

Józef PARCHANSKI

Instytut Metrologii i Automatyki Elektrotechnicznej
Politechniki ŚląskiejBADANIE MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA REZYSTANCYJNEJ
METODY WYKRYWANIA PUSTEK W KABLOBETONIE

Streszczenie. Kablobetonem nazywa się betonową belkę ściśniętą za pomocą kabla (stalowego ciągną). Kabel umieszczony w odpowiednim kanale jest zabezpieczony przed korozją za pomocą zaczynu cementowego. Zdarza się w praktyce, że część kanału jest pusta. Powoduje to korozję kabla. Może prowadzić do złamania belki i zawalenia się konstrukcji budowlanej. Aby do tego nie dopuścić, należy wykryć puste przestrzenie w kanale (tzw. pustki), a następnie je zapełnić.

Zasada działania rezystancyjnego detektora pustek w kablobetonie wykorzystuje znacznie większą przewodność zaczynu cementowego otaczającego kabel w kanale wypełnionym, niż przewodność powietrza, które otacza kabel w części kanału pustego (nie wypełnionego zaczynem).

Liczne pomiary laboratoryjne i przemysłowe różnych kablobetonów wykazały, że metoda rezystancyjna ma wystarczającą rozdzielność w przypadku prostych i równych kanałów.

W kablobetonach o krzywych i nierównych kanałach, naprężony kabel przylega do betonu tak mocno, że wartości prądu przepływającego przez punkty pomiarowe na części belki o pustym kanale są tego samego rzędu co wartości prądu na części belki o kanale wypełnionym zaczynem cementowym. W takim przypadku ograniczona rozdzielność rezystancyjnej metody nie zapewnia jednoznacznej identyfikacji pustek w kanałach badanych kablobetonów.

1. Wprowadzenie

Wytrzymałość betonu na ściskanie wynosi (10 - 50) MPa, natomiast na rozciąganie zaledwie (1 - 5) MPa. Właściwość tę wykorzystano do opracowania konstrukcji oraz technologii wykonania betonowych belek sprężonych, zwanych kablobetonami.

Z betonu o dużej wytrzymałości na ściskanie (30 - 50 MPa), za pomocą odpowiedniej formy, wykonuje się belkę 1 (rys. 1a) o ściśle określonym przekroju i kształcie (np. A lub B, rys. 1b), o długości od kilku do ok. 40 metrów. Po kilku tygodniach (np. 28 dniach), do kanałów o średnicy np. 40 mm wprowadza się stalowe ciągną, tzw. kable 2 (np. 12 prętów ze stali o wytrzymałości na zerwanie 1200 - 1600 MPa, każdy pręt o średnicy np. 5 mm, ułożonych np. tak jak na rys. 1c). Następnie kabel jest osiowo rozciągany, a tym samym betonowa belka jest osiowo ściśnięta ściśle określoną siłą. W takim naprężonym stanie, końce kabli przymocowuje się do

krańców belki za pomocą odpowiednich kotew 4 (najczęściej stalowych). Celem zabezpieczenia kabla przed utlenianiem, całą objętość kanału wypełnia się odpowiednio zmodyfikowanym zaczynem cementowym 3. Niestety praktyka wykazała, że niektóre kanały są tylko częściowo wypełnione. W części kanału nie wypełnionej zaczynem kabel ulega korozji, a to zmniejsza jego wytrzymałość mechaniczną. W skrajnym przypadku kabel zostaje zerwany, sprężona belka betonowa, zastosowana np. jako przeszło stropowe, pęka, a to powoduje zawalenie się konstrukcji budowlanej. Aby do tego nie dopuścić, potrzebne jest urządzenie do nieniszczącego wykrywania pustek¹ w kanałach kablobetonów. Po wykryciu - puste przestrzenie należy wypełnić zaczynem cementowym.

W wielu ośrodkach badawczych próbowano zastosować metody wykrywania pustek w kanałach kablowych, oparte na różnych fizycznych zasadach działania. Rozdzielność metody ultradźwiękowej okazała się za mała ze względu na duże pochłanianie przez beton fal o wielkiej częstotliwości. Metoda izotopowa jest kosztowna i czasochłonna, a jej rozdzielność raczej mała. W metodzie termicznej potrzebna jest droga aparatura o dużej rozdzielności temperaturowej, lecz wyniki badań laboratoryjnych są dość obiecujące. Rozdzielność metody emisji akustycznej, uzyskana podczas badań laboratoryjnych, też okazała się dość dobra. Natomiast niewystarczająca do jednoznacznej identyfikacji pustek w kanałach kablobetonu jest metoda dynamiczna. W tej metodzie rejestruje się w funkcji czasu nieustaloną wartość prądu płynącego przez poszczególne punkty pomiarowe, po włączeniu w chwili $t = 0$ napięcia stałego o wartości $U < 0,7$ V.

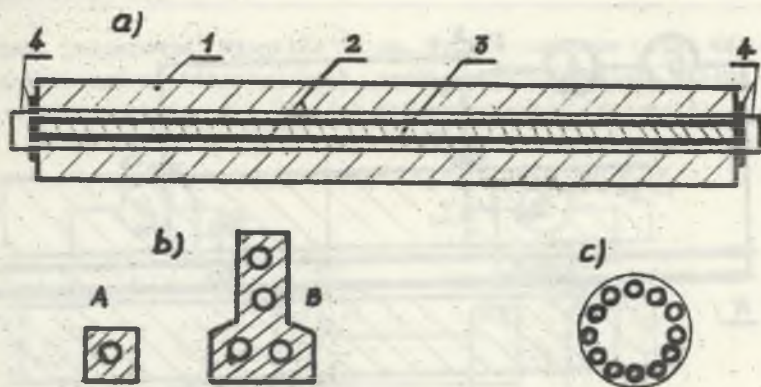
Badane są również metody zabezpieczenia kabli przed korozją przez pokrycie stalowych cięgien materiałami odpornymi na korozję. Wadą tego sposobu jest pękanie i łuszczenie się warstwy ochronnej, pod wpływem wydłużania się cięgna podczas rozciągania kabla.

2. Zasada działania

Zadaniem Instytutu Metrologii i Automatyki Elektrotechnicznej Politechniki Śląskiej było przeprowadzenie badań rozpoznawczych dotyczących budowy urządzenia do rezystancyjnego wykrywania pustek w kablobetonie.

Fizyczna zasada działania takiego urządzenia oparta jest na założeniu, że w przypadku gdy kanał kablowy nie jest wypełniony zaczynem cementowym (lewa część modelu na rys. 2), rezystancja R_1 , w obwodzie prądu I_1 jest sumą rezystancji R_{b1} warstwy betonu o grubości d (od elektrody E_1 do kanału kablowego) i rezystancji R_{p1} warstwy powietrza między betonem a kablem K.

^{1/} Pustka - część kanału kablowego nie wypełniona zmodyfikowanym zaczynem cementowym.



Rys. 1. a/ Model kablobetoni. 1 - beton, 2 - kabel, 3 - zaczyn cementowy, 4 - kotwa; b/ Przykładowe przekroje belek; c/ Przykładowe ułożenie cięgien kabla

Fig. 1. a/ Post-tensioned prestressed concrete model. 1 - concrete, 2 - cable, 3 - cement paste, 4 - anchor block; b/ Exemplary beam cross-sections; c/ Exemplary distribution of cable tension-members

W przypadku gdy kanał jest wypełniony zaczynem cementowym (prawa zakreskowana część kanału na rys. 2), rezystancja R_2 w obwodzie prądu I_2 jest sumą rezystancji R_{b2} warstwy betonu o grubości d (od elektrody E_2 do kanału) i rezystancji R_{z2} warstwy zaczynu o grubości d_z między betonem a kablem K . Rezystancja warstwy betonu w obwodzie prądu I_1 , jest rzędu rezystancji warstwy betonu w obwodzie prądu I_2 , czyli $R_{b1} \approx R_{b2}$. Konduktywność zaczynu cementowego jest znacznie większa niż powietrza, więc rezystancja R_{z2} jest znacznie mniejsza niż rezystancja R_{p1} , czyli $R_{z2} \ll R_{p1}$.

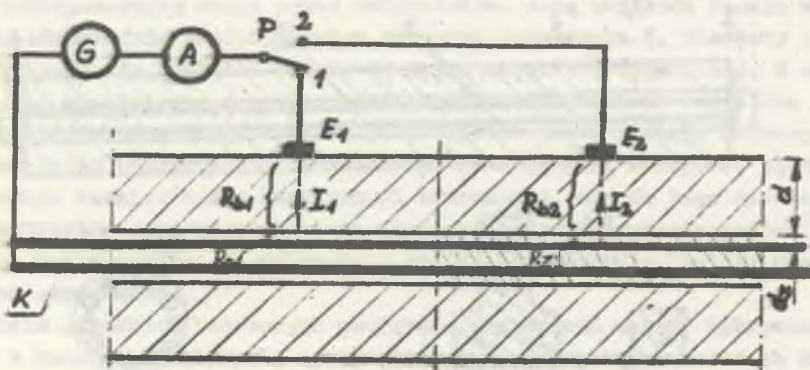
Zatem rezystancje

$$R_1 = R_{b1} + R_{p1} > R_2 = R_{b2} + R_{z2} \quad 1$$

Po założeniu stałej wartości napięcia zasilania ($U = \text{const}$), jest spełniona zależność

$$I_1 < I_2 \quad 2$$

Rezystancje: generatora G , amperomierza A , stalowego kabla K , przewodów łączących, a nawet "mokrej" elektrody E , można pominąć w porównaniu z rezystancją betonu. Rezystywność betonu wilgotnego wynosi setki omometrów, a betonu suchego wynosi wiele tysięcy omometrów. Rezystancja przejścia między kablem a betonem przy pomiarach napięciem stałym o wartości $U < 0,7$ V wynosi od kilku tysięcy omów (beton wilgotny) do setek tysięcy omów (beton suchy).



Rys.2. Model fragmentu kablobetonu

Fig.2. Model of a part post-tensioned prestressed concrete

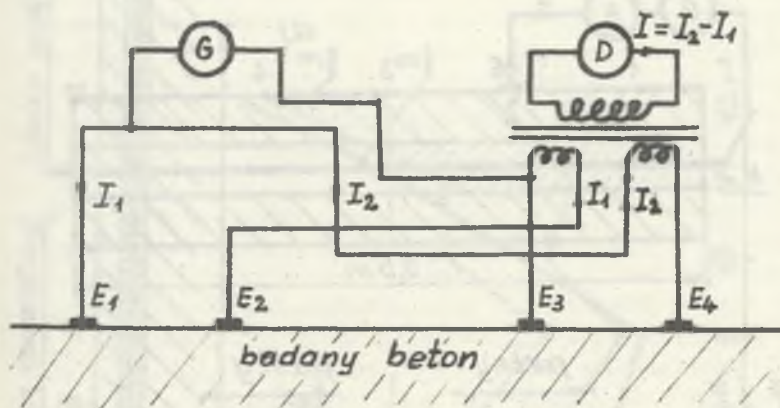
Wartość tej rezystancji zależy również od kierunku przepływu prądu. Rezystancja przejścia między "moką" elektrodą E a betonem bardzo zależy od wilgoci betonu w punktach pomiarowych (w miejscach przykładania elektrody E). Miejsca te powinny być zwilżane przynajmniej przez 2 godz. przed pomiarami. Rezystancja dobrze wykonanej "mokrej" elektrody wynosi kilkadziesiąt omów. Schemat ideowy różnicowego układu elektrycznego do wykrywania pustek w kablobetonie przedstawiono na rys. 3. Różnica prądów $I_2 - I_1$ mierzona jest za pomocą magnetycznego komparatora prądów i wskazywana przez detektor D.

3. Pomiary

W badaniach stosowano "moką" elektrodę Cu/CuSO_4 . Elektrodę E stanowił pręt wykonany z miedzi elektrolitycznej o zawartości co najmniej 99,9% Cu, zamurzony w nasycyonym roztworze siarczamu miedzi. Połączenie roztworu CuSO_4 z betonem zrealizowano za pomocą filcu nasyczonego roztworem CuSO_4 . Miejsca pomiaru były zwilżane wodą co najmniej przez 2 godz. przed pomiarami. Podczas wszystkich badań układ elektryczny zasilano napięciem stałym o wartości $U = 0,5 \text{ V}$ (cyfrą 1 oznaczone wykresy, gdy do elektrody E przyłożono potencjał dodatni, a cyfrą 2, gdy potencjał dodatni przyłożono do kabla K) lub napięciem przemiennym o wartości $U = 3 \text{ V}$ i częstotliwości 1000 Hz (wykresy oznaczone cyfrą 3).

Wyidealizowany model laboratoryjny belki o długości 0,5 m wykonano ściśle tak jak na rys.4a. Prawą część kabla stanowił stalowy pręt znajdujący się w powietrzu (nie dotykając kanału). W lewej zakreskowanej części kanału pręt zalany był zaczynem cementowym. Odległość między kolej-

nymi punktami pomiarowymi wynosiła 10 cm. Wyniki pomiarów (rys. 4b) są zgodne z oczekiwaniami teoretycznymi, zarówno przy zasilaniu układu napięciem stałym (wykresy 1 i 2), jak też przemiennym (wykres 3).

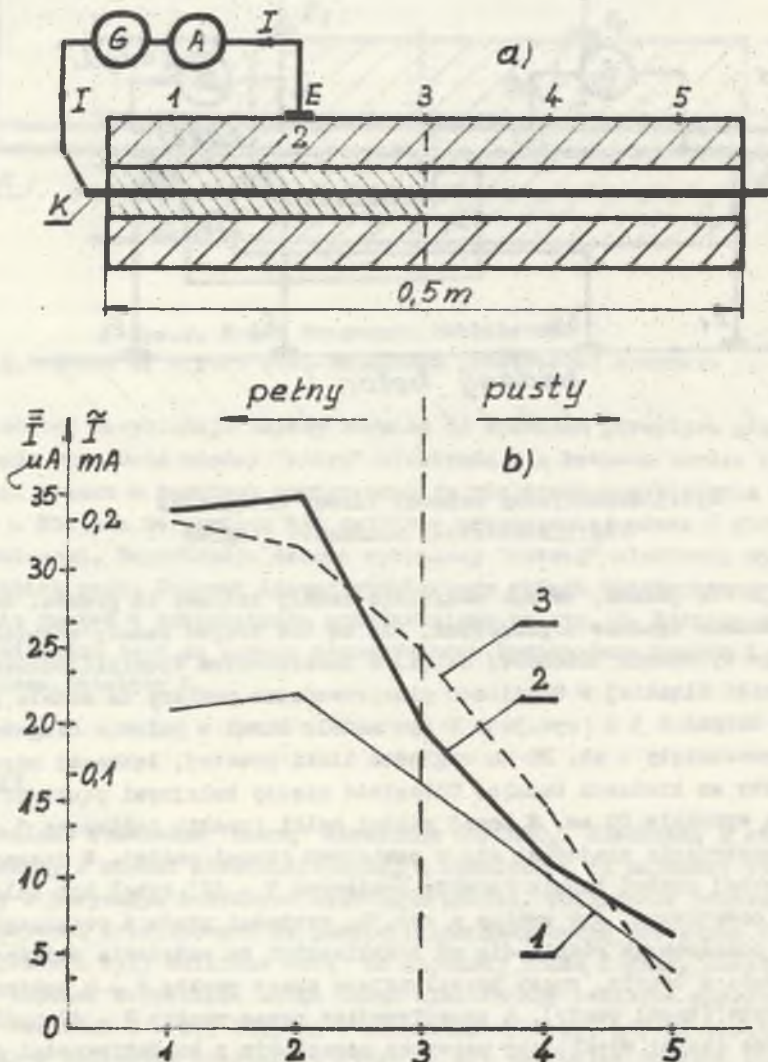


Rys. 3. Elektryczny schemat ideowy urządzenia

Fig. 3. Electrical schematic diagram

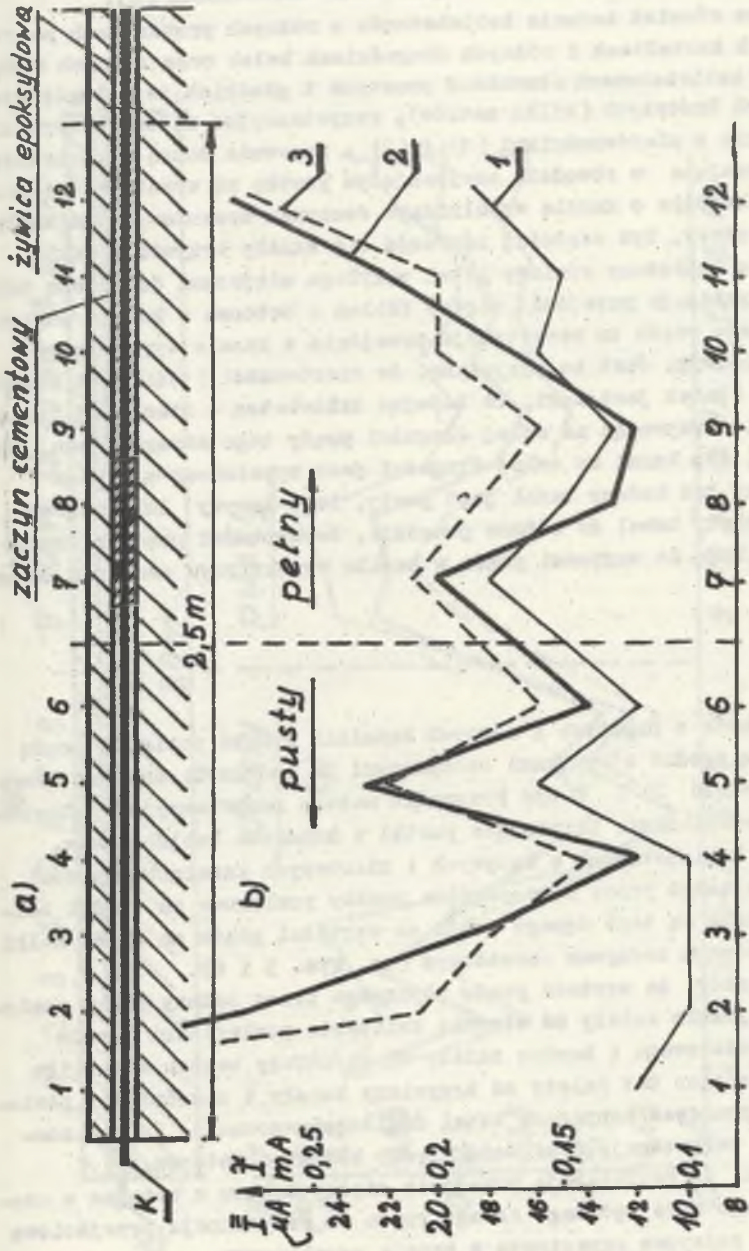
Okazuje się jednak, że nie wszystkie kanały kablowe są proste. Są krzywizny wykonane zgodnie z projektem, ale są też krzywe kanały wskutek niewłaściwego wykonania betonowej belki. W laboratorium Wydziału Budownictwa Politechniki Śląskiej w Gliwicach przeprowadzono pomiary na modelu kablobetonu o długości 5 m (rys. 5a). W tym modelu kanał w połowie długości belki był przesunięty o ok. 20 mm względem linii prostej, łączącej odpowiednie punkty na krańcach kanału. Odległość między kolejnymi punktami pomiarowymi wynosiła 20 cm. W lewej części belki (punkty pomiarowe 1 - 6) kabel teoretycznie znajdował się w powietrzu (kanał pusty). W prawej zakreskowanej części kanału (punkty pomiarowe 7 - 12) kabel był zalany zaczynem cementowym. Jak wynika z rys. 5b, wartości prądu w poszczególnych punktach pomiarowych różnią się od oczekiwanych na podstawie zależności (2). Zgodnie z teorią, prądy przepływające przez punkty 1 - 6 powinny być mniejsze (kanał pusty), a przepływające przez punkty 7 - 12 powinny być większe (kanał wypełniony zaczynem cementowym o konduktywności dużo większej niż powietrze).

Przeprowadzono też pomiary na kablobetonowym prześle stropowym o długości 20 m (rys. 6a), zastosowanym w magazynie odlewni FSM nr 5 w Skoczowie. Odległość między kolejnymi punktami pomiarowymi wynosiła 1 m. W lewej zakreskowanej części kanału (punkty pomiarowe 1 - 8) kabel teoretycznie był zalany zaczynem cementowym. W prawej części przesła (punkty pomiarowe 9 - 17) kabel teoretycznie znajdował się w powietrzu.



Rys. 4. a) Szkic wyidealizowanej belki zbrojonej o długości 0,5 m; b) Wykreśły wartości prądu

Fig. 4. a) Sketch of an idealized 0,5 m long reinforced beam; b) Current diagrams



Rys.5 a) Szkic kablobetonu o długości 5 m; b) Wykresy wartości prądu

Fig.5 a) Sketch of a post-tensioned prestressed concrete element 5 m long ; b) Current diagrams

Jak wynika z rys. 6b, wartości prądu w poszczególnych częściach przeszła też nie są zgodne z oczekiwanymi na podstawie nierówności (2).

Przeprowadzono również badania kablobetonów o różnych przekrojach poprzecznych, różnych kształtach i różnych długościach belek oraz różnych rodzajach betonu. W kablobetonach o kanałach prostych i gładkich, co na ogół występuje w belkach krótszych (kilka metrów), rezystancyjna metoda wykrywania pustek, zgodnie z nierównościami (1) i (2), zapewnia dobrą rozdzielność. Prądy przepływające w obwodzie zawierającym pustkę są wyraźnie mniejsze niż prądy w obwodzie o kanale wypełnionym zaczynem cementowym. Im kablobeton jest dłuższy, tym częściej zdarzają się kanały krzywe. W takim krzywym kanale naprężony stalowy kabel przylega miejscami do betonu tak mocno, że rezystancja przejścia między kablem a betonem w kanale pustym jest tego samego rzędu co rezystancja przejścia w kanale wypełnionym zaczynem cementowym. Jest to przyczyną, że nierówności (1) i (2) nie zawsze są spełnione. Skutek jest taki, że badając kablobeton o nieznannej liniowości kanału i otrzymując na całej długości prądy tego samego rzędu, nie mamy pewności, czy kanał na całej długości jest wypełniony zaczynem cementowym, czy też badany kanał jest pusty, lecz krzywy lub nierówny, a mocno dociśnięty kabel do betonu powoduje, że wartości prądu w kanale pustym są zbliżone do wartości prądu w kanale wypełnionym zaczynem cementowym.

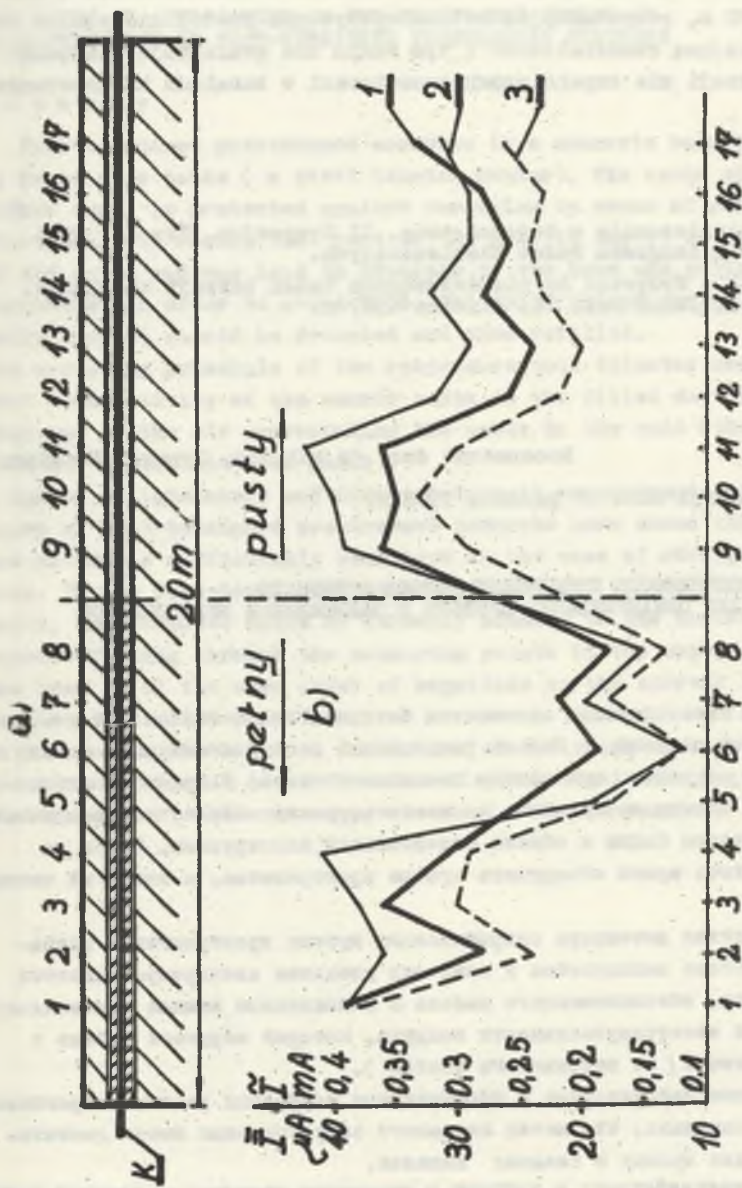
4. Wnioski

W kablobetonach o prostych i równych kanałach wyniki pomiarów prądu (np. rys. 4b) są zgodne z wynikami otrzymanymi na podstawie analizy teoretycznej (nierówność 2). W tym przypadku metoda rezystancyjna jednoznacznie wykrywa ewentualnie istniejące pustki w kanałach kablobetonów.

Natomiast w kablobetonach o krzywych i nierównych kanałach wartości prądu przepływającego przez poszczególne punkty pomiarowe na części belki o pustym kanale są tego samego rzędu co wartości prądu na część belki o kanale wypełnionym zaczynem cementowym (np. rys. 5 i 6).

Pomiary wykazały, że wartość prądu płynącego przez badany punkt pomiarowy przede wszystkim zależy od stopnia zwilżenia powierzchni betonu wokół punktu pomiarowego i bardzo zależy od struktury betonu w pobliżu tego punktu. Znacząco też zależy od krzywizny kanału i nierówności powierzchni kanału, ponieważ naprężony kabel dociśnięty mocno do betonu znacznie zmniejsza rezystancję przejścia między kablem a betonem. Skutek jest taki, że rezystancja przejścia między kablem a betonem w części kanału pustego może być tego samego rzędu co rezystancja przejściowa między kablem a zaczynem cementowym w kanale wypełnionym.

Powoduje to, że nierówności (1) i (2) nie zawsze są spełnione.



Rys. 6. a) Szkic kablobetonowego przekroju stropowego o długości 20 m; b) Wykresy wartości prądu

Fig. 6. a) Sketch of a post-tensioned prestressed concrete floor bay 20 m long ; b) Current diagrams

Jeżeli geometria kanału w badanym kablobetonie jest znana, a krzywizna kanału jest tak mała, że naprężony kabel w żadnym miejscu nie przylega do betonu, to metoda rezystancyjna zapewnia wystarczającą rozdzielczość do wykrycia nie zabezpieczonej przestrzeni w kanale kablobetonu. Natomiast w przypadku nieznannej krzywizny kanału, zwłaszcza w kablobetonach o długości powyżej 10 m, rezystancyjna metoda wykrywania pustek nie zawsze zapewnia wystarczającą rozdzielczość i tym samym nie gwarantuje jednoznacznej identyfikacji nie zabezpieczonych przestrzeni w kanałach kablobetonów.

LITERATURA

- [1] Badania nieniszczące w budownictwie. II Sympozjum. Wrocław 1976. Materiały z Kongresu Badań Nieniszczących.
- [2] Barański R.: Przyrząd do nieniszczących badań korozji zbrojenia. Praca dypl. IMEiE Pol. Sl. Gliwice 1987 r.

Recenzent: doc. dr hab.inż. Zygmunt Kuśmierk

Wpłynęło do Redakcji dnia 28 grudnia 1988 r.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА АКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЛЯ ОБНАРУЖИВАНИЯ ПУСТОТЫ В НАПРЯЖЕННОМ ЖЕЛЕЗОБЕТОНЕ

Р е з ю м е

Напряжённым железобетоном называется бетонная балка омотанная при помощи кабеля (стальной связкой). Кабель размещённый в соответствующем канале предохранён от коррозии при помощи цементного теста. В практике случается, что часть канала пуста. Это вызывает коррозию кабеля, которая может довести до перелома балки и обвала строительной конструкции. Чтобы до этого не допустить нужно обнаружить пустые пространства, а потом их заполнить.

Принцип действия детектора сопротивления пустых пространств в напряжённом железобетоне заключается в том, что удельная электропроводимость цементного теста, обволакивающего кабель в наполненном канале значительно больше удельной электропроводимости воздуха, который окружает кабель в пустой части канала (не заполненного тестом).

Многочисленные лабораторные и промышленные измерения разных напряжённых железобетонов показали, что метод активного сопротивления имеет достаточную чёткость для прямых и гладких каналов. В напряжённых железобетонах с кривыми и неровными каналами натянутый кабель прилегает к бетону так тесно, что величина тока протекающего через измерительные пункты на части балки в пустом канале такой же самой величины как и величина тока на части балки в канале наполненном цементным тестом.

В этом случае ограниченная разрешающая способность метода сопротивления не гарантирует однозначной идентификации пустых пространств в каналах исследуемых напряженных железобетонных.

THE STUDY ON APPLICATION OF THE RESISTANCE METHOD OF VOID DETECTION IN POST-TENSIONED PRESTRESSED CONCRETE

Summary

Post-tensioned prestressed concrete is a concrete beam compressed by means of a cable (a steel tension member). The cable placed in a proper duct, is protected against corrosion by means of cement paste. Practically it occurs that part of the duct is empty. It causes corrosion of the cable and may lead to breakage of the beam and collapse of the structure. In order to avoid this, the empty spaces in the duct (the so-called voids) should be detected and them refilled.

The operating principle of the resistance void detector uses the fact that conductivity of the cement paste in the filled duct is much higher than one of the air surrounding the cable in the void (the part of the duct not filled with the paste).

A number of laboratory and industrial-scale measurements of different types of post-tensioned prestressed concrete have shown that the resistance method is sufficiently sensitive in the case of straight and even duct. In the post-tensioned prestressed concrete with crooked and uneven ducts, the stressed cable so strongly adheres to the concrete that the current flowing through the measuring points in the empty-duct part of the beam is of the same order of magnitude as the current in the part of the beam with filled duct.

In this case, the limited resolution of the resistance method does not provide unambiguous identification of the voids in the ducts of the investigated post - tensioned prestressed concrete samples.