RZECZPOSPOLITA POLSKA

Urząd Patentowy Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **224185** (13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **398498**

(22) Data zgłoszenia: **19.03.2012**:

(51) Int.Cl.
G01N 19/08 (2006.01)
G01N 29/04 (2006.01)
G01N 29/11 (2006.01)
G01N 3/30 (2006.01)

(54) **Sposób wykrywania rozwarstwienia w żelbetowych płytach warstwowych**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
30.09.2013 BUP 20/13

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
30.11.2016 WUP 11/16

(73) Uprawniony z patentu:
POLITECHNIKA ŚLĄSKA, Gliwice, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
KRZYSZTOF GROMYSZ, Rybnik, PL

(74) Pełnomocnik:
rzecz. pat. Katarzyna Borkowy

PL 224185 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób wykrywania rozwarstwienia w żelbetowych płytach warstwowych.

Żelbetowe płyty warstwowe składają się z dwóch warstw betonu: dolnej stanowiącej płytę prefabrykowaną i górnej będącej betonem uzupełniającym układanym na budowie. W zespoleniu tych warstw występują siły ścinania poziomego, których pełne równoważenie warunkuje bezpieczną pracę płyty. Siły ścinania poziomego równoważone są przez zjawiska adhezji, tarcia wewnętrznego oraz tarcia kinetycznego. Jeżeli siły ścinania poziomego równoważone są przez siły adhezji, wówczas nie występują przemieszczenia warstwy dolnej względem górnej. W takiej sytuacji siły ścinania poziomego są w pełni równoważone i płyta warstwowa zachowuje się jak monolityczna. Jest to sytuacja pożądana.

Jeżeli między warstwą dolną i górną występują siły tarcia kinetycznego, wówczas dochodzi do wzajemnego przemieszczania warstw, co jest sytuacją niepożądaną. Siły ścinania poziomego są równoważone wtedy jedynie częściowo, a zatem konstrukcja pracuje w stanie awaryjnym. Warunkiem pojawienia się rozwarstwienia jest występowanie w otoczeniu zespolenia betonu o zaniżonych parametrach – warstwy kontaktowej, której obecność wynika z nieprawidłowej technologii produkcji płyty.

Fazą, która bezpośrednio poprzedza rozwarstwienie, jest równoważenie sił przez tarcie wewnętrzne występujące w warstwie kontaktowej. Obciążaniu stropu towarzyszą wówczas odkształcenia postaciowe warstwy kontaktowej i rosną one wraz ze zwiększaniem obciążenia. Graniczne odkształcenia warstwy kontaktowej, powodujące przerwanie ciągłości jej odkształceń występują, gdy przemieszczenie warstwy dolnej względem górnej wynosi 0,1 mm. Wówczas następuje rozwarstwienie płyty i siły ścinania poziomego są częściowo równoważone przez tarcie kinetyczne, o ile występuje zbrojenie pionowe.

Wystąpienie rozwarstwienia w żelbetowych płytach warstwowych wiąże się z występowaniem w zespoleniu warstwy kontaktowej – betonu o zaniżonych parametrach mechanicznych, głównie sztywności. Płyta, w której występuje taka warstwa jest już rozwarstwiona lub rozwarstwi się po zwiększeniu obciążenia. Pracuje ona w stanie awaryjnym i należy wyłączyć ją z eksploatacji.

W czasie drgań płyty, warstwa kontaktowa doznaje większych odkształceń postaciowych od betonu warstw dolnej i górnej. Odkształcenia tej warstwy są przyczyną większego tłumienia drgań płyty. Tłumienie jest tym większe im większa jest amplituda drgań, gdyż jej wzrost powoduje większe odkształcenia warstwy kontaktowej. Po przekroczeniu granicznych odkształceń warstwy kontaktowej i rozwarstwieniu płyty tłumienie spada, ponieważ siły tłumienia wywołane tarciem kinetycznym, przy dużych amplitudach, są mniejsze od tłumienia wywołanego odkształceniami warstwy kontaktowej.

Największe odkształcenia warstwy kontaktowej występują w czasie wykonywania przez płytę drgań odpowiadających pierwszej harmonicznej.

Do kontroli stanu zespolenia dwóch warstw betonu najczęściej stosuje się metody niszczące polegające na wycięciu próbki z konstrukcji. Następnie próbka ta jest poddawana bezpośredniemu obciążaniu. Wyniki badań takich próbek dają informacje o stanie zespolenia w miejscu, z którego została ona pobrana.

Z japońskiego opisu patentowego JP2001124744 znany jest sposób wykrywania rozwarstwienia dwóch warstw betonu, który polega na wzbudzaniu fali akustycznej przez impulsowe uderzenie powierzchni płyty i badaniu akustycznej odpowiedzi na to wzbudzenie. Główną wadą tej metody jest to, że otrzymujemy informację jedynie o tym czy istnieje pustka wewnątrz konstrukcji, czy nie. Metodą tą nie można stwierdzić, czy jakość zespolenia jest zaniżona wskutek występowania w zespoleniu warstwy betonu o gorszych parametrach mechanicznych.

W innym znanym rozwiązaniu przedstawionym w japońskim opisie patentowym JP2005043223 przedstawiono podobny sposób wykrywania rozwarstwienia w płytach żelbetowych. Sposób polega na wzbudzaniu fal akustycznych w płycie za pomocą wzbudnika ustawionego na płycie oraz rejestrowaniu odpowiedzi konstrukcji na te fale. Jeżeli w odpowiedzi konstrukcji na takie wymuszenie znajdują się fale odbite od pustki, to oznacza, że występuje rozwarstwienie w płycie. Niedogodnością opisanej metody jest to, że informacja o pustce w płycie, dotyczy tylko niewielkiego fragmentu płyty, a nie całej konstrukcji.

Znane są również sposoby badania całej długości połączenia dwóch elementów przy pomocy drgań. Dotyczy to badania wklejanych do górotworu stalowych żerdzi. Sposób polega na wymuszeniu

drgań w żerdziach, które to drgania następnie rejestruje się i analizuje z wykorzystaniem specjalnych algorytmów.

Z polskiego opisu zgłoszenia o numerze 352441 znany jest sposób badania połączenia żerdzi z górotworem, który polega na wymuszaniu drgań żerdzi młotkiem udarowym zaopatrzonym w przetwornik siły, przy czym uderzeń dokonuje się w kilku miejscach żerdzi, a następnie uzyskane przebiegi rejestruje się i poddaje analizie modalnej.

Ponadto z polskiego opisu patentowego PL208391 znany jest sposób polegający na wymuszaniu drgań z użyciem wzbudnika drgań z regulowaną częstotliwością wzbudzenia.

Opisane rozwiązania polegają na wzbudzaniu szerokiego widma drgań w celu porównywania go z siłą wzbudzającą.

Wynalazek pozwala na wykrywanie rozwarstwienia w żelbetowych płytach warstwowych na podstawie badania zmiany tłumienia drgań. W przypadku występowania rozwarstwienia w żelbetowej płycie warstwowej tłumienie stropu zmienia się wraz ze zmianą amplitudy drgań. Jeżeli tłumienie drgań jest opisane ułamkiem tłumienia krytycznego, wówczas jego wartość w przypadku płyty rozwarstwionej rośnie wraz ze wzrostem amplitudy drgań od wartości 2% do maksymalnej wartości 6%, po czym wraz z dalszym wzrostem amplitudy ułamek tłumienia krytycznego zaczyna maleć. Oznacza to, że badany strop jest rozwarstwiony i pracuje w stanie awaryjnym, przy czym jeśli ułamek tłumienia krytycznego nie zmienia się wraz ze zmianą amplitudy, to oznacza, że zespolenie płyty znajduje się w dobrym stanie i w pełni przenosi siły ścinania poziomego.

Celem wynalazku jest wykrycie rozwarstwienia płyt przez stwierdzenie występowania warstwy betonu o zaniżonych parametrach mechanicznych, co determinuje powstanie rozwarstwienia.

Sposób według wynalazku polega na tym, że w miejscu, w którym amplituda drgań pierwszej harmonicznej płyty jest największa umieszcza się na powierzchni płyty akcelerometr, a pod płytą układ zbudowany z podnośnika, tymczasowego słupa połączonego za pomocą przegubu z płytą oraz za pomocą przegubu z podnośnikiem, następnie przy użyciu układu wymusza się wygięcie płyty o amplitudzie $A_0 = l/1500$, gdzie l jest rozpiętością płyty i kolejno poprzez wybicie spod płyty tymczasowego słupa wzbudza się drgania płyty, przy czym równocześnie rejestruje się zmiany przyspieszenia drgań płyty przy pomocy akcelerometru, następnie dwukrotnie całkuje się względem czasu otrzymany przebieg przyspieszeń drgań w granicach od początku do końca pomiaru oraz wyznacza się ułamek tłumienia krytycznego drgań (ζ) jako funkcję amplitudy drgań (A) z wzoru:

$$\zeta(A) = \frac{\Delta(A)}{\sqrt{4\pi^2+\Delta^2(A)}}100\%, \qquad (1)$$

gdzie:

$$\Delta(A) = In\frac{A_n}{A_{n+1}} \qquad (2)$$

jest zależnym od amplitudy logarytmicznym dekrementem tłumienia; i kolejno tworzy się wykres w układzie współrzędnych (ζ, A) przedstawiający zmianę ułamka tłumienia krytycznego wraz ze zmianą amplitudy, na podstawie którego ocenia się stan badanej płyty.

Korzystnie w sposobie według wynalazku pomiaru drgań dokonuje się z częstotliwością nie mniejszą niż $f_l/20$, gdzie f_l jest częstotliwością pierwszej harmonicznej płyty.

Zaletą rozwiązania według wynalazku jest, że wykrywane jest zarówno rozwarstwienie płyty jak i fakt występowania w zespoleniu warstwy betonu o zaniżonych parametrach mechanicznych. Występowanie tej warstwy w zespoleniu sprawia, że płyta, po przyłożeniu do niego obciążenia ulegnie rozwarstwieniu. Wynalazek pozwala na kompleksową ocenę całej płyty w danej chwili na podstawie jednego parametru. Nie są wymagane cykliczne badania polegające na śledzeniu zmian parametrów modalnych w czasie użytkowania konstrukcji.

Sposób według wynalazku może być wykorzystywany w badaniach istniejących żelbetowych płyt składających się z dwóch warstw betonu. Znajdzie on także zastosowanie przy odbiorze robót budowlanych oraz w okresowych badaniach diagnostycznych stanu konstrukcji płyt. Występowanie rozwarstwienia i warstwy betonu o zaniżonych parametrach mechanicznych determinującej powstanie rozwarstwienia świadczy o tym, że badana płyta pracuje w stanie awaryjnym i powinna być wyłączona z eksploatacji.

Przedmiot wynalazku objaśniono na rysunku, na którym Fig. 1 przedstawia zasadę wzbudzania drgań swobodnych odpowiadających pierwszej harmonicznej, Fig. 2 przedstawia wyznaczone harmoniczne płyty jednoprzęsłowej, Fig. 3 przedstawia czasowy przebieg przemieszczeń odpowiadający

pierwszej harmonicznej, Fig. 4 przedstawia wyniki badania płyty warstwowej, w której występuje warstwa betonu o zaniżonych parametrach (linia *1*) i płyty nierozwarstwionej (linia *2*).

Stwierdzenie rozwarstwienia płyty, a zatem występowania w zespoleniu betonu o zaniżonych parametrach, które determinuje wystąpienie rozwarstwienia w żelbetowych płytach warstwowych, polega na przeprowadzeniu badań, opracowaniu uzyskanych pomiarów i analizie wyników badań.

Najpierw wyznacza się miejsce, w którym amplituda drgań pierwszej harmonicznej badanej płyty jest największa i w tym miejscu umieszcza się na powierzchni płyty akcelerometr (2), a pod płytą buduje się układ składający się z podnośnika (3) i tymczasowego słupa (4) połączonego za pomocą przegubów (5) i (6) z płytą i podnośnikiem. Następnie, za pomocą układu wymusza się wygięcie płyty o amplitudzie $A_0 = l/1500$, gdzie l jest rozpiętością płyty, a następnie poprzez wybicie spod płyty tymczasowego słupa (4) wzbudza drgania, przy czym równocześnie rejestruje się zmiany przyspieszenia drgań płyty przy pomocy akcelerometru (2). Następnie dwukrotnie całkuje się względem czasu otrzymany przebieg przyspieszeń drgań pierwszej harmonicznej, w granicach od początku prowadzenia pomiaru do jego zakończenia oraz wyznacza się ułamek tłumienia krytycznego drgań (ζ) jako funkcję amplitudy drgań (A) z wzoru:

$$\zeta(A) = \frac{\Delta(A)}{\sqrt{4\pi^2+\Delta^2(A)}}100\%, \qquad (1)$$

gdzie:

$$\Delta(A) = In\frac{A_n}{A_{n+1}} \qquad (2)$$

jest zależnym od amplitudy logarytmicznym dekrementem tłumienia a następnie tworzy się wykres w układzie współrzędnych (ζ, A) przedstawiający zmianę ułamka tłumienia krytycznego wraz ze zmianą amplitudy. Na podstawie tego wykresu ocenia się stan badanej płyty. Jeżeli ułamek tłumienia krytycznego rośnie od wartości 2% do wartości 6% wraz ze wzrostem amplitudy drgań, a następnie wraz z dalszym wzrostem amplitudy maleje oznacza to, że w badanej płycie występuje warstwa kontaktowa o zaniżonych parametrach i badana płyta jest rozwarstwiona pracując w stanie awaryjnym. Jeżeli ułamek tłumienia krytycznego nie zmienia się wraz ze zmianą amplitudy, oznacza to, że zespolenie płyty znajduje się w dobrym stanie i w pełni przenosi siły ścinania poziomego. Pomiaru drgań dokonuje się z częstotliwością nie mniejszą niż $f_l/20$, gdzie f_l jest częstotliwością pierwszej harmonicznej płyty.

Prowadzenie badań polega na wykonaniu następujących czynności:

1. Wyznaczenie harmonicznych płyty (Fig. 2).

2. Znalezienie na płycie miejsca, w którym amplituda drgań pierwszej harmonicznej jest największa (*l* – Fig. 1).

3. Zabudowanie akcelerometru (*2*) – Fig. 1 w miejscu, w którym amplituda drgań pierwszej harmonicznej płyty jest największa.

4. Zabudowanie pod płytą w miejscu, w którym amplituda drgań pierwszej harmonicznej jest największa układu (Fig. 1), w skład którego wchodzi podnośnik (*3*) oraz tymczasowy słup (*4*) połączony za pomocą przegubu (*5*) ze stropem oraz także połączony za pomocą przegubu (*6*) z podnośnikiem.

5. Wywołanie przy pomocy układu zabudowanego pod płytą wygięcia o amplitudzie $A_0 = l/1500$, gdzie l jest rozpiętością stropu (Fig. 1).

6. Wybicie spod płyty tymczasowego słupa z jednoczesną rejestracją drgań za pomocą akcelerometru. Częstotliwość próbkowania drgań musi być nie mniejsza niż $f_l/20$, gdzie f_l jest częstotliwością pierwszej harmonicznej.

Opracowanie uzyskanych pomiarów polega na:

1. Odfiltrowaniu wyższych częstotliwości drgań niż odpowiadające pierwszej harmonicznej.

2. Dwukrotnym całkowaniu otrzymanego przebiegu drgań względem czasu, w granicach od rozpoczęcia pomiaru do jego zakończenia, w celu uzyskania czasowego przebiegu przemieszczeń *y(t)* odpowiadającego pierwszej harmonicznej (Fig. 3).

3. Wyznaczeniu ułamka tłumienia krytycznego drgań (ζ) jako funkcji amplitudy drgań (A) z wzoru:

$$\zeta(A) = \frac{\Delta(A)}{\sqrt{4\pi^2+\Delta^2(A)}}100\%, \qquad (1)$$

gdzie:

$$\Delta(A) = In\frac{A_n}{A_{n+1}} \qquad (2)$$

jest zależnym od amplitudy logarytmicznym dekrementem tłumienia.

4. Utworzeniu wykresu w układzie współrzędnych (ζ, A) przedstawiającego zmianę ułamka tłumienia krytycznego wraz ze zmianą amplitudy (Fig. 4).

Analiza wyników badań

Analiza wyników badań polega na interpretacji wykresu sporządzonego we współrzędnych (A, ζ). Jeżeli ułamek tłumienia krytycznego rośnie od wartości 2% do wartości 6% wraz ze wzrostem amplitudy drgań, a następnie wraz z dalszym wzrostem amplitudy maleje (linia *1* – Fig. 4) oznacza to, że w zespoleniu znajduje się warstwa betonu o zaniżonych parametrach i badana płyta jest rozwarstwiona pracując w stanie awaryjnym. Naprężenia styczne równoważone są najpierw przez tarcie wewnętrzne wywołane w warstwie kontaktowej ($\tau_{fr\text{-}int}$ – Fig. 4) a następnie przez tarcie kinetyczne ($\tau_{fr\text{-}kin}$ – Fig. 4). Jeżeli ułamek tłumienia krytycznego nie zmienia się wraz ze zmianą amplitudy, lub zmienia się nieznacznie wraz z amplitudą (linia 2 – Fig. 4), oznacza to, że zespolenie płyty znajduje się w dobrym stanie i w pełni przenosi siły ścinania poziomego przez adhezję (τ_{adh} – Fig. 4).

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób wykrywania rozwarstwienia w żelbetowych płytach warstwowych polegający na wzbudzaniu drgań w płycie za pomocą młotka oraz rejestracji odpowiedzi konstrukcji na wzbudzenie, **znamienny tym**, że w miejscu, w którym amplituda drgań pierwszej harmonicznej płyty jest największa umieszcza się na powierzchni płyty akcelerometr (*2*), a pod płytą układ zbudowany z podnośnika (*3*), tymczasowego słupa (*4*) połączonego za pomocą przegubu (*5*) z płytą oraz za pomocą przegubu (*6*) z podnośnikiem, następnie przy użyciu układu wymusza się wygięcie płyty o amplitudzie $A_0 = l/1500$, gdzie l jest rozpiętością stropu i kolejno poprzez wybicie spod płyty tymczasowego słupa (*4*) wzbudza się drgania płyty, przy czym równocześnie rejestruje się zmiany przyspieszenia drgań płyty przy pomocy akcelerometru (*2*), następnie dwukrotnie całkuje się względem czasu otrzymany przebieg przyspieszeń drgań w granicach od początku do końca prowadzenia pomiaru oraz wyznacza się ułamek tłumienia krytycznego drgań (ζ) jako funkcję amplitudy drgań (A) z wzoru:

$$\zeta(A) = \frac{\Delta(A)}{\sqrt{4\pi^2+\Delta^2(A)}}100\%, \qquad (1)$$

gdzie:

$$\Delta(A) = In\frac{A_n}{A_{n+1}} \qquad (2)$$

jest zależnym od amplitudy logarytmicznym dekrementem tłumienia; i kolejno tworzy się wykres w układzie współrzędnych (ζ, A) przedstawiający zmianę ułamka tłumienia krytycznego wraz ze zmianą amplitudy, na podstawie którego ocenia się stan badanej płyty.

2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że pomiaru drgań dokonuje się z częstotliwością nie mniejszą niż $f_l/20$, gdzie f_l jest częstotliwością pierwszej harmonicznej płyty.

Rysunki

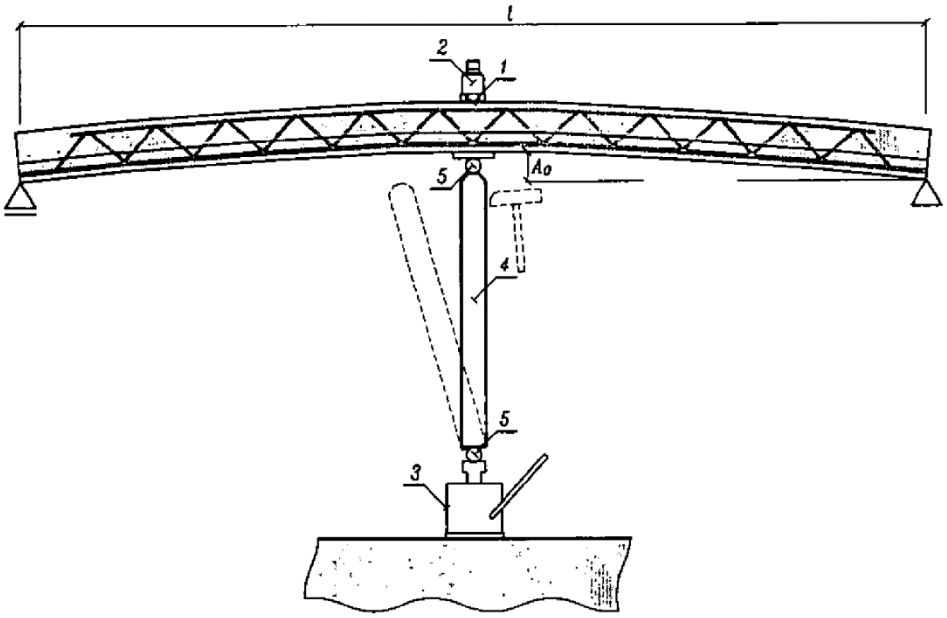

Fig.1

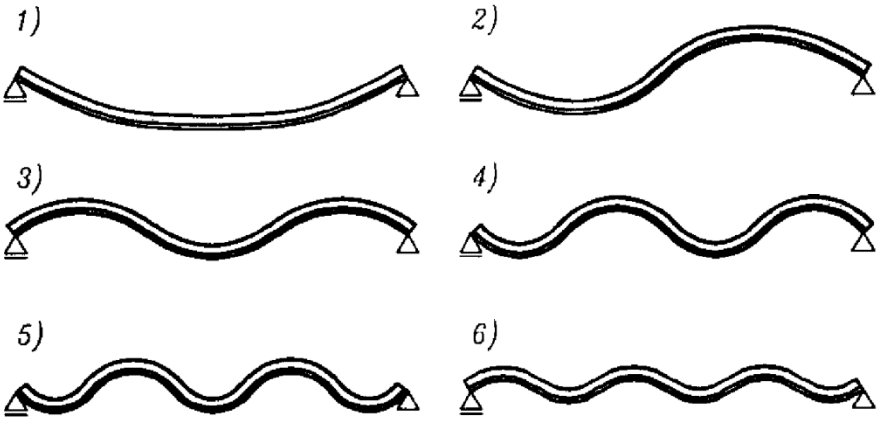

Fig.2

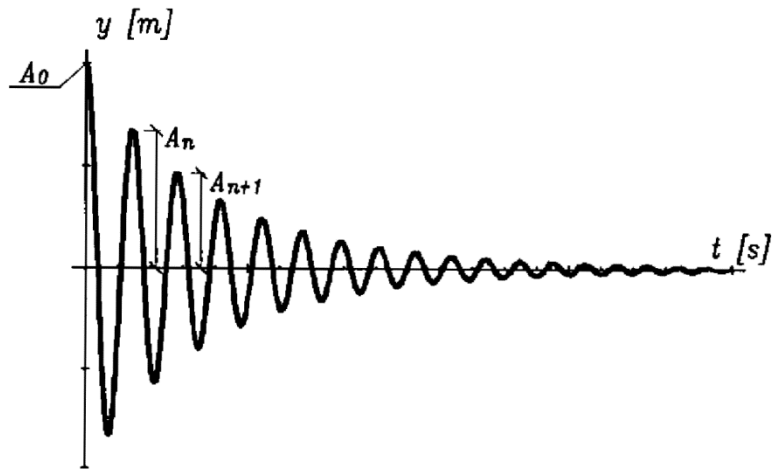

Fig.3

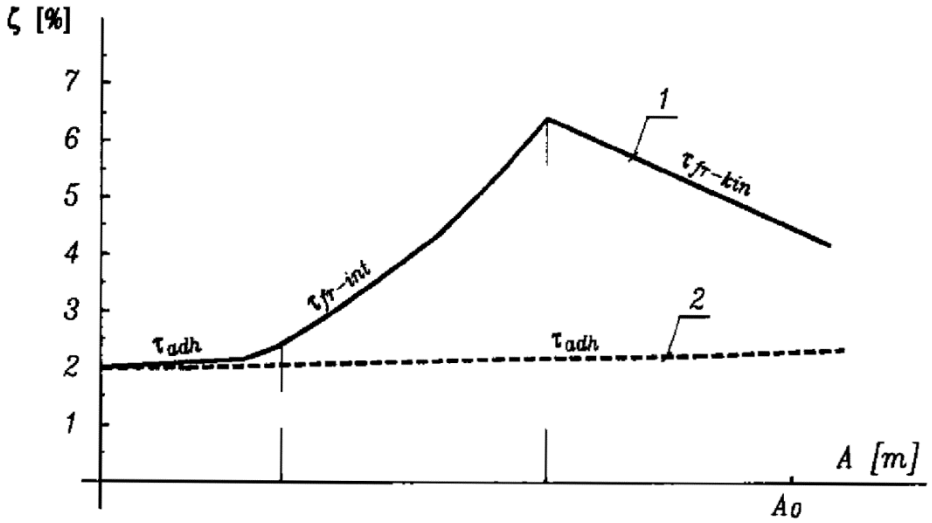

Fig.4

Departament Wydawnictw UPRP
Cena 2,46 zł (w tym 23% VAT)