

Ocena geomorfologicznych skutków awarii wału przeciwpowodziowego w dolinie Wisły na Mazowszu (2010 r.)

## Powódź w Świniarach

**G**eomorfologia jest nauką o formach rzeźby terenu i procesach je kształtujących. Zwykle się uważa, że obszar środkowej Polski, a szczególnie Mazowsze, jest płaski i charakteryzuje się monotonną rzeźbą równinną. Na pierwszy rzut oka geomorfology nie mają tutaj nic ciekawego do badania, zwłaszcza w porównaniu np. z Tatrami posiadającymi atrakcyjną rzeźbę wysokogórską ukształtowaną przez lodowce typu alpejskiego i ciągle formowaną przez spektakularne lawiny, spływy błotno-gruzowe czy obrywy skał.

Mazowsze jest jednak rozcięte doliną Wisły, która kilka razy w roku staje się are-

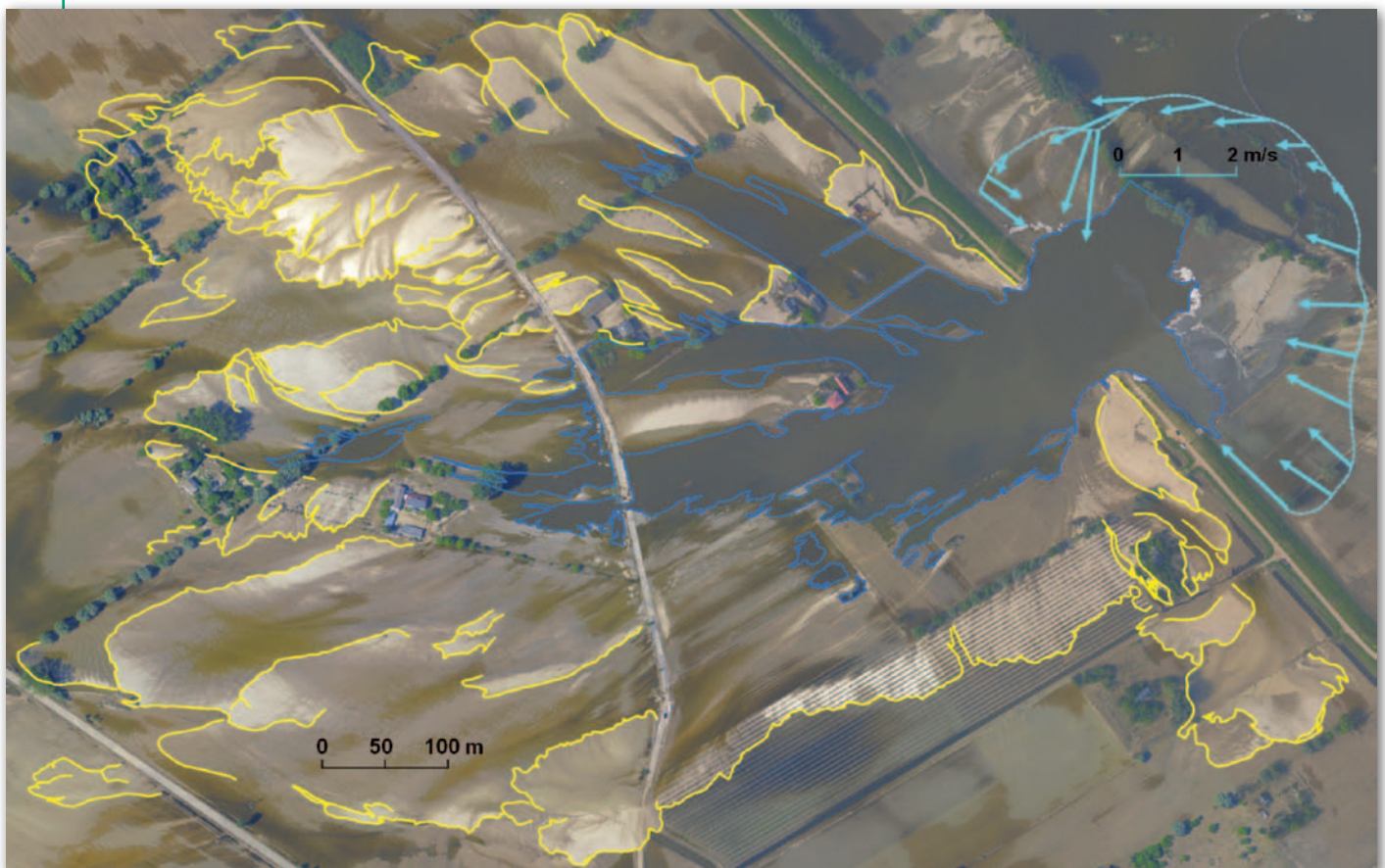
ną niezwykle dynamicznych procesów erozji i akumulacji związanych z wczesnowiosennymi i letnimi wezbraniami rzeki. Zazwyczaj w okolicy letniego przesilenia słonecznego w Karpatach pojawiają się ulewne deszcze wywołujące falę wezbraniową w tamtejszych potokach. Woda z potoków karpackich dość szybko dociera do koryta górnej Wisły. W wyniku tego procesu ogromna ilość wody przenosi się korytem rzeczynym niczym pasem transmisyjnym na północ, zalewając rozległe i nisko położone obszary dolinne Mazowsza.

**P**odobna sekwencja wydarzeń miała miejsce w maju 2010 roku, do-

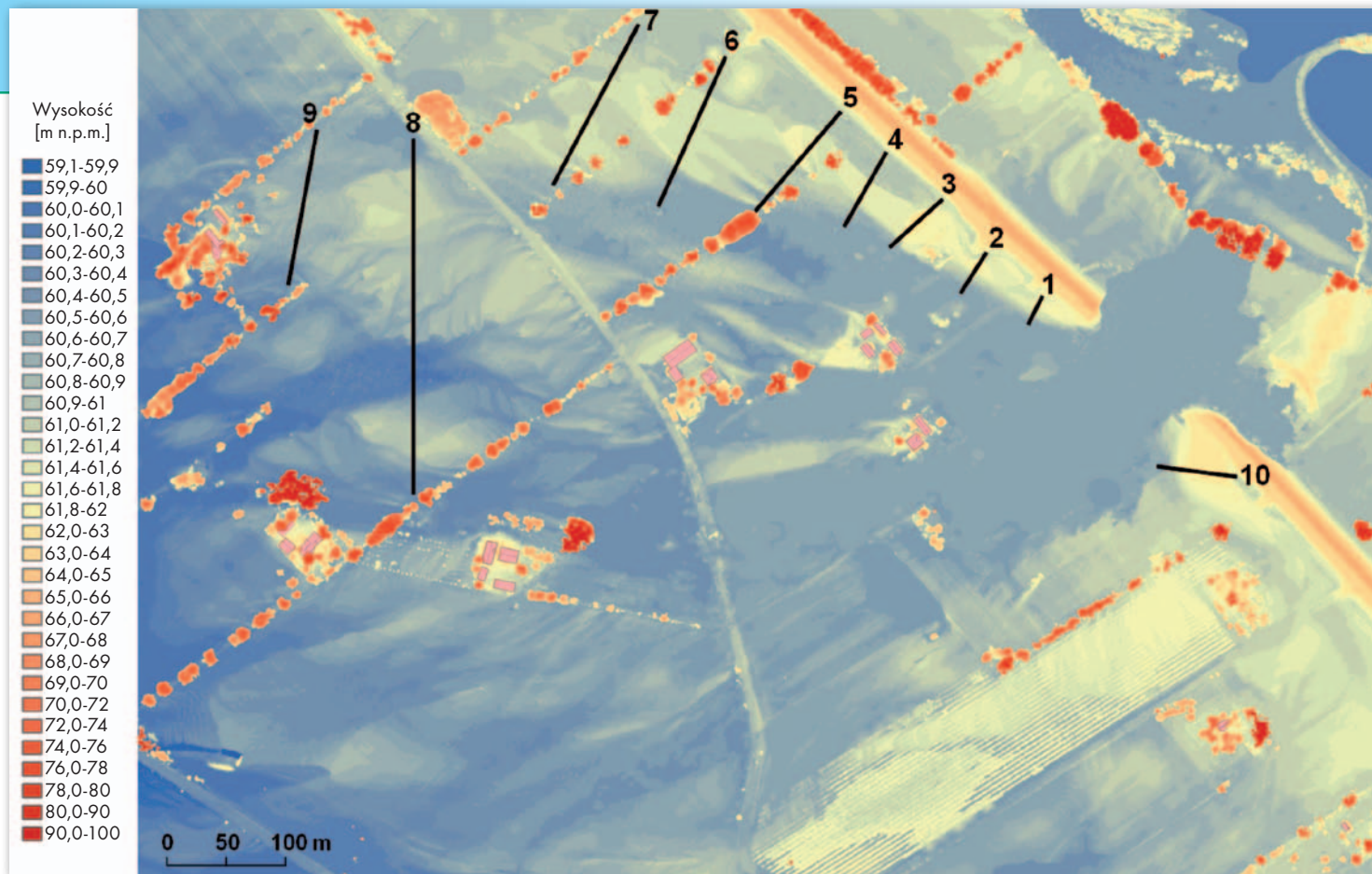
prowadzając do największej od kilkudziesięciu lat powodzi opadowej w centralnej Polsce. Wszystko zaczęło się w połowie miesiąca od bardzo intensywnych deszczów na obszarze Karpat Zachodnich. Opady zanotowane w maju w Beskidzie Małym, Beskidzie Śląskim i Tatrach osiągnęły ponad 500% wieloletniej normy dla tego miesiąca! Sytuację dodatkowo pogorszyła śnieżna i długa zima – grunt w dorzeczu Wisły był jeszcze ciągle mocno nasycony wodą z topniejącego wiosną śniegu. Konsekwencją tego splotu niekorzystnych warunków meteorologicznych, hydrologicznych i hydrogeologicznych była fala wez-

braniowa przemieszczająca się w dół rzeki, niosąca niespotykaną od dawna ilość wody. Wiślane wały nie wytrzymały jej naporu. Ich przerwanie w kilku miejscach w odcinku Górnej i Środkowej Wisły doprowadziło do katastrofalnej powodzi m.in. w Sandomierzu i Wilkowie. Do poważnej awarii wałów przeciwpowodziowych doszło także w okolicach miejscowości Świniały w powiecie płockim.

Przez przerwany także wał przeciwpowodziowy przelewało się ok. 15% wody płynącej wówczas korytem Wisły. Biorąc pod uwagę względnie niewielką szerokość wyrwy w wale, wskaźnik jednostkowej mocy strumienia osią-



Rys. 1. Zdjęcie lotnicze ukazujące zmiany ukształtowania terenu po katastrofie\*



Rys. 2. Cyfrowy model rzeźby terenu uzyskany w wyniku lotniczego skaningu laserowego\*

nał w miejscu awarii prawie 10 000 W/m<sup>2</sup>, co jest wartością niemal 1000 razy większą niż w korycie Wisły przy ekstremalnej powodzi i trudną do wyobrażenia, zwłaszcza na nizinym Mazowszu. Woda płynąca z tak gigantyczną mocą (łącznie przez okres ponad 2 tygodni) wyerodowała w powierzchni tarasu zalewowego głębokie na ponad 10 m obniżenie zwane kotłem eworsyjnym i długą na 750 m rynną, którą geomorfolodzy nazywają korytem krewasowym. Rynną tę, rozgałęziającą się w charakterystyczny sposób, przedstawiają rysunki 1 i 2.

**W**arto uzmysłowić sobie, że podczas dużego wezbrania korytem Wisły razem z setkami milionów ton wody transportowane są także setki tysięcy ton piasku. Niewielka jego część została w sposób naturalny zdeponowana na przedłużeniu opisywanej powyżej rynny w postaci rozległego (0,5 km<sup>2</sup> powierzchni) stożka napływowego (rys. 1 i 2). Przykrył on pola, łąki, drogi i leżące nieopodal wału gospodarstwa, wdzierając się nawet do

niektórych budynków. Tego typu piaszczyste formy, w geomorfologii nazywane glifem krewasowym, są cennym zapisem dynamicznych procesów towarzyszących wezbraniom, a ich analiza może być wartościowa dla zrozumienia geomorfologicznych aspektów powodzi.

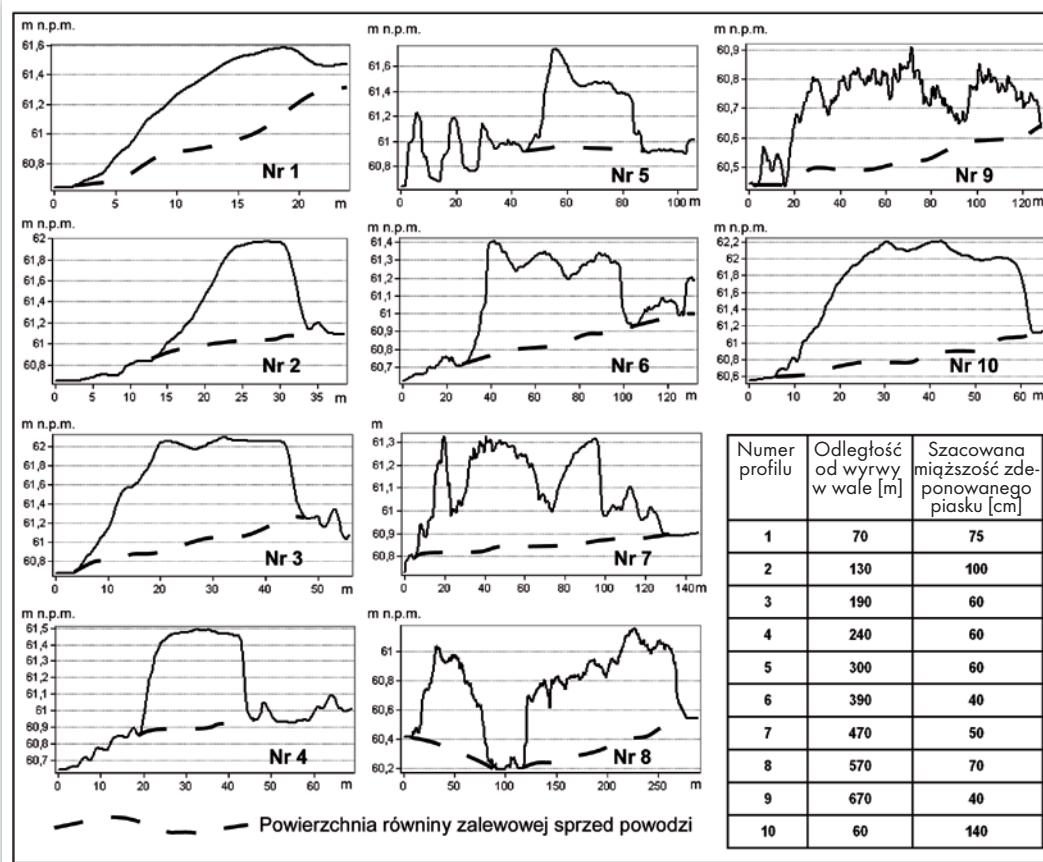
Niestety, formy te są zazwyczaj szybko niszczone podczas usuwania skutków powodzi (pochodzący z nich piasek jest wykorzystywany np. do naprawy wałów przeciwpowodziowych). Tak też stało się w Świniarach. Jednak dzięki inicjatywie Krajowego Zarządu Gospodarki Wodnej i szybkiemu (bezpośrednio po powodzi) pozyskaniu danych teledetekcyjnych przez firmę MGGP Aero udało się zarejestrować unikalny charakter tych form na zdjęciach lotniczych (rys. 1) oraz w postaci cyfrowego modelu rzeźby terenu uzyskanego w wyniku lotniczego skaningu laserowego (rys. 2).

**M**odele powierzchni terenu uzyskane metodą skaningu laserowego cechują się zupełnie nową

jakością w porównaniu z danymi uzyskanymi w sposób tradycyjny. Ich rozdzielczość przestrzenna jest tak wysoka, że geomorfolodzy dopiero poznają możliwości LiDAR-u i uczą się, jak korzystać z nowych, niezwykle dokładnych cyfrowych modeli rzeźby terenu. Autorzy tego tekstu podjęli próbę wykorzystania danych LiDAR-owych w celu odpowiedzi na proste pytanie: jaka jest miąższość piasku zdeponowanego w czasie powodzi na równinie zalewowej w obrębie glifu krewasowego w Świniarach? Źródłowe dane miejsca awarii wału przeciwpowodziowego uzyskane w wyniku skaningu laserem Riegl LMS-Q680i zostały przetworzone przez firmę MGGP Aero w dwa rodzaje cyfrowych modeli: NMT prezentujący samą powierzchnię terenu i NMPT, na którym uwzględniono także odbicia wiązki lasera od drzew, krzewów, budynków, nasypów drogowych, a nawet grządek czy skib na zaoranych wiosną polach. Zastosowana technologia pozwoliła na osiągnięcie 0,5-metrowej dokładności w poziomie i 2-centymetrowej

w pionie. Na szczególną uwagę zasługuje fakt, że dzięki technologii LiDAR-owej uzyskano olbrzymie ilości danych (setki milionów punktowych pomiarów) oraz że wszystkie dane posiadały atrybuty georeferencyjne, a więc były gotowe do umieszczenia i analizy w środowisku GIS.

**P**ierwszym krokiem analizy danych z LiDAR-u była próba automatycznego obliczenia różnicy wysokości między rzędną powierzchni terenu sprzed powodzi a nową jej wysokością związaną z powstaniem piaszczystego glifu krewasowego. Porównanie to pozwoliłoby nie tylko na wyznaczenie miąższości zdeponowanego piasku, ale także na oszacowanie objętości nowej formy. Korzystając z oprogramowania ArcGIS 3D Analyst, porównano powierzchnię z NMT uzyskanego na podstawie skaningu laserowego (NMT-LiDAR) z powierzchnią tego samego obszaru odwzorowaną w najdokładniejszym „przedpowodziowym” NMT, jakim dysponowano (rozdzielczość pozioma 25 m i pionowa 0,5 m). Analizę poprzedzono



Rys. 3. Profile terenu prezentujące miąższość świeżo zdeponowanego piasku\*

procedurą testową obejmującą porównanie stref, w których podczas opisywanej powodzi nie nastąpiła erozja ani depozycja. Osiągnięte różnice wysokości w przedziale od 2 do 5 m sugerowały błąd wynikający ze zbyt małej dokładności „przedpowodziowego” NMT.

**W** związku z niepowodzeniem pierwszej procedury podjęto drugą próbę analizy danych LiDAR-owych przy użyciu tego samego oprogramowania. Zrezygnowano jednak z pełnej automatyzacji tego procesu, wspomagając się tym razem pasywną techniką teledetekcyjną (analizą zdjęcia lotniczego). W pierwszym etapie prac przeanalizowano zdjęcie lotnicze wykonane cyfrową kamerą Hasselblad 39, która zarejestrowała obraz skanowanej laserowo powierzchni Ziemi podczas nalotu. Zdjęcie to zostało przetworzone przez firmę MGGP Aero w barwną ortofotomapę o rozdzielczości przestrzennej 0,15 m. Głównym

celem analizy ortofotomapy było zidentyfikowanie granic obszarów o wyraźnej akumulacji piasku będących jednocześnie granicami gliku krewasowego. Obszarami tymi okazały się piaszczyste łoby, które utworzyły się wzdłuż głównego koryta krewasowego, oraz odsypy powstałe w najbardziej odległej (dystalnej) strefie gliku.

W drugim etapie prac jednocześnie analizowano dwie warstwy informacyjne: ortofotomapę lotniczą (rys. 1) i model NMPT-LiDAR podzielony na 32 klasy wysokości (rys. 2), gdzie klasom najwyższym przypisano barwy ciepłe, a klasom najniższym – zimne. Porównanie to pozwoliło na wyznaczenie dziesięciu linii przecinających zarówno strefy depozycji, jak i przyległe do nich (po obu stronach) obszary, na których piasek nie został zdeponowany. W liniach tych, korzystając z narzędzia „Profile graph” z modułu 3D Analyst (ArcGIS), wykonano profile terenu prezentujące wypukłe

formy zbudowane z piasku zakumulowanego na względnie płaskiej powierzchni równiny zalewowej. Profile te porównano z „przedpowodziową” powierzchnią równiny zalewowej, co pozwoliło na określenie miąższości świeżo zdeponowanego piasku (rys. 3). W sąsiedztwie przerwanych wałów, gdzie prędkość i moc strumienia płynącej wody były największe, powódź naniosła od 75 do 140 cm piasku. W większej odległości (200-300 m) od miejsca awarii miąższość piasku wyniosła ok. 60 cm, a w dystalnej części gliku spadła do zaledwie 40-50 cm.

**M** iąższość gliku krewasowego wyznaczoną na podstawie danych z lotniczego skaningu laserowego poddano weryfikacji w terenie. Wykonano serię odkrywek w różnych częściach tej formy. Granica pomiędzy świeżo naniesionym jasnym piaskiem wiślanym a ciemną warstwą (poziom próchniczny gleby) dawnej

równiny zalewowej była doskonale widoczna. Obliczone poprzez analizę danych LiDAR-owych miąższości gliku krewasowego zaskakująco dobrze (błąd nie przekraczał 10 cm) zgadzały się z rzeczywistymi wartościami w strefach, gdzie piasek przykrył płaską powierzchnię. Na obszarach, gdzie pierwotna powierzchnia nie była płaska (rowy, zagłębienia lub wypukłości), wynik był mniej dokładny.

Opisana w artykule forma gliku krewasowego zachowała się częściowo do dziś jako nieużytek porośnięty wierzbami. Można ją obejrzeć na lewym brzegu Wisły zaledwie 20 km powyżej Płocka. W lipcu 2010 r. świeżo powstały glik krewasowy zafascynował autorów tego tekstu oceniających w terenie geomorfologiczne skutki powodzi. Może forma ta zainteresuje także czytelników GEODETY?

Elastyczność czasowa pozyskania danych z lotniczego skaningu laserowego oraz ich kompleksowość przestrzenna umożliwiają badanie skutków dynamicznych procesów geomorfologicznych w niedostępnej dotąd skali. W krótkim czasie po wystąpieniu procesu – co bywa kluczowe w badaniach geomorfologicznych – pozyskujemy dane pozwalające wykonać dokładne pomiary wysokościowe, a nawet objętościowe. Nie należy jednak zapominać, że modele terenu ze skaningu laserowego pozostają modelami, aby więc je prawidłowo zinterpretować, w wielu przypadkach niezbędna jest równoczesna analiza klasycznej ortofotomapy lotniczej.

**Grzegorz Wierzbicki,  
Piotr Ostrowski**  
SGGW w Warszawie  
Zakład Hydrogeologii

\*Wierzbicki G., Ostrowski P., Mazgajski M., Bujakowski F., 2013, Using VHR multispectral remote sensing and LiDAR data to determine the geomorphological effects of overbank flow on a floodplain (the Vistula River, Poland), *Geomorphology* 183: 73-81