

Geodezyjna ocena osiadań powierzchni terenu wokół kopalni Bogdanka w latach 1976-1983

Witold Borowski¹, Jacek Zyga²

*Katedra Geotechniki, Wydział Budownictwa i Architektury, Politechnika Lubelska,
e-mail:¹w.borowski@pollub.pl, ²j.zyga@pollub.pl*

Streszczenie: W artykule opisano próbę zastosowania dynamicznego modelu geodezyjnej sieci pomiarowo-kontrolnej do oceny procesu osiadania powierzchni terenów wiejskich wokół KWK Bogdanka, wywołanego odwodnieniem górotworu podczas drażenia szybów wydobywczych tej kopalni. Opracowanie archiwalnych materiałów pomiarowych z wykorzystaniem dynamicznego modelu sieci pomiarowej umożliwiło rozszerzenie interpretacji zaobserwowanego procesu osiadań na potencjalne parametry procesu odwodnienia, wpływające na konkretny przebieg procesu deformacji górotworu.

Słowa kluczowe: model dynamiczny, sieć kontrolna, odwodnienie górotworu

1. Wprowadzenie

Dane geodezyjne w postaci informacji o wielkości osiadań lub w ogólności – przemieszczeń punktów kontrolnych wykorzystywane były, w analizach zjawisk zachodzących w górotworze, w zasadzie od zawsze. Inaczej jednak nie można ich było wykorzystywać w sytuacji gdy model owych zjawisk był raczej opisowy i miał charakter lokalny.

Postęp w dziedzinach związanych z szeroko rozumianym górotworem (w tym warstwą przypowierzchniową stanowiącą budowlane podłoże gruntowe), postęp którego owocem są m.in. próby matematycznego opisu zjawisk i procesów zachodzących w gruncie, mogłyby zapewne umożliwić pełniejsze wykorzystanie potencjału zawartego w geodezyjnych technikach pomiarowych. Pewna część zjawisk zachodzących w gruncie, opisana w sposób matematyczny, daje bowiem możliwość dogłębniejszego powiązania zjawiska fizycznego z możliwymi do zaobserwowania efektami geometrycznymi. Oparcie obserwacji „zewnętrznych efektów zmian w podłożu” na geodezyjnej sieci pomiarowej daje możliwość kontroli dokładności i wiarygodności tych obserwacji a także wszelkich ich funkcji.

Rzecz w tym, że pomiary geodezyjne rzadko są realizowane tam gdzie zachodzą „ciekawe” z badawczego punktu widzenia zjawiska. Stąd na potrzeby interdyscyplinarnej próby kontroli zmian w podłożu (wykorzystującej geodezyjne techniki pomiarowe) wybrano materiał opisujący proces jaki miał miejsce jakiś czas temu - mowa o zjawisku deformacji górotworu wokół szybów LZW wywołanej odwodnieniem owego górotworu, opisanej teorią Nikolajewskiego [1]. Dla obszarów rolniczych wokół tworzonej kopalni Bogdanka wykonano ówczesznie wystarczająco dużo geodezyjnych pomiarów przemieszczeń, dzięki czemu możliwe było ich opracowanie statystyczne a w oparciu o nie - ustalenie podstawowych charakterystyk zjawiska.

Statystyczna analiza materiału pomiarowego miała charakter zadania odwrotnego, sprowadzającego się do ustalenia na podstawie serii wysokościowych obserwacji geodezyjnych, wartości istotnych parametrów gruntowych, spełniających zarówno równania samego modelu zjawiska gruntowego jak też grupy równań obserwacyjnych geodezyjnej sieci kontrolnej.

2. Procedura kontroli

Proces oceny stanu dowolnego obiektu metodami geodezyjnymi opiera się zawsze o zgromadzony zbiór pomiarów o charakterze bezpośrednim. Aplikowane do zagadnień pomiarowych statystyczne metody analiz, pozwalają na podstawie takiego zbioru, na

wyznaczenie wartości charakteryzujących badany obiekt od strony geometrycznej oraz na weryfikację hipotezy o zaistnieniu zmian w jego stanie.

W dotychczasowej praktyce geodezyjnej, dla tych potrzeb, stosowano zazwyczaj dwa modele rachunkowe: statyczny oraz kinematyczny. U podstaw pierwszego z nich leży założenie, iż punkty reprezentujące kontrolowany obiekt jak i punkty, z których odbywa się kontrola, pozostają w czasie pomiarów nieruchome. Model drugi (kinematyczny) zakłada natomiast istnienie ruchu tych punktów (liniowego, nieliniowego), przez co uwzględnia wpływ ewentualnego ruchu na wartości poszczególnych obserwacji bezpośrednich. Oba wymienione modele pozwalają jednak badać tylko efekty geometryczne procesu fizycznego, podając w wyniku wektor stanu zawierający odpowiednio: położenie (przemieszczenie) punktów lub położenie (przemieszczenie) i ewentualnie prędkość ruchu kontrolowanych punktów.

$$l = Ax + v, C_l \rightarrow x, C_x \quad \text{przy} \quad v^T C_l^{-1} v = \min \quad (1)$$

gdzie:

- l - to wektor różnic obserwacji przewyższeń na bokach sieci kontrolnej
- A - to macierz współczynników równań obserwacyjnych
- x - to poszukiwane przemieszczenia punktów należących do sieci
- v - to reszty stochastyczne modelu
- C_l, C_x - to macierze kowariancji odpowiednio różnic obserwacji i poszukiwanych przemieszczeń

Teoria estymacji dopuszcza jednak możliwość wyznaczania niewiadomych w układach obejmujących zmienne o dowolnym charakterze. Wobec czego, poprzez równania modelu zjawiska zachodzącego w górotworze, zachodzi możliwość kojarzenia wielkości geometrycznych, poddawanych pomiarowi bezpośredniemu, z wielkościami o charakterze przyczynowym (wymuszenia) lub też stanowiącymi parametry wymodelowanego matematycznie procesu. Taki model obliczeniowy, w odróżnieniu od dwóch poprzednich rodzajów modeli wyrównawczych uwzględniając wpływ czynników deterministycznych na kontrolowany proces pozwala na rozszerzenie wektora stanu kontrolowanego obiektu. Wektor ten może zawierać - oprócz wymienionych wcześniej wielkości o charakterze geometrycznym - również, wielkości mające określoną interpretację fizyczną. Ocena i interpretacja wartości liczbowych dodatkowych zmiennych może być bardzo ważnym elementem oceny stanu kontrolowanego obiektu.

Ze względu na wprowadzenie w opisywanym modelu obliczeniowym związku wielkości o charakterze stochastycznym z czynnikami deterministycznymi, zachodzi możliwość zniekształcenia ocen poprawności wykonanych obserwacji geometrycznych (stochastycznych) stanowiących trzon informacji. Obranie niewłaściwego rodzaju zależności matematycznych wynikające z mylnej identyfikacji procesu fizycznego lub zaproponowanie niewłaściwych, przybliżonych wartości jego parametrów może prowadzić do podniesienia poziomu szumów informacyjnych całego układu przy jednoczesnym braku możliwości wykrycia ich źródła. Stąd pomysł Papo, Perelmuter [3] by w pierwszej kolejności dokonywać analizy i tzw. wyrównania samych obserwacji geodezyjnych, a dopiero po ich weryfikacji i analizie dokładnościowej dokonywać włączenia informacji pozageometrycznej. Żabięg ten pozwala podnieść moc diagnostyczną modelu wyeliminować wpływ ewentualnej pomyłki w identyfikacji procesu fizycznego na wynik oceny samego pomiaru.

Obliczenie wartości charakterystycznych parametrów procesu, leżącego u podstaw obserwowanych zmian geometrycznych, można przeprowadzić dwiema metodami: poprzez rozwiązanie układu w rozszerzonej sieci swobodnej lub metodą kolokacji według procedury najmniejszych kwadratów.

Na drodze eksperymentu można nadać kolejne matematyczne modele zjawiska według zależności:

$$x = Ms + w, C_x \rightarrow s, C_s \quad \text{przy} \quad w^T C_x^{-1} w = \min \quad (2)$$

gdzie:

- l - to wektor przemieszczeń punktów kontrolnych
- M - to macierz współczynników równań modelu zjawiska fizycznego w górotworze

s - to poszukiwane poprawki do przybliżonych wartości poszukiwanych parametrów badanego zjawiska
 w - to reszty stochastyczne równań modelu zjawiska fizycznego
 C_s - to macierz kowariancji poszukiwanych parametrów badanego zjawiska
 a dla najodpowiedniejszego z modeli można dokonać weryfikacji łącznej poprzez formułę kolokacji, Papo, Perelmuter [4]:

$$l = AMs + Aw + v, C_l \rightarrow s, C_s \text{ przy } v^T C_l^{-1} v + w^T C_x^{-1} w = \min \quad (3)$$

Z uwagi na powtarzalność pomiarów kontrolnych w wielu kolejnych okresach czasu (w kolejnych tzw. epokach pomiarowych) zachodzi możliwość wyznaczania wektora parametrów s zarówno jako stałego dla kolejnych epok pomiarowych jak też wektora przyjmującego wartości zmienne w czasie (odmienne w rozpatrywanych okresach pomiędzy wybranymi epokami pomiarowymi). Dla wariantu badania parametrów s przy założeniu ich stałości w czasie związek poszukiwanych parametrów z pośredniczącymi niewiadomymi x jest w szczegółowym zapisie następujący:

$$\text{vec}(x) = M' s + \text{vec}(w), C_x' \quad (4)$$

gdzie:

$\text{vec}(x)$ - to złożony wektor przemieszczeń w kolejnych k epok pomiarowych

s - stały, p -elementowy wektor poprawek do wartości przybliżonych parametrów badanego zjawiska fizycznego w górotworze

$\text{vec}(w)$ - to złożony wektor reszt równań modelu zjawiska fizycznego w kolejnych k okresach pomiarowych

C_x' - złożona blokowo to macierz kowariancji przemieszczeń

M' - złożona blokowo macierz współczynników równań modelu zjawiska

$$M' = \begin{bmatrix} M \\ M \\ \dots \\ M \end{bmatrix}_{km,p}, \text{vec}(x) = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_k \end{bmatrix}_{km,1}, \text{vec}(w) = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \dots \\ w_k \end{bmatrix}_{km,1}, C_x' = \begin{bmatrix} C_x & 0 & \dots & 0 \\ 0 & C_x & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & C_x \end{bmatrix}_{km,km} \quad (5)$$

Dla wariantu badania parametrów s uznanych za zmienne w czasie układ równań modelowych przyjmuje y kolei postać jak niżej:

$$\text{vec}(x) = M'' \text{vec}(s) + \text{vec}(w), C_x' \quad (6)$$

gdzie:

$\text{vec}(s)$ - złożony kp -elementowy wektor poprawek do wartości przybliżonych parametrów badanego zjawiska

$$\text{vec}(s) = \begin{bmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \dots \\ s_k \end{bmatrix}_{kp,1} \quad (7)$$

M'' - złożona blokowo macierz współczynników równań modelu zjawiska fizycznego w górotworze, o wartościach odmiennych dla poszczególnych okresów analizy

$$M'' = \begin{bmatrix} M_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & M_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & M_k \end{bmatrix}_{km, kp} \quad (8)$$

Przy założeniu stałości modelu zjawiska w czasie (modelu wraz z jego parametrami) macierz M'' może być określona poprzez proste rozwinięcie iloczynem Kroneckera:

$$M'' = M \otimes I_{km, kp} = \begin{bmatrix} M & 0 & \dots & 0 \\ 0 & M & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & M \end{bmatrix} \quad (9)$$

3. Opis zjawiska

W pierwszych latach drążenia szybów Lubelskiego Zagłębia Węglowego, w czasie poprzedzającym właściwą eksploatację kopalni zaobserwowano charakterystyczne osiadania powierzchni, tak na terenie samej kopalni jak też w obszarach przyległych.

Za przyczynę przyjęto odwodnienie górotworu, wywołane poprzez odpompowywanie wody dopływającej do wyrobisk podczas wykonywania robót górniczych. Początkowo był dopływ wody do drążonych szybów, później przy przygotowywaniu do eksploatacji złoże – do wyrobisk poziomych. Badania zweryfikowano na podstawie wieloletnich obserwacji deformacji górotworu w warunkach Lubelskiego Zagłębia Węglowego, w części dotyczących wpływów pośrednich. W wyniku działalności górniczej powstają zmiany, związane z wpływami bezpośrednimi eksploatacji, zachodzącymi w pobliżu pola eksploatacyjnego jak i wpływami pośrednimi mogącymi oddziaływać na znacznym obszarze. Wpływy pośrednie są trudne do uchwycenia w starych zagłębiach, gdzie różne oddziaływania nakładają się na siebie i wyodrębnienie ich jest często niemożliwe. W początkowej fazie budowanego zagłębia nie występował wpływ bezpośredni, a całe zmiany należy przypisać innym oddziaływaniom.

W zależności od budowy geologicznej i hydrogeologicznej górotworu, na skutek drenującego działania kopalni, czynnikiem który może wywołać zmiany na znacznym obszarze jest odpompowywana woda, napływająca do wyrobisk.

W pracy, w celu określenia związków między odwodnieniem a deformacją górotworu, przyjęto model ośrodka dwufazowego składającego się z porowatego szkieletu o własnościach sprężystych oraz cieczy wypełniającej pory. Przyjęto, że obie fazy są ściśle jednorodne i izotropowe. W ośrodku tym działa źródło cieczy, którego wydatek wpływa na zmianę ciśnienia porowego oraz w konsekwencji na zmianę naprężenia i deformację szkieletu. Model oparty jest o równania impulsu i ciągłości cieczy oraz fazy stałej dla całego ośrodka, zestawione przez Niokolajewskiego [1,2].

Założono, że szyby w stosunku do całego rozpatrywanego obszaru stanowią ujemne źródła cieczy (Borowski [5]). Do tego w miarę postępu robót uwzględniono oddziaływanie robót poziomych, jako szeregu bliskich punktów o wydajności stanowiącej sumę ilości wypompowywanej wody.

Do weryfikacji modelu przyjęto parametry fizyko-mechaniczne górotworu, dane dotyczące ilości odpompowanej wody, zmiany położenia piezometrycznego zwierciadła wody i dane geodezyjne z wieloletnich z pomiarów linii obserwacyjnych metodą niwelacji precyzyjnej II klasy.

Ogólny kształt zależności osiadania kontrolowanego punktu na powierzchni ziemi, względem poszczególnych parametrów procesu odwodnienia górotworu przedstawiają poniższe wzory:

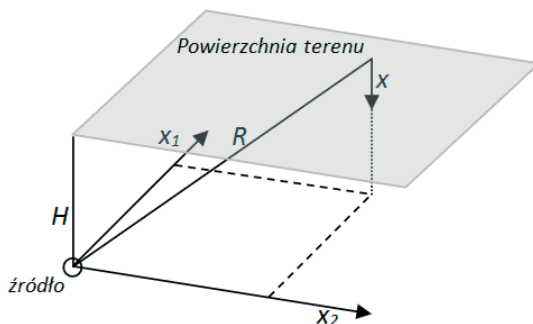
$$x = \frac{Q[(1-m_0)\beta_1 K - 1]}{8\pi m_0 \beta_2 \kappa (1-m_0)(\lambda_1 + 2\lambda_2)} \cdot \frac{H}{R} f(t) \quad (10)$$

$$f(t) = 1 - \left[\left(1 - \frac{2\kappa t}{R^2} \right) \operatorname{erf} \left(\frac{R}{\sqrt{4\kappa t}} + \frac{1}{R} \sqrt{\frac{4\kappa t}{\pi}} \right) \exp \left(-\frac{R^2}{4\kappa t} \right) \right] \quad (11)$$

gdzie:

- x - to przemieszczenie (osiadanie) punktu kontrolnego
- m_0 - porowatość górotworu
- β_1, β_2 - współczynniki izotermicznej ściśliwości fazy stałej i ciekłej
- K - moduł ściśliwości przestrzennej
- λ_1, λ_2 - stałe Lamego
- κ - współczynnik piezoprzewodności
- Q - wydajność ujemnego źródła
- H - głębokość źródła
- x_1, x_2 - współrzędne punktu kontrolnego w układzie współrzędnych związanych z ujemnym źródłem wody
- R - odległość punktu kontrolnego względem źródła wody $R = \sqrt{H^2 + x_1^2 + x_2^2}$
- T - czas

Schemat relacji pomiędzy punktem kontrolowanym i ujemnym źródłem wody przedstawia rysunek nr 1.



Rys. 1. Schemat relacji przestrzennych pomiędzy punktem kontrolowanym i ujemnym źródłem wody.

Uwzględnienie mnogości otworów drenażowych, źródeł (ujęć wody) w otworze oraz okresów o różnych wydajnościach tych źródeł prowadzi o formuły uogólnionej:

$$x = \frac{\sum_{otw=1}^l \left\{ \frac{1}{R_{otw}} \sum_{j=1}^{m_{otw}} \left[H_j \left((1-m_0) \beta_1 K - 1 \right) \sum_{i=1}^{n_j} Q_{j,i} \left(f(t_{j,i}) - f(t_{j,i-1}) \right) \right] \right\}}{8\pi m_0 \beta_2 \kappa (1-m_0) (\lambda_1 + 2\lambda_2)} \quad (12)$$

gdzie:

- l - to liczba otworów drenażowych
- m_{otw} - to liczba źródeł (ujęć wody) w otworze
- n_j - to liczba okresów o odmiennych wydajnościach źródeł

Za poszukiwany parametr s , zmienny w czasie i związany ze stanem naprężenia i odkształcenia w górotworze, przyjęto współczynnik opisany, łącznie jako $\beta_1 K$, charakteryzujący zwięzłość skał, Nikolajewskij [1].

4. Opis doświadczenia

Opisany dynamiczny model geodezyjnej sieci kontrolnej wraz z ramowym modelem zjawiska deformacji terenu wywołanej odwodnieniem górotworu zastosowano do analizy przemieszczeń punktów sieci niwelacyjnej Lubelskiego Zagłębia Węglowego w latach 1976-1983. Rozproszenie oraz niekompletność materiału pomiarowego pozwoliła na odtworzenie jedynie części sieci kontrolnej, tj, obserwacji wiążących jedynie 13-14

zidentyfikowanych punktów w czterech epokach pomiarowych: 07.1976, 06-07.1980, 10-11.1982 oraz 07.1983.

W oparciu o formuły (11), (12) sformułowano trzy modele osiadania punktów powierzchniowych w funkcji parametrów odwodnienia (przy nieznanym parametrze $\beta_1 K$):

Model I

$$x = \frac{\sum_{otw=1}^l \left\{ \frac{H_{otw}}{R_{otw}} ((1-m_0)\beta_1 K - 1) \sum_{i=1}^{n_{otw}} Q_{otw,i} (f(t_{otw,i}) - f(t_{otw,i-1})) \right\}}{8\pi m_0 \beta_2 \kappa (1-m_0)(\lambda_1 + 2\lambda_2)} \quad (13)$$

Model II:

$$x = \frac{[(1-m_0)\beta_1 K - 1]}{8\pi m_0 \beta_2 \kappa (1-m_0)(\lambda_1 + 2\lambda_2)} \cdot \sum_{i=1}^l \frac{H_i Q_i}{R_i} f(t_i) \quad (14)$$

Model III

$$x = \frac{\sum_{otw=1}^l \left\{ \frac{H_{otw}}{R_{otw}} ((1-m_0)\beta_1 K - 1) \sum_{i=1}^{n_{otw}} Q_{otw,i} (f(t_{otw,i}) - f(t_{otw,i-1})) \right\}}{8\pi m_0 \beta_2 \kappa (1-m_0)(\lambda_1 + 2\lambda_2)} \quad (15)$$

$$H_{otw} = \begin{cases} H_{otw \max} \cdot \frac{t}{55}, & t < 55 \text{ mies.} \\ H_{otw \max}, & t \geq 55 \text{ mies.} \end{cases} \quad (16)$$

Dla ustalonej struktury sieci pomiarowej sformułowano i zrealizowano zadanie rachunkowe w oparciu o formułę (1) a następnie przeprowadzono serię eksperymentów z modelami, samego zjawiska. Pierwszą ich część (dla uproszczonej postaci macierzy modelu M (5)) przeprowadzono w celu ustalenia odpowiedniości sformułowanych powyżej zależności modelowych (13), (14), (15) wybierając jako najwłaściwszy model wskazany umownie jako II (14) uznając wielość ujemnych źródeł wody, przy zachowaniu stałości ich wydajności w czasie.

Tabela 1. Porównanie dopasowania modelu zjawiska do danych pomiarowych

Model	Kryterium minimum $w^T C_x^{-1} w$
I	2375
II	2099
III	18422
II dla zredukowanej liczby punktów kontrolowanych	452

Model II, najlepszy w sensie dopasowania do pomierzonego rzeczywistego przebiegu osiadań obiektu, nie był modelem dobrym absolutnie. Po przeanalizowaniu wektora reszt w powzięto przypuszczenie, iż część punktów kontrolowanych wykazała zachowanie niezgodne z tym modelem. Po wyeliminowaniu tych punktów i ponownym rozwiązaniu układu obserwacyjnego (1) uzyskano dopasowanie modelu na poziomie $w^T C_x^{-1} w = 452$.

Po wykonaniu dalszych testów cząstkowych dla wybranej formuły $x = f(\beta_1 K)$ stwierdzono, że modele obliczeniowe oparte na rozszerzonej macierzy M (9), realizujące założenie zmienności czynnika $\beta_1 K$ w kolejnych okresach analiz przy jednoczesnych założeniach stałości pozostałych parametrów górotworu i jego struktury, charakteryzowały

się resztami modelowymi w mniejszymi o 70% od reszt modeli bazujących na tych samych funkcjach $x = f(\beta_1 K)$, lecz zakładających stałość argumentu $\beta_1 K$. Wskazuje to na dalszą poprawę dopasowania modelu procesu osiadania do badanej rzeczywistości

5. Wyniki analizy

Analizę osiadań punktów kontrolnych i dalszą ocenę wymuszającego te osiadania zjawiska przeprowadzono wariantowo, dla okresu 1976 – 1983 oraz dla okresów pośrednich, zestawionych w tabeli nr 2.

Tabela 2. Porównanie wyników analiz w poszczególnych wariantach

Lp.	Okres objęty analizą	Wartość parametru $\beta_1 K$
1	1976-1983	0,464±0,016
2	1976-1980	0,179±0,073
3	1980-1982	0,497±0,016
4	1982-1983	0,390±0,015
5	1976-1983 (dla zredukowanej liczby punktów kontrolnych)	0,381±0,011

W ośrodkach dwufazowych, gdzie cząsteczki skały nie stanowią zwięzłego szkieletu $\beta_1 K = 0$ a w idealnie zwięzłym ośrodku $\beta_1 K = 1/(1-m_o)$. Wartość $\beta_1 K$ obliczona z uśrednionych parametrów fizykomechanicznych i hydrogeologicznych przyjętych z dokumentacji dla jednorodnego górotworu wynosiła 0,20, co jest zbieżne z częścią uzyskanych wyników. Wyniki uzyskane w poszczególnych okresach międzyepokowych znacznie jednak odbiegają od siebie. Jest jednak oczywiste, że parametry wyznaczone w laboratorium oraz w części eksperymentu w terenie będą odbiegały od parametrów wyznaczonych zaproponowaną metodą. Istotnym faktem pozostaje tu potwierdzenie wzrastania wartości analizowanego parametru w czasie. Na występujące rozbieżności wniosków końcowych może mieć wpływ przyjęcie nieuchronnych uproszczeń w zaproponowanych formułach modelowych, wyizolowanie dla potrzeb eksperymentu jednego parametru zmiennego przy niezmienności pozostałych. W rozpatrywanym przypadku Lubelskiego Zagłębia Węglowego w roku 1983 uwidoczniły się wpływy eksploatacji, co dodatkowo komplikuje rozważania.

Istotnym utrudnieniem dla przeprowadzonych analiz pozostawała również mała liczba obserwacji geodezyjnych wziętych do obliczeń, nie w pełni zadowalające rozmieszczenie i stabilizacja znaków geodezyjnych oraz częstotliwość pomiarów terenowych. Mimo tych trudności można jednak zaproponowane rozwiązanie uznać za obiecujące. Wyznaczone tą drogą wielkości mogą być pomocne przy budowaniu modeli procesów zachodzących w górotworze, zwłaszcza gdy niedostępne są bezpośrednie metody kontrolowania ich kluczowych parametrów.

Opisany eksperyment jest próbą empirycznego określenia ewentualnych możliwości i skutków łączenia informacji pomiarowych o charakterze stochastycznym z deterministycznymi przesłankami wynikającymi z charakteru kontrolowanego procesu. Wyniki eksperymentu potwierdzają, że możliwe jest łączenie tych odmiennych gatunkowo informacji w jednym procesie obliczeniowym. Wprowadzenie do procesu wyrównawczego obserwacji geodezyjnych - wielkości mających swą interpretację fizyczną pozwala na badanie i kontrolę parametrów niemierzalnych bezpośrednio, statystyczną weryfikację ich wartości. na podstawie ich wpływu na wyznaczone geodezyjnie zmiany geometryczne sieci pomiarowej oraz na przypisywanie im charakterystyki dokładnościowej.

Analiza wektora reszt modelowych pozwala także na wnioskowanie, które z punktów kontrolowanych poddane są ewidentnie wpływom badanego procesu.

Literatura

1. Nikolajewskij W. N., Basnijew K. C., Gorbunow A. T. Miechanika nasyczeniennych poristych sried. Moskwa, Niedra 1970, Nikolajewskij W. N., cz. 1 Dinamika nasyczeniennych poristych sried., 7-152.
2. Nikolajewskij W. N. Miechanika poristych i treszczinowatych sred, Moskwa, Niedra 1984, 232.
3. Papo H.B., Perelmuter A. Two step analysis of dynamical networks. Manuscripta Geodetica 18(6), (1993), 422-430.
4. Papo H.B., Perelmuter A. Dynamical modeling in deformation analysis . Manuscripta Geodetica 18(5), (1991), 295-300.
5. Borowski W. Rozwój niecki osiadania w Centralnym Rejonie Węglowym LZW. Prace Naukowe Politechniki Lubelskiej 171, Lublin 1987, 85-105.

Geodetic evaluation of terrain surface subsidence around mine shifts of KWK Bogdanka in 1976-1983

Witold Borowski¹, Jacek Zyga²

*Chair of Geotechnics, Faculty of Engineering and Architecture, Lublin University of Technology,
e-mail: ¹w.borowski@pollub.pl, ²j.zyga@pollub.pl*

Abstract: An attempt to apply a measuring dynamic network model into land subsidence process evaluation is described in the presented essay. The surface subsidence process, occurring on rural areas around KWK Bogdanka, is suspected to be consequent upon orogen drainage, related to drilling of mining shafts. The elaboration of archival measuring data with the use of a dynamic model of measuring network enabled to extend the interpretation extension of the interpretation of the observed settlements process for potential drainage process parameters, affecting a specific rock deformation process.

Keywords: dynamic model. control network. orogen drainage