

JERZY KOWALSKI<sup>1</sup>, TADEUSZ MOLSKI<sup>1</sup>, STANISŁAW SERAFIN<sup>2</sup>, JANUSZ SKOWROŃSKI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>InstituT Inżynierii Środowiska

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

<sup>2</sup>InstituT Geodezji i Geoinformatyki

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

<sup>3</sup>Wielkopolski Zarząd Melioracji i Urządzeń Wodnych w Poznaniu

## BEZPIECZEŃSTWO MAŁYCH ZAPOROWYCH ZBIORNIKÓW WODNYCH NA PRZYKŁADZIE ZBIORNIKA KOBYŁA GÓRA

**Streszczenie.** Zapora ziemna zbiornika wodnego w Kobylej Górze jest wyposażona w niezbędne urządzenia pomiarowo-kontrolne. W czasie wieloletniej eksploatacji obiektu były i są prowadzone systematyczne badania stosunków wodno-gruntowych i odkształceń korpusu zapory za pomocą piezometrów i reperów. Wskutek postępującego procesu samouszczelniania się zbiornika warunki wodne w zaporze uległy poprawie. Problemy eksploatacyjne na niektórych urządzeniach odwadniających wymagały bieżących zabiegów, na przykład aby zlikwidować niekorzystne zjawiska upłynniania gruntu. Pomiaru geodezyjne pozwoliły ocenić zachowania urządzeń upustowych w czasie eksploatacji zbiornika, jak również odkształceń korpusu zapory. Jej maksymalne osiadanie wraz z podłożem w okresie 22 lat eksploatacji wyniosło 60 mm.

**Słowa kluczowe:** zbiornik wodny, bezpieczeństwo eksploatacji, monitoring

### Wprowadzenie

Bezpieczne funkcjonowanie obiektu hydrotechnicznego, w szczególności zaporo-  
wego zbiornika wodnego, zależy od przestrzegania prawidłowej gospodarki wodnej,  
zwłaszcza w okresach wezbrań, oraz od utrzymania go w dobrym stanie technicznym  
przez:

- zapobieganie wystąpieniu zjawisk i procesów, które mogłyby spowodować naru-  
szenie stateczności obiektu,
- systematyczną konserwację, remonty i modernizację obiektu.

Szczególnym problemem jest zapewnienie bezpieczeństwa budowli piętrzących, na  
których występują uszkodzenia zagrażające lub mogące zagrażać wystąpieniem awarii.

W zaporowych zbiornikach wodnych ich bezpieczna eksploatacja zależy przede wszystkim od stanu technicznego zapory i urządzeń upustowych oraz stateczności zboczy zbiornika. Warunkiem podejmowania racjonalnych działań związanych z konserwacją i remontami zbiorników z zaporami ziemnymi są aktualne informacje dotyczące:

- warunków filtracji przez podłoże i korpus zapory,
- sprawności elementów drenażu i urządzeń upustowych,
- odkształceń korpusu i podłoża zapory,
- przemieszczeń zboczy zbiornika.

Informacje służące wymienionym celom mogą być pozyskiwane tylko przez stałe monitorowanie warunków wodnych, w szczególności stanów wody gruntowej w korpusie zapory i na terenach przyległych do zbiornika, wydajności urządzeń drenażowych oraz okresowe pomiary geodezyjne położenia reperów kontrolnych. Okresowe przeglądy techniczne służą przede wszystkim sprawdzeniu stanu technicznego urządzeń zrzutowych (zamknięć) oraz ogólnego stanu technicznego zapory i urządzeń z nią związanych.

Institut Inżynierii Środowiska we współpracy z Katedrą Geodezji i Geoinformatyki Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu na zbiornikach zlokalizowanych na obszarze dawnego województwa kaliskiego prowadzą stały monitoring warunków wodno-gruntowych oraz pomiary geodezyjne przemieszczeń zapór i terenów przyległych. Monitoring i kontrola stanu technicznego są prowadzone na zlecenie Wielkopolskiego Zarządu Melioracji i Urządzeń Wodnych w Poznaniu oraz bezpośrednio współpracują z Rejonowym Oddziałem w Ostrowie Wielkopolskim. Wyniki monitoringu są przekazywane zleceniodawcy w postaci rocznych raportów.

W artykule przedstawiono niektóre wyniki badań kontrolnych na zbiorniku w Kobylej Górze. Obserwacje tam prowadzone są realizowane przez autorów artykułu od 1983 roku, czyli od początku eksploatacji zbiornika.

## Zbiornik Kobyla Góra

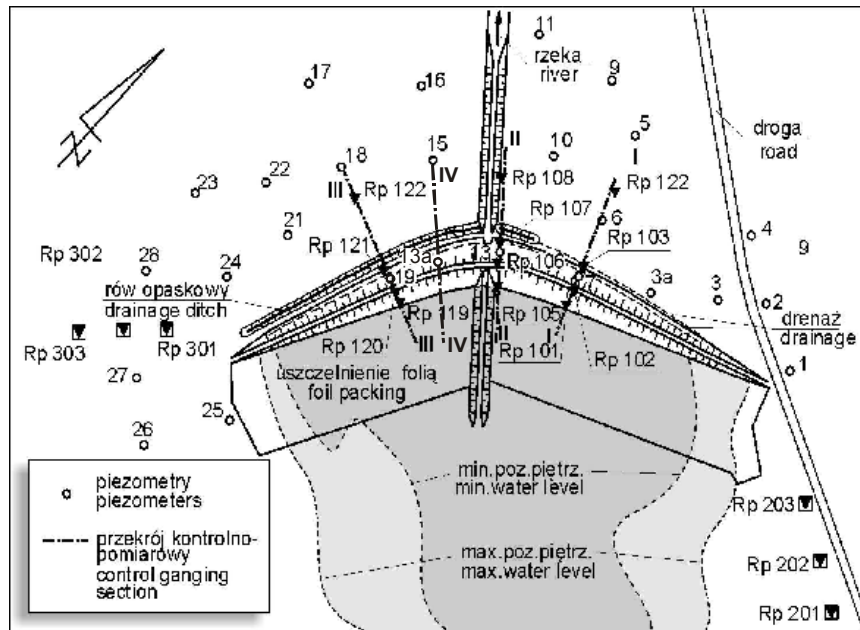
### Ogólna charakterystyka obiektu

Zbiornik wodny w Kobylej Górze (rys. 1) do eksploatacji został oddany w 1983 roku. Usytuowano go na terenie Wzgórz Ostrzeszowskich, w górnej części zlewni rzeki Meresznicy, wpadającej do Złotnicy, która stanowi lewobrzeżny dopływ Baryczy.

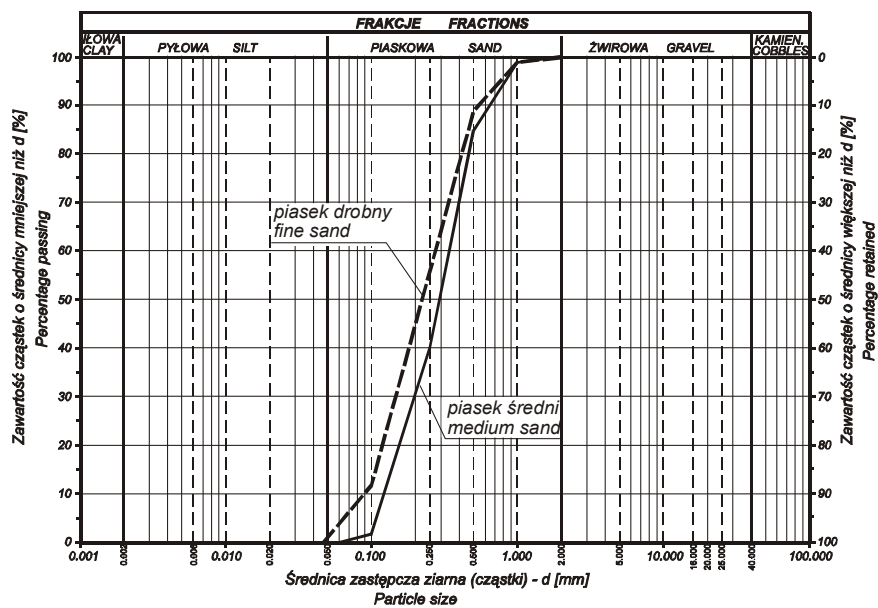
Powierzchnia zlewni w przekroju zapory wynosi 14,8 km<sup>2</sup>. Przepływy maksymalne Meresznicy wynoszą  $Q_{1\%} = 7,72 \text{ m}^3/\text{s}$ , a  $Q_{0,5\%} = 10,88 \text{ m}^3/\text{s}$ . Głównie zadanie zbiornika to piętrzenie i magazynowanie wody do nawodnień w rolnictwie, leśnictwie i hodowli ryb. Obiekt jest atrakcyjnie położony krajobrazowo i komunikacyjnie. Wykorzystuje się go dla celów rekreacyjnych i sportowych; w ograniczonym zakresie łągodzi fałę powodziową.

Podłoże zapory ziemnej tworzą czwartorzędowe piaski drobne i średnie oraz otoczaki ze żwirami zalegające na łożach pylastych i łożach (pliocen). W gruntach piaszczystych występują soczewki glin pylastych i namulów. Największa miąższość utworów niespoistych (24 m) występuje w środkowej części doliny, maleje zaś ku obrzeżom.

Zaporę wykonano z piasków średnich i drobnych równoziarnistych ( $U = 2,8$ ), pobieranych ze złóż w czaszy zbiornika. Materiał tego rodzaju charakteryzuje się słabą zagęszczalnością i podatnością na działanie sił filtracji. Konstrukcję zapory tworzy jednorodny



Rys. 1. Szkic sytuacyjny zbiornika wodnego Kobyla Góra  
Fig. 1. Water reservoir sketch



Rys. 2. Uziarnienia gruntów zapory zbiornika Kobyla Góra  
Fig. 2. Granulation range of soils in Kobyla Góra reservoir dam

nasyp ze szczelnym ekranem żelbetowym. Uszczelnienie czaszy stanowi stumetrowej szerokości fartuch z folii polietylenowej. Wbudowany w korpus zapory piasek średni pochodzenia wodnolodowcowego sypano warstwami o grubości około 40 cm, zagęszczano walcem wibracyjnym gładkim, uzyskując średnią wartość stopnia zagęszczenia  $I_D = 0,64$ . Piaski drobne i średnie, stanowiące podłoże zapory, są w stanie średniozagęszczonym ( $I_D \approx 0,60$ ), dla których współczynnik filtracji wynosi około  $k = 1,5 \times 10^{-2}$  cm/s.

Podstawowe cechy gruntu wbudowanego w zapórę podano w tabeli 1.

Tabela 1. Cechy gruntu zapory ziemnej w Kobylej Górze  
Table 1. Basic properties of soils build in the Kobyla Góra reservoir dam

Rodzaj gruntu	Uziarnienie (mm)			Gęstość obj. szk. gruntu (g/cm <sup>3</sup> )				$I_D$	$I_s$	$W_{opt}$ (%)	$\phi^\circ$	$k$ (cm/s)
	$d_{10}$	$d_{60}$	U	$\rho_d$	$\rho_{d\ min}$	$\rho_{d\ max}$	$\rho_s$					
Piasek drobny	0,10	0,27	2,70				1,766	0,641	0,934	8,40	32°	$1,5 \cdot 10^{-2}$
Piasek średni	0,125	0,35	2,80	1,725	1,545	1,85	1,74- -1,76		0,976	10,2- -12,5	33°	$1,5 \cdot 10^{-2}$

$\rho_s$  – gęstość obj. szkieletu wyznaczona metodą Proctora.

$\rho_{d\ max}$  – gęstość obj. szkieletu wyznaczona metodą wibracyjną.

Z danych przedstawionych w tabeli 1 wynika, że stopień zagęszczenia gruntów  $I_D$ , wbudowanych w korpus zapory, był nieco mniejszy od wymaganego przez WTWO (1994) ( $I_D \geq 0,70$ ). Oceniając zagęszczenie według wskaźnika zagęszczenia  $I_s$ , uznaje się stan zagęszczenia jako zadowalający.

Podstawowym elementem zbiornika, którego powierzchnia wynosi 17,5 ha, a pojemność przy normalnym piętrze (194,0 m n.p.m.) 612 tys. m<sup>3</sup>, jest nasyp zapory ziemnej z gruntu jednorodnego, o maksymalnej wysokości ok. 9,5 m, usytuowana na podłożu przepuszczalnym. Drenaż zapory stanowi filtr rurowy z perforowanych rur o średnicy 30 cm ze żwirową warstwą przewodzącą oraz rurociąg zbieracza na prawym skrzydle zapory, a u podnóża odpowietrznej skarpy, na lewym skrzydle zapory, rów opaskowy (rys. 1).

Zapórę charakteryzują następujące parametry:

- szerokość korony 3,0 m,
- maksymalna wysokość nad poziomem terenu 8,0 m,
- rzędna korony 195,25 m NN,
- normalny poziom piętrzenia NPP = 194,0 m,
- nachylenie skarp 1:3,
- na koronie zapory droga (ciąg spacerowy),
- skarpa odwodna z ekranem żelbetowym,
- skarpa odpowietrzna obsiana trawą.

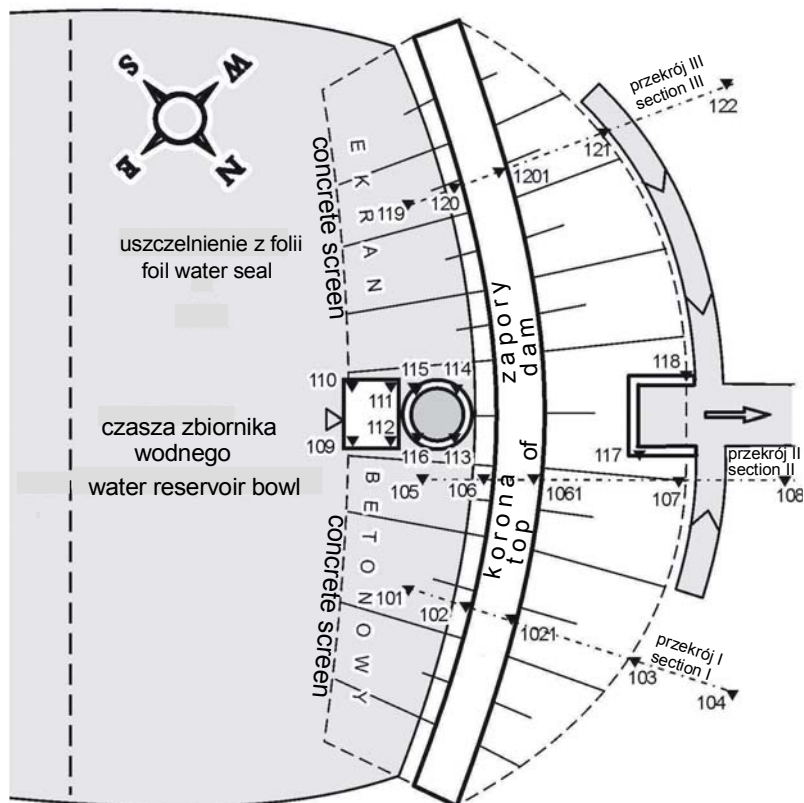
Urządzenie zrzutowe to wieża przelewowa o średnicy 3,0 m z upustem dennym (dwie rury o średnicy 1,0 m).

## Wyniki geodezyjnych pomiarów odkształceń

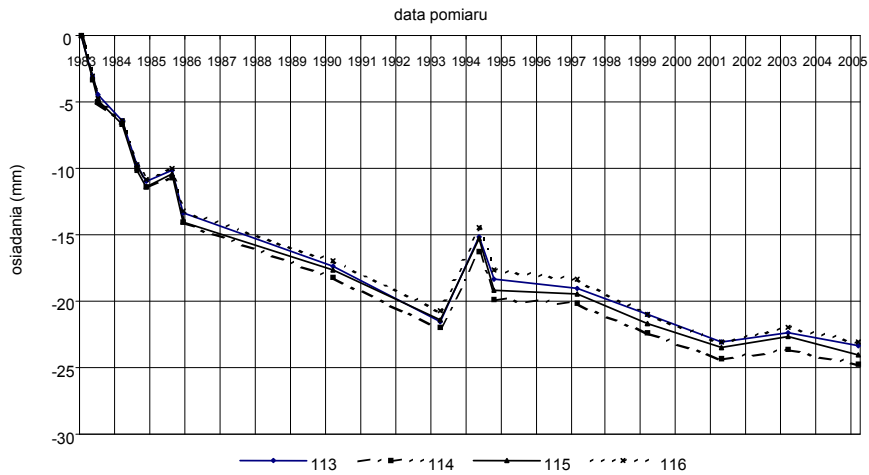
Pomiary geodezyjne są prowadzone od 1983 roku, czyli bezpośrednio od przejęcia zbiornika do eksploatacji. Ostatni pomiar wykonano w 2005 roku. W początkowym okresie eksploatacji zbiornika, przez trzy lata pomiary geodezyjne wykonywano dwa-trzy razy w roku, w latach późniejszych z mniejszą częstotliwością: w okresach trzy-letnich, a od 1995 pomiary są wykonywane regularnie co dwa lata.

Sieć kontrolno-pomiarowa składa się z 25 reperów, zlokalizowanych na budowli wieży przelewowej i konstrukcji upustowej, w trzech przekrojach zapory, w których trzy w każdym przekroju pozwalają na pomiar odkształceń korpusu zapory. Po jednym umieszczono w podstawie skarpy odpowietrznej oraz na przedpolu zapory (rys. 3). Sieć reperów kontrolowanych jest powiązana z sześcioma reperami odniesienia (stałymi).

Wyniki pomiarów osiadań w trzech charakterystycznych przekrojach poprzecznych zapory oraz wieży przelewowej przedstawiono na rysunkach 4-7. Z analizy przebiegu osiadań reperów wieży przelewowej (rys. 4) wynika, że całkowite osiadanie w okresie 22 lat (1983-2005) wyniosło 22-24 mm. Różnica 2 mm świadczy o równomiernym

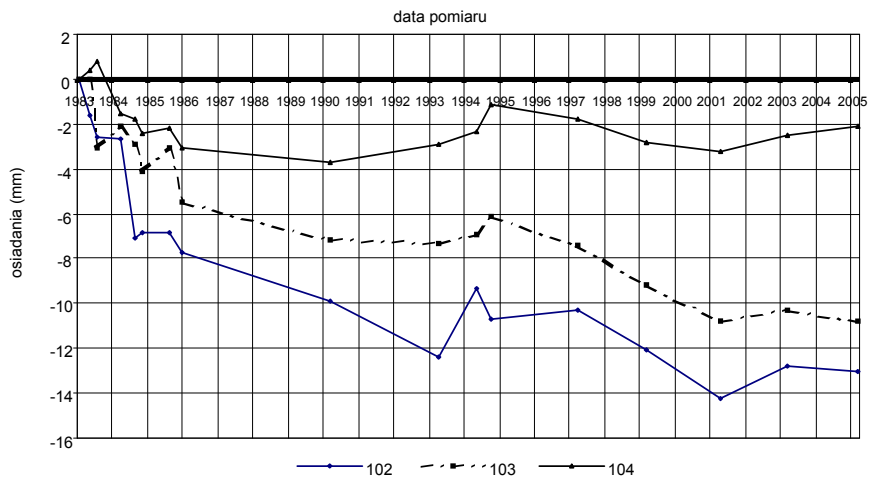


Rys. 3. Schemat lokalizacji reperów zbiornika wodnego w Kobylej Górze  
Fig. 3. Bench-mark location in water reservoir Kobyla Góra



Rys. 4. Wykres osiadań reperów wieży przelewowej

Fig. 4. Settlements of bench-mark at overflow tower

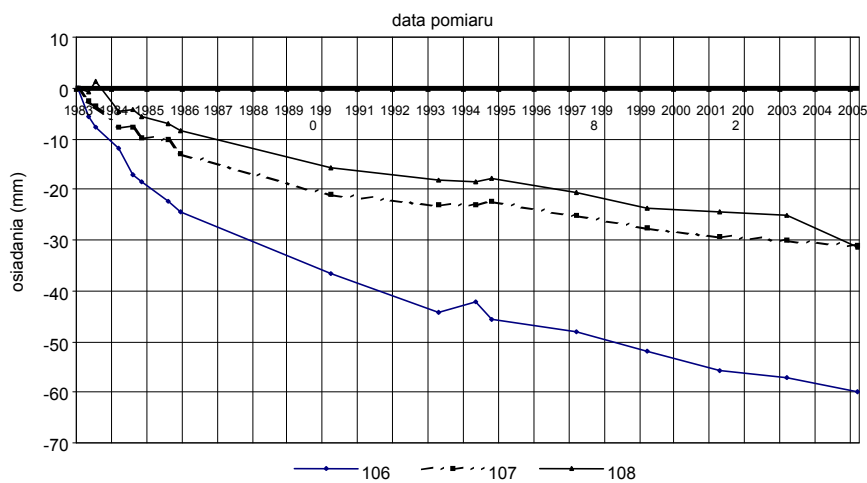


Rys. 5. Wykres osiadań reperów w przekroju I

Fig. 5. Settlements of bench-marks in section I

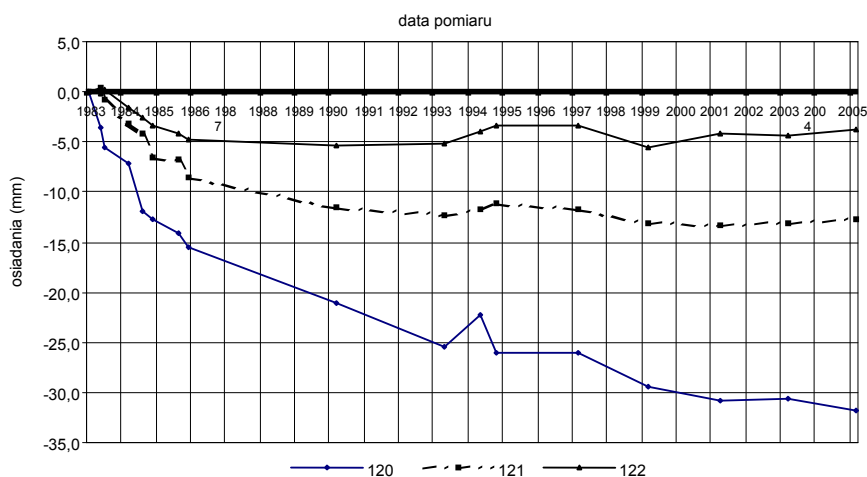
osiadaniu konstrukcji. Podobną wartość 30 mm otrzymano dla reperu 107, zlokalizowanego u podnóża skarpy odpowietrznej (rys. 6). Można przyjąć, że osiadania nie mniejsze niż 30 mm odpowiadają osiadaniu podłoża nasypu zapory.

Z obliczeń przemieszczeń pionowych (BALAWEJDER i IN. 1989) wynika, że przemieszczenie reperu 106 w koronie zapory składa się w 15-20% z osiadania nasypu, a w 80-85% z osiadania podłoża. Przyjmując taki podział odkształceń, na przemieszczenie reperu 106 w wysokości 60 mm składają się osiadania nasypu w wysokości 10-12 mm i około 50 mm podłoża.



Rys. 6. Wykres osiadań reperów w przekroju II (środkowym)

Fig. 6. Settlements of bench-marks in section II (central)



Rys. 7. Wykres osiadań reperów w przekroju III

Fig. 7. Settlements of bench-marks in section III

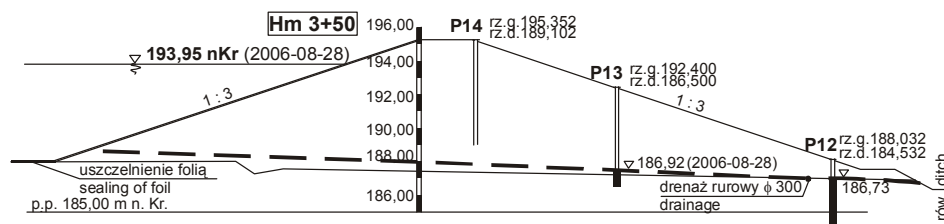
Osiadania reperów zlokalizowanych w koronie zapory wynoszą od 14 mm w przekroju I do 60 mm w przekroju II (środkowym). Jeśli uwzględnić osiadania podłoża, to osiadania nasypu zapory w przekroju środkowym, wysokości około 9,50 m, w okresie 22-letnich obserwacji wyniosły 30 mm. Dynamika osiadań, największa w początkowym okresie eksploatacji zbiornika: około 8 mm/rok w części środkowej zapory, systematycznie maleje i w ostatnich 10 latach wynosi około 1,5 mm/rok.

Interesujące obserwacje przemieszczeń reperów zanotowano w 1994 roku w związku z całkowitym opróżnieniem zbiornika. Po odciążeniu podłoża i zapory od ciśnienia wody repery umieszczone na budowli przelewowo-upustowej wypiętrzyły się o 6 mm, a repery znajdujące się w koronie zapory o 2,5-3,0 mm. Pomiary wykonane w maju 1995 roku, po ponownym napełnieniu zbiornika i kilkumiesięcznej eksploatacji, wykazały osiadanie reperów, przy czym ich wielkość nie skompensowała wypiętrzenia zanotowanego w grudniu 1994 roku.

## Warunki wodno-gruntowe zapory i terenów przyległych

Do kontroli stosunków wodnych zainstalowano 11 piezometrów w korpusie zapory oraz 20 piezometrów na terenach przyległych.

Dynamikę zmian stanów wody w piezometrach, charakteryzujących kształtowanie się zwierciadła wody w trzech przekrojach zapory, przedstawiono na rysunkach 9-11. W piezometrach 19 i 13, zlokalizowanych odpowiednio na lewym skrzydle i w części środkowej zapory, obserwowano stałe obniżanie się zwierciadła wody. Aktualnie jest ono o 50-70 cm niższe od stanu początkowego. Uwzględniając jednoczesne zmniejszanie się ilości przesiąków przez podłoże i korpus zapory (rys. 12) można przyjąć, że zmiany zwierciadła wody i natężenia przepływu są wynikiem samuszczelniania się czaszy zbiornika w wyniku kolmatacji dna i gromadzenia się osadów dennych.

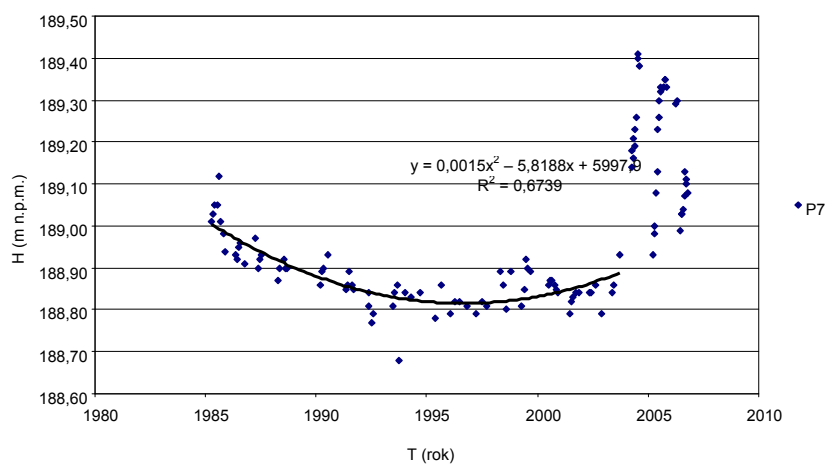


Rys. 8 Przekrój poprzeczny zapory zbiornika Kobyla Góra  
Fig. 8. Cross section of Kobyla Góra reservoir dam

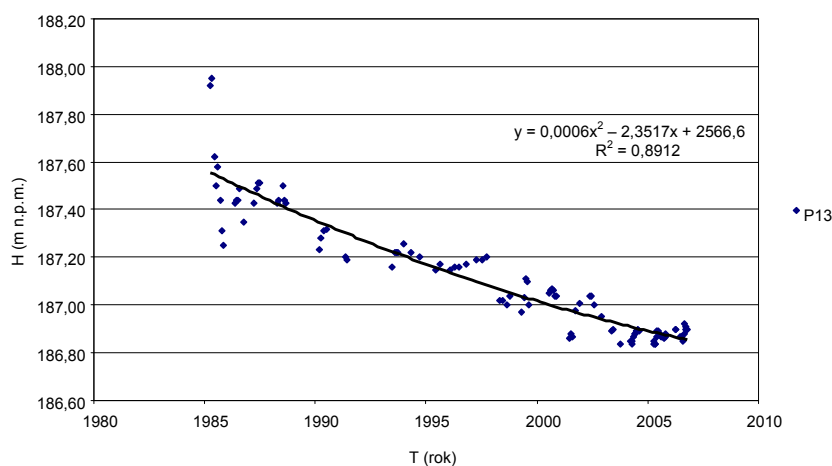
Wyjątek od powyższej zasady zaobserwowano w piezometrze siódmym, na prawym skrzydle zapory. Tam poziom wody obniżał się systematycznie do 2004 roku, w sumie o około 30 cm w stosunku do stanu początkowego. W latach 2005 i 2006 zanotowano nagłe, o dużej zmienności przyrosty stanów wody w piezometrze. Amplituda wahań wynosiła w tym okresie 47 cm/rok, osiągając przez dwa tygodnie wartość  $\Delta H = 15$  cm. Przyczyny tych zmian nie zostały rozpoznane. Być może wynikały z wytrącania się związków żelaza w obsypce żwirowej drenażu, zmniejszającymi przepuszczalność filtra, lub z nagromadzenia w dnie rurociągu osadu związków żelaza.

Wykonany na lewym skrzydle zapory rów opaskowy z betonowym dnem okazał się rozwiązaniem nietrafnym. Na dylatacjach płyty dennej występował skoncentrowany wypływ wody do rowu i związane z tym upłynnienie i wynoszenie piasku spod dna płyty. Wymywanie piasków w dnie rowu spowodowało rozluźnienie podłoża gruntowego



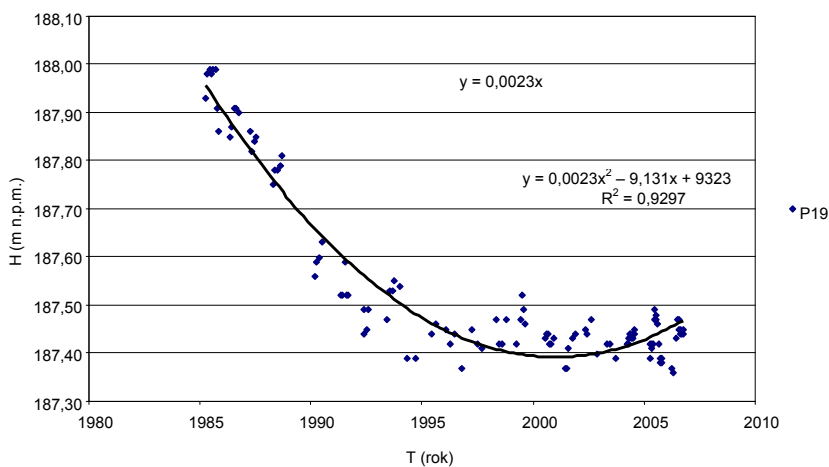


Rys. 9. Położenie zwierciadła wody w piezometrze P7  
Fig. 9. Water level position in the piezometer P7

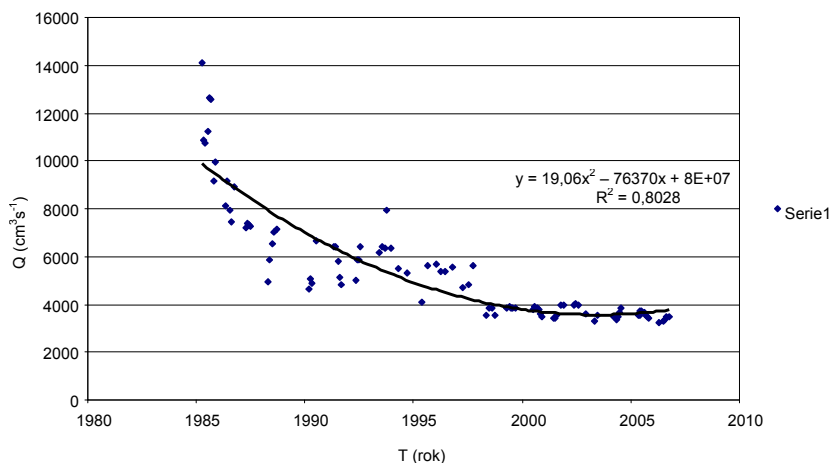


Rys. 10. Położenie zwierciadła wody w piezometrze P13  
Fig. 10. Water level position in the piezometer P13

sięgające do stopy zapory. Zastąpienie płyt ciągłych płytami azurowymi pozwoliło wyeliminować niekorzystne zjawisko upłynniania piasku. Stany wody w piezometrach zlokalizowanych poniżej zbiornika i na jego zboczach wskazuje na korzystne zmiany stosunków wodnych na terenie lasów otaczających zbiornik.



Rys. 11. Położenie zwierciadła wody w piezometrze P19  
 Fig. 11. Water level position in the piezometer P19



Rys. 12. Całkowite natężenie wypływu z wylotów drenaży  
 Fig. 12. Total intensity of discharge from drain pipes

## Podsumowanie

1. Na podstawie pomiarów osiadań reperów stwierdzono, że maksymalne osiadanie nasypu zapory wykonanej z równoziarnistych piasków średnich o stopniu zagęszczenia  $I_D = 0,64$  nie przekroczyło w okresie 22 lat eksploatacji wartości 30 mm.

2. Na podstawie osiadań reperów zlokalizowanych w stopie skarpy odpowietrznej można ocenić, że osiadanie podłoża gruntowego w przekroju zapory o największej wysokości (9,50 m) wynoszą 30-40 mm.

3. Osiadania budowli urządzeń zrzutowych są równomierne i wyniosły w okresie eksploatacji około 25 mm.

4. Opróżnienie zbiornika spowodowało odciążenie podłoża i wypiętrzenie wieży przelewowej o 5,8-6,7 mm, a reperów na koronie zapory od 1,0-3,0 mm.

5. Zmiany piezometrycznych stanów wody w czasie eksploatacji wskazują na systematyczne obniżanie się zwierciadła wody w zaporze.

6. Zmniejszenie odpływu z drenażu zapory o 60% wskazuje na samouszczelnianie się czaszy zbiornika.

7. Na podstawie stałego monitoringu technicznego zbiornika można stwierdzić, że obiekt należy do bezpiecznych. Z badań wynika również, że szczególnego nadzoru wymagają urządzenia odwadniające zapórę (rów i drenaż kryty).

## Literatura

Badania stosunków wodno-gruntowych oraz odkształceń zapory ziemnej zbiornika wodnego w Kobylej Górze. Maszyn. Inst. Inż. Środ. AR, Wrocław [roczne raporty za okres 1984-2006].

BALAWĘJDER A., KOWALSKI J., MOLSKI T., SERAFIN S., 1989. Analiza przemieszczeń, odkształceń i przesiąków zapory ziemnej zbiornika wodnego w okresie jego eksploatacji na podstawie obliczeń i badań terenowych. Zesz. Nauk. AR Wrocł. 180, Melior 32.

CZYŻEWSKI K., WOLSKI W., WÓJCICKI S., ŻBIKOWSKI A., 1973. Zapory ziemne. Arkady, Warszawa. Instrukcja wewnętrzna „Geodezyjne wyznaczenie pionowych przemieszczeń budowli metodą niwelacji precyzyjnej”. 1973. Geoprojekt, Warszawa.

KOWALSKI J., 1998. Hydrogeologia z podstawami geologii. Wyd. AR, Wrocław.

Roboty ziemne. Warunki techniczne wykonania i odbioru. 1994. Ministerstwo Rolnictwa i Ochrony Środowiska, Warszawa.

Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 20.12.1996 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane gospodarki wodnej i ich usytuowanie. 1996.

WIECZYSTY A., 1982. Hydrogeologia inżynierska. PWN, Warszawa.

WILUN Z., 1987. Zarys geotechniki. WKiŁ, Warszawa.

## OPERATIONAL SAFETY OF SMALL WATER RESERVOIRS ON EXAMPLE OF KOBYLA GÓRA RESERVOIR

**Summary.** The earth dam of water reservoir in Kobyla Góra equipped with essential measuring instruments. During long-term exploitation groundwater conditions researches have been carried out and dam's deformation have been measured using piezometers and reperes. As a result of progressive self-sealing process of reservoir, some minor improvements of groundwater conditions of the dam has been observed. Exploitation problems which appeared for some draining instruments required some procedures to eliminate disadvantageous soil migration. Geodetic measurements allowed to estimate a correctness of outlet facilities function during reservoir exploitation and dam deformation as well.

**Key words:** water reservoir, exploitation safety, monitoring

*Adres do korespondencji – Corresponding address:*

*Jerzy Kowalski, Instytut Inżynierii Środowiska, Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu, pl. Grunwaldzki 24, 50-363 Wrocław, Poland, e-mail: kowalski@iis.ar.wroc.pl*

*Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 10.05.2007*

*Do cytowania – For citation: Kowalski J., Molski T., Serafin S., Skowroński J., 2007. Bezpieczeństwo małych zaporowych zbiorników wodnych na przykładzie zbiornika Kobyla Góra. *Nauka Przyr. Technol.* 1, 2, #25.*