

Paweł Dobak, Agnieszka Chylińska

Dynamika zmian osiadań spowodowanych odwodnieniem w otoczeniu kopalni węgla brunatnego „Bełchatów”

Dynamics of settlements changes caused by dewatering
system in surroundings of the “Bełchatów” lignite mine

Streszczenie: 30-letni okres prowadzenia odwodnienia w otoczeniu KWB „Bełchatów” pozwolił na zgromadzenie bogatego, chociaż nie w pełni spójnego materiału dotyczącego charakterystyki procesu osiadania na skutek prowadzonego odwodnienia węgelnego wyrobisk. W referacie przedstawiona zostanie metodyczna ocena materiału obserwacyjnego oraz charakterystyka przestrzennej i czasowej zmienności wskaźnika ilustrującego zmiany dynamiki osiadania na porównawczym tle jednostkowej depresji zwierciadła wód podziemnych. Uzyskane zależności pozwalają ocenić przydatność i zasady interpretowania empirycznych wskaźników procesu na różnych etapach prowadzenia odwodnienia: od uruchomienia procesu i kształtowania się lejów depresyjnego, poprzez stan ustabilizowanej depresji, po recesję zasięgu lejów przy przesuwaniu się frontów eksploatacyjnych. Uzyskane dane dostarczają zarówno praktycznych wskaźników pomocnych przy prognozowaniu osiadań, jak i pozwalają na weryfikację niektórych teoretycznych założeń dotyczących odkształcalności i przebiegu konsolidacji gruntów

Słowa kluczowe: górnictwo odkrywkowe, węgiel brunatny, osiadanie, odwodnienie

Abstract: 30 years of the ground waters drainage carried out in surroundings of the “Bełchatów” lignite mine allowed to collect a rich however not coherent data concerning a characteristic of settlement process caused by dewatering. The report presents methodical appraisal of the observational study as well as time and spatial characteristic of the dynamic of settlements in the comparison with depression of the underground water table. Obtained relationships allow to assess the usefulness and the principles of interpretation of the empirical indicators of the process on the different stages of conducted drainage: since the beginning of the process and shaping of the depression cone, through the stabilized stage of depression, till the recession

Paweł Dobak, Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Katedra Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych, 02-089 Warszawa, al. Żwirki i Wigury 93, e-mail: P.Dobak@uw.edu.pl

Agnieszka Chylińska, Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Katedra Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych, 02-089 Warszawa, al. Żwirki i Wigury 93

of the range of the depression cone while movement of the exploitation front. Gained data provides practical indicators helpful while forecasting settlements and it allows to verify some theoretical assumptions concerning deformation and to reconstruct the course of soil consolidation.

Key words: opencast mining, lignite, settlement, dewatering system

Zagadnienie prognozowania osiadań spowodowanych zmianą stanu naprężenia w odwadnianym masywie gruntowym nie doczekało się opracowania powszechnie stosowanej metodyki. Przyczyną trudności w prognozowaniu tego rodzaju osiadań wynikają z szeregu nierozwiązanych zagadnień teoretycznych i praktycznych takich jak:

- określanie zmian naprężenia w ośrodku gruntowym w warunkach depresji zwierciadła wód podziemnych,
- ocena ściśliwości gruntów, a szczególnie relacje między wynikami badań laboratoryjnych i odkształcalnością masywu gruntowego,
- wyznaczenie zasięgu głębokościowego odkształceń gruntu w stosunku do poziomu obniżonego zwierciadła wód podziemnych.

Z problemami tymi trzeba się było zmierzyć, gdy w latach 1974–1976 niezbędne okazało się prognozowanie osiadań terenu górniczego KWB „Bełchatów”, objętego odwodnieniem o znacznym zasięgu głębokościowym. Prognozy takie miały stanowić ważną wskazówkę przy projektowaniu rozwiązań konstrukcyjnych 12 bloków energetycznych i 6 chłodni o wysokościach ponad 100 m oraz smukłych konstrukcji 2 kominów o wysokościach 300 m.

Istotne przy tym były zarówno wartości bezwzględne osiadań, jak i przechylenia wynikające ze zróżnicowanej przestrzennie ściśliwości podłoża gruntowego, szczególnie w strefach zaangażowanych tektonicznie.

Działające niezależnie zespoły eksperckie z czterech ośrodków (dwóch uczelnianych: Zakładu Prac Geologicznych Uniwersytetu Warszawskiego oraz Instytutu Inżynierii Komunalnej Politechniki Łódzkiej i dwóch wyspecjalizowanych jednostek projektowych: COB-PGO „Poltegor”, COB-PBP „Bistyp”, podały prognozy maksymalnych osiadań od kilkunastu do kilkudziesięciu centymetrów, przy założeniu pełnego odwodnienia masywu gruntowego aż do stropu skał mezozoicznych. Mniejsza od spodziewanej depresja zwierciadła wody spowodowała jednak znacząco mniejsze osiadania (nawet 10-krotnie). Gdy po kilku latach prowadzenia obserwacji terenowych wartości osiadania h odniesiono do obniżenia s zwierciadła wód gruntowych w analizowanych profilach, okazało się, że wyniki prognoz są wprawdzie wyższe od monitorowanych odkształceń, lecz dolne wartości wskaźnika h/s obliczane na podstawie prognoz są porównywalne z danymi obserwacyjnymi (ryc. 1).

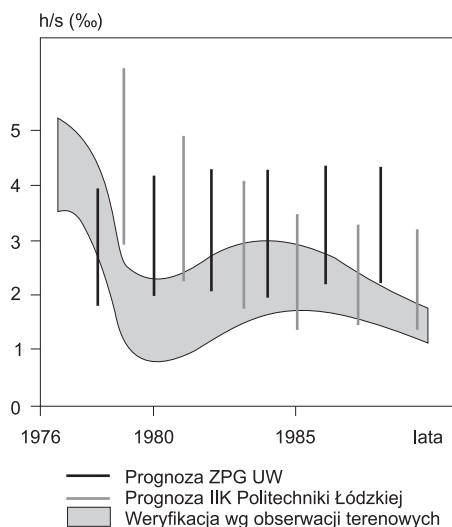
Pomiary prowadzone na zapleczu elektrowni „Bełchatów I” w latach 1989–1993 dały wartości od 20 do 50 mm, przy czym tylko w tym analizowanym okresie średni przyrost osiadań w stosunku do zaobserwowanego przed 1989 r. wyniósł około 25%. Wskazuje to na możliwość intensyfikacji osiadań, spowodowaną między innymi czynnikami konsolidacyjnymi (Dobak, 2000).

Analizowanie osiadań h na tle jednostkowej depresji zwierciadła wód gruntowych stanowi prosty wskaźnik procesu, przydatny zarówno we wstępnych szacun-

kach, jak i jako indykacyjne narzędzie do przestrzenno-czasowej oceny zmienności przebiegu osiadania w obszarach objętych odwodnieniem. Warto podkreślić, że materiał obserwacyjny zgromadzony w okresie ponad 30 lat funkcjonowania KWB „Bełchatów” stanowi unikalną bazę danych dla prześledzenia czynników zmienności osiadań wywołanych odwodnieniem.

Na rycinie 2 przedstawiono rozwój lejów depresyjnego, który jest uwarunkowany zarówno zmianami sytuacji hydrologicznej (lata „suche” i „mokre”), jak i postępem odkrywkowej eksploatacji węgla, wobec której odwodnienie masywu musi mieć charakter wyprzedzający. Warto podkreślić, że w okresie ostatnich 10 lat obserwuje się stopniową recesję zasięgu odwodnienia we wschodnich rejonach terenu górniczego. Jednocześnie w zachodniej części odkrywki „Bełchatów” nakładają się wpływy niezależnego systemu drenażowego zabezpieczającego środowisko w sąsiedztwie wysadu solnego Dębiny oraz rozpoczętego odwadniania nowo uruchamianego pola „Szczerców”. Obszar objęty odwodnieniem charakteryzuje znaczące zróżnicowanie depresji zwierciadła wód gruntowych. W zasięgu złoża poziom wód podziemnych jest obniżany maksymalnie do około 250 m, natomiast na obszarach północnego i południowego otoczenia złoża depresje nie osiągają często stropu wyniesionego w górę mezozoiku. Przykładowo w rejonie sąsiadującym od zachodu z elektrownią „Bełchatów I” depresje są rzędu 25 m przy przeciętnej miąższości utworów kenozoiku do 40 m (poza strefami uskokowymi).

Monitoring osiadań powierzchni terenu wokół kopalni prowadzony był przy znacznie mniejszej częstotliwości pomiarów. Z lat 1976–1981 dysponujemy rocznymi danymi, a izolinie osiadań interpretowano do min. wartości 10 mm. Od 1983 do 1993 r. pomiary wykonywano co 2 lata, a kolejne mapy opracowano wg stanu na grudzień 1999 i 2005 r., przy ograniczeniu interpretacji do niewątpliwych osiadań rzędu 50 mm i więcej. Te zmiany zakresu monitoringu wiążą się zarówno z mniejszymi niż początkowo spodziewano się wartościami osiadań, jak i z trudnościami interpretacyjnymi. Obserwacje oraz przestrzenne analizy wzajemnej stałości punktów odniesienia pomiarów geodezyjnych przeprowadzone na początku lat 80. pokazały, że znacząca regionalna zmiana stanu naprężenia w odwadnianym rejonie zmieniła przypuszczalnie prędkość regionalnych ruchów sekwencjalnych. Niewątpliwie związane to jest z aktywnością sejsmiczną, której wzbudze-

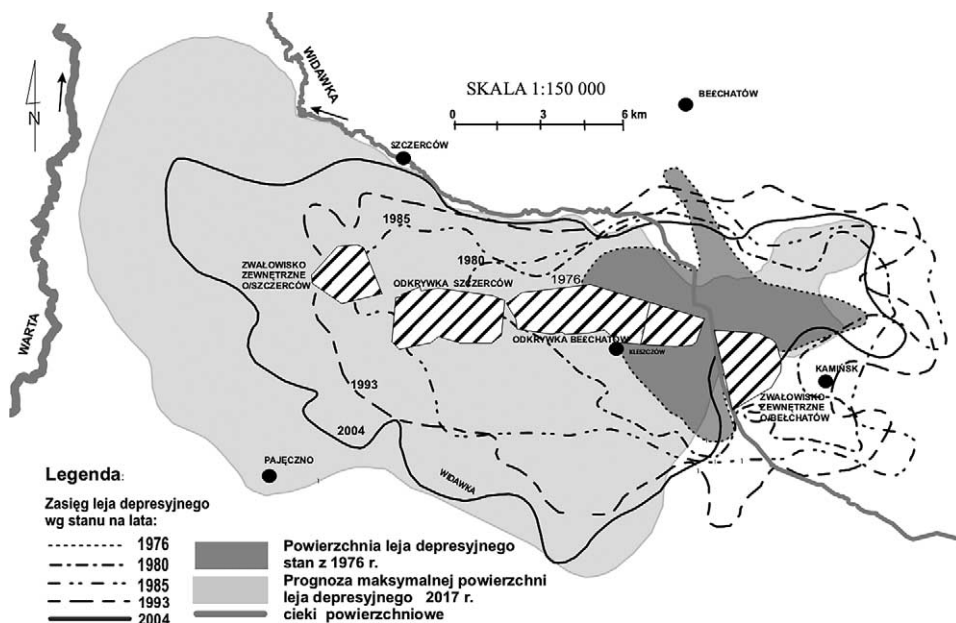


Ryc. 1. Zmiany wskaźników h/s obliczonych na podstawie alternatywnych prognoz osiadań na tle wyników obserwacji terenowych

Fig. 1. Changes of indicators h/s calculated from alternative prognosis of settlement in the comparison with field observations

nie odnotowano po zaistnieniu znacznych przemieszczeń mas gruntowych, szczególnie między odkrywką a zwałowiskiem zewnętrznym. Skrajnie, roboty górnicze dawały różnicę naprężeń dochodzącą maksymalnie do wartości 8 MPa.

Stosunek wartości osiadania h do depresji zwierciadła wody gruntowej s był przedmiotem sukcesywnych analiz prowadzonych przez wiele lat (Dobak, 1986, 1997; Derda, Kosik, 1997; Gostyński, 1998; Chylińska, 2006). Dołączanie danych z kolejnych okresów znacząco wzbogaca początkowo formułowany model. Na podstawie wyników corocznych obserwacji z lat 1976–1981 można było ustalić trzy zasadniczo różniące się pod względem osiadań rejon: N – północnego otoczenia złoża, Z – teren nad złożem, przed rozpoczęciem zdejmowania nadkładu, S – południowe otoczenie złoża. W rejonach N i Z początkowe wartości wskaźnika h/s były najwyższe w pierwszym okresie obserwacyjnym, czyli po roku od rozpoczęcia odwodnienia, a następnie stosunkowo szybko zmniejszały się. Ta charakterystyka, jak pokazały obliczenia modelowe, wynikała przede wszystkim ze zmian w czasie charakteryzujących rozkład przyrostu naprężeń całkowitych i efektywnych w odwodnianym masywie. Przyjmowanie alternatywnych modeli odkształcalności modyfikowało kształt zależności h/s , lecz nie zmieniało ich generalnego trendu. W latach 1976–1981 w rejonie N średnie wartości stosunku h/s zmniejszały się od 4‰ do 2‰, natomiast w rejonie Z były odpowiednio około 2-krotnie wyższe. Z kolei w rejonie S odnotowano średnie wartości h/s początkowo rzędu 2‰, stopniowo zmniejszające się do około 1‰. Warto zauważyć, że w wyróżnionych rejonach zmienność h/s była znaczna, rzędu 50% i więcej. Wynikało to zarówno z sukcesywnego rozwoju procesu,



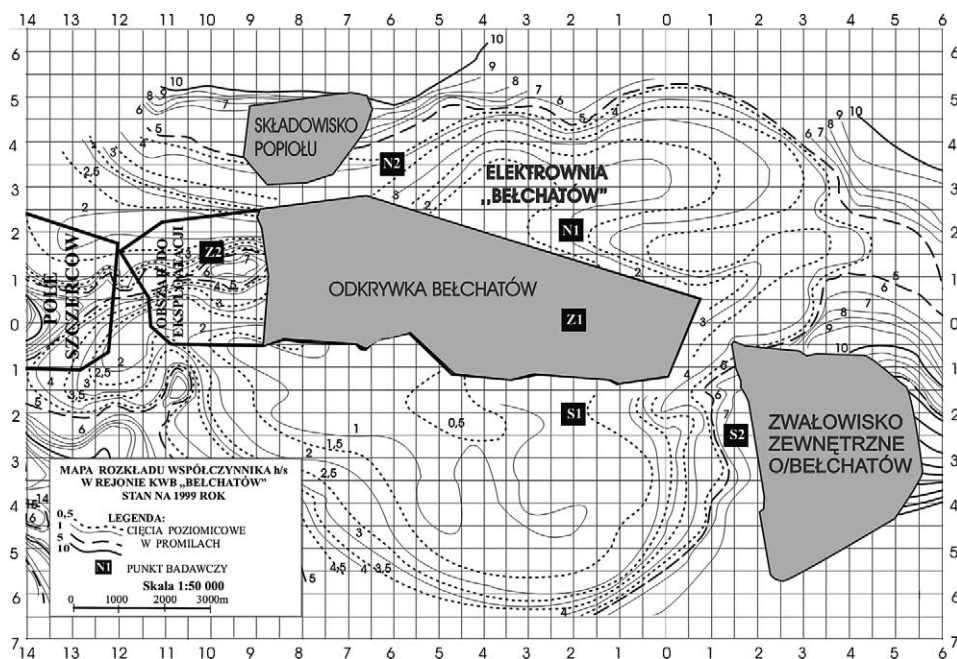
Ryc. 2. Dynamika zmian zasięgu odwodnienia wokół KWB „Bełchatów”

Fig. 2. Dynamics of changes of the ground water drainage in surroundings of the “Bełchatów” lignite mine

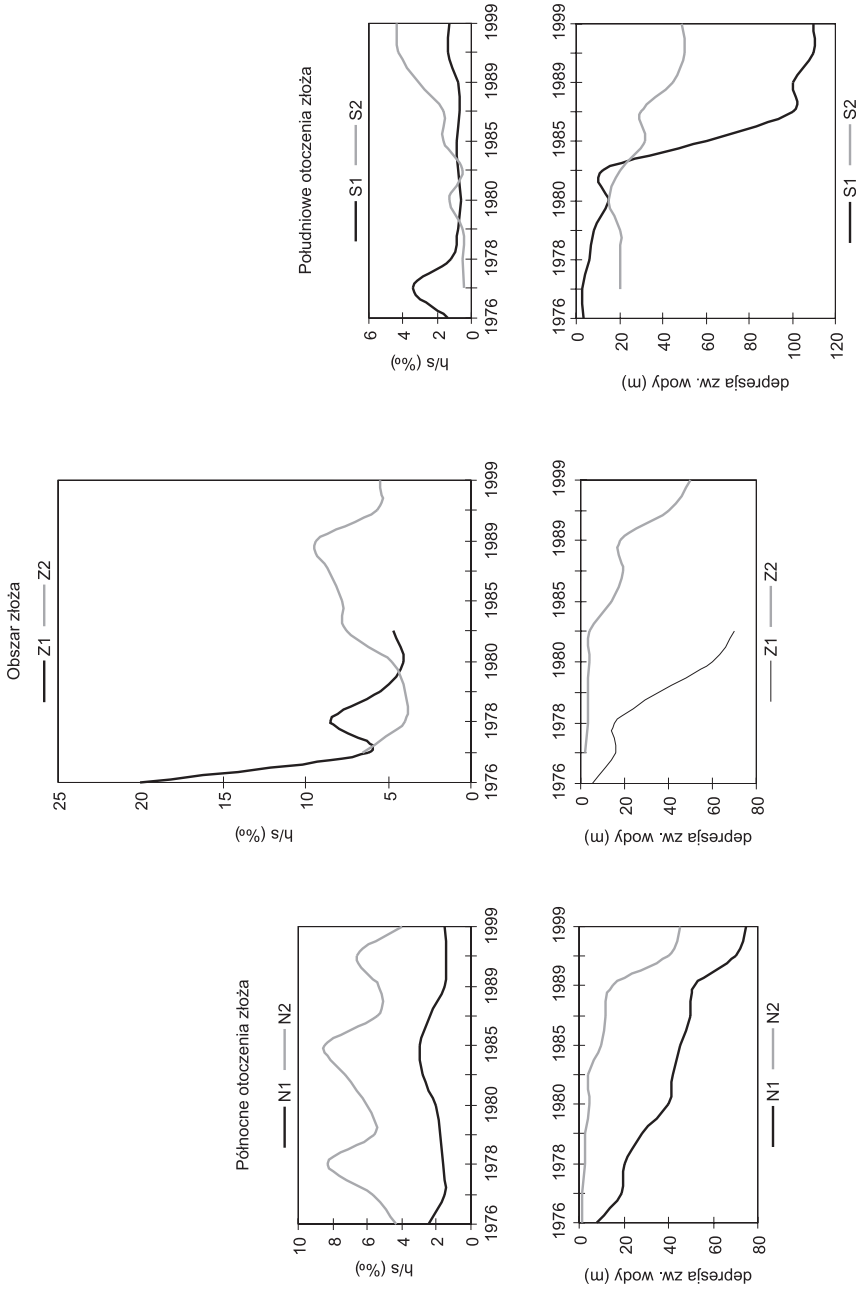
jak i zapewne ze zmienności odkształcalności kenozoicznego masywu gruntowego leżącego na strzaskanym tektonicznie podłożu mezozoicznym.

Istotne zmiany odnotowano po 1983 r., kiedy stwierdzone zostały wspomniane wyżej tendencje do uaktywnienia ruchów wiekowych (geotektonicznych), stwierdzone dzięki zaawansowanym analizom geodezyjnym. To makroregionalne uwarunkowania geotektoniczne (na co wskazywał także w swoich pracach w skali ogólnopolskiej prof. Jerzy Liszkowski) tłumaczyły również odrębność zachowań południowego otoczenia złoża. Fundament waryscyjski ciągnący się na przedłużeniu struktur tektonicznych Roztocza i Gór Świętokrzyskich zaznaczył przypuszczalnie swoją ramową rolę także na południowym skrzydle Rowu Kleszczowa, m.in. poprzez odrębną charakterystykę zmian stosunku h/s .

Wysokie wartości stosunku h/s charakteryzują generalnie inicjalny etap osiadań, co dobrze pokazuje mapa wg stanu na 1999 r., gdy obserwować można było efekty odwodnienia przygotowywanego do eksploatacji pola „Szczerców”. Także wyższe niż w przypadku pola „Bełchatów” wartości inicjalnych h/s odnotowano na południe od pola „Szczerców”. Te odmienności obrazu dokumentują zarówno rolę zmian przestrzennych w budowie geologicznej, jak i być może odmienną „kompetencję geodynamiczną” poszczególnych bloków podłoża. W sytuacji obserwowanych ciągle wstrząsów sejsmicznych o różnej sile oraz częstotliwości zamazaniu ulega poprzednio czytelny obraz zależności osiadania od odwodnienia. Można to prześledzić na wykresach zmienności stosunku h/s wybranych profili pionowych.



Ryc. 3. Przestrzenna charakterystyka zmienności wskaźnika h/s w otoczeniu KWB „Bełchatów”
 Fig. 3. Character of the spatial changeability of the indicator h/s in surroundings of the “Bełchatów” lignite mine



Ryc. 4. Przykładowe zmiany wartości wskaźnika h/s na tle przebiegu depresji zwierciadła wód podziemnych w otoczeniu KWB „Bełchatów”
Fig. 4. Examples of indicator h/s changes in the comparison with depression of the underground water in surroundings of the “Bełchatów”
lignite mine

Ich lokalizacja przedstawiona na mapie (ryc. 3) nawiązuje zarówno do wyróżnionych uprzednio rejonów, jak i podstawowych obiektów infrastrukturalnych, których obecność rzutuje na zachowania podłoża.

Uzyskiwane charakterystyki pokazują znaczną zmienność stosunku h/s w obrębie złoża, jak i w północnym jego otoczeniu (ryc. 4). Wynikać to może z większej roli uwarunkowań tektonicznych i przemieszczeń bloków podłoża uaktywnianych losowo w kolejnych latach. Blisko 2-krotna zmienność h/s w rejonie złoża i ponad 30-procentowa w północnym otoczeniu może wynikać także z błędów wyrównania sieci geodezyjnej w warunkach znacznej, jak na polskie warunki, aktywności sejsmiczno-tektonicznej podłoża (Kielbasiewicz, 1983). Procesem, który odzwierciedla się w przebiegu osiadań, może być też konsolidacyjne opóźnienie osiadań. Jego rola po analizie osiadań w pierwszych latach prowadzenia odwodnienia była minimalizowana (Serewko, Wojciechowski, 1984) w praktycznych aplikacjach dla górniczych prognoz osiadań. Poznanie na odkrytych ścianach wyrobiska wykształcenia facjalnego utworów zastoiskowych, w których wyróżnić można szereg dróg drenażu, wzmacniało poglądy o quasi-sprężystym modelu odkształcalności masywu.

Ponowna analiza statystyczna znacznej liczby wieloletnich danych obserwacyjnych prowadzona aktualnie przez M. Palmąkę wskazuje jednak na możliwość wyróżnienia istotnego czynnika reologiczno-konsolidacyjnego. W masywie obecne są miększe kompleksy ilaste (formacja ilów zielonych) oraz pokłady węgla brunatnego, które wykazują niską przepuszczalność i w związku z tym podatność na wydłużoną konsolidację. Z kolei otoczenie zwałowiska zewnętrznego (profil S2) podlegać może przemieszczeniom związanym z co najmniej czterema rodzajami procesów: osiadań spowodowanym wpływem zwałowiska, lokalnym wypieraniem gruntu u podnóża zwałowiska, osiadań od odwodnienia oraz przemieszczeniom uwarunkowanym wstrząsami sejsmicznymi wzdłuż uskoku Widawki. Znaczny wzrost wartości wskaźnika h/s przy zmniejszonym w stosunku do pierwszych lat obserwacji tempie obniżania zwierciadła wód podziemnych wskazuje tutaj na istotne znaczenie konsolidacji związanej z obciążeniem od zwałowiska, a także na możliwość losowych zaburzeń wywołanych sejsmicznym rozładowywaniem naprężeń w strefie uskokowej.

Wnioski

1. Wskaźnik h/s traktować należy jako narzędzie oceny podatności podłoża na odkształcenia spowodowane różnymi czynnikami. Modelowe zmniejszanie się wartości wskaźnika w toku postępującej depresji zwierciadła wody gruntowej ilustrować może dominację procesu odwodnienia w kształtowaniu osiadań. Zaburzenia tej tendencji wskazują natomiast na udział innych czynników, takich jak uwarunkowania tektoniczno-sejsmiczne, wzrost udziału osiadań spowodowanych wydłużoną konsolidacją czy też odkształcenia związane z obciążeniem/odciążeniem od przemieszczonych mas ziemnych.
2. Niewiele wyższe wartości wskaźnika h/s z obszaru złoża w stosunku do jego północnego otoczenia wskazują na znaczną rolę odkształceń w płytszych par-

- tiach masywu gruntowego. Głębiej, chociaż występują utwory postrzegane tradycyjnie jako ściśliwe, odkształcenia nie są znaczne, gdyż wartości modułów szybko wzrastają wraz z naprężeniem i głębokością położenia warstwy.
3. Monitorowanie zmian wskaźnika h/s pokazuje, że w warunkach bełchatowskich największe wartości h/s rzędu 10–20‰ występują nad obszarem złoża, a więc w miejscach, które nie są przeznaczone do trwałego zagospodarowania. W północnym otoczeniu złoża wartości h/s są zazwyczaj rzędu kilku promili i wyjątkowo w inicjalnym okresie osiadań przekraczają 10‰. Obraz uzyskany w południowym otoczeniu złoża jest bardzo zmienny: od kilku promili na południe od pola „Bełchatów” do kilkunastu promili w objętym inicjalną fazą procesu terenie na południe od pola „Szczerców”.
 4. Wartości wskaźnika h/s stanowią mogą orientacyjne tło dla oceny osiadań wywołanych odwodnieniem na terenach przeznaczonych do zagospodarowania. Uwzględnić przy tym należy dodatkowo możliwość występowania udokumentowanych różnic osiadań w niewielkich odległościach, co spowodowane jest przede wszystkim losowym charakterem przemieszczeń od wstrząsów sejsmicznych manifestujących ożywienie aktywności neotektonicznej.

Literatura

- Chylińska A., 2006. Przestrzenna charakterystyka osiadań spowodowanych odwodnieniem KWB „Bełchatów”. Archiwum Katedry Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych, Wydział Geologii Uniwersytetu Warszawskiego.
- Derda J., Kosik A., 1997. Określenie zmian środowiska geologicznego w wyniku przesuwania się frontu eksploatacji i leja depresyjnego w otoczeniu KWB „Bełchatów”. Archiwum KOŚiZN.
- Dobak P., 1986. Zmiany odkształcalności gruntów wywołane procesami inżyniersko-geologicznymi w rejonie Kopalni Węgla Brunatnego „Bełchatów”. Archiwum Wydziału Geologii Uniwersytetu Warszawskiego.
- Dobak P., 1997. Les problemes de la prognose du tassement dans de differentes conditions geologiques de la region Bełchatów. Proc. Int. Symp. IAEG – Athens 1997, pp. 2365–2370, ryc. 3, tab. 4, poz. bibl. 8.
- Dobak P., 2000. Retrospektywna analiza osiadań podłoża elektrowni Bełchatów I. Materiały IV Konf. Naukowo-technicznej „Aktualne problemy badawcze budownictwa” Olsztyn–Łańsk.
- Gostyński J., 1998. Wpływ odwodnienia kopalni węgla brunatnego „Bełchatów” na odkształcenia powierzchni terenu. Archiwum KOŚiZN.
- Kiełbasiewicz W., 1983. Komputerowe obliczenia deformacji terenów w kopalniach odkrywkowych i ich interpretacja. Prace Naukowe Instytutu Geotechniki Politechniki Wrocławskiej 36, Monografie 13.
- Serewko K., Wojciechowski J., 1984. Verification of a model of ground subsidence produced by drainage. Proc. of 3rd International Conference on Ground Movements and Structures. Cardiff.