

Wybrane zagadnienia projektowania, wykonawstwa oraz użytkowania betonowych posadzek przemysłowych w aspekcie ich ścieralności



Mgr inż. Sylwia Świątek-Żołyńska, Bautech Sp. z o.o., mgr inż. Tomasz Majewski, Pracownia Projektowo-Inżynierska Tomasz Majewski, dr hab. inż. Maciej Niedostatkiwicz, prof. uczelni, Politechnika Gdańska

1. Wprowadzenie

Posadzki stanowią element wykończeniowy obiektu budowlanego, którego trwałość istotnie wpływa na jego komfort eksploatacyjny. Praktyka inżynierska wskazuje, że betonowe posadzki przemysłowe utwardzone powierzchniowo realizowane są najczęściej w wielkopowierzchniowych obiektach produkcyjnych oraz produkcyjno-magazynowych.

Najbardziej rozpowszechnionym i najczęściej stosowanym sposobem zabezpieczenia górnej powierzchni posadzki jest zastosowanie suchej posypki nawierzchniowej DST (z ang. *Dry Shake Topping*).

Usuwanie usterek i uszkodzeń posadzek przemysłowych jest zarówno pracochłonne, jak też bardzo kosztowne, gdyż bardzo często jest związane z czasowym ograniczeniem lub wyłączeniem obiektu z użytkowania. Posadzki narażone są na możliwość popełnienia błędów i niedociągnięć projektowych, technologicznych, błędów i zaniedbań na etapie wykonawstwa oraz narażone są na uszkodzenia wywołane niewłaściwą eksploatacją. Na uwagę zasługuje również fakt, że bardzo często zapisy w umowach pomiędzy inwestorem a projektantem, inwestorem a wykonawcą, jak również pomiędzy wykonawcą a podwykonawcą nie precyzują w sposób jednoznaczny właściwości, jakimi powinna charakteryzować się betonowa posadzka przemysłowa utwardzona suchą posypką nawierzchniową, przewidziana do realizacji w konkretnej lokalizacji. Nadmierna ścieralność warstwy użytkowej jest jedną z często spotykanych wad betonowych posadzek przemysłowych. Jak zostało to wcześniej wspomniane, wady te mogą powstać zarówno jako następstwo błędów projektowego, technologicznego, jak również niewłaściwego wykonawstwa. Sposób eksploatacji posadzki również może być bezpośrednią przyczyną powstawania usterek i uszkodzeń powierzchni posadzki.

Celem artykułu jest wskazanie najczęściej popełnianych błędów przyczyniających się do nadmiernej ścieralności betonowych posadzek przemysłowych, których górna powierzchnia została zabezpieczona suchą posypką nawierzchniową, wraz z podaniem sposobu ich usuwania.

Zakres artykułu obejmuje również dyskusję na temat współczesnych metod diagnostyki betonowych posadzek przemysłowych w zakresie oceny ich ścieralności.

2. Podział betonowych posadzek przemysłowych w aspekcie ich ścieralności

Liczba możliwych sposobów podziału betonowych posadzek przemysłowych jest w praktyce nieograniczona i zależy od przyjętego kryterium podziału. Ogólne wskazówki i wytyczne można znaleźć w [6, 10, 13, 17, 23, 26]. Wybór odpowiedniego materiału na posadzkę jest uzależniony od wielu czynników, takich jak rodzaj podłoża, na którym ma zostać wykonana powłoka, grubość podkładu, warunki użytkowania obiektów i poszczególnych pomieszczeń.

W celu podniesienia parametrów technicznych i użytkowych podkładów betonowych, a przez to w celu zwiększenia odporności na ścieranie stosuje się różnego rodzaju wierzchnie warstwy wykończeniowe betonu, z których najbardziej powszechne w nowych obiektach to:

- utwardzaczce posadzkowe układane metodą suche na mokre (DST) – stanowiące przedmiot artykułu,
- utwardzaczce posadzkowe układane metodą mokre na mokre (WTW),
- wylewki cienkowarstwowe polimero-cementowe PCC,
- żywice poliuretanowe i epoksydowe,
- chemo odporne jastrychy poliuretanowo-cementowe,
- impregnaty do betonu,
- inne (płytki z klinkieru lub krzemionki szlachetnej, żywice poliestrowe, żywice metakrylowe, szlifowanie betonu, itp.).

W obiektach przemysłowych intensywnie eksploatowanych najczęściej wykonuje się posadzki betonowe w technologii DST i polimero-cementowe (PCC). W związku z licznymi realizacjami magazynów wysokiego składowania coraz częściej w tych obiektach brane są pod uwagę wykończenia z zastosowaniem posypki utwardzającej w technologii WTW, gdyż umożliwia ona ułożenie grubszej warstwy ścieralnej, która może być dodatkowo szlifowana w celu uzyskania wymaganej równości nawierzchni bez straty parametrów użytkowych.

Posadzki na bazie żywic syntetycznych: epoksydowych, poliuretanowych oraz poliuretanowo-cementowe najczęściej znajdują zastosowanie w obiektach o charakterze produkcyjnym i farmaceutycznym, w których występują znaczne obciążenia chemiczne podłóg. W nowo wykonywanych obiektach posadzki wykonywane metodą DST, WTW i PCC szacunkowo stanowią ~75% wszystkich nawierzchni. Posadzki żywiczne stanowią blisko 20%, a udział pozostałych jest marginalny i nie przekracza ~5%.

Inaczej kształtuje się podział nawierzchni wykonywanych w obiektach istniejących i eksploatowanych. W takich obiektach najczęściej preferowane są rozwiązania powłokowe, umożliwiające ułożenie na istniejących podkładach betonowych bez zmiany ich pierwotnej grubości. Najbardziej rozpowszechnioną grupą wykończeń w tym zakresie są żywice epoksydowe i poliuretanowe oraz cienkowarstwowe systemy polimero-cementowe (PCC). W przypadku mniejszych uszkodzeń oraz w celu regeneracji nawierzchni nierzadko inwestorzy decydują się również na metody powierzchniowego wzmocnienia istniejących podkładów betonowych za pomocą impregnacji chemicznej preparatami krzemianowymi oraz szlifowania nawierzchni.

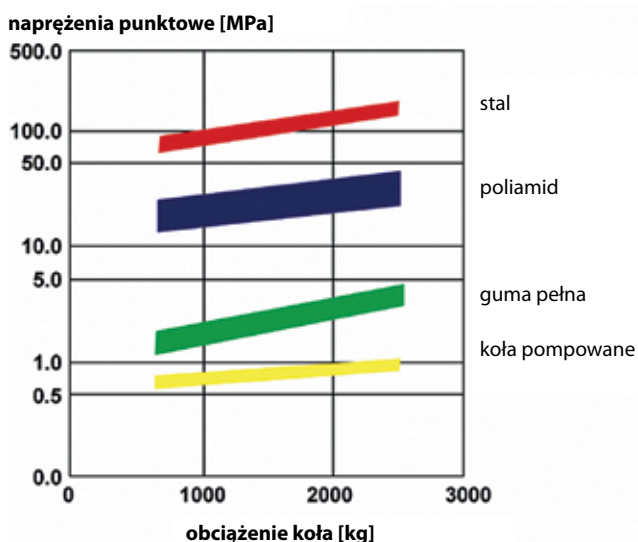
Technologia DST polega na rozłożeniu i mechanicznym wtarceniu w młody beton (będący w fazie wiązania) tzw. suchej posypki utwardzającej (suchej posypki nawierzchniowej) w ilości ~4–6 kg/m². Uzyskana w ten sposób warstwa płyty betonowej o grubości 2–3 mm ma przede wszystkim wysoką twardość i wytrzymałość mechaniczną [3, 5–7, 9–10, 12–13, 16, 23, 25, 27, 30–31], co czyni ją odporną na ścieranie.

Inną formą zastosowania posypki utwardzającej (nawierzchniowej) jest technologia WTW (z ang. *Wet to Wet*), która polega na uprzednim połączeniu suchej posypki nawierzchniowej z wodą do konsystencji płynnej, a następnie rozłożeniu na świeżym (dojrzewającym) betonie podkładowym. W technologii WTW zalecane zużycie posypki utwardzającej wynosi 10–20 kg/m², co odpowiada grubości warstwy ścieralnej odpowiednio 5–10 mm.

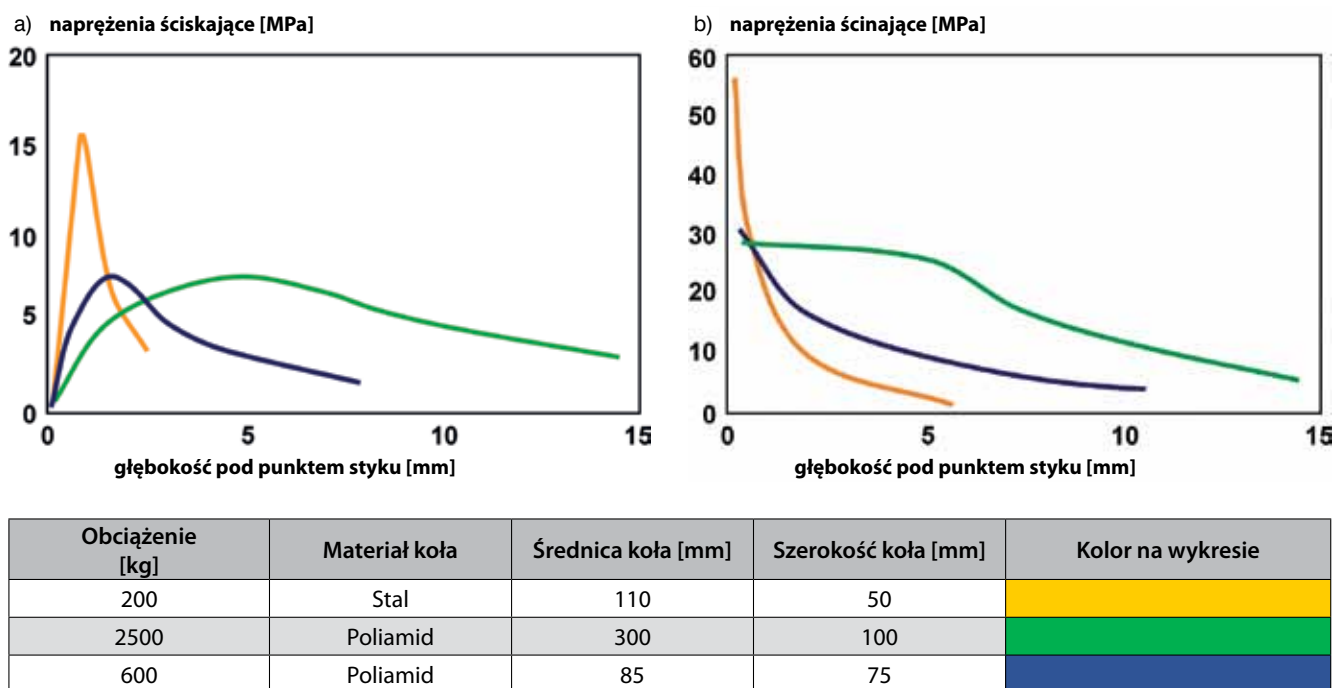
Najczęściej spotykanym konstrukcyjnym rozwiązaniem przy wykonywaniu posadzek do zastosowań przemysłowych jest podłoga pływaką, czyli układ wielowarstwowy, w którym na nośnej warstwie podłoża gruntowego i podbudowy została ułożona warstwa poślizgowa w postaci folii polietylenowej, a na niej wykonana żelbetowa lub fibrobetonowa (z ang. *fiber* – włókno), czyli zbrojona włóknami stalowymi lub/i polimerowymi płyta konstrukcyjna (podkład pod posadzkę lub posadzka). Warstwa poślizgowa umożliwia nieskrępowaną pracę (pływanie) posadzki na podbudowie, które następuje wskutek skurczu i pęcznienia betonu, spowodowanego wpływem różnego rodzaju czynników mechanicznych, temperaturowych, wilgotnościowych lub środowiskowych. Głównym zadaniem posadzki przemysłowej jest przede wszystkim bezawaryjne przenoszenie obciążeń: statycznych, mechanicznych, termicznych i chemicznych. Prawidłowo

zaprojektowana i wykonana posadzka przemysłowa powinna być: gładka, równa, niepyląca, mieć właściwą, zależną od przeznaczenia odporność na: ścieranie, uderzenia, intensywność eksploatacji. Ponadto powinna być łatwa w utrzymaniu w czystości i nie powodować ryzyka poślizgnięcia się lub upadku. W przypadku posadzek przemysłowych kwestie doboru kolorystyki wykończenia i estetyczne pozostają drugorzędne i nie są przedmiotem odbioru technicznego nawierzchni.

Nośność posadzki stanowi wymóg podstawowy dla każdej nawierzchni i związana jest przede wszystkim z: klasą betonu, grubością płyty konstrukcyjnej (podkładu pod posadzkę DST) oraz ilością i rodzajem zastosowanego zbrojenia. Ponadto na grubość podkładu ma wpływ charakter i wielkość obciążeń oraz stan wykonania pod podkładem podbudowy. W zasadzie standardowe rozważania dotyczące obciążeń prowadzą się do analizy obciążeń równomiernie rozłożonych o określonym bądź nieokreślonym rozkładzie, obciążeń skupionych (statycznych) od regałów magazynowych oraz (dynamicznych) od pojazdów i wózków widłowych. Co istotne, w przypadku tych ostatnich należy zwrócić szczególną uwagę na rodzaj środków transportu (wózki widłowe, paletowe, specjalne), rodzaj kół (pneumatyczne, gumowe, elastomerowe, stalowe) oraz ich rozstaw i powierzchnię styku z posadzką. Naprężenia kontaktowe na posadzce betonowej w zależności od rodzaju ogumienia pojazdów przedstawiono na rysunku 1. Z wykresu wynika, że przy zachowaniu tych samych obciążeń największe naprężenia, a co za tym idzie wywierające najbardziej destrukcyjny wpływ na posadzkę, wywołują koła stalowe, a najmniejszy koła pneumatyczne (pompowane). Różnica pomiędzy skrajnymi przypadkami przekracza stukrotność, a więc z całą pewnością można stwierdzić, iż jest to bardzo istotny czynnik, mający znaczący wpływ na trwałość posadzki przemysłowej.



Rys. 1. Naprężenia kontaktowe na posadzce betonowej w zależności od rodzaju ogumienia pojazdów, według [34]



Rys. 2. Naprężenia: a) ściskające, b) ścinające na posadzce betonowej w zależności od rodzaju ogumienia pojazdów, według [34]

Taki stan rzeczy nakazuje rozważyć również wpływ ścinania w punktach styku kół pojazdów z nawierzchnią. Zmiany naprężeń ściskających i ścinających w betonowej płycie podłogowej (posadzce) w zależności od rodzaju kół pojazdu przedstawiono na rysunku 2. Do analizy wybrano koła pojazdów generujące największe naprężenia, tj. stalowe i poliamidowe. Jak przedstawiono na rysunku 2, największe naprężenia występują w strefie przypowierzchniowej płyty na głębokości do 5 mm od lica posadzki, następnie stopniowo się zmniejszające. **Rozkład naprężeń na głębokości zasadniczo nie zależy od grubości płyty.** W przypadku zastosowania technologii monolitycznej posadzki betonowej DST największe co do wartości naprężenia występują w warstwie utwardzonej zasypki.

W przypadku posadzek obciążonych dynamicznie kołami wózków widłowych bardzo ważne są wytyczne producenta wózków w zakresie wymaganej równości nawierzchni i jej tolerancji. Niespełnienie kryterium nośności i/lub minimalnej grubości płyty może prowadzić do klawiszowania i zarysowania płyt posadzkowych. Niespełnienie kryterium równości może prowadzić do nadmiernego wychylenia masztu wózka widłowego, utraty stabilności i uszkodzeń pojazdów, układu regałowego oraz transportowanego materiału. Coraz częściej w magazynach wysokiego składowania projektowane są ekonomiczne układy logistyczne w oparciu o standardy VNA (z ang. *Multifunction Very Narrow Aisle truck*) oraz VDMA (z niem. *Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau*) dedykowane do tzw. wąskich korytarzy, a co za tym idzie podniesienia wymagań w zakresie równości oraz płaskości nawierzchni. Wózki widłowe w wąskich korytarzach

przemieszczają się pomiędzy rzędami regałów praktycznie po swoich śladach i skręcają w tych samych miejscach poza układami regałowymi. Niezwykle istotne dla tego typu posadzek jest zapewnienie odpowiedniej trwałości warstwy wykończeniowej, a co się z tym wiąże odpowiedniej odporności na ścieranie i zużycie nawierzchni w tych newralgicznych punktach. W tym świetle innym istotnym czynnikiem eksploatacyjnym, na który warto zwrócić uwagę, jest również potencjalny brak pylenia nawierzchni. Unoszące się w powietrzu podczas eksploatacji hali mikrocząsteczki pyłów pochodzących z nawierzchni betonowej osadzają się na urządzeniach i produktach składowanych w hali, powodując trudności w utrzymaniu ich czystości, nie tylko posadzki, ale również składowanych produktów. Pył pochodzący z nadmiernego pylenia lub wycierania się nawierzchni osiada na mechanicznych elementach maszyn i urządzeń wykorzystywanych w hali, w tym wózków widłowych. Szczególnie niekorzystne jest osadzanie pyłów na turbinach systemów wentylacyjnych, maszyn i urządzeń w tym wózków widłowych, które pod wpływem wilgoci powodują zjawisko cementowania i unieruchomienia turbiny. Najczęściej gwarancja producenta tych urządzeń nie obejmuje takiego przypadku, z czego inwestorzy często nie zdają sobie sprawy. Prawidłowo wykonana posadzka przemysłowa powinna być gładka i łatwa w utrzymaniu w czystości włącznie z odpornością na oddziaływania mechaniczne i chemiczne podczas utrzymania bieżącego posadzki. Co istotne, w przeświadczeniu wielu inwestorów, a także uczestników procesu budowlanego posadzka przemysłowa pozostaje wyrobem gotowym, od którego oczekuje się bezusterkowej pracy

w okresie gwarancyjnym i pogwarancyjnym bez mniej lub bardziej świadomego zastosowania się do wytycznych dostawcy technologii w zakresie wymaganego serwisowania nawierzchni [2, 7, 11, 13, 15, 20, 22, 26]. Niezależnie od wykończenia z upływem czasu, w warunkach intensywnej eksploatacji, posadzka (wierzchnia warstwa każdej podłogi) ulega zużyciu. Jak opisano w [24] najszybszemu zużyciu ulegają wszelkie środki powierzchniowe, takie jak: woski, akryle, żywice. Po wytarciu wierzchniej warstwy posadzki (warstwy zabezpieczająco-impregnującej) następuje powolny proces degradacji nawierzchni poprzez wypłukiwanie spoiwa wiążącego kruszywo w podłożu betonowym. Widocznym efektem tego zjawiska jest uszorstnienie i pylenie nawierzchni, a z czasem odsłonięcie ziaren kruszywa podłoża betonowego. Od tego momentu proces degradacji nawierzchni ciągle postępuje, w konsekwencji prowadząc do miejscowych przetrąceń, uszkodzeń, odspojeń, pęknięć i odprysków. Proces degradacji nawierzchni betonowej można jednak spowolnić, stosując odpowiednie zabiegi pielęgnacyjno-konserwacyjne polegające przede wszystkim na bieżącym utrzymywaniu posadzki w czystości oraz odświeżaniu powłok ochronnych (warstw impregnujących).

Należy zauważyć, że współczesne budownictwo przemysłowe znacząco odbiega od obiektów wykonywanych kilkadziesiąt czy nawet kilkanaście lat temu. Rosnąca świadomość i doświadczenie architektów oraz konstruktorów pozwalają na projektowanie obiektów pod każdym względem ekonomicznych i wydajnych, wymagających coraz to nowszych technologii logistycznych w tym nowoczesnych układów regałowych oraz systemów wózków widłowych. Rozwój techniczny i technologiczny szczególnie widoczny jest w przypadku magazynów składowych w wielu jego obszarach. Obecnie instalacje regałowe obliczane są na przenoszenie obciążeń w dziesiątkach czy nawet setkach ton, a wielkopowierzchniowe centra logistyczne na ruch nawet kilkuset wózków widłowych jednocześnie. To o wiele więcej niż jeszcze kilkanaście lat temu, dlatego na szczególną uwagę zasługuje aspekt bieżącego serwisowania i utrzymania posadzki. Ten wątek wymaga z pewnością szerszej analizy, albowiem niewiele dostępnych jest publikacji i danych dotyczących zachowania rozwiązań posadzkowych uwzględniających zarówno czas eksploatacji, jak i warunki, w jakich posadzka była użytkowana. Temat trwałości betonu opisany został przez wielu autorów [1, 4, 8, 13, 17, 18, 21–23, 25–26, 28–29], jednak nie w aspekcie betonu posadzkowego, który jest intensywnie eksploatowany w trudnych warunkach środowiskowych.

Podobnie jak w przypadku prowadzenia obliczeń konstrukcyjnych dla najbardziej niekorzystnych układów obciążeń, tak w przypadku rozważań o trwałości rozwiązań posadzkowych do dalszej analizy należy wybierać czynniki najbardziej destrukcyjne. Dobrą praktyką techniczno-ekonomiczną, pozostaje podział obiektu na strefy o zbliżonych parametrach eksploatacyjnych i obciążeniowych.

Parametry eksploatacyjne wierzchniej warstwy podłogi (posadzki) wynikają wprost z przyjętej funkcji obiektu. Trwałość posadzki powinna umożliwiać bezproblemową eksploatację nawierzchni bez czasochłonnych, drogich napraw i remontów nie tylko w okresie gwarancji oraz również przez bardzo długi okres po jej zakończeniu. Jak wynika z przedstawionych powyżej informacji, wiodącymi w zakresie trwałości nawierzchni jest grubość i klasa ścieralności wierzchniej warstwy wykończeniowej (ścieralnej), a także twardość powierzchniowa.

3. Charakterystyka i zakres stosowania betonowych posadzek przemysłowych utwardzonych suchą posypką nawierzchniową (DST)

Posadzki mające wykończenie wierzchniej warstwy w postaci suchej posypki nawierzchniowej w technologii DST lub WTW należą do tzw. monolitycznych posadzek betonowych utwardzonych powierzchniowo. Technologia opiera się na wykonaniu klasycznej płyty betonowej (podkładu pod posadzkę), opcjonalnie zbrojonej według projektu konstrukcji, a następnie naniesieniu i zatarciu na świeżo rozłożonym betonie, tzw. młodym betonie, utwardzaczka – tj. suchej posypki nawierzchniowej w ilości odpowiadającej zaleceniom producenta.

W przypadku technologii DST sucha posypka utwardzająca nanoszona jest w ilości ~4–6 kg/m² w dwóch etapach bezpośrednio na wilgotny, młody beton. Technologia WTW polega na uprzednim połączeniu suchej posypki nawierzchniowej z wodą do konsystencji płynnej, a następnie jej rozłożenie na młodym betonie podkładowym.

W technologii WTW zalecane zużycie posypki utwardzającej wynosi 10–20 kg/m² – co odpowiada grubości warstwy ścieralnej odpowiednio 5–10 mm.

Bezpośrednio po zakończeniu procesu zacierania całą powierzchnię ułożonej zasyпки należy zaimpregnować wybranym preparatem pielęgnującym w celu pielęgnacji i zapobiegania przed zbyt szybką utratą wilgoci. W grupie produktów przeznaczonych do impregnacji nawierzchni betonowych znajdziemy produkty działające powierzchniowo, tworzące ochronny film na powierzchni posadzki, jak i produkty na bazie krzemianowej, które działają w strukturach wewnętrznych matrycy cementowej dodatkowo ją doszczelniając i wzmacniając. Prawidłowo naniesiona i zatarta posypka, tworzy barwną, o teksturze marmurkowej, trwałą odporną na ścieranie i pylenie, gładką powierzchnię o zwiększonej odporności na penetrację zanieczyszczeń jak również olejów, smarów itp. Trwałość warstwy wierzchniej monolitycznych betonowych posadzek przemysłowych w dużym stopniu jest uzależniona od jakości suchych posypek utwardzających, ich prawidłowego dozowania w trakcie układania jak również od jakości wykonania przedmiotowych prac. Posypka utwardzająca stanowi mieszaninę twardych kruszyw,

Tabela 1. Zestawienie preparatów do utwardzania powierzchniowego betonu według [16, 32]

Rodzaj utwardzacza	Dozowanie	Zastosowane kruszywa
Mineralny	3–5 kg/m ²	Kruszywa naturalne
Semimetaliczny	4–5 kg/m ²	Kruszywa naturalne i metaliczne
Metaliczny	5–7 kg/m ²	Kruszywa metaliczne

wysokosprawnych niskoalkalicznych cementów, odpowiednich domieszek i pigmentów. Odporność na ścieranie i twardość powierzchniowa utwardzacza zależą w głównej mierze od jakości kruszywa i spoiwa, tj. od twardości kruszywa i jakości cementu użytego do produkcji posypki utwardzającej. Do produkcji utwardzaczy stosowane są, w zależności od klasy produktu, kruszywa naturalne o wysokiej zawartości kwarcu o twardości 6–7 w skali Mohsa oraz metaliczne lub korundowe o twardości 8–9,5 w skali Mohsa. Dokładny skład jest tajemnicą handlową producenta i jako taki podlega ochronie prawnej.

Dopuszcza się stosowanie 3 grup materiałów trudnościeralnych:

- grupa A – kamień naturalny i/albo zwarty żużel albo

materiały zmieszane z materiałami z grupy M i KS,

- grupa M – metal,
- grupa KS – elektrokorund i węgiel krzemu.

Grupy kruszyw A, M i KS różnią się odpornością na ścieranie. W zależności od rodzaju ruchu pojazdów po posadzce (lekki, średni czy ciężki) dobiera się wymaganą minimalną grubość warstwy trudnościeralnej z zaprawy cementowej, wykonanej z określonej grupy kruszyw. Twarde materiały zwiększają odporność posadzki cementowej na ścieranie, a materiały plastyczne odporność posadzki na uderzenie i odporność na ścieranie powstałe w wyniku toczenia [30]. Z analizy kart technicznych produktów, powszechnie dostępnych na rynku materiałów wyprodukowanych przez uznanych na rynku producentów chemii budowlanej

Tabela 2. Wykaz badań dla podkładów podłogowych na bazie cementu według [N6]

Rodzaj badań	
Obowiązkowe	Dodatkowe (opcjonalne)
Reakcja na ogień	Twardość powierzchni wg PN-EN 13892-6
Wytrzymałość na ściskanie wg PN-EN 13892-2	Wytrzymałość na nacisk koła materiału pokrytego wykładziną podłogową wg PN-EN 13892-7
Wytrzymałość na zginanie wg PN-EN 13892-2	Czas wiązania wg PN-EN 13454-2
Odporność na ścieranie (do wyboru 1 z 3 zalecanych): na tarczy Boehmego wg PN-EN 13892-3	Skurcz i spęcznienie wg PN-EN 13454-2 lub PN-EN 13872
BCA (British Cement Association). wg PN-EN 13892-4	Konsystencja wg PN-EN 13454-2 lub PN-EN 12706
Odporność na nacisk koła (RWA) wg PN-EN 13892-5	Wartość pH wg PN-EN 13454-2
	Moduł sprężystości wg PN-EN ISO 178
	Przyczepność wg PN-EN 13892-8
	Odporność na uderzenie wg PN-EN ISO 6272-2

Tabela 3. Klasy ekspozycji betonu dla agresji wywołanej ścieraniem według norm PN-83/B-06256 [N5] i PN-EN 206-1:2003 [N3]

Oznaczenie klasy ekspozycji	Zagrożenie ścieraniem	Pojazdy oddziałujące na posadzkę, nawierzchnię	Zalecane wartości graniczne dla składu oraz właściwości betonu			
			Max W/C	Minimalna klasa betonu	Minimalna zawartość cementu [kg/m ³]	Inne wymagania
XM1	Umiarkowane	ogumienie pneumatyczne	0,55	C30/37	300	–
XM2	Silne	ogumieniu pełne oraz wózki podnośnikowe z ogumieniem elastomerowym lub na rolkach stalowych	0,55	C30/37	300	pielęgnacja powierzchni betonu np. przez próżniowanie i wygładzanie betonu
XM3	ekstremalne	gąsienicowe	0,45	C35/45	320	kruszywo o dużej odporności na ścieranie

wynika, że zalecane dozowanie utwardzacza zawiera się w przedziale od 3 do 9 kg suchej posypki na 1 m² posadzki. Grubość warstwy utwardzonej w technologii DST, a tym samym odporność na ścieranie zależy od ilości posypki naniesionej i wtartej w beton. Przyjmuje się, że dla uzyskania wykończenia o grubości 1 mm potrzeba ~2 kg utwardzacza na 1 m² powierzchni, stąd w obiektach przemysłowych normatywne zużycie utwardzacza wynosi 4–6 kg/m², co daje warstwę ścieralną o grubości ~2–3 mm.

Na rynku dostępnych jest wiele preparatów do powierzchniowego utwardzenia betonu, które w ślad za Latoszkim [16] i Ryżyńskim [31] sklasyfikować można według tabeli 1. Należy przy tym zauważyć, że kruszywa metaliczne i ultrametaliczne mają zwiększoną gęstość i tym samym ciężar objętościowy, co wymaga stosowania zwiększonej wagowo ilości utwardzacza, co z kolei przysparza znacznych trudności wykonawczych i wymaga dużych umiejętności sprawniej obróbki nawierzchni.

Utwardzacze mineralne lub semimetaliczne stosowane są w obiektach handlowych, warsztatach, garażach i magazynach narażonych na małe obciążenia mechaniczne (lekki i średni ruch pojazdów). W przemyśle ciężkim, zakładach produkcyjnych, magazynach i elektrowniach, gdzie wymagana jest bardzo wysoka odporność na ścieranie, zaleca się stosowanie utwardzacza metalicznego lub ultrametalicznego (ciężki ruch pojazdów, koła metalowe). Wymagania dotyczące właściwości technicznych wyrobów budowlanych, jakimi są utwardzacze posadzkowe, są określone w normie PN-EN 13813:2003 [N6]. Zakres badań obowiązkowych oraz dodatkowych wykonywanych przed wprowadzeniem materiału/wyrobu do sprzedaży przedstawiono w tabeli 2.

Z uwagi na monolityczny charakter połączenia płyty betonowej z utwardzaczem powierzchniowym parametrami wiodącymi dla utwardzacza niezmiennie pozostają odporność

na ścieranie oraz twardość. Wytrzymałość na ściskanie i zgnanie pełnią rolę drugorzędną w tym zestawieniu, ponieważ w całości elementu konstrukcyjnego, jakim jest posadzka monolityczna, będą one zdeterminowane przez parametry betonu podkładowego, na którym ułożono warstwę wykończeniową.

Klasa ścieralności nawierzchni, jak wspomniano wcześniej, decyduje o trwałości posadzki. Definiuje ona czas, jak szybko posadzka (wierzchnia, użytkowa warstwa podłogi) będzie ulegała wytarciu i stopniowemu zużyciu. Normy PN-B-06256 [N5], PN-B-06250:2004 [N4] i PN-EN 206-1:2003 [N3] odnoszą się do problematyki związanej z destrukcyjnym oddziaływaniem ścierania na beton, gdzie intensywność ścierania ujęta została w postaci klas ekspozycji i powiązana z rodzajem pojazdów eksploatujących posadzkę (tab. 3).

Niestety powyższe wytyczne znajdują jedynie zastosowanie w przypadku posadzek wykonanych na płytach betonowych, a poszczególnym klasom ekspozycji nie przyporządkowano zalecanych dopuszczalnych poziomów ścieralności warstwy wierzchniej (użytkowej) posadzki. W zakresie posadzek wykonanych w technologii DST, co do zasady możemy odnosić się jedynie do zapisu umieszczonego w przypisach do tabeli: Zalecane wartości graniczne składu oraz właściwości betonu [N3] [N5]: powierzchnia betonu może być uszlachetniona materiałami odpornymi na ścieranie. Należy zatem stwierdzić, że wymagania zawarte w normach dotyczących mieszanki betonowej i betonu stwardniałego [N1–N5] odnoszą się przede wszystkim do odporności na ścieranie betonu. Bardziej precyzyjne wytyczne dotyczące wielkości odporności na ścieranie betonu (posadzkowego) w zależności od warunków jego pracy zawarto w wycofanej, ale wielokrotnie i powszechnie przywoływanej w aktualnych specyfikacjach technicznych normie PN-83/B-06256 [N5]. Graniczne wartości ścieralności betonu,

Tabela 4. Dopuszczalne limity ścieralności betonu odpornego na ścieranie według normy PN-83/B-06256 [N5]

Rodzaj ruchu	Charakterystyka ruchu	Maksymalna wartość ścieralności wg Boehmego [$\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$]
Ciężki i duży	Ruch sprzętu ciężkiego i wózków nieogumionych, stale występujące duże obciążenia dynamiczne i statyczne, częste uderzenia	12,5
Średni	Duży ruch ludzi, ruch lekkich wózków ogumionych, niewielkie obciążenia dynamiczne i statyczne	15

Tabela 5. Limity ścieralności w zależności od intensywności ruchu według [14]

Intensywność ruchu	Maksymalny poziom ścieralności wg Boehmego w [$\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$]
Najczęściej spotykana (przeciętna)	≤ 5
Szczególnie wysoka	≤ 3 lub ≤ 2

określonej na tarczy Boehmego, uzależnione są od rodzaju ruchu – zestawiono je w tabeli 4.

Norma [N5] obowiązywała w latach 1983–2004, a więc trudno traktować powyższe wytyczne nawet jako poglądowe w aspekcie współcześnie wykonywanych obiektów, o których eksploatacji szerzej napisano w punkcie 2.

Wytycznych dotyczących dopuszczalnych limitów poziomu ścieralności nie zawarto również w wydanych w ostatnich latach przez Instytut Techniki Budowlanej poradnikach [32] i [33]. W publikacjach tych na temat ścieralności posadzki zamieszczono jedynie krótkie zapisy o konieczności uszczegółowienia wymaganej ścieralności w projekcie posadzki oraz w części dotyczącej odbiorów posadzek utwardzanych powierzchniowo, możliwości ewentualnego (wykonywanego na żądanie Inwestora) pobierania próbek do badania ścieralności na tarczy Boehmego. W wydanej przez ITB w 2014 r. aktualizacji poradnika [32] uzupełniono w części dotyczącej odbiorów limit BCA.

W fachowej, polskiej literaturze technicznej dotyczącej posadzek utwardzanych powierzchniowo opublikowano wiele broszur, będących zwykle tłumaczeniami i przedrukami pozycji literatury zagranicznej, dopiero Karwacki [14] zaproponował klasyfikację suchych posadzek na podstawie wykonanych w kraju

badania ścieralności. Zaproponowane limity ścieralności w zależności od intensywności ruchu przedstawiono w tabeli 5. Klasyfikację suchych zasypek utwardzających według Latoszka [16] zamieszczono w tabeli 6. Odnosi się ona wprawdzie bezpośrednio do oferty dostawcy technologii (Bautech), ale uznać ją można za udaną próbę podziału suchych posypek utwardzających ze względu na skład i związany z nim poziom ścieralności badany za pomocą tarczy Boehmego, co potwierdza również bardziej współczesna publikacja [31]. Niezwykle istotnym jest, aby dokonując wyboru posypki utwardzającej, uwzględnić jej kompatybilność z cementem stosowanym w mieszance betonowej parametrami tej mieszanki. Z uwagi na brak normalizacji aspektów technologicznych i materiałowych dotyczących betonu posadzkowego, według [19] uzasadnionym technicznie pozostaje fakt umieszczenia w projektach i specyfikacjach technicznych betonu przeznaczonych do wykonywania posadzek przemysłowych utwardzonych powierzchniowo w technologii DST; zapisów dotyczących: osiągnięcia przez beton minimalnej wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu (metodą dwupunktową), wytrzymałości na odrywanie (metoda pull-off) oraz warunków pielęgnacji wczesnej oraz rozwoju wytrzymałości betonu w czasie.

Tabela 6. Klasyfikacja suchych posypek utwardzających według [16, 31]

Rodzaj utwardzacza	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	Wytrzymałość na zginanie [MPa]	Dozowanie [kg/m^2]	Ścieralność wg Boehmego [$\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$]	Przykład zastosowania (klasa ekspozycji wg [N23])
Mineralny	> 67	> 11	4 - 5	4,5	obiekty handlowe, warsztaty, garaże i magazyny (XM1 i XM2)
Semimetaliczny	> 70	> 14	4 - 5	3,9	
Metaliczny	> 70	> 14	5 - 7	2,3	przemysł ciężki, zakłady produkcyjne i elektrownie (XM3)

Należy również pamiętać, że na podstawie powszechnie uznanych i stosowanych przez wykonawców wytycznych ITB [32–33], każdą posadzkę betonową należy wykonać zgodnie z projektem budowlanym, w którym powinna być określona: wymagana wytrzymałość, grubość, sposób jej ułożenia, ścieralność, usytuowanie dylatacji i inne niezbędne szczegóły, np. cokoły, odwodnienia. Brak właściwie wyspecyfikowanych parametrów posadzki na etapie planowania inwestycji i projektowym jest najczęstszą przyczyną wystąpienia nieprawidłowości na etapie realizacyjnym, a w konsekwencji przyczynia się do obniżenia trwałości tej posadzki.

4. Podsumowanie

Posadzki przemysłowe są istotnymi elementami współczesnego budownictwa, a ze względu na różnorodność obciążeń i warunków eksploatacji są elementami trudnymi w projektowaniu i wykonaniu, jak również generują problemy eksploatacyjne. Betonowe posadzki utwardzone powierzchniowo należą do najczęściej stosowanych rozwiązań z uwagi na korzystny stosunek jakości do ceny w stosunku do innych rozwiązań, krótszy czas wykonania i możliwość rozpoczęcia eksploatacji posadzki niezwłocznie po wysezonowaniu płyty. Najbardziej powszechnym sposobem zabezpieczenia górnej powierzchni betonowych posadzek przemysłowych jest stosowanie suchej posypki nawierzchniowej (DST) oraz jej impregnacja.

Niniejszy artykuł został przygotowany na XXI Konferencję Naukowo-Techniczną „Kontra 2020 – Trwałość budowli i ochrona przed korozją” i uzyskał pozytywną opinię Komitetu Naukowego Konferencji. Z powodu sytuacji epidemiologicznej XXI Konferencja KONTRA nie może odbyć się w przewidzianym terminie, pragniemy jednak zaprezentować Państwu jej dorobek publikacyjny.

BIBLIOGRAFIA

[1] Ajdukiewicz A., Aspekty trwałości i wpływu na środowisko w projektowaniu konstrukcji betonowych, *Przegląd Budowlany* 2/2011, str. 20–29
 [2] Bajno D., Małasiewicz A., Rodzaje i skutki zewnętrznych oddziaływań na posadzki, *Czasopismo Techniczne Wydawnictwa Politechniki Krakowskiej* z1-B/2007, str. 3–11
 [3] Balacha J., Właściwości modelowej posadzki przemysłowej w kontekście momentu aplikacji posypki i jej zacierania na świeżej mieszance betonowej, *Prace ICiMB* 23/2015, str. 7–18
 [4] Baranowski W., Zużycie obiektów budowlanych, Wydawnictwo Warszawskiego Centrum Postępu Techniczno-Organizacyjnego Budownictwa, Ośrodek Szkolenia WACETOB sp. z o.o., Warszawa, 2000
 [5] Błyszko J., Kiernożycki W., Błędy projektowe i wykonawcze posadzek oraz nawierzchni betonowych, 29th International Conference on Structural Failures ICSF-2019, str. 47–56, Międzyzdroje, 2019
 [6] Chmielewska B., Czarnecki L., Materiały i wymagania dotyczące posadzek, XXVI Ogólnopolska Konferencja WPPK-2011, str. 239–280, Szczyrk, 2011
 [7] Chmielewska B., Czarnecki L., Wymagania norm dotyczące posadzek przemysłowych, *Materiały Budowlane*, 2/2012, str. 5–9
 [8] Fegerlund G., Trwałość konstrukcji betonowych, Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 1997
 [9] Fiertak M., Ochrona materiałowo-strukturalna betonu, XXV Ogólnopolska Konferencja WPPK-2010, I, str. 201–236, Szczyrk, 2010

[10] Hajduk P., Projektowanie podłóg przemysłowych, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 2013
 [11] Halička A., Ocena istniejących konstrukcji budowlanych według normy ISO 13822-2010, V Ogólnopolska Konferencja Problemy Techniczno-Prawne Utrzymania Obiektów Budowlanych, Warszawa, 2019
 [12] Horszczaruk E., Odporność betonu na ścieranie w aspekcie wymogów normy PN-EN 206-1, *Budownictwo, Technologie, Architektura* 1/2007
 [13] Hulimka J., Wybrane problemy projektowania, wykonawstwa i eksploatacji betonowych podłóg na gruncie w obiektach wielkopowierzchniowych, 29th International Conference on Structural Failures ICSF-2019, str. 71–90, Międzyzdroje, 2019
 [14] Karwacki J., Podłogi przemysłowe, *Polski Cement*, kwiecień – czerwiec 2001, str. 32–34
 [15] Kucharska-Stasiak E., Metody pomiaru zużycia obiektów budowlanych, *Materiały Budowlane* 2/1995, str. 29–38
 [16] Latoszek P., Powierzchniowo utwardzane monolityczne nawierzchnie przemysłowe z fibrobetonów. Konferencja Dni Betonu, 2004
 [17] Mierzwa J., Kształtowanie i obliczanie posadzek przemysłowych na gruncie, XXIII Ogólnopolska Konferencja WPPK-2008, Szczyrk, 2008
 [18] Neville A. M., Właściwości betonu, Wydawnictwo Polski Cement sp. z o.o., Wiźnice, 2018
 [19] Piotrowski T., Świątek-Żołyńska S., Beton posadzkowy – wymagania i odpowiedzialność za jakość zgodnie z PN-EN 206, *Materiały Budowlane* 9/2017, str. 3–6
 [20] Substyk M., Utrzymanie i kontrola okresowa obiektów budowlanych, Wydawnictwo ODDK, Warszawa, 2012
 [21] Ścisławski Z., Ochrona konstrukcji żelbetowych, Wydawnictwo Arkady, Warszawa, 1999
 [22] Ścisławski Z., Trwałość konstrukcji żelbetowych, Wydawnictwo ITB, Warszawa, 1995
 [23] Ślusarek J., Wybrane rozwiązania strukturalno-materiałowe betonowych nawierzchni przemysłowych, XIX Ogólnopolska Konferencja WPPK-2004, str. 129–154, Szczyrk, 2004
 [24] Świątek-Żołyńska S., X-Floor® – Nowoczesne metody regeneracji i wzmocnienia nawierzchni oraz betonowych posadzek przemysłowych, XXIX Ogólnopolska Konferencja WPPK-2014, IV, Szczyrk 2014
 [25] Tejchman J., Małasiewicz A., Posadzki przemysłowe, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk, 2006
 [26] Technical Report Nr 34. Concrete industrial ground floors. A guide to design and constructions. Concrete Society, Third editio, 2003
 [27] Urbanowicz D., Sadłowski K., Warzocha M., Badanie odporności na ścieranie metoda BCA – szybki sposób na sprawdzenie jakości posadzek przemysłowych, *Inżynier Budownictwa*, str. 50–53, 11/2018
 [28] Zybura A., Śliwka A., O interpretacji warunków środowiskowych przy określaniu klasy ekspozycji w projektach konstrukcji żelbetowych, *Inżynieria i Budownictwo* 3/2010, str. 116–120
 [29] Zych T., Trwałość współczesnego betonu w ujęciu norm europejskich, *Czasopismo techniczne, Architektura*, 2-A/2, 11, 108, Kraków, 2001
 [30] Zając G., Posadzki przemysłowe o dużej odporności na ścieranie, *Materiały Budowlane* 5/2007, str. 28–30
 [31] Rzyżniński W., Utwardzenie powierzchniowe posadzki betonowej – cz. I, *Inżynier Budownictwa* 2/2015, str. 54–62
 [32] Warunki Techniczne Wykonania i Odbioru Robót Budowlanych, część B: Roboty wykończeniowe, zeszyt 8, Instytut Techniki Budowlanej, Instrukcje, Wytyczne, Poradniki 433/2010
 [33] Posadzki mineralne i żywiczne, Instytut Techniki Budowlanej, Instrukcje, Wytyczne, Poradniki Warszawa, 2018
 [34] Materiały szkoleniowe i badania wewnętrzne produktów oraz systemów, Bautech
 [N1] PN-EN 1991-1-1: Eurokod 1: Oddziaływanie na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne, Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach
 [N2] PN-EN 1992-1-1:2008 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków
 [N3] PN-EN 206-1:2003 + A1:2016-12 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
 [N4] PN-B-06250:2004 Krajowe uzupełnienia normy PN EN 206-1:2003
 [N5] PN-83 B-06256 Beton odporny na ścieranie
 [N6] PN-EN 13813:2003 Podkłady podłogowe oraz materiały do ich wykonania. Materiały. Właściwości i wymagania