

Roman ŚCIGAŁA
Politechnika Śląska, Gliwice

PROGNOZOWANIE NIEUSTALONYCH OBNIŻEŃ POWIERZCHNI TERENU W PRZYPADKU SZYBKO POSTĘPUJĄCEGO FRONTU EKSPLOATACYJNEGO

Streszczenie. W artykule przedstawiono uwagi dotyczące określania wartości współczynnika prędkości osiadania c teorii W. Budryka-S. Knothe'go dla celów wykonywania prognoz deformacji powierzchni terenu w stanie nieustalonym. Zagadnienie to jest istotne z uwagi na zmieniające się coraz powszechniej w polskim górnictwie warunki prowadzenia eksploatacji górniczej ze znaczną prędkością postępu frontu na coraz większych głębokościach. Wyniki pomiarów geodezyjnych prowadzonych w ostatnich latach wskazują, że ze względu na większą dynamikę wpływów, będącą efektem szybkiej eksploatacji, przyjmowane do prognoz wartości parametru c według dotychczasowych poglądów są zbyt niskie.

FORECASTING OF TRANSIENT SUBSIDENCE IN CASE OF FAST FACE ADVANCE

Summary. The remarks on the rules for determining the coefficient of subsidence speed „ c ” for forecasting purposes have been presented in this paper. It is very important issue nowadays, because of the fact, that presently used speed of face advance has been increasing, as well as the depth of extraction. Survey results point that with regard for more intensive dynamics of deformation process resulting from higher speed of extraction, determined for forecasting purposes values of parameter „ c ” by using so far views are to small.

1. Wprowadzenie

Prowadzenie podziemnej eksploatacji górniczej na coraz większych głębokościach przy znacznych prędkościach postępu frontu zaowocowało, jak wynika z prowadzonych w ostatnich latach pomiarów, zmianami w dynamice procesu deformacji powierzchni terenu. Coraz powszechniej podejmowane jest zagadnienie wpływu prędkości postępu frontu oraz

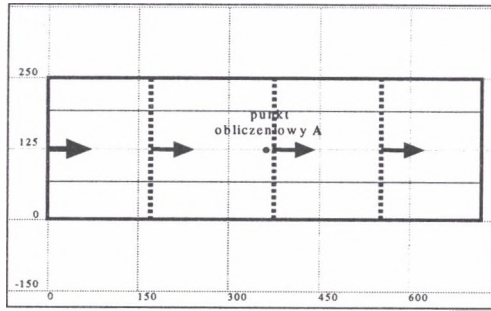
zmian jej wartości na czasoprzestrzenny rozkład deformacji na powierzchni terenu. Dotychczasowe poglądy w zakresie przyjmowania do prognoz wartości współczynnika czasu oparte były na doświadczeniach z eksploatacji prowadzonych z niewielkimi prędkościami. Bazując na rozwiązaniu S.Knothego, do prognoz deformacji powierzchni terenu w stanie nieustalonym przyjmowano zazwyczaj wartości parametru c z przedziału od 0.5 do 7 [1/rok] [5]. Z badań własnych oraz innych autorów wynika, że wartości te dla obecnych warunków prowadzenia eksploatacji są zbyt małe. W związku z powyższym rodzi się pytanie, jakie wartości współczynnika czasu należy przyjmować do prognoz, mając na uwadze współczesne uwarunkowania prowadzenia podziemnej eksploatacji górnictwa w Polsce.

2. Sformułowanie problemu

Jak powszechnie wiadomo, na wartość współczynnika prędkości osiadania ma wpływ wiele czynników, wśród których do najważniejszych zalicza się: budowę geologiczną górotworu, stopień jego zruszenia oraz głębokość prowadzenia eksploatacji.

Wyniki pomiarów wskazują, że niezmiernie istotny wpływ na wartości c ma także prędkość postępu frontu eksploatacyjnego. Jak wykazują m.in. badania A.Sroki [8], w przypadku prowadzenia eksploatacji frontem o postępie od kilkunastu m/dobę do około 30 m/dobę, wyznaczone wartości współczynnika czasu c wahały się w granicach od $c=146$ do $c=292$ [1/rok]. Z tego typu wielkościami nie mieliśmy dotychczas do czynienia. Wyniki badań własnych [10], P.Strzałkowskiego [9], dla eksploatacji prowadzonej z prędkością postępu rzędu 1.5-5 m/dobę wykazały, że dla takich przypadków wartości c mieściły się w granicach od 6 do 31 [1/rok].

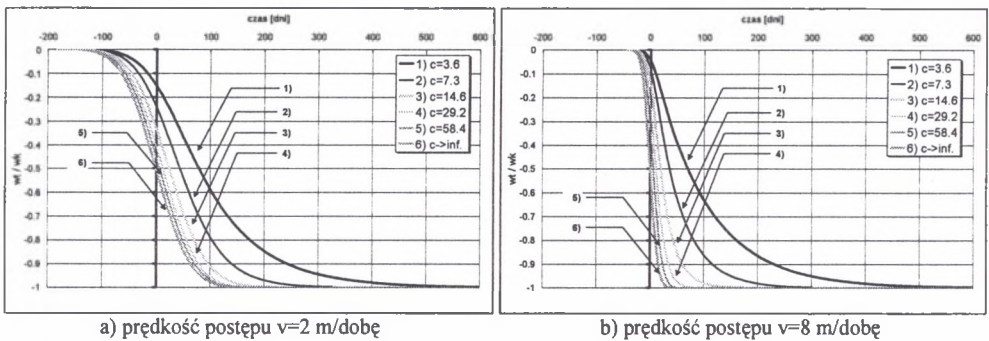
W celu przedstawienia wpływu prędkości postępu frontu na wyniki prognoz przy wykorzystaniu teorii W.Budryka-S.Knothego wykonano komputerową symulację przemieszczania się frontu eksploatacyjnego pod punktem zlokalizowanym na powierzchni terenu. Na rysunku 1 przedstawiono symulowaną sytuację geologiczno-górnictwa. Eksperyment przeprowadzono dla czterech głębokości eksploatacji: $H=250, 500, 750$ i 1000 m oraz trzech prędkości postępu frontu: $v=2, 4, 8$ m/dobę. Obliczenia wykonywano wielokrotnie przy różnych wartościach parametru c , od około 3 [1/rok] do około 58 [1/rok].



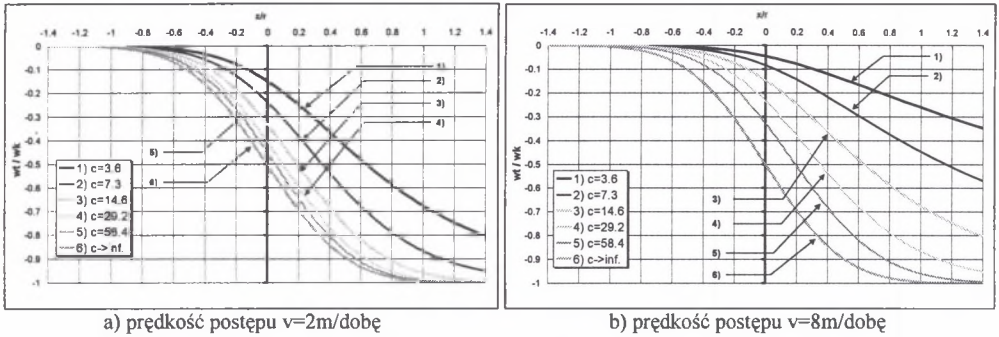
Rys. 1. Przyjęty do symulacji schemat obliczeniowy
 Fig. 1. The calculation scheme used in simulation

Ze względu na obszerność otrzymanych wyników, na rys. 2 i 3 przedstawiono tylko wyniki symulacji dla głębokości eksploatacji $H=500$ m i prędkości postępu 2 m/dobę oraz 8 m/dobę. Na rysunku 2 przedstawiono przebiegi znormalizowanych osiadań punktu A w funkcji czasu, natomiast na rys.3 - w funkcji położenia frontu eksploatacyjnego względem rozpatrywanego punktu dla dwóch różnych prędkości postępu frontu eksploatacyjnego i różnych wartości parametru c . Na obydwu prezentowanych rysunkach początek układu współrzędnych związano z momentem czasowym przechodzenia frontu pod punktem.

Przedstawione na rys.2 przebiegi osiadań w funkcji czasu prezentują cały przebieg wpływów aż do ich wygaśnięcia, natomiast przebiegi na rys.3 ograniczono tylko do współrzędnych geometrycznych postępującego frontu $\pm 1.4r$ w odniesieniu do rozpatrywanego punktu.



Rys. 2. Znormalizowane przebiegi osiadań w czasie dla wybranych wartości parametru c
 Fig. 2. Normalized curves of subsidence over time for choosen values of „ c ” parameter



Rys. 3. Znormalizowane przebiegi osiadań w funkcji odległości czynnej krawędzi eksploatacyjnej od rozpatrywanego punktu dla wybranych wartości parametru c
 Fig. 3. Normalized curves of subsidence over time for choosen values of „ c ” parameter in relation to the distance between active edge of extraction and considered point

Analizując powyższe rysunki można stwierdzić, iż prędkość eksploatacji bardzo istotnie determinuje prognozowaną kinematykę procesu deformacji powierzchni terenu. W wyniku zastosowania do obliczeń wartości $c < 10$ [1/rok] przy dużych prędkościach postępu frontu, otrzymano dla punktu położonego nad przesuającą się krawędzią eksploatacyjną wartości osiadań poniżej 10% osiadania końcowego. Są to wartości mniejsze w stosunku do stwierdzanych na podstawie wyników pomiarów geodezyjnych.

Mając na uwadze powyższe należy stwierdzić, że przyjmowanie do prognoz wartości współczynnika prędkości osiadania, według dotychczasowych poglądów, w przypadku eksploatacji prowadzonych z dużymi prędkościami postępu frontu może spowodować заниzenie w prognozie wartości wskaźników deformacji dla stanów nieustalonych.

Powyżej przedstawione spostrzeżenia rodzą pytanie, jakie wartości parametru c odpowiedzialnego za kinetykę procesu deformacji należy przyjmować do prognoz w zależności od przewidywanej prędkości eksploatacji i głębokości jej prowadzenia, mając na uwadze coraz szerzej stosowane w praktyce duże prędkości postępu frontu.

Poniżej przedstawiono propozycję określania wartości c z uwzględnieniem wspomnianych wyżej uwarunkowań.

Oznaczmy jako w_{kr} wielkość względnego obniżenia punktu na powierzchni terenu w momencie, kiedy pod punktem znajduje się przemieszczająca się krawędź eksploatacyjna:

$$w_{kr} = \frac{w(t_{kr})}{w_k} \quad (1)$$

gdzie:

$w(t_{kr})$ – osiadanie chwilowe w momencie czasowym t_{kr} , gdy krawędź eksploatacyjna znajduje się pod punktem,

w_k – osiadanie asymptotyczne punktu.

Wartości tego parametru określane na podstawie wyników pomiarów geodezyjnych były przedmiotem szeregu analiz wykonywanych zarówno w kraju, jak i za granicą. Tytułem przykładu można przytoczyć literaturowe wyniki w tym zakresie:

- wg badań brytyjskich [6] wartość w_{kr} mieści się w przedziale od 0.15 do 0.25,
- A.Sroka [8] na podstawie analiz niecek z Zagłębia Ruhry podał wartość $w_{kr} = 0.31$,
- w pracy J.Kwiatka [7], przedstawiono wyniki pomiarów, na podstawie których można określić wartość w_{kr} w granicach 0.2,
- w przeprowadzonych badaniach własnych [10] otrzymano wartości w_{kr} z przedziału od 0.19 do 0.41,

Jak wynika z powyższego zestawienia, wartości w_{kr} zmieniają się w stosunkowo niewielkim zakresie i co ważniejsze, można przyjąć, że nie zależą one w sposób istotny od głębokości eksploatacji, ani też od prędkości postępu frontu eksploatacyjnego.

Wobec powyższego, do określania prawidłowych wartości c dla warunków szybko postępującego frontu eksploatacyjnego można zaproponować przyjęcie warunku opartego na założeniu, że wartość parametru w_{kr} określonego wzorem (1) powinna zawierać się w pewnym przedziale, którego granice określono na podstawie analiz wyników pomiarów geodezyjnych jako:

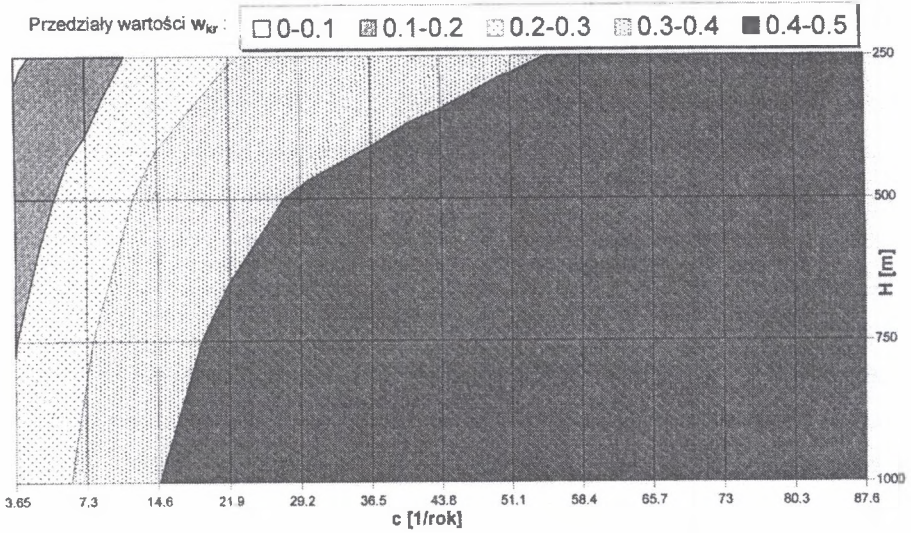
$$w_{kr} \in (0.2; 0.4) \quad (2)$$

W celu określenia rozkładu wartości parametru w_{kr} w zależności od prędkości postępu frontu, głębokości eksploatacji oraz wartości współczynnika czasu wykonano szereg komputerowych symulacji postępu frontu dla schematu jak na rys.1. Do tego celu wykorzystano własne oprogramowanie komputerowe [11]. Przyjmowano przy tym różne wartości c w przedziale od około 3 do 90 1/rok.

3. Wyniki przeprowadzonych analiz

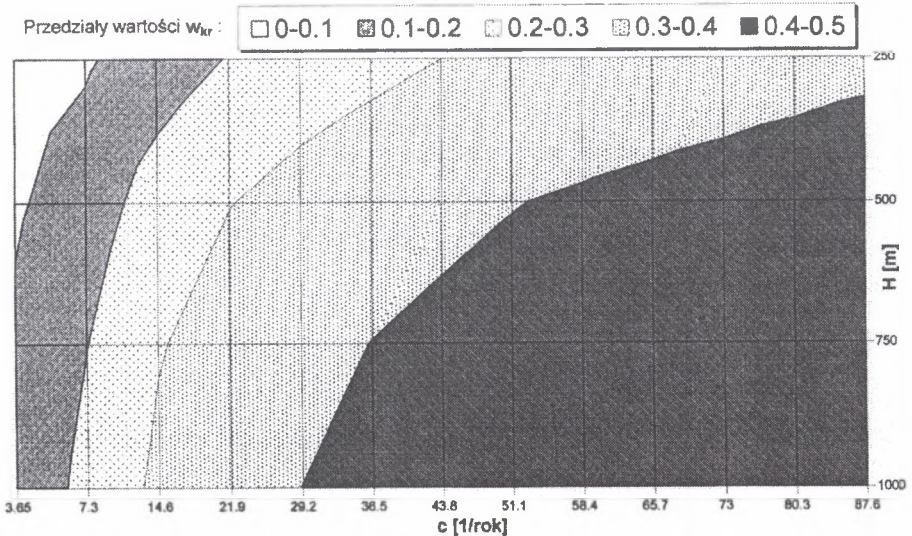
Na podstawie wyników obliczeń sporządzono mapy rozkładu funkcji $w_{kr}=f(H,c)$ dla trzech różnych prędkości postępu frontu 2, 4 i 8 m/dobę. Na mapach tych zaznaczono poprzez wykropkowanie przedziały wartości w_{kr} spełniające kryterium (2) dla różnych kombinacji argumentów: głębokości eksploatacji H i współczynnika czasu c .

Na rysunkach 4, 5 i 6 przedstawiono rozkład wartości funkcji $w_{kr}(H,c)$ dla trzech wymienionych wyżej prędkości postępu frontu.



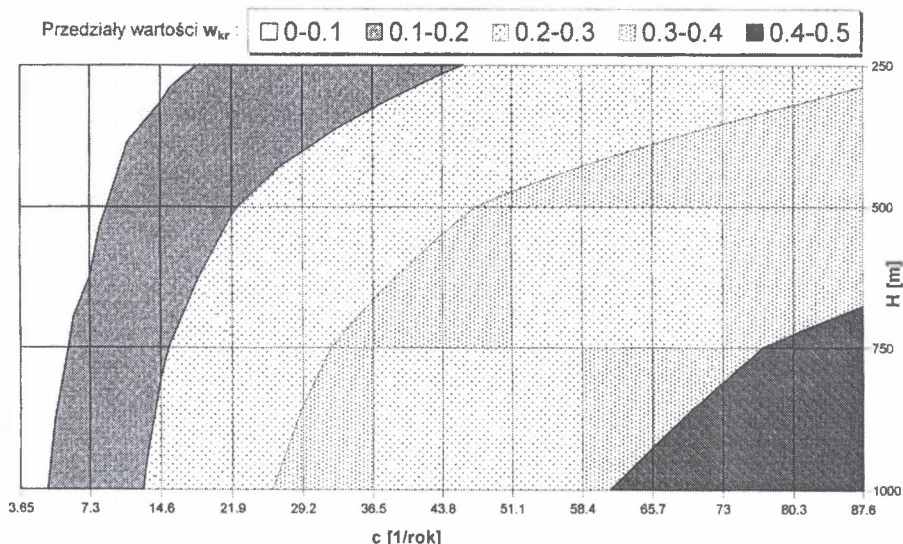
Rys. 4. Teoretyczny rozkład wartości parametru w_{kr} w zależności od głębokości eksploatacji i wartości współczynnika czasu c dla prędkości postępu frontu $v=2\text{m/dobę}$

Fig. 4. Theoretical distribution of parameter w_{kr} values in relation to depth of extraction and different values of „c” factor for face advance speed 2m/day



Rys. 5. Teoretyczny rozkład wartości parametru w_{kr} w zależności od głębokości eksploatacji i wartości współczynnika czasu c dla prędkości postępu frontu $v=4\text{m/dobę}$

Fig. 5. Theoretical distribution of parameter w_{kr} values in relation to depth of extraction and different values of „c” factor for face advance speed 4m/day



Rys. 6. Teoretyczny rozkład wartości parametru w_{kr} w zależności od głębokości eksploatacji i wartości współczynnika czasu c dla prędkości postępu frontu $v=8\text{m/dobę}$

Fig. 6. Theoretical distribution of parameter w_{kr} values in relation to depth of extraction and different values of „ c ” factor for face advance speed 8m/day

Analizując otrzymane wyniki można przedstawić następujące uwagi:

- Przyjmowane dotychczas do prognoz wartości współczynnika czasu z przedziału $(0.5 \div 7)$ [1/rok] spełniają kryterium (2) w zakresie małych prędkości postępu frontu (około 2 m/dobę) i głębokości eksploatacji do około 750 m.
- Już dla postępu rzędu 4 m/dobę przyjęcie wartości $c \approx 7$ [1/rok] do prognozy spowoduje, że wartości osiadań względnych w_{kr} wyniosą poniżej 20% osiadania końcowego. Przy mniejszych wartościach tego parametru wyniki będą odbiegały jeszcze bardziej w kierunku zbyt małych wartości prognozowanych osiadań,
- Wraz ze wzrostem prędkości postępu frontu (rys.6) strefa poprawnych w sensie kryterium (2) wartości w_{kr} zwiększa się, przesuwając się jednocześnie w kierunku większych wartości współczynnika czasu. I tak dolna granica poprawnych wartości c ($w_{kr}=0.2$) wynosi od około 14 [1/rok] dla głębokości eksploatacji rzędu 1000 m do wartości około 44 [1/rok] dla głębokości 250 m. Granica górna ($w_{kr}=0.4$) wynosi od około 60 [1/rok] dla głębokości 1000 m i rośnie asymptotycznie do wartości około 220 [1/rok] dla głębokości eksploatacji 250 m (wartości tej nie pokazano na rysunku 6, aby nie pogorszyć jego czytelności)

4. Wnioski końcowe

Podsumowując przedstawione w pracy wyniki badań można przedstawić następujące wnioski:

1. Otrzymywane w wyniku identyfikacji wartości parametru c w przypadku eksploatacji o większych prędkościach postępu są większe, niż dotychczas zakładano.
2. Wyniki pomiarów geodezyjnych prowadzonych w ostatnich latach nad czynnymi frontami eksploatacyjnymi wykazują, że w momencie, kiedy front eksploatacyjny przechodzi pod wybranym punktem, jego osiadania wynoszą w granicach 20-40% osiadań końcowych niezależnie od warunków geologiczno-górnicznych prowadzonej eksploatacji górniczej.
3. Dotychczasowe poglądy na temat przyjmowania do prognoz dla stanów nieustalonych wartości współczynnika czasu z przedziału $c=0.5\div 7$ [1/rok] mają zastosowanie dla małych prędkości postępu frontu eksploatacyjnego. Stosowanie takich wartości parametru c do prognoz w przypadku większych prędkości postępu frontu powoduje, że wyniki tych prognoz będą wykazywały zbyt małe wartości obniżeń dla punktów położonych nad postępującą krawędzią frontu.
4. Do ustalania wartości parametru c , jakie należy przyjmować do prognoz, zaproponowano przyjęcie kryterium w postaci (2). Opierając się na tym kryterium sporządzono na podstawie odpowiednich obliczeń mapy rozkładu wartości funkcji $w_{kr}=f(H,c)$ dla trzech prędkości postępu frontu. Na podstawie tych rozkładów można dobrać odpowiednią wartość współczynnika czasu dla przewidywanej prędkości postępu ściany oraz głębokości eksploatacji.
5. Celowe jest prowadzenie dalszych analiz wyników pomiarów z terenów objętych wpływami eksploatacji prowadzonej z dużą prędkością postępu frontu. Pozwoli to na uściślenie kryterium (2), co umożliwi bardziej precyzyjne określanie wartości współczynnika prędkości osiadania dla większych prędkości postępu frontu eksploatacyjnego.

LITERATURA

1. Białek J.: Wpływ prędkości zmian wskaźników deformacji na szkody w obiektach. Szkoła Eksploatacji Podziemnej. Szczyrk 1995.
2. Chudek M.: Mechanika górotworu. Skrypt Pol. Śl. Gliwice, 1981.
3. Chudek M.: Geomechanika z podstawami ochrony środowiska górniczego i powierzchni terenu. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej. Gliwice 2002.
4. Drzęźła B.: Przybliżona ocena niektórych parametrów kinematyki niecki osiadania przy zmianach prędkości wybierania i postojach ścian. Przegląd Górniczy nr 9/95.
5. Knothe St.: Prognozowanie wpływów eksploatacji górniczej. Wyd. Śląsk, Katowice 1984.
6. Kratsch H.: Mining subsidence engineering. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1983.
7. Kwiatek J.: O reologicznych zagrożeniach obiektów budowlanych na terenach górniczych. Prace naukowe GIG, z.827, Katowice 1998.
8. Sroka A.: Dynamika eksploatacji górniczej z punktu widzenia szkód górniczych. Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN. Kraków 1999.
9. Strzałkowski P.: Możliwości podnoszenia jakości prognoz chwilowych deformacji powierzchni terenu na bazie teorii S.Knothe'go. Przegląd Górniczy nr 7-8/98.
10. Ścigała R.: Przemieszczenia i odkształcenia poziome terenu górniczego w funkcji czasu. Praca doktorska, niepublikowana. Gliwice 1999.
11. Ścigała R., Strzałkowski P.: Software for predictions of underground mining influences on land surface and rock mass. The 5th International Conference „GEOTECHNICS 2000”. The High Tatras – Podbanske, październik 2000.
12. Zych J.: Wpływ postępu frontu eksploatacyjnego na przebieg prędkości osiadania w czasie. Konferencja Naukowo-Techniczna *Przemysł Wydobywczy 2001*. Kraków 2001.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Andrzej Zorychta

Abstract

As the latest surveys show, underground extraction led at high speed causes changes in dynamics of land surface deformation in comparison to up to present known mining-geological conditions. The most wide-spread solution in Poland used for prognoses of land surface deformation in transient state there is S.Knothe proposal. In this solution author estimated values of parameter „c” which describes the kinematics of subsidence trough in the range between 0.5 and 7 [1/year]. As the latest researches show, these values are too small in present mining – geological conditions, especially taking into account the speed of face advance.

The proposal of determining values of parameter „c” in the conditions of fast extraction has been presented in this paper. In this proposal it has been assumed that values of subsidence for point located above the edge of face w_{kr} should be in the range 20%-40% of its final value. This assumption has been made on the basis of own surveys analyses, as well as other authors' researches.

On the basis of this condition, the maps with distribution of w_{kr} as a function of parameter „c” and depth of extraction H has been worked out. These maps are shown in figures 4, 5 and 6.

On the basis of these maps one can determine values of parameter „c” for given speed of face advance, depth of extraction and w_{kr} value.