

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

Zadanie 6. Opracowywanie zintegrowanych map zagrożeń geodynamicznych
i hydrogeologicznych na terenach górniczych i pogórnich.

RAPORT KWARTALNY 6.4

za okres 01.10.2025 – 31.12.2025

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

Zespół autorski:

Piotr GRUCHLIK – kierownik zadania

Bartosz APANOWICZ

Małgorzata BODZIONY

Jarosław CHEĆKO

Grażyna HOLECZEK

Grzegorz MUTKE

Grażyna POŚPIECH

Tomasz URYCH

Zawartość raportu:

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

1. Wstęp
2. Technologie wykorzystane w projekcie
3. Dane źródłowe i ich charakterystyka
4. Przygotowanie danych w QGIS
5. Budowa geoportalu z wykorzystaniem qgis2web
6. Opis warstw i funkcjonalności geoportalu
7. Aktualizacja geoportalu
8. Ograniczenia i możliwości rozwoju systemu
9. Wnioski

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

1. Wstęp

Niniejszy raport stanowi opis oraz ogólną dokumentację geoportalu opracowanego z wykorzystaniem środowiska QGIS oraz wtyczki qgis2web. Opracowanie zostało zrealizowane w ramach zadania 6 prowadzonego przez Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy (GIG-PIB) i ma na celu integrację, wizualizację oraz analizę danych przestrzennych dotyczących zagrożeń geodynamicznych i hydrogeologicznych na terenach górniczych i pogórnich Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW).

Podstawowym celem utworzenia geoportalu było stworzenie nowoczesnego, interaktywnego narzędzia wspomagającego identyfikację, analizę i monitorowanie zjawisk niebezpiecznych związanych z działalnością górnictwem oraz jej skutkami dla środowiska i infrastruktury powierzchniowej. System umożliwia gromadzenie, prezentację i porównywanie danych przestrzennych pochodzących z różnych źródeł, w tym archiwów górniczych, baz danych geologicznych i hydrogeologicznych, systemów monitoringu deformacji terenu, danych satelitarnych (InSAR), pomiarów geodezyjnych (GNSS), skaningu LiDAR oraz informacji o zdarzeniach geodynamicznych. Takie podejście sprzyja lepszemu rozumieniu złożonych procesów zachodzących w obszarach eksploatacji górniczej oraz umożliwia prowadzenie analiz wielokryterialnych w ujęciu przestrzennym i czasowym.

Zakres tematyczny geoportalu obejmuje w szczególności następujące zagadnienia:

- sejsmiczność indukowaną działalnością górnictwem,
- deformacje powierzchni terenu (osiadania, wypiętrzenia, przemieszczenia poziome),
- lokalizacje szybów, szybków i innych wyrobisk górniczych z dostępem do powierzchni,
- występowanie zapadlisk oraz innych form deformacji nieciągłych,
- zbiorniki wodne, obszary zalewowe oraz tereny narażone na podtopienia.

Stworzony geoportal umożliwia interaktywne przeglądanie, analizę i wizualizację danych w kontekście lokalizacji, skali oraz charakteru występujących zagrożeń. Użytkownik ma możliwość włączania i wyłączania warstw tematycznych, wykonywania zapytań przestrzennych, przeglądania atrybutów obiektów, porównywania różnych źródeł danych oraz analizy zmian w czasie. Narzędzie to wspiera procesy decyzyjne w zakresie planowania przestrzennego, zarządzania ryzykiem oraz oceny oddziaływań działalności górnictwem na środowisko i infrastrukturę. Stanowi ono również praktyczne wsparcie dla administracji publicznej, jednostek samorządu terytorialnego, projektantów oraz innych interesariuszy zaangażowanych w zagospodarowanie terenów pogórnich.

System jest dostępny pod adresem: <https://geoportal.gig.eu>. Ze względu na charakter i znaczenie prezentowanych informacji geoportal ma charakter ogólnodostępny, jednak dostęp do wybranych warstw danych oraz funkcji szczegółowych został ograniczony do użytkowników uprawnionych poprzez zastosowanie mechanizmów autoryzacji i logowania. Rozwiązanie to umożliwia kontrolę dostępu do danych wrażliwych oraz zapewnia odpowiedni poziom bezpieczeństwa informacyjnego.

Projekt opracowano w oparciu o narzędzia open-source, co zapewnia wysoką elastyczność, niskie koszty utrzymania oraz możliwość dalszego rozwoju i rozbudowy funkcjonalności w przyszłości. Zastosowane technologie umożliwiają łatwą integrację z innymi systemami informacji przestrzennej (GIS), serwisami mapowymi (WMS/WFS) oraz zewnętrznymi bazami danych. Geoportal jest zgodny z obowiązującymi standardami w zakresie udostępniania danych przestrzennych oraz może stanowić podstawę do dalszej rozbudowy o kolejne moduły analityczne, funkcje monitoringu ciągłego oraz komponenty wspomagania decyzji (DSS) w obszarze zarządzania zagrożeniami geodynamicznymi i hydrogeologicznymi.

2. Technologie wykorzystane w projekcie

Do realizacji geoportalu wykorzystano oprogramowanie typu open-source, co pozwoliło nie tylko na istotną redukcję kosztów wdrożenia i utrzymania systemu, lecz także zapewniło wysoką elastyczność w zakresie jego dalszego rozwoju, modyfikacji oraz integracji z innymi rozwiązaniami informatycznymi. Zastosowanie otwartego oprogramowania umożliwia pełną transparentność kodu źródłowego, niezależność od jednego dostawcy technologii oraz korzystanie ze wsparcia szerokiej społeczności użytkowników i programistów. Takie podejście sprzyja trwałości rozwiązania w długiej perspektywie oraz umożliwia jego stopniowe rozszerzanie o nowe funkcjonalności bez konieczności ponoszenia wysokich kosztów licencyjnych.

Podstawowym środowiskiem pracy z danymi przestrzennymi był QGIS (Quantum GIS) – zaawansowany, wieloplatformowy system informacji geograficznej umożliwiający tworzenie, edycję, analizę oraz wizualizację danych geoprzestrzennych. QGIS stanowi obecnie jedno z wiodących narzędzi open-source w obszarze GIS i jest powszechnie wykorzystywany zarówno w środowisku naukowym, jak i w administracji publicznej oraz sektorze inżynierskim. Dzięki rozbudowanemu ekosystemowi wtyczek oraz obsłudze szerokiego spektrum formatów

danych (m.in. SHP, GeoPackage, PostGIS, WMS/WFS) możliwe było efektywne integrowanie danych pochodzących z różnych źródeł, ich wstępne przetwarzanie, harmonizacja oraz przygotowanie warstw tematycznych do publikacji w geoportalu.

W ramach projektu szczególne znaczenie miała wtyczka qgis2web, służąca do automatycznego eksportu widoku mapy z QGIS do postaci aplikacji internetowej. Rozszerzenie to umożliwia generowanie interaktywnych map z wykorzystaniem technologii Leaflet lub Mapbox GL JS, oferując jednocześnie szeroki zakres konfiguracji, w tym: definiowanie okien informacyjnych (popupów) z atrybutami obiektów, stylów wizualizacji warstw, legendy mapy, narzędzi nawigacyjnych (powiększanie, przesuwanie, lokalizacja), skali, przełączników warstw oraz podstawowych elementów interfejsu użytkownika. Wtyczka qgis2web pozwala na zachowanie spójności wizualnej pomiędzy środowiskiem desktopowym QGIS a wersją internetową mapy, co znacząco upraszcza proces publikacji danych przestrzennych.

W niniejszym projekcie zastosowano eksport w technologii Leaflet, która cechuje się lekkością, intuicyjną obsługą oraz dużą popularnością w środowisku open-source. Leaflet jest biblioteką JavaScript zoptymalizowaną pod kątem wydajności oraz pracy na urządzeniach mobilnych, co umożliwiło stworzenie responsywnej aplikacji mapowej o wysokiej kompatybilności z różnymi przeglądarkami internetowymi i systemami operacyjnymi. Wybór tej technologii zapewnił również możliwość dalszej rozbudowy interfejsu użytkownika oraz integracji dodatkowych bibliotek JavaScript w przyszłości, w tym narzędzi analitycznych i komponentów wizualizacyjnych.

Wygenerowana aplikacja została przygotowana jako statyczny zbiór plików HTML, CSS oraz JavaScript, w pełni gotowy do publikacji na serwerze www. Takie rozwiązanie umożliwia łatwe i szybkie wdrożenie geoportalu, jego późniejsze aktualizacje oraz utrzymanie przy zachowaniu stabilności i bezpieczeństwa działania systemu. Aktualizacja danych sprowadza się w praktyce do ponownego eksportu projektu z QGIS i podmiany odpowiednich plików na serwerze, co minimalizuje ryzyko błędów konfiguracyjnych oraz upraszcza procedury utrzymaniowe. Architektura oparta na statycznych plikach zwiększa również odporność systemu na awarie oraz ogranicza wymagania sprzętowe po stronie infrastruktury serwerowej.

Zastosowane podejście technologiczne tworzy solidną podstawę do dalszego rozwoju geoportalu, w tym jego ewentualnej migracji do architektury klient-serwer (np. z wykorzystaniem serwera mapowego oraz bazy danych przestrzennych PostGIS), integracji z usługami

sieciowymi (WMS/WFS) oraz wdrożenia bardziej zaawansowanych funkcji analitycznych i monitoringu ciągłego. Dzięki temu geoportal może być w przyszłości rozwijany jako kompleksowa platforma wspomagania decyzji w zakresie zarządzania zagrożeniami geodynamicznymi i hydrogeologicznymi na terenach górniczych i pogórniczych.

3. Dane źródłowe i ich charakterystyka

Dane zaimplementowane w geoportalu obejmują przestrzenną reprezentację różnorodnych zjawisk geodynamicznych i hydrogeologicznych, których występowanie oraz natężenie mają istotny wpływ na bezpieczeństwo ludzi, infrastrukturę techniczną oraz środowisko przyrodnicze. Zgromadzone informacje umożliwiają analizę zarówno procesów o charakterze ciągłym (np. deformacje powierzchni terenu), jak i zdarzeń punktowych (np. zapadliska, wstrząsy sejsmiczne), a także zjawisk o zasięgu obszarowym (np. zalewiska i podtopienia).

Zakres przestrzenny danych został ograniczony do granic Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW), co pozwala na spójną analizę zjawisk zachodzących w obrębie jednego, silnie przekształconego antropogenicznie regionu górniczego. Przyjęcie takiego zasięgu terytorialnego umożliwia jednocześnie porównywanie danych pochodzących z różnych obszarów eksploatacji oraz identyfikację stref o podwyższonym poziomie zagrożeń geodynamicznych i hydrogeologicznych.

Struktura danych w geoportalu została uporządkowana według podstawowych typów geometrii obiektów przestrzennych:

Punkty:

- sejsmiczność indukowana (lokalizacja epicentrum, magnituda, data i godzina zdarzenia),
- zapadliska (współrzędne lokalizacji oraz informacje opisowe o zdarzeniu),
- szyby i szybiki górnicze (identyfikator obiektu, nazwa, nazwa obszaru górniczego, współrzędne lokalizacji).

Linie:

- granice obszarów terenów górniczych i pogórniczych,
- granice zasięgu deformacji terenu.

Poligony:

- zbiorniki wodne,

- obszary zalewisk i podtopień.

Taki podział danych umożliwia ich jednoznaczną reprezentację kartograficzną, efektywne przetwarzanie oraz prowadzenie analiz przestrzennych z wykorzystaniem zapytań topologicznych i relacji przestrzennych pomiędzy poszczególnymi warstwami.

Źródłem danych wykorzystanych w geoportalu są przede wszystkim wyniki działań realizowanych w sposób ciągły przez Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy (GIG-PIB), w tym:

- monitorowanie sejsmiczności indukowanej działalnością górnictw,
- monitorowanie oraz prowadzenie bazy terenów o potencjalnym zagrożeniu zapadliskowym,
- monitorowanie deformacji terenu w obszarach górniczych i pogórnicznych Górnośląskiego Zagłębia Węglowego,
- monitorowanie oraz prowadzenie bazy danych o obszarach zalewisk i podtopień.

Dane te są systematycznie aktualizowane, weryfikowane i uzupełniane w oparciu o bieżące pomiary terenowe, analizy geodezyjne i geofizyczne, obserwacje satelitarne oraz dokumentację archiwalną dotyczącą eksploatacji górnictwa. Takie podejście zapewnia aktualność i wiarygodność informacji prezentowanych w geoportalu oraz umożliwia śledzenie zmian zachodzących w czasie.

W geoportalu istotną rolę pełnią również warstwy referencyjne w postaci map podkładowych, w szczególności OpenStreetMap oraz ortofotomapy o wysokiej rozdzielczości. OpenStreetMap jest ogólnodostępną, otwartą bazą danych kartograficznych, która dostarcza aktualnych informacji o elementach infrastruktury, takich jak drogi, budynki, sieci transportowe oraz punkty użyteczności publicznej. Warstwa ta stanowi podstawę do orientacji w terenie oraz odniesienia danych tematycznych do rzeczywistego układu przestrzennego.

Ortofotomapy to przetworzone zdjęcia lotnicze lub satelitarne, które zostały georeferencyjnie przekształcone w celu wiernego odwzorowania powierzchni terenu w jednolitym układzie współrzędnych. Umożliwiają one szczegółową analizę przestrzenną na podstawie rzeczywistego obrazu terenu, w tym identyfikację zmian w zagospodarowaniu, śladów deformacji powierzchni oraz elementów infrastruktury. Każda z tych warstw pełni istotną funkcję w geoportalu, wspierając interpretację i analizę danych tematycznych oraz zwiększając czytelność i użyteczność prezentowanych informacji przestrzennych.

4. Przygotowanie danych w QGIS

Przed utworzeniem geoportalu dane przestrzenne wymagały kompleksowego przygotowania i wstępnego przetworzenia w środowisku QGIS. Etap ten miał kluczowe znaczenie dla zapewnienia spójności, poprawności topologicznej, czytelności wizualnej oraz funkcjonalności danych publikowanych w aplikacji internetowej. Obejmował on zarówno integrację danych pochodzących z różnych źródeł, jak i ich harmonizację pod względem struktury atrybutowej, układów odniesienia przestrzennego oraz zasad wizualizacji kartograficznej.

W ramach przygotowania danych zrealizowano następujące etapy:

1. Import danych

Wczytano dane wektorowe i rastrowe w różnych formatach, w tym: SHP, GeoJSON, GeoPackage (GPKG) oraz warstwy rastrowe (np. ortofotomapy). Na tym etapie dokonano weryfikacji poprawności geometrii obiektów, zgodności układów współrzędnych oraz kompletności danych. W razie potrzeby przeprowadzono reprojekcję warstw do jednolitego układu odniesienia, co umożliwiło ich poprawne nakładanie się w przestrzeni oraz spójną prezentację w geoportalu.

2. Czyszczenie i harmonizacja atrybutów

Przeprowadzono porządkowanie tabel atrybutów poprzez usunięcie zbędnych kolumn, ujednolicenie nazw pól, standaryzację typów danych oraz weryfikację wartości opisowych i liczbowych. Na tym etapie eliminowano również brakujące lub niejednoznaczne wpisy oraz wprowadzano spójne słowniki pojęć (np. dla nazw obiektów, typów zjawisk czy klas zagrożeń). Działania te miały na celu poprawę jakości danych oraz zapewnienie ich jednoznacznej interpretowalności przez użytkowników geoportalu.

3. Stylizacja warstw danych

Każdej warstwie tematycznej nadano indywidualny styl wizualny, dostosowany do charakteru prezentowanych zjawisk oraz zasad czytelności kartograficznej.

W szczególności zastosowano:

- skalowanie kolorów według klas wartości (np. magnituda sejsmiczna, intensywność zjawisk),
- zróżnicowane symbole punktowe dla szybów, szybików i zapadlisk,

- półprzezroczystość dla poligonów zbiorników wodnych, zalewisk i obszarów podtopień,
- odpowiednie grubości i typy linii dla granic terenów górniczych oraz zasięgów deformacji.

Stylizacja została zaprojektowana w sposób zapewniający dobrą widoczność obiektów na tle map podkładowych oraz spójność wizualną całego geoportalu.

4. Konfiguracja widoczności i skali

Dla poszczególnych warstw danych zdefiniowano zakresy widoczności w zależności od poziomu powiększenia (zoomu) mapy. Pozwoliło to na ograniczenie nadmiernego zagęszczenia informacji przy małych skalach oraz poprawę czytelności mapy przy dużych powiększeniach. Warstwy o wysokiej szczegółowości (np. lokalizacje szybów, zapadliska) udostępniano dopiero od określonego poziomu zoomu, natomiast warstwy ogólne (np. granice GZW, zasięgi deformacji) były widoczne w szerszym zakresie skal.

5. Projekt mapy i kompozycja widoku bazowego

W środowisku QGIS przygotowano docelowy projekt mapy stanowiący widok bazowy dla geoportalu. Obejmował on odpowiednie ustawienie kolejności warstw, zakresu przestrzennego mapy, domyślnego poziomu powiększenia oraz stylów wizualnych. Projekt ten posłużył następnie jako podstawa do eksportu aplikacji internetowej z wykorzystaniem wtyczki qgis2web, zapewniając zachowanie spójności pomiędzy wersją desktopową a wersją przeglądarkową geoportalu.

Opisane działania zapewniły wysoką jakość merytoryczną i wizualną danych publikowanych w geoportalu oraz stworzyły solidną podstawę do ich dalszego wykorzystania w analizach przestrzennych, monitoringu zagrożeń oraz procesach decyzyjnych związanych z zagospodarowaniem terenów górniczych i pogórnich Górnśląskiego Zagłębia Węglowego.

5. Budowa geoportalu z wykorzystaniem qgis2web

Po zakończeniu prac nad przygotowaniem mapy w środowisku QGIS wykorzystano wtyczkę qgis2web w celu wygenerowania webowej (internetowej) wersji projektu. Proces ten umożliwił przekształcenie projektu GIS w interaktywną aplikację przeglądarkową, pozwalającą na publikację oraz prezentację danych przestrzennych w formie dostępnej online, bez

konieczności instalowania specjalistycznego oprogramowania po stronie użytkownika końcowego.

Wtyczka qgis2web automatyzuje proces eksportu warstw wektorowych i rastrowych wraz z ich stylizacją kartograficzną, strukturą atrybutów oraz konfiguracją interfejsu użytkownika do postaci aplikacji internetowej opartej na nowoczesnych technologiach webowych. W ramach projektu szczególną uwagę poświęcono zachowaniu spójności pomiędzy wersją desktopową mapy w QGIS a jej odpowiednikiem internetowym, tak aby użytkownik geoportalu otrzymał narzędzie o porównywalnej funkcjonalności i czytelności wizualnej.

Kluczowe etapy realizacji procesu obejmowały:

- Wybór silnika renderującego

W projekcie zastosowano technologię Leaflet, charakteryzującą się dużą lekkością, intuicyjnością obsługi oraz wysoką kompatybilnością z różnymi przeglądarkami internetowymi i urządzeniami mobilnymi. Wybór tej biblioteki JavaScript zapewnił dobrą wydajność działania aplikacji, szybkie ładowanie danych oraz możliwość dalszej rozbudowy interfejsu użytkownika o dodatkowe komponenty w przyszłości.

- Konfigurację okien informacyjnych (popupów)

Dla warstw punktowych i poligonowych zdefiniowano okna informacyjne umożliwiające prezentację szczegółowych atrybutów obiektów po kliknięciu na mapie. W popupach umieszczono kluczowe informacje opisowe, takie jak identyfikatory obiektów, daty zdarzeń, wartości magnitud, nazwy obszarów górniczych oraz inne parametry istotne z punktu widzenia interpretacji zagrożeń geodynamicznych i hydrogeologicznych. Układ i treść popupów zostały zaprojektowane w sposób zapewniający czytelność oraz jednoznaczność prezentowanych danych.

- Aktywację narzędzi interfejsu użytkownika

W aplikacji włączono podstawowe elementy interfejsu użytkownika, takie jak legenda mapy, narzędzia nawigacyjne (przesuwanie, powiększanie i pomniejszanie widoku), przyciski zmiany skali (zoom) oraz przełączniki widoczności warstw tematycznych. Zastosowanie tych elementów zwiększyło funkcjonalność aplikacji oraz umożliwiło użytkownikom samodzielne konfigurowanie widoku mapy w zależności od aktualnych potrzeb analitycznych.

- Eksport plików aplikacji

Wygenerowano kompletny zestaw plików aplikacji w postaci dokumentów HTML, arkuszy stylów CSS oraz skryptów JavaScript. Pliki te zostały zapisane w lokalnym katalogu roboczym i stanowiły w pełni samodzielny pakiet zasobów niezbędnych do uruchomienia geoportalu w środowisku serwerowym. Taka forma dystrybucji umożliwia łatwe wdrażanie aplikacji, jej aktualizację poprzez podmianę plików oraz wersjonowanie poszczególnych wydań geoportalu.

- Weryfikację poprawności działania aplikacji

Po zakończeniu eksportu przeprowadzono testy poprawności działania geoportalu w przeglądarkach internetowych, obejmujące weryfikację funkcjonalności interfejsu użytkownika, poprawności wyświetlania warstw danych, działania popupów, przełączników warstw oraz zgodności wizualnej z projektem przygotowanym w QGIS. Sprawdzone również responsywność aplikacji na różnych rozdzielczościach ekranu oraz jej zachowanie na urządzeniach mobilnych.

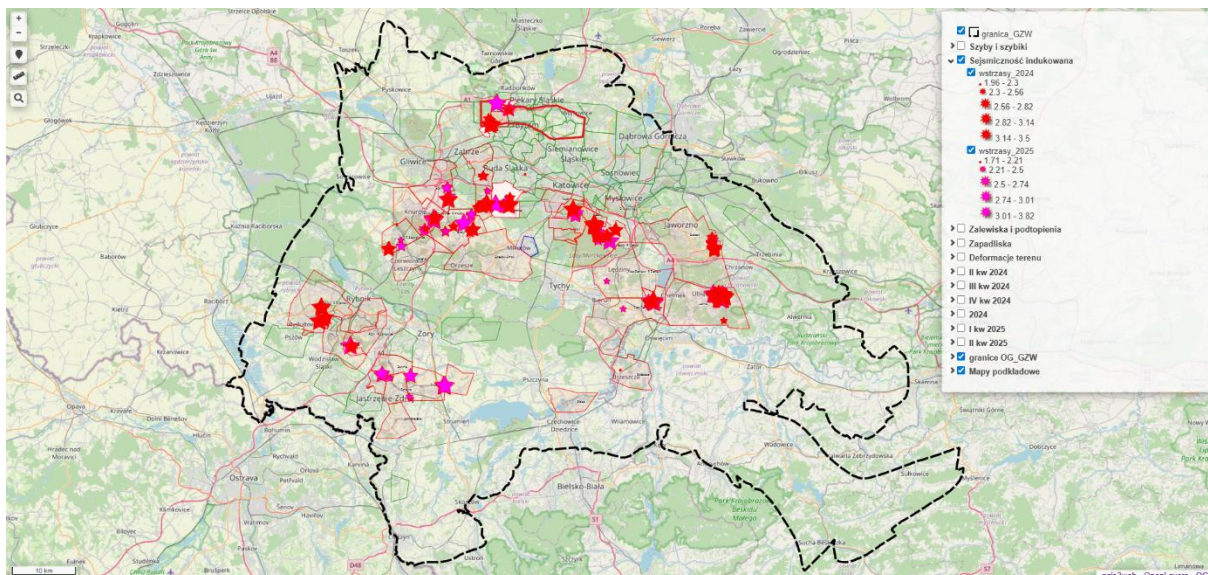
Wygenerowane pliki zostały następnie wdrożone na serwerze GIG-PIB i udostępnione pod adresem: <https://geoportal.gig.eu>. Geoportal funkcjonuje jako aplikacja statyczna, co umożliwia szybki dostęp do danych przestrzennych oraz stabilne działanie systemu przy minimalnych wymaganiach serwerowych. Architektura oparta na statycznych zasobach webowych zwiększa odporność systemu na awarie oraz ogranicza ryzyko błędów konfiguracyjnych po stronie serwera.

Dostęp do części funkcji oraz wybranych warstw danych został ograniczony do użytkowników uprawnionych, zgodnie z przyjętym systemem autoryzacji i logowania. Rozwiązanie to pozwala na kontrolę dostępu do informacji wrażliwych oraz zapewnia odpowiedni poziom bezpieczeństwa informacyjnego, przy jednoczesnym zachowaniu ogólnodostępnego charakteru podstawowych warstw tematycznych geoportalu.

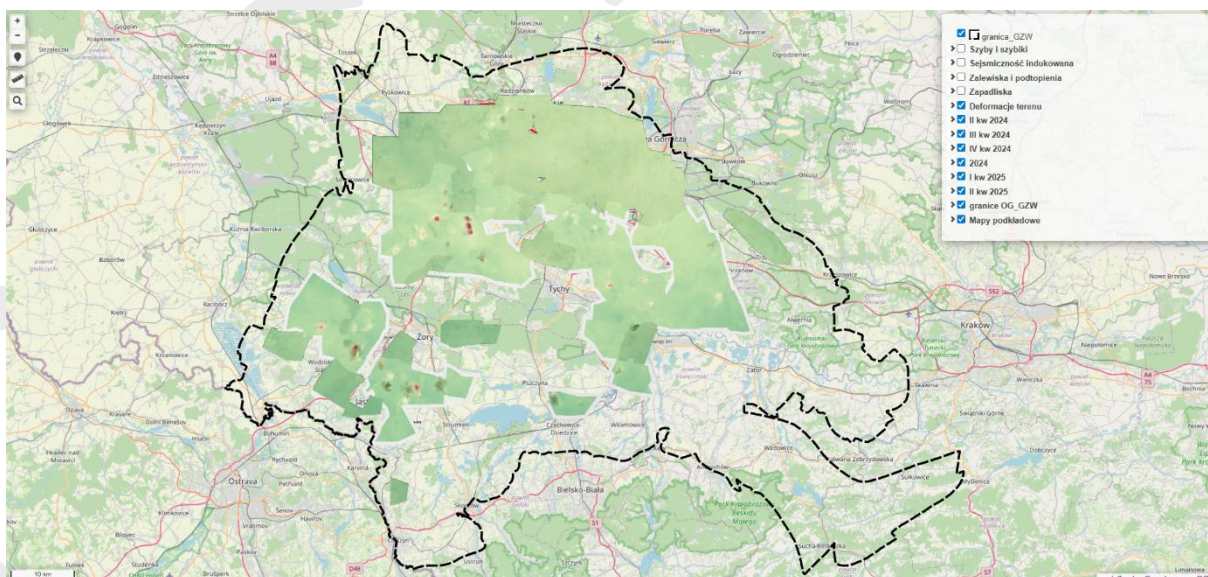
6. Opis warstw i funkcjonalności geoportalu

Warstwy tematyczne:

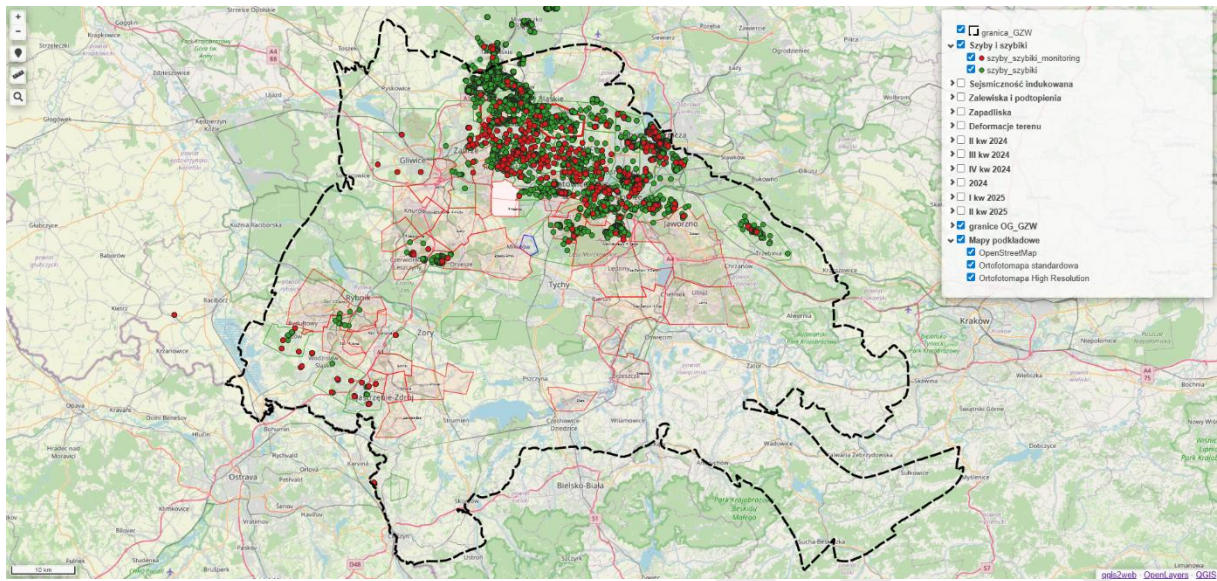
- Sejsmiczność indukowana – punkty reprezentujące zdarzenia sejsmiczne, zawierające informacje o magnitudzie, dacie, czasie i współrzędnych lokalizacji.



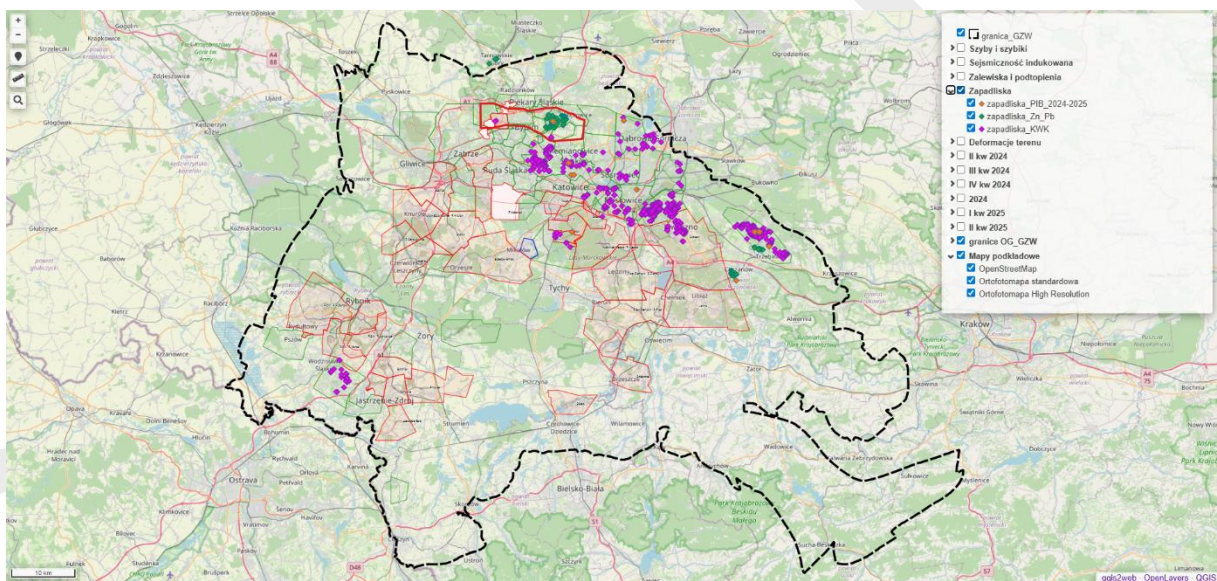
- Deformacje terenu – linie lub obszary, w których zarejestrowano przemieszczenia powierzchni.



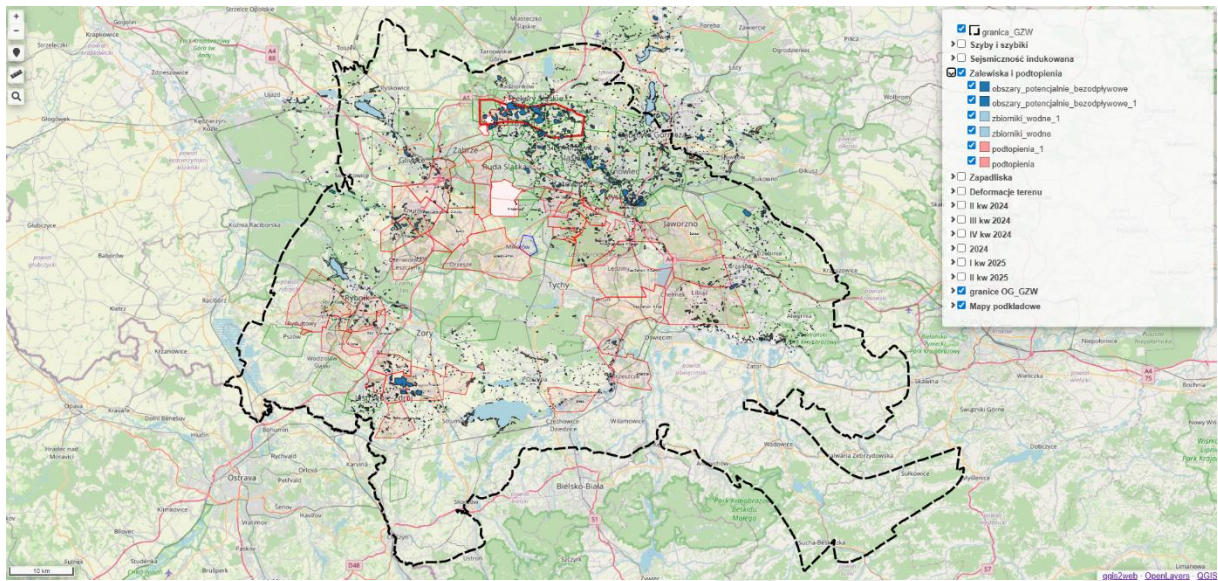
- Szyby i szybiki – dane o głębokości, funkcji (czynny/nieczynny), statusie i nazwie wyrobiska.



- Zapadliska – poligony określające obszary zapadnięć gruntu.

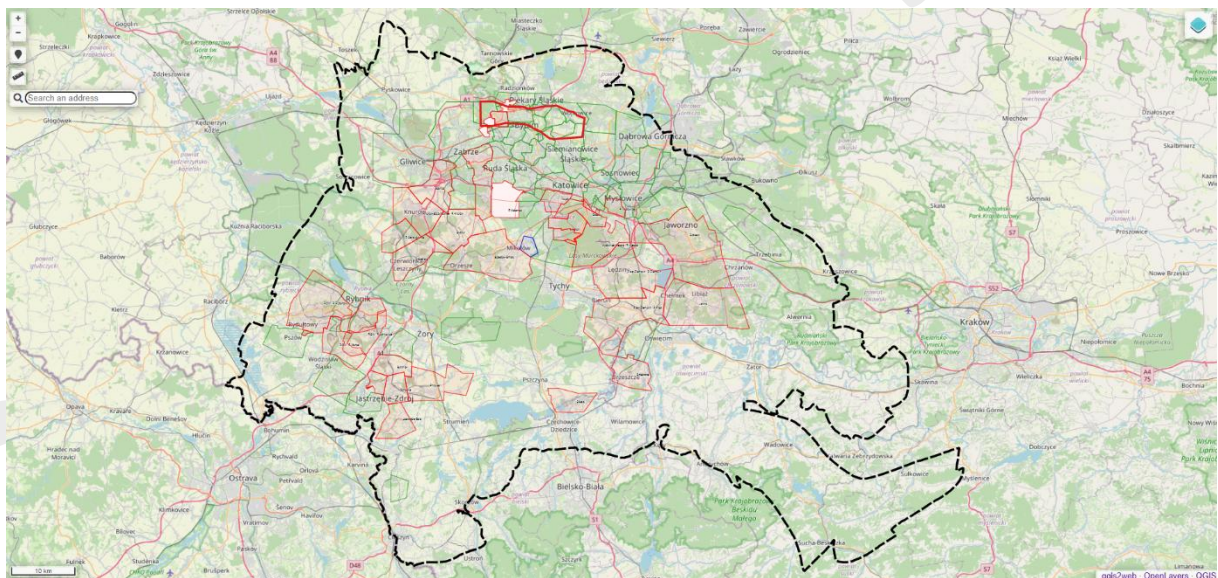


- Zbiorniki wodne i zalewiska – obszary okresowego lub trwałego występowania wód.
- Podtopienia – strefy narażone na czasowe zaleganie wody powierzchniowej.

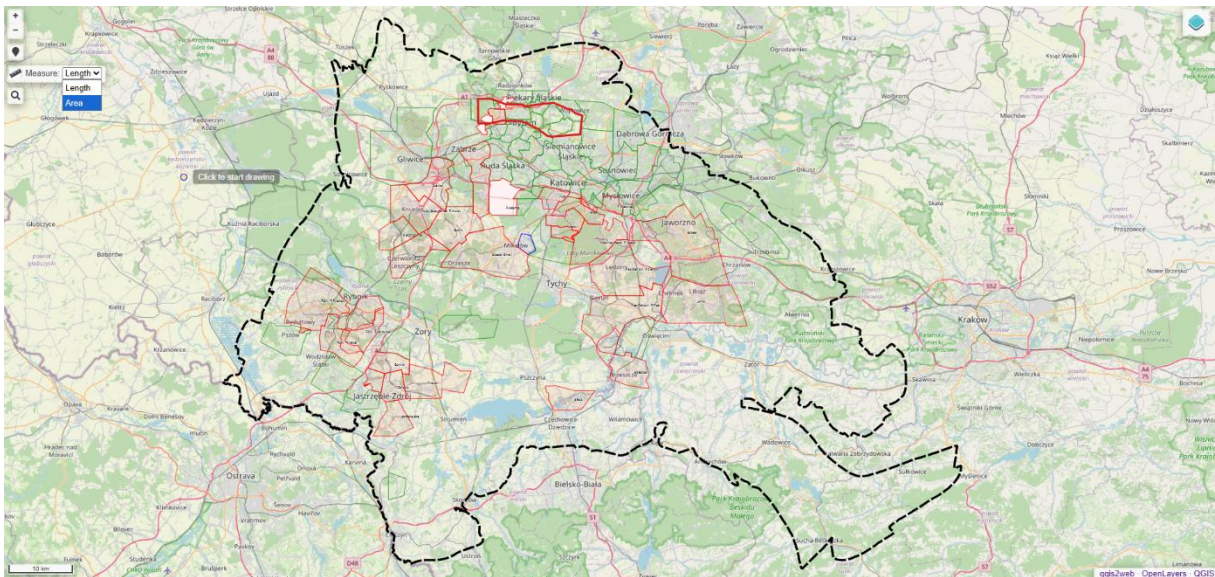


Funkcjonalności użytkowe:

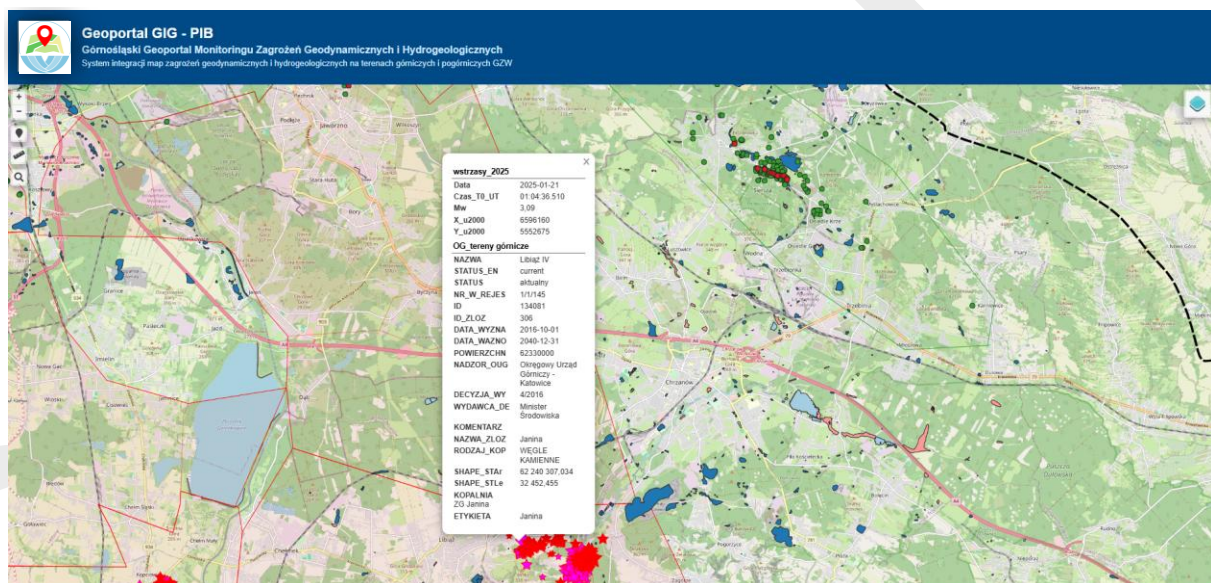
- Wyszukiwanie lokalizacji po adresie.



- Pomiar odległości i powierzchni.



- Popupy – kliknięcie obiektu powoduje wyświetlenie jego szczegółów (data wstrząsu, czas, magnituda i współrzędne lokalizacji).



- Legenda – dynamiczna legenda z podziałem na warstwy.
- Przełącznik warstw – użytkownik może aktywować/dezaktywować poszczególne warstwy.
- Skalowalność mapy – obsługa zoomu oraz dopasowania widoku.
- Interfejs nawigacyjny – proste, intuicyjne sterowanie mapą.

7. Aktualizacja geoportalu

Po wygenerowaniu plików mapy z wykorzystaniem środowiska QGIS oraz wtyczki qgis2web aplikacja została zaktualizowana na serwerze GIG-PIB i udostępniona pod adresem: <https://geoportal.gig.eu>. Proces aktualizacji obejmował wdrożenie najnowszej wersji zasobów mapowych oraz plików aplikacji (HTML, CSS, JavaScript), a także weryfikację poprawności działania poszczególnych funkcji systemu w środowisku produkcyjnym.

Aktualizacja geoportalu miała charakter cykliczny i była realizowana każdorazowo po uzupełnieniu lub modyfikacji danych źródłowych, zmianach w strukturze atrybutów, stylizacji warstw lub konfiguracji interfejsu użytkownika. W praktyce proces ten sprowadzał się do ponownego eksportu projektu z QGIS oraz podmiany odpowiednich plików na serwerze www. Takie podejście zapewnia spójność pomiędzy wersją desktopową projektu GIS a jego odpowiednikiem internetowym oraz minimalizuje ryzyko błędów wynikających z ręcznej ingerencji w kod aplikacji.

Każda aktualizacja była poprzedzona etapem testów w środowisku lokalnym, obejmującym sprawdzenie poprawności wyświetlania warstw danych, działania okien informacyjnych (popupów), przełączników widoczności warstw, legendy mapy oraz narzędzi nawigacyjnych. Po wdrożeniu nowej wersji geoportalu na serwerze produkcyjnym przeprowadzano dodatkową weryfikację poprawności działania aplikacji w różnych przeglądarkach internetowych oraz na urządzeniach mobilnych, co pozwalało na wychwycenie ewentualnych niezgodności i problemów z responsywnością interfejsu użytkownika.

Ze względu na charakter i znaczenie prezentowanych informacji geoportal ma charakter ogólnodostępny, jednak dostęp do wybranych warstw danych oraz funkcji o charakterze szczegółowym został ograniczony do użytkowników uprawnionych. Ograniczenia te wprowadzono w celu zapewnienia bezpieczeństwa i ochrony danych wrażliwych, a także zachowania integralności systemu i kontroli nad sposobem wykorzystywania informacji przestrzennej. Autoryzacja użytkowników odbywa się poprzez system logowania, który umożliwia nadawanie odpowiednich poziomów uprawnień w zależności od roli użytkownika, zakresu realizowanych zadań oraz potrzeb analitycznych.

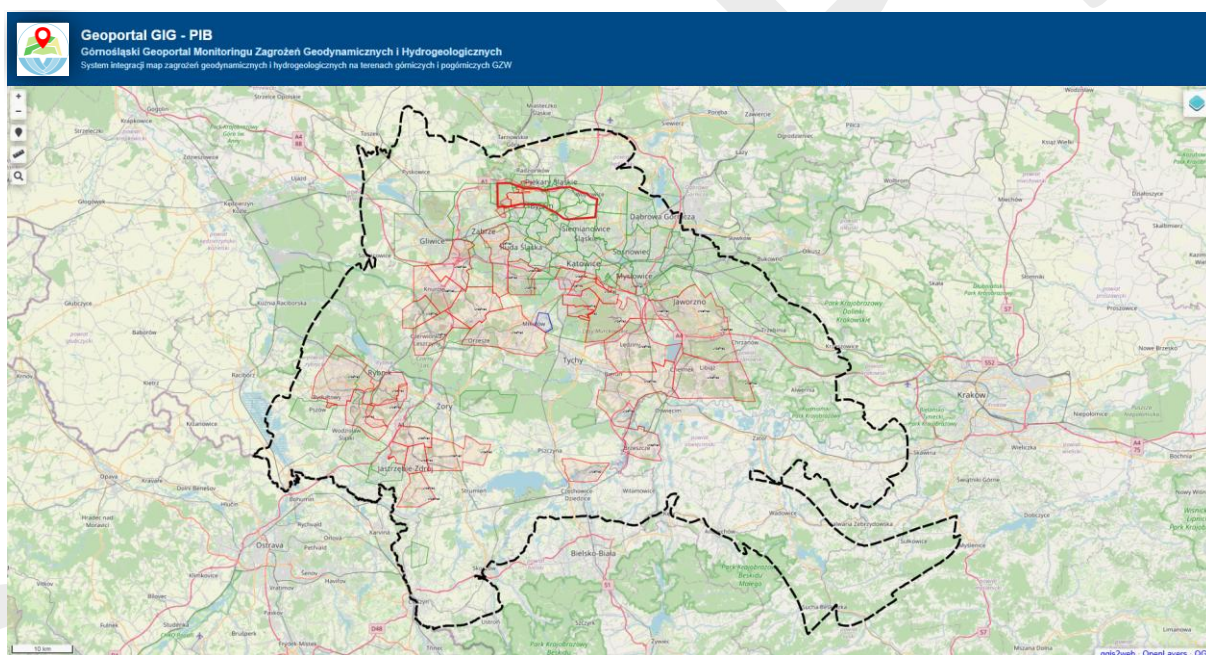
Zastosowany mechanizm kontroli dostępu pozwala na rozróżnienie co najmniej dwóch podstawowych kategorii użytkowników:

- użytkowników ogólnych, posiadających dostęp do warstw referencyjnych i podstawowych informacji tematycznych,

- użytkowników uprawnionych, mających dostęp do rozszerzonych warstw danych, funkcji szczegółowych oraz informacji o charakterze wrażliwym lub roboczym.

Dzięki zastosowaniu takiego rozwiązania geoportal może pełnić jednocześnie rolę źródła ogólnodostępnych informacji przestrzennych oraz narzędzia roboczego dla uprawnionych jednostek zajmujących się analizą zagrożeń geodynamicznych i hydrogeologicznych, w tym dla pracowników GIG-PIB, administracji publicznej oraz innych instytucji współpracujących przy monitoringu i ocenie ryzyka na terenach górniczych i pogórniczych.

Przyjęty model aktualizacji oraz kontroli dostępu zapewnia możliwość bieżącego utrzymywania geoportalu w stanie zgodnym z aktualnym stanem wiedzy i danych pomiarowych, przy jednoczesnym zachowaniu stabilności działania systemu, bezpieczeństwa informacyjnego oraz wysokiej użyteczności dla różnych grup odbiorców.



Strona główna geoportalu: <https://geoportal.gig.eu>

8. Ograniczenia i możliwości rozwoju systemu

Na obecnym etapie realizacji geoportalu wspierającego monitoring zagrożeń geodynamicznych i hydrogeologicznych na obszarach eksploatacji górniczej oraz terenach pogórniczych zidentyfikowano szereg ograniczeń wynikających zarówno z przyjętej architektury systemu, jak i z zakresu jego obecnych funkcjonalności. Ograniczenia te mają charakter głównie techniczny i organizacyjny oraz są konsekwencją przyjętego modelu publikacji danych w postaci aplikacji statycznej, generowanej z poziomu środowiska QGIS.

Ograniczenia systemu

Do najważniejszych ograniczeń obecnej wersji geoportalu należą:

- Brak integracji z dynamiczną bazą danych przestrzennych

System nie jest obecnie powiązany z relacyjną bazą danych (np. PostgreSQL/PostGIS), co uniemożliwia automatyczne aktualizowanie informacji w czasie rzeczywistym oraz bezpośrednie zasilanie geoportalu danymi pochodzącymi z bieżących pomiarów i systemów monitoringu. W rezultacie każda aktualizacja danych wymaga ponownego eksportu projektu z QGIS oraz ręcznego wdrożenia nowych plików na serwerze.

- Ograniczona wydajność renderowania mapy przy dużych wolumenach danych

W przypadku warstw zawierających bardzo dużą liczbę obiektów (np. punktów reprezentujących zdarzenia sejsmiczne lub szczegółowych granic deformacji terenu) może występować wydłużony czas wczytywania mapy oraz spadek płynności działania aplikacji. Ograniczenie to wynika z faktu, że wszystkie dane wektorowe są ładowane po stronie klienta w postaci plików JavaScript/GeoJSON.

- Brak zaawansowanych narzędzi analitycznych

Obecna wersja geoportalu oferuje przede wszystkim funkcje przeglądowe i wizualizacyjne. Brakuje w niej bardziej rozbudowanych narzędzi analizy przestrzennej, takich jak: buforowanie obiektów, analizy sąsiedztwa, zapytania przestrzenne, generowanie profili terenu, obliczanie statystyk w zadanym obszarze czy porównywanie warstw w ujęciu czasowym. Ogranicza to możliwości interpretacyjne i badawcze systemu, zwłaszcza w kontekście analiz wielokryterialnych i oceny ryzyka.

- Ograniczona obsługa danych czasowych

System nie posiada obecnie wbudowanego mechanizmu pracy na szeregach czasowych, co utrudnia dynamiczną analizę zmian w czasie (np. sejsmiczności, deformacji terenu czy rozwoju zalewisk). Brak osi czasu lub suwaka czasowego ogranicza możliwość prezentowania danych w ujęciu sekwencyjnym i porównawczym.

- Brak bezpośredniej integracji z zewnętrznymi usługami sieciowymi

Geoportal nie korzysta obecnie z usług typu WMS/WFS/WMTS ani z interfejsów API dostarczanych przez inne systemy informacji przestrzennej lub platformy monitoringu. Ogranicza to możliwość automatycznego pobierania i aktualizowania danych z zewnętrznych źródeł.

Pomimo powyższych ograniczeń zastosowana architektura open-source oraz modułarna budowa aplikacji zapewniają duży potencjał rozwojowy, umożliwiając stopniowe wprowadzanie kolejnych usprawnień i rozbudowę funkcjonalności geoportalu bez konieczności całkowitej przebudowy systemu.

Możliwości dalszego rozwoju systemu

W oparciu o przeprowadzoną analizę obecnego stanu geoportalu zidentyfikowano następujące kierunki jego dalszego rozwoju:

- Integracja z dynamiczną bazą danych przestrzennych
Wprowadzenie bazy danych PostgreSQL/PostGIS oraz serwera mapowego (np. GeoServer lub MapServer) umożliwiłoby bezpośrednie zasilanie geoportalu aktualnymi danymi oraz automatyczne ich publikowanie w postaci usług sieciowych (WMS/WFS). Pozwoliłoby to na odejście od statycznego modelu aktualizacji i znacząco zwiększyło bieżącą wartość informacyjną systemu.
- Wprowadzenie filtra czasowego i obsługi danych temporalnych
Implementacja osi czasu lub suwaka czasowego umożliwiłaby prezentację danych w wybranym przedziale czasowym (np. wyświetlanie zdarzeń z ostatnich 12 miesięcy) oraz analizę trendów zmian sejsmiczności, deformacji terenu i zjawisk hydrogeologicznych.
- Rozbudowa modułu analitycznego
Uzupełnienie geoportalu o narzędzia analizy przestrzennej (buforowanie, zapytania przestrzenne, statystyki obszarowe, profile terenu) zwiększyłoby jego funkcjonalność w zakresie oceny zagrożeń oraz wspomagania procesów decyzyjnych. Możliwe byłoby również wdrożenie prostych narzędzi wielokryterialnych w duchu koncepcji hazard–podatność–ekspozycja.
- Rozbudowa o moduł raportowania
Wprowadzenie funkcji generowania raportów (np. w formacie PDF) bezpośrednio z poziomu mapy, z możliwością wyboru zakresu przestrzennego, przedziału czasowego oraz warstw tematycznych, umożliwiłoby tworzenie standaryzowanych opracowań analitycznych na potrzeby administracji publicznej, planowania przestrzennego i raportów eksperckich.
- Utworzenie wersji mobilnej geoportalu

Przygotowanie dedykowanej wersji mobilnej geoportalu z uproszczonym interfejsem, zoptymalizowanej pod kątem urządzeń przenośnych (smartfony, tablety), zwiększyłoby dostępność systemu w terenie, m.in. podczas prac inspekcyjnych i pomiarowych.

- Integracja z zewnętrznymi systemami monitoringu

Powiązanie geoportalu z systemami monitoringu sejsmicznego, hydrogeologicznego, InSAR, GNSS czy UAV umożliwiłoby automatyczne aktualizacje danych oraz bieżące śledzenie zmian w czasie. Takie rozwiązanie stworzyłoby podstawy do rozwoju geoportalu w kierunku platformy monitoringu ciągłego.

- Optymalizacja wydajności i zarządzania dużymi zbiorami danych

Wdrożenie mechanizmów upraszczania geometrii, kafelkowania danych oraz ładowania warstw „na żądanie” pozwoliłoby na poprawę wydajności systemu przy dużych wolumenach danych i zwiększenie komfortu pracy użytkowników.

Realizacja powyższych kierunków rozwoju pozwoli na dalsze zwiększenie użyteczności geoportalu, jego efektywności analitycznej oraz znaczenia jako narzędzia wspierającego proces monitoringu i oceny zagrożeń geodynamicznych oraz hydrogeologicznych. W dłuższej perspektywie geoportal może zostać rozwinięty w kierunku kompleksowej platformy wspomagania decyzji (DSS) dla terenów górniczych i pogórnich Górnośląskiego Zagłębia Węglowego.

9. Wnioski

Opracowany geoportal stanowi funkcjonalne, czytelne i elastyczne narzędzie służące do prezentacji, analizy oraz integracji danych przestrzennych dotyczących zagrożeń geodynamicznych i hydrogeologicznych na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW). System umożliwia kompleksowe zobrazowanie zjawisk związanych z działalnością górniczą i jej skutkami dla środowiska oraz infrastruktury powierzchniowej, co przyczynia się do poprawy efektywności monitorowania oraz oceny ryzyka występowania procesów niebezpiecznych. Dzięki przestrzennej integracji informacji o sejsmiczności indukowanej, deformacjach terenu, zapadliskach, wyrobiskach górniczych oraz zjawiskach hydrogeologicznych możliwe jest holistyczne ujęcie problematyki zagrożeń w regionie GZW.

Integracja danych pochodzących z różnych źródeł oraz ich interaktywna wizualizacja w środowisku przeglądarki internetowej znacząco usprawniają prowadzenie analiz przestrzennych i wspierają procesy decyzyjne w zakresie planowania przestrzennego,

zarządzania ryzykiem oraz ochrony terenów górniczych i pogórnich. Geoportal może być wykorzystywany zarówno przez jednostki naukowo-badawcze, jak i administrację publiczną, jednostki samorządu terytorialnego oraz służby odpowiedzialne za bezpieczeństwo publiczne i gospodarkę przestrzenną. Narzędzie to sprzyja również standaryzacji sposobu prezentacji danych o zagrożeniach oraz ułatwia komunikację wyników analiz pomiędzy różnymi interesariuszami.

Zastosowanie rozwiązań open-source, w szczególności środowiska QGIS oraz wtyczki qgis2web, pozwoliło na efektywne wdrożenie projektu przy zachowaniu wysokiej jakości, przejrzystości oraz zgodności z obowiązującymi standardami GIS i udostępniania danych przestrzennych. Przyjęta architektura systemu umożliwia relatywnie łatwą modyfikację oraz dalszy rozwój geoportalu w miarę pojawiania się nowych danych, technologii oraz potrzeb użytkowników. Jednocześnie ograniczenie kosztów licencyjnych i infrastrukturalnych sprzyja trwałości rozwiązania w dłuższej perspektywie czasowej.

Stworzony geoportal stanowi nowoczesną platformę informacyjną, która może być w przyszłości rozszerzana o kolejne moduły tematyczne oraz nowe źródła danych, w tym m.in. monitoring satelitarny InSAR, pomiary geodezyjne GNSS, dane z mobilnych i lotniczych skaningu LiDAR, informacje środowiskowe oraz dane z systemów hydrogeologicznych i sejsmicznych. Taka rozbudowa umożliwi dalsze zwiększanie wartości analitycznej i użytkowej systemu oraz jego rozwój w kierunku kompleksowej platformy monitoringu ciągłego i wspomagania decyzji (DSS) w obszarze zarządzania zagrożeniami geodynamicznymi i hydrogeologicznymi.

Załącznik nr 1 przedstawia przykładowy raport zawierający mapę Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW), zintegrowaną z zagregowanymi warstwami danych dotyczących geozagrożeń. Mapa obejmuje pionowe przemieszczenia powierzchni terenu zarejestrowane w IV kwartale 2025 roku, a także lokalizacje wyrobisk górniczych posiadających połączenie z powierzchnią, zinwentaryzowanych w 2024 roku. Dodatkowo zaprezentowano rozmieszczenie zapadlisk, epicentrow wstrząsów sejsmicznych o charakterze indukowanym oraz obszary zalewisk i podtopień odnotowane w tym samym okresie. Przykład ten ilustruje potencjał geoportalu w zakresie łączenia różnych typów danych przestrzennych w jednym, spójnym opracowaniu kartograficznym.

Aktualny zakres danych udostępnianych w geoportalu obejmuje:

- Sejsmiczność indukowaną działalnością górniczą – dane pochodzące z monitoringu sejsmicznego prowadzonego na obszarach eksploatacji górniczej, obejmujące wyniki za cały rok 2024 oraz cztery kwartały 2025 roku,
- Deformacje powierzchni terenu – wyniki monitoringu przemieszczeń pionowych i poziomych terenu uzyskane na podstawie analiz satelitarnych (InSAR) oraz pomiarów geodezyjnych, również za okres 2024 – IV kwartał 2025 roku,
- Lokalizacje i charakterystyka szybów, szybków oraz innych wyrobisk z dostępem do powierzchni – dane uzyskane w wyniku inwentaryzacji przeprowadzonej w 2024 roku oraz aktualizacji wykonanych w 2025 roku,
- Lokalizacje występowania zapadlisk – informacje o zidentyfikowanych deformacjach nieciągłych powierzchni związanych z działalnością górniczą, wraz z ich opisem i klasyfikacją,
- Zbiorniki wodne, obszary zalewowe oraz tereny narażone na podtopienia – dane hydrograficzne opracowane w wyniku inwentaryzacji terenowej z 2024 roku oraz uzupełnione o obserwacje z czterech kwartałów 2025 roku,
- Aktualny przebieg granic czynnych i zlikwidowanych kopalń węgla kamiennego Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) – opracowany na podstawie aktualnych danych górniczo-geologicznych oraz materiałów archiwalnych.

Zestawienie powyższych informacji w jednym, zintegrowanym opracowaniu umożliwia kompleksową ocenę aktualnego stanu zagrożeń geodynamicznych i hydrogeologicznych w regionie GZW, a także stanowi solidną podstawę do dalszych analiz przestrzennych i porównawczych w zakresie monitorowania skutków działalności górniczej. Geoportal, jako narzędzie o rosnącym potencjale funkcjonalnym, może w przyszłości odegrać istotną rolę w procesach planowania przestrzennego, rewitalizacji terenów pogórniczych oraz kształtowania polityki bezpieczeństwa i ochrony środowiska w regionach górniczych.

Istotnym elementem funkcjonalnym geoportalu jest również umieszczenie na jego stronie głównej linku do strony zawierającej opis procedury zgłaszania wniosku o szkody górnicze. Rozwiązanie to zwiększa użyteczność geoportalu z punktu widzenia mieszkańców oraz właścicieli nieruchomości zlokalizowanych na terenach górniczych i pogórniczych, umożliwiając im szybki dostęp do aktualnych informacji formalno-prawnych dotyczących trybu postępowania w przypadku wystąpienia szkód. Integracja części informacyjnej

o charakterze administracyjnym z warstwą danych przestrzennych sprzyja lepszemu powiązaniu wiedzy o zagrożeniach geodynamicznych z praktycznymi aspektami ich skutków oraz wzmacnia rolę geoportalu jako kompleksowej platformy informacyjnej i narzędzia wspierającego komunikację pomiędzy instytucjami publicznymi a użytkownikami końcowymi.

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.2025.24 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 Energii/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.*