

REKONSTRUKCJA WIRTUALNA OBIEKTÓW ARCHITEKTONICZNYCH

VIRTUAL RECONSTRUCTION OF ARCHITECTURAL OBJECTS

Paweł Ozimek

Instytut Modelowania Komputerowego, Politechnika Krakowska

Słowa kluczowe: modelowanie obiektowe, reprezentacje obiektów 3D, obiekty elementarne, reprezentacje wiedzy

Keywords: object-oriented modeling, solid representation, features, informative modeling

Wprowadzenie

Rekonstrukcja wirtualna polega na modelowaniu obiektów przestrzennych. Można w nim wyróżnić dwa zasadnicze podejścia. Oba związane są z przedmiotem modelowania, dokładnością i ciągłością danych. Pierwsze cechuje precyzyjne definiowanie obiektów, które ma miejsce przy projektowaniu. W przypadku rekonstrukcji wirtualnej, polegającej zarówno na stworzeniu cyfrowej kopii istniejącego obiektu, jak i odtworzeniu obiektu nieistniejącego, wprowadzane podczas modelowania dane są jedynie aproksymacją rzeczywistości. Dokładność zależy od pomiaru, który realizowany jest w oparciu o jakąś funkcję próbkowania.

Modele cyfrowe mogą być tworzone w różnym celu. Od celu modelowania zależy wybór podejścia. Projektowanie jest procesem, w którym obiekt powstaje. Jedyną jego reprezentacją to model wirtualny. Zamyśl projektanta nadaje mu kształty i cechy. Możliwe jest, zatem, definiowanie jego elementów w sposób precyzyjny i jednoznaczny. Poszczególne jego części mogą mieć matematyczną definicję. Informacja o modelu jest kompletna i ciągła. Podobnie jest z tworzeniem cyfrowych środowisk dla przeprowadzania na nich symulacji zjawisk, których dostępne są modele matematyczne. Zarówno środowiska jak i zjawisko zdefiniowane jest w zakresie, który zależy od decyzji i pracowitości operatora przeprowadzającego symulację. W podejściu tym model w sposób dokładny oddaje zamyśl projektanta lub jest dokładną wizualizacją modelu matematycznego.

Inaczej się dzieje w przypadku modelowania obiektu istniejącego. Poszczególne elementy modelu zależą od pomiarów. Mogą być one przeprowadzane w sposób systematyczny lub metodyczny. Dokładność i szczegółowość tych pomiarów decyduje o gęstości danych. Dane nigdy nie są ciągłe. Nie istnieje matematyczny opis obiektu. Model oddaje jedynie przybliżony kształt, który jest aproksymowany za pomocą kawałków płaszczyzn i różnych powierzchni parametrycznych. W podejściu tym cały model jest jedynie aproksymacją obiektu rzeczywistego.

Z tymi dwoma podejściami związane są różne dostępne techniki modelowania. Podczas projektowania modeluje się głównie przy użyciu obiektów parametrycznych i nadaje się im atrybuty definiujące cechy. Techniki projektowania dysponują dużą liczbą dostępnych reprezentacji obiektów przestrzennych i procedur usprawniających i automatyzujących pracę. Jednak niemal o każdym elemencie na każdym etapie modelowania decyzje podejmuje operator. W przypadku rekonstrukcji obiektu istniejącego liczba reprezentacji jest skromniejsza. Istnieją procedury automatyzujące proces pozyskiwania danych o rekonstruowanym obiekcie i ich interpretacji. Są one częstą przyczyną błędów. Wraz z dokładnością modelu rośnie objętość plików, co wpływa na jakość pracy, czas przetwarzania i większą statystycznie możliwość wystąpienia błędów.

Rekonstrukcja może dotyczyć obiektu nieistniejącego. Informacje na temat historycznego wyglądu są z reguły łatwe do sparаметryzowania. Modelowanie jest w takim przypadku podobne do modelowania projektowego. Rekonstrukcja może także dotyczyć obiektu zachowanego częściowo. Wówczas modelowanie może mieć cechy obydwu podejść. Jednak różne reprezentacje związane z podejściami są często nieprzystające. Występują problemy w łączeniu ich, zwłaszcza z operacjami arytmetyki boolowskiej. Dzieje się tak z powodu rozbieżnych modeli danych, zorientowanych na parametryczne projektowanie lub na urządzenia pozyskiwania danych.

Znalezienie sposobów na przystawalność reprezentacji, różnie zorientowanych, może pomóc w zlikwidowaniu wad poszczególnych podejść do modelowania obiektów architektonicznych. Złożona struktura danych przestrzennych, polegająca na wielowarstwowych reprezentacjach i przedmiotowym ich zorientowaniu daje szansę na lepsze modelowanie informacji. Obiekty w takiej strukturze mogą wykorzystywać różne reprezentacje dla obrazowania różnych warstw informacji. Warstwy te mogą być odpowiednio przełączane powodując zmianę orientacji obiektów. W wielu aplikacjach wspomagających rekonstrukcję obiektów architektonicznych podejście to jest już wykorzystywane, jednak w dalszym ciągu mamy do czynienia ze zbyt skromną bazą reprezentacji. Powodem tego stanu jest najczęściej występujący cel rekonstrukcji, jakim jest wizualizacja.

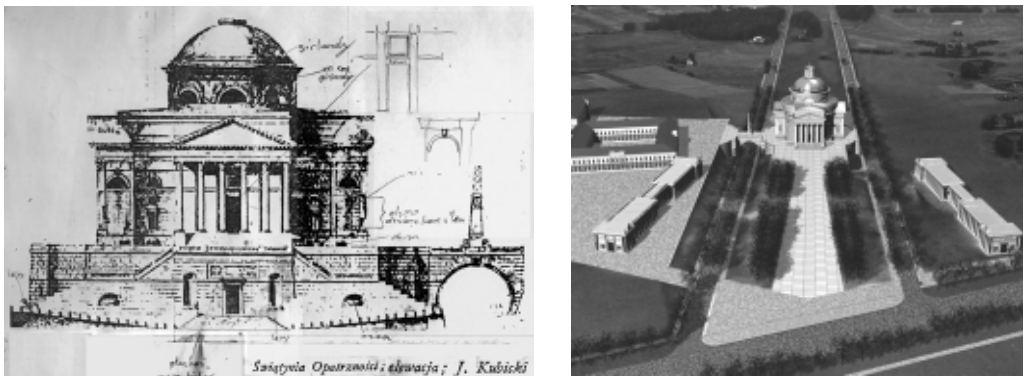
Cele rekonstrukcji obiektów architektonicznych

Rekonstrukcje obiektów architektonicznych są wykonywane w ostatnim czasie coraz częściej. Mamy mocniejsze komputery i efektywne programy, także i wiedza o obiektach historycznych staje się dostępniejsza. Rekonstrukcja historycznego wyglądu miasta jest interesująca dla wszystkich jego mieszkańców i odwiedzających go turystów. Techniki wizualizacji komputerowej czynią efekty rekonstrukcji atrakcyjne w odbiorze przez bardzo realistyczne obrazy i animacje. Wirtualna rzeczywistość pozwala na wstępne zwiedzenie miejsc, zorientowanie się w przestrzeni i wybranie atrakcji przed faktycznym odwiedzeniem miasta. Wszystko to powoduje, że modeluje się obiekty architektoniczne w przestrzeni cyfrowej we wszystkich możliwych stanach – historycznym, obecnym czy hipotetycznym.

Uwzględniając przytoczone podejścia w wykonywaniu modeli cyfrowych można wyróżnić kilka, dalej przedstawionych celów rekonstrukcji.

Wizualizacja zamysłu projektowego

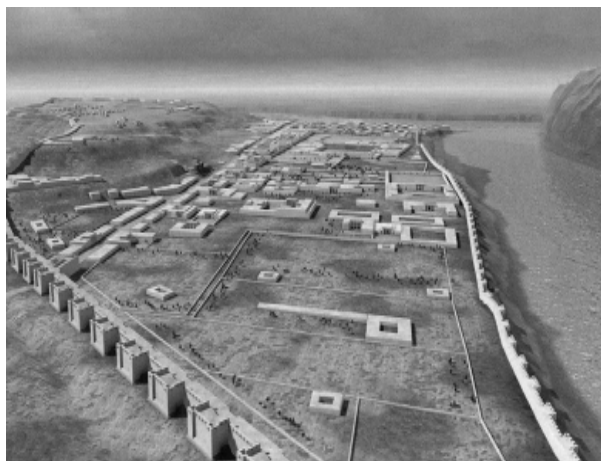
O ile modelowanie obiektu w czasie projektowania jest dość oczywistym działaniem, to mamy także przypadki rekonstrukcji projektów historycznych. Model wykonywany jest w takim przypadku również precyzyjnie jak przy projektowaniu. Nie istnieją pomiary z natury. Dokumentacja jest często niekompletna. Twórca rekonstrukcji musi w dużej mierze polegać na wiedzy historycznej o wyglądzie detali w danej epoce. Od tego zależy wiarygodność rekonstrukcji. Przykładem może być rekonstrukcja projektu J Kubickiego z 1792r. Świątyni Opatrzności Bożej w Warszawie (rys. 1).



Rys. 1. Projekt Świątyni Opatrzności Bożej J. Kubickiego i wirtualna rekonstrukcja wykonana przez autora

Wizualizacja hipotetycznego wyglądu obiektu na podstawie źródeł historycznych

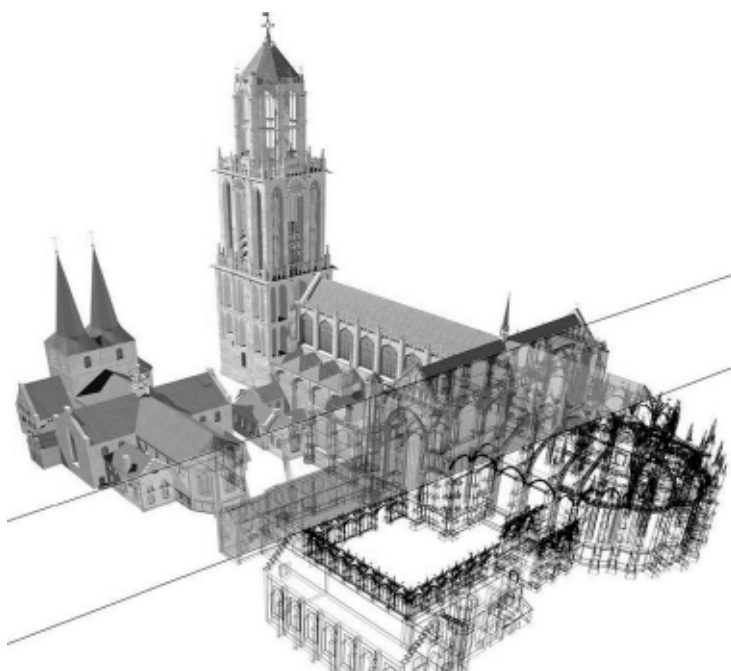
W tym przypadku również nie istnieją pomiary z natury. Wszystkie elementy modelu tworzy się na podstawie wiedzy o możliwym ich wyglądzie w danej epoce. Opisy historyczne rzadko są precyzyjne. Model wykonywany jest podobnie jak projekt metodami dokładnymi. Obiekty mogą być definiowane za pomocą wygodnych, parametrycznych reprezentacji. Przykład rekonstrukcji Aleksandrii nad Oxus, współcześnie Ai Khanum nad Amou Daria (Chabriat, 2004), gdzie odtworzone zostało hellenistyczne miasto na podstawie niewielu informacji pochodzących z wykopalisk archeologicznych. Wskazywały one miejsca położenia poszczególnych obiektów – świątyni, fortyfikacji, cytadeli, pałacu, teatru, gimnasionum. Oprócz tego znaleziono



Rys. 2. Rekonstrukcja Aleksandrii nad Oxus

wiele detali, które mogły być wykorzystane do stworzenia powtarzalnych elementów wmontowywanych w wielu częściach modelu (rys. 2).

Wizualizacja stanu historycznego obiektu zachowanego, przekształconego



Rys. 3. Model Bazyliki w Utrechcie

Podjęcie do modelowania w takich przypadkach posiada cechy wspólne dla modelowania dokładnego i aproksymowanego. Części zachowane podlegają obmiarowi i model w tych partiach winien posługiwać się prezentacjami przybliżonymi. Elementy nieistniejące mogą być wykonane w sposób dokładny oddający wiedzę o ich wyglądzie w danej epoce. Model Bazyliki w Utrechcie (Alkhoven, 2006) przedstawia fragmenty nieistniejące w konwencji wireframe. W tej partii wymodelowana jest cała konstrukcja za pomocą powtarzalnych, skalowalnych elementów blokowych.

Archiwizacja i inwentaryzacja

W projektowaniu wspomaganym komputerowo mówi się o modelu 2D. Przez to rozumiana jest dokumentacja w postaci normatywnych rysunków zestawczych. Przeważająca liczba inwentaryzacji wykonywana jest w tej postaci. Modele trójwymiarowe wykonuje się z reguły w przypadku istnienia jakiegoś powodu uzasadniającego dodatkowy nakład pracy. Jednym z nich może być perspektywa wykonywania projektu adaptacji, rewaloryzacji czy przebudowy. W przypadku obiektów historycznych stosowanie reprezentacji modelowanych parametrycznie nie jest możliwe bez daleko idących uproszczeń. Modele wykonuje się na podstawie szczegółowych pomiarów. Im większa jest gęstość próbkowania tym zwiększa się konieczność stosowania elastycznych reprezentacji, niedających się definiować parametrycznie. Model Barbakanu Krakowskiego (Toś, Wolski, Zielina, 2006) został zmierzony tachimetrycznie z różną częstotliwością próbkowania, zależną od nagromadzenia detalu. Generalizacja modelu wpływa jednak negatywnie na ilość zachowanych szczegółów (rys. 4).

Wizualizacja wiedzy

Modele wykonywane w celu wizualizacji wiedzy mogą wykorzystywać wszystkie dostępne reprezentacje. Dobór metody i reprezentacji zależy od danych, jakie mają być przedstawione. Od tych danych, ich przestrzenności, zakresu zjawiska, jakie opisują, wagi dobierany jest zestaw semiotyczny reprezentacji. Oprócz opisanych poniżej, zawierających się w przestrzeni trójwymiarowej reprezentacji możliwe są techniki pozwalające na ukazanie zjawisk wielowymiarowych. Model trójwymiarowy może być schematyczny, może zawierać informacje o wewnętrznych naprężeniach, w przypadku obiektów historycznych może być teksturowany obrazami fresków, czy wątków cegieł. Przykład ukazuje model Krakowa w obrębie Plant (rys. 5). Zielonym kolorem zaznaczone są obiekty, do których istnieje dokumentacja o ich wyglądzie w 1720 roku. To dość szczególna informacja, która może być wizualizowana dzięki temu, że model ten sprzężony jest z bazą danych i możliwe jest obrazowanie zawartych w niej informacji na wiele różnych sposobów.

Rekonstrukcja obiektów architektonicznych narzuca szerokie wymagania na reprezentacje obiektów przestrzennych. W przypadku modeli obiektów historycznych mamy do czynienia z dużą ilością i różnorodnością detali. Wymagają one dużej ilości danych pomiarowych i bardzo elastycznych reprezentacji do opisu. Detale, raz wymodelowane można traktować jako powtarzalne elementy blokowe. Jednak, często takie działanie jest nieuprawnione. Często istnieje potrzeba stworzenia cyfrowej kopii obiektu rzeczywistego, także w zakresie drobnych różnic, jakie istnieją w detalach. Struktura takiego modelu może uwzględniać wiele poziomów detalu (*level of detail*), które mogą przełączać się wedle potrzeb. Narzuca to dodatkowe wymagania dla reprezentacji odwzorowujących poszczególne elementy.

Domena tych reprezentacji winna być na tyle szeroka, by sprostać wymaganiom. Nie jest możliwe zdefiniowanie prostej reprezentacji, która by je spełniała. Należy poszukiwać rozwiązań złożonych, wielowarstwowych a także dość elastycznych, by możliwe było odwzorowanie każdego detalu.

Reprezentacje obiektów w modelowaniu trójwymiarowym

Techniki modelowania trójwymiarowego osiągnęły najwyższy rozwój w dziedzinie komputerowego wspomaganego projektowania i wytwarzania (CAD/CAM). Wymagania stawiane technikom cyfrowym przez przemysł, głównie mechaniczny, wymusiły powstanie największej liczby reprezentacji obiektów 3D. Wymagania te były określone w dziedzinach modelowania geometrycznego, systemów maszyn sterowanych cyfrowo, wizualizacji, optymalizacji produkcji i ostatnio, symulacji w środowiskach wirtualnej rzeczywistości. Procesy projektowe, zwłaszcza oparte o ideę projektowania współbieżnego wymogły rozwój efektywnych systemów wymiany danych między specjalistami, procedur eksportu/importu danych pomiędzy reprezentacjami, organizacji obiektów na zasadzie asocjatywności w hierarchicznych bazach danych itp.

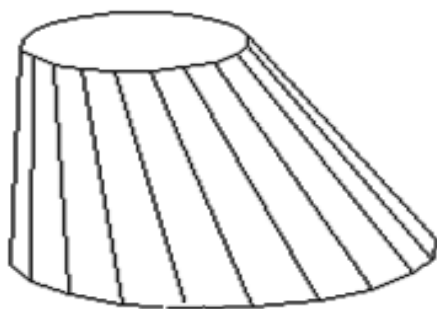
Nie ma jednej uniwersalnej reprezentacji obiektów 3D. Wszystko zależy od zastosowań, do których chcemy ją wykorzystać, np. od obiektów systemów CAD/CAM wymagane są inne właściwości niż od obiektów w programie projektowania wnętrza. Wizualizacja bryły zewnętrznej wymaga powierzchni, której cechy umożliwią stosowanie równań oświetlenia,

wyznaczanie zasłoneń i cieni. Przedstawienie układu konstrukcyjnego może polegać na modelowaniu szkieletowym z oznaczaniem sił i odkształceń. Modelowanie obiektów 3D podczas projektowania form współczesnych jest dość dobrze zobiektywizowane. Współczesne systemy CAD dedykowane do projektowania architektonicznego i konstrukcyjnego posługują się najwyżej zorganizowanymi obiektami elementarnymi. Aplikacje te nie mogą być w pełni wykorzystane przy rekonstruowaniu obiektów historycznych. Mają zbyt skromny zestaw narzędzi.

Poniżej przedstawione zostaną możliwe do wykorzystania w rekonstrukcji reprezentacje, stosowane już w projektowaniu architektonicznym i konstrukcyjnym.

Siatki wielokątowe

Reprezentacja ta jest najczęściej wykorzystywana przez modelujących sceny cyfrowe. Umożliwia wykonanie zewnętrznej „skorupy” obudowującej przestrzeń. Siatki wielokątowe doskonale dają się wizualizować. Wszystkie algorytmy stosowane w realistycznej wizualizacji były opracowywane w pierwszej kolejności dla siatek wielokątowych. Składają się z wierzchołków, krawędzi i wielokątów (rys. 6). Do ich wygenerowania potrzebna jest sieć punktów, które mogą być rozwiązaniami równań parametrycznych powierzchni, jak również wynikiem pomiarów. W zależności od przyjętego skoku parametru mogą mniej lub bardziej dokładnie aproksymować powierzchnie parametryczne n -tego stopnia. Są podstawową reprezentacją w wizualizacji modeli terenu. Najczęściej stosuje się teselacje trójkątne (TIN) i prostokątne (GRID).



Rys. 6. Przykład siatki wielokątowej

W zależności od potrzeb mogą być definiowane w reprezentacji bezpośredniej, reprezentacji ze wskaźnikami na listę wierzchołków i reprezentacji ze wskaźnikami na listę krawędzi. Te trzy definicje mogą być stosowane wymiennie w przypadku wyświetlania, zapisywania i przekształceń trójwymiarowych. Często inne reprezentacje korzystają z siatek wielokątowych, jako części wyżej zorganizowanego prymitywu. Niektóre reprezentacje są zdefiniowane jako procedury generowania siatek wielokątowych.

Wadą tej reprezentacji jest brak możliwości zapisywania parametrów masowych. Mogą one jedynie opisywać wielościany podobnie jak bryły sklepane z papieru. Obudowują przestrzeń nie mówiąc nic o wnętrzu. W wyniku tego trudne jest przeprowadzanie wszelkiego rodzaju operacji boolowskich, wyznaczanie krawędzi przecięć dwóch odrębnych siatek, przeprowadzanie obliczeń masowych, itp.

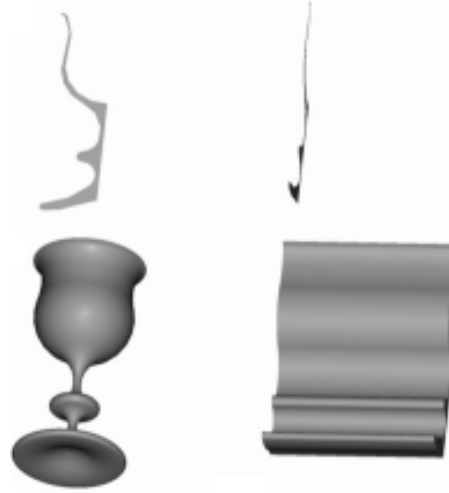
W zależności od potrzeb mogą być definiowane w reprezentacji bezpośredniej, reprezentacji ze wskaźnikami na listę wierzchołków i reprezentacji ze wskaźnikami na listę krawędzi. Te trzy definicje mogą być stosowane wymiennie w przypadku wyświetlania, zapisywania i przekształceń trójwymiarowych. Często inne reprezentacje korzystają z siatek wielokątowych, jako części wyżej zorganizowanego prymitywu. Niektóre reprezentacje są zdefiniowane jako procedury generowania siatek wielokątowych.

Reprezentacja z przesuwaniem

Reprezentację tę często określa się jako 2,5 wymiarową. Powstała ona z myślą o stosowaniu w przemyśle przy wytwarzaniu elementów na sterowanych cyfrowo obrabiarkach i maszynach obrabiających elementy pryzmatyczne. W reprezentacji tej obiekt 3D powstaje poprzez przesunięcie obrysu (profilu) 2D wzdłuż pewnej trajektorii lub przez obrót wokół

jakiejś osi (tzw. *wireframe*) (rys. 7). Kształt i orientacja profilu może się zmieniać w czasie przesuwania (tzw. przesunięcia ogólne, walce uogólnione). Pojawiają się problemy, jeśli jest to krzywa samoprzecinająca się. Problem polega na trudności obliczenia nadkładu materiału.

Operacje boolowskie są bardzo trudne do zrealizowania – reprezentacji tej nie stosuje się aby budować z niej nowe złożone obiekty 3D. Jednak zaletą jest prostota i naturalność opisu. Niewielka ilość danych definiujących profil dwuwymiarowy i standardowe operacje translacji i obrotu wystarczą do zbudowania bryły. Reprezentacja ta ma charakter instrukcji modelującej. Często po stworzeniu obiektu zapamiętuje się go w innej reprezentacji. Najczęściej reprezentacją tą jest siatka wielokątowa.

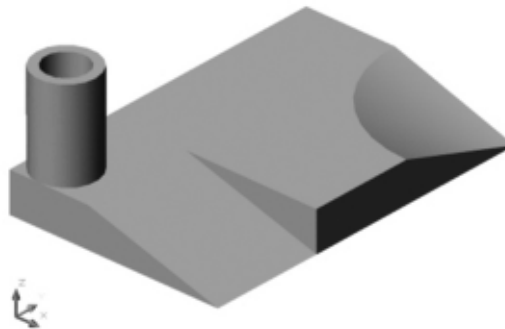


Rys. 7. Przykłady brył w reprezentacji z przesuwaniem

Konstruktywna geometria brył

Często występuje pod skrótem CSG (ang. *Constructive Solid Geometry*). W reprezentacji tej mamy dostępny pewien (niewielki) zbiór prymitywów, które możemy łączyć przy pomocy regularyzowanych operacji boolowskich (operatory są bezpośrednio włączone do reprezentacji) (rys. 8). Prymitywy te to bryły parametryczne opisywane funkcjami najwyżej 2. stopnia. Każdy obiekt jest pamiętany jako drzewo binarne zawierające operatory boolowskie w węzłach wewnętrznych i prymitywy w liściach. Węzły wewnętrzne mogą także zawierać przekształcenia 3D (translacje, obroty, skalowania, itp.).

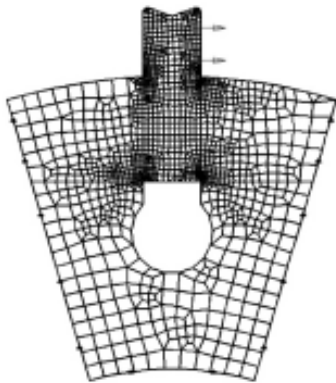
Do określenia właściwości (np. właściwości fizycznych – objętości), czy narysowania obiektu znajdującego się w korzeniu trzeba umieć łączyć właściwości poszczególnych węzłów i liści. Reprezentacja definiuje bryły razem z ich materiałem, z czego można korzystać przy wizualizacji – łatwa implementacja procedury śledzenia promienia wraz z właściwościami załamania (refrakcji), dzięki czemu uzyskuje się efekty kaustyczne. Organizacja danych umożliwia kompleksowy zapis w postaci hierarchicznych drzew. Daje to możliwość łatwej ekstrakcji danych. Wadą tej reprezentacji jest brak możliwości definiowania punktów, linii i powierzchni poza tymi, które stanowią dane prymitywów 3D tworzących bryłę. Bardzo trudne jest odwzorowanie powierzchni definiowanych za pomocą wielomianów 3. i wyższych stopni.



Rys. 8. Przykład bryły w reprezentacji CSG

Reprezentacja z podziałem przestrzennym – dekompozycja na komórki

Reprezentacje z podziałem przestrzennym tworzą całą rodzinę. Jako pierwszą z nich wymienia się zawsze dekompozycję na komórki. W reprezentacji tej każdy obiekt można podzielić na prostsze (pod)obiekty, innymi słowy: duże obiekty tworzymy przez sklejenie pewnych prostych obiektów (prymitywów, komórek) (rys. 9). Przy ograniczeniu tylko do sklejanie – komórki nie mogą się przecinać (nie możliwe są operacje boolowskie). Dwie komórki muszą mieć wspólny punkt, krawędź lub ścianę.



Rys. 9. Dekompozycja kształtu na trójkąty i czworoboki

Reprezentacja ta nie jest jednoznaczna, ponieważ złożony kształt można podzielić z reguły na wiele różnych sposobów. Reprezentację tą stosuje się dość często dzięki jej prostocie – szczególnie, gdy wykorzystana jest hierarchia obiektów składowych.

Wykorzystuje się ją w analizie metodą elementów skończonych. Zależności sił łatwo określić w prostym obiekcie (komórce) a następnie zestawiać je z wielu komórek. Podział obiektu złożonego dokonuje się do momentu uzyskania właściwego poziomu dokładności. Często podziału dokonuje się korzystając z reprezentacji siatki wielokątowej.

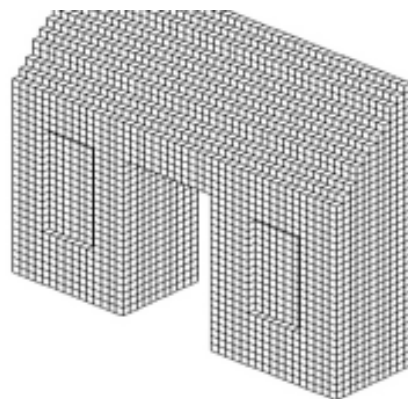
Reprezentacja z podziałem przestrzennym – reprezentacja wokselową

Następna z rodziny reprezentacji z podziałem przestrzennym, reprezentacja wokselową, polega na dekompozycji obiektu 3D na identyczne komórki uporządkowane wg. regularnej siatki (rys. 10). Komórki te (przez analogię do pikseli) nazywamy woksalami. Mogą one mieć przyporządkowane cechy fizyczne materiału – kolor, przezroczystość, refrakcję. Łatwo jest określić, które woksale są wewnątrz, a które na zewnątrz obiektu (bryły), łatwo jest również dokonywać operacji boolowskich.

Obiekty 3D można w tej reprezentacji tylko aproksymować. Aby zwiększyć dokładność odwzorowania bryły można jedynie zwiększyć liczbę woksali. Wymaga to ogromnych ilości pamięci.

Reprezentacja ta często jest wykorzystywana w szczególności w tomografii komputerowej. Poszczególne obrazy mogą uzyskiwać trzeci wymiar poprzez zdefiniowanie wszystkich warstw otrzymujemy bardzo dokładny macją.

Niestety ekstrakcja informacji z takiego modelu stosowania segmentacji obrazu, procedur morfologicznych na tych modelach usprawnia hierarchiczna w ośmiowym. Przestrzeń dzielona jest na oktanty. Na strzeń nie jest jednorodna ponownie jest dzielony aż do Cała struktura zapisywana jest w postaci drzewa ośmiowego, dzięki temu łatwiejszy jest dostęp do danych i ich ekstrakcja.



Rys. 10. Przykład bryły w reprezentacji wokselowej

Reprezentacja z podziałem przestrzennym – drzewa BSP

BSP to skrót od *Binary Space Partition*, czyli drzewo podziału binarnego przestrzeni. W reprezentacji tej płaszczyzny podziału wybiera się dowolnie. Każda płaszczyzna jest określona przy pomocy wektora normalnego skierowanego w zależności od orientacji modelu do wewnątrz obiektu w przypadku brył lub na zewnątrz, jeśli model jest wykonany dla wizualizacji. Zapis modelu również uzyskuje formę drzewa. Dla każdego węzła jego lewy potomek leży po wewnętrznej stronie płaszczyzny a prawy po zewnętrznej (może to wymagać podziału elementów, np. ścian bryły na części).

Stosunkowo łatwe jest dokonywanie operacji boolowskich na bryłach w tej reprezentacji. Kłopotliwe jest dokonywanie przekształceń translacji, obrotów i skalowania. Reprezentacja umożliwia łatwe opisywanie wielokątów, nawet wielokątów z „dziurami”, łatwo można stwierdzić czy punkt leży na zewnątrz czy wewnątrz figury. Przy opisywaniu całych scen trójwymiarowych łatwiejsza jest detekcja kolizji, usuwanie powierzchni niewidocznych i śledzenie promieni.

Reprezentacja brzegowa

Przy połączeniu cech siatki wielokątowej i drzew BSP otrzymujemy kolejną reprezentację B-rep – reprezentację brzegową. W reprezentacji tej możliwe jest definiowanie powierzchni, linii i punktów także tych znajdujących się poza bryłą. Stosunkowo łatwa jest ekstrakcja danych, ukrywanie powierzchni niewidocznych, śledzenie promienia, cieniowanie. W pamięci komputera są zapisywane dane modelu znajdujące się na najniższym poziomie prezentacji graficznej, tzn. podstawowe prymitywy graficzne – linia, punkt, łuk itp.

Wadą jest bardzo złożona logiczna i fizyczna struktura danych opisujących model, co wiąże się z długim czasem przetwarzania takich modeli.

Obiekty elementarne

Każda z powyżej opisanych reprezentacji może rozkładać się na obiekty elementarne, które są prymitywami najwyższego rzędu. Są to zorientowane przedmiotowo obiekty reprezentujące koncepcję modelowania obiektowego. Zorientowanie tych obiektów zależy od przedmiotu ekspozycji. Może być to zorientowanie graficzne, gdzie rozumieć należy prezentacje dwuwymiarowe, dokumentacyjne, linearne perspektywy (*wireframe*) jak i prezentacje realistycznej wizualizacji. Twórcy aplikacji dobierają odpowiednie reprezentacje w momencie definiowania obiektu elementarnego. Przyporządkowują reprezentacje do konkretnych rzutów, definiują powiązania, cechy skalarne. Jednak zorientowanie nie musi być jedynie graficzne. Obiekty elementarne to rekordy bazy danych o projekcie (np. budynku). Zawierają we właściwych komórkach wszystkie zdefiniowane informacje. Mogą to być cechy konstrukcyjne materiału, wartość rynkowa, symbole elementów wyposażenia itp. Dzięki temu możliwe jest sporządzanie tematycznych zestawień tabelarycznych. Ekstrakcja danych możliwa jest na wielu poziomach i nie następuje żadnych trudności.

Na bazie modelowania obiektowego powstały standardy projektowania i budowania baz danych o projektowanych obiektach. Jednym z nich, jest *Building Information Modeling* w skrócie BIM (Yang, Zhang, 2006). Standard ten nie ogranicza się jedynie do fazy projektowej, przewiduje przechowywanie i uaktualnianie informacji przez cały czas funkcjonowania budynku. BIM umożliwia wydzielanie pomieszczeń, dokonywanie w nich remontów, prze-róbek, zmiany wyposażenia. W każdej chwili można ekstrahować z bazy dane ilościowe i

jakościowe. Udoskonalenia dotyczą także samych definicji obiektów elementarnych. W przypadku ich udoskonalenia możliwa jest wymiana w już zbudowanej bazie danych z uwzględnieniem wartości w zdefiniowanych parametrach.

Koncepcja modelowania obiektowego zyskuje coraz szerszą popularność w różnych zastosowaniach. Ostatnio mówi się o stworzeniu LIM – *Landscape Information Model*. Tworzenie struktur danych o obiektach architektonicznych w formie modelu obiektowego wydaje się być najbardziej pożądane. Nie stanowi to problemu w fazie projektowania. Metody przyjmowane przy rekonstrukcji nieistniejącego obiektu też na to pozwalają. Nie istnieją jeszcze metody do tworzenia takich struktur danych przy modelowaniu istniejącego obiektu na podstawie pomiaru laserowego jak i fotogrametrycznego.

Perspektywa usprawnienia procesu modelowania obiektów historycznych

Modelowanie na podstawie danych pochodzących z pomiarów realizowanych metodami teledetekcyjnymi

Przytoczone powyżej przykłady reprezentacji definiowane są w sposób wygodny dla projektowania geometrycznego. Mają one w większości ograniczenia w postaci sztywno zdefiniowanych parametrów, które pozwalają szybko zbudować bryły, jednak nie dają odpowiedniej elastyczności dla modelowania obiektów o powierzchniach parametrycznie niewyznaczalnych. W zasadzie jedynie siatki wielokątowe są na tyle elastyczne, żeby odwzorowywać powierzchnie złożone. Siatki wielokątowe bazujące na danych w postaci punktów mogą podlegać różnorodnej edycji. Punkty te mogą pochodzić z pomiarów tachimetrycznych czy fotogrametrycznych. Jednak struktura danych tej reprezentacji pozwala jedynie na zobrazowanie powierzchni. Może ona wchodzić jako składnik obiektów elementarnych wyższego rzędu.

W przypadku pomiarów istniejących budynków mamy do czynienia z nieciągłością danych i nie parametrycznym opisem geometrii. W ich efekcie otrzymywany jest dyskretny rozkład przestrzenny punktów. Siatki wielokątowe pozwalają zapisać przestrzeń pomiędzy punktami powierzchniowymi. W wyniku tego powstaje model TIN. Gęstość próbkowania warunkuje dokładność odwzorowania powierzchni. Na etapie pomiarów różnicowane są gęstości w zależności od nagromadzenia detalu. Decyzje o gęstości próbkowania podejmuje operator urządzenia mierniczego. Ponadto gęstość próbkowania jest funkcją odległości mierzonego detalu od urządzenia pomiarowego. Dodatkową trudność powodują różnice przy nakładaniu siatek punktów wykonanych w projekcjach z różnych punktów osnowy. Korekcja różnic wykonywana jest przez żmudną edycję modelu TIN i dokonywanie dodatkowych punktowych pomiarów. Generalizacja modelu powierzchni dla uzyskania modelu konstrukcji jest zadaniem trudnym, a realizacji wyjątkowo żmudnym. Bazuje on na standardowych aplikacjach CAD, jednak sposób wykorzystania procedur może być różny i najczęściej ma charakter autorski (Toś, Wolski, Zielina, 2006).

Standardowe procedury CAD mogłyby być wyposażone w narzędzia specjalistyczne uwzględniające specyfikę urządzeń skanujących. Operator urządzenia podejmuje decyzje dotyczące rozkładu punktów osnowy, gęstości próbkowania poszczególnych detali, dodat-

kowych punktów pomiarowych itp. Mógłby podjąć także decyzje o rodzaju skanowanego elementu, jeżeli byłby wyposażony w odpowiednie narzędzia. Gdyby wyposażyć go w bibliotekę obiektów elementarnych przygotowaną dla budynków historycznych mógłby zminimalizować konieczną ilość próbek do tych, które dałyby wystarczające informacje dla parametrów definiujących obiekty.

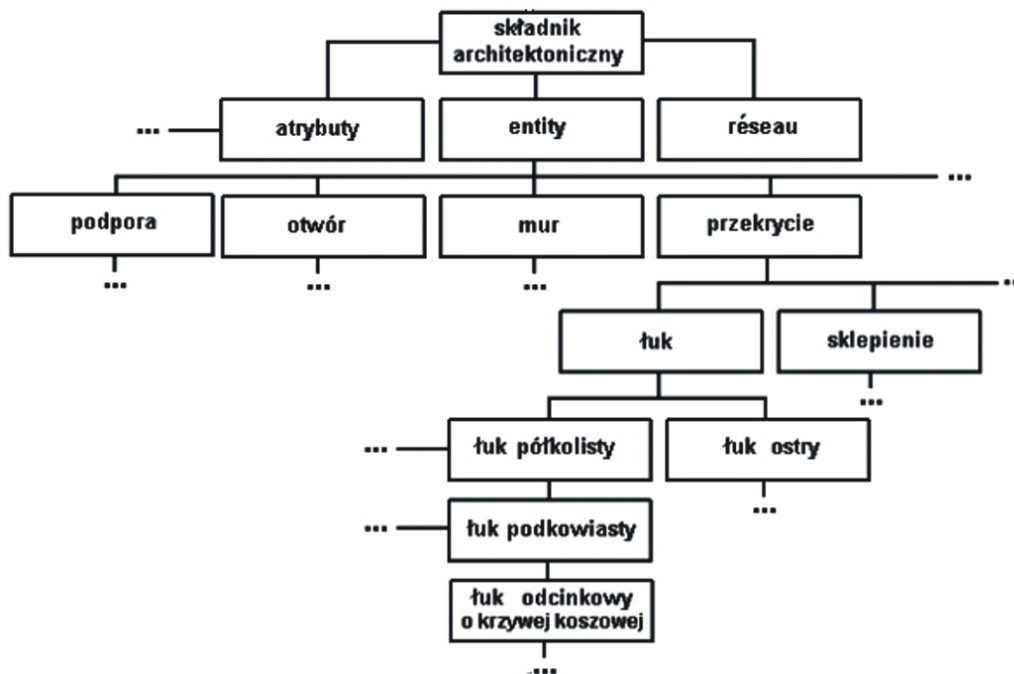
Modelowanie obiektowe

Tworzenie struktur danych o obiektach architektonicznych w formie modelu obiektowego wydaje się być najbardziej pożądane. Nie stanowi to problemu w fazie projektowania, jeśli skorzysta się z BIM. Model ten jest typowym przykładem systemu reprezentacji wiedzy, często wykorzystywanym w aplikacjach wspomagających podejmowanie decyzji. Obejmuje on metody kodowania wiedzy. Metody przyjmowane przy modelowaniu z pomiarów mogą wykorzystywać podobną strukturę danych. Systemy te w oparciu o bazy danych operując prostymi, zdefiniowanymi uprzednio elementami umożliwiają przeglądanie tworzonych w ten sposób trójwymiarowych modeli oraz dostęp i modyfikację atrybutów poszczególnych obiektów.

Próbę stworzenia systemu opartego o metody reprezentacji wiedzy, operującego w sferze zagadnień dotyczących obiektów historycznych podjęto w laboratorium MAP Gamsau w Marsylii. Zastosowana metodologia opiera się na znajomości budowy formy architektonicznej wynikającej z morfologicznej, strukturalnej i formalnej analizy obiektu architektonicznego. W świetle tej metodologii obiekt architektoniczny rozumiany jest jako zespół podstawowych elementów architektonicznych powiązanych przez łączące je zasady relacji (Dudek, Blaise, 2003). Struktura ta wyposażona w kompletny zestaw obiektów elementarnych w postaci gzymsów, łuków, pilastrów, kapiteli itp. może być zmodyfikowana pod kątem procesu pozyskiwania danych o obiekcie. Może ona być zbudowana w etapach poprzedzających prace polowe, a następnie wypełniana danymi uzyskiwanymi podczas skanowania (rys. 11). Odpowiednia parametryzacja obiektów elementarnych mogłaby spowodować przyspieszenie całego procesu modelowania przez skanowanie jedynie punktów koniecznych do wyznaczenia parametrów. Obiektowo zorientowana struktura z pewnością wpłynęłaby korzystnie na automatyzację generalizacji modelu. Jednocześnie model taki nie byłby jedynie siatką wielokątową a reprezentacją wiedzy o obiekcie architektonicznym, umożliwiającą wielorakie wykorzystanie analityczne.

Podsumowanie

Najbardziej pracochłonne modelowanie obiektów architektonicznych ma miejsce przy rekonstrukcji cyfrowej obiektów istniejących, wykonywanej na podstawie pomiarów fotogrametrycznych i tachimetrycznych. Wynikiem tych pomiarów są dane trudno przekładalne na inne reprezentacje obiektów 3D. Jest to spowodowane zorientowaniem modelu danych pochodzącego z pomiarów na urządzenia miernicze. Wyposażenie systemów pozyskiwania danych w obiekty elementarne korzystające z punktów pomiarowych, ale reprezentujące poszczególne elementy rekonstruowanych obiektów pozwoli na szybszą budowę struktur danych podobnych do BIM, dających dużo szersze możliwości analityczne, archiwizacyjne i projektowe. Obiekty elementarne winny być definiowane jako złożone struktury przy po-



Rys. 12. Przykład obiektowo zorientowanej struktury klasyfikacji – fragment (Dudek, 2000)

mocy wszystkich dostępnych reprezentacji obiektów 3D w zależności do typu, kształtu, wymagań wizualizacji, parametrów bazy danych, itp.

Budowa struktur reprezentacji wiedzy w krótkim czasie winna doprowadzić do opracowania automatycznych procedur akwizycji danych, wykorzystujących sztuczną inteligencję do identyfikacji detali architektonicznych. Informacja w ten sposób zorganizowana może składać się na systemy rozległe, których dodatkowym atutem będzie samouczenie. Wystąpienie elementu w jakimś konkretnym zabytku pozwoli na automatyczną identyfikację tego elementu w innym.

Tworzenie systemów reprezentacji wiedzy o zabytkach architektonicznych winniśmy rozpocząć od tworzenia biblioteki obiektów elementarnych. Założyć należy, że ich definicje winny mieć możliwość zmiany. Galileusz wyrażał pogląd, iż językiem natury jest matematyka, a jej alfabetem są koła, trójkąty i inne figury geometryczne. Reprezentacje obiektów 3D hołdują temu pogładowi. Można zacząć z nimi, a w późniejszym czasie wymienić je na bardziej adekwatne, jako że natura trudno wpisuje się w te figury. Zabytki architektury dość bliskie są naturze.

Literatura

- Alkhoven P., 2006: Less is more. Visual truth and the benefits of abstraction in 3D representations of buildings. *MLA Journal* Vol. 0, n°1.
- Chabriat G., 2004: La restitution 3D de la ville d'Ad' Khanoum. *Journal du CNRS* N° 178, novembre.
- Dudek I., 2000: Architektoniczno-konserwatorska rekonstrukcja Kramów Bogatych Rynku Głównego w Krakowie przy użyciu technik komputerowych. Rozprawa doktorska WA PK Kraków 2000.

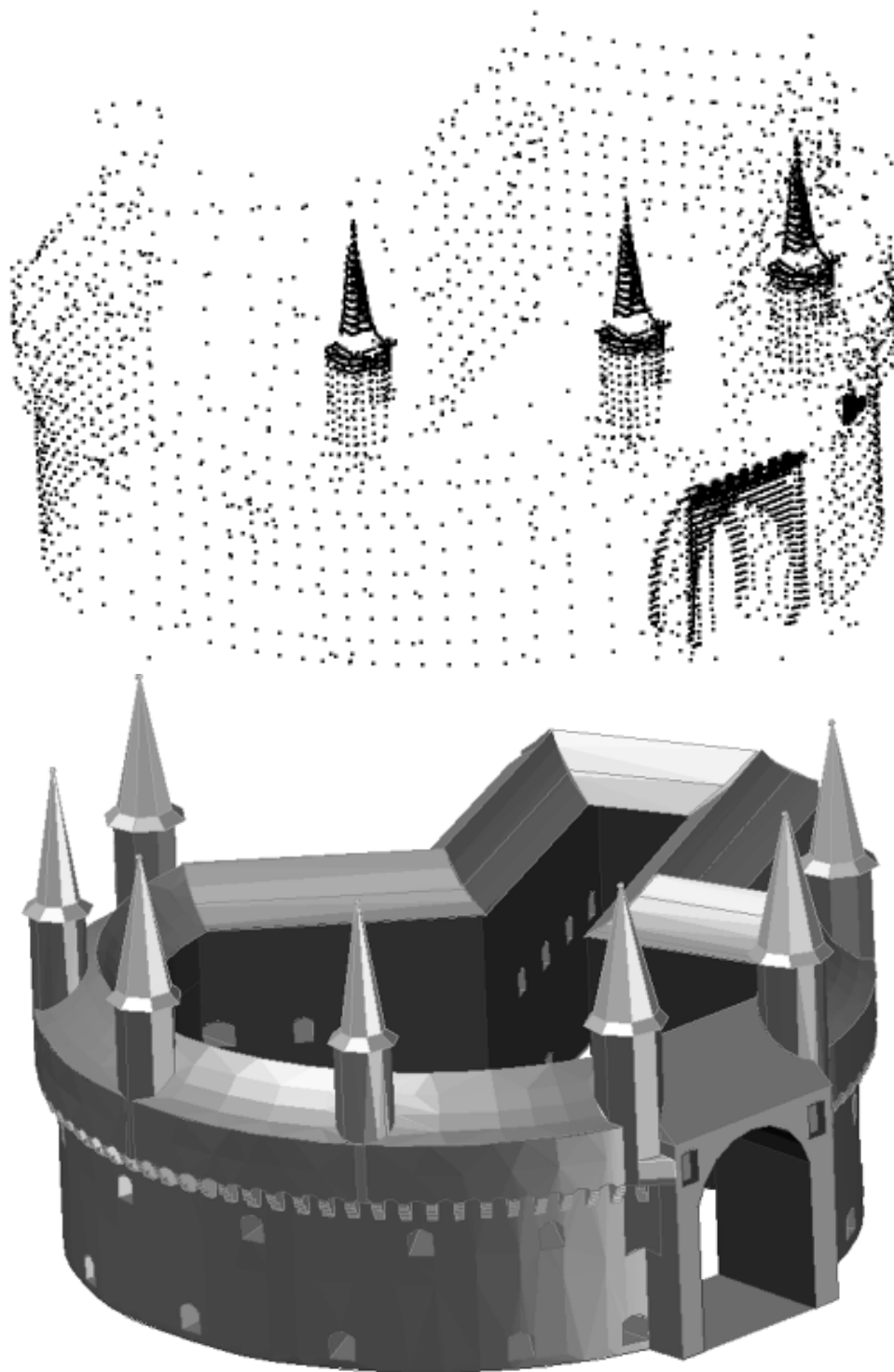
- Dudek I, Blaise J.Y., 2003: New Experimentation of generic framework for architectural heritage data visualisation. *Journal of WCSG*, Vol. 11, No. 1.
- Toś C., Wolski B., Zielina L., 2006: Inventory surveys of historical structures by scanning tachometry. Proc. 8th Bilateral Geodetic Meetin, Poland – Italy, Wrocław, Poland 22-24 June 2006.
- Toś C., Wolski B., Zielina L., 2006: Inwentaryzacja obiektów zabytkowych metodą tachimetrii skanującej VII Konferencja Naukowo-Techniczna REW-INŻ PAN.
- Yang Q.Z., Zhang Y., 2006: Semantic interoperability in building design: Methods and tools. *Computer-Aided Design* 38 p. 1099–1112.

Summary

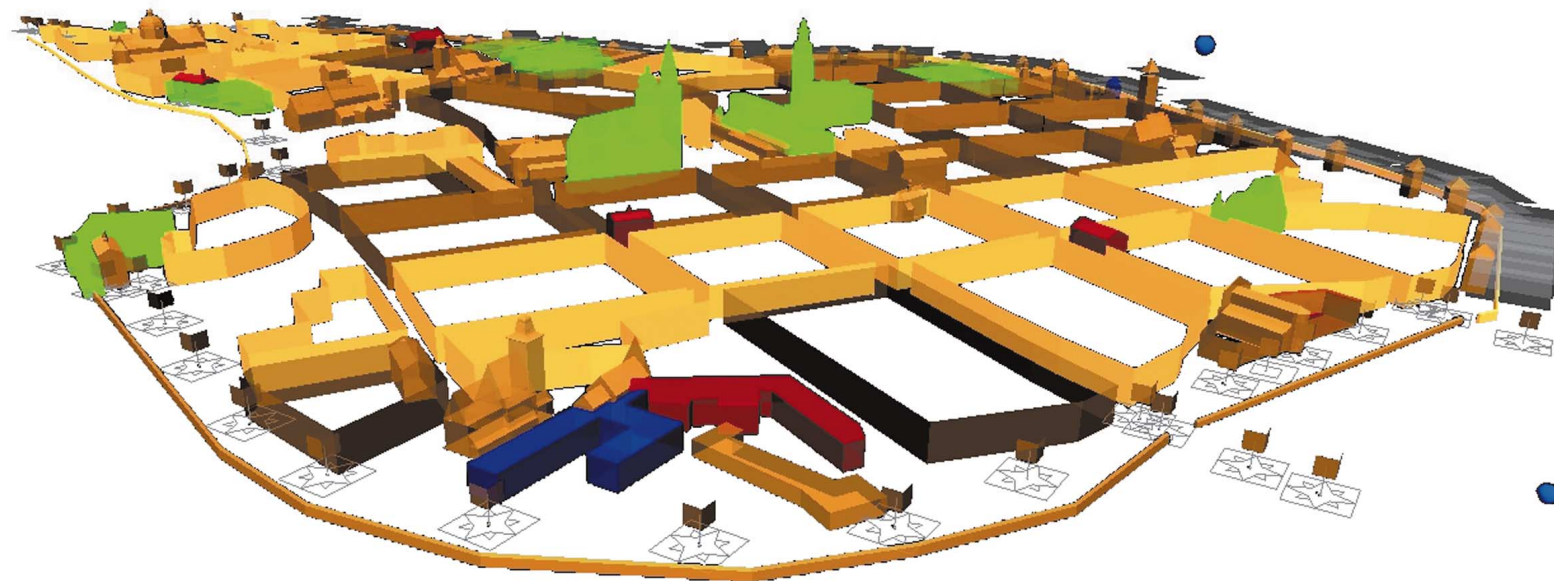
Virtual reconstruction of building objects is made in order to recreate the appearance of non-existing objects or to make digital copies of items currently existing. These goals are realized making use of different data types and various three-dimensional digital representation of spatial objects. In general, representation of solids is orientated towards design, while measuring data model is orientated towards the way the world is perceived by devices and measuring techniques. This divergence results in obvious problems with compatibility. A possible solution is to equip both data models with representations that bring them together to enable direct mapping of world perception into the spatial model representation.

In this paper modeling techniques of three-dimensional architectural (building) objects are presented, as well as available 3D objects representations and data sets possible to be visualized making use of these techniques. Moreover, an attempt is made to determine fields of research aimed at bringing together the two data models mentioned above.

dr inż. arch. Paweł Ozimek
ozimek@pk.edu.pl



Rys. 4. Barbakan – chmura punktów i generalizacja



Rys. 5. Model Krakowa z zaznaczonymi kolorem zielonym obiektami, dla których istnieje informacja o ich wyglądzie w 1720 roku