

Trzeci wymiar na mapie krain geograficznych – konceptcja tyflomapy w druku 3D

The third dimension on the map of geographical areas –
the concept of a tactile map in 3D printing

Jakub Wabiński, Albina Mościcka

Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Inżynierii Lądowej i Geodezji

Słowa kluczowe: tyflomapa, mapa dla niewidomych, modelowanie 3D, druk 3D, edukacja, postrzeganie przestrzeni

Keywords: tactile map, map for blind people, 3D modelling, 3D printing, education, perception of space

Wprowadzenie

W związku z rosnącą świadomością społeczeństwa, dotyczącą problemów różnych grup mniejszościowych, pojawia się coraz więcej materiałów ułatwiających osobom niepełnosprawnym poznawanie świata. Również klasyczne mapy doczekały się dotykowych odpowiedników, czyli map wypukłych, czytanych z wykorzystaniem zmysłu dotyku, nazywanych tyflomapami (Ojala i in., 2016). Proces ich opracowania wymaga zaangażowania wielu specjalistów: tyflokartografów i tyflografików, specjalistów od druku wypukłego, bądź osób odpowiedzialnych za nagrania dźwiękowe. Gdy mapa przeznaczona jest do wykorzystania w szkole, konieczne jest także zaangażowanie nauczyciela orientacji przestrzennej lub geografii. W badaniach dotyczących użyteczności projektowanych map wymagany jest także udział odbiorców, czyli osób niewidomych i słabowidzących.

Analiza ograniczeń osób niewidomych i słabowidzących była przez lata motywacją dla autorów do tworzenia zestawów dobrych praktyk przy projektowaniu tyflomap. Duża różnorodność możliwości percepcyjnych użytkowników oraz występowanie różnych metod produkcji tyflomap sprawiają, że utworzenie jednolitych standardów ich opracowywania jest bardzo trudne. Mimo to niektóre kraje, między innymi Australia, Japonia i Brazylia, prowadzą takie prace (Gual i in., 2012). Prace prowadzone są w zakresie: doboru formatu mapy (PN-EN ISO 216:2009), sposobu korzystania z nich (Gual i in., 2012), orientacji (Olczyk, 2014; Štampach i Muličková, 2016), czytelności (Rowell i Ungar, 2003; Bodnarova, 2012), prezentacji zagadnień zgodnie z podstawą programową (Edman, 1992), a także wypracowywanie wytycznych i standardów opracowywania takich map (Braille Authority of North America and the Canadian Braille Authority L' Autorité Canadienne du Braille, 2011).

Tak jak w przypadku klasycznej kartografii, stale rośnie także znaczenie technik komputerowych w opracowywaniu tyflomap. Niezależnie od rozwijanych technologii druku, w dalszym ciągu ważnym problemem związanym z wytwarzaniem tyflomap jest koszt ich produkcji. Już sam koszt matryc, wynoszący od 1800 do 8000 złotych, daje pogląd, jak drogim przedsięwzięciem jest wytwarzanie map dotykowych. Klasyczne metody wytwarzania są opłacalne w przypadku dużych nakładów. Niejednokrotnie zdarza się jednak, że potrzebne są pojedyncze egzemplarze mapy. Często kartografowie chcieliby także zbadać funkcjonalność swoich projektów przed ich wprowadzeniem do masowej produkcji. Nieocenioną do tych celów wydaje się być technika szybkiego prototypowania, zwana potocznie drukiem 3D. Jego potencjał tkwi między innymi w możliwości taniego wydruku unikatowych opracowań, pojedynczych sztuk, map wykonywanych na indywidualne zamówienie, takich jak na przykład mapy dojazdu do szkoły. Możliwość szybkiego opracowania oraz taniego wydrukowania stwarza także przesłanki do jej szybkiej aktualizacji.

W związku z powyższym, w niniejszej pracy podjęto zagadnienie opracowania metodyki wykonania przykładowej mapy dotykowej – mapy krain geograficznych Polski – z wykorzystaniem technologii druku 3D. Wybór tematu opracowania podyktowany był analizą dotychczasowych osiągnięć w tym zakresie, a także potrzebami dydaktyków pracujących z uczniami niewidomymi w Ośrodku Szkolno-Wychowawczym dla Dzieci Niewidomych im. Róży Czackiej w Laskach.

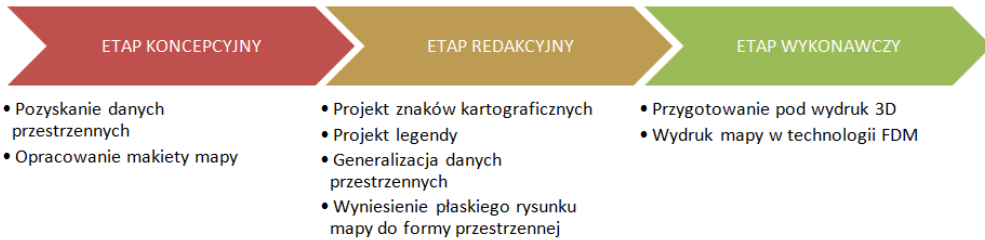
Materiały i metodyka

W pracy założono, że metodyka opracowania tyflomapy z wykorzystaniem druku 3D zostanie zaproponowana i przetestowana podczas opracowania mapy dotykowej prezentującej krainy geograficzne Polski (Wabiński, 2017). Nowoopracowana mapa jest dedykowana niewidomym uczniom, a jej zadaniem jest przedstawienie w czytelny sposób podziału fizyczno-geograficznego Polski, uwzględniającego między innymi pasowe ukształtowanie powierzchni terenu i różnorodność krajobrazów Polski. Podobna mapa opracowana została w roku 2010 w ramach realizacji Atlasu do Przyrody dla osób niewidomych (URL 1). Mapa ta, jak i cały atlas, którego jest częścią, została wykonana w technologii sitodruku wypukłego (Olczyk, 2014), nałożonego na poddruk barwny, przygotowany dla uczniów słabowidzących. Rozwiązanie to umożliwiło uzyskanie druku wypukłego, jednak wyniesionego na jedną, stałą wysokość. Nowością proponowanej w niniejszym artykule metodyki jest założenie, że zastosowanie technologii druku 3D umożliwi opracowanie mapy wielopoziomowej, w której poszczególne krainy geograficzne wyniesione zostają na różną wysokość, zależnie od przeciętnych wysokości nad poziomem morza. Jest to rozwiązanie autorskie, niespotykane w dotychczasowej literaturze.

Projektowana mapa bazuje na dotychczasowych rozwiązaniach stosowanych przy opracowywaniu map dla niewidomych. Stosując przyjęte „dobre praktyki” w tym zakresie (Edman, 1992), wprowadzone zostały pewne modyfikacje i zmiany, wynikające z możliwości technologii druku 3D. Dlatego też w metodyce opisane są tylko autorskie rozwiązania, pomijając pozostałe kwestie. Pełen opis metodyki opracowania tyflomapy przedstawiony jest w pracy magisterskiej Wabińskiego (2017).

Jako wielkość opracowywanej tyflomapy przyjęto zalecany format A3, który zdefiniował skalę mapy na 1:3 000 000. W metodyce zaproponowano trzy podstawowe etapy opracowania mapy:

- 1) opracowanie płaskiego rysunku mapy z zachowaniem matematycznych i geograficznych zależności,
- 2) opracowanie projektu mapy 2D oraz nadanie elementom wysokości, czyli utworzenie modelu przestrzennego,
- 3) przekształcenie modelu z postaci siatki trójkątów na kod zrozumiały dla drukarki 3D. Szczegółową procedurę opracowania tyfłomapy przedstawia rysunek 1.



Rysunek 1. Procedura opracowania mapy dotykowej z wykorzystaniem druku 3D
(źródło: opracowanie własne)

Płaski rysunek mapy

Płaski rysunek mapy opracowano w środowisku ArcGIS. Zakres treści obejmuje granice Polski i państw ościennych, główne rzeki i zbiorniki wodne, a także granice krain geograficznych. Do opracowania mapy wykorzystano dane wektorowe pochodzące z otwartych zasobów. Granice administracyjne pozyskano ze zbioru danych Countries, 2014 – Administrative Units, ze zbiorów GISCO. Bazuje on na geometrii z EuroBoundaryMap w skali 1:100 000 (URL 2). Wykorzystano bezpłatne zgeneralizowane granice odpowiadające skali 1:3 000 000, w wersji najnowszej (2014). Dane dotyczące rzek pozyskano z Europejskiej Agencji Środowiska (URL 3) z projektu „WISE Large rivers and lakes”, zaś dane dotyczące zbiorników wodnych z bazy danych obiektów ogólnogeograficznych (BDOO) (Rozporządzenie MSWiA, 2011). Granice krain geograficznych pochodzą z Centralnej Bazy Danych Geologicznych prowadzonej przez Państwowy Instytut Geologiczny (URL 4), pobrana warstwa zawiera mezoregiony według podziału Kondrackiego.

Aby mapa była czytelna, konieczne było przeprowadzenie generalizacji treści. Jest to zagadnienie istotne zwłaszcza w kontekście map dotykowych (Więckowska, 2012).

W celu uwypuklenia liczby jezior występujących w pasie pojezierzy i pobrażczy, usunięto z mapy znaki reprezentujące jeziora w innych krainach geograficznych. Taki zabieg poprawił również czytelność mapy, przez redukcję liczby znaków nie stanowiących treści mapy. Operację wyboru obiektów do zaprezentowania wykonano manualnie. W przypadku reprezentacji jezior konieczne okazało się również wykorzystanie agregacji. Jeziora występujące blisko siebie w terenie, zostały zaprezentowane jako jeden symbol, dający się łatwo rozróżnić dotykami.

Ponadto, konieczne było przesunięcie z dala od linii brzegowej jezior przybrzeżnych. W związku z tym, że obszar Polski został wyniesiony ponad powierzchnię mapy, nie trzeba było zachowywać zalecanych w literaturze (Edman, 1992) trzech milimetrów odstępu pomiędzy dwoma rodzajami znaków kartograficznych (w tym wypadku punktowego znaku jeziora od liniowego znaku linii brzegowej). Należało jedynie dopilnować, aby sygnatury jezior znajdowały się w całości na obszarze lądowym Polski. Operacje te zostały wykonane manualnie. Przyjęta metodyka zakładała takie rozmieszczenie sygnatur, aby spełniały wymóg

minimalnej odległości pomiędzy dwoma znakami o tym samym charakterze na poziomie trzech milimetrów (dla znaków umieszczonych na tej samej wysokości), powodując przy tym jak najmniejsze przesunięcia obiektów. Uzyskane w ten sposób wartości przesunięć powodują bardzo duże przekłamanie w kwestii lokalizacji obiektów – na poziomie 20 kilometrów w terenie, co dowodzi, że uzyskanie odpowiedniej czytelności mapy wymaga zniekształcenia rzeczywistego rozmieszczenia obiektów, zwłaszcza jeśli mapa wykonana jest w niedużej skali.

Pierwotnie zakładano, że wyspy Wolin i Uznam będą przedstawione jako obiekty powierzchniowe. Z uwagi na wielkość tych obiektów byłyby one jednak nieczytelne dla osoby niewidomej. Dlatego też przyjęto, że zostaną one zgeneralizowane i przedstawione na mapie w postaci sygnatur punktowych. Zastosowano znak najczęściej wykorzystywany do prezentacji wysp – symbol odwrotny do symbolu przedstawiającego jeziora. Aby spełnić wymogi dotyczące minimalnych odstępów między sygnaturami punktowymi niezbędne było także przesunięcie symboli. Zastosowano przesunięcie o 4 mm, co w przyjętej skali mapy odpowiada dwunastu kilometrom w terenie.

Ważną częścią generalizacji było uproszczenie linii oraz konturów. Uproszczono linie symbolizujące granice poszczególnych krain geograficznych oraz granice krajów sąsiednich. Obszar Polski został wyniesiony ponad poziom mapy, zatem nie była potrzebna generalizacja granicy kraju. Granice krajów sąsiednich stanowiły na projektowanej mapie treść pogładową. Do generalizacji ich przebiegu wykorzystano algorytm Point Remove. Dopuszczalna tolerancja wyniosła 10 kilometrów. Tak zgeneralizowane obiekty liniowe umożliwiły prawidłowe zastosowanie linii perełkowych i optymalizację deseni powierzchniowych.

Ostatnim elementem, który został poddany generalizacji, była Mierzeja Helska. W projektowanej skali jej szerokość na mapie wyniosłaby niecałe pół milimetra. Powiększenie tego obiektu jest stosowane w wielu opracowaniach. Mierzeja Helska stanowi ważny punkt odniesienia przy czytaniu mapy dotykiem. Postanowiono więc poszerzyć ją, co umożliwi jej prawidłowy odczyt za pomocą dotyku.

Model przestrzenny mapy

Model przestrzenny mapy wykonano w programie Rhinoceros 3D (URL 5), w którym opracowano projekt dotykowych znaków kartograficznych (rys. 2).

Legenda projektowanej mapy została przygotowana zgodnie z poradami Polly K. Edman (1992), bazując na poniższych zaleceniach:

- wszystkie napisy i symbole w legendzie muszą występować w takiej samej skali jak na mapie. Znaki liniowe powinny mieć długość co najmniej 1,3 cm, natomiast desenie oznaczane kwadratem o wymiarach co najmniej $1,3 \times 1,3$ cm;
- na pierwszym miejscu znajduje się tytuł mapy;
- pod tytułem umieszcza się znaki kartograficzne: punkty, linie i desenie. W dalszej kolejności kody literowe. Litera umieszcza się w porządku alfabetycznym, liczby zaś w porządku numerycznym;
- symbole i kody literowe wypisane są w jednej kolumnie po lewej stronie legendy. Objaśnienia znaków i kodów umieszcza się na tej samej wysokości w drugiej kolumnie – po prawej stronie. Zaleca się wykonywanie legend podłużnych – dwukolumnowych.

w legendzie, co wynika z faktu zastosowania niestandardowej techniki wytwarzania mapy i wynikających z tego autorskich rozwiązań graficznych, a także faktu, że opracowywana mapa nie stanowi części większego opracowania (atlasu).

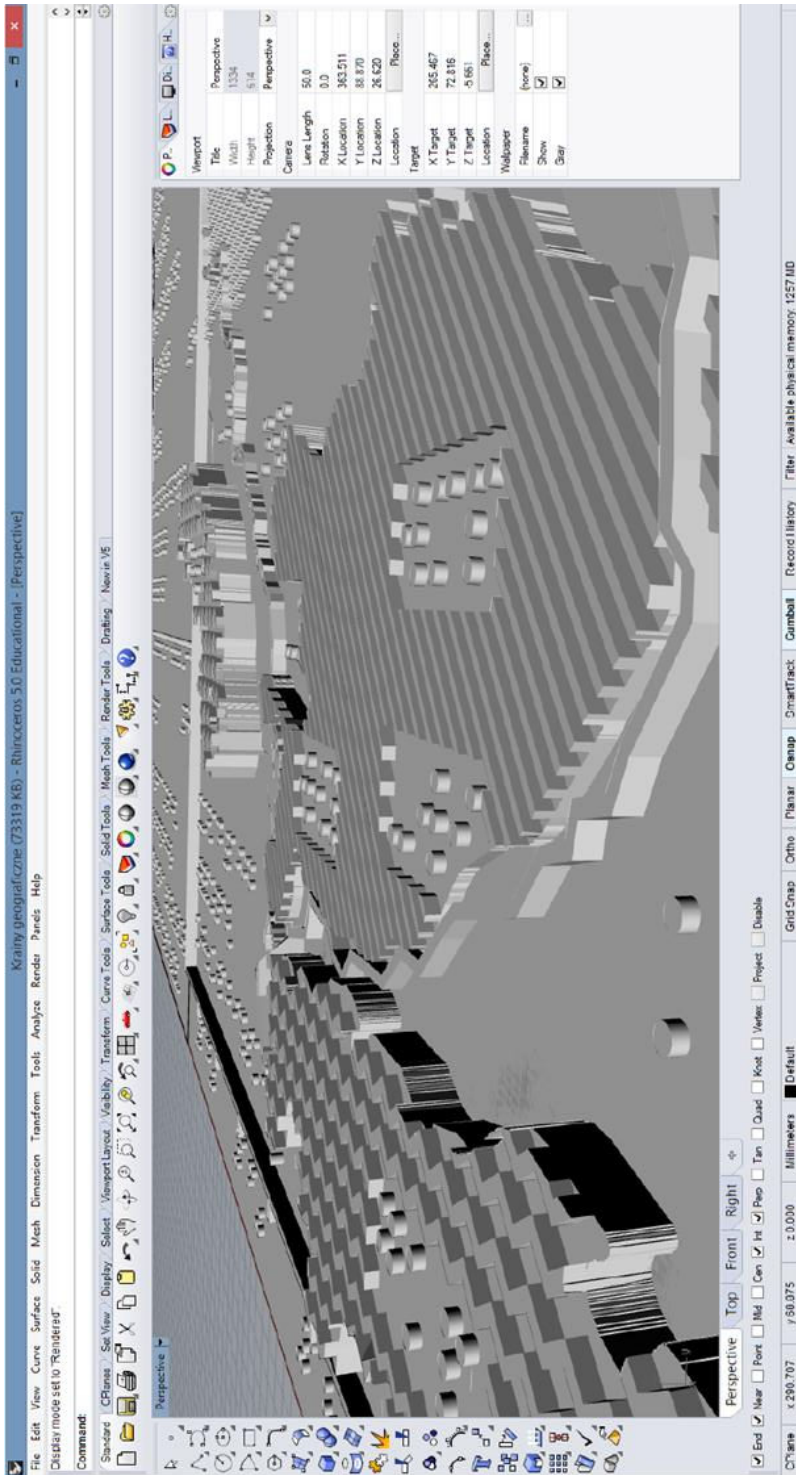
Do przedstawienia granic państw i rzek wykorzystano sygnatury liniowe najłatwiej różnialne w sytuacji, gdy są one stosowane łącznie. Rzeki prezentowane są w postaci linii ciągłych, zaś granice krajów sąsiednich za pomocą linii kropkowanych, o możliwie najdrobniejszym deseniu. Obszar Polski przedstawiony jest w sposób nietypowy dla dotychczas opracowywanych map dotykowych – jest on delikatnie wyniesiony ponad powierzchnię całej mapy. Poszczególne krainy geograficzne kraju obrazowane są z wykorzystaniem sygnatur powierzchniowych. Pasowe ułożenie krain spowodowało, że nie było konieczne stosowanie unikalnych deseni dla każdej z nich. Dlatego co drugi pas przedstawiany jest jako powierzchnia gładka. Takie rozwiązanie umożliwia zachowanie czterech dopuszczalnych sygnatur powierzchniowych występujących na jednej mapie dotykowej. Poszczególne krainy są dodatkowo zróżnicowane przez wyniesienie ich w górę w różnym stopniu: pas pobrzeży bez wyniesienia, przez delikatnie podniesienie pojezierza oraz nizin śródkowopolskich (wysokość 1 mm), aż do wyżyn (4 mm) i najwyżej położonych gór (6 mm). Kotlina Sandomierska, która rozdziela Karpaty oraz pas wyżyn, wznosi się o 3 milimetry ponad poziom referencyjny i stanowi widoczne obniżenie terenu, przez które przepływa rzeka Wisła (rys. 3). Za poziom referencyjny przyjęto Morze Bałtyckie oraz powierzchnię krajów sąsiednich. Rozwiązanie to, poza zwiększeniem rozróżnialności granic pomiędzy poszczególnymi krainami, umożliwia także wyodrębnienie obszaru Polski na tle innych państw.

Przyjęło się prezentować na tyflomapach obszar mórz i oceanów wykorzystując deseń w postaci poziomych linii. Na opracowanej mapie także zastosowano te zalecenia. Kolejne desenie zostały wybrane w taki sposób, aby umożliwić ich jak najwyższą rozróżnialność. Jeziora przedstawiono za pomocą sygnatur punktowych, wykorzystując symbol używany najczęściej w polskiej tyflokartografii: półokrąg skierowany łukiem ku dołowi. Symbol w takiej formie jest łatwo rozróżnialny i intuicyjnie przywołuje na myśl zbiornik wodny. Ponadto, symbole punktowe oraz liniowe zostały wyniesione względem desenia obrazującego krainę geograficzną, na której się one znajdują (rys. 4).

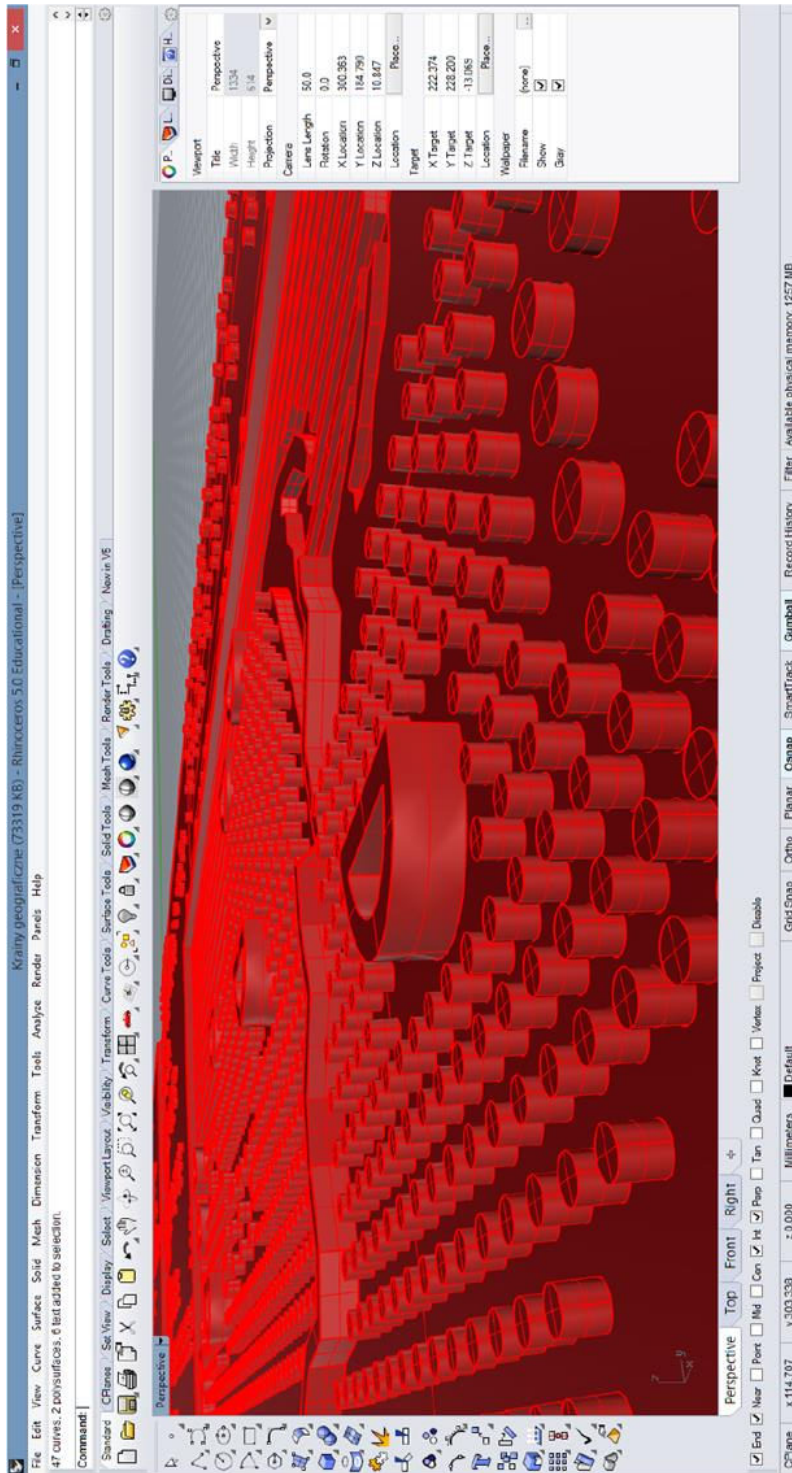
Do przygotowania opisów tekstowych wykorzystano system kodów zaproponowany przez Zespół Konsultacyjny do Spraw Opracowywania Map dla Niewidomych i Słabowidzących (Sizeranne, 1910). Opisane zostały rzeki i krainy geograficzne, a także główne południki i równoleżniki przy ich wylotach. Do opisu wykorzystano kody trzyznakowe. Ich objaśnienia znajdują się w legendzie mapy (rys. 5).

Na mapie umieszczone zostały także napisy alfabetem brajla, stanowiące opis treści mapy. Mają one wysokość 0,8 milimetra, a więc zgodnie parametrami czcionki Poland Braille Fonts – parametr Marburger Medium. Zostały one odpowiednio oddzielone od pozostałej treści mapy, w tym symboli powierzchniowych, przez zastosowanie wypłaszczeń o szerokości co najmniej półtora milimetra wokół skrajnych elementów sześciopunktu brajla. W ten sposób zostały opisane przede wszystkim poszczególne krainy geograficzne, zgodnie z kodami opisanymi w dodatkowym segmencie legendy arkusza mapy (rys. 6).

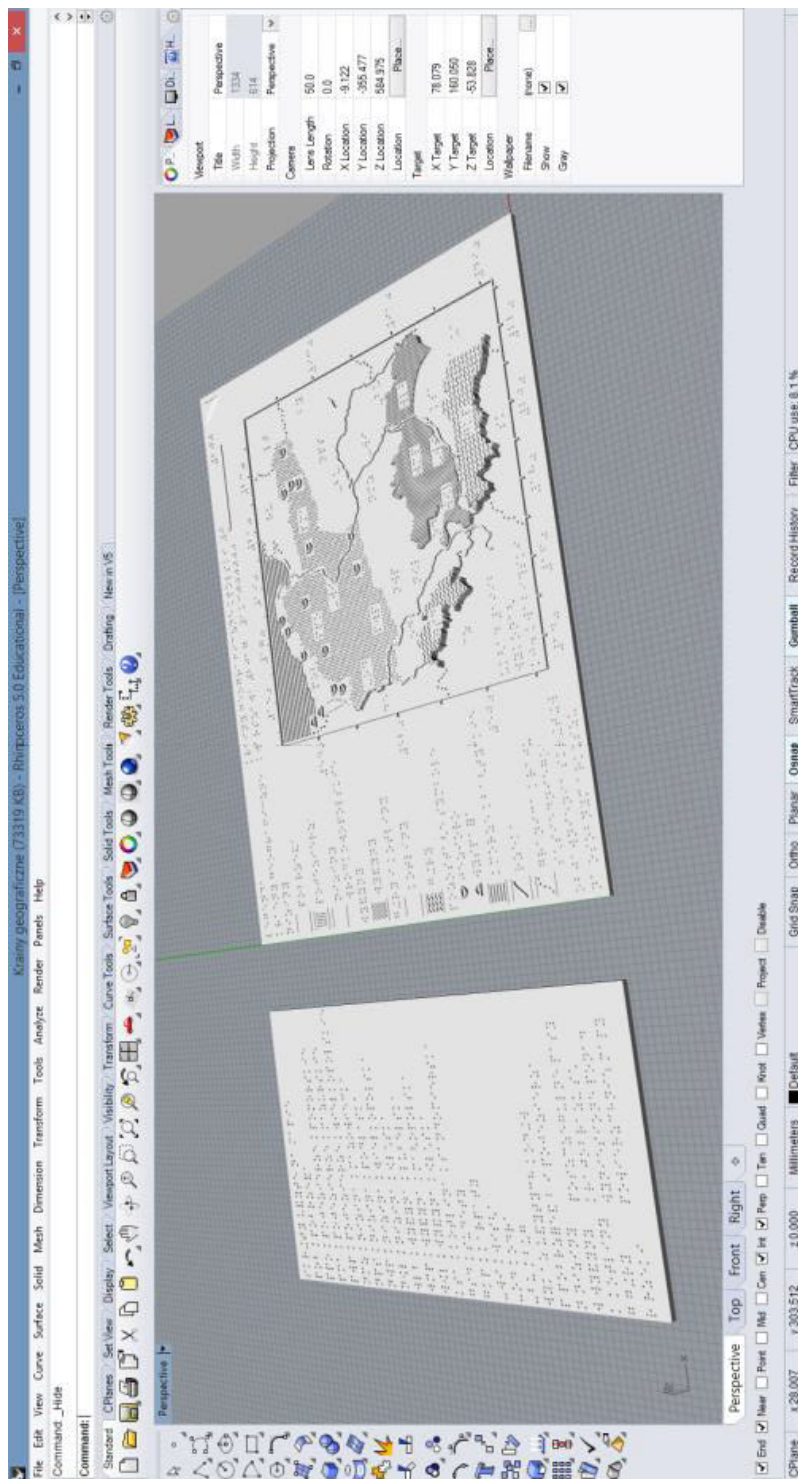
W związku z tym, że symbole prezentujące rzeki przebiegają przez różne krainy geograficzne, zastosowano kolejne autorskie rozwiązanie. Badając dotykiem przebieg rzeki od jej źródła do ujścia, użytkownik natrafia na rampy, które przenoszą znak pomiędzy poszczególnymi krainami geograficznymi, bez zaburzenia ciągłości jego przebiegu (rys. 7). Rampy wznoszą się i opadają o kąt 45 stopni. Dzięki temu symbol rzeki wznosi się zawsze o założo-



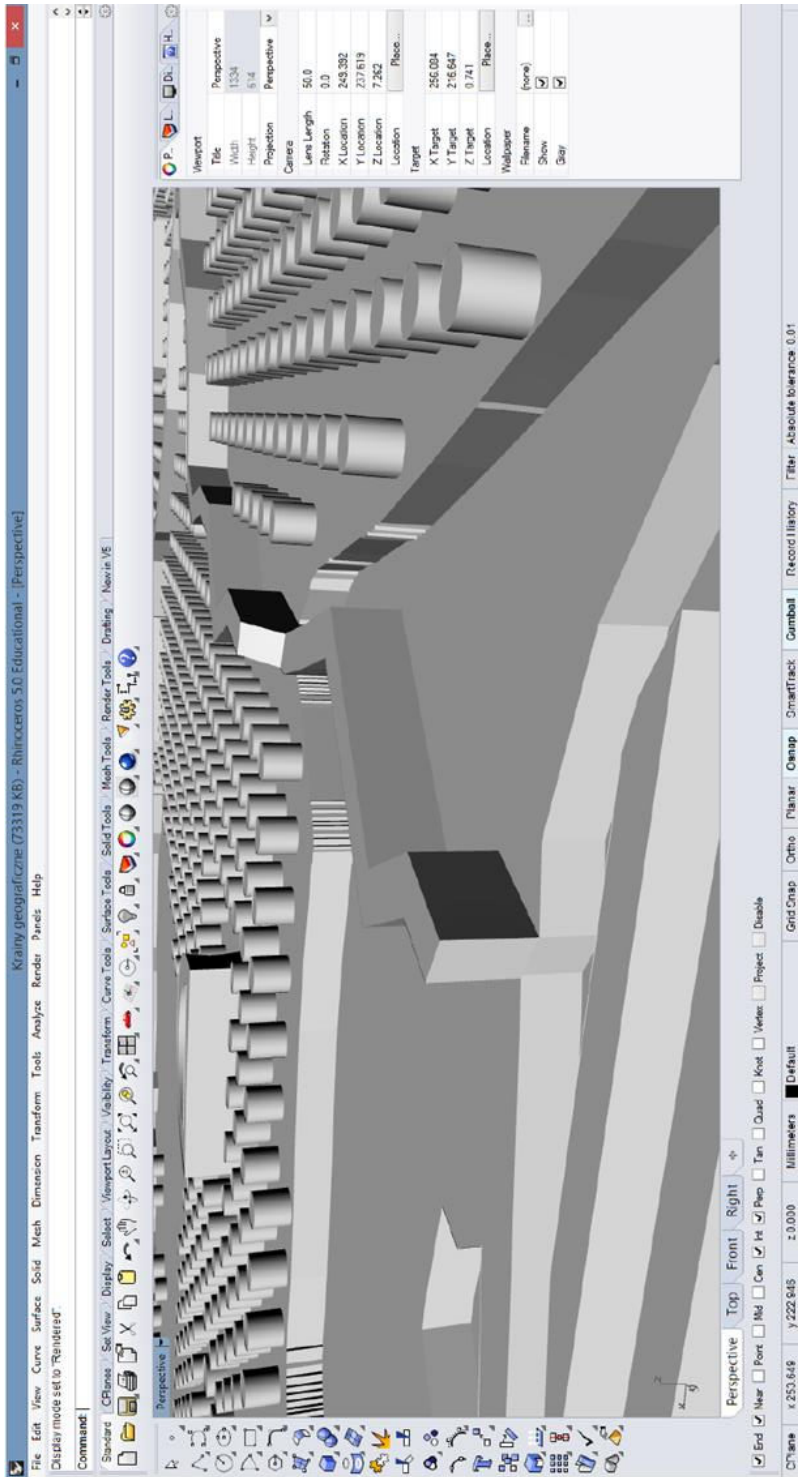
Rysunek 3. Wyniesienie Kotliny Sandomierskiej ponad poziom referencyjny (źródło: opracowanie własne)



Rysunek 4. Wymiesienie symboli punktowych oraz liniowych względem desenia obrazującego pas pojezierzy (źródło: opracowanie własne)



Rysunek 6. Przygotowany arkusz mapy w formacie A3 wraz z dodatkowym segmentem legendy (źródło: opracowanie własne)



Rysunek 7. Sposób zachowania ciągłości znaku liniowego reprezentującego rzekę przy przejściu przez krainy geograficzne wymieszone na różne wysokości (źródło: opracowanie własne)

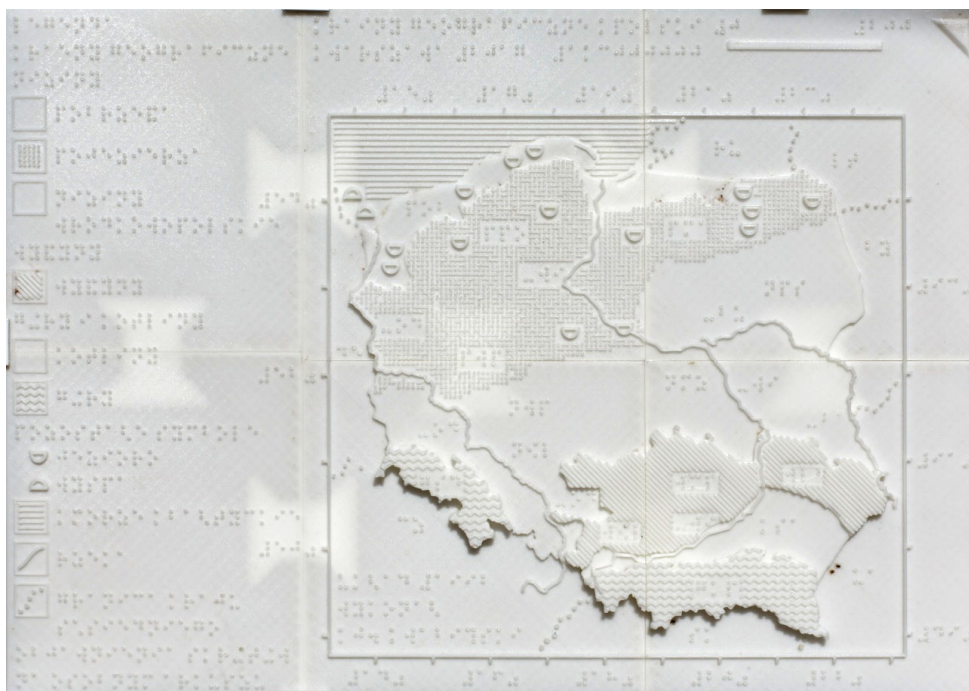
Segmenty mapy przetworzono do formatu poligonowego .STL, zaprojektowanego specjalnie na potrzeby druku przestrzennego, który wczytano do dedykowanej drukarki Zortrax M200 programu typu Slicer – Z-Suite, w którym przygotowano model do wydruku.

Wydrukowaną mapę poddano ocenie dokładności oraz czytelności. Ocena dokładności przeprowadzono przy wykorzystaniu maszyny współrzędnościowej Scope Check 3D CNC, znajdującej się w laboratorium LAPROMAW Katedry Zaawansowanych Materiałów i Technologii Wydziału Nowych Technologii i Chemii WAT. Ocena ta polegała na porównaniu wymiarów fizycznego obiektu utworzonego na drukarce 3D z wymiarami nominalnymi, ustalonymi w oparciu o projekt wektorowy.

Przydatność mapy sprawdzono w warunkach szkolnych, w Ośrodku Szkolno-Wychowawczym dla Dzieci Niewidomych w Laskach. Mapę poddano ocenie pod kątem jej czytelności, trwałości i komfortu pracy. Do testów zaproszono czworo uczniów szkoły podstawowej i gimnazjum – dwoje z nich całkowicie niewidomych i dwoje z poważną wadą wzroku (określanych mianem słabowidzących). Przygotowano sześć poleceń do zrealizowania przez uczniów z wykorzystaniem opracowanej mapy.

Wyniki

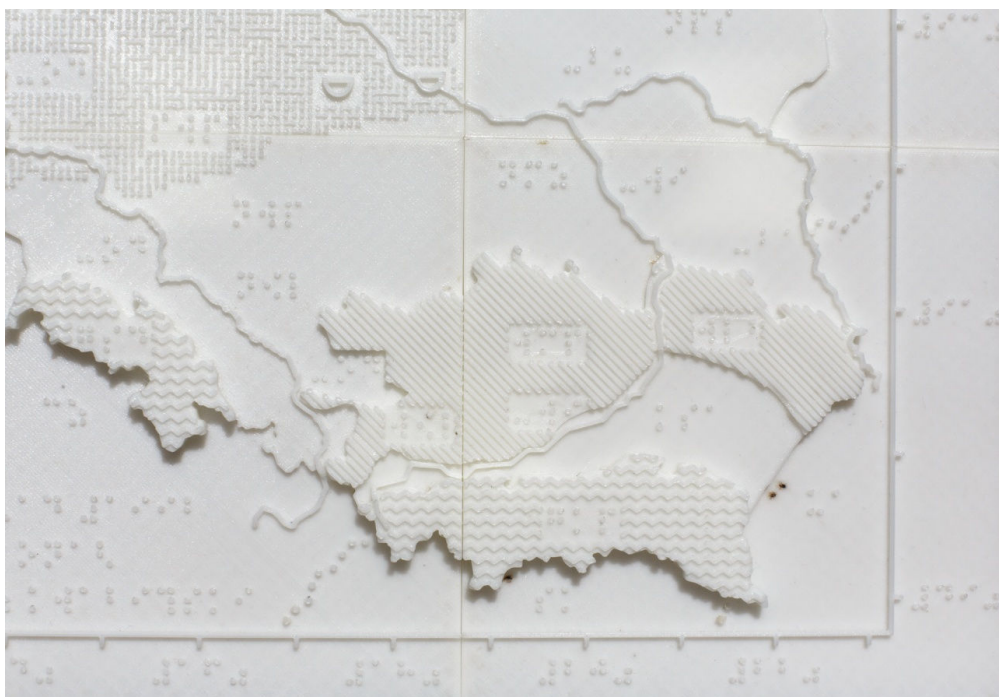
W wyniku badań opracowano i wydrukowano w technologii 3D w pełni funkcjonalną mapę dotykową krain geograficznych Polski (rys. 8). Na wydrukach można z łatwością wyróżnić symbole punktowe i liniowe, wyniesione ponad obszary krain geograficznych (rys. 9) oraz krainy geograficzne wyniesione na różne wysokości (rys. 10).



Rysunek 8. Wydrukowana mapa dotykowa (zdjęcie) (źródło: opracowanie własne)

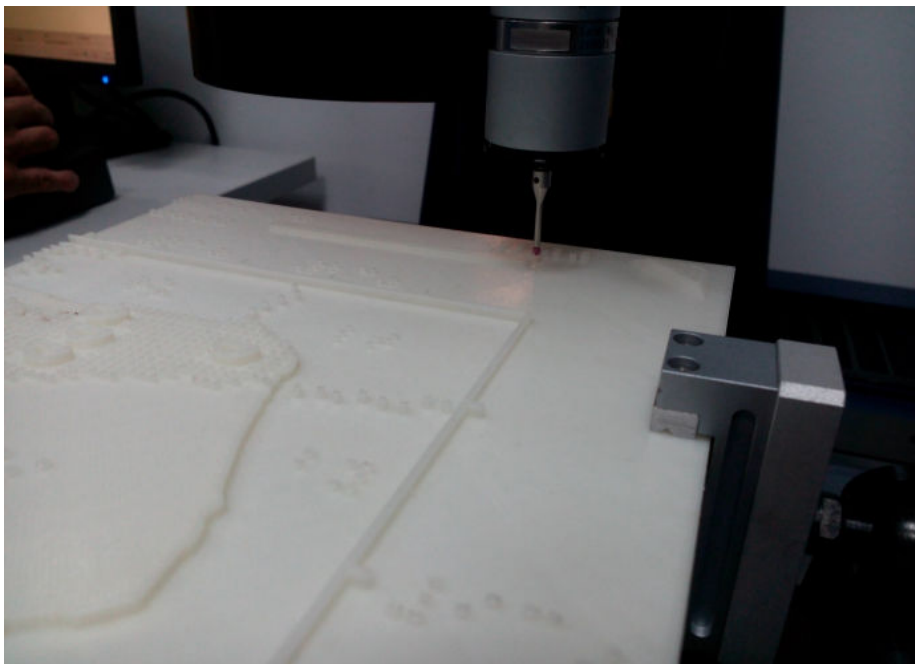


Rysunek 9. Symbole punktowe i liniowe na wydrukowanej mapie (zdjęcie) (źródło: opracowanie własne)



Rysunek 10. Krainy geograficzne wyniesione na różne wysokości na wydrukowanej mapie (zdjęcie) (źródło: opracowanie własne)

Ocenę dokładności arkusza mapy przeprowadzono mierząc przykładowe wymiary w płaszczyźnie poziomej, jak i wysokość niektórych elementów mapy (rys. 11). Do pomiarów wykorzystana została sonda stykowa. Każdy z pomiarów wykonano trzykrotnie.



Rysunek 11. Ocena dokładności mapy z wykorzystaniem maszyny współrzędnościowej (źródło: opracowanie własne)

Aby pomierzyć wysokość elementów mapy w pierwszej kolejności wyznaczono płaszczyznę referencyjną, względem której wysokość była określana (pomiar w co najmniej trzech punktach jednoznacznie definiujących płaszczyznę). Za płaszczyznę referencyjną przyjęto powierzchnię arkusza mapy. Za pomocą sondy zmierzono wysokości badanych elementów. Wyznaczenie różnicy tych pomiarów stanowi informację o wysokości wydrukowanych elementów.

Badanie wymiarów poziomych przeprowadzono przez pomiar współrzędnych krawędzi wyznaczających granice mierzonych elementów. Na podstawie pomiaru różnicowego współrzędnych określono przesunięcia wzdłuż osi X i Y układu maszyny. Na tej podstawie program obsługujący maszynę wyznaczył wektor przesunięcia poziomego.

Zbadanie dokładności polegało na porównaniu wymiarów konkretnych elementów wydrukowanego arkusza z wymiarami nominalnymi – zdefiniowanymi w projekcie. W ten sposób możliwe stało się wyznaczenie całościowego błędu geometrii wydrukowanego arkusza. Rodzaj badanych wymiarów oraz uzyskane wyniki przedstawia tabela 1.

Najistotniejszą weryfikację opracowanego w ramach pracy arkusza mapy przeprowadzono w Ośrodku Szkolno-Wychowawczym dla Dzieci Niewidomych w Laskach. Wyniki oceny czytelności mapy przez uczniów niewidomych i słabowidzących (rys. 12) zawiera tabela 2. Zaplanowane zadania umożliwiły weryfikację jakości opracowanej mapy, w kontekście użycia jej jako pomocy szkolnej w trakcie omawiania zagadnienia pasowości ukształto-

Tabela 1. Wyniki pomiarów geometrii arkusza mapy (źródło: opracowanie własne)

| Wymiar poziomy [mm] | 1. pomiar | 2. pomiar | 3. pomiar | Nominalny | $\Delta 1$ | $\Delta 2$ | $\Delta 3$ |
|-------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|
| Długość podziałki liniowej | 66,57 | 66,54 | 66,53 | 66,64 | 0,07 | 0,1 | 0,11 |
| Sześciopunkt brajla | 6,64 | 6,60 | 6,70 | 6,50 | 0,14 | 0,1 | 0,2 |
| Znak jeziora (krótsza półoś) | 5,03 | 5,02 | 5,05 | 5,00 | 0,03 | 0,02 | 0,05 |
| Pionowa krawędź arkusza | 231,82 | 231,72 | 231,63 | 232,00 | 0,18 | 0,28 | 0,37 |
| Wymiar pionowy [mm] | 1. pomiar | 2. pomiar | 3. pomiar | Nominalny | $\Delta 1$ | $\Delta 2$ | $\Delta 3$ |
| Wysokość podziałki liniowej | 1,01 | 1,05 | 1,08 | 1,00 | 0,01 | 0,05 | 0,08 |
| Wysokość sześciopunktu brajla | 1,02 | 1,03 | 1,01 | 0,80 | 0,22 | 0,23 | 0,21 |
| Wysokość znaku jeziora | 3,75 | 3,96 | 3,89 | 4,00 | 0,25 | 0,04 | 0,11 |
| Wysokość desenia gór | 7,01 | 7,02 | 7,02 | 7,00 | 0,01 | 0,02 | 0,02 |

**Rysunek 12.** Niewidomy uczeń w trakcie pracy z mapą (źródło: opracowanie własne)**Tabela 2.** Zadania postawione przed uczniami i ich wyniki (źródło: opracowanie własne)

| Rodzaj zadania | Słabowidzący | | Niewidomi | |
|---|--------------|---------|-----------|---------|
| | uczeń A | uczeń B | uczeń C | uczeń D |
| Odszukiwanie konkretnej treści na mapie | + | + | + | + |
| Wskazanie na mapie jednego z pasów krajobrazowych | + | + | + | + |
| Lokalizacja konkretnego obiektu na mapie i określenie krainy geograficznej, w której się znajduje | + | +/- | + | - |
| Wskazanie ujścia rzeki | + | + | + | + |
| Określenie na podstawie legendy sposobu prezentacji konkretnego obiektu na mapie | + | + | + | + |
| Wskazanie określonej krainy geograficznej na mapie i skrótu ją reprezentującego | + | +/- | +/- | - |

wania krain geograficznych Polski. Zagadnienie to jest elementem programu nauczania geografii w szkole podstawowej, w myśl obowiązującej od września 2017 roku nowej podstawy programowej (MEN, 2016).

Tabela 3. Ocena poszczególnych parametrów mapy
(źródło: opracowanie własne)

| Rodzaj ocenianego parametru | Słabowidzący | | Niewidomi | |
|-----------------------------|--------------|---------|-----------|---------|
| | uczeń A | uczeń B | uczeń C | uczeń D |
| Jakość dotykowa | – | – | 3 | 3 |
| Czytelność treści | 1 | 4 | 4 | 4 |
| Forma prezentacji | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Wymiar arkusza | 4 | 5 | 5 | 5 |

ych, jako że w głównej mierze korzystali oni ze zmysłu wzroku przy odczytywaniu treści mapy. Uczniowie niewidomi zaś zwrócili uwagę na nieprzyjemne w dotyku elementy mapy, w tym przede wszystkim ostre zakończenia punktorów alfabetu brajla. Czytelność treści została oceniona przez jednego z uczniów słabowidzących jako mierna ze względu na fakt, że mapa ta nie ma kolorowych treści dla osób słabowidzących (w założeniu mapa miała być pomocą naukową tylko dla osób niewidomych). Pozostali uczniowie zwrócili uwagę na zbyt bliskie położenie niektórych sąsiadujących ze sobą symboli, co powodowało ich zlewanie się i trudność w odczytaniu. Aby zniwelować ten problem należałoby rozważyć zwiększenie skali mapy, co umożliwiłoby zachowanie większych odstępów pomiędzy poszczególnymi znakami kartograficznymi. Co ciekawe, mankamenty te dotyczyły zestawów symboli, które nie były zróżnicowane wysokościowo lub były w niewielkim stopniu. Dowodzi to wartości zabiegu wynoszenia znaków kartograficznych na różną wysokość, co umożliwia technika druku 3D.

Po wykonaniu zadań, uczniowie zostali poproszeni o ocenę konkretnych parametrów opracowanego arkusza mapy w skali od 1 do 5 (gdzie: 1 oznacza wynik mierny, 2 słaby, 3 przeciętny, 4 dobry, a 5 wynik bardzo dobry). Opinie uczniów zostały zestawione w tabeli 3.

Jakość dotykowa nie była oceniana przez uczniów słabowidzą-

Podsumowanie i wnioski

Korzystanie ze standardowych metod drukowania tyflomap wiąże się z wysokimi kosztami, gdyż wymaga to każdorazowo opracowania kosztownych matryc, niezależnie od tego ile sztuk map chcemy wydrukować. Zatem jednostkowy koszt takiej mapy jest tym większy, im mniej egzemplarzy jest drukowanych. Rozwiązaniem tego problemu jest druk 3D. Koszt wydania opracowanej w wyniku badań mapy przy druku 3D to niespełna 200 zł, podczas gdy w druku tradycyjnym to koszt wielokrotnie wyższy. Wykorzystując druk 3D, możliwe jest zatem tworzenie prototypów, pojedynczych sztuk i sprawdzanie ich funkcjonalności przez osoby niewidome przed wydrukiem kolejnych egzemplarzy. Umożliwia to eliminowanie ewentualnych błędów już na etapie projektu. Co więcej, druk 3D jest nieoceniony przy opracowywaniu pojedynczych egzemplarzy map, wykonywanych na indywidualne zamówienie. Mapy najbliższej okolicy, fragmentu miasta, dojścia do szkoły, to tylko kilka przykładów map, które mogą być odpowiedzią na unikalne potrzeby poszczególnych osób z dysfunkcją wzroku. Także aktualizacja takich map, w przypadku druku 3D, jest szybka i niskokosztowa, nie przekracza możliwości finansowych osoby prywatnej. To wszystko stwarza przesłanki do szerokiego zastosowania druku 3D w tyflografii.

Uzyskane wyniki umożliwiają stwierdzenie, że technikę druku 3D cechuje duży potencjał nie tylko w wytwarzaniu map dotykowych, ale materiałów tyflogicznych w ogóle. Przedstawione badania stanowią dobry punkt wyjścia do dalszych prac w tym obszarze. Warto w przyszłości podjąć prace nad wykorzystaniem innych metod druku 3D, także z użyciem innego sprzętu. Wskazane byłoby wykorzystanie metod umożliwiających wielkoformatowy druk wielobarwny. Umożliwiłoby to nie tylko opracowanie mapy uniwersalnej (dostępnej zarówno dla osób niewidomych, jak i słabowidzących), ale także wydruk arkusza w większej skali lub wykluczyłoby konieczność stosowania podziału na segmenty. Należy zatem rozważyć wykorzystanie technologii Color Jet Printing (CJP), która polega na selektywnym zespalaniu wielobarwnego proszku lub technologii SLA, która umożliwia uzyskanie gładkich powierzchni i wyższego poziomu szczegółowości drobnych elementów.

Artykuł przedstawia wyniki badań zrealizowanych w ramach pracy magisterskiej Jakuba Wabińskiego pt. „Metodyka opracowania tyfłomapy z wykorzystaniem druku 3D”, napisanej w 2017 roku na Wydziale Inżynierii Lądowej i Geodezji Wojskowej Akademii Technicznej, pod kierunkiem dr hab. inż. Albiny Mościckiej.

Podziękowania. Prowadzone badania i niniejsza publikacja były możliwe do wykonania dzięki pomocy pracowników i uczniów Ośrodka Szkolno-Wychowawczego dla Dzieci Niewidomych im. Róży Czackiej w Laskach. Cennego wsparcia merytorycznego w zakresie opracowywania tyfłomapy udzielił mgr Mariusz Olczyk, doktorant na Wydziale Geografii i Studiów Regionalnych Uniwersytetu Warszawskiego. Do realizacji badań wykorzystano drukarkę 3D Zortrax M200, udostępnioną przez laboratorium LAPROMAW Katedry Zaawansowanych Materiałów i Technologii Wydziału Nowych Technologii i Chemii Wojskowej Akademii Technicznej. Wszystkim osobom zaangażowanym w to przedsięwzięcie składamy serdeczne podziękowania. Recenzentom dziękujemy za cenne uwagi, które podniosły poziom merytoryczny przedstawionej publikacji.

Finansowanie. Prowadzone badania i niniejsza publikacja zostały sfinansowane ze środków Wydziału Inżynierii Lądowej i Geodezji Wojskowej Akademii Technicznej w ramach realizacji pracy magisterskiej Jakuba Wabińskiego pt. „Metodyka opracowania tyfłomapy z wykorzystaniem druku 3D”, napisanej w 2017 roku pod kierunkiem dr hab. inż. Albiny Mościckiej.

Literatura (References)

- Bodnárová A., 2012: Tyflografické mapy v procesu prostorové orientace (Typhlographic maps in the process of spatial orientation). Unpublished master's thesis. Masaryk University, Faculty of Science, Department of Geography, Brno, Czech Republic: 105 p. [in Czech].
- Braille Authority of North America and the Canadian Braille Authority L'Autorité Canadienne du Braille, 2011: Guidelines and Standards for Tactile Graphics 2010, The Braille Authority of North America. Dostęp 5.10.2017 r. <http://www.brailleauthority.org/tg/>
- Edman P.K., 1992: Tactile Graphics. American Foundation for the Blind, Nowy Jork.
- Gual J., Puyunelo M., Lloveras J., 2012: Analysis of Volumetric Tactile Symbols Produced with 3D Printing. Proceedings of the 5th International Conference on Advances in Computer-Human Interactions, Valencia (Spain), 30.01-4.02.2012: 60-67.
- Kondracki J., 2001: Geografia regionalna Polski (Regional geography of Poland). Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.

- MEN, 2016: Podstawa programowa kształcenia ogólnego – geografia – klasy V-VIII (Curriculum foundations of general education – geography – 5-8 grades. The Ministry of National Education). Ministerstwo Edukacji Narodowej, Warszawa.
- Ojala S., Lahtinen R., Hirn H., 2016: Tactile Maps Safety and Usability. Proceedings of the 6th International Conference on Well-Being in the Information Society, WIS 2016, Tampere, Finland, September 16-18: 15-22.
- Olczyk M., 2014: Zasady opracowania map dotykowych dla osób niewidomych i słabo widzących (The rules of developing tactile maps for blind and visually impaired). *Polski Przegląd Kartograficzny* 46(4): 413-442, Warszawa.
- PKN, 2009: PN-EN ISO 216:2009. Papier do pisania i określone grupy druków – Formaty netto – Szereg A i B oraz oznakowania kierunku podłużnego (Writing papers and specified groups of printed matter – net formats – A and B series and marking the longitudinal direction, The catalogue of the Polish Standards). Katalog Polskich Norm, Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa.
- Rowell J., Ungar S., 2003: The World of Touch: Results of an International Survey of Tactile Maps and Symbols. *The Cartographic Journal* 40: 259-263, The British Cartographic Society.
- Rozporządzenie MSWiA z dnia 17 listopada 2011 r. w sprawie bazy danych obiektów topograficznych oraz bazy danych ogólnogeograficznych a także standardowych opracowań kartograficznych (The Decree of the Ministry of Interior and Administration on the topographic objects database and the general geographic database and on standard cartographic products). Dz.U. 2011 nr 279 poz. 1642.
- Sizeranne M., 1910: Niewidomy o niewidomych (The blind about blind people). Biblioteka Dzieł Wyborowych, Warszawa.
- Štampach R., Muličková E., 2016: Automated generation of tactile maps. *Journal of Maps* 12: 532-540.
- Wabiński J., 2017: Metodyka opracowania tyflomap z wykorzystaniem druku 3D (The methodology of development of maps for blind people using 3D printing; the master's thesis). Praca magisterska, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa.
- Więckowska E. (red.), 2012: Standardy tworzenia oraz adaptowania map i atlasów dla niewidomych uczniów (Standards of development and adaptation of maps and atlases for blind pupils). Laski.

Źródła internetowe (Internet sources)

- URL 1: dostęp 18.07. 2017 r. <http://www.tyflomapy.pl>
- URL 2: dostęp 18.07. 2017 r. <http://www.eurogeographics.org/products-and-services/euroboundarymap>
- URL 3: dostęp 18.07. 2017 r. <https://www.eea.europa.eu>
- URL 4: dostęp 18.07. 2017 r. http://dm.pgi.gov.pl/dm/DownloadManager_v1.aspx
- URL 5: dostęp 18.07. 2017 r. <https://www.rhino3d.com/nurbs>
- URL 6: dostęp 18.07. 2017 r. Zortrax M200 User Manual, http://www.multistation.com/IMG/pdf/manuel_zortrax_m200_en.pdf
- URL 7: dostęp 18.07. 2017 r. <http://3dware.ir/en/references/articles/162-everything-about-fdm-technology>

Streszczenie

Celem niniejszej pracy jest zaproponowanie sposobu opracowania tyflomap z wykorzystaniem techniki wytwarzania przyrostowego, czyli druku 3D. Dotychczasowe badania dotyczyły wykorzystania metod przyrostowych do tworzenia prostych makiet, które nie nosiły znamion opracowania kartograficznego. W artykule przedstawiono procedurę opracowania mapy dotykowej na podstawie otwartych danych wektorowych i jej druku z wykorzystaniem metody FDM. Z uwagi na możliwości przyjętej technologii zaproponowano nowe, autorskie rozwiązania ułatwiające odbiór mapy osobom niewidomym. W wyniku badań opracowano mapę dotykową krain geograficznych Polski, która została przetestowana w pracy z osobami niewidomymi i słabowidzącymi. Testy wykazały, że jest to w pełni funkcjonalna mapa, która może być wykorzystana do nauki zgodnie z obowiązującymi podstawami programowymi. Co więcej, zastosowanie druku 3D powoduje znaczne obniżenie kosztów w porównaniu z wcześniej stosowanymi technikami.

Abstract

The main purpose of this paper is to propose a methodology that would allow to create tactile maps using an incremental manufacturing technique, also called 3D printing. Research works performed in the past concerned the use of incremental techniques to create simple mock-up models that were not cartographic products. The paper presents a procedure for developing a physical tactile map sheet using the FDM 3D printing method, based on open vector data available on the Internet. A methodology of transformation of a flat vector map into a spatial, ready-to-print form, was presented. Conclusions drawn from the implementation of the proposed methodology prove that 3D printing can be successfully used to produce tactile maps. It is a very suitable solution for prototyping and making small batches of cartographic works, which provide useful scientific aids in the education of children and young people. Moreover, the use of 3D printing results in reduction of costs, comparing to techniques applied in the past.

Dane autorów / Authors details:

mgr inż. Jakub Wabiński
<https://orcid.org/0000-0002-9995-1329>
jakub.wabinski@student.wat.edu.pl

dr hab. inż. Albina Mościcka
<https://orcid.org/0000-0003-4673-3720>
albina.moscicka@wat.edu.pl

Przesłano / Received 21.07.2017

Zaakceptowano / Accepted 9.10.2017

Opublikowano / Published 30.12.2017

