato, A., 2024: Spatial Archaeology: Remote Sensing for the Study and Preservation of Cultural Heritage through Open Data and FLOSS Tools. *Proceedings*, 96(1).

- Guyot A., Lennon M., Lorho T., Hubert-Moy L., 2021: Combined Detection and Segmentation of Archaeological Structures from LiDAR Data Using a Deep Learning Approach, *Journal of Computer Applications in Archaeology*, t4(1), s. 1-19.
- Hare T., Masson M., Russell B., 2014: High-Density LiDAR Mapping of the Ancient City of Mayapán, *MDPI Remote Sensing*, 6(9), s. 9064-9085
- Hincks S., Johnston R., 2022: The ephemerality of prominence: A geospatial analysis of acoustic affordances in a hillfort landscape. *Journal of Anthropological Archaeology*, 67, s. 1-19.
- Hradiska: [www.hradiska.sk](http://www.hradiska.sk) (dostęp: 20.07.2024)
- Juřík V., Snopková D., Chmelík J., Ugwitz P., Stachoň Z., Šašínska Č., Řezník T., 2021: A Comparison of Monoscopic and Stereoscopic 3D Visualizations: Effect on Spatial Planning in Digital Twins. *MDPI Remote Sensing*, 13(15), s. 5-6.
- Kajkowski K., 2019: Zagadnienie tzw. grodów kultowych na wczesnośredniowiecznym Pomorzu. *Slavia Antiqua. Rocznik poświęcony starożytnościom słowiańskim*, 59, s. 129–152.
- Kiarszys, G., Banaszek, L., 2018: Dostrzec i zrozumieć. Porównanie wybranych metod wizualizacji danych ALS wykorzystywanych w archeologii. *Folia Praehistorica Posnaniensia*, 22, s. 233–270.
- Konstantinovski Puntos C., Luc M., 2022: Space-Time Analysis of Strongholds in the Southern Section of the Polish-Ruthenian Borderland with Particular Emphasis on Carpathian Centers, Research Using GIS Tools, *Geoinformatica Polonica*, 21, s. 95-104.
- Konstantinovski Puntos C., 2022: Geo & Arche – dialog wschodniej perspektywy, wizualizacja informacji geograficznej, fotografia, IGiGP UJ, Przemysł – Kraków, s. 1-20.
- Koperski A., 1979: Nowe stanowisko archeologiczne w województwie przemyskim, MSROA za lata 1973-1975, 1964, MSROA, Rzeszów, s. 149-155.
- Kotowicz P., 2005: System militarny Sanoka we wczesnym średniowieczu, *Acta Militaria Mediaevalia I Sztuka wojenna na pograniczu polsko-rusko-słowackim w średniowieczu*, Kraków – Sanok, s. 61-86.
- Kozak J., 2021: *Geografia: Podejście Cyfrowe*, Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego, Wydawnictwo IGiGP UJ, Kraków, s. 90.
- Lisowska E., Jaworski K., 2021: 8th-10th century hillforts in the Sudetes – exploring current state of research and observations, towards new horizons, *Acta Archaeologica Carpathica*, 56, s. 335–386.
- Łapkowski P., 2004: Dolnośląska baza danych o stanowiskach archeologicznych In: *Badania archeologiczne na Górnym Śląsku i ziemiach pogranicznych w latach 2001–2002* (ed.) Eugeniusz Tomczak, Śląskie Centrum Dziedzictwa Kulturowego w Katowicach, Katowice, s. 311-322
- Marszałek J., 1993: *Katalog grodzisk i zamczysk w Karpatach*, Warszawa, Wydawnictwo Kryciński Nauka w Polsce: <https://naukawpolsce.pl/aktualnosci/news%2C406184%2Ckolejne-grodziska-sprzed-35-tys-lat-odkryto-kolo-jasla.html> (dostęp: 20.04.2024).
- Nsanziyera A., Rhinane H., Oujaa A., Mubea K., 2018: GIS and Remote-Sensing Application in Archaeological Site Mapping in the Awsard Area (Morocco), *Geosciences*, 8(6), s. 1-21.

- O'Driscoll J., 2017: Landscape prominence: Examining the topographical position of Irish hillforts using a cumulative viewshed approach, *Journal of Archaeological Science: Reports*, 16, s. 73-89.
- Olczak J., Siuchniński K., 1976: Typologia wczesnośredniowiecznych grodzisk Pomorza Środkowego "Slavia Antiqua", 23, s. 111-152
- Olczak E., Tazbir J., 2009: *Wielki Atlas Historyczny*, Demart, Warszawa, s. 20-21.
- Oxford: <https://www.ox.ac.uk/news/2017-06-23-online-hillforts-atlas-maps-all-4147-britain-and-ireland-first-time> (dostęp: 20.07.2024)
- Parczewski M., 2005: *Czasopismo Acta Militaria Mediaevalia I Sztuka wojenna na pograniczu polsko-rusko-słowackim w średniowieczu*, Kraków – Sanok, s. 27-36.
- Pasławski J., 2010: *Wprowadzenie do Kartografii i Topografii*, Nowa Era, Wrocław 2010, s. 196-234.
- Pawlata L., 2015: Badania archeologiczne z użyciem metody LIDAR w lasach Nadleśnictwa Rudka "Podlaskie Zeszyty Archeologiczne", 10-11, s. 199-213.
- Pępkowska-Król A., Bobrek R., Wilk T., 2013: *Przyroda polskich Karpat*, Przewodnik krajoznawczy, Ogólnopolskie Towarzystwo Ochrony Ptaków – Marki, Leyko, s. 17-45.
- Poleski J., 2004: *Wczesnośredniowieczne grody w dorzeczu Dunajca*, IA.UJ Księgarnia Akademicka, Kraków, s. 324
- Poleski, J., 2013: *Małopolska w VI-X wieku : studium archeologiczne*, IA.UJ, s. 54
- Qgis2threejs (<https://plugins.qgis.org/plugins/Qgis2threejs/>) (dostęp: 14.04.2022).
- Rajman J., 2018: Średniowieczne pogranicze w Karpatach: refleksje nad informacjami Jana Długosza, *Res Gestae. Czasopismo Historyczne*, 6, s. 85-112.
- Renfrew C., Bahn P., 2012: *Archaeology. Theories, Methods and Practice*. Thames and Hudson. London, s. 231.
- Reuter H.I, Nelson A., Jarvis A., 2007: An evaluation of void filling interpolation methods for SRTM data, *International Journal of Geographic Information Science*, 21(9), s. 983-1008.
- Rogers D., 2005: Developing a location research methodology, *Journal of Targeting, Measurement and Analysis for Marketing*, 13(3), s. 201–208.
- Schreg R., 2020: Human Impact on Hydrology. Direct and Indirect Consequences of Medieval Urbanisation in Southern Germany, In: Nicola Chiarenza, Annette Haug and Ulrich Mülle (ed.) *The power of urban water*, De Gruyter, Berlin/Munich/Boston, s. 249-264.
- Sosnowska E., 2010: *Kopiec Tatarski w Przemyślu*, In: Sosnowska E. (ed.) *Przemysł Wczesnośredniowieczny*, a, Wydawnictwo Origines Polonorum, Warszawa, s. 349-363.
- Štular B., Lozić E., 2022: Airborne LiDAR data in landscape archaeology. An introduction for non-archaeologists. *Information Technology*, 64(6), s. 247.
- Tapete D., 2018: *Remote Sensing and Geosciences for Archaeology*, *Geosciences*, 8(2), s. 1-11.
- Verhagen P., 2018: *Digital Geoarchaeology*, In: Siart C., Forbriger M., Bubenzer O. (ed.). *Natural Science in Archaeology*, Springer, s. 20.
- Vojteková J., Tirpáková A., Petrovič F., Izakovičová Z., Vojtek M., 2022: Spatial analysis of historical objects with defensive function in Slovakia, *Geocarto International*, 37(25), s. 7556–7579.

- Welc F., Nitychoruk J., Solecki R., Rabięga K., Wysocki J., 2018: Results of integrated geoarchaeological prospection of unique Iron Age hillfort located on Radomno lake island in north-eastern Poland, *Studia Quaternaria*, 35(1), s. 55–71.
- Wacnik A., Szczepanek K., Harmata K., 2006: Przemiany roślinności jako zapis zjawisk osadniczych w okresie średniowiecza na terenach przyległych do Przełęczy Dukielskiej w Beskidzie Niskim, W: Gancarski J. (ed.) *Wczesne Średniowiecze w Karpatach Polskich*, Krosno, s. 742-747.
- Współczynnik korelacji r-Pearsona - Predictive Solutions:  
<https://predictivesolutions.pl/wspolczynnik-korelacji-r-pearsona> (dostęp: 24.07.2024).

### **Streszczenie**

*W studiach nad lokalizacją wczesnośredniowiecznych grodów obszaru górskiego na terenie Polski istnieje ciągle luka poznawcza. Spowodowana jest ona trudnościami z automatycznym wyznaczaniem miejsc istotnych strategicznie, co jest szczególnie ważne do badań geoarcheologicznych. Jednym z wielu niezbadanych terenów pod tym względem są Polskie Karpaty, mające urozmaicony krajobraz, a ponadto sprzyjające warunki strategiczne. Najważniejszym celem niniejszego opracowania jest wskazanie miejsc, gdzie potencjalnie mogłyby znajdować się grody na mapie wczesnośredniowiecznej Polski, dopiero co się tworzącej. Drugim celem jest opracowanie modelu detekcji potencjalnych obiektów archeologicznych oraz określenie czy punkty te korelują z obecnymi grodziskami i w jakim stopniu, a także znalezienie potencjalnych miejsc archeologicznych (na podstawie opracowanego modelu). Za pomocą współczesnych narzędzi GIS, służących do szczegółowych analiz terenów, opracowano algorytm bazujący na Numerycznym Modelu Terenu. Pozwala on na klasyfikację wzgórz, które mogły być wykorzystywane przez wczesnośredniowieczną ludność i tworzącą się w tym czasie monarchię piastowską. Zastosowanie tej klasyfikacji ułatwia rozpoznanie czy lokalizacja danego grodu jest korzystna z powodów topograficznych i może przysłużyć się do poszukiwania nieodkrytych jeszcze konstrukcji tego typu na badanym terenie. Aby sprawdzić warunki lokalizacyjne, wykorzystano analizę widoczności, by znaleźć przykładowe miejsca poza wykorzystaniem strategicznym w przestrzeni, gdzie powinien znajdować się odpowiedni gród (brak okolicznego grodu - brak ochrony). Na przykładzie jednego z potencjalnych grodzisk (Łososina Dolna) zweryfikowano na ile utworzony model sprawdza się w praktyce. Ze względu na to, że jest to teren przygraniczny, logiczne jest, że obfitował w wiele konstrukcji obronnych, a to daje sporo możliwości badawczych w jego obrębie. W rezultacie omawiany, autorski model, ukazujący lokalizacje grodzisk i wzgórz, może być szerzej zastosowany do wielorakich analiz, prowadzonych przez badaczy o różnych specjalizacjach. Opracowany algorytm (po wprowadzeniu pewnych zmian) można będzie wykorzystać również do badania innych, górskich regionów.*

Dane autorów / Authors details:

mgr Cyryl Konstantinowski Puntos

ORCID: 0000-0001-8500-7348

cyryl.konstantinowski.puntos@doctoral.uj.edu.pl

Przesłano / Received	09.03.2024
Zaakceptowano / Accepted	08.10.2024
Opublikowano / Published	31.12.2024



© Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).