

Zagrożenia powierzchni terenu deformacjami ciągłymi i nieciągłymi aktywującymi się podczas zatapiania podziemnych kopalń

KRZYSZTOF TAJDUŚ, ANTON SROKA, RAFAŁ MISA, MATEUSZ DUDEK

Instytut Mechaniki Górotworu PAN; ul. Reymonta 27, 30-059 Kraków

Streszczenie

Artykuł przedstawia opis zagrożenia powierzchni terenu będący skutkiem zaprzestania działań odwadniających w kopalniach węgla kamiennego, po zakończeniu eksploatacji. Deformacje, zarówno ciągłe, jak i nieciągłe, ujawniające się na powierzchni terenu w rejonach zlikwidowanych podziemnych kopalń, w czasie trwania procesu podnoszenia się wód kopalnianych są jego bezpośrednim skutkiem. Autorzy przedstawili przykłady rejonów, w których zaobserwowano poważne szkody spowodowane podnoszeniem się powierzchni terenu oraz zestawili kilkanaście przykładów tych zdarzeń dla kopalni węgla kamiennego oraz innych złóż stałych.

Słowa kluczowe: zatapianie kopalń, deformacje ciągłe, deformacje nieciągłe, geomechanika górnicza

Wstęp

Likwidacja podziemnych wyrobisk górniczych w postaci ich zatapiania jest procesem bardzo złożonym i kosztownym w długofalowym okresie czasu. Niesie to za sobą wiele problemów, zarówno ekonomiczno-socjalnych, jak również zagrożeń dla infrastruktury powierzchniowej. Doświadczenia niemieckie zaobserwowane podczas zatapiania kopalń węgla wykazały, że niejednokrotnie dochodzi do aktywowania się, zarówno starych zrobów, jak i źle zabezpieczonych szybów oraz uskoków. Powoduje to wystąpienie na powierzchni terenu deformacji ciągłych oraz nieciągłych. W artykule [Tajduś et al., 2017] autorzy przedstawili warunki oraz przykłady tworzenia się deformacji nieciągłych typu powierzchniowego przy zlikwidowanych płytko zalegających wyrobiskach oraz źle zabezpieczonych szybach. W tej pracy autorzy skupili się na zjawisku aktywacji deformacji ciągłych oraz nieciągłych typu liniowego, towarzyszących procesowi zatapiania kopalń.

Deformacje nieciągłe typu liniowego mogą pojawić się w formie **szczeliny** lub **stopnia**. Charakteryzują się one wysokością zrzutu, szerokością oraz długością i mogą powstać zarówno przy eksploatacji głębokiej, jak również płytkiej. Uzależnione jest to od m.in.: warunków górnico-geologicznych, hydrogeologii, właściwości geomechanicznych skał, warunków gruntowych, ilości stref zaburzonych w górotworze, lokalizacji uskoków, kształtu prowadzonych eksploatacji i ich lokalizacji itp.

Dla eksploatacji głębokich zjawisko powstania deformacji nieciągłych często związane jest z:

- aktywacją starych płytkich zrobów,
- źle dobraną geometrią pól eksploatacyjnych, w rejonie których na powierzchni tworzą się strefy odkształceń rozciągających (m.in. eksploatacja do wspólnej krawędzi, uskoki ograniczające pole eksploatacji),
- aktywacją uskoków w wyniku prowadzonej podziemnej eksploatacji, itp.

Niejednokrotnie w trakcie procesu likwidacji kopalń głębokich poprzez zalewanie, zauważa się powstawanie deformacji nieciągłych typu liniowego. Jest to związane ze zjawiskiem wielkopowierzchniowego wzrostu poziomu wód podziemnych, które prowadzi do wzrostu ciśnienia hydrostatycznego w rejonie stref zawału spowodowanych eksploatacją górnica. Rosnący poziom wód podziemnych wywołuje napór na

nieprzepuszczalne warstwy skalne, które następnie ulegają wygięciu wypukłym. Wygięcie to postępuje aż do poziomu powierzchni terenu wypiętrzając warstwy gruntowe. Na powierzchni zjawisko to rejestrowane jest jako deformacja ciągła w postaci wypiętrzania, lecz w sytuacji, gdy w rejonie znajdują się uskoki, może prowadzić to do powstania deformacji nieciągłej typu liniowego.

Deformacje ciągłe i nieciągłe powstające nad zalewanymi kopalniami głębokimi

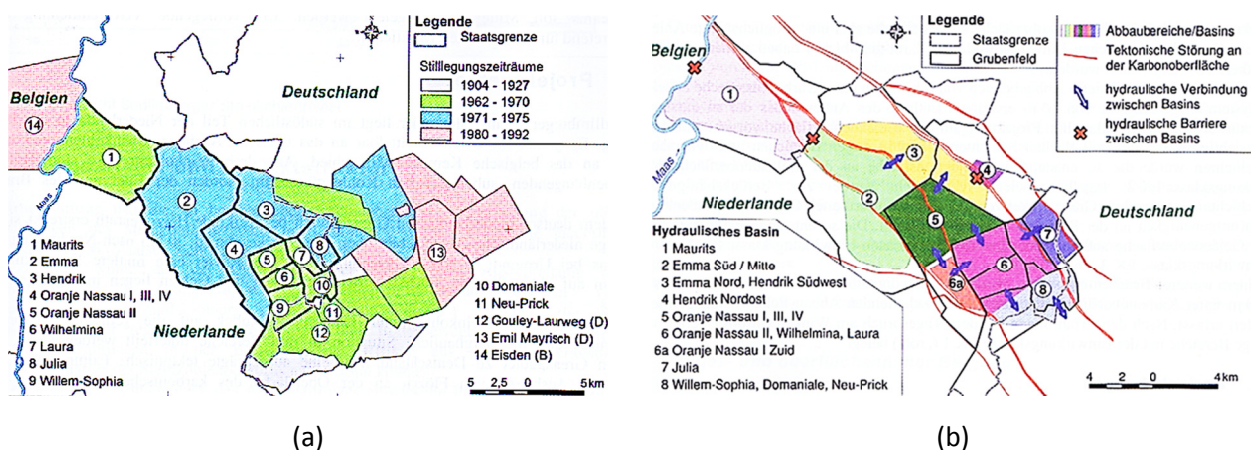
Proces zatapiania kopalń prowadzi z reguły do zjawiska podnoszenia powierzchni terenu (wypiętrzania). Istnieje kilka hipotez powodu powstania tego zjawiska. Jedną z nich przedstawił Pöttgens [1985, 1988], który uznał, że górotwór zaburzony podziemną eksploatacją górnictwem w skutek rozluźnienia posiada w strefie zawału większą porowatość i przepuszczalność niż masyw nienaruszony. Wzrost poziomu wód kopalnianych prowadzi do wzrostu ciśnienia w strefie zawału i powoduje rozszerzenie się jej w wyniku spadku wartości naprężeń normalnych. Powstała siła wyporu oddziałująca na warstwy skalne leżące nad strefą zawału prowadzi do ich podniesienia, których skutki obserwowane są na powierzchni terenu. Podobną przyczynę powstawania zjawiska wypiętrzania powierzchni terenu przedstawił Fenk [1997, 2000] sugerując że wzrost poziomu wód kopalnianych doprowadza do elastycznego rozszerzenia się mocno spękanych warstw skalnych znajdujących się w stropie wyeksploatowanych pokładów, czego dalszą przyczyną są podnoszenia.

Powstająca deformacja ciągła (wypiętrzanie) sama w sobie nie stanowi dużego zagrożenia. Według Pöttgensa [1985, 1988] maksymalne podniesienie terenu może wynosić od ok. 2 do 5% maksymalnego osiadania przy założeniu, że poziom wód osiągnie powierzchnię terenu. Przemieszczenia tej wielkości nie prowadzą z reguły do powstawania nowych szkód górniczych. Jednakże reguły tej nie można odnieść do rejonów kopalń, gdzie w strukturze górotworu występują duże uskoki tektoniczne. Dotychczasowe wyniki pomiarów wykazują, że w rejonach wychodni uskoków może powstać nie tylko nieciągłe osiadanie, ale również nieciągłe podnoszenie.

Poniżej przedstawiono kilka przykładów wypiętrzania powierzchni terenu w przypadku likwidacji kopalń poprzez zalewanie wraz z możliwymi powstającymi na powierzchni deformacjami (ciągłymi i nieciągłymi – typu liniowego).

Przykład 1

Pierwszym przykładem deformacji o charakterze podnoszenia się powierzchni terenu, spowodowanej zatapianiem podziemnych wyrobisk górniczych przedstawionym w tym rozdziale są kopalnie węgla kamiennego znajdujące się w południowej części Limburgii (rejon graniczny między Holandią, Belgią a Niemcami). Prowadzono tam eksploatację górnictwem na głębokości od 260 do 770 m, która doprowadziła do osiadania powierzchni terenu >10 m. W roku 1975 podjęto decyzję o zamknięciu kopalń (Rys. 1a). Jednakże prace górnicze związane z odwodnieniem wyrobisk podziemnych były nadal prowadzone trybem ciągłym, aż do



Rys. 1. Schemat obszarów górniczych 9-ciu kopalń w których prowadzono eksploatację do ok. 1900 roku (a), wraz z planem sytuacyjnym zatapiania rejonu (b) [Źródło: Heitfeld et al., 2015]

roku 1994. Wówczas uznano, że dalsze prowadzenie odwodnienia jest bezzasadne i zatrzymano ten proces. Decyzja ta spowodowała wzrost poziomu wód gruntowych w całym rejonie kopalń [Heitfeld et al., 2015].

Na rysunku 1b przedstawiono schemat sytuacyjny likwidowanego zagłębia górniczego, prezentując sytuację hydrogeologiczną w poszczególnych rejonach wraz z zaznaczonym przebiegiem głównych uskoków tektonicznych.

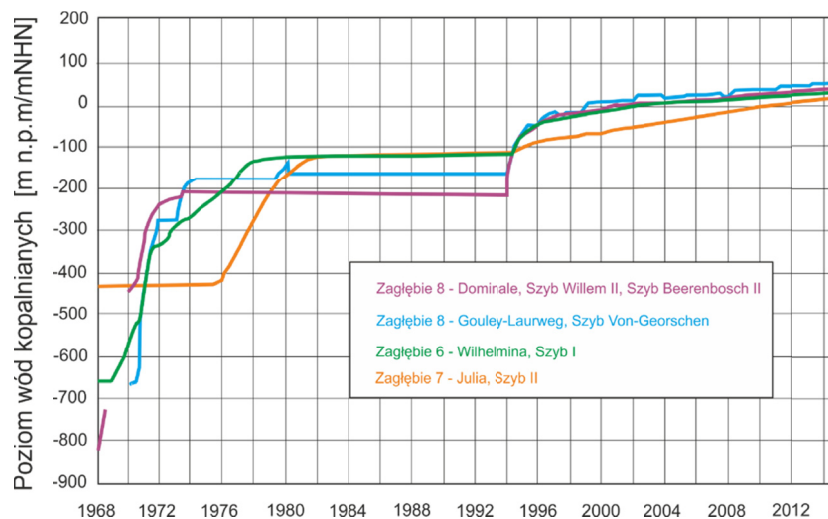
W celu przeprowadzenia właściwego procesu zatapiania kopalń, zainstalowano tamy hydrauliczne (bariery) (na rysunku oznaczono je czerwonymi krzyżykami) ograniczające przepływ wody między następującymi rejonami:

- „Maurits”, a rejonem zachodnim poza jej granicami,
- „Maurits”, a rejonem „Emma Süd/Mitte”,
- „Emma Nord, Hendrik Südwest”, a „Hendrik Nordost”.

Natomiast pomiędzy innymi rejonami górnymi przepływ wody następował swobodnie, co pozwoliło na utrzymanie w miarę równego ciśnienia hydrostatycznego w całym górotworze.

Liniami czerwonymi oznaczono na rysunku 1b główne zaburzenia tektoniczne w postaci uskoków występujące w karbonie. Przebiegały one głównie z północnego zachodu na południowy wschód, wydzielając obszar wydobywczy poszczególnych kopalń.

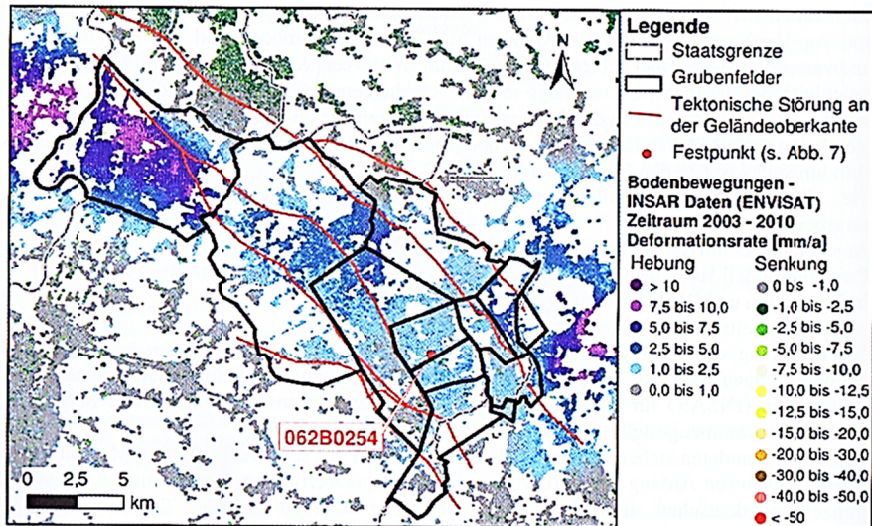
Jak już wspomniano, pomimo decyzji o likwidacji kopalń (1975) do roku 1994 prowadzono ciągle odwodnienie górotworu. Jednak po tym terminie zaprzestano dalszych prac odwadniających i zdecydowano się na zatopienie wyrobisk kopalni. Decyzje te dobrze opisuje rysunek 2 przedstawiający zmiany poziomu wód podziemnych kopalń (wód kopalnianych) w funkcji czasu. Widać na nim, że po decyzji z roku 1994 nastąpiło znaczne podniesienie się poziomu wód o ok. 50 do 100 m, a następnie w dalszych latach poziom ten się podnosi w miarę ze stałą prędkością.



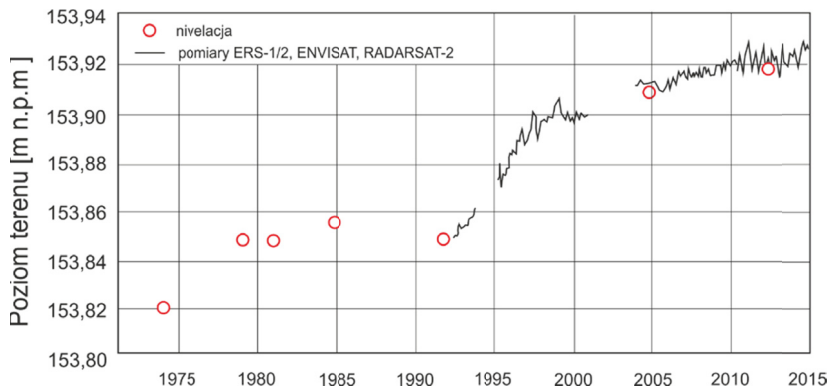
Rys. 2. Zmiany poziomu wód kopalnianych w różnych latach dla prezentowanego Zagłębia Węglowego 9-ciu kopalń

Zmiany, które nastąpiły na powierzchni terenu po zaprzestaniu prowadzenia odwodnienia dobrze prezentuje rysunek 3. Przedstawiono na nim mapę deformacji pionowych powierzchni terenu zarejestrowaną satelitarne w okresie od 2003 do 2010 r. Wskazuje on, że w większości rejon zatopiony wraz z obszarem otaczającym uległ nierównomiernemu wypiętrzeniu. Północno-zachodnia część Zagłębia (obszar nad kopalnią „Maurits”), jak i południowo-wschodni rejon (na wschód od kopalni „Domaniale”) uległy największemu wypiętrzeniu wynoszącym ok. 8-10 mm rocznie. Natomiast maksymalne pomierzone wypiętrzenie powierzchni terenu wyniosło 23 cm.

Na rysunku 4 przedstawiono przebieg procesu zmian przemieszczeń pionowych powierzchni terenu dla punktu o numerze 062B0254 od roku ok. 1974 do 2014. Zauważyć można, że do roku 1992 proces ten nie był jednoznaczny, tzn. punkt zmieniał swoje położenie, zarówno ulegał podnoszeniu, jak i obniżeniu, i to w bardzo niewielkim zakresie ok. 3-4 mm. Natomiast pierwszy pomiar (w roku 2005), który został dokonany po przerwaniu procesu odwadniania (rok 1994) wykazał wzrost rzędnej pionowej położenia o ok 60 mm, czyli prawie dwukrotnie więcej niż pomiary przeprowadzone przez okres ok. 18 lat.

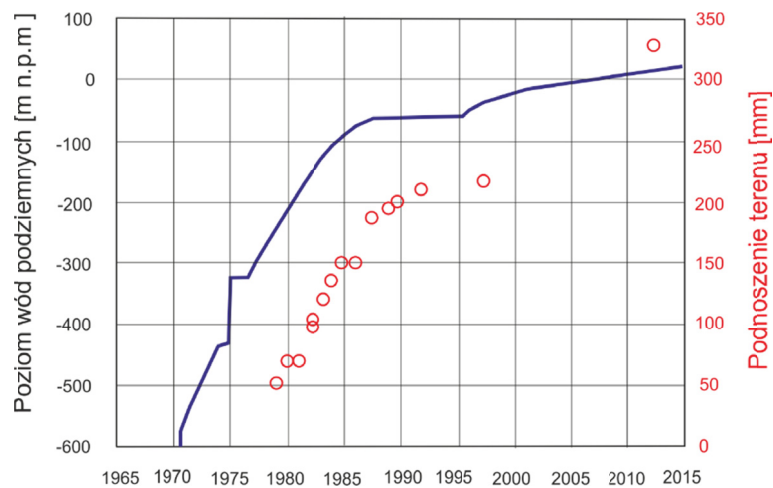


Rys. 3. Przemieszczenia pionowe powierzchni terenu zarejestrowane pomiarami satelitarnymi w okresie od 2003 do 2010 r. w rejonie zatapianych kopalń węgla [Źródło: Heitfeld et al., 2015]



Rys. 4. Przemieszczenia pionowe powierzchni terenu w rejonie zatapianych kopalń węgla dla punktu 062B0254

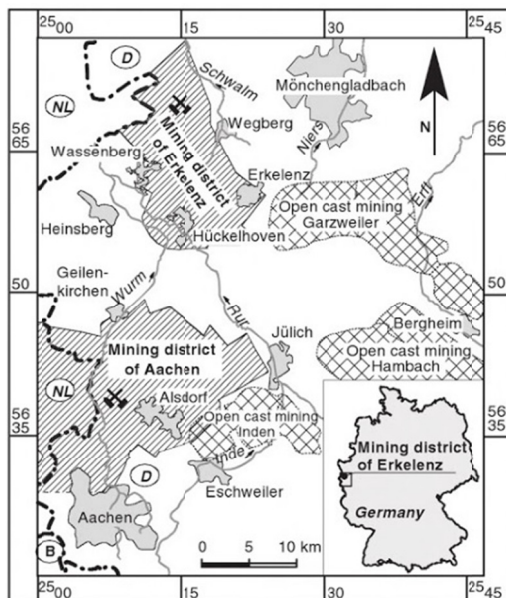
Analizę szczegółową zmian deformacji pionowych powierzchni terenu zaprezentowano na rysunku 5 dla jednego punktu o numerze 062B0254 zlokalizowanego przy granicy Oranje Nassau II (5) i Wilhelmina (6) (oznaczenia z Rys. 1).



Rys. 5. Przemieszczenia pionowe wraz z podnoszeniem się poziomu wód podziemnych (na czerwono – wyniki pomiarów podnoszenia się powierzchni terenu, linia niebieska – pomiar poziomu zwierciadła wody) [Źródło: Heitfeld et al., 2015]

Przykład 2

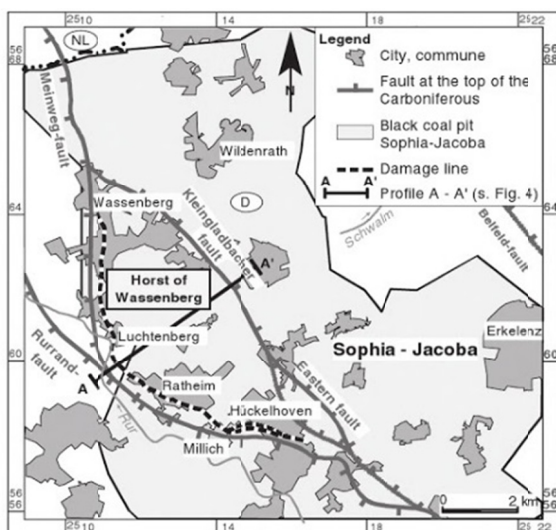
Kolejnym przykładem deformacji powierzchni terenu powstałej w trakcie likwidacji rejonu kopalń poprzez zalewanie jest rejon zlokalizowany ok. 30 km od północnej granicy miasta Aachen (Rys. 6). Wspomniany rejon eksploatowany był w latach od 1914 do 1997 i jej zakończenie wiązało się z zatopieniem kopalni „Sophia-Jackoba” [Heitfeld et al., 2004].



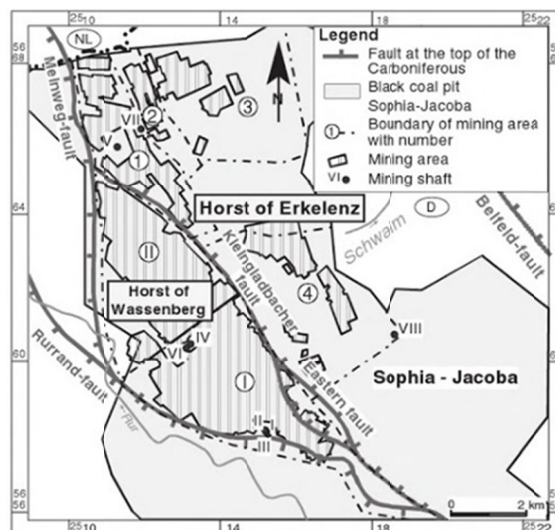
Rys. 6. Prezentowana mapa sytuacyjna rejonu eksploatacyjnego węgla kamiennego „Erkelenz” [Źródło: Heitfeld et al., 2006]

W roku 1999, czyli blisko 2 lata po rozpoczęciu procesu zatapiania kopalni „Sophia-Jackoba” zaczęto rejestrować wzrost zgłoszeń dotyczących szkód górniczych pojawiających się w rejonach „Wassenberg-Ratheim-Hückelhoven”. Pojawili się szkody w postaci rozległych rys w budynkach oraz pęknięcia nawierzchni drogowej. Po przeprowadzeniu badań stwierdzono dodatkowo, że już w roku 2000 wody podziemne osiągnęły poziom nadległych gruntów/skał osadowych.

Analizowane zagłębienie zostało podzielone na kilka rejonów, m.in. Wassenberghorst, czy Erkelenzhorst przez znajdujące się w ich rejonie uskoki tektoniczne. Geologia i tektonika analizowanego rejonu została przedstawiona na rysunkach 7-9. Widać na nich, że rejon ten jest mocno zaburzony uskokami. Jednym

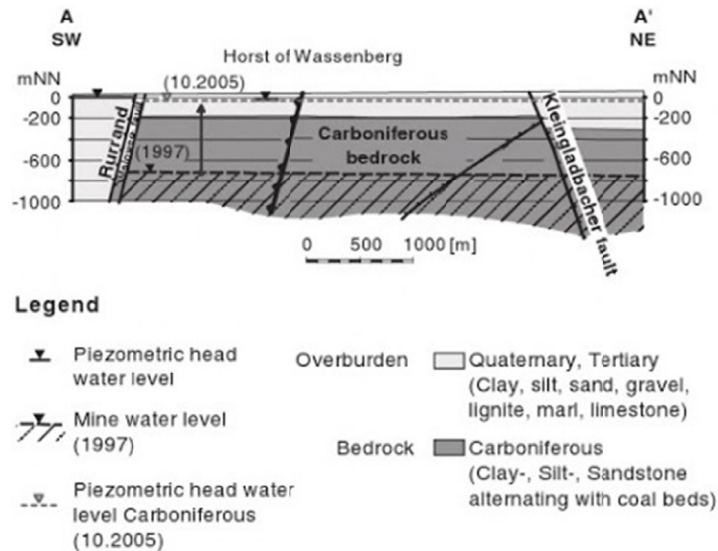


Rys. 7. Rzut przebiegających wychodni uskoków w rejonie Erkelenz [Źródło: Heitfeld et al., 2006]



Rys. 8. Przebieg tektoniki wraz z zaznaczonymi rejonami eksploatacyjnymi [Źródło: Heitfeld et al., 2006]

z głównych systemów biegnących wzdłuż NE-SE i przecinających dolne zagłębienie „Rhine” („Lower Rhine Basin”) jest system uskoków „Rurrand”. Jest to system dobrze zbadany dzięki eksploatacji sąsiadującej kopalni odkrywkowej („Hambach i Garzweiler”) (Rys. 6). Północny rejon „Horst of Wassenberg” (który doświadczył największych podnoszeń) został ograniczony przez uskoki „Kleinglabacher” i „Eastern”. Wzdłuż tych uskoków skały karbonu uległy zrzutowi dochodzącemu do 150 m.



Rys. 9. Przekrój geologiczny SW-NE przez analizowany rejon Horst of Wassenberg
[Źródło: Heitfeld et al., 2006]

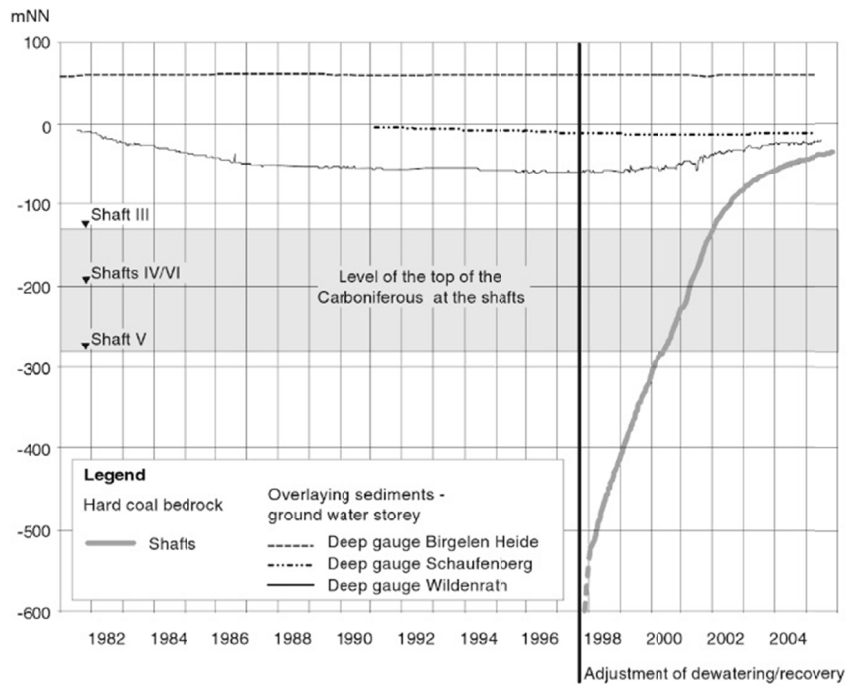
Uwarstwiony górotwór karbonu składa się z warstw węgla kamiennego zalegającego pomiędzy skałami osadowymi (piaskowo-mulistymi) sięgającymi od poziomu Kredy aż do warstw czwartorzędu. Ich miąższość jest zmienna i dla południowej części rejonu „Horst of Wassenberg” wynosi 150 m, by wzrosnąć do 350 m dla północnego rejonu.

W rejonie północno-zachodniej części „Horst of Wassenberg” (obszaru górniczego nr II, Rys. 8) prace górnicze sięgnęły głębokości 750 m, natomiast w częściach północno-wschodnich i wschodnich (oznaczonych numerami 1-4, Rys. 8) eksploatacje prowadzone były na głębokościach od 300 do 780 m.

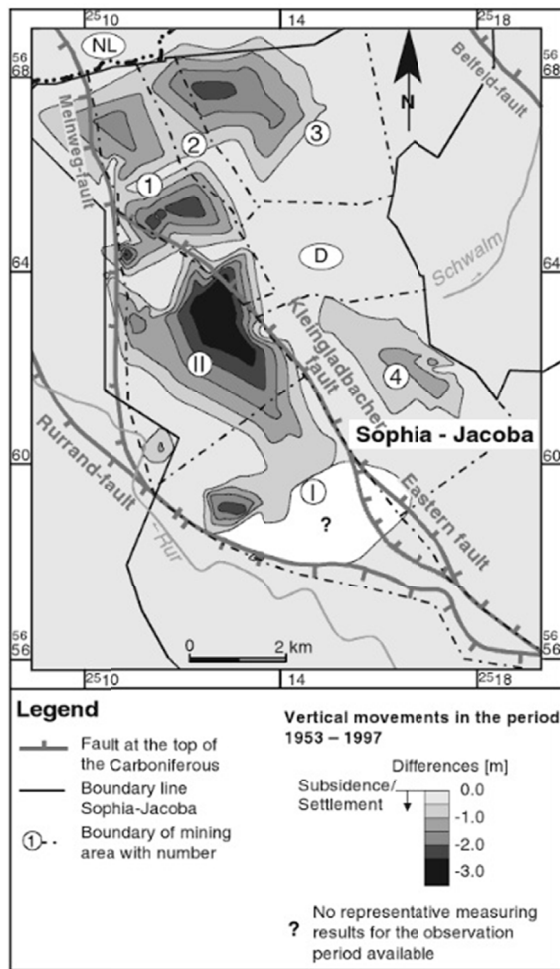
Po zakończeniu procesu odwadniania kopalni Sophia-Jacoba (1997) poziom wód podziemnych zaczął gwałtownie wzrastać o ok. 100 m/rok do 2001 r. W trakcie tego okresu osiągnięto poziom wód podziemnych -150 mNN (Rys. 10). Poziom wód rósł raczej jednolicie na całej powierzchni rejonu „Erkelenz”. W roku 2000 wody podziemne osiągnęły poziom nadkładowych warstw osadowych w północnej części „Horst of Wassenberg”. Pod koniec roku 2001 cały górotwór karbonu w rejonie „Horst of Wassenberg” był wypełniony wodą (szyb III na Rys. 10). Po tym okresie wzrost poziomu wód zaczął zwalniać do wartości aktualnej 8 m/rok. Do roku 2005 poziom wód w rejonie „Horst of Wassenberg” sięgnął -35 m. Należy pamiętać, że w roku 1997, czyli w momencie zakończenia procesu odwadniania wysokość wód podziemnych wynosiła około -780 m, czyli nastąpiło jej podniesienie o ok. 745 m.

Bazując na dostępnych danych, szacuje się, że poziom wód gruntowych znajdujący się w warstwach osadowych przed rozpoczęciem procesu odwadniania związanego z eksploatacją górniczą wynosił ok. 50-60 m, natomiast po uruchomieniu procesu odwadniania poziom ten uległ obniżeniu (Rys. 10 pokazuje trzy poziomy wód gruntowych, gdzie tylko dla poziomu wodonośnego „Birgelen Heide” nie zarejestrowano wpływu prac odwadniających). W „Horst of Wassenberg” poziom wód gruntowych spadł do poziomu ok. -12 m w roku 1999/2000 natomiast w północnej części „Horst of Wassenberg” poziom wód gruntowych osiągnął poziom -60 mNN (Rys. 10 – „Wildenrath”). Po zaprzestaniu procesu odwadniania poziom wód gruntowych ponownie odzyskuje pierwotny poziom z prędkością ok. 1,5 m/rok.

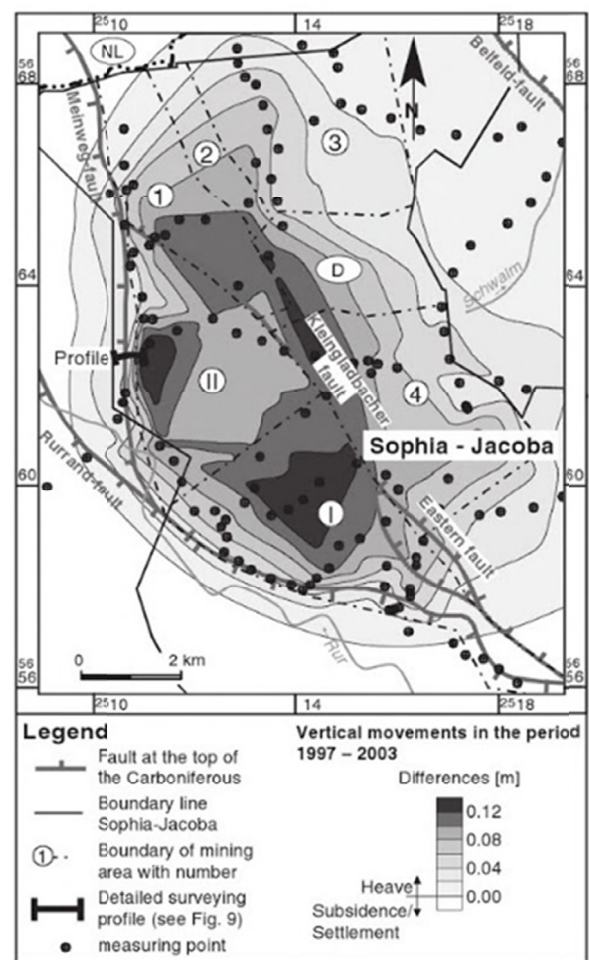
W trakcie prowadzenia podziemnej eksploatacji górniczej, górotwór ulegał deformacjom, których skutki rejestrowane były na powierzchni w postaci przemieszczeń pionowych, przemieszczeń poziomych, odkształceń i nachyleń. W rejonie „Horst of Wassenberg” w okresie od 1953 do 1997 roku maksymalne osiadanie sięgnęło ok. 4 m (Rys. 11), natomiast w tym samym czasie osiadanie związane z odwodnieniem prowadzonym w sąsiedniej kopalni odkrywkowej osiągnęło poziom 10 cm w rejonie „Horst of Wassenberg”. Po zamknięciu



Rys. 10. Wykres podnoszenia się poziomu wód podziemnych (mine water level) [Źródło: Heitfeld et al., 2006]



Rys. 11. Pomierzone osiadanie powierzchni terenu w trakcie prowadzenia podziemnej eksploatacji węgla kamiennego (1953-1997) [Źródło: Heitfeld et al., 2006]



Rys. 12. Pomierzone podnoszenie się powierzchni terenu w trakcie zatapiania rejonów eksploatacyjnych (1997-2003) [Źródło: Heitfeld et al., 2006]

kopalń i zakończeniu procesu odwadniania rejonu „Horst of Wassenberg” górotwór zaczął się podnosić, czego skutkiem było podniesienie poziomu terenu do zarejestrowanej maksymalnej wielkości ok. 15 cm (przy maksymalnej prędkości podnoszenia 1-4 cm na rok w rejonie uskoku „Kleingladbacher”) (Rys. 12).

W rejonie „Wassenberg”, „Ratheim” i „Wildenrath” zarejestrowano maksymalne podniesienie o wartości ok. 7 cm i przyroście rocznym 1-2 cm/rok. Do roku 1999 nie wiązało się to z żadnymi szkodami w powierzchniowych obiektach budowlanych. Jednak gdy poziom wód podziemnych osiągnął górne warstwy skalne, wówczas nastąpił wzrost poziomu wód gruntowych w zalegających warstwach osadowych. W okresie od 2001 do 2003 maksymalne podniesienie poziomu wody kopalnianej wyniosło 3-4 m/rok. W rejonach uskoków „Rurrand” i „Meinweg” powstały deformacje nieciągłe typu liniowego przebiegające w przybliżeniu równoległe do systemu uskoków o długości ok. 8-9 km i różnicy podnoszenia 6-7 cm. Spowodowało to stosunkowo duże uszkodzenia w 120 budynkach, z których 9 zakwalifikowano do szkody całkowitej (katastrofy budowlanej) i zostały wyburzone. Na zdjęciach (Rys. od 13 do 15) pokazano przykładowe obiekty budowlane, które uległy zniszczeniu w wyniku nierównomiernego podniesienia się powierzchni terenu.



Rys. 13. Budynek zakwalifikowany do katastrofy budowlanej spowodowany nieregularnym wypiętrzeniem powierzchni terenu [Źródło: Heitfeld et al., 2006]

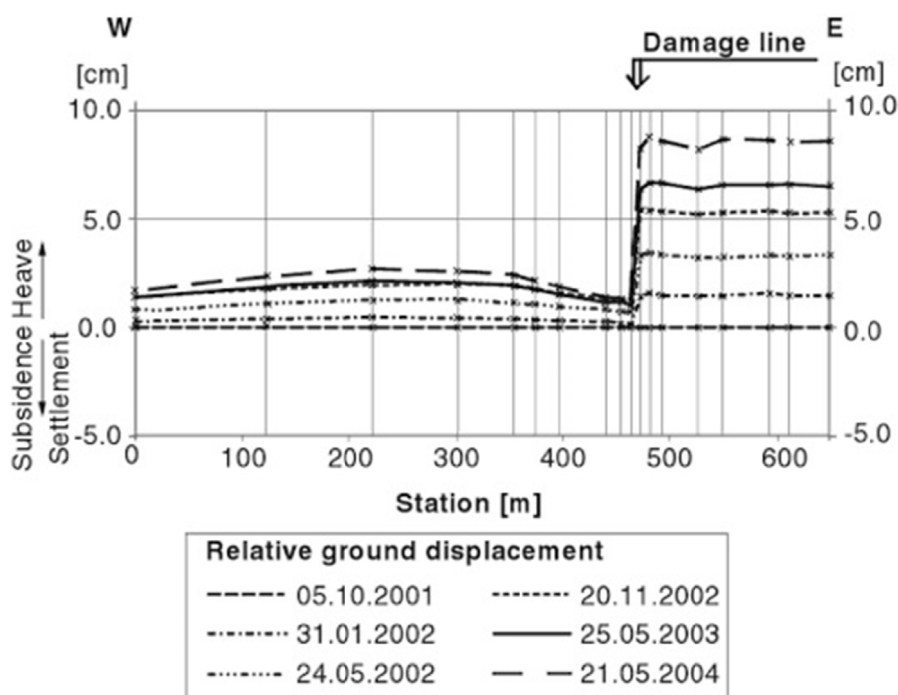


Rys. 14. Uszkodzenia w drodze lokalnej pomiędzy miejscowościami Vogelsang i Luchtenberg [Źródło: Baglikow, 2003]



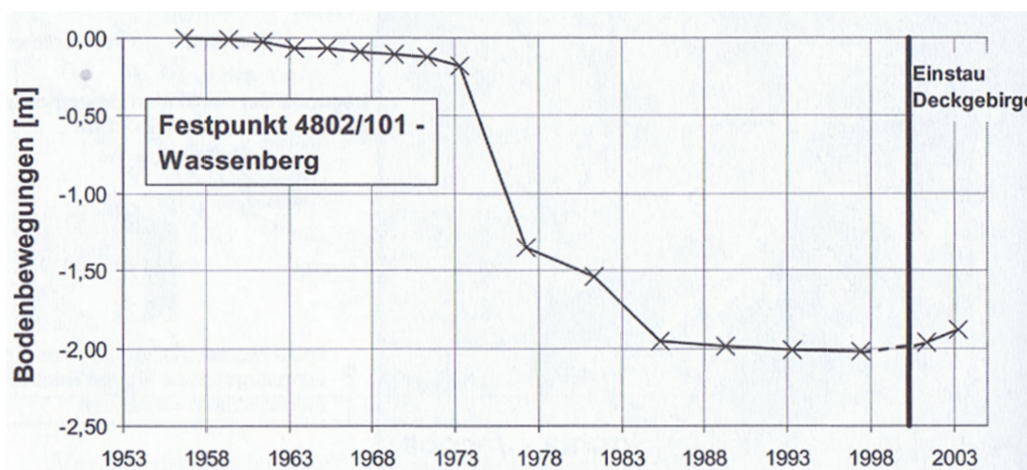
Rys. 15. Uszkodzenie na przybudówce budynku w Wessenberg [Źródło: Baglikow, 2003]

W roku 2000 założono na powierzchni linie geodezyjne rejestrujące przemieszczenia pionowe. Wykazały one istnienie wspomnianej „linii zniszczenia” równoległej do sieci uskoków, która przyczyniła się w głównym stopniu do katastrof budowlanych (Rys. 16).



Rys. 16. Pomiary geodezyjne przemieszczeń pionowych dla linii pomiarowej [Źródło: Heitfeld et al., 2006]

Zachowanie się powierzchni terenu w trakcie procesu eksploatacji podziemnej oraz po jej zakończeniu i rozpoczęciu procesu zatapiania dobrze przedstawia rysunek 17. Widać na nim przebieg procesu osiadania i podnoszenia dla jednego punktu pomiarowego 4802/101-Wassenberg. Do roku 1998 punkt ulegał osiadaniu natomiast od 1998 r. następuje powolne podnoszenie się jego poziomu, którego prędkość istotnie wzrasta wyraźnie w okresie od 2000 r.



Rys. 17. Przemieszczenie pionowe punktu pomiarowego 4802/101-Wassenberg mierzone w okresie od 1953 do 2003 r. [Źródło: Heitfeld et al., 2004]

Ogólnie sytuację związaną z podnoszeniem się powierzchni terenu nad zatapianymi kopalniami dobrze prezentuje tabela 1 (oraz tabela 2) gdzie przedstawiono kilka wybranych rejonów dawnych kopalń wraz z ich krótką charakterystyką.

Tab. 1. Podnoszenie się powierzchni terenu dla kilku przykładowych kopalń podziemnych węgla kamiennego

Rejon górniczy	Głębokość eksploatacji	Maksymalne obniżenie powierzchni terenu [m]	Maksymalne podniesienie powierzchni terenu [cm]	Literatura	Uwagi
Wittener Mulde	≈440	b.d	17	Oberste-Brink, Sroka & Fenk	—
Södteil	b.d	b.d	15	Hülsmann, Sroka & Fenk	—
Ibbenbüren (wschodnia część)	do 625	2	10	George-Mallet & et al. , Sroka & Fenk	Wybranych zostało 5 pokładów. Górówkarstwo karboński w analizowanym rejonie składa się głównie z piaskowców przewarstwionych łupkami. Maksymalne pomierzone podniesienie się powierzchni terenu zarejestrowano w roku 1980, natomiast dopiero w roku 1985 (czyli ok. 3 lata po zaprzestaniu procesu zalewania) zatrzymał się proces podnoszenia rejonu powierzchni terenu.
Faulquemont	600-950	3	13	Branchet & Kaiser, Sroka & Fenk	Rejon znajdujący się ok. 30 km na południowy wschód od miasta Saarbrücken. W latach 1936-1974 wyeksploatowano tam 34 pokłady różnymi technikami o sumarycznej miąższości ok. 12 m. Nad eksploatowanym karbonem znajdują się warstwy piaskowca (350 m-400 m), wapienia, anhydrytu i margla (100 m-150 m).
Zwickau	do 1150	9,0	17	Fenk & Tzscharschuch Sroka & Fenk	W rejonie tym wyeksploatowano 15 pokładów o miąższości przekraczającej 1 m. Dwa lata po zakończeniu procesu eksploatacji na powierzchni terenu zaczęły pojawiać się szkody spowodowane podnoszeniem się terenu. Pomiar wykazały że już w roku 1992 rejon kopalni został całkowicie zatopiony.
Oelsnitz	do 1200	17,3	9	Groß & Wedekind, Sroka & Fenk	Przez lata wyeksploatowano 11 pokładów o miąższości większej niż 1 m. Dwa lata po zakończeniu procesu eksploatacji na powierzchni terenu zaczęły pojawiać się szkody spowodowane podnoszeniem się terenu. Pomiar wykazały, że jeszcze w roku 1998 proces zatapiania kopalń nie został zakończony.

Podsumowanie

Celowa likwidacja kopalń poprzez zatapianie niesie za sobą pewne zagrożenie dla infrastruktury powierzchniowej, jak i podziemnej. Jest ono spowodowane deformacją pionową powierzchni terenu związaną z redukcją naprężeń pionowych w obrębie stref zawału wywołanych poprzez wypór hydrostatyczny. W artykule przedstawiono kilka przykładów deformacji rejonów zatopionych kopalń, gdzie teren uległ pewnemu podniesieniu w stosunku do sytuacji przed likwidacją. Pomierzone w przykładach ciągle przemieszczenia pionowe charakteryzują się niewielkimi wartościami i same w sobie nie są zjawiskiem groźnym dla zabudowy powierzchni, jednak stanowią pewien impuls do powstania deformacji nieciągłych w wychodniach uskoków oraz ich rejonach. Jest to związane z ruchami górotworu w formie ciągłego powierzchniowego podnoszenia oraz dodatkowym osłabieniem tarcia na płaszczyznach kontaktowych uskoków, co może prowadzić do ich wzajemnego przemieszczenia. Zaleca się dla terenów górniczych budowę baz danych informacji o uskokach (których wychodnie są blisko powierzchni terenu), a następnie uwzględnić je przy wydawaniu pozwoleń na zabudowę.

Tab. 2. Podnoszenie się powierzchni terenu dla kilku przykładowych innych złóż stałych.
(Fenk i Tzscharschuch, 2007)

Rejon górniczy	Rodzaj kopalni	Głębokość eksploatacji	Maksymalne obniżenie powierzchni terenu [m]	Maksymalne podniesienie powierzchni terenu [cm]	Literatura	Uwagi
Obszar X	Węgla brunatnego	250	b.d.	11	Spickernagel	Największy przyrost wartości podniesienia się terenu nastąpił ok. 2 latach po zakończeniu prowadzenia odwodnienia i wyniósł on 0.5cm/miesiąc.
Niederlausitz	Węgla brunatnego	90	b.d.	6.7	Zill	—
Rheinbaun	Węgla brunatnego	do 450	0,7	26	Scheafer	—
Mansfeld	Miedzi	do 900	0,4 względnie 7,0	15	Wordelmann	—
Niederschlema	Uranu	do 2000	0,8	7	Groß, Penzel & Wallner	—

The work presented in this paper was performed as part of the MERIDA project (Management of Environmental Risks During and After mine closure) supported by the RFCS under Contract No. RFCR-CT-2015-00004.

Literatura

- Baglikow V., 2003: *Bergschaden nach Beendigung der Grubenwasserhaltung im tiefen Bergbau*. Markscheidewesen 110, nr. 2, pp. 45-49
- Branchet M., Kaiser R., 2001: *Die Einwirkungen der Grubenwasserflutung des Bergwerkes Faulquemont auf die Stabilität der Erdoberfläche*. Tagungsband 43. Tagung des Deutschen Markscheiden-Vereins, Trier, pp. 141-154
- Fenk J., Tzscharschuch D., 2007: *Zur Berechnung flutungsbedingter Hebungen der Tagesoberfläche*. Markscheidewesen 114, nr. 2, pp.60-64
- Fenk J., 1997: *Hebungen der Tagesoberfläche über stillgelegten Steinkohlenbergwerken*. Exkursionsführer Veröffentlichungen der Gesellschaft für Geowissenschaften (GGW) 199, S. 19-22.
- Fenk J., 2000: *Eine analytische Lösung zur Berechnung von Hebungen der Tagesoberfläche bei Flutung unterirdischer Bergwerksanlagen*. Das Markscheidewesen 107, Heft 2, S. 420-422.
- George-Mallet P., Preuße A., Coldewey W.G., 2001: *Hebungen der Tagesoberfläche über betriebenen und gefluteten Bergwerken*. Tagungsband 43. Tagung des Deutschen Markscheider-Vereins, Trier, S. 126-139.
- Groß U., Wedekind C., 2006: *Auswirkungen der Flutung auf die Tagesoberfläche im Bereich des Wismut-Bergbaus im Döhleener Becken*. Tagungsband 7. Geokinematischer Tag, Freiberg 2006, S. 96-110.
- Groß U., Penzel M., Wallner O., 2006: *Abbau- und flutungsbedingte Bodenbewegungen über der Gangerzgrube Schlema-Alberoda der Wismut GmbH*. Tagungsband 7. Geokinematischer Tag, Freiberg, S. 111-125.
- Heitfeld M., Rosner P., Mühlenkamp M., Sahl H., 2004: *Bergschäden im Erkelenzer Steinkohlenrevier*. 4. Altbergbaukolloquium, Montanuniversität Leoben, Tagungsband 4, S. 281-295.
- Heitfeld M., Mainz M., Mühlenkamp M., Scheteling K., 2006: *Ground heave induced by mine water recovery*. Eurock 2006: Multiphysics Coupling and Long Term Behaviour in Rock Mechanics. Eds.: Van Cotthem, Charlier, Thimus, Tshibangu, pp. 315-322.
- Heitfeld M., Denys F., de Vent I., Klünker J., Rosner P., 2015: *Bewertung der Risiken durch Spatfolgen des Seinkohlenbergbaus in Sudlmburg/Niederlande*. 15. Altbergbau – Kolloquium, Leoben, 130-146
- Hülsmann K.H., 1997: *Probleme bei der Aufgabe von Steinkohlenbergwerken in Verbindung mit dem Grundwasseranstieg*. Tagungsband GeoCongress 3, Bochum, S. 115-125.
- Oberste-Brink K., 1940: *Die Frage der Hebungen bei Bodenbewegungen infolge Bergbaus*. Glückauf 76, S. 249-256.
- Pöttgens J.J.E., 1985: *Bodenhebung durch einsteigendes Grubenwasser*. 6. International Kongress für Markscheidewesen. Harrogate, 929-938.

- Pöttgens J.J.E., 1988: *Bodenhebung und Grundwasseranstieg aus geotechnischer und markscheiderisch-geodätischer Sicht im Aachen-Limburger Kohlenrevier*. Freiburger Forschungshefte A 847, S. 193-207.
- Schaefer W., 2006: *Bodenbewegungen im rheinischen Braunkohlenrevier – Beobachtungen nach Wiederanstieg des Grundwassers*. Tagungsband 7. Geokinematischer Tag, Freiberg, S.126-135.
- Spickernagel H., 1975: *Hebungen des Gebirges als Folgen des Bergbaues unter Tage*. Glückauf-Forschungshefte 36, Nr. 4, S. 170-176.
- Sroka A., Fenk J., 2003: *Studie zu Auswirkungen des Grubenwasseranstiegs auf Bewegungen der Tagesoberfläche in stillgelegten Bergbaubereichen des Saarlandes*. Technische Universität Bergakademie Freiberg.
- Tajduś K., Sroka A., Misa R., Dudek M., 2017: *Przykłady zagrożeń powierzchni terenu deformacjami nieciągłymi typu powierzchniowego ujawniające się nad zlikwidowanymi podziemnymi wyrobiskami górnictwami*. Prace Instytutu Mechaniki Górotworu PAN. Vol. 19, no. 3 pp. 3-10.
- Wordelmann H., Schoof H., Focke C. 1987: *Markscheiderische Erfassung von Senkungen über Auslaugungsgebieten*. Freiburger Forschungshefte A 766, 1987, S. 152-170.
- Zill N., 2000: *Untersuchung von vorliegenden Messergebnissen der Reviernivellements-messungen im Südbereich der Niederlausitz*. Studienarbeit TU Bergakademie Freiberg, Institut für Markscheidewesen und Geodäsie, 2000. Unpublished.

Ground surface risks caused by continuous and discontinuous deformation activated during mine flooding

Abstract

The paper presents a description of ground surface risks caused by ceased dewatering operations in coal mines after end of exploitation process. Both, continuous and discontinuous deformation, disclosed in ground surface, are direct effect of mining water level rising process. The authors present examples of areas, in which serious damages caused by ground surface lifting have been observed. Few examples of these occurrences for coal mines and other deposits have been correlated.

Keywords: mine flooding, continuous deformation, discontinuous deformation, geomechanics