

dr inż. Marzena Kurpińska*

Uszkodzenia wielowarstwowych posadzek betonowych

Damages of multilayer concrete floors

Posadzki przemysłowe są podatne na uszkodzenia. Temat wad posadzek i ich naprawy jest też często przedmiotem publikacji [1, 2]; również w miesięczniku „Materiały Budowlane” obszernie omówiono ten problem [3]. W artykule opisano zjawisko uszkodzenia wielowarstwowej posadzki betonowej, której górną warstwę wykonano z materiału trudnościeralnego grubości ok. 20 mm. Warstwa trudnościeralna została wyszlifowana i wypolerowana. Jest to przykład posadzki często wykonywanej w budynkach użyteczności publicznej.

Projekt posadzki

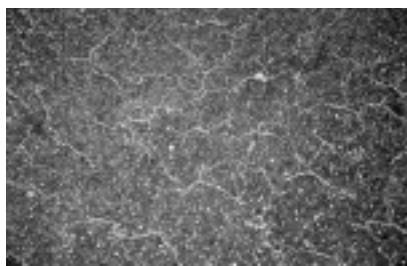
Omówię dwa rozwiązania posadzek P1 i P2. Posadzka P1 wykonana została na konstrukcyjnej płycie żelbetowej, a P2 na żelbetowej płycie stropowej. Zgodnie z projektem **posadzka P1 ma następujące warstwy**, począwszy od góry: warstwa trudnościeralna grubości 18 mm; mineralny mostek szepny; wylewka betonowa – beton C20/25 zbrojony włóknami stalowymi 25 kg/m³ i włóknami polipropylenowymi 0,9 kg/m³ grubości **60 mm**; 2 x folia polietylenowa 0,2 mm klejona na zakład; styropian EPS 200 grubości 100 mm; folia polietylenowa 0,2 mm klejona na zakład; hydroizolacja; płyta żelbetowa konstrukcyjna. Natomiast w **przypadku posadzki na stropie (P2) przyjęto następujące warstwy**, począwszy od góry: warstwa trudnościeralna grubości 18 mm; mineralny mostek szepny; wylewka betonowa – beton C20/25 zbrojony włóknami stalowymi 25 kg/m³ i włóknami polipropylenowymi 0,9 kg/m³ grubości **50 mm**; 2 x folia polietylenowa 0,2 mm klejona na zakład; akustyczne płyty styropianowe grubości 30 mm; folia polietylenowa 0,2 mm klejona na zakład; płyta żelbetowa stropowa.

Warstwa trudnościeralna grubości 15 – 25 mm została nałożona na nośną płytę betonową z zastosowaniem mostka szepnego po uzyskaniu pełnej wytrzymałości

posadzki betonowej, metodą „mokre na suche” zgodnie z wytycznymi producenta warstwy trudnościeralnej.

Uszkodzenia posadzki

Po upływie ok. tygodnia od wykonania warstwy trudnościeralnej, pomimo zastosowania pielęgnacji metodą natryskiwania preparatu chroniącego przed utratą wilgoci, na powierzchni zaobserwowano nieregularne, siatkowe spękania szerokości do 0,1 mm i ubytki betonu (fotografia 1). Wraz z upływem czasu pojawiło się coraz więcej siatkowych spękań, a istniejące rysy zwiększyły rozwarcie nawet do 0,3 mm. W wielu miejscach posadzki wystąpiło zjawisko paczenia się płyty (curlingu). Powierzchnia poszczególnych płyt, dylatowanych szczelinami pozornymi, nie była większa niż 12 m².



Fot. 1. Siatka mikrospękań górnej warstwy posadzki o szerokości do 0,1 mm (Fot. B. Meronk)

Uszkodzenia posadzki w narożnikach, będące wynikiem skurczu warstwy trudnościeralnej połączonej z betonową podbudową przedstawiono na fotografii 2. Stwierdzono też nierówności posadzki spowodowane skurczem wierzchniej warstwy trudnościeralnej oraz uszkodze-



Fot. 2. Uszkodzenie narożnika płyty (Fot. B. Meronk)

nia wypełnienia szczelin dylatacyjnych spowodowane skurczem posadzki warstwowej, większym niż się spodziewano.

Właściwości betonu

Aby określić rzeczywiste właściwości betonu, pobrano próbki walcowe. Jak się okazało podczas wykonywania odwiertów, grubość podbudowy była różna i wynosiła 60 – 135 mm.

Do badań właściwości betonu przeznaczono próbki oznaczone 1, 2, 3, 4 (tabela 1), ponieważ próbki 5 i 6 pochodziły z miejsc uszkodzonych. Próbki przygotowano i przeprowadzono badanie wytrzymałości na ściskanie zgodnie z normami: PN-EN 12504-1:2011, PN-EN 12390-3:2011, PN-EN 13791:2011. Z próbki oznaczonej nr 3 wycięto 2 próbki do badania (grubość posadzki w miejscu pobrania próbki była znacznie większa niż w pozostałych miejscach i wynosiła 135 mm). W pobranych próbkach widoczne było kruszywo otoczkowe Φ do 16 mm oraz stalowe zbrojenie równomiernie rozproszone. Beton był jednorodny, prawidłowo zagęszczony, a jego średnia gęstość w stanie powietrzno-suchym wynosiła 2372,0 kg/m³.

Zgodnie z założeniami projektowymi beton podbudowy powinien spełniać wymagania dotyczące wytrzymałości na ściskanie jak dla klasy C20/25. Na podstawie uzyskanych wyników przedstawionych w tabeli 2, określono klasę wytrzymałości na ściskanie jako C40/50, a więc jest ona wyższa od wymaganej w projekcie.

Badania warstwy trudnościeralnej

Głównym składnikiem materiału trudnościeralnego, z którego wykonana została warstwa wykończeniowa posadzki, jest twarde kruszywo zgodne z DIN 1100, odporne na ścieranie oraz spoiwo cementowe z dodatkami. Gotowa sucha mieszanka, dostarczana w opakowaniach na budowę, została zmieszana z odpowiednią ilością wody. Istotne jest zachowanie reżimu technologicznego określonego przez producenta materiału oraz

* Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Ładowej i Środowiska

Tabela 1. Opis pobranych próbek

Oznaczenie próbki	Grubość warstwy trudnościeralnej [mm]	Grubość warstwy podbudowy betonowej [mm]	Średnica Φ odwiertu [mm]	Uwagi dotyczące warstwy betonu
1	18	95	69	odwierty wykonane w miejscach nieuszkodzonych, kruszywo otoczkowe Φ do 16 mm
2	20	70	69	
3	20	135	69	
4	20	70	69	
5	15 – 20	60 – 65	69	odwiert przez pękniętą posadzkę, kruszywo otoczkowe Φ do 16 mm
6	25	60	69	

Tabela 2. Wyniki badań wytrzymałości betonu

Oznaczenie próbki	Siła niszcząca F [kN]	Średnica/ /Wysokość próbki Φ [mm]/[mm]	Powierzchnia przekroju [mm ²]	Gęstość pozorna betonu [kg/m ³]	Wytrzymałość in situ f _{ci,69} [MPa]	Wytrzymałość in situ f _{ci15} [MPa]	Wytrzymałość f _{ci15} [MPa] ^{*)}	f _{cm15} [MPa]
1	198	69/70	3737	2389	53,0	50,5	59,4	63,7
2	179	69/65	3737	2333	47,9	45,6	53,7	
3/1	227	69/70	3737	2337	60,7	57,8	68,0	
3/2	209	69/60	3737	2379	55,9	53,2	62,6	
4	249	69/65	3737	2424	66,6	63,4	74,6	

*) uwzględniono współczynnik korekcyjny k = 0,85 wg PN-EN 13791:2007

zastosowanie odpowiedniej ilości i jakości wody.

Prawidłowo wykonana warstwa trudnościeralna (jastrych cementowy) charakteryzuje się dużą wytrzymałością na ściskanie i zginanie, dużą odpornością na ścieranie i dobrą przyczepnością. Jest odporna zarówno na wysoką, jak i niską temperaturę oraz zmienną wilgotność.

W celu określenia rzeczywistych właściwości warstwy trudnościeralnej wykonano badanie wytrzymałości na ściskanie, zginanie, odporności na ścieranie oraz zmiany objętości w czasie zgodnie z PN-EN 196-1, PN-EN 196-3, PN-EN 14721: 2005 (tabela 3).

Tabela 3 Wyniki badań warstwy trudnościeralnej

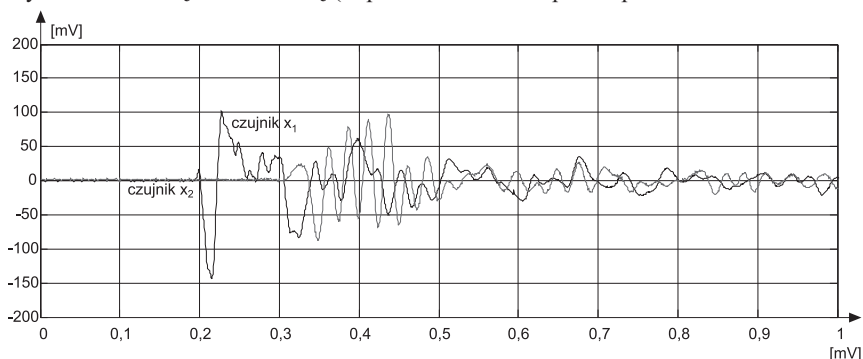
Badana cecha	Wyniki
Wytrzymałość na ściskanie	51,1 MPa
Wytrzymałość na zginanie	7,45 MPa
Badanie ścieralności na tarczy Böhmego	9 cm ³ /50 cm ²
Skurcz wg PN-EN 196-3	
po 7 dniach	0,18 mm/m
po 14 dniach	0,38 mm/m
po 28 dniach	0,56 mm/m
po 56 dniach	0,61 mm/m
po 90 dniach	0,68 mm/m

Badania nieniszczące in situ szczepności warstw posadzki

Do badania zastosowano jednoosiowy, wysokoczęstotliwościowy akcelerometr. Sygnał pomiarowy był kondycjonowany, digitalizowany i rejestrowany na przenośnym komputerze. Zastosowano częstotliwość próbkowania 1 MHz. Do wzbudzania fal sprężystych użyto impaktora mechanicznego o średnicy głowicy 4 mm.

Program badań zakładał badanie przebiegów fal sprężystych w wybranych fragmentach posadzki. Zastosowano metodę badania jednostronnego, polegającą na wzbudzeniu fali i pomiarze sygnałów w tym samym miejscu. Pomiaru jednorodności posadzki przeprowadzono w 26 punktach pomiarowych, w każdym po 3 powtórzenia. Prędkość fali podłużnej zbadano z wykorzystaniem pomiaru jednostronnego przy rozstawie czujników 30 cm. Przykładowe sygnały zaprezentowano na rysunku 1. Na podstawie uśrednienia z trzech pomiarów określono prędkość fali dla dwóch punktów jako $c_p^{jastrych} = 2660$ m/s. Prędkość fali ultradźwiękowej w podbudowie betonowej określono jako $c_p^{beton} = 1620$ m/s. Uśredniona wartość prędkości rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w ustroju warstwowym wyniosła $c_p = 1792$ m/s. Obliczając wartość średnią rozchodzenia się fal przyjęto, że warstwa trudnościeralna ma grubość 20 mm, a podbudowa betonowa 10 cm.

Badanie szczepności warstw posadzki wykonano metodą młoteczkową (impact-



Rys. 1. Sygnały zarejestrowane w badaniu prędkości fali podłużnej

[M. Rucka]

-echo), która wykorzystuje zjawisko rozchodzenia się fal sprężystych wzbudzanych mechanicznie na powierzchni badanego ciała. Wygenerowane fale ulegają odbiciu od wewnętrznych wad lub jego zewnętrznej powierzchni. Przy pomiarze jednostronnym analiza spektrum częstotliwościowego sygnału przyspieszenia pozwala na identyfikację prędkości fali oraz wykrycie potencjalnych uszkodzeń. Zależność pomiędzy częstotliwością odbicia od dna obiektu f_i a prędkością fali c_p jest następująca:

$$f = \frac{c_p}{2h}$$

gdzie:

h – droga przejścia fali;

c_p – prędkość rozchodzenia się fali podłużnej.

Na podstawie wykonanych pomiarów można określić głębokość odbić w zarejestrowanych sygnałach jako:

$$h = \frac{c_p}{2f}$$

Badania nieniszczące wykazały dobrą przyczepność warstwy trudnościeralnej do podłoża betonowego za pośrednictwem warstwy szcpepnej. Zmierzona łączna grubość warstwy trudnościeralnej z warstwą podbudowy betonowej, w miejscu wykonania pomiarów wynosiła 10,5 – 11,5 cm i okazała się większa od grubości zakładanej w projekcie, czyli łącznie 8 cm w przypadku posadzki P1 i 7 cm P2. Potwierdziły to wykonane pomiary grubości próbek – odwiertów pobranych do badania wytrzymałości na ściskanie.

Analiza numeryczna podnoszenia się krawędzi posadzki

W celu określenia przyczyn podnoszenia się narożników posadzki wykonano analizę numeryczną. Jako podstawową przyczynę przyjęto skurcz warstwy trudnościeralnej znajdującej się na płycie betonowej. Obliczenia wykonano w programie Metody Elementów Skończonych. Model MES stworzono dla pasma posadzki P2 z zachowa-

niem geometrii warstw opisanych w dokumentacji projektowej. Przyjęto prostokątną siatkę dyskretyzacyjną MES oraz zastosowano elementy skończone opisujące płaski stan odkształcenia. Posadowienie płyty na warstwie styropianu opisano podporą sprężystą o sztywności odpowiadającej 3 cm styropianu. Przyjęto możliwość odrywania się styropianu. W modelu obliczeniowym wykorzystano symetrię układu i wykonano analizę na modelu MES obejmującym połowę długości płyty, czyli 1,8 m. Do obliczeń przyjęto różnicę skurczu pomiędzy dojrzewającym betonem i świeżą warstwą jastrychu równą $\epsilon_s = 0,2$ [mm/m]. Analiza skurczu zastosowanej warstwy jastrychu na bazie danych doświadczalnych wskazuje na możliwą różnicę skurczu wynoszącą do $\epsilon_s = 0,6$ [mm/m], co jest zgodne z uzyskanymi wynikami badań laboratoryjnych.

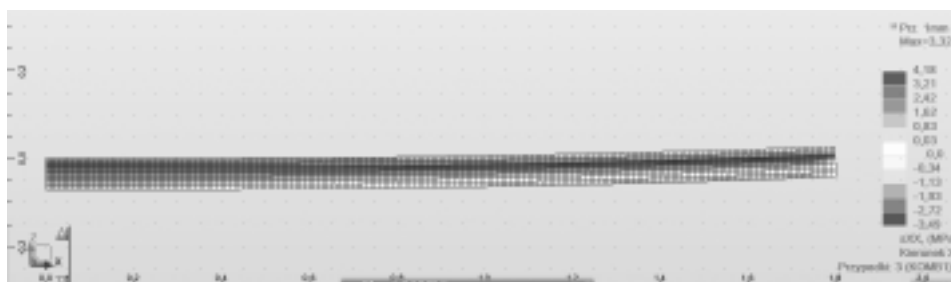
Z obliczeń MES wynika, że w warstwie jastrychu naprężenia rozciągające są powodem zarysowań posadzki (rysunek 2). Największe przemieszczenia pionowe i poziome względem środka płyty występują w pobliżu krawędzi, czyli w pobliżu dylatacji (rysunek 3). Różnica w przemieszczeniach poziomych pomiędzy warstwą trudnościeralną i warstwą betonu powoduje unoszenie się krawędzi posadzki (rysunek 4). Warstwa trudnościeralna wprowadza dodatkowe zginanie do płyty betonowej.

Wyniki symulacji dowodzą, że **skurcz warstwy trudnościeralnej powoduje znaczne deformacje posadzki**. Dla przyjętych wartości skurczu $\epsilon_s = 0,2$ [mm/m] naprężenia maksymalne wyniosły 4,18 MPa.

Wnioski

Pomimo prawidłowych założeń projektowych wystąpiły odkształcenia posadzki, dlatego też należy określić sposób jej zabezpieczenia przed dalszą destrukcją. Podstawową przyczyną powstawania rys w warstwie wierzchniej jastrychu jest skurcz. Zastosowanie technologii „mokre na suche” spowodowało wystąpienie znacznych różnic skurczu pomiędzy „mokrą” warstwą jastrychu a „suchą” warstwą podbudowy betonowej. Mechanizm podnoszenia się narożników płyt posadzki związany jest z różnicą skurczu pomiędzy warstwą jastrychu a warstwą podbudowy betonowej. Rzeczywista wytrzymałość na ściskanie podbudowy betonowej C40/50 jest większa od założonej w projekcie C20/25. Nie zapobiegło to jednak wystąpieniu odkształcenia.

Odkształcenia posadzki w wyniku skurczu świadczą o prawidłowym zespoleniu warstwy jastrychu z wylewką betonową,



Rys. 2. Naprężenia poziome wywołane skurczem – widok w przekroju poprzecznym



Rys. 3. Przemieszczenia warstw posadzki wywołane skurczem – widok w przekroju poprzecznym

czyli połączenie mostkiem szczipnym zostało wykonane poprawnie. Potwierdzają to uzyskane wyniki badań in situ. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że wykonanie jednowarstwowej posadzki wyeliminowałoby efekt podnoszenia krawędzi. Relatywnie mała grubość podłoża betonowego (50 mm) wpływa niekorzystnie na deformację posadzki. Zastosowanie grubszej warstwy podbudowy redukuje wartości pionowych przemieszczeń wywołanych skurczem. W miejscach, w których grubość podbudowy betonowej była większa niż projektowana, zjawisko curlingu nie wystąpiło.

Przed przystąpieniem do projektowania i wykonania posadzki wielowarstwowej należy zwrócić szczególną uwagę na kompatybilność materiałów. Jest to ważne ze względu na powstające odkształcenia. Bardzo istotna jest zgodność właściwości chemicznych (w tym także pH) i fizycznych podłoża z właściwościami materiału przewidzianego do wykonania warstwy wykończeniowej posadzki. Istotna jest także technologia obróbki warstwy wykończeniowej.

Literatura

- [1] Czarnecki L.: Defects and damage of Floors. RILEM Report no. 33, Industrial Floors (Ed.: P. Seidler), RILEM Publication S. A. R. L., 2006, 34 – 44;
- [2] Williamson N.: Ocena estetyki powierzchni i identyfikacja wad w betonowych posadzkach przemysłowych, III Seminarium Naukowo-Techniczne „Podłogi Przemysłowe”, Warszawa 2011, str. 20 – 26;
- [3] Czarnecki L.: Uszkodzenia i naprawy posadzek przemysłowych. Materiały Budowlane 9/2008, str. 20 – 24.



Rys. 4. Wizualizacja podnoszenia się krawędzi płyty posadzki o wymiarach 3,6 x 1,57 m

Streszczenie

Posadzki wielowarstwowe to często projektowane elementy wewnętrznego wykończenia budowli. Mają bardzo duży wpływ na kształtowanie architektoniczne wnętrz oraz zapewnienie właściwych warunków użytkowania. W artykule przedstawiono przyczyny wystąpienia uszkodzeń posadzki w postaci rys i spękań. Górna trudnościeralna warstwa posadzki grubości ok. 20 mm została wykonana metodą „mokre na suche”.

Słowa kluczowe: betonowa posadzka wielowarstwowa, uszkodzenia, skurcz

Abstract

Multilayer floors are often designed elements of inside finish of buildings. They have huge influence on architectural shape of interior and assurance of the right conditions of use. In this article there have been shown the reasons of occurrence of floor damages in the form of cracks and scratches. The upper hard-rubbed off layer of the floor at 20 mm thickness has been by „wet on dry” method.

Keywords: multilayer concrete floor, damages, shrinkage.