

**MONITOROWANIE ZAGROŻEŃ GEODYNAMICZNYCH
I HYDROGEOLOGICZNYCH NA TERENACH GÓRNICZYCH I POGÓRNICZYCH
W GÓRNOŚLĄSKIM ZAGŁĘBIU WĘGLOWYM ORAZ ZAGROŻEŃ RADIACYJNYCH**

Zadanie 1.6. Opracowywanie zintegrowanych map zagrożeń geodynamicznych
i hydrogeologicznych na terenach górniczych i pogórnich.

RAPORT KWARTALNY 1.6.1/2025

za okres 01.01.2025 – 31.03.2025

Podstawą sporządzenia Raportu jest rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 lipca 2023 r. w sprawie nadania Głównemu Instytutowi Górnictwa statusu państwowego instytutu badawczego (Dz.U. z 2023 r. poz. 1579) oraz umowa nr 7/D/10095/2830/DGH/MP/2025 z dnia 05.03.2025 r. zawarta pomiędzy Ministerstwem Przemysłu oraz Głównym Instytutem Górnictwa - Państwowym Instytutem Badawczym.

Jarosław Zagórowski
Dyrektor GIG-PIB

dr inż. Zbigniew Lubosik
Z-ca Dyrektora
ds. Geoinżynierii i Bezpieczeństwa
Przemysłowego

dr hab. inż. Adam Lurka prof. GIG-PIB
Kierownik Zakładu Geologii, Geofizyki
i Ochrony Powierzchni

dr inż. Piotr Gruchlik
Kierownik Zadania

Skład autorski raportu rocznego:

1. Bartosz APANOWICZ
2. Piotr GRUCHLIK
3. Grażyna HOLECZEK
4. Karol KURA
5. Grzegorz MUTKE
6. Katarzyna NIEDBALSKA
7. Grażyna POŚPIECH

Zawartość raportu:

Kontynuacja realizacji projektu geoportalu wspierającego monitoring zagrożeń geodynamicznych i hydrogeologicznych na obszarach eksploatacji górniczej i terenach pogórnich

1. Wprowadzenie
2. Cele bieżącego etapu
3. Zakres prac wdrożeniowych
 - 3.1. Infrastruktura systemowa
 - 3.2. Implementacja algorytmów analizy danych
 - 3.3. Integracja z systemami monitoringu
 - 3.4. Rozwój interfejsu użytkownika
4. Testy użytkowe – metodologia i przebieg
 - 4.1. Scenariusze testowe
 - 4.2. Zbieranie informacji zwrotnej
 - 4.3. Wstępne wnioski z testów
5. Harmonogram dalszych działań
 - 5.1. Zakończenie testów użytkowych i ich ewaluacja
 - 5.2. Wdrożenie korekt wynikających z testów
 - 5.3. Finalizacja dokumentacji technicznej i użytkowej
 - 5.4. Przygotowanie do oficjalnego uruchomienia geoportalu
6. Znaczenie etapu dla całości projektu
 - 6.1. Kluczowa rola w walidacji projektu
 - 6.2. Praktyczne sprawdzenie użyteczności i efektywności
 - 6.3. Fundament pod przyszły rozwój i skalowanie
7. Podsumowanie

Załącznik nr 1. Mapa GZW z pionowymi przemieszczeniami powierzchni w I kwartale 2025, zinwentaryzowanych w 2024 roku wyrobisk górniczych mających połączenie z powierzchnią, lokalizacją epicentrów indukowanych wstrząsów sejsmicznych oraz rejonów zalewisk i podtopień - I kwartał 2025

1. Wprowadzenie

Projekt budowy nowoczesnego geoportalu służącego monitorowaniu zagrożeń geodynamicznych i hydrogeologicznych na obszarach górniczych i pogórnich wszedł w kluczową fazę realizacji, obejmującą wdrożenie systemu oraz rozpoczęcie testów użytkowych w środowisku operacyjnym. Obecny etap stanowi bezpośrednią kontynuację zakończonej wcześniej fazy projektowania koncepcyjnego, integracji wieloźródłowych danych przestrzennych oraz budowy infrastruktury informatycznej.

W trakcie prac przygotowawczych opracowano architekturę systemu, przeprowadzono integrację danych z rozproszonych baz instytucjonalnych (obejmujących m.in. dane geologiczne, hydrologiczne, geofizyczne, kartograficzne i monitoringowe), a także skonfigurowano środowisko serwerowe oraz warstwę aplikacyjną platformy.

Bieżąca faza obejmuje uruchomienie geoportalu w środowisku produkcyjnym, przeprowadzenie testów funkcjonalnych i нефункциональных (w tym testów obciążeniowych, kompatybilności oraz bezpieczeństwa), jak również walidację poprawności działania modułów analitycznych i komponentów wizualizacji danych przestrzennych.

Równolegle prowadzona jest ścisła współpraca z przedstawicielami użytkowników końcowych. Konsultacje oraz sesje testowe umożliwiają iteracyjne udoskonalanie interfejsu użytkownika, dostosowanie logiki funkcjonalnej do potrzeb operacyjnych oraz identyfikację ewentualnych braków w zakresie ergonomii i użyteczności systemu.

Testy użytkowe pozwolą na uzyskanie rzetelnej oceny gotowości geoportalu do pełnego wdrożenia operacyjnego, a także umożliwią wprowadzenie niezbędnych optymalizacji technicznych przed finalnym uruchomieniem platformy. W kolejnych etapach planowane jest m.in. rozszerzenie zakresu integracji danych, implementacja mechanizmów automatycznego alarmowania oraz przygotowanie pełnej dokumentacji eksploatacyjnej, administracyjnej i szkoleniowej.

Efektem końcowym projektu będzie stworzenie wydajnego, skalowalnego systemu wspierającego monitorowanie, analizę i prognozowanie zagrożeń geodynamicznych i hydrogeologicznych, z możliwością dalszej rozbudowy o kolejne źródła danych oraz funkcjonalności wspomagające procesy decyzyjne w warunkach dynamicznych zmian środowiskowych.

2. Cele bieżącego etapu

Główne cele obecnej fazy projektu obejmują szereg działań kluczowych dla finalnego kształtu i jakości geoportalu:

- Zakończenie konfiguracji i optymalizacji komponentów systemu – obejmuje finalne dostrojenie środowiska serwerowego, aplikacyjnego oraz bazodanowego, a także optymalizację wydajności, stabilności i niezawodności działania poszczególnych modułów platformy. Na tym etapie eliminowane są potencjalne wąskie gardła oraz przeprowadzane są końcowe korekty parametrów technicznych, mające na celu zwiększenie efektywności działania systemu w warunkach produkcyjnych.
- Rozpoczęcie szeroko zakrojonych testów funkcjonalnych i użytkowych – obejmuje kompleksowe sprawdzenie działania wszystkich funkcji platformy w realistycznych warunkach operacyjnych. Testy te weryfikują m.in. poprawność działania modułów analitycznych, zgodność interfejsu z założeniami projektowymi, intuicyjność obsługi oraz stabilność systemu przy różnych scenariuszach użytkowania.
- Walidację efektywności algorytmów monitorowania i predykcji zagrożeń – polega na ocenie skuteczności i trafności działania zastosowanych modeli analitycznych oraz metod przetwarzania danych przestrzennych i czasowych. Weryfikowane są m.in. zdolność systemu do wykrywania anomalii, generowania wiarygodnych prognoz oraz wspierania decyzji w zakresie zarządzania ryzykiem geodynamicznym i hydrogeologicznym.
- Zebranie opinii i sugestii od użytkowników końcowych – feedback stanowi cenne źródło informacji na temat praktycznych potrzeb i oczekiwań, a także pozwala zidentyfikować ewentualne braki lub niedoskonałości w obecnej wersji systemu.
- Dostosowanie platformy do potrzeb różnych grup interesariuszy – obejmuje zarówno modyfikacje interfejsu użytkownika, jak i dostosowanie struktury danych, sposobów prezentacji informacji oraz zakresu dostępnych funkcji. Celem jest zapewnienie elastyczności rozwiązania, które będzie mogło efektywnie służyć różnorodnym użytkownikom.

Faza ta pełni rolę ostatniego sprawdzianu przed pełnym wdrożeniem – pozwala zweryfikować założenia projektowe, wprowadzić korekty oraz przygotować platformę do codziennego użytku.

Ostatecznym celem jest stworzenie nowoczesnego, skalowalnego narzędzia, które zwiększy bezpieczeństwo i efektywność działań w zakresie monitorowania i przeciwdziałania zagrożeniom geodynamicznym i hydrogeologicznym.

3. Zakres prac wdrożeniowych

W ramach kontynuacji wdrożenia prowadzone są intensywne prace rozwojowe w następujących obszarach funkcjonalnych:

3.1. Infrastruktura systemowa

Zakończono pełną konfigurację środowiska produkcyjnego geoportalu, opartego na elastycznej i skalowalnej infrastrukturze chmurowej. Architektura systemu została zaprojektowana w modelu wysokiej dostępności (HA), co zapewnia niezawodność, odporność na awarie oraz możliwość dynamicznego dostosowywania zasobów obliczeniowych do zmieniających się obciążeń.

System wspiera integrację z zewnętrznymi źródłami danych przestrzennych i czasowych, a także umożliwia interoperacyjność z systemami klasy GIS i bazami danych przestrzennych zgodnie ze standardami OGC (Open Geospatial Consortium). Dzięki temu użytkownicy mają zapewniony nieprzerwany dostęp do aktualnych, wiarygodnych informacji o stanie środowiska i zagrożeniach geodynamicznych oraz hydrogeologicznych.

3.2. Implementacja algorytmów analizy danych

Na platformie wdrożono pierwsze wersje zaawansowanych algorytmów do analizy trendów geodynamicznych oraz predykcji zmian w warunkach hydrogeologicznych. Algorytmy te wykorzystują podejścia oparte na modelowaniu matematycznym, statystyce przestrzennej. Obecnie prowadzone są działania optymalizacyjne, mające na celu zwiększenie precyzji prognoz, skrócenie czasu przetwarzania danych oraz zapewnienie efektywności działania systemu w warunkach pracy w czasie rzeczywistym. W kolejnych iteracjach planowana jest implementacja mechanizmów automatycznej kalibracji modeli oraz dynamicznego uczenia na podstawie danych historycznych i bieżących.

3.3. Integracja z systemami monitoringu

Geoportal został zintegrowany z rozbudowaną siecią czujników terenowych, obejmującą stacje geodezyjne, hydrogeologiczne oraz sensory środowiskowe zainstalowane na obszarach górniczych i pogórniczych. Dane z systemów pomiarowych są gromadzone w sposób ciągły,

automatycznie przetwarzane i udostępniane użytkownikom w postaci dynamicznych wizualizacji i wykresów analitycznych.

System umożliwiać będzie również konfigurację alertów i progów alarmowych, co pozwala na wczesne wykrywanie potencjalnych zagrożeń i szybkie reagowanie na zmieniające się warunki środowiskowe. Dane są synchronizowane z bazą centralną w czasie rzeczywistym, co zapewnia wysoką aktualność prezentowanych informacji.

3.4. Rozwój interfejsu użytkownika

Wdrożono nowoczesny, responsywny interfejs użytkownika zaprojektowany zgodnie z zasadami UX/UI (*User Experience/User Interface*) oraz dostępności cyfrowej (WCAG *Web Content Accessibility Guidelines*). Interfejs umożliwia łatwy i intuicyjny dostęp do funkcji geoportalu z poziomu różnych urządzeń — zarówno komputerów stacjonarnych, jak i tabletów czy smartfonów.

Zoptymalizowano system nawigacji, strukturę menu oraz układ paneli analitycznych, dzięki czemu użytkownicy mogą w prosty sposób lokalizować interesujące ich dane, korzystać z narzędzi analizy przestrzennej oraz generować raporty i wizualizacje mapowe. Szczególną uwagę poświęcono ergonomii pracy w sytuacjach kryzysowych, gdzie szybkość dostępu do danych i przejrzystość interfejsu mają kluczowe znaczenie.

4. Testy użytkowe – metodologia i przebieg

Testy użytkowe stanowią jeden z kluczowych elementów procesu walidacji systemu i oceny jego gotowości do pełnego wdrożenia w środowisku produkcyjnym. Ich celem jest nie tylko sprawdzenie poprawności działania poszczególnych funkcji geoportalu, ale również ocena jego użyteczności, ergonomii oraz praktycznej wartości dla różnych grup użytkowników.

4.1. Scenariusze testowe

Testy zostały zaprojektowane w oparciu o zestaw realistycznych scenariuszy operacyjnych, uwzględniających typowe sytuacje związane z monitorowaniem i przeciwdziałaniem zagrożeniom środowiskowym. Przykładowe działania testowe obejmują:

- Analizę poprawności i dokładności prezentowanych danych przestrzennych — weryfikacja czytelności, lokalizacji i aktualności danych pochodzących z różnych źródeł, w tym pomiarów terenowych i modeli prognostycznych.

- Ocenę intuicyjności interfejsu użytkownika – testowanie nawigacji, funkcjonalności wyszukiwania, konfiguracji widoków mapowych oraz dostępności kluczowych funkcji na różnych urządzeniach.
- Testowanie algorytmów prognozowania zagrożeń – sprawdzanie skuteczności modeli predykcyjnych, w tym zdolności do wykrywania potencjalnych anomalii oraz generowania prognoz opartych na danych historycznych i bieżących.
- Sprawdzenie działania systemu powiadomień o anomaliiach – testowanie mechanizmów alarmowych, ich konfiguracji, skuteczności dostarczania komunikatów i reakcji systemu na przekroczenia progów bezpieczeństwa.
- Generowanie raportów i analiz ryzyka – ocena możliwości tworzenia zestawień i raportów tematycznych, w tym analiz przestrzennych wspierających procesy decyzyjne w planowaniu i zarządzaniu kryzysowym.

4.2. Zbieranie informacji zwrotnej

Użytkownicy biorący udział w testach mają możliwość zgłaszania uwag poprzez dedykowany formularz w geoportalu. Zbierane informacje są na bieżąco analizowane i wykorzystywane do wprowadzania usprawnień.

4.3. Wstępne wnioski z testów

Wstępne wyniki testów wskazują na wysoką przydatność geoportalu w procesach planowania przestrzennego oraz zarządzania kryzysowego. Szczególnie pozytywnie oceniana jest funkcja mapy zagrożeń w czasie rzeczywistym oraz narzędzia do analizy historycznej zmian.

5. Harmonogram dalszych działań

W nadchodzących miesiącach projekt wejdzie w końcową fazę realizacji, skupiając się na doskonaleniu systemu oraz przygotowaniach do jego pełnego wdrożenia operacyjnego. Dalsze działania zaplanowane zostały w sposób umożliwiający sprawne przejście od środowiska testowego do użytkowego, z uwzględnieniem wyników ewaluacji oraz potrzeb zgłaszanych przez użytkowników końcowych.

5.1. Zakończenie testów użytkowych i ich ewaluacja

Testy użytkowe zostaną domknięte zgodnie z harmonogramem. Kluczowym zadaniem będzie kompleksowa analiza danych zebranych w trakcie testów, obejmująca zarówno aspekty funkcjonalne, jak i użytecznościowe systemu. Na tej podstawie opracowany zostanie

szczegółowy raport ewaluacyjny, który posłuży jako punkt odniesienia do dalszych decyzji wdrożeniowych.

Ewaluacja uwzględni m.in.:

- skuteczność działania algorytmów predykcyjnych,
- stabilność i niezawodność infrastruktury systemowej,
- użyteczność interfejsu z punktu widzenia różnych typów użytkowników,
- efektywność mechanizmów powiadamiania i raportowania.

5.2. Wdrożenie korekt wynikających z testów

Na podstawie wniosków z ewaluacji rozpoczęty zostanie proces iteracyjnego wprowadzania usprawnień do systemu. Obejme on zarówno poprawki funkcjonalne, jak i optymalizację wydajności oraz ulepszenia interfejsu użytkownika.

W ramach tego etapu przewiduje się m.in.:

- dostosowanie interfejsu do zaleceń z zakresu dostępności (UX, WCAG),
- wzmocnienie mechanizmów bezpieczeństwa systemu i danych,
- rozszerzenie możliwości analitycznych i wizualizacyjnych platformy,
- poprawki w zakresie integracji danych zewnętrznych, na podstawie zgłoszonych trudności.

5.3. Finalizacja dokumentacji technicznej i użytkowej

Równolegle z pracami optymalizacyjnymi prowadzone będzie końcowe opracowanie pełnej dokumentacji systemowej. Dokumentacja ta obejmie:

- specyfikację techniczną infrastruktury i architektury systemu,
- instrukcje wdrożeniowe i eksploatacyjne dla administratorów,
- materiały szkoleniowe i podręczniki użytkownika końcowego,
- szablony raportów i scenariuszy zastosowań geoportalu.

Dokumentacja zostanie przygotowana w sposób umożliwiający łatwe wdrożenie systemu.

5.4. Przygotowanie do oficjalnego uruchomienia geoportalu

Ostatnim etapem będzie przygotowanie i realizacja działań zmierzających do oficjalnego udostępnienia geoportalu. Obejmuje to zarówno aspekty techniczne (migracja do środowiska produkcyjnego, weryfikacja końcowa), jak i organizacyjne (komunikacja z interesariuszami, działania promocyjne, szkolenia wdrożeniowe).

Planowane działania to m.in.:

- przeprowadzenie testów końcowych w środowisku produkcyjnym,

- zorganizowanie sesji demonstracyjnych i webinarów dla instytucji docelowych,
- uruchomienie portalu publicznego z dostępem do podstawowych funkcji analitycznych i mapowych,
- wdrożenie systemu wsparcia technicznego i użytkowego (helpdesk, baza wiedzy).

Plan dalszych działań został tak zaprojektowany, aby umożliwić płynne, bezpieczne i skuteczne przejście z fazy testowej do operacyjnego wykorzystania geoportalu. Kluczowym celem końcowym jest stworzenie stabilnej, funkcjonalnej i elastycznej platformy wspierającej zarządzanie ryzykiem środowiskowym oraz zwiększającej poziom bezpieczeństwa mieszkańców i infrastruktury na terenach szczególnie wrażliwych.

6. Znaczenie etapu dla całości projektu

Faza wdrożeniowa oraz testów użytkowych stanowi jeden z najbardziej newralgicznych i jednocześnie najważniejszych momentów w realizacji całego projektu budowy geoportalu. To właśnie na tym etapie koncepcje teoretyczne, założenia projektowe oraz rozwiązania technologiczne przyjmują formę w pełni funkcjonalnego systemu, poddanego weryfikacji w warunkach zbliżonych do rzeczywistych.

6.1. Kluczowa rola w walidacji projektu

Etap wdrożeniowy pełni funkcję walidacyjną — pozwala na sprawdzenie, w jakim stopniu opracowane rozwiązania odpowiadają rzeczywistym potrzebom użytkowników końcowych, a także umożliwia wczesne wykrycie i eliminację potencjalnych niedoskonałości. Zgromadzone dane testowe, opinie użytkowników oraz wyniki analiz funkcjonalnych stanowią nieocenione źródło informacji, które wspierają podejmowanie decyzji dotyczących dalszego rozwoju i skalowania systemu.

6.2. Praktyczne sprawdzenie użyteczności i efektywności

To właśnie w fazie testów użytkowych geoportal jest po raz pierwszy konfrontowany z różnorodnością rzeczywistych scenariuszy zastosowania – od analiz planistycznych i środowiskowych, przez monitorowanie sytuacji kryzysowych, aż po wsparcie działań prewencyjnych i edukacyjnych. Taka praktyczna ocena pozwala na zbadanie:

- użyteczności narzędzi analitycznych i mapowych,
- intuicyjności i ergonomii interfejsu użytkownika,
- szybkości reakcji systemu na zmieniające się dane środowiskowe,
- skuteczności mechanizmów alarmowania i prognozowania zagrożeń.

6.3. Fundament pod przyszły rozwój i skalowanie

Wdrożenie systemu i jego testowanie to także moment, w którym kształtuje się podstawa do dalszej rozbudowy geoportalu. Wiedza uzyskana na tym etapie pozwala na zidentyfikowanie możliwości rozszerzenia funkcjonalności, integracji z dodatkowymi źródłami danych oraz zastosowania w nowych obszarach tematycznych i geograficznych.

Etap wdrożeniowy i testowy to faza krytyczna nie tylko z perspektywy technicznej, ale przede wszystkim strategicznej. To moment, w którym projekt przechodzi z fazy rozwojowej do praktycznej gotowości operacyjnej. Sukces tego etapu stanowi bezpośredni warunek osiągnięcia głównego celu projektu – stworzenia nowoczesnego, niezawodnego i powszechnie dostępnego narzędzia wspierającego zarządzanie zagrożeniami geodynamicznymi i hydrogeologicznymi.

7. Podsumowanie

Realizacja bieżącego etapu prac nad geoportalem jednoznacznie potwierdza, że projekt rozwija się zgodnie z założonymi celami i zmierza we właściwym kierunku – zarówno pod względem technologicznym, jak i funkcjonalnym. Dotychczasowe działania umożliwiły zbudowanie solidnych fundamentów systemu, który już na tym etapie wykazuje duży potencjał użytkowy. Zaawansowane funkcje analityczne, intuicyjny interfejs oraz zastosowanie nowoczesnych technologii sprawiają, że geoportal staje się narzędziem realnie odpowiadającym na potrzeby użytkowników.

Kontynuacja wdrożenia oraz rozpoczęcie testów użytkowych stanowią istotny kamień milowy na drodze do pełnej realizacji założeń projektowych. To moment, w którym system zostaje poddany weryfikacji w rzeczywistych scenariuszach użycia, co umożliwia identyfikację obszarów wymagających dalszego dopracowania. Jednocześnie potwierdza to zasadność rozwiązań przyjętych na wcześniejszych etapach prac.

W kolejnych fazach projekt skoncentruje się na dopracowaniu kluczowych elementów, optymalizacji działania systemu oraz przygotowaniu pełnej dokumentacji technicznej i użytkowej. Równolegle prowadzone będą działania mające na celu szerokie wdrożenie geoportalu w środowisku operacyjnym, co umożliwi jego praktyczne wykorzystanie przez instytucje odpowiedzialne za monitorowanie i przeciwdziałanie zagrożeniom geodynamicznym i hydrogeologicznym.

Załącznik nr 1 przedstawia przykładowy raport zawierający mapę Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) ze zintegrowanymi i zagregowanymi warstwami geozagrożeń. Mapa obrazuje pionowe przemieszczenia powierzchni terenu zarejestrowane w I kwartale 2025 roku, a także lokalizację zinwentaryzowanych w 2024 roku wyrobisk górniczych mających połączenie z powierzchnią. Dodatkowo przedstawiono na niej rozmieszczenie epicentrow wstrząsów sejsmicznych o charakterze indukowanym oraz obszary zalewisk i podtopień odnotowane w tym samym okresie. Zestawienie tych informacji pozwala na kompleksową ocenę aktualnego stanu zagrożeń geologicznych i hydrogeologicznych w regionie.

Celem końcowym jest stworzenie nowoczesnej, skalowalnej i efektywnej platformy, która przyczyni się do zwiększenia poziomu bezpieczeństwa oraz skuteczności działań w zakresie zarządzania ryzykiem środowiskowym.

Zasady korzystania z Raportów GIG-PIB

Zawartość Raportu, jego forma, treści, sposób wyrażenia, stanowi utwór w rozumieniu przepisów ustawy z dnia 4 lutego 1994 r. o prawie autorskim i prawach pokrewnych (Dz. U. z 2022 roku, poz. 2509, t.j.) i podlega ochronie przewidzianej w tej ustawie.

Wykorzystanie danych zawartych w Raporcie w zakresie innym niż realizacja zadań publicznych oraz ich ewentualne dalsze przetwarzanie wymaga uzyskania zgody/odrębnej licencji Ministra Przemysłu/uprawnionego podmiotu.

Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy nie ponosi odpowiedzialności za:

- Błędą interpretację i/lub przetwarzanie bazy danych,*
- Wykorzystanie danych niezgodne z ich przeznaczeniem,*
- Wykorzystanie danych niezgodne z ich standardem i szczegółowością.*
- Dokonywanie modyfikacji danych, ich opracowanie czy łączenie z innymi utworami.*