

**INWENTARYZACJA GALERII KONTROLNEJ I PRZELEWU ZAPORY
ZIEMNEJ KLIMKÓWKA METODĄ SKANOWANIA LASEROWEGO**

**INVENTORY OF THE CONTROL GALLERY AND OVERFLOW SECTION OF
KLIMKÓWKA EARTFILL DAM
USING LASERSCANNING**

Janina Zaczek-Peplinska, Artur Adamek, Katarzyna Osińska-Skotak, Anna Adamek

Wydział Geodezji i Kartografii, Politechnika Warszawska,

SŁOWA KLUCZOWE: skanowanie laserowe, monitoring geodezyjny, zapory ziemne.

STRESZCZENIE: W referacie opisano doświadczenia z inwentaryzacji geodezyjnej galerii kontrolnej zapory ziemnej Klimkówka. Przedstawiono obecny stan przepisów prawa narzucający na jednostki administrujące i użytkujące budowle hydrotechniczne obowiązek odpowiedniej ich kontroli technicznej. Skanowanie laserowe ze względu na brak opracowanej odpowiedniej metodyki pomiaru tego typu obiektów jest bardzo rzadko wykorzystywane do ich inwentaryzacji i kontroli.

W sierpniu 2012 roku został wykonany przez pracowników i studentów Zakładu Geodezji Inżynierskiej i Pomiarów Szczegółowych (PW, Wydział Geodezji i Kartografii) okresowy pomiar kontrolny przemieszczeń zapory wodnej Klimkówka metodą niwelacji precyzyjnej. W tym samym czasie wykonano inwentaryzację galerii kontrolnej tego obiektu metodą naziemnego skanowania laserowego. Dodatkowo w trakcie opracowywania danych podjęto próbę analizy zarejestrowanych wartości I (Intensity) przy pomiarze przelewów betonowych metodą automatycznej analizy obrazowej w celu klasyfikacji cech betonu – analiza ta ma posłużyć jako materiał wyjściowy do analizy zmian powierzchni betonowej w kolejnych latach. W referacie przedstawiono wyniki inwentaryzacji geometrii galerii kontrolnej oraz wstępną analizę powierzchni przelewu metodą klasyfikacji nienadzorowanej.

W pracy opisano proces tworzenia modelu galerii oraz wybranych, możliwych do wykonania analiz i pomiarów na bazie danych z naziemnego skanowania laserowego.

1. WSTĘP

W ocenie bezpieczeństwa obiektów hydrotechnicznych niezbędne jest łączenie różnych technik pomiarowych, obliczeniowych oraz doświadczenia specjalistów różnych dziedzin inżynierii. Rozwój technologii pomiarowych stwarza coraz większe możliwości dokładniejszego monitorowania zmian zachodzących w konstrukcjach inżynierskich, a także przyspieszenia prac pomiarowych, minimalizowania liczby błędów grubych oraz zmniejszenia kosztów i czasu wykonywanych pomiarów. W konsekwencji zapewnia bardziej wiarygodną ocenę stanu technicznego i bezpieczeństwa obiektów hydrotechnicznych. Integracja wyników pomiarów różnorodnych pod względem jakościowym pozwala oceniać obiekty bardziej kompleksowo, a co za tym idzie w sposób pełniejszy i dający obraz bardziej zrozumiały i transparentny.

W dalszej części artykułu przedstawiono techniki pomiarowe i analizy wyników dotychczas nie stosowane w technicznej kontroli zapór, tj. naziemny skaning laserowy galerii zastrzykowo-kontrolnej oraz przelewu betonowego, automatyczne analizy obrazu z zastosowaniem klasyfikacji nienadzorowanej i nadzorowanej bazującej na definicji pól referencyjnych.

W dostępnej literaturze światowej autorzy nie znaleźli odniesienia do prowadzonych prac w zakresie wykorzystania skanowania laserowego do okresowej kontroli obiektów hydrotechnicznych, a w szczególności w przedstawionym w niniejszym artykule zakresie. Naziemny skaning laserowy najczęściej stosowany jest do inwentaryzacji koron zapór w połączeniu z pomiarami GNSS, głównie jako technika uzupełniająca pomiary klasyczne. Celem opisanych prac jest wskazanie na możliwości rozwoju techniki skaningu jako jednej z głównych metod pomiarowych przy technicznej kontroli zapór.

2. ASPEKTY PRAWNE OCENY STANU TECHNICZNEGO OBIEKTÓW HYDROTECHNICZNYCH

Konieczność wykonywania geodezyjnych pomiarów kontrolnych oraz pomiarów inwentaryzacyjnych dla określenia stanu technicznego i bezpieczeństwa budowli hydrotechnicznych wynika bezpośrednio z ustawy Prawo Budowlane, ustawy Prawo Wodne oraz związanych z tymi ustawami przepisów wykonawczych – rozporządzeń, a w szczególności z Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie (2007).

Ustawa Prawo Budowlane (2010) zalicza budowle hydrotechniczne do obiektów budowlanych nakładając tym samym obowiązek stosowania wszystkich przepisów ustawy. Art. 5.1 stanowi, że budowla hydrotechniczna musi być użytkowana i utrzymywana zgodnie z przepisami, w tym techniczno-budowlanymi, obowiązującymi Polskimi Normami oraz zasadami wiedzy technicznej, w sposób zapewniający bezpieczeństwo konstrukcji i bezpieczeństwo użytkowania. Zgodnie z art. 62 obiekty budowlane powinny być w czasie użytkowania poddane co najmniej raz w roku okresowej kontroli dla sprawdzenia stanu technicznej sprawności i co najmniej raz na 5 lat dla sprawdzenia stanu sprawności technicznej i wartości użytkowej całego obiektu budowlanego. Ponadto zgodnie z art. 62.1.4 należy przeprowadzić każdorazowo kontrolę stanu bezpieczeństwa obiektu budowlanego w przypadku zaistnienia takich okoliczności jak:

- stwierdzenie nietypowych zjawisk podczas bieżącej eksploatacji obiektu,
- przejście fali powodziowej,
- nietypowe, intensywne zjawiska lodowe.

Ustawa Prawo Wodne (2012) uściśla postanowienia prawa budowlanego w odniesieniu do poszczególnych rodzajów budowli wodnych, a takimi są w świetle ustawy budowle piętrzące przeznaczone do prowadzenia gospodarki wodnej czy energetyki. Właściciele lub zarządcy tych budowli są zobowiązani do zapewnienia należytego stanu technicznego, bezpieczeństwa i właściwego ich funkcjonowania, a także do prowadzenia badań i pomiarów umożliwiających ocenę stanu oraz bezpieczeństwa budowli, a w szczególności w zakresie filtracji przez budowlę, stanu galerii kontrolnej, stanu urządzeń upustowych oraz zmian na górnym i dolnym stanowisku budowli.

W zależności od klasy obiektu kontroli mogą podlegać różne parametry m.in.: przemieszczenia pionowe (osiadania i wypiętrzenia), przemieszczenia poziome, nachylenia względem poziomu, wychylenia od pionu, ugięcia, drgania oraz odkształcenia liniowe, kątowe i postaciowe.

3. MONITORING OBIEKTU HYDROTECHNICZNEGO

Na potrzeby monitoringu obiektu hydrotechnicznego wykonuje się wiele pomiarów kontrolnych oraz sprawdza się stan wizualny obiektu. Występujące rysy, szczeliny oraz miejsca przecieków wody powinny być systematycznie obserwowane, a następnie dokładnie analizowane pod kątem zagrożenia dla budowli. Po wykryciu defektów należy podjąć odpowiednie środki mające na celu naprawę i konserwację powstałych uszkodzeń.

Przeprowadzana okresowo kontrola pomiarowo - techniczna ma na celu porównanie geometrii zapory z parametrami projektowymi w pierwszych latach użytkowania zapory, a także obserwację zmian zachodzących na obiekcie, występujących w całym okresie eksploatacji.

Do najczęściej wykorzystywanych metod geodezyjnych wyznaczania przemieszczeń należą:

- niwelacja precyzyjna, pomiar metodą stałej prostej (metoda aliniometryczna),
- pomiar przemieszczeń poziomych metodą trygonometryczną,
- precyzyjna niwelacja hydrostatyczna,
- niwelacja trygonometryczna,
- metoda fotogrametrii naziemnej,
- laserowy naziemny skaning laserowy.

Skaning laserowy realizowany przy odpowiedniej rozdzielczości pomiaru bardzo dobrze nadaje się do wtórnej analizy stanu obiektu – rys, szczelin, miejsc zawilgocenia i filtracji oraz szybkiej inwentaryzacji geometrycznej obiektu. Ocena zawilgocenia galerii kontrolnej zapory ziemnej jest szczególnie istotna ze względu na bezpieczeństwo obiektu – filtracja przez korpus zapory ze względu na pokrycie skarp roślinnością często bywa zauważana późno w stosunku do początku zjawiska.

Na podstawie wyników skanowania laserowego można też łatwo zweryfikować geometrię obiektu – w tym różnice między obiektem zrealizowanym a danymi z powykonawczych pomiarów geodezyjnych. Technologia ta jest szeroko stosowana przez środowiska architektoniczne i archeologiczne, lecz istnieje ogromny potencjał w jej zastosowaniu do monitoringu, gdzie takie gęsty zestaw danych może zapewnić ogromny wgląd w naturę deformacji strukturalnych. (Lichti i *in.*, 2000).

4. TECHNIKA NAZIEMNEGO SKANINGU LASEROWEGO

Po kilkunastu latach intensywnych prób i doświadczeń skanowanie można uznać za kolejną, obok biegunowej i fotogrametrycznej, metodę pomiaru powierzchni terenu i obiektów inżynierskich (Toś i *in.*, 2010). Zauważyć można również wzrost zainteresowania tą metodą w monitoringu zapór ziemnych (np. Tsakiri *et al.*, 2006, Teskey and Bijoy, 2005).

Podstawową zaletą skanowania jest powierzchniowe pokrycie obiektu danymi pomiarowymi - mierzone są miliony punktów na powierzchni konstrukcji, a nie tylko grupa kilku lub kilkunastu punktów kontrolnych jak to jest w przypadku pomiarów klasycznych (kontrolna sieć kątowno-liniowa). W związku z tym deformacje, czy odkształcenia, które występują tylko miejscowo na obiekcie są łatwiejsze do wykrycia. Do tego typu prac wykorzystywane są zarówno skanery średniego (Riegl LMS-Z420i, Leica HDS 300), jak i bliskiego zasięgu (Riegl Z360, Z+F 5010). Ich dobór warunkowany jest zwykle dostępnością do skanowanego obiektu oraz uzyskania określonych, narzuconych normami prawnymi, dokładności opracowania.

Skaning laserowy daje wiele możliwości praktycznego wykorzystania obserwacji rejestrowanych w postaci chmur punktów, m.in.:

- inwentaryzacja obiektu na poszczególnych etapach realizacji: (porównanie zrealizowanych elementów z projektem), inwentaryzacja powykonawcza, inwentaryzacja po remontach, pomiary okresowe w okresie eksploatacji,
- stworzenie i aktualizacja danych geometrycznych dla modelowania zachowania obiektów hydrotechnicznych pod wpływem zmiennych obciążeń (modelowanie numeryczne),
- weryfikacja występowania zależności pomiędzy zmianami poziomu wody w zbiorniku, a zmianami geometrii konstrukcji,
- ocena stanu technicznego obiektu.

Wymienione powyżej aplikacje to tylko niewielka część z całej gamy, które można wykorzystać przy opracowywaniu wyników pomiarów na obiektach hydrotechnicznych. Z najczęstszych zastosowań wymienić należy przede wszystkim monitoring strukturalny i wszelkiego typu modelownia. Analizę możliwości wykorzystania wyników skanowania laserowego autorzy szczegółowo opisali w artykule (Adamek *i in.* 2012).

Niniejsze opracowanie jest próbą kolejnego rozszerzenia możliwych aplikacji skaningu naziemnego w technicznej kontroli zapór.

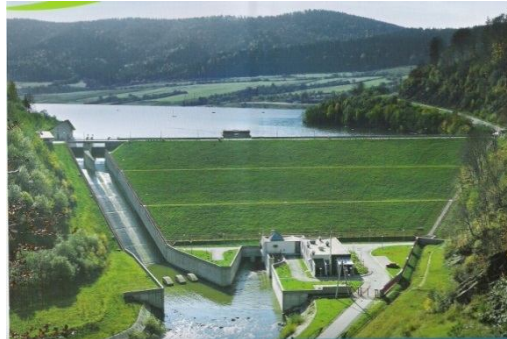
5. POMIARY GALERII ZASTRZYKOWO-KONTROLNEJ ZIEMNEJ ZAPORY WODNEJ KLIMKÓWKA

Zbiornik wodny Klimkówka wraz z zaporą wodną oddaną do eksploatacji w 1994r. zlokalizowane są w miejscowości Klimkówka, w województwie małopolskim na 55 km rzeki Ropy (rys.1). Zapora jest zaporą ziemną (rys.2), wykonaną z materiałów miejscowych uszczelnionych rdzeniem glinianym. W koronie jej długość wynosi 210 m, szerokość 8,90 m, natomiast korpus budowli jest wysoki na 33 m. Od strony odwodnej nachylenie skarpy wynosi 1:2,5 i jest ona przykryta betonowymi płytami. Skarpa odpowietrzna jest w całości porośnięta trawą, która spełnia funkcję ochronną przed działaniem procesów erozyjnych. Jej nachylenie wynosi 1:2,2. Wewnątrz konstrukcji, na całej jej długości znajduje się galeria zastrzykowo-kontrolna (rys.3 i rys.4).

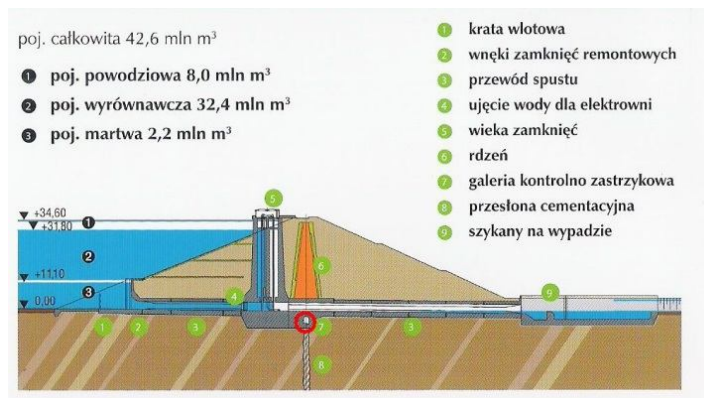
Inwentaryzacja galerii kontrolnej i przelewu zapory ziemnej Klimkówka metodą skanowania laserowego



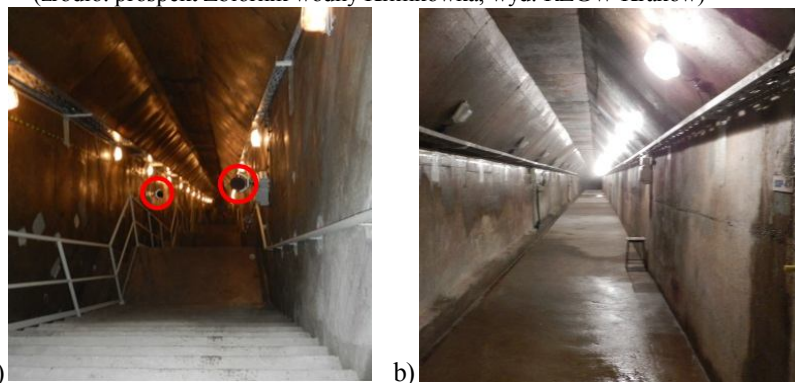
Rys. 1. Położenie zbiornika wodnego i zapory w Klimkówce (źródło: prospekt Zbiornik wodny Klimkówka, wyd. RZGW Kraków)



Rys. 2. Zapora ziemna Klimkówka (źródło: prospekt Zbiornik wodny Klimkówka, wyd. RZGW Kraków)



Rys. 3. Przekrój poprzeczny przez zapórę w Klimkówce, opisywaną w artykule galerię zastrzykowo-kontrolną oznaczono czerwonym kółkiem, a na rysunku nr 6 czerwonym prostokątem. (źródło: prospekt Zbiornik wodny Klimkówka, wyd. RZGW Kraków)



Rys. 4. Galeria zastrzykowo-kontrolna: a) zejście do od strony przyczółka lewego, na ścianach tarcze do orientacji i łączenia skanów (zaznaczone na rysunku czerwonymi kółkami), b) korytarz centralny.



Rys. 5. Galeria Klimkówka. Na posadzce widoczne repery niwelacyjne (zaznaczone czerwonymi kółkami) i odsunięte metalowe przykrywki. (Zrzut z programu Z+F Laser Control)

Pomiar przemieszczeń zapory wodnej Klimkówka metodą niwelacji precyzyjnej został zrealizowany w sierpniu 2012 przez studentów Wydziału Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej w ramach realizacji pracy dyplomowej inżynierskiej (Zielińska, Włoga, 2012). Pomiar skanerem laserowym galerii zapory wykonano 5 dni przed pomiarem niwelacyjnym ciągu w galerii. W tym celu wykorzystano instrument niemieckiej firmy Z+F model Imager 5010. Wykonano 23 skany o średniej rozdzielczości 6 mm na 10 m. W przypadku inwentaryzacji zapory wymagana dokładność wysokościowa i pozioma to +/- 1 cm (Rozporządzenie Ministra Środowiska, 2007). Rozdzielczość skanowania jest ściśle związana ze stopniem szczegółowości modelu jaki chcemy otrzymać. Nie mniej jednak, należy pamiętać iż przy tego typu pracach nie należy dążyć do zbyt dużej rozdzielczości, a raczej skupić się na dobrym pokryciu obiektu chmurą punktów, a to wiąże się z większą liczbą stanowisk skanera. Podczas skanowania galerii stanowiska rozmieszczone były na spocznikach w odległości ok 5 m, co zapewniało wspomniane, odpowiednie, pokrycie obiektu danymi laserowymi. Taka lokalizacja stanowisk skanera zapewniła oczekiwaną do tego typu pomiarów średnią dokładność różnicy wysokości między mierzonymi punktami na skanie - powyżej 5 mm. Do opracowania otrzymanej chmury punktów wykorzystano program Ascan współpracujący ze środowiskiem Bentleya MicroStation. Orientację skanów wykonano przy użyciu, tzw. „punktów naturalnych”, które zostały wykorzystane w programie jako punkty wiążące (Tiepoints), zaś tarcze pomiarowe Z+F jako punkty osnowy (Controls) do zorientowania skanów, w tym przypadku w układzie lokalnym. Wyniki wyrównania przedstawione zostały w tabeli 1. Wartości w kolumnach vx, vy oraz vz przedstawiają dokładności wyrównania i reprezentują wartości odchylenia od średniej wartości punktu w stosunku do wartości punktu pomierzonego na poszczególnych skanach. Maksymalne wartości poprawek po wyrównaniu nie przekraczają w tym przypadku 2 mm, zaś błędy średnie wynoszą odpowiednio: $RMS_x = 5.4 \text{ mm}$; $RMS_y = 4.7 \text{ mm}$; $RMS_z = 6.9 \text{ mm}$.

Inwentaryzacja galerii kontrolnej i przelewu zapory ziemnej Klimkówka metodą skanowania laserowego

Powyższe wartości błędów średnich wynikać mogą, m.in. z kształtu skanowanego obiektu (obiekt liniowy) oraz mało zróżnicowanej infrastruktury wewnątrz galerii kontrolnej, co miało wpływ na niezbyt korzystne rozmieszczenie punktów wiążących (punkty naturalne).

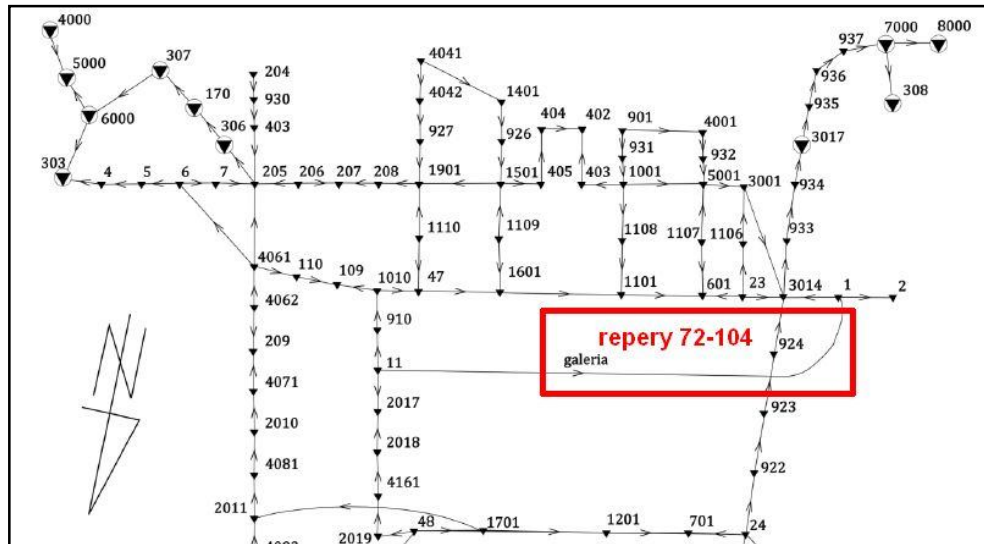
Tabela 1. Przykładowe wyniki wyrównania punktów naturalnych użytych do transformacji skanów z prezentowanej galerii zapory Klimkówka. (jednostki w tabeli [m]).

Orientation												
Scans	Parameters	Controls	Tie points			Observations			Report			
Scan	Name	type	X	Y	Z	mx	my	mz	status	vx	vy	vz
Galeria21.xyz	198	XY	5.78372	117.164	-23.393	0.00050	0.05020	0.50000	Active	-0.001600	-0.000800	-0.001700
Galeria7.xyz	170	XY	5.93407	1.00007	2.39630	0.00050	0.00200	0.50000	Active	0.001500	0.001000	-0.001700
Galeria7.xyz	162	XY	5.99812	12.8505	-4.5570	0.00050	0.00200	0.50000	Active	-0.001500	-0.000500	0.001400
Galeria14.xyz	138	XY	5.65673	50.2553	-21.322	0.00050	0.00200	0.50000	Active	0.001400	-0.001100	0.001300
Galeria14.xyz	140	XY	5.65509	65.5761	-21.995	0.00050	0.00200	0.50000	Active	-0.001400	0.001100	-0.001300
Galeria16.xyz	120	XY	5.62334	79.9325	-21.990	0.00050	0.00200	0.50000	Active	0.001300	0.000500	0.001100
Galeria13.xyz	158	XY	6.04670	22.9110	-10.984	0.00050	0.00200	0.50000	Active	-0.001200	0.000400	0.001100
Galeria19.xyz	112	XY	5.69742	101.602	-22.374	0.00050	0.00200	0.50000	Active	0.001200	-0.000100	0.000900
Galeria7.xyz	169	XY	5.93190	2.42748	2.39650	0.00050	0.00200	0.50000	Active	0.001200	0.000100	-0.000800
Galeria16.xyz	140	XY	5.65478	65.5780	-22.000	0.00050	0.00200	0.50000	Active	-0.001100	-0.000800	0.000800
Galeria22.xyz	107	XY	5.74226	111.616	-22.500	0.00050	0.00200	0.50000	Active	0.001100	0.000400	0.000800
Galeria19.xyz	121	XY	5.62077	80.1803	-21.939	0.00050	0.00200	0.50000	Active	-0.001100	-0.000300	0.000700
Galeria9.xyz	151	XY	6.07990	26.7667	-14.264	0.00050	0.00200	0.50000	Active	0.001100	-0.001100	-0.000700
Galeria5.xyz	177	XY	8.03606	-10.118	9.12504	0.00050	0.00200	0.50000	Active	-0.001100	0.001000	-0.000700
Galeria16.xyz	125	XY	5.65989	65.6116	-21.873	0.00050	0.00200	0.50000	Active	-0.001100	-0.000900	-0.000600
Galeria6.xyz	177	XY	8.03382	-10.117	9.14408	0.00050	0.00200	0.50000	Active	0.001100	-0.000300	-0.000600
Galeria8.xyz	172	XY	5.91625	-2.6809	5.76910	0.00050	0.00200	0.50000	Active	0.001000	-0.000600	0.000600
Galeria19.xyz	114	XY	5.69924	102.683	-22.441	0.00050	0.00200	0.50000	Active	0.001000	0.000600	-0.000600
Galeria17.xyz	120	XY	5.62566	79.9335	-21.939	0.00050	0.00200	0.50000	Active	-0.001000	-0.000600	0.000600
Galeria18.xyz	112	XY	5.69780	101.601	-22.408	0.00050	0.00200	0.50000	Active	0.000900	0.000500	0.000600
Galeria21.xyz	105	XY	5.82061	125.878	-22.403	0.00050	0.00200	0.50000	Active	-0.000900	-0.000400	0.000600

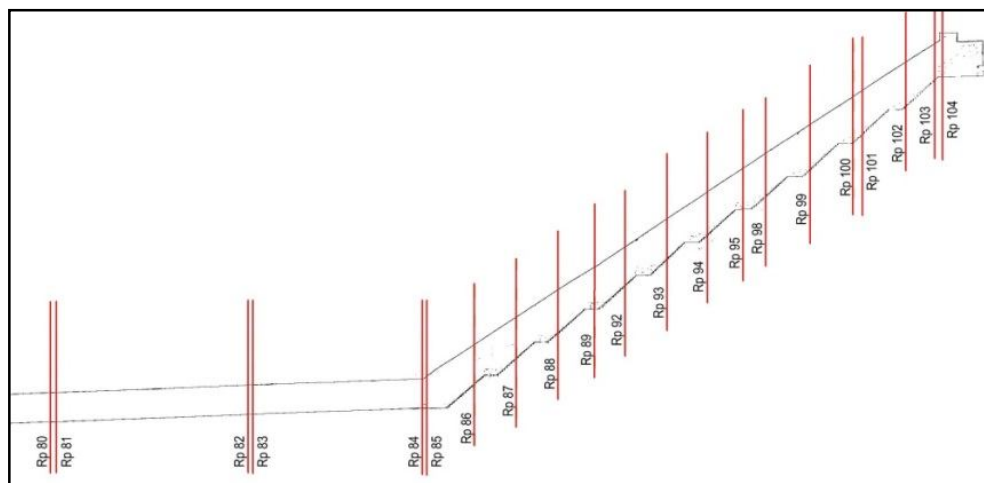
Na zorientowanej i wyrównanej chmurze punktów wykonano szereg opracowań, których zadaniem jest prezentacja możliwych do wykonania analiz oceny stanu technicznego galerii. Opracowano m.in.:

- przekroje pionowe galerii w miejscach rozmieszczenia reperów w posadzce - (rys.7),
- rzut ortogonalny ściany klatki schodowej galerii zapory z nałożoną hipsometrią - (rys.9),
- porównanie przekrojów pionowych w celu analizy geometrii galerii - (rys.11),
- zastosowano techniki automatycznego rozpoznawania obrazów w analizie zarejestrowanych wartości intensywności odbicia (I) w celu oceny stanu powierzchni konstrukcji - (rys.12 i rys.13).

Po opracowaniu przekrojów pionowych galerii porównano wyniki niwelacji precyzyjnej z wynikami skanowania laserowego. Fragment szkicu kontrolnej sieci niwelacyjnej z zaznaczonym ciągiem biegnącym w galerii zastrzykowo-kontrolnej przedstawia rysunek 6. Fragment przekroju galerii wykonanego na podstawie wyników skanowania laserowego przedstawia rysunek 7. Wyniki pomiarów ciągu niwelacyjnego i różnic wysokości między zastosowanymi technikami przedstawiono w tabeli 2.



Rys. 6. Fragment szkicu kontrolnej sieci niwelacyjnej zapory Klimkówka.



Rys. 7. Fragment przekroju galerii kontrolnej wykonanego na podstawie wyników skanowania laserowego (repery 80-104).

Inwentaryzacja galerii kontrolnej i przelewu zapory ziemnej Klimkówka metodą skanowania laserowego

Tabela 2. Wyznaczone różnice wysokości między reperami w galerii kontrolnej na podstawie wyników niwelacji precyzyjnej oraz wyników skanowania laserowego (modelu 3D).

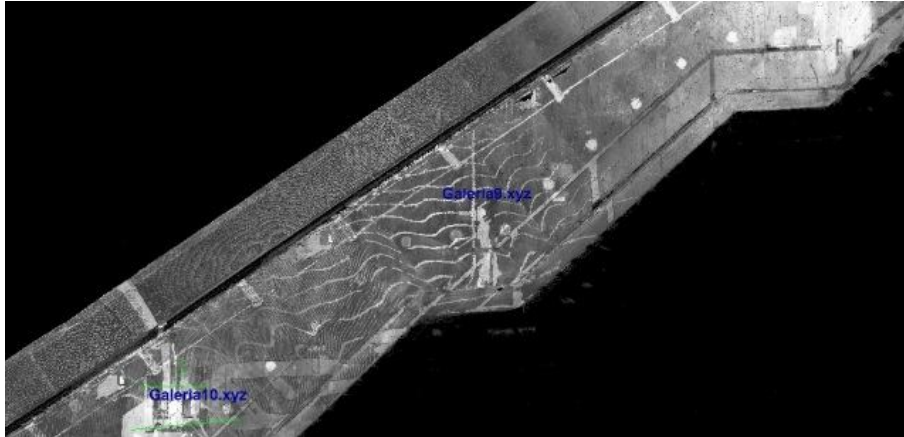
Reper	dH niwelacja [m]	wysokość niwelacyjna	dH z modelu 3D	wysokość z modelu 3D	Różnica wartości z kolumn 3 i 5
-1-	-2-	-3-	-4-	-5-	-6-
104		11,6320		11,6320	
103	-0,3547	11,2773	-0,3880	11,2440	-0,0333
102	-2,6077	8,6695	-2,6060	8,6380	-0,0315
101	-2,7454	5,9241	-2,7410	5,8970	-0,0271
100	-0,7793	5,1448	-0,8080	5,0890	-0,0558
99	-2,8402	2,3046	-2,8320	2,2570	-0,0476
95	-4,0174	-1,7128	-4,0540	-1,7970	-0,0842
94	-2,6717	-4,3846	-2,6110	-4,4080	-0,0234
93	-2,4035	-6,7881	-2,3910	-6,7990	-0,0109
92	-2,6655	-9,4535	-2,6790	-9,4780	-0,0245
89	-2,3922	-11,8458	-2,4100	-11,8880	-0,0422
88	-2,4475	-14,2933	-2,3870	-14,2750	0,0183
87	-2,5251	-16,8184	-2,5610	-16,8360	-0,0176
86	-2,5706	-19,3890	-2,5610	-19,3970	-0,0080
85	-2,5022	-21,8912	-2,5220	-21,9190	-0,0278
84	-0,0466	-21,9379	-0,0410	-21,9600	-0,0221
83	-0,5868	-22,5246	-0,5740	-22,5340	-0,0094
82	-0,0099	-22,5345	-0,0170	-22,5510	-0,0165
81	-0,8075	-23,3420	-0,7670	-23,3180	0,0240
80	-0,0113	-23,3533	0,0220	-23,2960	0,0573

Repery ciągów niwelacyjnych są zlokalizowane w specjalnych studzienkach ok. 2-3 cm pod powierzchnią betonu (powierzchnią stopni schodowych, powierzchnią „podłogi”) w korytarzu galerii. W trakcie pomiaru skanerem laserowym studzienki te były zamknięte pokrywkami - wysokość modelu 3D została określona na powierzchni pokrywki. Przyjęto za zgodne (oznaczone w tabeli kolorem zielonym) wysokości różne od siebie o wielkości ≤ 3 cm, za błędne (oznaczone kolorem czerwonym) przyjęto wysokości różne od siebie o wielkość > 5 cm. Otrzymane różnice wysokości spowodowane są różną głębokością lokalizacji reperu w studziencie. Fizyczne pomiary wykazały różnice między głębokością wierzchołka reperu, a poziomem pokrywki nie większe niż 3 cm.

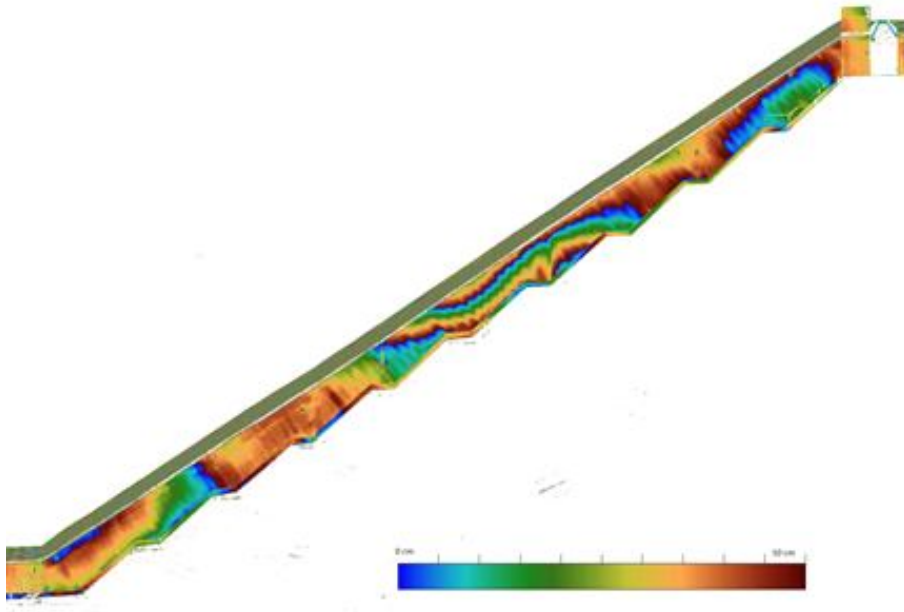
6. OCENA STANU TECHNICZNEGO GALERII NA PODSTAWIE DANYCH ZE SKANINGU LASEROWEGO

Rzuty ortogonalne z nałożoną hipsometrią dają kompleksowy obraz stanu obiektu, np. geometria ściany - deformacje i odkształcenia, różnice od projektu. Rysunki 8 i 9 przedstawiają przekroje podłużne galerii kontrolnej. Na rysunku 8 widoczny jest przekrój podłużny, a na rysunku 9 odpowiadający mu rzut ortogonalny na płaszczyznę pionową przekroju ściany galerii (hipsometria) pokazujący ukształtowanie ściany galerii - po nałożeniu na siebie przekroi wykonanych w kolejnych cyklach obserwacyjnych można

będzie zaobserwować ewentualne zmiany zachodzące na powierzchni ściany tj. zmiany wielkości spękań, odkształceń i deformacji.

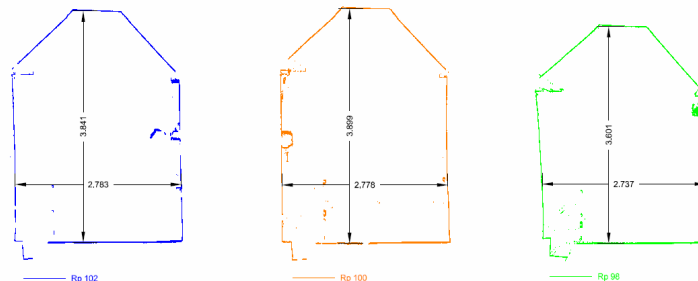


Rys. 8. Przekrój podłużny przez zapórę. Zrzut z ekranu w programie Ascan. Niebieskim kolorem oznaczono numery skanów.



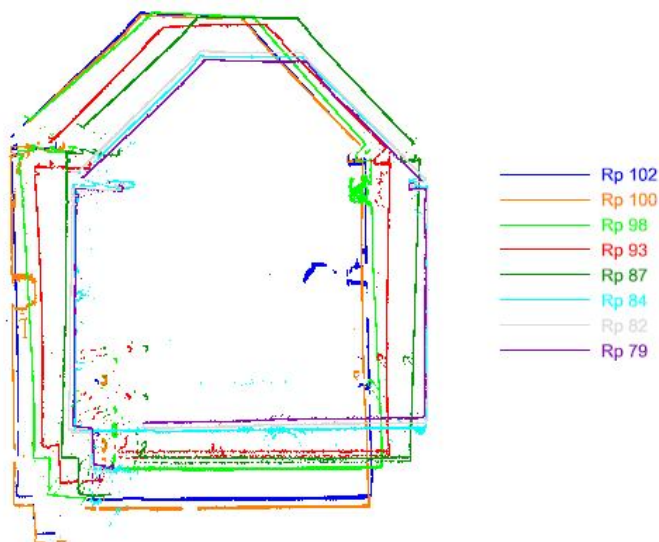
Rys. 9. Rysunek przedstawia rzut ortogonalny ściany klatki schodowej galerii zapory z nałożoną hipsometrią.

W wybranych miejscach galerii wykonano przekroje poprzeczne widoczne na rysunkach 10 i 11.



Rys. 10. Rysunek przedstawia przekroje przez galerię zapory w wybranych miejscach.

Miejsca wykonania przekrojów pokrywają się z lokalizacją reperów kontrolnych umieszczonych przy łączeniach kolejnych sekcji galerii oraz bezpośrednio za kolejnymi dylatacjami. Brzegi sekcji są słabszymi miejscami konstrukcji i są narażone na większe obciążenia wynikające ze zmian poziomu piętrzenia wody w zbiorniku. Miejsca te są kontrolowane w celu diagnostyki stanu nie tylko samej galerii, ale też geometrii i struktur uszczelniającej konstrukcję. Przykładowe przekroje zostały zwymiarowane na podstawie wyników skanowania. Bieżące wymiary mogą być podstawą do prowadzenia monitoringu stanu technicznego galerii zapory, gdyż pomiary wykonane w kolejnych cyklach pomiarowych przedstawiać będą ewentualne zmiany geometrii obiektu - widoczne na przekrojach chmur punktów wykonanych w tych samych miejscach..



Rys. 11. Geometria zapory przedstawiona za pomocą nałożonych na siebie przekrojów wygenerowanych w miejscach występowania wybranych reperów.

Porównywanie przekrojów poprzecznych galerii (rys. 11), w szczególności na prostym jej odcinku pozwala na obserwację przesunięć kolejnych sekcji konstrukcji - zmiany położenia sekcji względem siebie w kolejnych okresach kontrolnych mogą świadczyć o destabilizacji konstrukcji galerii, a tym samym zagrożeniu bezpieczeństwa obiektu.

7. OCENA STANU POWIERZCHNI BETONOWEGO PRZELEWU NA PODSTAWIE ANALIZY METODĄ AUTOMATYCZNEGO ROZPOZNAWANIA OBRAZÓW

Wychodząc z założenia, że wartość intensywności odbicia promieni laserowych pozwala na diagnozę stanu konstrukcji betonowych (Zaczek-Peplinska *i in.*, 2011) przeprowadzono eksperyment mający na celu analizę możliwości wykorzystania technik automatycznego rozpoznawania obrazów takich, jak np. metoda ISODATA (ang. *IterativeSelf-Organizing Data Analysis Technique*), stosowana m.in. w klasyfikacji teledetekcyjnych obrazów wielospektralnych metodą nienadzorowaną (Jensen, 1996), (Liu *i in.*, 2008). Technika ta pozwala na uzyskanie klas (grup) pikseli o podobnych właściwościach odbicia promieniowania.

We wcześniejszej pracy (Zaczek-Peplinska *i in.*, 2012) opisano analizy wykonane dla zapory Besko. Podobne analizy wykonano dla przelewu zapory Klimkówka. Zastosowano dwa podejścia klasyfikacyjne: klasyfikację nienadzorowaną techniką ISODATA oraz klasyfikację nadzorowaną z wykorzystaniem algorytmów najmniejszej odległości (ang. *minimum distance*) i największego prawdopodobieństwa (ang. *maximum likelihood*). Przetworzenia cyfrowe obrazu intensywności odbicia promieniowania (uzyskanego na podstawie wyników skanowania przelewu skanerem Z+F Imager 5010) zostały wykonane przy użyciu oprogramowania do przetwarzania obrazów teledetekcyjnych *ERDAS Imagine*. Wyniki uzyskane za pomocą algorytmu ISODATA wskazują na możliwość wykorzystania technik analizy obrazowej do wydzielenia klas powierzchni betonowych o różnych właściwościach. Właściwości powierzchni betonu oceniono wizualnie oraz na podstawie zgodności testu sklerometrycznego (młotek Schmidta) z testami laboratoryjnymi. Dość duża zgodność rezultatów klasyfikacji tą metodą z obrazem próbek referencyjnych pozwala na wysnucie takiego wniosku. W związku z tym kolejną testowaną metodą była klasyfikacja nadzorowana, w której jako wzorce klas wykorzystano próbki o znanej charakterystyce właściwości betonu. Wydzielono 5 klas betonu o różnych właściwościach – na podstawie pomiaru sklerometrem Schmidta (Zaczek-Peplinska *i in.* 2012). Charakterystyka statystyczna próbek wzorcowych zestawiona została w tabeli 3.

Inwentaryzacja galerii kontrolnej i przelewu zapory ziemnej Klimkówka metodą skanowania laserowego

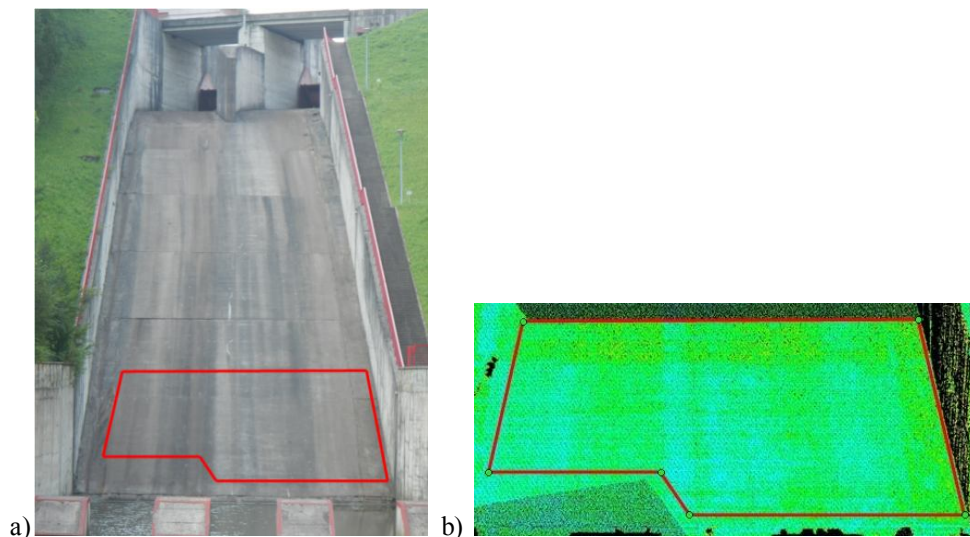
Tabela 3. Wyniki uzyskane w wyniku przetworzenia obrazu, klasyfikacja nadzorowana - oprogramowanie *ERDAS Imagine* - zestawienie parametrów statystycznych charakteryzujących poszczególne obszary referencyjne.

obszar ref.	opis	I	minimum	maksimum	średnia	odchylenie standardowe
Klasa 1	Beton czysty, powierzchnia skośna	$I_{sr.}$	107.755	149.347	133.612	6.661
		σ	2.687	55.227	18.651	12.681
Klasa (2, 3), 4	Beton w różnym stopniu porośnięty mchem i porostami ***	$I_{sr.}^*$	107.265	129.898	119.991	2.964
		σ^{**}	1.980	31.044	8.937	5.712
Klasa 5	Beton czysty	$I_{sr.}$	87.469	121.082	102.569	7.035
		σ	4.746	23.556	13.045	2.904

* Wartość średnia intensywności w oknie 7×7

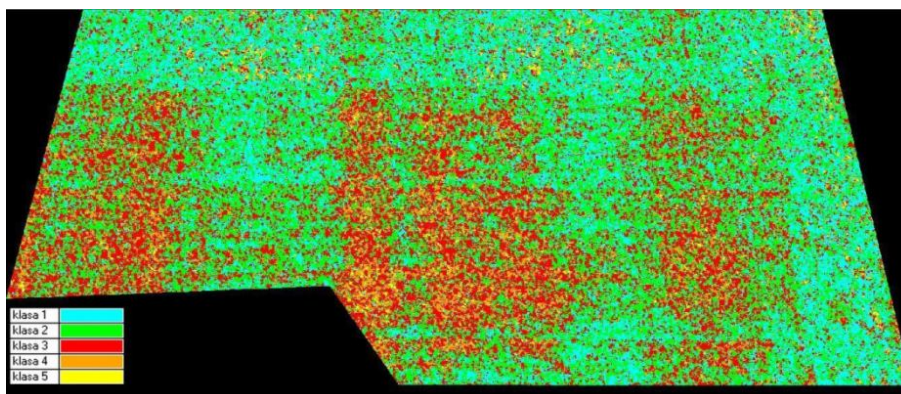
** Wartość odchylenia standardowego intensywności w oknie 7×7

***Klasa 1 beton najmniej zanieczyszczony, w tabeli podano wartości dla Klasy 4 - beton zanieczyszczony w dużym stopniu-pełna powłoka mchu i porostów.



Rys. 12 a). Obszar testowy przelewu zapory wodnej Klimkówka, b). klasyfikowany obraz intensywności odbicia

Analiza tabeli 3 pokazuje znaczne zróżnicowanie wartości intensywności (po filtracji uśredniającej 7×7) w poszczególnych próbkach wzorcowych, widoczna jest również duża zmienność odchylenia standardowego intensywności w oknie 7×7 . Niższe wartości średnie dla obrazu odchylenia standardowego obliczonego w oknie 7×7 występują dla próbek 1 i 5, zaś wyższe dla próbek 2,3,4. Rozkłady próbek w przypadku obrazu wartości średniej intensywności były zbliżone do rozkładu normalnego, co warunkuje prawidłowe działanie algorytmu największego prawdopodobieństwa. Przykładowy wynik klasyfikacji obrazu intensywności metodą największego prawdopodobieństwa przedstawia rysunek 13, klasyfikowany obszar został zaznaczony na rysunku 12 czerwonym konturem.



Rys. 13. Wynik działania algorytmu klasyfikacji nienadzorowanej metodą największego prawdopodobieństwa (5 klas) dla rastrowej reprezentacji intensywności odbicia po wcześniejszym poddaniu jej filtracji filtrem majority w oknie 5×5 .

Wstępne wyniki przeprowadzonych prac badawczych wskazują na możliwość wykorzystania automatycznych technik rozpoznawania obrazów do określenia obszarów konstrukcji betonowych o podobnych właściwościach. Ocena dokładności cyfrowej klasyfikacji została dokonana na drodze wizualnej interpretacji zdjęć optycznych. Ocena dokładności uzyskanych wyników w przypadku badań właściwości konstrukcji betonowych tej skali jest trudna do wykonania, ponieważ do jej dokonania konieczne byłoby przeprowadzenie badań sklerometrycznych za pomocą młotka Schmidta na całym obiekcie i dopiero na tej podstawie możliwe byłoby określenie dokładności algorytmów klasyfikacyjnych. Ocena wizualna i statystyczna (Zaczek-Peplinska *i in.*, 2011) przeprowadzona dla próbek betonu o znanych właściwościach wskazuje na uzyskanie dużej zgodności z wynikami badań sklerometrycznych.

8. PODSUMOWANIE

W kraju prowadzone są już prace z użyciem skanerów na różnych obiektach hydrotechnicznych. Jednak w dalszym ciągu technologia skaningu jest tylko uzupełnieniem klasycznych i fotogrametrycznych metod pomiarowych, a nie główną techniką realizacji zadań geodezyjnych, wynikających z technicznej kontroli zapór. Istnieje zatem potrzeba prowadzenia dalszych badań i rozwoju wspomnianej technologii w tym kierunku.

W niniejszym artykule przedstawiono przykładowe analizy i opracowania, jakie można wykonać na podstawie danych otrzymanych ze skanowania laserowego zapory ziemnej Klimkówka. Wspomniana dokładność inwentaryzacji tego typu obiektów (pozioma i wysokościowa wynosząca +/- 1cm) została zachowana, można więc stwierdzić, iż naziemny skaniny laserowy może być wiarygodnym uzupełnieniem pomiarów klasycznych.

Specyfika obiektów hydrotechnicznych stanowi o konieczności zastosowania szczególnych schematów i wypracowania osobnej metodyki prowadzenia pomiarów z użyciem technologii laserowej. Wykorzystując skaniny laserowy należy zwrócić szczególną uwagę na odpowiedni dobór skanera oraz strukturę obiektu. W galerii kontrolnej można zastosować większą liczbę tarcz, których korzystniejsze rozmieszczenie wpłynęłoby na jakość wyrównania.

Powtarzalność otrzymywanych wyników, a co za tym idzie przydatność technologii skanowania laserowego do kontroli obiektów w formie monitoringu okresowego zarówno przemieszczeń jak i stanu powierzchni konstrukcji pozwala na dalsze prowadzenie badań w kierunku opracowania odpowiedniej metodyki oraz szczegółowych algorytmów kontroli. Prace koncepcyjne jak i pomiary doświadczalne prowadzone na zaporach wodnych w kraju: Besko, Solina, Klimkówka, Rożnów jak również za granicą: Eckertalsperre (Niemcy) oraz współpraca z użytkownikami obiektów: Tauron Ekoservis Sp. z o.o., Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej w Krakowie, PGE Energia Odnawialna S.A., Harcwasserwerke wskazują na potrzeby wdrażania nowych metod kontroli obiektów hydrotechnicznych w celu zwiększenia bezpieczeństwa ich użytkowania, zapobieganiu awarii i katastrof, wcześniejszego i skutecznego ostrzegania użytkowników obiektu oraz mieszkańców obszarów położonych w jego sąsiedztwie.

LITERATURA

- Toś C., Wolski B., Zielina L.: Zastosowanie tachimetru skanującego w praktyce geodezyjnej, *Czasopismo Techniczne* (2010) Zeszyt 16, rok 107, s.83-97.
- Adamek A., Zaczek-Peplinska J., Gergont K.: Analysis of Possibilities to Utilise Results of Laser Scanning in Technical Inspection of Water Dams, *Proceedings of FIG Working Week 2012, TS01F – Dam and Reservoir Engineering Surveying*, Rome, Italy, 6-10 May 2012.
- Jensen J.R.: *Introductory Digital Image Processing - A Remote Sensing Perspective*, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, second edition, 1996.
- Lichti D.D., Stewart M.P., Tsakiri M., Snow A.: Benchmark tests on the three-dimensional laser scanning system, *Geomatics Research Australasia*, no. 72, June 2000.
- Liu W., Hung CH.-CH., Kuo B.-CH., Coleman T.: An adaptive clustering algorithm based on the possibility clustering and ISODATA for multispectral image classification, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVII. Part B7. Beijing, 2008.

Teskey B., Bijoy P.,: New Instrumental and Methodology for Deformation Monitoring, *Proceedings of Optical 3D Measurement Techniques*, Vol., II, Vienna, Austria, pp. 103-111, 2005.

Tsakiri M., Lichti D., Pfeifer N.,: Terrestrial Laser Scanning for Deformation Monitoring, *Proceedings of 3rd IAG/12th FIG Symp.*, Baden, Austria, May22-24, pp. 10, unpaginated CDROM, 2006.

Zaczek-Peplinska J., Falaciński P.: Evaluation of possibilities to apply laser scanning for estimation of conditions of concrete. *Reports on Geodesy*, No. 1 (91)/2011, ss.: 539-546.

Zaczek-Peplinska J., Osińska-Skotak K., Gergont K.: Możliwości wykorzystania zmian intensywności odbicia promienia laserowego do oceny stanu konstrukcji betonowej. *Monografia „Inżynierskie zastosowania geodezji”*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań, 2012.

Zielińska M., Włoga M.: Okresowy pomiar kontrolny przemieszczeń zapory wodnej (Obiekt Klimkówka), praca dyplomowa inżynierska, pod kierunkiem dr inż. Janiny Zaczek-Peplinskiej, Politechnika Warszawska, Wydział Geodezji i Kartografii, 2012.

(2007) Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie (Dz.U. 2007 nr 86 poz. 579).

(2010) Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 12 listopada 2010 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy - *Prawo budowlane* (Dz.U. 2010 nr 243 poz. 1623).

(2012) Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 10 stycznia 2012 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy – *Prawo wodne* (Dz.U. 2012, poz. 145).

**INVENTORY USING LASER SCANNING
OF THE CONTROL GALLERY AND OVERFLOW SECTION OF KLIMKÓWKA
EARTHFILL DAM - EXPERIENCES AND CONCLUSIONS**

KEY WORDS: Terrestrial Laser Scanning, geodetic monitoring, earthfill dams.

Summary

The paper discusses experiences resulting from the surveying inventory of Klimkówka earth dam's control gallery. Current status of the law, which impose obligation of adequate technical control on the unit administering and operating hydraulic structures is presented. Laser scanning due to the lack of suitable developed measurements methodology for this type of objects is rarely used for its inventory and control.

In August 2012, the measurement of displacements of control gallery of this object using precise levelling was conducted by the staff and the students from the Department of Engineering and Detailed Surveying (WUT, Faculty of Geodesy and Cartography) . Simultaneously, an inventory of control gallery using terrestrial laser scanning was made. In addition, during the processing the data an attempt to analyse the I values (Intensity) was made which were recorded during the measure of concrete overflow using automated image analysis in order to carry out the characteristic classification of the concrete - this analysis is to be used as a starting material for the analysis of changes in the surface of the concrete in the following years. The results of an inventory of geometry of the control gallery and a preliminary analysis of the surface of the concrete overflow using unsupervised classification method have been presented.

The process of gallery model creation, as well as selected possible analyses and measurements based on the data from terrestrial laser scanning have been also described.

Dane autorów:

dr inż. Janina Zaczek-Peplinska
e-mail: j.peplinska@gik.pw.edu.pl
telefon: +48 22 234 6069

mgr inż. Artur Adamek
e-mail: a.adamek@gik.pw.edu.pl
telefon: +48 22 234 7695

dr hab. inż. Katarzyna Osińska-Skotak
e-mail: k.osinska-skotak@gik.pw.edu.pl
telefon: +48 22 234 7286

mgr inż. Anna Adamek
e-mail: adamek.ania@gmail.com
telefon: +48 666 093 039