

ACTA SCIENTIARUM POLONORUM

Czasopismo naukowe założone w 2001 roku przez polskie uczelnie rolnicze

Geodesia et Descriptio Terrarum

Geodezja i Kartografia

Geodesy and Cartography

9 (3) 2010



Bydgoszcz Kraków Lublin Olsztyn
Poznań Siedlce Szczecin Warszawa Wrocław

Rada Programowa *Acta Scientiarum Polonorum*

Kazimierz Banasik (Warszawa), Janusz Falkowski (Olsztyn),
Florian Gambuś (Kraków), Franciszek Kluza (Lublin), Edward Niedźwiecki (Szczecin),
Janusz Prusiński (Bydgoszcz), Jerzy Sobota (Wrocław) – przewodniczący,
Stanisław Socha (Siedlce), Waldemar Uchman (Poznań)

Rada Naukowa serii *Geodesia et Descriptio Terrarum*

Andrzej Borkowski (Wrocław) – przewodniczący, Wojciech Dach – sekretarz,
Roman Galas (Berlin), Wolfgang Keller (Stuttgart),
Andrzej Kramkowski (Olsztyn), Josef Weigel (Brno)

Opracowanie redakcyjne i korekta:

Janina Szydłowska
Elżbieta Winiarska-Grabosz

Łamanie
Halina Sebzda

Projekt okładki
Daniel Morzyński

ISSN 1644–0668

*Wydanie publikacji dofinansowane ze środków
Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu*

© Copyright by Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu,
Wrocław 2010

Redaktor Naczelny – prof. dr hab. Andrzej Kotecki
ul. Sopocka 23, 50–344 Wrocław, tel./fax 71 328–12–77
e-mail: wyd@up.wroc.pl <http://www.up.wroc.pl>

Nakład 200 + 16 egz. Ark. wyd. 2,7. Ark. druk. 2,5
Druk i oprawa: F.P.H. „ELMA”

NIEPEWNOŚĆ DANYCH PRZESTRZENNYCH W SYSTEMACH INFORMACJI GEOGRAFICZNEJ (GIS)

Dariusz Felcenloben

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Starostwo Powiatowe w Kłodzku

Streszczenie. Złożoność świata rzeczywistego sprawia, że jego obraz reprezentowany w modelu pojęciowym w postaci danych przestrzennych – nie może być wykonany z dowolnie przyjętą dokładnością. Wiedzy odbiorcy towarzyszy bowiem poczucie niepewności, które może mieć charakter stochastyczny, bezpośrednio związany z dokładnością samego pomiaru opisywanego zjawiska lub epistemiczny, wynikający z niepełnej wiedzy odbiorcy informacji, a także ograniczonych możliwości dokonywania pomiarów z oczekiwaną dokładnością. Poczucie niepewności w odbiorze danych geoinformacyjnych nierozłącznie związane jest z koniecznością stopniowego upraszczania reprezentacji poszczególnych jednostek przestrzennych do postaci obrazu przedstawianego systemach GIS. W artykule przedstawiono sposoby definiowania danych przestrzennych w postaci obiektów dyskretnych i pól, z wykorzystaniem metody wektorowej i rastrowej, pojęcia niepewności z tym związanej, jego rodzaje, metody jej szacowania, pojęcie dokładności i precyzji pomiaru, a także techniki modelowania opisywanych obiektów i zjawisk przestrzennych, odwołujące się zarówno do klasycznych analiz statystycznych, jak i probabilistycznych metod, wykorzystujących teorię zbiorów rozmytych.

Słowa kluczowe: niepewność, modelowanie zjawisk przestrzennych, system GIS

WSTĘP

Za twórcę nowoczesnej teorii informacji uznawany jest powszechnie amerykański uczoney Claudéa E. Shannon, który jest autorem, tzw. *ilościowej teorii informacji* (zwanej także klasyczną czy matematyczną), opartej w swoich założeniach na zdefiniowanym probabilistycznie pojęciu entropii jako miary prawdopodobieństwa wystąpienia danego sygnału [Shannon 1948, Mazur 1970]. Informacja, według Shannona, mierzona jest jako prawdopodobieństwo zajścia określonego zdarzenia i definiowana jako poziom niepewności odbiorcy co do treści przekazywanego komunikatu. Według autora tej teorii – zdarzenia mniej prawdopodobne dostarczają bowiem odbiorcy więcej informacji.

Adres do korespondencji – Corresponding author: Dariusz Felcenloben, Starostwo Powiatowe w Kłodzku, 57-300 Kłodzko, ul. Okrzei 1, e-mail: felcen@powiat.klodzko.pl

Brak wiedzy co do stopnia określoności układu informacyjnego (zbioru danych) sprawia, że informacja w tym ujęciu traktowana jest jako zmienna losowa. Odbiorca informacji pozostaje bowiem w niepewności, jaką wiadomość otrzyma w przyszłości. Miarą stopnia niepewności odbiorcy wiadomości jest właśnie *entropia informacyjna*, którą interpretuje się jako średnią ilość informacji przypadającą na pojedynczą wiadomość, którą należy dostarczyć odbiorcy, aby znikła niepewność wynikająca z prawdopodobieństwa następstwa układu informacji w zbiorze (redundancja, relewancja).

W ujęciu jakościowym pojęcie informacji i niepewności z tym związanej koncentruje się natomiast na semantycznych i pragmatycznych funkcjach środka przekazu i rozumiane jest zarówno w kontekście znaczenia wypowiedzi (komunikatu, zdania), ale także jako element szeroko pojętej wiedzy [Stefanowicz 2004], na zrozumienie której wpływ ma zarówno kontekst sytuacyjny, w jakim jest ona formułowana, a następnie przekazywana, jak i posiadanie przez jej adresata doświadczenia, pozwalającego na wyciągnięcie właściwych wniosków w kontekście rozpatrywanego problemu.

POJĘCIE NIEPEWNOŚCI DANYCH PRZESTRZENNYCH

Przyjęty na etapie pozyskiwania danych przestrzennych stopień generalizacji zapisu poszczególnych encji świata rzeczywistego sprawia, iż dane opisujące obiekty ujawnione w strukturze modelu pojęciowego, obciążone są poczuciem niepewności, wynikającej z braku pewności pozyskanej wiedzy w oczekiwanym zakresie, ograniczonej precyzji ich pomiaru, a także uzyskanych na tej podstawie wyników analiz. Złożoność opisywanych zjawisk, ale także istniejące ograniczenia techniczne i ekonomiczne powodują, iż niemożliwym lub nieuzasadnionym jest ich przedstawianie z dowolną, w domyśle z największą, dokładnością. Potrzeba generalizacji danych, wynikająca z konieczności uproszczenia projektowanego modelu conceptualnego powoduje, iż niepewność z tym związana stanowi nieodłączną cechę systemów geoinformacyjnych. Niemożliwym jest bowiem, co do zasady, przedstawienie w projektowanym systemie nieskończenie dokładnej reprezentacji poszczególnych encji świata rzeczywistego, w którym oprócz rejestrowanych widocznych obrazów ujawnione byłyby wszelkie istniejące relacje pomiędzy nimi i zależności z szeroko rozumianym otoczeniem, a także zachodzące w nim zmiany o charakterze dynamicznym.

Niepewność, o której mowa, związana jest zatem ściśle z dokładnością opisu obiektów w systemach geoinformacyjnych, a jej miarą może być różnica pomiędzy światem rzeczywistym a wyobrażeniem odbiorcy o nim. Subiektywna ocena postrzeganych przez odbiorcę własności obiektów przestrzennych prowadzić może bowiem do rozmycia granic określających zasięg ich występowania.

Świadomość odbiorcy co do realnej możliwości opisu dynamicznego świata rzeczywistego za pomocą statycznych modeli numerycznych stanowić może tym samym uogólnioną definicję niepewności danych przestrzennych. Złożoność świata rzeczywistego sprawia, że przestrzenno-czasowy jego opis, w postaci cyfrowej reprezentacji danych w modelu pojęciowym, nie jest obecnie możliwy do zrealizowania z dowolnie określoną dokładnością. Wiedzy odbiorcy, tego rodzaju danych, towarzyszy zatem poczucie niepewności, które może mieć wymiar stochastyczny, wynikający z samego charakteru opisywanego zjawiska lub epistemiczny, u którego źródła leży poczucie braku pełnej wiedzy w zakresie metod zbierania danych, jak i sposobu ich obrazowania w modelu.

Tak definiowane pojęcie „niepewności”, aby mogło być w jakikolwiek sposób mierzalne i stanowić tym samym miarę jakości gromadzonych danych, winno być dodatkowo określone innymi terminami, takim jak niejednoznaczność czy nieokreśloność, które powinny być analizowane w kontekście podstawowych cech ilościowych i semantycznych decydujących o jakości danych, takich jak [Gaździcki 2002]:

- kompletność i poprawność atrybutów oraz geometrii opisywanych obiektów,
- spójność logiczna,
- dokładność położenia,
- dokładność czasowa,
- dokładność tematyczna,
- kompletność i stopień pokrycia itp.

NIEPEWNOŚĆ WYNIKÓW POMIARÓW I ICH REPREZENTACJI W MODELU

Budując model pojęciowy obiektów i zjawisk przestrzennych, przyjmuje się założenie stanowiące uproszczenie problemu, że przestrzeń wypełniona jest obiektami dyskretnymi o wyraźnie określonych *a priori* granicach lub reprezentowana jest w postaci pól stanowiących ciągłą emanację jednostek przestrzennych, wyrażoną w postaci zmiennych obszarów, których wartość może być określona w dowolnym jego punkcie. W przypadku bowiem wielu danych przestrzennych problematycznym jest jednoznaczne zdefiniowanie granic opisywanych obiektów, np. zasięgu występowania klas gleboznawczej klasyfikacji gruntów, naturalnych granic zbiorników wodnych, terenów oznaczanych umownie na mapach w postaci skarp, budowli ziemnych itp.

Dane przestrzenne, reprezentowane w modelu w postaci zdefiniowanych obiektów lub pól, pozyskiwane są do systemów GIS z wykorzystaniem metody rastrowej lub wektorowej, gwarantujących spełnienie warunku logicznej spójności ich zapisu. Sam wybór metody reprezentacji danych modelu w postaci pola lub obiektów dyskretnych determinuje poziom niepewności danych. Niepewność w tym zakresie ustalana jest bowiem odrębnie dla każdej z tych metod.

Metoda wektorowa, w przeciwieństwie do rastrowej, już na etapie tworzenia modelu konceptualnego wymaga od operatora jednoznacznego (cyfrowego) określenia granic opisywanych jednostek przestrzennych, umożliwiając przedstawienie w sposób jawny relacji topologicznych pomiędzy obiektami przestrzennymi [Longley 2008], np. linii brzegowej oddzielającej łąd od terenów pokrytych wodą. W modelu rastrowym natomiast poszczególne encje świata rzeczywistego reprezentowane są w postaci elementarnych komórek w kształcie kwadratu, trójkąta równobocznego lub sześciokąta foremnego tworzących regularną sieć, które nie mają jednak bezpośredniego odniesienia do opisywanych obiektów przestrzennych. W modelu rastrowym położenie obiektu określa się bowiem za pomocą wielu komórek pokrywających opisywaną jednostkę przestrzenną, które podane dopiero procesowi aproksymacji pozwalają na określenie kształtu definiowanych obiektów i zjawisk przestrzennych [Kwiecień 2004]. Aby określić strukturę zapisanego w modelu rastrowym obiektu czy zjawiska przestrzennego, w tym jego granice, niezbędna jest zatem subiektywna interpretacja operatora systemu lub konieczność posiłkowania się w tym zakresie odpowiednimi narzędziami informatycznymi. W modelach rastrowych nie definiuje się bowiem *a priori* poszczególnych obiektów przestrzennych, lecz stosuje

się metodę klasyfikacyjną polegającą na przyporządkowaniu wyodrębnionych komórek (pikseli) do odpowiedniej klasy obiektów. Problem niepewności w procesie klasyfikacji, bez względu nawet na rozdzielczość samego analizowanego obrazu, pojawia się w momencie, w którym operator musi rozstrzygnąć o przynależności piksela o charakterze mieszanym (zwanym mikselem) do więcej niż jednej z klas wyodrębnionych obiektów w zbiorze danych, np. czy dany punkt jest łądem, czy wodą.

Atrybuty opisowe tak arbitralnie ustalonego piksela winny zatem odzwierciedlać jego niejednorodny obraz spektralny, umożliwiając tym samym jego charakterystykę za pomocą jednej z przyjętych zasad, pozwalających na ustalenie, czy opisywany obiekt [Werner 1992, Kwiecień 2004]:

- wypełnia swoim obszarem większą część komórki rastrowej,
- wypełnia w jakiegokolwiek części komórkę rastrową,
- położony jest w centrum komórki,
- jako liniowy przecina komórkę rastrową.

Niepewność w odbiorze danych dotyczyć może zarówno samej geometrii opisywanej jednostki przestrzennej, jak i atrybutów definiujących jej wewnętrzne właściwości czy też zależności, w jakich pozostaje ona z otoczeniem. Z tego też powodu istotnym jest, aby na etapie przeprowadzanych analiz danych przestrzennych dokonać właściwego doboru narzędzi analitycznych do ich opracowania, np. odpowiednich metod statystycznych, technik kartograficznych pozwalających na obrazowanie obiektów rozmytych czy też metod umożliwiających dokonywanie poprawnej ich klasyfikacji.

Brak standaryzacji pojęć stanowiących podstawę formułowanych kryteriów, na podstawie których klasyfikowane są obiekty przestrzenne, jak i różnorodność samego definiowania obiektów (nazwy) powodują, iż ich relacje topologiczne są niejednoznaczne, a tym samym niepewne. Problem ten dotyczy w szczególności przypadków łączenia zbiorów danych pochodzących z różnych systemów informacyjnych prowadzonych przez niezależne od siebie instytucje, które na swój użytek definiują pojęcia stanowiące podstawę dokonywanych klasyfikacji obiektów przestrzennych czy zjawisk im towarzyszących. Poczucie niepewności danych wynikać może także z niewłaściwego doboru wskaźników statystycznych opisujących przedstawiane w systemach GIS zjawiska przestrzenne, odniesione np. do powierzchni ich występowania.

Mając na uwadze specyfikę opisu obiektów przestrzennych, reprezentowanych w modelach pojęciowych w postaci dyskretnych zbiorów wartości charakterystycznych dla nich atrybutów, wyróżnić można w analizowanym kontekście – dane:

- niejednoznaczne – z uwagi na przyjęty sposób definiowania obiektów i ich własności (stanowiących cechy wyróżniające w zbiorze);
- niepełne – reprezentowane przez dane, które nie stanowią wystarczającej ich indywidualnej charakterystyki;
- niepewne – z uwagi na brak pewności dokonanych ustaleń;
- nieprecyzyjne – z uwagi na brak możliwości ustalenia jednoznacznych wartości, jakie mogą przyjmować atrybuty opisywanych obiektów.

DOKŁADNOŚĆ DANYCH PRZESTRZENNYCH

Przedstawiając szeroko rozumiany problem niepewności danych w kontekście dokładności pomiaru, warto zwrócić uwagę, iż pojęcie to należy rozróżniać od innego,

związanego z samą precyzją pomiaru. Uogólniając stwierdzić można, że dokładność ustala zgodność zewnętrzną wyniku pomiaru z wartością rzeczywistą, podczas gdy precyzja określa zgodność wewnętrzną wyników kolejnych pomiarów tego samego obiektu w porównywalnych i powtarzalnych warunkach. Przyjmuje się, że wynik pomiaru jest dokładny, gdy wolny jest od błędów o charakterze systematycznym.

Precyzyjnym określa się natomiast taki wynik pomiaru, którego błędy przypadkowe dążą do minimum. Dokładność pomiaru określa zatem w miarę zbliżenia mierzonej wielkości do prawdziwej lub przyjętej za taką, natomiast precyzja pomiaru ustala stopień skupienia (wzajemnej bliskości) pomiarów tej samej wielkości. W tym ujęciu niepewność może być definiowana jako przedział, wewnątrz którego mieszczą się błędy pomiarowe [Arendarski 2003].

Uwzględniając złożoność opisywanego świata rzeczywistego, pojęcie dokładności danych przestrzennych, ujawnianych w modelu konceptualnym, przedstawić można w kontekście [Gaździcki 2002]:

- *dokładności tematycznej danych* (semantycznej) – odzwierciedlającej wierność utworzenia w modelu pojęciowym opisywanych encji świata rzeczywistego, w postaci odpowiednio zdefiniowanych i sklasyfikowanych obiektów i zjawisk przestrzennych wyrażonych w formie ustalonych atrybutów ilościowych i jakościowych, a także przypisanych im wartości;
- *dokładności położenia* – wyrażonej dokładnością (względną lub bezwzględną) ustalenia współrzędnych punktów wyznaczających położenie opisywanych obiektów przestrzennych w modelu, w odniesieniu do wartości prawdziwych lub uznanych za takie;
- *dokładności czasowej* – pozwalającej na uwzględnienie zachodzących zmian danych przestrzennych w czasie rzeczywistym ich pomiaru, poprawności uporządkowania zdarzeń w odpowiedniej sekwencji czasowej, a także konieczności ich aktualizacji.

ROZDZIELCZOŚĆ DANYCH PRZESTRZENNYCH

Zakładając, że nie istnieje nieskończenie precyzyjny system pomiarowy, przyjęć należy założenie o konieczności definiowania dla każdego indywidualnego przypadku pojęcia precyzji pomiaru odniesionej do wymaganej lub możliwej do uzyskania rozdzielczości obrazu, która stanowić winna element specyfikacji danych, pozwalających określić ich przydatność w odniesieniu do konkretnego zastosowania.

Uogólniając stwierdzić można, że rozdzielczość definiowana może być jako ilość (liczba) szczegółów, jakie można zauważyć i opisać w przestrzeni w odpowiednim czasie lub zakresie tematycznym. Pojęcie rozdzielczości danych przestrzennych rozumiane może być także jako średnia odległość pomiędzy identyfikowalnymi punktami pomiarowymi odniesionymi do zdefiniowanej jednostki powierzchniowej lub jako wektor określający minimalny rozmiar jednostki odwzorowania. Przedstawiając zagadnienie rozdzielczości danych przestrzennych, podkreślić trzeba także, że pojęcie to odróżniać należy od czynności związanych z ustaleniem gęstości (częstotliwości) pobierania próbek pomiarowych, na podstawie których ustalane są wartości danych. Częstotliwość próbkowania (pomiaru) określa bowiem odległości pomiędzy elementami (próbkami), podczas gdy rozdzielczość definiuje ich minimalny rozmiar.

W ujęciu czasowym rozdzielczość określona jest natomiast interwałem czasu, jaki jest niezbędny do pobrania próbki o oczekiwanych właściwościach, podczas gdy częstotliwość pomiaru (gęstość) determinowana jest ustalonym powtarzalnym cyklem pomiarowym (np. raz dziennie).

Rozdzielczość w kontekście tematycznym przedstawiana może być z kolei jako systemowa zdolność rozróżniania elementarnych kategorii danych w hierarchicznym układzie semantycznym.

SPÓJNOŚĆ DANYCH PRZESTRZENNYCH

Z założenia, każda baza danych przestrzennych stanowić powinna logicznie spójny model prawidłowo odwzorowujący fragment opisywanych obiektów i zjawisk świata rzeczywistego. Pojęcie logicznej spójności odnoszone może być w tym kontekście zarówno do wewnętrznej zgodności zgromadzonych danych (spójność wewnętrzna), jak i ich zgodności ze stanem opisywanego świata zewnętrznego (spójność zewnętrzna), stanowiąc tym samym miarę poprawności konstrukcji przyjętego modelu konceptualnego.

W przypadku danych przestrzennych pojęcie spójności analizować można w kontekście [Veregin 1998]:

- *przestrzennym* – odniesionym do topologicznej zgodności zdefiniowanych relacji w bazie danych;
- *czasowym* – wynikającym z ograniczeń reprezentacji, w tym samym miejscu i czasie jedynie jednego zdarzenia przestrzennego;
- *tematycznym* – odniesionym do poprawności (braku sprzeczności, nadmiarowości) zdefiniowanych atrybutów stanowiących podstawę klasyfikacji obiektów i zjawisk w modelu konceptualnym.

Spójność bazy danych rozpatrywana może być na poziomie:

- *semantycznym* – w zakresie zgodności zgromadzonych danych z opisywanym światem zewnętrznym i przyjętymi w modelu ograniczeniami w postaci tzw. węzłów integralności;
- *integralności* – polegającej na zapewnieniu współdziałania pomiędzy zgromadzonymi danymi, w sposób niekolidujący z przyjętymi ograniczeniami, a także konieczności utrzymania ich integralności, w sytuacji zaistniałej awarii systemu.

Baza danych przestrzennych jest zatem spójna, jeżeli ujawnione w niej dane są zgodne ze stanem reprezentowanego fragmentu rzeczywistości, a także kiedy są spełnione wszystkie zdefiniowane ograniczenia w postaci węzłów integralności.

KOMPLETNOŚĆ DANYCH PRZESTRZENNYCH

Pojęcie kompletności bazy danych może być podobnie jak i zagadnienie spójności, dokładności czy rozdzielczości przedstawiane w kontekście:

- *przestrzennym* – w zakresie kompletności danych odnoszących się do określonego terytorium;
- *czasowym* – odniesionym do obiektów ujawnianych w bazie danych w ściśle określonym czasie;

- *tematycznym* – pozwalającym na zdefiniowanie i zgromadzenie danych dotyczących wskazanych dziedzin, obiektów czy zjawisk przestrzennych, umożliwiającym ustalenie, na ile zgromadzone dane i ich wartości zgodne są z ich specyfikacją określoną w modelu koncepcyjnym, przyjętą dla konkretnego zastosowania, ustalającą pożądany stopień uogólnienia i abstrakcji w rozumieniu selektywnej eliminacji zbędnej lub nieistotnej ich części.

Bez względu zatem na przyjęty poziom uogólnienia każda baza danych powinna być uznana za kompletną, jeżeli zgodna będzie z określoną w modelu pojęciowym strukturą, tzn. zawierać będzie wszystkie wymienione tam elementy (obiekty, atrybuty, wartości, relacje).

POJĘCIE NIEPEWNOŚCI W MODELOWANIU OBIEKTÓW I ZJAWISK

Podkreślić należy, że niezależnie od technologicznych ograniczeń związanych z możliwością wiernego odwzorowania świata rzeczywistego w projektowanych modelach przestrzennych, także z powodów natury ekonomicznej pozyskiwanie danych do systemów GIS odbywa się w praktyce z wykorzystaniem metod statystycznych, bazujących na reprezentatywnych dla poszczególnych opisywanych jednostek przestrzennych – próbkach, które stanowią mogą podstawę projektowanego abstrakcyjnego uproszczonego modelu z wykorzystaniem metod interpolacji czy aproksymacji [Moller, Waagepetersen 2003].

Tworząc tego rodzaju bazy danych, zakłada się tym samym istnienie dyskretnych obiektów przestrzennych w postaci pól, charakteryzujących się równomiernym rozkładem badanej zmiennej w zdefiniowanym obszarze lub w postaci wielu dyskretnych elementów o niewyraźnie określonych wartościach. Pole stanowi zatem ciągłą, w jego granicach, reprezentację obrazu opisywanej jednostki przestrzennej, wyrażoną w postaci zmiennej, której wartość może być ustalona w dowolnym jego punkcie [Kusz, Marciniak 2009].

W klasycznym modelu statystycznym dane o charakterze czasowo-przestrzennym zbierane są w wybranych uprzednio reprezentatywnych punktach pomiarowych opisywanej jednostki, a następnie poddawane procesowi interpolacji, w wyniku czego powstaje mapa przedstawiająca charakterystykę mierzonej zmiennej w sposób ciągły. Zakłada się tym samym, iż zmiana wartości zmiennej ma charakter ciągły i liniowy, co niekoniecznie musi się pokrywać ze stanem faktycznym. Niepewność w odbiorze przedstawionego w modelu pojęciowym obrazu przestrzennego wynika zatem z przyjętego założenia ciągłości zmiany wartości zmiennych, które w rzeczywistości mogą charakteryzować się występowaniem punktów nieliniowych, a także braku rozróżnienia punktów, w których dokonano pomiaru rzeczywistych wartości w określonym czasie a punktami, dla których wartość zmiennej określona została w wyniku interpolacji czy aproksymacji.

PROBABILISTYCZNE MODELOWANIE OBIEKTÓW PRZESTRZENNYCH

Cechą charakterystyczną reprezentowanych w modelu pojęciowym poszczególnych obiektów i zjawisk świata rzeczywistego jest ich kognitywna czasowo-przestrzenna nieokreśloność odniesiona zarówno do granic zewnętrznych, zakreślających obszar ich

występowania, jak i wewnętrzna różnorodność, która prezentowana może być w projektowanym abstrakcyjnym modelu pojęciowym w postaci pól losowych [Dalang i in. 2002]. Niepewność, jaka towarzyszy procesowi identyfikacji poszczególnych obiektów przestrzennych, sprawia, iż w procesie przyporządkowania elementów tych zbiorów i określania ich unikatowych właściwości (atrybutów) wykorzystuje się podejście probabilistyczne oparte na subiektywistycznej koncepcji prawdopodobieństwa odniesionej do przybliżonej oceny postrzeganych zjawisk, którym przypisywany jest ustalony wskaźnik pewności [Marciniak 2009].

Odwołując się do teorii logiki rozmytej, zakłada się, że przynależność opisywanego obiektu przestrzennego do wyróżnionej klasy może być częściowa, co oznacza, że granice pomiędzy klasami, jak i samymi obiektami mogą być nieprecyzyjne i niejednoznaczne (rozmyte). Podobnie wyróżnione w zbiorach elementy atomowe definiowanych zjawisk przestrzennych, w szczególności leżące na ich granicach, przynależą do różnych obiektów i klas. Nieostre kryteria wyróżniające poszczególne opisywane obiekty powodują, że w procesie powstawania tego rodzaju opracowań na podstawie tych samych danych, przy ich interpretacji powstawać mogą wątpliwości co do poprawności ich systemowej klasyfikacji. Potrzeba opisanie w systemach GIS zjawisk i obiektów przestrzennych, które ze swej natury mają charakter wieloznaczny i nieprecyzyjny, leży zatem u podstaw uzasadniającej konieczność odwołania się do teorii zbiorów rozmytych, które dają możliwość intuicyjnego zdefiniowania niepewności, jaka towarzyszy operatorowi w procesie klasyfikacji tego rodzaju obiektów, w przeciwieństwie do metod bazujących na klasycznej teorii zbiorów, opartej na logice dwuwartościowej, wyrażonej w postaci 0 (*false*) lub 1 (*true*), która nie jest w stanie rozwiązać występujących w praktyce niejednoznaczności, przy przetwarzaniu rzeczywistych danych. W odniesieniu do klasycznej teorii metoda ta rozszerza przedział wartości, jakie zmienne mogą przybierać, np. pomiędzy wartością określoną jako *prawda* (1) lub *falsz* (0) pojawić może się szereg wartości pośrednich zdefiniowanych jako: *prawie prawda*, *w połowie prawda*, *prawie fałsz*, *w połowie fałsz*, itd., które określają stopień przynależności opisywanego elementu do konkretnego zbioru. O wyborze funkcji przynależności, a tym samym kształcie obiektu i jego klasyfikacji w zbiorze, decyduje przy tym czynnik ludzki w postaci „wiedzy eksperckiej” operatora systemu lub np. odpowiednio przygotowane sieci neuronowe „nauczone” na podstawie wcześniej opracowanych danych wzorcowych.

PODSUMOWANIE

Definiując niepewność jako poczucie braku pewności lub braku wiedzy, pamiętać należy, że pojęcie to nie może być postrzegane jedynie jako synonim dokładności pomiaru. Pojęcie „dokładności” zakłada bowiem pewien poziom niezbędnej wiedzy, podczas gdy niepewność wynika raczej z poczucia jej braku.

Zakładając, że dane przestrzenne pozyskane zostały na podstawie wyników pomiarów wybranych i charakterystycznych cech jednostek przestrzennych, przyjąć można, iż w procesie ustalania błędów pomiarowych, a pośrednio i szacowania ich niepewności wykorzystać można zarówno metody ilościowe, jak i jakościowe, pozwalające na statystyczną ocenę jakości danych i przestrzennego rozmieszczenia ich błędów.

Wynik pomiaru stanowiącego podstawę reprezentacji opisywanych obiektów przestrzennych w systemie GIS jest z założenia wartością przybliżoną, różną od prawdziwej, który interpretować można jako przedstawiający pewien przedział ufności lub niepewność pomiaru, wewnątrz którego znajduje się oczekiwana wartość prawdziwa, charakteryzująca opisywane cechy świata rzeczywistego [Lisiecki, Kłysz 2008].

Niepewność definiowana w ujęciu ilościowym i jakościowym odwołuje się nie tylko do poprawności przyporządkowania poszczególnych encji świata rzeczywistego do wyodrębnionych w zbiorze klas obiektów, lecz odnoszona jest także do samej wartości charakterystycznych cech stanowiących podstawę dokonanej klasyfikacji, wyrażonej w przyjętej skali liczbowej lub względnej [Longley 2008].

Pojęcie niepewności postrzegane jako miara niedokładności pomiaru definiowane może być zatem jako parametr charakteryzujący rozrzut mierzonej wielkości i wyrażone w postaci np. odchylenia standardowego rozkładu wyników pomiarów i ich błędów itp.

W przypadku niepewności stochastycznej do modelowania pól losowych wykorzystywana może być teoria *sieci bayesa* [Marciniak 2009], przy zastosowaniu której istnieje możliwość przedstawienia zależności przyczynowo-skutkowych pomiędzy dowolnymi atrybutami opisywanych obiektów czy też pomiędzy sklasyfikowanymi obiektami lub zjawiskami, a także wnioskowanie o rozkładzie prawdopodobieństwa nieznanymi wartościami cech na podstawie wcześniej ustalonych atrybutów „wzorcowych”. W teorii tej niepewność traktowana jest jako atrybut przypisany obserwatorowi, który stanowi miarę jego niewiedzy na temat opisywanego zjawiska.

Niezależnie jednak od zastosowanej metody śledzenia, nadzorowania i szacowania niepewności danych przestrzennych przyjąć należy jako zasadę, że:

- nie istnieją doskonałe, pozbawione błędów dane – każdy wynik przetwarzania danych obciążony jest błędem;
- należy dokonywać oceny danych pod kątem ich przydatności i jakości – poprawnie zdefiniowane zbiory metadanych mogą służyć takiej wstępnej ocenie;
- wynik analizy może być obciążony znacznie większą niepewnością niż dane wejściowe – przetwarzanie danych odbywa się bowiem często według nieliniowych modeli konceptualnych;
- należy wykorzystywać niezależne źródła danych – pozwoli to na ich weryfikację pod względem ich spójności i przydatności do określonego celu;
- należy informować odbiorcę danych o niepewności i stopniu zaufania do danych i analiz dokonanych na ich podstawie – bez takiego komentarza powstać może wrażenie o bezbłędności danych i uzyskanych na tej podstawie wynikach.

PIŚMIENNICTWO

- Arendarski J., 2003. Niepewność pomiarów. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa.
- Dalang R., Dozzi M., Russo F., 2002. Seminar on Stochastic Analysis. Random Fields and Applications IV, Centro Stefano Franscini. Ascona. Birkhäuser (Progress in Probability).
- Gaździcki J., 2002. Internetowy leksykon geomatyczny, dostęp: <http://www.ptip.org.pl/>
- Kusz A., Marciniak A., 2009. Niepewność w reprezentacji zjawisk przestrzennych. Inżynieria Rolnicza nr 5(114), 147–154.

- Kwiecień J., 2004. Systemy Informacji Geograficznej. Podstawy. Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy.
- Lisiecki J., Kłysz S., 2007. Szacowanie niepewności pomiaru. Prace Naukowe ITWL, z. 22.
- Longley P.A., Goodchild M.F., Rhind D.W., 2008. GIS. Teoria i praktyka. PWN, Warszawa.
- Marciniak A., 2009. Probabilistyczne modele zjawisk przestrzennych w rolnictwie. Inżynieria Rolnicza nr 5(114), 193–199.
- Mazur M., 1970. Jakościowa teoria informacji. WNT, Warszawa.
- Mooler J., Waagepetersen R.P., 2003. A Statistical and Simulation for Spatial Point Processes. Monographs on Statistics and Applied Probability. Chapman&Hall/CRC Bayesia 2009. Bayesian Network software. <http://www.bayesia.com>.
- Shannon C.E., 1948. A Mathematical theory of communication. Bell System Techn. J., vol. 27, No. 3–4, 1948, [in:] Mazur M., 1970: Jakościowa teoria informacji. Warszawa.
- Stefanowicz B., 2004. Informacja. Warszawa.
- Veregin H., 1998. Pomiar jakości danych i ich oceny, Podstawy programowe NCGIA w GIScience, dostęp: <http://www.ncgia.ucsb.edu/giscc/units/u100/u100.html>
- Werner P., 1992. Wprowadzenie do geograficznych systemów informacyjnych. Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego.

UNCERTAINTY OF SPATIAL DATA IN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS (GIS)

Abstract. The complexity of the real world leads to a point where the image represented in the conceptual model in the form of spatial data cannot be made with any accuracy adopted. Recipient of knowledge, therefore, is accompanied by a sense of uncertainty, which may be either stochastic, directly related to the accuracy of the measurement described or cognitive, resulting from the incomplete knowledge of recipient of information and limited possibilities of making measurements with the desired accuracy, which may be characteristic for a statistical sample of the larger population of typical and reproducible objects represented in the model. A sense of uncertainty in the reception of geo-information is inextricably linked with the necessity of gradual simplification of representation of different spatial units to a form of image presented in the Geographic Information Systems (GIS). The article presents ways of defining the spatial data in the form of discrete objects and fields, using the vector and raster method, concepts of uncertainty associated with it, its types, methods of estimation, concepts of accuracy and precision of measurement and modeling techniques of described objects and spatial phenomena, referring both to the classical statistical analysis and probabilistic methods using the theory of fuzzy sets.

Key words: uncertainty, model ling of spatial phenomena, GIS system

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 30.09.2010

Do cytowania – For citation: Felcenloben D., 2010. Niepewność danych przestrzennych w systemach informacji geograficznej (GIS). Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr., 9(3), 3–12.

ANALIZA PORÓWNAWCZA WYSOKOŚCI TERENU UZYSKANEJ ZA POMOCĄ LOTNICZEGO SKANINGU LASEROWEGO, POMIARU GPS ORAZ POMIARU NA MODELU STEREOSKOPOWYM Z KAMERY ADS 40

Beata Hejmanowska¹, Artur Warchoń²

¹Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

²Uniwersytet Rolniczy w Krakowie

Streszczenie: W niniejszym opracowaniu zaprezentowano wyniki analiz przeprowadzonych w celu określenia wzajemnych relacji pomiędzy wysokością terenu pozyskaną różnymi metodami. Opierając się na wcześniejszych badaniach, porównano wysokości punktów pomierzone bezpośrednio techniką GPS w trybie RTK, uzyskane ze zdjęć kamerą cyfrową ADS40, chmurę punktów otrzymaną z nalotu ALS (Airborne Laser Scanner) oraz model GRID utworzony z danych ALS. Surowe dane ALS opracowano wstępnie w programie TerraScan. Wykorzystując algorytm aktywnego modelu TIN, przeprowadzono automatyczną klasyfikację, wydzielając punkty należące do pokrycia terenu od punktów leżących na powierzchni terenu. Na zbiorze punktów terenowych przeprowadzono triangulację w promieniu 20 m od punktów kontrolnych GPS. Dzięki temu można było obliczyć płaszczyzny trójkatów, w obszarze których zawarte były punkty GPS. Następnie dla współrzędnych (x, y) punktów GPS obliczono wysokości z danych ALS. W analogiczny sposób dla zadanych współrzędnych (x, y) odczytano wysokości ze zdjęć lotniczych. NMT w postaci GRID powstał również przy użyciu nakładki TerraScan z zadaną wielkością oczka siatki równą 1 m.

Najniżej ze wszystkich zbiorów położone są punkty GPS, średnio o ponad 0.2 m poniżej danych ALS. Jak można było przypuszczać, chmura punktów ALS oraz model GRID leżą najbliżej siebie, przy czym model znajduje się średnio 0.1 m powyżej surowych danych ALS.

Słowa kluczowe: numeryczny model terenu, analiza dokładności, GPS RTK, ADS40, ALS

WSTĘP

Lotniczy skaning laserowy (ALS) jest od kilku lat dynamicznie rozwijającą się technologią w segmencie pozyskiwania danych. Jego istotnymi zaletami są: niezależność od warunków pogodowych, duża szybkość rejestracji informacji oraz możliwość bezstykowych pomiarów w miejscach trudno dostępnych, np. osuwiska. Kluczowym jednak pytaniem dla wszelkich pomiarów jest ich dokładność, a co za tym idzie – ich obszary zastosowań.

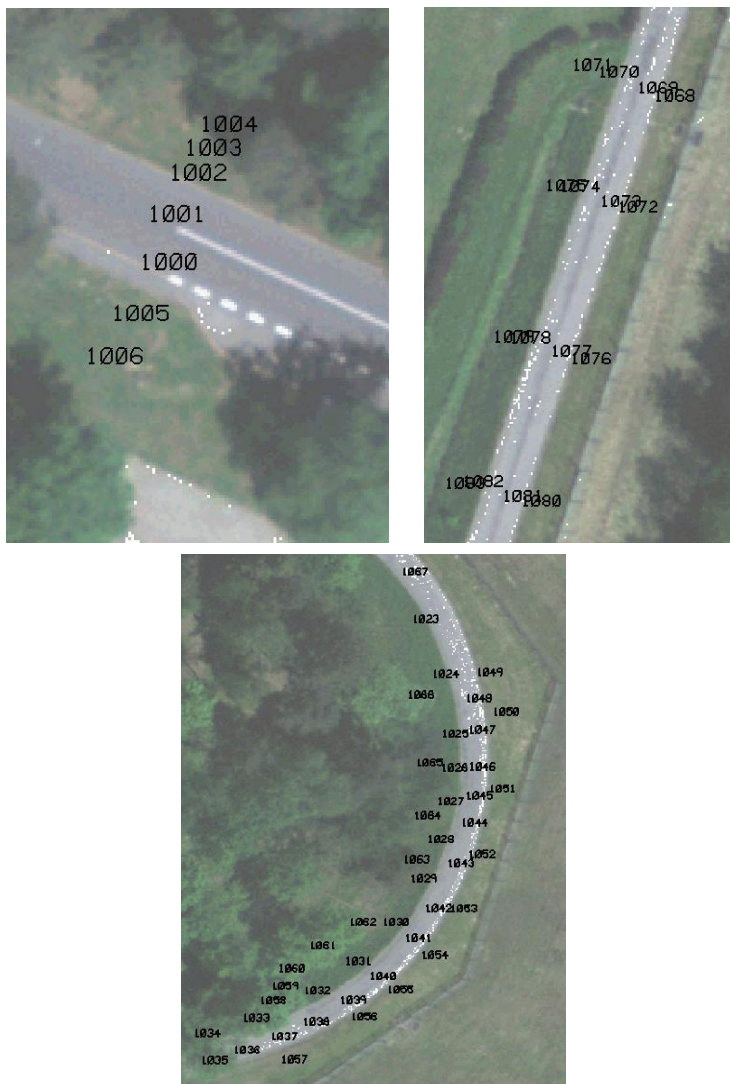
Istnieje bogata literatura na temat dokładności NMT z danych ALS, przykładowo [Reutebuch i in. 2003, Gonçaves-Seco i in. 2006, Ahokas i in. 2008]. Reutebuch i in. [2003] podają średni błąd: +0,22 m i odchylenie standardowe: 0,24 m (w terenach gęsto zalesionych obie te wielkości uzyskano na poziomie ok. 0,30 m). Gonçaves-Seco i in. [2006] otrzymali błąd średni: 0,08–0,25 m, a RMS: 0,12–0,27 m. Najnowsze z cytowanych badania dotyczyły analizy dokładności wielkoobszarowych NMT uzyskanych w ramach narodowego projektu [Ahokas i in. 2008], który obejmował rejestracje ALS z wysokości ok. 2 000 m z wykorzystaniem skanerów Otech ALTM 3100 i ALS50-II. Otrzymano odpowiednio następujące dokładności wysokościowe: błąd średni, asfalt: -0,07/0,06 m, pola uprawne: 0,11/0,10 m i odchylenie standardowe: asfalt: 0,08/0,06 m, pola uprawne: 0,05/0,03 m. Przeglądając literaturę, daje się zaobserwować na początku lat 2000 błąd średni i odchylenie standardowe na poziomie ok. 0.20 m. Następnie maleje wartość odchylenia standardowego do poziomu kilku centymetrów przy pozostającym na poziomie ok. 10 cm błędzie średnim. Oznacza to, że wykorzystując NMT z danych ALS, należy się liczyć z możliwością wystąpienia błędu systematycznego powodującego, że NMT będzie powyżej terenu.

DANE

W badaniach wykorzystano cztery zbiory danych: surowe dane pomiarowe ALS, NMT utworzony z danych ALS, wysokości uzyskane ze stereoskopowego pomiaru ADS 40 oraz wysokości pomierzone bezpośrednio w technologii GPS. Pomiar GPS tryb RTK wykonano odbiornikiem Trimble 5700 w nawiązaniu do stacji bazowej zlokalizowanej na terenie Joint Research Center – Ispra (Włochy), dzięki uprzejmości A. Simy (JRC). Pomiary bezpośrednie wykonywano w dwóch seriach. Pierwsza, która odbyła się w roku 2007, obejmowała 17 punktów rozmieszczonych swobodnie na terenie łatwo dostępnym (trawa, asfalt). Podczas drugiej serii wykonanej w 2008 roku pomierzono 82 punkty rozmieszczone głównie w formie przekrojów przez drogi asfaltowe w schemacie: teren – prawa krawędź – oś – lewa krawędź – teren. Dodatkowo zarejestrowano pojedyncze punkty zlokalizowane na asfalcie lub na trawie (ryc. 1). Rejestracja punktów następowała, gdy podczas pomiaru zostały spełnione zadane warunki dokładnościowe: 0.02 m w poziomie oraz 0.03 m w pionie. Ze względu na największą dokładność i wiarygodność zdecydowano, iż punkty te będą stanowiły dane referencyjne, do których będą porównywane wysokości określone innymi metodami.

Model stereoskopowy, ze zdjęć z nowoczesnej fotogrametrycznej kamery cyfrowej Leica ADS40, utworzono przy wykorzystaniu oprogramowania SocketSet. Dla punktów o zadanych współrzędnych (x, y – z pomiaru GPS RTK) na modelu stereoskopowym

pomierzono wysokości terenu. Niestety, dla ok. 20 punktów nie udało się określić wysokości ze względu na zadrzewienie.



Ryc. 1. Punkty kontrolne GPS na tle ortofotomapy
Fig. 1. GPS control points on the orthophotomap background

Trzeci zbiór stanowiły dane zarejestrowane podczas nalotu ALS przeprowadzonego w roku 2005, zapisane w formacie ASCII, w postaci współrzędnych (X, Y, Z) punktów pierwszego i ostatniego odbicia oraz intensywności odbitego sygnału. Średnia gęstość punktów wynosiła ok. 2 pkt. $\times m^{-2}$. Całość prac związanych z danymi ALS przeprowadzono w programie TerraScan.

Surowe dane ALS zostały poddane klasyfikacji. Na pierwszym etapie wykonano filtrację, przenosząc na osobną warstwę tzw. *low points* – punkty, które ewidentnie znajdują się poniżej obrazowanej powierzchni – obciążone łatwo wykrywalnym błędem grubym. Następnie przeprowadzono klasyfikację punktów do warstwy *ground*, która stanowi podstawę do dalszych prac. Klasyfikację przeprowadzono przy następujących ustawieniach (ryc. 2) – klasyfikuj z warstwy 1 – *Default* na warstwę 7 – *Low Points*, wyszukując grupy liczące maksymalnie 6 punktów. Etap ten jest niezwykle istotny ze względu na strukturę algorytmu klasyfikującego punkty jako terenowe. Rozpoczyna on bowiem swe działanie od wyboru najniższych punktów w oczkach siatki o wielkości równej parametrowi maksymalnej wielkości budynku (*max. building size*). Pozostawienie więc *low points* spowodowałoby nieprawidłowe działanie algorytmu oraz błędy w interpretacji danych.

Ryc. 2. Parametry filtracji – klasyfikacja do warstwy *low points*

Fig. 2. Filtration parameters – classify to low points level

Kolejnym etapem było przeprowadzenie automatycznej klasyfikacji chmury punktów w celu wydzielenia z niej punktów terenowych. W wyniku zastosowania algorytmu opartego na aktywnym modelu TIN [Axelsson 2000] z 6.5 mln punktów wejściowych, 1.9 mln zostało zaklasyfikowanych jako punkty terenowe. Parametrami kluczowymi były (ryc. 3):

- maksymalna wielkość budynku (*max building size*) – 60 m – parametr ten odpowiada wielkości oczka siatki, dla której w pierwszym kroku iteracji punkty najniższe w oczku są uznawane za terenowe;
- kąt iteracyjny (*iteration angle*) – kąt pomiędzy płaszczyzną istniejącego już trójkąta stworzonego na podstawie punktów terenowych, a prostą łączącą jeden z jego wierzchołków z punktem, który podlega aktualnie klasyfikowaniu;
- odległość iteracyjna (*iteration distance*) – to odległość pionowa pomiędzy płaszczyzną istniejącego już trójkąta stworzonego na podstawie punktów terenowych a punktem aktualnie klasyfikowanym.

Ryc. 3. Parametry klasyfikacji do warstwy *ground*

Fig. 3. Filtration parameters to ground level

W każdym oczku siatki wybierany jest najniższy punkt i uznawany jest on za terenowy. Następnie prowadzona jest iteracyjna triangulacja zagęszczająca. Każdy nowo powstały trójkąt wprowadza do zbioru swoje wierzchołki, klasyfikując je jako terenowe. Argumentami decydującymi o pozytywnej bądź negatywnej klasyfikacji są odległość iteracyjna i kąt iteracyjny, które wyznaczane są w każdym kroku iteracji. Schemat algorytmu jest istotny zwłaszcza w kontekście otrzymanych wyników. Pomimo iż punkty klasyfikowane są „od najniższego”, chmura punktów i tak znajduje się powyżej pomiaru GPS.

Efektom klasyfikacji była chmura punktów zakwalifikowanych jako punkty leżące na terenie. Z tak przetworzonej chmury punktów utworzono NMT w postaci siatki GRID o oczku równym 1 m. W dalszej kolejności porównano chmurę punktów pomiarowych i NMT_{GRID} z pomiarem GPS. Porównanie surowych punktów pomiarowych ALS z pomiarem GPS następcza pewne trudności z uwagi na to, że oba pomiary są dyskretne i punkty pomiarowe w obu przypadkach nie pokrywają się. Dlatego też zaproponowano opisaną poniżej metodę postępowania.

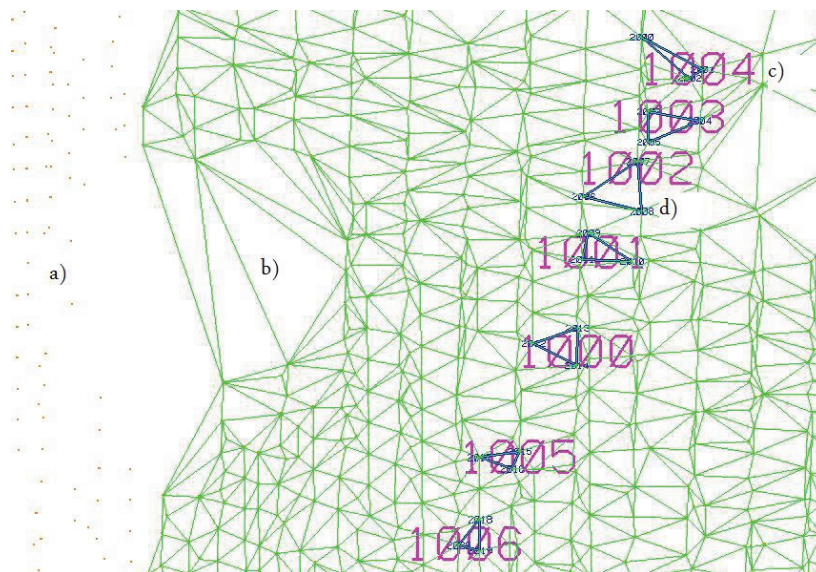
Do pliku projektowego w środowisku MicroStation V8 2004 wczytano punkty pomiarowe GPS oraz wyświetlono warstwę *Ground* z pomiaru ALS (ryc. 4). Następnie z lasy *Ground* wybrano tylko te punkty, które znajdowały się w odległości mniejszej niż 20 m od punktów kontrolnych (GPS). Pozostałe (pkt a) ryc. 5) nie były brane do dalszych analiz.



Ryc. 4. Punkty klasy *Ground* (dane ALSowe) na tle ortofotomapy
Fig. 4. Ground points (ALS data) on the orthophotomap background

Jeżeli promienie dla poszczególnych punktów zachodziły na siebie, wówczas sumowano wszystkie zbiory dwudziestometrowe i przeprowadzano triangulację dla sumy zbiorów jako jednego obszaru (bez powtarzających się punktów). W utworzonych w ten sposób podzbiorach przeprowadzono triangulację Delaunaya na płaszczyźnie. Tak powstała siatka trójkątów zaznaczona na rycinie 5 literą b).

Kolejnym etapem był wybór trójkątów tejże siatki, w obrębie których znalazły się punkty kontrolne GPS. Trójkąty te wyróżnione zostały na rycinie 5 literą c).



Ryc. 5. Przygotowanie danych ALS w środowisku MicroStation: a) punkty niewykorzystane do triangulacji, b) siatka trójkątów rozpięta na punktach terenowych, c) punkty kontrolne GPS – nr 1000 – 1006, punkt wstawienia w środku napisu, d) wybrany trójkąt, w którym znajduje się punkt kontrolny GPS

Fig. 5. Preparation ALS data in MicroStation: a) points not used for triangulation, b) network of triangles spreading on ground points, c) the GPS control points – No. 1000 – 1006, the insertion point in the middle of the string, d) the selected triangle, which contains GPS control point

Następnie wszystkie wierzchołki zostały ponumerowane i wraz z ich współrzędnymi (X, Y, Z) wyeksportowane do pliku tekstowego. Przy użyciu arkusza kalkulacyjnego Excel zestawiono współrzędne w trójki i wyliczono dla każdej z nich płaszczyznę przechodzącą przez wszystkie wierzchołki trójkąta. Dla tak przygotowanych danych pobrano współrzędne (X, Y) punktu kontrolnego GPS i wyinterpolowano liniowo jego wysokość zawartą w płaszczyźnie trójkąta. Do interpolacji użyto równania płaszczyzny przechodzącej przez trzy wierzchołki trójkąta zapisanego w postaci wyznacznika macierzy:

$$\det \begin{bmatrix} x & y & z & 1 \\ x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & z_3 & 1 \end{bmatrix} = 0$$

gdzie: $P_i = (x_i, y_i, z_i)$ dla $i = 1, 2, 3$ – wierzchołki trójkąta,
 x, y – współrzędne punktu kontrolnego GPS,
 z – wysokość interpolowana z płaszczyzny trójkąta dla zadanych współrzędnych (x, y) punktu kontrolnego GPS.

Do rozwiązywania wszystkich wyznaczników użyto opcjonalnego dodatku do programu Excel o nazwie Solver. Dodatek ten służy do prowadzenia symulacji wyników, a w tym konkretnym przypadku został użyty do optymalizacji. Polegała ona na doprowadzeniu komórki celu (F3 – wyznacznik macierzy) do wartości 0 poprzez zmianę komórki D1 (interpolowana wysokość) (ryc. 6). Komórki B1 do C4, D2 do D4, oraz E1 do E4 używane są do obliczenia wyznacznika macierzy, którego formuła znajduje się w komórce F3. W komórce F1 dla porównania umieszczono wysokość GPS punktu kontrolnego (na ryc. 4 punkt 1000).

	A	B	C	D	E	F
1	1000	471198.32	5072517.80	272.24	1	272.03
2	2012	471196.97	5072518.03	272.25	1	
3	2013	471198.40	5072518.54	272.26	1	0.000000
4	2014	471198.37	5072517.33	272.23	1	

Ryc. 6. Fragment arkusza kalkulacyjnego do interpolacji wysokości ALS dla zadanych współrzędnych (X, Y) punktów kontrolnych GPS

Fig. 6. Portion of the spreadsheet to the interpolation ALS height with pre-defined coordinates (X, Y) GPS control points

OMÓWIENIE WYNIKÓW

Dla każdego z czterech zbiorów danych zebrano znacznie więcej punktów, jednakże do analiz użyto jedynie tych, dla których posiadano komplet danych wysokościowych, tzn. wysokość GPS, wysokość ADS, wysokość ALS oraz wysokość GRID.

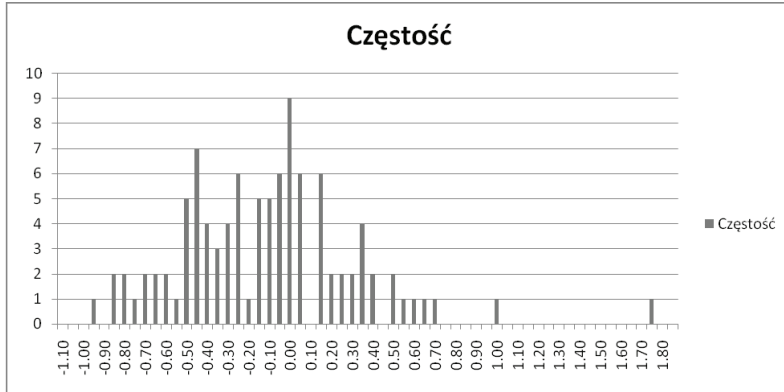
W ramach analizy wysokościowej, z punktami uznanych za wzorcowe (pomierzone GPS RTK), porównano punkty z pozostałymi pomiarów, a ich charakterystyczne parametry zestawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zestawienie charakterystycznych parametrów poszczególnych zbiorów danych

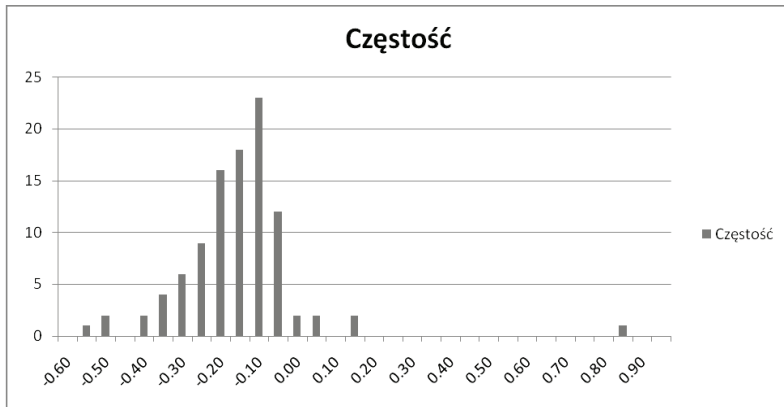
Tabela 1. Summary of characteristic parameters of the different data sets

	Parametry Parameters	$Z_{GPS} - Z_{ADS}$ $\Delta_{GPS-ADS}$	$Z_{GPS} - Z_{ALS}$ $\Delta_{GPS-ALS}$	$Z_{GPS} - Z_{GRID}$ $\Delta_{GPS-GRID}$
1	2	3	4	5
	Min. – Min.	-0.99	-0.57	-0.82
	Max. – Max.	1.73	0.83	1.11
Wszystkie punkty kontrolne (99 pkt.)	Średnia – Average	-0.14	-0.18	-0.19
All control points	Mediana – Median	-0.14	-0.17	-0.20
	Odch. stand. Standard deviation	0.43	0.16	0.25

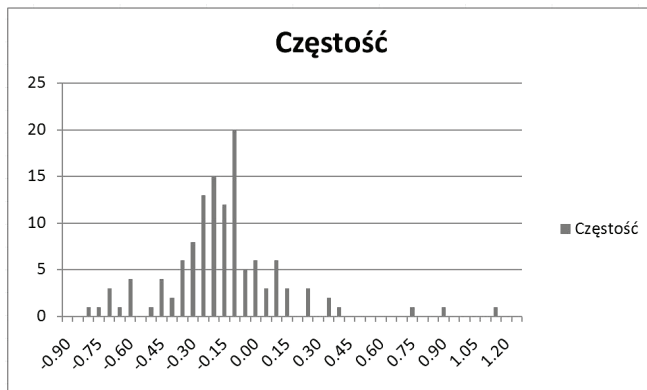
Dla każdego ze zbiorów (tab. 1) obliczono: wartość minimalną, wartość maksymalną, średnią arytmetyczną, medianę oraz odchylenie standardowe. Następnie dla wszystkich różnic, tzn. $Z_{GPS} - Z_{ADS}$ (ryc. 7.), $Z_{GPS} - Z_{ALS}$ (ryc. 8.) oraz $Z_{GPS} - Z_{GRID}$ (ryc. 9.) sporządzono histogramy. Ze względu na małą liczebność prób empirycznie ustalono szerokość przedziałów jako 0.05 m.



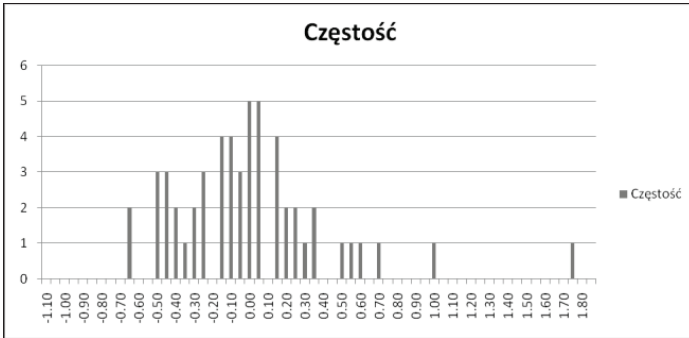
Ryc. 7. Histogram różnic $Z_{GPS} - Z_{ADS}$
 Fig. 7. Histogram of differences $Z_{GPS} - Z_{ADS}$



Ryc. 8. Histogram różnic $Z_{GPS} - Z_{ALS}$
 Fig. 8. Histogram of differences $Z_{GPS} - Z_{ALS}$

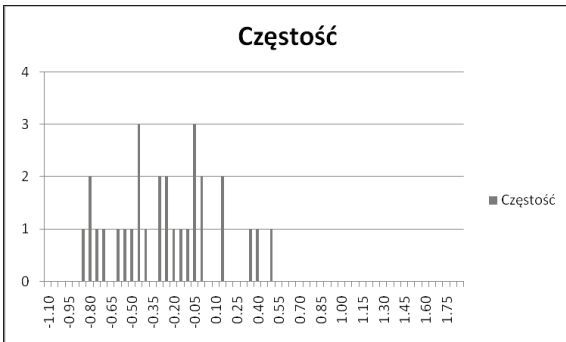
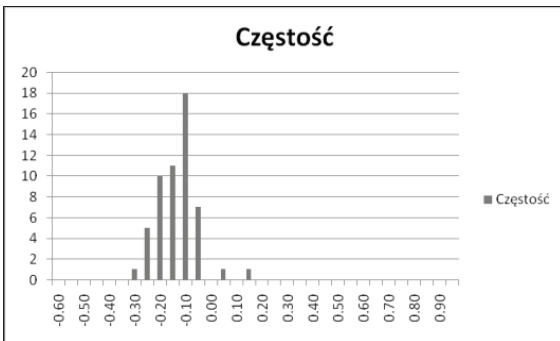


Ryc. 9. Histogram różnic $Z_{GPS} - Z_{GRID}$
 Fig. 9. Histogram of differences $Z_{GPS} - Z_{GRID}$



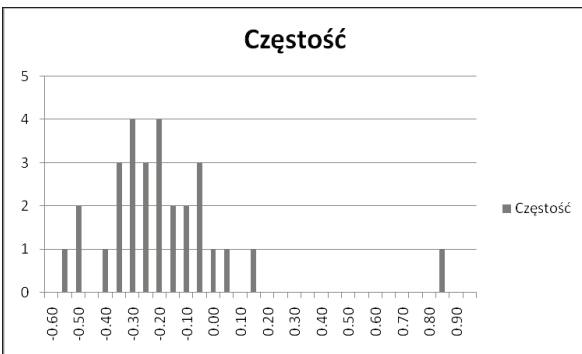
Ryc. 10. Histogram różnic $Z_{GPS} - Z_{ADS}$ oraz $Z_{GPS} - Z_{ALS}$ - punkty „asfalt”

Fig. 10. Histogram of differences $Z_{GPS} - Z_{ADS}$ and $Z_{GPS} - Z_{ALS}$ - "asphalt" points



Ryc. 11. Histogram różnic $Z_{GPS} - Z_{ADS}$ oraz $Z_{GPS} - Z_{ALS}$ - punkty „trawa”

Fig. 11. Histogram of differences $Z_{GPS} - Z_{ADS}$ and $Z_{GPS} - Z_{ALS}$ - "grass" points



Następnie dokonano podobnej analizy wysokościowej z uwzględnieniem pokrycia terenu. Jako że model GRID jest pochodną chmury punktów ALS, do porównania wykorzystano tylko różnice $Z_{GPS} - Z_{ADS}$ oraz $Z_{GPS} - Z_{ALS}$. Ze zbioru punktów kontrolnych GPS wykorzystano 53 punkty zlokalizowane na asfalcie (ryc. 10.) oraz 29 punktów umiejscowionych na trawie (ryc. 11). Parametry charakterystyczne poszczególnych zbiorów przedstawia tabela 2.

Dane ALS charakteryzują się błędem systematycznym z przedziału od -0.16 do -0.21 m. Odchylenie standardowe różnic wysokości w zależności od pokrycia terenu jest dość zróżnicowane i przyjmuje wartości odpowiednio 0.08 m dla dróg asfaltowych oraz 0.26 m dla terenów pokrytych trawą.

Tabela 2. Zestawienie charakterystycznych parametrów poszczególnych zbiorów danych z uwzględnieniem pokrycia terenu

Table 2. Summary of characteristic parameters of various data sets including land cover

	Parametry Parameters	$Z_{GPS} - Z_{ADS}$ $\Delta_{GPS-ADS}$	$Z_{GPS} - Z_{ALS}$ $\Delta_{GPS-ALS}$
1	2	3	4
II pomiar – asfalt (53 pkt.) 2nd measurement – "asphalt" (53 points)	Min. – Min.	-0.70	-0.32
	Max. – Max.	1.73	0.10
	Średnia – Average	-0.02	-0.16
	Mediana – Median	-0.07	-0.15
	Odch. stand. Standard deviation	0.42	0.08
II pomiar – trawa (29 pkt.) 2nd measurement – "grass" (29 points)	Min. – Min.	-0.89	-0.57
	Max. – Max.	0.50	0.83
	Średnia – Average	-0.28	-0.21
	Mediana – Median	-0.28	-0.25
	Odch. Stand. Standard deviation	0.37	0.26

WNIOSKI

Przeprowadzone badania, których wyniki prezentowane są w niniejszej pracy, pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Każdy ze zbiorów punktów (ADS, ALS, GRID) znajduje się powyżej punktów GPS i obarczony jest błędem systematycznym odpowiednio 0.14 m, 0.18 oraz 0.19 m.

2. Jak na dane pozyskiwane w roku 2005 – osiągnięte wyniki mieszczą się w przewidywanym zakresie. W ostatnich latach dopracowano algorytmy wykorzystywane podczas pomiarów ALS, co wydatnie wpłynęło na poprawę dokładności pozyskiwanych danych [por. np. Gonçalves-Seco i in. 2006, Ahokas i in. 2008].

3. Zgadzając się na trudności wynikające z porównywania zbiorów dyskretnych, uniknięto dodatkowych błędów związanych z modelowaniem.

4. Jak można było przypuszczać na podstawie wcześniejszych badań [Gołuch et al., 2007], rodzaj pokrycia terenu (asfalt, trawa) wpływa znacznie na dokładność pomiaru. Można to zauważyć w zbiorach ALS, gdzie błąd systematyczny dla punktów „asfalt” i „trawa” jest podobny (odpowiednio -0.16 m i -0.21 m), natomiast znaczna różnica występuje w wartościach odchylenia standardowego (odpowiednio 0.08 m i 0.26 m).

5. Pomimo specyficznego budowy algorytmu klasyfikacji danych ALS (aktywny model TIN) wybrane punkty leżą za wysoko w stosunku do terenu zmierzony z wykorzystaniem techniki GPS RTK.

PIŚMIENNICTWO

- Axelsson P., 2000. DEM generation from laser scanner data using adaptative TIN models. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. XXXIII/4B, Amsterdam.
- Gołuch P., Borkowski A., Józków G., 2007. Ocena dokładności danych lotniczego skaningu laserowego systemu SCALARS. *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, Vol. 17a, Kraków.
- Ahokas E., Kaartinen H., Hyypä J., 2008. On the quality checking of the airborne laser scanning-based nationwide elevation model in Finland. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing 2008.
- Gonçalves-Seco L., Miranda D., Crecente R., Farto J., 2006. Digital Terrain Model generation using airborne LIDAR in a forested area of Galicia, Spain. *7th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences*. Edited by M. Caetano and M. Painho.
- Reutebuch S.E., McGaughey R.J., Andersen H.-E., and Carson W., 2003. Accuracy of a high-resolution LIDAR-based terrain model under a conifer forest canopy. *Canadian Journal of Remote Sensing* 29(5), 1–9.
- Hejmanowska B., Borowiec N., Badurska M., 2008. Processing airborne data to Digital Surface Model and Digital Terrain Model - Final report, http://home.agh.edu.pl/~galia/research/Processing%20ALS%20%202007%20final%20report_5_03_2008.pdf
- Jankowski M., 2006. *Elementy grafiki komputerowej*. WN-T, Warszawa.
- Soininen A., 2005. Ground classification, prezentacja szkoleniowa firmy TerraSolid TerraScan User's Guide, www.terrasolid.fi

COMPARISON OF THE ELEVATION OBTAINED FROM ALS, ADS40 STEREOSCOPIC MEASUREMENTS AND GPS

Abstract. Research of the vertical accuracy assessments according different methods are in the paper presented. The following data were compared: GPS RTK (as a reference), airborne stereo model from ADS40 camera, cloud of points from the ALS, and a GRID model created from the ALS data. Raw ALS data were initially preprocessed in TerraScan for classifying of ground points (using the active TIN model algorithm). Triangulations in a radius of 20 m around the GPS control points were performed. Then the height corresponding to GPS position (x, y) was from the triangle plane calculated. In the same way height for GPS position was obtained from ADS 40 stereo model. NMT in GRID model of 1 m grid size was generated in TerraScan basing on the points early classified as a ground.

The lowest of the all data set was GPS surveying (average, more than 0.2 m below the ALS data). ALS points cloud and GRID model were the closest to each other but the NMT was an average of 0.1 m above the raw data.

Key words: ALS, Digital Terrain Model, vertical accuracy assessment, GSP RTK, ADS40

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 30.09.2010

Do cytowania – For citation: Hejmanowska B., Warchol A., 2010. Analiza porównawcza wysokości terenu uzyskanej za pomocą lotniczego skaningu laserowego, pomiaru GPS oraz pomiaru na modelu stereoskopowym z kamery ADS 40. *Acta Sci. Pol. Geod.*, 13–24.

EDUKACYJNE ZASTOSOWANIE KODOWANIA SONORYCZNEGO

Janusz Kuchmister

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

Streszczenie. Oprócz szeroko stosowanych modeli dotykowych możliwe jest, z zastosowaniem digitizera sonorycznego, sonoryczne modelowanie zagadnień przestrzennych, którego istota polega na wykorzystaniu sekwencji zróżnicowanych sygnałów dźwiękowych jako odpowiednich, kolejnych punktów linii tworzących notacje konturowe.

Ze względu na stopień rozwoju intelektualnego ucznia w procesie edukacji szkolnej można wyróżnić trzy etapy, odpowiadające grupom wiekowym. W warunkach polskich w I grupie realizowane jest zintegrowane „nauczanie początkowe”. Rozpoczynając od klasy IV, wprowadza się podział przedmiotowy, a III grupa – odpowiada poziomowi gimnazjum. Wprowadzając, w systemie trójstopniowym ocen punktowych, ważność zagadnień związanych z tematyką przestrzenną we wspólnym, dla uczniów widzących i niewidomych, programie edukacyjnym, otrzymano syntetyczną ocenę tematyki przestrzennej w poszczególnych przedmiotach i etapach nauczania.

Podział główny został następnie rozbudowany wewnętrznie, przedstawiając, w końcowej formie, system oderwany od poszczególnych przedmiotów szkolnych z zakresu szkoły podstawowej i gimnazjum. Pozwala to na zastosowanie w nauce szkolnej testu odpowiadającego wybranej kwestii przy realizacji programów różnych przedmiotów, w których jest ona ważna.

Spośród ponad stu przygotowanych we wstępnej fazie wdrażania metody testów, po weryfikacji praktycznej, utworzono zestaw 23 testów edukacyjnych.

Szersze zastosowanie metody w praktyce szkolnej możliwe jest po opracowaniu zestawów tematycznych, odpowiadających poszczególnym dyscyplinom i stopniom edukacji.

Słowa kluczowe: niewidomi, sonoryczne modelowanie, zagadnienia przestrzenne, digitizer sonoryczny

WSTĘP

Człowiek poznaje swoje otoczenie w sposób bezpośredni i pośredni. Dalsze otoczenie poznaje za pomocą zmysłów – wzroku, słuchu i węchu, natomiast bliższe za pomocą wszystkich zmysłów [Limont 2000]. W poznaniu najdalszego otoczenia człowiek

Adres do korespondencji – Corresponding author: Janusz Kuchmister, Instytut Geodezji i Geoinformatyki, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, ul. Grunwaldzka 53, 50-357 Wrocław, e-mail: kuchmister@up.wroc.pl

wykorzystuje modele, mapy i schematy. Brak wzroku podwyższa znaczenie modeli w poznaniu otoczenia przez niewidomych. Niewidomy poznaje najbliższe otoczenie sekwencyjnie: łącząc wrażenia dotykowe i motoryczne, a w przypadku dalszego i najdalszego – wrażenia dotykowe i kinestetyczne. Mapy i rysunki wypukłe poznaje on sekwencyjnie dotykiem i ruchem dłoni. Wersje stosowanych w edukacji niewidomych tyflografik (map, wykresów, rysunków wypukłych) mają za zadanie ułatwienie kreacji wyobrażeń przestrzennych lub podniesienie ich geometrycznych zgodności z rzeczywistością.

Wyobrażenia dotyczą zarówno rzeczywistego otoczenia, przedstawień abstrakcyjnych obiektów i charakterystyk (figury geometryczne, schematy urządzeń), jak i używanych w nauczaniu osób widzących modeli obiektów, rysunków, schematów i wykresów.

Metoda sonoryczna ma na celu wspomaganie poznawania, przez uczniów całkowicie niewidomych, obiektów rzeczywistych i ich cech szczegółowych oraz układów przestrzennych, w jakich się one znajdują. Służy temu urządzenie zwane digitizerem sonorycznym (rys. 1).



Rys. 1. Digitizer sonoryczny
Fig. 1. The sonic digitizer

Ze względu na stopień rozwoju intelektualnego ucznia w procesie edukacji szkolnej można wyróżnić trzy etapy, odpowiadające grupom wiekowym:

- (I) 7–10 lat,
- (II) 10–14 lat,
- (III) 14–16 lat.

W warunkach polskich w I grupie realizowane jest zintegrowane „nauczanie początkowe”. Rozpoczynając od klasy IV, wprowadza się podział przedmiotowy. III grupa – odpowiada poziomowi gimnazjum.

Waloryzując, [Krzywicka-Blum, Kuchmister, 1999] w systemie trójstopniowych ocen punktowych, ważność zagadnień związanych z tematyką przestrzenną we wspólnym, dla uczniów widzących i niewidomych, programie edukacyjnym, otrzymano syntetyczną ocenę tematyki przestrzennej w poszczególnych przedmiotach i etapach nauczania (tab. 1).

Tabela 1. Waloryzacja punktowa udziału zagadnień przestrzennych w obowiązującym programie nauczania

Table 1. The point valorization of the participation of spatial issues in a valid syllabus modeling in a programme of school education

Podział na poziomy edukacji The division for education levels	Przedmioty Subjects													
	Matematyka Mathematics		Nauka o środowisku, Biologia i Geografia Environment science Biology and Geography				Historia History		Nauka o sztuce Art science		Fizyka i technika Physics and technology		Suma Sum	
	Punkty Points	[%]	Punkty Points	[%]	Punkty Points	[%]	Punkty Points	[%]	Punkty Points	[%]	Punkty Points	[%]	Punkty Points	[%]
I	378	20	224	12	–	–	(193)	–	–	–	–	602	32	
II	381	21	304	17	63	3	46	2	64	3	858	46		
III	196	11	142	18	12	1	12	1	22	1	384	22		
Suma Sum	955	52	670	37	75	4	58	3	86	4	1884	100		

W metodzie sonorycznej rozwiązywaniu poszczególnych problemów przestrzennych służy szereg testów sonorycznych.

Przy opracowaniu testów problemy przestrzenne [Krzywicka-Blum, Kuchmister, 1999] podzielono na cztery działy (tab. 2):

1. symbolizacja obiektów,
2. rozróżnianie dwóch oznaczeń obiektów,
3. rozróżnianie w grupie liczącej więcej niż dwa obiekty,
4. układ oznaczeń (scena).

Z wyróżnionymi działami związane są następujące praktyczne pola zastosowań:

- Identyfikacja, czyli przypisanie obiektom cech podstawowych,
- porównywanie dwóch i więcej obiektów – mierzenie i identyfikacja,
- układ i położenie elementów części i całości – topologia i struktura.

Jako cechy metryczne rozważa się w badaniach kształt i wielkość, a do cech topologicznych zalicza się układ i położenie elementów sceny.

Charakterystyka topologiczna i metryczna układu elementów to:

- rozróżnianie,
- umiejscowienie,
- relacje wzajemne.

W tabeli 2 przedstawiono podział problemów przestrzennych związanych z modelowaniem sonorycznym w polskim programie edukacji szkolnej. W podziale problemów zastosowano układ sekwencyjny stron, zgodnie z kolejnością działów i ich części. Układ tabeli dostosowany został do potrzeb różnego rodzaju analiz teoretycznych i praktycznych. Opracowany katalog zawiera 90 stron, z których 40 poświęconych jest działowi 4.

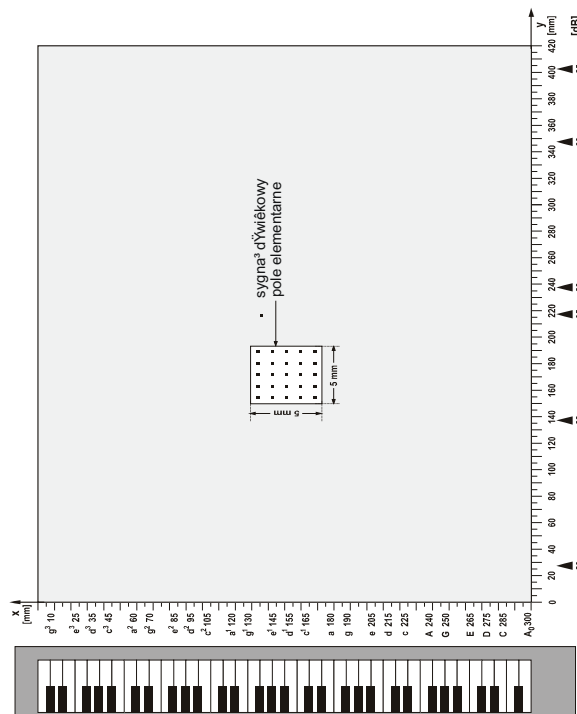
Tabela 2. Podział problemów przestrzennych związanych z modelowaniem sonorycznym w polskim programie edukacji szkolnej

Table 2. The spatial problems division connected with the sonoric modeling in a polish programme of school education

Numer katalogowy działu The catalogue number of the division	Sformułowanie problemu The expression of the problem	Liczba stron (w katalogu) The number of pages (in a catalogue)	% udział stron (w katalogu) % part of pages (in a catalogue)
1	2	3	4
1.	Symbolizacja obiektów – The symbology of objects	8	8.9
1.1.	Symbolizacja obiektów z uwzględnieniem jednej cechy: The symbology of objects with one feature:	6	6.7
1.1.1.	– jakościowej – qualitative		
1.1.2.	– ilościowej – quantitative		
1.2.	Symbolizacja obiektów z uwzględnieniem dwóch cech The symbology of objects with two features	2	2.2
2.	Rozróżnianie dwóch oznaczeń obiektów The distinction of two notations of the objects	20	22.2
2.1.	Rozróżnianie dwóch oznaczeń obiektów według jednej cechy: The distinction of two notations of the objects according to one feature:		
2.1.1.	– jakościowej – qualitative	4	4.4
2.1.2.	– ilościowej – quantitative	6	6.7
2.2.	Rozróżnianie dwóch oznaczeń obiektów według dwóch cech: The distinction of two notations of the objects according to two features:		
2.2.1.	– jakościowych – qualitative	4	4.4
2.2.2.	– ilościowych (lub mieszanych) – quantitative.(or mixed)	6	6.7
3.	Rozróżnianie w grupie liczącej więcej niż dwa obiekty The distinction in a group consisting of more than two objects	22	24.5
3.1.	Rozróżnianie w grupie liczącej więcej niż dwa obiekty na podstawie jednej cechy The distinction in a group consisting of more than two objects on the basis of one feature		
3.1.1.	– jakościowej – qualitative	4	4.4
3.1.2.	– ilościowej – quantitative	6	6.7
3.2.	Rozróżnianie w grupie liczącej więcej niż dwa obiekty na podstawie dwóch cech: The distinction in a group consisting of more than two objects on the basis of two feature:		
3.2.1.	– jakościowych – qualitative.	6	6.7
3.2.2.	– ilościowych (lub mieszanych) – quantitative (or mixed)	6	6.7
4.	Układ oznaczeń (scena) The arrangement of notations (scene)	40	44.4
4.1.	Układ oznaczeń (scena) bezwzględne położenie elementów The arrangement of notations (scene), absolute position of elements		

Tabela 2 cd.
Table 2 cont.

1	2	3	4
4.1.1.	– punktowych – D0 – punctual D0	6	6.7
4.1.2.	– liniowych otwartych – D1 – open linear D1	4	4.4
4.1.3.	– liniowych zamkniętych – D2 – closed linear D2	4	4.4
4.2.	Układ oznaczeń (scena) względne położenie elementów The arrangement of notations (scene), relative position of elements		
4.2.1.	Układ oznaczeń (scena) względne położenie elementów wymiarowo zgodnych The arrangement of notations (scene), relative position of dimensionally compatible elements		
4.2.1.1.	– punktowych D0 – punctual D0	6	6.7
4.2.1.2.	– liniowych - D1 – linear D1	6	6.7
4.2.1.3.	– zgodnych liniowych – D2 (figur, wypełnień) – compatible linear D2 (figures, filling)	6	6.7
4.2.2.	Układ oznaczeń (scena) względne położenie elementów wymiarowo niejednorodnych (mieszanych) The arrangement of notations (scene), relative position of dimensionally incompatible elements (mixed)	8	8.8
Suma		90	100
Sum			



Rys. 2. Pole operacyjne digitizera sonorycznego

Fig. 2. The operational field of the digitizer

Istotą metody [Krzywicka-Blum, Kuchmister, 1999] jest zastąpienie postrzeganej wzrokowo „sceny” graficznej zakodowanym, w polu operacyjnym digitizera sonorycznego, układem dźwięków, sygnalizujących położenie punktów, linii i konturów. Poszczególne układy stanowią treść testów sonorycznych. Tło układu elementów tworzących scenę stanowi obszar ciszy (rys. 2). Dźwięk wyzwalany jest tylko w momencie, gdy trafia weń wskaźnik prowadzony ręką operatora. W przypadku linii – sekwencyjny ruch wskaźnika wyzwała następstwo sygnałów odbierane jako ścieżka dźwiękowa.

Analogicznie do współrzędnych kartezjańskich x , y określających położenie punktów sceny graficznej – położenia sygnałów sceny sonorycznej określa się: w kierunku pionowym – częstotliwość (wysokość dźwięku), a w kierunku poziomym – natężenie (głośność dźwięku).

OPIS URZĄDZENIA

Przenośny digitizer sonoryczny [Kuchmister, 2000] (rys. 1 i 3) składa się z płyty z dwiema prostopadłymi prowadnicami umożliwiającymi ręczne sterowanie ruchem myszki (wskaźnik położenia), pełniącej funkcję elektromechanicznego procesora.

Myszka połączona jest przewodem sygnałów elektronicznych z Systemem Rejestracji i Przetwarzania Danych (S.R.i P.D.), który odtwarza test sonoryczny.



Rys. 3. Niewidomy uczeń zapoznaje się z digitizerem sonorycznym
Fig. 3. The blind pupil becomes acquainted with a sonoric digitizer

Wyposażenie uzupełniają dwie pary słuchawek (dla instruktora i ucznia) oraz przezroczysta płyta o wymiarach podwójnego pola operacyjnego, umożliwiająca przykrycie umieszczonego w polu operacyjnym arkusza z graficznym wydrukiem sceny. Ułatwia to sterowanie lub kontrolę pracy ucznia w procesie dekodowania przez niego sceny sonorycznej.

Zamierzeniem autorów metody [Krzywicka-Blum, Kuchmister, 2005] jest stworzenie pewnego systemu, który umożliwi zastosowanie tej metody w systemie szkolnym i nauczaniu indywidualnym.

WERYFIKACJA EDUKACYJNA PRZYDATNOŚCI METODY

Wstępny program badań obejmował:

1. analizę treści związanych z zagadnieniami przestrzennymi w programach przedmiotów szkolnych,
2. projekt kolekcji testów,
3. projekt praktycznej weryfikacji metody w pracy z uczniem,
4. ilościową weryfikację metody w pracy z uczniem wraz z dokumentacją,
5. ocenę wyników.

Ad 1

W celu przystosowania pomocy dydaktycznych do programów edukacyjnych realizowanych w kolejnych klasach dokonano analizy programów szkolnych (tab. 1).

Ad 2

Ważnym etapem weryfikacji metody było sprawdzenie przydatności zaprojektowanych ponad stu testów w pracy z całkowicie niewidomymi uczniami z odpowiednich klas w Ośrodku Szkolno-Wychowawczym dla Dzieci Niewidomych i Niedowidzących we Wrocławiu. Umożliwiło to redukcję i korektę treści oraz kolejności wprowadzenia testów do pracy z uczniem, a także, co najważniejsze, poprawę sformułowania pytań i praktyczną organizację trybu pracy z urządzeniem i testami. W pracach badawczych, przeprowadzonych w latach 1997–1999, oprócz autorów metody, czynny udział brali dyplomanci Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu i Uniwersytetu Wrocławskiego.

Ad 3

Trzeci etap prac badawczych, dzięki przychylności dyrekcji, został zrealizowany w Ośrodku Szkolno-Wychowawczym dla Dzieci Niewidomych i Niedowidzących w Owińskach.

W ciągu kilkudziesięciu sesji zorganizowanych w latach 2003–2005 zaplanowano i przeprowadzono testowe prace badawcze z udziałem trzynastoorga dzieci niewidomych od urodzenia.

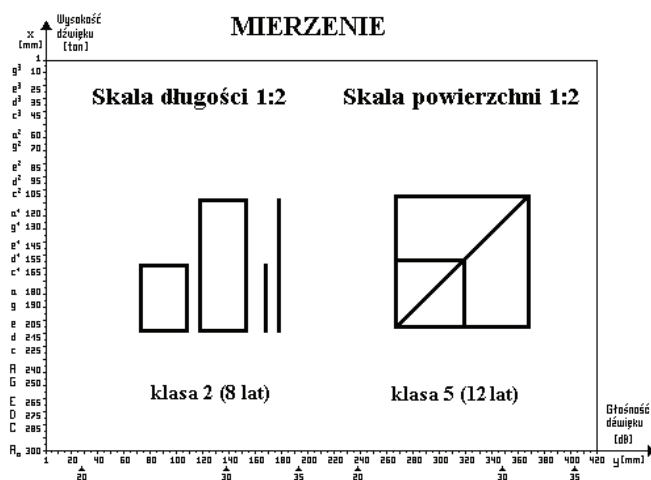
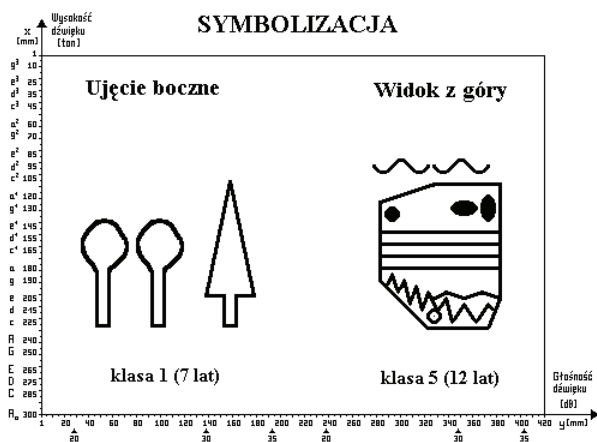
Na trzecim etapie opracowano i przygotowano dokumentację części doświadczalnej, która obejmowała:

1. Przygotowanie arkuszy, ze wskazaniem dla każdego z testów, odpowiednio do poziomu edukacji (klasy, a nie wiek uczniów) sformułowanych pytań:
 - a. Przygotowanie tabeli ze wskazaniem, czy prace testowe są po raz pierwszy, czy też po weryfikacji trwałości opanowania sukcesów, z adnotacją krotkości nieudanych prób.
 - b. Wskazanie trybu pracy z wyróżnieniem:
 - odsłuchiwanie testu przez ucznia,
 - sterowania przez instruktora ruchu ręki ucznia z równoczesnym odsłuchiowaniem ścieżki dźwiękowej zakodowanej linii,
 - trybu samodzielnej pracy ucznia,
 - graficznego odtworzenia mentalnie utrwalonego obrazu (rysunek wykonany przez ucznia).

Ad 4

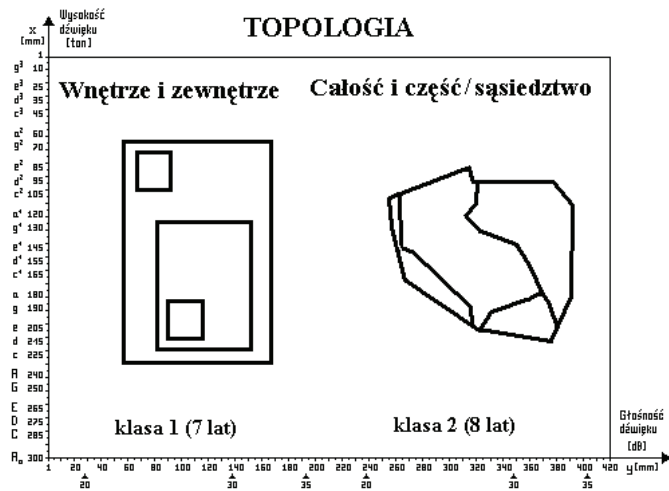
Po zakończeniu badań z udziałem uczniów dokonano wyboru dwudzielnej kolekcji testów oraz ostatecznej formy i treści arkuszy ocen. Pełna kolekcja przewidziana jest do zastosowania w pełnym cyklu edukacyjnym – począwszy od klasy 1, natomiast wersja skrócona – dla uczniów rozpoczynających użycie modeli sonorycznych na różnych etapach nauki szkolnej. W trybie skróconym przewidziano odpowiednie zróżnicowanie formy pytań i kwalifikacji odpowiedzi. Na rysunkach 4–8 przedstawionych jest pięć testów odnoszących się do różnych działów.

Ilustrują one użyteczność na kolejnych etapach procesu kształtowania się wiedzy przestrzennej niewidomego ucznia, począwszy od symbolizacji pojedynczych obiektów, poprzez ich identyfikację, (a więc rozróżnianie kształtu), porównanie, a następnie ocenę wielkości, lokalizację względną i bezwzględną, aż po poznanie struktury układów złożonych.

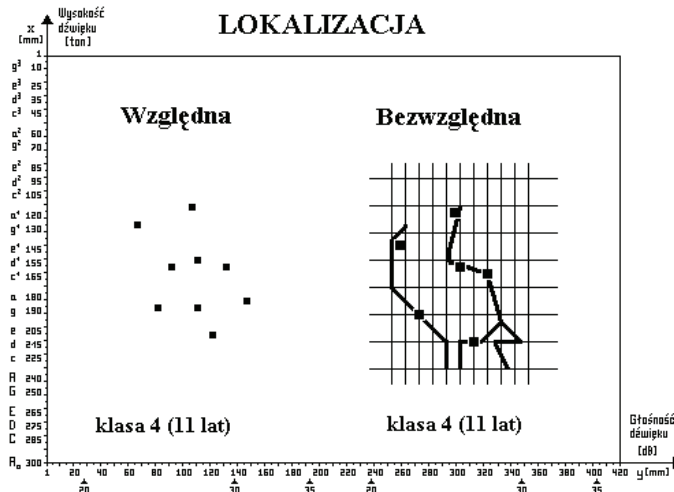


Ad 5

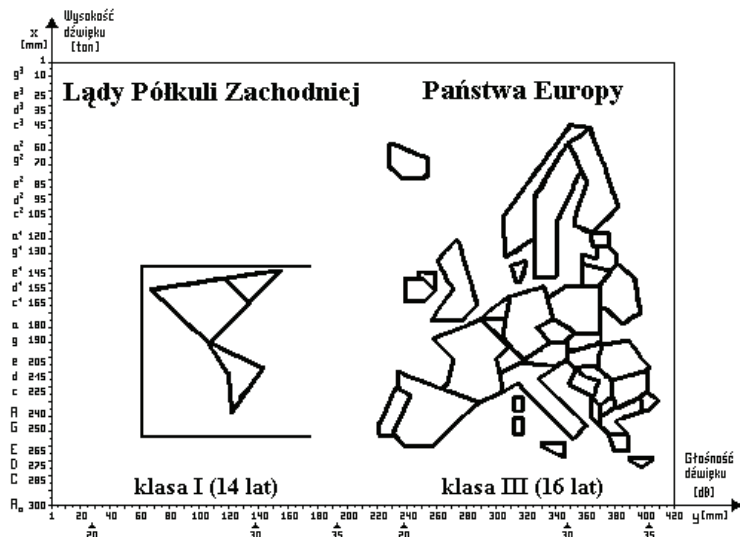
Zgromadzony zbiór arkuszy ocen i wyników badań dla każdego ucznia, z charakterystyką dyspozycji psychofizycznych, uzyskaną na podstawie informacji od psychologa szkolnego i własnych obserwacji, umożliwił ocenę uzyskanych wyników. W tym celu przygotowano arkusze zbiorcze wyników według działów systemu. Wymagało to zakwalifikowania ogólnych pytań i poleceń, związanych z treścią testów, do odpowiedniego działu (tab. 3).



Rys. 6. Topologia – wnętrze i zewnątrz, całość i część
 Fig. 6. The topology – interior and exterior, entirety and part



Rys. 7. Lokalizacja – względna i bezwzględna
 Fig.7. The localization – relative and absolute



Rys. 8. Lądy półkuli zachodniej i państwa Europy
 Fig. 8. The lands of Northern hemisphere and Europe states

Wiarygodność wyników badań jest zależna od liczby dzieci reprezentujących poszczególne klasy. Sprawdzenie efektywności wykorzystania metody w pełnym cyklu edukacyjnym (przez jednego ucznia) wymagałoby dziewięcioletniego cyklu badań, co determinuje różną wiarygodność wyników badań, przeprowadzonych w szkole, na całej badanej grupie uczniów. Testy przeznaczone dla niższych poziomów edukacji zostały wykorzystane przez wszystkich testowanych uczniów, natomiast uczniowie starsi wzięli udział w skróconym cyklu badań.

Cykl skrócony obejmował tylko wybrane testy z „niższych poziomów” edukacji i testy z działów odpowiadających ich poziomowi edukacji. Wyjątek stanowił dział 2.1.2, w którym prace testowe zostały przeprowadzone bez redukcji pytań.

Taka organizacja badań znalazła swoje odbicie w liczbie odpowiedzi uzyskanych w poszczególnych działach.

Dwuletni cykl badań umożliwił kontynuowanie prac z dziećmi po przejściu ich do następnej klasy. W związku z tym jedenaścioro dzieci uczestniczyło w powtórzeniu badań testowych po roku przerwy.

Porównanie wyników prac uczniów z tej samej klasy wykazało większą skuteczność metody u ucznia, który w poprzedniej klasie uczestniczył w zajęciach.

Autor w pracy przedstawił zbiorcze opracowanie wyników badań przeprowadzonych w dziale 2.1.2 (rozdzielenie dwóch oznaczeń obiektów według jednej cechy – ilościowej) z oceną przydatności edukacyjnej metody. Do działu tego zaliczonych zostało 10 spośród 23 testów i 26 pytań spośród 167 pytań (tab. 4). Stanowi to 14.5% ogólnej ilości pytań możliwych do zadania uczniom we wszystkich testach.

Tabela 3. Powiązania pytaniami testów z działami
 Table 3. The connection between tests and sections by questions

↓ Liczba pytań – The numer of questions ↓																							
Σ=167	6	8	9	11	11	0	6	6	6	12	6	11	13	8	3	5	5	9	9	21	6	3	3
4.2.2												1					1	1					
4.2.1.3		1	3	7			1	1				4					2			4			3
4.2.1.2														2				4		1			
4.2.1.1	1		1										2					1					
4.1.3										3					3						6		
4.1.2	4									3		2						1	4	10			
4.1.1												6											
3.2.2											1						1			2			
3.2.1														1									
3.1.2									5											1			
3.1.1							1							1						1			
2.2.2			2	4								1		1							2		
2.2.1														1				1	3				
2.1.2	1	2					1	1		2			11			5				1			
2.1.1							3						1										
1.2										2								1					
1.1.2			2						1										1		1		
1.1.1		5	1		11			4		2			1	2									3
↑ Działy The sections	W1	W2	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	2.1	2.2	3.1	4.1	4.2	5.1	5.2	5.3	6.1	6.2	I.1	I.2	I.3	II.1	II.2
	↑ Oznaczenia testów ↑ The indication of tests																						

Na podstawie analizy wyników badań w dziale 2.1.2 (tab. 5) autor stwierdził, że dla grupy uczniów całkowicie niewidomych od urodzenia poziom skuteczności kreacji wyobrażeń przestrzennych nie spada poniżej 71% (klasa 1), osiągając najwyższą wartość 87% w przypadku uczniów klasy III gimnazjum.

Tabela 4. Szczegółowe przedstawienie zrealizowanych zagadnień dla działu 2.1.2 (rozdzielenie dwóch oznaczeń obiektów według jednej cechy – ilościowej).

Table 4. The detailed visualisation of realized question for section 2.1.2 (the distinction of two notations of the objects according to on feature – quantitative)

Nazwa testu The name of a test	Nr pytania The number of question	Objekt w skali 1:1 The object in a scale 1:1	Objekt w skali 1:M The object in a scale 1:M		Cel ćwiczenia, uwagi The aim of exercise, comments
		Widok z góry Top view	Widok z góry Top view	Widok z boku Side view	
1	2	3	4	5	6
W1.A	1	2 odcinki pionowe różne 2 perpendicular different segments			Mierzenie w skali porządkowej, wybór większego Measurement in an ordinal scale, choice the larger one
W2.A	3	2 prostokąty różne 2 different rectangles			
	7	2 okręgi równe 2 equal circles			Porównanie czy równe? Comparison or equal?
1.5A,B	4			Pies, mysz Dog, mouse	Identyfikacja wg cechy – wielkość Identification according to the feature – size
1.6A	3			2 drzewa różne 2 different trees	Ocena porównania wysokości (obiekt) Estimation of the comparison of height (object)
	3		2 kontury Polski różne 2 different contours of Poland		Efekt zwiększenia długości przy zmianie modułu! Effect of length enlargement with change of a module!
2.2A,B	6		Wisła, Odra Wisła, Odra		Porównywanie długości rzek w skali porządkowej Comparison of river length in an ordinal scale
	3		Wisła, Odra Wisła, Odra		
	4	Odcinki pionowe D:2D Perpendicular segments D:2D			
	5	Odcinki poziome D:3D Horizontal segments D:3D			
4.2	6	Odcinki poziome D:2D Horizontal segments D:2D			Relacje długości (krotnościowe) Length relations (multiplicity)
	7	Odcinki pionowe i poziome D:2D Perpendicular and horizontal segments D:2D			

Tabela 4 cd.
Table 4 cont.

1	2	3	4	5	6
	8	Części Wisły (cz. 1, cz. 2) Parts of Wisła (part 1, part 2)	Wisła (cz. 1, cz. 2) Wisła (part 1, part 2)		Ocena w skali porządkowej długości Length estimation in a ordinal scale
	9	San i Wisła (cz. 1) San and Wisła (part 1)			Ocena równości długości Estimation of length equality
	10	Odcinki poziome D:3D Horizontal seg- ments D:3D			
4.2	11	Odcinki pionowe 3D:D Perpendicular segments 3D:D			Relacje długości (krotnościowe) Length relations (multiplicity)
	12	Odcinki pionowe D:2D Perpendicular seg- ments D:2D			
	13		Wisła (cz. 1, cz. 2) Wisła (part 1, part 2)		Porównanie krotności Comparison of multiplicity
5.1	3		krzesło małe, krzesło duże small chair, big chair		Identyfikacja (krzesło małe, krzesło duże) przez porównanie wielkości Identification (small, big chair) by length comparison
	1	Kwadrat: DxD, 2Dx2D Square DxD, 2Dx2D			Ocena relacji długości obwo- dów: 1:2, 2:4
	2	Kwadrat: 2Dx2D, 4Dx4D Square 2Dx2D, 2Dx2D			Estimation of periphery length relation 1:2,2:4
5.3	3	Prostokąt: : 2DxD, Dx2D Rectangle 2DxD, Dx2D			Porównanie równości obwodów Estimation of periphery equal- ity
	4	Kwadrat, prostokąt: DxD, 2DxD Square, rectangle DxD, 2DxD			Relacja obwodów nie 1:2 Relation of periphery – not 1:2
	5	Kwadrat, prostokąt: DxD, Dx3D Square, rectangle DxD, Dx3D			Relacja obwodów krotnościowa 1:2 Multiple relation of periphery 1:2
6.2B	7	Czworobok, trójkąt Quadrilateral, triangle			Identyfikacja „nie trójkąt” Identification- "not triangle"
I.1	2a		Ameryka Połu- dniowa i Północna South and North America		Porównanie długości w skali porządkowej Length comparison in a ordinal scale

Tabela 5. Wyniki prac badawczych z dziećmi dla działu 2.1.2, rozróżnianie dwóch oznaczeń obiektów według jednej cechy – ilościowej

Table 5. The results of researches with children from the section 2.1.2, a distinction of two notations of the objects according to one feature- quantitative

Uzyskany wynik testowania (punkty):

1. prawidłowa odpowiedź za pierwszym razem,
2. prawidłowa odpowiedź w drugiej próbie,
3. prawidłowa odpowiedź w trzeciej próbie.

The gained result of testing (points):

1. the right answer for the first time,
2. the right answer in a second trial,
3. the right answer in a third trial.

Nazwa testu The name of a test	Nr pytania The number of question	Klasa – The class												
		1	2	3	4	5	6	I	II	III				
		Nr ucznia – The number of a pupil												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
W1.A	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
W2.A	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	7	2	2	2	2	1	1	1	2	1	2	1	2	2
1.5A,B	4	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1
1.6A	3	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1
2.2A,B	3		2	1	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1
	6		1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4.2	3					1	2	2	2	1	2	1	2	2
	4					2	2	1	1	1	1	1	1	1
	5					1	1	1	1	1	1	1	1	1
	6					2	1	2	2	1	1	1	1	1
	7					1	1	1	1	1	1	1	1	1
	8					1	2	1	1	2	1	1	2	1
	9					1	1	1	1	1	1	1	1	1
	10					2	1	1	1	1	1	1	1	1
	11					1	2	1	1	1	1	2	2	1
	12					1	1	1	1	1	1	1	1	1
	13					2	1	2	2	1	2	1	1	1
5.1	3					2	2	2	2	2	1	2	2	2
5.3	1					1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2					1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3					2	1	2	1	2	2	2	1	1
	4					1	1	1	1	1	1	1	1	1
	5								1	1	1	1	1	1
6.2B	7							2	2	2	1	2	2	2
I.1	2A									1	1	1	1	1
Suma punktów The sum of points		7	9	9	9	29	30	31	32	32	31	31	32	30

Sprawdzenia przyswojonych treści testów dokonano za pomocą samodzielnie wykonanych przez ucznia rysunków. Stwierdzono wyraźną poprawę pionowej orientacji obiektów i polepszenie wiedzy przestrzennej niewidomych dzieci, które coraz chętniej i poprawniej wykonywały rysunki stanowiące odtworzenie indywidualnych notacji mentalnych modeli sonorycznych.

PODSUMOWANIE

Dzięki przychylności dyrekcji oraz pomocy psychologów, pedagogów i wychowawców Ośrodka Szkolno-Wychowawczego dla Dzieci Niewidomych i Niedowidzących w Owińskach przeprowadzono pełny proces praktycznego sprawdzenia przydatności zestawu testów edukacyjnych na poziomie szkoły podstawowej i gimnazjum. Testy dostosowano do programu kolejnych klas, przy czym jeden test może zawierać zagadnienia z kilku działów systemu. Uzyskanie poprawnych odpowiedzi, przy wykorzystaniu wszystkich testów, aż do grupy przeznaczonej dla danego stopnia edukacji, jest warunkiem umożliwiającym stosowanie metody w nauczaniu niewidomych.

Szersze zastosowanie metody w praktyce szkolnej możliwe jest po opracowaniu zestawów tematycznych, odpowiadających poszczególnym dyscyplinom i stopniom edukacji.

Oprócz podstawowego cyklu testowania uczniów przeprowadzono kontrolę efektywności metody, powtarzając wybrane celowo grupy pytań z tymi samymi uczniami po upływie kilku miesięcy, uzyskując w pełni zadowalające wyniki.

Ćwiczenia motoryczne, podnoszące precyzję motoryki dłoni (prowadzenie myszki wzdłuż ścieżki dźwiękowej), wyraźnie przyczyniły się do przewyciężenia przez ucznia bariery prowadzenia długopisu, podczas wykonywania kontrolnych rysunków.

PIŚMIENNICTWO

- Brzeziński J., 1996. Metodologia badań psychologicznych. PWN, Warszawa.
- Krzywicka-Blum E., Kuchmister J., 1999. Modelowanie Sonoryczne w edukacji niewidomych. monografia, str. 100, Kat. Geod. i Fot. AR, Wrocław, Polska.
- Kuchmister J., 2000. Coding of sonic map by using the sonic digitizer. Moskwa, Rosja.
- Krzywicka-Blum E., Kuchmister J., 2005. Urządzenie do kodowania i odsłuchiwania testów sonorycznych. Patent UPRP Nr 189919, Polska.
- Limont W., 2000. Wybrane koncepcje wyobraźni twórczej, Człowiek–muzyka–psychologia, Warszawa, Akademia Muzyczna im. Fryderyka Chopina, s. 75–85. Garret J.F. i Rotshild J., (1972).

EDUCATIONAL APPLICATIONS OF SONORIC CODING

Abstract. Apart from wide applied touching models, sonoric modelling of spatial issues with application of sonoric digitizer is also possible. The essence of sonoric modelling is based on usage sequences of various sound signals as suitable for following points of the line creating contour notes.

Regarding to the level of the intellectual development of a pupil in educational school process it is possible to single out three stages, responding to age levels. In Polish conditions in the first age level "integrated elementary school teaching" is accomplished. Beginning from fourth class, section of school subjects is leading in, and a third level is responding to gymnasium level.

Estimating in three stages system of point marks, importance of issues connected with spatial topics in the joint educational program for visible, as well as for invisible pupils, summary valuation of spatial issues in particular school subjects and teaching stages has been obtained.

The main section will be inertly extended presenting, in the final form, the separated system of school subjects from the range of primary school and gymnasium. It allows the application in school teaching the test responding to chosen issues during the realisation various subjects, which the issues are important in.

Between over one hundred tests, prepared in the beginning stage of the implementation of the method, after the practical verification, the set of 23 educational tests has been executed.

Wider usage the method in school practice is possible after elaborating thematically sets, responding to a particular discipline and educational levels.

Key words: the bling people, sonoring modelling, spatial questions, sonoric digitizer

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 30.09.2010

Do cytowania – For citation: Kuchmister J., 2010. Edukacyjne zastosowanie kodowania sonorycznego. *Acta Sci. Pol. Geod. Descr. Terr.*, 9(3), 25–40.

SPIS TREŚCI CONTENTS

Dariusz Felcenloben

Niepewność danych przestrzennych w systemach informacji geograficznej (GIS).....	3
Uncertainty of spatial data in geographic information systems (GIS)	

Beata Hejmanowska, Artur Warchol

Analiza porównawcza wysokości terenu uzyskanej za pomocą lotniczego skaningu laserowego, pomiaru GPS oraz pomiaru na modelu stereoskopowym z kamery ADS 40	13
Comparison of the elevation obtained from ALS, ADS40 stereoscopic measurements and GPS	

Janusz Kuchmister

Edukacyjne zastosowanie kodowania sonorycznego	25
Educational applications of sonoric coding	