



Państwowy Instytut Geologiczny  
Państwowy Instytut Badawczy

państwowa służba geologiczna  
państwowa służba hydrogeologiczna



## Interferometryczny Monitoring Terenu Polski etap I

Mapa deformacji terenów mogących powodować szkody w środowisku i zniszczenia infrastruktury technicznej obszaru Górnośląskiego Zagłębia Węglowego wykonana w oparciu o dostępne satelitarne dane archiwalne obejmujące okres 1992- 2017 r. **Objaśnienia**

### Nadzorujący:

Minister Klimatu i Środowiska  
ul. Wawelska 52/54, 00-922 Warszawa

### Dotujący:

Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej  
ul. Konstruktorska 3A, 02-673 Warszawa

### Wykonawca:

Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut  
Badawczy  
ul. Rakowiecka 4, 00-975 Warszawa



### Osoba sporządzająca raport:

**Zbigniew PERSKI**

Imię i nazwisko

Podpis

### Kierownik komórki organizacyjnej:

### Dyrektor/Dyrektor pionu:

Pieczętka i podpis

Pieczętka i podpis

Warszawa, dn. 30.12.2020 r.

Szczegóły dokumentu:

EFEKT RZECZOWY Z REALIZACJI ZADANIA  
Z ZAKRESU PAŃSTWOWEJ SŁUŻBY GEOLOGICZNEJ  
*za okres: od 1 stycznia 2018 r do 31 grudnia 2020 r.*

w ramach umowy dotacji 194/2018/Wn-07/FG-go-dn/D z dnia 23.08.2018 r.

Autorzy	Dr Zbigniew Perski Mgr inż. Zbigniew Kowalski Dr Maria Przyłucka Mgr Dorota Jania Jacek Dacka Dr Tomasz Wojciechowski Dr Piotr Nescieruk Mgr Marcin Wódka Mgr inż. Bartłomiej Warmuz
Uwagi	Raport sporządzono w lipcu 2019 r. Aktualizacja: grudzień 2020 r.

## Spis treści

1	Wstęp.....	4
2	Charakterystyka obszaru .....	4
2.1	Eksploatacja górnicza na obszarze GZW .....	4
2.2	Wpływ dokonanej eksploatacji podziemnej na powierzchnię terenu GZW .....	5
3	Składowe mapy i ich przygotowanie .....	6
3.1	Historyczne niecki obniżeniowe (lata ~1883 – 2013).....	6
3.2	Średnie dobowe przyrosty osiadań (lata 1993 – 2010),.....	9
3.3	Prędkość deformacji (lata 2014 – 2017).....	12
4	Interpretacja mapy deformacji.....	14
5	Literatura .....	16

## 1 Wstęp

Tekst niniejszy stanowi objaśnienia do mapy deformacji terenów mogących powodować szkody w środowisku i zniszczenia infrastruktury technicznej obszaru Górnośląskiego Zagłębia Węglowego wykonanej w oparciu o dostępne satelitarne dane archiwalne obejmujące okres 1992 – 2017. Celem mapy było podsumowanie dotychczasowych prac prowadzonych w ramach zadania InMoTeP dla tzw. terenu o szczególnym znaczeniu jakim jest Górnośląskie Zagłębie Węglowe. Na potrzeby opracowania składowych mapy przeprowadzono przetworzenie serii archiwalnych danych satelitarnych radarowych oraz opracowanie historycznych, numerycznych modeli terenu.

## 2 Charakterystyka obszaru

Górnośląskie Zagłębie Węglowe jest jednym z największych zagłębi węglowych w Europie. Jego powierzchnia wynosi ok. 6000 km<sup>2</sup> z czego w granicach Polski znajduje się 5800 km<sup>2</sup>. GZW to w przybliżeniu trójkątny obszar położony pomiędzy Tarnowskimi Górami, Ostrawą i Skawiną należący w sensie geograficznym do Wyżyny Śląskiej. Geologicznie, obszar GZW stanowi nieckę wypełnioną molasą węglonośną wieku górnokarbońskiego – namuru, westfalu i częściowo stefanu. Utwory węglonośne tworzą naprzemianległe sekwencje piaskowców mułowców i iłowców zawierające liczne pokłady węgla (Konstantynowicz 1994).

### 2.1 Eksploatacja górnicza na obszarze GZW

Rozmieszczenie eksploatacji węgla na terenie GZW jest uzależnione od czynników geologicznych: głębokości występowania bilansowych pokładów węgla pod powierzchnią terenu oraz tektonicznych i hydrogeologicznych. Pod koniec lat '90 XX w., zagospodarowanie górniczne powierzchni GZW tworzyło 70 obszarów górnicznych kopalń i pól rezerwowych. Średnie roczne wydobycie rosło od ok. 41 mln t w 1920, 104 mln t w 1960, osiągając maksymalną wartość 193 mln t w 1980 roku. W roku 1996 eksploatację prowadziło 65 kopalń wydobywając 130 mln t węgla. W roku 1997 wydobycie wynosiło 137,13 mln t, a 122,7 mln t w roku 1998 i było prowadzone przez 54 kopalnie. Głębokość eksploatacji wynosi obecnie 600-1300 m i obniża się o ok. 10 m rocznie.

Eksploatację węgla najwcześniej rozpoczęto na wychodniach utworów karbońskich położonych na elewacjach powierzchni terenu z uwagi na ich najkorzystniejsze warunki hydrogeologiczne. Eksploatowano z reguły grube pokłady, np. pokład 510 w Katowicach Węlnowcu i Dąbrowie Górniczej. Współczesne rozmieszczenie rejonów czynnej eksploatacji jest uwarunkowane stopniem wyeksploatowania najkorzystniej położonych złóż. W chwili obecnej wydobyte prowadzi się: na obszarze siodła głównego w obrębie równoleżnikowego pasa Bielszowice – Halemba – Katowice – Murcki – Tychy, oraz na obszarze południowego skrzydła niecki Bytomskiej w pasie:– Bytom – Piekary Śląskie. W rejonie ROW (Rybnicki Okręg Węglowy) jest to obszar: Rybnik – Rydułtowy – Wodzisław – Żory.

Eksploatację węgla kamiennego w GZW prowadzi się systemem ścianowym, w przeważającej mierze z zawałem stropu (85 %) lub z podsadzką hydrauliczną (15%). Długości ścian eksploatacyjnych wynoszą 100-200 m, a ich postęp wynosi przeciętnie 40 m miesięcznie (Kwiatek 1997). Największe długości ścian eksploatacyjnych - 275 m zastosowano w latach 1991-1993 na KWK Staszic o postępie do 200 m na miesiąc (Kowalski 1996).

## **2.2 Wpływ dokonanej eksploatacji podziemnej na powierzchnię terenu GZW**

Według obecnych szacunków w wyniku prowadzonej w GZW eksploatacji wpływami bezpośrednimi jest objęta powierzchnia ok. 650 km<sup>2</sup> a wpływami pośrednimi górnictwa ok. 1000 km<sup>2</sup> (Majde et al. 1991). Dotychczasowa eksploatacja, której przeciętna, sumaryczna miąższość wyeksploatowanych pokładów wynosi ponad 30 m, wywołała przeciętne obniżenie terenu o 20-25 m (Konstantynowicz 1994). Wieloletnie osiadania osiągają takie wartości w wielu rejonach GZW. Dla większej części obszaru GZW obniżenia osiągnęły 0.5-1.0 m, a w skrajnych przypadkach wynoszą one nawet 30 – 40 m (Łabanowicz 1991) Największe przyrosty osiadań były notowane w latach 70, podczas intensywnej eksploatacji w filarze ochronnym Bytomia (Ćmiel 1995). Notowano wówczas średnie dobowe przyrosty osiadań do 5 mm. W wyniku dokonanej eksploatacji duże obszary gruntów zostały trwale przekształcone: ok. 20 km<sup>2</sup> powierzchni GZW zajmują hałdy, 60 km<sup>2</sup> zwałowiska i wysypiska podziemne – tj. wypełniające górnicze niecki osiadań, 4,5 km<sup>2</sup> zapadliska i obszary tworzących się wciąż niecek osiadań. Na obszarze GZW ok. 13 tys. ha gruntów zostało w różny sposób przekształconych w wyniku eksploatacji surowców mineralnych w kopalniach odkrywkowych. Zmianami hydrologicznymi zostało dotkniętych w GZW 50 km<sup>2</sup> użytków

rolnych (Majde et al. 1991), w tym obszar podmokłości poeksploatacyjnych ocenia się na 12 km<sup>2</sup>.

Oprócz obniżzeń, na powierzchni terenu występują również progi oraz zapadliska. Szczególnie podatne na tego typu zjawiska są rejony płytkiej eksploatacji oraz występowania starych zrobów (Kwiatek 1997), reaktywowanych w wyniku późniejszej eksploatacji lub prac budowlanych. W GZW zjawiska te stanowią zagrożenie dla obszaru Zabrze, Rudy Śląskiej, Chorzowa oraz Sosnowca.

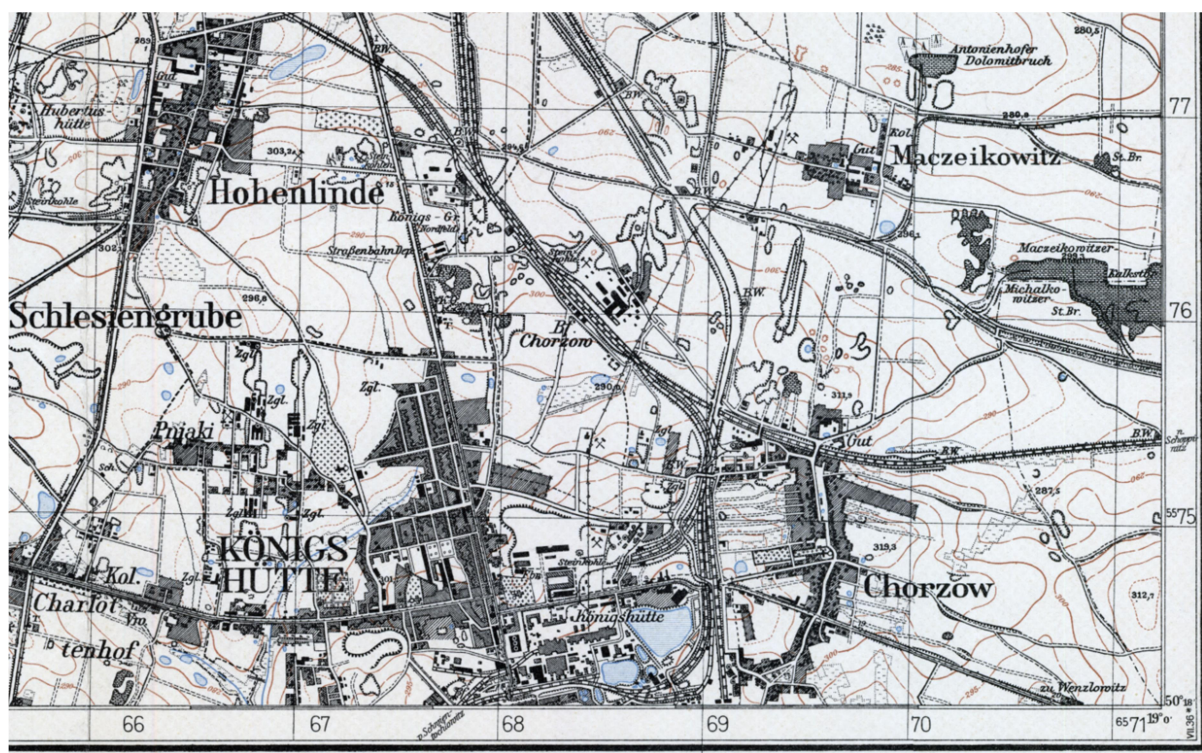
### **3 Składowe mapy i ich przygotowanie**

Na główną treść mapy składają się 3 warstwy tematyczne: historyczne niecki obniżeniowe (lata 1883 – 2013), średnie dobowe przyrosty osiadań (lata 1993 – 2010), prędkość deformacji (lata 2014 – 2017).

#### **3.1 Historyczne niecki obniżeniowe (lata ~1883 – 2013)**

Z dotychczas publikowanych materiałów (zob. rozdz. 2.2) wynika, że kilkusetletnia historia eksploatacji węgla pozostawiła po sobie rozległe niecki osiadań o głębokości sięgającej dziesiątek metrów. Wykonany w 2013 r. nalot LIDAR-owy na potrzeby projektu ISOK pozwolił na opracowanie jednolitego i spójnego czasowo numerycznego modelu powierzchni terenu (NMT) dla niemal całego kraju. Dla obszaru GZW, model ten przyjęto jako dane referencyjne. Jeśli dane te porównać z NMT wykonanym na bazie danych historycznych odpowiednio odległych w czasie, wówczas, nawet zakładając błędy i niedoskonałości danych historycznych obraz niecek obniżeniowych powinien być czytelny. Idąc drogą takich założeń, dla uzyskania historycznego NMT zdecydowanie się na digitalizację rysunku poziomicowego z niemieckich map topograficznych 1: 25 000 tzw. Messtischblatt. Charakteryzują się bardzo wysoką szczegółowością i dokładnością odwzorowania topografii terenu. Messtischblatly wydawane były od schyłku XIX wieku do 1944 roku. Są uznawane za jedno z najlepszych źródeł informacji na temat przeobrażania się przestrzeni, które zaszły w przyrodzie przez ostatnie 120 lat. Mapy te wykonywane były w oparciu o odwzorowanie wielościenne a od 1919 roku Gaussa-Kruger. Wprowadzono również siatkę kilometrową. Jako południk zerowy przyjęto Greenwich. Odwzorowanie to można łatwo wprowadzić do systemów GIS a szczegóły topograficzne porównane z mapami

współczesnymi pokazują dobrą zgodność co świadczy o dobrej dokładności. W pracach wykorzystano 25 arkuszy map pokrywających teren największych zasięgów obszarów górniczych z końca lat 1990. Do digitalizacji rysunku poziomicowego brano dostępne arkusze o jak najlepszej dostępnej jakości. Skany map pozyskano z domeny publicznej (mapywig.org). Warto podkreślić, że dla badanego obszaru zdjęcie stolikowe wykonano w latach 1881 – 1883. Uaktualnienia wykonywane dla późniejszych wydań dotyczą głównie zmian użytkowania terenu (budynki drogi, tereny przemysłowe itp.), rysunek poziomicowy pozostawał w zasadzie nie zmieniony (Rys. 1). Z tego powodu przyjęto rok 1883 jako datę wykonania dla NMT historycznego.



Rys. 1. Fragment mapy 1: 25 000 Messtischblatt (arkusz 5679 Beuten) wydanej w 1936 r.

Na podstawie zdigitalizowanego rysunku poziomicowego obliczono NMT historyczny. Dla uśrednienia drobnych błędów digitalizacji w przebiegu poziomic przyjęto rozmiary piksela NMT 20 x 20 m. Do takich samych rozmiarów piksela zdegradowano również współczesne dane ISOK. Warto w tym miejscu zauważyć, że oba zbiory posługują się różnymi systemami wysokości (Czerny 2015):

- NMT<sub>1883</sub> – *Normalnull (NN)*, dokładnie 37 m poniżej punktu znajdującego się w Obserwatorium Berlińskim w 1879 r. Punkt ten wyznaczono metodą niwelacji precyzyjnej względem średniego poziomu Morza Północnego w Amsterdamie.

- NMT<sub>2013</sub> – poziom Morza Bałtyckiego w Kronsztadzie (różnica wysokości względem NN – ok. 15 cm).

Różnica ta (pomimo iż jest zaniedbywalna) została uwzględniona w opracowaniu mapy różnicowej. Mapa różnicowa powstała zatem wg. następującego wzoru:

$$NMT_R = NMT_{2013} - (NMT_{1883} - 0.15)$$

Wynikowy NMT<sub>R</sub> ukazuje ponad 100 letni obraz zmian wysokościowych wynikających przede wszystkim z rozwoju niecek osiadań. Otrzymano też dość duże różnice w dolinach cieków, jednak one wynikają z błędów NMT<sub>1883</sub> powstałych wskutek braku w tych miejscach rysunku poziomicowego. NMT<sub>R</sub> ujawnia również obszary dla których powierzchnie terenu uległa podniesieniu. Są to przede wszystkim obszary składowisk odpadów powydobywczych oraz różnego rodzaju sztuczne nasypy.

Występowanie rozległych, regularnych niecek obniżeniowych lokuje się w równoleżnikowych strefach: północnym (Bytom – Dąbrowa Górnicza) oraz południowym (Knurów – Ruda Śląska – Mysłowice), a także w rejonie Rybnik-Rydułtowy. Obraz taki wynika z prowadzenia regularnej, wysokowydajnej eksploatacji ścianowej w latach 1960-1990 (Rys. 2). Głębokość niecek osiadań sięga tam nawet 33m (rejon Bytomia). Obecność niewielkich, nieregularnych niecek obniżeniowych w środkowej części obszaru (rejon Bielszowice. Nowy Bytom, Halemba, Chorzów) to prawdopodobnie pozostałość po płytkiej eksploatacji prowadzonej systemem filarowo komorowym przez szereg niezależnych, małych zakładów górniczych w początkach XX wieku.





Rys. 2. Wizualizacja  $NMT_R$  na tle cieniowanego reliefu  $NMT_{2013}$ . Kolory niebieskie oznaczają niecki obniżeniowe, kolor czerwony (dodatnie różnice) pokazuje haldy i nasypy

### 3.2 Średnie dobowe przyrosty osiadań (lata 1993 – 2010),

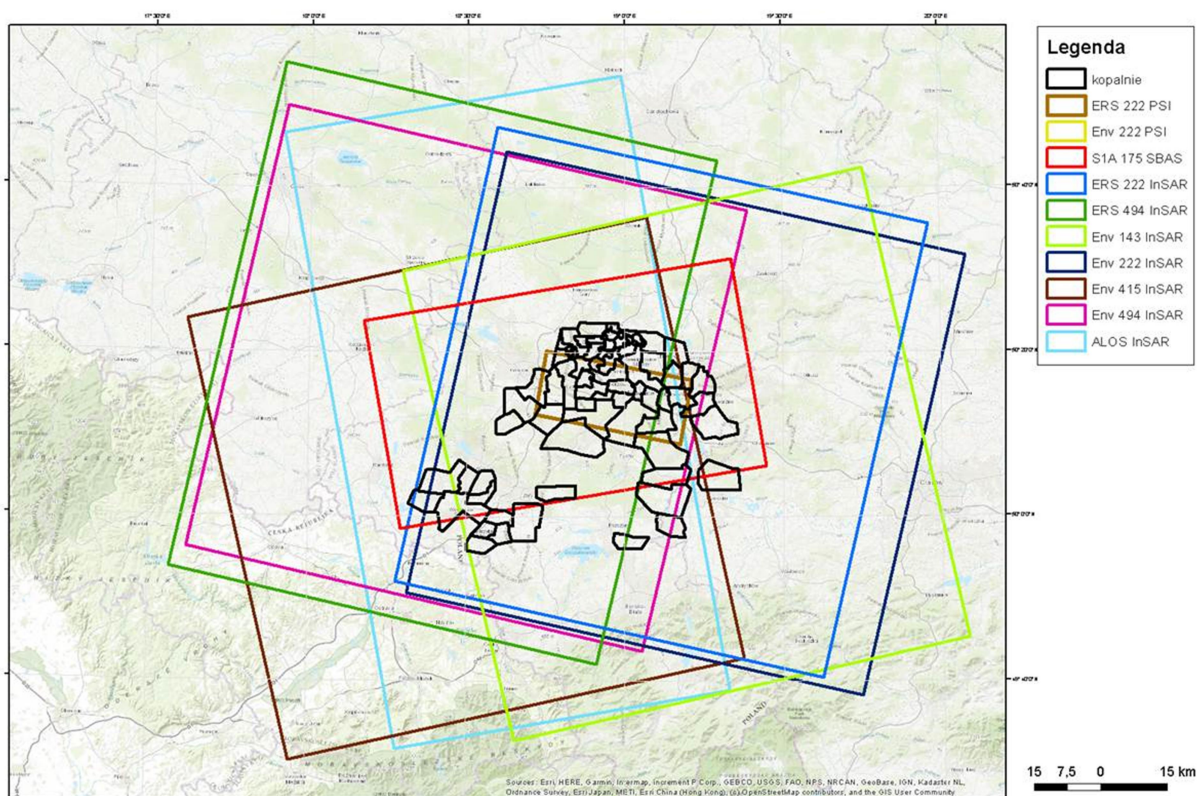
Warstwa ta pokazuje dynamikę zmian powierzchni terenu jednocześnie w sposób jakościowy pozwala wyodrębnić obszary, na których obniżenia osiągały największe wartości, czyli miejsca najbardziej narażone na występowanie szkód w obrębie zabudowań i infrastruktury.

Dane dla utworzenia tej warstwy zostały pozyskane na bazie interferometrycznego przetwarzania satelitarnych zobrażeń radarowych. Dla obszaru GZW dysponowano trzema zbiorami zobrażeń (Tab.1). Z danych ALOS PalSAR ostatecznie zrezygnowano z uwagi na małą liczbę dostępnych scen. Ponadto dane te pokrywały one ten sam czasookres co dane Envisat-1.

Tabela 1. Zbiory obrazowań SAR

Satelita	Liczba scen	Okres
ERS-1/2	70	17.05.1992 – 20.12.2000
Envisat	31	05.02.03.2003 – 29.09.2010
ALOS PalSAR	5	22.02.2007 – 27.05.2008

Zasięgi poszczególnych scen satelitarnych przedstawia Rys. 3.



Rys. 3. Zasięgi archiwalnych scen satelitarnych radarowych z lat 1992-2010

Przeprowadzone przetwarzanie danych ERS i Envisat metodą PSI wykazało małą liczbę punktów występujących jedynie na terenach zurbanizowanych i wykazujących niewielkie przemieszczenia. Aby natomiast uzyskać obraz dynamiki przemieszczeń zdecydowano przeprowadzić analizę pojedynczych interferogramów (Tab. 2, 3). W tym celu wybrano interferogramy o najlepszej koherencji, które następnie poddano filtracji (metodą Goldstein'a). Niestety, nie udało się uzyskać dobrej jakości interferogramu dla roku 1992. Następnie, interferogramy poddano analizie w celu wyznaczenia granic prążków

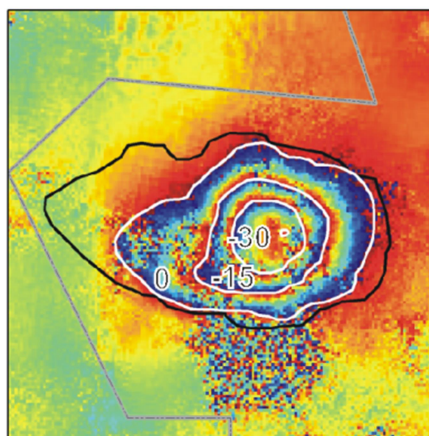
interferometrycznych, które z kolei poddano digitalizacji i zamianie na wartości przemieszczeń (Rys. 4).

*Tabela 2. Pary zobrazowań wykorzystane do analizy InSAR dla satelity ERS*

Id	Data	Satelita i ścieżka
1	19930730_19930903	ERS 494
2	19930903_19931008	ERS 494
3	19980817_19980921	ERS 494
4	19990524_19990628	ERS 494
5	19990609_19990714	ERS 222
6	19990922_19991027	ERS 222
7	20000628_20000802	ERS 222
8	20000925_20001030	ERS 494
9	20001030_20001204	ERS 494

*Tabela 3. Pary zobrazowań wykorzystane do analizy InSAR dla satelity ENVISAT*

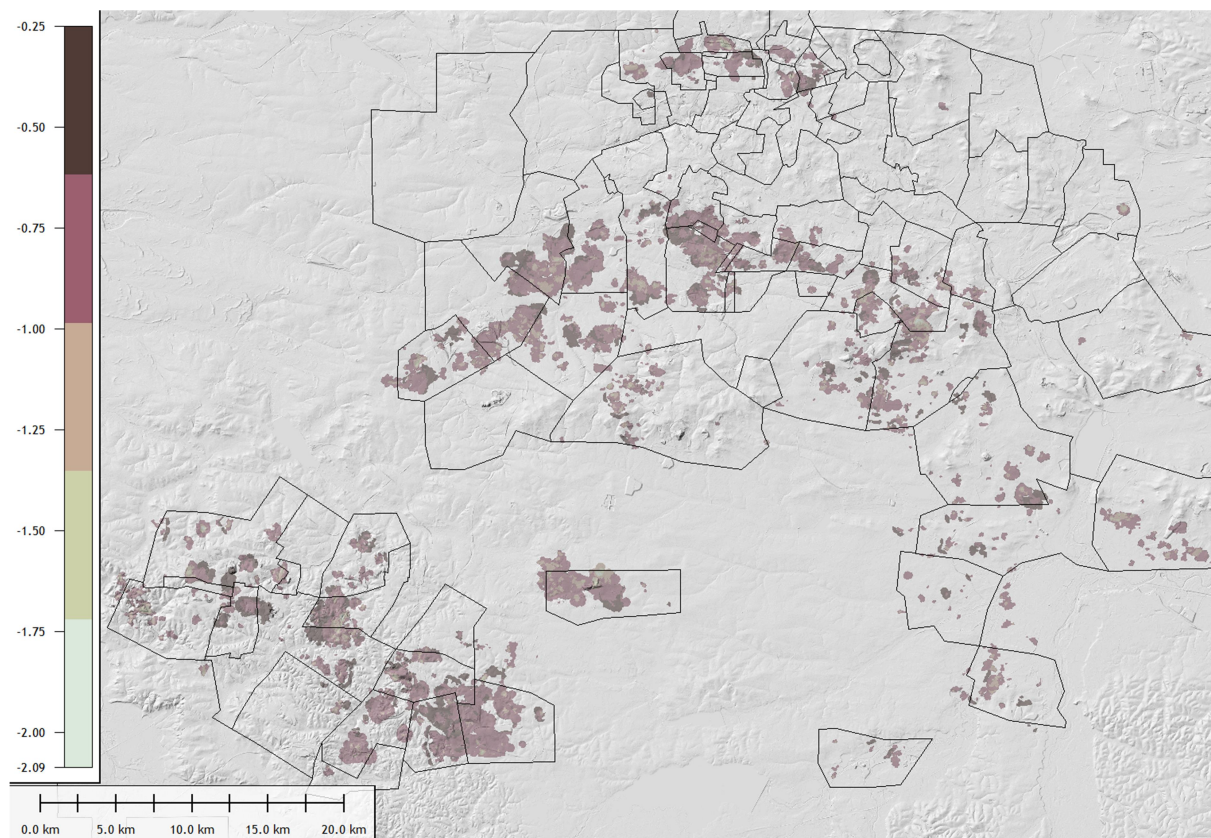
Id	Data	Satelita i ścieżka
1	20040422_20040527	Env 143
2	20040701_20040805	Env 143
3	20040805_20040909	Env 143
4	20041102_20050111	Env 415
5	20041108_20050117	Env 494
6	20050111_20050426	Env 415
7	20070418_20070523	Env 222
8	20070523_20070627	Env 222
9	20080311_20080415	Env 415
10	20100531_20100705	Env 494



*Rys. 4. Przykład digitalizacji prążków interferometrycznych*

Po digitalizacji otrzymano 19 map wektorowych przedstawiające izoliny przyrostów osiadań za 35, 70 i 105 dni w zależności od użytego interferogramu (Tab. 2 i 3). W następnej kolejności, na bazie map izoliniowych wykonano numeryczne modele przyrostów osiadań (NMPO), które po podzieleniu przez liczbę dni bazy czasowej pozwoliły na otrzymanie map

dobowych przyrostów dla każdego interferogramu. Dla lepszego zwizualizowania wyników obliczono mapę średnich przyrostów dobowych osiadań [mm/dobę] obliczając średnia arytmetyczną dla całego zestawu danych (Rys. 5)



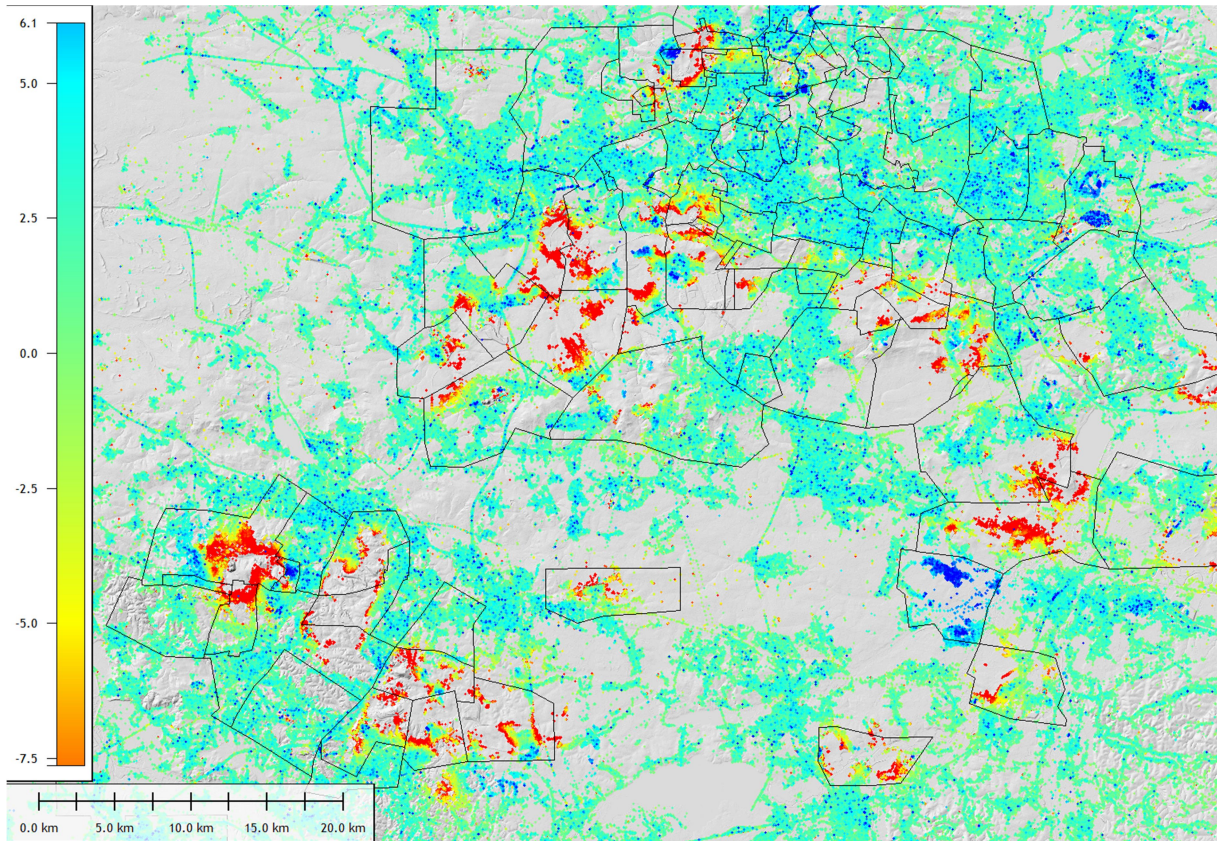
Rys. 5. Średnie dobowe przyrosty osiadań [mm] w okresie 1993 – 2010

Zbiór ten obrazuje obszary, w których dochodziło do dobowych przyrostów osiadań w zakresie od 0,25 mm do nawet 2 mm dobowo. Tak duża dynamika świadczy, że rejon te mogły być narażone na powstawanie deformacji nieciągłych, uszkodzenia infrastruktury przesyłowej, komunikacyjnej, budynków jak i obiektów przemysłowych.

### 3.3 Prędkość deformacji (lata 2014 – 2017)

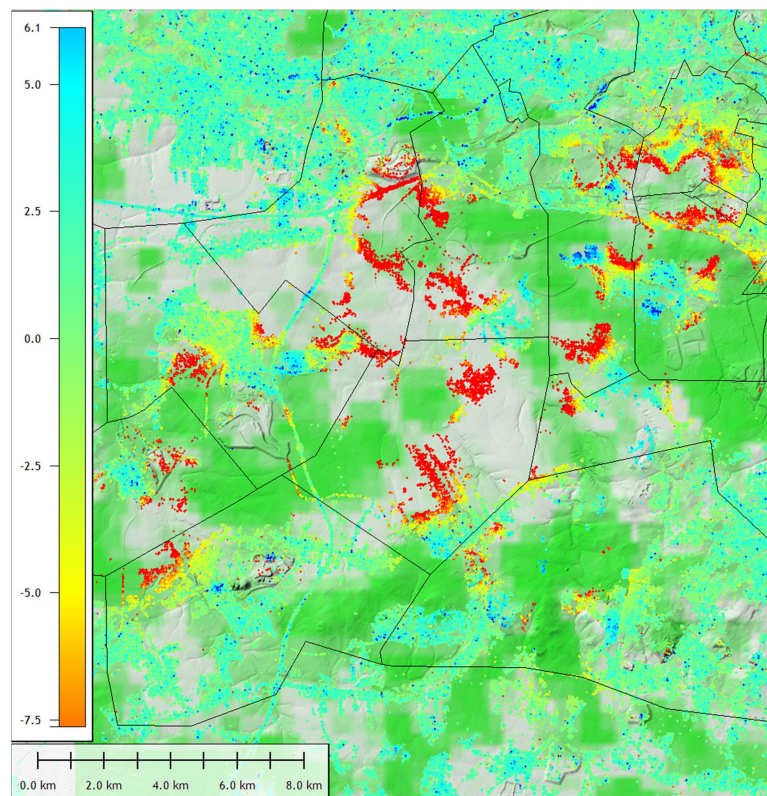
Dane Sentinel-1 przetworzono dla całego obszaru sceny ścieżki 124 DSC (descending). Dane obejmowały okres 6-ciu lat (26.10.2014 r. – 26.06.2020 r.), łącznie 260 scen. Obszar opracowania obejmuje cały obszar GZW. W domenie czasu, dane były rejestrowane w interwałach co 12 dni (Dla jednego satelity Sentinel-1) lub co 6 dni dla pełnej konstelacji Sentinel-1 A/B. Dane radarowe poddano przetwarzaniu metodą satelitarnej interferometrii radarowej rozpraszaczy stabilnych (*Persistent Scatterers Interferometry* PSI) opisanej szczegółowo w raporcie „Metodyka”.

Cały zbiór zawiera 8 139 901 punktów PS na obszarze 6620 km<sup>2</sup>. Daje to średnią gęstość ok 1230 PS/km<sup>2</sup>. Występowanie punktów PS nie jest jednak regularne (Rys. 6). Największą ich gęstość obserwuje się na obszarach zurbanizowanych a najmniejszą w terenach leśnych.



Rys.6. Prędkość osiadania w latach 2014-2017. Zbiór danych PS obliczony na bazie satelitarnych danych SAR z satelity Sentinel-1 A/B

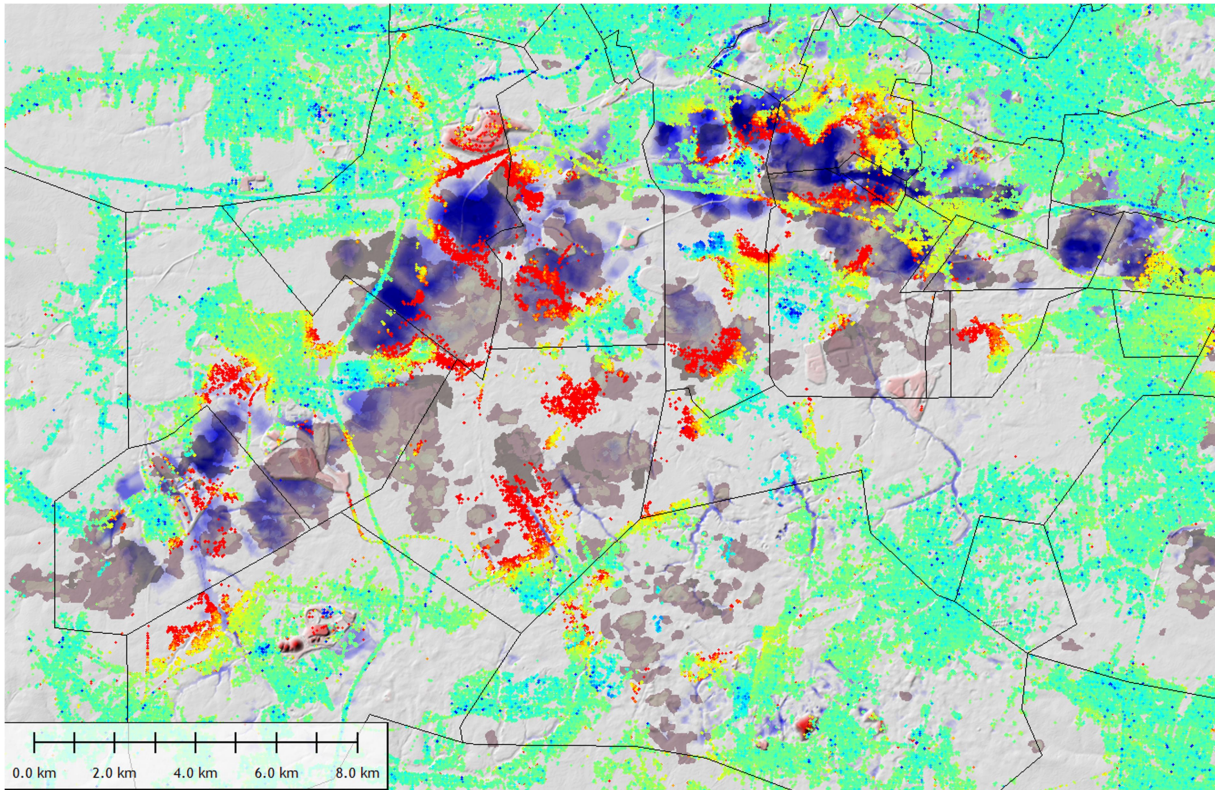
Należy również zauważyć brak punktów dla obszarów, gdzie prędkość deformacji jest większa aniżeli 10 mm/rok. Obszary takie charakteryzują się zbyt dużą utratą koherencji w czasie i nie są brane pod uwagę w obliczeniach (Rys. 7).



Rys. 7. Nierównomierna gęstość punktów PS. Zbiór PS na tle VCF Tree Cover Worldwide

#### 4 Interpretacja mapy deformacji

Nałożenie na siebie 3 opisanych powyżej zbiorów danych pozwala zrozumieć współzależność pomiędzy występowaniem wielkoobszarowych niecek osiadań, dynamiką deformacji i współcześnie obserwowanymi prędkościami deformacji. Dla sporej liczby przypadków współczesne procesy deformacyjne zachodzą w rejonach, gdzie osiadania występują już od ponad 100 lat. Najbardziej wyraźnie widać to na przykładzie północnej jak i południowej strefy osiadań. Duże przyrosty deformacji współtowarzyszą rejonom gdzie współczesna prędkość osiadania wynosi 5,0 – 10 mm/rok bądź więcej (brak punktów). Dla wielu obszarów historyczne niecki osiadań nadal podlegają ruchom obniżeniowym (Rys. 8). Są to właśnie obszary najbardziej narażone na występowanie szkód w budynkach, infrastrukturze komunikacyjnej i przesyłowej.



*Rys. 8. Fragment „Mapy deformacji terenów...” pokazującej współzależność pomiędzy historycznymi nieckami osiadań, dynamika osiadania w latach 1993 – 2010 oraz prędkościami współczesnych ruchów (lata 2014-2017).*

## 5 Literatura

- Ćmiel R., 1996. Degradacja powierzchni terenów górniczych na przykładzie zlewni rzeki Rawy. W: Problemy środowiska i jego ochrony. Wyd. Centrum Studiów nad Człowiekiem i Środowiskiem U. Śl., Katowice, 129-149.
- Czerny A., 2015. Powstanie i etapy rozwoju map topograficznych do końca XIX wieku W. Czerny A (red) Dawne mapy topograficzne w badaniach geograficzno-historycznych. UMCS, Lublin, 11-84.
- Kowalski A., 1996. Wpływ eksploatacji na deformacje powierzchni na przykładzie eksploatacji KWK Staszic, Mat. Konf. Szkoły Eksploatacji Podziemnej, 139-152.
- Konstantynowicz E., 1994. Geologia złóż kopalin – kopaliny energetyczne. Skrypty UŚ nr 496, 1994.
- Kwiatek J. (red.) 1997. Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych. Wyd GIG, (Praca zbiorowa), 1-726, Katowice
- Łabanowicz H., 1991. Inwentaryzacja geodezyjno-górnicza na obiekcie doświadczalnym GOP – Bytom – Rida Śląska. W: Majde A., Nowak E., Preuss R., Łabanowicz H., 1991: Projekt techniczny regionalnej, dynamicznej osnowy geodezyjnej dla obszaru województwa katowickiego. Archiwum U.Woj. w Katowicach.
- Majde A., Nowak E., Preuss R., Łabanowicz H., 1991. Projekt techniczny regionalnej, dynamicznej osnowy geodezyjnej dla obszaru województwa katowickiego. Archiwum U.Woj. w Katowicach.