

TECHNOLOGIE GEOMATYCZNE W ANALIZACH ZJAWISK WODNYCH NA PRZYKŁADZIE LKP „SUDETY ZACHODNIE”

Radomir Bałazy, Paweł Strzeliński, Tomasz Zawila-Niedźwiecki

Abstrakt

W latach 2007–2008 dla obszaru Leśnego Kompleksu Promocyjnego Sudety Zachodnie (Nadleśnictwo Szklarska Poręba i Nadleśnictwo Świeradów), w ramach projektu „Koordynacyjne Centrum Edukacji i Promocji Przyrodniczo-Leśnej w Świeradowie Zdroju”, realizowanego ze środków UE (InterReg IIIA) oraz Lasów Państwowych, wykonano szereg prac mających na celu rozbudowę istniejącego systemu informacji przestrzennej. Zastosowane nowoczesne technologie geomatyczne pozwoliły na uzyskanie m.in. wysokorozdzielczej ortofotomapy, numerycznego modelu terenu i numerycznego modelu pokrycia terenu oraz szczegółowej ewidencji sieci dróg. Wszystkie powstające w ramach projektu opracowania są zgodne ze standardem Leśnej Mapy Numerycznej.

Dla ortofotomapy przyjęto rozdzielczość terenową nie gorszą niż 15 cm, z geokodowaniem w obowiązujących układach współrzędnych geograficznych (PUWG 1992, 2000, Kronsztad 1986). W tym celu wykonane zostały cyfrowe zdjęcia lotnicze o pikselu 14 cm, z rejestracją kanałów R, G, B i NIR oraz pokryciu stereoskopowym.

Podstawą do opracowania numerycznego modelu terenu i numerycznego modelu pokrycia terenu stał się lotniczy skaniny laserowy o rozdzielczość 4 pkt/m².

Uzyskane materiały pozwoliły na opracowanie fotorealistycznego modelu terenu, w którym zintegrowano cyfrową ortofotomapę ze skanowaniem laserowym. Przy inwentaryzacji sieci dróg (z uwzględnieniem całego pasa drogi) założono m.in., że osie dróg (poprzez pomiar współrzędnych x, y) wyznaczone będą w interwałach nie większych niż 8 m, a dopuszczalny błąd pomiaru współrzędnych wyniesie nie więcej niż 1 m. Do tego celu zastosowano technologię mobilnego kartowania (Mobile Mapping System). Zasilenie opisanymi materiałami, istniejącego już od roku 2007, systemu informacji przestrzennej nadleśnictw sudeckich umożliwiło wykonanie szeregu analiz i prognoz.

Niniejsza praca przedstawia symulacje zagrożenia powodziowego dla wybranych terenów z obszaru Nadleśnictwa Świeradów. W tym celu zinwentaryzowano wszystkie ciek wodne oraz tzw. stare rowy melioracyjne (głównie dla terenu Rezerwatu Torfowiska Doliny Izery oraz jego sąsiedztwa), a następnie dokonano korekty ich przebiegu na warstwach Leśnej Mapy Numerycznej. W symulacji zagrożenia powodziowego uwzględniono również szkody już powstałe na analizowanym ob-

szarze w ostatnich latach. Dane te pozwoliły także na zaprojektowanie nowego szlaku turystycznego, głównie w kontekście zagrożenia erozją (osuwiska skarp w miejscach intensywnie penetrowanych przez turystów). Do analiz wykorzystano m.in. oprogramowanie ArcGIS (ESRI) oraz Quick Terrain Modeler (Applied Imagery).

GEOMATICS TECHNOLOGIES IN HYDROGRAPHICAL ANALYSES – CASE STUDIES BASED ON SOUND ECOLOGY PROMOTIONAL FOREST “WESTERN SUDETY MOUNTAINS”

Abstract

In 2007–2008 development of spatial information system for Sound Ecology Promotional Forest (LKP) “Western Sudety Mountains” (Szklarska Poręba and Świeradów forest districts) was carried out. Works were financed by EU InterReg IIIA program and Polish State Forest Organisation (LP). Application of new geomatics technologies allowed producing high resolution orthophotomap, digital elevation model (DEM) and digital surface model (DSM) as well as precise inventory of forest road network.

The orthophotomap (based on stereo R, G, B, NIR aerial photography of 14 cm pixel size) is characterised by ground resolution of 15 cm and is coded according to state projection systems (PUWG 1992, 2000 and Kronsztad 1986).

DEM and DSM were created on the basis of aerial laser scanning of resolution of 4 points/m² and then integrated with orthophotomap.

Road network inventory was done with the use of Mobile Mapping System (MMS), with road axis coordinates measurements of consecutive sections not longer than 8 m, with location error not higher than 1 m.

Integration of mentioned data into existing spatial information system allows making several analyses and prognoses. This paper presents simulation of flooding and erosion risk prepared for a part of Świeradów Forest District. ArcGIS (ESRI) and Quick Terrain Modeler (Applied Imagery) were used.

Wstęp

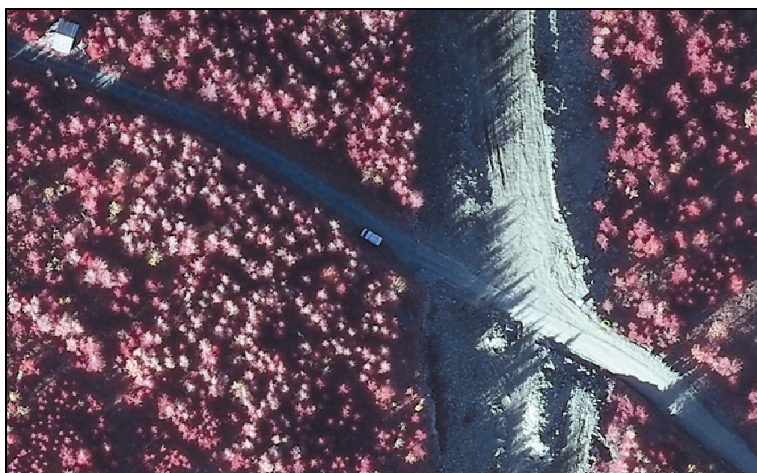
Powszechny dostęp do środków masowego przekazu jest standardem naszych czasów, w których informacja stała się cennym towarem. Poprzez tworzenie wirtualnych modeli rzeczywistości informacja stała się podstawą podejmowania decyzji menagerskich. Możliwości kształtowania tych modeli ograniczone są jedynie wyobraźnią projektantów i mocą obliczeniową stosowanych komputerów (Davis 2004, Longley et al. 2006). Postęp technologiczny w tej dziedzinie nie ominął również gospodarki leśnej, dla której wielkoobszarowe analizy mają znaczenie szczególne (Chirrek et al. 2007, Zawila-Niedźwiecki i Strzeński 2006). Ostatnio najnowsze technologie geomatyczne zostały zastosowane na obszarze Leśnego Kompleksu Promocyjnego Sudety Zachodnie. Obszar ten, obejmujący większą część Gór Izerskich wchodzi w skład nadleśnictw Świeradów i Szklarska Poręba.

Od czerwca 2005, w Nadleśnictwie Świeradów, realizowany jest, w ramach Programu InterReg IIIA, projekt pt.: „Koordynacyjne Centrum Edukacji i Promocji Przyrodniczo-Leśnej w Świeradowie Zdroju”. W ramach tego projektu zaplanowano rozbudowę istniejącego systemu informacji przestrzennej. Obejmuje ona m.in. wysokorozdzielczą ortofotomapę, numeryczny modelu terenu (NMT) i numeryczny modelu pokrycia terenu (NMPT) oraz szczegółową ewidencję sieci dróg. Wszystkie powstające w ramach projektu opracowania są zgodne ze standardem Leśnej Mapy Numerycznej i obejmują zasięg administracyjny obu nadleśnictw (Nadleśnictwo Szklarska Poręba finansuje projekt ze środków Funduszu Leśnego), czyli prawie 80 tys. ha.

Wykorzystane technologie

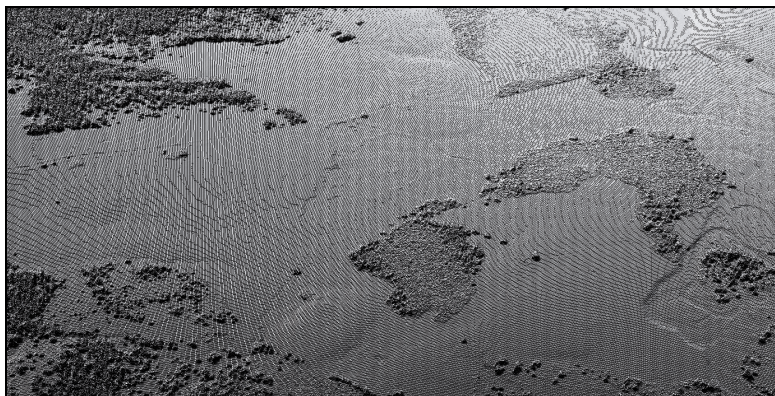
Do realizacji projektu, w części obejmującej stworzenie precyzyjnej mapy całego terenu, wykorzystano trzy odrębne technologie geomatyczne:

- 1) Cyfrowe zdjęcia lotnicze w kanałach RGB i NIR z 12 bitową głębią kolorów na każdy kanał i 14 cm pikselem oraz stworzoną na ich podstawie ortofotomapą w układzie współrzędnych geograficznych 1992 i 2000, o średnim błędzie poniżej 30 cm (fot. 1).



Fot. 1. Fragment budowanej nartostrady na zdjęciu lotniczym w barwach nierzeczywistych
Photo 1. A part of ski trail seen on IRC aerial photograph

- 2) Lotniczy skaningu laserowy o minimalnej rozdzielczości 4 pkt/m² i minimalnej dokładności $x, y = 40$ cm, $z = 15$ cm. Dane ze skaningu zostały przetworzone na postać NMT i NMPT wraz z odrębnymi klasami budynków i roślinności, w układach współrzędnych geograficznych 1992 i 2000 (ryc. 1).



Ryc. 1. Obraz chmury punktów z lotniczego skaningu laserowego
Fig. 1. Cloud of points of aerial laser scan

- 3) System kartowania MMS (Mobile Mapping System) obejmujący dokumentację fotograficzną w formie cyfrowych zdjęć o pokryciu stereoskopowym, z interwałem wynoszącym co najmniej 8 m, o minimalnej rozdzielczości 1024×768 oraz szczegółową inwentaryzacją pasa drogowego wraz rejestracją trasy przejazdu przy pomocy DGPS (fot. 2).



Fot. 2. Samochód wykorzystywany do inwentaryzacji dróg metodą MMS.

Na zdjęciu pojazd firmy TeleAtlas (fot. R. Bałazy)

Photo 2. Photogrammetry car used for road network inventory by MMS technology

Wykorzystane w obu nadleśnictwach technologie, pozwoliły m.in. na budowę modeli fotorealistycznych (ryc. 2), które zachowują wszystkie cechy mapy, jak odwzorowanie kartograficzne czy skalowalność.



Ryc. 2. Przykład numerycznego modelu pokrycia terenu z „nałożoną” ortofotomapą – fotorealistyczny model terenu
Fig. 2. Example of digital surface model with orthophotomap overlaid on it

Przeprowadzone analizy

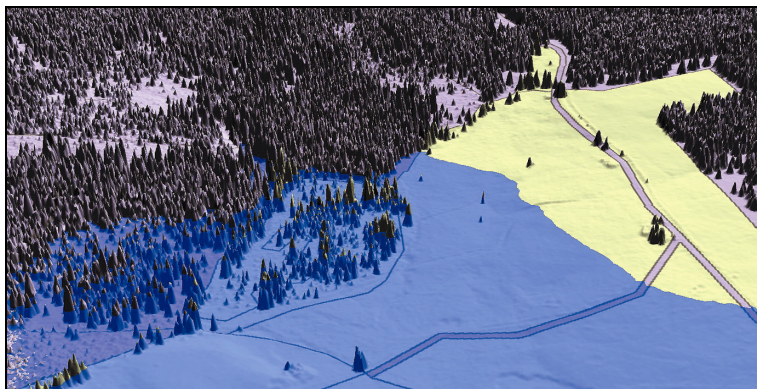
Trudno na obecnym etapie oceniać opłacalność wszystkich wymienionych technologii wykorzystanych w Nadleśnictwie Świeradów. Przedstawione analizy są zaledwie próbą wykorzystania możliwości dokładnych modeli terenu w analizach hydrologicznych i pracach projektowych związanych z inżynierią wodną.

Do analiz wybrano cztery różne lokalizacje i cztery różne problemy związane z „wodą w lesie”:

- 1) Symulacja zalania fragmentu drzewostanu znajdującego się w Dolinie Izery – terenu często nękanego przez powodzie.
- 2) Symulacja budowy zastawki na jednym z potoków Rezerwatu „Torfowiska Doliny Izery” – miejsca gdzie próbuje się odtworzyć (poprzez m.in. zastawki) zakłócone przez człowieka stosunki wodne.
- 3) Symulacja zalania szkółki leśnej w Nadleśnictwie Świeradów – analiza, której celem była próba odtworzenia sytuacji powodziowej z roku 2006, czyli zweryfikowanie dokładności i użyteczności wykorzystywanego modelu w symulowaniu zjawisk.
- 4) Analiza potencjalnej erozji w masywie „Stogu Izerskiego” w kontekście projektowanej ścieżki edukacyjnej.

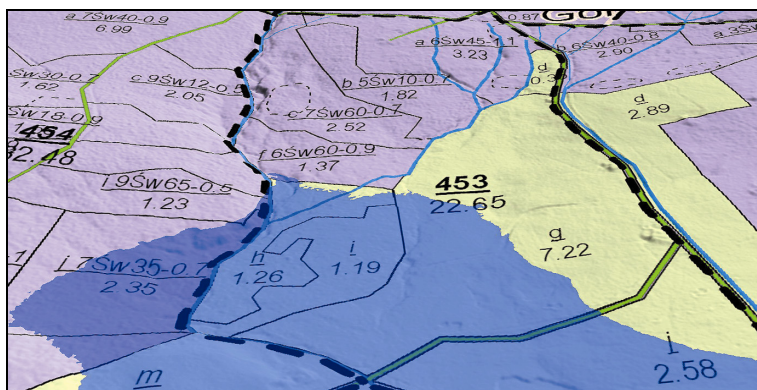
Symulacja zalania fragmentu drzewostanu znajdującego się w Dolinie Izery

Dolina rzeki Izery co najmniej raz w roku, zwykle podczas wiosennych roztopów, zalewana jest wodą. Trudno wymagać od Nadleśnictwa prowadzenia szeroko zakrojonych, a w związku z tym bardzo kosztownych akcji przeciwpowodziowych. Nie można również oczekiwać, że las będzie miał podczas powodzi wyższy priorytet niż zalewane wioski i miasta, gdzie zagrożone jest życie ludzkie. Można natomiast pokusić się o, w miarę dokładne, szacowanie szkód w drzewostanach zalewanych lub określić zasięg terenów zagrożonych uszkodzeniami.



Ryc. 3. Przykład zalania obszaru leśnego na numerycznym modelu powierzchni terenu z nałożoną „hybrydą” mapy gospodarczej i przeglądowej

Fig. 3. Flooding visualisation on digital surface model with forest map superimposed



Ryc. 4. Przykład zalania obszaru leśnego na numerycznym modelu pokrycia terenu z nałożonymi wybranymi warstwami LMN

Fig. 4. Flooding visualised on digital surface model with forest digital map superimposed

Na kolejnych rycinach przedstawiono wizualizacje wysokiego stanu wody (w obu przypadkach zarówno stan wody jak i rzut są identyczne): jedna przedstawia teren zalany, którego podstawą jest numeryczny model terenu z nałożoną „hybrydą” mapy przeglądowo-drzewostanowej (ryc. 3), druga ukazuje numeryczny model powierzchni pokrycia terenu i wybrane warstwy Leśnej Mapy Numerycznej (ryc. 4).

Niewątpliwą zaletą symulacji powodziowych przeprowadzanych na modelach terenu jest ich dokładność oraz krótki czas opracowywania, tak ważny w sytuacjach kryzysowych. W połączeniu z różnymi wariantami wizualizacji, wstępna analiza szkód jest znacznie łatwiejsza.

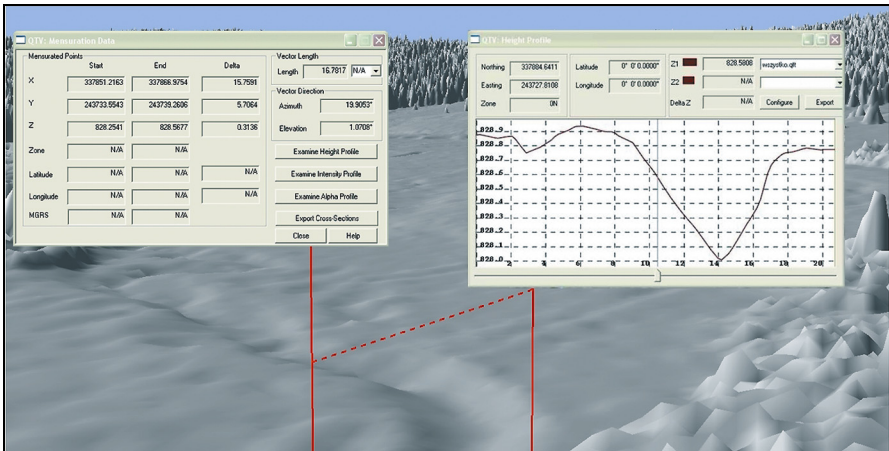
Symulacja budowy zastawki na potoku w Rezerwacie „Torfowiska Doliny Izery”

Kolejną próbą wykorzystania modeli terenu, była budowa „wirtualnej zastawki”. Na potrzeby analizy, wybrano fragment Rezerwatu „Torfowiska Doliny Izery”, który wymaga poprawy warunków wodnych (ryc. 5).



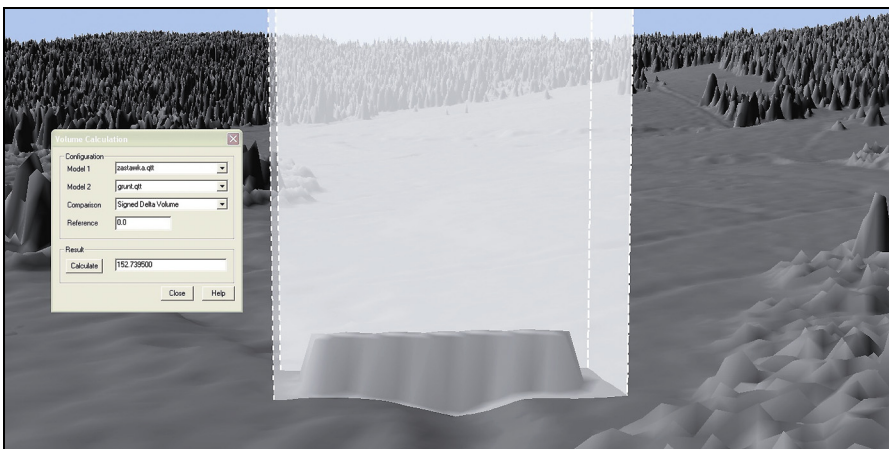
Ryc. 5. Fragment rezerwatu „Torfowiska Doliny Izery” przedstawiony na fotorealistycznym modelu terenu
Fig. 5. A part of “Izera Valley Peatbog” Reserve visualised with the digital terrain model and orthophotomap

Dokładność modeli zbudowanych na podstawie skaningu laserowego, umożliwia precyzyjną analizę przekroju koryta potoku (ryc. 6). Dzięki kalibracji danych wyjściowych do układu współrzędnych wysokościowego (Kronsztad 1986) i płaskich (możliwe zastosowanie układów: PUWG 1992 oraz 2000) wyniki otrzymano w wysokości bezwzględnej oraz w postaci zapisu długości i szerokości geograficznej. Oczywiście możliwa jest też weryfikacja danych w wybranych jednostkach długości i objętości.



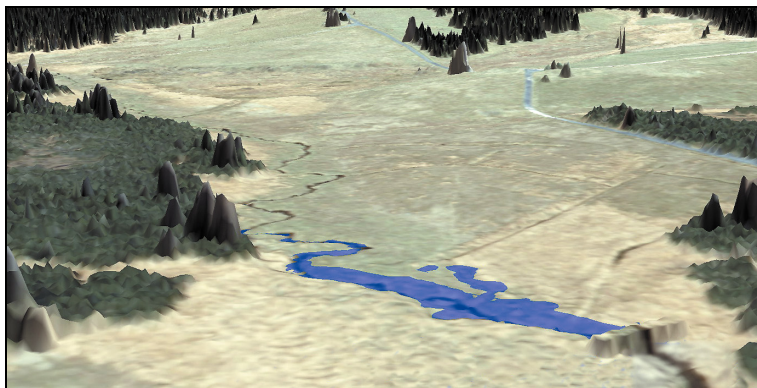
Ryc. 6. Wybrane parametry koryta strumienia, jak przekrój poprzeczny oraz wysokości i odległości punktów skrajnych w miejscu planowanej budowy zastawki
Fig. 6. Example of parameters of water-course in the planned sluice gate location

Kolejnym etapem prac projektowych była symulacja spiętrzenia wody poprzez wybudowanie zastawki. Wirtualną budowlę celowo przejawskawiono (wys. ~2 m, szer. ~2 m, dł. ~20 m) do nienaturalnych rozmiarów, by lepiej zaprezentować analizę. Skorygowany w ten sposób wał ziemny pomierzono, obliczając jego objętość względem pierwotnego modelu terenu (ryc. 7).



Ryc. 7. Wybudowana „wirtualna zastawka” oraz pomiar jej objętości
Fig. 7. Virtual sluice gate with soil volume calculation

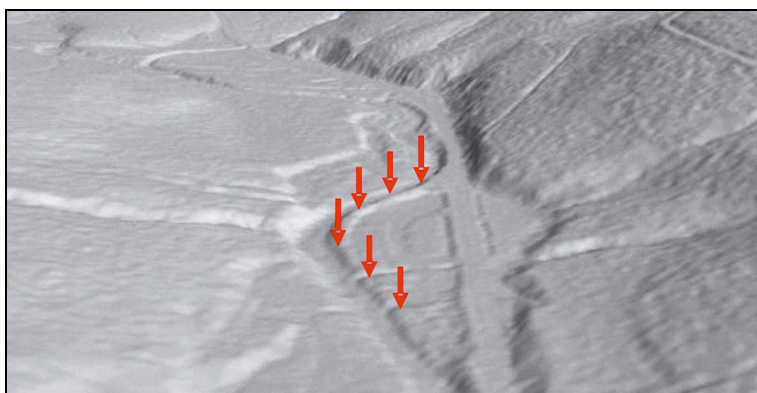
Końcowym elementem przeprowadzonej analizy była symulacja zalania wybranego fragmentu wodą w taki sposób, by sprawdzić obszar potencjalnego spiętrzenia (ryc. 8).



Ryc. 8. Symulacja potencjalnego spiętrzenia wody na analizowanym fragmencie strumienia
Fig. 8. Simulation of water-course level dammed up by sluice gate

Symulacja powodzi na terenie szkółki leśnej w Nadleśnictwie Świeradów

Trzecią z przeprowadzonych symulacji była próba odtworzenia stanu wody, jaki miał miejsce na terenie szkółki leśnej podczas powodzi w sierpniu 2006 roku. Celem tej retrospektywnej analizy była ocena dokładności modelu. Ponieważ latem 2007 roku wybudowano wał przeciwpowodziowy (skaning laserowy miał miejsce jesienią 2007), proces symulacji rozpoczęto od usunięcia wału ziemnego z numerycznego modelu terenu (ryc. 9).



Ryc. 9. Lokalizacja wału ziemnego wybudowanego latem 2007 roku
Fig. 9. Location of protection dam constructed in summer 2007

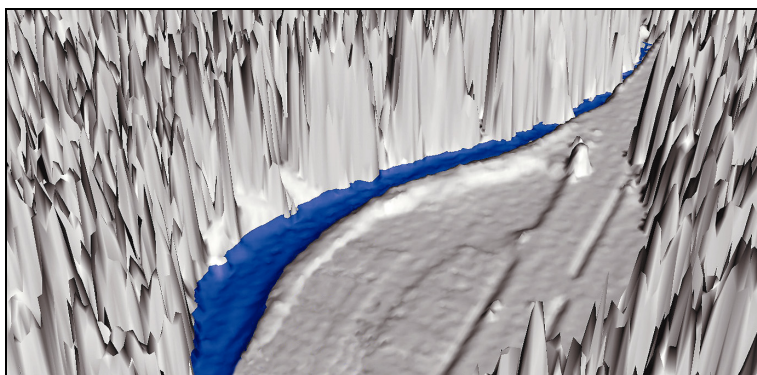
Po korekcie terenu dokonanego w celu odtworzenia stanu z roku 2006, dodano warstwę roślinności i „zalano” fragment szkółki leśnej „falą powodziową”, starając się by jej poziom odpowiadał stanowi faktycznemu. Do sprawdzenia dokładności symulacji wykorzystano archiwalne zdjęcie z 6 sierpnia 2006 roku i porównano sfotografowany obszar z wynikiem analizy (ryc. 10). Dokładność odwzorowania jest wysoka. Już pobieżna ocena zalanego fragmentu pozwala sądzić, że dokładność modelu w tym miejscu była wyższa od zakładanych w specyfikacji (40 cm w osi x , y i 15 cm w osi z).

Kolejną symulacją wykonaną dla terenu szkółki było ponowne przywrócenie istniejącego wału przeciwpowodziowego i podniesienie wody w Rzece Kwisie (ryc. 11). Udowodniła ona, że wysokość wału zabezpiecza szkółkę przed falą powodziową.



Ryc. 10. Porównanie stanu wody na symulacji ze zdjęciem archiwalnym przedstawiającym faktyczny stan powodziowy

Fig. 10. Comparison between simulated level of dammed up water and archived photograph taken during flooding

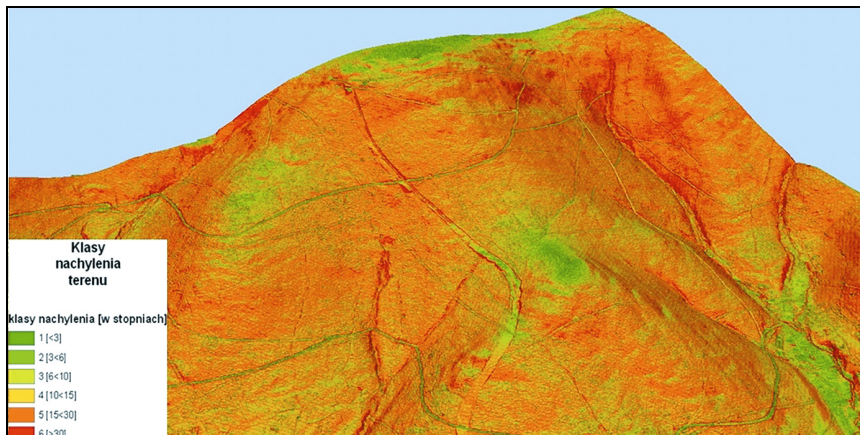


Ryc. 11. Podniesienie stanu wody w Kwisie z „przywróconym” wałem przeciwpowodziowym

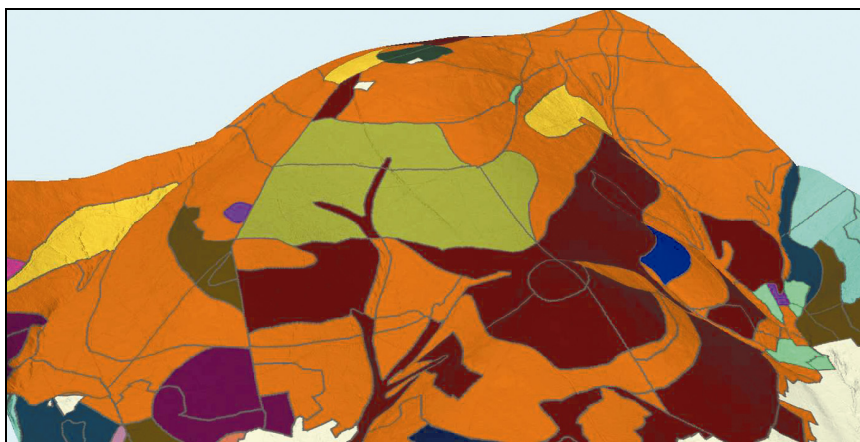
Fig. 11. Dammed up water-course on the model with protection dam

Analiza potencjalnej erozji w masywie „Stogu Izerskiego”

Ostatnią z wykonanych analiz, była próba oceny potencjalnej erozji w rejonie masywu „Stogu Izerskiego” gdzie planowana jest ścieżka edukacyjna. Do przeprowadzenia symulacji wykorzystano numeryczny model terenu, na podstawie którego wyróżniono sześć klas nachylenia terenu (ryc. 12). Następnie na model nałożono mapę glebowo-siedliskową otrzymaną z BULiGL (ryc. 13).



Ryc. 12. Numeryczny model terenu z nałożonymi klasami nachylenia terenu
Fig. 12. Slope map derived from digital terrain model



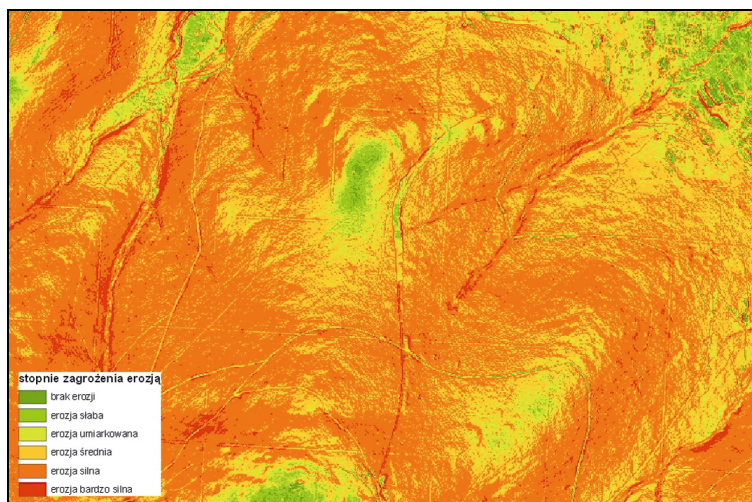
Ryc. 13. Numeryczny model terenu z nałożonymi poligonami reprezentującymi wierzchnie warstwy gleb
Fig. 13. Digital terrain model with soil types

Wszystkie występujące na tym obszarze gatunki gleb przeanalizowano pod kątem ich przynależności do grup granulometrycznych i podatności na erozję (tab. 1). Wynikiem klasyfikacji był model terenu z kolejną nałożoną warstwą, obrazującą podatność na erozję. Jak się okazało w analizowanym rejonie, wszystkie gatunki gleb przynależą do jednej grupy granulometrycznej.

Tab. 1. Klasyfikacja gleb ze względu na podatność na erozję (Jała i Cieślakiewicz, 2004)
Tab. 1. Erosion risk soil classification

Grupy granulometryczne gleb	Nachylenie terenu					
	<3°	3° < 6°	6° < 10°	10° < 15°	15° > 30°	>30°
	Stopnie zagrożenia gleb erozją					
	1	2	3	4	5	6
Utwory pyłowe zwykłe, piaski gliniaste (lekkie i mocne) pyłaste	1	2	3	4	5	6
Piaski gliniaste lekkie i mocne, gliny lekkie pyłaste, pyły ilaste, gliny lekkie i gliny średnie, gleby szkieletowe	0	1	2	3	4	5

Wynikiem dodawania dwóch warstw rastrowych: nachylenia terenu i przynależności do jednej z grup ze względu na zagrożenie erozją, była mapa obrazująca stopnie zagrożenia erozją (ryc. 14).



Ryc. 14. Mapa zagrożenia erozją
Fig. 14. Erosion risk map

Pokazuje ona, że przy tej klasie granulometrycznej, jednakowej dla całego analizowanego obszaru, mapa nachylenia jest prawie równoważna mapie erozji.

Podsumowanie

Pozyskanie dla Leśnego Kompleksu Promocyjnego Sudety Zachodnie cyfrowych zdjęć lotniczych oraz danych z lotniczego skaningu laserowego dało możliwość zasilenia istniejącego systemu informacji przestrzennej. Decyzja o minimalnych dokładnościach – zarówno w przypadku ortofotomapy, jak i numerycznego modelu terenu, okazała się o tyle trafna, że dała możliwość ich wykorzystania do analiz przestrzennych.

W kontekście nasilających się w ostatnich latach powodzi, szczególnego znaczenia nabiera możliwość analizowania szkód w oparciu o numeryczny model terenu z nałożoną warstwą ortofoto. Daje to podstawę nie tylko do np. oceny zasięgu fali powodziowej, ale także do wizualizacji konkretnych partii drzewostanów (a nawet pojedynczych drzew), które będą narażone na zalania i uszkodzenia.

Nieco bardziej zaawansowane analizy dotyczą projektowania budowli wodnych, np. w formie wałów przeciwpowodziowych.

Przedstawione w pracy przykłady zastosowania najnowszych technologii geomatycznych do analiz hydrologicznych na szczeblu nadleśnictwa pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- dokładność skaningu laserowego oraz zdjęć cyfrowych, zastosowana w realizowanym w Nadleśnictwie Świeradów projekcie, okazała się wystarczająca do przeprowadzenia symulacji zjawisk wodnych,
- synergiczne wykorzystanie różnych technologii geomatycznych pozwala na dużo dokładniejsze odtworzenie rzeczywistych warunków środowiskowych, a tym samym – na dokładniejsze modelowanie zjawisk i procesów hydrologicznych.

Literatura

- Chirrek M., Wencel A., Strzeliński P., Stereńczak K., Zasada M., Zawila-Niedźwiecki T. 2007. *Lotniczy skaning laserowy jako źródło danych dla systemu informacji przestrzennej nadleśnictwa*. Roczniki Geomatyki, t. V, z. 3, s. 19–28.
- Davis D.E. 2004. *GIS dla każdego*. Wydawnictwo MIKOM, Warszawa.
- Jała Z., Cieślakiewicz D. 2004. *Potencjalna erozja gleb w Karkonoskim Parku Narodowym*. [In:] Śtursa J., Mazurski K. R., Palucki A., Potocka J. (eds.), *Geoekologiczne problemy Krkonoś*. Mez. Věd. Konf., Listopad 2003, Szklarska Poręba. Opera Corcontica, 41: 66–73.
- Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D.W. 2006. *GIS. Teoria i praktyka*. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa.
- Zawila-Niedźwiecki T., Strzeliński P. 2006. *Systemy informacji przestrzennej w ochronie przyrody*. W: Gwiazdowicz D. (red.). *Gospodarka leśna a ochrona przyrody*, Poznań, Wyd. Ornatus, s. 145–165.

Radomir Bałazy¹⁾
Nadleśnictwo Świeradów
radomir.balazy@wroclaw.lasy.gov.pl

Paweł Strzełiński²⁾
Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Katedra Urządzania Lasu
strzelin@up.poznan.pl

Tomasz Zawila-Niedźwiecki³⁾
Uniwersytet Nauk Stosowanych w Eberswalde, Wydział Lasu i Środowiska, Niemcy
tzawila@fh-eberswalde.de