

**MODELOWANIE ZALEŻNOŚCI  
TOPOLOGICZNYCH ZA POŚREDNICTWEM  
MIĘDZYOBIEKTOWYCH ZWIĄZKÓW  
W PROGRAMOWYM ŚRODOWISKU GEOBA**

**THE MODELING OF THE TOPOLOGICAL  
RELATIONSHIPS WITH A HELP  
OF THE OBJECT ASSOCIATIONS  
IN PROGRAMMING ENVIRONMENT GEOBA**

**Edward Kłodziński, Grzegorz Betliński**

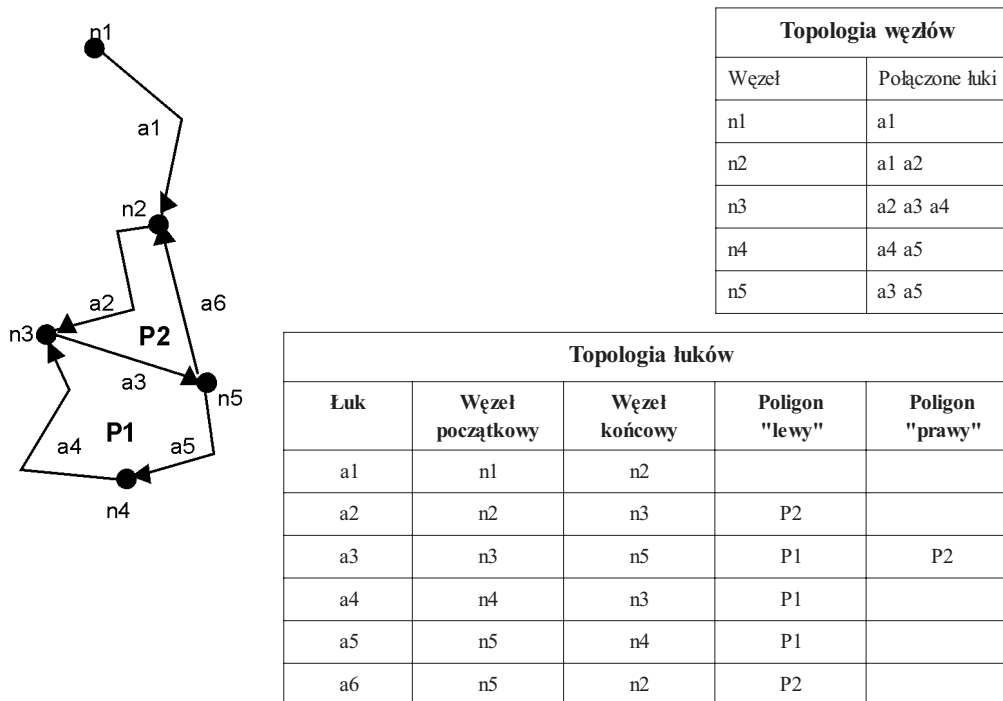
Zespół Badawczo-Projektowy Specjalizowanych Systemów Informatycznych  
Wydziału Techniki Wojskowej, Wojskowej Akademii Technicznej

**Słowa kluczowe: zależność topologiczna, międzyobiektowy związek, sieć, wielopoziomowy podział terenu**

Keywords: a topological relationship, an object association, a network, a multilevel terrain division

## **Wstęp**

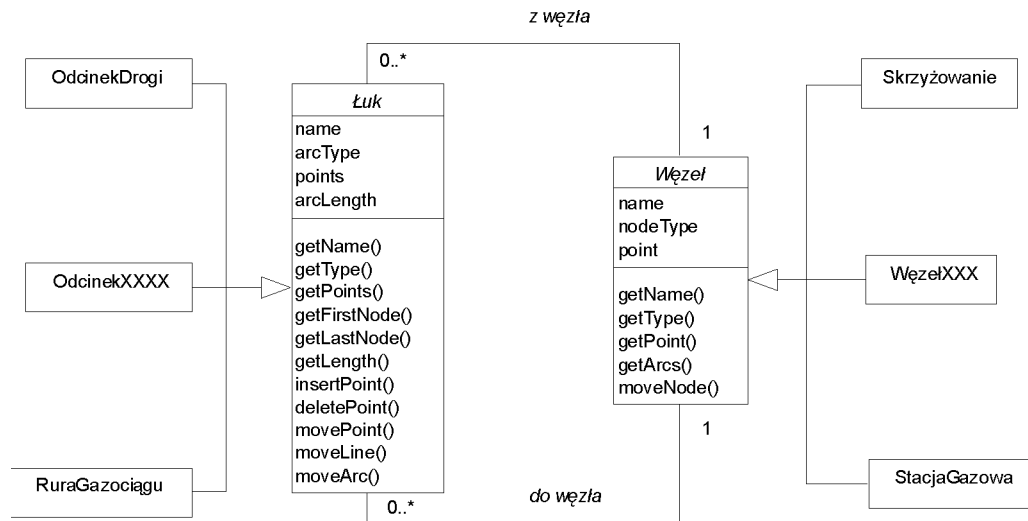
Jednym z najbardziej znanych i rozpowszechnionych modeli topologicznych przestrzennych danych wektorowych jest zobrazowany na rysunku 1 model arc-node (Urbański, 1997). Jak wynika z nazwy podstawowymi elementami składowymi w tym modelu są łuk (arc) i węzeł (node). Łukami są obiekty liniowe, natomiast węzłami obiekty punktowe, przy czym zakłada się dodatkowo, że skrajne wierzchołki (początkowy i końcowy) linii łamanych łuków zawsze zlokalizowane są w węzłach. Korzystając z tych elementarnych obiektów można budować bardziej złożone obiekty takie jak np. poligony, których brzegami są zamknięte linie łamane wyznaczone przez połączone ze sobą w węzłach łuki. Na rysunku 1 widoczne są dwa takie poligony: P1 (złożony z łuków: a3, a5 i a4) i P2 (a2, a3 i a6). Opisany powyżej model arc-node stanowi podstawę, w oparciu o którą skonstruowany został w PŚ GEOBA (Kłodziński, Betliński, 2002 i 2003) model sieci, którego opis zawarty jest w rozdziale „Model sieciowy”. Z kolei na podstawie tego modelu sieci opracowany został, opisywany w rozdziale „Model wielopoziomego podziału terenu”, model pokryć terenu.



Rys. 1. Model danych typu arc-node

## Model sieci

Przyjęty w PŚ GEOBA model sieci przedstawiony jest na rysunku 2. Dwie zasadnicze klasy tego modelu: Łuk i Węzeł bezpośrednio odwzorowują omówiony uprzednio model arc-node. Klasy te są abstrakcyjnymi klasami bazowymi dla potomnych klas obiektów reprezentujących elementy faktycznie przetwarzanej w danym systemie informatycznym sieci. Tak więc, możemy mieć do czynienia z przetwarzaniem sieci drogowej, której elementami są obiekty z klas *OdcinekDrogi* i *Skrzyżowanie*, czy też sieci gazowniczej w której łuki reprezentowane są np. przez obiekty klasy *RuraGazociągu*, natomiast węzłami tej sieci m.in. mogą być obiekty z klasy *StacjaGazowa*. Między klasami bazowymi zdefiniowane zostały dwa powiązania. Pierwsze z nich „z węzła” wiąże początkowy, natomiast drugie „do węzła”, końcowy wierzchołek łamanej wyznaczonej przez obiekt dziedziczony z klasy *Łuk* ze zlokalizowanymi w tych wierzchołkach potomnymi obiektami klasy *Węzeł*. W przypadku sieci nie skierowanych można byłoby zdefiniować zamiast dwóch jedno powiązanie, jednak dla sieci skierowanych rozróżnienie to jest niezbędne. W dalszym ciągu będziemy o takich powiązanych obiektach, niezależnie od tego, czy za pośrednictwem relacji „z węzła”, czy „do węzła”, mówili, że są one ze sobą powiązane relacją połączenia lub połączone. Tak skonstruowany model, oczywiście uzupełniony atrybutami i metodami związanymi z kosztami krawędziowymi, jest w zupełności wystarczający dla realizacji zaawansowanych analiz sieciowych



Rys. 2. Model sieci

(Cormen, Leiserson, Rivest, 1998; Urbański, 1997) takich jak np. funkcje obciążania sieci (ang. network loading), czy wyznaczania najkrótszych dróg (ang. shortest path), jednak w niniejszym referacie będziemy zajmowali się jedynie tymi jego cechami, które są najbardziej istotne w aspekcie wprowadzania i aktualizowania danych o poszczególnych elementach składowych sieci.

Podczas realizacji operacji edycyjnych, rezultatem których jest zmiana lokalizacji wybranych elementów sieci, często modyfikowane jest położenie nie pojedynczego obiektu, lecz grupy połączonych ze sobą obiektów. Np. chcąc przesunąć węzeł sieci nie możemy się ograniczyć wyłącznie do ustalenia nowych współrzędnych punktu jego lokalizacji, gdyż w rezultacie uzyskalibyśmy niespójność sieci objawiającą się niezgodnością z tą nową lokalizacją położenia jednego ze skrajnych wierzchołków każdego łuku połączonego z tym modyfikowanym węzłem. W związku z powyższym, w PŚ GEOBA dla zachowania spójności sieci po zakończeniu tego typu operacji przyjęte zostały następujące reguły:

- a) przesunięcie węzła – o ten sam wektor przesuwane są również te skrajne wierzchołki połączonych z przesuwany węzłem łuków, które zlokalizowane były w tym samym co przesuwany węzeł punkcie,
- b) przesunięcie łuku – o ten sam wektor przesuwane są również połączone węzły, a zatem dla każdego z nich realizowane są działania wynikające z a),
- c) utworzenie łuku – w krańcowych wierzchołkach tworzone są automatycznie węzły, chyba że węzły te lub jeden z nich zostanie wskazany podczas realizacji operacji,
- d) podział łuku nowo utworzonym węzłem – z pierwotnego łuku tworzone są dwa połączone za pośrednictwem nowo utworzonego węzła,
- e) usunięcie węzła – usuwane są również połączone z nim łuki.

Operacjami o zasięgu ograniczonym do pojedynczych obiektów są następujące operacje: usunięcie łuku, utworzenie izolowanego węzła i operacje modyfikujące wewnętrzne punkty łuków (na rysunku 2 odpowiadają im metody: moveLine, insertPoint, deletePoint i movePoint). Przedmiotem działania operacji modyfikujących wewnętrzne punkty łuków jest wyłącz-

nie zbiór wierzchołków łamanej (bez skrajnych wierzchołków) będący wartością zdefiniowanego w klasie Łuk atrybutu points.

## Model wielopoziomowego podziału terenu

Niech  $p$  oznacza punkt płaszczyzny, natomiast  $B$  – brzeg obszaru. Wielopoziomowym podziałem  $P$  obszaru terenu  $O$  stopnia  $n \in \mathbb{N}$  jest każdy ciąg  $\{O_j^m\}$ ,  $j \in \mathbb{N}$ ,  $1 \leq m \leq n$ , podobszarów obszaru  $O$  spełniający następujące warunki:

- $m = 1 \Rightarrow j = 1 \wedge O_1^1 = O$ ,
- $\forall i, j \in \mathbb{N}$ ,  $1 < m \leq n$ ,  $p \in (O_i^m \cap O_j^m) \Leftrightarrow p \in B(O_i^m) \wedge p \in B(O_j^m)$
- $\forall 1 < m < k \leq n$ ,  $p \in (O_i^k \cap O_j^m) \wedge p \notin B(O_i^k) \Rightarrow O_i^k \subseteq O_j^m$ .

Z warunku 1 wynika, że na pierwszym poziomie podziału ( $m=1$ ) istnieje wyłącznie jeden element  $O_1^1$  odwzorowujący cały podlegający dalszym podziałom obszar  $O$ . Warunek 2 oznacza, że na zadanym poziomie podziału podobszary powinny być rozłączne (mogą mieć wspólne jedynie fragmenty brzegów), natomiast warunek 3, że podobszary z wyższego poziomu musi się w całości zawierać w jakimś podobszarze z poziomu niższego (o niższym numerze poziomu). Jeżeli dodatkowo spełniony jest następujący warunek:

- $\forall 1 < m \leq n$ ,  $O_1^m \cup O_2^m \dots \cup \dots \cup O_M^m = O$ ,  
( $M$  – liczba podobszarów  $m$ -tego poziomu)

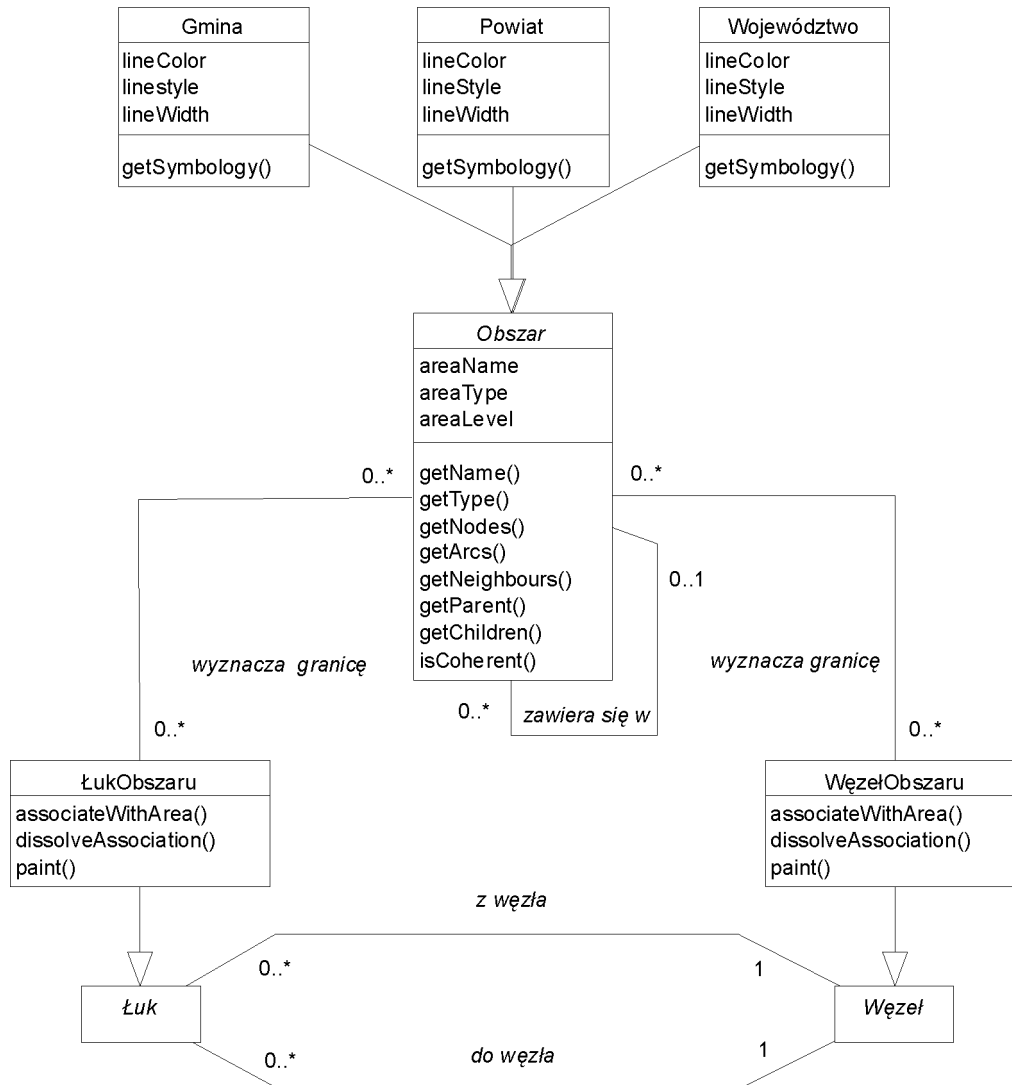
oznaczający, że podobszary na każdym poziomie pokrywają całkowicie dzielony obszar terenu, to mówimy, że wielopoziomowy podział terenu jest całkowity.

Przykładami zgodnego z powyższą definicją wielopoziomowego podziału mogą być:

- administracyjny podział obszaru kraju na województwa, powiaty i gminy,
- branżowy podział obszaru kraju w gazownictwie na Regionalne Oddziały Przesyłu (ROP) i Terenowe Jednostki Obsługi (TJO),
- ewidencyjny podział obszaru gminy, na obręb i działki.

Podziały tego typu mają zwykle bardzo istotne znaczenie dla użytkowników systemów SIT. Wykorzystywane są m.in. podczas budowania kryteriów dla operacji wyszukiwania i generowania zestawień danych. Istnieją również systemy SIT w których wielopoziomowe podziały przetwarzanego w nich obszaru terenu wykorzystywane są dla ograniczania uprawnień użytkowników do realizacji określonych operacji.

Przykładem tych ostatnich systemów mogą być systemy bazujące na PŚ GEOBA (Kołodziński, Betliński, 2002a)), w których wykorzystywany jest, przedstawiony na rysunku 3, model wielopoziomowego podziału terenu. Zgodnie z tym co było wcześniej już powiedziane model ten bazuje na omówionym w poprzednim punkcie modelu sieci (nie skierowanej), który rozbudowany został o dodatkowe klasy: *Obszar*, *ŁukObszaru* i *WęzełObszaru*. Abstrakcyjna klasa bazowa *Obszar* powiązana jest za pośrednictwem relacji „wyznacza granicę” z klasami *ŁukObszaru* i *WęzełObszaru*, będącymi klasami potomnymi abstrakcyjnych klas *Łuk* i *Węzeł*. Jak nietrudno się domyślić, klasy potomne klasy *Obszar* (na diagramie są to klasy *Gmina*, *Powiat* i *Województwo*) opisują składowe obiekty wyznaczające za pośrednictwem powiązania „zawiera się w” niezbędny w systemie wielopoziomowy podział terenu. Funkcje *getNode* i *getArcs* zapewniają dostęp do obiektów



Rys. 3. Model wielopoziomowego pokrycia terenu

tów wyznaczających granicę podobszaru, funkcja `getNeighbours` udostępnia podobszary sąsiadujące (mające wspólne łuki i tą samą wartość atrybutu `areaLevel` określającego poziom podziału), `getParent` - podobszar z bezpośrednio niższego poziomu podziału (o mniejszej o 1 wartości atrybutu `areaLevel`), natomiast `getChildren` podobszary z poziomu bezpośrednio wyższego.

Nietrudno jest zauważyć, że stosując opisany model unikamy nakładających się obiektów liniowych, gdyż wspólne fragmenty granic kilku podobszarów podziału terenu, reprezentowane są zawsze przy pomocy tylko jednego łuku (tego samego obiektu klasy `ŁukObszaru`). Jednak wiąże się z tym problem różnicowania symboliki graficznej granic podobszarów

występujących na różnych poziomach podziału terenu. Problem ten w PŚ GEOBA został rozwiązany w ten sposób, że podczas rysowania łuku (metoda paint) wykorzystywana jest symbolika uzyskiwana za pomocą metody `getSymbology` z tego zobrazowywanego aktualnie w oknie graficznym obiektu (na rysunku może to być obiekt klasy Gmina, Powiat lub Województwo) powiązanego z łukiem przy pomocy relacji „wyznacza granicę”, który ma najniższą wartość atrybutu `areaLevel`. Tak więc, jeśli z pewnym łukiem powiązane są obiekty z klas Gmina, Powiat i Województwo, zakładając, że warstwa województw jest aktualnie wyświetlana, to łuk ten będzie rysowany z symboliką województwa, jeśli warstwa województw jest wyłączona z zobrazowania, to podczas rysowania będzie uwzględniana symbolika powiatów, natomiast jeśli wyłączone są z zobrazowania graficznego zarówno województwa jak i powiaty, to będzie wykorzystywana symbolika gmin.

Rozpatrzmy teraz omawiany model z punktu widzenia aktualizacji danych podczas eksploatacji systemu. Zgodnie z tym co wcześniej było napisane, spójność jest zachowywana po każdej operacji edycyjnej w stosunku do danych reprezentujących sieć połączeń, ale teraz musi być również zachowywana w stosunku do danych odwzorowujących wielopoziomowy podział terenu. Przede wszystkim sieć zbudowana z obiektów klasy ŁukObszaru nie może zawierać przecinających się łuków (punktami wspólnymi łuków mogą być jedynie ich skrajne wierzchołki). W związku z tym wszystkie operacje edycyjne sieci, których rezultatem mogłyby być przecinające się łuki, są automatycznie anulowane. Dodatkowo musi być sprawdzana poprawność topologiczna podobszarów reprezentowanych przez obiekty potomne klasy *Obszar*. Dla wszystkich poziomów różnych od 1 badanie tej poprawności realizowane jest podczas próby ustalenia wiązania „zawiera się w”. Jeżeli wynik tego badania realizowanego przez metodę `isCoherent` jest negatywny, to wiązanie takie nie jest ustalane. Podobszar jest poprawny topologicznie jeśli spełnione są następujące warunki:

a) każdy powiązany za pośrednictwem relacji „wyznacza granicę” z badanym podobszarem węzeł jest połączony z dokładnie dwoma łukami powiązanymi poprzez „wyznacza granicę” z tym samym podobszarem,

b) wszystkie powiązane z badanym podobszarem za pośrednictwem relacji „wyznacza granicę” łuki wyznaczają za pośrednictwem relacji połączeń jedną lub więcej łamanych zamkniętych, przy czym jeśli takich łamanych jest więcej niż jedna (podobszar z wyspami), to musi wśród nich istnieć jedna zawierająca w swoim wnętrzu wszystkie pozostałe, które dodatkowo muszą być przy tym wzajemnie rozłączne,

c) nie istnieje żaden łuk mający część wspólną z wnętrzem badanego podobszaru, którego granice wyznaczone są przez powiązane z nim za pośrednictwem relacji „wyznacza granicę” łuki.

Ponieważ wyżej opisane badanie poprawności topologicznej podobszaru realizowane jest podczas próby ustalenia wiązania „zawiera się w”, więc wiązanie to powinno być usuwane zawsze wtedy, gdy ta poprawność topologiczna może zostać naruszona, a więc każdorazowo gdy zostanie usunięte dotychczas istniejące lub utworzone nowe wiązanie „wyznacza granicę”.

We wszystkich operacjach przetwarzających wielopoziomowy podział terenu, takich jak wspomniane wcześniej wyszukiwanie, generowanie zestawień, czy nadawanie uprawnień użytkownikom, uwzględniane są jedynie te poprawne topologicznie obszary, które są osiągalne z poziomu 1 za pośrednictwem relacji „zawiera się w”. Wszystkie pozostałe podobszary mogą być jedynie aktualizowane.

## Podsumowanie

Najbardziej charakterystyczną i wyjątkowo istotną cechą opisanych w referacie modeli sieci i wielopoziomowych podziałów terenu jest to, że nie ma konieczności utrzymywania w bazie danych systemu żadnych dodatkowych danych służących do wyznaczania topologii w zakresie połączeń łuków jak również sąsiedztwa i zawierania się obiektów obszarowych, bowiem połączenia identyfikowane są przez relacje „z węzła” i „do węzła”, zawieranie obszarów wynika bezpośrednio z powiązań „zawiera się w”, natomiast sąsiedztwo może być łatwo wyznaczone na podstawie powiązań „wyznacza granicę”. W rezultacie zbiór krawędzi i węzłów, który potencjalnie będzie objęty operacją edycyjną sieci (przesunięcia łuków, odcięć, węzłów, wierzchołków, usuwanie łuków i węzłów) wyznaczany jest wyłącznie na podstawie powiązań międzyobiektowych. Nie bez znaczenia jest tu również fakt, że w bazie danych systemu nie są dublowane, jak to ma miejsce w przypadku systemów wykorzystujących poligony do reprezentowania podziału terenu, krawędzie obszarów, które zwykle obejmują po kilkaset, a często kilka tysięcy wierzchołków. Na koniec zauważmy jeszcze, że omówione w referacie podejście do zależności topologicznych prowadzi do identycznych metod ich modelowania i dokumentowania jak w przypadku wszystkich innych związków międzyobiektowych.

## Literatura

- Booch G., Rumbaugh J., Jacobson I., 2002: *Inżynieria oprogramowania. UML przewodnik użytkownika*, WNT.
- Cormen T.H., Leiserson C.E., Rivest R.L., 1998: *Wprowadzenie do algorytmów*. WNT Warszawa.
- Kołodziński E., Betliński G., 2002: *Środowisko Programowe GEOBA do tworzenia systemów informacji o terenie – własności i możliwości*, Systemy Informacji Przestrzennej, PTIP Warszawa.
- Kołodziński E., Betliński G., 2003: *Środowisko programowe Geoba do wytwarzania ZSyD – Zunifikowane Stanowisko Funkcyjne*. Materiały XI Konferencji Naukowej "Automatyzacja Dowodzenia". Pieczęta.
- Urbański J., 1997: *Zrozumieć GIS. Analiza informacji przestrzennej*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Yourdon E., Argila C., 1999: *Analiza obiektowa i projektowanie*. WNT.

## Summary

*This paper describes a general concept of a two models: a network model and a multilevel terrain division model, which are implemented in the Program Environment GEOBA that supports production of object-oriented geographical information systems.*

*The network model bases on a well-known vector data model, so-called arc-node, that topologically links arcs to nodes and polygons. Arc-node topology is showed on the figure 1 and it includes two main aspects of vector data:*

- 1. connectivity – it's an identification of connected arcs by recording start and end node for each arc,*
- 2. contiguity – it's an identification of adjacent polygon by recording the "left" and "right" polygons of each arc.*

*There are two abstract classes in the network model showed on the figure 2: the first of them Łuk representing an arc and the second Węzeł corresponding with a node. These classes are associated by a "z węzła" (from node) and "do węzła" (to node) relations. In the case of Łuk class, a children are representing in reality such the objects as gas pipelines, streets, and so on, however a children of*

Węzeł class are corresponding with such the objects as a gas station or a street intersection.

The  $n$ -level division  $P$  of the terrain area  $O$  is such a sequence  $\{O_j^m\}, j \in N, 1 \leq m \leq n$ , of the areas belonging to  $O$ , that ( $p$  - a point,  $B$  - an area border):

1.  $m = 1 \Rightarrow j = 1 \wedge O_1^1 = O$ ; // there is only one area at the first level of the terrain division and this area is equal whole input area  $O$ ,
2.  $\forall i, j \in N, 1 < m \leq n, p \in (O_i^m \cap O_j^m) \Leftrightarrow p \in B(O_i^m) \wedge p \in B(O_j^m)$  // the areas at the same level have to be disjointed (only points belonging to the area borders can be common)
3.  $\forall 1 < m < k \leq n, p \in (O_i^k \cap O_j^m) \wedge p \notin B(O_i^k) \Rightarrow O_i^k \subseteq O_j^m$  // an area at the level  $m$  (excluding level  $m=1$ ) have to be included in an area at the level  $m-1$ .

An example of such a 3-level terrain division can be a division of a country territory into a states which are next divided into a counties. The multilevel terrain division model is showed on the figure 3 and it basis on a network model which was extended with an additional classes ŁukObszaru, WęzełObszaru and Obszar. The class ŁukObszaru is a child class of a class Łuk and the class WęzełObszaru is the specialization of a class Węzeł. Each of these two classes is associated by „zawiera się w” (contains in) relation with an abstract class Obszar which is a base class for a class representing all elements (e.g. a state or a county) of a multilevel terrain division.

The most important features of these described in short models are following:

- Instead of recording a special datum especially designated for topological relationships, a connectivity, a contiguity and an area including are recording like the all normal object associations.
- The set of objects being within the operation reach is calculated basis on the object associations.
- The data base contains not overlapped arcs only.
- The system model and his documentation are made in the same manner for all, including topological, object relationships.

dr hab. inż. Edward Kołodziński, prof. WAT,  
ekolodzinski@poczta.wp.pl

mgr Grzegorz Betliński,  
Betlinski@ias.wat.waw.pl

tel. +4822 683 95 03  
fax +4822 683 97 92