

2. Modele danych przestrzennych

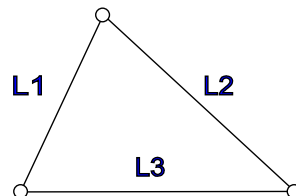
Model danych przestrzennych określa sposób reprezentacji obiektów świata rzeczywistego w aspekcie ich położenia przestrzennego, kształtu oraz istniejących między nimi relacji przestrzennych. Ponieważ informacje przestrzenne stanowią podstawę systemu informacji przestrzennej z tego też względu model danych przestrzennych jest również bardzo ważnym jego elementem. Od przyjętego modelu zależy bowiem zakres i forma reprezentowanych informacji przestrzennych, a co za tym idzie również możliwości i efektywność ich przetwarzania.

Podstawą każdego modelu danych przestrzennych jest wybór podstawowych (określonych przestrzennie) elementów geometrycznych wykorzystywanych do reprezentacji obiektów świata rzeczywistego, czyli do budowania ich numerycznego przestrzennego modelu w systemie. Generalnie elementy geometryczne wykorzystywane w modelach danych przestrzennych można podzielić stosując do nich kryterium wymiaru w przestrzeni. Otrzymujemy wtedy elementy:

- 0-D - zerowymiarowe -punkt,
- 1-D - jednowymiarowe - linia,
- 2-D - dwuwymiarowe - obszar.

Na analogicznej zasadzie można wyodrębnić element trójwymiarowy (bryłę), lecz zastosowanie pełnego trójwymiarowego modelowania jest w chwili obecnej jeszcze bardzo rzadko wykorzystywane. Dlatego też w dalszej części pracy elementy trójwymiarowe zostaną pominięte.

W zależności od przyjętego modelu danych przestrzennych wymienione elementy geometryczne mogą być określane bezpośrednio ciągiem punktów o określonych współrzędnych lub budowane hierarchicznie tzn. element o wymiarze wyższym budowany jest z odpowiedniej liczby elementów o wymiarze niższym np. element **2-D** może być zbudowany z przynajmniej trzech elementów **1-D**.



Rys. 2.1. Ilustracja hierarchicznej budowy obiektów

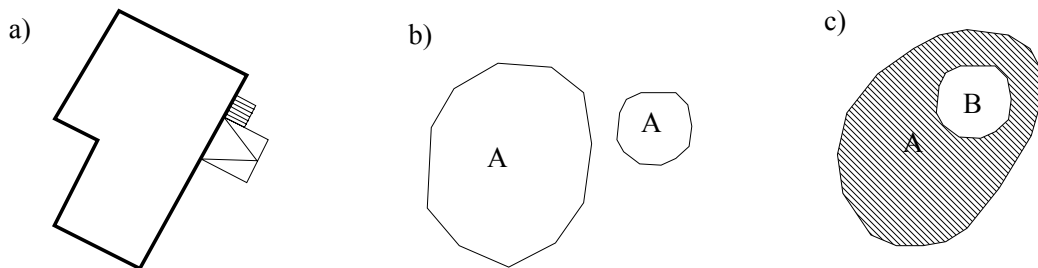
Dla większości obiektów świata rzeczywistego występujących w systemach informacji przestrzennej ich reprezentacja przestrzenna może być zrealizowana tylko jednym z wymienionych elementów geometrycznych. Obiekty tak reprezentowane nazywane są **obiettami prostymi**. Wśród obiektów prostych wyróżniamy:

- **obiekty punktowe**, reprezentujące np. punkty osnowy geodezyjnej,
- **obiekty liniowe**, reprezentujące np. ogrodzenia, krawężniki,
- **obiekty powierzchniowe**, reprezentujące np. działki.

Podstawowy wpływ na wybór elementu geometrycznego służącego do reprezentacji obiektu świata rzeczywistego mają skala i przeznaczenie tworzonego opracowania. Tak więc te same obiekty świata rzeczywistego (np. budynki) w opracowaniach wielkoskalowych będą

obiektami powierzchniowymi, natomiast w opracowaniach małoskalowych obiektami punktowymi lub będą zupełnie pomijane.

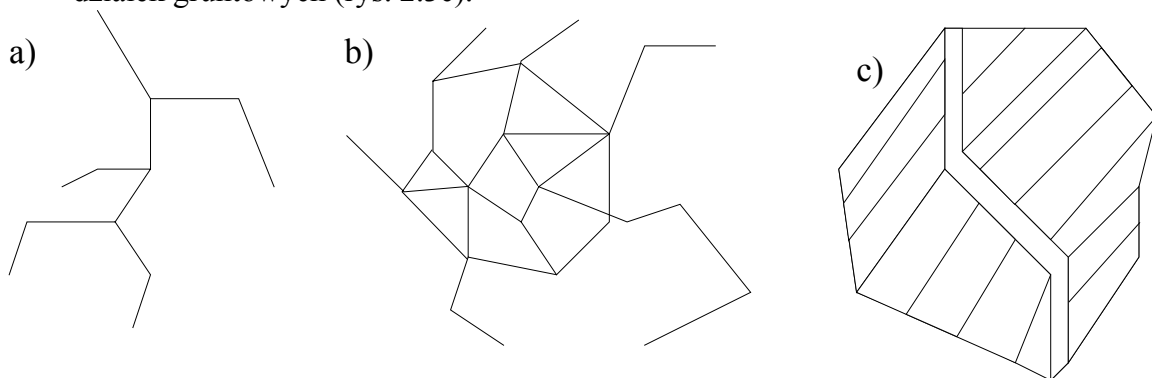
Ponieważ jednak nie wszystkie, wyodrębniane na potrzeby systemu informacji przestrzennej, obiekty świata rzeczywistego dają się przedstawić w sensie przestrzennym przy pomocy jednego z tak zdefiniowanych obiektów prostych, wprowadza się pojęcie **obektu złożonego** (kompleksowego) będącego kombinacją obiektów prostych. Przykładem obiektu złożonego może być obiekt reprezentujący budynek, w którym dokonano połączenia obiektu powierzchniowego stanowiącego jego obrys z innymi obiektami towarzyszącymi jak np. schodami, tarasami itp. (rysunek 2.2a). Innymi przykładami obiektów złożonych są: obiekt powierzchniowy złożony z kilku rozłącznych obszarów (rysunek 2.2b) oraz obiekt powierzchniowy zawierający w sobie inny obiekt powierzchniowy, przy czym granice tych obiektów się nie przecinają (rysunek 2.2c).



Rys. 2.2. Przykłady obiektów złożonych

Innym problemem związanym z prezentacją skomplikowanej rzeczywistości są obiekty tworzące różne konfiguracje wynikające z ich wzajemnych relacji przestrzennych (topologicznych). Konfiguracje takie nazywane są **strukturami obiektów**. Możliwość zapisu wspomnianych relacji jest bardzo ważnym elementem modelu danych przestrzennych. Istotne jest bowiem (z punktu widzenia przetwarzania informacji przestrzennej) czy relacje te zostaną zapisane bezpośrednio (np. przyleganie dwóch działek), czy też do stwierdzenia zachodzących relacji trzeba wykorzystać drogę analityczną, polegającą na porównaniu współrzędnych punktów granicznych. Podstawowe struktury obiektów z jakimi najczęściej mamy do czynienia w systemach informacji przestrzennej są następujące:

- struktura typu drzewa (dotyczy obiektów liniowych), np. większość systemów rzecznych (rys. 2.3a),
- struktura sieciowa (dotyczy obiektów liniowych), np. systemy drogowe (rys. 2.3b),
- struktura sieci poligonów (grupa przylegających do siebie obszarów), np. grupa działek gruntowych (rys. 2.3c).



Rys. 2.3. Przykłady konfiguracji obiektów liniowych i powierzchniowych

Ostatnim problemem związanym z prezentacją przestrzenną rzeczywistości, a więc dotyczącym modelu danych przestrzennych jest reprezentacja obiektów o charakterze ciągłym, czyli występującym na całym rozpatrywanym obszarze. Przykładem takiego obiektu jest powierzchnia terenu czy powierzchnie charakteryzujące określone zjawiska fizyczne.

Jeśli powierzchnię matematyczną opisującą zjawisko daje się wyrazić analitycznie w postaci

$$z = f(x, y)$$

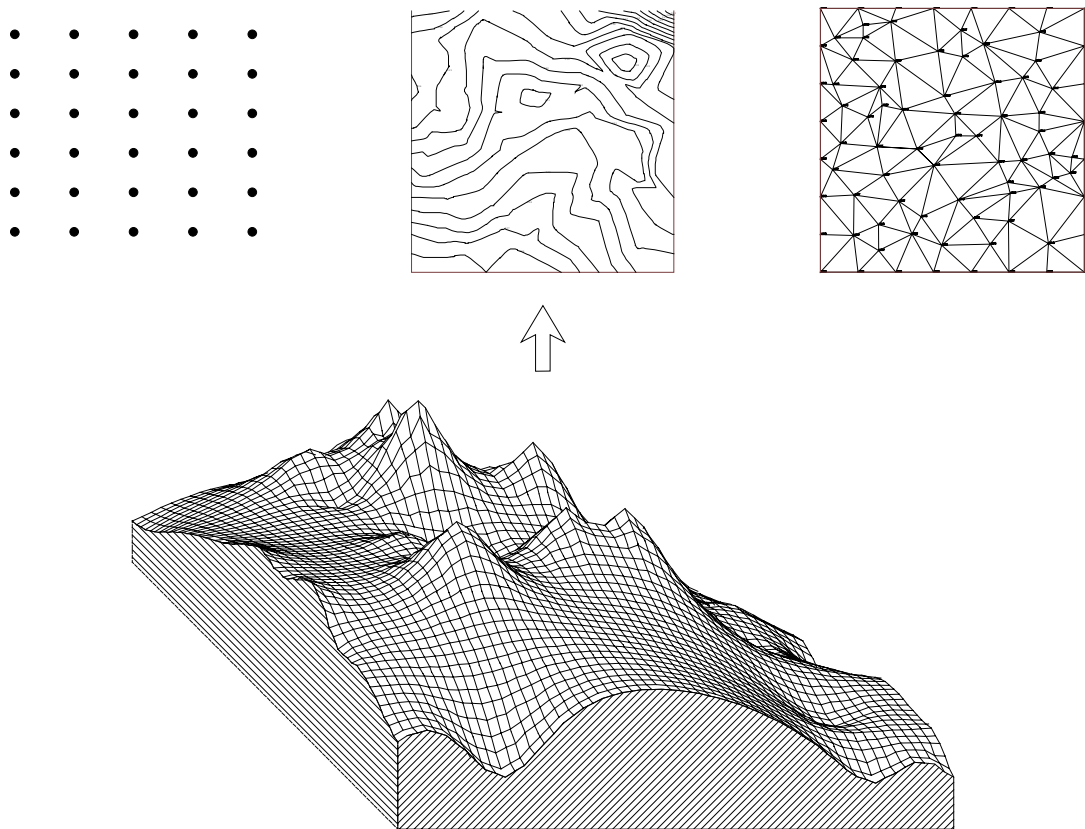
gdzie

z jest wartością zjawiska,

to problem prezentacji jest rozwiązany automatycznie gdyż na podstawie znanej postaci funkcji możemy określić wartość danego zjawiska w dowolnym punkcie. Ponieważ jednak przeważnie modelowanych zjawisk nie można określić funkcją analityczną, lecz jedynie w sposób dyskretny przez zbiór punktów, dla których wartość zjawiska została określona, dlatego też stosuje się inne rozwiązania. Najczęściej stosowanymi metodami przestrzennej reprezentacji powierzchni są:

- reprezentacja elementami punktowymi, dla których określono wartość zjawiska i które rozmieszczone są regularnie (np. siatka kwadratów),
- reprezentacja elementami liniowymi, dla których wartość zjawiska jest określona i niezmienna (izolinie),
- reprezentacja w postaci elementów powierzchniowych będąca siecią nieregularnych trójkątów **TIN** (ang. triangular irregular network) opartych na punktach pomiarowych.

Schematycznie wymienione metody reprezentacji powierzchni przedstawiono na rysunku 2.4.



Rys. 2.4. Metody reprezentacji zjawisk o charakterze ciągłym

W związku z dyskretną reprezentacją powierzchni, z każdą z wymienionych wyżej metod związane muszą być odpowiednie algorytmy interpolacyjne umożliwiające określenie wartości zjawiska w dowolnie wybranym punkcie. Wprowadzając pomiarowe dane dyskretne i związany z nimi model reprezentacji zjawiska możemy zbudować funkcję wyznaczającą wartość zjawiska w punkcie x i y mieszczącym się w obszarze modelu.

$$z = f(\text{dane dyskretne}, x, y)$$

Wybór metody użytej do reprezentacji powierzchni zależy w dużej mierze od sposobu użytego do pozyskiwania danych dotyczących modelowanego zjawiska. W przypadku modelowania powierzchni terenu możemy mieć do czynienia bądź z pomiarem bezpośrednim, w którym określane są wysokości punktów charakterystycznych, na których następnie będziemy budowali nieregularną siatkę trójkątów, bądź z pomiarem na autografie ze zdjęć lotniczych, gdzie można stosować bezpośrednią rejestrację warstwic lub rejestrować jedynie punkty charakterystyczne.

Dzięki algorytmom interpolacji zawartych przy poszczególnych metodach reprezentacji powierzchni istnieje również możliwość przejścia (transformacji) z jednej metody reprezentacji na inną. Stosowane transformacje przedstawiono na rysunku 2.5 oznaczając je znakiem +. Należy jednak pamiętać, że transformacje na siatkę kwadratów mogą wprowadzać zniekształcenia modelowanej powierzchni. Zniekształcenia te będą tym większe im mniejsza będzie gęstość siatki kwadratów, gdyż nie wszystkie formy modelowanej powierzchni będziemy mogli przedstawić. Pozostałe transformacje oznaczone znakiem - i dotyczące przejścia z siatki kwadratów oraz z izolinii na nieregularną siatkę trójkątów (choć teoretycznie możliwe) praktycznie nie ma żadnego znaczenia ze względu na fakt, że nieregularna siatka trójkątów opiera się na punktach charakterystycznych, a przy przejściu z wymienionych modeli nie jesteśmy w stanie określić kryterium wyboru tych punktów.

	Siatka kwadratów	izolinie	TIN
siatka kwadratów →		+	-
izolinie →	+		ręcznie
TIN →	+	+	

Rys. 2.5. Ilustracja możliwości transformacji między różnymi sposobami reprezentacji powierzchni

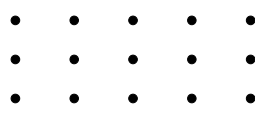
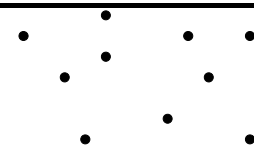
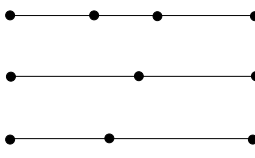
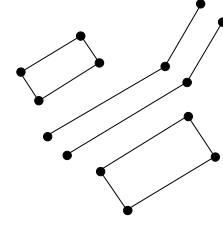
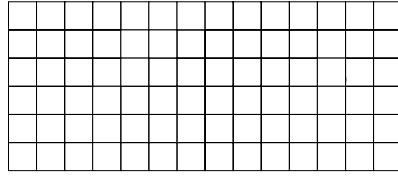
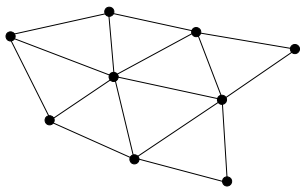
Zależnie od wymiaru podstawowego elementu geometrycznego z jakiego tworzony jest model możemy wyróżnić trzy rodzaje numerycznych modeli przestrzennych:

- **modele punktowe** - podstawowym elementem geometrycznym jest punkt,
- **modele liniowe** - podstawowym elementem jest linia zbudowana z ciągu punktów,
- **modele powierzchniowe** - podstawowym elementem jest obszar,

które dodatkowo, w zależności od rozmieszczenia i kształtu podstawowych elementów, dzielone są na:

- modele regularne,
- modele nieregularne.

Uzyskujemy w ten sposób dwustopniowy podział numerycznych modeli przestrzennych zilustrowany na rysunku 2.6. [Gaździcki 1990].

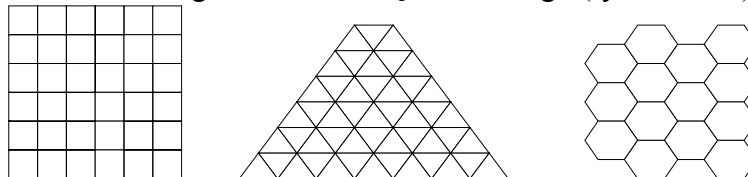
MODEL	REGULARNY	NIEREGULARNY
PUNKTOWY		
LINIOWY (wektorowy)		
POWIERZCHNIOWY		

Rys. 2.6. Podział numerycznych modeli przestrzennych

W modelach wektorowych podstawowym elementem jest twór jednowymiarowy (linia reprezentowana przez ciąg punktów). W szczególnych przypadkach modelu wektorowego nieregularnego linia może przedstawiać:

- element zerowymiarowy, gdy długość linii wynosi zero, a ciąg punktów zawiera tylko jeden punkt,
- element dwuwymiarowy, gdy ciąg punktów reprezentuje linię zamkniętą stanowiącą granice pewnego obszaru.

Szczególnymi przypadkami modeli powierzchniowych są teselacje, które definiowane są jako podział części płaszczyzny na elementarne obszary będące figurami ustalonego kształtu. Teseleacja w przestrzeni dwuwymiarowej może być więc porównana do mozaiki, której elementy pokrywają całkowicie dany obszar, nie nakładając się na siebie. W teselacjach wyróżniamy teselacje regularne, które utworzone są z elementów w kształcie kwadratu, trójkąta równobocznego lub sześciokąta foremego (rysunek 2.7).

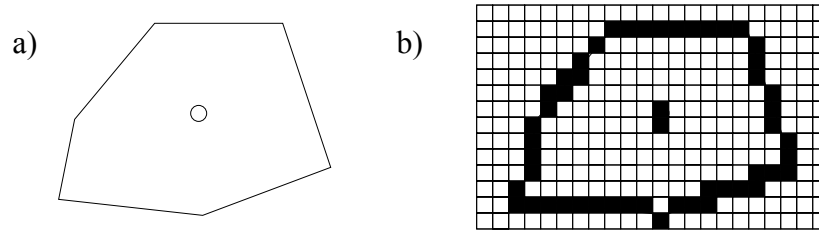


Rys. 2.7. Teselacje regularne

Z wymienionych modeli największe znaczenie mają **modele wektorowe nieregularne** oraz **modele rastrowe** (czyli teselacje o elementach kwadratowych).

Modele wektorowe charakteryzują się jawnym występowaniem współrzędnych punktów opisujących poszczególne obiekty terenowe. Do opisanych współrzędnymi obiektów odnoszą się także bezpośrednio ich atrybuty. W modelu rastrowym dane posiadają postać rastrową. Element rastra jest najmniejszą rozróżnialną jednostką powierzchniową, której

położenie jest odpowiednio identyfikowane np. przez podanie wiersza i kolumny w tablicy przyporządkowanej rastrowi. Do elementów rastra przypisywane są również atrybuty. Przykład zapisu tych samych danych w modelu wektorowym i rastrowym przedstawia rysunek 2.8.



Rys. 2.8. Wektorowa (a) i rastrowa (b) postać danych przestrzennych

Przedstawione dwa modele danych różnią się między sobą w sposób zasadniczy jednocześnie wzajemnie się uzupełniając pod względem zakresu zastosowań.

2.1. Prosty model wektorowy

Model ten stanowi bezpośrednie, numeryczne przedstawienie obiektów świata rzeczywistego przez odpowiadające im geometryczne obiekty w modelu danych przestrzennych. Obiektami prostego modelu wektorowego są obiekty:

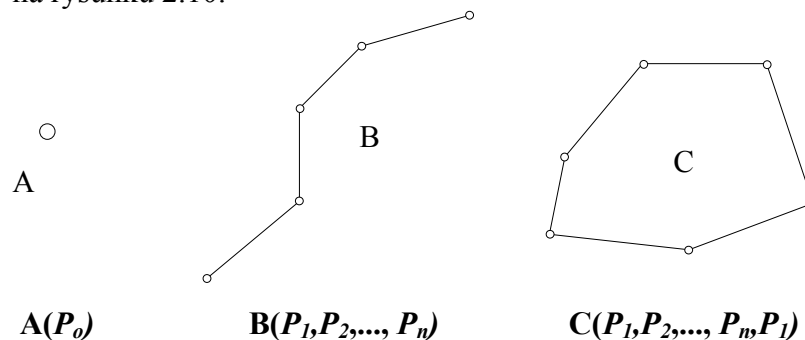
- punktowe,
- liniowe,
- powierzchniowe.

Położenie obiektów punktowych określa się przez współrzędne punktu lokalizującego dany obiekt. W przypadku obiektów liniowych i powierzchniowych, które określane są przez większą liczbę punktów oprócz ich współrzędnych istotne jest ich odpowiednie uporządkowanie, które określa kształt obiektu. Mając bowiem, jedynie grupę punktów bez informacji o ich uporządkowaniu nie jesteśmy w stanie jednoznacznie określić kształtu obiektu, co zilustrowano na poniższym rysunku.

zbiór punktów	pierwszy wariant połączenia	drugi wariant połączenia

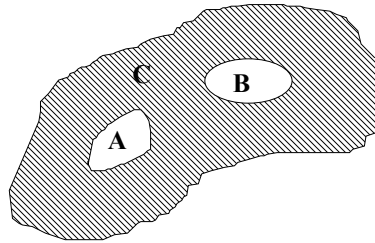
Rys. 2.9 Ilustracja niejednoznaczności połączenia punktów

Przykłady obiektów prostego modelu wektorowego wraz ze sposobem ich opisu przedstawiamy na rysunku 2.10.



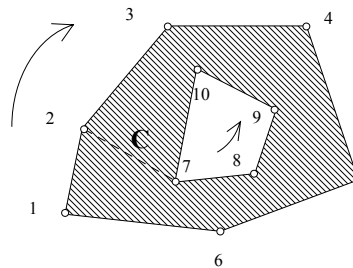
Rys. 2.10 Obiekty prostego modelu wektorowego: a) punktowy; b) liniowy; c) powierzchniowy

Przy określaniu kształtu obiektu jednym ciągiem punktów, pewne problemy pojawiają się przy opisie obiektu powierzchniowego złożonego, czyli takiego, który zawiera w sobie inne obiekty powierzchniowe. Klasycznym przykładem takiej sytuacji jest przypadek jeziora z wyspami.



Rys. 2.11 Przykład złożonego obiektu powierzchniowego

W sytuacji przedstawionej na rysunku 2.11 obiektem C jest tylko obszar pokryty szrafurą. Opisując taki obiekt należy uwzględnić wyłączenie z niego obszarów A i B. Najprostszym i najczęściej stosowanym sposobem opisu powierzchniowego obiektu złożonego jest wprowadzenie dodatkowych (fikcyjnych) połączeń między obrysem zewnętrznym obiektu C i obrysami obiektów leżących w jego wnętrzu (A i B). Dodatkowe połączenia pozwolą podać jeden ciąg punktów opisujący obiekt C uwzględniający obszary z niego wyłączone. Przykład opisu obiektu powierzchniowego złożonego zawierającego w sobie jeden obiekt powierzchniowy przedstawiamy na rysunku 2.12. Opis obiektu C został zrealizowany przez dodanie dodatkowego połączenia między punktami 2-7, przedstawionego na rysunku linią przerywaną. Określenie ciągu punktów opisujących obiekt rozpoczęto od punktu 1 i posuwano się po granicy tak, aby obszar obiektu położony był po prawej stronie granicy. Po dojściu do punktu 2 wchodzimy na granicę obszaru wewnętrznego (na punkt 7) i przesuujemy się po tej granicy również tak aby definiowany obszar znajdował się po prawej stronie. Po dojściu do punktu 7 wracamy dodanym połączeniem ponownie do punktu 2 a dalej kolejno przechodzimy przez punkty 3,4,5,6 i kończymy na punkcie 1, od którego rozpoczęliśmy.



$$C(P_1, P_2, P_7, P_8, P_9, P_{10}, P_7, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_1)$$

Rys. 2.12 Sposób opisu złożonego obiektu powierzchniowego

Rozwiązanie takie pozwala korzystać z jednej listy punktów określającej kształt obiektu powierzchniowego. Innym rozwiązaniem problemu obiektów powierzchniowych złożonych jest korzystanie z dodatkowych ciągów punktów określających obszary wyłączone.

Główną zaletą tego modelu jest jego prostota i bezpośrednie obrazowanie obiektów terenowych przez przypisany ciąg punktów. Wady prostego modelu wektorowego ujawniają się szczególnie w aspekcie rozpatrywania obiektów w ich wzajemnym powiązaniu przestrzennym (obiekty w omawianym modelu są wzajemnie niezależne). Do istotnych wad należy zaliczyć:

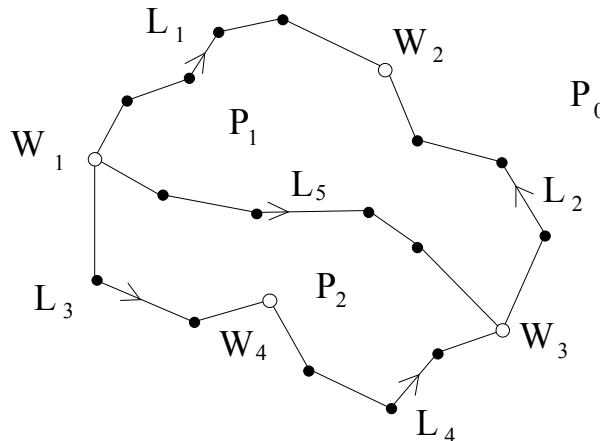
- współrzędne punktów wspólnych, należących do dwóch lub więcej obiektów, muszą być zapisywane w każdym z nich, powstaje w ten sposób redundancja danych wiążąca się nie tylko ze stratą pamięci, ale również z koniecznością zapewnienia identyczności wartości powtarzających się współrzędnych,
- związki przestrzenne między obiektami mogą być wykrywane jedynie metodami geometrii analitycznej.

2.2. Topologiczny model wektorowy

W prostym modelu wektorowym obiekty opisywane są bezpośrednio przez ciągi współrzędnych punktów. Jest to opis kompletny pod względem geometrycznym, ale nie dający bezpośrednio informacji o wzajemnym powiązaniu obiektów między sobą. Ewentualne powiązania między obiektami (np. sąsiedztwo) mogą być wykrywane jedynie przez zastosowanie geometrii analitycznej. Inaczej sytuacja wygląda w topologicznym modelu wektorowym, który oprócz informacji geometrycznych definiujących położenie i kształt obiektów zawiera również informacje o wzajemne powiązania między obiektami. W topologicznym modelu wektorowym wyodrębnia się trzy rodzaje elementów topologicznych:

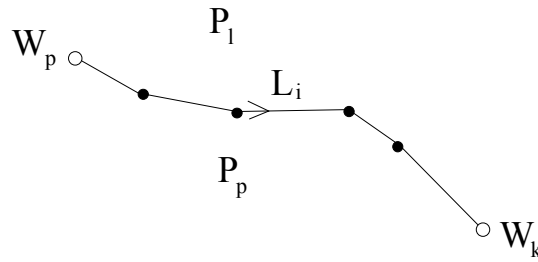
- **zerowymiarowe** - punkty węzłowe,
- **jednowymiarowe** - linie graniczne,
- **dwuwymiarowe** - obszary,

dla których można zapisać wszystkie wzajemne relacje. Elementy klasy wyższej budowane są zawsze z elementów klasy niższej. Tak więc cała płaszczyzna podzielona jest liniami granicznymi L_1, L_2, \dots, L_m na obszary P_1, P_2, \dots, P_n oraz obszar P_0 będący obszarem zewnętrznym w stosunku do pozostałych obszarów. Linie graniczne L_i nie mogą się przecinać, mają określone swoje kierunki i łączą punkty W_1, W_2, \dots, W_q zwane punktami węzłowymi lub węzłami.



Rys. 2.13. Topologiczny model wektorowy

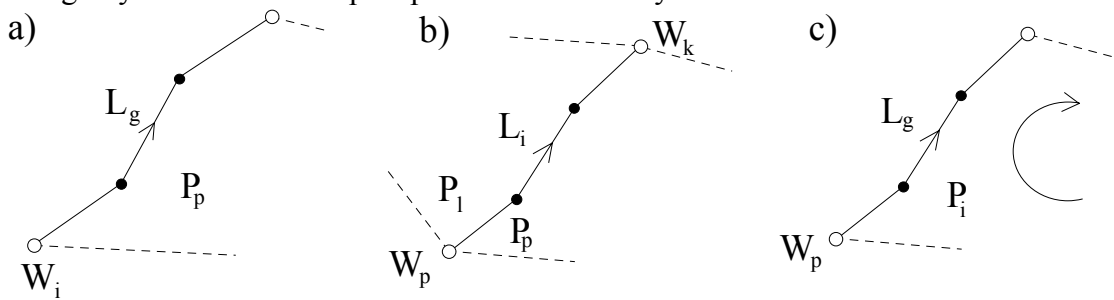
Kierunki linii granicznych określone są przez podanie dla każdej z nich węzła początkowego (W_p) oraz węzła końcowego (W_k). Dzięki temu, że linie graniczne są skierowane możemy również do każdej z nich przypisać obszar P_l leżący po jej lewej stronie oraz obszar P_p leżący po stronie prawej.



Rys. 2.14. Zasada oznaczania obszarów

Linie graniczne mogą być również oznaczane jako $-L_i$ co oznacza linię L_i o zmienionym kierunku na przeciwny. Zmiana taka oznacza, że węzeł początkowy staje się teraz węzłem końcowym i odwrotnie. Zmiana kierunku linii powoduje również zamianę ze sobą rozgraniczanych przez linię obszarów. Poszczególne linie łączące węzły mogą być liniami prostymi (prostoliniowym model wektorowy) lub zawierać w sobie dodatkowe punkty pośrednie określające kształt danej linii (krzywoliniowy model wektorowy).

Relacje między elementami topologicznymi zerowymiarowymi, jednowymiarowymi i dwuwymiarowymi mogą być zapisane w trzech równoważnych postaciach. Postać zapisu zależy od tego, któremu elementowi (zero-, jedno- czy dwuwymiarowemu) przypisuje się zależności topologiczne z elementami pozostałymi. Ilustrację graficzną zapisu relacji w poszczególnych wariantach zapisu przedstawiono na rysunku 2.15.



Rys. 2.15. Ilustracja przypisywania relacji topologicznych

A) Przypisywanie relacji topologicznych do elementów zerowymiarowych

Każdemu zerowymiarowemu elementowi czyli węzłowi W_i przypisujemy identyfikatory kolejnych par:

- L_g - linia graniczna wychodząca z danego węzła,
- P_p - obszar leżący po prawej stronie linii granicznej,

zgodnie z rysunkiem 2.15a. W przypadku obiektów przedstawionych na rysunku 2.13 otrzymujemy zapis:

	<i>kolejne pary ($L_g P_p$)</i>
W_1	$L_1 P_1, L_5 P_2, L_3 P_0$
W_2	$-L_1 P_0, -L_2 P_1$
W_3	$L_2 P_0, -L_5 P_1, -L_4 P_2$
W_4	$L_4 P_0, -L_3 P_2$

(2.1)

B) Przypisywanie relacji topologicznych do elementów jednowymiarowych

Każdemu jednowymiarowemu elementowi czyli liniom granicznym L_i przypisujemy identyfikatory dwóch par:

W_p, W_k - węzeł początkowy W_p oraz końcowy W_k linii granicznej,

P_l, P_p - obszar P_l leżący po lewej stronie oraz obszar P_p leżący po prawej stronie linii granicznej,

zgodnie z rysunkiem 2.15b. W przypadku obiektów przedstawionych na rysunku 2.13 otrzymujemy zapis:

	W_p	W_k	P_l	P_p
L_1	W_1	W_2	P_o	P_1
L_2	W_3	W_2	P_1	P_o
L_3	W_1	W_4	P_2	P_o
L_4	W_4	W_3	P_2	P_o
L_5	W_1	W_3	P_1	P_2

(2.2)

C) Przypisywanie relacji topologicznych do elementów dwuwymiarowych

Każdemu dwuwymiarowemu elementowi czyli poszczególnym obszarom P_i przypisujemy identyfikatory kolejnych par:

L_g - linia graniczna obszaru P_i skierowana tak, aby obszar był po jej prawej stronie,

W_p - początkowy punkt węzłowy tej linii,

zgodnie z rysunkiem 2.15c. W przypadku obiektów przedstawionych na rysunku 2.13 otrzymujemy zapis:

	<i>kolejne pary ($L_g W_p$)</i>
P_o	$L_3 W_1, L_4 W_4, L_3 W_3, -L_1 W_2$
P_1	$L_1 W_1, -L_2 W_2, -L_5 W_3$
P_2	$L_5 W_1, -L_4 W_3, -L_3 W_4$

(2.3)

Relacje topologiczne, zapisane w jednym z omawianych wariantów, są jedynie częścią danych przestrzennych, gdyż należą do nich jeszcze dane geometryczne, którymi są współrzędne punktów węzłowych i punkty pośrednie poszczególnych linii:

$$\begin{array}{ll}
 W_1(x_{w_1}, y_{w_1}) & L_1(x_1, y_1, \dots, x_{n_1}, y_{n_1}) \\
 W_2(x_{w_2}, y_{w_2}) & L_2(x_1, y_1, \dots, x_{n_2}, y_{n_2}) \\
 W_3(x_{w_3}, y_{w_3}) & L_3(x_1, y_1, \dots, x_{n_3}, y_{n_3}) \\
 W_4(x_{w_4}, y_{w_4}) & L_4(x_1, y_1, \dots, x_{n_4}, y_{n_4}) \\
 & L_5(x_1, y_1, \dots, x_{n_5}, y_{n_5})
 \end{array}
 \tag{2.4}$$

Zapisanie relacji topologicznych nie jest równoznaczne z bezpośrednim określeniem samych obiektów w sensie geometrycznym o czym świadczą przedstawione warianty.

Aby określić linię graniczną L_i musimy znać jej węzeł początkowy i końcowy. Tylko w wariantcie drugim informacja taka o liniach granicznych występuje wprost. W przypadku pozostałych wariantów należy w drodze analizy relacji topologicznych określić węzeł początkowy i końcowy. W przypadku określania granic obszaru należy znać natomiast linie

graniczne jakie go otaczają. Informacja o granicach obszarów w postaci bezpośredniej zapisana jest w wariancie trzecim zapisu relacji. Mamy tam dla każdego obszaru bezpośredni wykaz kolejnych węzłów oraz rozpoczynających się od tych węzłów linii. W pozostałych wariantach granica obszaru musi być ustalana na podstawie analizy zapisanych relacji topologicznych.

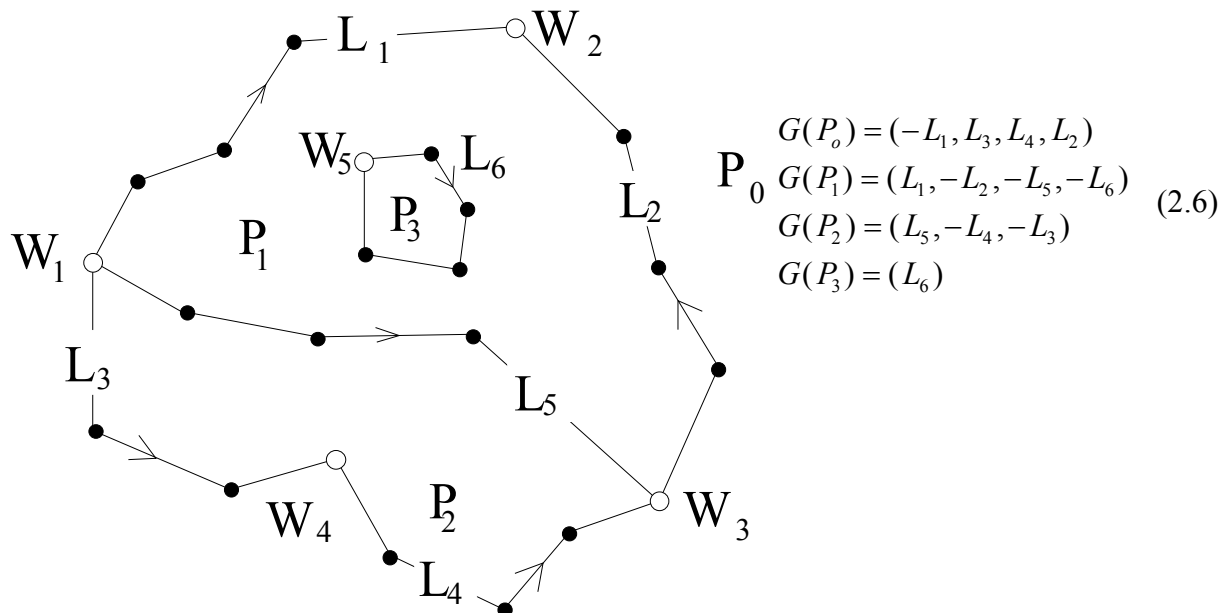
Jak widać droga dojścia do informacji geometrycznej o obiekcie jest różna w zależności od zastosowanego wariantu zapisu relacji między obiektami. Najczęściej stosowany jest drugi z opisywanych wariantów zapisu relacji, co wynika przede wszystkim z:

- wygodnej postaci zapisu relacji (stała liczba relacji dla każdej linii),
- występowania dla każdej linii W_p i W_k czyli bezpośrednie określenie geometrii poszczególnych linii granicznych.

Mając bezpośrednie określenie geometrii linii granicznych można opisać granicę obiektu powierzchniowego co uzyskuje się przez podanie odpowiednich linii ograniczających ten obszar i tak skierowanych, aby znajdował się on po prawej stronie linii granicznych przy poruszaniu się wzdłuż granicy. Granice obszarów występujących na rysunku 2.13 oznaczone jako $G(P_i)$ można zapisać następująco:

$$\begin{aligned} G(P_0) &= (-L_1, L_3, L_4, L_2) \\ G(P_1) &= (L_1, -L_2, -L_5) \\ G(P_2) &= (L_5, -L_4, -L_3) \end{aligned} \quad (2.5)$$

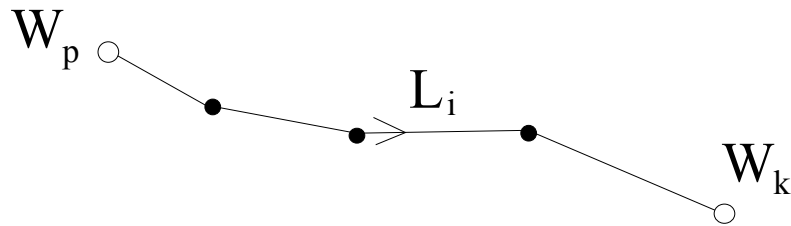
Na uwagę zasługuje fakt, że każda linia występuje dwa razy a suma pól wszystkich obszarów wynosi zero. Stosując opisane zasady w prosty sposób można opisywać również obiekty powierzchniowe złożone, co przedstawiamy na rysunku 2.16.



Rys. 2.16. Sposób opisu obiektów powierzchniowych złożonych w modelu topologicznym

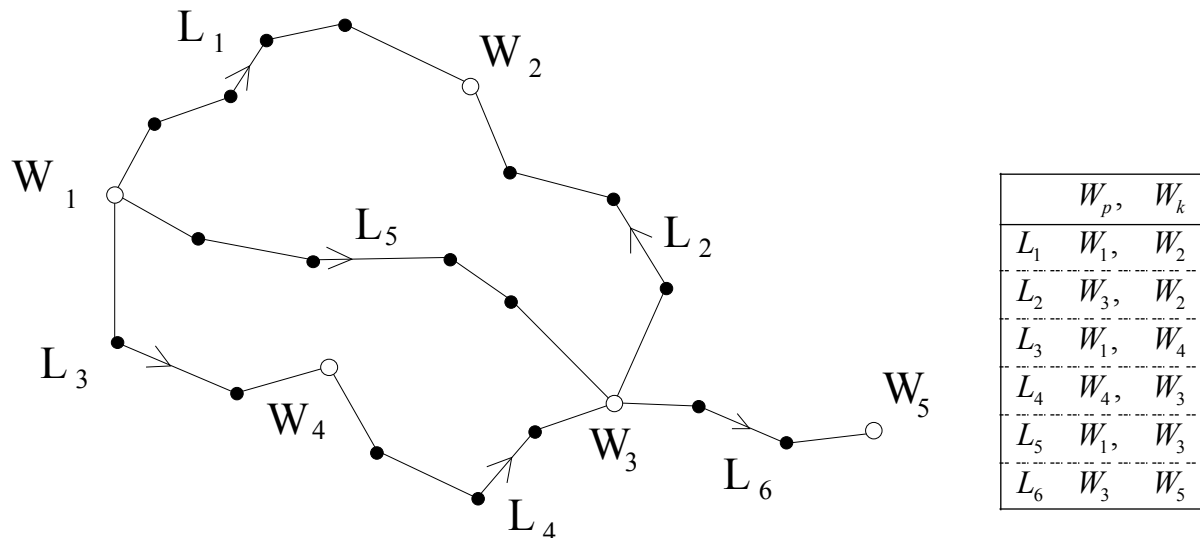
Zaprezentowany powyżej sposób reprezentacji przestrzennej obiektów przy użyciu topologicznego modelu wektorowego jest sposobem ogólnym, określającym relacje między węzłami, liniami granicznymi oraz obszarami. W przypadku wykorzystania modelu do

reprezentacji obiektów liniowych (prostych lub struktur) dokonuje się w nim pominięcia zapisu relacji z obszarami, czyli dla poszczególnych linii granicznych nie określa się obszaru lewostronnego i prawostronnego. Dla każdej linii określone są więc tylko węzły początkowy i końcowy (rysunek 2.17).



Rys. 2.17. Reprezentacja obiektów liniowych

Na rysunku 2.18 przedstawiono przykładową strukturę sieciową wraz z zapisem istniejących w niej zależności topologicznych.



Rys. 2.18. Reprezentacja struktury sieciowej obiektów liniowych

Jak wynika z przedstawionych rozważań w modelu topologicznym nie występuje redundancja danych geometrycznych, gdyż zapisywane są one tylko jeden raz. Występowanie danych topologicznych, czyli relacji między obiektami, pozwala w prosty sposób określić np.:

- linie i punkty węzłowe tworzący granice danego obszaru,
- linie rozpoczynające się lub kończące w danym punkcie węzłowym,
- obszary graniczące z obszarem danym,

co w prostym modelu wektorowym (nie zawierającym informacji topologicznej) wymaga dużego nakładu obliczeń.