

Jan ZYCH  
Politechnika Śląska, Gliwice

## PRZYŚPIESZENIE OSIADANIA POD WPLYWEM DUŻEGO POSTĘPU FRONTU EKSPLOATACYJNEGO Z POSTOJAMI

**Streszczenie.** Z pomiarów geodezyjnych prowadzonych codziennie przy dużych postępach frontu, zwłaszcza z postojami, wynika inny niż pierwotnie przyjmowano obraz prędkości i przyśpieszenia osiadania powierzchni terenu.

W artykule przedstawione będą wyniki pomiarów geodezyjnych prowadzonych na kopalni „Jankowice” oraz na tej podstawie podjęta będzie próba teoretycznego opisu prędkości i przyśpieszenia osiadania.

## THE SUBSIDENCE ACCELERATION UNDER THE INFLUENCE OF LARGE RATE OF FACE ADVANCE WITH STOPPAGE

**Summary.** For geodetic surveys carrying out daily when rate of face advance with stoppage result, pictures of subsidence speed and subsidence acceleration are different than it was known.

The geodetic measurement results carrying out on surface over mining exploitation of coal mine and theoretical description test of subsidence speed and subsidence acceleration is presented in the paper.

### 1. Wstęp

Badania nad wpływem postępu frontu na powierzchnię terenu trwają w Polsce wiele lat [1- 10] i do dziś problem ten nie został jednoznacznie wyjaśniony.

Nie można było go wyjaśnić z dwóch zasadniczych względów:

- postępy frontu były za małe,
- pomiary na powierzchni wykonywane były zbyt rzadko.

Dopiero w ostatnich latach rozwój mechanizacji i technologii eksploatacji doprowadził

do znacznego wzrostu postępu frontu. Z kolei z obawy przed ujemnymi skutkami takiej eksploatacji zaczęto znacznie częściej prowadzić pomiary dochodząc do pomiarów prowadzonych nawet codziennie.

Z badań autora wynika, że im większy jest postęp frontu, przy niezmiennych innych warunkach, tym większe wpływ mają przerwy (np. w soboty i niedziele) na przebieg procesu deformacji na powierzchni terenu.

Dużą trudność w rozwiązywaniu tego problemu stanowi fakt, że postęp frontu od poniedziałku do piątku, z różnych względów, nie jest stały – inny jest w zasadzie każdego dnia.

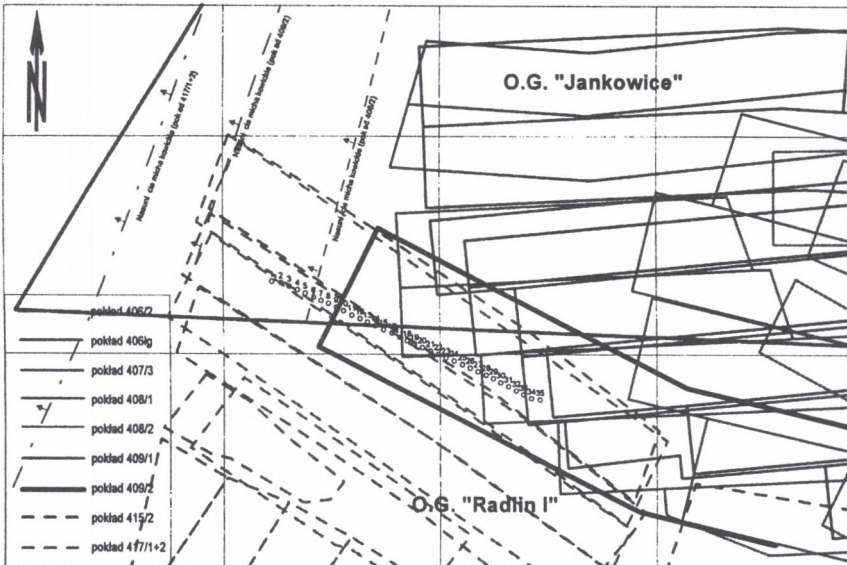
Dynamikę wpływów eksploatacji charakteryzują przyrosty deformacji i zmiany tych przyrostów w czasie. Jak dotychczas, najłatwiejszymi do uzyskania na podstawie pomiarów miernikami dynamiki eksploatacji są przyrosty osiadań, czyli prędkość osiadania i zmiany tych przyrostów w czasie - przyspieszenia osiadania.

Zasadnicze pomiary prowadzone w Polsce w celu zbadania wpływu postępu frontu na zachowanie się powierzchni terenu dokonywane były przy zmiennym postępie frontu od poniedziałku do piątku z postojami w sobotę i niedzielę, a więc dla najbardziej złożonego przypadku. Trudno jest zatem rozwiązać ten problem.

W artykule przeprowadzono analizę wpływu dużego postępu frontu z przerwami w sobotę i niedzielę na przyspieszenie osiadania. Analiza została przeprowadzona na podstawie wyników pomiarów geodezyjnych prowadzonych na kopalni „Jankowice”. W dalszej części przedstawiono próbę teoretycznego opisu przyspieszenia osiadania.

## **2. Charakterystyka linii obserwacyjnej oraz warunków geologiczno-górnictwowych**

Linia obserwacyjna składająca się z 35 punktów założona została nad eksploatowaną ścianą Z-3 w pokładzie 409/2 (rys. 1). Odległość pomiędzy punktami linii wynosiła średnio 20 m. Na linii tej pomiary prowadzono średnio co tydzień, a w dwóch tygodniowych okresach pomiary wykonywano codziennie. Eksploatowany pokład miał grubość około 2,0 m i był wybierany z zawałem stropu na średniej głębokości 275 m. Postęp frontu był zmienny i wynosił w granicach od 2,0 do 14,0 m/dobę. Wcześniej nad ścianą Z-3 wybrane zostały, w różnym zakresie, trzy pokłady, a pod ścianą dwa pokłady.



Rys. 1. Lokalizacja linii obserwacyjnej oraz zakres dokonanej eksploatacji przed wybraniem ściany Z-3 w pokładzie 409/2

Fig. 1. The plan showing location of observation stations and longwall panels in coal seams before mining Z-3 longwall panel in 409/2 coal seam

### 3. Wyniki pomiarów

Na podstawie pomierzonych osiadań obliczono najpierw prędkość osiadania dla poszczególnych punktów i cykli pomiarowych. Obliczona dla danego punktu prędkość jest wartością średnią dla rozpatrywanego okresu i można ją obliczyć z wzoru

$$V_w = \frac{\Delta w}{\Delta t}, [\text{mm/dobę}] \quad (1)$$

gdzie:

$\Delta w$  – różnica osiadania punktu pomiędzy dwoma cyklami,

$\Delta t$  – różnica czasu pomiędzy tymi cyklami.

Dla tych samych punktów obliczono przyspieszenia osiadania według wzoru

$$p_w = \frac{\Delta V_w}{\Delta t}, [\text{mm/dobę}^2] \quad (2)$$

gdzie:

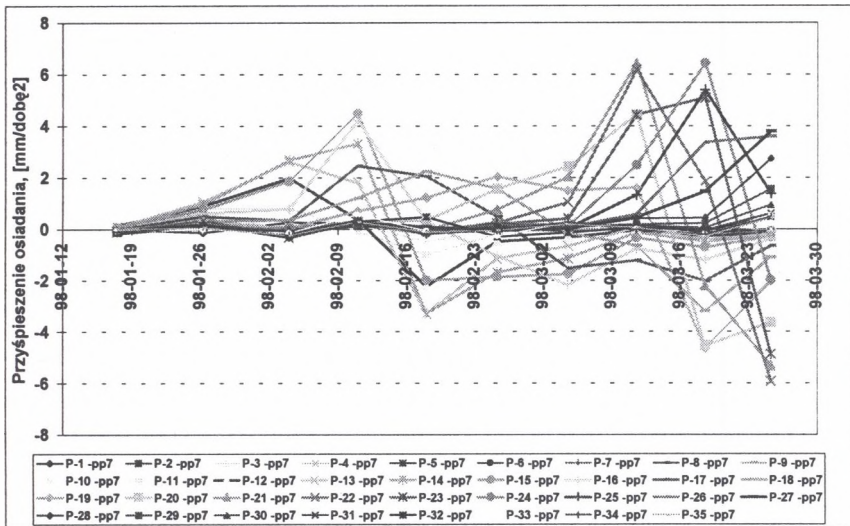
$\Delta V_w$  – różnica prędkości osiadania pomiędzy dwoma cyklami,

$\Delta t$  – różnica czasu pomiędzy tymi cyklami.

Dla analizowanej linii przyspieszenia osiadania obliczono z pomiarów wykonywanych średnio co tydzień i osobno z pomiarów wykonywanych codziennie w dwóch tygodniowych okresach.

Przyspieszenia osiadania obliczone z pomiarów wykonywanych co tydzień przedstawiono na rys. 2. Przyspieszenia osiadania obliczone z pomiarów wykonywanych średnio co tydzień oraz codziennie w dwóch okresach przedstawiono na rys. 3.

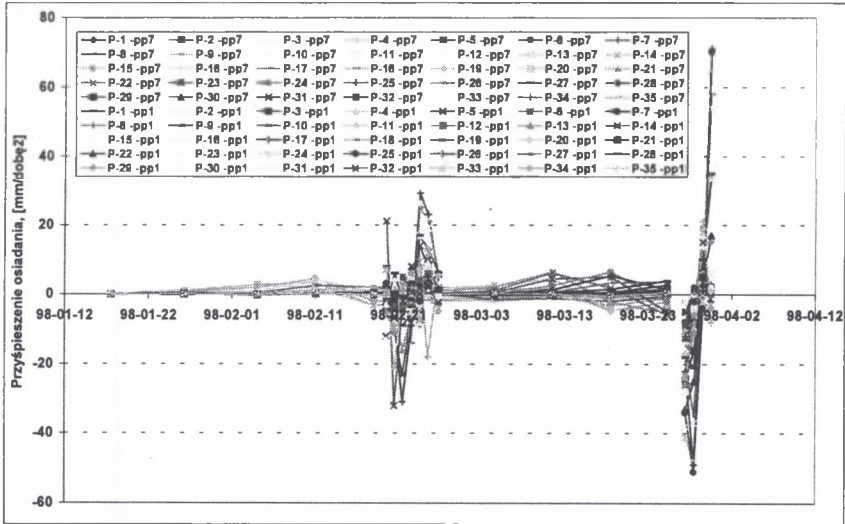
Przyspieszenia osiadania obliczone z pomiarów wykonywanych codziennie w okresie I przedstawiono na rys. 4.



Rys. 2. Przyspieszenie osiadania obliczone z pomiarów wykonywanych średnio co tydzień  
Fig. 2. The subsidence acceleration calculated for weekly time interval between surveys

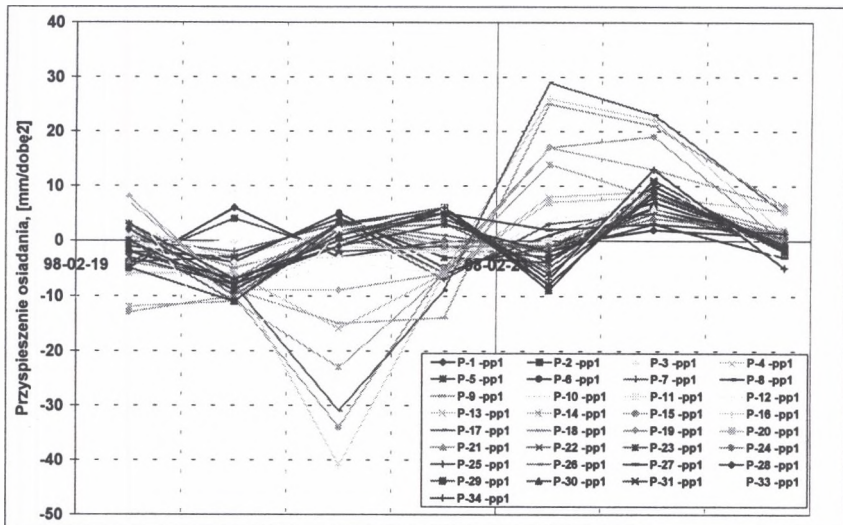
Wykresy przyspieszenia osiadania dla kilku wybranych punktów z pomiarów wykonywanych średnio co tydzień oraz codziennie w I okresie przedstawiono na rys. 5. Z wykresów tych wynika, że inny jest obraz przyspieszeń osiadania obliczonych z pomiarów wykonywanych co tydzień, a inny z pomiarów wykonywanych codziennie.

Maksymalne przyspieszenie osiadania w okresie I z pomiarów wykonywanych co tydzień wynosiło od  $-3,3$  do  $+4,5$   $\text{mm/dobę}^2$ , a w okresie II wynosiło od  $-5,9$  do  $+6,4$   $\text{mm/dobę}^2$ . Przyspieszenia osiadania z pomiarów wykonywanych codziennie były znacznie większe i w okresie I wynosiły od  $-41,0$  do  $+29,0$   $\text{mm/dobę}^2$ , natomiast w okresie II wynosiły od  $-51,0$  do  $+71,0$   $\text{mm/dobę}^2$ . Są to wartości bardzo duże.



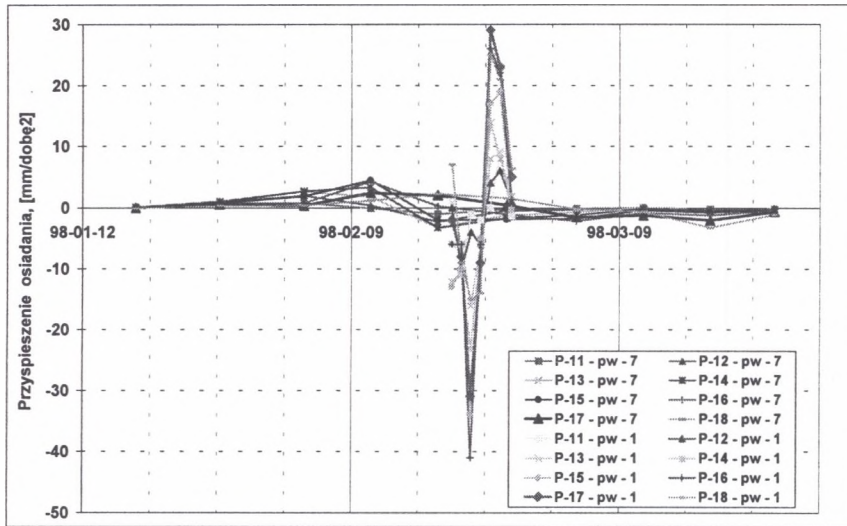
Rys. 3. Przyspieszenie osiadania obliczone z pomiarów wykonywanych co tydzień oraz codziennie w okresach I i II

Fig. 3. The subsidence acceleration calculated for weekly and one-day time interval between surveys (first and second)



Rys. 4. Przyspieszenie osiadania obliczone z pomiarów wykonywanych codziennie w okresie I

Fig. 4. The subsidence acceleration calculated for one-day time interval between surveys in first period



Rys. 5. Przyspieszenia osiadania obliczone dla wybranych punktów z pomiarów wykonywanych co tydzień – pw-7 oraz codziennie – pw-1 w okresie I

Fig. 5. The subsidence acceleration calculated for few points for weekly (pw – 7) and one-day (pw – 1) time interval between surveys in first period

#### 4. Propozycja teoretycznego opisu prędkości i przyspieszenia osiadania

Z badań własnych [9,10] wynika, że funkcję prędkości osiadania przy dużym postępie frontu z przerwami w sobotę i niedzielę można przedstawić za pomocą wzoru:

$$F(t, \dots, k) = \frac{dw(t, \dots)}{dt} = f(t, \dots)[1 + k q(t, \dots)] \quad (3)$$

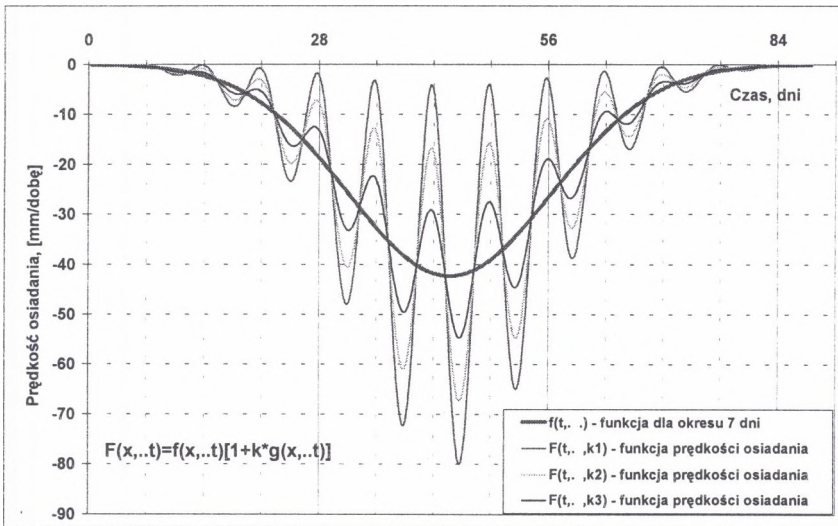
gdzie :

$f(t, \dots)$  – funkcja prędkości osiadania dla okresów tygodniowych,

$q(t, \dots)$  – funkcja okresowa,

$k$  – współczynnik zależny od postępu frontu.

Graficzną interpretację funkcji prędkości osiadania przy dużych postępach frontu z postojami frontu w soboty i niedziele przedstawiono na rys. 6. Im postęp frontu jest większy i dłuższy jest postój frontu, tym współczynnik  $k$  jest większy i tym większa jest amplituda zmienności prędkości osiadania. Dla okresów siedmiodniowych przy ciągłym postępie frontu i z postojami prędkość osiadania opisana jest funkcją  $f(t, \dots)$ .



Rys. 6. Teoretyczne wykresy prędkości osiadania przy dużych postęпах frontu z przerwami sobotnio-niedzielnymi

Fig. 6. The theoretical curves subsidence rate as effect of large rate of face advance with weekend stoppage

W celu potwierdzenia zgodności proponowanej teoretycznej funkcji prędkości osiadania z wynikami pomiarów, dokonano jej porównania dla wielu punktów linii obserwacyjnej. Wyniki porównania dla punktu 18 przedstawiono graficznie na rys. 7.

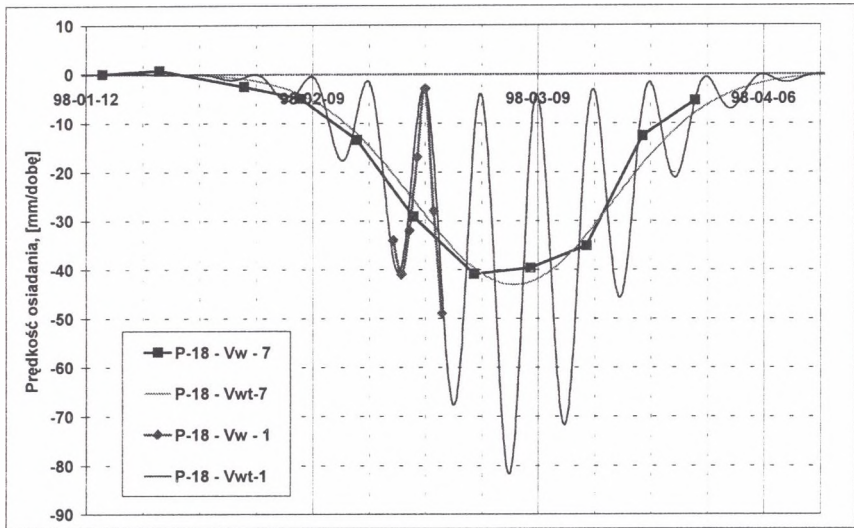
Porównania przebiegu prędkości obliczonej dla okresów siedmiodniowych można było dokonać na całym przebiegu krzywej, natomiast dla okresów jednodniowych tylko w okresie jednego tygodnia, gdyż tylko przez jeden tydzień pomiary wykonywane były codziennie. Z wykresów wynika duża zgodność krzywych teoretycznych prędkości osiadania z wynikami pomiarów.

Przyspieszenie osiadania jest pochodną funkcji prędkości osiadania. Wykresy przyspieszenia osiadania można zatem otrzymać przez zróżniczkowanie wzoru (3).

Teoretyczne wykresy przyspieszenia osiadania obliczone dla okresów siedmiodniowych pwt-7 jako pochodna z krzywych teoretycznych prędkości osiadania przedstawiono na rys. 8.

Teoretyczne wykresy przyspieszenia osiadania z krzywych teoretycznych prędkości osiadania dla okresów jednodniowych przedstawiono na rys. 9.

W celu sprawdzenia zgodności teoretycznych funkcji przyspieszenia osiadania z wynikami pomiarów dokonano jej porównania dla kilku punktów linii obserwacyjnej. Wyniki porównania dla punktu 18 przedstawiono graficznie na rys. 10. Z porównania tego wynika duża zgodność wyników pomiarów z krzywymi teoretycznymi przyspieszenia osiadania.



Rys. 7. Prędkości osiadania obliczone teoretycznie dla okresów siedmiodniowych i jednodniowych oraz otrzymane z pomiarów dla punktu 18 linii obserwacyjnej  
 Fig. 7. The subsidence rate of 18th observational point calculated theoretically for weekly and one-day time interval between surveys and calculated for surveys

Niewielkie różnice, jakie występują pomiędzy krzywymi teoretycznymi prędkości osiadania i przyspieszenia osiadania spowodowane są, oprócz innych czynników, zmiennym postępowaniem frontu od poniedziałku do piątku.

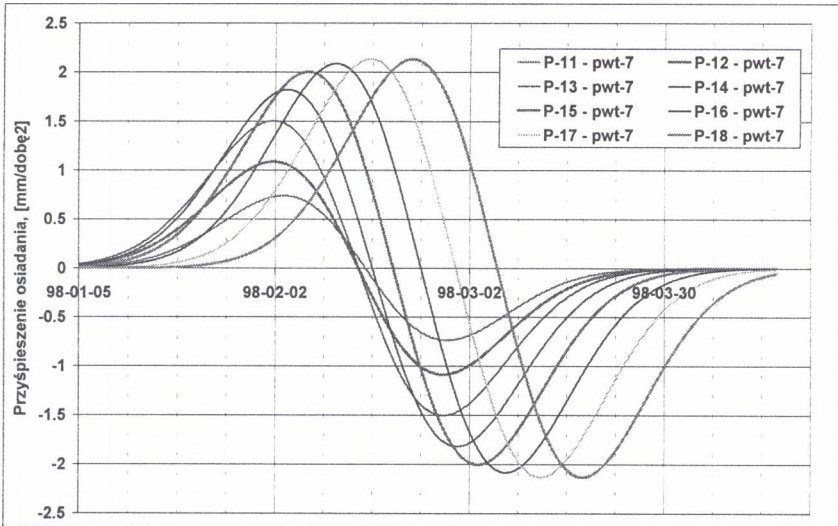
Z porównania teoretycznych krzywych prędkości i przyspieszenia osiadania z wartościami obliczonymi z pomiarów wynika, że przyjęty teoretyczny model dobrze opisuje faktyczny przebieg procesu i stąd może być przedmiotem teoretycznych rozważań.

Obliczone z pomiarów na analizowanej linii praktyczne wartości przyspieszenia osiadania są bardzo duże, wielokrotnie przekraczające przeciętne wartości uzyskiwane z pomiarów.

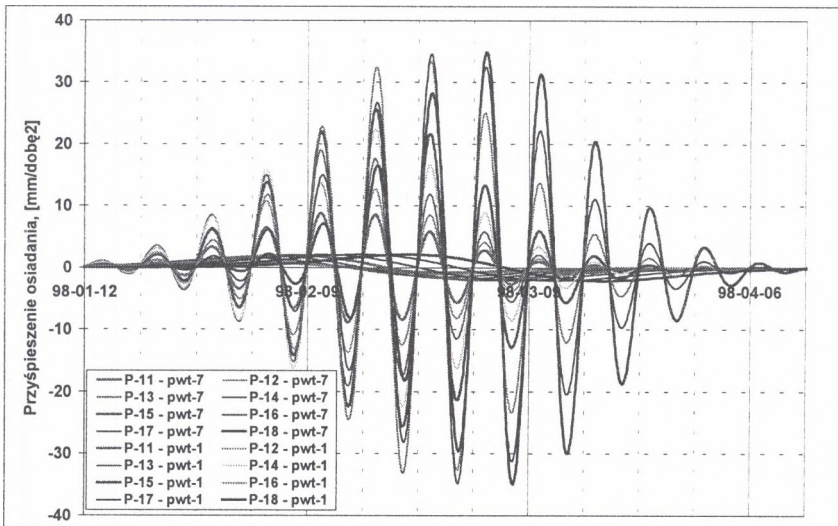
W pracy [4] jako graniczną wartość prędkości osiadania dla V kategorii wpływów przyjęto prędkość osiadania większą od 18 mm/dobę. Obliczone z pomiarów na analizowanej linii wartości maksymalne przyrostów osiadania są ponad pięć razy większe.

W pracy [13], w której przedstawiono propozycję rozszerzenia klasyfikacji odporności obiektów o wskaźniki graniczne dynamiki eksploatacji, przyjęto dla 4 kategorii graniczną prędkość osiadania równą 18 mm/dobę oraz graniczne przyspieszenie osiadania 0,5 mm/dobę<sup>2</sup>.



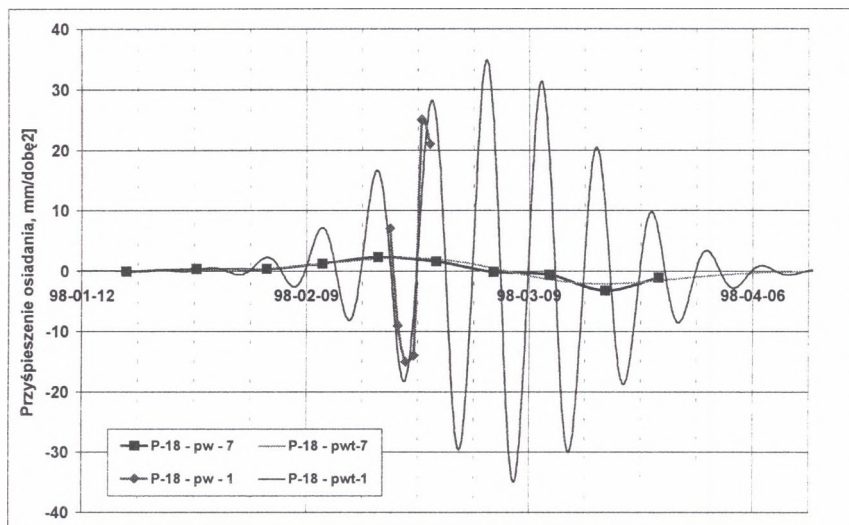


Rys. 8. Teoretyczne wykresy przyspieszeń osiadania obliczone dla okresów siedmiodniowych  
 Fig. 8. The theoretical curves of subsidence acceleration calculated for weekly and one-day time interval between surveys



Rys. 9. Teoretyczne wykresy przyspieszenia osiadania dla okresów jednodniowych – pwt-1 oraz przyspieszenie osiadania dla okresów siedmiodniowych – pwt-7  
 Fig. 9. The theoretical curves of subsidence acceleration calculated for one-day (pwt-1) and weekly (pwt-7) time interval between surveys

Zakładając, że te przyjęte wyżej wartości zaproponowano na podstawie pomiarów prowadzonych nie co dzień, to i tak są to wartości wielokrotnie mniejsze od wartości, jakie otrzymano z pomiarów wykonywanych co tydzień na analizowanej linii obserwacyjnej, nie mówiąc o wartościach otrzymanych z pomiarów wykonywanych codziennie.



Rys. 10. Przyśpieszenia osiadania obliczone teoretycznie dla okresów siedmiodniowych i jednodniowych oraz otrzymane z pomiarów dla punktu 18 linii obserwacyjnej

Fig. 10. The subsidence acceleration of 18th observational point calculated theoretically for weekly and one-day time interval between surveys and calculated for surveys

## 5. Podsumowanie i wnioski

Dotychczasowe badania nie potwierdziły poglądu, że duży postęp frontu ma znaczny wpływ na zmniejszenie maksymalnych deformacji powierzchni terenu. Przy zwiększonym postępie frontu znacznie wzrastają prędkość i przyśpieszenie narastania deformacji.

Z obserwacji wynika, że inny jest przebieg deformacji przy dużym postępie frontu z postojami i bez postojów. Przy dużym postępie frontu z postojami występuje nierównomierna prędkość osiadania w poszczególnych dniach tygodnia z tym, że najmniejsza prędkość występuje pod koniec postoju frontu lub w krótkim czasie po uruchomieniu frontu.

Analizowany przykład linii obserwacyjnej z kopalni „Jankowice” jest bardzo dobrym przykładem ze względu na znaczny postęp frontu z postojami w sobotę i niedzielę. Otrzymane z pomiarów wartości prędkości osiadania i przyśpieszenia osiadania są bardzo duże – znacznie większe niż opisywane w literaturze, stąd w sposób bardzo wyraźny charakteryzują przebieg zjawiska.

Na podstawie otrzymanych wyników pomiarów został zaproponowany teoretyczny opis przebiegu prędkości osiadania i przyśpieszenia osiadania. Opis ten zweryfikowano na przykładzie kilku punktów z analizowanej linii obserwacyjnej.

Z przeprowadzonej analizy wynikają następujące stwierdzenia i wnioski:

1. Z pomiarów wykonywanych codziennie wynika bardzo zróżnicowana prędkość osiadania w poszczególnych dniach tygodnia. Największa prędkość osiadania występuje w środku tygodnia (czwartek, piątek), a najmniejsza w poniedziałek. Wiąże się to z przerwami w postępie frontu w sobotę i niedzielę.
2. Z pomiarów wynika, że inny jest rozkład (kształt krzywych) i wartości prędkości osiadania obliczanych z pomiarów wykonywanych co tydzień i codziennie. Inny jest też rozkład i wartości przyspieszeń osiadania, z pomiarów geodezyjnych wykonywanych co tydzień i codziennie.
3. Z pomiarów wynika, że prędkość osiadania obliczona z pomiarów wykonywanych codziennie jest do dwóch razy większa od prędkości obliczonej z pomiarów wykonywanych co tydzień. Przyspieszenie osiadania obliczone z pomiarów wykonywanych codziennie jest nawet kilkanaście razy większe od przyspieszenia obliczonego z pomiarów wykonywanych co tydzień.
4. Aby opisać prędkość i przyspieszenie osiadania przy dużym postępie frontu z przerwami w soboty i niedziele, potrzebna jest nowa funkcja uwzględniająca te elementy. Zaproponowana w niniejszym artykule funkcja do obliczania prędkości i przyspieszenia osiadania bardzo dobrze aproksymuje wartości otrzymane z pomiarów.
5. Wobec dobrej zgodności zaproponowanej funkcji z wynikami pomiarów, funkcję tą można wykorzystać do dalszych szczegółowych analiz.

## LITERATURA

1. Drzęźła B.: Niektóre poglądy w zakresie kinematyki niecki osiadania i nowy model geometryczny. Materiały konferencyjne Szkoły Eksploatacji Podziemnej 1993, Kraków 1993.
2. Drzęźła B.: Przybliżona ocena niektórych parametrów kinematyki niecki osiadania przy zmianach prędkości wybierania i postojach ścian. Przegląd Górniczy nr 9, Katowice 1995.
3. Kowalski A.: Funkcja czasu do prognozowania nieustalonych deformacji górotworu spowodowanych eksploatacją frontem ścianowym z przerwami. Materiały konferencyjne V Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych. Prace Naukowe GIG, seria: Konferencje nr 30, Ustroń-Jaszowiec 1999.
4. Kwiatek J.: O reologicznych aspektach zagrożenia obiektów budowlanych na terenach górniczych. Wydawnictwo GIG, Katowice 1997.
5. Kwiatek J.: O wpływie prędkości podziemnej eksploatacji górniczej na obiekty budowlane. Przegląd Górniczy nr 7-8, Katowice 1999.

6. Sroka A.: Przerwy w eksploatacji wyrobisk ścianowych – ich znaczenie z punktu widzenia szkód górniczych. Materiały konferencji naukowo-technicznej III Dni Miernictwa Górniczego i Ochrony Terenów Górniczych, Katowice 1995.
7. Sroka A.: Wpływ dynamiki eksploatacji na powierzchnię przy wybieraniu cienkich pokładów w Zagłębiu Ruhry. Materiały konferencyjne Szkoły Eksploatacji Podziemnej '96, CPPGSMiE PAN, Kraków 1996.
8. Sroka A.: Dynamika eksploatacji górniczej z punktu widzenia szkód górniczych. Seria „Studia, Rozprawy, Monografie” nr 58. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków 1999.
9. Zych J.: Wpływ postępu frontu eksploatacyjnego na przebieg osiadania w czasie. Międzynarodowa Konferencja: V Jubileuszowa Szkoła Geomechaniki. Politechnika Śląska. Wydział Górnictwa i Geologii, Ustroń 2001.
10. Zych J.: Wpływ postępu frontu eksploatacyjnego na przebieg prędkości osiadania w czasie. Materiały konferencyjne: Przemysł Wydobywczy 2001. Wydział Górniczy AGH. SITG Koło Zakładowe AGH, Kraków 2001.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Marian Kawulok

## Abstract

Mining mechanisation and technology development leads to significant increase rate of face advance. Geodetic survey results and statistics of registered mining damages on surface show that mining dynamics has large influence on rate of mining damage on surface.

For geodetic surveys carrying out daily over longwall panel exploitation with large rate of face advance with stoppage result, pictures of subsidence speed and subsidence acceleration are different than it was known.

The geodetic survey results carrying out on surface over mining exploitation of coal mine and theoretical description test of subsidence speed and subsidence acceleration is presented in the paper.