

PRZYDATNOŚĆ MODELU EDF W KONTEKŚCIE OCENY BEZPIECZEŃSTWA ZAPORY SOLINA

EVALUATE THE USEFULNESS OF THE EDF MODEL IN THE SAFETY ASSESSMENT ON THE EXAMPLE OF THE SOLINA DAM

mgr inż. Aleksandra BĄK

AGH Akademia Górniczo – Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

e-mail: abak@agh.edu.pl

Artykuł recenzowany

Streszczenie

Eksploatacja zapór wiąże się z poważnym zagrożeniem dla przyległych terenów, jak i okolicznych mieszkańców. Niestety pomimo skali zagrożenia stan zapór w licznych przypadkach jest niezadowolający, dlatego tak istotne jest zapewnienie właściwej eksploatacji, a także podejmowanie działań zwiększających bezpieczeństwo. W tym celu prowadzone są regularne geodezyjne pomiary przemieszczeń i odkształceń. Prawidłowa ich interpretacja umożliwia wnioskowanie o stanie technicznym zapory, a także ustalenie bieżących parametrów eksploatacyjnych dla dopuszczalnych wartości deformacji.

Przedmiotem analizy była zapor Solina, gdzie celem oceny bieżącego stanu wykorzystano model dopasowania zaproponowany przez Électricité de France. Model EDF uzależnia zachowania elementów zapór od zmienności poziomu zwierciadła wody górnej, cykliczności temperatur oraz wpływu czasu. Niniejszy artykuł jako kontynuacja badań, poddaje ocenie przemieszczenia obserwowane na murach oporowych, korpusie oraz elektrowni. Wdrożenie modelowania przedstawionego w artykule znacznie usprawnia system kontroli, umożliwiając tym samym wczesne wykrywanie anomalii i procesów destrukcyjnych zachodzących w zaporach.

Słowa kluczowe: zapor Solina, modelowanie, przemieszczenia, EDF.

Summary

Exploitation of the dams entails serious risk to the adjacent areas, as well as local residents. Despite the scale of the threat condition of the dams is unsatisfactory. Therefore, it is important to ensure proper exploitation and to increase dam safety. To improve safety of the dams regular geodetic measurements of displacements and deformations are made. Correct interpretation of the measurement data allows inferences about technical state of the dam. The analysis was made on measurement data of Solina dam. The evaluation of the state of the dam was performed by using the model proposed by Electricité de France. The model assumes that behaviors the dams are dependent on the water level, temperatures and the influence of time. This article evaluates the displacement observed on retaining walls, main body of Solina dam and power plant. Implementation of the model presented in the article significantly improves control system, allows for the early detection of anomalies and destructive processes observed in the dams.

Key words: EDF, monitoring and control of a dam, dam safety, deformation modelling, the Solina dam.

Wprowadzenie

Eksploatacja zapór wiąże się z dużym potencjalnym ryzykiem. Należy pamiętać, iż nie tylko katastrofy tego typu obiektów, ale także mniejsze awarie mogą stanowić poważne zagrożenie dla okolicznych terenów oraz ich mieszkańców. Pomimo faktu dużego zagrożenia ze strony zapór, ich stan techniczny w wielu przypadkach nie jest zadowolający [1]. Ocenia się, iż w przeciągu ostatniego 40-lecia większość katastrof zapór poprzedzona była widocznymi zmianami w podłożu, strefie zboczy oraz w budowli. Niedostrzeżenie tych zmian w licznych przypadkach przyczyniło się do przerwania zapory. Za główne przyczyny poważnych odkształceń uważa się błędy na etapie projektowania i wy-

konawstwa, wpływ czynników reologicznych, nadmierną filtrację, czy też wpływ czynników meteorologicznych [2]. Mnogość czynników oddziałujących na zapory wskazuje na ich wrażliwość oraz podatność na przemieszczenia.

Wszystkie zapory podlegają statycznym i dynamicznym obciążeniom, które sprzyjają zmniejszeniu stabilności zapory. Obecnie za najpoważniejsze zagrożenie uważa się niewłaściwą eksploatację zapór, niestety nawet wzrastająca świadomość wpływu określonych czynników na zmiany zachodzące w zaporach często nie pozwala w pełni zapewnić bezpieczeństwa. Możliwe jest natomiast podejmowanie działań pozwalających na wczesne reagowanie i wykrywanie zmian. W ramach monitoringu zapór prowadzone są między innymi regularne pomiary geodezyjne

przemieszczeń i odkształceń. Gromadzone i odpowiednio interpretowane dane mają na celu umożliwienie wnioskowania o stanie technicznym zapory, a także opracowywanie prewencyjnych działań niezbędnych dla uniknięcia poważnych awarii, a nawet katastrof.

W artykule podjęto problematykę wpływu naturalnych czynników cyklicznych, wahań poziomu wody górnej oraz wpływ reologiczny na zapórę Solina.

Przegląd literatury

Głównym powodem, dla którego prowadzone są regularne pomiary geodezyjne jest możliwość oceny wielkości deformacji oraz jej czasoprzestrzenna kontrola. Artykuł podejmuje problematykę oddziaływania naturalnych czynników na zachowania zapory Solina. Model pierwotnie stworzony dla tego celu oparty jest o graficzną eliminację wpływu zmian piętrzenia [3]. Nowsze modele statystyczne zakładają przyjęcie a priori korelacyjnej zależności między analizowanymi czynnikami, a wartościami odkształceń w oparciu o metodę estymacji średniokwadratowej. Jedną z metod statystycznych jest metoda zaproponowana przez Électricité de France w 1958 roku. Model pierwotnie stworzony został z myślą o analizie przemieszczeń obserwowanych na wahadłach zapór łukowych. Model EDF uzależnia przemieszczenia i odkształcenia od zmienności poziomu zwierciadła wody w zbiorniku, cykliczności temperatur oraz upływu czasu. Utrudnieniem jest fakt, iż czynniki te oddziałują jednocześnie, pomimo tego uznaje się, iż przemieszczenia w kierunku Y nie wpływają znacząco na ocenę bezpieczeństwa zapory [4]. Należy ponadto pamiętać, iż obserwacje zmian zachodzących w elementach zapory na skutek wpływu temperatury występują z określonym opóźnieniem. Dodatkowo ocenia się, iż zmienność wahań poziomu zwierciadła wody ma znacznie mniejszy wpływ na przemieszczenia niż zmienność gradientu temperatury. Pomimo, iż wspomniany model powstał z zamiarem oceny przemieszczeń łukowych, efekt analiz wykonywanych przez licznych naukowców potwierdzają użyteczność metody także w przypadku innego typu zapór [6]. Pomimo obiecujących wniosków, model obciążony jest także sz-

regiem ograniczeń, jednym z nich jest fakt, iż model nie uwzględnia opóźnień wynikających ze zjawisk rozpraszających. Niezależnie od wad modelu uważa się, że daje on zadowalające i stabilne wyniki.

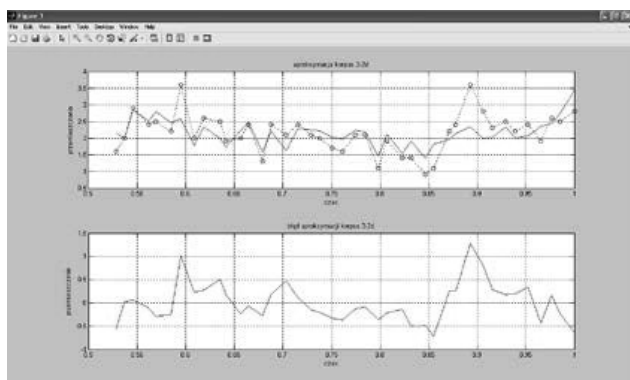
Zastosowane metody badawcze

Przedmiot analizy stanowiła zapora Solina, w oparciu o dane uzyskane z geodezyjnych pomiarów w trakcie normalnej eksploatacji oceniano możliwość odzwierciedlenia zmian przy wykorzystaniu modelu zaproponowanego przez Électricité de France. Zgodnie z założeniami metodyki przemieszczenia są wynikiem wpływu zmiennych obciążeń hydrostatycznych, cykliczności temperatur oraz zmian reologicznych. Z obserwacji wynika, iż zarówno wpływ zmienności temperatur, jak i zmienność rzędnej wody górnej przyczyniają się do powstawania odwracalnych przemieszczeń elementów zapór. Spośród czynników uwzględnianych przez model nieodwracalne zmiany powoduje jedynie upływ czasu. Jako, że poprzednie próby dopasowania przemieszczeń korony oraz podstawy zapory Solina [5] dały zadowalające efekty podjęto próbę dalszego modelowania pionowych przemieszczeń pozostałych elementów zapory.

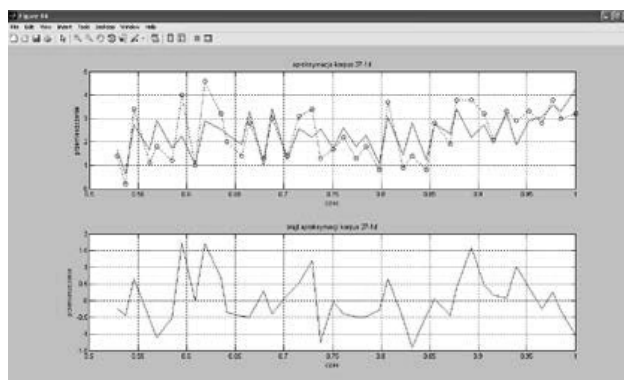
W artykule aproksymowano przemieszczania pionowe obserwowane na korpusie, elektrowni, filarach oraz murach oporowych. Modelowanie pozwoliło na utworzenie modeli charakterystycznych dla każdego z punktów pomiarowych.

Wyniki badań i ich omówienie

W artykule przeanalizowano przemieszczenia obserwowane na punktach pomiarowych umieszczonych na korpusie zapory Solina. Spośród 75 punktów pomiarowych najlepsze dopasowanie uzyskano w przypadku repera 3 – 2d (rys. 1), gdzie średni błąd dopasowania wyniósł blisko 0,42 mm. Model EDF stanowi natomiast najsłabsze odzwierciedlenie dla przemieszczeń obserwowanych na reperze 37 – 1d (rys. 2), w przypadku tego repera średni błąd ocenia się na 0.74 mm.

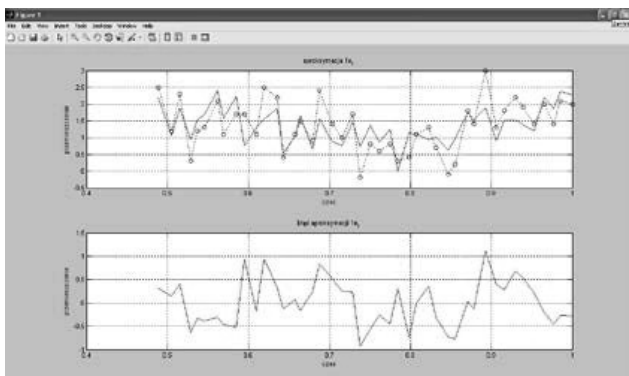


Rys. 1. Dopasowanie oraz błąd dopasowania repera nr 3 – 2d, korpus.



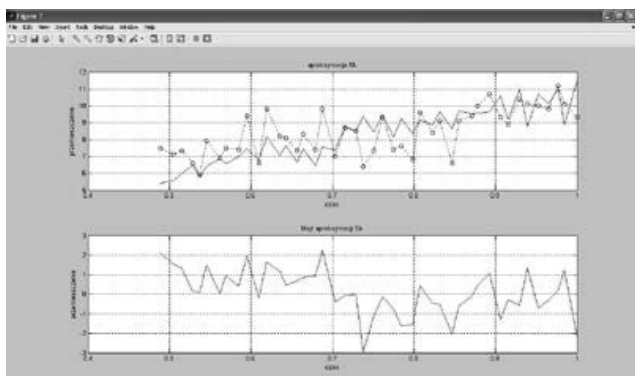
Rys. 2. Dopasowanie oraz błąd dopasowania repera nr 37 – 1d, korpus.

Analizie poddano także przemieszczenia obserwowane na punktach pomiarowych umieszczonych na elektrowni. Analizie poddano 15 reperów, najlepsze dopasowanie uzyskano w przypadku repera 1e_1 (rys. 3), gdzie średni błąd



Rys. 3. Dopasowanie oraz błąd dopasowania repera nr 1e_1, elektrownia.

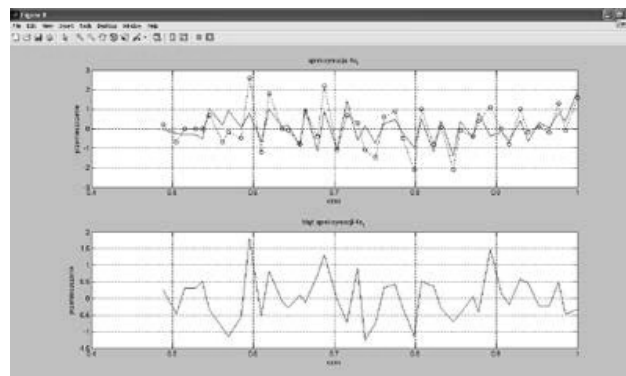
Przeanalizowano także 17 punktów pomiarowych umieszczonych na filarach. W przypadku modelowania przemieszczeń filarów przy użyciu modelu EDF wyniki nie są zbyt zadowalające. Model EDF nie odzwierciedla w pełni przemieszczeń filarów. Najlepiej odzwierciedlone zosta-



Rys. 5. Dopasowanie oraz błąd dopasowania repera nr 5 – d, filar.

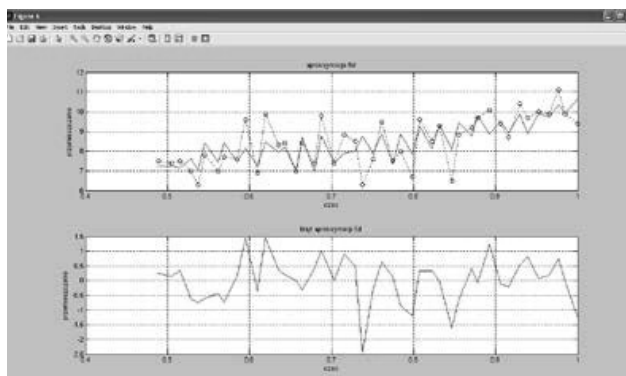
Dodatkowo modelowano także przemieszczenia obserwowane na punktach pomiarowych zlokalizowanych na murach oporowych. W przypadku obu murów oporowych pomiary wykonywane były z częstotliwością 2/rok. Mur prawy obserwowany jest od 1991 roku podobnie jak inne elementy zapory Solina. Natomiast mur, lewy poddany był pomiarom geodezyjnym wcześniej – od 1969 roku.

dopasowania wyniósł blisko 0,49 mm. Największy średni błąd dopasowania wyniósł 0,74 mm i został on uzyskany w przypadku punktu pomiarowego 4e_1 (rys. 4).



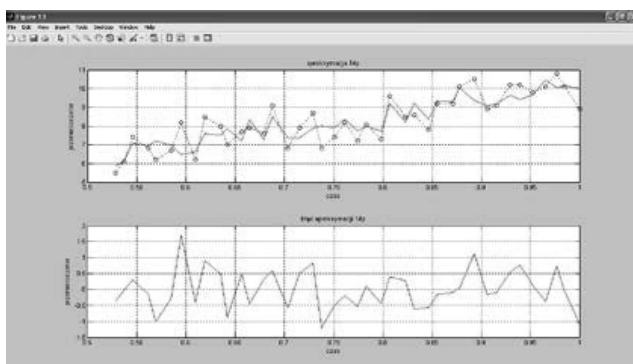
Rys. 4. Dopasowanie oraz błąd dopasowania repera nr 4e_1, elektrownia.

ły przemieszczenia na reperze 5 – d (rys. 5), błąd w tym przypadku wyniósł 0,74 mm. Najgorzej odzwierciedlono przemieszczenia obserwowane na reperze 5 – b (rys. 6), gdzie średni błąd to 1,18mm.



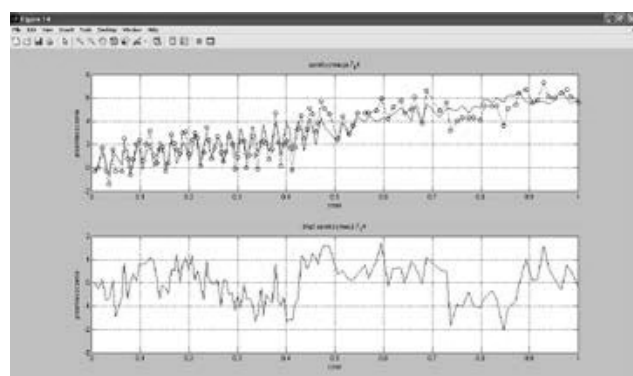
Rys. 6. Dopasowanie oraz błąd dopasowania repera nr 5 – b, filar.

Najlepsze dopasowanie dla prawego muru oporowego uzyskano dla punktu pomiarowego 14p (rys. 7), w którego przypadku średni błąd wyniósł 0,62mm. Najgorsze dopasowanie zaś uzyskano dla punktu oznaczonego jako 12p (rys. 8), gdzie średni błąd to 0,74mm.



Rys. 7. Dopasowanie oraz błąd dopasowania repera nr 14p, prawy mur oporowy.

Dla lewego muru oporowego najlepsze dopasowanie uzyskano w przypadku repera BL. 8/15 (rys. 9), średni błąd dopasowania wyniósł 0,837 mm. Najślabiej model EDF

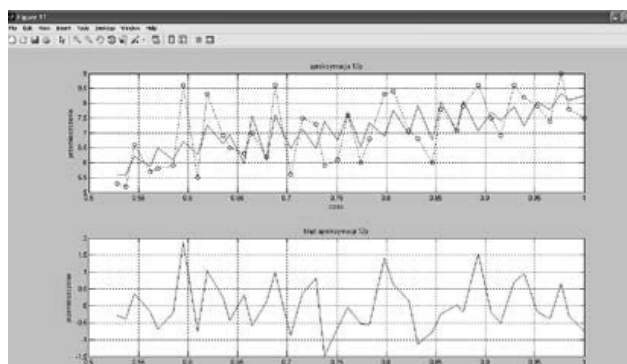


Rys. 9. Dopasowanie oraz błąd dopasowania repera BL. 8/15, lewy mur oporowy.

Poprzednio wykonane modelowanie pozwoliło na jednoznaczny wniosek, iż model EDF bardzo dobrze opisuje cykliczność przemieszczeń obserwowanych na zaporze Solina. W przypadku przedstawionych elementów, dopasowanie modelu jest nieco słabsze. Dopasowanie punktów pomiarowych zlokalizowanych na korpusie zapory, elektrowni oraz murach oporowych charakteryzowało się przeciętnie błędem 0,6 – 1,0 mm. Pomimo wspomnianych błędów, uznano, że nie wykluczone jest wykorzystanie modelu EDF celem obrazowania zachowań zapory Solina.

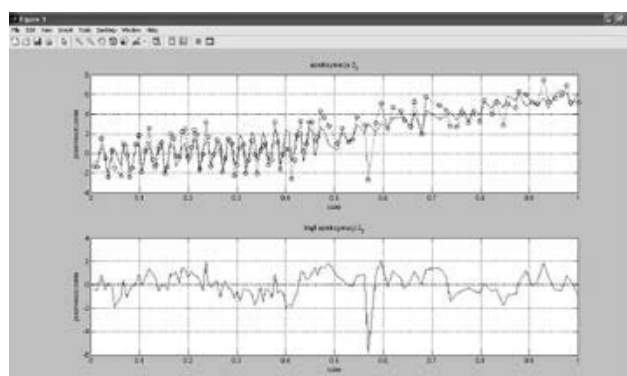
Wnioski

Wykonana analiza miała na celu wskazanie działań zwiększających bezpieczeństwo zapór. Głównym założeniem modelowania była zależność pomiędzy przemieszczeniami obserwowanymi na elementach zapory Solina, a cyklicznymi czynnikami naturalnymi, takimi jak upływ czasu, zmienność poziomu zwierciadła wody górnej oraz cykliczność temperatur. W tym celu wykorzystano model zaproponowany przez Électricité de France. Prezentowane modelowanie przemieszczeń murów oporowych, korpusu zapory oraz elektrowni okazało się nieznacznie gorsze niż



Rys. 8. Dopasowanie oraz błąd dopasowania repera nr 12p, prawy mur oporowy.

odzwierciedla przemieszczenia punktu BL. 2/3 (rys. 10), gdzie błąd dopasowania przekracza 1 mm.



Rys. 10. Dopasowanie oraz błąd dopasowania repera BL. 2/3, lewy mur oporowy.

w przypadku korony, czy podstawy. Pomimo błędów dopasowania uznano, iż model w większości punktów pomiarowych dobrze odzwierciedla trend zmian obserwowanych na poszczególnych elementach zapory Solina. Użycie modelu EDF umożliwia przede wszystkim ocenę przemieszczeń elementów, stopnia ich odwracalności, stanowi także użyteczne narzędzie w ocenie stanu technicznego budowli. Wyznaczona zależność zachodząca w relacji zapora – środowisko – czas w dalszej perspektywie umożliwia dedukowanie dotyczące prognoz przemieszczeń, co pozwala także kontrolować zjawiska deformacji elementów zapór. Wyniki dopasowania modelu do zachowań zapory zarówno w przypadku tej analizy jak i poprzednich pozwalają na potwierdzenie faktu, iż model EDF, pomimo iż pierwotnie stworzony z myślą o przemieszczeniach zapór łukowych, dobrze odzwierciedla także zachowania zapór innego typu. Przeprowadzone modelowanie miało na celu weryfikację możliwości obrazowania zmian zachodzących w zaporach, a tym samym weryfikację możliwości predykcji zmian.

Wprowadzenie modelu w praktyczną sferę monitoringu zapór pozwoli na zwiększenie bezpieczeństwa zarówno samych obiektów, jak i okolicznych mieszkańców.

Bibliografia

1. Parylak K., Wolski W. 2007. *Oceny stanu technicznego budowli piętrzących w Polsce w świetle standardów unijnych*. XXIII konferencja naukowo – techniczna, Szczecin – Międzyzdroje.
2. Kledyński Z. 2011. *Monitoring i diagnostyka budowli hydrotechnicznych*, cz.1. Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne, s. 54 – 61.
3. Fiedler K. 2007. *Awarie i katastrofy zapór – zagrożenia, ich przyczyny i skutki oraz działania zapobiegawcze*. IMGW.
4. Bryś H., Przewłocki S. *Geodezyjne metody pomiarów przemieszczeń budowli*. Wydawnictwo: PWN, 1998.
5. Bąk, A. 2015. *Ocena przydatności modelu EDF w monitoringu obiektów hydrotechnicznych na przykładzie zapory Solina*. Konferencja naukowa: Dokonania Naukowe Doktorantów, III edycja. Kraków.
6. Bonelli S., Royet P. *Delayed response analysis of dam monitoring data*. ICOLD European Symposium on Dams in a European Context, GEIRANGER, 2001.
7. Bonelli S., Tourment R., Felix H. *Analysis of earthdam monitoring data*. Selected problems of water engineering, Kraków, 2003. s. 133 – 150.

UPRAWNIENIA ENERGETYCZNE

Egzaminy eksploatacja i dozór

Grupa 1 - pkt 2, 3, 4, 7, 9 i 10

Grupa 2 - pkt 2, 4, 5, 6, 7 i 10

Grupa 3 - pkt 6, 7 i 10

Kontakt w sprawie egzaminu:

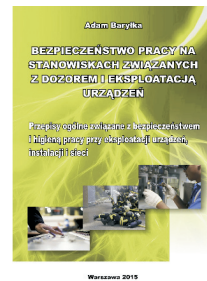
Biuro Oddziału Warszawskiego SIMP

pon. - pt. 10:00 - 16:00 tel. 22 827 02 44

Adam BARYŁKA tel. 605 660 292

Robert NIWIŃSKI tel. 601 355 403

Dostępne materiały szkoleniowe:



Komisja Egzaminacyjna nr 614 przy Oddziale Warszawskim Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Mechaników Polskich
www.ow-simp.pl/uprawnienia.html

