

dr hab. inż. Piotr Wojciechowski*
 dr inż. Grzegorz Adamczewski*
 inż. Wojciech Radomski*
 inż. Michał Jasak*
 mgr inż. Rafał Palacz**

Warunki wykonywania posadzek betonowych a ich jakość eksploatacyjna

Podłogi przemysłowe powinny spełniać wymagania [1, 2, 6] stanu granicznego nośności (SGN), a także stanów granicznych użyteczności (SGU). Wymagania, jakie powinny spełniać posadzki, odnoszą się do:

- **właściwości mechanicznych** (m.in. wytrzymałość i nośność zapewniające przeniesienie eksploatacyjnych obciążeń statycznych, dynamicznych i udarowościowych, wytrzymałość zmęczeniowa, odporność na ścieranie i poślizg);
- **właściwości fizycznych** (odporność na działanie temperatury, skurcz i pęcznienie, izolacyjność cieplna, akustyczna, elektrostatyczna);
- **właściwości chemicznych** (odporność na działanie agresji środowiska);
- **cech geometrycznych** (płaskość, równość, spoziomowanie), estetycznych, a także łatwości konserwacji. Wymaga to konfrontacji doświadczeń projektanta i wykonawcy z oczekiwaniami inwestora i użytkowników (rysunek 1). Dobra współpraca wymienionych uczestników procesu budowlanego powinna za-



Rys. 1. Kryteria doboru odpowiedniego rozwiązania podłogi

pewnić taki dobór rozwiązania posadzki, który uwzględni czynniki agresywne działające na posadzki przemysłowe, takie jak ścieranie (wynikające z ruchu pieszego, samochodowego, wózków widłowych), agresja chemiczna (substancje oleiste, kwasy, alkalia np. ze środków myjących), promienie świetlne oraz ogień, które potęgować będą zniszczenia powstałe podczas użytkowania posadzki wynikające z oddziaływań mechanicznych.

Posadzki utwardzane powierzchniowo

Szczególnie korzystnym i często stosowanym rozwiązaniem w przypadku dużych obciążeń są **posadzki utwardzane powierzchniowo** (DST), których wykonanie polega na wtarcie w warstwę wierzchnią podkładu suchej posypki utwardzającej, zapewniającej odpowiednią wytrzymałość na ścieranie i inne typy agresji. Posypki utwardzające najczęściej składają się ze

spoiwa cementowego i kruszywa korundowego. Wciera się je zacieraczkami, gdy pokład zwiąże na tyle, by móc go wykończyć bez uszkodzenia struktury betonu. Posadzka ma zazwyczaj grubość 2 ÷ 4 mm. Należy pamiętać, że wtarcie suchej posypki w wierzchnią warstwę nie do końca związanego podkładu powoduje gwałtowne obniżenie stosunku wodno-cementowego w tej warstwie, co skutkuje wysoką wytrzymałością. Może to również spowodować powstanie spękań włosowatych na powierzchni, które traktowane są jako wada wizualna niewpływająca na wytrzymałość. Do wykonania posadzki utwardzanej powierzchniowo wykorzystuje się zazwyczaj beton klasy np. C20/25 lub C25/30.

Trwałość posadzki utwardzanej powierzchniowo zależy od właściwego doboru materiałów oraz prawidłowego wykonania prac. Ważną rolę odgrywają kwalifikacje i doświadczenie wykonawcy, ponieważ – jak wynika z wielu przykładów [3, 5] – nawet z pozoru mało istotne czynniki mogą mieć wpływ na jakość. Bardzo ważne jest zapewnienie korzystnych warunków termiczno-wilgotnościowych mających wpływ na pielęgnację, którą wg [4] definiuje się jako: *zabiegi podejmowane od momentu ułożenia i zagęszczenia mieszanki betonowej, mające na celu zapewnienie jak najpoprawniejszego przebiegu procesów fizykochemicznych wiązania cementu i tworzenia się struktury wewnętrznej betonu*. Zapewnienie odpowiedniej pielęgnacji betonu posadzkowego jest szczególnie ważne, ponieważ warstwa przypowierzchniowa (pielęgnowana) przejmuje wszystkie oddziaływania użytkowe.

Metody pielęgnacji

Zgodnie z normą PN-EN 13670 dopuszcza się **5 metod pielęgnacji**: pozostawienie deskowania na miejscu; pokrycie powierzchni betonu paroszczelnymi powłokami zabezpieczonymi przy krawędziach przed wysychaniem; utrzymywanie mokrych mat na powierzchni i zabezpieczenie przed wysychaniem; utrzymywanie powierzchni betonu w stanie wilgotnym przez odpowiednie użycie wody; stosowanie preparatów pielęgnujących o ustalonej skuteczności. W przypadku podkładów czy posadzek można stosować wszystkie metody poza pozostawieniem deskowania na miejscu. Najczęściej używa się preparatów pielęgnujących, tzw. folii w płynie (akrylowe bądź krzemian sodu), gdyż zwiększają one „bezobsługowość” procesu pielęgnacji betonu. Naniesienie materiału błonotwórczego następuje bezpośrednio po zatarciu powierzchni posadzki. Wytworzona membrana blokuje odpływ wody z betonu. Stosowanie paroszczelnych powłok lub mokrych mat może spowodować niejednorodny kolor posadzki ze względu na lokalne różnice wilgotności w danym miejscu [6]. W okresie zimowym, tj. gdy średnia dobowa temperatura jest niższa niż 5 °C, konieczne jest stosowanie nagrzewu powietrza w obiekcie, aby prace posadzkarskie były prowadzone w odpowiednich warun-

* Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej
 ** PAL-GAZ

kach. W takim wypadku należy zachować ostrożność z uwagi na możliwe przesuszenie powierzchni dojrzewającej posadzki ze względu na nierównomiernie podwyższoną temperaturę lub przewiew. Minimalny czas zabiegów pielęgnacyjnych wg PN-EN 13670 wynosi 12 h, a maksymalny 30 dni. Niedochowanie zasad właściwej pielęgnacji prowadzić może do wielu negatywnych zjawisk zachodzących w krótkim czasie po wykonaniu lub w dłuższej perspektywie.

Badania wpływu przebiegu pielęgnacji na jakość posadzki

Przedstawione badanie betonowej posadzki przemysłowej zostało wykonane w warunkach przemysłowych (fotografia) we współpracy Politechniki Warszawskiej i wykonawcy posadzek – firmy PAL-GAZ. Celem badań było określenie wpływu wybranej metody pielęgnacji (preparat akrylowy, preparat krzemianowy, polietylenowa folia budowlana, brak pielęgnacji) na cechy użytkowe betonowej posadzki przemysłowej o różnym wykończeniu powierzchni: bez DST, utwardzona DST, DST o podwyższonej odporności na ścieranie (rysunek 2). Doświadczalne odcinki betonowej posadzki przemysłowej zostały wykonane jako



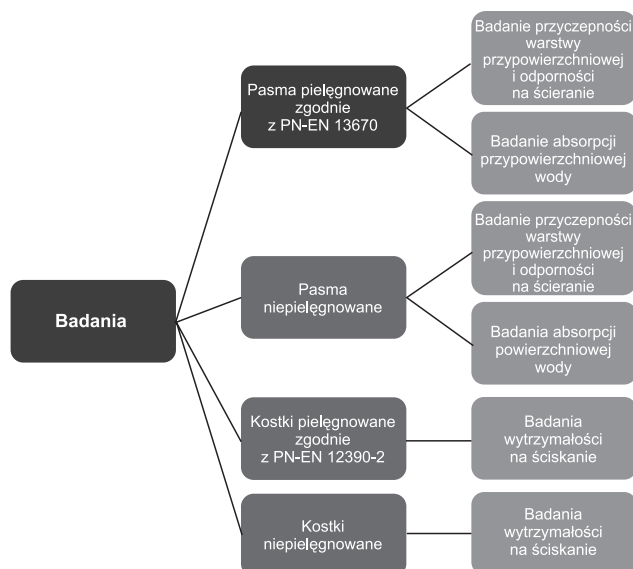
Wykonywanie posadzki w warunkach przemysłowych Fot. Autorzy

pasma szerokości 1,2 m i grubości 8 cm. Badania obejmowały przyczepność warstwy przypowierzchniowej metodą pull-off, absorpcję powierzchniową, odporność na ścieranie oraz wytrzymałość na ściskanie (rysunek 3).

Pokrycie preparatem na bazie żywicy akrylowej oraz na bazie krzemianu sodu to rozwiązania alternatywne, różniące się przede wszystkim sposobem związania preparatu z powierzchnią posadzki. Żywica akrylowa zespała się przez wiązanie fizyczne – adhezję, natomiast w przypadku preparatu na bazie krzemianu litu bądź sodu, oprócz adhezji, powstają wiązania chemiczne pomiędzy wodorotlenkiem wapnia powstającym w procesie wiązania cementu i krzemianami, tworząc fazę C-S-H. Zastosowanie folii budowlanej to najprostsze

Pasma pielęgnowane		
Działka 1	Działka 2	Działka 3
Folia akrylowa Brak posypki	Folia akrylowa Standardowa posypka	Folia akrylowa Posypka o podwyższonej odporności chemicznej
Folia krzemianowa Brak posypki	Folia krzemianowa Standardowa posypka	Folia krzemianowa Posypka o podwyższonej odporności chemicznej
Folia krzemianowa Brak posypki	Folia krzemianowa Standardowa posypka	Folia krzemianowa Posypka o podwyższonej odporności chemicznej
Folia PE Brak posypki	Folia PE Standardowa posypka	Folia PE Posypka o podwyższonej odporności chemicznej
Pasma niepielęgnowane		
Działka 4	Działka 5	Działka 6
Wiatr Brak posypki	Wiatr Standardowa posypka	Wiatr Posypka o podwyższonej odporności chemicznej

Rys. 2. Program badań fragmentów posadzki



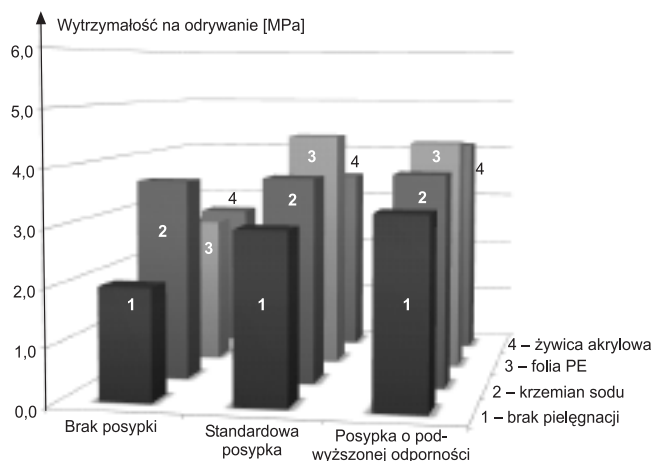
Rys. 3. Zakres badań cech posadzki

i najtańsze rozwiązanie stosowane podczas wykonania podkładów podłogowych czy posadzek. Do wad tego rozwiązania zaliczyć należy możliwość powstawania przebarwień oraz łatwość uszkodzenia powłoki podczas innych prac na placu budowy. Przykrycie folią spełnia jedynie rolę pielęgnacyjną.

Wykonawca badanej posadzki dochował wszelkich zasad sztuki i wiedzy budowlanej, aby wyeliminować inne niż założone w badaniu czynniki zmienne. Przez 10 dni od wykonania posadzka testowa znajdowała się we wnętrzu hali, przy czym temperatura powietrza oscylowała wokół 10 °C. W przypadku pasm niepielęgnowanych (działki 4, 5, 6 na rysunku 2) posadzka dojrzewała w warunkach niekorzystnych (obniżona temperatura, wymuszony ruch powietrza).

Wyniki badań

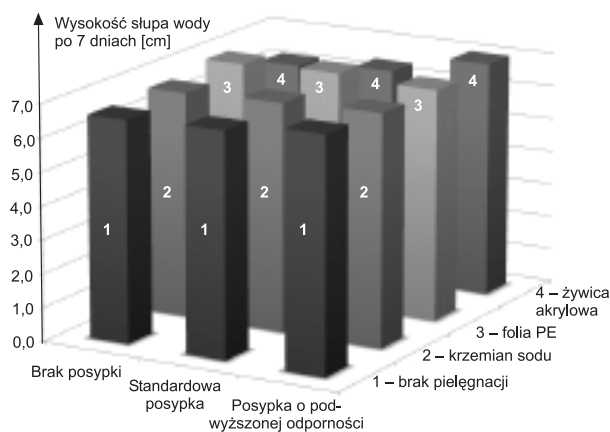
Wyniki badania przyczepności warstwy powierzchniowej charakteryzuje dość duża zmienność (rysunek 4). Najniższe wartości przyczepności uzyskano w przypadku posadzki niepielęgnowanej, niezależnie od sposobu wykończenia powierzchniowego. Co prawda wyniki nie są mniejsze od wymaganej zwykle wartości 1,5 MPa, ale związane jest to przede wszystkim z precyzyjnym wykonawstwem, możliwym do osią-



Rys. 4. Wyniki badania przyczepności warstwy przypowierzchniowej

gnięcia tylko na małym odcinku testowym. Warto zauważyć, że preparat krzemianowy wyraźnie wzmocnił przypowierzchniową warstwę betonu bez DST, co potwierdza zasadność jego stosowania.

Wyniki badania absorpcji powierzchniowej wody (rysunek 5) potwierdzają, że posadzka została bardzo dobrze wykonana. Jej nasiąkliwość powierzchniowa jest niewielka, niezależnie od przyjętego sposobu pielęgnacji, a nawet bez zabiegów pielęgnacyjnych. Ewentualne różnice wynikają raczej z przypadkowych strukturalnych defektów niż faktycznych cech reprezentowanych przez daną próbkę. Nie zaobserwowano istotnych różnic pomiędzy efektywnością pielęgnacji żywicą akrylową i folią PE.

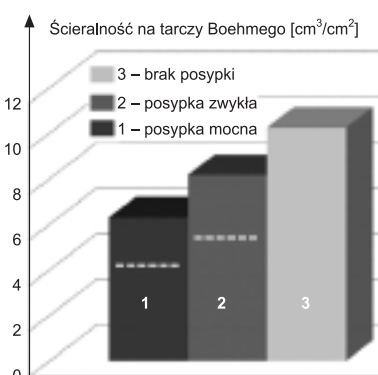


Rys. 5. Wyniki badania absorpcji powierzchniowej wody

Odporność na ścieranie badano jedynie w przypadku pasm posadzki niepielęgnowanej (rysunek 6). Zgodnie z przewidywaniami największą odporność na ścieranie wykazały próbki wykończone posypką o podwyższonej odporności na ścieranie (ok. $6 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$), przy czym zastosowana posypka, wg deklaracji producenta, powinna charakteryzować się ścieralnością do $2,5 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$ (klasa A3 wg metody Boehmego).

Podobny efekt odnotowano w przypadku posypki zwykłej – deklarowana wartość $4,5 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$ wobec uzyskanej w badaniach ok. $8 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$. Można zatem przyjąć, że brak pielęgnacji spowodował wyraźne obniżenie odporności na ścieranie posadzki (pogorszenie nawet o jedną klasę ścieralności).

Zasadniczy wpływ pielęgnacji na cechy użytkowe betonu posadzkowego potwierdza **badanie wytrzymałości na ściskanie** próbek uformowanych z betonu podkładu podczas wykonywania podłogi (rysunek 7). Brak pielęgnacji próbek spowodował obniżenie wytrzymałości na ściskanie o 25 – 30%.



Rys. 6. Wyniki badania odporności na ścieranie posadzek niepielęgnowanych. Linia przerywaną zaznaczono wartość deklarowaną przez producenta posypki, w przypadku dochowania reżimu technologicznego wykonania

Podsumowanie

Przeprowadzone badania potwierdziły istotną rolę pielęgnacji powierzchni posadzki w kształtowaniu jej cech użytkowych. Stwierdzono, że niedochowanie reżimów pielęgnacyjnych może doprowadzić do:

- obniżenia odporności na ścieranie nawet o jedną klasę ścieralności wg metody Boehmego;
- znacznego pogorszenia przypowierzchniowej wytrzymałości na rozciąganie metodą pull-off;
- spadku wytrzymałości na ściskanie przypowierzchniowej warstwy betonu podkładowego o 1 – 2 klasy wytrzymałości na ściskanie.

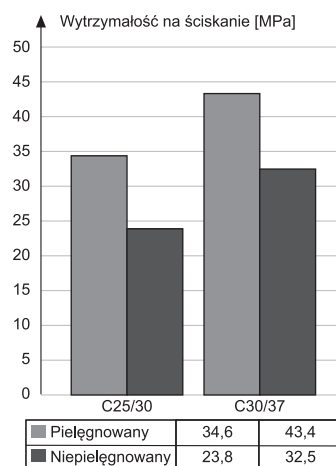
Wyniki badań wskazują także, że w przypadku wykończenia posadzki w technologii DST rola pielęgnacji jest kluczowa, jednak wpływ wyboru techniki pielęgnacji nie jest decydujący. Zarówno preparat akrylowy, krzemianowy, jak i folia PE sprawdziły się tak samo dobrze. W przypadku posadzek bez utwardzenia posypką wyraźnie korzystny efekt uzyskano, stosując preparat krzemianowy. Jest on porównywalny ze wzmocnieniem uzyskiwanym zwykle w przypadku aplikacji krzemianu na stwardniały beton posadzki w ramach jej naprawy [8].

Skala badań omówionych w artykule obejmująca wykonanie dużych odcinków posadzki w skali przemysłowej, a następnie badanie laboratoryjne fragmentów rzeczywistej posadzki czyni przedstawione badania unikatowymi i pozwala uznać ich wyniki za praktyczne i reprezentatywne w odniesieniu do rzeczywistości.

Przeprowadzone badania wykazały, że również w przypadku posadzek sprawdza się maksyma A. M. Neville'a: *beton dobry i zły zrobione są z tych samych składników, a różni je technologia, w tym pielęgnacja* [7]. Oznacza to, że w przypadku błędnego pielęgnowania posadzki można się spodziewać znacznego pogorszenia parametrów technicznych, nawet pomimo zastosowania dobrych materiałów.

Literatura

- [1] Chmielewska B., Czarniecki L.: Wymagania norm dotyczące posadzek przemysłowych, Materiały Budowlane, 2, 2012.
- [2] Horszczaruk E.: Odporność na ścieranie betonowych posadzek przemysłowych, Materiały Budowlane, 9/2014.
- [3] Woyciechowski P., Adamczewski G.: Przyczyny pylenia posadzki przemysłowej w hali magazynowej, Materiały Budowlane 2/2012, (nr 474), s. 25 – 27.
- [4] Woyciechowski P., Piotrowicz M.: Ocena wpływu klasy pielęgnacji na wybrane cechy eksploatacyjne betonu, Materiały Budowlane, 2 (498) 2014, 14 – 16.
- [5] Woyciechowski P., Jackiewicz-Rek W.: Rola pielęgnacji w kształtowaniu trwałości betonu, Materiały Budowlane 5 (477) 2012, p. 44 – 48.
- [6] Neville A. M.: Właściwości betonu, SPC, 2012.
- [7] Łukowski P.: Materiały i systemy do naprawy i ochrony konstrukcji betonowych – wdrażanie norm europejskich EN 1504. Materiały Budowlane, 2, 2007, 2 – 5.
- [8] Garbacz A., Piotrowski T., Courard L., Inżynieria powierzchni betonu. Część 1. Struktura geometryczna powierzchni, Materiały Budowlane, 9 (2006), p. 3 – 7.



Rys. 7. Wyniki badania wytrzymałości na ściskanie