

Stanisława PORZYCKA, Andrzej LEŚNIAK

Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Analiza czasowa powolnych deformacji terenu na obszarze Zagłębia Dąbrowskiego

Słowa kluczowe

PSInSAR, Zagłębie Dąbrowskie, deformacje terenu

Streszczenie

W pracy wykonana została analiza czasowa powolnych deformacji terenu występujących na obszarze Zagłębia Dąbrowskiego. Celem pracy było zbadanie zmian trendu deformacji tego obszaru w okresie od roku 1993 do roku 2000. Do analizy wykorzystane zostały dane satelitarnej interferometrii radarowej PSInSAR. Dane te dostarczają informacje o niewielkich, długookresowych przemieszczeniach terenu w tzw. punktach PS będących stabilnymi rozpraszaczami radarowymi.

W pierwszym etapie badań zaprojektowany został algorytm pozwalający na wykrycie, dla każdego punktu pomiarowego, maksymalnie jednej (największej) zmiany trendu deformacji. Wykryte zmiany podzielone zostały na cztery kategorie: zwiększenie i zmniejszenie osiadania terenu oraz zwiększenie i zmniejszenie podnoszenia terenu. W dalszej części pracy wykonana została czasowo-przestrzenna analiza stwierdzonych zmian trendu.

Przeprowadzone badania wykazały, że dla 41% wszystkich punktów PS występuje zmiana trendu wartości deformacji. Najwięcej zmian stwierdzono w okresach od października 1993 roku do grudnia 1994 roku oraz od marca 1999 roku do kwietnia 2000 roku. Dla pierwszego wymienionego przedziału czasu charakterystyczne było zwiększenie szybkości osiadania terenu natomiast dla drugiego przedziału najwięcej wykrytych zmian świadczy o zmniejszeniu szybkości osiadania terenu. Należy zaznaczyć, iż w rejonie badań, w analizowanym okresie czasu, zakończyły działalność dwie kopalnie węgla kamiennego „Paryż” (rok 1995) oraz „Sosnowiec” (rok 1997). Stwierdzone zmniejszenie szybkości powolnych deformacji terenu może mieć związek z zaprzestaniem eksploatacji węgla. W celu wykazania tej zależności konieczne jest dokładne przeanalizowanie otrzymanych wyników razem z danymi górnictwami dotyczącymi lokalizacji, w poszczególnych okresach czasu, pól eksploatacyjnych.

1. Wstęp

Rozwój teledetekcji satelitarnej zaowocował pojawieniem się nowych technik umożliwiających bardzo dokładny pomiar deformacji terenów o dużych powierzchniach. Metody te mogą być z powodzeniem stosowane do monitoringu obszarów górniczych i pogórnictwa. W prezentowanej pracy dane satelitarne zostały wykorzystane do badania powolnych deformacji terenu występujących na obszarze Zagłębia Dąbrowskiego. Celem analizy było zbadanie, czy w przedziale czasu od roku 1993 do roku 2000, w określonych punktach pomiarowych można zaobserwować zmiany trendu wartości deformacji terenu.

Wykrycie oraz analiza takich zmian to zadanie bardzo ważne w badaniu zależności pomiędzy prowadzoną eksploatacją górnictwem, a występowaniem powolnych przemieszczeń terenu. We wcześniejszych pracach (Graniczny i in. 2008; Leśniak, Porzycka 2009) wykazany został silny związek między wartościami deformacji terenu a rozmieszczeniem głównych jednostek tektonicznych Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. W kolejnym etapie badań istotne jest sprawdzenie, czy intensywna eksploatacja górnictwa prowadzona w tym rejonie również miała wpływ na kształt trendu powolnych przemieszczeń terenu.

2. Opis danych

Do analizy deformacji terenu wykorzystane zostały dane satelitarnej interferometrii radarowej PSInSAR (ang. *Permanent Scatterers Interferometry Synthetic Aperture Radar*). Metoda PSInSAR polega na przetwarzaniu zestawu kilkudziesięciu obrazów radarowych wykonanych w różnym czasie i dotyczących tego samego obszaru. W wyniku tego przetwarzania otrzymujemy informacje o niewielkich, długookresowych przemieszczeniach terenu dla punktów PS, będących stabilnymi rozpraszaczami radarowymi. Punkty PS najczęściej odpowiadają takim obiektom terenu jak budynki, wychodnie skał, mosty, wiadukty. Podstawy teoretyczne techniki PSInSAR zostały już wielokrotnie opisane w pracach zagranicznych (Ferretti i in. 2000; Ferretti i in. 2001; Kampes 2006) i polskich (Porzycka, Leśniak 2007; Perski, Mróz 2007).

Rejon badań obejmuje obszary górnictwa sześciu zlikwidowanych kopalń węgla kamiennego: "Sosnowiec", "Porąbka-Klimontów", "Paryż", "Saturn", "Grodziec", "Jowisz" oraz jednej czynnej kopalni "Kazimierz-Juliusz" (rys. 2.1.). Wszystkie kopalnie położone są w obrębie Zagłębia Dąbrowskiego. W rejonie badań zidentyfikowanych zostało 6,105 punktów PS. Dla każdego z nich pomierzono 79 wartości względnych deformacji terenu w czasie od maja 1995 roku do kwietnia roku 2003. Pomiary wykonywane były w odstępach 35 dniowych jednak część tak powstałych szeregów czasowych zawiera luki wynikające z przyczyn pomiarowych.



Rys. 2.1. Rejon badań wraz z zaznaczonymi obszarami górnictwem oraz linią uskoku będzińskiego
Fig. 2.1. Region of study with borders of mining areas and line of bedzinski fault

Technika PSInSAR pozwala na detekcję tych przemieszczeń terenu, które mają generalnie liniowy charakter. Przeprowadzona analiza wartości deformacji terenu dla poszczególnych punktów PS z Zagłębia Dąbrowskiego wykazała jednak, że w wielu przypadkach, w rozpatrywanym przedziale czasu, można zauważyć zmiany trendu. Pomimo, że zmiany te są niewielkie, to jednak w sytuacji, gdy zachodzą w tym samym czasie dla dużej liczby punktów PS mogą świadczyć o pojawieniu się lub zniknięciu czynnika, który miał wpływ na wartości pionowych przemieszczeń terenu. W przypadku Zagłębia Dąbrowskiego takim czynnikiem może być eksploatacja węgla kamiennego. Należy zaznaczyć, że w analizowanym przedziale czasu zakończyły działalność dwie kopalnie: "Paryż" (rok 1995) oraz "Sosnowiec" (rok 1997). Pozostałe kopalnie prowadziły eksploatację węgla.

3. Schemat analizy czasowej

W pracy zaprojektowany został algorytm, dzięki któremu możliwe jest szybkie przeanalizowanie dużego zbioru danych PSInSAR i wybranie tych punktów PS, dla których w rozpatrywanym przedziale czasu, występuje zmiana trendu deformacji terenu. Algorytm został zaprojektowany tak, aby dla danego punktu pomiarowego wykrywać maksymalnie jedną (największą) zmianę trendu. W rezultacie działania algorytmu, dla danego punktu PS otrzymujemy określony typ zmian, jaki został stwierdzony (np. zmniejszenie szybkości osiadań), a także przybliżoną datę, w której taka zmiana nastąpiła. Wszystkie obliczenia wykonane zostały z wykorzystaniem języka programowania R przeznaczonego do zaawansowanych obliczeń statystycznych.

Pierwszy etap analizy czasowej polegał na ocenie statystycznej danych. Celem tej części pracy była eliminacja, dla każdego punktu PS, obserwacji skrajnie odstających. Za takie uznane zostały te obserwacje, dla których zarejestrowana wartość deformacji terenu była większa niż wartość $z_1 = Q_3 + 3 * IQR$ lub mniejsze niż $z_2 = Q_1 - 3 * IQR$, gdzie Q_1 , Q_3 to odpowiednio dolny i górny kwartył natomiast IQR oznacza odstęp międzykwartyłowy. W rezultacie ze zbioru 482,295 danych wziętych do analizy usuniętych zostało 849 obserwacji ekstremalnie odstających.

W kolejnych etapach pracy każdy punkt PS analizowany był oddzielnie. Dla każdego stabilnego rozpraszacza pomierzone w czasie wartości deformacji terenu przybliżane były za pomocą dwóch prostych. Równanie pierwszej prostej szacowane było na podstawie pierwszych n pomiarów, natomiast równanie drugiej prostej wyznaczone było na podstawie pozostałych $(79-n)$ pomierzonych wartości deformacji terenu. Wartość n , dla każdego punktu PS, zmieniała się od 15 do 63 dając tym samym 49 możliwych par prostych przybliżających przemieszczenia w rozpatrywanym przedziale czasu.

W trzecim etapie analizy wykonana została ocena otrzymanych modeli. W pierwszej kolejności sprawdzane zostało, czy otrzymane modele spełniają założenia klasycznego modelu regresji liniowej. W tym celu wykonana została analiza reszt modelu - różnic między wartościami empirycznymi a teoretycznymi. Poprawnie oszacowany model powinien mieć reszty o rozkładzie normalnym. Korzystając z testu *Shapiro-Wilka* wykonane zostało badanie normalności rozkładu reszt. W kolejnym kroku zbadana została stałość reszt oszacowanych modeli w oparciu o test *Breuscha-Pagana*. W przypadku, gdy wariancja jest zmienna oznacza to, że przyjęty model jest niewiarygodny, bowiem reszty są nielosowe, a przez to zawierają informacje, których nie powinno tam być. Dzięki zastosowaniu testu *Durbina-Watsona*, wykonane zostało również sprawdzenie występowania autokorelacji reszt. Jej istnienie nie jest

zjawiskiem pożądanym, bowiem może świadczyć o istnieniu czynnika nielosowego, który nie został uwzględniony w modelu. W wyniku tej części pracy, dla każdego punktu PS zapamiętane zostały tylko te pary prostych, które spełniały założenia regresji liniowej tj. reszty miały rozkład normalny, stałą wariancję oraz zerową autokorelację. W przypadkach, kiedy nie można było jednoznacznie stwierdzić czy założenia modelu są spełnione wykonywana była analiza graficzna uzyskanych oszacowań. Punkty pomiarowe, dla których wartości deformacji terenu nie można było przybliżyć za pomocą dwóch prostych nie były brane pod uwagę w dalszej analizie.

W czwartym etapie pracy, dla każdego punktu PS wybrany został najlepszy model. Dla każdej dopasowanej prostej obliczany był współczynnik determinacji R^2 (3.1), który mówi jaka część zmienności wartości deformacji terenu została wyjaśniona przez model.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (3.1)$$

gdzie:

\hat{y}_i - wartość deformacji obliczona na podstawie modelu

y_i - rzeczywista wartość deformacji

\bar{y} - wartość średnia deformacji

W pracy obliczany był również błąd standardowy regresji liniowej RSE (3.2), który można rozumieć jako średnią resztę w modelu względem średniego poziomu wartości deformacji terenu.

$$RSE = \sqrt{\frac{(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{n-2}} \quad (3.2)$$

gdzie:

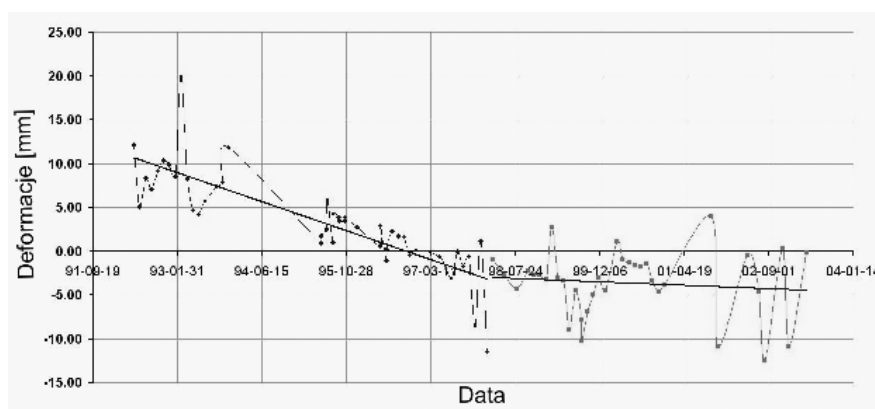
n – liczba wykonanych pomiarów dla jednego punktu PS

Na podstawie obliczonych wartości R^2 i RSE dla każdego punktu pomiarowego wybrana została tylko jedna, najlepiej dopasowana, para prostych.

W kolejnym etapie analizy, dla każdego punktu PS, zbadana została różnica w nachyleniu dwóch dopasowanych prostych. Jeżeli obliczona różnica była znacząca (za taką arbitralnie przyjęto wartość 20°) to punkt PS wraz z datą, dla której następuje zmiana szybkości terenu oraz sam rodzaj zmiany zapisywane był do osobnego zbioru. Rejestrowane zmiany trendu podzielone zostały na cztery kategorie (tabela 3.1). Ze względu na to, iż deformacje wykrywane przez technikę PSInSAR są zmianami monotonicznymi w pracy użyto kategorii spełniających warunek monotoniczności w czasie. Rysunek 3.1 przedstawia przykładowy wykres względnych deformacji terenu oraz proste dopasowane w wyniku działania zaprojektowanego algorytmu.

Tabela 3.1. Kategorie zmian trendu
Table 3.1. Categories of trend changes

Kategoria	Rodzaj zmiany
I	wzrost szybkości osiadania terenu
II	zmniejszenie szybkości osiadania terenu
III	wzrost szybkości podnoszenia terenu
IV	zmniejszenie szybkości podnoszenia terenu



Rys. 3.1. Wykres względnych deformacji terenu wraz z dopasowanymi prostymi
Fig. 3.1. Graph of relative ground deformations with fitted linear models

4. Wstępna analiza wyników

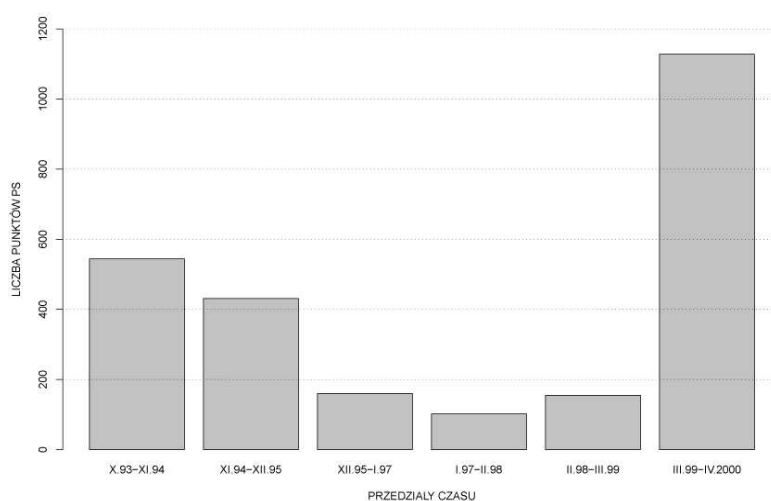
Przeprowadzona analiza wykazała, że dla 2,520 z 6,105 punktów PS występuje znacząca zmiana trendu. Dla pozostałych 3,585 stabilnych rozpraszaczy najlepszym modelem przybliżającym wartości deformacji terenu jest model liniowy. Pełne zestawienie wyników analizy zawiera Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Zestawienie wyników analizy
Table 4.1. Results of the analysis

Kategorie zmian	X.93- XI.94	XI.94- XII.95	XII.95- I.97	I.97- II.98	II.98- III.99	III.99- IV.2000	Suma
I	463	336	111	55	54	246	1265
II	67	83	34	39	93	845	1161
III	1	1	4	6	6	34	52
IV	13	11	11	2	2	3	42
Suma	544	431	160	102	155	1128	2520

W celu sprawdzenia, czy w analizowanym przedziale czasu wystąpił jakiś czynnik, który wpłynął na wartości deformacji terenu, konieczne było zbadanie, czy ilość zmian trendu jest

stała w czasie. Ponieważ rozpatrywany okres czasu obejmuje 72 miesiące został on podzielony na sześć trzynastomiesięcznych przedziałów. Na wykresie (rys. 4.1) przedstawione została liczba stabilnych rozpraszaczy, dla których w wyznaczonych przedziałach czasu zanotowano zmianę średniej szybkości deformacji terenu. Widać wyraźnie, że liczba punktów PS, dla których stwierdzono zmianę trendu zmienia się znacząco w czasie. Dla okresu od października 1993 roku do grudnia roku 1995 odnotowano niemal 38% zmian. W kolejnych latach 1996-1998 nastąpiło stosunkowo niewiele zmian w średniej szybkości przemieszczeń terenu. Najwięcej zmian (ponad 45%) wystąpiło w okresie od marca 1999 roku do kwietnia 2000 roku. Takie wyniki pozwalają przypuszczać, że w początkowym i końcowym okresie analizowanego przedziału czasu wystąpiły czynniki, które mogły mieć wpływ na wartości deformacji terenu.

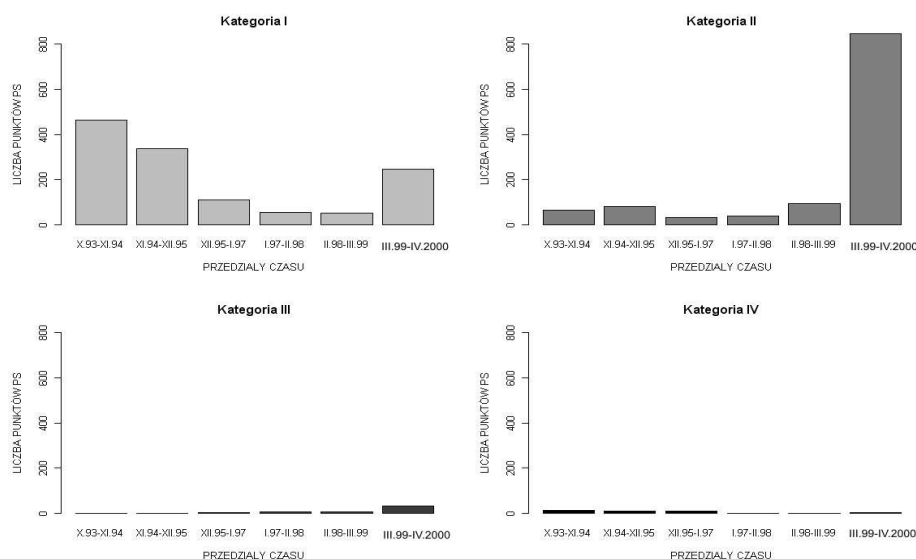


Rys. 4.1. Liczba punktów PS, dla których zanotowano zmiany trendu
Fig. 4.1. Number of PS points for which the trend changes were detected

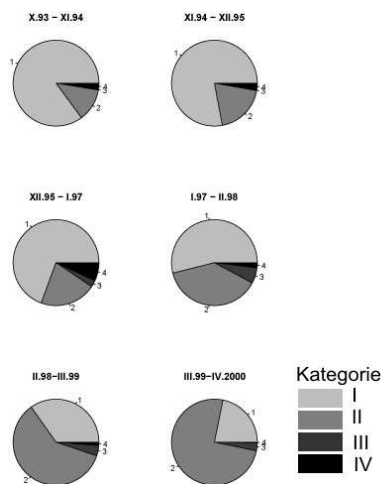
Analiza otrzymanych wyników (tab.4.1) wykazała, że najczęściej, bo aż dla 50% punktów PS stwierdzono wzrost szybkości osiadania terenu. Ponad 46% wszystkich zmian trendu stanowią natomiast przypadki, w których zauważono zmniejszenie szybkości osiadania. Punkty, dla których stwierdzono nieznaczną zmianę szybkości podnoszenia się terenu stanowią w sumie niecałe 4% wszystkich wykrytych zmian.

Ponieważ, dla punktów PS położonych na badanym obszarze stwierdzono tak różne zmiany trendu (podnoszenie lub równocześnie zwiększenie i zmniejszenie szybkości osiadań) konieczne było przeanalizowanie jak zmiany należące do poszczególnych kategorii rozkładają się w czasie. Jak widać na Rysunku 4.2 w okresie od października roku 1993 do grudnia roku 1995 dominują zmiany należące do kategorii I. W kolejnych trzech latach liczba zmian należących do kategorii I jest niemal równa liczbie zmian należących do kategorii II. W ostatnim z analizowanych okresów czasu dominują punkty, dla których stwierdzono zmiany należące do kategorii II. Liczba punktów, dla których zarejestrowano zmiany należące do kategorii III powoli rośnie w czasie. Odwrotna tendencja ujawnia się w przypadku zmian należących do kategorii IV.

Opisywane zmiany liczebności widać również dobrze na wykresach kołowych, które zostały przedstawione na Rysunku 4.3. Można zauważyć, że w pierwszych analizowanych okresach czasu dominuje zwiększenie prędkości osiadania terenu natomiast dla ostatnich przedziałów czasu charakterystyczne jest zmniejszenie szybkość obniżania terenu.



Rys. 4.2. Liczba punktów PS dla poszczególnych kategorii zmian trendu
Fig. 4.2. Number of PS points for each category of trend change



Rys. 4.3. Zmiany trendu, należące do poszczególnych kategorii, w kolejnych przedziałach czasu
Fig. 4.3. Trend changes from each category in following periods of time

5. Przestrzenna analiza otrzymanych wyników

Ostatni etap analizy polegał na zbadaniu przestrzennego rozmieszczenia punktów PS, dla których wykryto zmiany trendu. Dla każdego analizowanego przedziału czasu przygotowano cztery mapy, prezentujące oszacowaną gęstość występowania punktów, dla których stwierdzono zmianę trendu należącą do konkretnej kategorii. Gęstość s w danym punkcie w przestrzennej analizie rozkładu punktów (ang. *Point Pattern Analysis*), definiowana jest jako oczekiwana liczba wystąpienia analizowanego zdarzenia na jednostkę powierzchni. W pracy badanie gęstości występowania punktów PS wykonane zostało przy pomocy dwuwymiarowych jądrowych estymatorów gęstości (KDE, ang. *Kernel Density Estimation*).

5.1. Jądrowy estymator gęstości

Estymacja jądrowa to metoda nieparametryczna pozwalająca oszacować wartości funkcji gęstości rozkładu zmiennej losowej na podstawie skończonej liczby obserwacji tej zmiennej (Walter, Gotway 2004). Estymator dwuwymiarowej funkcji gęstości w punkcie $s=(u_0, v_0)$ ma postać (5.1) (Walter, Gotway 2004)

$$\tilde{f}(u_0, v_0) = \frac{1}{Nb_u b_v} \sum_{i=1}^N \left\{ K\left(\frac{u_0 - u_i}{b_u}\right) K\left(\frac{v_0 - v_i}{b_v}\right) \right\} \quad (5.1)$$

gdzie K jest funkcją jądra natomiast b_u, b_v to szerokości pasma estymacji odpowiednio dla zmiennej u oraz v . Jedną z częściej stosowanych funkcji jądra to funkcja gaussowska (5.2) wykorzystana w pracy do estymacji intensywności punktów PS.

$$K\left(\frac{u - u_i}{b}\right) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}b} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{u - u_i}{b}\right)^2\right] \quad (5.2)$$

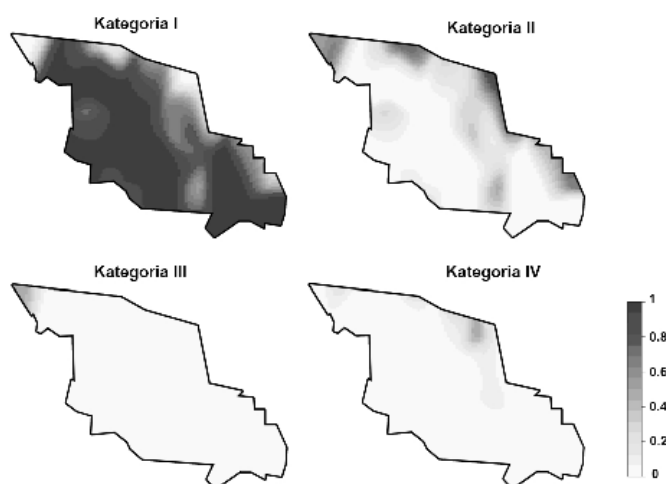
Należy zaznaczyć, że wybór funkcji jądra jedynie w niewielkim stopniu wpływa na wyniki estymacji. Kluczowe znaczenia ma natomiast dobór pasma estymacji, którego wielkość determinuje stopień wygładzenia otrzymanej krzywej lub powierzchni. W prezentowanej pracy szerokości pasma estymacji b_u oraz b_v obliczone zostały na podstawie wzoru (5.3) zaproponowanego przez Silvermana (Silverman 2004).

$$b = 0.9 \min\left(s, \frac{IQR}{1.34}\right) N^{-\frac{1}{5}} \quad (5.3)$$

5.2. Analiza intensywności punktów PS

Na Rysunku 5.1 przedstawiona została względna gęstość punktów PS, dla których wykryto zmiany należące do każdej z kategorii w przedziale czasu od X.1993 do XI.1994. W tym okresie we wszystkich siedmiu kopalniach prowadzona była eksploatacja węgla kamiennego. Dla analizowanego przedziału czasu charakterystyczne jest występowanie zmian należących do kategorii I. Gęstość punktów PS, dla których stwierdzono takie zmiany trendu, jest bardzo wysoka niemal dla całego obszaru badań (z wyjątkiem jego niewielkiej północnej i północno-

wschodniej części). Szczególnie wysokie wartości gęstości zanotowano na obszarze położonym na południe od linii uskoku będzińskiego. Na północ od linii uskoku będzińskiego stwierdzono natomiast stosunkowo wysoką gęstość punktów PS, dla których wykryto zmiany trendu należące do kategorii II. Zmiany trendu należące do kategorii III oraz IV stanowią jedynie niewielki procent wykrytych zmian i występują generalnie w północnej części obszaru badań.

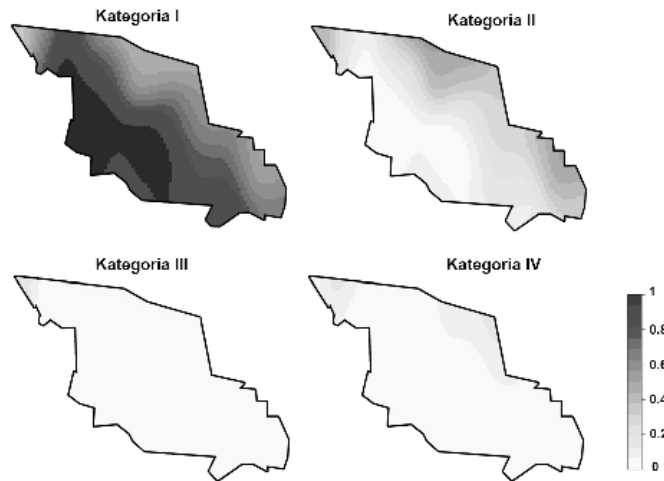


Rys. 5.1. Względna gęstość punktów PS w okresie od X.1993 do XI.1994
Fig. 5.1. Relative density of PS points between X.1993 and XI.1994

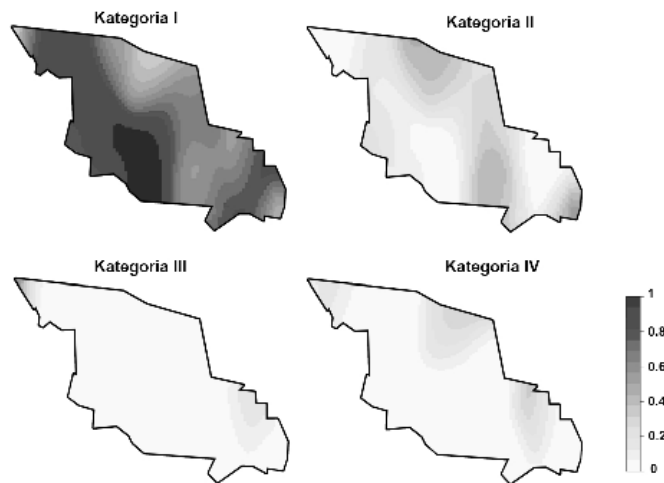
Na Rysunku 5.2 przedstawiona została względna gęstość punktów PS dla okresu czasu od XI.1994 do XII.1995. Należy zaznaczyć, że w lipcu 1995 roku zlikwidowana została kopalnia "Paryż". W analizowanym przedziale czasu w dalszym ciągu dominują punkty PS, dla których stwierdzono zmiany trendu należące do kategorii I. Ich względna gęstość jest wysoka dla całego obszaru badań. Najwyższe wartości zanotowano w obrębie obszarów górniczych kopalń "Sosnowiec", "Saturn" oraz "Grodziec". W części terenu badań, która położona jest na północ od linii uskoku będzińskiego stwierdzono zwiększenie gęstości punktów, dla których wykryto zmianę trendu należącą do kategorii II.

Pomimo, iż zmiany trendu, które pojawiły się w okresie od grudnia 1995 roku do marca 1999 roku stanowią w sumie jedynie 16.5% wszystkich wykrytych zmian to jednak pokazują one pewną prawidłowość w wartościach gęstości punktów PS, dla których stwierdzono zmiany trendu należące do poszczególnych kategorii. Należy zaznaczyć, że w grudniu 1997 roku zlikwidowana została kopalnia "Sosnowiec". Analizując Rysunek 5.3, Rysunek 5.4 oraz Rysunek 5.5 można zauważyć, że generalnie zmniejsza się obszar, na którym dominują zmiany należące do kategorii I. Najwięcej punktów, dla których stwierdzono takie zmiany zlokalizowano w południowo-zachodniej części rejonu badań. Na kolejnych mapach widać wyraźnie zwiększanie terenów o wysokiej gęstości punktów pomiarowych, dla których stwierdzono zmiany należące do kategorii II. W roku 1998 szczególnie wysokie wartości

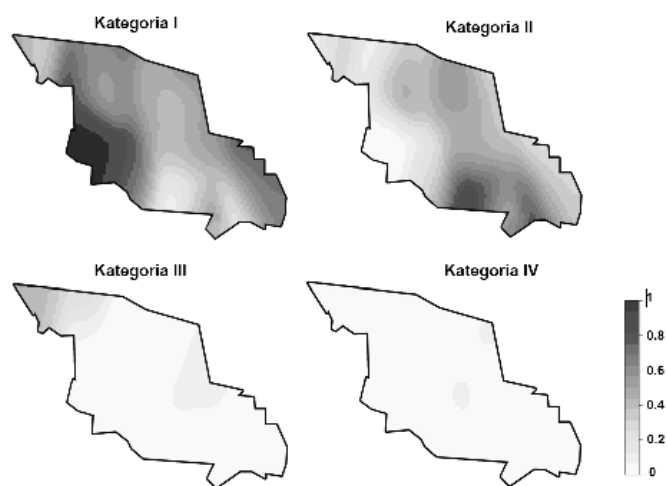
gęstości punktów, dla których zarejestrowano zmniejszenie szybkości osiadań zanotowano w obrębie obszarów górniczych kopalń "Sosnowiec" oraz "Kazimierz-Juliusz".



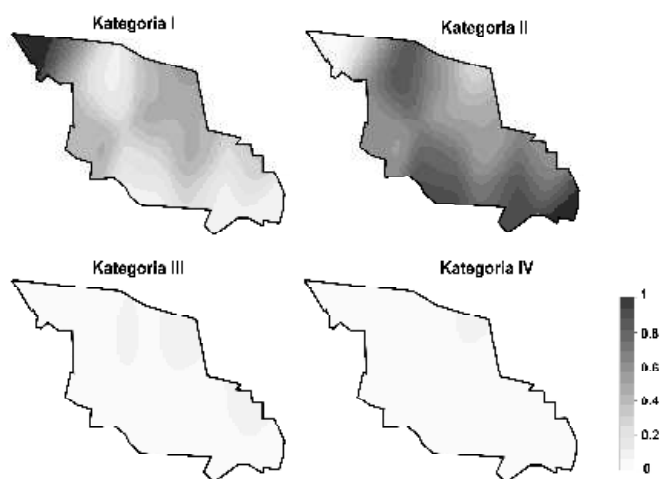
Rys. 5.2. Względna gęstość punktów PS w okresie od XI.1994 do XII.1995
Fig. 5.2. Relative density of PS points between XI.1994 and XII.1995



Rys. 5.3. Względna gęstość punktów PS w okresie od XII.95 do I.1997
Fig. 5.3. Relative density of PS points between XII.95 and I.1997

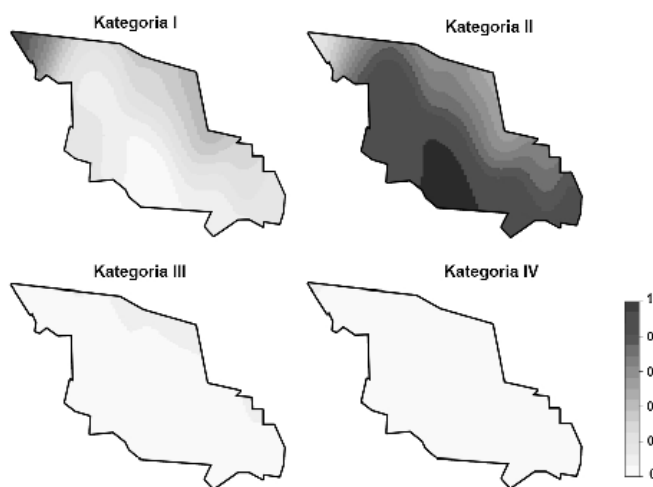


Rys. 5.4. Względna gęstość punktów PS w okresie od I.1997 do II.1998
Fig. 5.4. Relative density of PS points between I.1997 and II.1998



Rys. 5.5. Względna gęstość punktów PS w okresie od II.1998 do III.1999
Fig. 5.5. Relative density of PS points between II. 1998 and III.1999

W ostatnim analizowanym przedziale czasu, tj. od marca 1999 roku do kwietnia roku 2000, wykrytych zostało najwięcej zmian trendu. W tym okresie mamy najczęściej do czynienia ze zmianami trendu należącymi do kategorii II. Gęstość punktów, dla których stwierdzono takie zmiany jest bardzo wysoka niemal dla całego obszaru badań (rys.5.6) i największa na obszarze górniczym kopalni "Sosnowiec". Względna gęstość punktów PS, dla których stwierdzono zmiany terenu należące do kategorii I jest wysoka w północno-zachodniej części kopalni "Jowisz". W analizowanym okresie czasu zmiany należące do kategorii III oraz IV stanowią znikomy procent wszystkich wykrytych zmian i zlokalizowane są w północnej części obszaru badań.



Rys. 5.6. Względna gęstość punktów PS w okresie od III.1999 do IV.2000
Fig. 5.6. Relative density of PS points between III.1999 and IV.2000

6. Wnioski

Wykonana analiza deformacji terenu dla obszaru Zagłębia Dąbrowskiego wykazała, że dla 41% punktów PS, w rozpatrywanym przedziale czasu, występuje niewielka zmiana trendu. Najwięcej zmian średniej szybkości deformacji terenu wystąpiło w okresie od października 1993 roku do grudnia 1995 roku oraz w okresie od marca 1999 roku do kwietnia roku 2000. Dla pierwszego z wymienionych przedziałów czasu charakterystyczny jest wzrost prędkości osiadania natomiast dla drugiego przedziału typowe jest zmniejszenie szybkości obniżania się terenu. Wykonana w pracy przestrzenna analiza intensywności punktów, dla których wykryto zmiany trendu należące do poszczególnych kategorii, wykazała prawidłowości zmian jej wartości w kolejnych przedziałach czasu. W celu wykazania związku między eksploatacją górnictwem a wartościami powolnych deformacji terenu konieczne jest wykonanie analizy otrzymanych wyników razem z danymi górnictwem dotyczącymi lokalizacji pól eksploatacyjnych w poszczególnych okresach czasu.

Praca została sfinansowana z badań statutowych KGIS.

Literatura

- [1] Ferretti A., Prati C., Rocca F. 2000: Nonlinear subsidence rate using permanent scatterers in differential SAR interferometry. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 38, s. 2202-2212.
- [2] Ferretti A., Prati C., Rocca F. 2001: Permanent Scatterers in SAR Interferometry. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 39, s. 8-20.
- [3] Graniczny M., Czarnogórska M., Kowalski Z., Leśniak A., Jureczka J. 2008: Metoda punktowej, długookresowej satelitarnej interferometrii radarowej (PSInSAR™) w rozpoznaniu geodynamiki NE części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Przegląd Geologiczny*, t. 56 nr 9, s. 826–835
- [4] Kampes B.M. 2006: Radar Interferometry. Persistent Scatterer Technique. Springer
- [5] Leśniak A., Porzycka S. 2009: Wpływ tektoniki na deformacje terenu wywołane działalnością górnictwem w północno-wschodniej części Górnośląskiego Zagłębia Węglowego. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, t. 25 z. 3, s. 227–238
- [6] Perski Z., Mróz M. 2007: Zastosowanie metod interferometrii radarowej InSAR do badania naturalnych ruchów powierzchni terenu w Polsce. Projekt GEO-IN-SAR. *Archiwum Fotogrametrii i Teledetekcji*, Vol. 17, s. 613–624
- [7] Porzycka S., Leśniak A. 2007: Przetwarzanie obrazów radarowych technika PSInSAR. *Archiwum Fotogrametrii i Teledetekcji*, Vol. 17, s.661–669
- [8] Silverman B. W. 1986: *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*, Chapman & Hall, London
- [9] Waller L.A., Gotway C.A. 2004: *Applied Spatial Statistics for Public Health Data*. John Wiley & Sons, New Jersey

Temporal analysis of slow ground deformations in the area of Dabrowski Basin

Key words

PSInSAR, Dabrowski Basin, ground deformations

Abstract

In this work the temporal analysis of slow deformations in the area of Dabrowski Basin was performed. The aim of this work was to study the trend changes in this area between years 1993 and 2000. In order to perform this task the PSInSAR data were used. These data derive information about slow deformation for PS points that are stable radar targets.

In the first step the algorithm which detects at most one or none change of trend for each of PS points was developed. In this work the detected trend changes were divided into four categories: increase and decrease of subsidence and increase and decrease of the lift of terrain. In this work the temporal and spatial analysis of detected trend changes was performed. The density maps of the PS points with detected trend changes were generated. In maps the categories of trend changes were also pictured.

Performed analysis showed that the trend changes occurred for 41% of PS points. The highest numbers of trend changes were detected in two periods of time: X.1993-XII.1995 and III.1999-IV.2000. For first period of time the increases subsidence value were characteristic while for second period of time the decreases of these values were the most common. It is very important that in studied period of time two coals mines were abandoned: "Paryż" (1995) and "Sosnowiec" (1997). The detected decreases of values of subsidence can be connected with this discontinuation of coal exploitation. In order to show this relation it is necessary to analyze obtained results with the mining data concerning localization of exploitation fields.

Przekazano: 10 marca 2008 r.