

Monika CHUCHRO, Michał LUPA, Kamil SZOSTEK, Barbara BUKOWSKA-BELNIAK,  
Andrzej LEŚNIAK  
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Geoinformatyki i Informatyki Stosowanej

## DETEKCJA POTENCJALNYCH ANOMALII POMIARÓW PARAMETRÓW W WALE PRZECIWPOWODZIOWYM<sup>1</sup>

**Streszczenie.** Detekcja potencjalnych anomalii występujących w szeregach czasowych napływających z pomiarów ciśnienia porowego i temperatury w wale przeciwpowodziowym może pozwolić na ocenę jego stabilności. Wykrywanie potencjalnych anomalii wykonano z wykorzystaniem szybkiej transformaty Fouriera, wykonując następnie modele Fouriera. Opracowano bazę danych do przechowywania danych rzeczywistych z pomiarów, przebieg analizy pozwalającej na wykrywanie potencjalnych anomalii oraz gotową aplikację napisaną w języku C pracującą na plikach wsadowych.

**Słowa kluczowe:** wykrywanie zdarzeń, wykrywanie anomalii, bazy danych, wały przeciwpowodziowe, szeregi czasowe, FFT

## POTENTIAL ANOMALY DETECTION PARAMETERS MEASUREMENTS IN FLOOD EMBANKMENT

**Summary.** Detection of potential anomalies occurring in pore pressure and temperature time series from measurement in flood embankments, could assess an embankment stability. Analysis was performed using Fast Fourier Transform (FFT). An essential element of the work was a database development and creating a C applications.

**Keywords:** anomaly detection database, river embankments, time series, FFT

---

<sup>1</sup>Praca jest finansowana w ramach projektu Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR), PBS1/B9/18/2013 – (no. 180535).

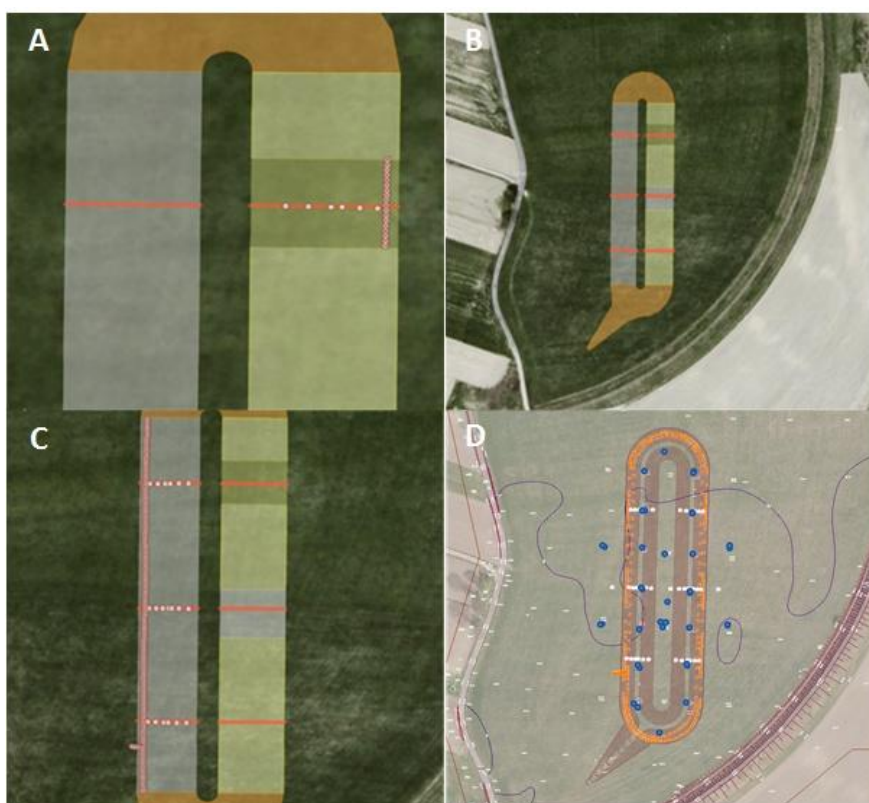
Praca ta jest częściowo finansowana w ramach badań statutowych Wydziału Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza.

## 1. Wstęp

Występujące coraz częściej na całym świecie powodzie powodują bardzo duże straty, nie tylko materialne. Powodzie są przede wszystkim zagrożeniem dla ludzi i zwierząt. Dlatego też ważnym zagadnieniem jest przeciwdziałanie skutkom powodzi, zarządzanie kryzysowe oraz dbanie o stan techniczny zabezpieczeń przeciwpowodziowych, jakimi są wały przeciwpowodziowe. Monitorowanie stanu wałów przeciwpowodziowych jest bardzo istotnym zagadnieniem, w szczególności lokalizowanie osłabionych odcinków narażonych na przerwanie podczas wysokich stanów wód. W Europie było realizowanych kilka projektów dotyczących zagadnień związanych z analizą ryzyka powodziowego oraz zarządzania kryzysowego [1-4]. Na przykład, realizowany w Holandii międzynarodowy projekt Ijkdijk [5] dotyczył badań na eksperymentalnym odcinku wału przeciwpowodziowego. W projektach tych mierzono parametry fizyczne wału zarówno w warunkach normalnych, jak i przy podwyższonym poziomie wody. Obserwacje obejmowały zarówno długoterminowe przesączanie się wody przez wał, jak i gwałtowne jego przerwanie.

Niniejsza praca została wykonana jako część projektu: Informatyczny System Monitorowania Obwałowań Przeciwpowodziowych (ISMOP) [6]. Celem tego projektu jest zbadanie procesów zachodzących w ziemnych obwałowaniach przeciwpowodziowych w trakcie filtracji wody oraz opracowanie systemu monitorowania stanu wałów. W ramach projektu powstał wał eksperymentalny o rzeczywistych rozmiarach. Wał eksperymentalny zbudowany jest z dwóch równoległych wałów o długości 150 m połączonych zakolami, tworząc zbiornik, który można zalewać symulując wysoki poziom wody podczas powodzi. Wykorzystano różne materiały gruntowe, w ramach poszczególnych sekcji wału przeciwpowodziowego. Rysunek 1 przedstawia schemat wału z uwzględnieniem jego zróżnicowanej budowy, kolor poszczególnych sekcji reprezentuje materiał gruntowy, z którego dana sekcja jest zbudowana. Do budowy wału wykorzystano 5 rodzajów gruntów. W wale zainstalowana została sieć czujników referencyjnych wzdłuż trzech profili poprzecznych. Dodatkowo w wale zabudowano dwie nitki światłowodu, umożliwiającego pomiar temperatury wzdłuż wału po stronie odwodnej (rys. 1c,d).

W wale eksperymentalnym zostały zabudowane różnego typu czujniki, tworząc unikatowe stanowisko badawcze. System pomiarowy rejestruje parametry fizyczne wewnątrz wału: temperaturę, ciśnienie porowe, naprężenia, a także warunki pogodowe, dzięki dwóm stacjom meteorologicznym. System umożliwia śledzenie parametrów fizycznych w wale i jego otoczeniu. Oprócz systemu pomiarowego zainstalowanego na stałe, prowadzone są dodatkowe pomiary: geodezyjne (przemieszczeń), geofizyczne, geotechniczne, radarowe oraz termograficzne. Testowana jest przydatność różnych metod pomiarowych do szybkiej lokalizacji przecieków oraz miejsc narażonych na przerwanie wału.



Rys. 1. Schemat budowy wału eksperymentalnego: a) schemat położenia pojedynczej sekcji pomiarowej dla północnego profilu poprzecznego, b) schemat lokalizacji poprzecznych profili pomiarowych, c) schemat lokalizacji światłowodów, d) model wału zawierający położenie czujników, światłowodów i piezometrów

Fig. 1. The construction scheme of experimental flood embankment: a) schema of single measurement section, b) the location of sensors in cross-section, c) the location of fiber optic sensors, d) model of the embankment containing the location of the sensors, fiber optics and piezometer

Celem projektu ISMOP jest przeprowadzenie kompleksowych badań dotyczących systemu monitorowania i prognozowania stanu wałów przeciwpowodziowych. W ramach projektu opracowane są metody masowego zbierania danych pomiarowych w trybie ciągłym i efektywnego zapisu ich do bazy danych, interpretacji i analizy danych, w tym z wykorzystaniem modelowań numerycznych, dostarczania informacji o stanie wałów wraz z wizualizacją.

Celem niniejszej pracy było przedstawienie ścieżki analizy danych pochodzących z pomiarów na wale przeciwpowodziowym od zapisu w bazie danych do wykrycia anomalii z wykorzystaniem metod analizy szeregów czasowych. Detekcja takich niekorzystnych zjawisk pozwala na prawidłową ocenę stabilności wałów. Działanie przedstawionych w pracy algorytmów sprawdzono w trakcie testów na syntetycznych szeregach czasowych z dodanymi wartościami odstającymi symulującymi anomalie.

## 2. Baza danych

Podstawową i pierwotnie zakładaną funkcjonalnością bazy danych, prócz archiwizacji generowanych wyników z modelowań numerycznych oraz danych z pomiarów, był jej udział w przeprowadzanych analizach [7, 8]. Na podstawie informacji przechowywanych w bazie danych dokonywane będą operacje, takie jak analiza szeregów czasowych, wnioskowanie systemu ekspertowego czy analizy statystyczne wykrywające informacje anomalne.

Struktura bazy danych zaprojektowana została z myślą o składowaniu informacji obejmujących zarówno dane tradycyjne (numeryczne, tekstowe), jak i dane przestrzenne (model GIS), przechowujące informacje o obiektach. Prawdziwe wyzwanie stanowiło jednak opracowanie sposobu składowania i efektywnego przeszukiwania danych powstałych w wyniku modelowań numerycznych, generowanych za pomocą Metody Różnic Skończonych [9, 10] (rys. 2).

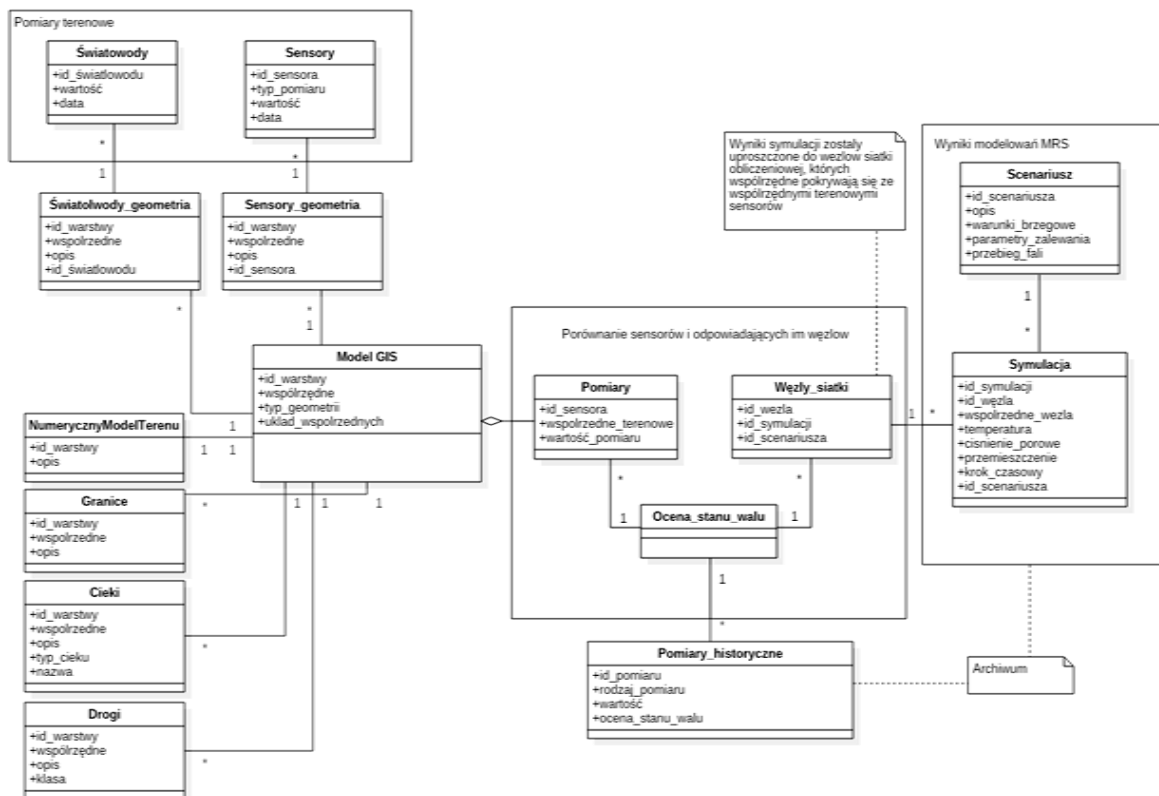
Pierwotnie zakładana koncepcja archiwizacji danych przewidywała składowanie pełnych scenariuszy (wyników modelowania MRS). *Scenariuszem* autorzy nazywają hipotetyczny, pojedynczy przebieg fali powodziowej, przy określonych parametrach wejściowych, tj. wysokość poziomu wody czy czasu zalewania. *Symulacje* zawierają zaś parametry fizyczne wału (np. przemieszczenia, ciśnienie porowe), zależne od przebiegu fali i czasu zalewania. Prognozowana ocena stanu obwałowań wymaga dopasowania symulacji (wartości odkształceń i przemieszczeń) do warunków aktualnie panujących w terenie [4, 6].

Jednym z kluczowych założeń systemu była możliwie największa efektywność czasowa przeszukiwania bazy. Ze względu na rząd wielkości (przykładowy scenariusz – jedna tabela, która zawiera 75442752 rekordy, co daje 16 924,758 MB x kilkaset scenariuszy) zrezygnowano z przeszukiwania całego zbioru danych, ograniczając się wyłącznie do wartości w wybranych węzłach siatki obliczeniowej. Wobec tego dokonano modyfikacji istniejącej struktury bazy danych, wydzielając część przeznaczoną do archiwizacji modelowań i składowania informacji historycznych oraz drugą, mającą charakter analityczny.

W tabeli „*Węzły\_siatki*” zebrano identyfikatory węzłów, którym przyporządkowano wartości modelowanych parametrów w kolejnych scenariuszach i symulacjach (rys. 2). Ocena stanu obwałowań odbywa się przez porównanie wartości parametrów mierzonych przez czujniki (m.in. temperatura, ciśnienie porowe) oraz wartości modelowanych w poszczególnych węzłach siatki obliczeniowej. W sytuacjach kryzysowych, gdzie prognozowane przemieszczenia wału jednoznacznie wskazują na jego przerwanie, istnieje możliwość analizy poszczególnych scenariuszy w całości, odwołując się do danych archiwalnych.

Warto podkreślić również fakt, iż tabela węzłów (rys. 2), w przeciwieństwie do składowanych, rzeczywistych pomiarów sensorów, nie jest tabelą dynamiczną. Struktura tabeli sensorów zależna jest od położenia (współrzędnych geograficznych) czujnika oraz jego typu

(światłowod lub czujnik niezależny). Dane składowane w tabeli sensorów mają pewien czas żywołności (w zależności od potrzeb i wymaganej efektywności czasowej obliczeń), po czym kierowane są do archiwum.



Rys. 2. Uproszczony schemat bazy danych  
 Fig. 2. The simplified database schema

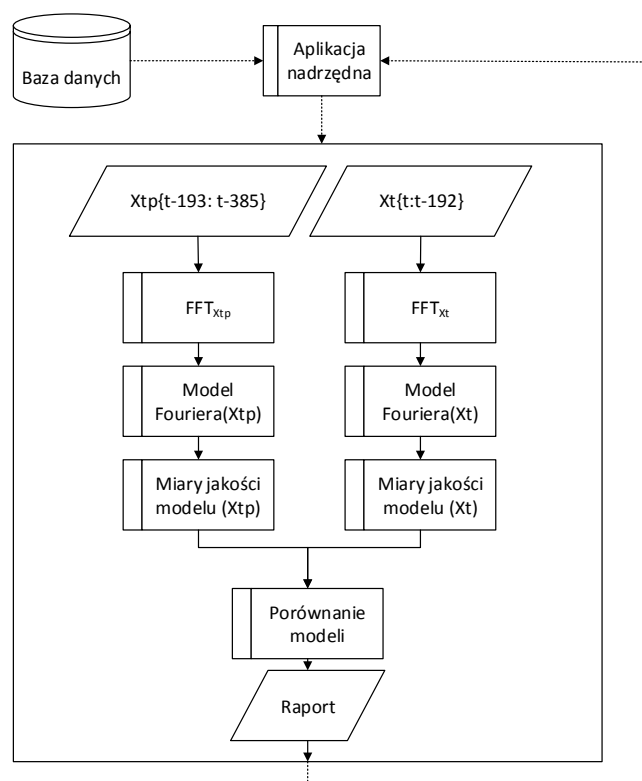
Kluczowym zadaniem w obliczu możliwego przerwania obwałowań jest wyszukanie każdej wartości anomalnej (tzw. zdarzeń), która mogłaby wskazywać na ryzyko katastrofy zarówno przez porównywanie samych danych rzeczywistych, jak i porównywanie ich z modelowaniami numerycznymi.

### 3. Model wykrywania zdarzeń

Za zdarzenie przyjęto chwilową zmianę dotychczasowej ilościowej zmienności szeregu czasowego w czasie, trwającą maksymalnie przez okres kilku pomiarów. Zdarzenie może być skutkiem wystąpienia awarii czujników pomiarowych, błędu zapisu pomierzonych obserwacji w bazie danych lub też formowania się anomalii. Zdarzeniem, które może wskazywać na anomalię, jest też zmiana trendu narastająca w czasie, występująca w kilku ostatnich zarejestrowanych pomiarach. Oba pojęcia zostały dostosowane do wymagań projektu ISMOP [11]. Przyjęte definicje wskazują na założone w projekcie ramy czasowe. Wszystkie zmiany (po-

tencjalne anomalie) występujące w wale przeciwpowodziowym, które mogą być zarejestrowane podczas pomiarów temperatury i ciśnienia porowego, powinny być wykryte w okresie maksymalnie krótkim, optymalnie w ciągu godziny od powstania.

Moduł wykrywania zdarzeń jest jednym z czterech uzupełniających się modułów, których celem jest ocena stabilności wału przeciwpowodziowego oraz prognoza jego przyszłego stanu. Poszczególne moduły zostały szerzej opisane w publikacjach [4, 6, 7, 12]. Celem modułu jest wykrycie zdarzeń występujących w szeregach czasowych pomiarów wykonanych przez czujniki mierzące temperaturę i ciśnienie porowe wewnątrz wału. W procesie wykrywania potencjalnych anomalii wykorzystano automatyczne wykonanie modeli harmonicznnych, z wykorzystaniem szybkiej transformaty Fouriera, dla najnowszych 192 obserwacji (48h:  $X_t$ ) i zadanych z góry częstotliwości [13]. Następnie utworzony model porównywany jest z modelem dla danych obejmujących okres od 48-96 h ( $X_{tp}$ ) przed najbardziej aktualną obserwacją w bazie danych.



Rys. 3. Ogólny schemat działania modułu wykrywania zdarzeń  
Fig. 3. Event/Anomaly detection module schema

Ocenie podlega osobno każdy szereg z pomiarów z czujników umieszczonych w wale eksperymentalnym. Takie podejście pozwala na łatwe zrównoleglenie działania modułu, nawet w przypadku oceny wałów powodziowych z całych dorzeczy. Dodatkowo można dokładnie wskazać potencjalne miejsce o obniżonej stabilności wału przeciwpowodziowego. Ogólny przebieg działania modułu wykrywania zdarzeń został przedstawiony na rys. 3.

Moduł wykrywania zdarzeń wywoływany jest przez aplikację nadrzędną i to ona przekazuje odpowiednio przygotowane szeregi czasowe do analizy, wybrane uprzednio z bazy danych. Wymagane jest, aby oba szeregi miały jednakową długość i rozdzielczość czasową. Na potrzeby testowania aplikacji założono długość 192 obserwacji oraz rozdzielczość czasową (próbkiowanie) 15 minut. Moduł kolejno uruchamia poszczególne algorytmy, widoczne na rys. 3.

### 3.1. Wykonanie modelu wykrywania zdarzeń

Pierwszym uruchamianym zestawem algorytmów dla plików \*.csv uzyskanych z bazy danych jest szybka transformata Fouriera (FFT). Szybką transformatę Fouriera można przybliżyć za pomocą wzoru dla dyskretnej transformaty Fouriera (wzór 1). Dyskretna transformata Fouriera rozkłada funkcję okresową na szereg funkcji okresowych tak, że uzyskana transformata podaje, w jaki sposób poszczególne częstotliwości składają się na pierwotną funkcję [13, 14].

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-\frac{2\pi i}{N}nk}, k \in \{0,1,\dots,N-1\} \quad (1)$$

gdzie:  $x_0, \dots, x_{N-1}$  – częstotliwości składowe.

Przed przystąpieniem do wykonania FFT oba szeregi czasowe są standaryzowane, w celu osiągnięcia średniej wartości wynoszącej 0 oraz odchylenia standardowego wynoszącego 1. Następnie wykonywana jest FFT, a dla wybranych częstotliwości (dla zbioru testowego są to: 0,005208, 0,010416, 0,015625, 0,020833, 0,026042, 0,03125, 0,036458, 0,041667), dla obu szeregów czasowych wykonano model Fouriera przybliżony za pomocą wzoru (2) [13]:

$$f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\omega t + b_n \sin n\omega t) \quad (2)$$

gdzie:  $a_n, b_n$  – współczynniki Fouriera,  $\omega$  – częstotliwość.

Model oceniono za pomocą współczynnika determinacji  $R^2$  oraz oceniono reszty modelu statystyką Shapiro-Wilka. Do oceny normalności reszt wykorzystano test Shapiro-Wilka, gdyż jest najsilniejszym testem sprawdzającym, czy zmienna ma charakter normalny [15, 16].

### 3.2. Ocena wystąpienia zdarzenia (potencjalnej anomalii)

Najważniejszym etapem jest prawidłowa ocena uzyskanych wyników. W tym celu porównywane są wartości uzyskane dla współczynnika determinacji ( $R^2$ ) oraz testu Shapiro-Wilka. Jeżeli miara współczynnika determinacji jest niższa o więcej niż 10% dla szeregu analizowanego ( $X_t$ ) w stosunku do wartości współczynnika dla danych historycznych ( $X_{tp}$ ), to przyjęto, że zaobserwowano zdarzenie lub potencjalną anomalię. Podobnie rozpatrujemy

normalność reszt, jeśli dla szeregu historycznego reszty wykazywały rozkład Gaussa, a obecnie analizowany szereg już nie, to w danych może występować zdarzenie lub potencjalna anomalia. Dodatkowego rozważenia wymaga przypadek, gdy dane historyczne zawierały zdarzenie lub potencjalną anomalię, a obliczona dla analizowanego szeregu czasowego miara  $R^2$  jest zbliżona lub wyższa. W takim przypadku wymagane jest wykonanie pomocniczych modeli wykrywania anomalii.

W przypadku gdy miara współczynnika determinacji dla analizowanego szeregu ( $X_t$ ) jest zbliżona lub wyższa od wartości tego parametru obliczonej dla danych historycznych, a w danych historycznych nie zaobserwowano zdarzenia, to można przyjąć, że dla szeregu analizowanego także nie zaobserwowano wystąpienia zdarzenia.

## 4. Aplikacja

Aplikacje zostały napisane w języku C, a skompilowane przy użyciu kompilatora Microsoft Visual C++ (MSVC) w wersji v120 dla środowiska Windows oraz kompilatora GCC w wersji 4.8 w środowisku Linux.

W założeniach program do wykrywania anomalii miał być programem wsadowym. Dzięki temu możliwe będzie wykorzystanie go zarówno w pojedynczych testach i analizach, jak również w przypadku docelowej konstrukcji pełnego systemu wykrywania anomalii, jako moduł aplikacji nadrzędnej. Dodatkowo, rozwiązanie tego typu pozwala na łatwe rozproszenie obliczeń na szereg komputerów lub maszyn wirtualnych, co w przypadku zwiększenia obszaru monitoringu będzie konieczne do zachowania realnego czasu odpowiedzi na zmiany sytuacji w wale.

Analiza opiera się na porównaniu dwóch szeregów czasowych, z których jeden nie zawiera anomalii, a drugi jest testowany (rys. 3). Dane wejściowe podawane są do programu w postaci plików CSV. Pliki te mogą być generowane na podstawie danych z bazy danych. Użytkownik może również przygotować je samodzielnie, co jest przydatne przy testowaniu szeregów syntetycznych.

Pliki mogą zawierać informacje o zarejestrowanej temperaturze lub o temperaturze i ciśnieniu porowym. Zależnie od danych analiza przeprowadzana jest tylko dla temperatury lub dla obydwu parametrów równocześnie. Wyniki prezentowane są niezależnie dla pomierzonych parametrów.

Program zapisuje jako wynik wartości współczynnika determinacji oraz wynik statystyki Shapiro-Wilka. Jeśli nastąpiła znacząca zmiana wariancji lub reszta szeregu analizowanego nie wykazuje rozkładu normalnego (w przeciwieństwie do szeregu bez zdarzenia), program raportuje wystąpienie zdarzenia (potencjalnej anomalii).



## 5. Wnioski

Jednym z rezultatów omawianego projektu było opracowanie kompleksowego systemu, którego zadaniem jest wykrywanie zdarzeń w szeregach czasowych i ocena stabilności obwałowań przeciwpowodziowych. Podstawą systemu jest baza danych, przechowująca modele numeryczne zachowania wału w określonych warunkach oraz dane rzeczywiste, pomierzone przez sensory terenowe. Moduł wykrywania anomalii, stanowiący najważniejszą część omawianych rozwiązań, zrealizowano z użyciem grupy metod statystycznych zaimplementowanych w języku C. Czas wykonania pojedynczej oceny dla jednego czujnika oraz dokładność wykrywania zdarzeń dla danych syntetycznych pozwala na wstępną pozytywną ocenę tej metody wykrywania zdarzeń. Dodatkowe informacje uzyskujemy podczas analizy poszczególnych symulacji numerycznych. Porównanie rzeczywistych szeregów czasowych z pomiarów wykonanych na wale eksperymentalnym z symulacjami pozwala na ocenę prawdopodobnych kierunków rozwoju analizowanego zjawiska pod wpływem różnych czynników zewnętrznych. Dzięki temu, oprócz informacji o stanie wału przeciwpowodziowego dla określonej chwili czasowej (chwili ostatniego pomiaru na wale przeciwpowodziowym) posiadamy informacje o prawdopodobieństwie stabilności przyszłego stanu wału.

W kolejnym etapie prac, po uruchomieniu symulacji na eksperymentalnym wale przeciwpowodziowym, zostaną wykonane testy aplikacji na danych rzeczywistych oraz modyfikacja zaproponowanych algorytmów.

Dodatkowo po wykonaniu testów dla danych rzeczywistych zostanie utworzony moduł decyzyjny, który pozwoli na wyróżnienie w puli wszystkich zdarzeń: anomalii, błędów czujników oraz błędów zapisu.

## BIBLIOGRAFIA

1. Balis B., Kasztelnik M., Bubak M., Bartynski T., Gubała T., Nowakowski P., Broekhuijsen J.: The urbanflood common information space for early warning systems. *Procedia Computer Science*, Vol. 4, 2011, s. 96÷105.
2. Krzhizhanovskaya V.V., Shirshov G.S., Melnikova N.B., Belleman R.G., Rusadi F.I., Broekhuijsen B.J., Gouldby B.P., Lhomme J., Balis B., Bubak M. et al.: Flood early warning system: design, implementation and computational modules. *Procedia Computer Science*, Vol. 4, 2011, s. 106÷115.
3. Pengel B.E., Krzhizhanovskaya V.V., Melnikova N.B., Shirshov G.S., Koelewijn A.R., Pyayt A.L, Mokhov I.I.: Flood early warning system: sensors and internet. 2013.

4. Piórkowski A., Leśniak A.: Using data stream management systems in the design of monitoring system for flood embankments. *Studia Informatica*, Vol. 35, No. 2(116), Gliwice 2014, s. 297÷310.
5. Pyayt A.L., Mokhov I.I., Kozionov A.P., Kuserbaeva V.T., Lang B., Krzhizhanovskaya V.V., Meijer R.J.: Data-driven modelling for flood defence structure analysis. *Comprehensive Flood Risk Management: Research for Policy and Practice*, 2012, s. 77.
6. Habrat M., Lupa M., Chuchro M., Leśniak A.: A decision support system for emergency flood embankment stability. *Procedia Computer Science*, Vol. 51, 2015, s. 2957÷2961.
7. Kasprowski P.: Choosing a persistent storage for data mining task. *Studia Informatica* Vol. 33, No. 2B(106), Gliwice 2012, s. 509÷520.
8. Bajerski P., Kozielski S.: Computational Model for Efficient Processing of Geofield Queries. *Proceedings of the International Conference on Man-Machine Interactions*, 2009, s. 573÷583.
9. Lupa M., Chuchro M., Piórkowski A., Pięta A., Leśniak A.: A proposal of hybrid spatial indexing for addressing the measurement points in monitoring sensor networks. *Beyond Databases, Architectures and Structures, CCIS*, Vol. 424, Springer International Publishing, 2014, s. 437÷447.
10. Pięta A., Krawiec K.: Random set method application to flood embankment stability modeling. *Procedia Computer Science*, Vol. 51, 2015, s. 2668÷2677.
11. Wiatr K., Kitowski J., Bubak M.: An approach to monitoring, data analytics, and decision support for levee supervision. *Proceedings of the Seventh ACC Cyfronet AGH Users' Conference, ACC CYFRONET AGH, Kraków 2014*, s. 75÷76.
12. Chuchro M., Lupa M., Pięta A., Piórkowski A., Leśniak A.: A concept of time windows length selection in stream databases in the context of sensor networks monitoring. *New trends in database and information systems II*, 2014, s. 173÷183.
13. Jonek-Kowalska I., Sojda A., Wolny M.: Analiza harmoniczna szeregów czasowych cen węgla. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Organizacja i Zarządzanie*, z. 74 (1921), Gliwice 2014, s. 171÷184.
14. Wei W.W.S.: *Time Series Analysis. Univariate and Multivariate Methods*. Second Edition, Pearson Addison Wesley, New York 2006.
15. Chuchro M.: Analiza danych środowiskowych metodami eksploracji danych. *Studia Informatica*, Vol. 32, No. 2A(96), Gliwice 2011, s. 417÷428.
16. Royston P.: Approximating the Shapiro-Wilk W-test for non-normality. *Statistic and Computing*, Vol. 2, 1992, s. 117÷119.

## Abstract

Detection of potential anomalies occurring in pore pressure and temperature time series from measurement in flood embankments, could assess an embankment stability. Analysis was performed using Fast Fourier Transform (FFT). On the basis of spectral analysis were created harmonics models. Comparison of harmonic model created for last 192 observations, and model created for previous data, allows the event (potential anomalies) detection. Occurrence of potential anomalies was examined with determination coefficient  $R^2$  and Shapiro-Wilk test for model errors.

An essential element of the work was a database development. The proposed database model reduces the time of collection and changes in structure data sent to the created application for potential anomaly detection. Final result of work was a C application, with first test on synthetic data. During the tests application detected 17 on 18 possible events (potential anomalies).

## Adresy

Monika CHUCHRO: AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Geoinformatyki i Informatyki Stosowanej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska, [chuchro@agh.edu.pl](mailto:chuchro@agh.edu.pl).

Michał LUPA: AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Geoinformatyki i Informatyki Stosowanej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska, [mlupa@agh.edu.pl](mailto:mlupa@agh.edu.pl).

Kamil SZOSTEK: AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Geoinformatyki i Informatyki Stosowanej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska, [kamil.szostek@agh.edu.pl](mailto:kamil.szostek@agh.edu.pl).

Barbara BUKOWSKA-BELNIAK: AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Geoinformatyki i Informatyki Stosowanej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska, [bukowska@agh.edu.pl](mailto:bukowska@agh.edu.pl).

Andrzej LEŚNIAK: AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Katedra Geoinformatyki i Informatyki Stosowanej, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, Polska, [lesniak@agh.edu.pl](mailto:lesniak@agh.edu.pl).