

Roman ŚCIGAŁA
Politechnika Śląska, Gliwice

PROPOZYCJA POPRAWY OPISU NIEUSTALONYCH PRZEMIESZCZEŃ I ODKSZTAŁCEŃ POZIOMYCH POPRZEZ ZASTOSOWANIE INNEJ FUNKCJI CZASU

Streszczenie. W niniejszym artykule omówiono możliwości poprawy modelu opisu nieustalonych przemieszczeń i odkształceń poziomych powierzchni terenu. Zaproponowano zastosowanie do modelu S.Knothe'go [5] innej funkcji czasu, a także wykorzystano asymetryczne funkcje J.Zycha, które lepiej opisują deformacje dla stanów asymptotycznych.

THE PROPOSAL OF IMPROVEMENT THE DESCRIPTION OF HORIZONTAL DISPLACEMENT AND STRAIN IN TRANSIENT STATE BY USING OTHER TIME FUNCTION

Summary. The possibilities of increasing accuracy of the model for forecasting transient values of horizontal displacement and strain have been presented in this paper. In proposed solution a new time function has been employed, as well as assymetrical functions for describing asymptotic deformation.

1. Wstęp

Zagadnienie poprawy jakości opisu nieustalonych deformacji powierzchni terenu poprzez modyfikację funkcji czasu zaproponowanej przez S.Knothe'go było rozpatrywane przez wielu autorów. Można tu wyróżnić dawniejsze rozwiązania zaprezentowane między innymi przez T.Kochmańskiego [6], K.Trojanowskiego [11]. W ostatnim czasie powstało kilka innych propozycji, m.in. J.Białka [1], B.Drzęzli [3], S.Kwiatka [7] i P.Strzałkowskiego [9]. Wszystkie powyższe rozwiązania bazują w zasadzie na podaniu odpowiednich zależności pozwalających na obliczanie nieustalonych osiadań. Co do pozostałych wskaźników deformacji zakłada się, że są one obliczane poprzez odpowiednie operacje matematyczne z wykorzystaniem pewnych dodatkowych założeń (np. związek Awierszyna). Niezmiernie rzadko przy tym poddawano weryfikacji wartości tak obliczanych pozostałych wskaźników deformacji, a szczególnie przemieszczeń i odkształceń poziomych.

W ramach badań prowadzonych w latach 1995-1999 [10] autor niniejszego artykułu zaproponował rozwiązanie pozwalające na poprawę opisu nieustalonych deformacji powierzchni terenu, szczególnie w zakresie przemieszczeń i odkształceń poziomych. Najistotniejsze cechy tego rozwiązania, a także jego praktyczna weryfikacja zostaną przedstawione w dalszej części niniejszego artykułu.

2. Charakterystyka proponowanego rozwiązania

W pracy [10] przedstawiono m.in. propozycję poprawy jakości opisu nieustalonych przemieszczeń i odkształceń poziomych opierającą się na założeniu, iż zastosowanie do modelu S.Knothego funkcji lepiej opisujących stany asymptotyczne powinno zaowocować poprawą opisu nieustalonych wartości tych wskaźników deformacji. Do przedmiotowego rozwiązania przyjęto funkcje asymetryczne zaproponowane przez J.Zycha [12]. Dla osiadań zmodyfikowane według powyższych założeń równanie wyjściowe modelu S.Knothego można przedstawić w postaci zależności :

$$\frac{dw}{dt} = c(w_k - w_t), \quad (1)$$

gdzie : c - tzw. "współczynnik czasu", decydujący o prędkości osiadania punktów na powierzchni terenu,

w_t - wartość osiadania punktu na powierzchni terenu w chwili czasu t ,

w_k - asymptotyczna wartość osiadań obliczana wzorami J.Zycha :

$$w_k(x, y) = -ag \left\{ f(p,..) - A_1 \left[\left(\frac{\partial f(p,..)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f(p,..)}{\partial y} \right)^2 \right] \right\}. \quad (2)$$

W przypadku obliczania przemieszczeń poziomych wykorzystano funkcję, podaną wzorem :

$$u_k(x, y) = B_0 ag \left\{ \frac{\partial q(p,..)}{\partial x} - 2A_2 \left[\frac{\partial q(p,..)}{\partial x} \frac{\partial^2 q(p,..)}{\partial x^2} + \frac{\partial q(p,..)}{\partial y} \frac{\partial^2 q(p,..)}{\partial y \partial x} \right] \right\}, \quad (3)$$

gdzie :

$$f(p,..) = \frac{1}{r_w} \iint_P \exp \left(\frac{-\pi[(p-x)^2 + (s-y)^2]}{r_w^2} \right) dpds \quad (4)$$

$$q(p,..) = \frac{1}{r_u} \iint_P \exp \left(\frac{-\pi[(p-x)^2 + (s-y)^2]}{r_u^2} \right) dpds \quad (5)$$

a - współczynnik eksploatacji,

B_0 - współczynnik proporcjonalności, decydujący o wartościach przemieszczeń i odkształceń poziomych,

A_1, A_2 - współczynniki ujmujące stopień asymetrii wpływów,

r_w, r_u - parametry rozproszenia wpływów głównych dla ruchów pionowych i poziomych.

Model ten poddano następnie weryfikacji, porównując obliczone teoretycznie wartości wskaźników deformacji z wynikami pomiarów geodezyjnych. Wyniki przeprowadzonej weryfikacji, przedstawione w pracy [10], wykazały możliwość osiągnięcia poprawy jakości opisu procesu, szczególnie w zakresie przemieszczeń i odkształceń poziomych.

Wyniki dalszych prac własnych wskazały na celowość kontynuowania badań w kierunku zaproponowania nowej postaci funkcji czasu, zwłaszcza przy równoczesnym zastosowaniu do opisu stanów asymptotycznych wspomnianych wyżej funkcji asymetrycznych.

W oparciu o powyższe założenia zbudowano model numeryczny, który umożliwił przeprowadzenie eksperymentów nad różnymi postaciami funkcji czasu. Przyjęto przy tym, że do analiz wykorzystane będą modele reologiczne [4]. Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów numerycznych i ich weryfikacji na bazie wyników pomiarów stwierdzono, że można osiągnąć dalszą poprawę opisu nieustalonych deformacji powierzchni terenu, szczególnie w zakresie przemieszczeń i odkształceń poziomych wykorzystując funkcję czasu w postaci podanej wzorem :

$$f(t) = 1 - (1 - p\lambda)e^{-\lambda t}, \quad (6)$$

gdzie: p, λ - parametry, $p\lambda < 1$,

t - czas.

Wobec powyższego nieustalone przemieszczenia pionowe i poziome określone są zależnością:

$$\chi(t) = \chi_k \left[1 - (1 - p\lambda)e^{-\lambda t} \right], \quad (7)$$

gdzie: $\chi(t)$ - chwilowa wartość przemieszczenia pionowego lub poziomego,

χ_k - przemieszczenie pionowe lub poziome asymptotyczne.

Z analizy równania (7) wynika, że aby był spełniony warunek początkowy procesu, parametr p musi spełniać warunki : $p=p(t)$ i $p(t)_{t=0}=0$. Istotnym zagadnieniem jest określenie przebiegu zmienności tego parametru w czasie. W przeprowadzonych badaniach przyjęto założenie, że na bazie dokonanej identyfikacji parametru w kolejnych cyklach pomiarowych dla rozpatrywanych linii obserwacyjnych opracowane zostaną odpowiednie wzory empiryczne, określające zmienność tego parametru w czasie dla konkretnych warunków geologiczno - górnictwowych.

Proponowaną funkcję czasu można scharakteryzować następująco :

- dla $p=const=0$ otrzymujemy : $\chi(t)=\chi_k*(1-e^{-\lambda t})$, czyli model S.Knothe'ego, gdzie parametr λ odpowiada współczynnikowi czasu c ,
- dla $p=const < > 0$ otrzymujemy model z tzw. wpływami natychmiastowymi. Nie jest wtedy spełniony warunek brzegowy $p(t)_{t=0}=0$, lecz wg pracy J. Kwiatka [7] o możliwości występowania tego zjawiska świadczą niektóre wyniki badań reologicznych właściwości skał. Założenie to ułatwia praktyczne zastosowanie proponowanego rozwiązania,
- wykorzystując możliwość zastosowania różnych funkcji do opisu parametru $p=p(t)$, otrzymujemy szerokie możliwości modelowania kinetyki przebiegu deformacji; zagadnienie to wymaga dalszych badań,
- dla konkretnych warunków geologiczno - górnictwowych można określić na drodze empirycznej postać funkcji $p=p(t)$, co pozwoli na stosunkowo łatwe praktyczne zastosowanie proponowanej funkcji czasu.

Analizy numeryczne przeprowadzono w oparciu o następujące założenia :

- jako funkcję czasu przyjęto funkcję podaną wzorem (6),
- wartości chwilowe osiadań i przemieszczeń poziomych obliczano jako : $\chi(t)=\chi_k * F(t)$, gdzie $F(t)$ - proponowana funkcja czasu, χ_k - asymptotyczne wartości osiadań lub przemieszczeń poziomych,
- wartości asymptotyczne wskaźników deformacji (osiadań i przemieszczeń poziomych) dla określonego, chwilowego położenia dynamicznej krawędzi eksploatacji obliczano stosując funkcje asymetryczne,
- do obliczeń chwilowych wartości deformacji przyjmowano parametry a , A , r_w , B_1 , B_2 i r_u jako stałe w kolejnych cyklach i wyznaczone na podstawie niecki statycznej,

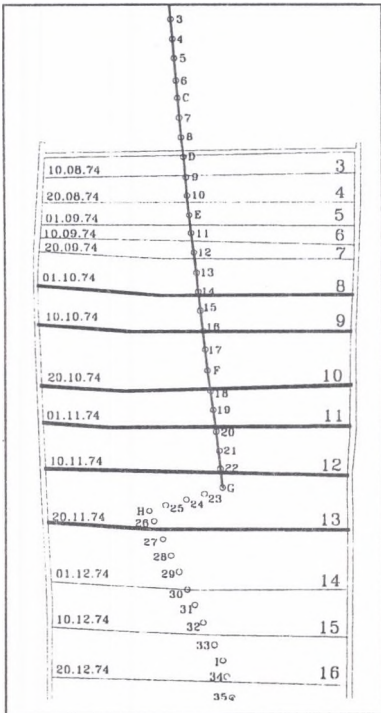
- dla parametrów opisujących kinetykę procesu deformacji powierzchni terenu wg proponowanego rozwiązania (p i λ) zastosowano model adaptacyjny, wyznaczając ich wartości w kolejnych cyklach,
- identyfikowano parametry p i λ odrębnie na podstawie osiadań oraz przemieszczeń poziomych,
- do obliczeń numerycznych zastosowano model dyskretny.

3. Weryfikacja rozwiązania

W celu weryfikacji rozwiązania przedstawionego w punkcie 2 wykonano odpowiednie obliczenia przy wykorzystaniu specjalnie do tego celu opracowanego oprogramowania komputerowego [10]. Do badań wykorzystano wyniki pomiarów geodezyjnych z kilku linii obserwacyjnych. W niniejszej pracy tytułem przykładu przedstawiono wyniki analiz przeprowadzonych dla linii B-L z terenu KWK "Dębieńsko". Usytuowanie rozpatrywanej linii

względem eksploatacji przedstawiono na rys. 1. Eksploatacja górnicza prowadzona była w pokładzie 326/5 systemem ścianowym z zawalem stropu na wysokość 1.3 m z północy na południe na głębokości średniej około 160 m.

W tabeli 1 zestawiono wyznaczone wartości parametrów p , λ dla kolejnych cykli pomiarowych oraz wielkości błędów dla osiadań, przemieszczeń i odkształceń poziomych. W tabeli tej zamieszczono również wartości parametrów (a , A , r_w , B_1 , B_2 , r_u) dla niecki statycznej. Na rys. 2, 3, 4 przedstawiono wykresy osiadań, przemieszczeń i odkształceń poziomych dla kolejnych cykli pomiarowych. W celu przedstawienia, jak proponowane rozwiązanie prezentuje się na tle modelu S.Knothe'go, na rysunkach 5 i 6 pokazano porównanie wielkości błędów procentowych jakości dopasowania odpowiednio osiadań i przemieszczeń poziomych obliczonych



Rys.1. Usytuowanie linii obserwacyjnej względem dokonanej eksploatacji
 Fig.1. The location of observing line and extracted area

teoretycznie do otrzymanych na podstawie pomiarów geodezyjnych dla linii B-L. Przedstawiono wyniki dla następujących wariantów wykonanych obliczeń:

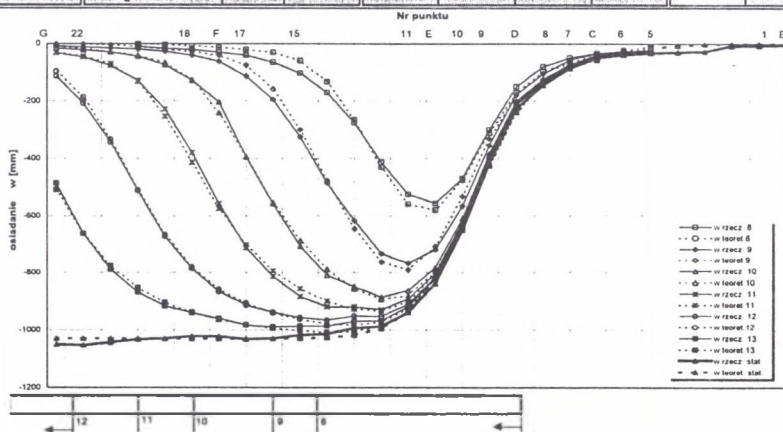
- model S.Knothego z zastosowaniem obrzeża przy stałej wartości współczynnika czasu,
- model S.Knothego z zastosowaniem obrzeża przy wartości c wyznaczonej dla każdego cyklu pomiarowego odrębnie dla osiadań i przemieszczeń poziomych,
- proponowane rozwiązanie przy wartościach parametrów nowej funkcji czasu p i λ wyznaczanych dla każdego cyklu odrębnie dla osiadań i przemieszczeń poziomych.

W dalszym etapie prac, na podstawie wyznaczonych wartości parametrów p i λ , opracowano odpowiednie zależności empiryczne pozwalające na określanie wartości tych parametrów dla rozpatrywanych warunków geologiczno – górniczych. Ze względu na ograniczoną objętość niniejszej pracy wyniki tych badań nie będą w tym miejscu prezentowane.

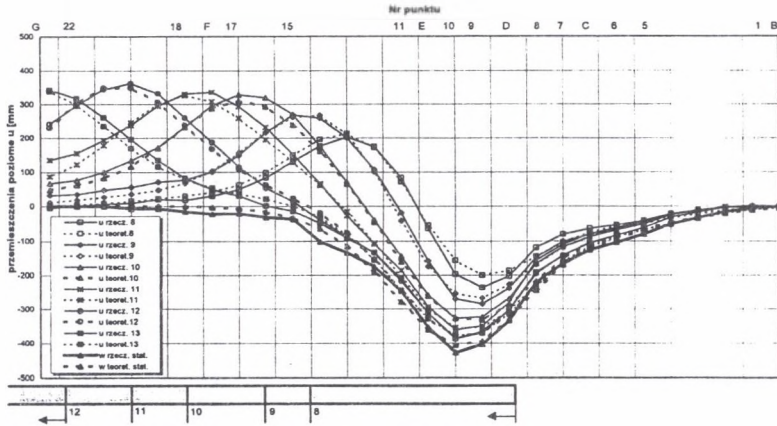
Tabela 1

Zestawienie otrzymanych wartości parametrów oraz błędów dla linii B-L z terenu KWK Dębieńsko"

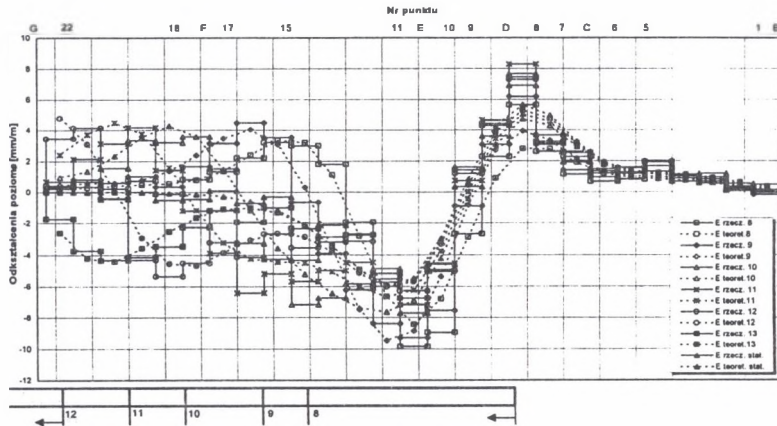
Nr cyklu	Data	osiadania				przemieszczenia poziome				odkształcenia poz.	
		p_w	λ_w	σ_w [mm]	M_{pw} [%]	p_u	λ_u	σ_u [mm]	M_{pu} [%]	σ_E [mm/m]	M_{pc} [%]
8	01-10-74	1.135	0.044	21.43	2.04	5.927	0.023	15.46	3.61	0.86	11.21
9	10-10-74	2.753	0.066	19.89	1.89	10.783	0.025	13.79	3.22	0.81	10.56
10	22-10-74	6.491	0.062	17.83	1.69	29.792	0.021	18.92	4.42	0.72	9.39
11	30-10-74	7.533	0.054	16.96	1.61	26.592	0.024	27.13	6.34	1.09	14.21
12	11-11-74	8.793	0.060	14.72	1.39	39.885	0.020	16.48	3.85	0.90	11.73
13	21-11-74	8.834	0.065	15.25	1.45	42.742	0.018	17.79	4.16	0.92	11.99
Niecka statyczna		$a=0.795$ $A=0.243$ $r_w=94.9$ $B_1=0.344$ $B_2=0.162$ $r_u=132.1$		12.84	1.22	-	-	14.54	3.40	1.05	13.73



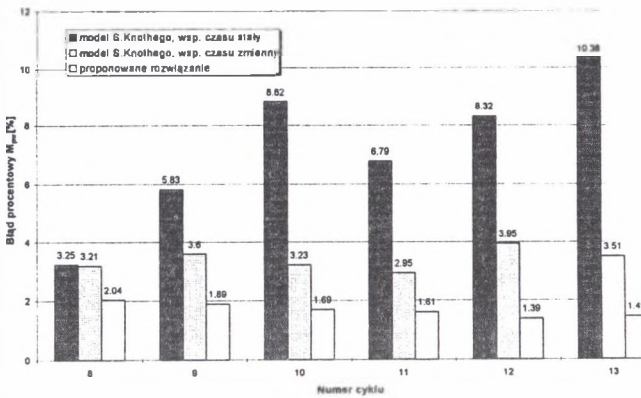
Rys.2. Porównanie osiadań obliczonych teoretycznie i otrzymanych na podstawie wyników pomiarów Fig.2. The comparison of subsidence calculated and obtained from surveys



Rys.3. Porównanie przemieszczeń poziomych obliczonych teoretycznie i otrzymanych z pomiarów
Fig.3. The comparison of horizontal displacement calculated and obtained from surveys

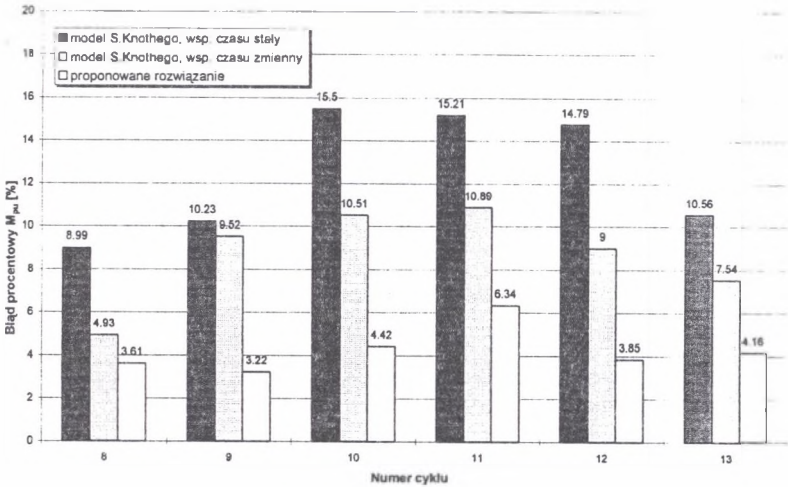


Rys.4. Porównanie odkształceń poziomych obliczonych teoretycznie i otrzymanych z pomiarów
Fig.4. The comparison of horizontal strain calculated and obtained from surveys



Rys.5. Porównanie uzyskanych wielkości błędów procentowych osiadań dla różnych wariantów wykonanych obliczeń

Fig.5. The comparison of percentage errors for subsidence for different calculation variants



Rys.6. Porównanie uzyskanych wielkości błędów procentowych przemieszczeń poziomych dla różnych wariantów wykonanych obliczeń

Fig.6. The comparison of percentage errors for horizontal displacement for different calculation variants

4. Wnioski

Wyniki przeprowadzonych badań, zaprezentowane w niniejszym artykule, pozwalają na przedstawienie następujących wniosków :

1. Można poszukiwać poprawy jakości modelu opisującego deformacje w stanie nieustalonym zaproponowanego przez S.Knothego poprzez zastosowanie innej funkcji czasu. Wyniki badań własnych pozwoliły na podanie propozycji nowej funkcji opisującej kinetykę procesu deformacji powierzchni terenu wywołanego podziemną eksploatacją złóż. Funkcja ta posiada następującą postać:

$$f(t) = \left[1 - (1 - p\lambda)e^{-\lambda t} \right]$$

2. Zastosowanie powyższej funkcji, przy wykorzystaniu asymetrycznych funkcji J.Zycha do obliczania asymptotycznych wielkości deformacji, pozwoliło na istotne podniesienie jakości opisu deformacji, szczególnie w zakresie przemieszczeń i odkształceń poziomych.
3. Wartości parametru p proponowanej funkcji czasu wyznaczone dla rozpatrywanej linii w kolejnych cyklach pomiarowych wykazują tendencję narastania wraz z rozwojem eksploatacji aż do pewnej wartości końcowej, natomiast parametr λ przyjmuje wartość w przybliżeniu stałą dla danych warunków geologiczno - górnictw.

LITERATURA

1. Białek J.: Opis nieustalonej fazy obniżen terenu górnicego z uwzględnieniem asymetrii wpływów końcowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej. Górnictwo nr 1106, Gliwice 1991.
2. Chudek M.: Mechanika górotworu. Skrypt Pol. Śl., Gliwice 1976.
3. Drzęźła B.: Wzrost prędkości wybierania - ekonomiczna konieczność, ujemne strony i próba nowego opisu oddziaływania na powierzchnię. Materiały konf. "Działalność górnictwa węgla kamiennego w warunkach gospodarki rynkowej i ograniczeń ekologicznych". Gliwice 1992.
4. Flügge W.: Viscoelasticity. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1975.
5. Knothe St.: Wpływ czasu na kształtowanie się niecki osiadania. Archiwum Górnictwa i Hutnictwa, t.1 z.1 1953.
6. Kochmański T.: Całkowa teoria ruchów górotworu nad eksploatacją złoża pokładowego na podstawie pomiarów geodezyjnych. Geologia i Kartografia.T.4, z.2,1955.
7. Kwiatek J. : O reologicznych zagrożeniach obiektów budowlanych na terenach górnicezych. Prace naukowe GIG, z.827, Katowice 1998.
8. Piwowarski W.: Prognozowanie przemieszczeń pionowych powstałych w procesie rozwijającej się eksploatacji górnicezej w oparciu o liniowy model matematyczny zjawiska. Praca doktorska, niepublikowana. Kraków 1977.
9. Strzałkowski P.: Model nieustalonych przemieszczeń pionowych górotworu w obszarze objętym oddziaływaniem eksploatacji górnicezej. Zeszyty Naukowe Pol. Śl., z.237. Gliwice 1998.
10. Ściagała R. Przemieszczenia i odkształcenia poziome terenu górnicego w funkcji czasu. Praca doktorska, niepublikowana. Gliwice 1999.
11. Trojanowski K.: Określenie wartości czasowych osiadań powierzchni górotworu. Rudy i Metale Nieżelazne nr 11, 1963.
12. Zych J.: Metoda prognozowania wpływów eksploatacji górnicezej na powierzchnię terenu uwzględniająca asymetryczny przebieg procesu deformacji. ZN Politechniki Śląskiej. Górnictwo z.164, Gliwice 1987.

Abstract

The problem of improvement the description of transient land surface deformations caused by underground mining by modification of so called „time function”, proposed by S.Knothe [5], has been considered by many authors. However, almost all of the solutions deals only with one deformation index - subsidence. It is assumed, that other deformation indices are calculated by differentiation of the subsidence equation, with using some additional assumptions (e.g. Avershin relation between horizontal displacement and slope). This approach has not been tested in detail in comparison to surveys. Taking this into account, the author of this paper did the analysis of horizontal displacement and strain quality calculated by using S.Knothe model.

On the basis of this analysis, the possibility of improvement the description of land surface deformation in transient state has been considered. The obtained solution bases on two assumptions :

- for calculations of final value of deformation indices in equation (1), the assymetric functions proposed by J.Zych [12] has been employed,
- the new time function has been proposed, based on the reological models :

$$f(t) = \left[1 - (1 - p\lambda)e^{-\lambda t} \right]$$

where :

- p, λ - coefficients,
- t - time.

This model has been verified then on the basis of surveys taken from „Dębieńsko” Coal Mine. The results of calculations point, that the description of transient deformation by using proposed model charakterizes better accuracy in relation to S.Knothe model, especially for horizontal displacement and strain.