

Feliks ANDERMANN, Lidia FEDOROWICZ, Jan FEDOROWICZ  
Politechnika Śląska

## POWIĄZANIE POMIARÓW GEODEZYJNYCH Z TEORIĄ KONSTRUKCJI NA TERENIE GÓRNICZYM

**Streszczenie.** Przedmiotem artykułu są:

- sposób bezpośredniego wykorzystania pomiarów geodezyjnych do obliczeń konstrukcji zagrożonej awarią,
  - sposób kalibrowania modelu obliczeniowego konstrukcji na podłożu sprężystym.
- Przedstawione w artykule propozycje zilustrowano przykładami.

## CONNECTION BETWEEN GEODETIC SURVEYING WITH THE THEORY OF STRUCTURES IN THE MINING REGION

**Summary.** In the paper are discussed:

- the method of direct geodetic surveying application for the analysis of break-down hazard for wall structures,
  - the method for calibration of the model for analysis of structures founded on elastic subsoil.
- The practical solutions given in the paper are illustrated by examples.

Wzdłuż linii kontaktu dwóch współpracujących ze sobą substruktur budowli i podłoża powstają siły i przemieszczenia, których wartości można opisać funkcjami o charakterze zależnym od miary wzajemnych sztywności obu podukładów. Budując model obliczeniowy budowli współpracującej z podłożem staramy się o możliwie wierne wyrażenie tych zależności. Jest to szczególnie ważne w przypadku określania obciążenia konstrukcji wynikającego z deformacji podłoża. Przemieszczenia punktów powierzchni terenu wywołują bowiem pod budowlą zmianę oddziaływania podłoża, będącą funkcją zarówno parametrów podłoża, jak i konstrukcji. Można zatem powiedzieć, że właściwe określenie na podstawie modelu obliczeniowego pracy obu podukładów jest zdeterminowane właściwym określeniem linii kontaktu budowli i podłoża. A zatem cała bogata dokumentacja geodezyjna dotycząca pomiarów

przewodzonych dla obiektów budowlanych poddanych działaniu górniczych deformacji terenu powinna znaleźć zastosowanie:

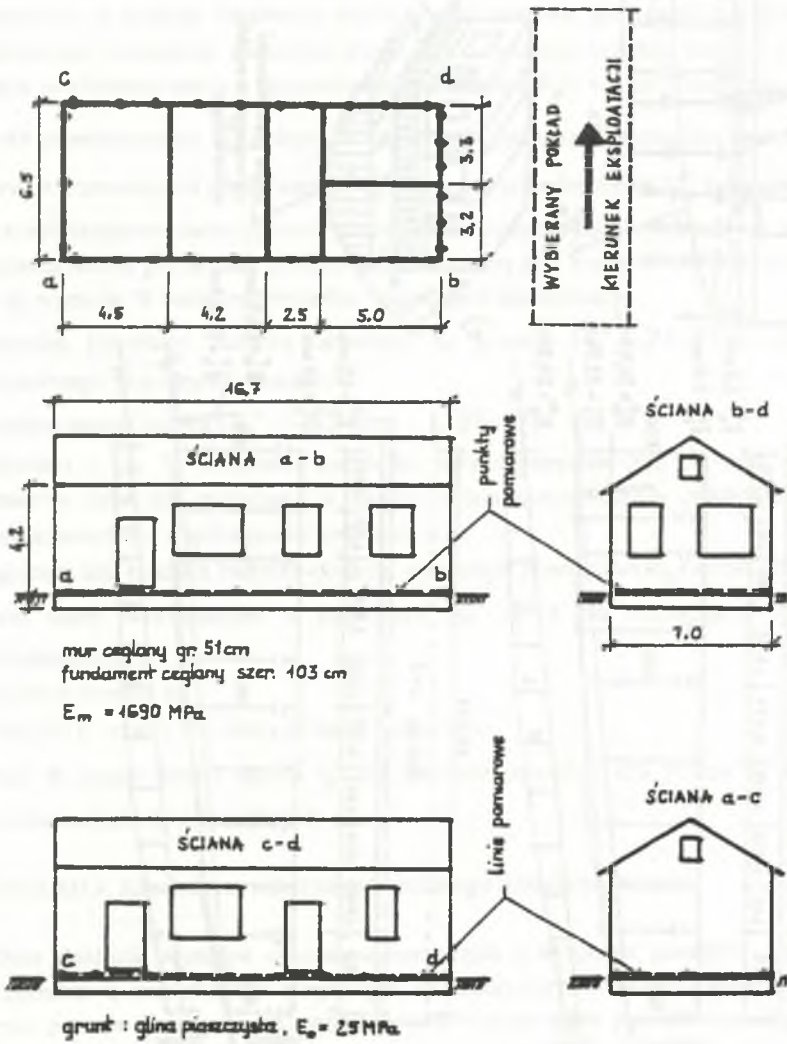
- przy bezpośrednim wykorzystaniu pomiarów do obliczeń konstrukcji,
  - przy kalibrowaniu istniejących, tworzonych bądź modyfikowanych modeli obliczeniowych.
- Powyższe wywody zilustrowano przykładami.

### **PRZYKŁAD 1. Określenie aktualnego stanu wytrzymałościowego konstrukcji na podstawie istniejących pomiarów geodezyjnych**

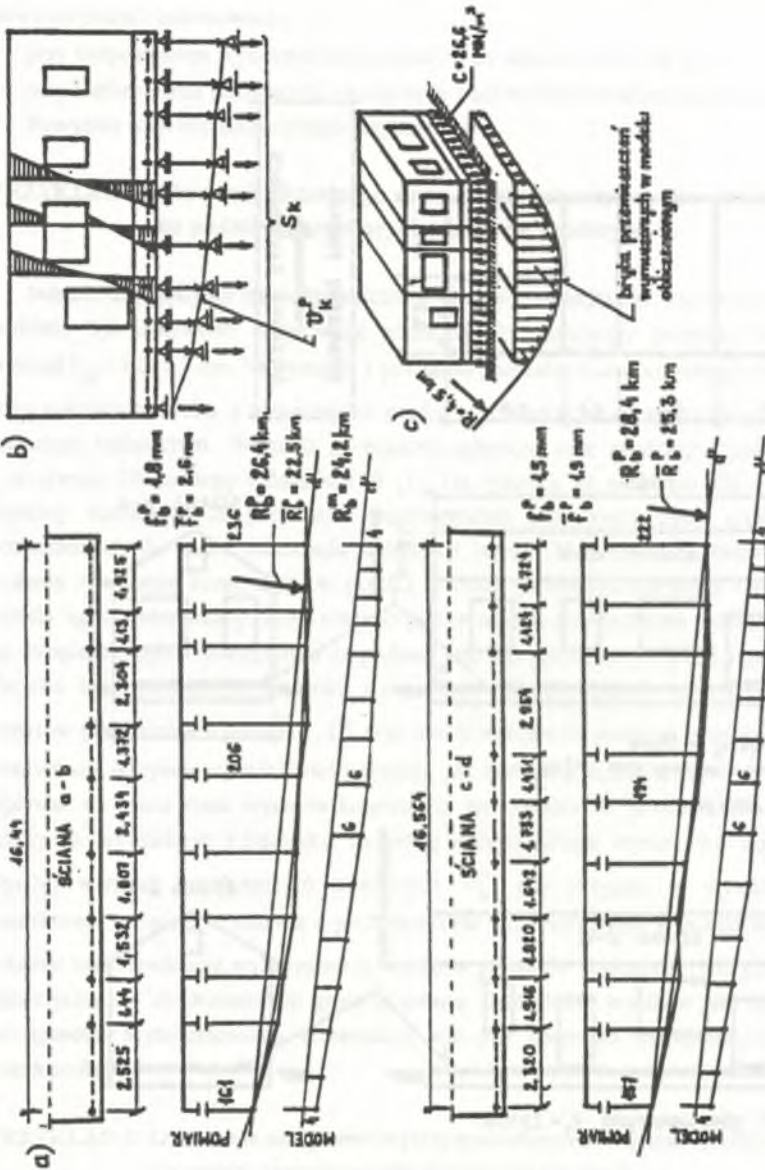
Jednokondygnacyjny niepodpiwniczony budynek mieszkalny, wykonany z cegły pełnej, poddany był wpływowi eksploatacji górniczej. Prognozowany promień deformacji terenu wynosił  $R_p = 4.2: 4.5$  km. Na rysunku 1 pokazano geometrię rzutu poziomego oraz zewnętrznych ścian nośnych budynku, z zaznaczeniem punktów pomiarowych o zagęszczeniu odpowiadającym zadaniom badawczym. Warunki geologiczno-górnice oraz geodezyjne zostały zaczerpnięte z archiwum Gliwickiego Oddziału ITB [1]. Na rysunku 2a pokazano dla ścian podłużnych wykresy sumarycznych przyrostów przemieszczeń pionowych (linia ciągła pogrubiona), pomierzonych do czasu zaistnienia stabilizacji terenu. Najprostszą podstawową informację o stanie obciążenia konstrukcji, w postaci wartości promienia krzywizny budynku oraz jego strzałki ugięcia otrzymamy, jeżeli wartości pomierzonych przemieszczeń opiszemy wielomianem np. drugiego stopnia. Na rysunku 2a podano wartości promienia i strzałki ugięcia, wyznaczone dla obu ścian podłużnych budynku i oznaczone dla linii ugięcia opisanej na podstawie 10 punktów pomiarowych jako  $R_b^p$ ,  $f_b^p$  oraz trzech wybranych punktów pomiarowych -  $\bar{R}_b^p$ ,  $\bar{f}_b^p$ . Porównanie otrzymanych wielkości pokazuje, jak zbyt mała liczba punktów pomiarowych może wpływać na ocenę stanu wygięcia konstrukcji. Na rysunku 2b pokazano obliczeniowy model ściany ab, wydzielonej z budynku, na której dolnym brzegu wymuszono znane z pomiarów (rys.2a) wartości przemieszczeń pionowych  $V_k^p$ , aby otrzymać w wyniku obliczeń siły kontaktowe  $S_k$  między budowlą a podłożem oraz siły wewnętrzne w konstrukcji. Ten ideowy schemat bezpośredniego wykorzystania wyników pomiarów ilustruje sposób postępowania, jaki zastosujemy np. dla konstrukcji zagrożonej awarią. Dokładność wyników jest tu zależna jedynie od sposobu wymodelowania konstrukcji, nie jest natomiast obciążona błędami modelowania podłoża.

### **PRZYKŁAD 2. Określenie możliwości wytrzymałościowych konstrukcji narażonej na wpływ przewidywanej deformacji górniczej**

Zagadnienie takie jest powszechnie spotykane w praktyce inżynierskiej na Śląsku. Na modelu obliczeniowym układu budowa-podłoże wymuszamy prognozowaną deformację górniczą.



Rys. 1. Rzut poziomy uwzględniający punkty pomiarowe  
 Fig. 1. Top view considering measuring points



Rys. 2a. Wykresy przyrostów przemieszczeń pionowych

Rys. 2b, 2c. Modele obliczeniowe ścian

Fig. 2a. The chart of vertical displacements increment

Fig. 2b, 2c. Analytical walls models

Przy klasycznym postępowaniu inżynierskim budynek, który potrafimy wymodelować zazwyczaj z zadowalającą dokładnością, opieramy na jedno- lub dwuparametrowym podłożu gruntowym. Na rysunku 2c pokazano przestrzenny model tarczowy [2,3] budynku z przykładu 1, posadowiony na podłożu Winklera o współczynniku pionowej podatności  $C = 26.6 \text{ MN/m}^3$ , odpowiadającej istniejącym warunkom gruntowym. Obciążenie budynku stanowi wymuszone wygięcie powierzchni terenu o prognozowanym promieniu  $R_p = 4.5 \text{ km}$ . Otrzymane z obliczeń pionowe przemieszczenia  $V_k^m$  dolnych brzegów ścian podłużnych naniesiono na rys. 2a, pod wykresami przemieszczeń pomierzonych  $V_p^k$ . Ponieważ przemieszczenia  $V_p^k$  zawierają w swych wartościach składowe obroty i pionowych przesunięć budynku jako bryły sztywnej, wynikające z obniżenia terenu, porównanie pomierzonej i obliczonej linii kontaktu dotyczyć może jedynie stanu jej wygięcia. W badanym przypadku otrzymano w linii kontaktu:

- promień krzywizny budynku określony na modelu  $R_b^m = 24.2 \text{ km} = 92\% R_b^p$ , określonego na podstawie pomiarów,
- strzałka ugięcia budynku  $f_b^m = 2.2 \text{ mm} = 118\% f_b^p$ .

Dla modelu z rys. 2c wykonano dodatkowe testy numeryczne (rys. 3), aby zobrazować podstawowe zależności zachodzące w modelu obliczeniowym między przyjętą do obliczeń wartością pionowego współczynnika podatności  $C$ , a:

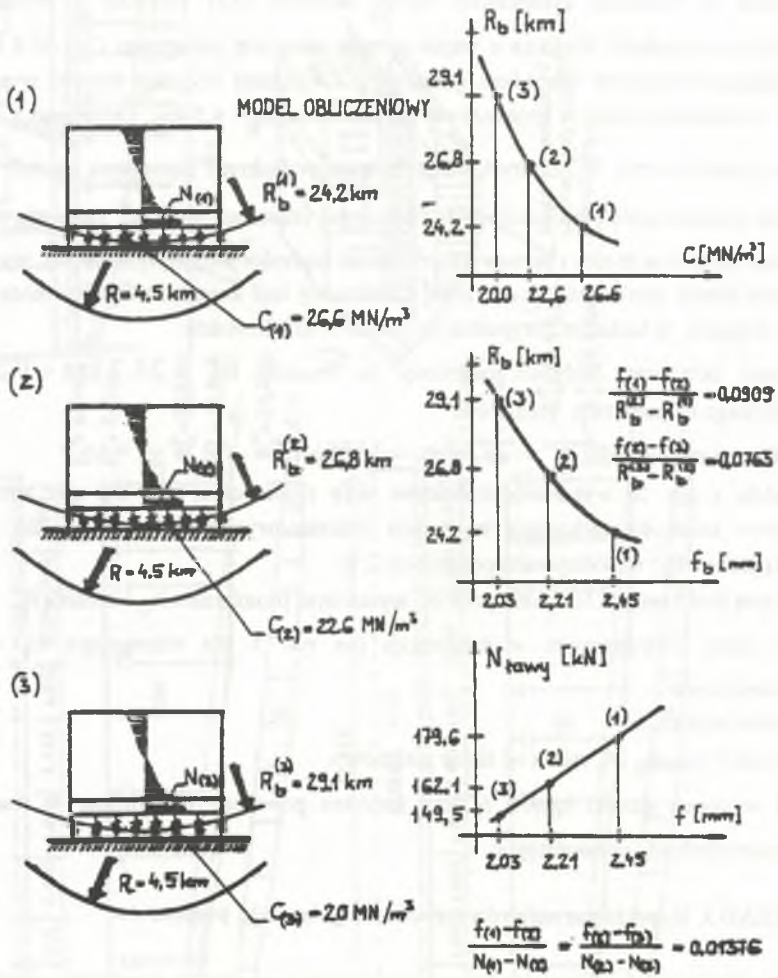
- ugięciem linii kontaktu budynek-podłoże, wyrażonym promieniem  $R_b$  i strzałką  $f_b$ ,
- oraz siłami wewnętrznymi w konstrukcji (na rys. 3 siłą rozciągającą  $N_1$  w ławie fundamentowej).

Z wykresów wynika, że:

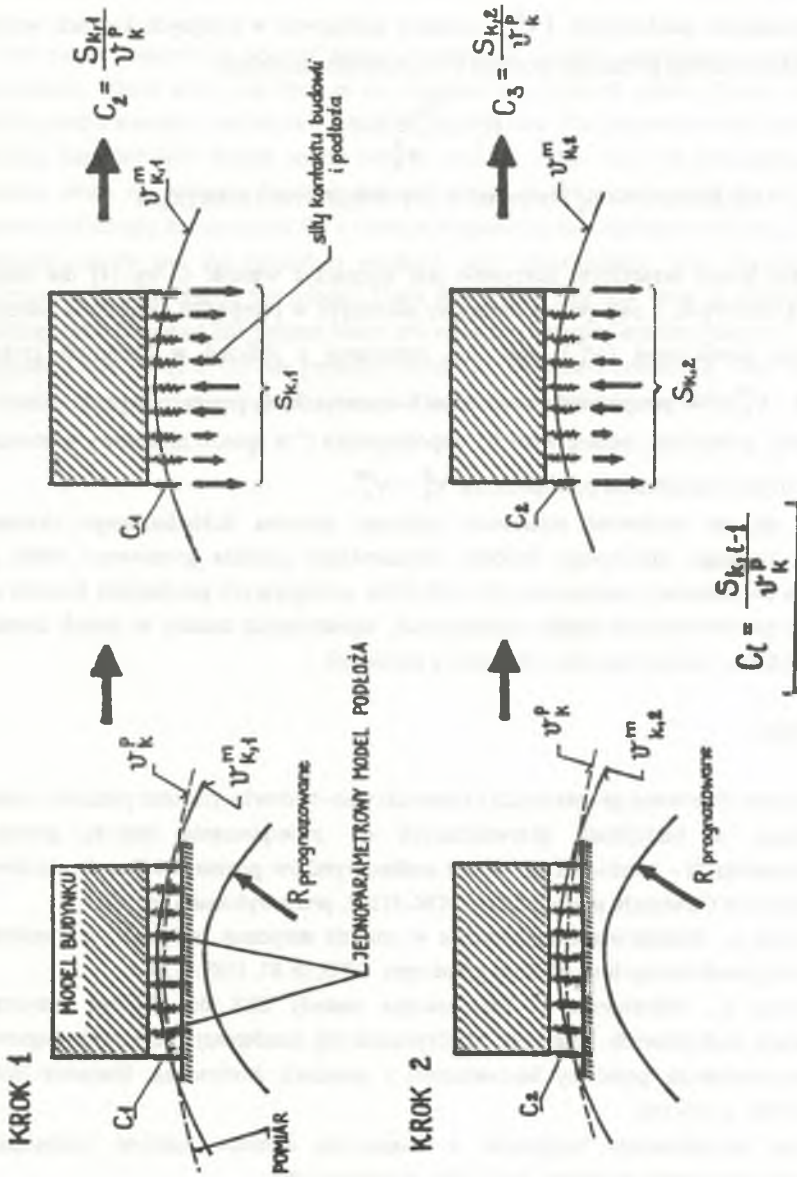
- wartości  $C$  oraz  $R_b$  i  $f_b$  zależą od siebie nieliniowo,
- błąd w ocenie strzałki ugięcia  $f_b$  linii kontaktu powoduje  $n\%$  zmianę w wartościach wyznaczonych sił wewnętrznych.

### PRZYKŁAD 3. Korekta parametrów inżynierskiego modelu podłoża

Duża zbieżność wyników obliczeń numerycznych z wynikami pomiarów geodezyjnych w przykładzie 2 oraz charakter wzajemnych zależności z rys. 3 skłoniły autorów do próby budowy procesu iteracyjnego, pozwalającego na wykorzystanie pomiarów geodezyjnych do kalibrowania inżynierskiego jednoparametrowego modelu podłoża. Ideę procesu iteracyjnego ilustruje rys. 4.



Rys. 3. Dodatkowe testy numeryczne  
 Fig. 3. Additional numeric tests



Rys. 4. Schemat procesu iteracyjnego

Fig. 4. Iterative process scheme

Przyjmując, że model budowli jest zadowalająco dokładny, oraz że znamy linię kontaktu, określoną pomiarem geodezyjnym ( $V_k^p$ ), możemy korygować w kolejnych krokach wartość współczynnika pionowej podatności podłoża  $C$  na podstawie zależności:

$$C_i = \frac{S_{k,i-1}}{V_k^p}$$

gdzie:  $S_{k,i-1}$  – siły kontaktowe  $S_k$  otrzymane w poprzednim kroku iteracyjnym.

W pierwszym kroku iteracyjnym korzystnie jest wyznaczyć wartość  $C$  wg [4] dla danych warunków gruntowych, a cały proces iteracyjny zakończyć w przypadku osiągnięcia założonej bliskości linii pomierzonej ( $V_k^p$ ) oraz linii otrzymanej z obliczeń w kolejnych krokach iteracyjnych ( $V_k^m$ ). W przeprowadzonych testach numerycznych proces powyższy okazał się szybkozbieżny, powodując zmianę wartości współczynnika  $C$  w sposób nieliniowy w stosunku do różnicy między wartościami przemieszczeń  $V_k^p - V_k^m$ .

Wydaje się, że możliwość znalezienia ogólnego sposobu dokładniejszego określania parametrów prostego, sprężystego modelu inżynierskiego podłoża gruntowego warta jest gromadzenia dokumentacji pomiarowej dla budynków podlegających geodezyjnej kontroli oraz prowadzenia porównawczych analiz numerycznych, rejestrujących zmiany w liniach kontaktu budowla–podłoże, otrzymywanych z obliczeń i z pomiarów.

## LITERATURA

1. Prowadzenie obserwacji geodezyjnych i konstrukcyjno–budowlanych oraz pełnienie nadzoru autorskiego w budynkach przewidzianych do zabezpieczenia metodą gorsetową w Wodzisławiu Śl–Markłowicach wraz z analizą wyników pomiarów. Etap II, Archiwum ITB Oddział w Gliwicach, symbol SK-407/OK-511/II, praca wykonana w 1989 r.
2. Fedorowicz L.: Modelowanie numeryczne w analizie statycznej budynków o konstrukcji ścianowej posadowionych na podłożu górnym. OTG, nr 87, 1989, s.13-21.
3. Fedorowicz L., Fedorowicz J.: Zastosowanie metody SES do obliczeń statycznych konstrukcji budowlanych. Materiały Międzynarodowej konferencji naukowej: Najnowsze naukowo–badawcze problemy budownictwa i inżynierii środowiska. Białystok–Hołny–Mejera 1989, s.105-112.
4. Wytyczne projektowania budynków o ścianowym układzie nośnym podlegających wpływowi eksploatacji górniczej. Wyd. ITB, Warszawa 1989.

Recenzent: Doc. dr inż. Marian Kawulok



### Abstract

The paper presents the way of direct utilization of geodetic surveyings for the structure computation. There were described in the example the obtained contact forces between the building and the subsoil and interior forces in the structure. The procedure was applied for the building hazarded with failure on the mining area. In most cases we are dealing with the situation when we evaluate displacements and forces in the structure which will be under influence of mining deformations for a classical engineering proceeding the building is modeled relatively exactly and the subsoil is modeled very approximately. The forecasted mining deformation is enforced on this model. There was shown that  $n\%$  error in evaluation of the building-subsoil contact line returns about  $n\%$  error in particular interior quantities. The paper proposes iterative way of the one parameter model of the subsoil correction. This was done on basis of very precise surveyings of real contact line between building and subsoil.