

Diagnostyka konstrukcji betonowych metodą ultradźwiękową pośrednią

Concrete construction diagnostics by indirect ultrasonic method

Streszczenie

W pracy przedstawiono wyniki badań betonu wykonanej metodą ultradźwiękową pośrednią, zgodnie z PN-EN 12504-4. Badania wykonano opracowanym modułem UIR skanera do badań ultradźwiękowych. Przeanalizowano wpływ środka sprzęgającego oraz chropowatości powierzchni. W wyniku badań stwierdzono, że moduł ultradźwiękowy UIR skanera do badań pośrednich pozwala na otrzymanie wyników porównywalnych z pomiarami bezpośrednimi. Potwierdzono możliwość wykorzystania wody jako środka sprzęgającego, co pozwala na obniżenie kosztu i czasu realizacji badań.

Słowa kluczowe: diagnostyka konstrukcji betonowych, pośrednia metoda ultradźwiękowa, wpływ środka sprzęgającego

Abstract

In the work the results of concrete testing by indirect ultrasonic method with accordance to standard PN-EN 12504-4 were presented. Studies were performed with a worked out UIR scanner module to ultrasonic measurements. Influence of type of coupling medium and surface roughness of concrete were analyzed. The examinations of UPV module shown that ultrasonic pulse velocities evaluated by indirect method could be comparable with results of direct one. It was also noticed that water may be used as coupling agent, that allows reduction of costs and time of tests.

Keywords: diagnosis of concrete constructions, indirect ultrasonic method, influence of coupling agent

Wstęp

Metody ultradźwiękowe dzięki rozwojowi technik pomiarowych i coraz doskonalszej aparaturze stały się powszechnym i łatwo dostępnym narzędziem w diagnostyce elementów betonowych [1], wykorzystywanym przede wszystkim do lokalizacji wad [2] i nieciągłości struktury betonu [3], pomiaru grubości [4], szacowania wytrzymałości [5] oraz modułu sprężystości [6]. Badania ultradźwiękowe opierają się na związkach pomiędzy prędkością fal podłużnych o częstotliwości powyżej 20 kHz, rozprzestrzeniających się w ośrodku stałym, a właściwościami tego ośrodka. Do badanego materiału wprowadzany jest impuls, a następnie analizowany jest czas jego przejścia pomiędzy nadajnikiem i odbior-

nikiem, oddalonych od siebie na określoną odległość. Ważnym aspektem pomiarów ultradźwiękowych jest zapewnienie odpowiedniego sprzężenia akustycznego głowic z badanym betonem. Dokonuje się tego, stosując środki sprzęgające takie jak wazelina, smar, płynne mydło czy pasta glicerynowa [7].

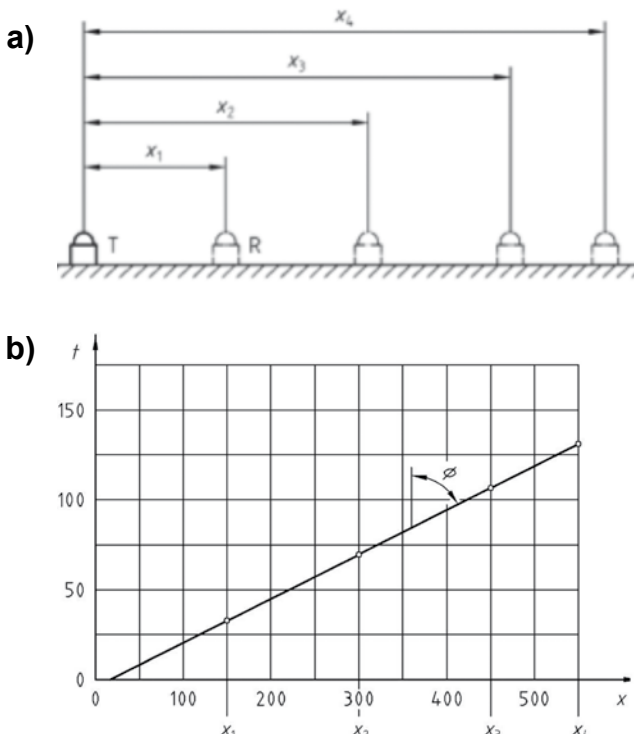
PN-EN 12504-4 dopuszcza trzy sposoby pomiaru prędkości fali ultradźwiękowej – bezpośredni, częściowo pośredni i pośredni. Najbardziej precyzyjne jest określanie prędkości sposobem bezpośrednim, ponieważ maksimum energii rozchodzi się w kierunku prostopadłym do powierzchni głowicy nadawczej. Jednak możliwe jest również ustawienie głowic pomiarowych nie bezpośrednio naprzeciw siebie, tzn. na przeciwległych lub prostopadłych powierzchniach, np. w narożach konstrukcji, lecz także na tej samej powierzchni.

Mgr inż. Kamil Załęgowski, dr inż. Tomasz Piotrowski, dr hab. inż. Andrzej Garbacz prof. PW – Politechnika Warszawska.

Autor korespondencyjny/Corresponding author: k.zalegowski@il.pw.edu.pl

Metoda ultradźwiękowa pośrednia

Najczęściej wykonywane w praktyce inżynierskiej pomiary ultradźwiękowe polegają na wygenerowaniu impulsu przez defektoskop, wprowadzeniu go w badany materiał za pośrednictwem piezoelektrycznej głowicy nadawczej i jego propagacji do umieszczonego osiowo po drugiej stronie elementu odbiornika. Jednak w przypadku dostępu tylko z jednej strony (np. posadzka betonowa) konieczne jest zastosowanie metody pośredniej, w której wykonuje się serię pomiarów z głowicami pomiarowymi znajdującymi się w różnych odległościach od siebie (rys. 1a). Czasy przejścia odczytane z pozycji czoła fali przedstawia się w postaci punktów na wykresie ilustrującym ich związek z odległością pomiędzy głowicami pomiarowymi. Prędkość fali jest równa współczynnikowi kierunkowemu prostej (tangens kąta nachylenia tej prostej do osi czasu) poprowadzonej możliwie najdokładniej przez te punkty (rys. 1b).



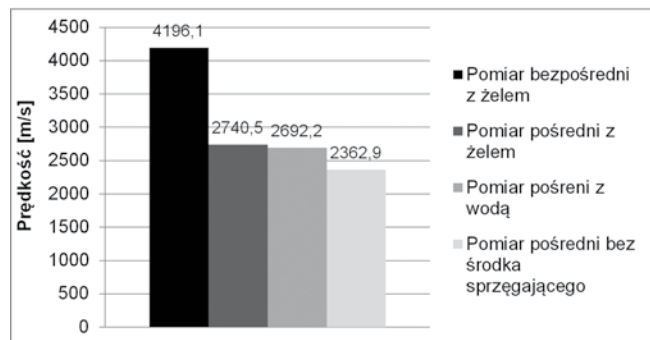
Rys. 1. Zależność odległości pomiędzy nadajnikiem i kolejnymi odbiornikami a czasem przejścia impulsu ultradźwiękowego (a). Sposób wyznaczania prędkości metodą pośrednią (b). Objaśnienia: T – nadajnik, R – odbiornik

Fig. 1. Relationship: distance between emitter and receivers vs. time of ultrasonic wave propagation (a). Calculation way of ultrasonic pulse velocity by indirect method (b). Definitions: T – emitter, R – receiver

Przedstawiona powyżej metoda została wykorzystana do budowy modułu do badań ultradźwiękowych w skanerze UIR, który wykorzystuje trzy, wzajemnie uzupełniające się techniki nieniszczące – radar GPR, impact echo i ultradźwięki. Badania wykonano

na modelowych płytach betonowych ze zbrojeniem i defektami, a na rzeczywistych obiektach budowlanych – posadzkach betonowych, płytach mostowych, nawierzchniach asfaltowych. Badania wstępne, przeprowadzone na płytach betonowych o wymiarach 50x50x7 cm przy rozstawie głowic 10, 15, 20 i 25 cm wskazywały na duże rozbieżności pomiędzy prędkością fali oznaczoną metodą pośrednią i bezpośrednią (rys. 2 i 3). Prędkość fali w betonie wyznaczona metodą pośrednią była o ok. 35% niższa niż prędkość w metodzie bezpośredniej i osiągnęła wartość bardziej zbliżoną do prędkości fali powierzchniowej niż fali podłużnej. Początkowo uważano, że przyczyną opisanych różnic może być efekt kształtu i wymiarów badanego elementu, opisany w [7]. Dalsze analizy pokazały, że większy wpływ na wyniki ma wybór punktu sygnału uznawanego za początek fali.

Wspomniany eksperyment wykazał również, że zamiast profesjonalnego żelowego środka sprzęgającego do badań można z powodzeniem zastosować powierzchniowe zwilżenie betonu wodą (rys. 2). Jest to korzystniejsze pod względem finansowym i czasu pracy, zwłaszcza podczas badań konstrukcji wielkopowierzchniowych, będących docelowym przedmiotem analizy skanerem UIR. Brak środka sprzęgającego zmniejsza energię impulsu i utrudnia lokalizację czoła fali.



Rys. 2. Prędkości fali ultradźwiękowej oszacowane metodą bezpośrednią z użyciem żelu, metodą pośrednią bez środka sprzęgającego oraz z użyciem środka w postaci żelu i wody

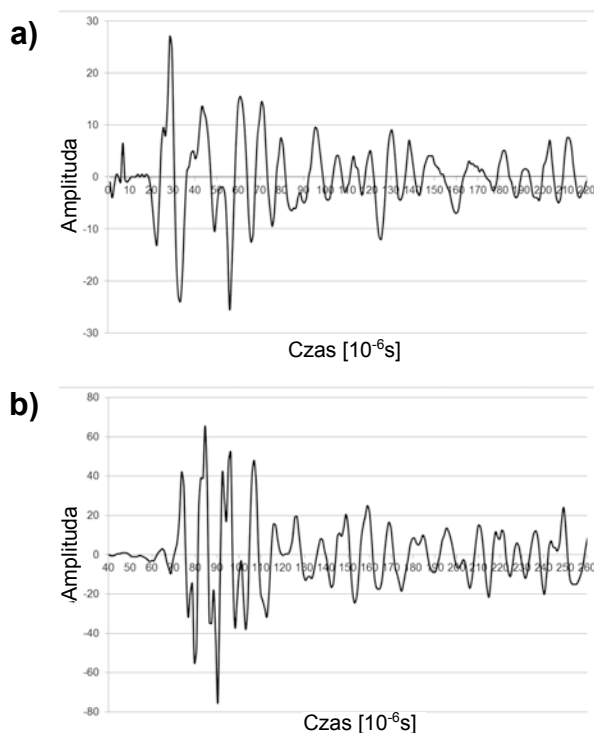
Fig. 2. Ultrasonic pulse velocity calculated by direct method with gel, indirect method without coupling agent, with gel and water

W pracy [8] potwierdzono, że otrzymanie porównywalnych wyników oboma metodami jest możliwe pod warunkiem odpowiedniego prowadzenia pomiarów i zastosowania obróbki sygnału. Opracowany moduł ultradźwiękowy wykorzystuje nadajnik i trzy odbiorniki, ustawione liniowo i oddalone między sobą o 10 cm (rys. 4). Głowice zamontowane są w specjalnym uchwycie zapewniającym ich stały rozstaw i równomierny docisk podczas pomiarów prowadzonych z użyciem wody jako środka sprzęgającego. Filtracja sygnału np. filtrem FFT, czy średnią ruchomą, dodatkowo uwydatnia początek fali, umożliwiając precyzyjną kalkulację prędkości w większości sytuacji. Zainstalowany program do pozyskiwania danych umożliwia prowadzenie

pomiarów bez konieczności kalibracji – określania czasu zerowego.

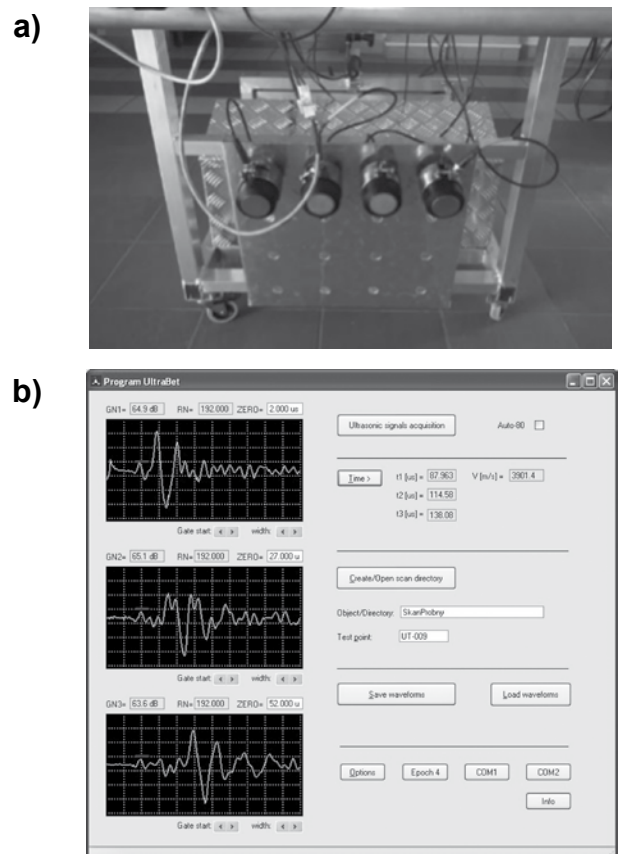
Zaobserwowano jednak, że w przypadku silnie zdeformowanych lub gęsto zbrojonych elementów betonowych pojawiają się problemy z lokalizacją czoła fali na sygnale zarejestrowanym przez odbiornik znajdujący się najdalej od nadajnika (30 cm). W takich sytuacjach moduł umożliwia oszacowanie prędkości z wykorzystaniem dwóch głowic odbiorczych. W tym przypadku zalecane jest stosowanie filtrowania sygnału np. filtrem FFT, czy średnią ruchomą. Operacja ta ma na celu odcięcie niepożądanych częstotliwości i ułatwienie dalszej, zaawansowanej obróbki sygnału – analizy widmowej.

Badania ultradźwiękowe w warunkach rzeczywistych potwierdziły istotną rolę chropowatości powierzchni w badaniach betonu. Zaobserwowano, że ze wzrostem chropowatości powierzchni maleje energia impulsu wprowadzonego w materiał i utrudniona zostaje lokalizacja czoła fali (rys. 5). Zastosowanie zarówno wody, jaki i żelu jest w przypadku dużych nierówności nieefektywne. Wykazano, że rozwiązaniem problemu jest użycie podkładek z elastycznego tworzywa sztucznego, np. elastomeru, które dostosowuje się do kształtu podłoża i zwiększa powierzchnię kontaktu głowica/ /beton. Z badań własnych wynika, że użycie podkładek z elastomeru o grubości do 2 mm pozwala na zarejestrowanie sygnałów o wystarczająco wysokim poziomie amplitudy bez wpływu na wyniki obliczeń prędkości fali ultradźwiękowej [8].

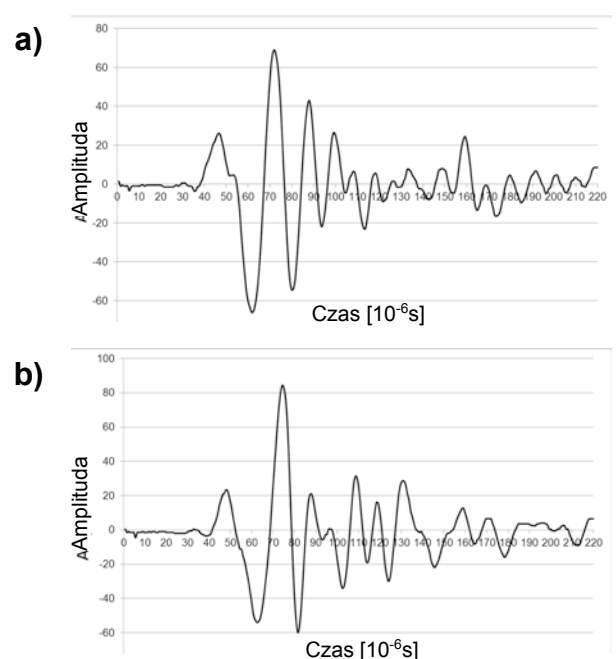


Rys. 3. Sygnał zarejestrowany metodą bezpośrednią z użyciem żelu (a) i przykładowy sygnał zarejestrowany metodą pośrednią przy rozstawie głowic 15 cm z użyciem żelu (b)

Fig. 3. Waveform registered by direct method with gel (a) and example of signal registered by indirect method with gel and distance emitter-receiver of 15 cm (b)



Rys. 4. Moduł UPV skanera UIR (a) i program do akwizycji danych (b)
Fig. 4. UPV module of UIR scanner (a) and to data acquisition software (b)



Rys. 5. Przykładowe sygnały zarejestrowane na posadzce betonowej o wysokim stopniu chropowatości przy rozstawie głowic 10 cm: a) przy użyciu medium sprzęgającego w postaci wody i wzmocnieniu 52 dB, b) wody i podkładek z pianki poliuretanowej o gr. 1 mm przy wzmocnieniu 44 dB

Fig. 5. Examples of signals registered on concrete floor with high roughness, using water and with distance emitter – receiver of 10 cm, with amplification of 52 dB (a), water and polyurethane foam washer of 1 mm thick, with amplification of 44 dB (b)

Badania ultradźwiękowe w warunkach rzeczywistych potwierdziły istotną rolę chropowatości powierzchni w badaniach betonu. Zaobserwowano, że ze wzrostem chropowatości powierzchni maleje energia impulsu wprowadzonego w materiał i utrudniona zostaje lokalizacja czoła fali (rys. 5). Zastosowanie zarówno wody, jaki i żelu jest w przypadku dużych nierówności nieefektywne. Wykazano, że rozwiązaniem

problemu jest zastosowanie podkładek z elastycznego tworzywa sztucznego, np. elastomeru, które dostosowuje się do kształtu podłoża i zwiększa powierzchnię kontaktu głowica/beton. Z badań własnych wynika, że użycie podkładek z elastomeru o grubości do 2 mm umożliwia zarejestrowanie sygnałów o wystarczająco wysokim poziomie amplitudy bez wpływu na wyniki obliczeń prędkości fali ultradźwiękowej [8].

Podsumowanie

Opracowany moduł ultradźwiękowy skanera UIR do badań metodą pośrednią pozwala na otrzymanie wyników porównywalnych z pomiarami metodą bezpośrednią i stanowi dobre rozwiązanie zwłaszcza w przypadku jednostronnego dostępu do konstrukcji betonowej. Zaletą tego modułu jest też brak

konieczności kalibracji. Możliwość wykorzystania wody jako środka sprzęgającego pozwala na przyspieszenie badań obiektów wielkopowierzchniowych i obniżenie ich kosztów. W przypadku badania powierzchni szorstkich wskazane jest zastosowanie podkładek z elastomeru o grubości do 2 mm.

Literatura

- [1] Hoła J., Schabowicz K.: State of the art non-destructive methods for diagnostic testing of building structures – anticipated development trends, Archives of Civil and Mechanical Engineering, 10 (3), 2010.
- [2] Lorenzi A. i in.: Ultrasonic pulse velocity analysis in concrete specimens, IV Conferencia Panamericana de END, Buenos Aires 2007.
- [3] Petro J.T., Kim J.: Detection of delamination in concrete using ultrasonic pulse velocity test, Construction and Building Materials 2012, 26, s. 574-582.
- [4] Krause M. i in.: Ultrasonic imaging of concrete members using an array system, NDT & E International 2001, Vol. 34, Issue 6, s. 403-408.
- [4] Stawiński B.: Zastosowanie metody ultradźwiękowej do badania wytrzymałości betonu na rozciąganie, 31 Krajowa Konferencja Badań Nieniszczących, Szczyrk 2002, s. 115-118.
- [6] Choudhari N.K. i in.: Evaluation of elastic moduli of concrete by ultrasonic velocity, National seminar of ISNT, Chennai 2002.
- [7] PN-EN 12504-4: 2005 „Badania betonu. Oznaczanie prędkości fali ultradźwiękowej”.
- [8] Garbacz A.: Nieniszczące badania betonopodobnych kompozytów polimerowych za pomocą fal sprężystych – ocena skuteczności napraw, Oficyna Wyd. PW, Warszawa 2007.
- [9] Garbacz A., Piotrowski T., Adamczewski G., Załęgowski K.: UIR-skaner mobilny, zintegrowany skaner do diagnostyki elementów betonowych za pomocą metod nieniszczących, raport z grantu NCBR, 2014.

Podziękowanie: Badania wykonano w ramach grantu NCBR NR04-0024-10 pt. „UIR-skaner mobilny, zintegrowany skaner do diagnostyki elementów betonowych za pomocą metod nieniszczących”

Przegląd Spawalnictwa Welding Technology Review Open Access Library

Przegląd Spawalnictwa uruchomił możliwość wolnego dostępu do pełnych treści artykułów w ramach Open Access Library. Artykuły w języku angielskim w formacie PDF zamieszczane są na stronie internetowej redakcji: www.pspaw.pl.

Autorów zainteresowanych publikacją w Open Access Library prosimy o przesyłanie artykułów w języku polskim i angielskim. W miesięczniku nastąpi publikacja w języku polskim, a tekst w języku angielskim zostanie zamieszczony na stronie internetowej.