

Lidia FEDOROWICZ, Jan FEDOROWICZ  
Politechnika Śląska, Gliwice

## METODY OCENY WYTEŻENIA BUDOWLI NA TERENACH GÓRNICZYCH

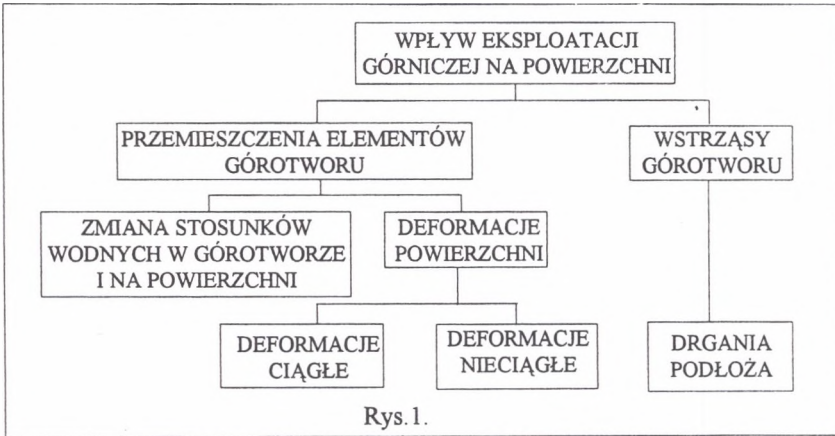
**Streszczenie.** W referacie przedstawiono systematykę metod obliczeń budynków, przeprowadzanych w sposób standardowy inżynierski, bardziej zaawansowanych oraz służących analizom o charakterze badawczym lub eksperckim. Omówiono sposoby zabezpieczeń oraz podano przykłady.

## THE EFFORT EVALUATION METHODS FOR BUILDING IN MINING AREAS

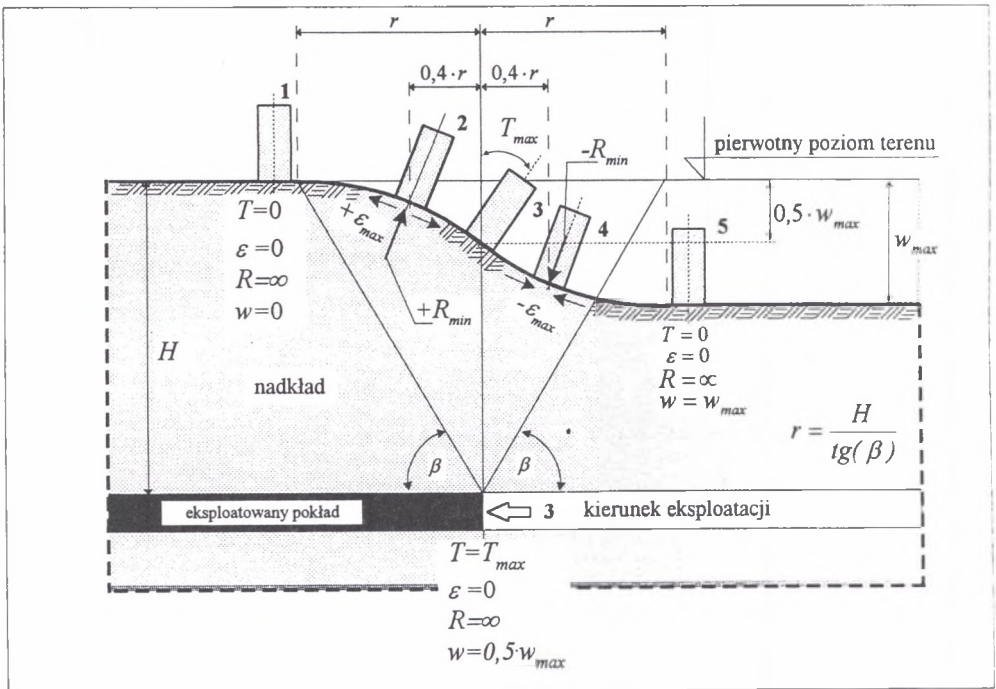
**Summary.** In the task the systematics of methods of building structure calculations has been presented. These are standard and advanced, engineering and research calculation procedures. The examples also there are given.

### 1. Wprowadzenie

Skutki działalności górniczej ujawniające się na powierzchni terenu w znacznej mierze zależne są od uwarunkowań geologicznych. Na rysunku 1 pokazano za [1] schemat klasyfikacji wpływów eksploatacji górniczej, przekazujących się na powierzchnię terenu i wywołujących dodatkowe obciążenie konstrukcji budowlanej.



Miarą obciążeń budowli deformacjami podłoża górniczego (rys.2) są siły i przemieszczenia pojawiające się w płaszczyźnie kontaktu fundamentu z podłożem. Sposób oraz dokładność wyznaczenia wielkości kontaktowych decyduje zatem o wiarygodności określanego statycznego wyężenia konstrukcji oraz o skuteczności zaprojektowanego zabezpieczenia.



W pojęciu współczesnych, numerycznych analiz obliczeniowych, jest to szczególne zagadnienie brzegowe, w którym podkłady budowla – podłoże wymagają oddzielnych sposobów opisu. Konstrukcja – głównie z uwagi na złożoną geometrię, ośrodek gruntowy – z przyczyny swej wielofazowości, silnej nieliniowości, a w przypadku podłoża górniczego - sprzęgnięcia funkcji odkształceń ze zmianą parametrów gruntu.

Analizy tak rozbudowane, prowadzone zwykle w sposób przyrostowy, wymagają profesjonalnych programów komputerowych i mają charakter głównie badawczy lub ekspercki.

W kategorii obliczeń inżynierskich (wspomaganych komputerowo) zakres prowadzonej analizy statycznej zależy od:

- sztywności budowli (związanej z rodzajem konstrukcji oraz materiałów, układem fundamentów, geometrią rzutu itp.).
- oraz wartości wskaźników deformacji powierzchni terenu pod budowlą (odkształcenia poziomego podłoża  $\epsilon$ , promienia krzywizny terenu  $R$ , wychylenia  $T$ ).

W pracy przedstawiono poniżej systematykę sposobów postępowania przy określaniu wyężenia konstrukcji na terenach górnicznych w uproszczonych i zaawansowanych (wspomaganych komputerowo) obliczeniach inżynierskich oraz w analizach obliczeniowych o charakterze badawczym.

## 2. Sposoby oceny wyężenia konstrukcji na podłożu górnicznym

Przedstawiona poniżej klasyfikacja (rys. 3) dotyczy konstrukcji dowolnych budowli nadziemnych, których schematy obliczeniowe można wymodelować posługując się metodami mechaniki budowli lub teorii sprężystości i plastyczności.

Sposób modelowania podłoża (dla wpływów  $\epsilon$  oraz  $R$ ) związany jest natomiast z koncepcją przekazywania obciążenia z deformującego się podłoża górniczego na budowlę. Reprezentacja modeli może tu być bardzo szeroka: od analogów liniowo-sprężystych typu Winklera, przez półpłaszczyznę lub półprzestrzeń sprężystą do modeli opisujących sprężysto-plastyczne właściwości gruntu.

Obciążenie przekazywane z deformującego się podłoża górniczego na budowlę realizowane jest w toku obliczeń poprzez nałożenie na schemat (model) obliczeniowy warunków brzegowych:

- statycznych, realizowanych w postaci zastępczego obciążenia (poziomego lub pionowego) przykładanego do dolnego brzegu modelu budowli - rys. 4a,
- lub kinematycznych, realizowanych jako funkcje przemieszczeń: poziomych (wywołujących odkształcenia  $\epsilon$ ) oraz pionowych (reprezentujących promień krzywizny  $R$ ) wymuszanych na brzegach modelu podłoża - rys.4b.

Styczne bądź kinematyczne warunki brzegowe mogą być realizowane w modelach obliczeniowych o różnym stopniu złożoności, co pokazują ścieżki (A), (B), (C) na rys.3.

Ścieżka (A) odpowiada obliczeniom inżynierskim, w których stosowane są klasyczne schematy obliczeniowe (prętowe: belki, ruszty dla budowli, model Winklera dla podłoża).

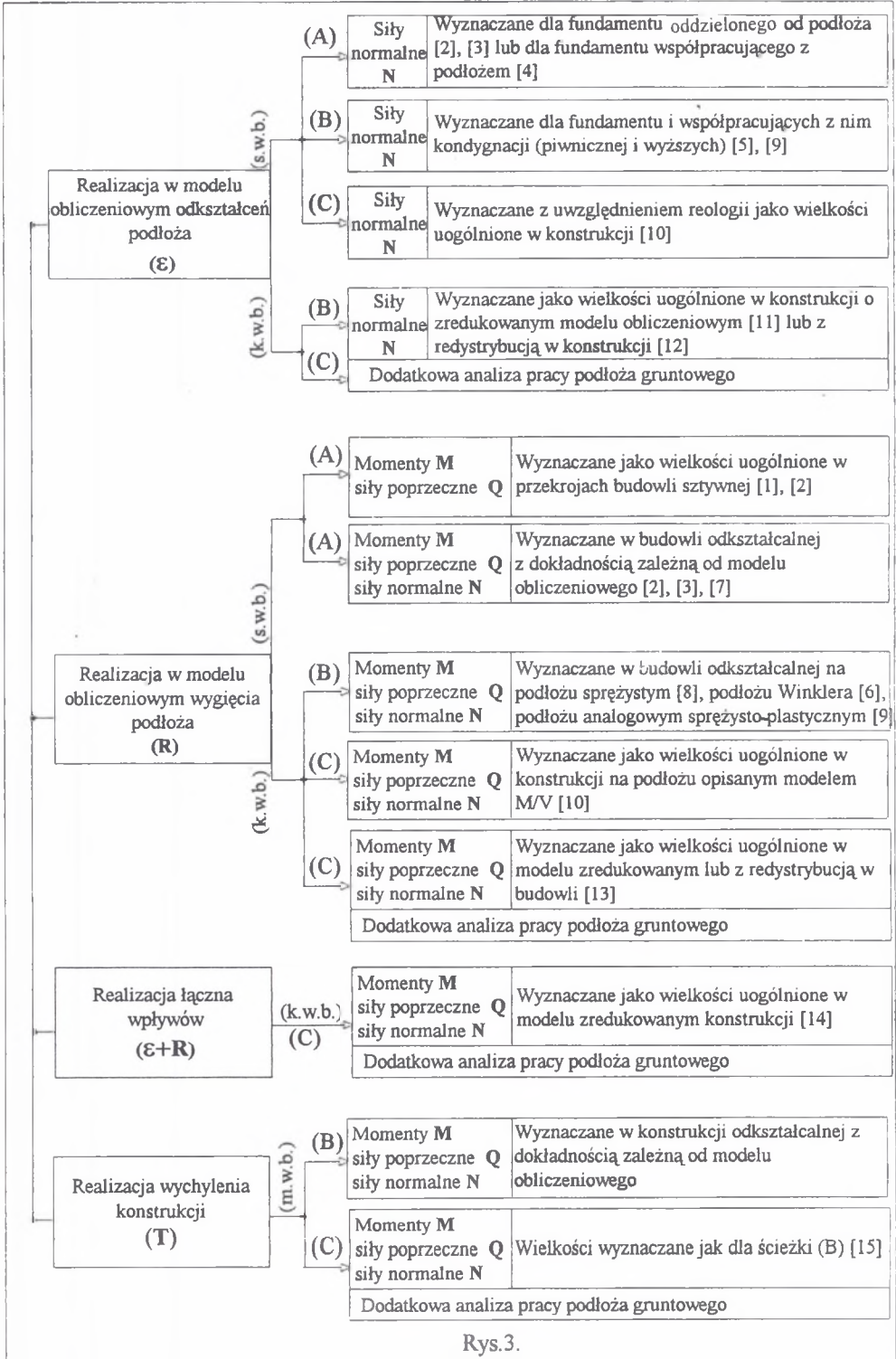
Ścieżka (B) odpowiada także obliczeniom inżynierskim, wspomaganym komputerowo, w których jeden z modeli obliczeniowych (budowli lub podłoża) jest bardziej rozbudowany aniżeli schematy stosowane w (A).

Ścieżka (C) reprezentuje analizy obliczeniowe mające głównie charakter badawczy lub ekspercki. Stosowane są tu: zaawansowane numeryczne modele obliczeniowe (które mogą się pokrywać z modelami ścieżki (B)) oraz pewne, nieraz nietypowe, autorskie algorytmy postępowania obliczeniowego.

Używane na rys.3. skróty oznaczają kolejno: (s.w.b.) – statyczne warunki brzegowe, (k.w.b.) – kinetyczne warunki brzegowe, (m.w.b.) – mieszane warunki brzegowe.

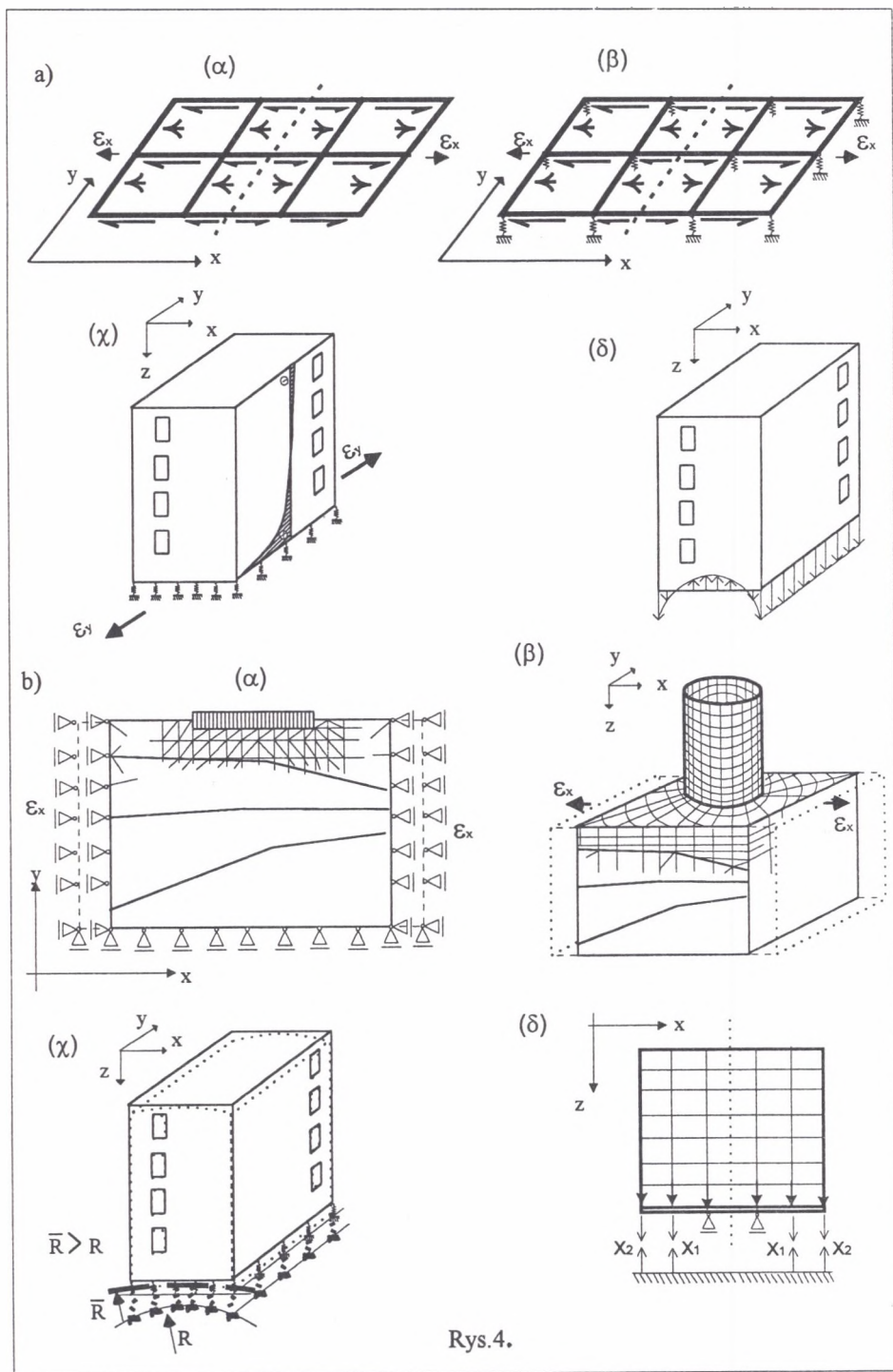
Na rysunku.3 umieszczono także przykładowe pozycje literatury, do których można się odnieść przy ocenie statycznej pracy budowli na podłożu górnicznym o deformacjach ciągłych, przy czym pozycje [2, 3, 15] stanowią literaturę podstawową dla inżyniera analizującego wyężenie konstrukcji na terenach górnicznych, pozostałe zaś są przykładową ilustracją możliwości:

- budowy modeli obliczeniowych (z wykorzystaniem dowolnej metody numerycznej oraz dostępnego programu komputerowego),
- sposobów przeprowadzania analizy obliczeniowej z wykorzystaniem tych modeli,
- oraz sposobów postępowania w pewnych mniej typowych sytuacjach inżynierskich.



Rys.3.





Na rysunkach 4a i b pokazano w sposób uproszczony modele obliczeniowe powszechnie używane oraz znajdujące w praktyce inżynierskiej coraz szersze zastosowanie dzięki powszechności programów komputerowych (modele te odpowiadają ścieżkom (A) i (B) na rys.3).

Jako ilustrację realizacji ścieżki (C) przedstawiono przykładowe wyniki obliczeń statycznych dla budynku wychylonego - rys.5. Model sprężysty budynku, obciążony siłami pionowymi i poziomymi, wynikającymi z wychylenia, współpracuje ze sprężysto-plastycznym modelem podłoża. Na rysunku pokazano kolejno: rzut poziomy budynku z zaznaczonym kierunkiem wychylenia, widok jednej ze ścian z nałożoną siatką dyskretną mes, pomierzone obniżenia naroży budynku, przykładowy wykres sił ścinających w złączu pionowym w budynku nie wychylonym (1), wychylonym do wartości pomierzonej  $T=27,6$  mm/m (2), wychylonym i obciążonym wiatrem (3) oraz fragment analizy numerycznej podłoża, przedstawiający stan przemieszczeń poziomych (określony w płaszczyźnie zgodnej z płaszczyzną wychylenia konstrukcji) z zaznaczonym nierównomiernym stanem uplastycznienia gruntu pod przecięzioną krawędzią płyty fundamentowej.

### 3. Profilaktyka budowlana i sposoby zabezpieczeń budynków

Budynki na terenach górniczych posadawia się na fundamentach płytkich. Fundamenty na palach lub studniach, z uwagi na możliwość ścicia, stosowane są jedynie w przypadkach szczególnych. Na gruntach słabych ochroną budynku przed oddziaływaniem odkształceń poziomych jest posadowienie go na płycie żelbetowej lub skrzyni, ukształtowanych jako fundament pod całym budynkiem lub pod segmentami wydzielonymi za pomocą dylatacji. Na gruntach dobrych stosuje się pod ścianami lub rzędami słupów ławy żelbetowe. Geometryczną niezmienną rzutu poziomego ław, w przypadku zbyt małej sztywności kondygnacji piwnicznej, można zapewnić stosując ściągi przekątniowe i kotwiczne. Tę samą rolę, oprócz przyjmowania dużych sił poziomych, może pełnić przepona, którą stanowi zwykle zbrojona krzyżowo płyta żelbetowa grubości 10 cm. Fundamenty powinny być, z wyjątkiem szczególnych przypadków, posadowione na jednym poziomie pod budynkiem (segmentem).





Rzut ścian nośnych podłużnych i poprzecznych powinien być możliwie symetryczny względem osi budynku (segmentu). Ławy fundamentowe należy dodatkowo zbroić w celu przejścia sił poziomych oraz wpływu zginania w płaszczyźnie poziomej.

Dodatkowe obciążenia muszą przejąć także ściany, stropy i ich wzajemne połączenia, co wiąże się z zapewnieniem im odpowiedniej konstrukcji. Są to wymagania dotyczące stropów (ich umonolitycznienia i połączenia ze ścianami), ścian (ich perforacji), szczególnie w kondygnacji piwnicznej i dozbrojenia nadproży oraz zbrojenia wieńców, które projektuje się na podstawie obliczeń statycznych. Wszystkie powyższe zabiegi, wiążące się z odpowiednim wykorzystaniem elementów nośnych, tak aby były zdolne przenieść dodatkowe obciążenia, można uznać za prowadzące do zabezpieczenia budynków nowo wznoszonych przed wpływami eksploatacji górniczej.

Do sposobów wzmocnienia (lub zabezpieczania) wtórnego należą: kotwienie za pomocą stalowych ściąągów bruzdowych lub bezbruzdowych, zabudowa żelbetowych opasek w poziomie stropów, przepon żelbetowych, warstw poślizgowych, sprężania konstrukcji żelbetowych i betonowych, klejenia pęknięć żywicami, wzmocnienia konstrukcji żelbetowych za pomocą doklejanych elementów stalowych itp. Są to w większości zabiegi dostosowane do potrzeb danej konstrukcji [16]. Przykładem budowli szczególnie trudnych do zabezpieczenia przed wpływami deformacji są obiekty sakralne, wymagające indywidualnego podejścia [17]. Równie eksperymentalnie traktuje się także próby zabezpieczeń budowli narażonych na deformację nieciągłą, stosując np. kratowe rozbieralne gorsety spinające konstrukcję [18].

#### 4. Podsumowanie

Analiza wyciężenia konstrukcji narażonej na wpływ górniczych deformacji podłoża służy ocenie stopnia zagrożenia bezpieczeństwa jej pracy, dając możliwość:

- wprowadzenia odpowiednich wzmocnień obiektu istniejącego i jest to zwykle, przy zastosowaniu znanych sposobów i zabiegów (kotwy opaski żelbetowe, wieńce, przecięcia dodatkowymi dylatacjami itp.) podejście indywidualne,
- wprowadzenie zabezpieczeń dla obiektu wznoszonego, co sprowadza się do odpowiedniego ukształtowania fundamentu budowli i dozbrojenia miejsc najsilniej wyciężonych.

Przy zabezpieczaniu na wpływ deformacji ciągłych budynków o rzutach typowych w pełni skuteczne będzie postępowanie inżynierskie zgodne z wytycznymi [2, 15]. W przypadku budynków z zakłóconą symetrią, zagrożonych skręcaniem, silnie lokalnie perforowanych (szczególnie w obrębie kondygnacji piwnicznych) niezbędna jest analiza pełniejsza, prowadzona na rozbudowanych, numerycznych modelach obliczeniowych.

## LITERATURA

1. Wymagania techniczne dla obiektów budowlanych wznoszonych na terenach górniczych. Nauk.-Techn.Konf. ITB, Gliwice-Rudy Raciborskie 1999.
2. Instrukcja 286. Wytyczne projektowania budynków o ścianowej konstrukcji nośnej poddanych wpływowi eksploatacji górniczej. Wyd. ITB, Warszawa 1989.
3. Praca zbiorowa: Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych. Wyd. GIG, Katowice 1997.
4. Andermann F., Fedorowicz L., Fedorowicz J.: Wpływ ściągnięć przekątnych na odkształcalność rusztu fundamentowego pod budowlą o konstrukcji ścianowej. V Nauk.-Techn. Konf. „Budownictwo na terenach górniczych”, Katowice-Kamień k.Rybnika 1990.
5. Andermann F., Fedorowicz L., Fedorowicz J.: Obliczanie kondygnacji piwnicznych budynków obciążonych dużymi deformacjami poziomymi na modelach sprężystych i sprężysto-plastycznych. Mater. III Nauk. Semin. „Budownictwo na Terenach Górniczych”, Katowice 1994.
6. Andermann F., Fedorowicz L., Fedorowicz J.: Zestaw programów profesjonalno-badawczych do obliczeń budynków o konstrukcji ścianowej na terenach górniczych. Inż. i Bud., nr 12,1992.
7. Fedorowicz L., Fedorowicz J.: Wall structures affected by the static effects of mining operations. 4th International Conference on Ground Movements and Structures, Cardiff 1991.
8. Król W., Król A.: Wpływ deformacji terenu górniczego na konstrukcję budowli. W: Współpraca konstrukcji budowlanych z podłożem. Wrocław, Ossolineum, 1978.

9. Borowiec Z.: Analiza statyczna budynków posadowionych na terenach górnicyh. Krynica, XXIII Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB.
10. Kwiatek J.: O reologicznych aspektach zagrożenia obiektów budowlanych na terenach górnicyh. Prac. Nauk. GIG, nr 827, Katowice 1997.
11. Majewski St.: Sprężysto-plastyczny model współpracującego układu budynek-podłoże poddanego wpływom górnicyh deformacji terenu. Zesz. Nauk. Pol. Śl., ser. Budownictwo, z. 79, Gliwice 1995.
12. Kliszczewicz B., Kliszczewicz R.: Numeryczna analiza współdziałania nadbudowy z podłożem gruntowym poddanym rozpełzaniu. Krynica, XLII Konf. Nauk. KILiW PAN i KN PZITB.
13. Gryczmański M., Fedorowicz L., Fedorowicz J., Cińcio A.: Analiza stanu podłoża oraz konstrukcji w przypadku zmiany warunków gruntowo-wodnych w rejonach eksploatacji górnicyh. Konf. Nauk.-Techn. Awarie Budowlane, Międzyzdroje 1996.
14. Fedorowicz L., Fedorowicz J.: Modelowanie numeryczne w zagadnieniu interakcji budowla-deformujące się podłoże górnicyh. Gliwice-Ustroń, VIII Międzynarodowe Sympozjum „Geotechnika 98”.
15. Wymagania techniczno-budowlane dla obiektów budowlanych wznoszonych na terenach podlegających wpływowi eksploatacji górnicyh. Wyd. ITB, Warszawa 1975.
16. Kawulok M.: Zasady profilaktycznego zabezpieczenia istniejących budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej na terenach górnicyh. Mater. Konf. Nauk.-Techn. „Budownictwo na Terenach Górnicyh”, Kamień k. Rybnika 1988.
17. Wachniewski W., Kawulok M., Konieczny K.: Kwalifikowanie uszkodzeń oraz zabezpieczenie obiektów sakralnych na terenach górnicyh. Wyd. PZITB, Gliwice 1986.
18. Kawulok M.: Sposób zabezpieczania budynków na intensywne wpływy eksploatacji górnicyh. OTG nr 83, 1988.

Recenzent: Doc. dr inż. Marian Kawulok

**Abstract**

In this article the systematics of effort evaluation methods for buildings in mining areas was given.

The professional literature, included in that systematics, has shown:

- methods of building structure numerical modelling and calculation for models of different built-up levels,
- and examples of engineering procedure for untypical problems.

That second case by the example of numerical calculation given for plumb - deflected building was illustrated.