

Analiza przyczyn pęknięcia płyt kamiennych w podłogach wielkopowierzchniowych

JERZY HOŁA*, ŁUKASZ SADOWSKI
Politechnika Wrocławska

Streszczenie: W pracy przeanalizowano przyczyny pęknięcia płyt kamiennych w podłogach wielkopowierzchniowych stosowanych w dużych reprezentacyjnych obiektach handlowych i użyteczności publicznej. Dokonano tego na podstawie własnych przypadków diagnostycznych, w nawiązaniu do stosowanej w praktyce budowlanej technologii układania tych płyt. Wykazano, że pęknięcie powodowane jest przede wszystkim istotnymi nieprawidłowościami popełnionymi na etapie wykonawczym, w przygotowaniu podłoża cementowego pod płyty. Zasygnalizowano niedoceniony w praktyce problem badań kontrolnych takich podłóg metodami nieniszczącymi, przed przekazaniem do użytkowania, pozwalających wykryć i zlokalizować potencjalne nieprawidłowości. Wskazano przydatne do tego celu nieniszczące metody badawcze, zamieszczono uzyskane z ich pomocą przykładowe rezultaty badań dla podłogi z wierzchnią warstwą wykonaną z płyt marmurowych.

Słowa kluczowe: podłogi wielkopowierzchniowe; warstwa wierzchnia; płyty kamienne; nieprawidłowości wykonawcze; pęknięcie; nieniszczące metody badań

1. Wprowadzenie

Podłogi wielkopowierzchniowe w dużych reprezentacyjnych obiektach handlowych i użyteczności publicznej bardzo często posiadają warstwę wierzchnią wykonaną z płyt kamiennych, najczęściej marmurowych. Wymiary płyt w rzucie poziomym są znaczne i wynoszą zazwyczaj 500´ 500 mm, 500´ 1000 mm, 1000´ 1000 mm, a ich minimalna grubość wynosi 30 mm. Podczas użytkowania, ale również na etapie wykonywania w obiekcie robót wykończeniowych, obciążenie dla tych podłóg stanowi nie tylko ruch pieszy, ale również wózki akumulatorowe rozwożące materiały budowlane i towar do punktów handlowych, wózki myjek mechanicznych, rusztowania wykorzystywane podczas prac naprawczych i konserwacyjnych, itp.

Od podłóg z wierzchnią warstwą kamienną oczekuje się, poza wysokimi walorami estetycznymi, dużej trwałości i bezpiecznego użytkowania [1–3]. Oczekiwania te nie zawsze są spełnione. Jak dowodzi praktyka budowlana, w niektórych obiektach płyty kamienne wbudowane w podłogę pękają już po krótkotrwałej eksploatacji. Pękają pojedyncze płyty albo zespoły złożone z kilku lub kilkunastu płyt i zazwyczaj wraz z upływem czasu liczba tych uszkodzeń intensyfikuje się. Na podstawie kilku zdiagnozowanych przez autorów takich podłóg ustalono pewne powtarzające się przyczyny i nieprawidłowości występujące na etapie

*Autor do korespondencji: jerzy.hola@pwr.edu.pl

wykonawczym, odpowiedzialne za ten stan rzeczy. Celem pracy jest podzielenie się tą wiedzą, a ponadto zwrócenie uwagi na nieniszczące metody przydatne w badaniach takich podłóg, zarówno przed przekazaniem ich do użytkowania jak również podczas eksploatacji.



Rys. 1. Przykładowe podłogi wielkopowierzchniowe w dużych reprezentacyjnych obiektach handlowych z wierzchnią warstwą kamienną.

2. Ważniejsze wymagania techniczne i technologiczne

Tablica 1. Zestawienie podstawowych wymagań technicznych i technologicznych dotyczących wykonania warstwy wierzchniej z płyt kamiennych w podłogach wielkopowierzchniowych

Podstawowe wymagania techniczne i technologiczne	
Grubość płyt kamiennych	Zgodna z projektem, ale minimum 30 mm
Właściwości wytrzymałościowe płyt kamiennych	<ul style="list-style-type: none"> – Twardość w skali Mohsa minimum 4, – Wytrzymałość na zginanie minimum 13 MPa.
Pęknięcia płyt kamiennych	Nie są dopuszczalne
Warunki wykonywania	<ul style="list-style-type: none"> – Sukcesywne układanie mieszanki cementowej, o konsystencji wilgotnej, stanowiącej podłoże pod płyty, – Wyrównanie świeżego podłoża, sukcesywne i równomierne rozprowadzenie na jego powierzchni mlecza cementowego stanowiącego warstwę szepną, – Sukcesywne układanie na podłożu płyt kamiennych, – Wypoziomowanie każdej ułożonej płyty kamiennej.
Wymagania odnośnie do podłoża cementowego	<ul style="list-style-type: none"> – Klasa zaprawy cementowej minimum C16/20, – Warstwa szepna z mlecza cementowego będącego mieszaniną cementu portlandzkiego CEM I 52,5 R i wody, w stosunku wagowym 1:3, rozprowadzonego równomiernie na podłożu.
Spoiny między płytami kamiennymi	<ul style="list-style-type: none"> – Szerokość minimum 2 mm, – Wypełnienie spoin zaprawą cementową na bazie cementu portlandzkiego CEM I 52,5 R i piasku kwarcowego frakcji od 0,2 do 0,8 mm.
Wymagania odnośnie do szczelin dylatacyjnych	<ul style="list-style-type: none"> – Szerokość i długość pola dylatowanego 6 m, – Wypełnienie szczelin dylatacyjnych masą elastyczną i zamaskowanie metalowymi profilami systemowymi.
Nierówności górnej powierzchni wierzchniej warstwy kamiennej	<ul style="list-style-type: none"> – Odchyłki dodatnia i ujemna nie większe niż 5 mm na długości 2,5 m, – Skorygowanie wymaganej równości powierzchni poprzez mechaniczne szlifowanie płyt za pomocą tarcz diamentowych i dysków resibondowych.

Stosowana zazwyczaj w praktyce technologia wykonania w podłogach wielkopowierzchniowych wierzchniej warstwy z płyt kamiennych nie jest skomplikowana. Przewiduje ona układanie tych płyt na warstwie betonu spoczywającego na gruncie, albo na stropie żelbetowym, za pośrednictwem podłoża którym jest kilkucentymetrowej grubości warstwa zaprawy

cementowej o konsystencji wilgotnej. Bezpośrednio po ułożeniu mieszanki i wyrównaniu świeżej warstwy równomiernie rozprowadzane jest na jej powierzchni mleczko cementowe, stanowiące warstwę szepną podłoża z płytami. Na tak sukcesywnie przygotowywanym podłożu cementowym sukcesywnie układane są płyty kamienne. W tab. 1 zestawiono podstawowe wymagania techniczne i technologiczne dotyczące wykonania warstwy wierzchniej z płyt kamiennych.

3. Opis i analiza przyczyn pękania płyt

Jak już to zasygnalizowano we wprowadzeniu występują nieodosobnione przypadki, że płyty kamienne wbudowane w warstwę wierzchnią podłóg wielkopowierzchniowych pękają często już po krótkotrwałym użytkowaniu, a wraz z upływem czasu proces ujawniania się tych uszkodzeń intensyfikuje się ilościowo. Pękają pojedyncze płyty, w różnych rejonach podłogi, ale również zdarzają się sytuacje, że pęka kilka płyt sąsiadujących ze sobą. Pęknięcia te można określić mianem „typowe”. Objawiają się one w postaci:

- przełamania równoległych do boku lub wzdłuż przekątnej płyt (rys. 2),
- odłamań naroży płyt (rys. 3),
- dużych miejscowych wyszczerbień, wgnieceń, wykruszeń krawędziowych (rys. 3).

Linie pęknięć zazwyczaj nie są idealne i charakteryzują się drobnymi wyszczerbieniami i wykruszeniami. Odłamane naroża często „zapadają się” i po czasie tworzą skośne powierzchnie niebezpieczne przede wszystkim dla ruchu pieszych, podobnie jak wykruszenia krawędziowe. W zdecydowanej większości uszkodzone w ten sposób płyty nie nadają się do naprawy i muszą zostać wymienione na nowe.

Podczas diagnozowania przez autorów kilku takich podłóg ustalono, że pęknięcia płyt kamiennych są spowodowane przede wszystkim istotnymi nieprawidłowościami popełnionymi na etapie wykonawczym dotyczącymi niewłaściwego sposobu przygotowania podłoża, mianowicie:

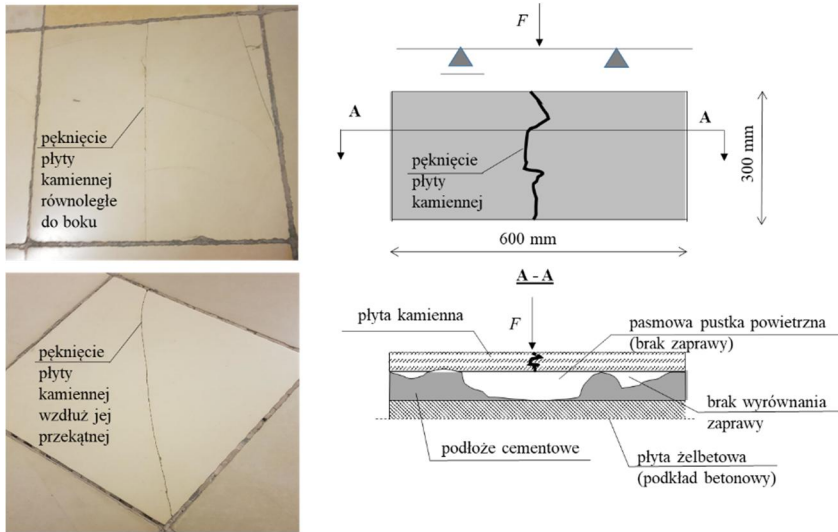
- pasmowymi brakami zaprawy cementowej pod płytami i brakiem jej wyrównania,
- miejscowymi brakami zaprawy cementowej, szczególnie w narożach i w rejonie krawędzi płyt.

Ponadto przyczynami są:

- wbudowanie płyt kamiennych o grubości mniejszej od zaprojektowanej,
- brak skutecznego nadzoru technicznego w zakresie przygotowania podłoża i układania płyt.

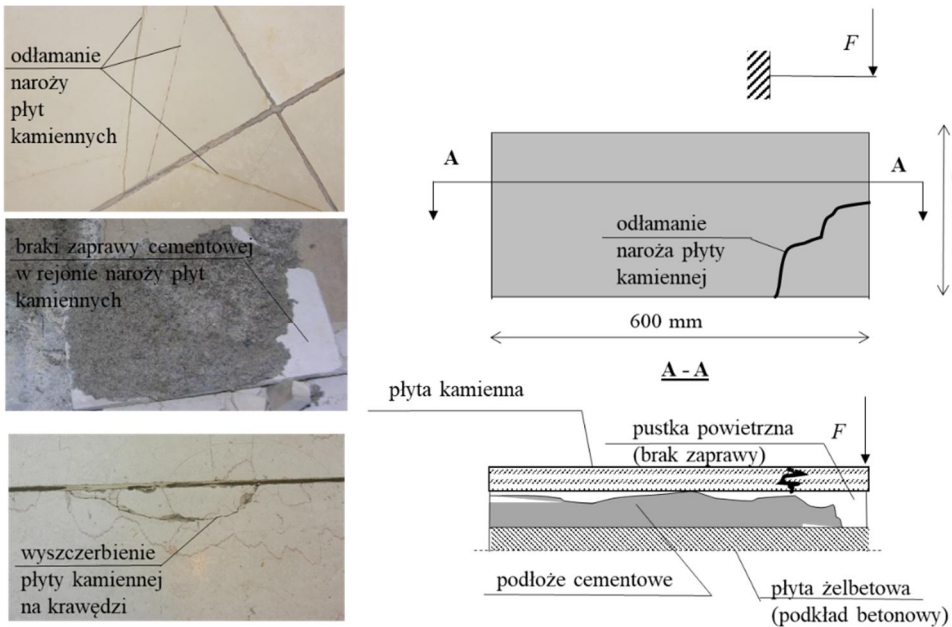
Pasmowe braki zaprawy cementowej pod płytami i brak jej wyrównania są nieprawidłowościami technologicznymi skutkującymi pękaniem po najechnaniu na takie miejsca na przykład kołem wózka akumulatorowego obciążonego materiałami budowlanymi rozwożonymi na etapie wykończeniowym obiektu lub towaru w czasie jego eksploatacji. Mechanizm pękania płyt w takiej sytuacji wyjaśnia rys. 2.

Brak zaprawy cementowej w rejonie naroży lub krawędzi płyty także jest nieprawidłowością technologiczną mającą miejsce wtedy gdy płyty ułożone zostały na tzw. „plackach” zaprawy cementowej. Wtedy naroża stają się wspornikami podatnymi na odłamanie się nie tylko podczas najechnania na nie kołem obciążonego wózka, ale też na przykład uderzeniem albo punktowym obciążeniem od ustawianych rusztowań wykorzystywanych do prac naprawczych i konserwacyjnych. Mechanizm pękania naroży płyt wyjaśnia rys. 3.



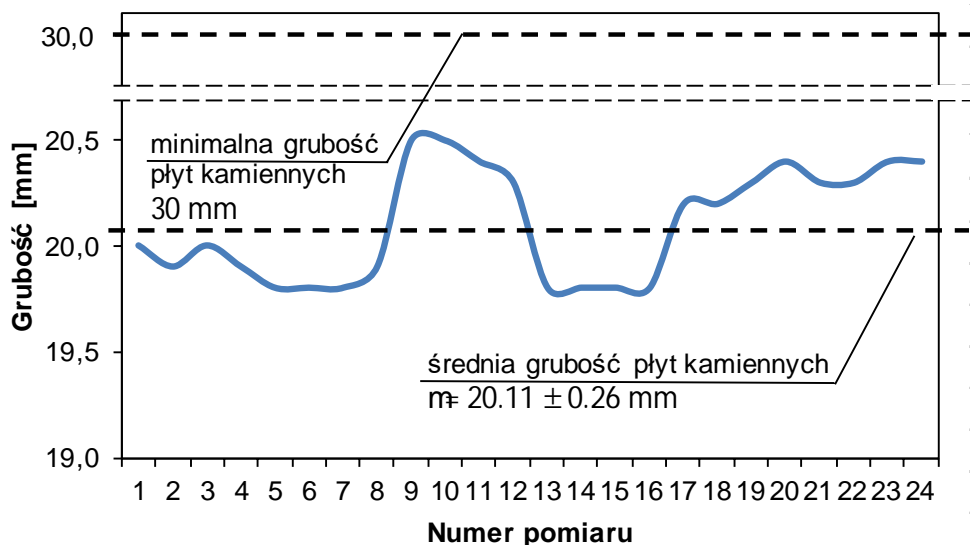
Rys. 2. Mechanizm pękania płyt kamiennych w eksploatowanych podłogach.

Brak zaprawy cementowej w rejonie naroży lub krawędzi płyty także jest nieprawidłowością technologiczną mającą miejsce wtedy gdy płyty ułożone zostały na tzw. „plackach” zaprawy cementowej. Wtedy naroża stają się wspornikami podatnymi na odłamanie się nie tylko podczas najechania na nie kołem obciążonego wózka, ale też na przykład uderzeniem albo punktowym obciążeniem od ustawianych rusztowań wykorzystywanych do prac naprawczych i konserwacyjnych. Mechanizm pękania naroży płyt wyjaśnia rys. 3.



Rys. 3. Mechanizm pękania płyt kamiennych w eksploatowanych podłogach gdy występują miejscowe braki zaprawy cementowej w rejonie naroży lub krawędzi.

W sytuacji występowania analizowanych wyżej nieprawidłowości wykonawczych kumulującą się z nimi przyczyną, zwiększającą podatność płyt kamiennych na pękanie, może być za mała ich grubość w stosunku do projektowanej. Przykładem takiej sytuacji jest jedna z podłóg wielkopowierzchniowych z wierzchnią warstwą wykonaną z płyt marmurowych, dla której w projekcie przyjęto grubość 30 mm, a na etapie wykonawczym zmieniono ją na 20 mm. Rezultaty pomiaru grubości płyt w tej podłodze podano na rys. 4.



Rys. 4. Rezultaty pomiaru grubości wyciętych z podłogi próbek płyt kamiennych marmurowych (opracowanie własne na podstawie wyników badań opublikowanych w [4]).

W celu uzyskania pełniejszej wiedzy w kwestii wpływu stwierdzonej mniejszej grubości płyt marmurowych na zwiększenie ich podatności na pękanie wykonano badania wytrzymałościowe próbek losowo pobranych z tych płyt [4]. Zgodnie z normą [5] określono ich wytrzymałość na zginanie. Z płyt wycięto 24 próbki o długości od 120 do 150 mm, szerokości od 50 do 60 mm i grubości około 20 mm. Wytrzymałość na zginanie każdej próbki R_t , obliczono z zależności:

$$R_t = 3 F l / 2 b h^2, \quad (1)$$

gdzie:

F – obciążenie niszczące [kN],

b – szerokość próbki [mm],

h – grubość próbki [mm],

l – odległość pomiędzy rolkami podpierającymi próbkę [mm].

W badaniach próbek przyjęto stałą odległość między podporami równą 100 mm i przyrost siły powodujący wzrost naprężeń o 0,25 MPa/s. W tabelicy 2 podano uzyskane wyniki badań wytrzymałości na zginanie oraz wytrzymałości deklarowane przez producenta dla płyt o grubości 30 mm.

Komentując rezultaty przedstawione w tabelicy 2 należy zauważyć, że mniejsza grubość badanych płyt marmurowych, wynosząca średnio 20,11 mm zamiast 30 mm, wpływa na niższe o około 13% średnie wartości wytrzymałości na zginanie R_t w stosunku do deklarowanej przez producenta.

Tablica 2. Wyniki badań wytrzymałości na zginanie próbek płyt marmurowych przeprowadzonych zgodnie z [5] i deklarowanych przez producenta (opracowanie własne na podstawie wyników badań opublikowanych w [4])

Badana cecha	Wytrzymałość średnia na zginanie R_t [MPa]	
	Przeprowadzona na podstawie badań zgodnie z [5]	Wartość deklarowana
Obciążenie łamiące próbkę [kN]	1,96	2,15
Wytrzymałość średnia na zginanie R_t [MPa]	12,20	13,80
Wartość maksymalna R_{tmax} [MPa]	17,10	15,60
Wartość minimalna R_{tmin} [MPa]	9,15	11,00
Odchylenie standardowe σ wartości [MPa]	2,00	1,73
Współczynnik zmienności c_v [-]	0,16	0,13

To, że w praktyce budowlanej dochodzi na etapie wykonawczym do istotnych nieprawidłowości w przygotowaniu podłoża betonowego pod płyty kamienne jak również do zmiany grubości tych płyt na mniejszą niż w projekcie wskazuje na brak skutecznego, lub na zaniedbania w zakresie skutecznego nadzoru technicznego. Należy zauważyć, że „wychwycenie” nieprawidłowości popełnionych w przygotowaniu podłoża pod płyty kamienne na etapie końcowego odbioru jakościowego podłogi jest mało realne. Zwraca się wtedy uwagę przede wszystkim na ogólną estetykę wykonania, a badania kontrolne w zakresie zespolenia płyt kamiennych z podłożem z wykorzystaniem przydatnej do tego celu nieniszczącej aparatury badawczej należą do rzadkości. Zazwyczaj kontrola polega na wrywkowym ostukaniu powierzchni podłogi drewnianym elementem i postawieniu subiektywnej diagnozy na podstawie braku, albo stwierdzenia, tzw. „głuchego odgłosu”. Bardzo polecane jest w tej sytuacji stosowanie przydatnych do tego celu nieniszczących metod badawczych odpowiedzi na impuls (impulse response) i młoteczkowej (impact-echo), co rozwinięto niżej.

4. Metody nieniszczące polecane do badania podłóg wielkopowierzchniowych z wierzchnią warstwą z płyt kamiennych

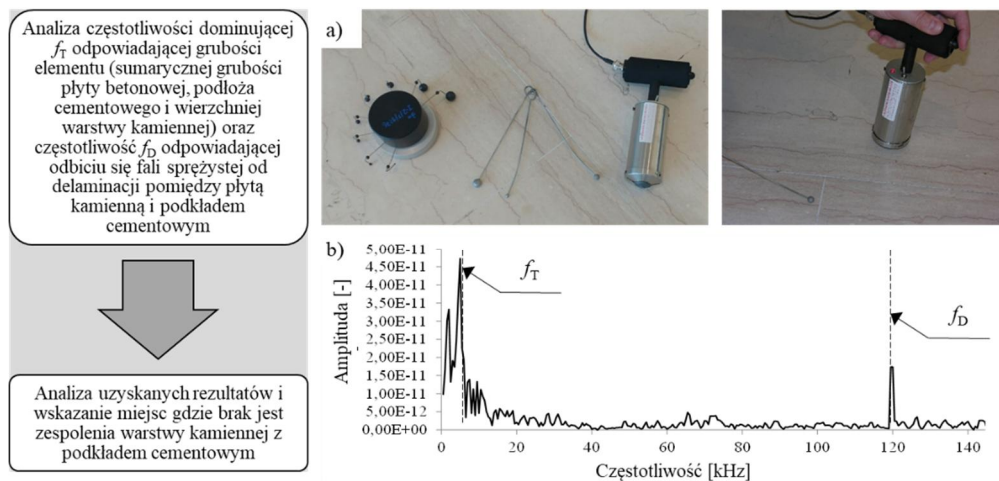
Do badania wielkopowierzchniowych podłóg z wierzchnią warstwą z płyt kamiennych autorzy polecają metody nieniszczące, zaliczane do grupy metod akustycznych, odpowiedzi na impuls i młoteczkową [6, 7]. Mogą one być przydatne zarówno podczas odbioru dokonywanego przed dopuszczeniem do użytkowania jak i w sytuacji, gdy podłoga jest użytkowana i należy ją zdiagnozować.

Metoda odpowiedzi na impuls nadaje się do szybkiego przeszukiwania dużych powierzchni i wykrywania pustek powietrznych pod płytami i delaminacji na styku z podłożem cementowym. Badania polegają na naniesieniu na badanych fragmentach powierzchni podłogi siatki punktów badawczych w odległościach 1000 mm, a następnie dokonaniu w tych punktach wzbudzenia fali sprężystej za pomocą specjalnego młotka z gumową końcówką, rejestracji tej fali za pomocą geosłuchawki i określeniu na przykład wartości parametrów średniej zmienności dynamiki drgań N_{av} oraz sztywności dynamicznej K_d (rys. 5). Na bazie uzyskanych rezultatów należy sporządzić i poddać analizie mapy rozkładu wartości tych parametrów na powierzchni badanego fragmentu podłogi. Lokalne zwiększenie się na analizowanej mapie wartości parametru średniej zmienności oraz towarzysząca mu niska wartość parametru sztywności oznaczają podatność podłogi do „uginania się”, co wskazuje na obecność pustek powietrznych pod płytami, na brak zespolenia pomiędzy warstwami. Przykładowe rezultaty badań zawiera rys. 5.



Rys. 5. Przykładowe badania zespolenia płyt kamiennych z podkładem cementowym w podłodze wielkopowierzchniowej nieniszczącą metodą odpowiedzi na impuls: a) widok badania, b) wyniki badań w postaci map rozkładu parametrów N_{av} i K_d .

Natomiast szczegółowe badania z wykorzystaniem nieniszczącej metody młoteczkowej prowadzone są zazwyczaj w miejscach wytypowanych metodą odpowiedzi na impuls jako „wadliwe”. W metodzie tej siatka punktów badawczych ulega zagęszczeniu do 100 mm. Przykładowe rezultaty badań w jednym z takich punktów ilustruje rys. 6.



Rys. 6. Szczegółowe badania zespolenia płyt kamiennych z podkładem cementowym nieniszczącą metodą młoteczkową: a) widok aparatury do badań, b) widmo amplitudowo-częstotliwościowe w jednym z punktów badawczych.

W pokazanym na rys. 6 widmie amplitudowo-częstotliwościowym można wyróżnić częstotliwość dominującą f_T odpowiadającą grubości elementu (sumarycznej grubości płyty stropowej, podłoża cementowego i wierzchniej warstwy kamiennej) oraz częstotliwość f_D odpowiadającą odbiciu się fali sprężystej od pustki powietrznej albo od delaminacji pomiędzy powierzchnią warstwą kamienną i podkładem cementowym. Na podstawie tych badań możliwe jest precyzyjne zlokalizowanie miejsc gdzie brak jest zespolenia wierzchniej warstwy

kamiennej z podkładem cementowym. Uwiarygodnienia badań nieniszczących, należy dokonać poprzez wykonanie odkrywki, lub odkrywek, w losowo wybranych miejscach.

5. Podsumowanie

W pracy przedstawiono problem pękania płyt kamiennych stanowiących warstwę wierzchnią w podłogach wielkopowierzchniowych stosowanych zazwyczaj w reprezentacyjnych obiektach handlowych i użyteczności publicznej. Do pękania tych płyt dochodzi często już po krótkotrwałej eksploatacji. Mając na uwadze to, że od podłóg z wierzchnią warstwą kamienną oczekuje się zarówno wysokich walorów użytkowych jak i dużej trwałości oraz bezpieczeństwa użytkownika uznano problem pękania za ważny i wymagający omówienia i nagłośnienia. Opisano stosowaną w praktyce budowlanej technologię układania płyt kamiennych w tych podłogach. Na podstawie własnych przypadków diagnostycznych zebrano i przeanalizowano przyczyny pękania. Wykazano, że jest to powodowane nieprawidłowościami popełnionymi na etapie wykonawczym w przygotowaniu podłoża cementowego pod płyty, stosowaniem płyt kamiennych o grubości mniejszej niż wynika to z projektu, brakiem skutecznego nadzoru technicznego na tym etapie. Zasygnalizowano niedoceniany w praktyce problem badań kontrolnych tych podłóg przed oddaniem ich do użytkowania, za pomocą wiarygodnych nieniszczących metod badawczych, pozwalających wykryć i zlokalizować te nieprawidłowości. Wskazano w pracy metody przydatne do tego celu. Podane informacje o tych metodach wzbogacono przykładowymi wynikami z badań własnych.

Literatura

1. Drozd W., Kowalik M.: Współczesne posadzki przemysłowe. Przegląd Budowlany, nr 7–8/2014, s. 34–39.
2. Nowobilski T., Hoła B.: Bardziej i mniej znane posadzki dla budownictwa mieszkaniowego. Builder, nr 21 (3)/ 2017, s. 84–87.
3. Chmielewska B., Czarniecki L.: Wymagania norm dotyczące posadzek przemysłowych. Materiały Budowlane, nr 2/2012, s. 5–9.
4. Hoła J., Sadowski Ł., Nowacki A.: Analysis of the causes of cracks in marble slabs in a large-surface floor of a representative commercial facility. Engineering Failure Analysis, nr 97/2019, s. 1–9.
5. PN-EN 12372:2007. Metody badań kamienia naturalnego. Oznaczanie wytrzymałości na zginanie pod działaniem siły skupionej.
6. Sadowski Ł., Hoła A., Hoła J.: Methodology for controlling the technological process of executing floors made of cement-based materials. Materials, nr. 13(4)/ 2020.
7. Runkiewicz L.: Diagnostyka obiektów budowlanych. Cz. 2. Badania i oceny elementów i obiektów budowlanych / red., Wydawnictwo Naukowe PWN SA., Warszawa 2021.

Analysis of the causes of cracking of stone slabs in large-area floors

Key words: large-area floors; top layer, stone slabs, executive irregularities, cracking, non-destructive testing methods