

**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 ROCZNY

za okres 01.01.2025 – 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 oraz utrzymanie geoportalu wspierającego monitoring zagrożeń geodynamicznych hydrogeologicznych na obszarach eksploatacji górniczej i terenach pogórnich

1. Wstęp i cel opracowania
2. Charakterystyka geoportalu GIG-PIB
3. Zastosowane technologie i architektura systemu
4. Zakres danych źródłowych i ich charakterystyka
5. Przygotowanie i przetwarzanie danych w środowisku QGIS
6. Budowa i publikacja geoportalu z wykorzystaniem wtyczki qgis2web
7. Opis warstw tematycznych oraz funkcjonalności geoportalu
8. Aktualizacja, utrzymanie i dostęp do geoportalu
9. Ograniczenia systemu i możliwości jego rozwoju
10. Wnioski

Załącznik nr 1. Mapa GZW z pionowymi przemieszczeniami powierzchni, lokalizacją wyrobisk górniczych mających połączenie z powierzchnią, lokalizacją epicentrow indukowanych wstrząsów sejsmicznych w 2025 roku

1. Wstęp i cel opracowania

Niniejszy raport roczny został opracowany w celu podsumowania prac związanych z kontynuacją realizacji oraz utrzymaniem geoportalu GIG-PIB wspierającego monitoring zagrożeń geodynamicznych i hydrogeologicznych na obszarach eksploatacji górniczej oraz terenach pogórnich Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW). Geoportal stanowi element infrastruktury informacyjnej rozwijanej przez Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy (GIG-PIB) w ramach zadań badawczo-rozwojowych oraz prac eksperckich związanych z oceną skutków działalności górniczej i zarządzaniem ryzykiem na terenach górniczych i pogórnich.

Rozwój geoportalu wpisuje się w szersze działania GIG-PIB ukierunkowane na tworzenie nowoczesnych narzędzi wspomagających identyfikację, analizę i monitorowanie zagrożeń geodynamicznych (m.in. sejsmiczności indukowanej, deformacji powierzchni terenu, zapadlisk) oraz hydrogeologicznych (m.in. zalewisk, podtopień, zmian stosunków wodnych). Zjawiska te, będące bezpośrednią lub pośrednią konsekwencją wieloletniej eksploatacji górniczej, stanowią istotne zagrożenie dla bezpieczeństwa ludzi, infrastruktury technicznej oraz środowiska przyrodniczego, a także istotne ograniczenie w procesach planowania przestrzennego i rewitalizacji terenów pogórnich.

Geoportal GIG-PIB został zaprojektowany jako zintegrowana platforma informacji przestrzennej, umożliwiająca gromadzenie, porządkowanie, wizualizację oraz analizę danych pochodzących z różnych źródeł, w tym z monitoringu sejsmicznego, obserwacji deformacji terenu, inwentaryzacji wyrobisk górniczych, danych hydrogeologicznych oraz materiałów archiwalnych. Interaktywna forma prezentacji danych w środowisku przeglądarki internetowej pozwala na szybki dostęp do informacji przestrzennych bez konieczności korzystania ze specjalistycznego oprogramowania GIS, co znacząco poszerza krąg potencjalnych użytkowników systemu.

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie aktualnego stanu geoportalu na koniec okresu sprawozdawczego, w tym zastosowanych rozwiązań technologicznych, zakresu i charakterystyki udostępnianych danych, sposobu ich przygotowania i publikacji, a także zasad aktualizacji, utrzymania oraz dostępu do systemu. Raport dokumentuje również zakres prac wykonanych w danym roku w obszarze rozwoju i modyfikacji geoportalu oraz identyfikuje jego główne ograniczenia i potencjalne kierunki dalszego rozwoju.

Istotnym celem raportu jest także wykazanie użyteczności geoportalu jako narzędzia wspierającego działalność naukowo-badawczą i ekspercką GIG-PIB, a także jako platformy informacyjnej wykorzystywanej w procesach planowania przestrzennego, zarządzania ryzykiem oraz komunikacji z administracją publiczną i innymi interesariuszami. Geoportal może pełnić rolę wspólnej przestrzeni informacyjnej dla różnych grup użytkowników, w tym pracowników GIG-PIB, jednostek samorządu terytorialnego, projektantów, służb odpowiedzialnych za bezpieczeństwo publiczne oraz mieszkańców terenów górniczych i pogórniczych.

Raport ma charakter sprawozdawczo-dokumentacyjny i stanowi podstawę do dalszych prac nad rozwojem geoportalu w kolejnych latach, w tym do jego rozbudowy o nowe źródła danych (np. monitoring satelitarny InSAR, pomiary GNSS), integracji z dynamicznymi bazami danych przestrzennych oraz wdrożenia bardziej zaawansowanych funkcji analitycznych i modułów wspomagania decyzji w zakresie zarządzania zagrożeniami geodynamicznymi i hydrogeologicznymi na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego.

2. Charakterystyka geoportalu GIG-PIB

Geoportal GIG-PIB został opracowany jako zintegrowana platforma informacji przestrzennej wspierająca monitoring zagrożeń geodynamicznych i hydrogeologicznych na obszarach eksploatacji górniczej oraz terenach pogórniczych Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW). System stanowi narzędzie informatyczne umożliwiające gromadzenie, porządkowanie, wizualizację oraz analizę danych przestrzennych opisujących skutki wieloletniej działalności górniczej i jej oddziaływanie na powierzchnię terenu, środowisko oraz infrastrukturę techniczną.

Podstawowym założeniem geoportalu było stworzenie nowoczesnego, interaktywnego i łatwo dostępnego narzędzia, które umożliwia prezentację złożonych informacji przestrzennych w formie czytelnej i intuicyjnej dla różnych grup użytkowników. Geoportal został zaprojektowany w taki sposób, aby umożliwiał jednocześnie zestawienie i porównywanie wielu warstw tematycznych, reprezentujących różne typy zagrożeń oraz elementy środowiska i zagospodarowania terenu, w jednym, spójnym środowisku mapowym.

Zakres tematyczny geoportalu obejmuje w szczególności dane dotyczące:

- sejsmiczności indukowanej działalnością górniczą,
- deformacji powierzchni terenu (osiadań, wypiętrzeń, przemieszczeń poziomych),

- zapadlisk oraz innych deformacji nieciągłych,
- lokalizacji szybów, szybków i innych wyrobisk górniczych z dostępem do powierzchni,
- zbiorników wodnych, obszarów zalewowych oraz terenów narażonych na podtopienia,
- granic czynnych i zlikwidowanych kopalń oraz obszarów górniczych.

Tak zdefiniowany zakres tematyczny umożliwia kompleksowe zobrazowanie głównych zagrożeń geodynamicznych i hydrogeologicznych występujących na terenie GZW oraz ich powiązań przestrzennych z infrastrukturą, zabudową i elementami środowiska przyrodniczego.

Zasięg przestrzenny geoportalu został ograniczony do granic Górnośląskiego Zagłębia Węglowego, co pozwala na spójną analizę zjawisk zachodzących w obrębie jednego, silnie przekształconego antropogenicznie regionu górniczego. Przyjęcie takiego zasięgu umożliwia porównywanie danych pochodzących z różnych obszarów eksploatacji, identyfikację stref o podwyższonym poziomie zagrożeń oraz prowadzenie analiz porównawczych w skali całego regionu.

Geoportal pełni jednocześnie funkcję:

- narzędzia roboczego wspierającego działalność naukowo-badawczą i ekspercką GIG-PIB,
- platformy informacyjnej udostępniającej wybrane dane przestrzenne szerokiemu gronu odbiorców,
- elementu infrastruktury danych przestrzennych wykorzystywanej w procesach planowania przestrzennego, zarządzania ryzykiem i rewitalizacji terenów pogórnich.

System został zaprojektowany z myślą o zróżnicowanych grupach użytkowników. Obejmuje on zarówno użytkowników ogólnych, korzystających z podstawowych warstw tematycznych i map referencyjnych, jak i użytkowników uprawnionych, posiadających dostęp do rozszerzonych warstw danych oraz funkcji szczegółowych. Do głównych grup użytkowników geoportalu należą w szczególności:

- pracownicy GIG-PIB realizujący zadania z zakresu monitoringu, analiz zagrożeń i opracowań eksperckich,
- jednostki administracji publicznej i samorządu terytorialnego,
- projektanci, urbaniści i planiści przestrzenni,
- służby odpowiedzialne za bezpieczeństwo publiczne i zarządzanie kryzysowe,
- mieszkańcy terenów górniczych i pogórnich.

Geoportal został udostępniony w formie aplikacji internetowej dostępnej pod adresem: <https://geoportal.gig.eu>. Taka forma publikacji umożliwia szybki dostęp do danych przestrzennych z poziomu standardowej przeglądarki internetowej, bez konieczności instalowania specjalistycznego oprogramowania GIS. Rozwiązanie to zwiększa dostępność systemu oraz sprzyja jego wykorzystaniu zarówno w pracy biurowej, jak i w terenie.

Istotnym elementem funkcjonalnym geoportalu jest również integracja warstwy danych przestrzennych z częścią informacyjną o charakterze administracyjno-prawnym. Na stronie geoportalu umieszczono m.in. link do strony zawierającej opis procedury zgłaszania wniosku o szkody górnicze. Rozwiązanie to zwiększa użyteczność systemu z punktu widzenia mieszkańców i właścicieli nieruchomości oraz wzmacnia rolę geoportalu jako kompleksowej platformy informacyjnej, łączącej wiedzę o zagrożeniach geodynamicznych z praktycznymi aspektami ich skutków.

Przyjęta koncepcja geoportalu jako otwartej i elastycznej platformy informacyjnej umożliwia jego stopniowy rozwój i rozbudowę o kolejne moduły tematyczne, nowe źródła danych oraz bardziej zaawansowane funkcje analityczne. Dzięki temu geoportal GIG-PIB może być w przyszłości rozwijany w kierunku kompleksowego systemu monitoringu ciągłego i wspomagania decyzji w zakresie zarządzania zagrożeniami geodynamicznymi i hydrogeologicznymi na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego

3. Zastosowane technologie i architektura systemu

Geoportal GIG-PIB został opracowany w oparciu o nowoczesne rozwiązania informatyczne typu open-source, co pozwoliło na efektywne wdrożenie systemu przy zachowaniu wysokiej elastyczności, przejrzystości oraz możliwości dalszego rozwoju. Przyjęta koncepcja technologiczna zapewnia niezależność od komercyjnych dostawców oprogramowania, ograniczenie kosztów licencyjnych oraz możliwość pełnej kontroli nad sposobem przetwarzania i udostępniania danych przestrzennych.

Podstawowym środowiskiem pracy z danymi przestrzennymi był system informacji geograficznej QGIS (Quantum GIS) – wielopatformowe narzędzie open-source umożliwiające tworzenie, edycję, analizę oraz wizualizację danych geoprzestrzennych. QGIS stanowi obecnie jedno z wiodących narzędzi GIS w środowisku naukowym, administracyjnym i inżynierskim, oferując bogaty zestaw funkcji analitycznych oraz rozbudowany ekosystem wtyczek. W ramach projektu QGIS był wykorzystywany do integracji danych pochodzących z różnych

źródeł, ich wstępnego przetwarzania, harmonizacji struktury atrybutów, stylizacji kartograficznej oraz przygotowania warstw tematycznych do publikacji w geoportalu.

Kluczowym elementem procesu publikacji danych była wtyczka qgis2web, służąca do automatycznego eksportu projektu GIS do postaci aplikacji internetowej. Rozszerzenie to umożliwia generowanie interaktywnych map webowych z wykorzystaniem bibliotek JavaScript, takich jak Leaflet lub Mapbox GL JS, przy jednoczesnym zachowaniu stylizacji kartograficznej, struktury warstw oraz konfiguracji interfejsu użytkownika zdefiniowanych w środowisku QGIS. Zastosowanie wtyczki qgis2web pozwoliło na znaczące uproszczenie procesu publikacji danych przestrzennych oraz zapewnienie spójności pomiędzy wersją desktopową mapy a jej odpowiednikiem internetowym.

W niniejszym projekcie zastosowano technologię Leaflet – lekką i wydajną bibliotekę JavaScript przeznaczoną do tworzenia interaktywnych map internetowych. Leaflet charakteryzuje się intuicyjną obsługą, wysoką kompatybilnością z różnymi przeglądarkami internetowymi oraz dobrą wydajnością na urządzeniach mobilnych. Wybór tej technologii umożliwił stworzenie responsywnej aplikacji mapowej, zapewniającej szybkie ładowanie danych oraz płynne działanie interfejsu użytkownika nawet przy większej liczbie warstw tematycznych.

Wygenerowana aplikacja geoportalu została przygotowana jako statyczny zbiór plików HTML, CSS oraz JavaScript, w pełni gotowy do publikacji na serwerze www. Taka architektura, określana jako architektura statyczna, nie wymaga stosowania serwerowej logiki aplikacyjnej ani dynamicznej bazy danych po stronie serwera. Dane przestrzenne są ładowane po stronie klienta w postaci plików wektorowych (np. GeoJSON) oraz zasobów rastrowych, co upraszcza infrastrukturę techniczną i ogranicza wymagania sprzętowe po stronie serwera.

Przyjęta architektura systemu obejmuje następujące główne komponenty:

- warstwę danych źródłowych przygotowywanych i aktualizowanych w środowisku QGIS,
- warstwę publikacyjną w postaci statycznych zasobów webowych (HTML, CSS, JavaScript) generowanych przez wtyczkę qgis2web,
- warstwę serwerową w postaci serwera WWW GIG-PIB, odpowiedzialnego za udostępnianie plików aplikacji użytkownikom końcowym,
- warstwę kliencką w postaci przeglądarki internetowej użytkownika, w której uruchamiana jest aplikacja geoportalu.

Takie rozwiązanie zapewnia wysoką stabilność działania systemu, odporność na awarie po stronie serwera oraz prostotę wdrożenia i utrzymania. Aktualizacja geoportalu sprowadza się w praktyce do ponownego eksportu projektu z QGIS oraz podmiany odpowiednich plików na serwerze, co minimalizuje ryzyko błędów konfiguracyjnych i upraszcza procedury utrzymaniowe.

Istotnym elementem architektury systemu jest również mechanizm kontroli dostępu do wybranych warstw danych i funkcji geoportalu. Ze względu na charakter i znaczenie prezentowanych informacji zastosowano system autoryzacji użytkowników oparty na mechanizmie logowania. Pozwala on na rozróżnienie użytkowników ogólnych oraz użytkowników uprawnionych, posiadających dostęp do rozszerzonych warstw danych oraz funkcji szczegółowych. Rozwiązanie to zapewnia ochronę danych wrażliwych oraz umożliwia kontrolę sposobu ich udostępniania i wykorzystywania.

Zastosowane rozwiązania technologiczne tworzą solidną podstawę do dalszego rozwoju geoportalu. W przyszłości możliwa jest jego migracja do architektury klient-serwer, z wykorzystaniem dynamicznej bazy danych przestrzennych (np. PostgreSQL/PostGIS) oraz serwera mapowego (np. GeoServer lub MapServer). Pozwoliłoby to na automatyczne aktualizowanie danych, publikację usług sieciowych (WMS/WFS) oraz wdrożenie bardziej zaawansowanych funkcji analitycznych i modułów monitoringu ciągłego.

Przyjęta architektura open-source oraz modułarna budowa systemu zapewniają dużą elastyczność w zakresie dalszej rozbudowy geoportalu, w tym jego integracji z zewnętrznymi systemami monitoringu sejsmicznego, hydrogeologicznego, satelitarnego (InSAR) oraz geodezyjnego (GNSS). Dzięki temu geoportal GIG-PIB może być w kolejnych latach rozwijany w kierunku kompleksowej platformy wspomagania decyzji w zakresie zarządzania zagrożeniami geodynamicznymi i hydrogeologicznymi na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego.

4. Zakres danych źródłowych i ich charakterystyka

Dane udostępniane w geoportalu GIG-PIB obejmują przestrzenną reprezentację różnorodnych zjawisk geodynamicznych i hydrogeologicznych, których występowanie, intensywność oraz dynamika zmian mają istotny wpływ na bezpieczeństwo ludzi, infrastrukturę techniczną oraz środowisko przyrodnicze na obszarach eksploatacji górniczej i terenach pogórnich. Zgromadzony zasób danych umożliwia 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 umożliwia porównywanie danych pochodzących z różnych obszarów eksploatacji, identyfikację stref o podwyższonym poziomie zagrożeń oraz prowadzenie analiz porównawczych w skali całego regionu.

4.1. Struktura danych przestrzennych

Struktura danych w geoportalu została uporządkowana według podstawowych typów geometrii obiektów przestrzennych, co umożliwia ich jednoznaczną reprezentację kartograficzną, efektywne przetwarzanie oraz prowadzenie analiz przestrzennych:

Dane punktowe:

- sejsmiczność indukowana działalnością górniczą (lokalizacja epicentrów, magnituda, data i godzina zdarzenia),
- zapadliska (współrzędne lokalizacji oraz informacje opisowe o zdarzeniu),
- szyby, szybiki oraz inne wyrobiska górnicze z dostępem do powierzchni (identyfikator obiektu, nazwa, nazwa obszaru górniczego, współrzędne lokalizacji).

Dane liniowe:

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

Dane poligonowe:

- zbiorniki wodne,
- obszary zalewisk i podtopień,
- obszary górnicze oraz zasięgi oddziaływań eksploatacji.

Taki podział danych umożliwia ich jednoznaczną interpretację oraz prowadzenie zapytań topologicznych i analiz relacji przestrzennych pomiędzy poszczególnymi warstwami tematycznymi.

4.2. Główne grupy danych tematycznych

Zakres tematyczny geoportalu obejmuje w szczególności następujące grupy danych:

Sejsmiczność indukowana działalnością górniczą

Dane pochodzące z monitoringu sejsmicznego prowadzonego na obszarach eksploatacji górniczej, obejmujące lokalizacje epicentrów, magnitudy oraz daty wystąpienia wstrząsów. Warstwa ta umożliwia analizę przestrzennego i czasowego rozkładu zdarzeń sejsmicznych oraz ich powiązań z prowadzoną eksploatacją.

Deformacje powierzchni terenu

Dane dotyczące przemieszczeń pionowych i poziomych terenu, uzyskane na podstawie analiz satelitarnych (InSAR) oraz pomiarów geodezyjnych. Warstwa ta pozwala na identyfikację obszarów osiadań, wypiętrzeń oraz stref o podwyższonej dynamice zmian rzeźby terenu.

Zapadliska i deformacje nieciągłe

Informacje o zidentyfikowanych deformacjach nieciągłych powierzchni terenu związanych z działalnością górniczą, wraz z ich lokalizacją, opisem, datą wystąpienia oraz klasyfikacją.

Szyby, szybiki i wyrobiska górnicze z dostępem do powierzchni

Dane inwentaryzacyjne obejmujące lokalizacje oraz podstawowe informacje opisowe o obiektach górniczych mogących stanowić potencjalne źródło zagrożeń geodynamicznych i hydrogeologicznych.

Zbiorniki wodne, zalewiska i podtopienia

Dane hydrograficzne obejmujące zbiorniki wodne oraz obszary zalewowe i tereny narażone na podtopienia, opracowane na podstawie inwentaryzacji terenowych oraz obserwacji zmian stosunków wodnych.

Granice kopalń i obszarów górniczych

Aktualny przebieg granic czynnych i zlikwidowanych kopalń węgla kamiennego oraz obszarów górniczych GZW, opracowany na podstawie danych górniczo-geologicznych i materiałów archiwalnych.

4.3. Źródła danych

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

- monitoring sejsmiczności indukowanej działalnością górniczą,
- monitoring deformacji powierzchni terenu w obszarach górniczych i pogórniczych GZW,
- monitoring oraz prowadzenie bazy terenów o potencjalnym zagrożeniu zapadliskowym,

- monitoring i prowadzenie bazy danych o obszarach zalewisk i podtopień,
- inwentaryzacja szybów, szybków i innych wyrobisk z dostępem do powierzchni.

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 górniczej. Takie podejście zapewnia aktualność i wiarygodność informacji prezentowanych w geoportalu oraz umożliwia śledzenie zmian zachodzących w czasie.

4.4. Warstwy referencyjne

Istotną rolę w geoportalu 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.

5. Przygotowanie i przetwarzanie danych w środowisku QGIS

Przed publikacją danych w geoportalu GIG-PIB zbiory danych przestrzennych zostały poddane kompleksowemu procesowi przygotowania i wstępnego przetwarzania w środowisku QGIS. Etap ten miał kluczowe znaczenie dla zapewnienia spójności danych pochodzących z różnych źródeł, poprawności topologicznej geometrii obiektów, jednoznaczności informacji atrybutowych oraz czytelności wizualnej warstw tematycznych prezentowanych w aplikacji internetowej.

Przygotowanie danych obejmowało zarówno integrację danych z monitoringu sejsmicznego, deformacji terenu, inwentaryzacji wyrobisk górniczych i zjawisk hydrogeologicznych, jak i ich harmonizację pod względem układów odniesienia przestrzennego, struktury atrybutów oraz zasad wizualizacji kartograficznej. Proces ten umożliwił stworzenie jednolitego, spójnego zbioru warstw tematycznych stanowiących podstawę do dalszego eksportu projektu GIS do postaci geoportalu.

5.1. Import i integracja danych

W pierwszym etapie wczytano dane wektorowe i rastrowe zapisane w różnych formatach, w tym: SHP, GeoJSON, GeoPackage (GPKG) oraz warstwy rastrowe (np. ortofotomapy). Dokonano weryfikacji poprawności geometrii obiektów, kompletności danych oraz zgodności zastosowanych układów współrzędnych.

W celu zapewnienia spójności przestrzennej wszystkie warstwy zostały reprojekowane do jednolitego układu odniesienia przestrzennego, co umożliwiło ich poprawne nakładanie się w przestrzeni oraz jednoznaczną prezentację w geoportalu. Na tym etapie integrowano również dane pochodzące z różnych okresów czasowych oraz różnych systemów monitoringu, tworząc wspólną bazę danych roboczych dla dalszych etapów przetwarzania.

5.2. Czyszczenie i harmonizacja atrybutów

Kolejnym krokiem było uporządkowanie tabel atrybutów poszczególnych warstw danych. Obejmowało ono:

- usunięcie zbędnych lub technicznych kolumn,
- ujednolicenie nazw pól atrybutowych,
- standaryzację typów danych (liczbowe, tekstowe, daty),
- weryfikację poprawności i kompletności wartości opisowych i liczbowych,
- eliminację wpisów niejednoznacznych, duplikatów oraz brakujących danych.

W miarę możliwości wprowadzano również spójne słowniki pojęć (np. dla nazw obiektów, typów zjawisk, klas zagrożeń), co zwiększyło jednoznaczność interpretacji danych oraz ich użyteczność w dalszych analizach przestrzennych. Działania te miały na celu poprawę jakości danych oraz przygotowanie ich do publikacji w środowisku przeglądarkowym.

5.3. Kontrola jakości i walidacja topologiczna (QA/QC)

Istotnym elementem procesu przygotowania danych była kontrola jakości (Quality Assurance / Quality Control). Obejmowała ona w szczególności:

- sprawdzenie poprawności geometrii obiektów (błędy samoprzecięć, duplikaty wierzchołków, geometrie puste),
- weryfikację spójności topologicznej pomiędzy warstwami (np. zgodność granic poligonów, poprawność relacji przestrzennych),
- ocenę kompletności i logicznej spójności danych atrybutowych,
- porównanie danych z dokumentacją archiwalną oraz wynikami bieżącego monitoringu.

Na tym etapie identyfikowano i korygowano błędy geometryczne oraz niezgodności atrybutowe, co miało kluczowe znaczenie dla wiarygodności danych prezentowanych w geoportalu oraz ich dalszego wykorzystania w analizach przestrzennych i opracowaniach eksperckich.

5.4. Stylizacja kartograficzna warstw danych

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

- skale barw według klas wartości (np. magnituda sejsmiczna, intensywność deformacji terenu),
- zróżnicowane symbole punktowe dla szybów, szybików, zapadlisk i epicentrów wstrząsów sejsmicznych,
- półprzezroczystość dla poligonów zbiorników wodnych, zalewisk i obszarów podtopień,
- odpowiednie grubości i typy linii dla granic obszarów górniczych oraz zasięgów deformacji.

Stylizacja została zaprojektowana w sposób zapewniający dobrą widoczność obiektów na tle map podkładowych oraz spójność wizualną całego geoportalu. Szczególną uwagę zwrócono na unikanie nadmiernego zagęszczenia informacji oraz konfliktów wizualnych pomiędzy warstwami tematycznymi.

5.5. 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,
- poprawę czytelności mapy przy dużych powiększeniach,
- optymalizację wydajności działania aplikacji internetowej.

Warstwy o wysokiej szczegółowości (np. lokalizacje szybów, zapadliska) były udostępniane dopiero od określonego poziomu zoomu, natomiast warstwy ogólne (np. granice GZW, zasięgi deformacji) pozostawały widoczne w szerszym zakresie skal.

5.6. Projekt mapy i kompozycja widoku bazowego

W środowisku QGIS przygotowano docelowy projekt mapy stanowiący widok bazowy dla geoportalu. Obejmował on:

- odpowiednie ustawienie kolejności warstw,
- konfigurację domyślnego zakresu przestrzennego mapy,
- ustalenie początkowego poziomu powiększenia,
- przypisanie stylów wizualnych warstwom tematycznym.

Projekt ten posłużył następnie jako podstawa do eksportu aplikacji internetowej z wykorzystaniem wtyczki qgis2web, zapewniając zachowanie spójności pomiędzy wersją desktopową projektu GIS a wersją przeglądarkową geoportalu.

5.7. Metadane i standaryzacja danych

Równolegle z przygotowaniem warstw tematycznych prowadzono prace nad standaryzacją opisów danych oraz ich dokumentacją w postaci metadanych. Obejmowały one informacje dotyczące:

- źródła danych,
- daty pozyskania i aktualizacji,
- zakresu przestrzennego i czasowego,
- dokładności i ograniczeń interpretacyjnych,
- odpowiedzialnej jednostki organizacyjnej.

Metadane te stanowią podstawę do właściwej interpretacji danych oraz ich dalszego wykorzystania w analizach przestrzennych i opracowaniach eksperckich. Ich systematyczne uzupełnianie zwiększa przejrzystość i wiarygodność informacji prezentowanych w geoportalu.

6. Budowa i publikacja geoportalu z wykorzystaniem wtyczki qgis2web

Po zakończeniu etapu przygotowania i przetwarzania danych w środowisku QGIS przystąpiono do budowy internetowej wersji geoportalu z wykorzystaniem wtyczki qgis2web. Proces ten umożliwił przekształcenie projektu GIS w interaktywną aplikację przeglądarkową, przeznaczoną do publikacji i prezentacji danych przestrzennych w środowisku webowym, bez

konieczności instalowania specjalistycznego oprogramowania GIS 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 czytelności wizualnej i funkcjonalności.

6.1. Wybór technologii renderowania mapy

W ramach projektu zastosowano technologię Leaflet – lekką i wydajną bibliotekę JavaScript przeznaczoną do tworzenia interaktywnych map internetowych. Leaflet charakteryzuje się intuicyjną obsługą, wysoką kompatybilnością z różnymi przeglądarkami internetowymi oraz dobrą wydajnością na urządzeniach mobilnych. Wybór tej technologii umożliwił stworzenie responsywnej aplikacji mapowej, zapewniającej szybkie ładowanie danych oraz płynne działanie interfejsu użytkownika nawet przy większej liczbie warstw tematycznych.

Zastosowanie Leaflet zapewniło również możliwość dalszej rozbudowy interfejsu użytkownika o dodatkowe komponenty i biblioteki JavaScript w przyszłości, w tym narzędzia analityczne, filtry danych oraz moduły wizualizacji czasowej.

6.2. Konfiguracja warstw i okien informacyjnych (popupów)

Dla poszczególnych warstw punktowych, liniowych i poligonowych zdefiniowano okna informacyjne (popupy), umożliwiające prezentację szczegółowych atrybutów obiektów po kliknięciu na mapie. W popupach umieszczono kluczowe informacje opisowe, takie jak:

- identyfikatory obiektów,
- nazwy obszarów górniczych i kopalń,
- daty zdarzeń sejsmicznych i zapadliskowych,
- wartości magnitud wstrząsów sejsmicznych,
- podstawowe parametry deformacji terenu,
- informacje o charakterze zjawisk hydrogeologicznych.

Układ i treść popupów zostały zaprojektowane w sposób zapewniający czytelność, jednoznaczność interpretacyjną oraz spójność pomiędzy różnymi warstwami tematycznymi.

6.3. Konfiguracja interfejsu użytkownika

W ramach eksportu aplikacji aktywowano podstawowe elementy interfejsu użytkownika, w tym:

- legendę mapy, prezentującą symbole i kolory warstw tematycznych,
- narzędzia nawigacyjne (przesuwanie, powiększanie i pomniejszanie widoku),
- przyciski zmiany skali (zoom),
- przełączniki widoczności warstw tematycznych.

Zastosowanie powyższych elementów umożliwia użytkownikom samodzielne konfigurowanie widoku mapy w zależności od aktualnych potrzeb analitycznych oraz zwiększa funkcjonalność i użyteczność geoportalu.

6.4. Eksport zasobów aplikacji

W wyniku procesu eksportu 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. Rozwiązanie to sprzyja również zachowaniu stabilności działania systemu oraz ogranicza ryzyko błędów konfiguracyjnych po stronie serwera.

6.5. Testy funkcjonalne i weryfikacja poprawności działania

Po zakończeniu eksportu przeprowadzono testy poprawności działania geoportalu w środowisku lokalnym oraz w przeglądarkach internetowych. Obejmowały one w szczególności:

- weryfikację poprawności wyświetlania warstw danych,
- sprawdzenie działania okien informacyjnych (popupów),
- testy przełączników widoczności warstw i legendy,
- ocenę spójności wizualnej z projektem przygotowanym w QGIS,
- sprawdzenie responsywności interfejsu użytkownika na różnych rozdzielczościach ekranu.

Na tym etapie identyfikowano i korygowano ewentualne błędy wizualne i funkcjonalne, co miało na celu zapewnienie wysokiej jakości użytkowej aplikacji.

6.6. Wdrożenie geoportalu na serwerze GIG-PIB

Wygenerowane pliki aplikacji zostały następnie wdrożone na serwerze WWW 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.

6.7. Kontrola dostępu i bezpieczeństwo informacji

Dostęp do części funkcji oraz wybranych warstw danych został ograniczony do użytkowników uprawnionych, zgodnie z przyjętym systemem autoryzacji i logowania. Mechanizm ten umożliwia rozróżnienie użytkowników ogólnych oraz użytkowników posiadających dostęp do rozszerzonych warstw danych i funkcji szczegółowych. Zastosowane rozwiązanie pozwala na ochronę danych wrażliwych oraz zapewnia odpowiedni poziom bezpieczeństwa informacyjnego, przy jednoczesnym zachowaniu ogólnodostępnego charakteru podstawowych warstw tematycznych geoportalu.

7. Opis warstw tematycznych oraz funkcjonalności geoportalu

Geoportal GIG-PIB udostępnia zestaw warstw tematycznych obejmujących kluczowe informacje przestrzenne dotyczące zagrożeń geodynamicznych i hydrogeologicznych na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW). Warstwy te zostały zaprojektowane w sposób umożliwiający ich jednoczesne zestawianie, porównywanie oraz analizę w jednym, spójnym środowisku mapowym. Interaktywna forma prezentacji danych pozwala użytkownikom na szybki dostęp do informacji, ich wizualną interpretację oraz podstawową analizę przestrzenną bez konieczności korzystania ze specjalistycznego oprogramowania GIS.

7.1. Warstwy tematyczne geoportalu

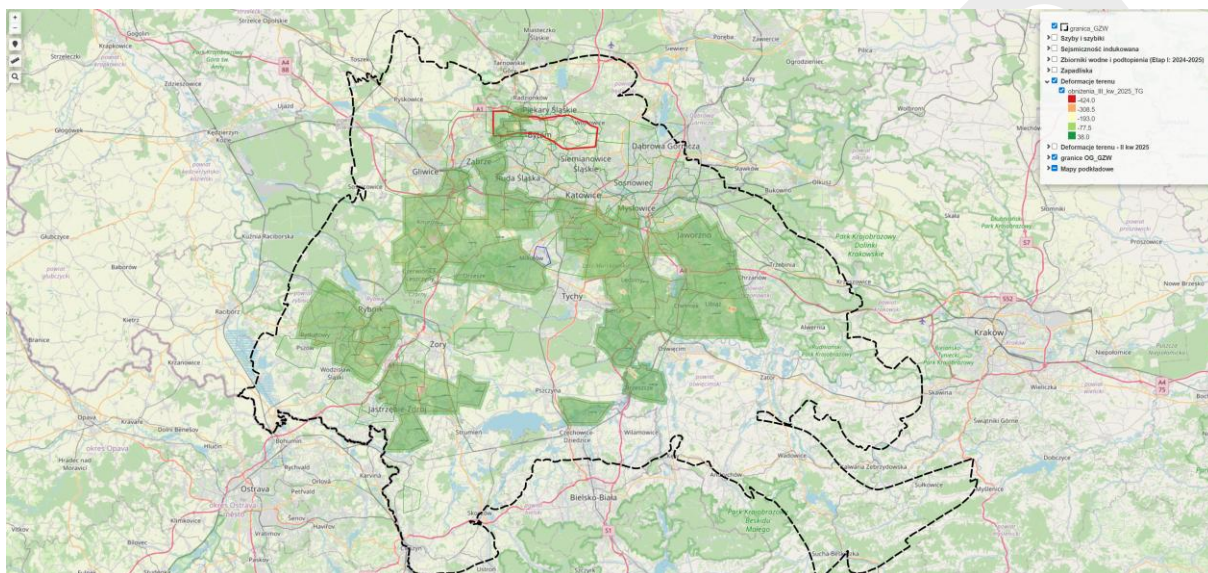
Zakres warstw tematycznych udostępnianych w geoportalu obejmuje w szczególności:

Sejsmiczność indukowana działalnością górnictw

Warstwa prezentuje lokalizacje epicentrów wstrząsów sejsmicznych o charakterze indukowanym, wraz z informacjami o dacie i godzinie zdarzenia, magnitudzie oraz podstawowych parametrach sejsmicznych. Umożliwia ona analizę przestrzennego i czasowego rozkładu zdarzeń sejsmicznych oraz ich powiązań z prowadzoną eksploatacją górnictw.

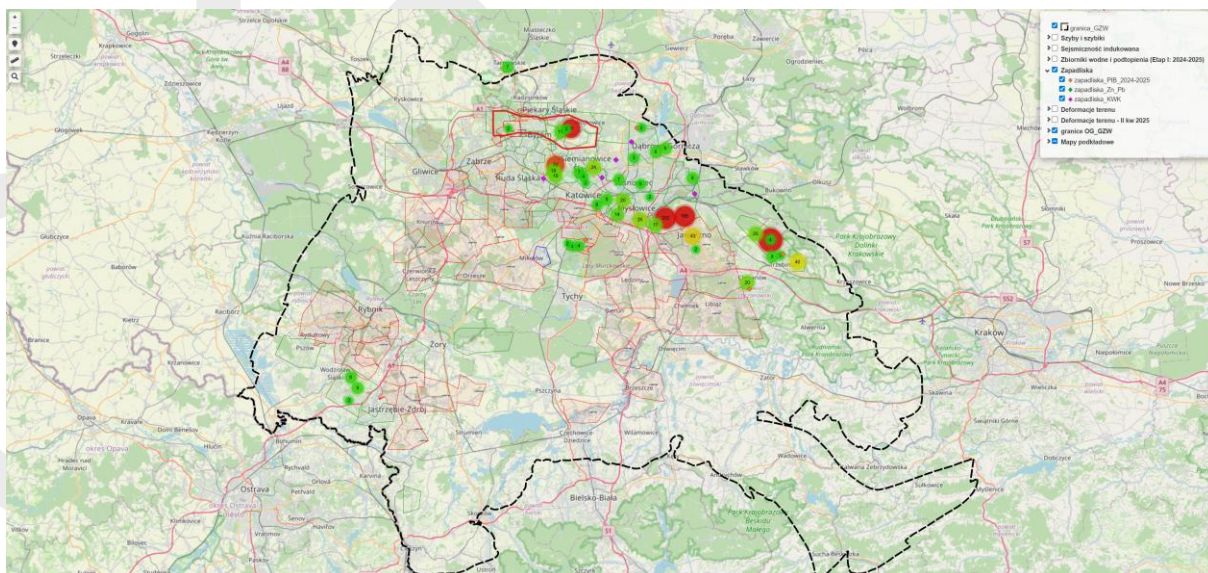
Deformacje powierzchni terenu

Warstwa obejmuje dane dotyczące przemieszczeń pionowych i poziomych powierzchni terenu, uzyskane na podstawie analiz satelitarnych (InSAR) oraz pomiarów geodezyjnych. Pozwala na identyfikację obszarów osiadań, wypiętrzeń oraz stref o podwyższonej dynamice zmian rzeźby terenu.



Zapadliska i deformacje nieciągłe

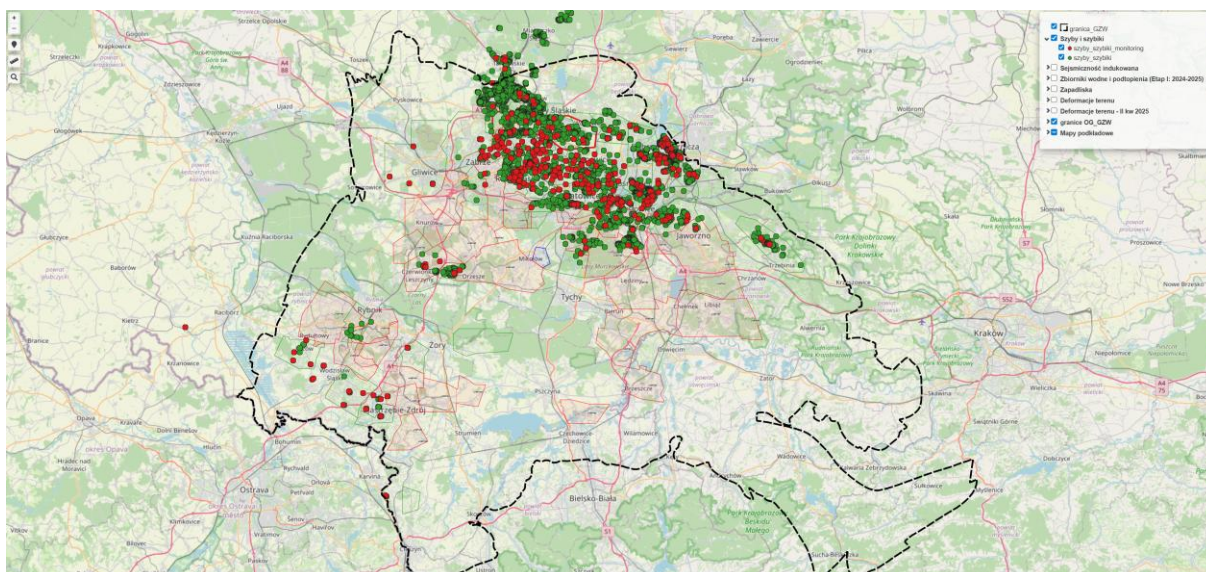
Warstwa zawiera informacje o zidentyfikowanych zapadliskach oraz innych deformacjach nieciągłych powierzchni terenu związanych z działalnością górniczą, wraz z ich lokalizacją, opisem, datą wystąpienia oraz klasyfikacją.



Szyby, szybiki i wyrobiska górnicze z dostępem do powierzchni

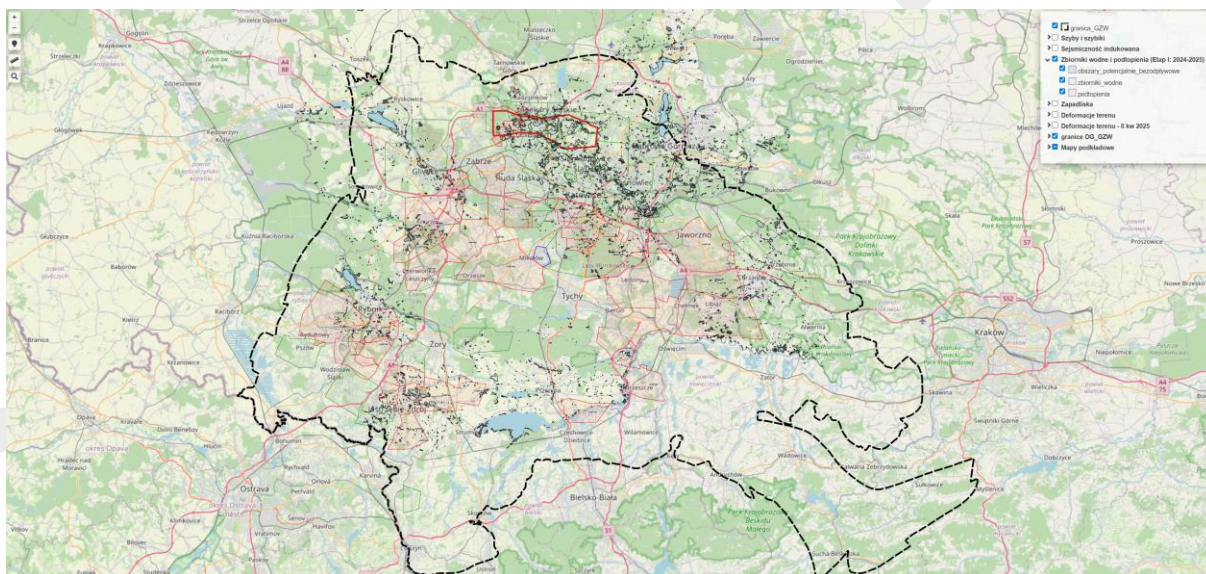
Warstwa przedstawia lokalizacje oraz podstawowe informacje opisowe o obiektach górniczych mogących stanowić potencjalne źródło zagrożeń geodynamicznych i hydro-

geologicznych, w tym szybach czynnych, zlikwidowanych oraz historycznych.



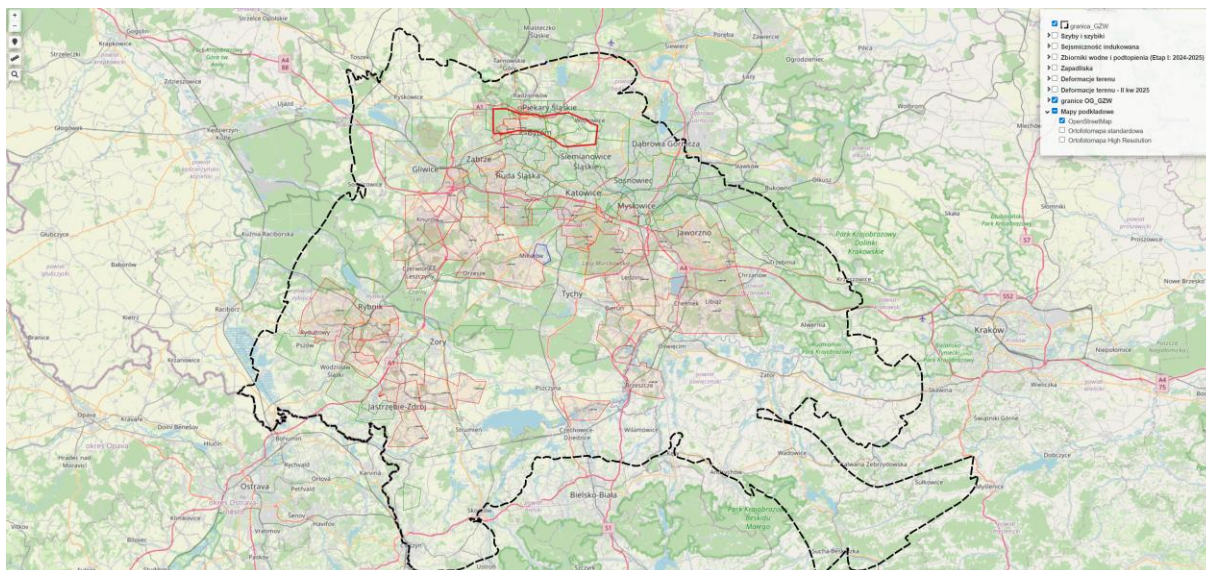
Zbiorniki wodne, zalewiska i podtopienia

Warstwa hydrograficzna obejmuje zbiorniki wodne oraz obszary zalewowe i tereny narażone na podtopienia, opracowane na podstawie inwentaryzacji terenowych oraz obserwacji zmian stosunków wodnych.



Granice kopalń i obszarów górniczych

Warstwa prezentuje aktualny przebieg granic czynnych i zlikwidowanych kopalń węgla kamiennego oraz obszarów górniczych GZW, opracowany na podstawie danych górniczo-geologicznych i materiałów archiwalnych.



Warstwy referencyjne

W geoportalu udostępniono również mapy podkładowe, w szczególności OpenStreetMap oraz ortofotomapy o wysokiej rozdzielczości, które pełnią funkcję warstw odniesienia przestrzennego dla danych tematycznych.

7.2. Funkcjonalności geoportalu

Geoportal GIG-PIB oferuje zestaw podstawowych funkcji umożliwiających interaktywne przeglądanie, analizę i wizualizację danych przestrzennych:

- **Włączanie i wyłączanie warstw tematycznych**

Użytkownik ma możliwość swobodnego sterowania widocznością poszczególnych warstw tematycznych, co umożliwia zestawianie różnych typów danych oraz analizę ich współwystępowania w przestrzeni.

- **Interaktywne okna informacyjne (popupy)**

Po kliknięciu na obiekt mapy wyświetlane są okna informacyjne zawierające szczegółowe atrybuty obiektów, takie jak daty zdarzeń, magnitudy wstrząsów sejsmicznych, nazwy obszarów górniczych, podstawowe parametry deformacji terenu oraz inne informacje opisowe.

- **Legenda mapy**

Geoportal wyposażony jest w dynamiczną legendę mapy, prezentującą symbole i kolory poszczególnych warstw tematycznych, co ułatwia interpretację prezentowanych danych.

- **Narzędzia nawigacyjne**

Użytkownik może korzystać z podstawowych narzędzi nawigacyjnych, takich jak przesuwanie mapy, powiększanie i pomniejszanie widoku oraz szybkie przybliżanie do wybranego obszaru.

- **Przełączniki widoczności warstw**

Panel warstw umożliwia szybkie włączanie i wyłączanie poszczególnych warstw tematycznych, co zwiększa elastyczność pracy z mapą.

- **Responsywny interfejs użytkownika**

Geoportal został zaprojektowany jako aplikacja responsywna, dostosowująca się do różnych rozdzielczości ekranów, co umożliwia jego wykorzystanie zarówno na komputerach stacjonarnych, jak i na urządzeniach mobilnych.

7.3. Znaczenie funkcjonalne geoportalu

Zestawienie w jednym środowisku mapowym danych dotyczących sejsmiczności, deformacji terenu, zapadlisk, wyrobisk górniczych oraz zjawisk hydrogeologicznych umożliwia kompleksową ocenę aktualnego stanu zagrożeń geodynamicznych i hydrogeologicznych na obszarze GZW. Geoportal wspiera prowadzenie analiz porównawczych, identyfikację stref podwyższonego ryzyka oraz ocenę potencjalnych oddziaływań eksploatacji górniczej na środowisko i infrastrukturę.

Narzędzie to znajduje zastosowanie w działalności naukowo-badawczej i eksperckiej GIG-PIB, w opracowaniach dotyczących planowania przestrzennego, zarządzania ryzykiem oraz rewitalizacji terenów pogórnich. Może ono również pełnić rolę platformy informacyjnej wykorzystywanej przez administrację publiczną, jednostki samorządu terytorialnego, służby odpowiedzialne za bezpieczeństwo publiczne oraz mieszkańców terenów górniczych i pogórnich.

8. Aktualizacja geoportalu

Bieżące funkcjonowanie geoportalu GIG-PIB wymaga systematycznych działań związanych z aktualizacją danych, utrzymaniem infrastruktury technicznej oraz zapewnieniem stabilnego i bezpiecznego dostępu do systemu dla różnych grup użytkowników. Działania te stanowią istotny element ciągłości monitoringu zagrożeń geodynamicznych i hydrogeologicznych na obszarze Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) oraz warunkują aktualność i wiarygodność informacji udostępnianych w geoportalu.

8.1. Proces aktualizacji danych i aplikacji

Aktualizacja geoportalu realizowana jest w sposób cykliczny i każdorazowo po uzupełnieniu lub modyfikacji danych źródłowych, takich jak: nowe zdarzenia sejsmiczne, zaktualizowane wyniki monitoringu deformacji terenu, nowe informacje o zapadliskach, zmiany w bazie wyrobisk górniczych z dostępem do powierzchni oraz aktualizacje danych hydrogeologicznych dotyczących zalewisk i podtopień.

Proces aktualizacji obejmuje w szczególności:

- wczytanie nowych lub zaktualizowanych danych do środowiska QGIS,
- weryfikację ich poprawności geometrycznej i atrybutowej,
- harmonizację z istniejącą strukturą danych,
- aktualizację stylizacji kartograficznej w razie potrzeby,
- ponowny eksport projektu GIS do postaci aplikacji internetowej z wykorzystaniem wtyczki qgis2web,
- wdrożenie wygenerowanych plików (HTML, CSS, JavaScript) na serwerze WWW GIG-PIB.

Takie podejście zapewnia spójność pomiędzy wersją desktopową projektu GIS a jego odpowiednikiem internetowym oraz minimalizuje ryzyko błędów wynikających z ręcznej ingerencji w kod aplikacji.

8.2. Testy funkcjonalne i kontrola poprawności działania

Każda aktualizacja geoportalu jest poprzedzona etapem testów w środowisku lokalnym, obejmującym sprawdzenie:

- poprawności wyświetlania warstw danych,
- działania okien informacyjnych (popupów),
- funkcjonowania legendy mapy i przełączników widoczności warstw,
- zgodności wizualnej z projektem przygotowanym w QGIS,
- responsywności interfejsu użytkownika na różnych rozdzielczościach ekranu.

Po wdrożeniu nowej wersji geoportalu na serwerze produkcyjnym przeprowadzana jest dodatkowa weryfikacja poprawności działania aplikacji w różnych przeglądarkach internetowych oraz – w miarę potrzeb – na urządzeniach mobilnych. Etap ten pozwala na wychwycenie ewentualnych niezgodności, błędów wizualnych lub problemów wydajnościowych.

8.3. Utrzymanie infrastruktury technicznej

Geoportal funkcjonuje jako aplikacja statyczna udostępniana z poziomu serwera www GIG-PIB. Przyjęta architektura techniczna charakteryzuje się niskimi wymaganiami sprzętowymi oraz wysoką stabilnością działania.

Utrzymanie infrastruktury obejmuje w szczególności:

- zapewnienie ciągłej dostępności serwera WWW,
- monitorowanie poprawności działania aplikacji,
- wykonywanie kopii zapasowych zasobów geoportalu (pliki aplikacji, dane źródłowe, projekty QGIS),
- archiwizację kolejnych wersji geoportalu w celu umożliwienia odtworzenia wcześniejszych stanów systemu.

Działania te mają na celu ograniczenie ryzyka utraty danych, zapewnienie ciągłości działania systemu oraz możliwość odtworzenia geoportalu w przypadku awarii lub błędów aktualizacyjnych.

8.4. Dostęp do geoportalu i autoryzacja użytkowników

Geoportal GIG-PIB jest dostępny publicznie 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. Ograniczenia te wprowadzono w celu zapewnienia bezpieczeństwa danych wrażliwych, zachowania integralności systemu oraz kontroli sposobu wykorzystywania informacji przestrzennej.

Autoryzacja użytkowników odbywa się poprzez system logowania, który umożliwia nadawanie odpowiednich poziomów uprawnień w zależności od:

- roli użytkownika (np. pracownik GIG-PIB, partner projektu, użytkownik zewnętrzny),
- zakresu realizowanych zadań,
- potrzeb analitycznych i informacyjnych.

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 roboczym lub wrażliwym.

8.5. Rola geoportalu jako narzędzia informacyjnego i roboczego

Dzięki przyjętemu modelowi aktualizacji, utrzymania i kontroli dostępu geoportal może pełnić jednocześnie dwie komplementarne funkcje:

- źródła ogólnodostępnych informacji przestrzennych o zagrożeniach geodynamicznych i hydrogeologicznych na obszarze GZW,
- narzędzia roboczego dla uprawnionych jednostek zajmujących się monitoringiem, analizą zagrożeń oraz opracowaniami eksperckimi.

Takie podejście sprzyja szerokiemu wykorzystaniu geoportalu zarówno w działalności naukowo-badawczej i eksperckiej GIG-PIB, jak i w komunikacji z administracją publiczną, jednostkami samorządu terytorialnego oraz innymi interesariuszami zaangażowanymi w zagospodarowanie terenów górniczych i pogórnich.

9. Ograniczenia systemu i możliwości jego rozwoju

Na obecnym etapie realizacji geoportalu GIG-PIB wspierającego monitoring zagrożeń geodynamicznych i hydrogeologicznych na obszarach eksploatacji górniczej oraz terenach pogórnich 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.

9.1. 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, zapytania przestrzenne, analizy sąsiedztwa, 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 temporalnych

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.

9.2. Możliwości dalszego rozwoju systemu

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 jego całkowitej przebudowy.

Do kluczowych kierunków dalszego rozwoju systemu należą:

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, satelitarnego (InSAR), geodezyjnego (GNSS) oraz z danymi UAV/LiDAR 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 (vector tiles) oraz ładowania warstw „na żądanie” pozwoliłoby na poprawę wydajności systemu przy dużych wolumenach danych i zwiększenie komfortu pracy użytkowników.

9.3. Perspektywa rozwoju w kierunku platformy DSS

Realizacja powyższych kierunków rozwoju umożliwiłaby stopniową transformację geoportalu GIG-PIB z narzędzia przeglądowo-informacyjnego w kierunku kompleksowej

platformy wspomagania decyzji (Decision Support System – DSS) dla terenów górniczych i pogórnich Górnośląskiego Zagłębia Węglowego.

Taka platforma mogłaby w przyszłości integrować dane o hazardach, podatności i ekspozycji, umożliwiając prowadzenie analiz wielokryterialnych, scenariuszowych i prognostycznych na potrzeby planowania przestrzennego, zarządzania ryzykiem oraz rewitalizacji terenów pogórnich.

9. Wnioski

Opracowany i rozwijany w ramach zadań GIG-PIB geoportal wspierający monitoring zagrożeń geodynamicznych i hydrogeologicznych na obszarach eksploatacji górniczej oraz terenach pogórnich Górnośląskiego Zagłębia Węglowego (GZW) stanowi funkcjonalne, czytelne i elastyczne narzędzie informacji przestrzennej. System umożliwia kompleksową prezentację, integrację oraz podstawową analizę danych przestrzennych opisujących skutki wieloletniej działalności górniczej i jej oddziaływanie na powierzchnię terenu, środowisko przyrodnicze oraz infrastrukturę techniczną. Tym samym geoportal przyczynia się do poprawy efektywności monitorowania zjawisk niebezpiecznych oraz do bardziej rzetelnej oceny ryzyka występowania procesów geodynamicznych i hydrogeologicznych w regionie GZW.

Integracja danych pochodzących z różnych źródeł – w szczególności z monitoringu sejsmicznego, obserwacji deformacji terenu, inwentaryzacji wyrobisk górniczych z dostępem do powierzchni oraz danych hydrogeologicznych dotyczących zalewisk i podtopień – 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 i eksperckie GIG-PIB, jak i przez administrację publiczną, jednostki samorządu terytorialnego, projektantów oraz służby odpowiedzialne za bezpieczeństwo publiczne i gospodarkę przestrzenną.

Zastosowanie rozwiązań open-source, w szczególności środowiska QGIS, wtyczki qgis2web oraz biblioteki Leaflet, pozwoliło na efektywne wdrożenie geoportalu przy zachowaniu wysokiej jakości, przejrzystości oraz zgodności z obowiązującymi standardami GIS i udostępniania danych przestrzennych. Przyjęta architektura statyczna zapewnia stabilność działania systemu, niskie wymagania infrastrukturalne oraz prostotę wdrożeń

aktualizacyjnych. Jednocześnie ograniczenie kosztów licencyjnych i infrastrukturalnych sprzyja trwałości rozwiązania w dłuższej perspektywie czasowej.

Istotnym elementem funkcjonalnym geoportalu jest integracja warstwy danych przestrzennych z częścią informacyjną o charakterze administracyjno-prawnym, w tym umieszczenie na stronie geoportalu 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 tej części informacyjnej z warstwą danych przestrzennych sprzyja lepszemu powiązaniu wiedzy o zagrożeniach geodynamicznych z praktycznymi aspektami ich skutków oraz wzmacnia rolę geoportalu jako kompleksowej platformy informacyjnej.

Jednocześnie należy podkreślić, że obecna wersja geoportalu ma charakter narzędzia przeglądowo-informacyjnego, którego funkcjonalność jest w pewnym stopniu ograniczona przez przyjętą architekturę statyczną, brak integracji z dynamiczną bazą danych przestrzennych oraz brak zaawansowanych narzędzi analitycznych i obsługi danych temporalnych. Ograniczenia te nie obniżają wartości użytkowej systemu w zakresie prezentacji i podstawowej analizy danych, jednak wyznaczają naturalne kierunki jego dalszego rozwoju.

W perspektywie kolejnych lat geoportal GIG-PIB może być stopniowo rozwijany w kierunku kompleksowej platformy monitoringu ciągłego oraz wspomagania decyzji (Decision Support System – DSS) dla terenów górniczych i pogórniczych GZW. W szczególności dotyczy to integracji z dynamiczną bazą danych PostgreSQL/PostGIS, wdrożenia serwera mapowego, implementacji osi czasu i filtrów temporalnych, rozbudowy modułów analitycznych oraz powiązania systemu z zewnętrznymi źródłami danych, takimi jak monitoring satelitarny InSAR, pomiary GNSS, systemy sejsmiczne i hydrogeologiczne.

Podsumowując, geoportal GIG-PIB stanowi obecnie ważny element infrastruktury informacyjnej Instytutu w obszarze monitoringu i oceny skutków działalności górniczej w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym. Jego dalszy rozwój może w istotny sposób zwiększyć znaczenie systemu jako narzędzia wspierającego planowanie przestrzenne, rewitalizację terenów pogórniczych, zarządzanie ryzykiem oraz kształtowanie polityki bezpieczeństwa i ochrony środowiska w regionach górniczych. Geoportal posiada realny potencjał, aby stać się

w przyszłości centralnym komponentem zintegrowanego systemu informacji o zagrożeniach geodynamicznych i hydrogeologicznych w GZW.

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:

- Błądną 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.*