

Michał TEODORCZYK

Politechnika Świętokrzyska, Polska

Analiza tłumienia prędkości fali podłużnej w elemencie żelbetowym z zarysowaniem

1. Opis zagadnienia

W ostatnim okresie diagnostyka i monitoring stanu technicznego konstrukcji budowlanych zaczął nabierać istotnego znaczenia. Wynika to ze zmian w przepisach (normy, prawo budowlane) oraz faktu, iż wiele obiektów starzeje się pod względem technicznym oraz użytkowym (nowa funkcja użytkowa), a także przekracza okres bezpiecznej eksploatacji, a niektóre obiekty obciążone są bardziej aniżeli planowano to przy ich projektowaniu (np. ruch na mostach i dopuszczalne obciążenie osi pojazdów). Stąd też nastąpił gwałtowny rozwój metod badawczych [Hoła, Schabowicz 2010: 189–206], a w tym nieniszczących metod diagnostyki, wśród których znajdują się metody akustyczne [Goszczyńska, Świt, Trąpczyński 2011: 48–51]. Jedną z nich jest metoda emisji akustycznej [Świt 2008; Gołaski, Goszczyńska, Świt, Trąpczyński 2010: 173–188] oparta na identyfikacji i lokalizacji procesów destrukcyjnych, co umożliwia globalną diagnostykę obiektów. Stosowana jest ona dla elementów żelbetowych i była podstawą diagnostyki kilkudziesięciu mostów. Lokalizacja procesów wykonywana jest na podstawie pomiaru różnicy czasu dojścia sygnału akustycznego do umieszczonych na powierzchni badanego obiektu czujników akustycznych. Stąd też określenie prędkości propagacji fali akustycznej w elementach rzeczywistych oraz wpływu na nią procesów destrukcyjnych ma istotne znaczenie.

Dotychczas prowadzone były badania na falach sprężystych w materiałach bardziej jednorodnych niż beton, takie jak stal czy materiały kompozytowe [Rose 2010: 495–500].

W pracy [Rucka 2011] pokazano wyniki badań eksperymentalnych i obliczeń numerycznych propagacji fal sprężystych w konstrukcjach stalowych, na przykład w prętach, belkach czy ramach. Pokazano, że w prętach o nieciągłościach strukturalnych wspomniane fale są w stanie wykryć wady w postaci wcięcia 16,7% grubości pręta.

Celem podjętego tematu jest analiza zmiany prędkości rozchodzenia się fal podłużnych w elemencie żelbetowym, które spowodowane jest procesami destrukcyjnymi powstającymi w betonie na skutek działania obciążenia cyklicznego, ze szczególnym uwzględnieniem procesu zarysowania.

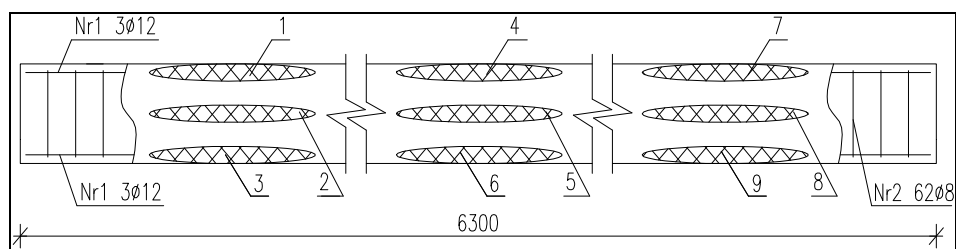
2. Badanie doświadczalne

Badanie doświadczalne wykonano na standardowej belce żelbetowej o wymiarach $120 \times 300 \times 6300$ mm, wykonanej w zakładzie prefabrykacji z betonu C40/50. Zbrojenie górne i dolne stanowią po trzy pręty o średnicy 12 mm. Zastosowano aparaturę przemysłową do pomiaru emisji akustycznej oraz dwa czujniki piezoelektryczne o częstotliwości 55 kHz. Urządzenie posiada dwie karty Samos ośmiokanałowe do podłączenia przetworników, obudowa przemysłowa firmy Elmark, model IMP 670.

Wzbudzenie fal sprężystych, poprzez złamanie na powierzchni badanego obiektu prowadnicy grafitowej o średnicy 0,5 mm i twardości 2H, powoduje rozchodzenie się fal podłużnych, poprzecznych i powierzchniowych (Rayleigha) [Dorobiec, Jasiński, Piekarczyk 2007: 37–42]. Wyzwolona fala sprężysta jest rejestrowana przez dwa czujniki piezoelektryczne o odpowiedniej czułości. Badanie prędkości polega na pomiarze czasu przejścia czoła fali pomiędzy przetwornikami. Znając różnicę czasu zarejestrowania sygnału i odległość między czujnikami, można wyznaczyć prędkość rozchodzenia się fali podłużnej w elemencie. Aby odseparować czoło fali podłużnej o największej prędkości (3600 m/s) od fal poprzecznych i powierzchniowych, wykonuje się wzbudzenie w odległości 150 mm od pierwszego czujnika.

a) badania belki przed zarysowaniem

W badaniu prędkości fali przed obciążeniem i zarysowaniem elementu, podzielono belkę żelbetową na dziewięć stref (rys.1). Czujniki umieszczono na poziomie zbrojenia górnego, w środku wysokości belki oraz na poziomie zbrojenia dolnego. Przyjęto rozstaw czujników 100 cm. Wykonano po trzy źródła Hsu – Nielsena w każdym obszarze w interwale około 15 sekund [PN-EN 1330-9]. Tabela 1 przedstawia otrzymane wyniki średniej prędkości fali podłużnej w zależności od miejsca badania w nieuszkodzonej belce żelbetowej.



Rys. 1. Zbrojenie belki żelbetowej z zaznaczeniem stref badań przed zarysowaniem
1, 4, 7 – zbrojenie górne; 2, 5, 8 – środek wysokości belki; 3, 6, 9 – zbrojenie dolne

Badanie prędkości fali podłużnej w elemencie niezarysowanym pokazuje pewną rozbieżność wyników (tabela 1). Jest to spowodowane niejednorodnością materiału, jakim jest beton. Prędkość fali podłużnej na poziomie zbrojenia górnego i dolnego belki mieści się w granicach rozrzutu około 12%. Natomiast w środku wysokości belki rozrzut wartości jest większy o 4%.

Tabela 1

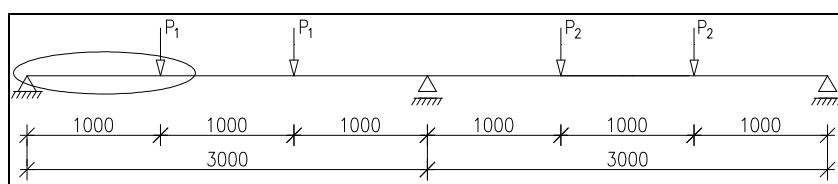
Średnia prędkość fali podłużnej w elemencie niezarysowanym, rozrzut wyników

Strefa badania	Średnia prędkość fali \bar{V}_S [m/s]			Rozrzut wyników [%]
1, 4, 7	3102,4	3014,5	3341,5	3 ÷ 11
2, 5, 8	3069,7	3391,1	3578,7	10 ÷ 16
3, 6, 9	3416,2	3355,6	3755,9	2 ÷ 12

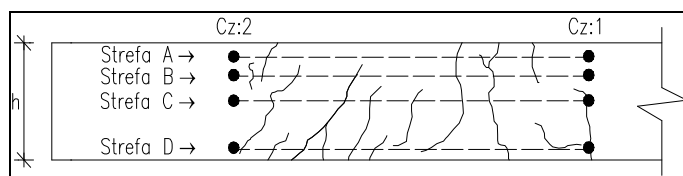
Rozrzut wyników w badanej belce wynosi ok. 15% i uzależniony jest od jakości wykonania elementu. Ewentualny wpływ zbrojenia znajduje się w granicach tego rozrzutu.

b) badania belki po zarysowaniu

W analizie tłumienia prędkości fali po obciążeniu i zarysowaniu elementu wybrano lewą stronę belki, na której zweryfikowano rysy o szerokości nieprzekraczającej 0,2 mm (rys. 2). Wybrany obszar podzielono na cztery strefy badań z uwzględnieniem sposobu zarysowania (rys. 3).



Rys. 2. Schemat obciążenia belki żelbetowej z zaznaczonym miejscem badania



Rys. 3. Zarysowana lewa strona belki żelbetowej z zaznaczeniem stref badań, rozciągane włókna dolne. Cz: 1 – czujnik nr 1, Cz: 2 – czujnik nr 2

Strefa A – zbrojenie górne, strefa B – 0,75h wysokości belki, strefa C – środek wysokości belki, strefa D – zbrojenie dolne. Przerwaną linią zaznaczono założoną drogę, wzdłuż której propagowała fala sprężysta.

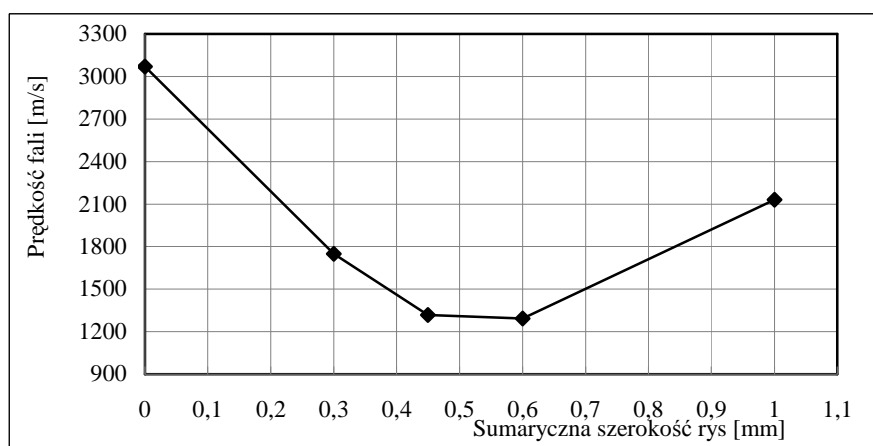
W tym obszarze (rys. 1 – strefa 1, 2, 3) prędkość rozchodzenia się fali w belce bez zarysowań wahała się w zakresie 3069,7÷3416,2 [m/s].

Otrzymane wyniki średniej prędkości fali podłużnej w zarysowanej belce żelbetowej umieszczono w tabeli 2 i uzależniono je od miejsca badania oraz sumarycznej szerokości rys (rys. 4).

Tabela 2

Średnia prędkość fali podłużnej w elemencie zarysowanym

Strefa badania	Średnia prędkość fali \bar{V}_s [m/s]	Sumaryczna szerokość rys [mm]
A	1748,2	0,3
B	1317,4	0,45
C	1293,4	0,6
D	2130,3	1,0



Rys. 4. Analiza tłumienia prędkości fali podłużnej w betonie zarysowanym

Pojawienie się rys (do pewnej ich sumarycznej szerokości) powoduje obniżenie prędkość fali podłużnej w sposób liniowy. Dla szerokości 0,45 mm prędkość propagacji spada z 3069,7 do 1317,4 [m/s], a więc o 57%. Jest to znacznie powyżej rozrzutu wynikającego z wykonania belki.

Po przekroczeniu sumarycznej szerokości rys 0,45 mm następuje ponowny wzrost prędkości propagacji, co najprawdopodobniej wynika ze zmiany charak-

teru procesu – przy dużych rysach fala akustyczna zaczyna propagować się poprzez zbrojenie.

Wnioski

Na podstawie przedstawionych wyników można stwierdzić, że uszkodzenia mają wpływ na prędkość rozchodzenia się fal podłużnych. Analizę tłumienia prędkości fali podłużnej w stosunku do sumarycznej szerokości rys przedstawia rysunek 4. Przy sumarycznej szerokości rys 0,3 mm prędkość fali maleje prawie dwukrotnie.

Analiza prędkości rozchodzenia się podłużnych fal akustycznych w elementach pod obciążeniem jest perspektywą opracowania metody nieniszczącej oceny stanu technicznego konstrukcji betonowych.

Literatura

- Dorobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A. (2007), *Metody lokalizacji wad konstrukcji betonowych – metoda młoteczkowa* (cz. II), „Przegląd budowlany”, nr 10.
- Gołaski L., Goszczyńska B., Świt G., Trąmpczyński W. (2010), *System monitoringu umożliwiający globalną ocenę stanu technicznego obiektów betonowych*, 56. Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, Krynica, wrzesień.
- Goszczyńska B., Świt G., Trąmpczyński W. (2011), *Diagnostyka i monitoring obiektów strunobetonowych z wykorzystaniem emisji akustycznej AE*, „Mosty”, nr 6.
- Hoła J., Schabowicz K. (2010), *Nieniszcząca diagnostyka obiektów budowlanych: przegląd wybranych najnowszych metod z przykładami zastosowań*, 56. Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, Krynica, wrzesień.
- PN-EN 1330-9: październik 2002. Badania nieniszczące. Terminologia. Część 9: Terminy stosowane w badaniach emisji akustycznej.
- Rose J.L. (2010), *Guided Waves. Successes and challenges for ultrasonic testing in NDT and SHM*, „Materials Evaluation”, No. 5, Vol. 68.
- Rucka M. (2011), *Guided wave propagation in structures. Modelling, experimental studies and application to damage detection*, Gdańsk.
- Świt G. (2008), *Metoda emisji akustycznej w analizie uszkodzeń konstrukcji betonowych wstępnie sprężonych*, Kielce.

Streszczenie

W pracy przedstawiono wpływ zarysowania na prędkość podłużnych fal akustycznych w elemencie żelbetowym pod obciążeniem. Badania przeprowadzono na belce o wymiarach 120 × 300 × 6300 mm wykonanej w zakładzie prefabrykacji. Pokazano, iż powstawaniu rys towarzyszy spadek prędkości propagacji fal nawet o ponad 50%. Analiza prędkości rozchodzenia się podłużnych fal akustycznych w elementach pod obciążeniem jest perspektywą opracowania

metody nieniszczącej oceny stanu technicznego konstrukcji betonowych. Efektem pomiaru jest spadek prędkości fal do pewnego poziomu degradacji materiału.

Słowa kluczowe: fala sprężysta, prędkość, tłumienie, emisja akustyczna, obciążenie, zarysowanie, konstrukcja żelbetowa, diagnostyka.

Analysis of damping the speed of longitudinal wave in a reinforced concrete element with a scratch

Abstract

This paper presents effect of cracks formation on the velocity of longitudinal acoustic waves in reinforced concrete element under load. Experiments were carried out on $120 \times 300 \times 6300$ mm prefabricated beams. It was found, that formation of cracks causes attenuation of elastic wave (acoustic) velocity of over 50%. Hence, analysis of the elastic wave velocity can be used for structures diagnosis.

Research will be carried out to develop non-destructive method for evaluation of technical state of reinforced concrete structures, which is based on the of longitudinal wave velocity.

Key words: elastic wave, velocity, attenuation, acoustic emission, load, scratch, reinforced concrete structure, diagnosis.