

**MODELOWANIE DRZEW W MAPIE TRÓJWYMIAROWEJ W ASPEKTCIE  
PRZESTRZENNEGO PLANOWANIA SENSORÓW OBSERWACYJNYCH  
NA ŚRÓDLĄDOWYCH DROGACH WODNYCH**

**THREE-DIMENSIONAL TREE MODELLING IN THE CONTEXT OF SPATIAL  
PLANNING OF OBSERVATION SENSORS ON INLAND WATERWAYS**

**Jacek Łubczonek<sup>1</sup>, Natalia Wawrzyniak<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Wydział Nawigacyjny, Katedra Geoinformatyki, Akademia Morska w Szczecinie

<sup>2</sup>Wydział Informatyki, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

SŁOWA KLUCZOWE: modelowanie drzew, mapa 3D, sensory obserwacyjne, nawigacja

STRESZCZENIE: Planowanie przestrzenne sensorów obserwacyjnych na śródlądowych drogach wodnych wymaga opracowania trójwymiarowej mapy akwatorium, na podstawie której możliwe jest wstępne określenie pozycji kamery CCTV bądź radaru. Mając na uwadze przestrzenny charakter planowania, mapa taka powinna w odpowiedni sposób reprezentować obiekty rzeczywiste zarówno w aspekcie ich identyfikacji jak również przeprowadzenia analizy widoczności.

W przypadku tworzenia różnych obiektów mapy największe trudności wystąpiły podczas modelowania drzew. Biorąc pod uwagę ich liczebność i znaczenie w przestrzennym planowaniu sensorów, opracowanie odpowiednich modeli oraz ich implementacja w mapie wymagały zastosowania dla nich zróżnicowanej reprezentacji geometrycznej. Poziom szczegółowości modeli związany jest głównie z charakterem terenu badanego akwatorium, który ogólnie można podzielić na teren zurbanizowany, niezurbanizowany oraz portowy.

Nawiązując do standardu City GML, roślinność można przedstawić w postaci indywidualnych modeli roślinności (np. pojedyncze drzewo) oraz modeli reprezentujących ich zgrupowania (np. obszar zalesiony). W przypadku obszarów zurbanizowanych i portowych przeważały drzewa pojedyncze oraz zgrupowane na niewielkich obszarach, natomiast na niezurbanizowanych obszary zalesione. W związku z powyższym w artykule zaprezentowano metody modelowania drzew dostosowanych do typu obszaru, co sprowadzało się do opracowania odpowiednich modeli powierzchniowych oraz pojedynczych modeli drzew. Stworzenie odpowiednich modeli drzew dostosowanych do charakteru obszaru akwatorium umożliwia przeprowadzenie odpowiednich analiz przestrzennych z wykorzystaniem dedykowanej mapy trójwymiarowej.

## **1. WSTĘP**

W obecnej dobie planowanie przestrzenne obejmuje wiele dziedzin aktywności człowieka. Jednym z etapów planowania przestrzennego jest rozpoznanie geograficzne, na podstawie którego można podejmować kolejne decyzje z nim związane. W związku z przestrzennym charakterem realizowanych zadań zastosowanie na tym gruncie znalazło oprogramowanie GIS. Umożliwia ono opracowanie kompleksowego projektu geoinformacyjnego, którego podstawowym elementem jest mapa. W planowaniu przestrzennym

można wykorzystać mapy w różnej postaci, a ze względu na ich wizualną prezentację należy wyróżnić dwa podstawowe typy: mapę dwuwymiarową oraz trójwymiarową. Wnoszą one istotne informacje związane z oceną analizowanego środowiska geograficznego. Mapa dwuwymiarowa, jako produkt kartometryczny, umożliwia przeprowadzenie niezbędnych pomiarów wykorzystywanych w planowaniu oraz ocenę sytuacji na płaszczyźnie. Niestety, taki typ prezentacji jest pozbawiony trzeciego wymiaru, który znacznie zwiększa potencjał interpretacyjny danych poddawanych analizie. Stąd często w planowaniu wykorzystuje się wizualizacje trójwymiarowe, które uzupełniają informacje reprezentowane w dwóch wymiarach.

Planowanie przestrzenne znalazło również zastosowanie w ustalaniu lokalizacji sensorów, a szczególnie tych, które zbierają informacje o otoczeniu w postaci obrazów. Zaliczyć do nich można takie sensory obserwacyjne jak radar i kamera. Wykorzystując mapy dwuwymiarowe można określić z obranej uprzednio lokalizacji sensora obszary objęte obserwacją i te zasłonięte, jednak bez uwzględnienia ich wysokości czy kształtu o większym poziomie szczegółowości jest to niejednokrotnie trudne. Stąd zaistniała potrzeba opracowania mapy trójwymiarowej, którą można wykorzystać do dedykowanych celów projektowych wspierających przestrzenne planowanie sensorów. Szczególną rolę mapy te odgrywają w fazie wstępnego rozpoznania geograficznego. Biorąc pod uwagę dwa podstawowe typy obiektów geograficznych – naturalne i wytworzone na skutek działalności człowieka, należy spodziewać się zróżnicowanego poziomu złożoności trójwymiarowych modeli tworzących mapę. Obiekty sztuczne zwykle cechują się pewną regularnością i powtarzalnością kształtu (np. budynki, lampy, maszty, drogi). Obiekty te można zazwyczaj stworzyć przy zastosowaniu trójwymiarowych podstawowych figur geometrycznych. Inaczej jest obiektami naturalnymi, których kształty są zwykle nieregularne i w zasadzie cechują się pewną niepowtarzalnością.

Na obszarze badań, obejmujących obszary zurbanizowane i portowe, występują zarówno obiekty sztuczne jak i naturalne. Obecnie programy często dostarczają gotowe zestawy symboli 3D, które można wykorzystać przy komponowaniu mapy. Niestety nie zawsze spełniają one oczekiwania w aspekcie przeprowadzenia analiz przestrzennych. Podczas prowadzonych badań związanych z planowaniem przestrzennym sensorów obserwacyjnych największe problemy wystąpiły z poprawnym odwzorowaniem drzew, które mogą występować w formie zgrupowanej oraz pojedynczej. Wiąże się to z koniecznością stosowania metod modelowania, które umożliwią reprezentatywne przedstawienie obiektów dla potrzeb kartograficznych jak i projektowych. Pierwsze z nich powinno umożliwić identyfikację obiektu, natomiast drugie – przeprowadzenie wymaganych analiz przestrzennych.

Wyniki badań wykorzystano do opracowania numerycznego modelu pokrycia terenu dla potrzeb przeprowadzenia analiz związanych z lokalizacją sensorów obserwacyjnych, co jest częścią prac finansowanych ze środków na naukę w latach 2010–2012 jako projekt badawczy.

## 2. ASPEKTY MODELOWANIA DRZEW

Stale rosnące zapotrzebowanie i popularyzacja tworzenia map trójwymiarowych zainicjowało powstanie standardu City GML. Stanowi to bardzo istotny krok w rozwoju map trójwymiarowych, pozwalający w sposób usystematyzowany tworzyć tego typu produkty. Obecnie najpopularniejszymi obiektami podlegającymi wizualizacji są budynki, dla których określono pięć poziomów szczegółowości reprezentujących różne formy ich uproszczenia.

W przypadku obiektów wytworzonych przez człowieka, kategoryzacja modeli w aspekcie szczegółowości jest z pewnością prostsza niż w przypadku obiektów naturalnych. Biorąc np. pod uwagę drzewo, trudno jest jednoznacznie określić, jak powinien wyglądać jego prototypowy model dla wybranych poziomów szczegółowości, przy założeniu, że rozpatrujemy jeden gatunek. Ale i tak w tym samym gatunku są odstępstwa od hipotetycznego prototypu, uwzględniając tylko zróżnicowane kształty czy niesymetryczność koron. W standardzie City GML (Groger et al 2008) można odnieść się do trzech podstawowych modeli roślinności, zdefiniowanych jako pojedynczy obiekt roślinności (np. drzewo), pokrycie roślinności reprezentowane przez model bryłowy oraz powierzchniowy (poligon).

Podejście powierzchniowe i punktowe jest uwzględniane w szerokiej literaturze dla obszarów zalesionych niezależnie od typu czy piętrowości drzewostanu (PGL Lasy Państwowe 2003). Do modelowania jako najważniejszy czynnik wykorzystuje się wysokość. Jednocześnie zaznacza się podział pomiędzy sposobami pomiarów wysokości i sposobu modelowania dla każdego z typów – indywidualnych drzew, małych skupisk i lasów (Brack 2006). Dla modeli powierzchniowych na ogół uśrednia się wysokość całego obszaru na podstawie próbki drzew dominujących. Dla modeli indywidualnych wysokość drzewa ma takie samo znaczenie jak kształt korony. W literaturze można znaleźć kilka sposobów wyznaczania korony głównie opartych o przybliżeniu jej modelem jednolitej, regularnej bryły obrotowej (konoidą, paraboloidą lub hemisferą) przy jej określonej wysokości oraz szerokości przybliżonej na podstawie rzutu na płaszczyznę najdłuższej średnicy drzewa (Brack 2006). Inną metodą jest zastosowanie fotograficznej metody pomiaru (Borowski 2009, Clark 2000).

Drzewa są istotnymi elementami mapy, szczególnie w aspekcie przeprowadzania analiz widoczności, wymagająca obecności odpowiedniego modelu obiektu. Biorąc pod uwagę występowanie na obszarach miejskich i portowych zarówno drzew pojedynczych jak i zgrupowanych, należało pod kątem analiz opracować odpowiednie modele. W kolejnej części pracy przedstawiono sposoby modelowania i wizualizacji drzew w projekcie zrealizowanym w oprogramowaniu ArcGIS 10.0.

## **2.1. Tworzenie modeli bryłowych**

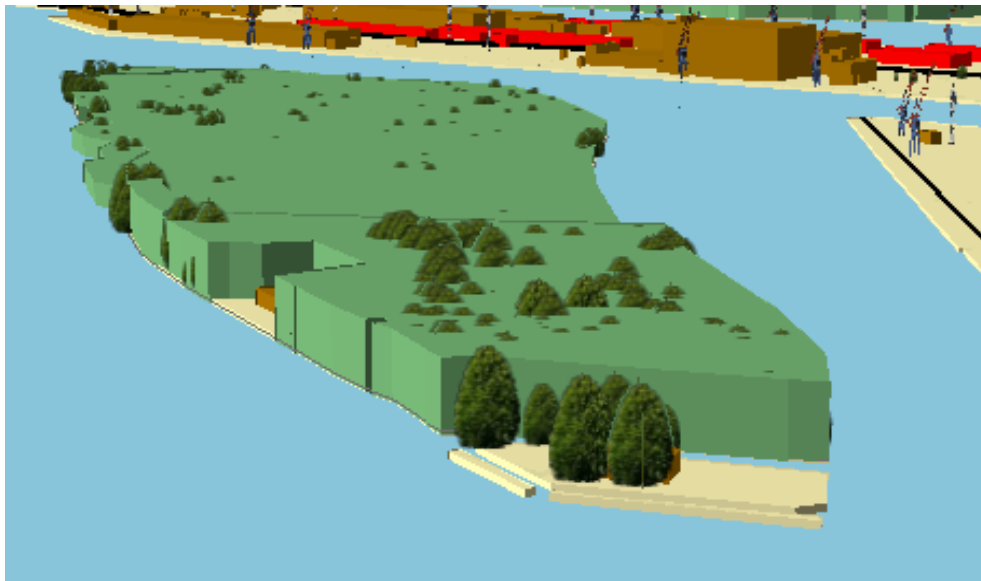
Podstawowym modelem do wizualizacji 3D zgrupowanej roślinności są jednolite modele bryłowe reprezentujące obszary zadrzewione. Proste modele bryłowe można utworzyć poprzez wyniesienie poligonu na zadaną wysokość. Powstaje tu jednak pewien problem związany z określeniem odpowiedniej wysokości. Zazwyczaj zgrupowane drzewa posiadają zbliżoną wysokość, ale nie jednakową. Spowodowane jest to chociażby zróżnicowanymi warunkami wegetacji, co powoduje, że drzewa na krańcach obszaru mogą być większe od pozostałych. Dodatkowo na obszarze zadrzewionym można określić wysokość dominująca drzew, wymaga to jednak wykonania odpowiednich pomiarów. W przypadku przeprowadzania analiz przestrzennych dla potrzeb lokalizacji sensorów obserwacyjnych w zasadzie istotne jest każde drzewo czy wyrażający ich wysokość pewien numeryczny model powierzchni koron. Nie można też stosować metody tworzenia modelu bryłowego poprzez ustalenie jego wysokości na podstawie najwyższego drzewa, ponieważ takie podejście może negatywnie wpłynąć na przeprowadzenia analiz widoczności. Przykładowo, skupisko nieco wyższych drzew może znajdować się w większej odległości od sensora, co ma mały mniejszy wpływ na redukcję jego pola widzenia. Jednak po przyjęciu tej wysokości dla

całego modelu bryłowego może okazać się, że widoczność dla danej lokalizacji sensora jest pozornie zredukowana, co nie odpowiada warunkom rzeczywistym (Rys. 1).



Rys. 1. Porównanie rzeczywistej powierzchni koron z jej uproszczoną formą w postaci modelu bryłowego i jej wpływ na pozorną redukcję pola widzenia sensora

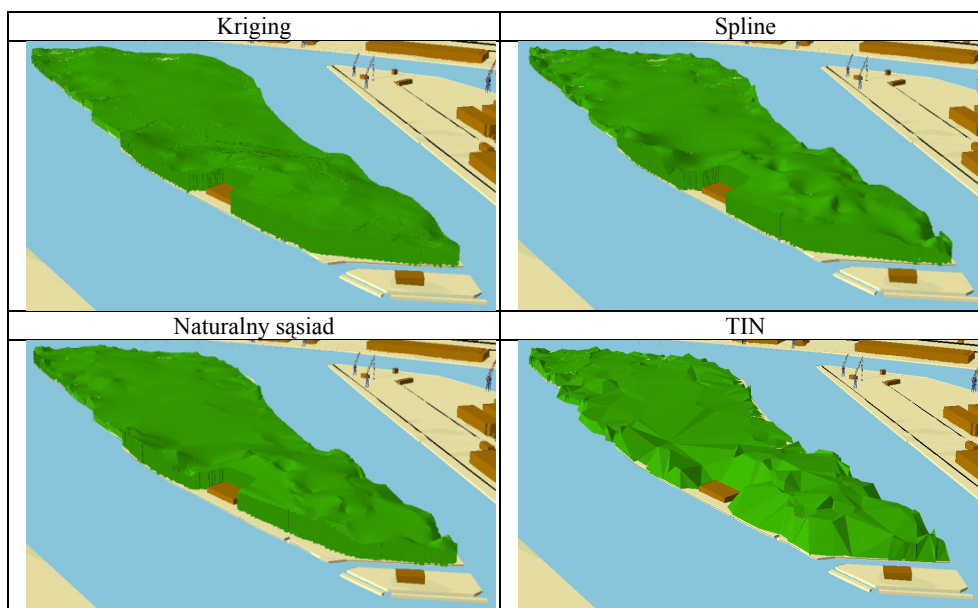
Dla potrzeb dostosowania modeli do analiz widoczności, zastosowano połączone modele oraz modele powierzchniowo ciągle otrzymane poprzez zastosowanie metod interpolacyjnych. W pierwszym wariantcie zastosowano średnią wysokość drzew dla modelu bryłowego oraz dodatkowo wstawiono predefiniowane prototypowe modele drzew pojedynczych. Taka forma wizualizacji pozwala na identyfikację pojedynczych drzew, stanowiących potencjalną barierę obserwacji. Na podstawie rekonesansu terenowego z wykorzystaniem jednostki hydrograficznej stwierdzono, że nawet pojedyncze drzewo może generować znaczącą redukcję pola obserwacji zarówno dla radaru jak i kamery CCTV. Przykład połączonego modelu obszaru zadrzewionego przedstawiono dla wyspy Grodzkiej na rzece Odrze w Szczecinie na rysunku 2.



Rys. 2. Obszar zadrzewiony reprezentowany za pomocą modelu bryłowego oraz pojedynczych modeli drzew

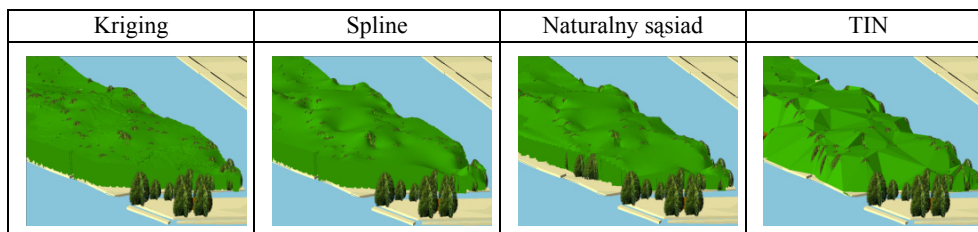
Wadą tej metody jest uśrednienie wysokości drzew, co z kolei może wpłynąć na ostateczny wynik analiz. Stąd propozycja drugiego wariantu, który reprezentuje powierzchnie

koron drzew w sposób ciągły. Powierzchnie taką można stworzyć z wykorzystaniem metod modelowania powierzchni. W tym celu przetestowano następujące metody: kriging, spline, naturalnego sąsiada oraz TIN (Rys. 3). Do stworzenia modeli wykorzystano punkty pomiarowe pozyskane za pomocą zestawu pomiarowego składającego się z dalmierza laserowego TruePulse 360B i odbiornika GPS/RTK oraz uzupełniające materiały kartograficzne (warstwy wektorowe drzew, ortofotomapy). Dla potrzeb sporządzenia numerycznych modeli powierzchni koron można również zagęścić pomiary, w celu lepszego odwzorowania ich kształtu.



Rys. 3. Numeryczne modele powierzchni koron opracowane różnymi metodami

Jak można zauważyć kształty numerycznych modeli powierzchni koron są zróżnicowane. Kształt modelowanej powierzchni zależy od samej metody, doboru jej parametrów i jest jednym z kryteriów oceny poprawności jej rekonstrukcji (Stateczny 2004). Na podstawie porównania kształtu modelowej powierzchni z koronami prototypowych modeli drzew pojedynczych można stwierdzić, że najlepsze dopasowanie do górnej części koron występuje dla metody spline (Rys. 4). Należy przy tym nadmienić, iż zastosowano tu wizualne kryterium oceny poprawności rekonstrukcji powierzchni, które jest wystarczające dla potrzeb wstępnego rozpoznania rozmieszczenia sensorów na analizowanym obszarze. W przypadku bardziej precyzyjnych analiz, z wykorzystaniem np. modelu rastrowego, należy dodatkowo przeprowadzić badania związane z oceną dokładności rekonstrukcji koron z wykorzystaniem miar liczbowych dopasowania. Dodatkowo metoda ta posiada właściwości ekstrapolujące, co umożliwia zwiększenie zasięgu bryły do ich przybliżonego zasięgu wyznaczonego w płaszczyźnie. Dodatkowo model ten dobrze uwidacznia wierzchołki wyższych drzew.



Rys. 4. Dopasowanie indywidualnych modeli drzew do modeli powierzchni koron

Numeryczny model powierzchni koron jest z pewnością lepszym przybliżeniem stanu rzeczywistego, niemniej jednak posiada słabe możliwości identyfikacji drzew znaczących w poligonie obszaru zadrzewionego. Dlatego też połączony model bryłowy oraz numeryczny model powierzchni koron powinny być wykorzystywane podczas analiz zamiennie. W niektórych sytuacjach, ze względu na możliwości wykonania pomiarów, uproszczony model bryłowy jest jedynym sposobem reprezentacji zgrupowanej roślinności.

## 2.2. Tworzenie pojedynczych modeli drzew

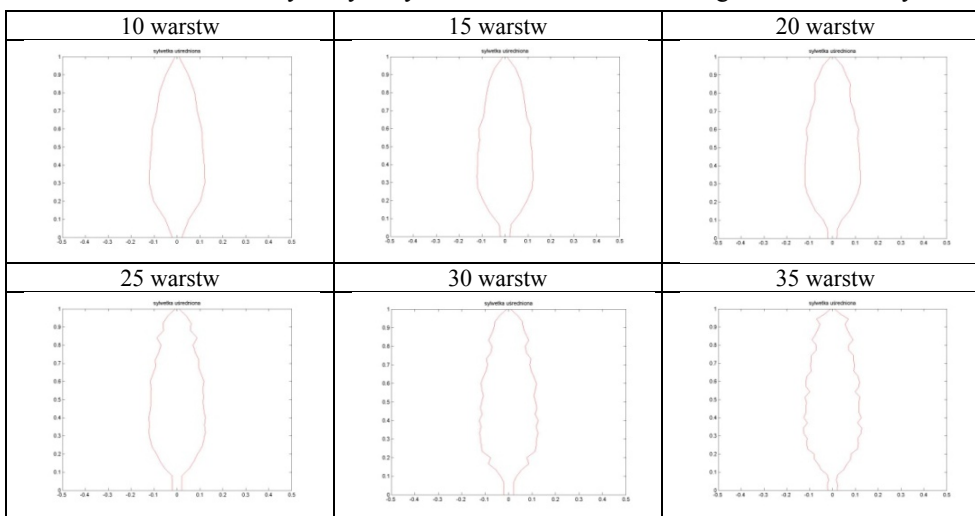
Modele pojedynczych drzew dostępne są zazwyczaj jako prototypy ich gatunków. W oprogramowaniu ArcGIS i ERDAS Imagine występują jako teksturowane modele dwupłaszczyznowe. Dodatkowo istnieje możliwość zmiany ich szerokości oraz wysokości. Mankamentem tych modeli jest to, że istnieje ograniczony zbiór gatunków oraz stosowane są uogólnione metody skalowania symbolu do rozmiarów rzeczywistych. Z reguły wielkość całego modelu zmienia się wraz z jego wysokością. Funkcja ta pozwala na pewną automatyzację opracowania większego zbioru drzew, bez konieczności ręcznego wpisywania szerokości korony. Na obszarach zadrzewionych, szczególnie podmokłych, pomiar czubka korony jest jedynym możliwym pomiarem, stąd korzystając z automatycznego skalowania można, poprzez podanie wysokości drzewa, otrzymać jego przybliżony rozmiar. Podobna sytuacja występuje w przypadku mniejszych grup drzew, gdzie ze względu na zwanie koron pomiar ich szerokości jest często niemożliwy.

Na podstawie przeprowadzanych obserwacji drzewami znaczącymi w aspekcie przeprowadzania analiz widoczności były topole włoskie (*Populus nigra 'Italica'*). Jest to odmiana niewystępująca w przyrodzie naturalnie jednak bardzo chętnie hodowana i sadzona w szpalerach wzdłuż dróg i płotów ze względów estetycznych związanych ze smukłą, strzelistą sylwetką i bardzo szybkim wzrostem drzewa (Białobok 1973). Topole włoskie osiągają przeciętnie do 30 m wysokości przy szerokości korony rzadko przekraczającej 6 m (Gach 2006). Pozostałe drzewa w obszarze akwatorium charakteryzowały się koronami bardziej kulistymi. Drzewa iglaste występowały sporadycznie, stąd nie rozważono ich w analizie. Drzewa dla analiz widoczności wymagały opracowania odpowiednich modeli. W celu opracowania modeli wykonano za pomocą dalmierza sprzężonego z odbiornikiem GPS-RTK pomiaru konturu koron 23 topoli i 23 mieszanych drzew liściastych (kasztanów, akacji, lip, klonów i brzoź). Tworzenie zgeneralizowanego modelu drzewa można zrealizować w następujących krokach:

1. Zrzutowanie prostokątne punktów konturu rzeczywistego na płaszczyznę przechodzącą przez punkt stanowiska pomiarowego (płaszczyzna ta powinna być prostopadła do płaszczyzny przechodzącej przez punkt wyznaczający środek konturu korony)
2. Normalizacja wysokości i szerokości korony w przedziale [0,1]
3. Utworzenie jednostronnego profilu konturu z wszystkich znormalizowanych konturów (lewa i prawa część korony)
4. Segmentacja znormalizowanych punktów poprzez podział zbioru punktów w poziome, równoodległe warstwy (ilość warstw związana była ze stopniem generalizacji modelu)
5. Wyznaczenie średniej arytmetycznej odciętych punktów dla każdej warstwy (względem punktu środka konturu).
6. Wyznaczenie współrzędnych czubka korony dla warstwy o rzędnej 1 (średnia arytmetyczna odciętych)
7. Opracowanie modelu 3D z uśrednionych punktów konturu korony dla różnych wariantów generalizacji (ilości warstwy)

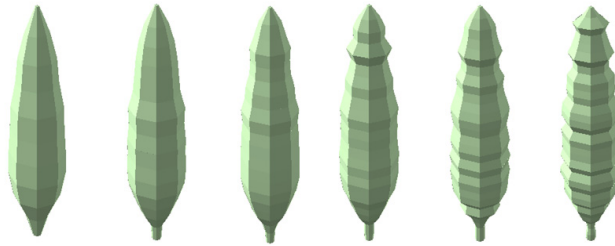
Przykład konturów koron topoli dla różnych stopni generalizacji zilustrowano w tab. 1.

Tab. 1. Kształty uproszczonych konturów dla różnego stopnia generalizacji, wyrażonych w liczbie warstw wykorzystanych do obliczenia uśrednionego konturu korony



Aby otrzymać model trójwymiarowy topoli należało skopiować punkty węzłowe konturu poprzez jego obrót względem środka w płaszczyźnie OZ. Sytuacją idealną byłaby taka, w której można by określić cały model jako bryłę obrotową powstałą poprzez poprowadzenie krzywej aproksymującej wzdłuż połowy konturu drzewa, jednak ze względu na aspekty wydajnościowe przyszłej mapy należało maksymalnie uprościć model pod względem geometrycznym. Poprzez obrót i skopiowanie każdorazowo o 45 stopni względem środka płaszczyzny OZ punktów węzłowych konturu, będących średnimi wartościami punktów dla każdej z wyznaczonych warstw, uzyskano siatkę punktów pod budowę modelu. W zależności

od ilości wyznaczonych warstw powstający model był mniej lub bardziej złożony. Modele opracowano w aplikacji *ArcMap* oraz *ArcScene*. Przykładowe modele 3D tworzone na podstawie konturów topoli włoskiej, w różnym stopniu generalizacji (10, 15, 20, 25, 30, 35 warstw), zilustrowano na rysunku 5.



Rys. 5. Znormalizowane modele 3D topoli w zależności od stopnia generalizacji konturu

W ten sam sposób opracowano korony dla drzew mieszanych o kulistych koronach, co zilustrowano dla wybranych modeli (10, 15, 20 i 25 warstw) na rysunku 6.



Rys. 6. Znormalizowane modele 3D korony kulistej w zależności od stopnia generalizacji konturu

Jak można zauważyć, wraz ze zmniejszaniem stopnia generalizacji zwiększa się nieregularność korony. Stosując zasadę pewnego kompromisu, w przypadku topoli i drzew mieszanych wybrano model 3D opracowany na podstawie 20 warstw. Kryterium wyboru było dostosowanie kształtu korony do pewnych wymogów natury kartograficznej, pozwalającej w tym przypadku na prawidłową reprezentację graficzną pojedynczego drzewa na mapie trójwymiarowej oraz późniejsza wydajność wizualizacji projektu 3D.

Opracowane modele drzew zweryfikowano, obliczając różnicę pomiędzy skrajnymi punktami konturu rzeczywistego korony a szerokością korony modelu uzyskanej dla rzeczywistej wysokości drzewa. Przy założeniu symetryczności korony błąd wyniósł 0.58 m dla topoli i 1.24 m dla modelu składającego się z drzew mieszanych (wartości bezwzględne). Wartości te są zadowalające dla potrzeb przeprowadzenia analiz przestrzennych z wykorzystaniem mapy trójwymiarowej.

### 3. ANALIZA WIDOCZNOŚCI

Opracowane modele drzew, jako element mapy trójwymiarowej, wykorzystano w analizach przestrzennych. Zilustrowano to na wybranym przykładzie, dla lokalizacji sensora umiejscowionego na pomoście radarowym Akademii Morskiej w Szczecinie. W przedniej części wyspy znajdują się topole, natomiast dla pozostałych drzew zastosowano numeryczny model powierzchni koron oraz w przyjętym w pracy wariancie korony



kulistej (Rys. 7). Dodatkową zaletą opracowanych modeli jest to, że można je obserwować jako pełne bryły z wszystkich kierunków, w przeciwieństwie do modeli dwupłaszczyznowych teksturowanych, które z widoku z góry tracą swoją trójwymiarowość i stają się wręcz niewidoczne w widoku nadirowym.



Rys. 7. Analiza widoczności z wykorzystaniem opracowanych modeli drzew

Również należy zwrócić uwagę na istotę doboru odpowiedniego modelu drzew. Na rysunku 8 zastosowanie uniwersalnego, predefiniowanego modelu drzewa może obniżyć efektywność analiz przestrzennych związanych z doбором odpowiedniej lokalizacji sensorów obserwacyjnych, czego przyczyną może być generowanie większych od rzeczywistych przesłoneń akwenu. Niewątpliwie istotnym aspektem jest opracowanie modelu dla drzew znaczących w analizach przestrzennych, którymi w tym przypadku były topole (średnia wysokość dla badanego zbioru topoli to 23.00 m, natomiast najwyższa posiadała wysokość 27.78 m).



Rys. 8. Analiza widoczności z wykorzystaniem uniwersalnych modeli drzew

#### **4. WNIOSKI**

Przeprowadzenie analiz przestrzennych z wykorzystaniem mapy trójwymiarowej wymaga odpowiedniego opracowania modeli drzew 3D, które powinny być dostosowane do poprawnej prezentacji kartograficznej jak również do poprawnego przeprowadzania analiz widoczności. W związku z występowaniem drzew istotnych ze względu na kształt koron i wysokość w analizach widoczności, należy zastosować metodę, która umożliwi odtworzenie tych cech w postaci modelu 3D drzewa pojedynczego. W pracy zaproponowano metodę polegającą na generalizacji konturu znormalizowanych punktów pomiarowych na przykładzie topoli czarnej oraz drzew mieszanych. Metoda ta umożliwi opracowanie bezwymiarowego modelu, dostosowanego do danego gatunku drzewa jak również automa-

tyzację doboru szerokości korony do zadanej wysokości drzewa. Pozwala to również ograniczyć pomiary do wysokości i pozycji drzewa.

W przypadku obszaru zadrzewionego należy dodatkowo stosować prezentowane w pracy modele bryłowe. Model połączony umożliwia dodatkowo identyfikację drzew znaczących dla analizy. Dodatkowo można zwiększyć efektywność interpretacyjną tego modelu przez zastosowanie opracowanych modeli drzew pojedynczych. Natomiast w drugim przypadku, numeryczny model powierzchni koron, umożliwia utworzenie modelu o charakterze ciągłym, co przy zastosowaniu odpowiedniej metody interpolacyjnej lub aproksymacyjnej pozwala na lepszą rekonstrukcję powierzchni obszaru zadrzewionego niż w przypadku uproszczonego modelu bryłowego (w aspekcie przeprowadzanych analiz widoczności). Pewną niedoskonałością powyższych metod tworzenia modeli bryłowych jest ograniczona możliwość odtworzenia szczególnych przypadków, takich jak znaczne przesunięcie koron nad wodę (wynikające często z nachylenia pnia), co wskazuje również na możliwość udoskonalenia metod modelowania drzew przedstawionych w niniejszej pracy.

## 5. LITERATURA

- Białobok S. 1973, *Topole Populus L.*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa-Poznań, s. 67–71.
- Borowski J., Pstrągowska M., Sikorski P., Orzechowski J., Mąkowski J. 2005, *Wyniki badań nad fotograficzną metodą pomiaru przyrostów drzew z zastosowaniem komputerowego programu DENDRO*. Rocznik Dendrologiczny vol. 53, s. 65–88.
- Brack C. 2006, *Forest Measurement and Modelling*, Department of Forestry, Australian National University, <http://sres-associated.anu.edu.au/mensuration/>
- Clark N. A., Wynne R.H., Schmoltd D. L., Winn M. 2000. *An assessment of the utility of a non-metric digital camera for measuring standing trees*. Comp.& Electronics in Agricult., 151–169.
- Gach P. 2006, *Mojedrzewa.pl*, [http://drzewa.nk4.netmark.pl/atlas/topola/topola\\_wloska/topola\\_wloska.php](http://drzewa.nk4.netmark.pl/atlas/topola/topola_wloska/topola_wloska.php)
- Open Geospatial Consortium Inc. 2008, *OpenGIS City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard ver. 1.0.0*, <http://www.phaseone.com>
- PGL Lasy Państwowe 2003, *Instrukcja urządzania lasu*, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, Warszawa.
- Stateczny A. 2004, *Metody nawigacji porównawczej*, praca zbiorowa, Gdańskie Towarzystwo Naukowe, Gdynia 2004, s. 160–186.

### THREE-DIMENSIONAL TREE MODELLING IN THE CONTEXT OF SPATIAL PLANNING OF OBSERVATION SENSORS ON INLAND WATERWAYS

KEY WORDS: tree modeling, 3D map, observation sensors, navigation

SUMMARY: Spatial planning of observation sensors on inland waterways requires creating a 3D map of water area, on which basis defining an initial position of a CCTV camera or radar is possible. Bearing in mind the spatial character of planning, such a map should represent in a proper way real objects in aspect of their identification as well as visibility analysis.

In case of creating different map objects the most difficulties occurred during process of trees modeling. Taking in consideration their quantity and importance in spatial planning of sensors,

developing adequate models and their implementation in 3D map required applying diversified geometric representation. The level of model details related mainly with the character the water area, which can be classified as urbanized, not urbanized or port terrain.

Referring to the CityGML standard, vegetation can be represented in the form of individual vegetation model (eg. single tree) or the models representing their groups (eg. wooded area). In the case of urban and port areas single trees or their small groups are dominating, while in the non-urbanized terrain wooded areas are dominant. Accordingly, the article presents methods for threes modeling adapted to the type of terrain, which amounted to developing appropriate surface models and individual tree models. The creation of appropriate tree models adapted to the nature of the area allowed for the appropriate spatial analysis using a dedicated three-dimensional map.

dr inż. Jacek Łubczonek  
email: [j.lubczonek@am.szczecin.pl](mailto:j.lubczonek@am.szczecin.pl)  
tel. 509 352 199

mgr inż. Natalia Wawrzyniak  
email: [nwawrzyniak@wi.zut.edu.pl](mailto:nwawrzyniak@wi.zut.edu.pl)  
tel. 506 136 242