ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2004
Seria: BUDOWNICTWO z. 102 Nr kol.1644

Szymon DAWCZYŃSKI*
Politechnika Śląska

NIEKTÓRE ASPEKTY WPŁYWU POZIOMYCH RUCHÓW TERENU GÓRNICZEGO NA KONSTRUKCJE BUDOWLANE

Streszczenie. W wyniku podziemnej eksploatacji górniczej dochodzi do poziomych przemieszczeń i odkształceń przypowierzchniowej warstwy gruntu. Oddziaływania te powodują powstawanie i propagację rys w fundamentach. Ponadto w pracy przedstawiono w postaci pętli histerezy zależność pomiędzy przemieszczeniem i odpowiadającymi wartościami sił poziomych.

SOME ASPECTS OF THE INFLUENCE OF HORIZONTAL MOVEMENTS OF MINING SUBSOIL ON BUILDINGS

Summary. As a result of underground mining excavation, the horizontal displacements and deformations of superficial layer of subsoil take place. This interaction results in cracks in the foundations. Moreover, the paper presents in the form of hysteresis loop the relationship between displacements and corresponding values of horizontal forces.

1. Wprowadzenie

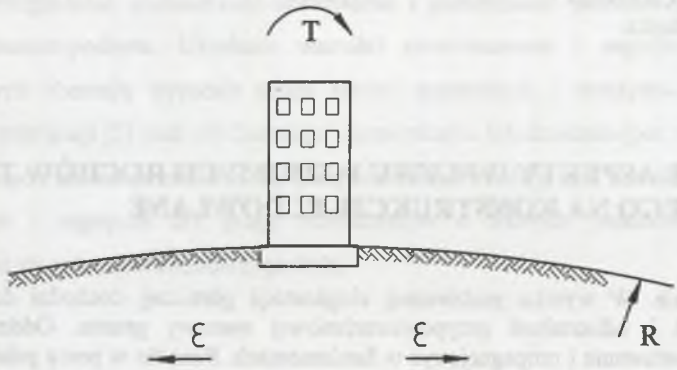
Eksploatacja górnicza polegająca na wydobywaniu węgla lub rud metali, w sposób inwazyjny narusza stan równowagi całego górotworu. Zjawiska zachodzące na powierzchni terenu górniczego prowadzą do powstawania sytuacji niebezpiecznych dla konstrukcji budowlanych. Najpowszechniejszymi tymi zjawiskami są ciągłe deformacje powierzchni.

Projektując zabezpieczenia wznoszonych obiektów budowlanych na wpływy deformacji ciągłych [4], najczęściej projektanci ograniczają się do zapewnienia nieprzekraczalności SGN, przy uwzględnieniu dodatkowych oddziaływań wynikających z deformacji górniczych. Deformacje te są nieuniknione przy podziemnej eksploatacji i mogą występować w różnym nasileniu.

---

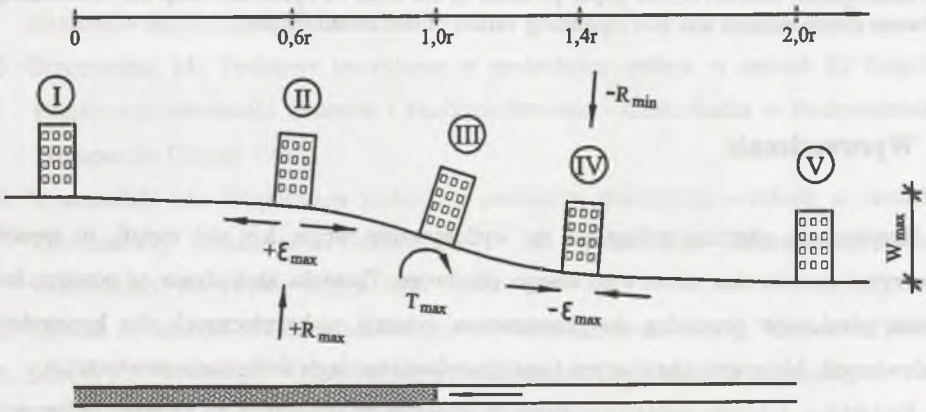
* Opiekun naukowy: Dr hab. inż. Marian Kawulok, prof. Pol. Śląskiej

Każdy punkt znajdujący się na powierzchni terenu górniczego doznaje obniżenia (w) i poziomego przemieszczenia (u). Dodatkowymi parametrami (rys. 1) służącymi do opisu deformacji ciągłych są: nachylenie (T), krzywizna ($K=R^{-1}$) i poziome odkształcenie (ε).



Rys. 1. Parametry dodatkowe opisujące deformacje ciągłe
Fig. 1. Additional parameters describing continuous deformations

Zgodnie z [7], rozważając współpracę budowli z podłożem górniczym, każdorazowo należy brać pod uwagę pełne przejście niecki osiadań. Na rysunku 2 schematycznie przedstawiono, jakim wpływom podlega budynek (obiekt budowlany) w trakcie przechodzenia niecki górniczej (od położenia początkowego I – poza promieniem zasięgu wpływów, do położenia końcowego V – przy maksymalnym obniżeniu terenu).



Rys. 2. Schemat przejścia niecki górniczej pod budynkiem
Fig. 2. The diagram of mining subsidence transition under the building

Ekstremalne siły powstające w wyniku poziomych odkształceń podłoża powstają w położeniu II (siły rozciągające) i w położeniu IV (siły ściskające).

2. Propagacja rys w fundamentach

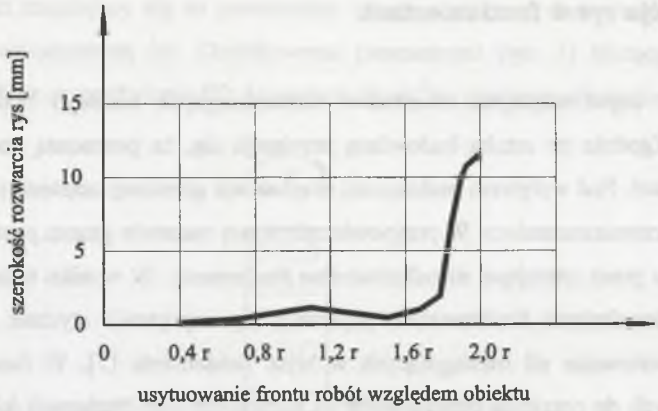
Jednym z najważniejszych elementów konstrukcyjnych każdego budynku są jego fundamenty. Zgodnie ze sztuką budowlaną przyjmuje się, że przenoszą one obciążenia z budowli na grunt. Pod wpływem podziemnej eksploatacji górniczej cząsteczki gruntu ulegają swobodnym przemieszczeniom. W przypowierzchniowej warstwie gruntu przemieszczenia te są ograniczone przez istniejące, nieodkształcalne fundamenty. W wyniku takiej interakcji na dolnych powierzchniach fundamentów pojawiają się naprężenia styczne, które z kolei implikują powstawanie sił rozciągających w bryle fundamentu [5]. W fundamentach nie przystosowanych do przejęcia dodatkowych sił poziomych (np. ceglanych lub betonowych) logiczną konsekwencją jest możliwość tworzenia się pionowych rys.

Potwierdzają to przeprowadzone w terenie obserwacje istniejących budynków narażonych na deformacje górnicze. Często zdarza się tak, iż maksymalne rozwarcie rysy w fundamencie następuje, gdy budynek znajduje się już na dnie niecki obniżeniowej. Można zatem wnioskować, że konstrukcja odpowiada z pewnym opóźnieniem na odkształcenie gruntu.

Opisane zjawisko zostało zaobserwowane i udokumentowane w trakcie badań przeprowadzonych przez Littlejohna w Wielkiej Brytanii [6]. Na poligonie badawczym (w terenie gdzie planowana była podziemna eksploatacja górnicza) zostały wzniesione 4 ławy fundamentowe, o osi podłużnej równoległej do kierunku eksploatacji. Trzy ławy miały długość 15,8 *m*, a jedna ława 31,2 *m*. Pozostałe wymiary dla wszystkich ław były jednakowe, tj. szerokość: 0,61 *m* i grubość: 0,15 *m*. Do wykonania fundamentów użyto betonu niezbrojonego o 28-dniowej wytrzymałości na ściskanie równej 30 *MPa*. Charakterystyka robót górniczych była następująca:

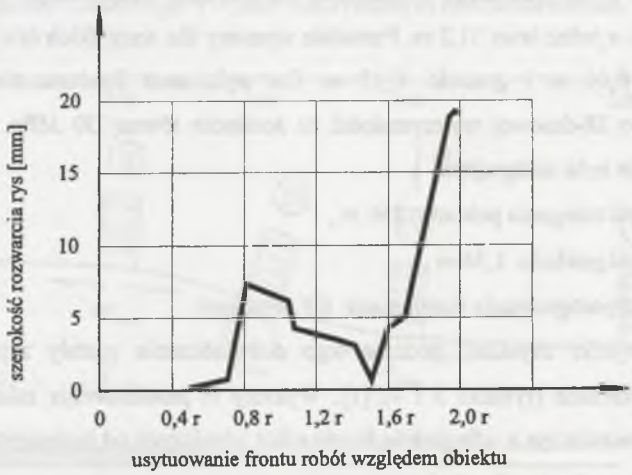
- głębokość zalegania pokładu: 256 *m* ,
- miąższość pokładu: 1,36 *m* ,
- prędkość postępowania eksploatacji: 6,1 *m/tydzień*.

Wybrane wyniki uzyskane podczas tego doświadczenia zostały zaprezentowane na poniższych wykresach (rysunki 3 i 4) [1]. Wykresy te przedstawiają zależność pomiędzy szerokością rozwarcia rys a odległością frontu robót górniczych od badanego obiektu (gdzie *r* jest promieniem zasięgu wpływów).



Rys. 3. Szerokość rozwarcia rys w ławie fundamentowej o długości 15,8 m
Fig. 3. The width of cracks in the continuous footing 15.8 m long

Z wykresu (rys. 3) uzyskanego dla krótszej ławy fundamentowej (15,8 *m*) wynika, iż pierwsze rysy zaobserwowano przy odległości frontu robót równej 0,4 r. Następnie dla odległości od 0,4 r do 1,6 r szerokość rozwarcia rys ulegała bardzo niewielkim zmianom. Natomiast w ostatnim przedziale (1,6 r ÷ 2,0 r) odpowiadającym usytuowaniu obiektu w strefie stabilizowania się maksymalnych osiadań terenu stwierdzono gwałtowny skok szerokości rozwarcia.



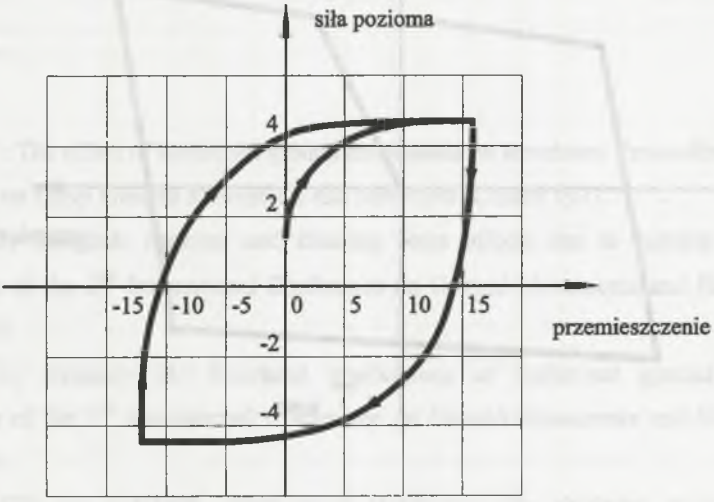
Rys. 4. Szerokość rozwarcia rys w ławie fundamentowej o długości 31,2 m
Fig. 4. The width of cracks in the continuous footing of 31.2 m long

Pewne podobieństwa, ale także i różnice można zauważyć po analizie wykresu (rys. 4) uzyskanego dla ławy fundamentowej o długości 31,2 *m*. W tym przypadku po początkowej fazie rozwarcia rys następuje ich stopniowe zamykanie (przedział 0,8 r ÷ 1,5 r). A w dalszej kolejności (1,5 r ÷ 2,0 r), podobnie jak poprzednio, mamy do czynienia z nagłym wzrostem szerokości poszczególnych rys.

3. Analiza zjawiska

Szczegółowa analiza dotycząca zaprezentowanych powyżej wyników badań poligonowych została przedstawiona przez Geddesa [1]. W miarę pełnego przechodzenia górniczej niecki obniżeniowej pod budynkiem zmieniają się także co do wartości i kierunku poziome naprężenia na dolnych powierzchniach fundamentów. Może to prowadzić do sytuacji, w której naprężenia rozciągające w konstrukcji występują równocześnie z odkształceniami przeciwnego znaku w gruncie. W ten sposób następuje otwieranie się rys w fundamencie, w trakcie gdy podłoże gruntowe poddawane było odkształceniom ściskającym.

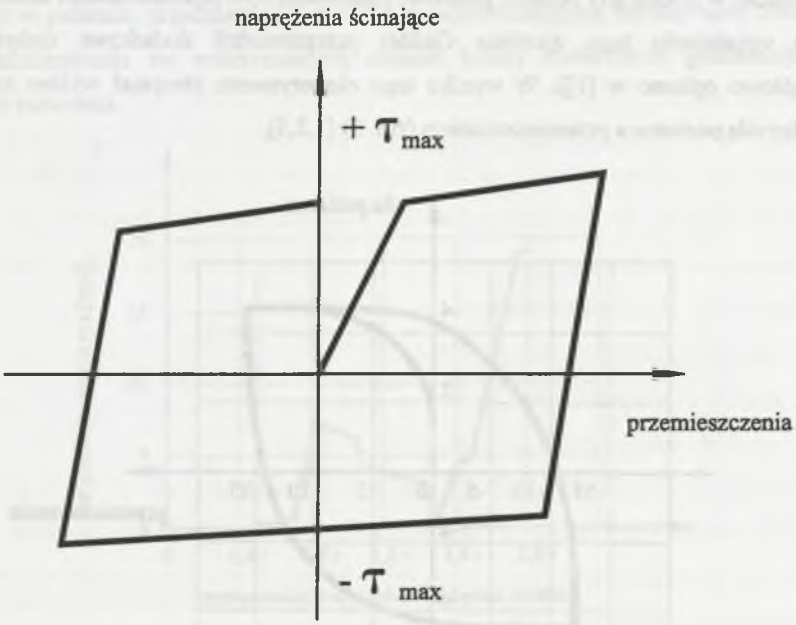
Dla wyjaśnienia tego zjawiska Geddes przeprowadził dodatkowe doświadczenie (szczegółowo opisane w [1]). W wyniku tego eksperymentu otrzymał wykres zależności pomiędzy siłą poziomą a przemieszczeniem (rys. 5) [1,2,3].



Rys. 5. Zależność pomiędzy przemieszczeniem a siłą poziomą (pętla histerezy)
Fig. 5. The relationship between displacement and horizontal force (the hysteresis loop)

Z wykresu tego wynika, iż odwrócenie kierunku względnego przemieszczenia prowadzi do powstawania siły poziomej o kierunku również odwrotnym (zanim jednak to pierwotne przesunięcie zostanie zredukowane). Przy ponownym odwróceniu kierunku przemieszczenia związek: siła pozioma – przemieszczenie nie zachodzi wzdłuż tej samej krzywej. Ponieważ zależność ta jest nieodwracalna i cykliczna, możemy mówić o powstaniu tzw. pętli histerezy (rys. 5). Zjawisko to powoduje, iż ta sama wartość przemieszczenia może być powiązana z dwoma lub trzema różnymi wartościami siły poziomej. A zatem, rzeczywista wartość tej siły jest uzależniona od całej wcześniejszej historii przemieszczeń, jakim była poddawana konstrukcja. Stwierdzenie tego faktu ma istotne znaczenie dla analizy współdziałania budowli z podłożem na terenach górniczych (zwłaszcza gdy na danym obszarze jest prowadzona wielokrotna eksploatacja).

Zgodnie z [2,3] wykres krzywoliniowy (rys.5) można zastąpić prostoliniowym wykresem uproszczonym (rys. 6). Ponieważ siły poziome powodują ścinanie w płaszczyźnie styku gruntu z fundamentem, na wykresie tym zostały one zastąpione przez naprężenia ścinające.



Rys. 6. Zależność pomiędzy naprężeniami ścinającymi a przemieszczeniami fundamentu
Fig. 6. The relationship between shearing stress and displacements of the foundations

4. Podsumowanie i wnioski

Zaprezentowany problem powstawania i propagacji rys pod wpływem poziomych ruchów terenu górniczego dotyczy przede wszystkim tradycyjnych fundamentów wykonanych z betonu lub cegły i nie przystosowanych do przenoszenia dodatkowych sił poziomych. Fundamenty takie ma zdecydowana większość dużych obiektów zabytkowych (takich jak np. kościoły), a także jednorodzinnych budynków mieszkalnych z pierwszej połowy ubiegłego stulecia. Zagadnienie to jest o tyle ważne, że do największych uszkodzeń konstrukcji (rozwarcia rys) może dochodzić nawet po ustabilizowaniu się obniżeniowej niecki górniczej. Uszkodzenia te dopóki dotyczą tylko fundamentowych części konstrukcji są trudne do zaobserwowania i zinwentaryzowania ze względu na zagłębienie fundamentów w gruncie. Nie zmienia to jednak faktu, że mogą one stwarzać zagrożenie dla bezpiecznego użytkowania całego budynku. W praktyce inżynierskiej bardzo często zachodzi potrzeba oceny stanu technicznego obiektu, pod którym planowana jest podziemna eksploatacja, w sytuacji gdzie taki istniejący budynek jest niezabezpieczony na dodatkowe wpływy pochodzące od deformacji górniczych. Niestety, w dalszym ciągu jednak brak jest wiarygodnej metody pozwalającej nawet na przybliżone określenie szerokości rozwarcia rys, ich zasięgu oraz charakterystyki ilościowej w niezbrojonych, fundamentowych częściach budynku.

LITERATURA

1. Geddes J.D.: The effect of horizontal ground movements on structures. Proceedings of the Conference on Large Ground Movements and Structures. Cardiff 1977.
2. Geddes J.D.: Subgrade restraint and shearing force effects due to moving ground. Proceedings of the 2nd International Conference on Ground Movements and Structures. Cardiff 1980.
3. Geddes J.D., Kennedy D.: Structural implications of horizontal ground strains. Proceedings of the 3rd International Conference on Ground Movements and Structures. Cardiff 1985.
4. Instrukcja ITB nr 364/2000. Wymagania techniczne dla obiektów budowlanych wznoszonych na terenach górniczych. Wydawnictwo Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa 2000.

5. Kwiatek J.: Problemy współdziałania obiektów budowlanych z podłożem na terenach górniczych. II Konferencja Naukowo – Techniczna: Problemy projektowania i ochrony obiektów budowlanych na terenach górniczych. Rudy Raciborskie 2004.
6. Littlejohn G.S.: Observations of brick walls subjected to mining subsidence. Proceedings of the Conference on Settlement of Structures. Cambridge 1974.
7. Ochrona obiektów budowlanych na terenach górniczych. Praca zbiorowa pod kierunkiem J. Kwiatka. Wydawnictwo Głównego Instytutu Górnictwa, Katowice 1998.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jerzy Kwiatek