

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

Zadanie 1.3. Monitorowanie deformacji terenu w obszarach górniczych  
i pogórnich Górnośląskiego Zagłębia Węglowego.

**RAPORT KWARTALNY 1.3.1.**

**za okres 01.01.2024 – 31.03.2024**

Podstawą sporządzenia Raportu jest rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 lipca 2023 r. w sprawie nadania Głównemu Instytutowi Górnicztwa statusu państwowego instytutu badawczego (Dz.U. z 2023 r. poz. 1579) oraz umowa nr 17/D/10095/2830/2024/DA z dnia 12.08.2024 r. zawarta pomiędzy Ministerstwem Przemysłu oraz Głównym Instytutem Górnicztwa - Państwowym Instytutem Badawczym.

Jarosław Zagórowski  
Dyrektor GIG-PIB

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

dr inż. Bartosz Apanowicz  
Kierownik Zadania

**Zawartość raportu:**

1. Wprowadzenie
2. Charakterystyka monitorowanego obszaru
3. Sieć monitoringowa GZW i zastosowana metodyka badawcza
  - 3.1. Radarowa interferometria satelitarna (InSAR)
  - 3.2. Globalny Nawigacyjny System Satelitarny (GNSS)
4. Interpretacja wyników
  - 4.1. Pionowe przemieszczenia powierzchni
    - 4.1.1. Przemieszczenia powierzchni na punktach sieci GNSS GIG-PIB
    - 4.1.2. Wielkoobszarowe przemieszczenia powierzchni wyznaczone metodą SBAS
  - 4.2. Poziome przemieszczenia powierzchni
    - 4.2.1. Przemieszczenia powierzchni na punktach sieci GNSS GIG-PIB
5. Podsumowanie
6. Literatura

**Załączniki:**

1. Mapa powierzchni wraz z pionowymi przemieszczeniami powierzchni wyznaczonymi metodą InSAR-SBAS na terenach górniczych i pogórnicych GZW - I kwartał 2024 r., skala 1 : 100 000

## 1. Wprowadzenie

Każda podziemna ingerencja górnicza, mająca na celu wydobywanie surowców naturalnych, ma wpływ na środowisko naturalne. Powoduje powstawanie pustek w górotworze, do których, pod wpływem grawitacji, następuje przemieszczanie się mas skalnych. Efektem tego zjawiska są zniekształcenia powierzchni terenu, zwane deformacjami górniczym, określane przemieszczeniami pionowymi i poziomymi oraz ich pochodnymi (nachylenia, odkształcenia, krzywizny). Mogą występować w formie deformacji ciągłych, to jest niecek obniżeniowych lub liniowych i powierzchniowych deformacji nieciągłych to jest szczelin, stopni i zapadlisk, a także struktur z nich złożonych. Mają one destrukcyjny wpływ na powierzchnię terenu, w tym również, na infrastrukturę budowlaną (rys. 1).



**Rys. 1.** Przykład deformacji powierzchni oraz zniszczeń w budynku wywołanych podziemną eksploatacją górniczą (Apanowicz 2022).

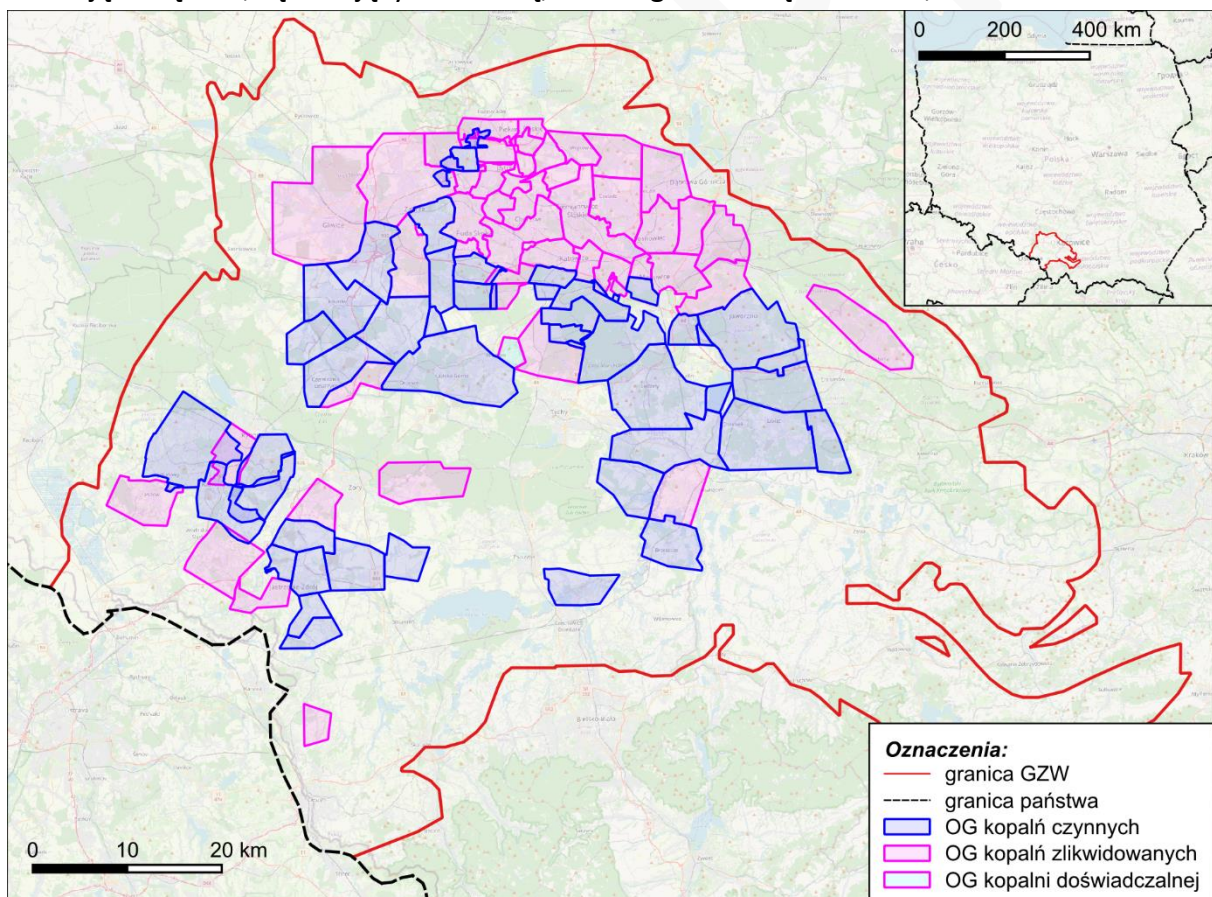
Działalność górnicza w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym (GZW) prowadzona jest nieprzerwanie od średniowiecza. Początkowo eksploatowano rudy cynku i ołowiu, a od XVIII w., złożę węgla kamiennego, którego wydobywanie w kulminacyjnym momencie, w 1979 r., wyniosło 200 mln Mg/rok. Szacuje się, że na skutek eksploatacji we wszystkich obszarach górniczych GZW, w górotworze powstała pustka o średniej wysokości równej 5,5 m. Dokonana eksploatacja górnicza spowodowała liczne przekształcenia powierzchni terenu, które w niektórych rejonach GZW przekraczają 25 m w ciągu ostatnich 50 lat. Prędkość obniżeń powierzchni dochodziła nawet do 4 cm/dobę, a obecną normą są obniżenia wynoszące 1,0-1,5 m w skali roku. Problem deformacji górniczych cały czas narasta ponieważ eksploatacja pokładów węgla kamiennego odbywa się w coraz trudniejszych warunkach geologiczno-



górnictwych i w górotworze naruszonym poprzednią działalnością. Następuje sumowanie się wpływów górnictwych oraz reaktywacja starych zrobów (Kowalski 2015). Problem występowania ruchów powierzchni nie kończy się wraz z zaprzestaniem wydobycia oraz likwidacją zakładu górnictwego. Badania dynamiki zmian ukształtowania powierzchni dowiodły, że około 80 % deformacji ujawnia się w trakcie eksploatacji, a pozostałe 20 % po jej zakończeniu. Proces ten szacuje się na okres około 2 – 5 lat. Później następuje wieloletni proces występowania deformacji rezydualnych (Kowalski i in. 2000) lub wypiętrzeń powierzchni powstałych na skutek zatapiania zlikwidowanych wyrobisk górnictwych (Milczarek 2011).

## 2. Charakterystyka monitorowanego obszaru

Górnośląskie Zagłębie Węglowe (GZW) zlokalizowane jest w południowej części Polski, w granicach administracyjnych województwa Śląskiego i Małopolskiego, oraz w północno-wschodniej części Republiki Czeskiej. Po Polskiej stronie zajmuje powierzchnię około 4250 km<sup>2</sup> (rys. 2). W granicach GZW znajduje się Górnośląsko-Zagłębiowska Metropolia (GZM), składająca się z 41, sąsiadujących ze sobą, miast i gmin i licząca około 2,3 mln mieszkańców.



**Rys. 2.** Lokalizacja monitorowanego obszaru; granice obszarów górnictwych i terenów pogórnictwych kopalń GZW, stan na 2023 r.

Serię warstw geologicznych do głębokości około 3000 m tworzą utwory karbońskie, podzielone na 3 główne grupy: warstwy łęgowe (pokłady nr 100-499), warstwy siódłowe (pokłady nr 501-510) oraz warstwy brzeżne (pokłady nr 600-900). Grubość poszczególnych

pokładów dochodzi do 22 m. Nad karbonem zalegają warstwy nadkładu. W północnej i wschodniej części GZW nadkład tworzą warstwy triasu, jury oraz kredy, a ich miąższość dochodzi do około 200 m. W południowej i zachodniej części GZW nadkład stanowią głównie warstwy czwartorzędu i trzeciorzędu, których miąższość dochodzi do około 800 m. Górótwór zbudowany jest głównie z iłowców, mułowców oraz piaskowców. Utwory karbońskie zalegają nieregularnie w kształcie siodła i niecek geologicznych, a górótwór poprzecinany jest dużą liczbą uskoku o wysokości zrzutu od nieprzekraczającej 2 m do kilkuset metrów. Nachylenie warstw skalnych jest zmienne i może wynosić od kilku do kilkudziesięciu stopni. Warunki hydrogeologiczne GZW są zróżnicowane i mają związek z rodzajami warstw, z których zbudowany jest nadkład. W północnej części GZW, w rejonach występowania warstw triasu, dopływy wód do wyrobisk górniczych wynoszą 10-25 m<sup>3</sup>/min. W południowej części GZW, występujące warstwy trzeciorzędu składają się z iłów i iłowców, które stanowią naturalną izolację i powodują dopływy wód w granicach 5 m<sup>3</sup>/min. Obszary te są predysponowane do powstawania zalewisk na powierzchni (Kowalski 2015).

Obecnie (stan na 2023 r.) w granicach GZW znajduje się 20 obszarów czynnych kopalń (30 ruchów) oraz 46 zlikwidowanych. Eksploatację prowadzi się przede wszystkim systemem ścianowym z zawalem skał stropowych. Wyjątkiem jest eksploatacja prowadzona według specjalnych uwarunkowań z uwagi na ochronę powierzchni. Średnia głębokość działalności górniczej wynosi około 800 m, a wysokość eksploatowanego pokładu nie przekracza z reguły 4 m. Grube pokłady wydobywane są z podziałem na warstwy o wysokości około 2,0 – 3,5 m.

### **3. Sieć monitoringowa GZW i zastosowana metodyka badawcza**

#### **3.1. Radarowa interferometria satelitarna (InSAR)**

Metody InSAR są głównym narzędziem wykorzystywanym w zadaniu do monitorowania przemieszczeń powierzchni powstałych na skutek eksploatacji górniczej. Wykorzystywane są zobrazenia satelitarne typu SLC pochodzące z satelity Sentinel 1 i udostępniane przez Europejską Agencję Kosmiczną w ramach programu Copernicus. Aktualnie, od 2022 r., satelita wykonuje zobrazenia w 12-dniowym interwale czasowym. Zobrazenia przetwarzane są jako szereg czasowy, ponad 400 zobrażeń, algorytmem krótkich linii bazowych SBAS (Berardino i in. 2002), z dwóch orbit przejścia satelity (wschodzącej nr 175 i opadającej nr 51) (tab. 1). Rezultatem są 2 szeregi czasowe zawierające informacje o przemieszczeniach powierzchni w kierunku wzroku satelity LOS (line of sight). Następnie, w celu wyznaczenia pionowych przemieszczeń powierzchni, dokonywana jest dekompozycja 2D dwóch wektorów LOS w kierunku pionowymi i poziomym wschód-zachód (E-W) (Hanssen 2001). Obliczenia interferogramów oparte są na przetwarzaniu dwuprzebiegowym z wykorzystaniem oprogramowania GMTSAR (Sandwell i in. 2011), a rozwinięcie fazy wykonywane jest 2-kierunkową metodą rozwijania faz zaimplementowaną do aplikacji SNAPHU (Chen i Zebker 2002). Do korekcji fazy w odniesieniu do powierzchni terenu stosowane są dane z SRTM-1 (Farr i in. 2007). W celu usunięcia niedoskonałości w postaci szumów, rozwinięta faza poddawana jest dodatkowej filtracji poprzez dopasowanie

otrzymanych wyników do wielomianowego trendu niskiego rzędu metodą najmniejszych kwadratów i usunięcie niepasujących niedoskonałości. W tym celu wykorzystywany jest algorytm zaimplementowany do oprogramowania GMT (Wessel i in. 2019). W obliczeniach dokonywana jest również korekcja opóźnień atmosferycznych poprzez zastosowanie poprawek GACOS (Yu i in. 2020). Otrzymane rezultaty są walidowane i korygowane w oparciu o pomiary GNSS autorską metodą zależności liniowych (LD) opracowaną w Głównym Instytucie Górnictwa – Państwowym Instytucie Badawczym (Apanowicz 2023).

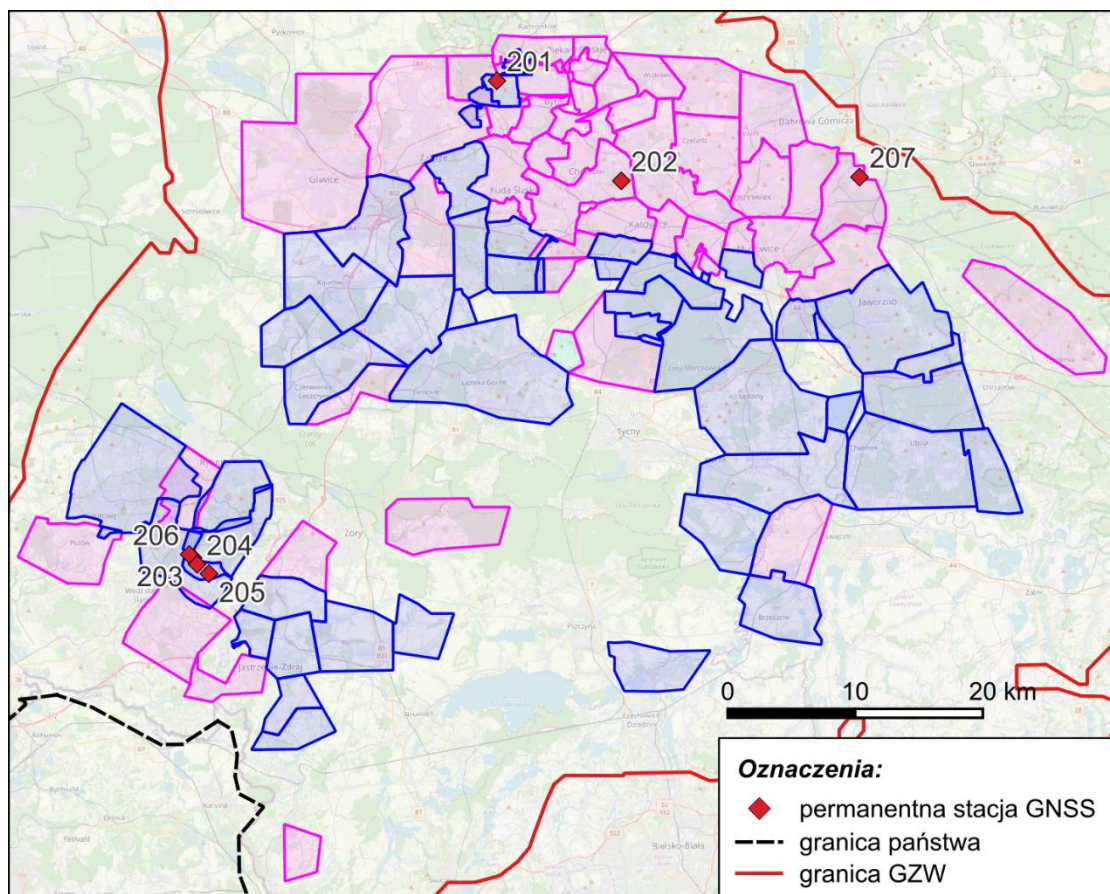
**Tabela 1.** Podstawowe informacje dotyczące wykorzystanych danych SAR.

Sensor	Sentinel 1A	
Numer orbity/IW	175/IW2-IW3	51/IW2-IW3
Typ orbity	wschodząca	opadająca
Liczba zobrazowań	433	416
Przestrzenna linia bazowa	120	120
Czasowa linia bazowa	60	60
Liczba interferogramów	3005	2755

### 3.2. Globalny Nawigacyjny System Satelitarny (GNSS)

W GZW zlokalizowana jest sieć punktów GNSS GIG-PIB składająca się z 7 permanentnych stacji GNSS Leica GR50 o numerach 201 - 207. Stacje umieszczone są na obiektach infrastruktury budowlanej. Wykonują pomiary ciągłe, w czasie rzeczywistym w 1-sekundowym interwale czasowym, metodą statyczną. Surowe dane pomiarowe przesyłane są automatycznie do GIG-PIB z wykorzystaniem łączności sieci telefonii komórkowej GSM. Postprocessing danych jest prowadzony w nawiązaniu do sieci stacji referencyjnych SmartNet Leica Geosystems za pomocą oprogramowania Leica Infinity. Dane przetwarzane są w 12-godzinnym interwale czasowym (Czarnecki 2014). Lokalizację punktów sieci GNSS GIG-PIB pokazano na rysunku 3.





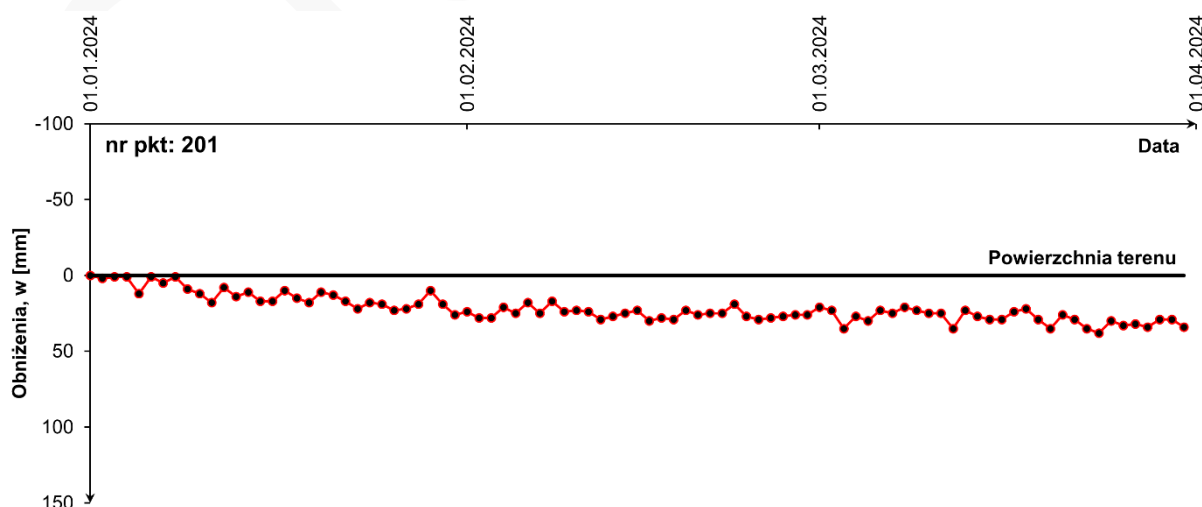
Rys. 3. Lokalizacja punktów sieci GNSS GIG-PIB w granicach GZW przygotowana na potrzeby realizacji zadania.

#### 4. Interpretacja wyników

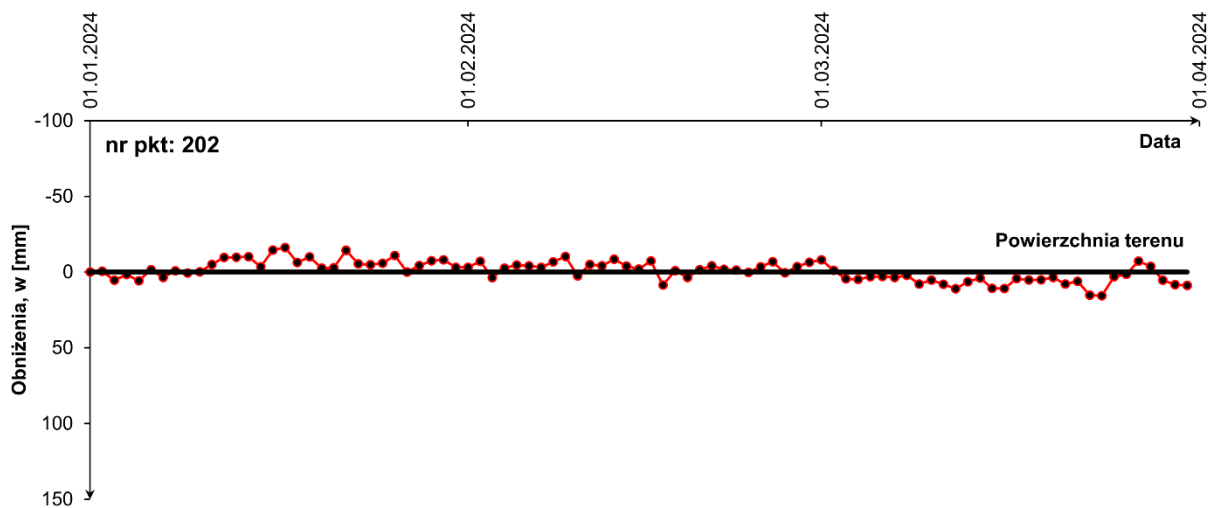
##### 4.1. Pionowe przemieszczenia powierzchni

##### 4.1.1. Przemieszczenia powierzchni na punktach sieci GNSS GIG-PIB

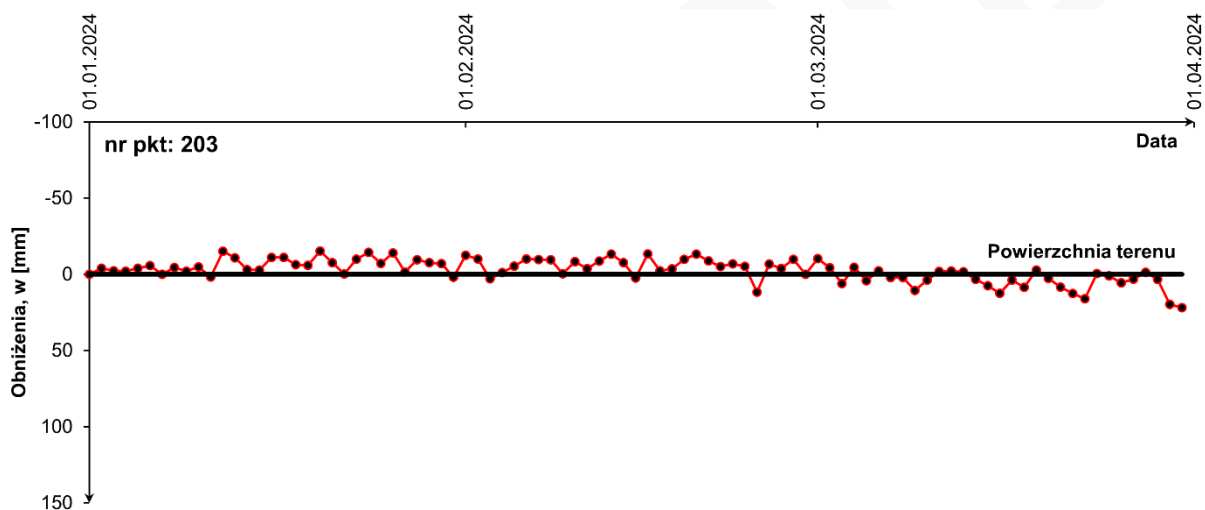
Przemieszczenia powierzchni zmierzone na punktach pomiarowych sieci GNSS GIG-PIB w okresie od 01.01.2024 do 31.03.2024 przedstawiono na rysunkach 4 - 10.



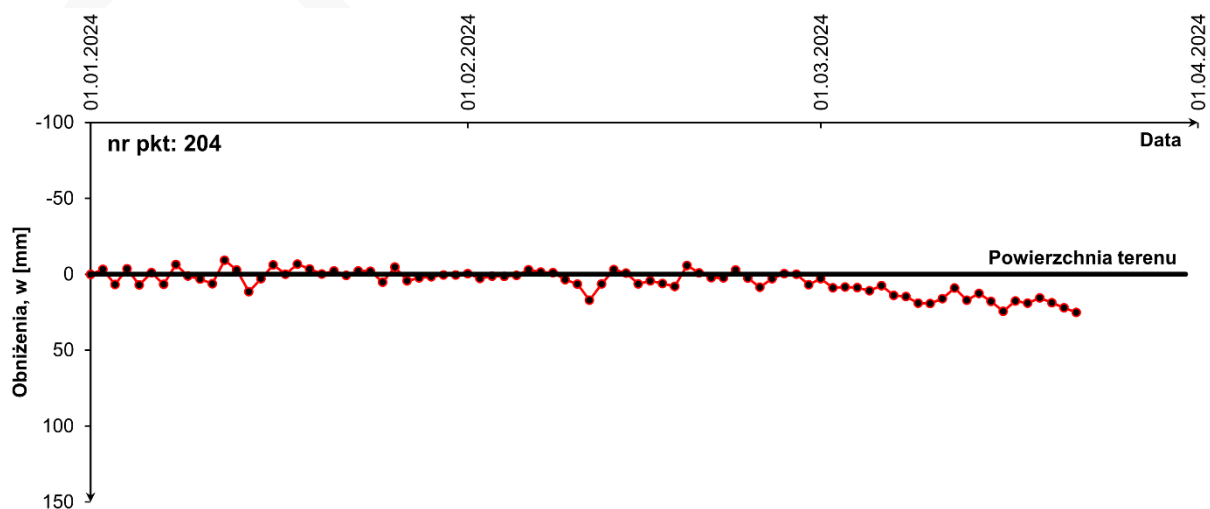
Rys. 4. Skumulowane pionowe przemieszczenia powierzchni w 1-dniowym interwale czasowym, zmierzone metodą statyczną z wykorzystaniem permanentnej stacji GNSS, na punkcie nr 201 w okresie 01.01.2024 – 31.03.2024.



**Rys. 5.** Skumulowane pionowe przemieszczenia powierzchni w 1-dniowym interwale czasowym, zmierzone metodą statyczną z wykorzystaniem permanentnej stacji GNSS, na punkcie nr 202 w okresie 01.01.2024 – 31.03.2024.

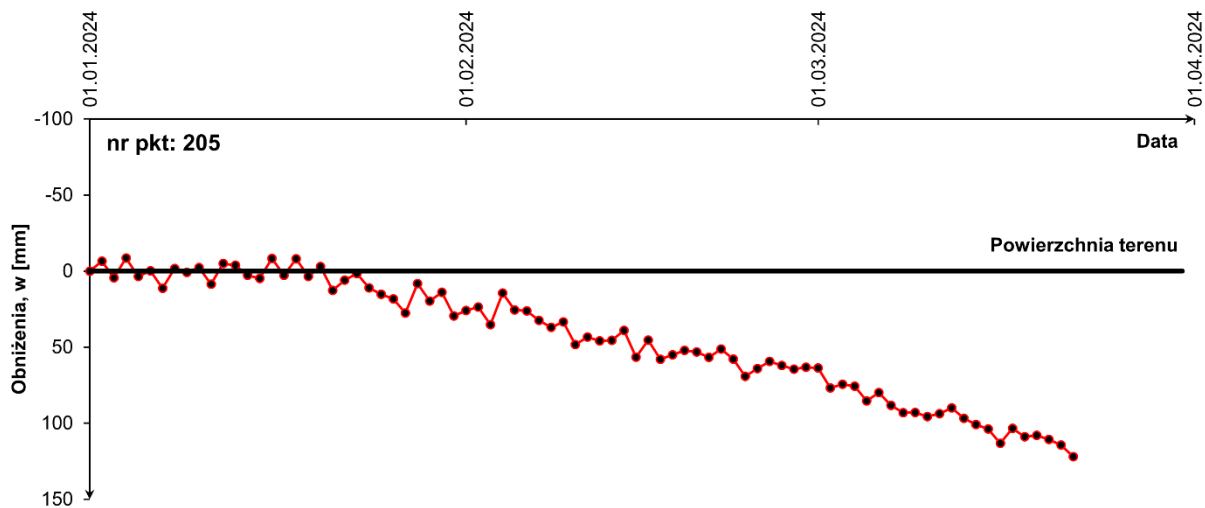


**Rys. 6.** Skumulowane pionowe przemieszczenia powierzchni w 1-dniowym interwale czasowym, zmierzone metodą statyczną z wykorzystaniem permanentnej stacji GNSS, na punkcie nr 203 w okresie 01.01.2024 – 31.03.2024.

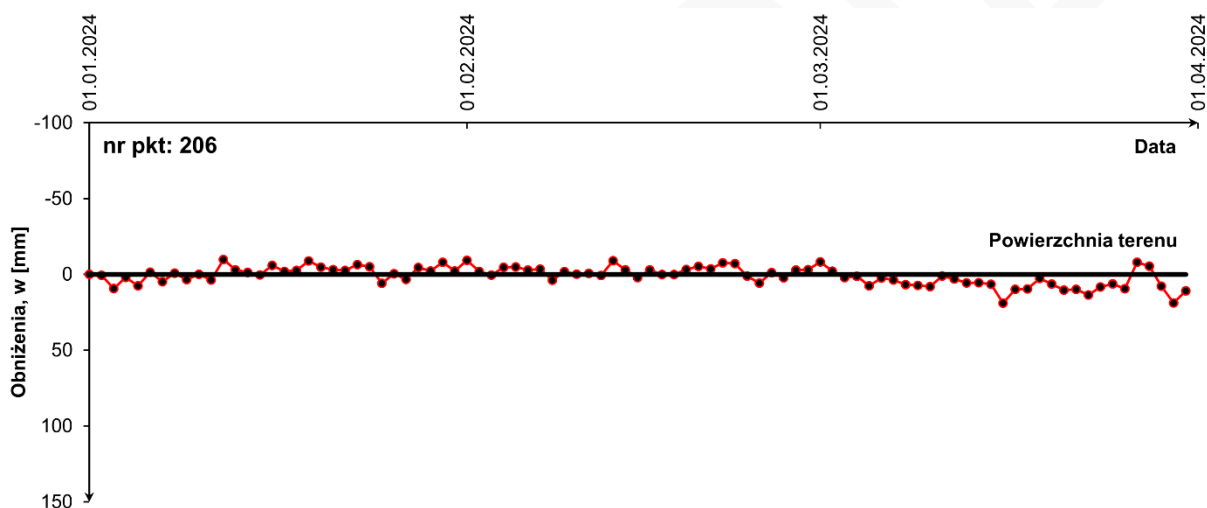


**Rys. 7.** Skumulowane pionowe przemieszczenia powierzchni w 1-dniowym interwale czasowym, zmierzone metodą statyczną z wykorzystaniem permanentnej stacji GNSS, na punkcie nr 204 w okresie 01.01.2024 – 31.03.2024.

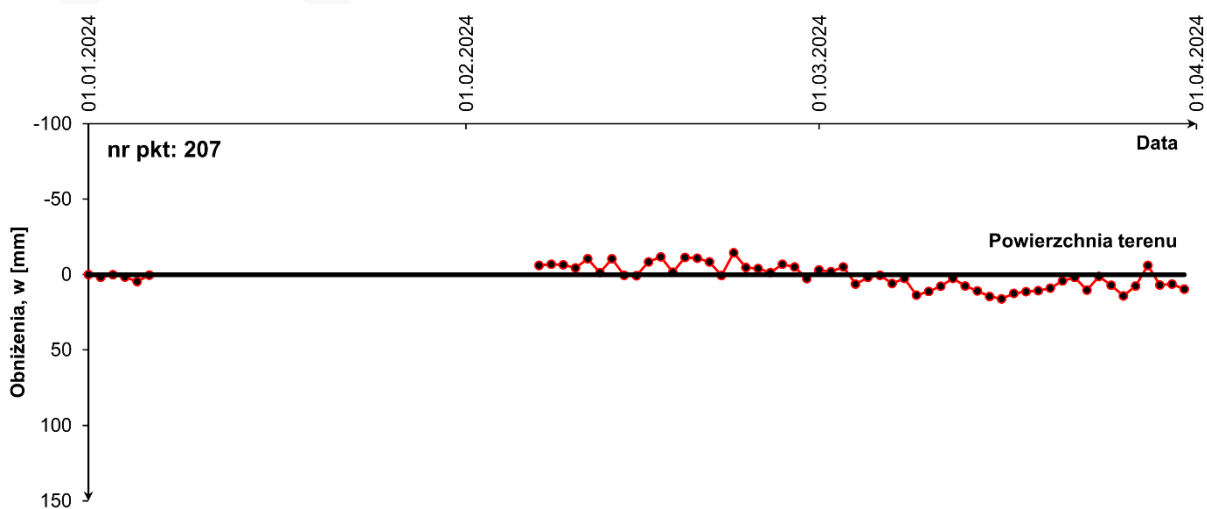




**Rys. 8.** Skumulowane pionowe przemieszczenia powierzchni w 1-dniowym interwale czasowym, zmierzone metodą statyczną z wykorzystaniem permanentnej stacji GNSS, na punkcie nr 205 w okresie 01.01.2024 – 31.03.2024..



**Rys. 9.** Skumulowane pionowe przemieszczenia powierzchni w 1-dniowym interwale czasowym, zmierzone metodą statyczną z wykorzystaniem permanentnej stacji GNSS, na punkcie nr 206 w okresie 01.01.2024 – 31.03.2024..



**Rys. 10.** Skumulowane pionowe przemieszczenia powierzchni w 1-dniowym interwale czasowym, zmierzone metodą statyczną z wykorzystaniem permanentnej stacji GNSS, na punkcie nr 207 w okresie 01.01.2024 – 31.03.2024.

W I kwartale 2024 r. znaczące obniżenia powierzchni zmierzono na 2 z 7 punktów pomiarowych odpowiednio nr 201 i 205. Największe obniżenie miało miejsce na punkcie nr 205 i wyniosło 122 mm. Powierzchnia zaczęła się obniżać od ok. 20.01.2024 r. Z kolei zmierzone obniżenie na punkcie nr 201 na przestrzeni całego kwartału wyniosło 34 mm. Niewielkie obniżenie zarejestrowano również na punkcie nr 204. Powierzchnia rozpoczęła się przemieszczać od około 01.03.2024 r. i do 22.03.2024 r. obniżyła się o 25 mm. Na pozostałych punktach pomiarowych sieci nie zarejestrowano zwiększonej aktywności powierzchni terenu w zakresie ruchów pionowych. Zmierzone skumulowane przemieszczenia dochodziły do  $\pm 16$  mm, z wyjątkami dochodzącymi do  $\pm 19$  mm. Z wykresów wynika jednak, że zarejestrowane przemieszczenia na przestrzeni całego kwartału oscylowały koło 0 mm. Można zatem stwierdzić, że ww. wahania są pochodną ograniczeń dokładnościowych zastosowanej technologii pomiarowej. Uwagę zwraca jednak punkt nr 203 i dwa ostatnie pomiary wykonane w dniach 30-31.03.2024 r., wskazujące obniżenie powierzchni odpowiednio o 20 i 22 mm. Wartości te przewyższają występujące na tym punkcie wahania odczytów na przestrzeni całego kwartału. Fakt ten może wskazywać na rozpoczęcie cyklu obniżania się powierzchni z powodu eksploatacji górniczej, jednak na dzień dzisiejszy nie można tego jednoznacznie stwierdzić. Będzie to przedmiotem szczególnej uwagi w kolejnych kwartałach 2024 r.

#### 4.1.2. Wielkoobszarowe przemieszczenia powierzchni wyznaczone metodą SBAS

##### Obszary górnicze

Globalne przemieszczenia powierzchni, występujące na obszarach górniczych, wyznaczone z przetwarzania zobrażeń SAR metodą SBAS, przedstawiono na załączniku mapowym do niniejszego raportu (zał. 1). Zidentyfikowano 39 niecek obniżeniowych o wymiarach od 550 do 2900 m w kierunku północ-południe (N-S) i od 550 do 3000 m w kierunku wschód-zachód (E-W). Powierzchniowo największe niecki powstały w obszarach górniczych kopalni Budryk, ROW Ruch Marcel i Jankowice oraz kopalni Pniówek. Ich wymiary wyniosły odpowiednio 2900 m (N-S) i 3000 m (E-W), 2350 m (N-S) i 1700 m (E-W) oraz 2300 m (N-S) i 1500 m (E-W). Z przedstawionej mapy (zał. 1) wynika, że są to deformacje powierzchni składające się z 2 mniejszych niecek obniżeniowych zlokalizowanych w bliskim sobie sąsiedztwie. W związku z tym, deformacje te są rezultatem eksploatacji więcej niż jednej parceli eksploatacyjnej. Szczegółowe informacje o zidentyfikowanych nieckach obniżeniowych przedstawiono w tabeli 2.

**Tabela 2.** Szczegółowe informacje o zidentyfikowanych nieckach obniżeniowych w I kwartale 2024 r.

L.p.	Lokalizacja	Kopalnia	Wymiary w kierunku N-S / E-W [m]	Obniżenie maksymalne, $w_{\max}$ [m]
1	Bytom, rejon ul. Celnej	Z. G. Eko-Plus	1100 / 950	bd*
2	Bytom, rejon ul. Warszawskiej	Bobrek-Piekary, Ruch Bobrek	1350 / 1000	bd
3	Bytom, rejon ul. Elektrownia	Bobrek-Piekary, Ruch Bobrek	950 / 1400	bd

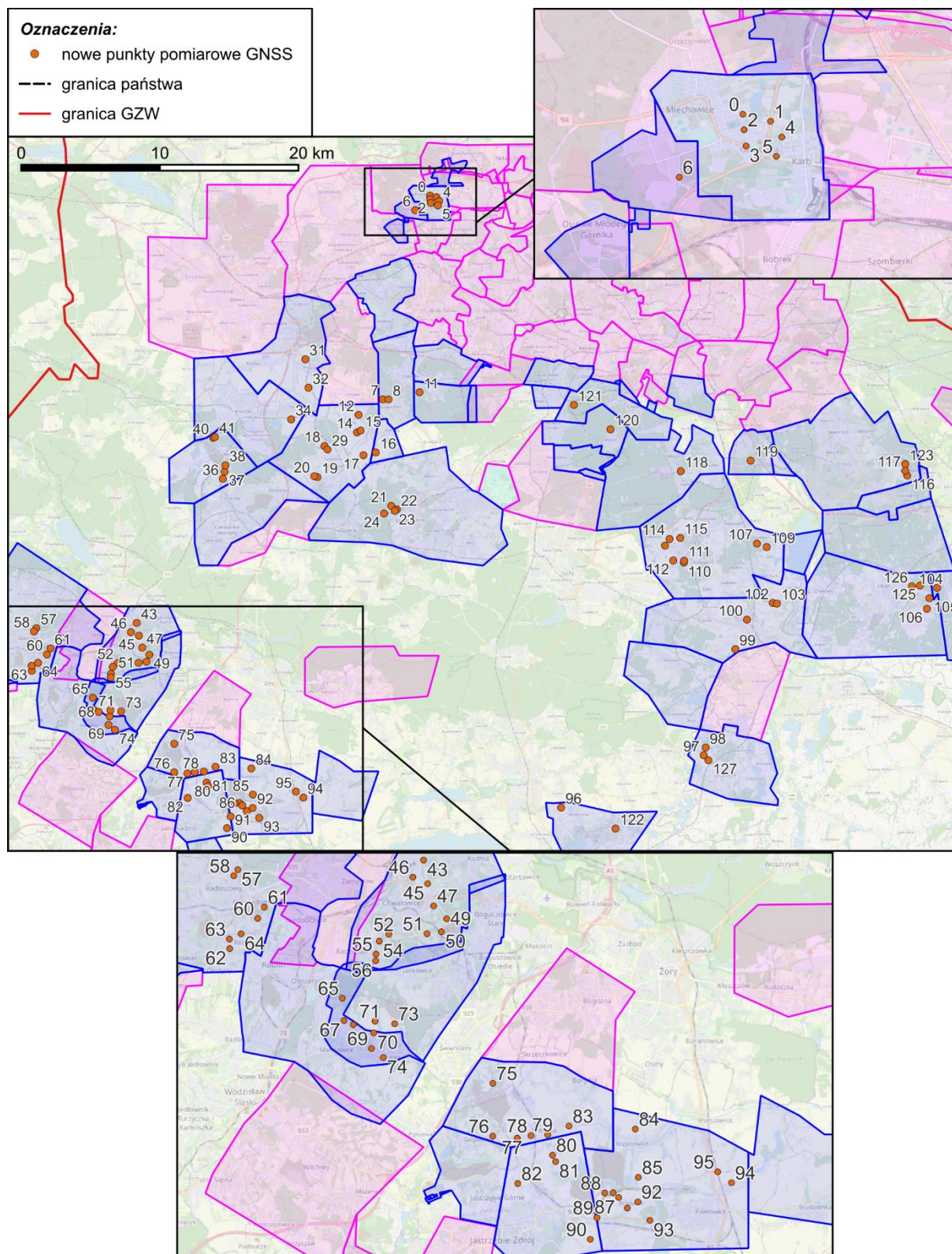
4	Przyszwice, rejon ul. Gliwickiej	Sośnica	1100 / 950	bd
5	Przyszwice, rejon ul. Gierałtowieckiej	Sośnica	1250 / 1200	bd
6	Gierałtowiec, na południe od ul. Ks. W. Roboty	Szczygłowiec-Knurów, Ruch Knurów	1950 / 2050	bd
7	Knurów, dzielnica Szczygłowiec, na zachód od autostrady A1	Szczygłowiec-Knurów, Ruch Knurów	1800 / 1500	bd
8	Knurów, dzielnica Szczygłowiec, na wschód ul. Zwycięstwa	Szczygłowiec-Knurów, Ruch Szczygłowiec	1100 / 1400	bd
9	Czerwionka-Leszczyny, na wschód od ul. Ks. J. Pojdy	Szczygłowiec-Knurów, Ruch Szczygłowiec	1500 / 1600	bd
10	Paniówki, Paniowy, Chudów, rejon ul. Zabrskiej i Darwina	Budryk	1200 / 1800	bd
11	Bujaków, Chudów, Paniowy, rejon ul. Chudowskiej i Przelotowej	Budryk	2900 / 3000	bd
12	Ornontowice, rejon ul. Kolejowej	Budryk	700 / 750	bd
13	Ornontowice, rejon ul. Spokojnej	Budryk	550 / 750	bd
14	Łaziska Górna, Mikołów, rejon ul. Prądnej i Torowej	Bolesław-Śmiały	1000 / 1050	bd
15	Ruda Śląska, na wschód od ul. Oświęcimskiej / 1-Maja	Ruda, Ruch Bielszowice i Halemba	900 / 1500	bd
16	Borowa Wieś, na północ od ul. Malinowej	Ruda, Ruch Bielszowice	650 / 650	bd
17	Rybnik, rejon ul. Makuszyńskiego	ROW, Ruch Chwałowice	850 / 1100	bd
18	Rybnik, rejon ul. Przez Zwał i Koźdoniów	ROW, Ruch Chwałowice	1200 / 1350	bd
19	Rybnik, rejon ul. Dygasińskiego i Składowej	ROW, Ruch Chwałowice	800 / 600	bd
20	Markłowice, na północ od ul. Wyzwolenia	ROW, Ruch Marcel i Jankowice	2350 / 1700	bd
21	Radlin, na północ od ul. Rydułtowskiej	ROW, Ruch Rydułtowy	1600 / 1600	bd
22	Świerklany, rejon ul. Powstańców	Borynia-Zofiówka, Ruch Borynia	1800 / 1100	bd
23	Jastrzębie-Zdrój, rejon ul. Powstańców Śląskich	Borynia-Zofiówka, Ruch Borynia	1000 / 1100	bd
24	Jastrzębie-Zdrój, rejon ul. Rybnickiej i Stodoły	Borynia-Zofiówka, Ruch Zofiówka	950 / 700	bd

25	Jastrzębie-Zdrój, rejon ul. Rolniczej	Borynia-Zofiówka, Ruch Zofiówka	1100 / 1100	bd
26	Pawłowice, rejon ul. Orlej i Kruczej	Pniówek	2300 / 1500	bd
27	Pawłowice, rejon ul. Wyzwolenia	Pniówek	1550 / 750	bd
28	Pszczyna, rejon ul. Spokojnej	P. G. Silesia	850 / 1000	bd
29	Brzeszcze, rejon ul. Olszynki	Z. G. Brzeszcze	700 / 550	bd
30	Chełm Śląski, rejon ul. Chełmskiej i Górnośląskiej	Piast-Ziemowit, Ruch Piast	800 / 900	bd
31	Lędziny, rejon ul. Jagiellońskiej, Lędzińskiej i Pokoju	Piast-Ziemowit, Ruch Ziemowit	1250 / 1250	bd
32	Imielin, na południe od ul. Grzybowej	Piast-Ziemowit, Ruch Ziemowit	1050 / 1400	bd
33	Libiąż, rejon ul. Jaworowej	Z. G. Janina	1400 / 1200	bd
34	Jaworzno, rejon ul. Herbowej	Z. G. Sobieski	1100 / 950	bd
35	Mysłowice, rejon ul. Długiej	Z. G. Sobieski	850 / 600	bd
36	Mysłowice, rejon ul. Plebiscytowej	Mysłowice-Wesoła, Ruch Wesoła	600 / 750	bd
37	Mysłowice / Katowice, rejon ul. 3-Maja i Kołodzieja	Murcki-Staszic, Ruch Staszic	750 / 1000	bd
38	Katowice, na południe od ul. 73 Pułku Piechoty	Murcki-Staszic, Ruch Staszic	1100 / 1000	bd
39	Katowice, na południe od ul. 73 Pułku Piechoty	Murcki-Staszic, Ruch Murcki	1800 / 1400	bd

\* - brak danych

Ze względu na ograniczenia technologiczne satelitarnej interferometrii radarowej, szerzej opisane w (Massonnet, Fiegl 1998), oraz brak pomiarów referencyjnych umożliwiających zastosowanie autorskiej metody korygującej LD (SBAS+LD), nie jest możliwe dokładne określenie wielkości przemieszczeń powierzchni w miejscach występowania niecek obniżeniowych. Według literatury, prędkość obniżenia powierzchni, powstałych na skutek eksploatacji w GZW, może dochodzić nawet do 4 cm/dobę (Kowalski 2007). W związku z tym, wyznaczone obniżenia powierzchni w miejscach występowania niecek obniżeniowych (zał. 1), dochodzące do 129 mm, należy uznać za niedoszacowane. Wyznaczone przemieszczenia powierzchni, posłużyły jednak do rozszerzenia sieci punktów GNSS GIG-PIB o kolejne punkty pomiarowe. W miejscach występowania największych obniżenia zamarkowano dodatkowe punkty, na których będą wykonywane pomiary GNSS. Pomiary te posłużą, w kolejnych kwartałach, jako referencyjne i umożliwią zastosowanie metody korygującej LD (SBAS+LD), co z kolei doprowadzi do dokładnego określenia wielkości obniżenia w miejscach występowania niecek obniżeniowych. Lokalizację nowych punktów sieci GNSS GIG-PIB przedstawiono na rysunku 11.





**Rys. 11.** Lokalizacja nowych punktów pomiarowych sieci GNSS GIG-PIB w granicach GZW.

Analiza otrzymanych rezultatów wykazała występowanie wypiętrzeń powierzchni w obszarach górniczych kopalni Jas-Mos oraz kopalni ROW Ruch Marcel. W pierwszym przypadku wypiętrzenia dochodzą do 22 mm i zlokalizowane są w okolicach ul. Morcinka w miejscowości Mszana. W miejscu występowania zidentyfikowanych wypiętrzeń zlokalizo-

wana jest hałda górnicza, co wskazuje, że mogą być one spowodowane nadsypywaniem hałdy materiałem pochodzącym z kopalni. W drugim przypadku, wypiętrzenia występują w rejonie ul. Stromej w Markłowicach i przekraczają 27 mm. Są one zlokalizowane około 100 m na wschód od dużej niecki obniżeniowej, a więc w miejscach występowania największych odkształceń rozciągających. W ich bliskim sąsiedztwie nie ma zlokalizowanej hałdy górnicznej. Wskazuje to zatem, że mogą one być spowodowane bezpośrednio eksploatacją górniczną. Rejon ten będzie przedmiotem szczególnej uwagi w kolejnych kwartałach 2024 r.

### Tereny pogórniczne

Globalne przemieszczenia powierzchni, występujące na terenach pogórnicznych, wyznaczone z przetwarzania obrazów SAR metodą SBAS, przedstawiono na załączniku mapowym do niniejszego raportu (zał. 1). Analiza otrzymanych rezultatów wykazała występowanie wielkopowierzchniowych obniżeń powierzchni, przekraczających 20 mm, na terenach pogórnicznych zlokalizowanych w północno-wschodniej części GZW. W pozostałych terenach pogórnicznych GZW nie zarejestrowano znaczących przemieszczeń powierzchni. Zidentyfikowane przemieszczenia nie przekroczyły  $\pm 10$  mm i mieściły się w granicach dokładnościowych zastosowanej metody przetwarzania.

## **4.2. Poziome przemieszczenia powierzchni**

### 4.2.1. Przemieszczenia powierzchni na punktach sieci GNSS GIG-PIB

Przemieszczenia powierzchni zmierzone na punktach pomiarowych sieci GNSS GIG-PIB w okresie od 01.01.2024 do 31.03.2024 przedstawiono na rysunku 12.



**Rys. 12.** Skumulowane poziome przemieszczenia powierzchni w 7-dniowym interwale czasowym, zmierzone metodą statyczną z wykorzystaniem permanentnych stacji GNSS, na punktach 201-207 w okresie 01.01.2024 – 31.03.2024.

Największe przemieszczenia poziome, wypadkowe w skali kwartału, wyniosło 141 mm w kierunku azymutu równego 3° i zostało zarejestrowane na punkcie nr 205. Ulegał on stopniowemu dziennemu przemieszczeniu dochodzącemu do 7 mm (do 22 mm w skali tygodnia) w kierunku północno-wschodnim do 19.02.2024 r. Następnie nastąpiła zmiana kierunku na północno-zachodni. Poziome przemieszczenia powierzchni zarejestrowano również na punktach nr 201, 203 oraz 204. W skali kwartału wyniosły one odpowiednio 42 mm, 13 mm oraz 19 mm, w kierunku azymutów równych, odpowiednio, 132°, 104° oraz 103°. Dzielne przemieszczenia zarejestrowane na tych punktach dochodziły do 6 mm. Na pozostałych punktach pomiarowych o nr 202, 206 i 207 również zarejestrowano przemieszczenia poziome, jednak nie przekroczyły one 6 mm w skali kwartału co mieści się w granicach dokładnościowych zastosowanej technologii pomiarowej. Można zatem uznać, że w rejonach lokalizacji punktów pomiarowych nr 202, 206 i 207 nie wystąpiły przemieszczenia poziome powierzchni w I kwartale 2024 r. Poziome przemieszczenia powierzchni wraz z ich azymutem, zarejestrowane na poszczególnych punktach pomiarowych sieci GNSS GIG-PIB, zestawiono w tabeli 3.

**Tabela 3.** Poziome przemieszczenia powierzchni, wypadkowe w skali kwartału, oraz ich azymut, zarejestrowane na poszczególnych punktach sieci GNSS GIG-PIB, z wykorzystaniem permanentnych stacji GNSS, w I kwartale 2024 r.

Nr pkt	Przemieszczenie poziome, u [mm]	Azymut przemieszczenia [°]
201	42	132
202	3	25
203	13	104
204	19	103
205	141	3
206	6	121
207	2	310

## 5. Podsumowanie

Na podstawie przedstawionych w raporcie wyników oraz ich interpretacji można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Na obszarach górniczych GZW, w I kwartale 2024 r., zidentyfikowano 39 obszarów na których wystąpiły deformacje górnicze w postaci niecek obniżeniowych. Ich rozmiar mieścił się w zakresie od 550 m do 2900 m w kierunku północ-południe oraz od 550 m do 3000 m w kierunku wschód-zachód.
2. Na obszarach górniczych GZW, w I kwartale 2024 r., nie zidentyfikowano wypiętrzeń powierzchni.
3. Największe zidentyfikowane obniżenie powierzchni, na obszarach górniczych GZW, wyniosło 0,12 m i miało miejsce w miejscowości Markłowice, w okolicach skrzyżowania ulic Jankowickiej i Wyzwolenia.



4. Największe zidentyfikowane przemieszczenie poziome powierzchni, na obszarach górniczych GZW, wyniosło 0,14 m w kierunku azymutu równemu 3° i miało miejsce w miejscowości Marklowice, w okolicach skrzyżowania ulic Jankowickiej i Wyzwolenia.
5. Na terenach pogórniczych, zlokalizowanych w północno-wschodniej części GZW, lokalnie wystąpiły wielkopowierzchniowe obniżenia dochodzące do 20 mm.
6. W pozostałych terenach pogórniczych GZW, przemieszczenia powierzchni nie wystąpiły.

#### Dokładność pomiarów:

- metoda SBAS –  $\pm 1,5$  cm;
- pomiary GNSS: pionowo:  $\pm 1,5$  cm, poziomo,  $\pm 1$  cm;
- zasięg niecek obniżeniowych –  $\pm 120$  m.

#### **Zasady korzystania z Raportów GIG-PIB**

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

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

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

- Błędną 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.

#### **6. Literatura**

1. Apanowicz B. 2022. *Use of InSAR in Linear Discontinuous Ground Deformation Generation Analysis: Case Study of a Mine in Poland*. Journal of Sustainable Mining, 21(1), 4.
2. Apanowicz B. 2023. *Analiza obniżeń powierzchni na terenach górniczych i pogórniczych w aspekcie zasięgu i czasu z wykorzystaniem interferometrii satelitarnej*. Rozprawa doktorska, GIG – PIB, Katowice.
3. Berardino P., Fornaro G., Lanari R., Sansosti E. 2002. *A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms*. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 40, 2375–2383.
4. Czarnecki K. 2014. *Geodezja współczesna*. Wydawnictwo naukowe PWN, Warszawa.
5. Chen C., Zebker H. 2002. *Phase unwrapping for large SAR interferograms: Statistical segmentation and generalized network models*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 40(8), 1709-1719.
6. Farr T., Rosen P., Caro E., Crippen R., Duren R., Hensley S., Kobrick M., Paller M., Rodriguez E., Roth L., Seal D., Shaffer S., Shimada J., Umland J., Werner M., Oskin M., Burbank D., Alsdorf D. 2007. *The shuttle radar topography mission*. Reviews of Geophysics 45, 1-33.
7. Hanssen R. 2001. *Satellite Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis*. Rozprawa doktorska, Remote Sensing and Digital Image Processing, Springer, Holandia.
8. Kowalski A. (red). 2000. *Eksploatacja górnicza a ochrona powierzchni. Doświadczenia z wałbrzyskich kopalń*. Wydawnictwo GIG-PIB, Katowice.
9. Kowalski A. 2015. *Deformacje powierzchni w Górnośląskim Zagłębiu Węglowym*. Wydawnictwo GIG-PIB, Katowice.

10. Massonnet D., Feigl K. L. 1998. *Radar interferometry and its application to changes in the earth's surface*. *Reviews of Geophysics*, 36, 441-500.
11. Milczarek W. 2011. *Analiza zmian powierzchni górotworu po zakończeniu eksploatacji górniczej w wybranym rejonie dawnego Wałbrzyskiego Zagłębia*. Rozprawa doktorska, Politechnika Wrocławska, Wrocław.
12. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 24 lipca 2023 r. w sprawie nadania Głównemu Instytutowi Górnictwa statusu państwowego instytutu badawczego (Dz. U. 2023 poz. 1579).
13. Sandwell D., Mellors R., Tong X., Wei M., Wessel P. 2011. *Open radar interferometry software for mapping surface deformation*. *EOS, Transactions American Geophysical Union*, 92(28), 233-240.
14. Wessel P., Luis J., Uieda L., Scharroo R., Wobbe F., Smith W., Tian D. 2019. *The Generic Mapping Tools version 6*. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 20, 5556-5564.
15. Yu C., Li Z., Penna N.T. 2020. *Triggered afterslip on the southern Hikurangi subduction interface following the 2016 Kaikoura earthquake from InSAR time series with atmospheric corrections*. *Remote Sensing of Environment*, 251, 112097.