



Ocena dokładności odwzorowania wałów i przewałów w numerycznym modelu terenu polderu Majdany

Zbigniew Walczak, Mariusz Sojka, Ireneusz Laks
Uniwersytet Przyrodniczy, Poznań

1. Wstęp

Ukształtowanie terenu jest jednym z ważniejszych elementów wpływających na większość aspektów bilansu wodnego zlewni [3, 14, 19] czy też pracy polderu. Jakość pozyskanych danych decyduje o prawidłowym wyznaczeniu rzeczywistej powierzchni i objętości polderu. Bardzo ważne znaczenie ma także rozdzielczość samej siatki punktów pomiarowych wykorzystanej do tworzenia numerycznego modelu terenu (NMT) jak również odpowiednie zagęszczenie punktów pomiarowych w istotnych dla polderu obszarach. Istotny wpływ na jakość wygenerowanego NMT ma jakość samego materiału źródłowego na podstawie którego jest on np. LIDAR, raster terenu [17, 2, 20], stereometria [5, 10] czy też bezpośrednie pomiary terenowe GPS. Wykorzystane NMT pozyskanych z różnych źródeł prowadzić może do tego, że wyniki uzyskane w trakcie modelowania pracy polderu mogą się istotnie różnić [11].

Bardzo często, w szczególności dla danych wysokościowych np. LIDAR, posiadamy zbyt wiele punktów pomiarowych (nawet liczonych w miliardach), a sama siatka nie jest optymalna do dalszych obliczeń. Odwzorowanie terenu jest zazwyczaj dobre natomiast kształt elementów siatki nie jest optymalny ze względu na stosowaną w późniejszych obliczeniach metodę numeryczną (np. MES). Liczebność zbiorów danych jest również zbyt duża do komfortowej pracy z modelem numerycznym. Należy wówczas w odpowiedni sposób zredukować zbiór danych, a tak-

że w odpowiedni sposób zoptymalizować samą siatkę. Wykorzystywanych jest wiele algorytmów [15, 16, 21]. Wpływ rozdzielczości siatki wykorzystywanej do budowy NMT jest dość istotny. Sposób uogólniania i optymalizacji siatki, błędnie przeprowadzony może prowadzić do utraty szczegółów budowy terenu, jego spłaszczenia itp. [1, 18, 3]. Modele numeryczne zazwyczaj bardziej wrażliwe są na rozdzielczość siatki niż na rozdzielczość topograficzną. Mniejsze elementy umożliwiają lepsze odwzorowanie stref dużej zmienności topograficznej oraz dokładniejszą reprezentację granic [9]. Konieczne staje się stosowanie zaawansowanych technik zapewniających minimalizację błędów powstających na etapie tworzenia NMT [6], a także minimalizację punktów charakterystycznych opisujących teren bez jego znacznego uproszczenia [21].

Z drugiej strony zastosowanie danych pochodzących z najczęściej średniej lub niskiej rozdzielczości materiałów fotograficznych może powodować błędne odwzorowanie topografii oraz geometrii elementów systemu polderowego. Często okazuje się, że opracowane metodami fotogrametrycznymi NMT, mają błędy wysokościowe znacznie większe niż przez nich sugerowane [4]. Konieczne wydaje się zastosowanie innych źródeł danych – pomiary GPS RTK, dane z pomiarów LIDAR-owych w celu uzupełnienia modelu NMT opartego na fotometrii oraz wyznaczenia wielkości i przestrzennego rozkładu błędów wyznaczenia wysokości. Należy również pamiętać iż nie zawsze pomiary LIDAR będą odwzorowywać najdokładniej rzeźbę terenu. Istotny wpływ może mieć tutaj chociażby pokrycie szatą roślinną [7], którą na etapie tworzenia NMT należy odfiltrować.

Stosowne odwzorowanie geometrii wałów, w szczególności rzędnych korony wałów oraz przelewów wałowych będzie tutaj podstawowym czynnikiem decydującym o prawidłowym modelowaniu pracy polderu podczas jego napełniania oraz opróżniania. Celem pracy była ocena dokładności odwzorowania wałów i przelewów wałowych jako najistotniejszych elementów wpływających na pracę polderu.

2. Materiały i metody

W pracy dokonano analizy dokładności dostępnych numerycznych modeli terenu (NMT) polderu Majdany w postaci TIN, które zostały wykonane w roku 2009 o cięciu arkuszowym 1:10 000 oraz w ramach

projektu Informatyczny System Ochrony Kraju przed nadzwyczajnymi zagrożeniami ISOK z roku 2011 o cięciu arkuszowym 1:2 500. NMT w roku 2009 wykonany został na podstawie zdjęć lotniczych w skali 1:26 000 i dostępny jest w postaci TIN, natomiast NMT-LIDAR wykonany w ramach projektu ISOK wykonano na podstawie lotniczego skaningu laserowego (LIDAR) i dostępny jest w postaci plików binarnych LAS (wersja 1.2). Pliki LAS poddano dodatkowo obróbce, filtrując chmurę punktów w celu uzyskania NMT. Odfiltrowaniu podlegała roślinność oraz budynki. Proces wykonano oprogramowaniem AutoCAD Map 3D 2013. Ocena jakości modeli NMT została wykonana na podstawie własnych pomiarów terenowych przy wykorzystaniu zestawu GRX-1 firmy SOKKIA. Dokładność pomiarów zastosowanego urządzenia wynosi dla współrzędnych położenia X i Y 10 mm + 1 ppm a dla współrzędnej Z odpowiednio 20 mm + 1 ppm. Jako oprogramowanie komunikacyjne i kontrolne wykorzystano zainstalowany na kontrolerze SHC-250 program Sokkia Spectrum Field w wersji 8.1 oraz do postprocesingu programy Topcon Link v.8 oraz Spectrum Survey Office v.8.2.

Szczegółowej ocenie poddano wał na odcinku około 1,4 km, co stanowi 21% całkowitej długości wałów na tym polderze oraz jeden z przewałów o długości 218 m. Łącznie wykonano 651 pomiarów w tym: na wałach 496 i przevalach 155, lokalizację punktów pomiarowych przedstawiono na rys. 1. Pomiarów na wałach wykonywane były w przekrojach poprzecznych w następujący sposób: dwa pomiary na koronie wału dwa pomiary u podstawy wału od strony odpowietrznej i odwodnej. Na przewałach wałowych szczegółową kontrolą objęto koronę przelewu, niecką wypadową, próg oraz skarpy. Ponieważ lokalizacja punktów pomiarowych w terenie nie pokrywała się z lokalizacją punktów węzłowych NMT-TIN, dlatego wysokości te zostały obliczone metodą odwrotnych odległości. Wykorzystano w tym celu program ArcGIS (firmy ESRI). Wielkości błędów Δh_i obliczono jako różnicę pomiędzy wysokościami odczytanymi z NMT, a wysokościami pomierzonymi w terenie. Sprawdzono zgodność rozkładu błędów NMT wałów i przewałowego z rozkładem normalnym przy pomocy testu Shapiro-Wilka, obliczenia wykonano przy pomocy programu Statistica (firmy StatSoft). Ocenę dokładności NMT wykonano oddzielnie dla wałów i przewałów. Ze względu na to, że rozkład błędów NMT na wałach był zbliżony do rozkładu normalnego zastosowano następujące miary statystyczne: średni

błąd kwadratowy RMSE (błąd średni), błąd średni ME (błąd systematyczny) i odchylenie standardowe SD (błąd przypadkowy) (Tab.1).

Tabela 1. Zastosowane miary dokładności NMT wałów

Table 1. Accuracy measures for embankments NMT presenting normal distribution of errors

Miary statystyczne	
Błąd średni kwadratowy	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta h_i^2}$
Błąd średni	$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta h_i$
Odchylenie standardowe	$SD = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (\Delta h_i - ME)^2}$

Ze względu na to, że na analizowanym przewale rozkład błędu NMT istotnie odbiegał od rozkładu normalnego dlatego zastosowano miary statystyczne, zaproponowane przez Höhle i Höhle [8] (tab. 2).

Tabela 2. Zastosowane miary dokładności NMT przewалу wałowego

Table 2. Accuracy measures for embankments control structure NMT presenting non-normal distribution of errors

Miary statystyczne	
Mediana	$\tilde{Q}_{\Delta h}(0,5) = m_{\Delta h}$
Znormalizowane odchylenie bezwzględne od mediany	$NMAD = 1,4826 \text{ median}_j (\Delta h_j - m_{\Delta h})$
Kwantyl 68,3%	$\tilde{Q}_{ \Delta h }(0,683)$
Kwantyl 95%	$\tilde{Q}_{ \Delta h }(0,95)$

3. Wyniki badań

3.1. Ogólna charakterystyka terenu badań

Polder Majdany utworzono jeszcze w latach 1965–69 w ramach prac melioracyjnych doliny rzeki Tralalki. Utworzony polder miał ok. 580 ha i pojemność 3,7 mln m³ [12].

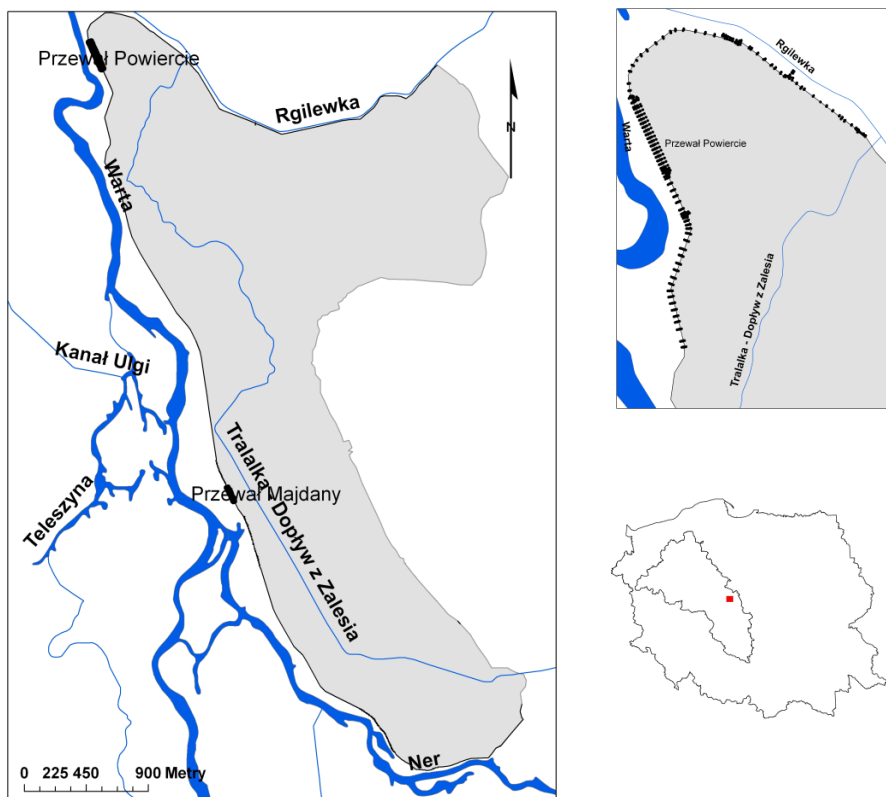
Polder położony jest w odległości ok. 4 km na południowy wschód od miasta Koło, w dolinach rzek Warty, Neru i Rgilewki (rys. 1). Obiekt zlokalizowany jest na terenie 3 gmin: Koło, Kościelec oraz Dąbie w województwie wielkopolskim. Ograniczony jest od strony rzek Neru oraz Warta wałami przeciwpowodziowymi (odpowiednio o długości 2 155 m i 4 115 m), od strony rzeki Rgilewki wałem cofkowym o długości 375 m. Od strony wsi Majdany polder ograniczony jest naturalnie, ukształtowaniem terenu. Wały przeciwpowodziowe projektowano na wodę letnią o prawdopodobieństwie przewyższenia 10%. Poziom wody 10% dla przekroju Koło wynosi 92,5 m n.p.m.. Zrzut wody z polderu Majdany prowadzony jest za pomocą rzeki Tralalka, która wraz z systemem rowów melioracyjnych uchodzi do zbiornika wyrównawczego, gdzie zlokalizowana jest przepompownia Powiercie o wydajności $Q = 1,4 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ z upustem grawitacyjnym. Zadaniem przepompowni jest odprowadzanie wód Tralalki do rzeki Rgilewka.

Grunty na terenie polderu użytkowane są tylko częściowo jako łąki. Pozostały obszar polderu stanowią nieużytki. Znaczna część polderu jest wolna od zadrzewień i zakrzaczeń. Skupiska powyższych występują głównie w km 2+170÷2+250 wału prawostronnego rzeki Warty. Na odcinku wału cofkowego rzeki Rgilewka oraz wału rzeki Warty występują liczne starorzecza wypełnione wodą. W okolicach starorzeczy Neru występują liczne wierzby.

Na polderze Majdany zlokalizowane są dwa przelewy wałowe w miejscowościach Majdany oraz Powiercie, którymi odbywa się samoczynne zalewanie polderu wodami rzeki Warty. Zrzut wody z polderu w pierwszym etapie odbywa się samoczynnie przez przelew wałowy Powiercie, gdy poziom wody w polderze jest niższy od korony przelewu woda oprowadzana jest poprzez przepompownię Powiercie do rzeki Rgilewki. Otwarcie upustu grawitacyjnego następuje tylko w sytuacji gdy stany wody w rzece Rgilewka są niższe niż stany wody na terenie polderu (zbiornika wyrównawczego dla rzeki Tralalka).

W 2005 roku w ramach Programu dla Odry – 2006 przeprowadzono modernizację istniejących wałów przeciwpowodziowych. Modernizacja miała na celu zabezpieczenie polderu Majdany przed zalewaniami wód w okresie wegetacyjnym oraz zapewnieniem sprawnego odprowadzania wód powodziowych po zalewach wiosennych. Modernizacja miała również na celu poprawę stanu technicznego wału, a co za tym idzie

ograniczenie prawdopodobieństwa awarii wału w trakcie wezbrania wegetacyjnego. Modernizacja wałów polegała na dogęszczeniu istniejącego wału, podniesieniu korony oraz wyprofilowaniu korpusu. Wzniesienie korony przyjęto zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dn. 20 grudnia 1996 r. w sprawie Warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane gospodarki wodnej i ich usytuowanie [13] na 0,5 m ponad wysokość wody miarodajnej o prawdopodobieństwie wystąpienia $p = 10\%$ (dla budowli klasy IV). Modernizacji podlegał również przelew wałowy Powiercie, dla którego dostosowano rzędną korony w celu zsynchronizowania jego pracy z przelewem Majdany (wykonanego w 1998 r.).

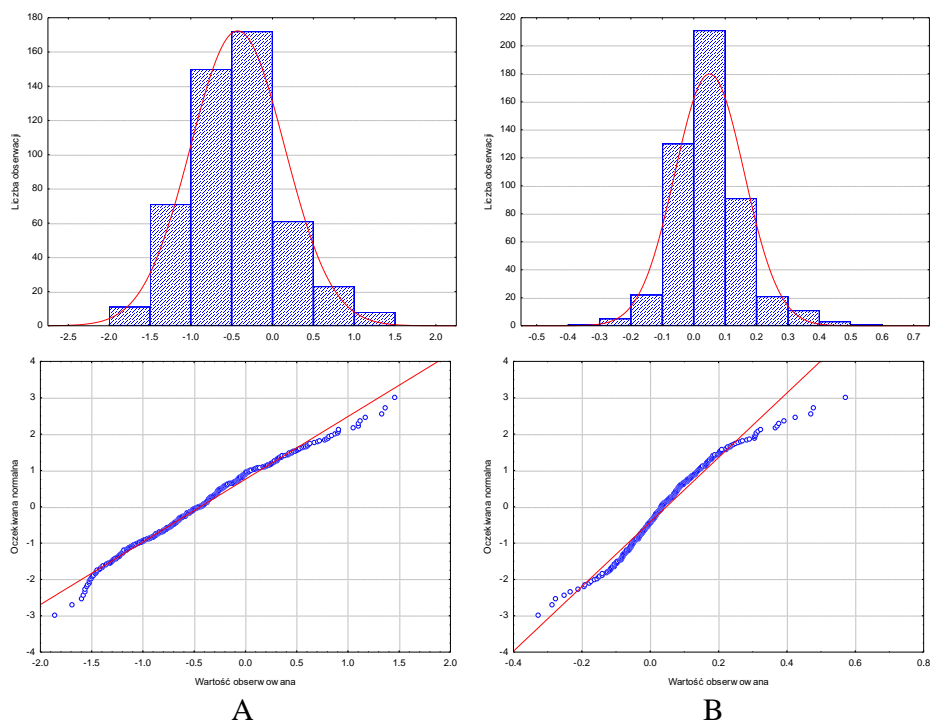


Rys. 1. Lokalizacja obiektu badań

Fig. 1. Study site location

3.2. Analiza dokładności NMT wałów

Analiza dokładności odwzorowania wałów na NMT-TIN wykazała, że rozkład błędów na rozpatrywanym odcinku wałów odpowiadał rozkładowi normalnemu (rys. 2).



Rys. 2. Histogramy i wykresy normalności błędów odwzorowania wałów na NMT; A – NMT-TIN i B – NMT-LIDAR

Fig. 2. Histogram and normal Q-Q plots for the distribution of errors for embankments; A – NMT-TIN and B – NMT-LIDAR

Wielkości błędów wahały się w granicy od -1,86 m do 1,46 m (tab. 3). Najczęściej na wybranym fragmencie wału występowały błędy z przedziału od -1,0 do 0, które stanowiły około 65%. Średni błąd kwadratowy odwzorowania wałów RMSE wynosi 0,72 m, w tym błąd systematyczny ME -0,44 m a błąd przypadkowy SD 0,57 m. Analiza przestrzennego rozkładu błędów wykazała, że najlepiej na NMT-TIN odzwierciedlona była korona wału, natomiast najwyższe błędy występowały w miejscach przejazdów wałowych oraz po stornie odpowietrznej wa-

łu gdzie występuje ławeczka o szerokości 2,5 m. Zdecydowanie dokładniej wały zostały przedstawione na NMT uzyskanym na podstawie pomiarów z lotniczego skaningu laserowego NMT-LIDAR. Błędy numerycznego modelu terenu odpowiadały rozkładowi normalnemu. Wielkości błędów wahały się od -0,33 m do 0,57 m. Najczęściej na rozpatrywanym fragmencie wałów występowały błędy z przedziału -0,1 m do 0,1 m, które stanowiły około 85%. Średni błąd kwadratowy RMSE wałów wynosi 0,12 m przy błędzie systematycznym ME 0,05 m i błędzie przypadkowym SD 0,12 m.

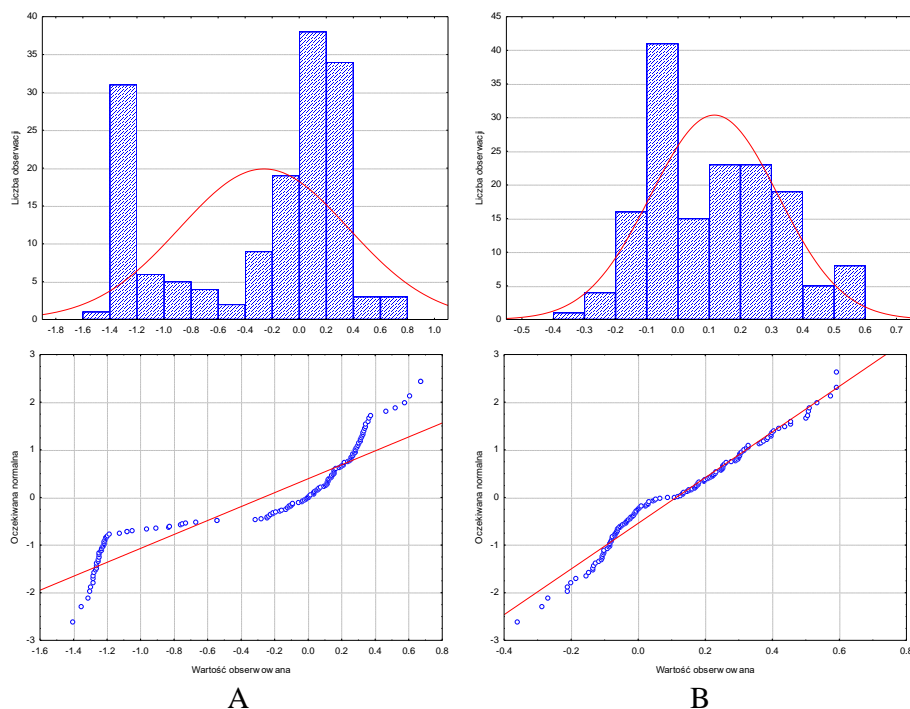
Analiza przestrzennego rozkładu błędu na analizowanym fragmencie wału wykazała, że korona wału była obciążona najmniejszymi błędami które nie przekraczały najczęściej wartości z przedział od -0,2 do 0,2 m. Wyższe błędy występowały u podstawy wału zarówno od strony odwodnej i odpowietrznej. W obu przypadkach odwzorowane wały na numerycznych modelach terenu obciążone były błędem systematycznym w związku z tym istnieje możliwość poprawienia ich odwzorowania przy wykorzystaniu dostępnych narzędzi w programie ArcGIS.

Tabela 3. Wielkości błędów odwzorowania wałów na NMT-TIN i NMT-LIDAR
Table. 3. Result of a embankments NMT-TIN and NMT-LIDAR evaluation

Miara błędu	Jednostka	Wał	
		TIN	LIDAR
Min	m	-1,86	-0,33
Max	m	1,46	0,57
RMSE	m	0,72	0,12
SD	m	0,57	0,11
ME	m	-0,44	0,05

3.3. Analiza dokładności NMT przewalów

Odmienną sytuację zaobserwowano na przewale wałowym. Rozkłady błędów na przewale zarówno na NMT-TIN oraz NMT-LIDAR odbiegały od rozkładu normalnego (rys. 3). W związku z tym analiza dokładności została wykonana według metodyki zaproponowanej przez Höhle i Höhle [8], która pozwalała na lepszy opis dokładności odwzorowania przewalów wałowych na NMT.



Rys. 3. Histogramy i wykresy normalności błędów odwzorowania przelewów wałowych na numerycznych modelach terenu A – NMT-TIN i B – NMT-LIDAR
Fig. 3. Histogram and normal Q-Q plots for the distribution of errors for embankments control structure; A – NMT-TIN and B – NMT-LIDAR

W przypadku NMT-TIN zaobserwowano, że przewał wałowy nie został praktycznie uwzględniony. Wielkości błędów były niższe od tych notowanych na wałach i wahały się w zakresie od -1,40 do 0,67 m (tab. 4). Najczęściej w miejscu rozpatrywanego przewalu wałowego występowały błędy z zakresu od -0,2 do 0,4 m i stanowiły 59%. Z częstotliwością 20%; występowały błędy z zakresu od -1,4 do -1,2 m. Analiza rozkładu błędów na poszczególnych elementach przewalu wałowego wykazała, że największy błąd występuje na koronie, wartości bezwzględne błędów wahały się najczęściej w granicy od 1,0 do 1,4 m, co potwierdza przypuszczenie, że na NMT-TIN przewał nie został uwzględniony. Zdecydowanie mniejsze błędy występowały w miejscu skarp odwodnej i odpowietrznej, niecki wypadowej i progu gdzie błędy na ogół wynosiły $\pm 0,4$ m. Błędy bezwzględne z zakresu od 0,4 do 1,0 m występowały na

początku i końcu przewał wałowego w miejscu połączenia z wałem. Wartość błędu odwzorowania przewał wałowego na NMT-TIN obliczona jako bezwzględne odchylenie do mediany NMAD wynosi 0,41 m, a błędy z zakresu $\pm 0,6$ m występowały z częstotliwością 68%.

Tabela 4. Wielkości błędów odwzorowania przewałów wałowych na NMT w postaci TIN i LIDAR

Table. 4. Result of a embankments control structure NMT-TIN and NMT-LIDAR evaluation

Miara błędu	Jednostka	Przewał	
		TIN	LIDAR
Min	m	-1,40	-0,36
Max	m	0,67	0,59
$\check{Q}_{\Delta h}(0,5)$	m	0	0,11
NMAD	m	0,41	0,24
$\check{Q}_{ \Delta h }(0,683)$	m	0,61	0,23
$\check{Q}_{ \Delta h }(0,95)$	m	1,27	0,46

Nieco gorzej niż wały został przedstawiony na NMT-LIDAR przewał wałowy. Wielkości błędów wahały się w zakresie od -0,36 do 0,59 m (tab. 4). Rozkład błędów odbiega od rozkładu normalnego i charakteryzuje się lekką asymetrią prawostronną. Najczęściej wielkości błędu na rozpatrywanym przewale wałowym wahały się w granicach od -0,1 do 0 m i stanowiły około 26%, natomiast błędy z zakresu od 0,1 do 0,3 m stanowiły 29%. Analiza przestrzennego rozkładu błędu wykazała, że najlepiej na numerycznym modelu terenu został odzwierciedlony próg na niecce wypadowej wartości bezwzględne błędu nie przekraczały 0,1 m nieco większe błędy występowały na koronie przewał jednak nie przekraczały wartości z zakresu $\pm 0,2$ m. Największe błędy występowały na skarpach przewał zarówno od strony odwodnej i odpowietrznej. Znormalizowane odchylenie bezwzględne od mediany NMAD odwzorowania przewałów na NMT-LIDAR wynosi 0,11 m, a wielkości błędów w 68% mieściły się w zakresie $\pm 0,23$ m.

Z praktycznego punktu widzenia bardzo ważne jest prawidłowe odzwierciedlenia przelewów wałowych, szczególnie korony przelewu, która decyduje o momencie rozpoczęcia pracy polderu podczas występowania powodzi w dolinie rzeki Warty, czasie napełniania polderu oraz wydatku samej budowli.

4. Podsumowanie

Dokładność odwzorowania korony zarówno wałów przeciwpowodziowych jak i przelewów wałowych jest szczególnie istotna przy wyznaczaniu powierzchni i objętości polderu, a zwłaszcza do budowy modelu służącego do analizy pracy polderu przy przejściu fali wezbraniowej. Wyznaczone rzędne korony przelewów determinować będą moment, w którym zaczną one pracować i rozpocznie się napełnianie polderu. Niewłaściwe wyznaczenie rzędnych korony przelewów powodować może błędne oszacowanie ścięcia fali powodziowej przez polder (np. poprzez zaniżoną objętość polderu). Błędy te mogą przenosić się dalej, co może niekorzystnie wpłynąć na prognozowanie przejścia fali powodziowej przez tereny leżące poniżej polderu.

W pracy wykazano, że jakość danych wysokościowych do modelowania wałów oraz przelewów wałowych, pozyskanych z NMT dla tych elementów systemów ochrony przeciwpowodziowej jest zazwyczaj niewystarczająca. W niektórych przypadkach (NMT-TIN) nie można właściwie mówić o modelowaniu przewałów. Błędy NMT-LIDAR w granicach 0,3 m dla praktycznie też wykluczają je do modelowania wałów oraz przelewów wałowych. W związku z tym, o ile generowanie NMT na podstawie powyższych danych źródłowych (LIDAR, czy też zdjęć lotniczych) jest dopuszczalne – mówimy tu tylko o topografii terenu polderu, to bazowanie na powyższych danych w celu oszacowania objętości polderu i modelowania pracy polderu jest już niedopuszczalne ze względu na dość duże błędy odwzorowania wałów oraz przelewów wałowych. Konieczne jest tutaj poprawienie powyższych NMT chociażby poprzez bezpośrednie pomiary terenowe np. GPS samych wałów i przelewów wałowych.

Niniejsza praca zrealizowana i sfinansowana została w ramach projektu badawczego nr 7449/B/T02/2011/40

Literatura

1. **Anderson E. S., Thompson J. A., Crouse D. A., Austin R. E.:** *Horizontal resolution and data density effects on remotely sensed LIDAR-based DEM.* Geoderma, Volume 132, Issues 3–4, 406–415 (2006).
2. **Ardiansyah P. O. D., Yokoyama R.:** *DEM generation method from contour lines based on the steepest slope segment chain and a monotone interpolation function.* ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 57, Issues 1–2, 86–101 (2002).

3. **Caviedes-Voulliéme D., García-Navarro P., Murillo J.:** *Influence of mesh structure on 2D full shallow water equations and SCS curve number simulation of rainfall/runoff events*, Journal of Hydrology, Available online 16 April 2012.
4. **Coveney S., Fotheringham A.S., Charlton M., McCarthy T.:** *Dual-scale validation of a medium-resolution coastal DEM with terrestrial LiDAR DSM and GPS*. Computers & Geosciences, Volume 36, Issue 4, 489–499 (2010).
5. **Hashimoto T.:** *DEM generation from stereo AVNIR images*. Advances in Space Research, Volume 25, Issue 5, 931–936 (2000).
6. **Hengl T., Gruber S., Shrestha D.P.:** *Reduction of errors in digital terrain parameters used in soil-landscape modeling*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Volume 5, Issue 2, 97–112 (2004).
7. **Hladik Ch., Alber M.:** *Accuracy assessment and correction of a LIDAR-derived salt marsh digital elevation model*. Remote Sensing of Environment, Volume 121, 224–235 (2012).
8. **Höhle J., Höhle M.:** *Accuracy assessment of digital elevation models by means of robust statistical methods*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 64, 398–406 (2009).
9. **Horritt M.S., Bates P.D., Mattinson M.J.:** *Effects of mesh resolution and topographic representation in 2D finite volume models of shallow water fluvial flow*. Journal of Hydrology, Volume 329, Issues 1–2, 306–314 (2006).
10. **Kornus W., Alamús R., Ruiz A., Talaya J.:** *DEM generation from SPOT-5 3-fold along track stereoscopic imagery using autocalibration*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 60, Issue 3, 147–159 (2006).
11. **Li J., Wong D. W. S.:** *Effects of DEM sources on hydrologic applications*. Computers, Environment and Urban Systems, Volume 34, Issue 3, 251–261 (2010).
12. Projekt budowlano-wykonawczy „Polder Majdany – podwyższenie wału prawostronnego rzeki Ner i Warty gm. „Dąbie” – Hydroprojekt 2002.
13. Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dn. 20 grudnia 1996 r. w sprawie Warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane gospodarki wodnej i ich usytuowanie. Dz. Ustaw nr 21 poz. 111 z dn. 20 grudnia 1996 r.
14. **Shafique M., van der Meijde M., Kerle N., van der Meer F.:** *Impact of DEM source and resolution on topographic seismic amplification*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Volume 13, Issue 3, 420–427 (2011).

15. **Sroka Z., Walczak Z., Wosiewicz B.J.:** *Analiza ustalonych przepływów wód gruntowych metodą elementów skończonych. Oprogramowanie inżynierskie.* Wydawnictwa Akademii Rolniczej im. Augusta Cieszkowskiego w Poznaniu, Poznań, 178, (2004).
16. **Suárez J.P., Plaza A.:** *Four-triangles adaptive algorithms for RTIN terrain meshes.* Mathematical and Computer Modelling, Volume 49, Issues 5–6, 1012–1020 (2009).
17. **Taud H., Parrot J.-F., Alvarez R.:** *DEM generation by contour line dilation.* Computers & Geosciences, Volume 25, Issue 7, 775–783 (1999).
18. **Tinghua Ai, Jingzhong Li.:** *A DEM generalization by minor valley branch detection and grid filling.* ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 65, Issue 2, 198–207 (2010).
19. **Vaze J., Teng J., Spencer G.:** *Impact of DEM accuracy and resolution on topographic indices,* Environmental Modelling & Software, Volume 25, Issue 10, 1086–1098 (2010).
20. **Xie K., Wu Y., Ma X., Liu Y., Liu B., Hessel R.:** *Using contour lines to generate digital elevation models for steep slope areas: a case study of the Loess Plateau in North China,* CATENA, Volume 54, Issues 1–2, 161–171 (2003).
21. **Zhou Q., Chen Y.:** *Generalization of DEM for terrain analysis using a compound method,* ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 66, Issue 1, 38–45 (2011).

Assessment of Mapping of Embankments and Control Structure on Digital Elevation Model Based upon Majdany Polder

Abstract

The aim of this study was to assess the accuracy of mapping of embankments and embankments control structure as the most important elements affecting the Majdany polder hydraulic characteristics. The polder was built between 1965 and 1969 years as part of the drainage valley Tralalka. Area of the polder is equal to around 580 hectares. Capacity is equal up to 3.7 million m³. The polder is located about 4 km southeast of the city Kolo, in the valleys of the Warta, Ner and Rgilewka river network. The paper presents an analysis of the accuracy of the available digital elevation models (DEM) for Majdany polder in TIN format, which were worked out in 2009 on a scale 1:10 000. DEM worked out in 2011 based up on LIDAR data is presented in a scale 1:2 500. DEM in 2009 was worked out on the basis of aerial photographs in the scale of 1:26 000 and is available in the form of TIN, and LIDAR DTM-made ISOK project was based on

airborne laser scanning (LIDAR) and it is available in LAS format. An assessment was carried out in the section embankments about 1.4 kilometers representing 21% of the total length of the embankments on the polder and one of embankment control structure 218 m in length. A total of 651 measurements with Sokkia GPS was done including 496 and 155 measurements on embankment and control structure respectively. DEM accuracy assessment was performed separately for embankments and control structures. Due to the fact that the distribution of errors of embankments was close to a normal distribution, the following statistical measures were used: Root Mean Square Error (RMSE), mean error (ME) average and standard deviation (SD). Due to the fact that the distribution of the error for embankment control structure on DEM significantly deviates from a normal distribution robust statistical methods like: median, Normalized Median Absolute Deviation (NMAD), 68.3% and 95% quartile was applied.

The study showed that the data quality obtained from DEM are usually not sufficient for modeling embankment and control structure. Therefore, if the DEM generate the above data source (LIDAR or aerial images) is acceptable – talking only of polder topography, in order to estimate the volume and modeling its work unacceptable due to the relatively large errors in the mapping embankment control structures. It is necessary improve these DEM even by direct measurements of the same terrain such as GPS-RTK devices.