

INTEGRACJA GIS I WIRTUALNEJ RZECZYWISTOŚCI DO WIZUALIZACJI I EKSPLOKACJI DANYCH GEOGRAFICZNYCH

INTEGRATION OF GIS AND VIRTUAL REALITY FOR GEOGRAPHIC DATA VISUALIZATION AND EXPLORATION

Natalia Kolecka

Zakład Systemów Informacji Geograficznej, Kartografii i Teledetekcji
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego

SŁOWA KLUCZOWE: GIS, wirtualna rzeczywistość, wizualizacja 3D, eksploracja danych

STRESZCZENIE: Kartografia 3D i wizualizacja 3D danych geograficznych cieszą się obecnie dużą popularnością. Uważa się, że sposób wizualizacji jest tak ważny jak sama treść mapy, a trójwymiarowy GIS jest bardziej komunikatywny od dwuwymiarowego. Ten artykuł prezentuje, jak w prosty sposób połączyć kartografię, GIS i wirtualną rzeczywistość w celu wizualizacji, analizy i eksploracji danych. Do wykonania map i trójwymiarowej wizualizacji danych użyto oprogramowania ESRI: ArcGIS i ArcScene, a wizualizacje bardziej realistyczne wykonano w programie Google SketchUp Pro 6, który umożliwia korzystanie z gotowych i tworzenie własnych modeli 3D oraz umieszczanie gotowych produktów w Internecie za pośrednictwem Google Earth. Jako dane wejściowe wykorzystano obrazy satelitarne, ortofotomapy, dane wektorowe, numeryczny model terenu oraz bibliotekę gotowych modeli 3D. Efektem były przestrzenne mapy zawierające dane ogólne i szczegółowe, wirtualne przeloty i profile wysokościowe, widoki panoramiczne oraz trójwymiarowe realistyczne modele. Oprócz zapewnienia kontekstu położenia geograficznego i orientacji, GIS 3D umożliwia plastyczne przedstawienie rzeźby terenu i elementów krajobrazu, a dane ilościowe mogą być prezentowane w postaci diagramów czy schematów. Rzeczywistość wizualizowana w jak najmniej abstrakcyjny sposób jest łatwiej rozumiana i pozwala skupić się na treści. Interaktywne wizualizacje idące w stronę wirtualnej rzeczywistości umożliwiają intuicyjną ocenę charakteru czy piękna krajobrazu i są bardzo pomocne w planowaniu.

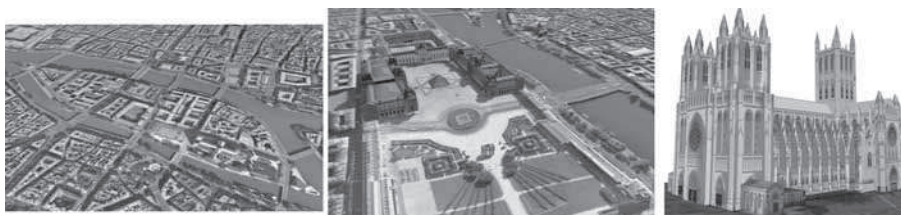
1. WSTĘP

W bazach danych Systemów Informacji Geograficznej (GIS) zgromadzone są wielkie ilości danych przestrzennych. Konieczność ich wizualizacji i eksploracji jest oczywista, a wyniki powinny być efektywnie (i często efektownie) wizualizowane (Kraak *et al.*, 1999). W znacznej mierze umożliwia to sam GIS, niemniej jednak duże zapotrzebowanie na realistyczną prezentację treści i wykonywanie analiz w przestrzeni trójwymiarowej zwraca uwagę użytkowników na wirtualną rzeczywistość i możliwość jej wykorzystania. W związku z gwałtownym rozwojem narzędzi grafiki komputerowej wizualizacja danych 3D w czasie rzeczywistym stała się możliwa w standardowych aplikacjach (Haala, 2005). Wirtualna rzeczywistość (VR) jest technologią komputerową pozwalającą na tworzenie świata 3D, w którym użytkownik uczestniczy poprzez spacer czy przeloty. Komisja ds. Wizualizacji z Międzynarodowego Stowarzyszenia

Kartograficznego (ICA) wyszczególniła zakresy tematyczne, które powinny być szczególnie wzięte pod uwagę w prowadzeniu badań naukowych z dziedziny kartografii. Jeden z nich dotyczy studiów nad potencjałem narzędzi do trójwymiarowej wizualizacji oraz generalną tendencją do realizmu (zamiast abstrakcji) w naukowej prezentacji danych (MacEachren *et al.*, 1997; Fisher *et al.*, 1993).

Sposób prezentacji treści na mapie jest niemal tak samo istotny jak sama jej zawartość, ponieważ stanowi metodę komunikacji z odbiorcą. Pamiętać należy przy tym, że odbiorca często nie ma doświadczenia w pracy z mapami, a dwuwymiarowe mapy złożone z wielu warstw GIS są dla niego abstrakcyjne, zaś wydobywanie z nich treści – uciążliwe. Skuteczne mogą być w tym przypadku realistyczne wizualizacje komponowane z punktu widzenia pieszego – czy to w krajobrazie miejskim, czy naturalnym. Kartografia może odnieść pewne korzyści poprzez integrację ze środowiskami naukowej wizualizacji, gdzie podejście do rozbudowy komputerowych interaktywnych narzędzi, tworzenia interfejsu czy trójwymiarowe modelowanie komputerowe są lepiej rozwinięte (MacEachren *et al.*, 1997). Transformacja danych GIS w kartograficznie poprawne przestrzenne wizualizacje pozwala zarówno doświadczonemu jak i początkującemu użytkownikowi szybko zrozumieć strukturę i cechy jakiegoś obszaru oraz związki między poszczególnymi elementami. Odbywa się to poprzez interaktywną eksplorację wirtualnego świata stworzonego z danych GIS. Dzięki integracji GIS z wirtualną rzeczywistością (VRGIS) tworzy się iluzję rzeczywistości, co ma zastosowanie w planowaniu przestrzennym, turystyce, nawigacji osobistej, dokumentowaniu dziedzictwa kulturowego, modelowaniu archeologicznym, wizualizacji naukowej, czy symulacji edukacyjnej i wojskowej.

Dwuwymiarowy GIS nie jest wystarczająco komunikatywny w wyżej wymienionych dziedzinach. Decydując się na jeszcze jeden wymiar można połączyć kontekst topograficzny z teksturami, kolorem i odpowiednią skalą elementów krajobrazu, takich jak drzewa czy budynki. Wizualizacja uważana jest za integralną część opartego na GIS opisu krajobrazu. Wykorzystanie trójwymiaru zapewnia bardziej kompletny obraz elementów naturalnych i kulturowych, co łączy się z postrzeganiem krajobrazu i jego atrybutów przez ogół (McLure *et al.*, 2002). Przedstawia miejsca i warunki panujące na danym terenie głównie za pomocą widoków perspektywicznych 3D, stosując przy tym różne stopnie szczegółowości (*level of details - LOD*) (rys. 1). Można wyróżnić cztery kategorie LOD – od ogólnego modelu LOD 0 (numeryczny model terenu 2.5D) do LOD 4 (możliwość poruszania się po wymodelowanych od wewnątrz budynkach) (Kolbe *et al.*, 2005; Haala, 2005). Te formy wizualizacji i wirtualna rzeczywistość są generowane za pomocą komputera w trzech lub czterech wymiarach i mogą przekazywać szczegółową informację o obecnym lub spodziewanym przyszłym wyglądzie pewnego obszaru, pod warunkiem, że zaistnieją określone okoliczności (Sheppard, 2006). Są także wyrazem ogólnego trendu ku wirtualnej rzeczywistości 3D GIS.



Rys. 1. Różne stopnie szczegółowości przedstawienia danych geograficznych

2. DANE ŹRÓDŁOWE KONIECZNE DO WIZUALIZACJI 3D

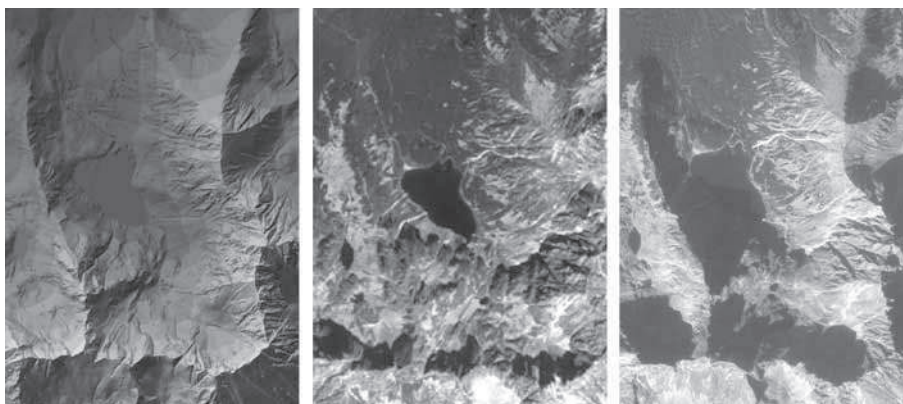
W celu wykonania wizualizacji 3D korzysta się najczęściej z danych wysokościowych, obrazów satelitarnych lub ortofotomapy, a także danych o obiektach i zbioru trójwymiarowych modeli obiektów. Dane wysokościowe pozwalają opisać ukształtowanie

i charakter powierzchni terenu i są konieczne do stworzenia wirtualnego świata (o ile teren nie jest idealnie płaski). Zastępują lub znakomicie uzupełniają tradycyjne techniki stosowane na mapach 2D, takie jak warstwicze lub cieniowanie. Numeryczne modele terenu (NMT) są dostępne dla większości powierzchni Ziemi – pojedyncze punkty terenowe są opisane przez dwie współrzędne płaskie i wartość wysokości.

Ortofotomapy czy obrazy satelitarne po georektyfikacji służą jako płaszczyzna odniesienia (np. dla danych wektorowych), a jeśli mają odpowiednią rozdzielczość wykorzystuje się je jako teksturę nakładaną na powierzchnię terenu (NMT) w ostatecznej wizualizacji. Zapewniają one lepsze i bardziej czytelne przedstawienie pokrycia terenu niż tradycyjne techniki symbolizacji. Służą także jako materiał źródłowy w przetwarzaniu obrazów cyfrowych, do ekstrakcji obiektów o określonych cechach. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że obrazy zarejestrowane z góry nie są zadowalającym źródłem tekstury dla obiektów takich jak budynki. Znacznej części informacji brakuje, ponieważ jest przesłaniana przez dachy lub inne obiekty. W takich przypadkach korzystać należy ze zdjęć naziemnych.

Dane wektorowe o obiektach opisują ich charakter (punktowy, liniowy, powierzchniowy) i dokładne położenie. Pokazują gdzie należy wstawić modele 3D obiektów, a poprzez atrybuty opisują także ich cechy. Ma to znaczenie przy wyborze gotowych modeli 3D obiektów z biblioteki, które umożliwiają realistyczne wyświetlanie danych wektorowych. Najwyższy stopień realizmu daje tworzenie modeli konkretnych obiektów, które następnie umieszcza się na mapie 3D w odpowiednich miejscach.

W niniejszym projekcie wykorzystano numeryczny model terenu w postaci siatki TIN, ortofotomapę kolorową o rozdzielczości 0.75 m, obrazy z satelity Ikonos (kanały R, G, B w rozdzielczości 4 m, kanał panchromatyczny – 1 m) (rys. 2), dane wektorowe oraz *defaultową* bibliotekę modeli 3D z ArcGIS i internetową bibliotekę modeli 3D Google. Dane GIS pochodzą z Tatrzańskiego Parku Narodowego. Numeryczny model terenu TIN posłużył do wygenerowania warstwic.



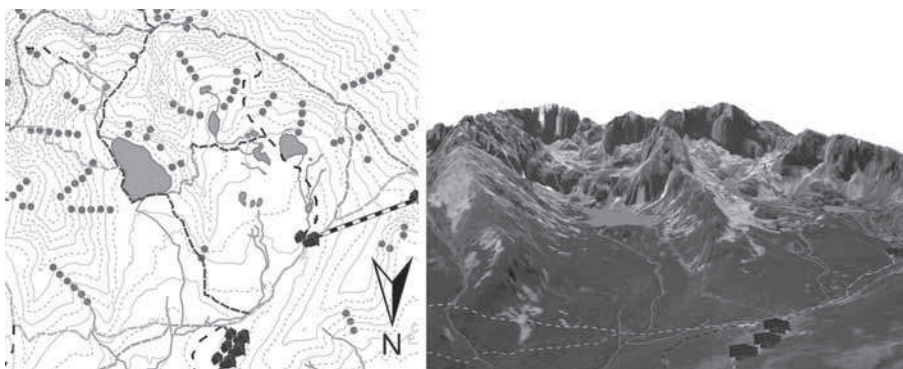
Rys. 2. Dane źródłowe wykorzystane w pracy – od lewej: TIN, obrazy satelitarne, ortofotomapa

3. METODY WIZUALIZACJI

3.1. Trójwymiarowa wizualizacja danych GIS

Kluczowymi elementami w wizualizacji krajobrazu są: powierzchnia terenu, roślinność na pierwszym planie i fasady budynków. Dodatkowo można uwzględnić wygląd nieba (chmury), wody (zmarszczki i fale) oraz cienie (od budynków czy drzew). Poziom realizmu oglądanej sceny rośnie wraz ze stopniem szczegółowości obrazowania danych. Wykorzystanie trójwymiarowej prezentacji danych może przynieść szczególne korzyści

w przypadku, gdy zakres treści mapy wiąże się z topografią, np. turystyka górska, czy wizualna ocena krajobrazu (Wissen *et al.*, 2005), ponieważ modele 3D niemal nie kodują informacji wysokościowej (Jobst *et al.*, 2007). Powyższy problem obrazuje rysunek 3.

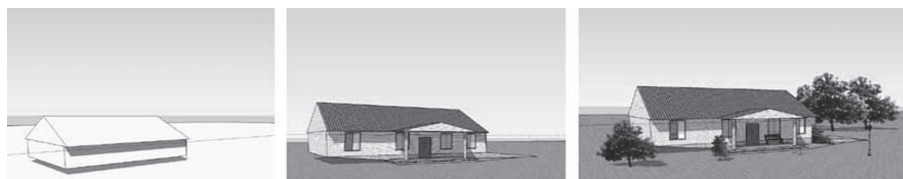


Rys. 3. Fragment Tatr Polskich z siecią szlaków turystycznych, hydrografią, torami lawin, zabudowaniami – wizualizacje 2D (po lewej) i 3D (po prawej) wykonano w oprogramowaniu ArcGIS

Większość z obecnie używanych pakietów oprogramowania GIS daje możliwość pracy w przestrzeni 3D. Jednym z najbardziej popularnych jest ArcGIS ESRI z ArcScene i ArcGlobe, które wykorzystują trzeci wymiar. Mogą one złożone dane przestrzenne przełożyć na wizualny, nie-techniczny język. Do wizualizacji powierzchni ziemi wykorzystuje się ortofotomapy lub obrazy satelitarne i numeryczne modele terenu. Obiekty punktowe, liniowe czy powierzchniowe przedstawia się w oparciu o dane wektorowe, często wykorzystując informacje atrybutowe do różnicowania sposobu ich wyświetlania. Na podstawie badań przeprowadzonych w Szwajcarii stwierdzono, że granicznym wskaźnikiem, który określa minimalny stopień realizmu jest trójwymiarowy model powierzchni terenu z narzuconą ortofotomapą (Lange, 2001). W związku z tym wybór ortofotomapy jako źródła opisu barw i tekstur do ogólnego opisu powierzchni ziemi uznano za właściwy, mimo że spełnia tylko kryteria LOD 0. Z kolei badania prowadzone w angielskiej School of Environmental Sciences wśród studentów i naukowców wykazały, że przedstawienie ukształtowania powierzchni Ziemi i pierwszoplanowa roślinność mają istotny wpływ na ocenę wizualizacji, podczas gdy cienie, budynki i niebo są niemal bez znaczenia (Appleton *et al.*, 2003).

3.2. Trójwymiarowe modele cyfrowe

Modele cyfrowe 3D mają różną postać. Schematyczne modele można utworzyć z istniejących danych wektorowych, „wyciągając” (*extrude*) punkty, linie lub poligony na odpowiednią wysokość (LOD 1), która może być zdefiniowana przez wskazany atrybut. Pozwala to na wizualizację danych statystycznych (wartość, gęstość, natężenie zjawiska, etc.) w postaci przestrzennych diagramów lub schematów. Wykorzystanie dodatkowego wymiaru powiększa przestrzeń wizualizacji, pozwalając na równoczesną prezentację większej ilości danych. Bardziej realistyczne efekty daje wykorzystanie biblioteki ponad 500 gotowych modeli 3D dostępnej w ArcGIS. Często nie przypominają one jednak konkretnych obiektów, co może być mylące lub niewystarczające pod względem założonego LOD. W niektórych przypadkach zachodzi potrzeba by stworzyć wierny model obiektu lub całego krajobrazu. Pomocna wtedy okazuje się możliwość samodzielnego tworzenia cyfrowych modeli 3D i importowania ich do ArcGIS. Jednym z programów umożliwiających takie operacje jest m.in. Google SketchUp, który współpracuje z ArcGIS jako „wtyczka”. Tworzenie modeli 3D od podstaw może się wydawać czasochłonne, jednak zależy to głównie od stopnia szczegółowości przedstawienia obiektu – od schematycznego po detaliczne z wykorzystaniem tekstur *defaultowych* i wykonanych ze zdjęć cyfrowych (głównie amatorskich).



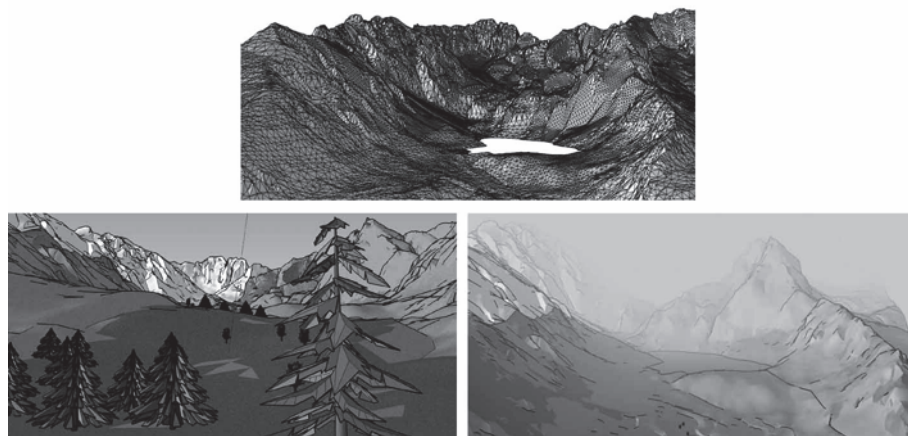
Rys. 4. Etapy tworzenia złożonego modelu 3D w programie Google SketchUp (czas wykonania ok. 1 godz.)

W programie SketchUp wykonanie szczegółowego modelu 3D budynku zajmuje około 1 godziny (rys. 4). Ogólnodostępna internetowa biblioteka zawiera bogaty zbiór gotowych modeli 3D do pobrania i wykorzystania (Mahbubur *et al.*, 2006). Złożone

modele cyfrowe z programu SketchUp często obejmują wiele obiektów, które mogą być umieszczone na różnych warstwach. Ułatwia to ich edycję i zapis w bazie danych – jako pewnych klas obiektów o określonych cechach (atrybuty).

3.3 Integracja GIS i wirtualnej rzeczywistości VR

Integracja GIS i VR daje niewątpliwie korzyści łącząc w sobie cechy obu składowych. W wyniku takiej wizualizacji powstaje trójwymiarowe środowisko, dające możliwość interaktywnej eksploracji „od wewnątrz”. Zachowuje przy tym układ odniesienia i właściwe położenie geograficzne obiektów. W tym projekcie integrację wykonano w środowisku ArcGIS 9.1 i Google SketchUp 6 Pro. Pierwszym etapem było wyświetlenie danych w ArcGIS i stworzenie odpowiedniej sceny 2D. Następnie należało wybrać informacje, które mają być wyeksportowane do formatu SKP (używanego przez SketchUp). Każda z klas obiektów podlegających eksportowi może być „wyciągnięta” na wysokość odpowiadającą wartości wybranego atrybutu. Eksportować można także numeryczny model terenu w postaci TIN oraz rastry w formacie TIF, JPEG, BMP, PNG. Plik SKP po otwarciu w SketchUp prezentuje wybrane uprzednio dane, które można modyfikować. Modyfikacja taka polega zarówno na zmianie geometrii obiektów, jak i ich cech. Konieczne dla osiągnięcia wysokiego poziomu realizmu jest umieszczenie roślinności, głównie drzew. Scenę można wzbogacać modelami samochodów, ludzi, etc., wykorzystywać tekstury, oświetlenie, mgłę i cienie od obiektów (rys. 5). Następnie można w łatwy sposób eksplorować gotowy model poprzez wirtualne spacerunki, czy zmianę punktu obserwacji. Istotne przy tym jest, że roślinność i inne elementy nie są wizualizowane za pomocą płaskich obrazków (*billboards*), ale 3D modeli, które bez względu na punkt obserwacji wyglądają naturalnie.



Rys. 5. Górna ilustracja przedstawia TIN wyeksportowany do SketchUp z ArcGIS.
Dolne prezentują gotowy model 3D po edycji w SketchUp

Aby powrócić z realistycznym modelem do ArcGIS należy go wyeksportować ze SketchUp jako Multipatch Feature Class (MDB). Format ten zapisuje nie trójwymiarową symbolikę, ale geometrię 3D w bazie danych. Nowe dane mogą być połączone z danymi istniejącymi w bazie danych ArcGIS, dzięki czemu obiekty 3D są skojarzone z danymi opisowymi. Wizualizacja stworzonego w SketchUp modelu

odbywa się w ArcScene lub ArcGlobe. Na tym jednak nie kończą się możliwości eksportu danych z programu SketchUp. W zakresie wymiany danych współpracuje on między innymi z 3D Studio, AutoCAD, VRML, czy wreszcie Google Earth. Dzięki tej ostatniej opcji powstałe pliki KMZ mogą być następnie wczytywane do wirtualnego Świata i udostępniane przez Internet wszystkim użytkownikom. Najprostszym sposobem jest umieszczenie w sieci pliku KMZ do pobrania, a następnie otwarcie go w Google Earth. Aby model został na stałe włączony w zbiór danych programu, musi on zostać zaakceptowany przez koordynatorów Google. Jest to raczej trudne do osiągnięcia ze względu na wysokie wymagania stawiane modelowi.

Wykonana w tej pracy wizualizacja obejmuje rejon Hali Gąsienicowej (Tatrzański Park Narodowy). Efekty przedstawiono na rysunkach 3, 4 i 5.

4. PODSUMOWANIE

Wizualizacja danych jako metoda eksploracji i budowania wiedzy od dawna jest używana nie tylko w geografii, ale także w nauczaniu o zjawiskach fizycznych i społecznych, między innymi w antropologii, archeologii, historii, etc. Wykorzystuje się ją do przechowywania danych, analizowania informacji i tworzenia idei, do testowania hipotez i atrakcyjnego prezentowania wyników. Prezentacja danych geograficznych coraz częściej odbywa się poprzez integrację GIS i wirtualnej rzeczywistości, dążąc w stronę trzech wymiarów. Wizualizacja krajobrazu początkowo była wykorzystywana głównie w planowaniu i projektowaniu obszarów naturalnych i zurbanizowanych. Ostatnie osiągnięcia w dziedzinie foto-realistycznej wizualizacji opartej na interaktywnym trójwymiarowym modelowaniu powierzchni terenu, budynków i roślinności dają ogromne możliwości dynamicznego oglądania zmian krajobrazu w przestrzeni i w czasie. W związku z tym technologię tę stosuje się w ostatnich latach do realizacji zadań wymagających wspomaganie postrzegania, analizowania, wkładu ogółu ludności oraz podejmowania decyzji (Sheppard, 2006; Steinitz *et al.*, 2003). Wizualizacja stosowana jest także do rekonstrukcji dawnego krajobrazu, która ma na celu wzrost świadomości o historii i korzeniach danego obszaru wśród mieszkańców oraz wnioskowanie o jego przyszłości. Wykorzystuje się w tym przypadku mapy historyczne i stare fotografie.

Korzyści, jakie niesie ze sobą GIS-VR, jest wiele. Łączy wnioskowanie bazujące na modelowaniu i GIS z intuicyjnym, opartym na fotografii i realistycznej prezentacji, które przemawia do amatorów. Pozwala na łatwą lokalizację informacji przez miejscową ludność lub innych użytkowników za pomocą szczegółowych opisów rozpoznawalnych i znanych miejsc, zamiast abstrakcyjnych planów, zdjęć lotniczych, etc. Daje możliwość tworzenia alternatywnych wizji przyszłości, a także modyfikacji produktu w celu podkreślenia czy uproszczenia niemal każdego aspektu podczas modelowania 4D (np. zmiana stopnia szczegółowości prezentacji danych). Jest także atrakcyjny dla amatorów, dla których interaktywna dynamiczna wizualizacja 3D jest czymś nowym (Sheppard, 2006). Łącząc GIS i VR należy także zwrócić uwagę na umieszczenie informacji o orientacji, szczególnie w przypadku nawigacji z perspektywy pieszego.

Pomimo niewątpliwych korzyści z wizualizacji danych 3D, pojawiają się pewne problemy, z którymi jest ona związana. Zwraca na nie uwagę Dodge (Dodge *et al.*, 2008). Po pierwsze wskazuje na względy praktyczne takie jak czasochłonność tworzenia

efektywnej wizualizacji. Jak zostało stwierdzone wcześniej wykonanie złożonego modelu obiektu w Google SketchUp zajmuje około 1 godziny, czyli krótko, jeśli wziąć pod uwagę ostateczny wynik. Kolejnym aspektem jest etyka i odpowiedzialność twórcy wizualizacji. Proces tworzenia wiąże się z koniecznością wyboru danych, generalizacji, klasyfikacji i podejmowania decyzji o sposobie prezentacji. Nie sposób uczynić tego bez dodania pewnych subiektywnych elementów (MacEachren *et al.*, 1997; Rose-Redwood, 2007). Odbiorca nie jest zależny od wizji twórcy danego przedstawienia, jeśli istnieje możliwość interaktywnej modyfikacji wizualizacji. Sam może przystąpić do zmiany istniejącego lub tworzenia własnego obrazu na podstawie wybranych danych. Podczas wizualizacji 3D pojawiają się także problemy techniczne, na które należy zwrócić uwagę. Jednym z nich są zniekształcenia obrazu wynikające z widoku perspektywicznego i zasłanianie obiektów położonych dalej przez elementy pierwszego planu w zależności od wybranego punktu widzenia. Rozwiązaniem w tej sytuacji może być rzutowanie ortogonalne zamiast perspektywy lub interaktywna zmiana orientacji kamery. Innym problemem jest zmienna skala w obrębie jednej sceny, co uniemożliwia proste porównanie wartości zjawiska. Należy w takich przypadkach stosować poziome płaszczyzny odniesienia lub podział bloków 3D na stałe interwały (Dodge *et al.*, 2008).

Postęp w gromadzeniu prezentacji i eksploracji danych trwa i prowadzonych jest wiele prac dotyczących tych zagadnień. Należy się jednak zastanowić, czy wizualny realizm jest rzeczywiście konieczny we wszystkich dziedzinach (Döllner, 2003). Zazwyczaj historyczne mapy panoramiczne miast lub widoki z lotu ptaka zamiast realizmu preferują abstrakcję, która bogatą zawartość pozwala zaprezentować przejrzyście i atrakcyjnie (Haala, 2005).

5. LITERATURA

- Appleton K., Lovett A., 2003. GIS-based visualization of rural landscapes: defining 'sufficient' realism for environmental decision-making. *Landscape and Urban Planning*, 65 (2003), s. 117-131.
- Dodge M. McDerby M., Turner M., 2008. *Geographic Visualization. Concepts, Tools and Applications*. Wiley, West Sussex.
- Döllner, J., Walther, M., 2003. Real-Time Expressive Rendering of City Models. Seventh International Conference on Information Visualization, Proceedings IEEE 2003 Information Visualization, s. 245-250.
- Fisher P., Dykes J., Wood J., 1993. Map design and visualization. *The Cartographic Journal*, Vol. 30, No. 2, s. 136-142.
- Google SketchUp. 2008: <http://www.sketchup.com>
- Haala N., 2005. Towards Virtual Reality GIS. *Photogrammetric Week 05*, s. 285-294.
- Jobst M., Germanchis T., 2007 *Multimedia Cartography. The employment of 3D in cartography – an overview*. Springer, s. 217-228.
- Kraak M. J., MacEachren A. M., 1999. Visualization for exploration of spatial data. *International Journal of Geographical Information Science*, 13, s. 285-287.
- Kolbe, T. H., Gröger, G., 2005. CityGML - Interoperable Access to 3D City Models. International Symposium on "Geo-Information for Disaster Management" .

- Lange E., 2001. The limits of realism: perceptions of virtual landscapes. *Landscape and Urban Planning*, 54, s. 163-182.
- MacEachren A., Kraak M. J., 1997. Exploratory cartographic visualization: advancing the agenda. *Computers & Geosciences*, Vol. 23, No. 4, s. 335-343.
- Mahbubur M., Meenar R., Ambrus A., 2006. Three-Dimensional Models Encourage Public Participation. <http://www.esri.com/news/arcuser/0506/3dmodel1of2.html>
- McLure J. T., Griffiths G. H., 2002. Historic landscape reconstruction and visualization, West Oxfordshire, England. *Transactions in GIS*, 6(1), s. 69-78.
- Rose-Redwood R. S., 2007. Critical Cartography and Performativity of 3D Mapping. http://www.gisdevelopment.net/magazine/years/2007/april/40_1.htm
- Sheppard S. R. J., 2006. Bridging the sustainability gap with landscape visualization in community visioning hubs. *The Integrated Assessment Journal. Bridging Sciences & Policy*, Vol. 6, No. 4 (2006), s. 79-108.
- Steinitz C., Rojo H. M. A., Arias H., Bassett S., Flaxman M., Goode T., Maddock III T., Mouat D., Peiser R., Shearer A., 2003. *Alternative futures for changing landscapes: The Upper San Pedro River basin in Arizona and Sonora*. Island Press, Washington D.C. 82.
- Wissen U., Schmidt W. A., Lange E., 2005. Comprehensive evaluation of future landscape quality by joining indicators and 3D visualizations. *Conference on "Visualising and Presenting Indicator Systems"*.

**INTEGRATION OF GIS AND VIRTUAL REALITY
FOR GEOGRAPHIC DATA VISUALIZATION AND EXPLORATION**

KEY WORDS: GIS, virtual reality, 3D visualization, data mining.

Summary

3D cartography and geographic data visualization are currently very popular. Compared to traditional methods, they allow a clearer presentation of a wider range of geographic content and facilitate interpretation. It is claimed that the manner of visualization is as important as the map content, and that 3D GIS has a higher communication power than two-dimensional GIS. It is of high importance for individuals who have not gained much experience in working with maps (especially for those having problems with correct relief perception) as well as for spatial planning (particularly the participatory aspect of it). This paper explores how traditional cartography, GIS, and virtual reality can be combined to visualize, analyze, and explore data.

The first stage of the work involved map design and 3D visualization of spatial and attribute data. ArcGIS and ArcScene ESRI were used. Subsequently, to develop more realistic visualizations and facilitate communication with a user, Google SketchUp Pro 6 was used. The programme makes it possible to use the ready-made 3D models and to create one's own. It also allows to publish products in the Internet by Google Earth. Satellite images, orthophotomaps, feature data, digital terrain model, and Web library of the ready-made 3D models were used as source data. In effect, general and detailed maps, virtual flights, elevation profiles, panoramic views and three-dimensional realistic models were generated.

Apart from providing a user with spatial context and orientation, the 3D GIS allows also to present the ground surface and landscape (natural and anthropogenic, e.g., a city) elements in an enhanced manner, while quantitative data may be showed as diagrams or other schematic images. The reality visualized at the lowest possible degree of abstraction is much easier to comprehend and allows to concentrate on the content. Satisfactory effects are obtained with digital terrain model and satellite images or orthophotomaps. Very complex visualizations, where the content is enriched in 3D models of trees, buildings, etc., and where it is possible to move, approach virtual reality. They allow the user to intuitively perceive the nature and beauty of a landscape, and are very helpful in planning.

mgr inż. Natalia Kolecka
nlis@gis.geo.uj.edu.pl
tel. (012) 664-53-02
fax: (012) 664-53-85