

Ultradźwiękowe badanie wytrzymałości wyrobów betonowych o złożonym kształcie geometrycznym

Ultrasound testing of strength for concrete products with complex geometric shape

Streszczenie

Gdy produkowany wyrób ulega uszkodzeniu lub zniszczeniu podczas użytkowania, to zawsze pojawia się pytanie o wytrzymałość materiału, z którego jest wykonany. W przypadku wyrobów o złożonym kształcie, małej grubości, zbadanie wytrzymałości może być trudne. Przykładem takiego wyrobu jest dachówka zakładkowa formowana z „suchej” zaprawy cementowej metodą prasowania. Do badań wykorzystano ultradźwięki. Zamiast klasycznych głowic walcowych o dużej powierzchni kontaktowej zastosowano głowice punktowe. Badano prędkość fali powierzchniowej w różnych obszarach dachówki, których grubość wynosiła od kilku do 40 mm. Wykazano, że miejsca cienkie są dużo słabsze od obszarów grubszych. W najslabszych, cienkich obszarach wytrzymałość była nawet kilkadziesiąt razy mniejsza niż w obszarach o większej grubości.

Słowa kluczowe: badania ultradźwiękowe, beton, wytrzymałość

Abstract

When the manufactured product is damaged or destroyed during use, the question about strength of the material from which it was made always appears. For products with complex shape and low thickness, strength testing can be difficult. One example of such product is the interlocking roof tile formed using 'dry' cement mortar by the pressing method. Ultrasounds are used for testing. Instead of conventional cylindrical heads with large contact area, spot heads were used. Surface wave velocity was tested in various areas of the roof tile the thickness of which was from several to 40mm. It was proven that thin areas are much weaker than thicker areas. In the weakest thin areas, strength was even several dozen times lower than in areas of higher thickness.

Keywords: Ultrasonic testing, beton, strength

Wstęp

Wiadomo, że o wytrzymałości betonu w wyrobie decydują co najmniej dwa równoważne czynniki. Jednym są parametry jakościowe mieszanki betonowej, a drugim technologia wykonania. O ile zagadnienia jakości mieszanki betonowej możemy badać w oparciu o istniejące normy [1, 2], to badanie wpływu technologii wykonania na parametry mechaniczne i fizyczne betonu w wyrobach o złożonych kształtach okazuje się istotnym problemem. Nieudolnie problem ten próbuje się rozwiązać przez makrobadań całego wyrobu. W przypadku np. pustaków betonowych, dla których

decydującym parametrem jest wytrzymałość na ściskanie, jest to rozwiązanie zadowalające, lecz gdy takie badanie przenosi się np. na dachówki, to uzyskiwany efekt informacyjny jest niezadowalający. Z pomocą w takich przypadkach przychodzą metody nieniszczące, a zwłaszcza metoda ultradźwiękowa [3, 4]. Informacje na temat takich badań są ciągle niewystarczające, trudno dostępne, a przez to stosowanie ich jest wciąż wąskie [5, 6]. Przykład zastosowania metody ultradźwiękowej do badania dachówek cementowych jest tematem niniejszego artykułu. Dachówki badane zgodnie z normami, określone jako dobre jakościowo, na dachu często nie spełniają swojej funkcji.

Dr hab. inż. Bohdan Stawiski prof. nadzw. – Politechnika Wroclawska.

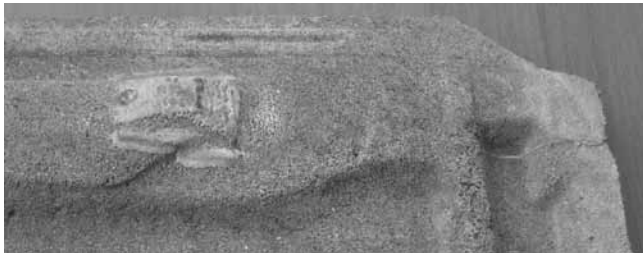
Autor korespondencyjny/Corresponding author: bohdan.stawiski@pwr.wroc.pl

Geneza podjętych badań

W nowym budynku, po każdej zimie, na powierzchni dachu i w rynnach znajdowały się odłamane naroża dachówek (rys. 1). Po oczyszczeniu dachu z pozostałości, uszkodzone dachówki wymieniano na nowe. Taki stan nie może być akceptowany [7]. Uszkodzone pokrycie dachówkowe nie gwarantuje właściwego zabezpieczenia budynku przed wodą opadową (rys. 2). Pojawia się pytanie o przyczynę obserwowanych uszkodzeń. W pierwszej kolejności podejrzewana jest wada materiałowa. Jednak dokumenty producenta potwierdzają spełnienie stawianych dachówkom wymagań i dobrą jakość dostarczonego wyrobu.

Badany dach miał małe nachylenie i płatki przeciwnieogone, które zatrzymują śnieg. Obciążenie dachu śniegiem w takim przypadku jest duże, a uszkodzenia w postaci odłamanych fragmentów dachówek powtarzają się po okresie zimowym.

Podjęto więc badania mające na celu określenie cech wytrzymałościowych materiału, szczególnie w obszarach występujących uszkodzeń, a także badania współpracy dachówek ze sobą pod obciążeniem śniegiem.



Rys. 1. Przykład odłamanego naroża dachówki
Fig. 1. Example of chipped corner of the roof tile



Rys. 2. Odłamane naroże dachówki otwiera drogę dla wody do wnętrza dachu
Fig. 2. Chipped corner of the roof tile opens the way for water to the roof interior

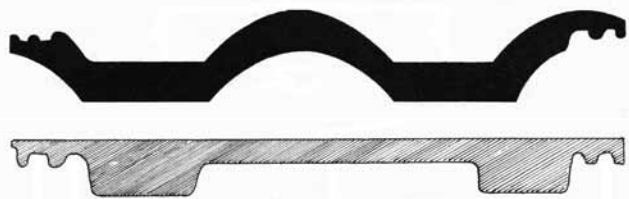
Metoda badania

Znormalizowane badania kontrolne dachówek przewidują sprawdzanie siły łamiącej dachówkę po 28 dniach od wyprodukowania [2]. Nie przewiduje się sprawdzenia wytrzymałości zaprawy, z której wykonany jest wyrób. Obserwowane uszkodzenia dachówek jednoznacznie wskazują, że uszkadzają się (odłamują) fragmenty dachówek (najczęściej naroża), a nie ulegają złamaniu całe dachówki. Dachówka ze złamanym narożem przeniesie takie samo obciążenie jak dachówka nieuszkodzona. Celowe więc byłoby sprawdzenie

wytrzymałości kompozytu, z którego wyprodukowano dachówkę przynajmniej w obszarach występujących uszkodzeń. Jediną metodą, nie nadmiernie skomplikowaną, która może dać odpowiedź na pytanie o rozkład wytrzymałości w dachówce, jest metoda ultradźwiękowa. Metoda ta została wsparta badaniami wizualnymi oraz pomiarami geometrii dachówek, a dokładniej ich zwichrzenia.

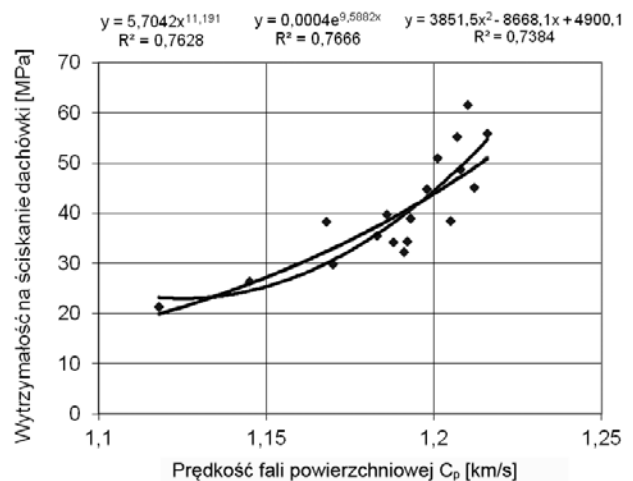
Do badań ultradźwiękowych zastosowano zestaw pomiarowy złożony z próbnika materiałów Unipan 541, współpracującego z głowicami „punktowymi” o częstotliwości 40 kHz. Głowice nadawczą i odbiorczą umieszczano na tej samej powierzchni (badano dachówki po stronie spodniej). Mierzono czas przejścia fali powierzchniowej na stałej bazie pomiarowej 35 mm.

Przekroje poprzeczne dachówek na ogół są mocno urozmaicone pod względem kształtu i grubości (rys. 3).



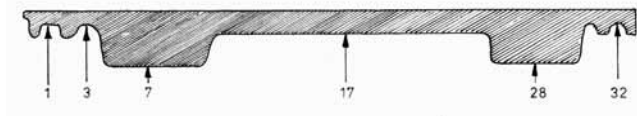
Rys. 3. Przekrój poprzeczny dwóch typów dachówek
Fig. 3. Cross sections for two types of roof tiles

Badaniom poddano dachówki płaskie. Ponieważ celem badań było określenie rozkładu wytrzymałości na ściskanie w różnych miejscach dachówek, należało określić zależność między wytrzymałością zaprawy a mierzoną prędkością fali powierzchniowej C_p . Z kilku dachówek wycięto z grubszych miejsc beleczki o wymiarach 4x4 lub 4x16 cm, które badano ultradźwiękami, a następnie w maszynie wytrzymałościowej określano siłę niszczącą i wytrzymałość na ściskanie. Wyznaczono zależność korelacyjną $f_c = f(C_p)$ (rys. 4), z której obliczano wytrzymałość zaprawy w dachówkach.



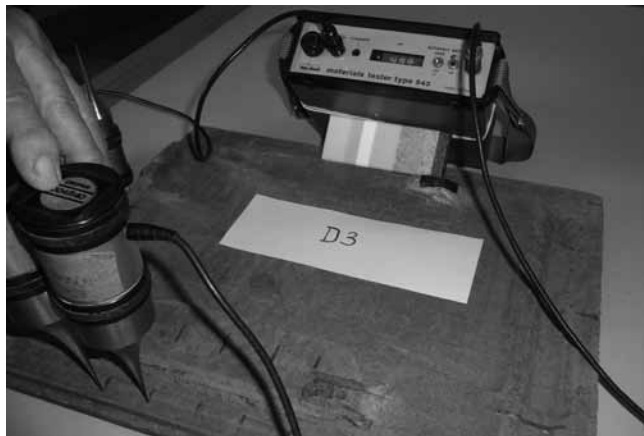
Rys. 4. Zależność korelacyjna między prędkością fali powierzchniowej C_p a wytrzymałością na ściskanie f_c próbek wyciętych z dachówek
Fig. 4. Correlation dependence between surface wave velocity C_p and compressive strength f_c , for samples cut from roof tiles

Dachówki badano ultradźwiękami za pomocą główek punktowych, w miejscach pokazanych na rysunkach 5 i 6. Ponadto badano wytrzymałość kompozytu w strefie odłamanych naroży.



Rys. 5. Przekrój poprzeczny dachówki. Strzałkami pokazano miejsca na szerokości przekroju, w których określano prędkość fali C_p i wytrzymałość betonu f_c

Fig. 5. Cross section of the roof tile. The arrows indicate points in the cross section width where wave velocity C_p and concrete strength f_c were determined



Rys. 6. Pomiar czasu przepływu impulsu przez badany materiał na stałej bazie $l = 35$ mm

Fig. 6. Measuring the time of impulse flow through the tested material on fixed base $l = 35$ mm

Zbadano 10 dachówek, w tym 4 z uszkodzeniami (odłamane naroża) i 6 bez uszkodzeń (niewbudowanych).

Uśrednione wytrzymałości kompozytu cementowego (betonu) w badanych obszarach podano w tablicy I.

Tablica I. Średnia wytrzymałość kompozytu cementowego, w badanych obszarach dachówek (w MPa)

Table I. Mean strength of cement composite, in the tested areas of roof tiles (in MPa)

Nr dachówki	Obszar badania						
	1	3	7	17	28	32	strefa przy odłamie
U1	23,19	43,90	74,14	26,84	75,37	0,82	14,27
U2	21,49	45,81	52,60	36,38	58,29	14,49	12,62
U3	23,19	63,68	64,93	24,30	55,35	10,54	11,65
U4	22,75	69,03	63,74	24,69	63,52	0,68	12,17
D1	19,48	60,67	71,74	24,97	47,90	11,23	
D2	31,11	36,64	58,68	26,22	58,26	12,78	
D3	18,32	59,93	46,22	52,69	51,41	9,67	
D	23,24	37,45	43,87	16,29	41,12	14,04	
D5	10,25	33,21	44,98	21,49	46,21	13,33	
D6	13,69	36,82	62,70	22,54	54,72	12,74	
średnia	20,67	48,71	58,36	27,64	55,21	11,83	12,67
odchylenie standardowe	5,75	13,30	10,99	10,14	9,67	5,12	1,13

Dyskusja wyników badań

Skrajne (zakładkowe) fragmenty dachówek (rys. 5) oznaczone liczbami 1 i 32 są najsłabsze. Średnia wytrzymałość to 11,8 i 20,6 MPa. Również strefa środkowa ma zbliżoną wytrzymałość 27,6 MPa (rys. 7, 8). W sąsiedztwie odłamanych naroży wytrzymałość tworzywa cementowego dachówek jest również niska, wynosi 11÷14 MPa (tabl. I).



Rys. 7. Rozkład wytrzymałości na ściskanie kompozytu cementowego w dachówkach uszkodzonych

Fig. 7. Distribution of compressive strength for cement composite in damaged roof tiles



Rys. 8. Rozkład wytrzymałości na ściskanie kompozytu cementowego w dachówkach nowych

Fig. 8. Distribution of compressive strength for cement composite in new roof tiles

Najwyższą wytrzymałość mają najgrubsze pasma w dachówkach. Osiągnęły one w badanych elementach średni poziom 55÷58 MPa. W trakcie normatywnego badania na złamanie to te fragmenty decydują o wielkości siły niszczącej, a odłamują się naroża nawet czterokrotnie słabsze. Pod obciążeniem (szczególnie śniegiem) słabsze części dachówek, bardzo cienkie, odłamują się. Bardzo ważnym parametrem jest także rozrzut wyników wokół średniej, którego miarą jest odchylenie standardowe. W obszarach mocnych (środkowych) odchylenie standardowe jest duże, ponad 10 MPa, w skrajnych pasach dachówek odchylenie liczbowo jest mniejsze (ponad 5 MPa), ale w stosunku do wartości średniej 11,83 MPa jest bardzo duże. W dwóch z czterech uszkodzonych dachówek średnia wartość w tym skrajnym pasie była niższa od 1 MPa. Pomiary geometrii dachówek wykazały dość znaczne deformacje z płaszczyzny (rys. 9), znacznie przekraczające wartości dopuszczalne, nawet dwukrotnie.

Deformacje, w połączeniu z dużym obniżeniem wytrzymałości w skrajnych obszarach są przyczyną łamania dachówek.



Rys. 9. Znaczna deformacja dachówki, wygięcie z płaszczyzny wynosi 5 mm

Fig. 9. Considerable deformation of the roof tile, bending from the plane is 5 mm

Wnioski

Poprawa jakości produkowanej dachówki cementowej będzie możliwa wtedy, kiedy poprawiona zostanie jednorodność kompozytu cementowego w wyrobie. Badania ultradźwiękowe okazały się bardzo dobrym narzędziem do wykrywania obszarów o zaniżonych parametrach wytrzymałościowych. Niewątpliwie przyczyną wysokiej niejednorodności tworzywa cementowego w dachówce są niedostatki technologii prasowania i dojrzewania, która nie zapewnia równomiernego zagęszczenia mieszanki na całej powierzchni. Obszary bardzo cienkie

(kilkumilimetrowe) prawdopodobnie nie uzyskują takiego samego stopnia zhydratyzowania jak obszary o większej grubości (kilkadziesiąt milimetrów). Po szybkim odparowaniu wody z masy cementowej proces hydratacji jest zatrzymany i nie następuje również przyrost wytrzymałości.

Gdyby kontrola produkowanych dachówek zakładała sprawdzenie niejednorodności cech mechanicznych w dachówkach np. metodą ultradźwiękową, to wymuszałoby to poprawę technologii produkcji, a w konsekwencji jakości wyrobów. Ograniczenie metody kontrolnej do sprawdzenia tylko siły łamiącej jest nadmiernym uproszczeniem i nie odpowiada oczekiwaniom.

Literatura

- [1] PN-EN 490:2012. Concrete roofing tiles and fittings for roof convering and wall cladding – Product specifications.
- [2] PN-EN 491:2006. Dachówki i kształtki dachowe cementowe do pokryć dachowych i okładzin ściennych.
- [3] Gudra T., Stawiski B.: Charakterystyka głowic ultradźwiękowych do badania betonu za pomocą fal powierzchniowych [w:] Materiały XXXVIII Otwartego Seminarium z Akustyki OSA-91, IPPT PAN, Warszawa 1991, s. 93-96.

- [4] Stawiski B.: Wizualne i ultradźwiękowe badania dachówek ceramicznych [w:] Materiały 37 Krajowej Konferencji Badań Nieniszczących, Sobieszowo 2008, s.105-109.
- [5] Gudra T., Stawiski B.: Non-destructive strength characterization of concrete using surface waves. NDT&EInt. 2000 vol. 33 nr 1, s. 1-6.
- [6] Stawiski B.: Ultradźwiękowe badania betonów i zapraw głowicami punktowymi. Oficyna wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Monografie Nr 39, 2009.
- [7] Schabowicz K.: Wady i uszkodzenia pokryć dachowych z dachówek cementowych. Izolacje Nr 4, 2009, s. 30-32.