

# Monitorowanie wpływu eksploatacji górniczej spod lustra wody na obiekty chronione metodami skaningu laserowego i sondowania akustycznego

## Monitoring of the influence of mining exploitation under the water table on protected objects by use of laser scanning and echo-sounding



Dr hab. inż. Jadwiga Maciaszek\*)



Mgr. inż. Dominik Madusiok\*)

**Treść:** W artykule przedstawiono badanie stateczności skarp wyspy na zbiorniku w Kopalni Kruszywa „Zator-Podolsze Nowe”, w której prowadzono w przeszłości i prowadzi się obecnie eksploatację kruszywa spod powierzchni wody za pomocą pogłębiarki ssąco-refulującej. Wyspa ma powierzchnię około 670 m<sup>2</sup> i stanowi fragment obszaru NATURA 2000 „Dolina Dolnej Skawy”. Jest miejscem gniazdowania bardzo nielicznego w Polsce i objętego ścisłą ochroną gatunkową ślepowrona *Nycticorax nycticorax*. Do czynników powodujących niszczenie skarp podwodnych i nadwodnych wyspy należą: wahania wysokości poziomu lustra wody, czynniki atmosferyczne oraz zbliżająca się eksploatacja. W związku z ustalonymi strefami ochronnymi wyspy eksploatacja spod lustra wody nie może być prowadzona w 20-metrowej strefie ochronnej od brzegów wyspy. Celem badań jest monitoring stateczności skarp oraz kontrola prawidłowości prowadzenia eksploatacji. Dla realizacji tego celu zaproponowano wykorzystanie skaningu laserowego do badania powierzchni wyspy nad lustrem wody oraz metodę akustyczną do badania podwodnej części wyspy. Badany obiekt został pomierzony za pomocą wymienionych metod po raz pierwszy w lutym 2014 roku. Wcześniej – w 2007 roku – wyspa oraz zbiornik eksploatacyjny zostały pomierzone metodą tachymetryczną i akustyczną. Dokładniejsze, nieinwazyjne pomiary skanerowe zastosowano w celu pełniejszego monitoringu geodezyjnego wyspy oraz stworzenia Numerycznego Modelu Terenu (NMT) wyspy. Artykuł ma na celu zwrócenie uwagi na potrzebę doskonalenia metod monitorowania obiektów chronionych metodami nieinwazyjnymi z zastosowaniem najnowocześniejszej technologii skaningu laserowego. Daje ona gwarancję pozyskania rzeczywistych wartości przemieszczeń punktów i odkształceń odkrywki w modelu quasi-ciągłym w związku z zastosowaniem bardzo gęstej siatki pomiarowej. Połączenie wyników pomiarów w dwóch ośrodkach (powietrznym i wodnym) pozwoliło stworzyć model całej odkrywki oraz wykonać liczne przekroje, określić kąty nachylenia skarp, powierzchnię i objętość wyspy. Przedstawiona metodyka badań może być stosowana na innych odkrywkach i obiektach chronionych.

**Abstract:** This paper presents a stability test of the scarp of heel on a borrow pit in the aggregate quarry-- “Zator-Podolsze Nowe” where the exploitation of aggregate from under the water table was and is performed by use of the trailing suction dredger. The 670 square meter island is a part of the area of NATURA 2000 “Dolina Dolnej Skawy” (“Lower Skawa River Valley”). It is a nesting place of the black-crowned night heron *Nycticorax nycticorax*, a very rare and strictly protected species in Poland. The factors causing damage to the slopes situated on and under the water are: variations of heights of the water table level, atmospheric factors and the approaching exploitation. Given the determined protection areas of the island, it is not possible for the exploitation to be performed in the 20-meter protection area from the island’s coasts. The aim of the study is to monitor the stability of scarps and control the regularity of exploitation. For this purpose, to study the surface of the island above the water table the laser scanning method was applied and to study the underwater part of the island, the echo-sounding method was used. In February 2014, the tested object was measured by use of the abovementioned methods for the first time. In 2007 the island with its borrow pit were measured by use of tachymetric and acoustic location methods. More detailed and non-invasive scanner measurements were applied for a full geodetic monitoring of the island and development of its Digital Elevation Model (DEM). This paper highlights the need to develop the monitoring methods of objects under protection by use of non-invasive methods with the application of high technology of laser scanning. It guarantees real values of point and deformation displacements in the borrow pit in the quasi-continuous model due to the use of a very dense measurement mesh. The combination of measurement results from two centers (air and water) allowed to develop a full borrow pit model and make many cross-sections, determine the scarp inclination angles, area and volume of the island. The presented methodology may be implemented in other borrow pits and objects under protection.

\*) AGH w Krakowie

**Słowa kluczowe:**

eksploatacja spod lustra wody, skaning laserowy, mapa batymetryczna, stateczność skarp, ślepowron zwyczajny, *Nycticorax nycticorax*, Natura 2000

**Key words:**

exploitation under the water table, laser scanning, bathymetric chart, scarp stability, black-crowned night heron, *Nycticorax nycticorax*, Natura 2000

## 1. Wprowadzenie

Wiele gatunków roślin i zwierząt występujących na kontynencie europejskim jest zagrożonych wyginięciem z powodu kurczenia się siedlisk – miejsc ich występowania [5]. W związku z tym w krajach wspólnotowych podjęto się wyznaczenia rejonów najcenniejszych przyrodniczo (kilka-naście procent powierzchni każdego kraju), w których proces inwestycyjny nie jest zakazany, lecz regulowana jest jego intensywność, określany charakter i zapewniany społeczny udział w podejmowaniu decyzji. Powstała paneuropejska sieć obszarów chronionych NATURA 2000, oparta o dwie dyrektywy [6, 7]:

- Dyrektywę Ptasią,
- Dyrektywę Siedliskową.

W Polsce tworzenie i zarządzanie obszarami NATURA 2000 reguluje ustawa o ochronie przyrody z dnia 16 kwietnia 2004 r. z późniejszymi zmianami [8], a funkcjonowanie obszarów oparte jest na zasadzie zrównoważonego rozwoju, która znajduje odzwierciedlenie we wszystkich strategicznych dokumentach Unii Europejskiej (UE).

Na mocy Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 12 stycznia 2011 r. [10] w zachodniej części województwa małopolskiego utworzony został obszar Natura 2000 „Dolina Dolnej Skawy” o powierzchni przeszło 7000 ha. Znajdująca się tam kopalnia odkrywkowa „Zator-Podolsze Nowe”, prowadziła w przeszłości i prowadzi obecnie eksploatację kruszywa naturalnego spod powierzchni wody. Zakład położony jest w sąsiedztwie siedlisk gatunków ptaków objętych ochroną i pozostaje pod specjalnym nadzorem ornitologów. Na zbiorniku kopalni znajduje się wyspa stanowiąca teren szczególnie ważny z uwagi na gniazdującą tam od kilku lat populację bardzo nielicznego w Polsce i objętego ścisłą ochroną ślepowrona *Nycticorax nycticorax*, wymagającego ochrony czynnej [12]. Do czynników potencjalnie powodujących niszczenie skarp podwodnych i nadwodnych wyspy należą: wahania wysokości poziomu lustra wody, czynniki atmosferyczne oraz zbliżająca się eksploatacja. W związku z ustalonymi strefami ochronnymi wyspy eksploatacja spod lustra wody nie może być prowadzona w 20-metrowym terenie od brzegów wyspy [2, 3]. Celem badań tego obiektu jest monitoring stateczności skarp oraz kontrola prawidłowości prowadzenia eksploatacji za pomocą nowoczesnych technologii pomiarowych i wizualizacyjnych. Połączone metody monitoringu: skaningu laserowego z metodą sondowania akustycznego zapewniają szybkość, precyzję oraz wierne odwzorowanie nadwodnych i podwodnych części kopalni. Zastosowana technologia pomiaru jest przede wszystkim nieinwazyjna, czyli nie wymaga obecności na obiekcie chronionym (na wyspie) w trakcie pomiarów, co ma szczególne znaczenie w kontekście gniazdującego tam, chronionego gatunku ptaka. Zastosowanie danych geomatycznych uzyskanych z geodezyjnych pomiarów w strategii ochrony środowiska w przemyśle wydobywczym ma kolosalne znaczenie. Umożliwiają one nie tylko w sposób jakościowy, ale i ilościowy określanie zmian morfologii terenu, objętości części nad- i podwodnych, deformacje skarp i innych części kopalni, wpływają tym samym na bezpieczeństwo obiektów chronionych.

## 2. Monitoring zbiornika „Ślepowron” i wyspy „Dużej”

### 2.1. Charakterystyka zbiornika i warunków eksploatacji

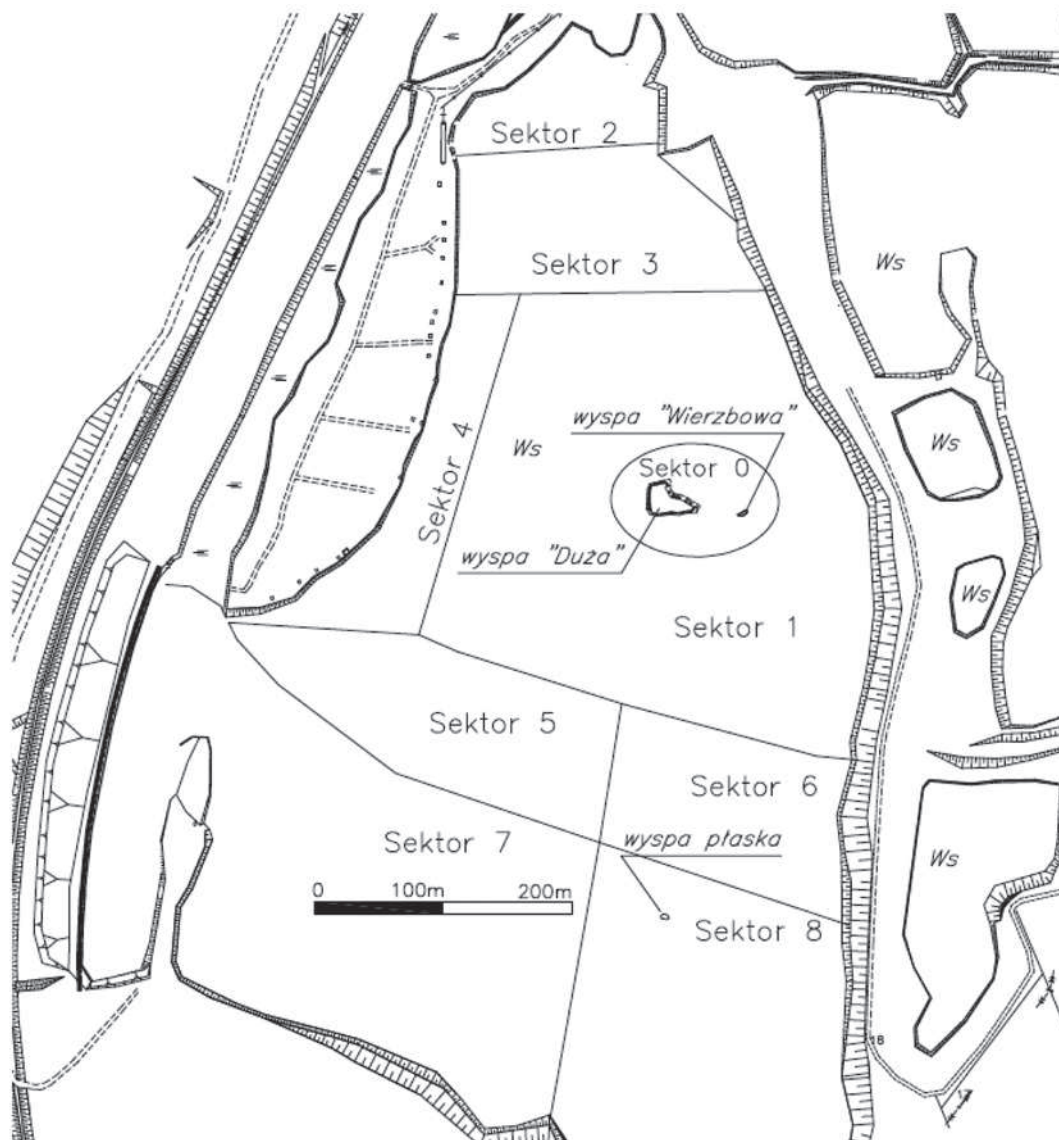
Eksploatacja kruszywa naturalnego metodą odkrywkową prowadzona od ponad 40 lat na terenie kopalni „Zator – Podolsze Nowe” na północ od Zatora spowodowała wytworzenie się wyrobiska poeksploatacyjnego, które w sposób naturalny zostało napełnione wodą gruntową. Powstały zbiornik wodny nazwano „Ślepowron” od nazwy chronionych ptaków. Na zbiorniku aktualnie usytuowane są trzy wyspy, które są pozostałością lądu po poprzedniej eksploatacji (rys. 1). Największą wyspę nazwano „Dużą” (minimalna odległość od brzegu wynosi 110 m; na jej wystających częściach mają siedliska chronione ptaki); obok niej, w odległości ok. 25 m, znajduje się wyspa „Wierzbowa” (w odległości ok. 80 m od brzegu), a w południowo-zachodniej części wyspa „Mała” (zwana też Płaską, obecnie poniżej zwierciadła wody). Na wschód od zbiornika „Ślepowron” znajdują się dobrze urządzone stawy rybne.

Zbiornik na mocy ustawy z dnia 3 października 2008 roku [9] oraz rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 r. [12] poddany został ocenie oddziaływania na środowisko. Zgodnie z decyzją o środowiskowych uwarunkowaniach zgody na realizację przedsięwzięcia zbiornik ten został podzielony na sektory (rys. 1.), dla których ustalono: dopuszczalne terminy możliwej eksploatacji oraz terminy zakazu eksploatacji i oświetlenia pogłębiarki i instalacji (włącznie z instalacją na brzegu), poruszania się po instalacji pływającej pomiędzy przegrodami a pogłębiarką, rejonów umieszczenia pływających przenośników taśmowych itp. W sektorze 0 w odległości ok. 20 m od wyspy Dużej i Wierzbowej obowiązuje całkowity zakaz eksploatacji [2, 3]. W Decyzji [2] nakazuje się ochronę brzegów wysp, na których bytują ślepowrony, a w razie potrzeby należy umocnić jej brzegi. Eksploatację kruszywa należy prowadzić bez konieczności obniżania poziomu wody w wyrobisku.

Aktualnie (marzec 2014) eksploatacja prowadzona jest w sektorze 7 w zachodniej części złoża „Zator – Podolsze Nowe” i obejmuje poeksploatacyjny zbiornik wodny, a w nim złożo o miąższości, która pozostała po dawnej eksploatacji, czyli warstwę przyspągową o grubości od 0,7–2,4 m, średnio 1,6 m [4]. Kruszywa wydobywane w kopalni to w głównej mierze piaski i żwiry. W ciągu ostatnich 15 miesięcy, w miesiącach dozwolonych w decyzji środowiskowej, eksploatacja prowadzona była w sektorach 1, 5 i 6. Eksploatację zarówno w zbiorniku, jak i na terenie lądowym, prowadzono systemem wachlarzowym za pomocą pływającej maszyny wydobywczej (pogłębiarki ssąco-refulującej). Monitoring geodezyjny skarp wyspy oraz dna zbiornika ma na celu kontrolę, czy przeprowadzona eksploatacja nie wpłynęła na stateczność jej brzegów.

### 2.2. Opis chronionej wyspy „Dużej”

Teren wyspy „Dużej” o powierzchni ok. 670 m<sup>2</sup> pokrywają krzewy, głównie czarnego bzu, oraz pojedyncze topole o wysokości ok. 10 m. Brzegi wyspy stanowią skarpy nad- i podwodne pozostałe z poprzedniej eksploatacji. Ze względu



Rys. 1. Zbiornik eksploatacyjny „Ślepowron” w kopalni kruszywa „Zator – Podolsze Nowe” z zaznaczonymi sektorami i wyspami (opracowanie własne)

Fig. 1. Borrow pit “Ślepowron” on the aggregate quarry “Zator – Podolsze Nowe” with marked sectors and islands (own elaboration)

na to, że skały nadkładu, jak i złoża mają charakter słabo zwięzły, może wystąpić w ograniczonym zakresie utrata stateczności skarp [3]. Zgodnie z wymienioną ekspertyzą na skutek występowania takich czynników, jak:

- falowanie wód w basenach poeksploatacyjnych, prowadzące do podmywania skarp,
- przemarzanie i rozmarzanie gruntu w okresach zimowych, co w konsekwencji doprowadzać może do utraty stateczności skarp,
- zmiany temperaturowe powietrza i gruntu w różnych porach roku i dnia,

mogą nastąpić:

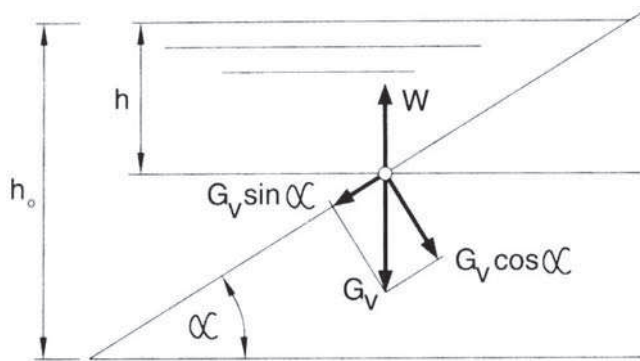
- obsunięcia się skarp w nadkładzie i w złożu,
- wymycia wymienionych skarp wodami opadowymi.

Dodatkowo zmiana nachylenia skarp może spowodować częściową degradację wyspy. Dlatego konieczny jest geodezyjny monitoring wyspy i jej otoczenia w celu zapobieżenia negatywnym procesom, zarówno naturalnym, jak i technogennym.

### 2.3. Monitoring

W czasie eksploatacji spod powierzchni wody, skarpy złożowe są niestabilne i obsuwają się. Dopiero po zakończeniu działań wydobywczych, skarpy formują się do wartości kątów naturalnego zsypania pod wodą. W monitorowanym obiekcie proces formowania skarp zachodzi w wyniku składowej dwóch różnych sił. Nad poziomem wody występuje tylko siła wzdłuż płaszczyzny poślizgu. Natomiast pod powierzchnią wody działa siła ciężkości,  $G$ , oraz dodatkowo siła wyporu,  $W$  (rys. 2). Wraz ze zwiększającą się głębokością,  $h$  wzrasta siła wyporu, dlatego w celu zachowania równowagi maleje kąt nachylenia skarpy,  $\alpha$  [1].

Badanie stateczności brzegów wyspy, a więc jej skarp, których część leży nad powierzchnią, a część pod powierzchnią wody, przeprowadzono za pomocą skanera laserowego Riegl VX 400 o zasięgu pomiaru 400 m (rys. 3) i sondy akustycznej Lowrance Elite-4 DSI z odbiornikiem GPS (rys. 4). Uzyskane dane pomiarowe opracowano w programach



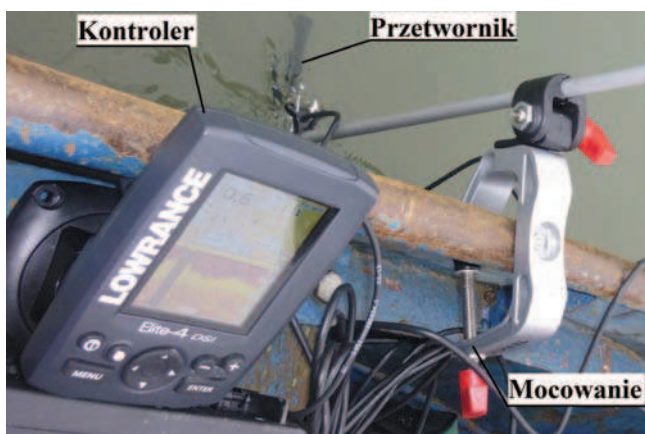
Rys. 2. Schemat działania sił na cząstkę materiału w wodzie –  $G_V$  jest siłą ciężkości w wodzie [1]

Fig. 2. Scheme of forces affecting a particle of the material under water –  $G_V$  is the gravity force of the water [1]



Rys. 3. Skaner Riegl VX 400 w czasie skanowania wyspy (Fot. D. Madusiok)

Fig. 3. Scanner Riegl VX 400 during the scanning of the island (Photo: D. Madusiok)



Rys. 4. Sonda akustyczna Lowrance Elite-4 DSI wykorzystana w pomiarach batymetrycznych (Fot. D. Madusiok)

Fig. 4. Echo sounder Lowrance Elite-4 DSI used in bathymetric measurements (Photo: D. Madusiok)

Cyclone 7.0 oraz AutoCad Civil 3D 2014. Pierwsze pomiary, przy pomocy tachimetru elektronicznego i sondy akustycznej przeprowadzono przed planowaną eksploatacją w listopadzie 2012 r. Dokładne skanowanie i sondowanie, w ramach monitoringu w trakcie eksploatacji, wykonano w lutym 2014 r.

W lutym 2014 r. pomiar skanerowy wykonano z 3 stanowisk skanera w oparciu o osnowę geodezyjną w państwowym układzie współrzędnych 2000 oraz poziom odniesienia Kronsztadt-86. Nawiązanie skanera wykonano za pomocą tachimetru elektrooptycznego Topcon GS 212. W wyniku skanowania otrzymano ok. 2,5 mln punktów, co daje średnią rozdzielczość punktów na zboczach skarpy 2 cm. Połączenie skanów z różnych stanowisk nastąpiło z dokładnością  $\pm 4$  mm. Tak duża gęstość punktów pomiarowych oraz wysoka dokładność pomiaru pozwoliła sporządzić numeryczny model wyspy w części nad lustrem wody (rys.3.3) i obliczyć jej objętość.

Pomiar części podwodnej wykonano w lutym 2014 r. za pomocą sondy akustycznej, uzyskując 637 punktów pomiarowych. Poziom lustra wody zmierzony został metodą tachimetryczną w układzie Kronsztadt-86. Głębokość zanurzenia przetwornika wynosiła 10 cm. Wcześniej, w listopadzie 2012 r., wzdłuż wybranych przekrojów wykonano pomiary batymetryczne. Współrzędne sytuacyjne położenia sondy wyznaczane były z państwowej osnowy geodezyjnej (znajdującej się w pobliżu zbiornika) metodą tachimetryczną (poprzez pomiar kąta poziomego i odległości do reflektora znajdującego się nad sondą).

Od grudnia 2008 r. obserwowano także systematycznie poziom zwierciadła wody w zbiorniku. Z reguły poziom wody w zbiorniku kształtował się na rzędnych 220,1 - 220,7 m n.p.m. W roku 2010 w wyniku niekorzystnych warunków pogodowych - obfitych opadów atmosferycznych, które doprowadziły do powodzi, nastąpiło podwyższenie poziomu wody w zbiorniku. Zmierzony geodezyjnie poziom wody w lipcu 2010 r. był na rzędnej 221,0 m n.p.m, a w październiku 2010 r. na rzędnej 221,2 m n.p.m. Na poziom wody w zbiorniku, oprócz wielkości opadów atmosferycznych, ma także wpływ wysokość poziomu wód gruntowych, które go zasilają głównie od strony południowej (brzeg wschodni i zachodni jest w części uszczelniony utworami nadkładowymi) oraz rzeka Skawa.

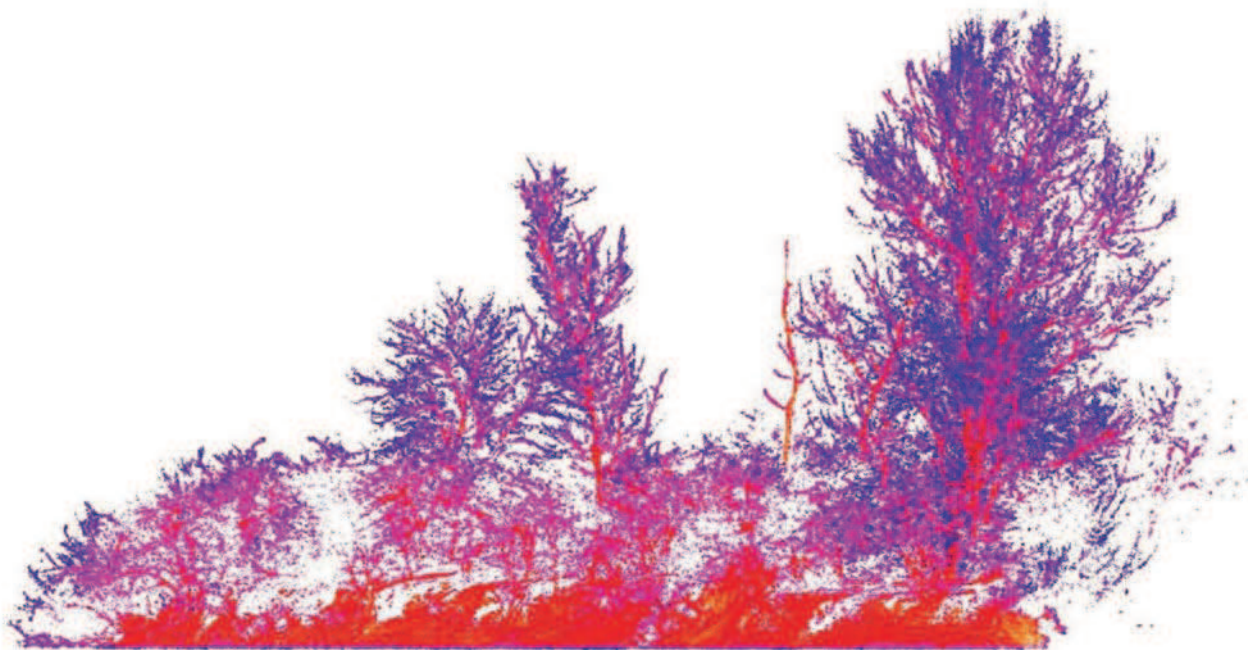
#### 2.4. Opracowanie i analiza danych pomiarowych

W ramach prac kameralnych wykonano szereg procedur mających na celu uzyskanie obrazu wyspy w układzie państwowym. Pierwszym etapem tych prac było wykonanie obliczeń rezultatów pomiarów klasycznych. Obliczono współrzędne osnowy oraz tarcz celowniczych (targetów). Drugim etapem było wpasowanie tzw. „chmury punktów” (rys. 5.) we współrzędne tarcz celowniczych. Tak skalibrowany model posłużył do stworzenia obrazu 3D wyspy „Dużej” oraz mapy warstwowej części nadwodnej wyspy o cięciu warstwowym 10 cm (rys. 7). Połączenie wyników pomiarów ze skaningu laserowego i sondowania akustycznego dało podstawę do stworzenia numerycznego modelu terenu (NMT) obydwu części: nadziemnej i podziemnej oraz wygenerowania profili.

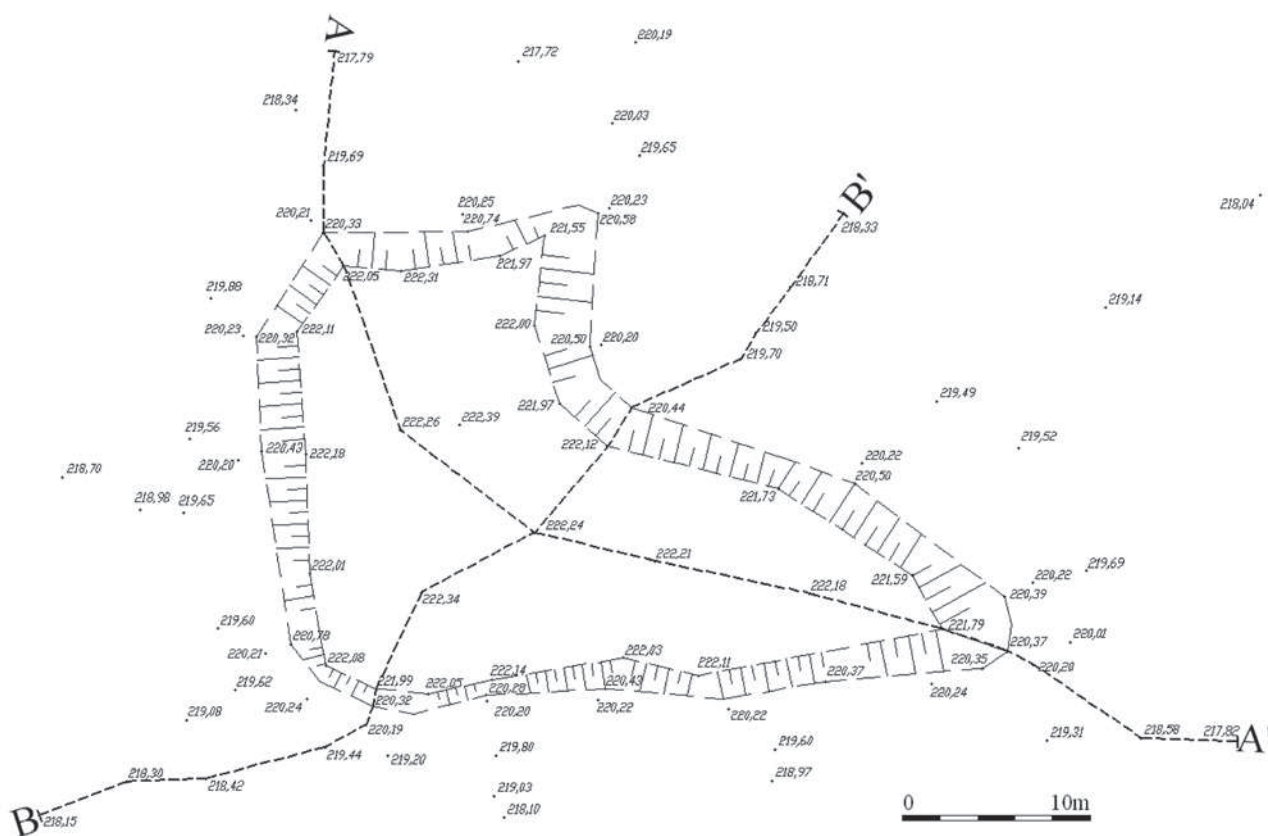
W 2012 r. wykonano mniej dokładny pomiar tachimetryczny wyspy oraz sondowanie wzdłuż charakterystycznych linii (przekrojów), zaznaczonych na rys. 6. Wynik pomiarów z 2012 r. uznano za stan wyjściowy w omawianym monitoringu. Wzdłuż tych samych linii AA' i BB' na podstawie NMT otrzymanego z 2014 r. wygenerowano profile, porównując je następnie z profilami według sondowania z 2012 r. (rys. 8).

#### 2. Podsumowanie

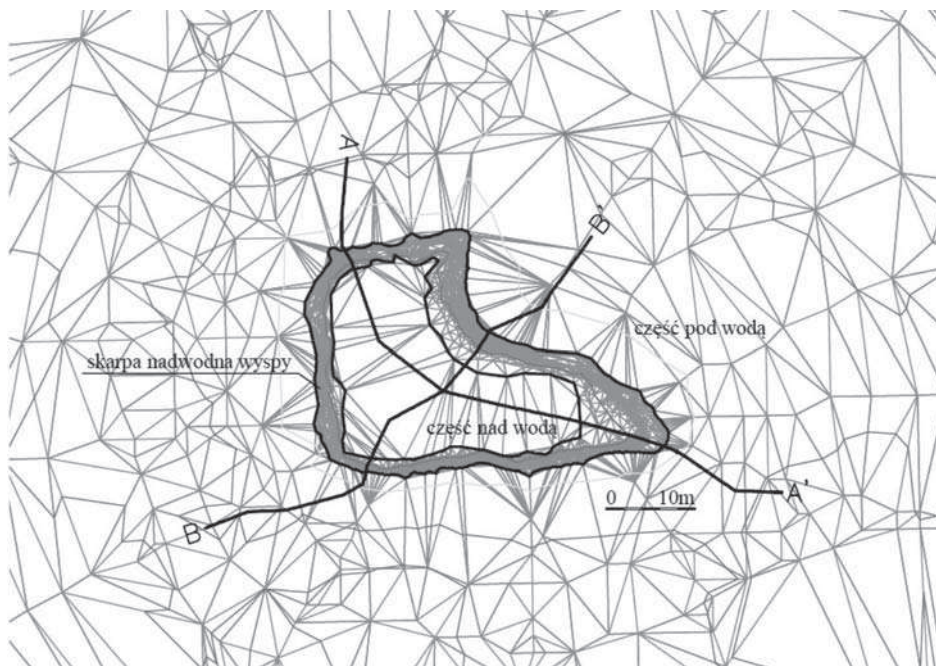
Przeprowadzone prace pomiarowe i obliczeniowe pozwoliły stwierdzić, że w ciągu 15 miesięcy prowadzenia eksploatacji na zbiorniku nie nastąpiły znaczne zmiany brzegów wyspy. Maksymalna różnica w rzędnych wynosząca 24 cm może być spowodowana małą dokładnością pomiaru w 2012 roku.



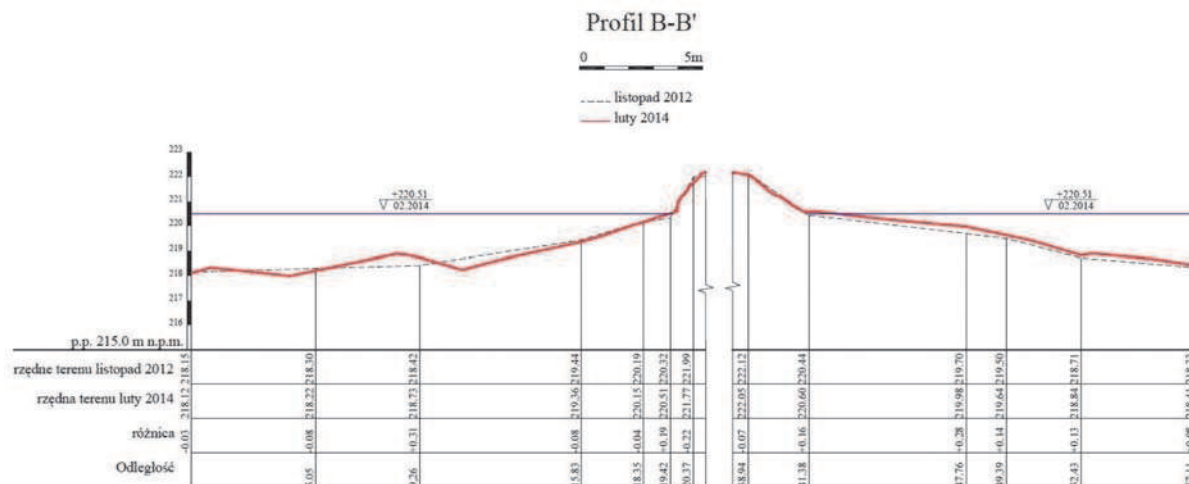
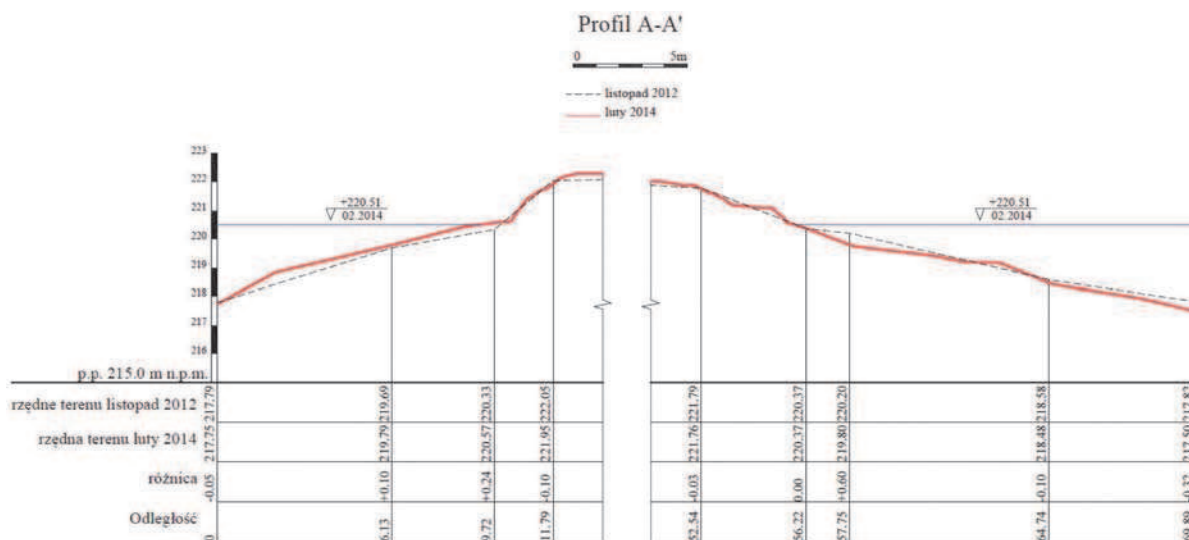
Rys. 5. Otrzymana chmura punktów ze skanowania laserowego (opracowanie własne)  
 Fig. 5. Obtained cloud of points from laser scanning (own elaboration)



Rys. 6. Szkic rozmieszczenia profili kontrolnych (opracowanie własne)  
 Fig. 6. Sketch of control profiles distribution (own elaboration)



Rys 7. NMT części nadwodnej i podwodnej wyspy (opracowanie własne)  
 Fig. 7. DEM of the island above and under water (own elaboration)



Rys. 8. Porównanie zmian ukształtowania terenu wzdłuż profilu AA i BB w okresie 15 miesięcy (opracowanie własne)  
 Fig. 8. Comparison of changes in landform along profiles AA and BB within 15 months (own elaboration)

Analizowane wykresy wzdłuż profilów AA' i BB' pokazują, że stabilność brzegów wyspy w badanym okresie została zachowana. Numeryczny model wyspy (część nadwodna) pozwolił określić jej objętość od rzędnej 220,6 m n.p.m. do rzędnej 222,3 m n.p.m., która wynosi 936 m<sup>3</sup>. Model ten stanowi także podstawę do tworzenia dowolnej liczby przekrojów kontrolnych w kolejnych etapach monitoringu, co pozwoli na dokładniejszą ocenę zmian zachodzących w badanym obiekcie w różnych kierunkach. W przypadku okresowych pomiarów tego samego obiektu metodami skaningową i batymetryczną istnieje możliwość wykonania szerokich analiz związanych z przemieszczaniem się mas ziemnych w przyszłości.

**Praca została sfinansowana z badań statutowych nr: 11.11.150.195**

#### Literatura

1. *Korzeniowski J.I.*: Ruch zakładów eksploatujących złoża kopalni. Wydawnictwo Wikbest, Wrocław 2010.
2. Decyzja o środowiskowych uwarunkowaniach zgody na realizację przedsięwzięcia. Zator 25.05.2009.
3. *Betteja J., Ledwoń M.*: Uzupełnienie do raportu oddziaływania na środowisko przedsięwzięcia: Planowana eksploatacja kruszywa naturalnego ze złoża „Zator – Podolsze Nowe” – część zachodnia. Bytom 2008
4. Uproszczony plan ruchu kopalni kruszywa „Zator – Podolsze Nowe” na lata 01.01.2010 –31.12.2014, Krakowskie Zakłady Eksploatacji Kruszywa, S.A.
5. [www.natura2000.gdos.gov.pl](http://www.natura2000.gdos.gov.pl)
6. Dyrektywa Rady 79/409/EWG – Dyrektywa Ptasia z późniejszymi zmianami 2009/147/WE z 30.11. 2009 r.
7. Dyrektywa Rady 92/43/EWG – Dyrektywa Siedliskowa
8. Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o ochronie przyrody (Dz.U. 2004 Nr 92 poz. 880 z późniejszymi zmianami)
9. Ustawa z dnia 3 października 2008 r. o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko (Dz.U. 2008 Nr 199 poz. 1227)
10. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 12 stycznia 2011 r. w sprawie obszarów specjalnej ochrony ptaków (Dz.U. 2011 Nr 25 poz. 133)
11. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 12 października 2011 r. w sprawie ochrony gatunkowej zwierząt (Dz.U. 2011 Nr 237 poz. 1419)
12. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko (Dz.U. 2010 Nr 213 poz. 1397)