

**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 1.3.2.

za okres 01.04.2024 – 30.06.2024

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 17/D/10095/2830/2024/DA z dnia 12.08.2024 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 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/SBAS+LD
 - 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 i LD, na obszarach górniczych GZW – II kwartał 2024 r., skala 1 : 100 000
2. Mapa powierzchni wraz z pionowymi przemieszczeniami powierzchni wyznaczonymi metodą InSAR-SBAS, na obszarach pogórnich GZW – II 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).



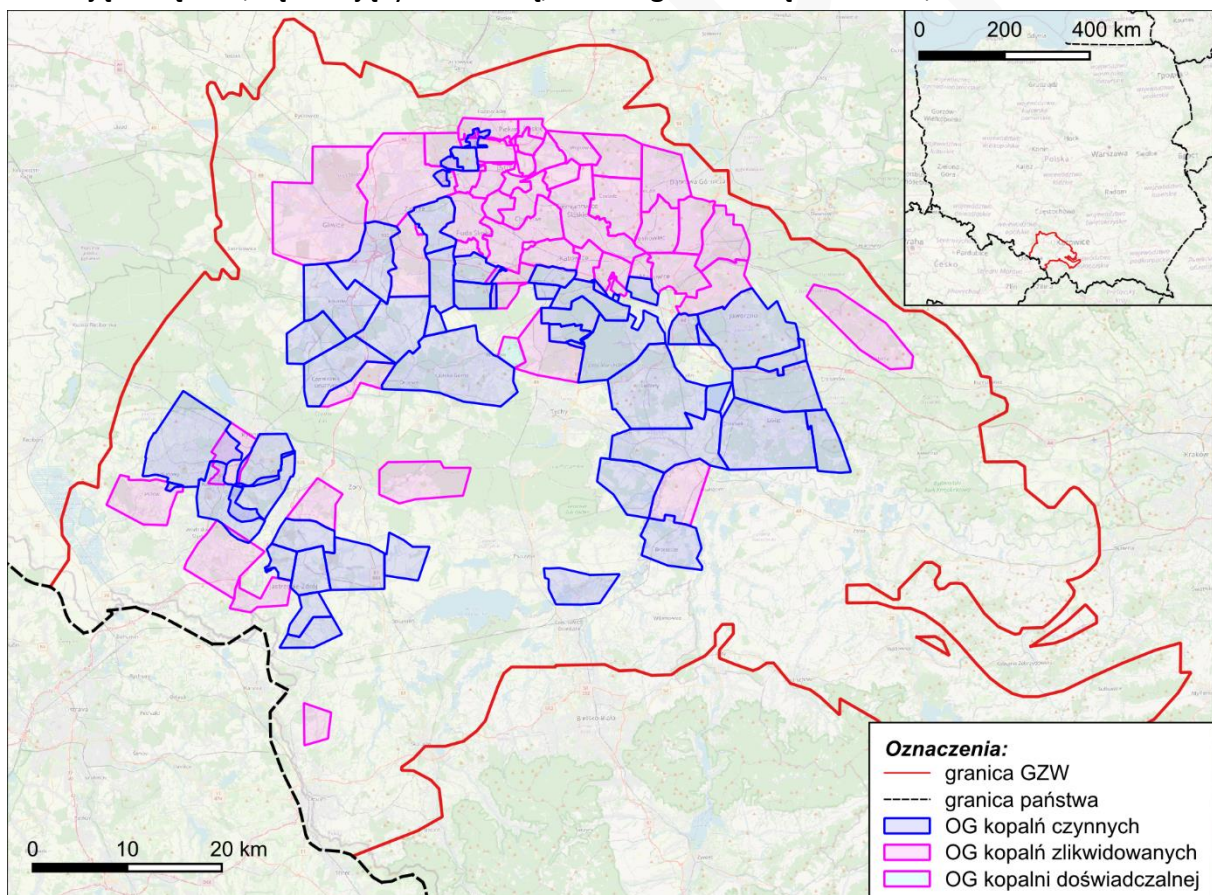
Rys. 1. Przykład deformacji powierzchni oraz zniszczeń w budynku wywołanych podziemną eksploatacją górniczą (Apanowicz 2022).

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 wydobycie 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 km² (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 siodłowe (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. Górotwór zbudowany jest głównie z iłowców, mułowców oraz piaskowców. Utwory karbońskie zalegają nieregularnie w kształcie siodła i niecek geologicznych, a górotwór 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 m³/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 m³/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).

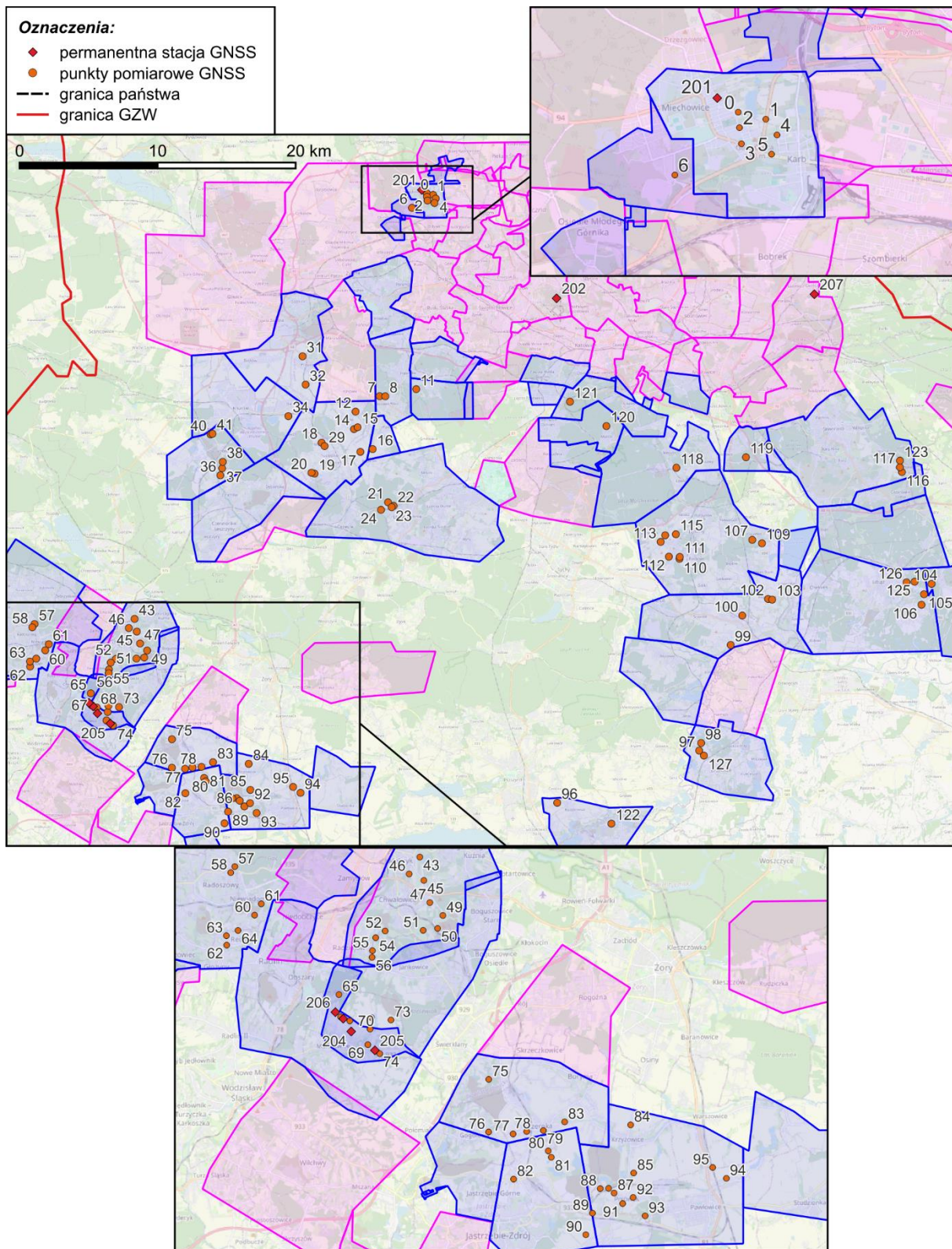
Tabela 1. Podstawowe informacje dotyczące wykorzystanych danych SAR.

Sensor	Sentinel 1A	
Numer orbity/IW	175/IW2-IW3	51/IW2-IW3
Typ orbity	wschodząca	opadająca
Liczba zobrazowań	440	423
Przestrzenna linia bazowa	120	120
Czasowa linia bazowa	60	60
Liczba interferogramów	3016	2766

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 oraz ze 107 punktów pomiarowych. Stacje GNSS 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).

Na punktach pomiarowych wykonywane są pomiary GNSS metodą RTN, z wykorzystaniem odbiornika GNSS Leica GS18. Na każdym punkcie pomiar wykonywany jest 3-krotnie na minimum 5 epok. Następnie obliczane są średnie współrzędne dla każdego z nich. Lokalizacja punktów pomiarowych została zaprojektowana na podstawie przemieszczeń powierzchni wyznaczonych dla I kwartału 2024 r., w miejscach potencjalnego występowania największych przemieszczeń powierzchni spowodowanych podziemną eksploatacją górnictwem. Liczba i lokalizacja punktów pomiarowych jest zmienna w czasie w zależności od obecnie prowadzonej eksploatacji. 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

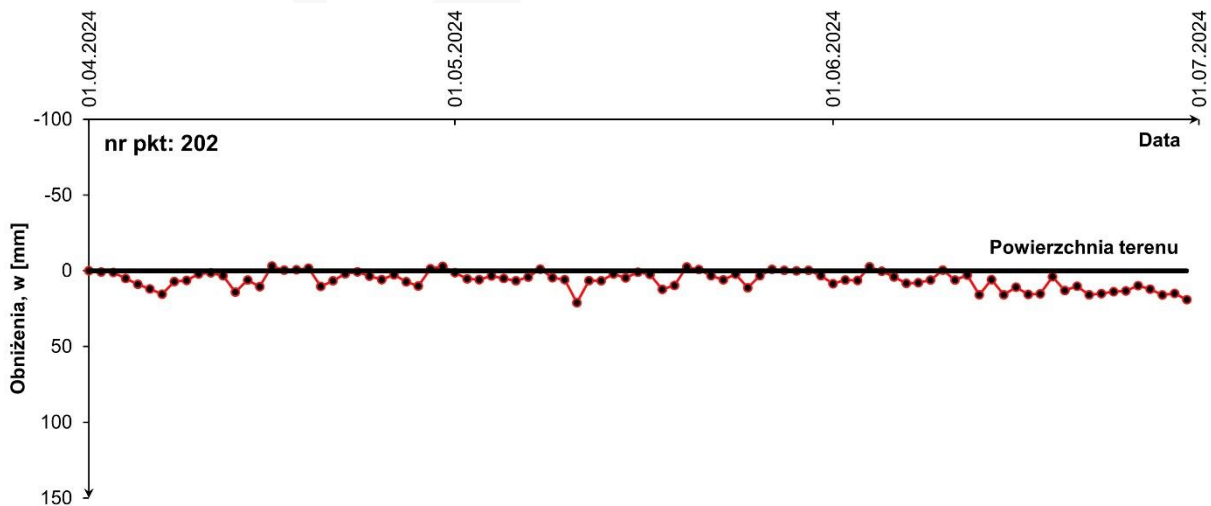
4.1. Pionowe przemieszczenia powierzchni

4.1.1. Przemieszczenia powierzchni na punktach sieci GNSS GIG-PIB

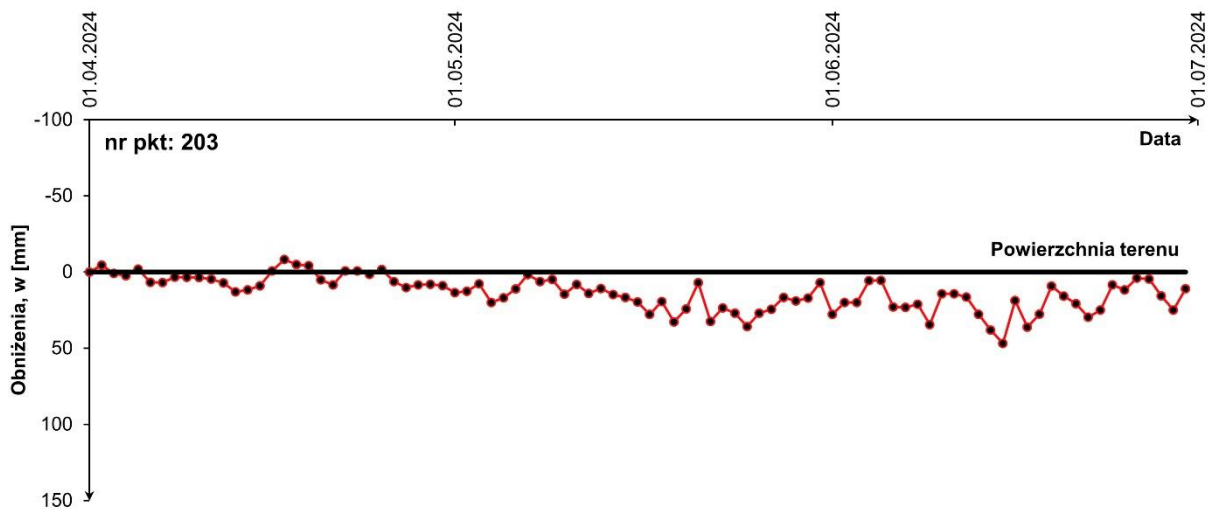
Przemieszczenia powierzchni zmierzone na punktach pomiarowych sieci GNSS GIG-PIB w okresie od 01.04.2024 do 30.06.2024 z wykorzystaniem permanentnych stacji GNSS przedstawiono na rysunkach 4 - 10.



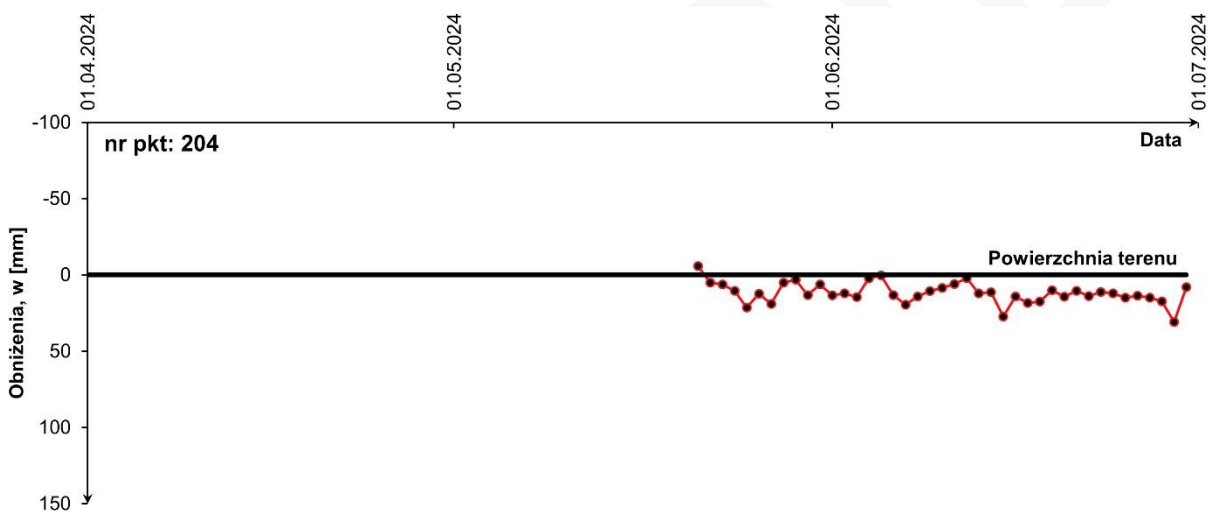
Rys. 4. Skumulowane pionowe przemieszczenia powierzchni w 1-dniowym interwale czasowym, zmierzone metodą statyczną z wykorzystaniem permanentnej stacji GNSS, na punkcie nr 201 w okresie 01.04.2024 – 30.06.2024.



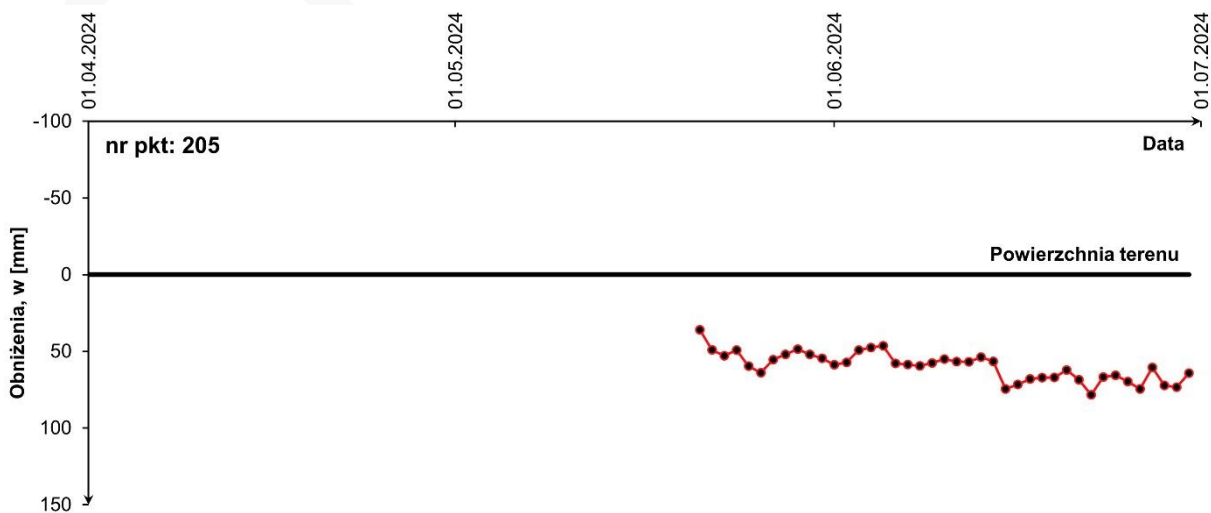
Rys. 5. Skumulowane pionowe przemieszczenia powierzchni w 1-dniowym interwale czasowym, zmierzone metodą statyczną z wykorzystaniem permanentnej stacji GNSS, na punkcie nr 202 w okresie 01.04.2024 – 30.06.2024.



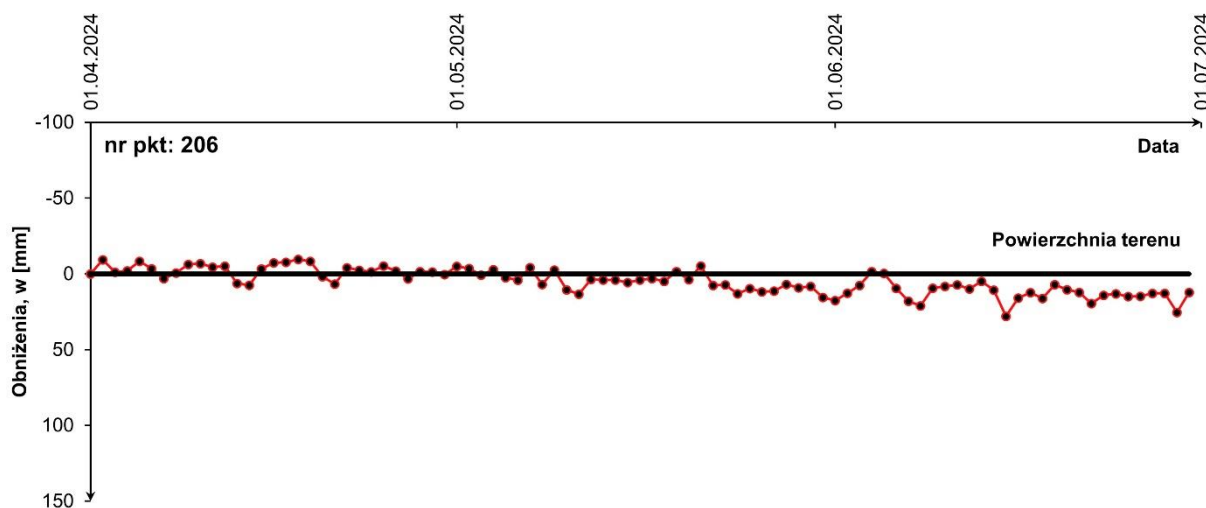
Rys. 6. Skumulowane pionowe przemieszczenia powierzchni w 1-dniowym interwale czasowym, zmierzone metodą statyczną z wykorzystaniem permanentnej stacji GNSS, na punkcie nr 203 w okresie 01.04.2024 – 30.06.2024.



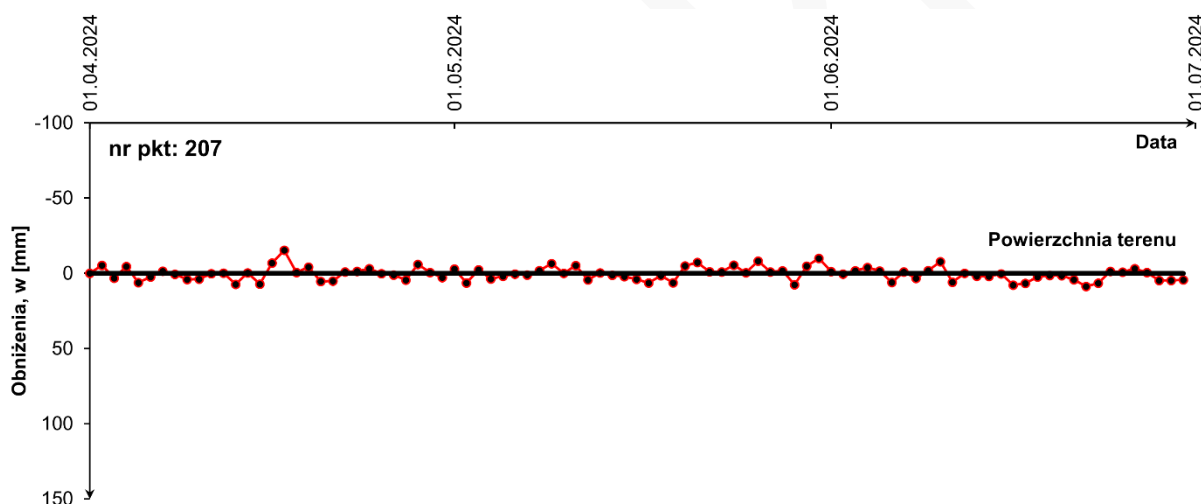
Rys. 7. Skumulowane pionowe przemieszczenia powierzchni w 1-dniowym interwale czasowym, zmierzone metodą statyczną z wykorzystaniem permanentnej stacji GNSS, na punkcie nr 204 w okresie 01.04.2024 – 30.06.2024.



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 01.04.2024 – 30.06.2024.



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 01.04.2024 – 30.06.2024.



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 01.04.2024 – 30.06.2024.

W II kwartale 2024 r. znaczące obniżenie powierzchni, które wyniosło 64 mm na przestrzeni całego kwartału zmierzono na punkcie nr 205. W drugiej połowie czerwca natomiast dochodziło nawet do 78 mm. Z wykresu (rys. 8) wynika, że w całym cyklu pomiarowym znaczący przyrost obniżeń wynoszący 28 i 20 mm zarejestrowano pomiędzy, odpowiednio, 21, a 26 maja oraz 14, a 15 czerwca. Podwyższona aktywność powierzchni można zaobserwować również na punktach nr 202, 203, 204 i 206. Odpowiednio od końca czerwca (pkt. 202), początku maja (pkt. 203) oraz drugiej połowy maja (pkt. 204 i 206) zarejestrowano wyraźne zwiększenie kilkumilimetrowych wahań z trendem skierowanym w dół. 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. Jako pomiar

referencyjny przyjęto wykonany na tych punktach pomiar z dnia 22.03.2024 r. Na pozostałych punktach pomiarowych nr 201 i 207 nie zarejestrowano zwiększonej aktywności powierzchni terenu w zakresie ruchów pionowych. Zmierzone skumulowane przemieszczenia dochodziły do ± 12 mm, z pojedynczymi wyjątkami dochodzącymi do ± 15 mm i ± 18 mm. Z wykresów (rys. 4 i 10) 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.

Na pozostałych punktach pomiarowych sieci GNSS GIG-PIB, o numerach 0 - 127, wykonano dwie kampanie pomiarowe w dniach 9-13 maja br. oraz 25-28 czerwca br. Zakres zmierzonych przemieszczeń mieścił się w przedziale od +67 mm (wypiętrzenie) do -321 mm (obniżenie). Największe obniżenia powierzchni, wynoszące 321 mm, miało miejsce na punkcie nr 102 zlokalizowanym w obszarze górniczym kopalni Piast-Ziemowit Ruch Piast, w gminie Chełm Śląski przy ul. Zakole. W tym samym rejonie na punkcie nr 103, zlokalizowanym przy ulicy Karłowicza zmierzono obniżenie wynoszące 154 mm. Znaczące obniżenia powierzchni, przekraczające 100 mm wystąpiły również na punktach nr 12, 19, 31, 32, 65, 69, 82, 94, 110, 116 i 117. Punkty te są zlokalizowane w:

- OG kopalni Budryk, w gminie Gierałtowiec przy ul. Zaburskiej (pkt nr 12) i gminie Ornontowice przy ul. Granicznej (pkt nr 19),
- OG kopalni Sośnica, w gminie Gierałtowiec przy ul. Gliwickiej (pkt nr 31) i ul. Gierałtowickiej (pkt nr 32),
- OG kopalni ROW Ruch Marcel, w gminie Markłowice przy ul. Jarzębinowej (pkt nr 65) i ul. Rzemieślniczej (pkt nr 69),
- OG kopalni Borynia-Zofiówka Ruch Zofiówka, w Jastrzębiu-Zdroju przy Drodze Głównej Południowej - DK933 (pkt nr 82),
- OG kopalni Pniówek, w gminie Pawłowice przy ul. Spacerowej (pkt nr 94),
- OG kopalni Piast-Ziemowit Ruch Ziemowit, w gminie Łęczyny przy ul. Pokoju (pkt nr 110),
- OG zakładu górniczego Sobieski, w Jaworznie przy ul. Cezarówka Górna (pkt nr 116) i ul. Herbowej (pkt nr 117).

Na pozostałych punktach pomiarowych zidentyfikowano obniżenia powierzchni nie przekraczające 100 mm lub ogólnie przemieszczenia mieszczące się w granicach dokładnościowych zastosowanej technologii pomiarowej. Wyjątkiem jest 5 punktów pomiarowych o nr 36, 37, 38, 40 i 41, na których zmierzono wypiętrzenia powierzchni dochodzące do 67 mm. Wszystkie są zlokalizowane w niedużej odległości od 0,14 do 2,2 km, w OG kopalni Knurów-Szczygłowice Ruch Szczygłowice w Knurowie przy ul. Zwycięstwa (lub w jej sąsiedztwie). W związku z tym, można stwierdzić, iż cały ten rejon uległ wypiętrzeniu. Szczegółowy wykaz zmierzonych przemieszczeń powierzchni na każdym punkcie pomiarowym zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2. Pionowe przemieszczenia powierzchni zmierzone na punktach pomiarowych sieci GNSS GIG-PIB metodą RTK, w okresie 09-13.05.2024 – 25-28.06.2024 r.

Data pomiaru	09-13.05.2024	25-28.06.2024	Przemieszczenia, d [mm]
Nr	H [m]	H [m]	
0	272,446	272,393	-53
1	274,929	274,876	-53
2	275,818	275,749	-69
3	278,233	278,168	-65
4	270,688	270,665	-23
5	279,336	279,301	-35
6	280,779	280,790	11
7	234,290	234,270	-20
8	238,277	238,268	-10
11	245,752	245,751	-1
12	236,620	236,369	-251
14	252,578	252,538	-40
15	247,559	247,486	-73
16	278,166	278,167	1
17	286,809	286,740	-69
18	247,305	247,308	3
19	273,543	273,437	-106
20	272,505	272,447	-58
21	309,447	309,396	-51
22	315,388	315,367	-21
23	320,681	320,632	-49
24	337,433	337,426	-7
29	252,594	252,594	0
31	213,289	213,186	-103
32	232,992	232,881	-111
34	230,951	230,895	-56
36	234,540	234,575	35
37	231,789	231,854	65
38	226,628	226,695	67
40	233,996	234,064	67
41	233,090	233,128	38
43	243,224	243,257	33
45	251,269	251,239	-30
46	268,138	268,106	-32
47	271,766	271,752	-14
49	272,529	272,495	-33
50	282,975	282,942	-33
51	248,785	248,784	-2
52	238,337	238,332	-5
54	245,018	245,015	-2
55	246,097	246,087	-10

56	245,786	245,787	0
57	267,469	267,426	-43
58	271,188	271,162	-26
60	288,187	288,155	-32
61	248,758	248,749	-9
62	279,375	279,332	-42
63	295,594	295,589	-6
64	292,717	292,711	-6
65	277,462	277,331	-131
67	272,433	272,412	-21
68	264,706	264,679	-27
69	271,487	271,229	-258
70	250,954	250,916	-38
71	252,226	252,177	-49
73	267,021	266,988	-33
74	258,436	258,413	-23
75	256,274	256,193	-81
76	251,855	251,843	-12
77	265,035	265,025	-10
78	265,885	265,895	10
79	266,042	266,059	17
80	271,865	271,868	3
81	267,842	267,842	0
82	279,455	279,185	-270
83	262,964	262,962	-1
84	256,328	256,317	-11
85	264,166	264,139	-27
86	267,042	266,986	-56
87	270,711	270,714	3
88	269,399	269,357	-42
89	256,948	256,881	-67
90	275,439	275,440	1
91	271,121	271,106	-14
92	273,927	273,910	-17
93	254,126	254,104	-23
94	257,280	257,138	-141
95	268,853	268,810	-42
96	251,888	251,842	-47
97	237,825	237,758	-66
98	234,741	234,725	-16
99	231,376	231,302	-74
100	240,388	240,334	-55
102	241,992	241,671	-321
103	240,662	240,508	-154
104	243,556	243,537	-19
105	246,658	246,635	-23

106	259,499	259,475	-24
107	246,283	246,238	-45
109	245,330	245,320	-10
110	267,490	267,384	-106
111	269,459	269,415	-44
112	297,721	297,690	-31
113	249,924	249,888	-36
114	251,442	251,435	-7
115	261,095	261,013	-82
116	308,586	308,420	-166
117	300,368	300,215	-153
118	254,979	254,961	-18
119	254,064	254,079	14
120	323,226	323,212	-15
121	291,567	291,562	-6
122	236,583	236,544	-39
123	295,494	295,494	1
125	274,454	274,371	-83
126	291,783	291,757	-26
127	240,752	240,672	-80

4.1.2. Wielkoobszarowe przemieszczenia powierzchni wyznaczone metodą SBAS/SBAS+LD

Obszary górnicze

Globalne przemieszczenia powierzchni, występujące na obszarach górniczych, wyznaczone z przetwarzania obrazów SAR metodą SBAS oraz SBAS+LD, przedstawiono na załączniku mapowym nr 1 do niniejszego raportu. Zidentyfikowano 31 niecek obniżeniowych o wymiarach od 570 do 3700 m w kierunku północ-południe (N-S) i od 570 do 3100 m w kierunku wschód-zachód (E-W). Powierzchniowo największe niecki powstały na obszarach górniczych kopalni Budryk, ROW Ruch Marcel i Jankowice oraz kopalni Pniówek. Ich wymiary wyniosły odpowiednio 3200 m (N-S) i 2300 m (E-W), 3500 m (N-S) i 3000 m (E-W) oraz 2950 m (N-S) i 3400 m (E-W). Z przedstawionej mapy (zał. 1) wynika, że są to deformacje powierzchni składające się z 2 lub 3 mniejszych niecek obniżeniowych zlokalizowanych w bliskim sobie sąsiedztwie. W związku z tym, deformacje te są rezultatem eksploatacji więcej niż jednej parceli eksploatacyjnej. Przemieszczenia pionowe w zidentyfikowanych nieckach obniżeniowych mieściły się w zakresie od 0,02 m do 0,71 m. Największe, wynoszące 0,71 m, miały miejsce w obszarze górniczym kopalni Borynia-Zofiówka Ruch Zofiówka, w niecce zlokalizowanej w Jastrzębiu-Zdroju, rejon ul. Rybnickiej i Stodoły. Szczegółowe informacje o zidentyfikowanych nieckach obniżeniowych przedstawiono w tabeli 3. Ze względu na brak pomiarów referencyjnych nie było możliwe określenie wielkości przemieszczeń powierzchni w miejscu występowania 8 niecek obniżeniowych.

Tabela 3. Szczegółowe informacje o zidentyfikowanych nieckach obniżeniowych w II kwartale 2024 r.

L.p.	Lokalizacja	Kopalnia	Wymiary w kierunku N-S / E-W [m]	Obniżenie maksymalne, w_{max} [m]	Metoda identyfikacji
1	Bytom, rejon ul. Celnej	Z. G. Eko-Plus	570 / 570	0,02	InSAR-SBAS
2	Bytom, rejon ul. Warszawskiej	Bobrek-Piekary, Ruch Bobrek	1500 / 1600	0,32	InSAR-SBAS+LD
3	Przysowice, rejon ul. Gliwickiej	Sośnica	1600 / 1300	0,33	InSAR-SBAS+LD
4	Przysowice, rejon ul. Gierałtowskiej	Sośnica	1250 / 1200	0,34	InSAR-SBAS+LD
5	Gierałtowie, na południe od ul. Ks. W. Roboty	Szczygłowie-Knurów, Ruch Knurów	1800 / 3000	0,29	InSAR-SBAS+LD
6	Knurów, dzielnica Szczygłowie, na zachód od autostrady A1	Szczygłowie-Knurów, Ruch Knurów	1900 / 1550	bd*	InSAR-SBAS
7	Knurów, dzielnica Szczygłowie, rejon ul. Jagielnia	Szczygłowie-Knurów, Ruch Szczygłowie	1250 / 1250	bd	InSAR-SBAS
8	Czerwionka-Leszczyny, na wschód od ul. Ks. J. Pojdy	Szczygłowie-Knurów, Ruch Szczygłowie	1550 / 1800	bd	InSAR-SBAS
9	Paniówki, Paniowy, Chudów, Bujaków, rejon ul. Zaburskiej, Darwina, Chudowskiej i Przelotowej	Budryk	3700 / 2300	0,51	InSAR-SBAS+LD
10	Ornontowice, rejon ul. Spokojnej	Budryk	1800 / 1500	0,26	InSAR-SBAS+LD
11	Borowa Wieś, na północ od ul. Malinowej	Ruda, Ruch Bielszowice	1050 / 750	bd	InSAR-SBAS
12	Łaziska Górna, rejon ul. Torowej, Prądnej i Kolejowej	Bolestaw-Śmiały	1850 / 1850	0,45	InSAR-SBAS+LD
13	Rybnik, rejon ul. Makuszyńskiego	ROW, Ruch Chwałowice	1400 / 1550	0,21	InSAR-SBAS+LD
14	Rybnik, rejon ul. Przez Zwał i Koźdoniów	ROW, Ruch Chwałowice	1350 / 1700	0,14	InSAR-SBAS+LD
15	Markłowice, na północ od ul. Wyzwolenia	ROW, Ruch Marcel i Jankowice	3500 / 3000	0,52	InSAR-SBAS+LD
16	Radlin, na północ od ul. Rydułtowskiej	ROW, Ruch Rydułtowy	2300 / 2150	0,20	InSAR-SBAS+LD
17	Świerklany, rejon ul. Powstańców	Borynia-Zofiówka, Ruch Borynia	2000 / 1400	0,39	InSAR-SBAS+LD
18	Jastrzębie-Zdrój, rejon ul. Powstańców Śląskich	Borynia-Zofiówka, Ruch Borynia	1950 / 3100	bd	InSAR-SBAS

19	Jastrzębie-Zdrój, rejon ul. Rybnickiej i Stodoły	Borynia-Zofiówka, Ruch Zofiówka	1950 / 2000	0,71	InSAR-SBAS+LD
20	Pawłowice, rejon ul. Orlej i Kruczej	Pniówek	2950 / 3400	0,38	InSAR-SBAS+LD
21	Pawłowice, rejon ul. Wyzwolenia i Szybowej, na wschód od DK81	Pniówek	2800 / 2300	0,56	InSAR-SBAS+LD
22	Pszczyna, rejon ul. Spokojnej	P. G. Silesia	2350 / 1900	0,34	InSAR-SBAS+LD
23	Bestwina, ul. Wędkarska	P. G. Silesia	750 / 950	0,14	InSAR-SBAS+LD
24	Brzeszcze, rejon ul. Olszynki	Z. G. Brzeszcze	1050 / 800	0,40	InSAR-SBAS+LD
25	Bieruń, rejon ul. Jagiełły	Piast-Ziemowit, Ruch Piast	1550 / 1750	0,20	InSAR-SBAS+LD
26	Chełm Śląski, rejon ul. Chełmskiej i Górnośląskiej	Piast-Ziemowit, Ruch Piast	1700 / 1550	bd	InSAR-SBAS
27	Lędziny, rejon ul. Jagiellońskiej, Lędzińskiej i Pokoju	Piast-Ziemowit, Ruch Ziemowit	1400 / 1350	0,23	InSAR-SBAS+LD
28	Imielin, na południe od ul. Grzybowej	Piast-Ziemowit, Ruch Ziemowit	800 / 950	0,19	InSAR-SBAS+LD
29	Libiąż, rejon ul. Jaworowej	Z. G. Janina	1300 / 900	bd	InSAR-SBAS
30	Jaworzno, rejon ul. Herbowej	Z. G. Sobieski	2100 / 2500	0,50	InSAR-SBAS+LD
31	Katowice, na południe od ul. 73 Pułku Piechoty	Murcki-Staszic, Ruch Murcki i Ruch Staszic	1600 / 1800	bd	InSAR-SBAS

* - brak danych

Analiza otrzymanych rezultatów wykazała występowanie wypiętrzeń powierzchni w obszarze górniczym kopalni Jas-Mos. Wypiętrzenia dochodzą do 37 mm i zlokalizowane są w okolicach ul. Morcinka w miejscowości Mszana. W miejscu występowania zidentyfikowanych wypiętrzeń zlokalizowana jest hałda górnicza, co wskazuje, że mogą być one spowodowane nadsypywaniem hałdy materiałem pochodzącym z kopalni.

Ponadto, na obszarach górniczych GZW, zidentyfikowano również wahania gruntu przekraczające ± 15 mm. Ich charakterystyka, rozkład powierzchniowy oraz miejsce występowania (głównie obszary zalesione lub pola uprawne) wskazują na podwyższoną dekorelację sygnału, a w rezultacie, na obniżenie dokładności pomiarowej w tych miejscach, a nie na rzeczywiste ruchy powierzchni terenu. Nie można ich zatem klasyfikować jako przemieszczenia powierzchni spowodowane eksploatacją górniczą. W pozostałych rejonach obszarów górniczych GZW nie zidentyfikowano ruchów powierzchni gruntu, a zarejestrowane przemieszczenia mieściły się w granicach dokładnościowych zastosowanej technologii pomiarowej.

Tereny pogórnice

Globalne przemieszczenia powierzchni, występujące na terenach pogórnich, wyznaczone z przetwarzania zobrażeń SAR metodą SBAS, przedstawiono na załączniku mapowym nr 2 do niniejszego raportu. Analiza otrzymanych rezultatów nie wykazała znaczących przemieszczeń powierzchni, które w przeważającej większości nie przekroczyły ± 10 mm i mieściły się w granicach dokładnościowych zastosowanej technologii pomiarowej i metody przetwarzania. Lokalnie można zaobserwować przemieszczenia dochodzące do ± 30 mm. Są to jednak w rejonach o wysokiej wegetacji roślinnej (tereny zalesione, pola uprawne). Zatem ich lokalizacja oraz punktowy charakter wskazuje na podwyższoną dekorelację sygnału, a w rezultacie, na obniżenie dokładności pomiarowej, a nie na faktyczne przemieszczenia powierzchni. Wyjątkiem są przemieszczenia zlokalizowane na terenach pogórnich kopalń Makoszowy, Czczott oraz Jan Kanty. W pierwszych dwóch przypadkach są to fragmenty niecek obniżeniowych będących rezultatem eksploatacji prowadzonych w sąsiednich aktywnych obszarach górniczych, przez kopalnie, odpowiednio, Sośnica oraz Piast-Ziemowit Ruch Piast. W trzecim przypadku, na terenie pogórnym kopalni Jan Kanty, zidentyfikowano wypiętrzenia dochodzące do 27 mm. W rejonie ich występowania znajduje się Elektrownia Jaworzno. Mogą to być zatem wypiętrzenia pochodzenia przemysłowego (np. nadsypywanie hałd) lecz nie koniecznie związane z działalnością górniczą.

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 01.04.2024 do 30.06.2024 z wykorzystaniem permanentnych stacji GNSS przedstawiono na rysunku 11.



Rys. 11. Skumulowane poziome przemieszczenia powierzchni w 7-dniowym interwale czasowym, zmierzone metodą statyczną z wykorzystaniem permanentnych stacji GNSS, na punktach 201-207 w okresie 01.04.2024 – 30.06.2024.

Największe przemieszczenia poziome, wypadkowe w skali kwartału, wyniosło 141 mm w kierunku azymutu równego 328° i zostało zarejestrowane na punkcie nr 205. Ulegał on stopniowemu dziennemu przemieszczeniu dochodzącemu do 8 mm (do 13 mm w skali tygodnia) w kierunku północno-zachodnim. Z uwagi na brak pomiarów w okresie 01.04.2024 - 21.05.2024 na punkcie nr 204 i 205 z powodu serwisu aparatury pomiarowej, jako pomiar referencyjny przyjęto ostatni wykonany na tych punktach pomiar z dnia 22.03.2024 r. Pomiędzy 22.03.2024 r., a 21.05.2024 r. punkt nr 205 uległ przemieszczeniu równemu 97 mm. Poziome przemieszczenia powierzchni zarejestrowano również na punktach nr 201, 203, 204 oraz 206. W skali kwartału wyniosły one odpowiednio 10 mm, 11 mm, 43 mm oraz 19 mm w kierunku azymutów równych, odpowiednio, 168°, 97°, 117° oraz 69°. Dzielne przemieszczenia zarejestrowane na tych punktach dochodziły do 11 mm. Na pozostałych punktach pomiarowych o nr 202 i 207 również zarejestrowano przemieszczenia poziome, jednak nie przekroczyły one 5 mm w skali kwartału co mieści się w granicach dokładnościowych zastosowanej technologii pomiarowej. Można zatem uznać, że w rejonach lokalizacji punktów pomiarowych nr 202 i 207 nie wystąpiły przemieszczenia poziome powierzchni w II kwartale 2024 r. Poziome przemieszczenia powierzchni wraz z ich azymutem, zarejestrowane na poszczególnych punktach pomiarowych sieci GNSS GIG-PIB, zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Poziome przemieszczenia powierzchni, wypadkowe w skali kwartału, oraz ich azymut, zarejestrowane na poszczególnych punktach sieci GNSS GIG-PIB, z wykorzystaniem permanentnych stacji GNSS, w II kwartale 2024 r.

Nr pkt	Przemieszczenie poziome, u [mm]	Azymut przemieszczenia [°]
201	10	168
202	1	112
203	11	97
204	43	117
205	141	328
206	19	69
207	5	123

Na pozostałych punktach pomiarowych sieci GNSS GIG-PIB, o numerach 0 - 127, wykonano dwie kampanie pomiarowe w dniach 9-13 maja br. oraz 25-28 czerwca br. Zakres zmierzonych przemieszczeń mieścił się w przedziale od 2 mm do 161 mm. Największe przemieszczenia poziome, wynoszące 161 mm w kierunku azymutu równemu 1°, miało miejsce na punkcie nr 69 zlokalizowanym w obszarze górniczym kopalni ROW Ruch Marcel i Jankowice, w gminie Markłowice przy ul. Rzemieślniczej. Znaczące przemieszczenia poziome, przekraczające 100 mm, wystąpiły również na punkcie nr 82, zlokalizowanym w obszarze górniczym kopalni Borynia-Zofiówka, Ruch Zofiówka, w Jastrzębiu-Zdroju przy Drodze Głównej Południowej - DK933. Wyniosły one 135 mm w kierunku azymutu równemu 146°. Na pozostałych punktach pomiarowych zidentyfikowano poziome przemieszczenia powierzchni nie przekraczające 100 mm lub ogólnie mieszające się w granicach dokładnościowych

zastosowanej technologii pomiarowej, to jest 10 mm. Szczegółowy wykaz przemieszczeń poziomych, wraz z ich azymutem, zmierzonych na każdym punkcie pomiarowym zamieszczono w tabeli 5.

Tabela 5. Poziome przemieszczenia powierzchni, wraz z azymutem, zmierzone na punktach pomiarowych sieci GNSS GIG-PIB metodą RTK, w okresie 09-13.05.2024 – 25-28.06.2024 r.

Data pomiaru	09-13.05.2024		25-28.06.2024		Przemieszczenia poziome, u [mm]	Azymut przemieszczenia [°]
	Nr	X [m]	Y [m]	X [m]		
0	5580839,430	6561331,787	5580839,415	6561331,785	15	188
1	5580721,832	6561797,301	5580721,842	6561797,291	14	312
2	5580578,839	6561353,183	5580578,882	6561353,184	43	2
3	5580308,262	6561386,195	5580308,301	6561386,206	40	16
4	5580456,306	6561985,943	5580456,320	6561985,946	14	13
5	5580132,594	6561893,613	5580132,603	6561893,606	12	323
6	5579781,142	6560264,195	5579781,120	6560264,213	28	140
7	5566144,671	6557922,751	5566144,711	6557922,771	45	27
8	5566135,924	6558330,635	5566135,938	6558330,638	14	11
11	5566651,411	6560572,378	5566651,390	6560572,394	26	142
12	5565022,189	6556179,145	5565022,194	6556179,100	45	276
14	5563758,967	6556061,898	5563758,978	6556061,912	18	54
15	5563892,946	6556325,566	5563892,955	6556325,582	18	62
16	5562310,268	6557416,898	5562310,269	6557416,879	19	273
17	5562110,198	6556526,204	5562110,201	6556526,214	11	76
18	5562776,032	6553718,024	5562776,022	6553718,021	10	197
19	5560533,018	6553205,694	5560533,029	6553205,666	30	291
20	5560599,641	6552982,047	5560599,630	6552982,056	14	144
21	5558454,151	6558530,414	5558454,161	6558530,442	30	70
22	5558199,270	6558936,803	5558199,262	6558936,795	11	227
23	5558103,708	6558793,671	5558103,767	6558793,688	61	16
24	5557911,405	6558020,127	5557911,455	6558020,131	49	4
29	5562530,950	6553930,783	5562530,954	6553930,771	12	286
31	5569031,233	6552335,608	5569031,221	6552335,586	25	241
32	5566983,493	6552557,409	5566983,465	6552557,443	43	129
34	5564697,594	6551307,315	5564697,580	6551307,327	18	140
36	5560414,266	6546381,196	5560414,252	6546381,193	15	194
37	5560924,965	6546510,446	5560924,956	6546510,451	10	151
38	5561387,234	6546556,710	5561387,207	6546556,716	28	169
40	5563367,154	6545681,668	5563367,148	6545681,665	7	207
41	5563421,291	6545809,218	5563421,266	6545809,210	26	199
43	5550014,701	6540167,437	5550014,686	6540167,449	20	142
45	5549096,681	6540327,433	5549096,688	6540327,407	26	285
46	5549352,283	6539750,477	5549352,279	6539750,477	3	174
47	5548229,919	6540562,794	5548229,899	6540562,792	20	185
49	5547724,445	6541073,407	5547724,452	6541073,420	15	60
50	5547219,174	6540865,803	5547219,193	6540865,780	30	309
51	5547140,836	6540298,297	5547140,832	6540298,289	9	243
52	5547117,984	6538809,479	5547117,969	6538809,480	15	176
54	5546852,637	6538437,321	5546852,640	6538437,324	5	42
55	5546345,791	6538309,684	5546345,780	6538309,689	13	157

56	5546084,224	6538295,446	5546084,231	6538295,450	8	24
57	5549642,100	6532913,887	5549642,110	6532913,899	16	51
58	5549403,896	6532754,001	5549403,894	6532753,995	6	248
60	5547737,973	6533690,930	5547737,976	6533690,934	5	55
61	5548180,817	6533950,534	5548180,827	6533950,537	10	21
62	5546562,277	6532596,842	5546562,277	6532596,835	7	273
63	5546931,448	6532585,245	5546931,450	6532585,243	3	303
64	5547137,182	6533040,253	5547137,181	6533040,252	2	202
65	5544624,627	6536994,887	5544624,597	6536994,934	56	123
67	5543753,051	6537059,233	5543753,048	6537059,237	6	130
68	5543593,358	6537421,504	5543593,356	6537421,514	10	102
69	5542660,045	6538132,653	5542660,207	6538132,656	161	1
70	5543271,142	6538218,441	5543271,117	6538218,464	34	137
71	5543727,002	6538271,436	5543726,977	6538271,458	33	138
73	5543627,238	6539036,669	5543627,206	6539036,659	34	197
74	5542309,061	6538595,620	5542309,075	6538595,604	21	312
75	5541301,339	6542872,385	5541301,308	6542872,374	33	198
76	5539239,941	6542867,757	5539239,947	6542867,746	13	302
77	5539162,590	6543826,451	5539162,601	6543826,451	12	358
78	5539258,394	6544359,044	5539258,403	6544359,036	12	319
79	5539297,958	6545013,086	5539297,933	6545013,097	27	156
80	5538496,912	6545204,090	5538496,912	6545204,067	23	269
81	5538248,161	6545322,460	5538248,171	6545322,449	14	311
82	5537390,800	6543845,122	5537390,689	6543845,198	135	146
83	5539634,637	6545846,632	5539634,602	6545846,590	54	230
84	5539518,656	6548433,672	5539518,641	6548433,672	15	179
85	5537632,142	6548554,085	5537632,092	6548554,088	51	176
86	5537029,621	6547572,672	5537029,636	6547572,644	32	298
87	5536847,516	6547786,467	5536847,516	6547786,448	19	269
88	5537019,947	6547242,628	5537019,953	6547242,613	17	293
89	5536057,861	6546939,182	5536057,921	6546939,155	65	336
90	5535213,806	6546679,298	5535213,813	6546679,283	17	296
91	5536432,204	6548122,103	5536432,207	6548122,098	6	294
92	5536671,824	6548533,905	5536671,803	6548533,893	24	210
93	5535953,066	6549004,715	5535953,072	6549004,715	6	3
94	5537421,374	6552189,364	5537421,393	6552189,366	19	8
95	5537846,919	6551653,430	5537846,952	6551653,481	61	57
96	5536695,973	6570789,486	5536695,945	6570789,489	28	175
97	5540476,932	6581073,003	5540476,889	6581072,991	45	196
98	5541024,924	6581213,881	5541024,918	6581213,892	13	118
99	5548123,685	6583357,946	5548123,711	6583357,932	29	332
100	5550258,232	6584200,260	5550258,238	6584200,305	46	82
102	5551458,472	6586068,119	5551458,411	6586068,170	79	140
103	5551410,028	6586361,211	5551410,007	6586361,142	72	254
104	5552549,816	6597916,497	5552549,815	6597916,485	11	265
105	5551798,879	6597364,691	5551798,874	6597364,679	13	247
106	5551035,352	6597183,424	5551035,325	6597183,428	28	170
107	5555739,050	6584920,694	5555739,024	6584920,692	26	184
109	5555487,342	6585623,361	5555487,327	6585623,341	24	232
110	5554361,998	6579646,622	5554361,977	6579646,633	23	154
111	5554503,110	6579667,897	5554503,067	6579667,903	44	173

112	5554519,302	6578878,913	5554519,282	6578878,908	20	193
113	5555589,452	6578287,304	5555589,443	6578287,321	19	121
114	5556068,019	6578610,862	5556068,017	6578610,873	11	99
115	5556141,507	6579386,118	5556141,471	6579386,091	45	217
116	5560651,244	6595763,640	5560651,277	6595763,630	34	342
117	5560993,420	6595620,618	5560993,398	6595620,620	22	176
118	5560960,962	6579423,189	5560960,948	6579423,194	15	160
119	5561719,280	6584463,027	5561719,293	6584463,020	15	329
120	5563977,240	6574352,098	5563977,227	6574352,084	19	228
121	5565739,816	6571714,080	5565739,817	6571714,095	15	86
122	5535186,908	6574715,900	5535186,920	6574715,917	21	53
123	5561474,896	6595624,884	5561474,892	6595624,881	5	214
125	5552709,336	6596685,918	5552709,333	6596685,939	22	98
126	5552663,717	6596099,223	5552663,711	6596099,229	9	133
127	5540113,161	6581420,110	5540113,165	6581420,093	18	282

5. Podsumowanie

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

1. Na obszarach górniczych GZW, w II kwartale 2024 r., zidentyfikowano 31 obszarów, na których wystąpiły deformacje górnicze w postaci niecek obniżeniowych. Ich rozmiar mieścił się w zakresie od 570 m do 3700 m w kierunku północ-południe oraz od 570 m do 3100 m w kierunku wschód-zachód.
2. Na obszarach górniczych GZW, w II kwartale 2024 r., zidentyfikowano 1 obszar, na którym wystąpiły deformacje górnicze w postaci wypiętrzeń powierzchni.
3. Największe zidentyfikowane obniżenie powierzchni, na obszarach górniczych GZW, wyniosło 0,71 m i miało miejsce w miejscowości Jastrzębie-Zdój, w okolicach skrzyżowania ulic Rybnickiej, Gagarina i Pochwacie.
4. Największe zidentyfikowane przemieszczenie poziome powierzchni, na obszarach górniczych GZW, wyniosło 0,16 m w kierunku azymutu równemu 1° i miało miejsce w miejscowości Markłowice, w rejonie ul. Rzemieślniczej.
5. Zidentyfikowane wypiętrzenie powierzchni, na obszarach górniczych GZW, wyniosło 0,04 m i miało miejsce w miejscowości Mszana, w okolicach ul. Morcinka.
6. Na terenach pogórniczych GZW, w II kwartale 2024 r., nie wystąpiły przemieszczenia powierzchni spowodowane działalnością górniczą.

Dokładność pomiarów:

- metoda SBAS – $\pm 1,5$ cm; metoda SBAS+LD – ± 10 cm;
- pomiary GNSS – pionowo: $\pm 1,5$ cm, poziomo: ± 1 cm;
- zasięg niecek obniżeniowych – ± 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 pogórnicznych 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. *Eksploracja 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.