

Baza danych przestrzennych dla potrzeb badań Muzeum Archeologicznego w Biskupinie

The spatial database in the research of Archaeological Museum
in Biskupin

Hubert Bujno¹, Joanna Pluto-Kossakowska¹, Jarosław Kopiasz²

¹Politechnika Warszawska, Wydział Geodezji i Kartografii

²Muzeum Archeologiczne w Biskupinie

Słowa kluczowe: baza danych przestrzennych, GIS historyczny, archeologia
Keywords: spatial database, HGIS, archaeology

Wstęp

Źródłem danych wykorzystywanych na potrzeby badań z zakresu dziedzictwa archeologicznego są różnego rodzaju materiały analogowe i cyfrowe. W przypadku badań inwazyjnych (wykopaliskowych) do pierwszej grupy można zaliczyć przede wszystkim dokumentację: rysunkową, fotograficzną i opisową. Bardziej zaawansowane produkty uzyskuje się dzięki technologiom umożliwiającym pozyskiwanie zobrazowań satelitarnych, zdjęć lotniczych oraz naziemnemu i lotniczemu skanowaniu laserowemu. Osobną grupę stanowią mapy anomalii (geomagnetyczna, elektromagnetyczna georadarowa) uzyskanych w wyniku badań niedestrukcyjnych.

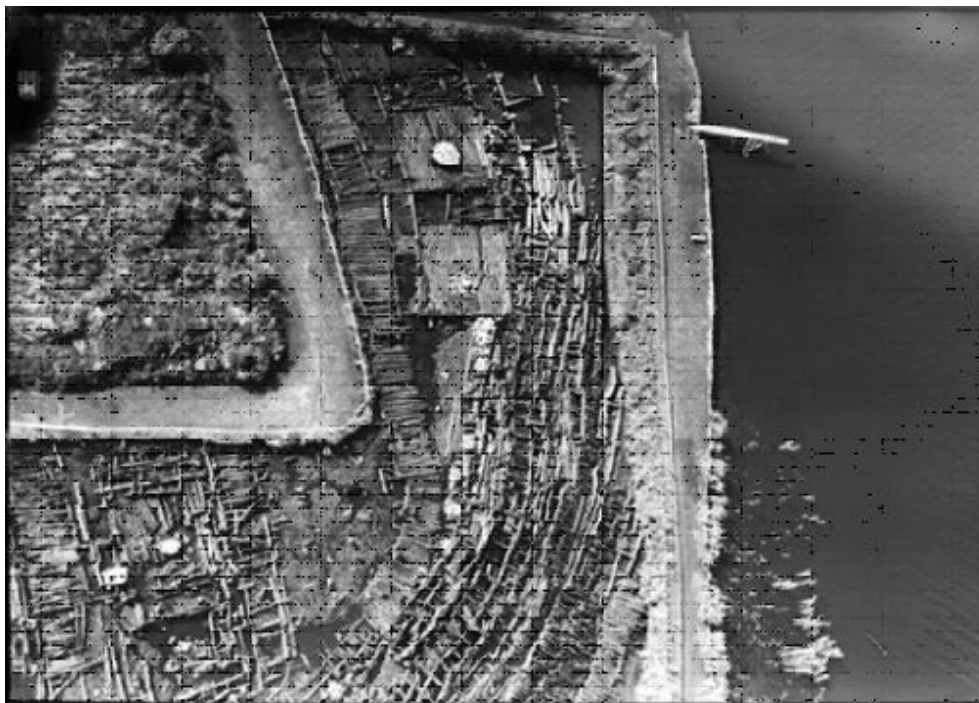
Dane utrwalone w tradycyjnie sporządzonej dokumentacji rysunkowej uzyskiwane są za pomocą urządzeń geodezyjnych i oprzyrządowania służącego do pomiarów trójprzestrzennych (taśmy, kratownice, pantografy, niwelatory, teodolity, tachimetry, poziomice). Coraz częściej różnorakie dane uzyskane w trakcie badań (inwazyjnych i nieinwazyjnych) wykorzystywane są w celu: wspomagania analiz i ich graficznemu odwzorowaniu, a także przechowywaniu, modyfikacji, uaktualnieniu wykorzystaniu informacji przestrzennych (Zapłata, Borowski, 2013, s.104). Potencjał tkwiący w systemach informacji przestrzennej w badaniach dziedzictwa archeologicznego dostrzeżono przede wszystkim w związku z analizą danych archeologicznych, która najogólniej daje możliwość pozyskiwania nowych informacji między innymi przez poszukiwanie asocjacji, klasyfikację lub grupowanie danych przestrzennych (Zapłata, Borowski, 2013, s. 104). W tym kontekście wykorzystanie struktur bazodanowych umożliwia nie tylko przechowywanie danych przestrzennych, ale przede

wszystkim wykonywanie zapytań i wielokryterialnych analiz przestrzennych czy statystyk. Na problemy związane z zastosowaniem systemów informacji przestrzennych w archeologii zwraca uwagę Łukasz Banaszek (2010). Autor ten poddaje dyskusji problemy związane z zastosowaniem GIS w archeologii, zarówno natury ograniczeń technicznych, organizacyjnych, jak i koncepcyjnych. Szczegółowo odnosi się do badań prowadzonych w ramach AZP (akronim Archeologicznego Zdjęcia Polski) oraz badań mikroregionalnych na przykładzie studiów osadniczych w dorzeczu środkowej Wieprzy (Banaszek, 2010). Szeroko pojęte technologie GIS są stosowane w badaniach archeologicznych w Polsce od początku XXI wieku (Miałdun i in., 2005; Zapłata, Borowski, 2013; Pigłás i in., 2014). We wszystkich wspomnianych opracowaniach szeroko dyskutowane są metody pozyskiwania danych oraz potrzeba integracji wieloźródłowych danych przestrzennych z wykorzystaniem technologii GIS, głównie dla potrzeb analiz przestrzennych i wizualizacji niezbędnych do wnioskowania między innymi w archeologii krajobrazu (Chapman, 2011). Na gruncie polskiej archeologii zastosowanie systemów informacji przestrzennej najczęściej znalazło zastosowanie w badaniach nad osadnictwem w skali regionalnej. Rzadziej metody analiz przestrzennych miały na celu uchwycenie relacji artefaktów i struktur osadniczych pojedynczego stanowiska osadniczego (Buchner, 2013, s. 787). Dobrym przykładem inwentaryzacji i integracji danych wieloźródłowych dla stanowisk archeologicznych badanych nieinwazyjnie jest portal SNAP, Oddział Łódź (<http://snap.uni.lodz.pl>, dostęp 20.05.2018; Sikora i in., 2015). Systemy GIS, a w tym opracowanie baz danych przestrzennych wciąż stanowią rzadkie narzędzia, którymi posługują się badacze analizujący różne aspekty osadnictwa w skali pojedynczego stanowiska (np. Mikołajczyk, 2007; Buchner, 2013; Bujno i in., 2017).

Zindywidualizowany charakter analizowanego stanowiska archeologicznego każdorazowo określa dobór metod, narzędzi, danych i nowych rozwiązań gromadzenia, utrzymania, przetwarzania i wizualizacji informacji przestrzennych. W efekcie dobór struktury i narzędzi badawczych ułatwiających wieloaspektowe analizy, które przeprowadza się w oparciu o bazy danych, często wynika z charakteru stanowiska i postawionego problemu badawczego.

Motywacja, cel i zakres opracowania

Badania archeologiczne na terenie stanowiska 4 w Biskupinie rozpoczęto w 1934 roku. Już w pierwszych sezonach badań archeolodzy odkryli znakomicie zachowane, drewniane pozostałości grodu (Kostrzewski 1936, 1938). W tym czasie prace archeologiczne koncentrowały się głównie na północnym (rys. 1) i środkowym odcinku stanowiska, które ze względu na niskie położenie nad powierzchnią lustra jeziora, kryły znakomicie zachowane pozostałości grodu między innymi trzy rzędy wałów skrzyniowych, nakładające się na siebie reliktów budynków z dwóch faz, dwa, trzy poziomy ulic. Gród z wczesnej epoki żelaza w Biskupinie istniał co najmniej w dwóch fazach. W fazie starszej wewnątrz grodu rozplanowane było w oparciu o sieć ulic poprzecznych, które scalała ulica okrężna. Pomiędzy ulicami poprzecznymi ustawione były rzędy zwartej zabudowy szeregowej, którą tworzyły ujednoczone pod względem wewnętrznego rozplanowania budynki. W fazie młodszej sieć szlaków komunikacyjnych uległa modyfikacji. Oprócz ulic poprzecznych i drogi okrężnej wznoszono odcinki szlaków komunikacyjnych na obszarach niezabudowanych. Wzdłuż ulic poprzecznych wznoszono w zabudowie rozproszonej, rzadziej zwartej (szeregowej) zróżnicowane pod względem wielkości i rozplanowania budynki (Kopiasz, 2017, s. 350, ryc. 127, 128).



Rysunek 1. Biskupin, stanowisko 4 – przykład zeskanowanego zdjęcia lotniczego wykonanego przypuszczalnie w 1937 roku (Archiwum Muzeum Archeologicznego w Biskupinie)

W trakcie prowadzenia badań wykopaliskowych w latach 1934-1939 sporządzano dwuwymiarową dokumentację rysunkową (Kopiasz, 2015, s. 63-81) i fotograficzną – naziemną oraz lotniczą, która oprócz doskonałej jakości charakteryzuje się wyjątkowymi walorami interpretacyjnymi (Piotrowski, 2005; Kopiasz, 2015, s. 81-85; Kopiasz i in., 2017). Wszestronne wykorzystanie bogatego zbioru przedwojennych fotografii i dokumentacji rysunkowej z Biskupina było szczególnie zasadne w przypadku rzetelnego opracowania reliktyw zabudowy tego stanowiska (Kopiasz i in., 2017, s. 186). Realizacja tego zadania wymagała uporządkowania i integracji różnorodnych zbiorów danych przestrzennych w postaci rastrowej (np. archiwalne zdjęcia, dokumentacja rysunkowa) i wektorowej (m.in. CAD), pozostających w dyspozycji dwóch instytucji:

- 1) Muzeum Archeologicznego w Biskupinie (MAB) – dokumentacja rysunkowa, zwektoryzowana dokumentacja planów, kilkadziesiąt fotografii przedwojennych,
- 2) Państwowego Muzeum Archeologicznego w Warszawie (PMA) – zdecydowana większość przedwojennych fotografii.

Muzeum Archeologiczne w Biskupinie funkcjonuje obecnie jako muzeum-rezerwat archeologiczny (wpisany do rejestru zabytków na podstawie decyzji z dnia 16.11.1995 roku, nr rejestru 147/C), ze współczesnymi pełnowymiarowymi rekonstrukcjami fragmentów grodu (otoczenie pomnika historii objęto ochroną konserwatorską dnia 6.02.2006 roku, nr rejestru C/148). W ramach wielostronnej aktywności placówki, oprócz przechowywania i udostępniania odkrytego materiału zabytkowego, kontynuowane są badania naukowe z zastosowa-

niem nowatorskich metod i połączeniem wielu dyscyplin (Kucińska-Isaac, 2018), w tym między innymi fotogrametrii i systemów informacji przestrzennej.

Celem podjętych badań nad opracowaniem bazy danych przestrzennych było wykazanie możliwości integracji różnych źródeł danych oraz opracowanie dodatkowych funkcjonalności w zakresie wprowadzania i edycji danych wektorowych organizujących je w zaprojektowane struktury zgodnie z przyjętymi regułami relacji przestrzennych i mechanizmami kontroli. Ważnym aspektem badań są próby opisu w bazie danych, takich atrybutów obiektów jak niepewność i czas. Podjęte dodatkowo zadanie badawcze dotyczące opracowania schematu aplikacyjnego dla proponowanej koncepcji bazy danych ma wskazać na potencjał uniwersalnego opisu w języku UML.

Metodyka opracowania bazy danych przestrzennych

Przy tak postawionych celach metodyka opracowania bazy danych przestrzennych polegała na dwóch głównych zadaniach:

- 1) opracowaniu modelu koncepcyjnego bazy danych przestrzennych jako schematu aplikacyjnego z wykorzystaniem UML, wykonanego na podstawie analizy potrzeb pracowników MAB,
- 2) fizycznej realizacji bazy danych wraz z opracowaniem i implementacją zasad kontroli oraz integracji plików rastrowych w środowisku QGIS, PostgreSQL i z wykorzystaniem bibliotek SAGA.

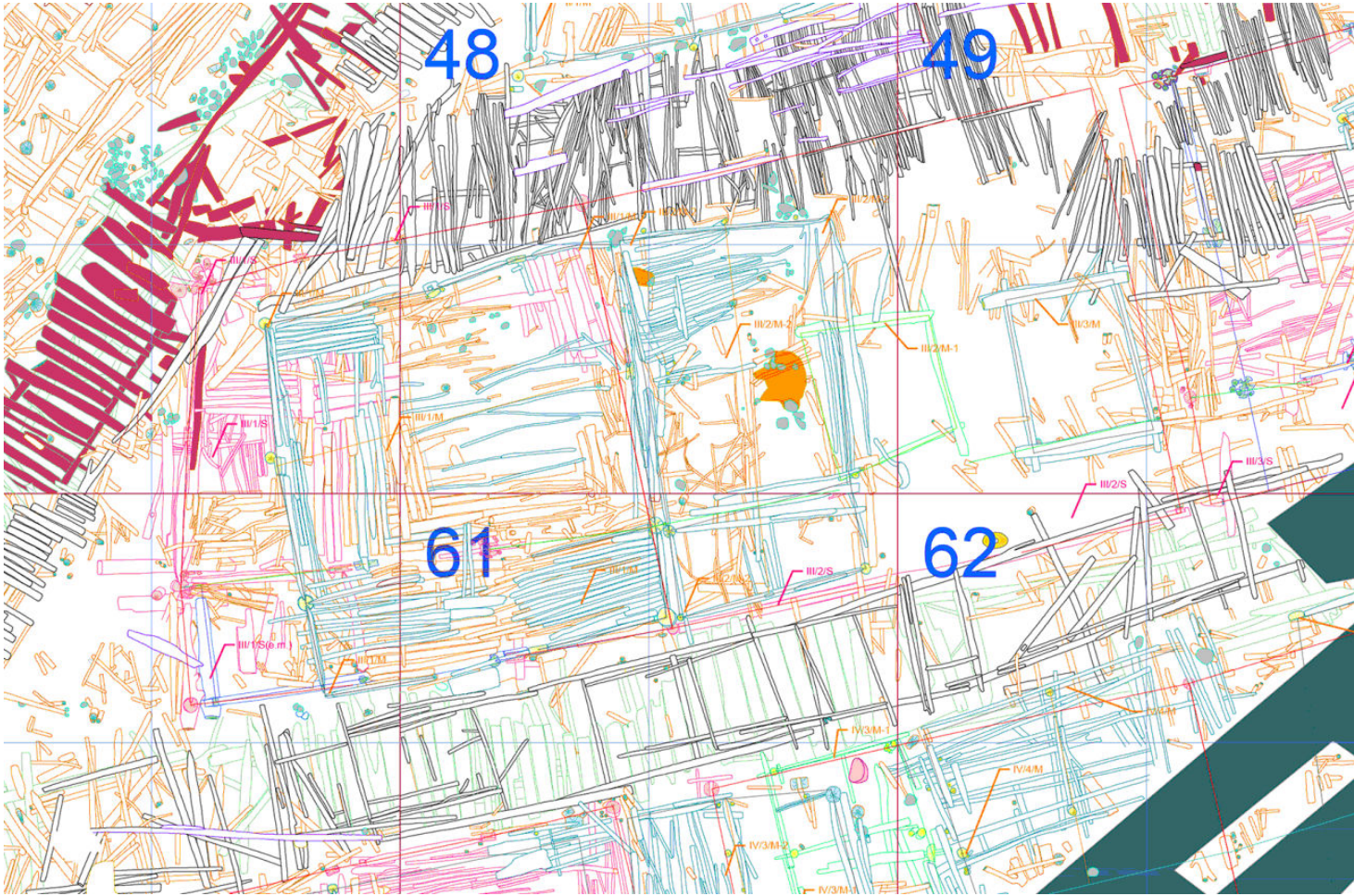
Opracowane środowisko GIS wraz z bazą danych przestrzennych ma za zadanie przede wszystkim integrować dane archiwalne (historyczne zdjęcia i zwektoryzowane plany – rys. 2, 3) oraz wytworzone współcześnie na ich podstawie modele zabudowy grodu Biskupin. Celem jest przygotowanie jednolitej struktury bazodanowej, która umożliwi wprowadzanie nowych danych pozyskanych z interpretacji archiwalnych zdjęć i zwektoryzowanych planów skatalogowanych i przechowywanych w zewnętrznych strukturach. W bazie przechowywane są metadane o zeskanowanych, zdjęciach i modelach przestrzennych zbudowanych technikami fotogrametrycznymi oraz odniesienie przestrzenne do tych materiałów. Głównym wsadem do bazy są dane w formacie CAD pochodzące z wcześniejszych prac wektoryzacji i interpretacji historycznych szkiców i zdjęć. Zostały one pozyskane w środowisku AutoCAD, chętnie wykorzystywanym przez archeologów do zapisu danych wektorowych. Format ten jest przydatny w wielu dziedzinach inżynierskich i projektowych, ale ma takie własności, które uniemożliwiają dalszą pracę analityczną, w tym brak możliwości zbudowania relacji przestrzennych pomiędzy obiektami. Stąd zalecanym formatem jest zapis stosowany w technologii GIS, który pozwala na budowę obiektów typu poligon oraz realizację topologii. Zważywszy na powyższe różnice w zapisie danych, przeniesienie z formatu CAD do formatu GIS nie jest sprawą banalną i wymaga opracowania procedur, które pozwolą na automatyczny i bezstratny transfer danych do bazy SQL z jednoczesnym zbudowaniem i sprawdzeniem topologii. Opracowana automatyczna procedura konwersji danych wektorowych z formatu *dxf* do *shp* została przedstawiona na rysunku 4 w rozdziale „Implementacja bazy danych”.

Nawiązując do modelu koncepcyjnego opartego na prostym modelu wektorowym przy projektowaniu bazy danych przyjęto następujące założenia:



Rysunek 2. Biskupin, stanowisko 4 – fragment zeskanowanego archiwalnego planu reliktyw odkrytych w obrębie jednego ara (Archiwum Muzeum Archeologicznego w Biskupinie)

- podstawą budynków są elementy konstrukcyjne, odpowiedzialne między innymi za przenoszenie na grunt obciążeń własnych i z opartych na nich innych elementów (np. dach),
- na podstawie obrazu uwzględniającego położenie ścian wytyczane są zarysy budynków, natomiast wejścia do budynków i pomieszczeń pokrywają się ze ścianami,
- nie występują duplikaty obiektów,
- nie występują obiekty o niepoprawnej geometrii – baza danych opiera się na prostym modelu wektorowym (punkt, linia, poligon),
- nie występują obiekty o geometrii wieloczęściowej.



Rysunek 3. Fragment zwektoryzowanego w programie AutoCAD (w formacie *dwg*) planu stanowiska 4 w Biskupinie; liczby oznaczają numery „arów” lokalnego systemu odniesienia

Założeniem koncepcyjnym bazy danych przestrzennych było zaprojektowanie narzędzia usprawniającego interpretację oraz analizę archeologiczną i konstrukcyjną reliktyw zabudowy grodowej, przy jednoczesnym wykorzystaniu najlepszych rozwiązań technologicznych z zakresu baz danych przestrzennych i ich wizualizacji. Baza danych miała być prostym w użyciu narzędziem z funkcjonalnością edycji i wprowadzania nowych danych, przeglądania, wyszukiwania i wizualizacji danych przez archeologów, bez potrzeby dalszego angażowania specjalistów GIS. Zaproponowane atrybuty obiektów i ich wartości wynikają z analizy potrzeb i specyfiki prac oraz rejestrów funkcjonujących w MAB i zostały opisane w modelu koncepcyjnym bazy danych. Całościowy model koncepcyjny przedstawiono w schemacie aplikacyjnym UML (załącznik).

Dane wejściowe i prace przygotowawcze

Materiały wykorzystane przy opracowaniu bazy danych pochodzą z Muzeum Archeologicznego w Biskupinie i Państwowego Muzeum Archeologicznego w Warszawie i są to:

- dokumentacja fotograficzna zeskanowana z rozdzielczością 3000 dpi z Archiwum PMA i MAB, która ma walory dokumentacji wykopaliskowej (rys. 1),
- wykaz digitalizacyjny zdjęć, w którym zawarte są szczegółowe informacje odnośnie inwentaryzacji fotografii wykonanych w okresie przedwojennym, w tym między innymi jego numer inwentarzowy, obszar jaki obejmuje zdjęcie z podziałem na ary w lokalnym układzie odniesienia, budowie zadokumentowane na kliszach oraz inne metadane dotyczące samego zdjęcia,
- plan wektorowy stanowiska 4 w Biskupinie w formacie *dwg* przygotowany w programie AutoCAD (rys. 3) na podstawie zeskanowanych planów stanowiska w skali 1:10 i 1:100 (rys. 2),
- produkty fotogrametryczne opracowane w czasie trwania projektu, to jest ortofotomapy wykonane na podstawie przedwojennych zdjęć lotniczych, numeryczny model pokrycia terenu wygenerowany dla całego terenu wykopalisk na podstawie zdjęć ze średniego pułapu, modele fotogrametryczne 3D przygotowane na podstawie zdjęć archiwalnych i planu wektorowego.

Baza danych została opracowana w lokalnym układzie współrzędnych, w którym została wytyczona w 1935 roku siatka arowa (rys. 3), obejmująca cały półwysep i jego nasadę (Kopiasz, 2015). Klasy obiektów, które uwzględniono w bazie danych, są ściśle związane ze specyfiką osadnictwa z wczesnej epoki żelaza na stanowisku 4 w Biskupinie i zostały opisane w dalszej części artykułu. Istotną kwestią, którą należało uwzględnić w trakcie budowy bazy danych była kontrola poprawności obiektów wprowadzonych do bazy. Zaproponowano stosowne reguły topologiczne oraz mechanizmy kontrolujące wprowadzane dane atrybutowe w postaci ograniczeń oraz wyzwalaczy. Baza ma modelować niepewność przestrzenną obiektów oraz ograniczoną możliwość tworzenia reguł topologicznych. Niepewność jest związana z geometrią interpretowanych obiektów, którą nie zawsze można jednoznacznie wyznaczyć. Wynikać to może między innymi: (1) z braku elementu konstrukcyjnego (np. łątki, sumika), którego nie odkryto w trakcie eksploracji, albo zachował się on szczątkowo, uniemożliwiając jednoznaczną interpretację, lub z rozbieżności pomiędzy dokumentacją rysunkową i fotograficzną, co wyraża się brakiem niektórych obiektów, (2) z niepewności przy określaniu rodzaju, fazy/etapu powstania czy cech obiektów.

Model koncepcyjny bazy danych przestrzennych

Model koncepcyjny bazy danych przestrzennych obejmuje szczegółowe omówienie samych klas obiektów oraz relacji topologicznych pomiędzy klasami, które należało zdefiniować w celu sprawdzenia poprawności wprowadzanych danych. W sumie zaprojektowano 13 klas obiektów, przy czym klasa *budynek* jest klasą główną z największą liczbą relacji do innych klas (6). Drugą istotną klasą jest *zdjęcie*, która agreguje dane z kilku źródeł. W dalszym opisie klas przedstawiono najistotniejsze elementy charakteryzujące daną klasę, w tym także zastosowane mechanizmy kontrolne oraz relacje między klasami (tab. 2).

Klasa „budynek” [budynek]

Podstawową klasą obiektów w bazie danych jest „budynek”. Agreguje ona dane z dwóch źródeł: (1) wykazu digitalizacyjnego zdjęć oraz (2) samego zeskanowanego zdjęcia wraz ze środkami rzutów uzyskanymi w procesie aerotriangulacji. Ma ona największą liczbę atrybutów i jest w relacji z większością pozostałych klas, co pokazuje schemat UML (załącznik). Każdy budynek wprowadzony do bazy ma nowy, unikalny kod to jest numer budynku mieszkalnego według nowej nomenklatury [nr_new_nom], który zawiera: numer rzędu (na szkicu), miejsce występowania w danym rzędzie i fazę/okres. Przykładowy kod 0100201 oznacza budynek w pierwszym rzędzie zabudowy, drugi od lewej (zachodu), który pochodzi z fazy starszej (patrz słowniki w schemacie UML). Drugi ważny atrybut to numer budynku mieszkalnego według starej nomenklatury [nr_mies_sn], którego kod odnosi się do wcześniej stosowanego zapisu (funkcjonujący w wykazie digitalizacyjnym zdjęć w formacie *x/s*). Na podstawie tego jest budowana relacja „wiele do wielu” między konkretnym zdjęciem i budynkami, które się na nim znajdują. Kolejny atrybut określa etap powstania obiektu [faza_etap]. Jest to bardzo istotny atrybut, a ze względu na trudność w jego oznaczeniu przygotowano osiem zdefiniowanych wartości: starszy, starszy_prawdop, młodszy, młodszy_prawdop, nieokreślony, etap_fazy_starszej, etap_fazy_młodszej. Ciekawym atrybutem jest liczba pomieszczeń [licz_pomie]. Ponieważ w budynku może być liczba pomieszczeń niemożliwa do oszacowania na przykład 2 lub 3, zdecydowano o tekstowym typie tego atrybutu. Dodatkowo zastosowano „trigger” ograniczający, który uaktywnia się przy niepoprawnym wprowadzeniu danych.

Klasa „ściana” [ściana]

Ważny atrybut tej klasy to kierunek [kierunek] typu tekstowego o zmiennej długości, przyjmujący wartości: „wschodnia”, „zachodnia”, „północna”, „południowa” i „szczytowa” – co oznacza, że jest ona wspólna dla dwóch budynków szeregowych. Z racji, że może pojawić się tylko pięć wartości został ustawiony wyzwalacz ograniczający. Drugi ważny atrybut to rodzaj konstrukcji [rodz_konst] przyjmujący wartość: „działowa” lub „konstrukcyjna” oraz atrybut [pion_desk] typu BOOLEAN, który określa czy ściana jest zbudowana z pionowych desek.

Klasa „element konstrukcyjny” [elem_kons]

Jest to podstawowy element konstrukcyjny dla obiektów budowlanych zawartych w bazie danych. Na elementach konstrukcyjnych budowane są ściany, na których w dalszej kolejności tworzone są pomieszczenia i budynki i te relacje konstrukcyjne również zapisano w bazie danych. Klasę opisują dwa istotne atrybuty rodzaj i kształt, oba typu VARCHAR. Rodzaj **[rodzaj]** przyjmuje wartości: „latka, socha_wewnetrzna, latka&socha, latka_zastepcza”, a kształt **[ksztalt]** przyjmuje wartości: „owal, prostokat”.

Klasa „palenisko” [palenisko]

Warstwa punktowa połączona z warstwą budynek relacją asocjacji. Relacja ta jest bardzo istotna, czego konsekwencją jest dodanie atrybutu numer budynku **[nr_bud]** typu INTEGER. Pole to jest uzupełniane automatycznie dzięki zapytaniu przestrzennemu, które sprawdza czy palenisko zawiera się w jakimś budynku, jeśli tak to podaje jego identyfikator. Użyto zapytania przestrzennego, więc konsekwentnie zbudowano dodatkowo wyzwalacz po stronie budynku i paleniska, który uaktywnia się po każdym INSERT i UPDATE.

Klasa „pomieszczenie” [pomieszcz]

Klasa obiektów typu Polygon, połączona relacją agregacji słabej z budynkiem oraz ścianą. Z klasą „wejście” jest połączona związkiem asocjacji, gdzie „wejście” może znajdować się w granicach pomieszczenia. Atrybut rodzaj **[rodzaj]** typu tekstowego z ograniczeniem, które kontroluje wprowadzane wartości: „izba”, „przedsionek”, „komora”, „pom_gospodarcze”.

Klasa „wejście” [wejście]

Klasa obiektów typu MultiLineString połączona relacją asocjacji z pomieszczeniem i budynkiem. Atrybut rodzaj **[rodzaj]** typu tekstowego, dla którego dodatkowo opracowano wyzwalacz oparty na zapytaniach przestrzennych sprawdzających czy wejście jest wewnętrzne czy zewnętrzne.

Klasa „szlak komunikacyjny” [szl_komun]

Jest to budowla złożona z platformy osadzonej na podłużnych legarach wznoszona na powierzchni gruntu lub reliktach wcześniej istniejących budowli. Atrybut numer szlaku **[nr_szlaku]** typu INTEGER pojawił się, ponieważ nie zawsze jest możliwość jednoznacznego określania ulicy jednym poligonem. Atrybut **rodzaj [rodzaj]** typu tekstowego z listą wyliczeniową z wartościami: „okrężna, łącznik, poprzeczna oraz pomost”.

Wszystkie klasy obiektów otrzymały także atrybuty nadawane w sposób automatyczny to jest unikalny identyfikator oraz związane z geometrią obiektu na przykład powierzchnia, obwód, długość oraz atrybuty porządkujące, takie jak: ostatni użytkownik modyfikujący krotkę, data ostatniej modyfikacji, utworzenia rekordu. Są też atrybuty wspólne dla obiektów wynikające z interpretacji zdjęć i szkiców jak faza/etap o możliwej wartości: „starszy, starszy_prawdop, mlodszy, mlodszy_prawdop, nieokreslony, etap_fazy_starszej, etap_fazy_mlodszej” czy niepewność atrybut typu BOOLEAN, przyjmujący wartość FALSE, gdy nie jesteśmy pewni geometrii opracowywanego obiektu lub TRUE. Tabele słownikowe zaprojektowane w bazie danych zawarto w załączniku – Schemat aplikacyjny UML.

Relacje między klasami

Istotną kwestią do rozwiązania było połączenie klas obiektów z ich występowaniem na zdjęciach archiwalnych (klasa zdjęcie) połączonych relacją wiele do wielu. Wymagało to opracowania i utworzenia dodatkowej tabeli relacyjnej. Ten etap jest bardzo istotny, a efekt jego funkcjonalności ważny z punktu widzenia użytkownika bazy danych.

Obiekt jest to klasa abstrakcyjna oraz bazowa, z której atrybuty, ograniczenia oraz relacje przejmują klasy pochodne (Parzyński, Chojka, 2013). Klasami pochodnymi są wszystkie klasy ze stereotypem Feature Type, wyłączając zdjęcie oraz budynek. Najważniejszą klasą znajdującą się w centralnej części schematu jest budynek, co bardzo dobrze odwzorowuje diagram klas. Uwagę zwraca również klasa *zdjęcie*, która, przy rozbudowie bazy danych będzie wchodzić w relacje asocjacji z każdą klasą typu Feature Type. W modelu zastosowano trzy relacje: dziedziczenie, asocjacja i agregacja (tabela 1).

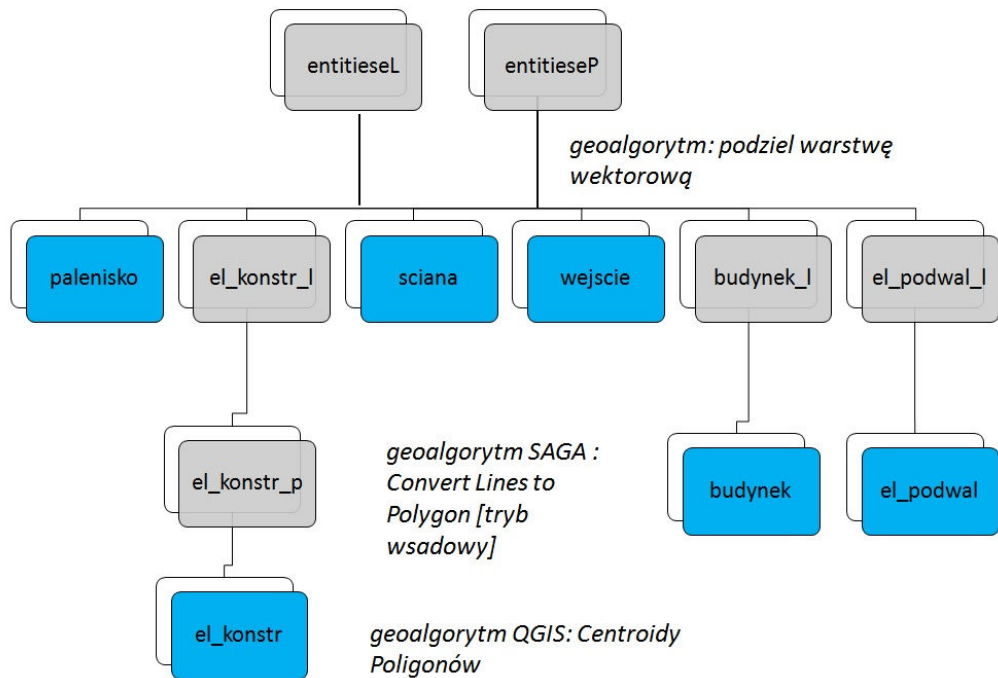
Tabela 1. Relacje między klasami obiektów uwzględnione w modelu bazy danych
(źródło: opracowanie własne)

Nazwa klasy	Nazwa klasy	Relacja	Opis relacji
palenisko	budynek	asocjacja	w budynku może znajdować się jedno palenisko
ściana	budynek	agregacja	trzy lub więcej ścian tworzą budynek
wejscie	budynek	asocjacja	w granicy budynku znajduje się wejście
pomieszc	budynek	agregacja	jedno bądź wiele pomieszczeń stanowi część składową budynku
zdjecie	budynek	asocjacja	na jednym zdjęciu może znajdować się kilka budynków oraz jeden budynek może znajdować się na kilku zdjęciach
budynek	rząd	agregacja	jeden bądź wiele budynków znajdują się wewnątrz konkretnego rzędu
elem_konst	ściana	agregacja	obraz ściany jest rekonstruowany na podstawie dwóch bądź więcej elementów konstrukcyjnych
palenisko	obiekt	dziedziczenie	
ściana	obiekt	dziedziczenie	
wejscie	obiekt	dziedziczenie	
pomieszc	obiekt	dziedziczenie	
szl_komun	obiekt	dziedziczenie	
elem_konst	obiekt	dziedziczenie	
el_podwal	obiekt	dziedziczenie	
wal	obiekt	dziedziczenie	
falochron	obiekt	dziedziczenie	

Implementacja bazy danych

Fizyczna realizacja bazy danych i jej implementacja w środowisku GIS została zrealizowana w oprogramowaniu otwartym to jest: QGIS, PostgreSQL i bibliotek SAGA. Sposób realizacji fizycznego modelu bazy danych obejmuje procesy zaczynające się od przygotowa-

nia danych w programie obsługującym dane wektorowe (tu AutoCAD 2014), przez: import danych, kontrole poprawności geometrycznej obiektów w programie QGIS, utworzenie struktury bazodanowej, aż do uzupełnienia danych tabelarycznych. Etapy przetwarzania danych i ich implementacji do opracowanej struktury bazodanowej wymagają uwzględnienia wielu operacji i narzędzi programistycznych, jak przykładowo przedstawiono na schemacie część dotyczącą konwersji danych (rys. 4).



Rysunek 4. Schemat konwersji danych wektorowych z formatu *dxf* do *shp* (źródło: Bujno, 2017)

Kontrola danych przy użyciu topologii

Na podstawie założeń dotyczących kontroli danych opisanych w metodyce zostały określone reguły do kontroli geometrii obiektów zastosowane dla poszczególnych klas (tabela 2). Kontrole zostały wykonane przy użyciu narzędzia o nazwie „Kontrola topologii” dostępnego w aplikacji QGIS.

Reguły kontroli zostały opracowane w celu ujednoczenia wprowadzanych danych i minimalizacji błędów. Niemniej jednak struktura bazy danych nie jest zamknięta i umożliwia wprowadzenie nowych klas obiektów, ich atrybutów i mechanizmów kontrolnych w procesie uzupełniania i aktualizacji bazy w razie zmiany poglądów lub nowych odkryć.

Tabela 2. Zastosowane reguły do kontroli geometrii przy użyciu narzędzia Kontrola topologii
(źródło: opracowanie własne)

Warstwa 1	Reguła	Warstwa 2
el_konstr	nie może mieć duplikatów	brak
palenisko	nie może zawierać niepoprawnych geometrii	brak
	nie może mieć geometrii wieloczęściowych	brak
	nie może mieć duplikatów	brak
wejscie	nie może mieć geometrii wieloczęściowych	brak
	nie może zawierać niepoprawnych geometrii	brak
	nie może mieć duplikatów	brak
sciana	nie może mieć geometrii wieloczęściowych	brak
	nie może zawierać niepoprawnych geometrii	brak
	końce linii muszą się pokrywać z	el_konstr
	nie może mieć duplikatów	brak
budynek	nie może mieć geometrii wieloczęściowych	brak
	nie może zawierać niepoprawnych geometrii	Brak
	końce linii muszą się pokrywać z	el_konstr
	nie może mieć duplikatów	brak
el_podwal	nie może mieć geometrii wieloczęściowych	brak
	nie może zawierać niepoprawnych geometrii	brak
	nie może mieć szczelin	brak
	nie może mieć duplikatów	brak

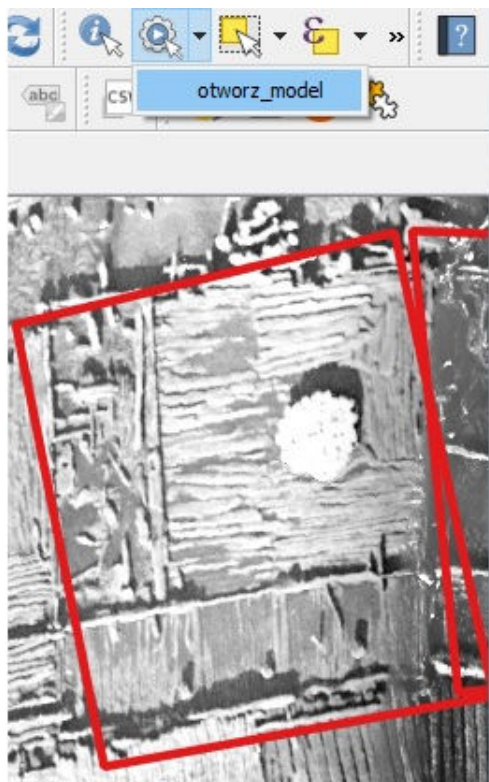
Integracja plików rastrowych

Aby ostatecznie skonfigurować właściwą funkcjonalność opracowanej bazy danych należy przeprowadzić prace dopełniające całą implementację modelu bazy danych. Klasy takie jak „zdjęcia” i „model3D” mają dodatkową kolumnę, która zawiera link do lokalizacji zdjęcia/modelu przechowywanych w oddzielnych strukturach dyskowych. Dzięki takiemu podejściu jest możliwe zdefiniowanie tak zwanych „akcji”, które pozwalają użytkownikowi z poziomu aplikacji:

- dla każdego obiektu z klasy „model3D” otworzyć odpowiadający mu model 3D w oprogramowaniu SketchUp – służącym między innymi do przeglądania i edytowania wygenerowanych w oparciu o technologie fotogrametryczne modeli 3D (rys. 5),
- dla klasy „zdjęcie” dla wybranego punktu zobaczyć szybki podgląd w oknie QGIS lub otworzyć zdjęcie z oryginalną rozdzielczością w oprogramowaniu do przeglądania plików rastrowych.

Dodatkowo dzięki gotowym bibliotekom, między innymi GDAL można wyświetlić, analizować i wykonywać różnorodne analizy przestrzenne na danych rastrowych, między innymi na ortofotomapie lub numerycznym modelu terenu.

Rysunek 5. Akcja otwierająca model budynku oraz zdjęcie lotnicze w SketchUp (źródło: Bujno i in., 2017)



Wnioski

Przy opracowywaniu baz danych przestrzennych istotnym czynnikiem są dane źródłowe, ich format zapisu i struktury przechowywania. Jednym z głównych problemów jest nie tyle wymiana danych między systemami CAD i GIS, ale sposób modelowania obiektów. Większość narzędzi CAD do projektowania to wyrafinowane środowiska graficzne z zaawansowanymi narzędziami do tworzenia dokładnej geometrii, jej edycji i wymiarowania. Jednak nie potrafią one w prosty sposób łączyć z grafiką dodatkowych danych opisowych i przechowywać ich w zewnętrznych tabelach. Obiekty graficzne nie mają atrybutów w rozumieniu danych wektorowych „bazodanowym”, a jedynie adnotacje tekstowe. Z kolei systemy GIS zapewniają łączenie prostej grafiki w relacje topologiczne oraz z tabelami przechowującymi dodatkowy opis obiektów. Istnieje możliwość konwersji danych CAD do systemów GIS, lecz utrudnieniem jest żmudny proces nadawania odniesienia przestrzennego danym wektorowym (układ współrzędnych geograficznych) oraz tworzenie tabeli atrybutów na podstawie opisów i etykiet z projektu CAD.

Drugim bardzo istotnym aspektem, na który warto zwrócić uwagę, jest specyfika danych archeologicznych oraz niepewność z nimi związana, która w dużym stopniu uniemożliwia wykorzystanie znacznie większych możliwości jakimi dysponuje PostGIS, na przykład wykorzystanie topologii bądź prostych reguł przestrzennych. Warto podkreślić, że choć odpowiednio i starannie przygotowane dane w środowisku CAD są bardzo wartościowym

źródłem danych, to do dalszych prac wektoryzacji i wprowadzania kolejnych danych zaleca się wykorzystanie środowiska typowo GIS-owego. Zaprojektowane elementy zarządzania bazą danych będą dbać o to, aby wprowadzane dane były poprawne. PostgreSQL z rozszerzeniem PostGIS daje duże możliwości kontroli wprowadzanych danych, co zostało pokazane na wielu przykładach, między innymi przy użyciu procedur wyzwalanych. Bardzo dużą zaletą jest możliwość nadawania praw użytkownikom do zarządzania danymi, ich edycji, aktualizacji, wersjonowania i ostatecznie do publikowania. PostgreSQL w połączeniu z GeoServer, QGIS i Leaflet umożliwiają tworzenie aplikacji WebGIS i udostępnienia danych opracowanych dla stanowiska 4 w Biskupinie szerokiemu odbiorcy. Zaprojektowane moduły bazy danych przestrzennych umożliwiają wizualizację obiektów opracowanych na etapie rekonstrukcji relikwów zabudowy grodowej, dodawanie nowych obiektów w przyszłości oraz rozbudowę bazy o nowe funkcjonalności.

Podsumowanie

Technologia GIS jest zalecanym narzędziem do gromadzenia, usystematyzowania i analizy danych przestrzennych. Zaproponowana w wyniku badań koncepcja znacznie zwiększa wydajność pracy: umożliwia przeglądanie zdjęć, obiektów 3D z poziomu aplikacji, selekcję zdjęć według wybranych atrybutów oraz umożliwia pracę w jednym, spójnym środowisku. W projekcie bazy danych uwzględniono 15 klas obiektów, 20 bezpośrednich relacji między nimi, 23 funkcje kontrolujące dane przy użyciu topologii oraz procedury wyzwalające opracowane dla każdej warstwy, w znacznym stopniu podnoszą funkcjonalność bazy danych przestrzennych. Zaprojektowana z wykorzystaniem UML i zaimplementowana w systemie zarządzania relacyjno-obiektowa baza danych PostgreSQL z rozszerzeniem PostGIS zrealizowała założenia dotyczące bazy danych przestrzennych i ma wszelkie funkcjonalności i postulaty wymagane na obecnym etapie opracowywania i badania osadnictwa z wczesnej epoki żelaza na stanowisku 4 w Biskupinie. Opracowany schemat aplikacyjny UML można traktować jako punkt wyjścia do budowy baz danych przestrzennych o podobnym charakterze.

Podziękowania. Autorzy artykułu dziękują panu Magistrowi Jarosławowi Kopiaszowi za zaproszenie do realizacji projektu „Opracowanie zabudowy grodu kultury łużyckiej na stanowisku 4 w Biskupinie. Badania przedwojenne”, udostępnienie danych i pomoc przy opracowaniu założeń bazy danych. Autorzy składają podziękowania dwóm anonimowym Recenzentom, w szczególności drugiemu Recenzentowi, za wszelkie sugestie zamieszczone w tekście oraz za wnikliwe i rzeczowe uwagi, które pomogły w dopracowaniu i edycji artykułu.

Finansowanie. Baza danych została zaprojektowana i zrealizowana w ramach projektu „Opracowanie zabudowy grodu kultury łużyckiej na stanowisku 4 w Biskupinie. Badania przedwojenne” finansowanego w latach 2016-2017 ze środków Ministra Kultury i Dziedzictwa Narodowego.

Literatura (References)

- Banaszek Łukasz, 2010: Problemy związane z zastosowaniem GIS w archeologii na przykładzie badań prowadzonych w dorzeczu środkowej Wieprzy (Issues related to the use of GIS in archaeology using the example of research works in the central Wieprz River basin) Praca dyplomowa, Politechnika Wrocławska.
- Buchner Aneta, 2013: Zastosowanie Systemów Informacji Geograficznej w badaniu struktury przestrzennej osady kultury łużyckiej na stanowisku Stary Śleszów 17, pow. Wrocławski (The use of GIS systems for investigations of the spatial structure of the Lusatian culture settlement on the Stary Śleszów station). [W:] Kolenda J., Mierzwiński A., Mozdioch S., Żygadło L. (red.), Z badań nad kulturą społeczeństw pradziejowych i wczesnośredniowiecznych. Księga pamiątkowa dedykowana Profesorowi, Bogusławowi Gedidze w osiemdziesiątą rocznicę urodzin, przez przyjaciół, kolegów i uczniów: 787-794, Warszawa.
- Bujno Hubert 2017: Opracowanie bazy danych przestrzennych dla Muzeum Archeologicznego w Biskupinie (Development of a spatial database for the Archaeological Museum in Biskupin). Praca dyplomowa, Politechnika Warszawska.
- Bujno Hubert, Pluto-Kossakowska Joanna, Kopiasz Jarosław, 2017: Baza danych przestrzennych GIS w badaniach struktur zabudowy grodowej na stanowisku 4 w Biskupinie (Using the GIS spatial database for studying the structures of the forty field settlement AT site 4 in Biskupin). [W:] Kopisz J., Dąbrowski H. P., Grossman A., Piotrowski W. (red), V Sprawozdanie Biskupińskie: 117-130, Biskupin.
- Chapman Henry, 2011: Landscape Archaeology and GIS. The History Press, Brimscombe Port, Stroud.
- Grody wczesnośredniowieczne w Polsce Centralnej (Early medieval strongholds in Central Poland). Portal Stowarzyszenia Naukowego Archeologów Polskich. Dostęp 03.2018 r. <http://snap.uni.lodz.pl/grody/>
- Kopiasz Jarosław, 2015: Dokumentacja archiwalna osady z wczesnej epoki żelaza na stanowisku 4 w Biskupinie i jej cyfrowa integracja (Archive documentation of the settlement from the Early Iron Age on site 4 in Biskupin and its digital integration). [W:] Nowaczyk S., Grossman A., Piotrowski W. (red.), IV Sprawozdanie Biskupińskie: 53-102, Biskupin.
- Kopiasz Jarosław, 2017: Relikty zabudowy osiedla obronnego w Biskupinie w świetle interpretacji przedwojennej dokumentacji rysunkowej i fotograficznej oraz produktów fotogrametrycznych (The remains of the Biskupin fortified settlement in the light of interpretation of the pre-war drawing and photographic documentation). [W:] Kopisz J., Dąbrowski H.P., Grossman A., Piotrowski W. (red), V Sprawozdanie Biskupińskie: 185-353, Biskupin.
- Kopiasz Jarosław, Drzewicz Anna, Grochulska Anna, Piotrowska Krystyna, 2017: Archiwalna dokumentacja fotograficzna i jej znaczenie w badaniach struktur zabudowy grodu z wczesnej epoki żelaza na stanowisku 4 w Biskupinie (Archival photographic documentation and its significance in the research on structures of buildings of the fortified settlement from the Early Iron Age on site 4 in Biskupin). [W:] Kopisz J., Dąbrowski H.P., Grossman A., Piotrowski W. (red), V Sprawozdanie Biskupińskie: 17-46, Biskupin.
- Kostrzewski Józef, 1936: Osada bagienna w Biskupinie, w powiecie znińskim (The swamp settlement in Biskupin, Żnin district). [W:] Kostrzewski J., Lubicz-Niezabitowski E., Jaroń B., Osada bagienna w Biskupinie, w powiecie zniński. Tymczasowe Sprawozdanie z prac wykopaliskowych Instytutu Prehistorycznego UP. w latach 1934-1935: 1-20, Poznań.
- Kostrzewski Józef, 1938: Kilka uwag uzupełniających o budowlach mieszkalnych i obronnych kultury łużyckiej w Biskupinie. [W:] Kostrzewski J. (red.), Gród prasłowiański w Biskupinie, w powiecie znińskim. Sprawozdanie z badań w latach 1937 i 1938 z uwzględnieniem wyników z lat 1934-1935 (Some complementing remarks on housing and defense constructions of the Lusatian culture at Biskupin. [In:] Kostrzewski J. (edit.), The Old Slavic Settlement at Biskupin, in the Żnin district. Report on investigations in 1937 and 1938 with consideration of results of 1934 and 1935): 15-24, Poznań.
- Kucińska-Isaac Anna, n.d.: Biskupin – rezerwat Archeologiczny (Biskupin – the Archaeological Reservation). Dostęp: 03.2018 r. https://zabytek.pl/public/upload/objects_media/5679b5cdaf28f.pdf
- Miałdun Jerzy, Mirkowska Izabela, Rączkowski Włodzimierz, 2005: Wczesnośredniowieczne założenia obronne w Polsce północno-wschodniej: projekt systemu informacji archeologicznej (Early medieval fortified sites in north-eastern Poland – a proposal for an archaeological information system). [W:] Nowakowski J., Prinke A., Rączkowski W. (red.), Biskupin... i co dalej? Zdjęcia lotnicze w polskiej archeologii (Biskupin... and what next? Aerial photographs In Polish archaeology): 193-204, Poznań.

- Mikołajczyk Anna, 2007: Analiza skupień kultury hamburskiej ze stanowiska Siedlnica 17, pow. Wschowa w oparciu o Systemy Informacji Przestrzennej (Analysis of clusters of the Hamburg Culture from the Siedlnica 17 station, Wschowa district, basing on Spatial Information Systems). *Śląskie Sprawozdania Archeologiczne* 49: 15-26. Wrocław, Instytut Archeologii, Uniwersytet Wrocławski.
- Parzyński Zenon, Chojka Agnieszka 2013: Infrastruktura informacji przestrzennej w UML (The spatial information infrastructure in the UML). Warszawa, Wyd. Geodeta.
- Piglas Miłosz, Rączkowski Włodzimierz, Żuk Lidia, 2014: Przestrzenna baza danych – w hermeneutycznej spirali interpretacji (The spatial information infrastructure in the UML). Archeologiczny wyzkum krajiny a aplikacje ICT, Opava.
- Piotrowski Wojciech, 2005: Wykopiska biskupińskie z lotu ptaka – próba podsumowania (Biskupin excavations from the bird's eye view – an attempt to sum up the problem). [W:] Nowakowski J., Prinke A., Rączkowski W. (red.), Biskupin... i co dalej? Zdjęcia lotnicze w polskiej archeologii (Biskupin... and what next? Aerial photographs In Polish archaeology): 27-50, Poznań.
- Portal SNAP, Stowarzyszenie Naukowe Archeologów Polskich Oddział w Łodzi, Dostęp 20.05.2018 r. <http://snap.uni.lodz.pl>
- Sikora Jerzy, Kittel Piotr, Wroniecki Piotr, 2015: Nieinwazyjne badania grodzisk wczesnośredniowiecznych Polski Centralnej i ich zaplecza osadniczego: Chełmo, Rękoraj, Rozprza, Stare Skoszewy, Szydłów (Non-invasive research of the early-medieval strongholds in Central Poland and their settlement hinterland: Chełmo, Rękoraj, Rozprza, Stare Skoszewy, Szydłów). *Prace i Materiały Muzeum Archeologicznego i Etnograficznego w Łodzi. Seria Archeologiczna* 46: 257-300.
- Zapłata Rafał, Borowski Marcin, 2013: GIS w archeologii – przykład prospekcji i inwentaryzacji dziedzictwa archeologiczno-przemysłowego (GIS in archaeology – an example of prospection and documentation of archaeological and industrial heritage). *Roczniki Geomatyki* 11 (4): 103-112, Warszawa, PTIP.

Streszczenie

Celem artykułu jest zaprezentowanie modelu bazy danych przestrzennych wraz z przygotowaniem środowiska GIS zorientowanego na dane źródłowe różnego pochodzenia i formatu (dane wektorowe, rastrowe, modele 3D). Badania objęły opracowanie, testowanie i wskazanie rozwiązań technologicznych GIS w zakresie budowy i funkcjonalności bazy danych dla potrzeb badań archeologicznych prowadzonych przez Muzeum Archeologiczne w Biskupinie (MAB). Prace podjęte nad opracowaniem bazy danych są wynikiem zadań w projekcie realizowanym w latach 2016-2017 przez MAB pt: „Opracowanie zabudowy grodu kultury lużyckiej na stanowisku 4 w Biskupinie. Badania przedwojenne”.

W artykule opisano etapy tworzenia modelu koncepcyjnego i logicznego oraz jego fizyczną implementację. Przedstawiono kolejne fazy projektowania, w tym istotny etap importu danych źródłowych typu CAD opracowanych przez archeologów do oprogramowania GIS, składający się z odpowiedniego przygotowania warstw, transferu i przekształceń danych oraz kontroli za pomocą narzędzi wykorzystujących mechanizmy topologiczne. Zostały szczegółowo omówione zaprojektowane klasy obiektów, relacje występujące między nimi, ograniczenia i procedury wyzwalane założone w bazie danych. Zaprezentowano również dodatkowe rozwiązanie technologiczne w oprogramowaniu QGIS umożliwiające wyświetlanie modeli fotogrametrycznych i archiwalnych zdjęć lotniczych. Na podstawie zrealizowanych prac zostały sformułowane wnioski dotyczące danych źródłowych, problemów wynikających ze specyfiki danych archeologicznych, przydatności oprogramowania „open source” oraz wybranego podejścia do zarządzania danymi przestrzennymi dla potrzeb badań archeologicznych zabudowy grodu kultury lużyckiej prowadzonych na stanowisku 4 Muzeum Archeologicznego w Biskupinie.

Abstract

The aim of this paper is to present the spatial database model within the GIS environment oriented to source data of different origins and formats (vector, raster data, 3D models). Further research has included testing and indication of GIS technological solutions in the field of the database structure and

functionality for the needs of archaeological research conducted by the Archaeological Museum in Biskupin (MAB). Works undertaken on the development of the database result from tasks performed in the project: „Development of the fortified settlement of Lusatian culture in Biskupin. Pre-war study” conducted by the MAB in 2016-2017.

The paper describes the stages of creating a conceptual and logical model and its technical implementation. Next, the phases of database design were presented, including an important stage of CAD data import to GIS software, consisting of appropriate preparation of layers, transformation of data, and control with the use of topological mechanisms. The designed classes of objects, the relations between them, constraints and triggers established in the database have been discussed in details.

An additional technological solution in QGIS software, enabling the display of photogrammetric models and archival aerial photographs, was also presented. Based on this work, conclusions regarding source data, problems resulting from the specifics of archaeological data, the suitability of „open source” software and a selected approach to spatial data management for the archaeological research at Archaeological Museum in Biskupin were formulated.

Dane autorów / Authors details:

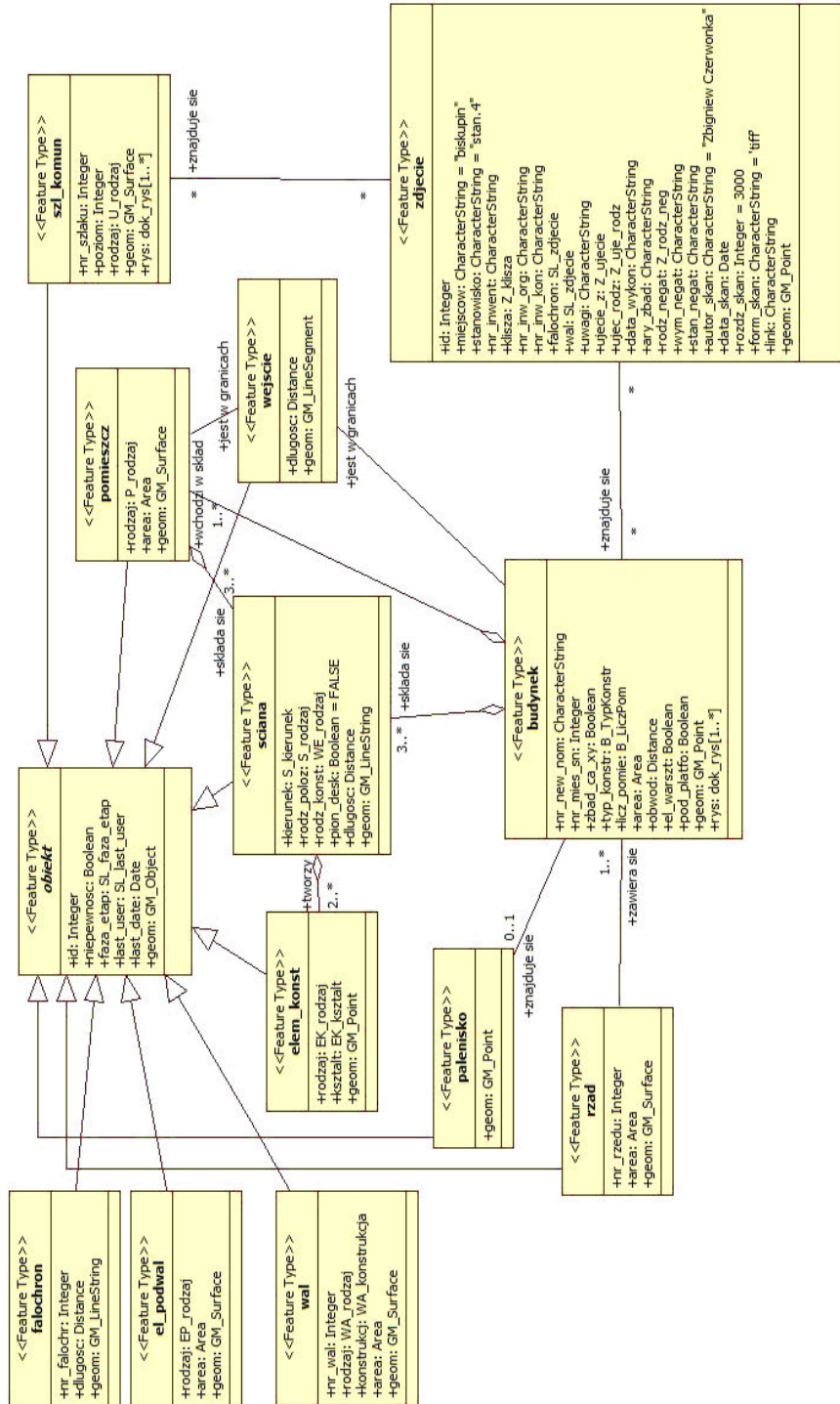
inż. Hubert Bujno
<https://orcid.org/0000-0001-6767-8009>
bujno@gmail.com

dr inż. Joanna Pluto-Kossakowska
<https://orcid.org/0000-0002-6533-1332>
joanna.kossakowska@pw.edu.pl

mgr Jarosław Kopiasz
j.kopiasz@biskupin.pl

Przesłano / Received 12.03.2018
Zaakceptowano / Accepted 30.06.2018
Opublikowano / Published 16.08.2018

Schemat aplikacyjny UML



<<enumeration>> WA_rodzaj +zewnetrzny +skrzytlowy +wewnetrzny	<<enumeration>> EP_rodzaj +latka +zreb +socha_wewnetrzna	<<enumeration>> P_rodzaj +laba +przedzionek +lomora +pom_gospodarcze	<<enumeration>> S_kierunek +N +S +E +W +wspolna	<<enumeration>> EK_rodzaj +latka +socha_wewnetrzna +latka_ssocha +latka_zastepcza	<<enumeration>> U_rodzaj +lacznik +okreznia +poprzeczna +pomost	<<enumeration>> Z_klasza +PWA +MAB	<<enumeration>> Z_stanow +stan_4 +stan4? +okolice stan_4	<<enumeration>> Z_rodz_negat +blona +hliska +szklo	<<enumeration>> Z_ujecie +balon? +dokumentacja rysunkowa planu +dokumentacja rysunkowa przekroju +drabina +grunt/podwyzszenie +loz +podwyzszenie +samolot +z gruntu
<<enumeration>> WA_konstrukcja +2_skrzyniowa +3_skrzyniowa	<<enumeration>> S_rodzaj +konstrukcyjna +dzialowa	<<enumeration>> EK_kszalt +mial +prostokat	<<enumeration>> B_ilcz_pom +1 +1/2 +2 +2/3 +3 +3/4 +4	<<enumeration>> SI_rodz +prostopadle +kosciane	<<enumeration>> SI_user +bujno_hubert +jarek_kopiasz	<<enumeration>> SI_zdjecie +TAK +NIE +PRAWDOPODOBNIENIE	<<enumeration>> SI_faza_etap +starszy +starszy_pravidop +mlodszy +mlodszy_pravidop +nieokreslony +brak +etap_fazy_starszej +etap_fazy_mlodszej		

Słownik powstanie po analizach archeologicznych