



**Maciej
NIEDOSTATKIEWICZ¹**



**Sylwia
ŚWIĄTEK-ŻOŁYŃSKA²**



**Tomasz
MAJEWSKI³**

TRWAŁOŚĆ BETONOWYCH POSADZEK PRZEMYSŁOWYCH W ASPEKTCIE ICH ŚCIERALNOŚCI

1. Wstęp

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 związane jest 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 powierzchniowo, przewidziana do realizacji w konkretnych warunkach eksploatacyjnych.

Nadmierna ścieralność warstwy użytkowej jest jedną z często spotykanych wad betonowych posadzek przemysłowych. Jak wcześniej wspomniano, wady te powstać mogą zarówno

¹ Dr hab. inż., prof. PG, Politechnika Gdańska, mniedost@pg.edu.pl

² Mgr inż., Politechnika Gdańska, s.swiatek-zolynska@pg.edu.pl

³ Mgr inż., Politechnika Gdańska, tomimaj@pg.edu.pl

jako następstwo błędu projektowego, technologicznego, jak i niewłaściwego wykonawstwa. Sposób eksploatacji posadzki również może być bezpośrednią przyczyną powstawania usterek i uszkodzeń powierzchni posadzki przemysłowej.

Celem artykułu jest wskazanie najczęściej popełnianych błędów przyczyniających się do nadmiernej ścieralności betonowych posadzek przemysłowych, których górna powierzchnia została zabezpieczona suchą posypką aplikowaną na wilgotną nawierzchnię w początkowym okresie twardnienia młodego betonu. W artykule podano także propozycje sposobu usuwania opisanych wad, oraz dyskusję na temat współczesnych metod diagnostyki betonowych posadzek przemysłowych w zakresie oceny ich odporności na ścieranie (ścieralności).

Artykuł ma charakter studium przypadku i został ograniczony do wybranych, reprezentatywnych przypadków, z którymi spotkali się autorzy w trakcie praktyki inżynierskiej.

2. Definicje i pojęcia

Przedmiotem zainteresowania są *posadzki betonowe*, których górna powierzchnia na etapie realizacji zabezpieczona została odporną na ścieranie, suchą posypką nawierzchniową (*DST - Dry Shake Topping*).

Zwyczajowo określenie *posadzka* odnosi się do warstwy wierzchniej *podłogi*, stanowiącej jej warstwę wykończeniową, natomiast sama *podłoga* to układ wszystkich warstw wykonanych na poziomej przegrodzie, np. na stropie lub na gruncie. Jednak w praktyce inżynierskiej w przypadku *betonowych posadzek przemysłowych* określenie *posadzka* bardzo często odnosi się zarówno do warstwy wykończeniowej jak również do warstw znajdujących się poniżej, aż do poziomu konstrukcyjnej przegrody poziomej (w przypadku *posadzek* wykonanych na stropach między kondygnacyjnych) albo warstwy gruntu rodzimego (w przypadku *posadzek* wykonanych na gruncie). To podejście przyjęte zostało w dalszej części artykułu.

Powszechną praktyką jest, że w umowach o wykonanie robót budowlanych, które z reguły przygotowywane są przez prawników, a nie inżynierów budownictwa, nieprawidłowo zdefiniowane jest pojęcie *posadzki*, jako wszystkich warstw *podłogi*, obejmujących zarówno warstwy wykończeniowe, podkład betonowy na którym zostały one wykonane, oraz pozostałe warstwy znajdujące się poniżej (aż do poziomu konstrukcyjnej przegrody poziomej - w przypadku *posadzek* wykonanych na stropach między kondygnacyjnych albo warstwy gruntu rodzimego - w przypadku *posadzek* wykonanych na gruncie). Nie jest to poprawne nazewnictwo z technicznego punktu widzenia, co skutkuje wieloma sporami między stronami procesu budowlanego, dlatego tak bardzo istotnym zagadnieniem jest właściwe zdefiniowanie podstawowych różnic między *podłogą* i *posadzką*.

Definicja *podłogi* w różnych źródłach technicznych, popularno-naukowych oraz pozatechnicznych ulegała zmianom w czasie, poniżej zestawiono najbardziej znane, dostępne jej definicje i określenia:

- według *Małego słownika terminów budowlanych* [37], podłoga to warstwowy element wykończeniowy poziomej przegrody budynku, nadający jej odpowiednie, wymagane przez użytkownika cechy eksploatacyjne, np. nośność, równość, szorstkość (antypoślizgowość), chemoodporność, zmywalność, izolacyjność cieplną, przewodność elektryczną (dla podłóg antystatycznych) itp. oraz bardzo często najważniejsze to walory estetyczne,
- według *Ilustrowanego leksykonu architektoniczno-budowlanego* [41] podłoga to element wykończenia budowli, ułożony na podłożu - podkładzie podłogowym, będącym dla niej oparciem konstrukcyjnym, przekazującym obciążenie z podłogi bezpośrednio na podłoże lub przez inne elementy budowli, np. strop. Podłoga składa się z jednej, dwóch lub więcej warstw, z których górna, o wierzchniej powierzchni płaskiej jest odpowiednio przystosowana do przewidywanych wymagań użytkowych.



Zasadniczymi częściami składowymi podłogi są: posadzka i podkład podłogowy oraz izolacja termiczna i/lub akustyczna,

- według portalu internetowego *Wikipedia* [59] (*obecny stan publikacyjny*) podłoga to element wykańczający górną część stropu, posadzka jest elementem składowym podłogi. Zapewnia izolację termiczną, akustyczną i przeciwwilgociową, przenosi obciążenia równomiernie rozłożone i skupione, jest płaska i przystosowana do tego, aby mógł po niej odbywać się ruch. Podłogę dzielimy na cztery warstwy: 1-posadzka, 2-jastrych, warstwa wyrównująca i warstwa podkładowa, 3-izolacja termiczna i izolacja przeciwwilgociowa, 4-strop (pełniący rolę podłoża).
- *Encyklopedia PWN* [36] nie podaje definicji podłogi.

Podobnie jak definicja *podłogi*, również definicja *posadzki*, ulegała zmianom w czasie, co potwierdzają zamieszczone poniżej najbardziej znane określenia:

- według *Małego słownika terminów budowlanych* [37] posadzka to wierzchnia warstwa podłogi, stanowiąca jej zewnętrzne wykończenie,
- według *Ilustrowanego leksykonu architektoniczno-budowlanego* [41] posadzka to najważniejsza część podłogi będąca jej wierzchnią warstwą przejmująca obciążenia i jednocześnie jest jej zewnętrznym wykończeniem, decydującym o cechach użytkowych podłogi.
- według portalu internetowego *Wikipedia* [59] (*obecny stan publikacyjny*) posadzka to zewnętrzna, wierzchnia, ostatnia warstwa podłogi, będąca jej wykończeniem, często o charakterze dekoracyjnym,
- według *Encyklopedii PWN* [36] posadzka to rodzaj podłogi z płyt kamiennych, cegły, betonu lub drewna.

W niniejszym artykule określenie *posadzka* dotyczy wierzchniej warstwy *podłogi*, stanowiącej warstwę wykończeniową, natomiast sama *podłoga* to układ wszystkich warstw wykonanych na przegrodzie poziomej lub na gruncie. Z definicji posadzka jest integralną częścią podłogi.

Celem artykułu jest wskazanie najczęściej popełnianych błędów przy projektowaniu, wykonywaniu oraz eksploatacji *podłóg przemysłowych*, wraz z podaniem propozycji naprawy przedstawionych usterek i uszkodzeń.

Zakres artykułu został ograniczony do *betonowych posadzek przemysłowych*, w których wierzchnia warstwa *podłogi* czyli *posadzka* betonowa została zabezpieczona suchą posypką powierzchniową *DST*. W wyniku zastosowania suchej posypki powstaje nawierzchnia posadzki po której może być prowadzony transport pieszki lub kołowy.

3. Wymagania dla betonowych podłóg przemysłowych

Z uwagi na mnogość rodzaju *podłóg przemysłowych* pod względem ich konstrukcji, przeznaczenia oraz sposobu eksploatacji, w niniejszym artykule ograniczono się do najczęściej spotykanych w przemyśle - wielowarstwowych podłóg wykonanych na podłożu gruntowym, które w uzasadnionych przypadkach może być dodatkowo uszlachetnione (np. wzmocnione). Najczęściej podłogi przemysłowe wykonuje się jako betonowe, fibrobetonowe (ze zbrojeniem rozproszonym) lub żelbetowe płyty, które są wykańczane na górnej powierzchni różnymi rodzajami posadzek:

- *DST (Dry Shake Topping)* tzn. suchą posypką nawierzchniową: rozwiązanie monolityczne zespolone z konstrukcją płyty. Posypka układana jest na twardniejącej mieszance tzw. młodym betonie, w krótkim okresie (do kilku godzin) od jego ułożenia,
- z tworzywa sztucznego (żywicy epoksydowej, polimerowej lub innej); kilkumilimetrową okładziną wierzchnią łączoną z płytą warstwą gruntującą (rys. 3.1), układaną

zazwyczaj na dojrzałym betonie (po 28 dniach), zgodnie z zaleceniami producenta chemii,

- okładziną ceramiczną, łączoną z płytą konstrukcyjną warstwą kleju, układaną zazwyczaj na dojrzałym betonie.

W zastosowaniach przemysłowych rzadko stosowane są inne sposoby wykończenia nawierzchni, np. zastosowanie wykładzin winylowych lub paneli, które z reguły mają niedostateczne właściwości mechaniczne. W trakcie remontów spotyka się rozwiązania w postaci prefabrykowanych paneli modułowych, które umożliwiają szybki montaż na podłogach nieobciążonych ruchem mechanicznym.



Rys. 3.1. Posadzka przemysłowa z okładziną z tworzywa sztucznego
(fot. www.fortelock.pl)

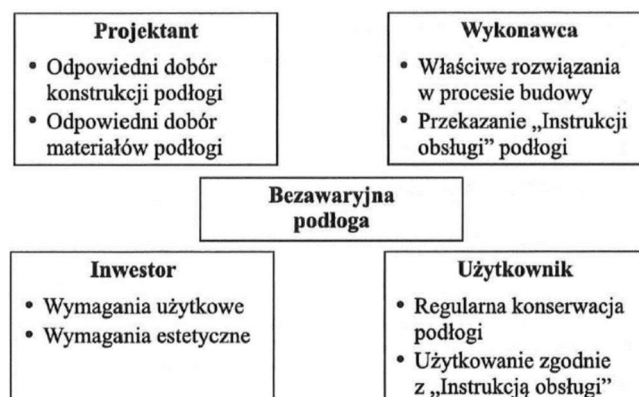
Podłogi stanowią istotny pod względem użytkowym element wykończeniowy każdego przemysłowego obiektu budowlanego, a ich trwałość w bardzo istotny sposób wpływa na okres bezpiecznej eksploatacji i jak również na koszty ponoszone przez użytkownika. Praktyka pokazuje, że betonowe podłogi przemysłowe realizowane są najczęściej w wielkopowierzchniowych obiektach produkcyjnych oraz produkcyjno – magazynowych, np. halach magazynowych, chłodniach itp., z reguły użytkowanych bez przerwy w tzw. systemie ciągłym. Usuwanie występujących usterek i uszkodzeń jest z reguły pracochłonne, bardzo kosztowne, jak również często związane jest koniecznością czasowego wyłączenia pomieszczenia z użytkowania, co może się wiązać z zatrzymaniem produkcji.

Z tego względu już na początkowym etapie planowania inwestycji zaleca się precyzyjne określenie następujących parametrów (kryteriów), które powinny spełniać projektowane podłogi przemysłowe:

- wymagań eksploatacyjnych dla podłogi - sposób użytkowania oraz wykończenia,
- dobór konstrukcji podłogi wraz z podbudową (układu i grubości poszczególnych warstw, rodzaju i jakości stosowanych materiałów),
- opracowanie szczegółowej dokumentacji projektowej uwzględniającej wymagania użytkownika oraz możliwości techniczne wykonawcy,
- opracowanie technologii prowadzenia robót - wykonania podłogi,
- opracowanie jednoznacznych kryteriów odbioru prac posadzkarskich,
- opracowanie instrukcji eksploatacji i konserwacji podłogi – tzw. *karty technicznej posadzki*.

W [60] zaproponowano podział kryteriów doboru podłogi przemysłowej przez poszczególnych uczestników procesu budowlanego – rys. 3.2.





Rys. 3.2. Dobór rozwiązań bezawaryjnej podłogi przez uczestników procesu budowlanego wg [60]

Celem nadrzędnym wszystkich podmiotów, biorących udział w projektowaniu, realizacji, jak również późniejszej eksploatacji obiektu budowlanego (Inwestora, Projektanta, Wykonawcy i Użytkownika) jest otrzymanie trwałej i bezawaryjnej [P1] *podłogi*, jednak sposób jak również koszt osiągnięcia tego celu może, i niestety, jak potwierdza to praktyka inżynierska, jest z reguły różny. Z tego względu *podłogi przemysłowe* narażone są na możliwość popełnienia błędów i niedociągnięć projektowych, błędów oraz niedociągnięć wykonawczych oraz narażone są na usterki i uszkodzenia powstałe w wyniku niewłaściwej eksploatacji. Powszechną praktyką jest brak szczegółowych wymagań lub błędne zapisy w umowach pomiędzy poszczególnymi stronami procesu budowlanego: Inwestorem a Projektantem, Inwestorem a Wykonawcą, jak również brak lub nieprawidłowa komunikacja pomiędzy Projektantem i Wykonawcą lub Podwykonawcą. Umowy nie precyzują w sposób jednoznaczny oczekiwanych wymagań, co do właściwości jakimi powinna charakteryzować się podłoga przemysłowa przewidziana do realizacji w dedykowanej lokalizacji.

Najczęściej stawiane wymagania dla *podłóg przemysłowych* są następujące:

- nośność: rozumiana jako zdolność do bezpiecznego trwałego przenoszenia obciążeń eksploatacyjnych i wyjątkowych na odpowiednio zaprojektowaną podbudowę i grunt rodzimy,
- równość powierzchni: przyjmowana jako jej wymagane wypoziomowanie, wyprofilowanie spadków, niewielkie dopuszczalne lokalne odchyłki mierzone na łacie o długości 2,0 m,
- odkształcalność: rozumiana jako zdolność do bezpiecznej i trwałej kompensacji odkształceń wywołanych: skurczem i/lub pęczaniem betonu oraz działaniem jednorodnego i/lub niejednorodnego pola temperatury, zmianami wilgotności, a także brak przemieszczeń pionowych w układzie płyta – podbudowa - grunt rodzimy,
- **odporność na ścieranie - stanowiąca główną tematykę niniejszego artykułu,**
- odporność na pylenie,
- szorstkość powierzchni: rozumiana jako zwiększona powierzchnia rugowania, zmniejszająca ryzyko poślizgnięcia się i upadku, a także zwiększająca ryzyko powstawania trwałych zabrudzeń oraz trudności w czyszczeniu powierzchni,
- odporność chemiczna,
- mrozoodporność,
- przepuszczalność: rozumiana jako nasiąkliwość i zdolność do niewchłaniania cieczy,
- izolacyjność termiczna,

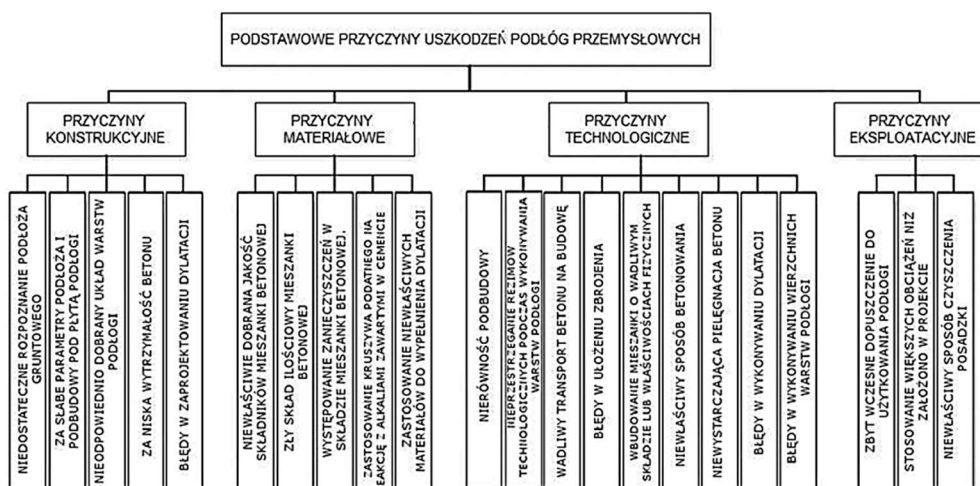


- izolacyjność przeciwwodna,
- izolacyjność gazowa,
- izolacyjność elektryczna (elektrostatyczna),
- odporność na starzenie w tym również niezmiennosc barwy,
- łatwość konserwacji oraz mycia, trwałość barwy i estetyki.

Szczegółowy opis przedstawionych powyżej wymagań podany został w wielu pozycjach literatury, między innymi w [1], [2], [8], [9].

4. Przyczyny dysfunkcji technicznych betonowych podłóg przemysłowych

Główne przyczyny powstawania usterek i uszkodzeń podłóg przemysłowych zaproponowane przez Hajduka [16], z podziałem na kategorie przedstawiono na rysunku 4.1.



Rys. 4.1. Przyczyny powstawania usterek i uszkodzeń *podłóg przemysłowych* wg [16]

W ocenie autorów przedstawiony na rysunku 4.1 schemat wymaga uzupełnienia o następujące kryteria:

- brak projektu technologicznego uwzględniającego warunki w jakich będą prowadzone roboty, w tym temperatura powietrza, dobowe zmiany temperatury oraz wilgotność,
- brak lub niewłaściwy nadzór nad prowadzeniem robót,
- brak lub niewłaściwa koordynacja międzybranżowa (wzajemne wykluczanie się elementów),
- nieuzasadnione stawianie wymagań przez projektantów branżowych (sanitarnych, architektów) bez zrozumienia zagadnień konstrukcyjnych,
- brak lub nieprawidłowy projekt podbudowy, jak również brak przyjęcia w projekcie posadzki skutków i następstw wadliwego projektu podbudowy pod projektowaną posadzką,
- nieuzasadnione stosowanie izolacji termicznej w podbudowie pod płytą posadzkową, bez przeprowadzenia analizy z zakresu fizyki budowli i statyki konstrukcji, jedynie na podstawie przesłanek wynikających z specyfikacji zamówienia projektowego,
- ograniczenie zawartości projektu do rzutu i przekroju z ogólnym opisem przyjętego układu warstw, oraz lakonicznego opisu technicznego bez wskazywania konkretnych i oczekiwanych parametrów technicznych stosowanych materiałów,

- brak lub niepoprawnie wykonane obliczenia statyczne, uwzględniające przewidywane obciążenia statyczne oraz środowiskowe, w szczególności oddziaływania skurczu, zmiany temperatury i/lub wilgotności,
- brak specyfikacji technicznej dot. wymaganych parametrów wytrzymałościowych planowanych do wbudowania materiałów budowlanych oraz ich trwałości.

5. 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 [2]-[3], [5]-[6], [10]-[23], [26], [27], [32]. 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, oczekiwana trwałość i przydatność eksploatacyjna.

W celu podniesienia parametrów technicznych i użytkowych wierzchniej warstwy podłogi przemysłowej (a właściwie nawierzchni podkładu betonowego), zwiększenia jej odporności na ścieranie stosuje się różnego rodzaju materiały i zabiegi technologiczne, z których najbardziej powszechne w nowych obiektach to:

- **utwardzacz posadzkowe układane metodą suche na mokre (DST) - stanowiące przedmiot niniejszego artykułu,**
- utwardzacz posadzkowe układane metodą mokre na mokre (WTW),
- wylewki cienkowarstwowe polimero-cementowe (PCC),
- żywice poliuretanowe i epoksydowe,
- chemoodporne jastrychy poliuretanowo-cementowe,
- impregnaty do betonu,
- inne (płytki z klinkieru lub krzemionki szlachetnej, żywice poliestrowe, żywice meta-krylowe, szlifowanie betonu, itp.).

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

Nie bez znaczenia jest tutaj fakt, że posadzki w technologii DST i WTW można wykonać **tylko** na etapie betonowania płyty posadzkowej, w związku z czym są to rozwiązania najbardziej uniwersalne i najtańsze biorąc pod uwagę ekonomikę budowy i prędkość wykonania, jednakże ich zastosowanie musi być uwzględnione na etapie planowania budowy.

W praktyce, po ustaniu parametrów technicznych posadzki utwardzanej powierzchniowo (okres po zużyciu powłoki utwardzanej), w grę wchodzi rozwiązanie powłokowe lub technologie szlifowania betonu. Można więc w uproszczeniu założyć, że w praktyce Inwestor zawsze ma możliwość wykonania rozwiązań powłokowych w postaci okładzin płyty konstrukcyjnej, ale tylko raz ma możliwość wykonania posadzki monolitycznej.

Posadzki na bazie żywic syntetycznych: epoksydowych, poliuretanowych oraz poliuretanowo-cementowych najczęściej znajdują zastosowanie w obiektach o charakterze produkcyjnym, 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 posadzki na istniejących podkładach betonowych, bez istotnej 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 Inwestorzy decydują się również na metody powierzchniowego wzmocnienia istniejących podkładów betonowych za pomocą impregnacji chemicznej preparatami krzemianowymi oraz szlifowania nawierzchni.

6. Charakterystyka techniczna betonowych posadzek przemysłowych utwardzonych suchą posypką nawierzchniową (*DST*)

Technologia *DST* polega na rozłożeniu i mechanicznym wtarceniu w twardniejącą mieszankę (tzw. młody beton będący w fazie wiązania) suchej posypki utwardzającej (posypki nawierzchniowej) w ilości $\sim 4\div 6$ kg/m². Uzyskana w ten sposób wierzchnia warstwa płyty betonowej o grubości $\sim 2\div 3$ mm ma przede wszystkim wysoką twardość i wytrzymałość mechaniczną [3]-[4], [6], [8]-[16], [19]-[20], [24]-[25], [32], [29]-[32], [38] [40], [42] 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 $\sim 10\div 20$ kg/m², co odpowiada grubości warstwy ścieralnej odpowiednio $\sim 5\div 10$ mm. Posadzki realizowane według rozwiązań tej technologii nie będą przedmiotem szczegółowej analizy w dalszej części niniejszego artykułu.

Najczęściej spotykanym konstrukcyjnym rozwiązaniem przy wykonywaniu posadzek do zastosowań przemysłowych jest podłoga pływająca, 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, tj. kompensację odkształceń wywołanych skurczem i pęczaniem betonu, oraz odkształceń wywołanych wpływem różnego rodzaju czynników mechanicznych, temperaturowych, wilgotnościowych lub środowiskowych [33], [47], [55].

Głównym zadaniem posadzki przemysłowej jest przede wszystkim bezawaryjne przeniesienie obciążeń: statycznych, mechanicznych, termicznych i chemicznych [13]-[14], [19], [20]-[21], [27]-[28], [30]-[31], [34], [43]. Prawidłowo zaprojektowana i wykonana posadzka przemysłowa powinna być:

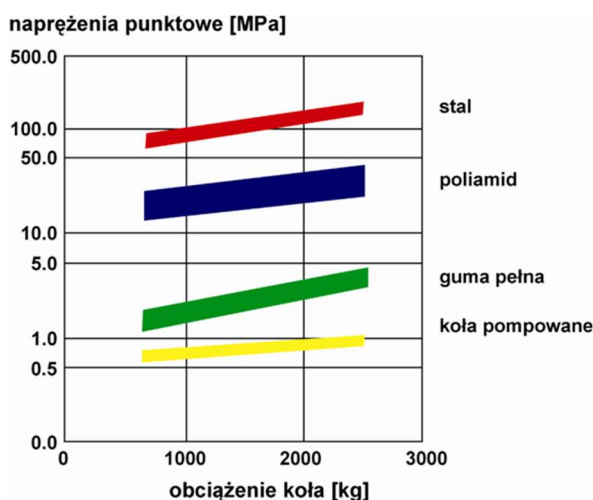
- gładka,
- równa,
- niepyląca,
- posiadać właściwą, zależną od przeznaczenia odporność na ścieranie, uderzenia, intensywność eksploatacji.

Ponadto, powinna być:

- łatwa w utrzymaniu w czystości,
- nie powodować ryzyka poślizgnięcia się lub upadku.

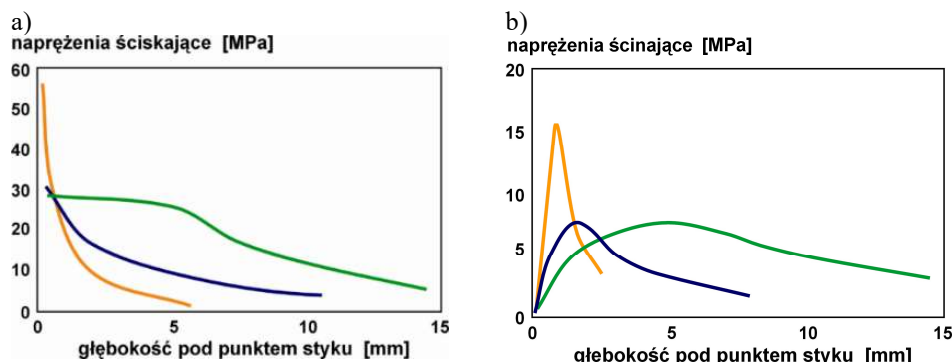
W przypadku posadzek przemysłowych kwestie doboru kolorystyki wykończenia oraz inne walory estetyczne pozostają drugorzędne i nie są przedmiotem odbioru technicznego nawierzchni.

Nośność posadzki przemysłowej 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, wartość i lokalizacja przewidywanych obciążeń oraz stan wykonania podbudowy (jego parametry wytrzymałościowe). W zasadzie standardowe rozważania dotyczące obciążeń sprowadzają 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. Na rysunku 6.1 przedstawiono naprężenia kontaktowe na posadzce betonowej w zależności od rodzaju ogumienia pojazdów. 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 między skrajnymi przypadkami przekracza stukrotność, a więc z całą pewnością można stwierdzić, iż jest to bardzo istotny czynnik, mający bardzo znaczący wpływ na trwałość posadzki przemysłowej.



Rys. 6.1. Naprężenia kontaktowe na posadzce betonowej w zależności od rodzaju ogumienia pojazdów wg [51]

Taki stan rzeczy nakazuje rozważyć również wpływ ścinania w punktach styku kół pojazdów z nawierzchnią. Na rysunku 6.2 przedstawiono zmiany naprężeń ściskających i ścinających w betonowej płycie podłogowej (posadzce) w zależności od rodzaju kół pojazdu. Do analizy wybrano koła pojazdów generujące największe naprężenia tj. stalowe i poliamidowe. Największe naprężenia występują w strefie przypowierzchniowej płyty na głębokości do 5 mm od lica posadzki, następnie stopniowo się zmniejszając. Rozkład naprężeń na głębokości (grubości płyty) zasadniczo nie zależy od jej grubości. W przypadku zastosowania technologii monolitycznej posadzki betonowej *DST*, największe co do wartości naprężenia występują w warstwie utwardzonej zasypki.



Obciążenie [kg]	Materiał koła	Średnica koła [mm]	Szerokość koła [mm]	Kolor na wykresie
200	Stal	110	50	Żółty
2500	Poliamid	300	100	Zielony
600	Poliamid	85	75	Niebieski

Rys. 6.2. Naprężenia: a) ściskające i b) ścinające na posadzce betonowej w zależności od rodzaju ogumienia pojazdów wg [51]

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 projektuje się ekonomiczne układy logistyczne oparte na standardach VNA (z ang. *Multifunction Very Narrow Aisle Truck*) oraz wytycznych VDMA (z niem. *Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau*) dotyczących posadzek przemysłowych w magazynach z bardzo wąskimi korytarzami. Wdrożenie takich rozwiązań wiąże się z koniecznością spełnienia wysokich wymagań dotyczących równości oraz płaskości posadzek, aby zapewnić bezpieczną i efektywną pracę wózków systemowych, które 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 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 najczęściej nie zdają sobie sprawy.



Prawidłowo wykonana posadzka przemysłowa powinna być gładka i łatwa do utrzymania w czystości włącznie z odpornością na oddziaływania mechaniczne i chemiczne podczas bieżącej eksploatacji. Co istotne, w przeświadczeniu wielu Inwestorów, a także pozostałych uczestników procesu budowlanego, posadzka przemysłowa pozostaje wyrobem gotowym, od którego oczekuje się bezusterkowej pracy w okresie gwarancyjnym i pogwarancyjnym, z pominięciem mniej lub bardziej świadomego stosowania wytycznych dostawcy technologii (posadzki) w zakresie wymaganego serwisowania jej nawierzchni [41], [2], [4], [8], [10], [12], [14]-[15], [17], [20]-[21], [26], [29], [32], [35], [42], [44]-[46], [51]-[52], [63]-[64].

Niezależnie od wykończenia, w warunkach intensywnej eksploatacji, posadzka (wierzchnia warstwa każdej podłogi) ulega zużyciu z upływem czasu. Najszybszemu zużyciu ulegają wszelkie środki powierzchniowe, takie jak: woski, akryle, żywice [29], [32], [56], [57], [54]. Po wytarciu wierzchniej warstwy posadzki (warstwy zabezpieczająco-impregnującej) następuje powolny proces degradacji nawierzchni poprzez wyflukiwanie 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 przetarć, 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) [38].

Należy zauważyć, że współczesne budownictwo przemysłowe znacząco odbiega od obiektów wykonywanych kilkadziesiąt czy nawet kilkanaście lat temu [14]-[16], [19], [22], [24]-[25], [38], [61]-[62], [64]. 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. Temat trwałości betonu opisany został przez wielu autorów [2], [4], [7]-[8], [10], [14], [15]-[17], [18], [23]-[24], [38], [44]-[46], [58], [62]-[64], jednak nie w aspekcie betonu posadzkowego, który jest intensywnie eksploatowany w trudnych warunkach środowiskowych [18], [19], [42], [48]-[54], [57]-[58].

Podobnie jak w przypadku prowadzenia sprawdzających obliczeń statyczno-wytrzymałościowych 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 zapewniać bezproblemową eksploatację nawierzchni zarówno w okresie gwarancyjnym, jak i po jego zakończeniu, bez konieczności wykonywania kosztownych i czasochłonnych napraw czy remontów.

Jak wynika z przedstawionych powyżej informacji, parametrami wiodącymi w zakresie trwałości nawierzchni są:

- grubość,
- klasa ścieralności wierzchniej warstwy wykończeniowej (ścieralnej),
- twardość powierzchniowa warstwy wierzchniej.

7. Uwarunkowania materiałowe betonowych posadzek przemysłowych utwardzonych suchą posypką nawierzchniową (DST)

Posadzki posiadające 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 wg projektu konstrukcji, a następnie naniesieniu i zatarcia na twardniejącej mieszance, tzw. młodym betonie, utwardzaczem tj. suchej posypki powierzchniowej, w ilości odpowiadającej zaleceniom producenta.

W przypadku technologii *DST*, sucha posypka utwardzająca наносzona jest 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.

Bezpośrednio po zakończeniu procesu zacierania, w przypadku posadzek w technologii *DST*, całą powierzchnię ułożonej zasypki należy zaimpregnować wybranym preparatem chemicznym w celu pielęgnacji i zapobiegania przed zbyt szybką utratą wilgoci. W grupie produktów przeznaczonych do impregnacji nawierzchni betonowych znajdziemy produkty działające powierzchniowo, tworzące ochronną błonę (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 gładką, barwną, o teksturze marmurkowej, odporną na ścieranie i pylenie, trwałą 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 [21], [40], [54].

Posypka utwardzająca stanowi mieszaninę:

- twardych kruszyw,
- wysokosprawnych niskoalkalicznych cementów,
- odpowiednich domieszek i pigmentów.

Odporność na ścieranie i twardość powierzchniowa utwardzacza zależą w głównej mierze od:

- jakości kruszywa, głównie od jego twardości,
- jakości cementu (spoiwa) 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.

Norma [N1], [N2], [N10], [N34], [N35] dopuszcza 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: metaliczne,
- grupa KS: elektrokorund i węgiel krzemowy.

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 tocznienia [51].

Z analizy kart technicznych produktów powszechnie dostępnych na rynku materiałów wyprodukowanych przez uznanych na rynku producentów chemii budowlanej [M1]-[M5] wynika, że zalecane dozowanie utwardzacza zawiera się w przedziale od 3 kg 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 ścierną o grubości ~2÷3 mm.

Na rynku dostępnych jest wiele preparatów do powierzchniowego utwardzenia betonu, które w ślad za [23] i [40] sklasyfikować można wg tablicy 7.1.

Tablica 7.1. Zestawienie preparatów do utwardzania powierzchniowego betonu wg [28], [41]

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

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 sprawnej 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 określono w normie PN-EN 13813 [N20]. Zakres badań obowiązkowych oraz dodatkowych wykonywanych przed wprowadzeniem materiału/wyrobu do sprzedaży przedstawiono w tablicy 7.2.

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 zginanie pełnią rolę drugorzędą 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 wspomiano 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 [N10], PN-B-06250 [N12] i PN-EN 206 [N34], [N35] 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 (tablica 7.3).

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 [N10], [N34], [N35]: *Powierzchnia betonu może być uszlachetniona materiałami odpornymi na ścieranie.*

Tablica 7.2. Wykaz badań dla podkładów podłogowych na bazie cementu wg [N20]

Rodzaj badań	
Obowiązkowe	Dodatkowe (opcjonalne)
<p>Reakcja na ogień</p> <p>Wytrzymałość na ściskanie wg PN-EN 13892-2 [N22]</p> <p>Wytrzymałość na zginanie wg PN-EN 13892-2 [N22]</p> <p>Odporność na ścieranie (do wyboru 1 z 3 zalecanych):</p> <ul style="list-style-type: none"> - na tarczy Böhmeo wg PN-EN 13892-3 [N23] - BCA (British Cement Association) wg PN-EN 13892-4 [N24] - odporność na nacisk koła (RWA) wg PN-EN 13892-5 [N25] 	<p>Twardość powierzchni wg PN-EN 13892-6 [N26]</p> <p>Wytrzymałość na nacisk koła materiału pokrytego wykładziną podłogową wg PN-EN 13892-7 [N27]</p> <p>Czas wiązania wg PN-EN 13454-2 [N18]</p> <p>Skurcz i spęcznienie wg PN-EN 13454-2 [N18] lub PN-EN 13872 [N21]</p> <p>Konsystencja wg PN-EN 13454-2 [N18] lub PN-EN 12706 [N40]</p> <p>Wartość pH wg PN-EN 13454-2 [N18]</p> <p>Moduł sprężystości wg PN-EN ISO 178 [N36]</p> <p>Przyczepność wg PN-EN 13892-8 [N28]</p> <p>Odporność na uderzenie wg PN-EN ISO 6272-2 [N37]</p>

Tablica 7.3. Klasy ekspozycji betonu dla agresji wywołanej ścieraniem wg norm: PN-B-06256 [N10] i PN EN 206 [N34], [N35]

Oznaczenie klasy ekspozycji	Zagrożenie ścieraniem	Pojazdy oddziałujące na posadzkę, nawierzchnię	Zalecane wartości graniczne dla składu oraz właściwości betonu			
			max W/C	min. klasa betonu	min 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



Należy zatem stwierdzić, że wymagania zawarte w normach dotyczących mieszanki betonowej i betonu stwardniałego [N10], [N12], [N32], [N34]-[N35] 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 [N10]. Graniczne wartości ścieralności betonu, określanej na tarczy Böhme, uzależnione od rodzaju ruchu zestawiono w tablicy 7.4. Należy zauważyć, że norma [N10] obowiązywała w latach 1983-2004, a więc trudno traktować powyższe wytyczne jako reprezentatywne w aspekcie współcześnie wykonywanych obiektów.

Tablica 7.4. Dopuszczalne limity ścieralności betonu odpornego na ścieranie wg PN-83/B-06256 [N10]

Rodzaj ruchu	Charakterystyka ruchu	Maksymalna wartość ścieralności wg Böhme [cm ³ /50 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

Wytycznych dotyczących dopuszczalnych limitów poziomu ścieralności nie zawarto również w poradnikach [N8] i [N38]. W publikacjach tych na temat ścieralności posadzki zamieszczono jedynie krótkie zapisy o:

- konieczności uszczegółowienia wymaganej ścieralności w projekcie posadzki,
- w części dotyczącej odbiorów posadzek utwardzanych powierzchniowo, możliwości ewentualnego (wykonywanego na żądanie Inwestora) pobierania próbek do badania ścieralności na tarczy Böhme.

W wytycznych wydanych w 2014 r., a następnie ich aktualizacjach z lat 2020 i 2023 [N38] wprowadzono uzupełnienia w części dotyczącej odbiorów limit ścieralności dla metody BCA.

W krajowej literaturze technicznej dotyczącej posadzek utwardzanych powierzchniowo opublikowano wiele broszur, będących zwykle tłumaczeniami i przedrukami pozycji literatury zagranicznej, jednak dopiero w [23] zaproponowano klasyfikację suchych posadzek na podstawie wykonanych w kraju badań ścieralności. Zaproponowane, w przywołanej pozycji literaturowej limity ścieralności w zależności od intensywności ruchu przedstawiono w tablicy 7.5.

Tablica 7.5. Limity ścieralności w zależności od intensywności ruchu wg [16]

Intensywność ruchu	Maksymalny poziom ścieralności wg Böhme w [cm ³ /50cm ²]
Najczęściej spotykana (przeciętna)	≤ 5
Szczególnie wysoka	≤ 3 lub ≤ 2

W tablicy 7.6 zamieszczono klasyfikację suchych zasypek utwardzających wg [25]. Uznać ją można jako udaną próbę podziału suchych posypek utwardzających ze względu na skład i związany z nim poziom ścieralności badany za pomocą tarczy Böhme, co potwierdza również bardziej współczesna publikacja [40]. Niezwykle istotnym jest, aby dokonując wyboru posypki utwardzającej uwzględnić jej kompatybilność z cementem stosowanym w mieszance betonowej parametrami tej mieszanki.

Tablica 7.6. Klasyfikacja suchych posypek utwardzających wg [25], [N38]

Rodzaj utwardzacza	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	Wytrzymałość na zginanie [MPa]	Dozowanie [kg/m ²]	Ścieralność wg Böhmego [cm ³ /50 cm ²]	Przykład zastosowania (klasa ekspozycji wg [N11])
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)

Wytyczne do betonów posadzkowych przeznaczonych do wykonywania posadzek *DST* powstawały w latach 80 i 90 ubiegłego wieku, a masowo zostały spopularyzowane na początku lat 2000. Zgodnie z tymi zaleceniami do wykonywania betonowych posadzek przemysłowych utwardzanych powierzchniowo, zaleca się [34] stosowanie betonów o niskim skurczu i następujących parametrach:

- klasa min. C20/25, max C30/37,
- stosunek W/C $\leq 0,5$ (1),
- ilość cementu ≤ 350 kg/m³ (1),
- zawartość alkaliów w cemencie zgodnie z wymaganiami dotyczącymi niskoalkalicznego cementu (NA) wg normy [N23],
- cement CEM I, CEM II/A-S, CEM II/B-S lub CEM III/A zgodny z normą [N11],
- kruszywo o uziarnieniu ≤ 16 mm lub ≤ 22 mm dla płyt o grubości 25÷30 cm (2)
- zawartość frakcji $\leq 0,25$ mm - min. 4 %,
- punkt piaskowy ~34÷38 % (2),
- łączna ilość cementu i kruszywa frakcji $\leq 0,25$ mm – max. 450 kg/m³
- konsystencja na placu budowy: S3, opad stożka Abrahamsa ~10÷15 cm
- bez dodatku popiołów lotnych,
- napowietrzenie mieszanki < 3 %,
- do produkcji betonów posadzkowych stosować kruszywa o stopniu potencjalnej reaktywności alkalicznej = 0.

Pożądaną cechą betonu posadzkowego jest jego jak najmniejszy skurcz. Potocznie właściwość ta nazywana jest jako nisko-skurczliwość mieszanki betonowej, jednak w literaturze przedmiotu nie jest formalnie zdefiniowana w żaden normatywny sposób. Tym samym użycie w projekcie bądź specyfikacji kontraktowej sformułowania nisko-skurczliwego betonu bez wskazania konkretnych wartości i metod badawczych nie jest wyznacznikiem jakości.

Relatywnie dobre parametry w zakresie nisko-skurczliwości (betonu o relatywnie niewielkim skurczu) uzyskuje się przy utrzymaniu w mieszance stosunku W/C < 0,5 (1), przy jednoczesnym spełnieniu warunku maksymalnej ilości zastosowanego cementu < 350 kg/m³ (1) oraz uzyskania założonej wytrzymałości klasy betonu C20/25, C25/30 oraz C30/37.

Wyższe klasy betonu do posadzek nie są pożądane, gdyż przytoczone klasy w zupełności zaspokajają wymagania użytkowe posadzki, w zakresie wytrzymałości na ściskanie. Wzrostowi klasy betonu towarzyszy znaczący przyrost wytrzymałości we wczesnej fazie wiązania i potencjalnie większe ryzyko wystąpienia niekontrolowanego skurczu oraz rys i mikrorys skurczowych. Wyższa klasa betonu to również znaczne trudności technologiczne na etapie produkcji, transportu oraz wbudowywania mieszanki betonowej, jako posadzki, która musi być zatarta przed jej całkowitym związaniem. W związku z tym betony wyższych klas, np. C35/45 polecane są jedynie przy realizacji płyt posadzkowych specjalnego przeznaczenia ze



szczególным uwzględnieniem technologii prowadzenia prac posadzkarskich lub jako nawierzchnie betonowe zewnętrzne, o których w tym artykule nie wspomiano.

Do produkcji mieszanek betonowych zaleca się stosowanie czystego cementu CEM I, cementów z dodatkami: CEM II/A-S, CEM II/B-S (granulowanym żużlem wielkopieczowym) lub cementu hutniczego CEM III/A. Norma [N31] dokładnie precyzuje kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku. Niestety tolerancje dozowania materiałów uzupełniających i niepożądanych dla poszczególnych gatunków cementu znacznie zwiększają (w stosunku do dawniejszych wymagań krajowych) dopuszczalną ilość materiałów niezalecanych czy wręcz odpadów budowlanych – takich jak np. popioły lotne (odpady z elektrocieplowni). Cementy klasy CEM II A-S i B-S to rozwiązania pośrednie pomiędzy cementem portlandzkim i hutniczym, odpowiednie przy betonowaniach odbywających się w temperaturach dodatnich (powyżej 5° C). Należy w szczególności unikać stosowania cementów z popiołem lotnym: CEM II A-V oraz CEM II B-V, jak również nie dozować bezpośrednio do mieszanki betonowej popiołów lotnych, gdyż mają one tendencję do wystąpienia niekorzystnego zjawiska „bledingu”, tzn. wyrzucania na powierzchnię i zbierania mleczka cementowego w górnej warstwie płyty. W konsekwencji w górnej warstwie przypowierzchniowej beton jest istotnie słabszy, co może prowadzić do pylenia, łuszczenia lica posadzki i szybszej degradacji powierzchni posadzki.

Kształtowanie współczynnika W/C na odpowiednim (niskim, < 0,5) poziomie zapewnia korzystny wpływ na właściwości betonu. Zwiększenie współczynnika W/C ponad zalecany (> 0,5) w mieszance betonowej skutkuje większą ilością porów w betonie, a więc obniżeniem wytrzymałości na ściskanie, a także możliwością rozsegregowania mieszanki betonowej [28]. Należy przy tym zaznaczyć, że wymagania zdefiniowane w czasie kiedy popularyzowano technologię DST (przed rokiem 2000) uległy dezaktualizacji z uwagi na znaczące odstępstwa właściwości wynikające z technologii produkcji dzisiejszych surowców, głównie w obszarze cementu. W momencie opracowywania wytycznych dotyczących technologii DST do produkcji mieszanek betonowych przeznaczonych na posadzki przemysłowe stosowano głównie cementy klasy 32,5, podczas gdy obecnie dominują cementy klasy 42,5. Duża liczba zrealizowanych projektów oraz obserwacje obiektów w trakcie ich eksploatacji wskazują, że rozsądne ograniczenie ilości stosowanego cementu do 330 kg/m³ pozwala na wykonanie wysokiej klasy posadzek bez obniżenia wymaganych parametrów użytkowych.

Autorzy [34] zalecają aktualizację obowiązujących wymagań i zaleceń przytoczonych w artykule na:

- stosunek $W/C \leq 0,53$,
- ilość cementu $C \leq 330 \text{ kg/m}^3$.

Do wytwarzania typowych betonów podkładowych i posadzkowych zaleca się stosowanie kruszyw o uziarnieniu do 16 mm, zgodne z zaleceniami norm dotyczących kruszyw PN-EN 12620 [N15] oraz PN-EN 13139 [N19] dla płyt podkładowych i posadzkowych o znacznej grubości (2). Należy przy tym zaznaczyć, że zgodnie z potoczną definicją, posadzką (a formalniej podkładem posadzkowym) nazywamy elementy o grubości nieprzekraczającej 30 cm. Istotnie zdecydowana większość rozwiązań posadzkowych w odniesieniu do wartości średnich obciążeń statycznych oraz dynamicznych, rozumianych jako średnie natężenie ruchem od wózków widłowych i środków transportowych wykorzystuje rozwiązania z zakresu średniej grubości płyt 18÷22 cm, stąd też uprawnione jest wymaganie i zalecenie stosowania kruszyw o uziarnieniu do 16 mm. W przypadku płyt masywnych o znacznej grubości 25÷30 cm należy rozważyć zastosowanie uziarnienia mieszanki do 22 mm w celu redukcji skurczu. Jednakże definiowanie takich założeń musi odbywać się z poszanowaniem i uwzględnieniem konstrukcji płyty, w tym zaprojektowanych dozbrojeń w postaci siatek wraz z otuliną zbrojenia, tak aby mieszanka betonowa mogła pozostać prawidłowo rozprowadzona

i zagęszczona. Naturalnie, w przypadku płyt o wysokim stopniu zbrojenia zastosowanie mieszanki betonowej o uziarnieniu do 22 mm może być trudne, a niekiedy wręcz niemożliwe ze względów technologicznych, takich jak prawidłowe ułożenie i zagęszczenie mieszanki przy jednoczesnym zachowaniu wymaganej grubości otulenia prętów betonem.

W analogii do przedstawionych założeń dot. uziarnienia mieszanki pozostaje osiągnięcie punktu piaskowego (**Pp**) w sugerowanym przedziale 34÷38%. W przypadku stosowania kruszyw o uziarnieniu do 16 mm, zaleca się aby **Pp** oscylował w granicach 35÷38%, a w przypadku mieszanek betonowych z krzywą uziarnienia do 22 mm **Pp** osiągał wartości zbliżone do 34-36%. Uzyskanie takich parametrów może wymagać konieczności uszlachetniania kruszyw przez ich zmieszanie, np. przy zastosowaniu min. 3÷4 różnych frakcji kruszywa. Projektowanie mieszanek betonowych w oparciu o dwufrakcyjność kruszyw znacząco wpływa na zwiększenie ilości frakcji drobnych i/lub pylastych oraz frakcji grubszych kruszyw, bez zapewnienia należytej ciągłości krzywej przesiewu [N17].

Złożoność zagadnień związanych z projektowaniem mieszanek betonowych przeznaczonych do posadzek przemysłowych znacznie wykracza poza zakres wytycznych normatywnych [N32], [N33], a także poza wiedzę i kompetencje architektów oraz konstruktorów. Dlatego w bardziej złożonych przypadkach opracowanie szczegółowych wymagań jakościowych powinno być powierzony osobom posiadającym odpowiednie doświadczenie i wiedzę w tej dziedzinie, a następnie poddane weryfikacji przez projektanta konstrukcji.

Z uwagi na brak normalizacji aspektów technologicznych i materiałowych dotyczących betonu posadzkowego, wg [34] uzasadnionym technicznie pozostaje fakt umieszczania w projektach i specyfikacjach technicznych betonu przeznaczonego do wykonywania posadzek przemysłowych utwardzonych powierzchniowo w technologii *DST* zapisów dotyczących:

- osiągnięcia przez beton minimalnej wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu (metodą dwupunktową),
- osiągnięcia przez beton minimalnej wytrzymałości na odrywanie (metoda *pull-off*),
- warunków pielęgnacji wczesnej oraz rozwoju wytrzymałości betonu w czasie.

Należy również pamiętać, że na podstawie powszechnie uznanych i stosowanych przez wykonawców wytycznych [40], [N38]-[N39], każdą posadzkę betonową należy wykonać zgodnie z projektem budowlanym (technicznym), w którym powinna być określona:

- wymagana wytrzymałość,
- grubość,
- sposób jej ułożenia,
- ścieralność,
- usytuowanie dylatacji,
- inne niezbędne szczegóły, np. cokoły, odwodnienia.

Brak precyzyjnie określonych parametrów posadzki na etapie planowania inwestycji i projektowania jest najczęstszą przyczyną pojawienia się nieprawidłowości podczas realizacji, co w konsekwencji prowadzi do obniżenia trwałości posadzki. Na etapie realizacji zaleca się, aby projekt budowlany (techniczny) został uzupełniony o projekt technologiczny, uwzględniający zarówno aspekty materiałowe, jak i wykonawcze.

8. Przyczyny dysfunkcji technicznych betonowych posadzek przemysłowych utwardzonych suchą posypką nawierzchniową (DST)

8.1. Niedoskonałości zapisów umownych

Do najczęstszych niedoskonałości zapisów umownych związanych zarówno z projektowaniem, jak również realizacją betonowych posadzek przemysłowych utwardzonych powierzchniowo w zakresie tematycznie związanym z ich ścieralnością należą:

- brak jednoznacznych wymagań jakościowych dotyczących posadzki,
- brak wskazania w umowie podstaw formalno-prawnych,
- brak wyspecyfikowania parametrów będących przedmiotem odbioru posadzki,
- brak zaleceń dotyczących użytkowania i konserwacji posadzki.

Brak wyżej wymienionych zapisów prowadzi do rozbieżności stanowisk oraz późniejszych problemów podczas przekazywania posadzki pomiędzy stronami uczestniczącymi w procesie inwestycyjnym. Dodatkowo problemy te są potęgowane przez brak odpowiednich dokumentów odniesienia, takich jak krajowe normy i wytyczne, a także zagraniczne wytyczne, jeśli nie zostały one wskazane jako podstawa umowy [N1]-[N3]. Obowiązuje zasada, że brak jasno określonych parametrów kluczowych na etapie projektu i zawierania umowy, w tym wymagań eksploatacyjnych, warunków odbioru oraz szczegółowych wytycznych i oczekiwań dotyczących posadzki, obciąża Zamawiającego.

8.2. Błędy projektowe

Do najczęstszych błędów projektowych popełnianych podczas prac projektowych nad rozwiązaniami betonowych posadzek przemysłowych utwardzonych powierzchniowo w zakresie tematycznie związanym z ich ścieralnością należą:

- brak projektu posadzki i warstw podposadzkowych,
- brak projektu podbudowy pod posadzką,
- brak specyfikacji, parametrów, warunków i wymagań eksploatacyjnych posadzki i warstw podposadzkowych,
- brak zdefiniowania podstawowych parametrów warstwy wykończeniowej: ścieralność, odporność na (*konkretny wymóg funkcjonalno-użytkowy*), brak poślizgowości, antypoślizgowość, trwałość,
- brak szczegółowych obliczeń konstrukcyjnych potwierdzających przyjętą grubość poszczególnych warstw posadzki i warstw podposadzkowych oraz wymaganej ilości i rozkładu zbrojenia,
- brak specyfikacji warstw podposadzkowych (termoizolacja, hydroizolacja, podłoże gruntowe / podbudowa, itp.),
- brak koordynacji międzybranżowej - wzajemne wykluczanie elementów konstrukcyjnych i wykończeniowych na styku technologii,
- nieprawidłowo zdefiniowane szczeliny (układy) dylatacyjne lub ich brak (rys. 8.1),
- brak szczegółów konstrukcyjnych np. połączenie instalacji odwadniającej, grzewczej z płytą posadzkową, wzmocnienie naroży wklęsłych, dozbrojenie wytyżonych elementów,
- brak zaleceń dotyczących użytkowania i konserwacji.





Rys. 8.1. Pęknięcia betonowej posadzki przemysłowej w wyniku braku zaprojektowania dylatacji skurczowych (fot. S. Świątek-Żołyńska)

8.3. Błędy wykonawcze

Do najczęstszych błędów wykonawczych popełnionych podczas realizacji betonowych posadzek przemysłowych utwardzanych powierzchniowo, wpływających na ich ścieralność, należą błędy opisane poniżej.

8.3.1. Brak projektu technologicznego

Brak szczegółowego projektu technologicznego przy realizacji betonowych posadzek przemysłowych w konsekwencji prowadzi do powstawania poważnych problemów eksploatacyjnych. Projekt ten powinien obejmować: opis techniczny, obliczenia konstrukcyjne, parametry podbudowy, plan dylatacji, uzgodnioną recepturę mieszanki betonowej, plan prac oraz warunki odbiorowe i gwarancyjne.

Bez takiego projektu istnieje duże ryzyko niewłaściwego wykonania posadzki, co może wpłynąć na obniżenie jej odporności na ścieranie (ścieralności), trwałości oraz odporność na obciążenia eksploatacyjne.

Brak precyzyjnych wytycznych skutkuje nieprawidłowościami na etapie wykonawczym, jak również brakiem możliwości dokonania odbioru technicznego, ponieważ parametry odbiorowe nie są zdefiniowane z mocy prawa (brak norm).

Właściwy projekt technologiczny jest kluczowy dla zapewnienia wysokiej jakości i trwałości posadzki (rys. 8.2).

8.3.2. Niewłaściwie dobrany czas zacierania

Zbyt wczesne lub zbyt późne zacieranie posadzki ma istotny wpływ na jej właściwości w zakresie trwałości. Zbyt wczesne zacieranie powoduje, że nadmiar wody nie zostanie odparowany, co osłabia powierzchnię posadzki (warstwa przypowierzchniowa ma wysokie wskaźnik W/C), czyniąc ją podatną na ścieranie i pęknięcia.

Zbyt późne zacieranie utrudnia wtarcie odpowiedniej ilości utwardzacza, niemożliwe jest prawidłowe zatarcie i wygładzenie powierzchni, co prowadzi do powstawania nierówności i zmniejsza odporność posadzki na ścieranie.



Idealny moment zacierania musi być odpowiednio dobrany do warunków in situ, aby zapewnić optymalną wytrzymałość i trwałość posadzki. Wybór momentu rozpoczęcia i zakończenia zacierania wymaga doświadczenia, zła synchronizacja tego procesu wpływa negatywnie na jakość końcowej powierzchni.

8.3.3. Zastosowanie zbyt małej ilości utwardzacza powierzchniowego

Użycie za małej ilości utwardzacza powierzchniowego skutkuje cieńszą warstwą ścierną i osłabioną odpornością posadzki na ścieranie oraz innymi defektami, takimi jak pylenie i szybkie zużycie powierzchni. Utwardzacz ma za zadanie zwiększyć wytrzymałość powierzchniową betonu, co jest szczególnie ważne w miejscach o dużym natężeniu ruchu. Jeżeli ilość utwardzacza nie jest wystarczająca, górna warstwa betonu zostaje zbyt szybko odsłonięta oraz staje się podatna na zniszczenia, co w dłuższej perspektywie przyspiesza proces starzenia i degradacji, obniża trwałość i w konsekwencji prowadzi do konieczności wykonania kosztownych napraw.

Odpowiednia ilość i równomierne rozprowadzenie utwardzacza, stanowi klucz do wykonania trwałej i odpornej posadzki przemysłowej (rys. 8.7 oraz rys. 8.9).

8.3.4. Zastosowanie utwardzacza o niewłaściwych parametrach

Zastosowanie utwardzacza powierzchniowego o parametrach niedostosowanych do warunków panujących w danym obiekcie może prowadzić do jego przedwczesnego zużycia. Każdy typ utwardzacza powinien być dobrany w zależności od specyfiki miejsca eksploatacji – np. w miejscach o wysokim natężeniu ruchu wózków widłowych wymagane są utwardzacze o zwiększonej odporności na ścieranie.

Niewłaściwy dobór utwardzacza może skutkować uszkodzeniami powierzchni, takimi jak przetarcia w śladach przejazdów kół, przyspieszone pylenie, pęknięcia, zarysowania czy odspojenia, co znacząco skraca żywotność posadzki. Dlatego kluczowe jest, aby utwardzacz był odpowiednio dobrany pod kątem specyficznych warunków użytkowania (rys. 8.10).

8.3.5. Dolewanie wody do twardniejącej mieszanki podczas zacierania

Dolewanie wody do zarobionej mieszanki betonowej zabronione jest na każdym etapie transportu, jak i układania w szalunku. Dodawanie wody do młodego betonu w trakcie procesu zacierania posadzki jest poważnym błędem technologicznym, który osłabia właściwości mechaniczne całej posadzki.

Betonowóz (betoniarka) służy do transportu mieszanki i nie jest przystosowany do mieszania składników betonu. Jakikolwiek próby dolewania wody do betonowozów na budowie powodują rozsegregowanie mieszanki, utratę jej homogeniczności i pogorszenie parametrów mieszanki jak i stwardniałego betonu. Nadmiar wody w betonie prowadzi do spadku jego wytrzymałości, i pośrednio sprawia, że posadzka staje się bardziej podatna na ścieranie i pylenie. Brak homogeniczności mieszanki powoduje wystąpieniem zjawiska bleedingu, tzn. zwiększonego wyrzucania mleczka cementowego (zaczynu i drobnych frakcji pylastych) na powierzchnię płyty posadzkowej, co trwale obniża jej właściwości mechaniczne, a także może powodować nadmierne wypływanie włókien zbrojenia rozproszonego (w przypadku zbrojenia płyty włóknami) w strefę przypowierzchniową.

Przy opóźnionym rozpoczęciu zacierania nawierzchni, często zacieracze próbują ułatwić sobie zacieranie polewając rozłożoną zasypkę wodą, co istotnie osłabia strefę przypowierzchniową, powodując istotny wzrost wskaźnika W/C i gwałtowny spadek wytrzymałości

i twardości strefy przypowierzchniowej, co istotnie pogarsza też jakość powierzchni przez wzrost porowatości strefy przypowierzchniowej. Ten błąd znacząco wpływa na trwałość posadzki, zwłaszcza w obszarach o intensywnym użytkowaniu.

Optymalna ilość wody w mieszance betonowej jest kluczowa dla osiągnięcia odpowiednich parametrów wytrzymałościowych.

8.3.6. Nieprawidłowo przeprowadzony proces zacierania mechanicznego

Nieprawidłowe zacieranie mechaniczne posadzki betonowej może prowadzić do poważnych defektów powierzchni. Najczęściej spotykane niedociągnięcia wynikają ze skrócenia procesu zacierania, nieodpowiednio dobranych maszyn i urządzeń oraz niedostatecznej ilości sprzętu i operatorów maszyn. W przypadku skrócenia procesu zacierania najczęściej mamy do czynienia ze skróceniem procesu pracy talerzami, który odpowiada za wyrównanie powierzchni oraz „wciśnięcie” wystających włókien w beton. Również praca lekkimi maszynami jednowirnikowymi, w przypadku grubszych płyt i zwiększonego stopnia zbrojenia rozproszonego może nie dać oczekiwanych efektów. W dalszych etapach, zbrojenie rozproszone może być podrywane z lica lub wyrwane z betonu, powodując trwałe uszkodzenia struktury zacieranej posadzki.

Kolejne niedociągnięcia dotyczą zbyt szybkich zmian kąta nachylenia łopat zacieraczki. Bardzo szybkie przeskakowanie pomiędzy pionowaniem łopat w zacieraczkach mechanicznych, prowadzi do drastycznego skrócenia procesu zacierania i niedostatecznej obróbki nawierzchni.

W przypadku zbyt intensywnego lub niedostatecznego zacierania mogą się pojawić luźne ziarna kruszywa, które nie są dobrze osadzone w matrycy cementowej. Prowadzi to do osłabienia wierzchniej warstwy posadzki, co zwiększa ryzyko jej przedwczesnego zużycia. Dodatkowo, nadmierne ilości włókien zbrojeniowych mogą wystawać nad powierzchnię, co nie tylko obniża wartość estetyczną posadzki, ale również osłabia jej strukturę. Poprawne przeprowadzenie procesu zacierania jest kluczowe, aby zapewnić jednorodność i wytrzymałość posadzki przemysłowej (rys. 8.12 oraz rys. 8.13).

8.3.7. Przesuszenie posadzki

Przesuszenie posadzki następuje, gdy beton nie jest odpowiednio zabezpieczony przed nadmiernym, szybkim odparowaniem wody zarobowej, a także w przypadku braku uwzględnienia na etapie planowania betonowania warunków wilgotnościowych panujących in situ.

Niewłaściwe zabezpieczenie obiektu może prowadzić do zbyt szybkiego wysychania powierzchni, co skutkuje wystąpieniem rys i pęknięć skurczowych oraz osłabieniem struktury betonu. Proces ten prowadzi do zmniejszenia odporności na ścieranie oraz osłabienia parametrów wytrzymałościowych.

Poprawne zabezpieczenie powierzchni w trakcie dojrzwania betonu, np. poprzez stosowanie folii ochronnych lub preparatów pielęgnacyjnych, jest kluczowe dla uzyskania trwałej i odpornej na ścieranie posadzki. Bez odpowiedniej pielęgnacji, posadzka może wymagać naprawy już w początkowej fazie użytkowania (rys. 8.7)

8.3.8. Nieprawidłowy, zbyt duży rozstaw szczelin dylatacyjnych

Nieprawidłowy, zazwyczaj zbyt duży rozstaw przeciwskurczowych szczelin dylatacyjnych skutkuje zarysowaniem powierzchni lub pęknięciem płyty w wyniku nadmiernych, przekraczających wytrzymałość betonu na rozciąganie, naprężeń rozciągających w betonie.

Według normy [N9] maksymalna dopuszczalna odległość między sąsiednimi szczelinami dylatacyjnymi wynosi 6 m, a jej przekroczenie powoduje, że beton nie jest w stanie efektywnie kompensować zmian objętości wynikających ze skurczu. Pęknięcia, które pojawiają się w takich przypadkach, mogą negatywnie wpływać na odporność posadzki na ścieranie i jej wytrzymałość.

Poprawne rozmieszczenie szczelin dylatacyjnych, przeciwskurczowych jak i konstrukcyjnych jest zatem kluczowe dla trwałości posadzki, zwłaszcza w obszarach o dużym natężeniu ruchu (rys. 8.4).

8.3.9. Zbyt późne nacięcie dylatacji przeciwskurczowych

Zbyt późne wykonanie szczelin dylatacyjnych (nacięcie dylatacji przeciwskurczowych) powoduje, że w płycie betonowej zaczynają się tworzyć niekontrolowane pęknięcia.

Szczeliny powinny zostać nacięte w okresie kilku-, kilkunastu godzin od zatarcia, zanim w betonie powstaną naprężenia skurczowe o wartości większej niż ówczesna wytrzymałość betonu na rozciąganie. Nacięcie szczelin kompensuje odkształcenia i zapobiega wystąpieniu koncentracji naprężeń w płycie.

Niewłaściwy moment wykonania szczelin dylatacyjnych skutkuje powstawaniem losowych pęknięć, które są trudne do naprawy. Takie pęknięcia osłabiają powierzchnię posadzki, zmniejszając jej odporność na ścieranie i obciążenia mechaniczne. Ważne jest, aby nacięcia były wykonane w odpowiednim momencie, zgodnie z zaleceniami technologicznymi (rys. 8.3 oraz rys. 8.13).

8.3.10. Brak dylatacji obwodowych wokół słupów, ścian i fundamentów

Brak dylatacji obwodowych (szczelin na całej grubości płyty posadzkowej) wokół elementów konstrukcyjnych, takich jak słupy, ściany czy fundamenty, prowadzi do koncentracji naprężeń w tych miejscach. Beton ma ograniczone możliwości odkształceń (rozszerzania się i kurczenia w sposób kontrolowany), co skutkuje powstawaniem pęknięć w pobliżu tych elementów. Pęknięcia te osłabiają całą strukturę posadzki, zwłaszcza w obszarach o dużych obciążeniach, takich jak fundamenty maszyn czy kolumny.

Właściwe rozmieszczenie dylatacji obwodowych wokół elementów obiektu jest niezbędne, aby zapewnić wymaganą nośność i trwałość posadzki.

8.3.11. Zastosowanie mieszanki betonowej o niedostosowanych parametrach

Użycie betonu o niewłaściwych parametrach, np. niedostatecznej, zbyt niskiej klasie wytrzymałości ma wpływ na trwałość i odporność posadzki na ścieranie.

Beton o zbyt małej zawartości cementu lub zbyt dużej ilości wody (wysokim wskaźniku W/C) ma niższą wytrzymałość, co sprawia, że jest bardziej podatny na uszkodzenia mechaniczne. Takie posadzki mogą szybciej się zużywać, pękać oraz tracić swoje właściwości użytkowe.

Odpowiednia receptura mieszanki betonowej, dobrana do specyficznych warunków eksploatacyjnych, jest kluczowa dla zapewnienia trwałości i wytrzymałości posadzki (rys. 8.16).

8.3.12. Niedostateczna pielęgnacja lub jej brak

Brak odpowiedniej pielęgnacji dojrzewającego, młodego betonu prowadzi do jego powierzchniowego przesuszenia i osłabienia struktury posadzki DST.

Pielęgnacja polega na utrzymaniu odpowiedniego poziomu wilgotności w betonie w trakcie jego twardnienia, co pozwala na prawidłowe związanie i utwardzenie mieszanki.

Niedostateczna pielęgnacja może powodować rysy skurczowe i pęknięcia, które obniżają wytrzymałość oraz odporność na ścieranie. W skrajnych przypadkach, brak pielęgnacji może prowadzić do konieczności naprawy lub całkowitej wymiany posadzki, w krótkim czasie po jej wykonaniu.

Prawidłowa pielęgnacja betonu jest kluczowym etapem w procesie jego utwardzania i wykonywania posadzki DST.

8.3.13. Pęknięcie płyty na skutek nierównego podłoża

Nierówne podłoże i wystające karby pod posadzką betonową skutkują koncentracją naprężeń i występowaniem utajonych (niewidocznych od góry) pęknięć w płycie betonowej podkładu.

Zmienna grubość płyty, wynikająca z nierówności podłoża, prowadzi do osłabienia wytrzymałości w miejscach, gdzie płyta jest cieńsza. W tych miejscach posadzka jest bardziej podatna na obciążenia i szybciej ulega uszkodzeniom. Pęknięcia, które pojawiają się w takich przypadkach, mogą znacząco obniżyć trwałość posadzki, zwłaszcza w obszarach narażonych na duże obciążenia mechaniczne.

Ważne jest, aby podłoże było odpowiednio przygotowane przed wylaniem betonu i spełniało wymagania jakościowe (rys. 8.14 oraz rys. 8.15).

8.3.14. Ciągłe zbrojenie, przez szczeliny dylatacyjne

Zbrojenie, które nie jest przerwane w miejscach dylatacji, skutkuje występowaniem koncentracji naprężeń i powstawaniem pęknięć w posadzce.

Dylatacje mają na celu kompensowanie odkształceń wywołanych zmianami objętości betonu, głównie skurczowych i termicznych betonu, jednak gdy zbrojenie nie zostanie przerwane, dochodzi do przenoszenia naprężeń, między sąsiednimi polami, co powoduje powstawanie niekontrolowanych rys i pęknięć. Rysy i pęknięcia osłabiają strukturę betonu i mogą prowadzić do przedwczesnego uszkodzenia posadzki.

Prawidłowe przerwanie zbrojenia, w miejscach dylatacji jest konieczne, aby zapewnić odpowiednią swobodę odkształceń posadzki (rys. 8.9).

8.3.15. Brak warstwy poślizgowej

Brak warstwy poślizgowej, np. folii PE między betonem podkładowym a szorstkim podłożem (o zbyt dużym współczynniku tarcia) prowadzi do powstawania rys i pęknięć wywołanych skurczem lub działaniem temperatury.

Warstwa poślizgowa pozwala na swobodne przemieszczanie się betonowej płyty posadzki po podbudowie, bez występowania miejsc koncentracji naprężeń. Brak warstwy poślizgowej powoduje, że płyta współpracuje z podłożem („ciągnie” podłoże), co skutkuje powstawaniem miejsc koncentracji naprężeń i powstawaniem rys oraz pęknięć, które osłabiają płytę posadzki.

Zastosowanie warstwy poślizgowej jest kluczowe, szczególnie w przypadku dużych powierzchni przemysłowych, aby zapewnić ich trwałość oraz odporność na obciążenia mechaniczne i środowiskowe, takie jak naprężenia skurczowe i termiczne.

8.3.16. Przekroczenie nośności płyty – przeciążenie

Zbyt wczesne rozpoczęcie eksploatacji posadzki może skutkować przekroczeniem jej nośności i uszkodzeniem. Również wykorzystanie wózków i wyższych niż założone w projekcie



naciskach kół (naciskach jednostkowych) może skutkować przeciążeniem uszkodzeniem istniejącej posadzki.

W pierwszych dniach po wylaniu betonowej posadzki, gdy materiał jeszcze nie uzyskał pełnej wytrzymałości, nadmierne obciążenia mogą spowodować pęknięcia, odspojenia lub trwałe odkształcenia powierzchni. Zbyt szybkie rozpoczęcie użytkowania posadzki przemysłowej, np. przez wprowadzenie ciężkiego sprzętu, lub sprzętu o innych niż założone w projekcie parametrach (np. rodzaju kół) może prowadzić do trwałych uszkodzeń strukturalnych. Aby tego uniknąć, kluczowe jest przestrzeganie zalecanego czasu dojrzewania betonu przed pełnym obciążeniem, co zwykle trwa kilka tygodni, oraz użytkowanie posadzki zgodnie z przyjętymi założeniami eksploatacyjnymi – określonymi w Instrukcji użytkowania posadzki, np. [N7].

Przekroczenie nośności płyty betonowej, przeciążenie może wymagać kosztownych napraw lub całkowitej wymiany nawierzchni.

8.3.17. Zawieszanie się mieszanki betonowej na zbyt gęsto zaprojektowanym zbrojeniu

Podczas rozładunku mieszanka zatrzymuje się na siatce zbrojenia. Wibrator stosowany do zagęszczenia pozwala mieszance na swobodny rozływ i wypełnienie wolnych przestrzeni w przekroju elementu. Przy zbyt krótkim okresie zagęszczania w dolnej i środkowej części płyty występują wolne przestrzenie (pustki i kawerny), a przy zbyt długim nastąpi rozsegregowanie mieszanki. W skrajnym przypadku, przy gęstej siatce zbrojenia kruszywo grube nie będzie równomiernie rozłożone w przekroju, co może skutkować osłabieniem struktury betonu.

8.3.18. Niewłaściwe warunki produkcji lub długi okres transportu mieszanki przed wbudowaniem

Zbyt długi okres od zarobu do wbudowania mieszanki, stosowanie materiałów o niestabilnych parametrach (np. w wyniku zmian wilgotności kruszywa, jego zapylenia), zastosowanie gorącego lub ciepłego cementu lub popiołu, użycie zimnej lub ciepłej wody zarobowej znacząco wpływa na parametry produkowanej mieszanki, a tym samym na parametry wykonywanej posadzki. Długi okres transportu lub oczekiwanie na wbudowanie in situ może mieć negatywny wpływ na parametry reologiczne mieszanki (jej konsystencję) jak i stopień jej napowietrzenia (rys. 8.11). Zmiany ilości wody lub napowietrzenie mieszanki negatywnie wpływa na jednorodność betonu w całym przekroju płyty.

8.3.19. Niedostateczne odpowietrzenie mieszanki betonowej w płytach o znacznej grubości – nieprawidłowe zagęszczenie

W nieprawidłowo zagęszczonym betonie, zarówno wewnątrz, jak i w strefie przypowierzchniowej, występują raki i kawerny powietrza.

Zbyt gęsta i lepka mieszanka jest trudna do właściwego zagęszczenia. Zastosowanie betonu o konsystencji niedostosowanej do warunków wykonawczych na budowie może prowadzić do braku możliwości jej prawidłowego odpowietrzenia, tzn. minimalizacji ilości występujących w przekroju pęcherzy, raków oraz kawern. W przypadku płyt o grubości przekraczającej 25 cm i o gęsto ułożonym zbrojeniu zaleca się rozważanie zastosowania mieszanek o klasie konsystencji S4 lub specjalistycznego betonu samozagęszczalnego (SCC), które lepiej się odpowietrzają, a na SCC nie wymagają zastosowania wibratorów.

Pęcherze i kawerny powietrza w betonie ułatwiają migrację gazów oraz cieczy (głównie wody), oraz mają negatywny wpływ na wytrzymałość betonu i jego przyczepność do zbrojenia (rys. 8.16).

8.3.20. Delaminacja warstwy utwardzonej

Delaminacja polega na odspojeniu wierzchniej, utwardzonej warstwy posadzki od betonu podkładowego i ma miejsce w przypadku niewłaściwego wykonywania prac. Przyczyny delaminacji mogą być różne, jednakże zawsze związane są z nieprawidłowym wykonaniem prac, nieprawidłowym składem mieszanki betonowej lub składem utwardzacza, albo innymi czynnikami technologicznymi.

Delaminacja może występować na całej powierzchni posadzki lub fragmentarycznie. Zawsze jednak wymaga naprawy (rys. 8.11).

Reasumując należy stwierdzić, że każdy z opisanych powyżej błędów potencjalnie może znacząco wpłynąć na trwałość i jakość posadzki przemysłowej, dlatego istotne jest przestrzeganie odpowiednich procedur technologicznych na każdym etapie prowadzenia robót posadzkarskich.

W praktyce większości opisanych powyżej błędów można uniknąć opracowując na etapie przygotowania budowy *Plan Zapewnienia Jakości (PZJ)*, który powinien uwzględniać:

- wymagania i zalecenia konstrukcyjne,
- wymagania i zalecenia dotyczące stosowanych materiałów,
- wymagania i zalecenia technologiczne, tzn. warunki wykonywania i etapowania robót budowlanych z uwzględnieniem aktualnych warunków pogodowych (temperatury przed, w trakcie i po wykonaniu prac posadzkarskich) a także właściwy sposób pielęgnacji i utrzymania płyty w okresie do odbioru końcowego,
- wymagania i warunki odbiorowe,
- wymagania i warunki eksploatacyjne.

Sposób prowadzenia robót, podział na etapy oraz zakres poszczególnych etapów, ilość ludzi oraz sprzętu powinien być uzgodniony z Wykonawcą przed rozpoczęciem robót budowlanych, a nie w ich trakcie, w momencie w którym pojawiają się problemy.

Wiele z tych zdarzeń udaje się zidentyfikować w trakcie tworzenia *PZJ* i planowania robót, dlatego rekomenduje się opracowywanie tego typu dokumentacji technicznej na każdej budowie.



Rys. 8.2. Uszkodzenia szczeliny dylatacyjnej spowodowane brakiem fazowania krawędzi oraz ubytkiem wypełnienia (fot. S. Świątek-Żołyńska)



Rys. 8.3. Uszkodzenia będące konsekwencją zabrudzenia i przebarwienia posypki
(*fol. S. Świątek-Żołyńska*)



Rys. 8.4. Nieprawidłowe wymiary pola dylatacyjnego: błędny stosunek boków pola posadzki w strefie doków (*fol. S. Świątek-Żołyńska*)



Rys. 8.5. Zniszczenia posadzki w wyniku zamontowania kotew w strefie przydylatacyjnej
(*fol. S. Świątek-Żołyńska*)





Rys. 8.6. Uszkodzenia spowodowane agresją chemiczną (fot. S. Świątek-Żołyńska)



Rys. 8.7. Uszkodzenia posypki związane z zastosowaniem zbyt małej ilości utwardzacza powierzchniowego (fot. S. Świątek-Żołyńska)



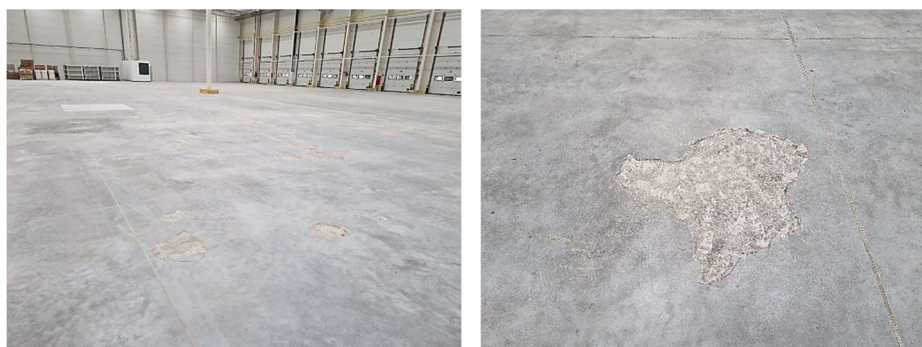
Rys. 8.8. Zniszczenie filmu cementowego w licu posadzki w strefie z nawożoną solą drogową (fot. S. Świątek-Żołyńska)



Rys. 8.9. Brak możliwości wtarcia utwardzacza ze względu na zastosowanie nadmiernej ilości popiołów lotnych w mieszance betonowej (fot. S. Świątek-Żołyńska)



Rys. 8.10. Nieudana, kolejna próba utwardzenia powierzchniowej płyty fundamentowej (fot. S. Świątek-Żołyńska)



Rys. 8.11. Uszkodzenia powstałe w wyniku braku mieszania mieszanki betonowej podczas transportu w betonowozie (fot. S. Świątek-Żołyńska)





Rys. 8.12. Uszkodzenia spowodowane występowaniem zbyt dużego i zanieczyszczonego kruszywa w posypce utwardzającej (fot. S. Świątek-Żołyńska)



Rys. 8.13. Uszkodzenia będące następstwem braku wykonania nacięć przeciwskurczowych w płycie posadzkowej (fot. M. Niedostatkiewicz)

8.4. Błędy eksploatacyjne

Do najczęściej popełnianych błędów eksploatacyjnych związanych z betonowymi posadzkami przemysłowymi należą: niewłaściwa pielęgnacja, znacząca zmiana warunków eksploatacyjnych, przeciążenie oraz stosowanie agresywnych dla betonu środków chemicznych. Poniżej przedstawiono opis najczęściej występujących błędów eksploatacyjnych wraz z ich konsekwencjami.

8.4.1. Brak odpowiedniej pielęgnacji posadzki

Pielęgnacja posadzki betonowej jest jednym z najważniejszych etapów eksploatacji, a zaniedbanie tego procesu może prowadzić do osłabienia jej struktury, obniżenia trwałości i zniszczenia.

Jeśli betonowa posadzka nie jest odpowiednio serwisowana, okresowo myta za pomocą dedykowanych maszyn czyszczących, a także powierzchniowo pielęgnowana poprzez nakładanie stosownych impregnatów może prowadzić do osłabienia warstwy przypowierzchniowej, intensywniejszego ścierania i pylenia.



Zaniedbanie regularnej konserwacji, np. czyszczenia oraz odnawiania powłok ochronnych, może sprawić, że posadzka będzie szybciej ulegać ścieraniu, co wymusi kosztowne naprawy (rys. 8.3 oraz rys. 10.13).



Rys. 8.14. Wysadziny w posadzce spowodowane wadliwym układem warstw podbudowy oraz awarią instalacji grzewczej (fot. S. Świątek-Żołyńska)



Rys. 8.15. Uszkodzenia spowodowane wadliwym wykonaniem podbudowy (fot. S. Świątek-Żołyńska)



Rys. 8.16. Uszkodzenia płyty posadzkowej będące konsekwencją nieprawidłowej konsystencji mieszanki betonowej i brakiem możliwości jej prawidłowego zagęszczenia (fot. S. Świątek-Żołyńska)





Rys. 8.17. Uszkodzenia spowodowane obecnością zanieczyszczonego kruszywa w betonie
(fot. S. Świętek-Żołyńska)

8.4.2. Zmiana warunków eksploatacyjnych

Zmiana charakteru użytkowania posadzki, np. przejście z produkcji suchej na moką, lub zmiana ekspozycji na warunki środowiskowe (posadzka wewnętrzna na zewnętrzną).

We wcześniejszym okresie eksploatacji posadzka nie była narażona na długotrwały kontakt z wodą lub środkami chemicznymi, przy zmianie produkcji na moką lub okresowe oddziaływanie np. wody opadowej może prowadzić do migracji wody w głębsze warstwy betonu, co z czasem osłabi jego strukturę i zwiększy ryzyko erozji powierzchniowej.

Brak dostosowania posadzki do nowych warunków eksploatacyjnych może prowadzić do jej degradacji a nawet zniszczenia (rys. 8.6 oraz rys. 8.19).

8.4.3. Zmiana obciążeń

Zmiana funkcji hali, np. z produkcyjnej na magazynową, wiąże się najczęściej ze zmianą rodzaju działających na posadzkę obciążeń, na które to może ona nie być przygotowana. Przekształcenie przestrzeni, gdzie wcześniej pracowały lekkie maszyny, na magazyn z ciężkimi regałami może powodować nadmierne obciążenie płyty betonowej. Również zmiana rodzaju opon w stosowanych wózkach transportowych, lub wymiana samych wózków na inne o większych naciskach jednostkowych może powodować powstawanie lokalnych koncentracji naprężeń i lokalne zniszczenie struktury betonu a następnie zniszczenie całej posadzki.

Jeśli przed zmianą sposobu użytkowania nośność posadzki nie zostanie odpowiednio oszacowana, może dojść do jej uszkodzenia a nawet zniszczenia. W betonie powstaną rysy, pęknięcia, lub inne uszkodzenia struktury betonu, które wpłyną na trwałość i bezpieczeństwo użytkowania posadzki.

8.4.4. Zmienna ekspozycja na chemikalia

Jeżeli betonowa posadzka, która wcześniej była użytkowana w środowisku neutralnym (obojętnym dla betonu), zostanie poddana działaniu substancji chemicznych, agresywnych w stosunku do betonu, np. w wyniku zmiany profilu produkcji na chemiczny, w krótkim okresie może nastąpić jej szybka degradacja eksploatacyjna i techniczna.

Beton, który nie jest chroniony przed agresją chemiczną odpowiednimi powłokami ochronnymi, będzie wchłaniał agresywne substancje, co skutkowało będzie jego korozją chemiczną (rozkładem, najczęściej rozpuszczeniem lub rozsądzeniem), zmianami parametrów wytrzymałościowych, obniżeniem trwałości i zniszczeniem struktury. W takich przypadkach posadzka powinna być odpowiednio zabezpieczona przed działaniem środków chemicznych agresywnych w stosunku do betonu poprzez zastosowanie odpowiednich powłok ochronnych lub impregnacji. Rodzaj środka impregnującego, powłoki i jej grubości zależą będzie od rodzaju i agresywności medium w stosunku do betonu (rys. 8.6, rys. 8.19 oraz rys. 8.20).

8.4.5. Brak regularnych przeglądów, napraw i konserwacji

Zaniedbanie regularnych kontroli, inspekcji oraz napraw stwierdzonych uszkodzeń, np. takich jak pęknięcia czy ubytki, może prowadzić do pogłębiania się stwierdzonych problemów. Małe uszkodzenia, które mogłyby być łatwo naprawione na wczesnym etapie, mogą się z czasem pogłębiać, co ostatecznie wymaga kosztownych i czasochłonnych napraw (rys. 8.5 oraz rys. 8.6).

Regularne sprawdzanie stanu posadzki i jej konserwacja, np. poprzez wypełnianie pęknięć, usuwanie ubytków czy odnawianie powłok ochronnych, są kluczowe dla utrzymania jej trwałości.

8.4.6. Niewłaściwa pielęgnacja po naprawie

Często po naprawie posadzki przemysłowej nie przeprowadza się właściwej pielęgnacji, co jest kolejnym błędem eksploatacyjnym. Beton, który został naprawiony, wymaga odpowiedniego utrzymania, aby nowa warstwa mogła odpowiednio się utwardzić i połączyć z istniejącą strukturą.

Zlekceważenie tego etapu może sprawić, że naprawy będą krótkotrwałe, a nowo ułożone materiały (fragmenty posadzki) zaczną się niszczyć, co ponownie obniży wytrzymałość całej posadzki.

8.4.7. Brak dostosowania do temperatur

Zmiana temperatur w obiekcie, np. z ciepłego na chłodniczy, wymaga uwzględnienia tego faktu przy eksploatacji posadzki.

Beton reaguje na zmiany temperatur zmianami objętości (rozszerzaniem lub kurczeniem), co bez odpowiednich dylatacji lub izolacji może prowadzić do pęknięć, a w skrajnych przypadkach do deformacji płyty, a czasami nawet podbudowy.

W obiektach o zmiennej temperaturze szczególnie ważne jest stosowanie odpowiednich materiałów i technologii, które zapewnią trwałość posadzki w ekstremalnych warunkach termicznych (rys. 8.14).

8.4.8. Nieprawidłowe zabezpieczenie przed wodą

Zbyt wysoka wilgotność w hali przemysłowej, np. wynikająca z błędów w izolacji lub niewłaściwego systemu odwadniającego, może prowadzić do stopniowego niszczenia posadzki betonowej. Wilgoć przenikająca przez beton może powodować powstawanie na szczelnej warstwie posadzki pęcherzy osmotycznych, korozję zbrojenia oraz osłabienie struktury.

Należy regularnie sprawdzać i utrzymywać systemy odwodnieniowe oraz zabezpieczenia hydroizolacyjne, aby uniknąć uszkodzeń spowodowanych niekontrolowanym działaniem wilgoci (rys. 8.10).



8.4.9. Zbyt wczesne wprowadzenie ruchu

Zbyt szybkie rozpoczęcie eksploatacji posadzki, zanim beton osiągnie założoną wytrzymałość, może prowadzić do jej trwałych uszkodzeń.

Beton potrzebuje czasu na prawidłowe związanie i utwardzenie. Przeciążenie dojrzewającego betonu w pierwszych dniach po ułożeniu może prowadzić do pęknięć, odspojenia powierzchni oraz zniszczeń strukturalnych.

Ważne jest, aby przestrzegać zaleceń dotyczących czasu dojrzewania (utwardzenia) przed oddaniem posadzki do użytkowania – pełnym obciążeniem posadzki (rys. 8.18).

8.4.10. Uszkodzenia spowodowane przez maszyny

Niewłaściwe użytkowanie ciężkiego sprzętu, takie jak używanie wózków widłowych bez odpowiednich opon lub obciążenie posadzki maszynami o nadmiernej masie, może prowadzić do trwałych uszkodzeń. Posadzka może ulegać ścieraniu, pękaniu, a w najgorszym wypadku również zapadaniu się w miejscu przeciążenia (rys. 8.18).

Podsumowując, regularna kontrola, pielęgnacja oraz dostosowanie posadzki do zmieniających się warunków eksploatacyjnych są kluczowe dla utrzymania jej trwałości i funkcjonalności.



Rys. 8.18. Brak zabezpieczenia na etapie dojrzewania posadzki (fot. S. Świątek-Żołyńska)



Rys. 8.19. Uszkodzenia chemiczne posadzki podczas jej eksploatacji – studium przypadku (fot. S. Świątek-Żołyńska)





Rys. 8.20. Uszkodzenia chemiczne posadzki podczas jej eksploatacji – studium przypadku
(fot. S. Świątek-Żotyńska)

Niewątpliwie jedną z bardzo często pomijanych przyczyn degradacji powierzchniowej betonowych posadzek przemysłowych wykonanych w technologii *DST* jest stosowanie podczas ich eksploatacji:

- nieodpowiednich środków chemicznych,
- nieprawidłowych urządzeń czyszczących,
- nieprawidłowych środków i metod konserwacji, a także
- odstępstwa użytkowników od instrukcji użytkowania posadzek wydawanych w ramach opracowywanej dokumentacji powykonawczej obiektu.

Jako zasadę należy przyjąć, że przez pierwszy miesiąc nowa posadzka nie powinna być zmywana przy użyciu środków chemicznych.

Powierzchniowe utwardzacze posadzkowe z uwagi na swój skład nie wpływają wyraźnie na podniesienie odporności chemicznej posadzki. Posadzki betonowe utwardzane powierzchniowo oraz zabezpieczone impregnatem są odporne na środki chemiczne tylko w ograniczonym zakresie.

Do czyszczenia posadzek wykonanych w technologii *DST* nie wolno stosować rozpuszczalników typu: aceton, toluen, ksylen, tri-chloroetylen itp. Środki czyszczące nie mogą zawierać silnych związków alkalicznych oraz rozpuszczalników organicznych. Niedopuszczalne jest czyszczenie posadzki środkami o odczynie kwasowym, jak np. kwas chlorowodorowy i octowy, nawet jeśli są one rozcieńczone, czy występują w niskich stężeniach. Szkodliwy wpływ na posadzkę *DST* mają także sole i ich roztwory. Ponadto, alkohole oraz glikole mogą z czasem uszkadzać powierzchnię posadzki na skutek osłabienia wiązania zaczynu cementowego i dlatego ich stosowanie również jest zabronione. Środki chemiczne o agresywnym oddziaływaniu na posadzkę należy bezwzględnie neutralizować i usuwać z jej powierzchni w ciągu max. 2 godzin od chwili pojawienia się na posadzce.

Posadzki utwardzane powierzchniowo, podobnie jak wszystkie produkty na bazie cementu, wymagają stosowania środków myjących i czyszczących o odczynie lekko zasadowym - *pH* powyżej 7, jednak nie więcej jak 10. Zawsze przed zastosowaniem środka czyszczącego należy zapoznać się z informacjami zawartymi w instrukcji dołączonej do produktu.

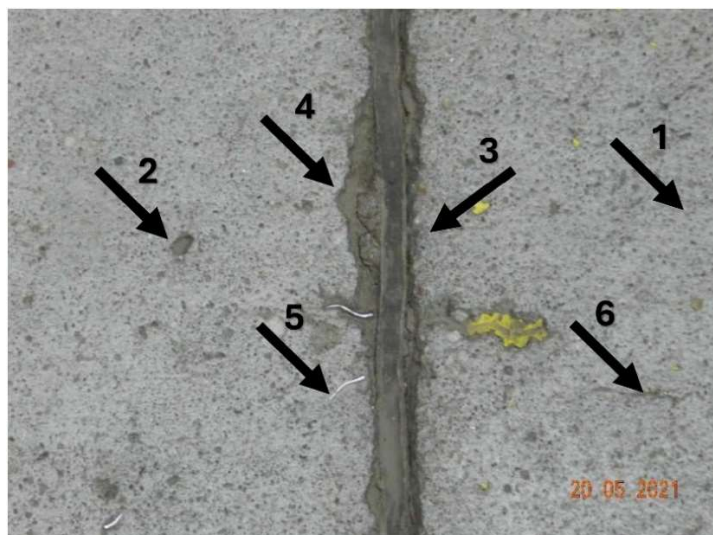
Zalecany sposób pielęgnacji i gruntownego czyszczenia posadzki betonowej utwardzanej powierzchniowo [M1] polega na:

- myciu i pielęgnacji posadzki odpowiednimi środkami czyszczącymi ogólnego zastosowania na bieżąco; pozostawienie na nawierzchni posadzki tzw. filmu ochronnego pomaga utrzymać posadzkę w dobrym stanie do kolejnego mycia,
- gruntownym czyszczeniu posadzki minimum raz w ciągu roku,
- w zależności od potrzeb, jednak nie mniej jak raz do roku zaleca się wykonanie konserwacji nawierzchni posadzki przez nałożenie preparatu impregnującego, np. akrylowego, krzemianowego, polimerowego, głównie w celu ponownego zamknięcia tych porów i kapilarnych otworów w posadzce, które zostały otwarte w trakcie jej użytkowania i podczas gruntownego czyszczenia. Dzięki temu przywraca się posadzce podwyższoną odporność na pylenie, zmniejszenie wchłaniania wody i oleju, uzyskuje nawierzchnię łatwiejszą do czyszczenia.

Bardzo ważny jest również odpowiedni dobór sprzętu do czyszczenia posadzki, ze szczególnym uwzględnieniem dostosowania twardości szczotek i mopów. Nieprawidłowy dobór twardości szczotek może powodować mechaniczne zniszczenie lica posadzki.

9. Skutki degradacji betonowych posadzek przemysłowych utwardzonych suchą posypką nawierzchniową (*DST*)

W ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat w halach produkcyjnych, magazynach, centrach logistycznych i handlowych dominują posadzki betonowe: monolityczne utwardzane powierzchniowo - *DST* (z ang. *Dry Shake Topping*) systemowo impregnowane preparatami na bazie akrylowej lub parafinowej oraz posadzki wykończone w systemach powłokowych na bazie żywic syntetycznych lub farb do betonu. Niezależnie od sposobu wykończenia, powierzchnia posadzek z czasem ulega naturalnemu zużyciu, szczególnie w warunkach intensywnej eksploatacji [60], [1]-[2].



Rys. 9.1. Widoczne oznaki zużycia wierzchniej warstwy posadzki oraz wypełnienia dylatacji skurczowej (opis oznaczeń w tekście) (fot. Sylwia Świątek-Zołyńska)



Degradacja lica posadzki pojawia się najpierw w miejscach najbardziej eksploatowanych, takich jak: główne ciągi komunikacyjne, alejki transportowe, przejścia i dojścia do maszyn oraz urządzeń technologicznych [29]-[32], [48]-[49], [52], [55].

Najszybciej w betonowych posadzkach przemysłowych zużywają się powłoki i okładziny wierzchnie takie jak: woski, akryle czy farby oraz rozwiązania cienko powłokowe z żywic syntetycznych nakładane technikami malarskimi [4],[11]-[14]. Na rysunku 9.1 przedstawiono stopnie zużycia posadzki.

Zaznaczono (por. rys. 9.1):

- 1) przetarcie i zużycie wierzchniej warstwy posadzki,
- 2) ubytki po kruszywie,
- 3) odspojenie masy dylatacyjnej,
- 4) wykruszenie krawędzi dylatacji,
- 5) widoczne po wytarciu wierzchniej warstwy włókna zbrojeniowe,
- 6) mikro-zarysowania w strukturze betonu.

Kiedy warstwa zabezpieczająca posadzkę betonową zostanie starta, proces degradacji widocznej powierzchni betonu zaczyna się od wykruszania i wypłukiwania spoiwa wiążącego kruszywo w betonowym podłożu. Skutkuje to uszorstnieniem i pyleniem nawierzchni, a w dalszej kolejności odsłonięciem coraz większej części ziaren kruszywa. W miarę postępu tego procesu, coraz liczniej pojawiają się miejscowe uszkodzenia takie jak: odspojenia wierzchniej warstwy, pęknięcia i odpryski [15]-[20], [22]-[23], [25].

W przypadku zastosowania do wykończenia betonowej posadzki przemysłowej technologii *DST* tj. wtarcia w jej lico utwardzacza powierzchniowego, proces degradacji będzie opóźniony ponieważ po wytarciu powłok ochronnych to właśnie warstwa utwardzona będzie ulegała zużyciu i wycieraniu niejako chroniąc posadzkę betonową przed zniszczeniem [N4]-[N6], [N13]-[N14].

W przypadku pominięcia na etapie eksploatacji właściwego serwisu utrzymaniowego polegającego na okresowym myciu i zabezpieczaniu posadzek środkami impregnującymi już po kilku latach można zauważyć lokalne przetarcia, zwiększone pylenie ubytki i zarysowania w licu posadzki [29]-[30].

Istotnie w momencie zauważenia pierwszych oznak zużywania się warstwy utwardzonej, zasadna może okazać się renowacja lica posadzki w celu zahamowania procesu degradacji, a także w celu zwiększenia jej wytrzymałości poprzez utwardzenie chemiczne betonu [57]. Odświeżona, wzmocniona i zabezpieczona posadzka będzie mogła służyć bezawaryjnie przez następne lata. Brak działań renowacyjnych na wczesnym etapie degradacji posadzki przemysłowej zawsze prowadzi do niekończących się, kosztownych napraw. Działania renowacyjne i naprawcze są niezbędne w celu zachowania parametrów użytkowych, niezależnie od technologii wykonania i wykończenia posadzki [N29]-[N31].

W tym miejscu należy wskazać na istotną różnicę pomiędzy renowacją lica posadzki po kilku okresach eksploatacji a naprawą posadzki przemysłowej [39], [45], [62].

- Renowacja lica posadzki służy wyrównaniu wierzchniej warstwy, usunięciu starych powłok wykończeniowych, ponownej jej impregnacji i/lub zabezpieczeniu powłokami ochronnymi. Celem podejmowanych działań jest wzmocnienie chemiczne lica posadzki, które prowadzi do przywrócenia lub polepszenia pierwotnych parametrów użytkowych, ograniczenia zużycia (wycierania) nawierzchni oraz ogólnej poprawy estetyki.
- Naprawy posadzek przemysłowych obejmują natomiast usuwanie uszkodzeń i wad pierwotnych powstałych na etapie wykonania i w okresie gwarancji, a także wad i usterek wtórnych powstałych w trakcie długofalowej eksploatacji nawierzchni. Do podstawowych metod naprawczych posadzek przemysłowych zaliczamy działania



obejmujące: iniekcje i zszywanie rys, częściowe wymiany całości bądź fragmentów posadzki, naprawy powierzchniowe i uzupełnienia ubytków poprzez zastosowanie specjalistycznych technologii i materiałów naprawczych, a także układanie nowych powłok ochronnych [N29]-[N31], [N38]-[N39].

10. Sposoby renowacji i zapraw betonowych posadzek przemysłowych utwardzonych suchą posypką nawierzchniową (*DST*)

Technologia renowacji posadzki przemysłowej obejmuje kilka kluczowych etapów realizowanych w kolejności: naprawy dylatacji (A), uzupełnianie ubytków (B), szlifowanie i polerowanie powierzchni (C), a na końcu jej zabezpieczenie w procesie impregnacji betonu (D).

- A. Dylatacje w płytach posadzkowych są niezwykle istotne, ponieważ pomagają w kompensacji ruchów wywołanych zmianami temperatury i obciążeniem. Proces naprawy dylatacji obejmuje [48]-[49]:
- Ocenę stanu dylatacji konstrukcyjnych, skurczowych i obwodowych oraz określenie zakresu uszkodzeń.
 - W przypadku dylatacji skurczowych usunięcie starego wypełnienia, czyszczenie szczelin z pyłu, brudu i innych zanieczyszczeń w celu zapewnienia dobrej przyczepności nowo układanego wypełnienia, a także aplikację nowego materiału dylatacyjnego odpornego na warunki panujące w obiekcie.
 - W przypadku dylatacji konstrukcyjnych (szwów roboczych) dyblowanych tok postępowania jest analogiczny jak w przypadku szczelin skurczowych. Dylatacje konstrukcyjne prefabrykowane stalowe poddawane są indywidualnej ocenie pod kątem stopnia zużycia. W przypadku znacznych uszkodzeń mechanicznych dokonuje się wymiany części umieszczonej w licu posadzki bez usuwania części dyblującej osadzonej niżej. W bardziej skomplikowanych przypadkach lub przy przebudowach obiektu może zostać podjęta decyzja o całkowitym wykuciu dylatacji i wykonaniu nowego elementu.
- B. Naprawa ubytków w posadzce betonowej jest niezbędna, aby przywrócić jej równość, funkcjonalność i wygląd. Proces ten rozpoczyna się od usunięcia luźnych fragmentów betonu i dokładnego oczyszczenia miejsc powstałych ubytków. Do uzupełniania ubytków najczęściej stosowane są masy na bazie cementu, rzadziej polimero-cementowej. Aby zapewnić dobrą przyczepność masy naprawczej, naprawiane miejsca należy zwilżyć wodą lub zagruntować przy użyciu odpowiednich środków tzw. primerów. Ubytki wypełnia się masą naprawczą, odpowiednio dobraną do rodzaju betonu i warunków eksploatacyjnych. W zależności od wielkości i głębokości ubytków masę nakłada się warstwami, starannie zagęszczając każdą warstwę. Na końcu wyrównuje się i wygładza się naprawione miejsca, aby były równe z otaczającą powierzchnią.
- C. Proces szlifowania i polerowania posadzki przemysłowej rozpoczyna się od wstępnego szlifowania, które usuwa nierówności, stare powłoki i inne defekty. Wykonuje się to przy użyciu grubych diamentowych tarcz szlifierskich. Następnie przechodzi się do kolejnych etapów szlifowania, stopniowo zmniejszając gradację tarcz diamentowych, aby wygładzić powierzchnię i usunąć płytkie rysy. Po zakończeniu szlifowania przystępuje się do polerowania, używając diamentowych tarcz polerskich o rosnącej gradacji, aż do uzyskania pożądanego poziomu połysku. Końcowe polerowanie wykonuje się tarczami z naturalnego włosia oraz odpowiednimi środkami polerującymi, co pozwala uzyskać gładką, lśniącą powierzchnię posadzki. W zależności od przyjętej metodyki proces szlifowania może zostać wzbogacony o nałożenie preparatów na bazie kompozytów krzemianowych, które trwale wzmacniają beton na skutek reakcji chemicznej z wolnym wodorotlenkiem wapnia.



D. Impregnacja betonu jest kluczowym etapem, który zapewnia długotrwałą ochronę posadzki. Proces impregnacji betonu zaczyna się od dokładnego odkurzenia i oczyszczenia posadzki, aby usunąć pył i inne zanieczyszczenia. Następnie na powierzchnię betonu nanosi się impregnat za pomocą mopa mikrofibrowego lub natrysku. Impregnat, najczęściej na bazie krzemianów, głęboko wnika w beton, reaguje z wodorotlenkiem wapnia, a wraz z upływem czasu tworzy twardą i zwartą strukturę. Po wyschnięciu impregnatu posadzka jest ponownie polerowana, aby uzyskać efekt gładkiej, lśniącej powierzchni. Dzięki impregnacji posadzka staje się bardziej odporna na plamy, ścieranie i przenikanie płynów.

Technologia renowacji posadzki przemysłowej obejmuje kompleksowe działania, które przywracają jej funkcjonalność, trwałość i estetykę. Każdy etap – od naprawy dylatacji i ubytków, przez szlifowanie i polerowanie, aż po impregnację betonu – jest niezbędny dla osiągnięcia najlepszych rezultatów. Regularne konserwacje i odpowiednie zabiegi pielęgnacyjne zapewniają długotrwałą eksploatację posadzki przemysłowej.

Poniżej zamieszczono opisy przypadków, tzw. studium przypadku, betonowych posadzek przemysłowych, które w okresie wieloletniej eksploatacji nie były poddawane okresowej konserwacji i zabezpieczeniu. Przedstawiono różne sposoby renowacji posadzek betonowych, dostosowane do zakresu ich uszkodzeń oraz docelowego sposobu użytkowania obiektów w których je wykonano.

10.1. Przykład 1

Przykład 1 stanowi posadzka w kilkunastoletniej eksploatacji, zlokalizowana w zakładzie produkcyjnym w części przeznaczony do spawania elementów stalowych (rys. 10.1 oraz rys. 10.2).



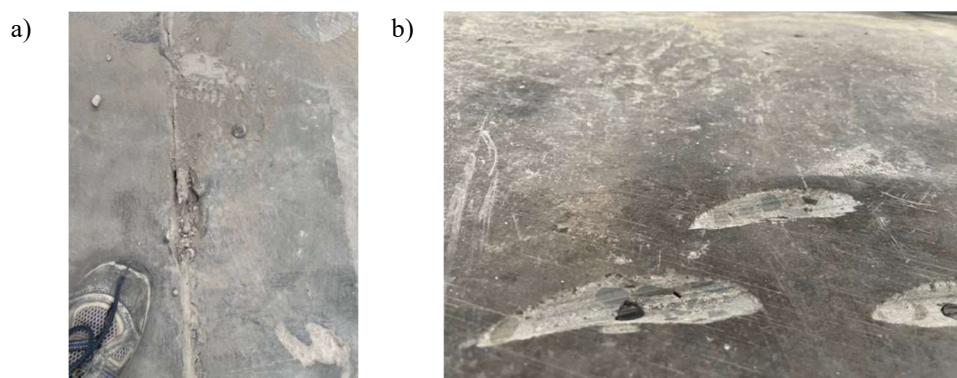
Rys. 10.1. Zdegradowana betonowa posadzka przemysłowa (Przykład 1): widoczne zużycie warstwy wierzchniej, kotwy montażowe pozostałe po demontażu urządzeń oraz uszkodzenia dylatacji skurczowej [M1]



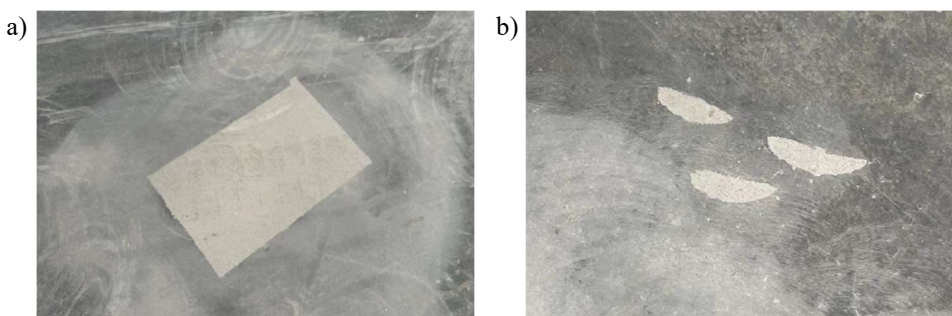
Przedmiotowa posadzka została gruntownie oczyszczona, a luźne fragmenty betonu usunięte (rys. 10.3a). Następnie z posadzki usunięto kotwy pozostałe po demontażu maszyn i urządzeń wykorzystywanych w hali, przy pomocy tarcz do betonu (rys. 10.3b). W kolejnym etapie wykonano naprawę ubytków w nawierzchni (rys. 10.4).



Rys. 10.2. Zdegradowana betonowa posadzka przemysłowa (Przykład 1) podczas naprawy: inwentaryzacja uszkodzeń, usuwanie kotew montażowych [M1]



Rys. 10.3. Zdegradowana betonowa posadzka przemysłowa (Przykład 1) podczas naprawy: a) usuwanie luźnych fragmentów posadzki, b) usuwanie kotew montażowych [M1]



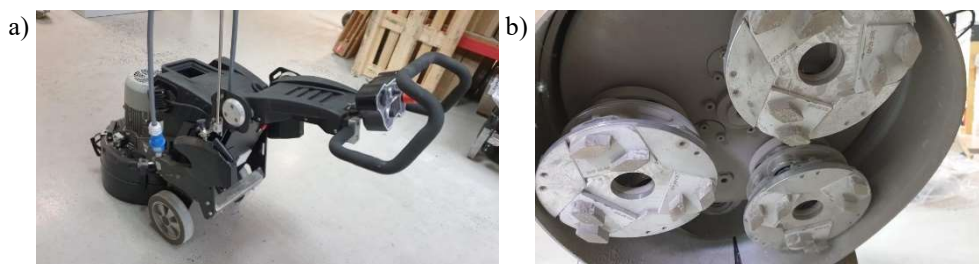
Rys. 10.4. Betonowa posadzka przemysłowa (Przykład 1) podczas wykonywania uzupełnień: a) uszkodzone obszary doprowadzone do kształtów foremnych, b) ubytki punktowe [M1]



Większe obszary z nieregularnym kształtem zostały uformowane do kształtów foremnych poprzez nacięcie na głębokość ~2 cm oraz wykucie zbędnych fragmentów za pomocą młotowiertarki (rys. 10.4a). Powierzchnie przeznaczone do uzupełnienia zostały odpylone oraz zwilżone wodą i wyprawione szybkowiązącą masą naprawczą na bazie mineralnej (rys. 10.4b). Wypełnienie ubytków odbyło się z naddatkiem materiału (rys.10.5), który następnie był usuwany w procesie szlifowania (rys. 10.6).



Rys. 10.5 Betonowa posadzka przemysłowa (Przykład 1) podczas naprawy: wykonanie uzupełnienia niecki powstałej po demontażu kanału technologicznego [M1]



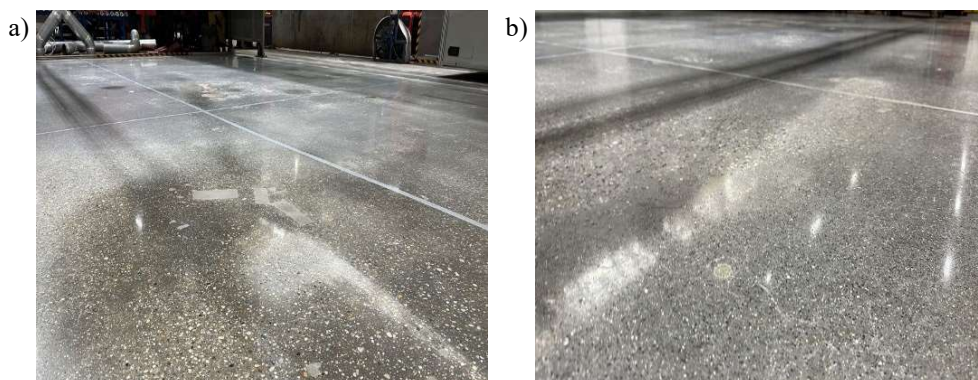
Rys. 10.6. Zestaw narzędzi do szlifowania posadzek betonowych (Przykład 1):
a) maszyna szlifująca: b) planetario maszyny z widocznymi segmentami metalowymi [M1]

Po sezonowaniu i wyschnięciu materiału naprawczego, które w zależności od wilgotności powietrza i temperatury otoczenia trwa 2÷4 h, przystąpiono do szlifowania zgrubnego całości powierzchni segmentami metalowymi gradacji kolejno: 30÷40 przeznaczonymi do twardego betonu; następnie segmentami metalowymi gradacji 60÷80 w celu wygładzenia rys oraz w trzecim kroku segmentami metalowymi gradacji 120÷140 (rys. 10.7). Na tym etapie zakończono proces szlifowania mający na celu usunięcie najbardziej zdegradowanej warstwy.

Kolejnym etapem było tzw. „miodowanie” mające na celu zatarcie rys powierzchniowych, powstałych w procesie szlifowania zgrubnego. Do tego celu wykorzystywane są pady diamentowe plastikowe o gradacji 50. Następnie posadzkę dokładnie odkurżono i umyto z zastosowaniem profesjonalnych szorowarek, wodą bez środków myjących. Na tak przygotowane podłoże nałożono preparat na bazie kompozytów krzemianowych. Po wyschnięciu produktu tj. po ~1÷2 godzin przystąpiono do dalszych prac polerskich z użyciem padów diamentowych gradacji kolejno: 100, 200, po czym zastosowano dwukrotne profesjonalne mycie posadzki. Po jej wysuszeniu nałożono preparat zamykający i doszczelniający posadzkę na bazie krzemianowej. Po jego wyschnięciu przystąpiono do polerowania przy użyciu białego pada

polerskiego z użyciem wysokoobrotowej polerki. Dopełnieniem całości było odtworzenie krawędzi dylatacji oraz wypełnienie szczelin dylatacyjnych masami poliuretanowymi (rys. 10.8).

Dzięki kompleksowej obróbce, posadzka odzyskała swoją funkcjonalność i estetykę, stanowiąc trwałe i atrakcyjne rozwiązanie dla przestrzeni przemysłowych.



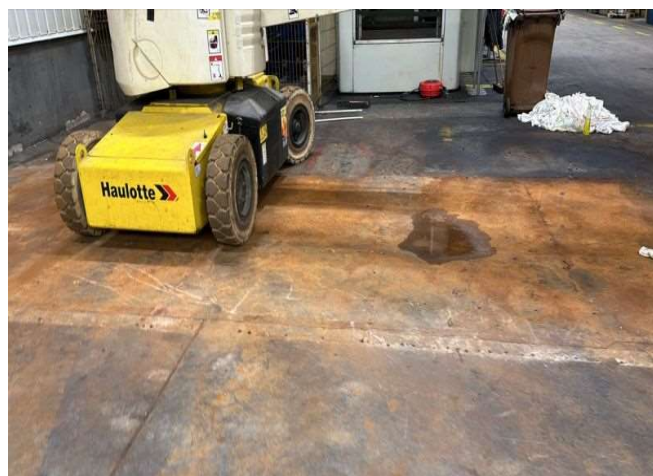
Rys. 10.7. Betonowa posadzka przemysłowa (Przykład 1) po naprawie:
a) widoczne miejsca napraw ubytków b) widoczne miejsca napraw po kotwach [M1]



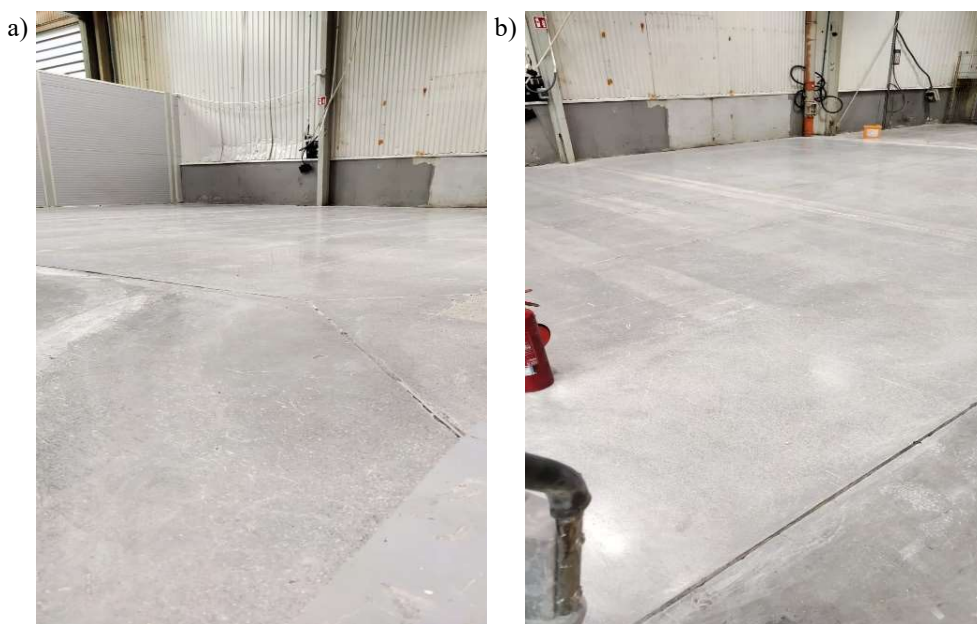
Rys. 10.8. Betonowa posadzka przemysłowa (Przykład 1) po naprawie: widok ogólny oraz widoczne odtworzone i uzupełnione dylatacje skurczowe [M1]

10.2. Przykład 2

Przykład 2 stanowi opis procesu renowacji starej posadzki, zniszczonej i uszkodzonej podczas wieloletniej eksploatacji, w stanie po demontażu płyt stalowych stanowiących wierzchnią warstwę użytkową płyty, a także platformę pod maszyny i urządzenia (rys. 10.9).



Rys. 10.9. Betonowa posadzka przemysłowa (Przykład 2) przed naprawą: po demontażu płyt stalowych, widoczne rdzawe zacierki i przebarwienia [M1]



Rys. 10.10. Betonowa posadzka przemysłowa (Przykład 2) po naprawie: a) widok na miejsca po zdemontowanych blachach, b) widok na wyblyszczoną powierzchnię oraz wypełnienia dylatacji [M1]

Miejsce napraw wymagało demontażu płyt stalowych oraz szlifowania i polerowania posadzki w celu jej wyrównania i nadania właściwości użytkowych odpowiednich dla warunków średniego obciążenia ruchem wózków widłowych. Renowację przeprowadzono w następujących krokach: dokonano demontażu maszyn i urządzeń znajdujących się w obiekcie, następnie zdemontowano okrycia wierzchnie z posadzki w postaci płyt stalowych. Wykonano inwentaryzację kotew i ubytków w nawierzchni. Następnie usunięto kotwy a ubytki naprawiono w systemie mineralnym. Wykonano zgrubne szlifowanie w trzech krokach, kolejno

segmentami metalowymi o gradacji: 30÷40, 60÷80 oraz w trzecim kroku segmentami metalowymi gradacji 120÷140.

W kolejnym etapie wykonano zatarcie rys powierzchniowych, przy użyciu padów diamentowych plastikowych o gradacji 50. Posadzkę umyto, odkurzone oraz zaimpregnowano przy użyciu środków na bazie krzemianów litu. Do ostatecznego wypolerowania posadzki użyto padów diamentowych gradacji kolejno: 100, 200. Posadzka została umyta i oczyszczona z pozostałości pyłu powstałego po szlifowaniu. W celu nadania pożądaných cech użytkowych na posadzkę nałożono preparat zamykający na bazie polimerów. Po jego wyschnięciu przystąpiono do polerowania przy użyciu białego pada polerskiego z użyciem wysokoobrotowej polerki, wykonano uzupełnienia szczelin masami dylatacyjnymi.

Po naprawie i renowacji (rys. 10.10) posadzka zyskała nie tylko estetyczny wygląd, ale także równość. Przed renowacją lokalne nierówności mierzone zgodnie z [N13] wynosiły 9÷11 mm na łacie 2 m, a po renowacji 3 mm / 2 m, co odpowiada podwyższonemu standardowi wykonania wg [N13], który wynosi 5 mm / 2 m). Gładkość powierzchni rozumiana jako stopień odbicia światła przez matową posadzkę przed renowacją oszacowano na ~5÷15%, po renowacji ponad 70%, gdzie 100% odbicie światła następuje na powierzchniach lustrzanych. Naturalnie wpływ na to miało również usunięcie lokalnych zanieczyszczeń. Widocznymi oznakami poprawy jakości były również ograniczenie pylenia posadzki oraz zmniejszenie jej nasiąkliwości o 45% [N15].

10.3. Przykład 3

Przykład 3 stanowi renowację posadzki na wczesnym etapie eksploatacji. Przedmiotowa posadzka została wykonana bez uwzględnienia aspektów techniczno-technologicznych w bardzo trudnych warunkach atmosferycznych.

Podczas wykonywania posadzki w hali panowały temperatury przekraczające 35°C oraz przeciągi. Skutkiem tego na powierzchni posadzki wytworzyły się tzw. zimne złącza, posadzka nie została w pełni zatarta do stanu gładkiej powierzchni (rys. 10.11).



Rys. 10.11. Betonowa posadzka przemysłowa (Przykład 3) przed renowacją: strzałkami zaznaczono zimne złącza [M1]

W trakcie zaledwie kilkumiesięcznej eksploatacji w związku z problemami z czyszczeniem, myciem i właściwościami estetycznymi nawierzchni, inwestor podjął decyzję o renowacji nawierzchni w celu poprawy ogólnej estetyki ale również w celu przywrócenia do stanu umożliwiającego normalną eksploatację.



Z uwagi na niewielki stopień zużycia eksploatacyjnego, w procesie szlifowania pomięto zastosowanie padów metalowych, a cały proces renowacji rozpoczął się od szlifowania tarczami diamentowymi plastikowymi o gradacji 50 w celu wykonania „miodowania”. Następnie posadzkę wzmocniono impregnatem na bazie kompozytów krzemianowych oraz wykonano końcowe szlifowanie tarczami o gradacji 100 i 200, co zwiększyło jej odporność na ścieranie, intensywne mycie (rys. 10.12).



Rys. 10.12. Betonowa posadzka przemysłowa (Przykład 3) po renowacji w procesie polerowania i impregnacji: a) widok ogólny, b) widok na obróbkę nawierzchni w obszarze występowania dylatacji konstrukcyjnych [M1]

10.4. Przykład 4

Kolejnym przykładem jest renowacja posadzki wynikająca ze zmiany funkcji obiektu z produkcyjnego na magazynowy po ~15 latach eksploatacji.



Rys. 10.13. Betonowa posadzka przemysłowa (Przykład 4) przed renowacją: uszkodzona górna powierzchnia posadzki na skutek nieprawidłowego zastosowania środków czyszczących [M1]

W obiekcie o powierzchni ~6800 m² prowadzona była produkcja sucha, jednakże odcieki z maszyn i urządzeń w postaci środków chemicznych, olejów i smarów, trwale wniknęły

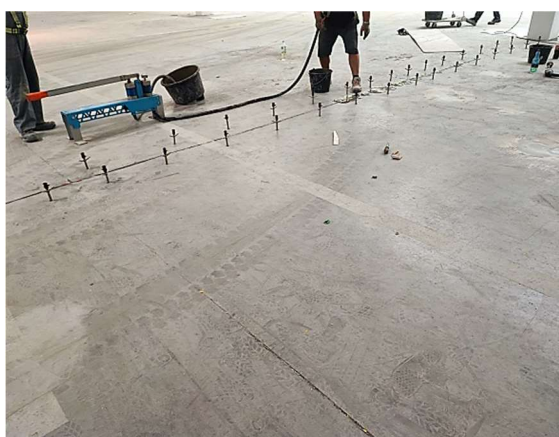
w strukturę posadzki (rys. 10.13). Posadzka wymagała gruntownego mycia i czyszczenia z zastosowaniem specjalistycznych środków chemicznych. Miejscowo zdegradowane części wymagały szlifowania zgrubnego, co miało miejsce na ~5 % powierzchni hali. Z posadzki usunięto ponad 6 tysięcy kotew wraz z naprawą miejsc po ich usunięciu (rys. 10.14). Podczas prac renowacyjnych stwierdzono, że wszystkie dylatacje robocze ulegają przesunięciom krawędziowym i występuje tzw. „klawiszowanie” płyt związane z deformacją i osiadaniem podbudowy.

W toku prac podjęto decyzję o naprawie podbudowy i tym samym podparcia krawędzi dylatacji metodą iniekcji ciśnieniowej, którą ostatecznie wykonano w ilości ~1200 mb dylatacji.

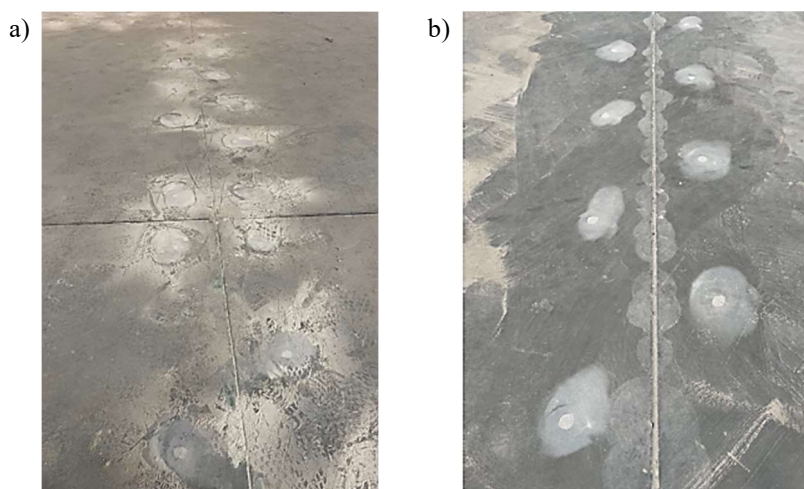


Rys. 10.14. Betonowa posadzka przemysłowa (Przykład 4) podczas naprawy: schemat nawierconych otworów do podawania iniekcji [M1]

Naprawa za pomocą iniekcji polegała na nawierceniu otworów średnicy ~14 mm w posadzce wzdłuż dylatacji roboczych (rys. 10.15). Otwory były wywiercone na pełną grubość posadzki naprzemiennie po obu stronach dylatacji. Odległość otworów od krawędzi płyty to ~30 cm, a rozstaw pomiędzy sąsiednimi otworami nie przekraczał 60 cm. W narożnikach płyt zalecono zmniejszenie rozstawu otworów o połowę w celu maksymalnego ustabilizowania najbardziej newralgicznych miejsc. W centralnej części płyty wykonywano pakery kontrolne, umożliwiające monitorowanie zużycia iniektu (rys. 10.15). Następnie przez nawiercone otwory, zabezpieczone pakierami, aplikowano mineralną, cementową masę iniekcijną za pomocą pompy iniekcyjnej.



Rys. 10.15. Betonowa posadzka przemysłowa (Przykład 4) podczas naprawy: montaż pakierów i podawanie iniektu cementowego za pomocą pompy [M1]



Rys. 10.16. Betonowa posadzka przemysłowa (Przykład 4) podczas naprawy na etapie wypełnienia otworów po iniekcji: a) nałożenie preparatu z meniskiem wypukłym, b) punkty iniekcyjne po przeszlifowaniu wyrównującym powierzchnię posadzki [M1]

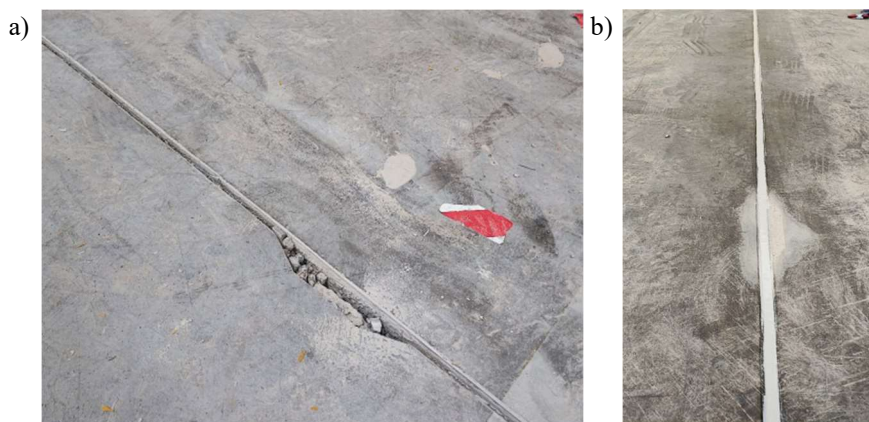
Płynna masa cementowa wypełniła przestrzeń pomiędzy dolną krawędzią posadzki, a górną powierzchnią podbudowy. Ręczna kontrola ciśnienia oraz zużycia materiału podczas aplikacji pozwoliła na równomierne wypełnienie wolnych przestrzeni w dolnych warstwach podłoża i podbudowy pod posadzką.

Kolejny etap stanowiło wypełnienie otworów widocznych na powierzchni posadzki za pomocą stosowanej masy iniekcyjnej lub materiału szybkościeralnego (rys. 10.16). Niewątpliwą zaletą tej technologii jest możliwość pełnego obciążenia posadzki po 24 godzinach od zakończenia iniekcji.

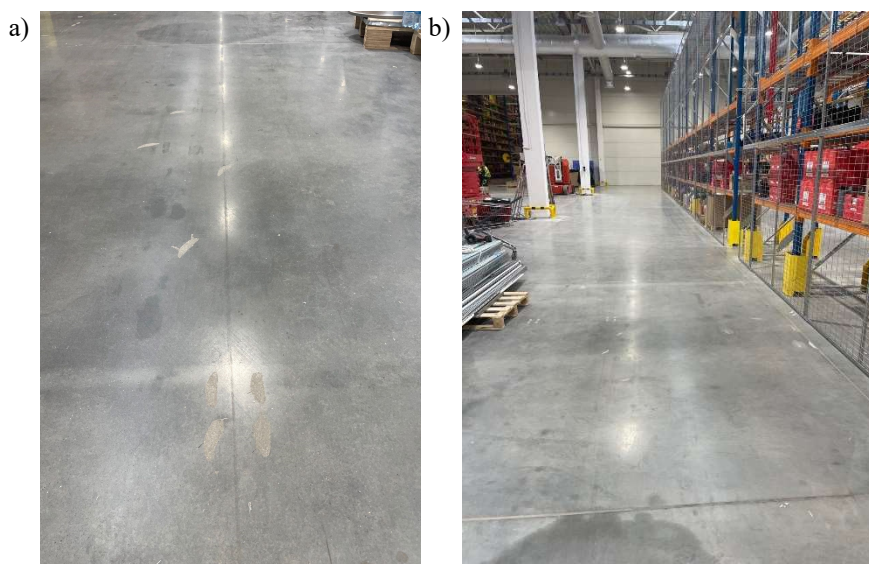
W obiekcie wykonano również wymianę wypełnienia dylatacji (rys. 10.17) wraz z punktową naprawą wykruszonych krawędzi (rys. 10.18).



Rys. 10.17. Betonowa posadzka przemysłowa (Przykład 4) podczas naprawy: a) usuwanie zdegradowanego wypełnienia dylatacji skurczowych, b) ułożenie nowego wypełnienia dylatacji skurczowych [M1]



Rys. 10.18. Betonowa posadzka przemysłowa (Przykład 4) podczas naprawy:
 a) widoczny ubytek krawędzi dylatacji, b) naprawa punktowa krawędzi dylatacji
 wraz z odtworzeniem wypełnienia [M1]



Rys. 10.19. Betonowa posadzka przemysłowa (Przykład 4) po naprawie:
 a) widoczne miejsca wypraw po wycięciu kotew,
 b) widok ogólny po przekształceniu obiektu w magazyn [M1]

Po wykonaniu wszystkich napraw posadzkę poddano procesowi szlifowania padami plastikowymi w celu zatarcia rys powierzchniowych i mikrorys widocznych w licu posadzki po wytarciu wierzchniej warstwy wykończeniowej. Szlifowanie wykonano przy użyciu padów diamentowych plastikowych o gradacji 50. Następnie posadzkę dokładnie odkurzono i umyto z zastosowaniem profesjonalnych szorwarek, wodą bez środków myjących. Na tak przygotowane podłoże nałożono preparat na bazie kompozytów krzemianowych, który wnika w pory betonu, działa w strukturach molekularnych wzmacniając i doszczelniając jego strukturę. Impregnat nałożono za pomocą wałków oraz rozpylaczy. Prace szlifierskie kontynuowano z użyciem padów diamentowych gradacji kolejno: 100, 200, po czym zastosowano dwukrotne

profesjonalne mycie posadzki. Po jej wysuszeniu nałożono preparat zamykający i doszczelniający posadzkę na bazie krzemianowej oraz wypolerowano.

Zastosowana metoda pozwoliła na wzmocnienie powierzchni betonu i zapewnienie dodatkowej ochrony przed zabrudzeniami i zniszczeniami (rys. 10.19).

11. Diagnostyka betonowych posadzek przemysłowych utwardzonych suchą posypką nawierzchniową (DST) w zakresie ścieralności – przegląd metod badawczych

11.1. Dostępne i stosowane metody badawcze

Norma dotycząca podkładów podłogowych PN-EN 13813 [N20] dopuszcza zastosowanie trzech metod badawczych w zakresie ścieralności:

- badania ścieralności metodą tarczy Böhme'go,
- badania metodą BCA (z ang. British Cement Association) wg normy PN-EN 13892-4 [N24],
- badania metodą RWA (z ang. Rolling Wheel Abrasion) wg normy PN-EN 13892-5 [N25].

Metoda RWA czyli metoda toczącego się koła jest bardziej dedykowana dla rozwiązań powłokowych i wykładzin, stąd w dalszych rozważaniach zostanie pominięta (tablica 11.1).

Tablica 11.1. Klasyfikacja ścieralności nawierzchni metodą RWA wg [N25]

RWA (Rolling Wear Abrasion) wg metody toczącego się koła					
Klasa wg RWA	RWA300	RWA100	RWA20	RWA10	RWA1
Ścieralność ¹⁾ [cm ³]	300	100	20	10	1
¹⁾ Objętość w cm ³ obliczona z zagłębienia pod kołem, jeśli powstaje zagłębienie bez zużycia ściernego to powinno być odnotowane.					

11.2. Oznaczenie odporności na ścieranie według metody Böhme'go

Najbardziej powszechną, miarodajną i rekomendowaną [35] metodą badania ścieralności posadzek jest badanie na tarczy Böhme'go wg zaleceń normy PN-EN 13892-3 [N23]. W odniesieniu do posadzek betonowych badania zaleca się wykonywać na pobranych z posadzki próbkach w akredytowanym laboratorium. Próbki do badań laboratoryjnych pobierane są bezpośrednio z wykonanej nawierzchni. Klasy ścieralności definiowane są odpowiednio od najwyższej (najlepszej) do najniższej (najgorszej): A1,5, A3, A6, A9, A12, A15, A18, A22, zgodnie z tablicą 11.2.

Tablica. 11.2. Klasyfikacja ścieralności nawierzchni metodą na tarczy Böhme'go wg [N23]

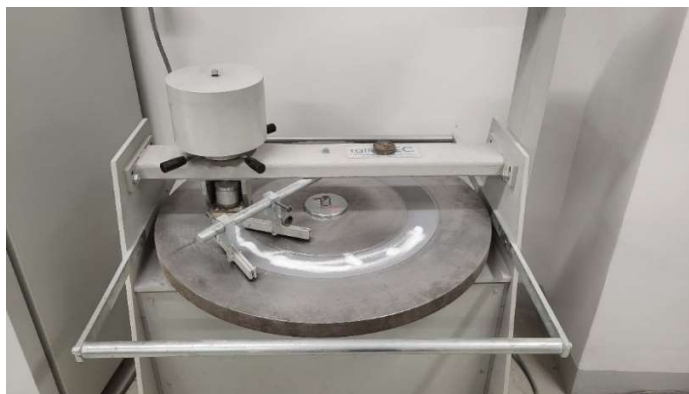
Klasa (wg Boehme'go)	A22	A15	A12	A9	A6	A3	A1,5
Ścieralność ¹⁾ w cm ³ /50 cm ²	15 - 22	12 - 15	9 - 12	6 - 9	3 - 6	1,5 - 3	< 1,5
¹⁾ W cm ³ startego materiału na 50 cm ² ścierną powierzchnią.							



Metoda badawcza oznaczania odporności na ścieranie z użyciem tarczy Böhmego jest stosowana do oceny wytrzymałości materiałów na zużycie przez tarcie. Próbka materiału umieszczana jest w specjalnym urządzeniu, gdzie poddawana jest działaniu okrągłej metalowej tarczy (nazwanej od nazwiska badacza tarczą Böhmego), która wykonuje oscylacyjne ruchy po jej powierzchni (rys. 11.1). Tarcza jest pokryta warstwą ścierną z proszku korundowego, co symuluje warunki rzeczywistego użytkowania. Po zakończeniu określonej liczby obrotów (cykli) ścierania mierzy się ubytek materiału. Ubytek ten wyraża się zwykle w cm^3 na powierzchnię próbki, co pozwala ocenić stopień ścieralności danego materiału.

Zasada badania polega na określeniu straty objętości w $1000 \text{ mm}^3 / 5000 \text{ mm}^2$ próbki podanej ścieraniu na tarczy Böhmego zamocowanej pod stałym obciążeniem $(294 \pm 3) \text{ N}$ z użyciem normowego proszku ściernego po określonej liczbie obrotów tarczy. Badanie wykonuje się w pomieszczeniach w temperaturze $(20 \pm 10)^\circ\text{C}$.

Badanie ścieralności wykonuje się na 3 próbkach o powierzchni kwadratowej o boku $(71,0 \pm 1,5) \text{ mm}$ i wysokości równej wysokości elementu, lecz nie większej niż $(71,0 \pm 1,5) \text{ mm}$. Z każdego elementu przeznaczanego do badania można wyciąć tylko jedną próbkę w ten sposób, aby jedna z powierzchni próbki zawierała warstwę licową elementu.



Rys. 11.1. Tarcza Böhmego stosowana do oceny wytrzymałości na ścieranie materiałów budowlanych (fot. S. Świątek-Żołyńska)

Przygotowania próbek do badania przeprowadza się zasadniczo na elementach, które osiągnęły wymagany wiek minimum 28 i nie więcej niż 35 dni od daty wyprodukowania. W przypadku elementów młodszych niż 28 dni, do czasu uzyskania 7 dni od daty produkcji przechowuje się je w wodzie o temperaturze $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, a następnie na powietrzu w temperaturze $(20 \pm 10)^\circ\text{C}$ i wilgotności $(65 \pm 10)\%$ do czasu uzyskania 28 dni od daty produkcji.

Niezależnie od wieku przeznaczanego do badania elementu, po docięciu próbek należy usunąć wszelkie zadziory i pozostały po docinaniu materiał przy pomocy drucianej szczotki. Powierzchnia mająca kontakt z tarczą (licowa) i powierzchnia przeciwna powinny być płaskie i równoległe względem siebie. Próbki przed badaniem należy kontrolnie zważyć, ewentualnie wysuszyć do stałej masy w suszarce w temperaturze $(105 \pm 5)^\circ\text{C}$ a następnie powierzchnię przeznaczoną do badania wstępnie doszlifować poprzez wykonanie czterech cykli ścierania.

Przed przystąpieniem do badania należy oznaczyć gęstość próbek, a w przypadku próbek dwuwarstwowych wyznaczyć również gęstość warstwy licowej. Wymiary próbek należy zmierzyć z dokładnością do $0,1 \text{ mm}$, a masę wyznaczać z dokładnością do $0,1 \text{ g}$.

Przed badaniem ścieralności i po każdym czterech cyklach należy zważyć próbkę do badania z dokładnością do $0,1 \text{ g}$.

Badanie należy przeprowadzić z zastosowaniem 20 g normowego proszku ściernego na pas ścierania.

Podczas badania należy pamiętać o tym, żeby badana powierzchnia dotykała pasa ścierania i była obciążona osiowo. Próbkę należy poddać 16 cyklom badania, każdy z cykli powinien składać się z 22 obrotów. Po każdym cyklu należy oczyścić tarczę oraz powierzchnie próbki mające z nią kontakt, następnie obrócić próbkę o 90° i ponownie rozsypać nową porcję proszku ściernego na pasie ścierania.

Oznaczenie klasy np. A1,5 oznacza, że w badaniu wykonanych zgodnie z zaleceniami normy [N17] na próbkach o zadanych wymiarach bazowych, powierzchnia uległa wytarciu w ilości mniejszej niż 1,5 cm³ na powierzchni ścieranej 50 cm², co daje ostateczny wynik nominalny 0,3 mm, czyli znacząco poniżej 1 mm. Klasa A3 analogicznie oznacza, że próbka w badaniu normowym wytarła się mniej jak 3cm³/50 cm² i więcej niż 1,5 cm³/50 cm², w wartościach nominalnych ubytek wysokości próbki wynosi ~ 0,6 mm do ~ 0,3 mm.

Należy przy tym zauważyć, że np. beton klasy C20/25 osiąga ścieralność na poziomie 25 cm³/50 cm², beton klasy C25/30 odpowiednio 20 cm³/50 cm², co w prosty sposób uzasadnia konieczność stosowania materiałów powłokowych/przypowierzchniowych podnoszących odporność na ścieranie samego tylko betonu.

Współcześnie najczęściej stosowaną klasą ścieralności w nowych obiektach przemysłowych jest klasa A6, dla której grubość ubytku (w trakcie badania normowego) zawiera się w przedziale: 6 cm³/50 cm² > A6 ≥ 3 cm³/50 cm², co odpowiada wartościom nominalnym grubości 0,6 - 1,2 mm. W zasadzie taki stan rzeczy koresponduje z wartościami przedstawionymi w tablicy 7.5 – patrz też [23].

11.3. Oznaczenie odporności na ścieranie według metody BCA

Klasy ścieralności definiowane wg metody BCA wynoszą odpowiednio od najwyższej (najlepszej) do najniższej (najgorszej): AR0,5, AR1, AR2, AR4, AR6, zgodnie z tablicą 11.3. Badanie BCA wykonywane jest bezpośrednio na obiekcie (istniejącej posadzce) i definiuje głębokość ubytku materiału w śladzie wytarcia powstałego pod toczącymi się kołami aparatu badawczego, obciążeniem po 2850±10 obrotach wirującego pierścienia osadzonego na trzech stalowych, hartowanych kołach poruszających się po badanej powierzchni posadzki, wirującego z prędkością 180 obr./minutę, co w zamierzeniu ma symulować długoterminowe obciążenia mechaniczne posadzki w sposób przyspieszony (rysunki 11.2, 11.3 i 11.4). Odporność na ścieranie powierzchni betonowej określa średnia głębokość ścierania powierzchni w każdym miejscu badania i obszaru badawczego w kształcie pierścienia.

Tablica 11.3. Klasyfikacja ścieralności nawierzchni metodą BCA wg [N24]

Klasa wg BCA	AR6	AR4	AR2	AR1	AR0,5
Ścieralność [μm]	600	400	200	100	50
AR (Abrasion Resistance)					
W μm głębokość pierścienia wytartego przez trzy koła obracające się pod ustalonym obciążeniem					

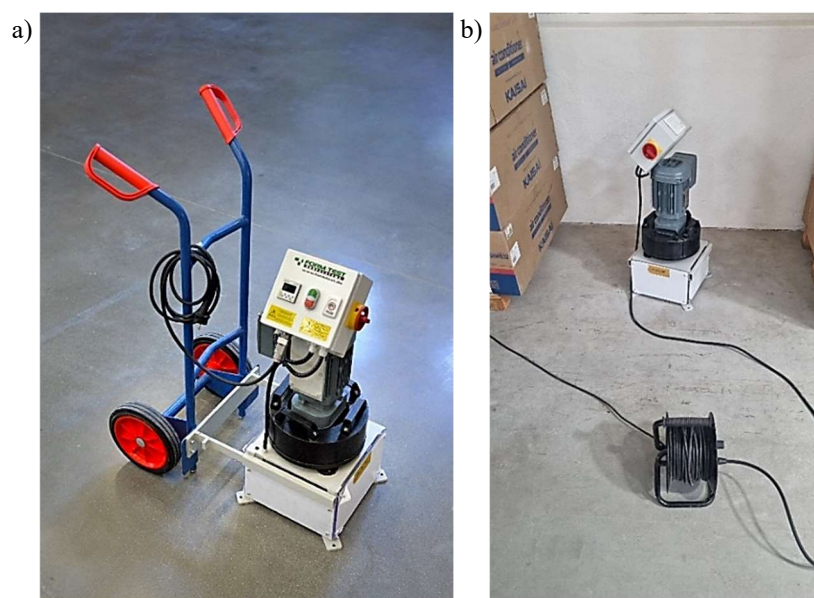
Badanie ścieralności wykonuje się na widocznie suchej powierzchni betonowej o wymiarach min. 500×500 i grubości min. 50 mm. Podczas badania musi panować dodatnia temperatura, powierzchnia musi być widocznie sucha.

Samo urządzenie do oznaczania odporności na ścieranie według metody BCA jest to urządzenie spełniające wymagania pkt. 5.1 normy PN-EN 13892-4:2004 [N24]. Pomiar ubytku dokonuje się przy pomocy czujnika zegarowego, zgodnego z pkt. 5.3 normy [N24]. Elementem niezbędnym do prowadzenia badań jest również szablon cechujący do wyznaczania

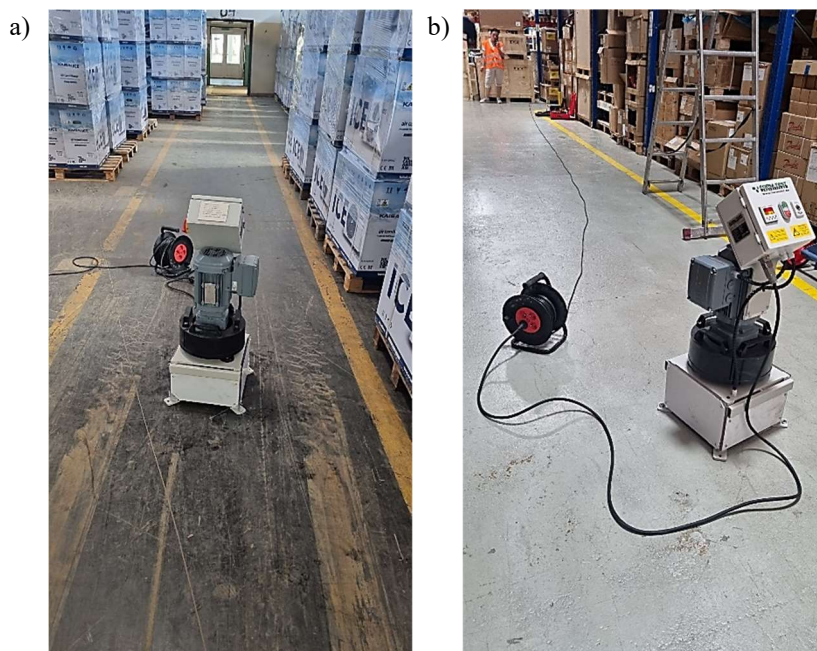
miejsce pomiaru BCA - jest to narzędzie zgodne z pkt. 5.2 normy [N24], wykorzystywane do dokładnego oznaczania punktów pomiaru. Szablon pozwala na jednolite rozmieszczenie miejsc badań, co z kolei przekłada się na spójność i powtarzalność wyników.



Rys. 11.2. Badania ścieralności metodą BCA: a) maszyna podczas badań, b) posadzka po zakończeniu pomiaru (fot. M. Niedostatkiewicz)



Rys. 11.3. Maszyna do badania ścieralności metodą BCA: a) widok ogólny (fot. K. Krzempek), b) badanie ścieralności betonowej posadzki przemysłowej – pomiar w strefie przyściennej (fot. M. Niedostatkiewicz)



Rys. 11.5. Badanie ścieralności betonowej posadzki przemysłowej z zastosowaniem maszyny BCA (fot. M. Niedostatkiewicz): a) pomiar w ciągu komunikacyjnym, b) pomiar w strefie pomiędzy regałami wysokiego składowania

Przed każdym badaniem należy zmierzyć średnicę i grubość każdego koła w trwale oznakowanym znaczniku z dokładnością do 0,01 mm.

Przyrząd do badania głębokości (czujnik zegarowy) należy dokładnie ustawić w każdym z 8 punktów pomiarowych i odczytać wartości końcowe a po zaokrągleniu ich do 10 μm zaprotokołować. Każdy pomiar należy powtórzyć trzykrotnie.

W ostatnim czasie metoda BCA zyskuje coraz więcej zwolenników, szczególnie w grupie wykonawców posadzek i dostawców technologii posadzkowych albowiem przeprowadzenie pojedynczego badania tą metodą zajmuje kilkanaście minut, a wynik jest możliwy do odczytania bezpośrednio w miejscu wykonywania pomiarów. Taka procedura i naoczne poświadczanie parametrów technicznych wykonanej posadzki w sposób mało inwazyjny niewątpliwie upraszcza problematyczne odbiory robót posadzkarskich.

Należy przy tym zaznaczyć, że w chwili obecnej nie ma żadnej, potwierdzonej w sposób wiarygodny, korelacji pomiędzy wynikami uzyskanymi za pośrednictwem różnych metod pomiarowych, w szczególności pomiędzy pomiarami na tarczy Boehmego oraz pomiarami z zastosowaniem metody BCA. Co więcej, większość producentów materiałów stosowanych na zasypki DST [M2]-[M5] deklaruje z reguły ścieralność określoną tylko jedną metodą, z reguły BCA albo metodą Böhmeo.

Praktyka inżynierska pokazuje, że osiągnięcie bezpośrednio na budowie najlepszego wyniku ścieralności (AR0,5) metodą BCA nie gwarantuje spełnienia wysokich parametrów odporności na ścieranie metodą badania na tarczy Böhmeo (A1,5).

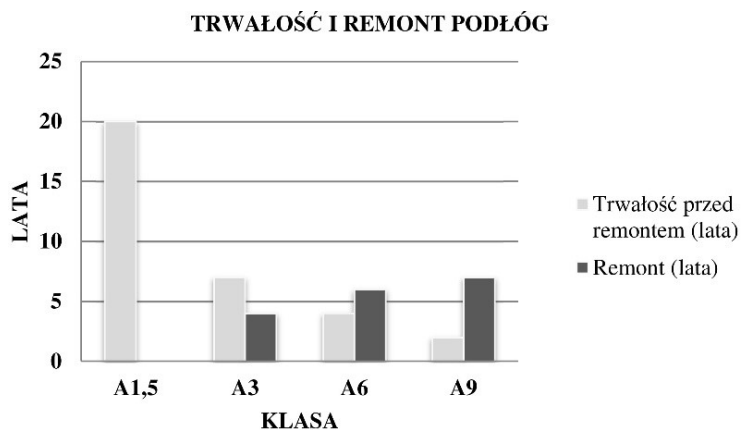
Przy porównywaniu próbek przez autorów pobranych z różnych posadzek, dla których otrzymano najwyższą klasę ścieralności AR0,5, po badaniach metodą tarczy Böhmeo uzyskuje się klasy na poziomie A12, A9, A6, A3 jak i A1,5. Zatem bezpośrednie porównywanie wyników badań otrzymywanych metodą BCA i tarczy Böhmeo jest działaniem o charakterze

jakościowym, a nie ilościowym. Niewiarygodne z punktu widzenia oceny inżynierskiej jest porównywanie klas ścieralności oznaczanych różnymi metodami, a ich zamieszczanie przez producentów na opakowaniach bez dodatkowego komentarza jest mylące, w praktyce wprowadza zarówno Wykonawcę, jak również bardzo często Zleceniodawcę (Zamawiającego) w błąd.

W przypadku oferty producentów opierających się wyłącznie na badaniach metodą BCA dobór utwardzacza na podstawie zaleceń producenta jest praktycznie niemożliwy, albowiem na kilka oferowanych preparatów utwardzających w technologii *DST*, zdecydowana większość lub wszystkie deklarowane są w najwyższej klasie ścieralności AR0,5.

Analogicznie z opisu zawartego w kartach technicznych produktów wynika, że produkty te dedykowane są do posadzek średnio, mocno, bardzo mocno i ekstremalnie obciążonych, a inne różnice między nimi nie są odzwierciedlone w pozostałych parametrach technicznych. Taki stan rzeczy naturalnie utrudnia prowadzenie merytorycznej dyskusji, a wyniki badań laboratoryjnych ścieralności stanowią niejednokrotnie jedynie atut w marketingowym wyścigu. W efekcie takich działań często produkty spełniające te same kryteria w zakresie klasy ścieralności mierzonej metodą BCA, znacząco różnią się od siebie co do składu i mogą zachowywać się odmiennie po wtarcu ich w betonową płytę posadzki. Warto dodać, że w normie PN-EN 13813 [N20] nie zawarto żadnych wytycznych łączących warunki eksploatacji posadzki z klasą odporności na ścieranie danego wyrobu do wykończenia warstwy wierzchniej.

Jednocześnie na rynku budowlanym można spotkać się z sytuacją odwrotną:, np. gdy producent deklaruje 5 rozwiązań w technologii *DST*, z których każde rozwiązanie posiada inną deklarowaną klasę ścieralności w oparciu o metodę badawczą na tarczy Böhmego [M1]. W innych materiałach [5], [N7] znaleźć można wykres zależności klasy ścieralności nawierzchni od czasu wystąpienia potencjalnego remontu/renowacji w obiektach przemysłowych, uwzględniając normalne warunki eksploatacyjne oraz stosowanie się do warunków utrzymania, pielęgnacji i konserwacji nawierzchni zgodnie z instrukcją Producenta/Wykonawcy [N7] (rys. 11.5).



Rys. 11.5. Zależność klasy ścieralności od wystąpienia potencjalnego remontu/renowacji nawierzchni wg [10]

Na podstawie analizy omówionych wcześniej materiałów, można sformułować tezę, że do nowo wykonywanych obiektów przemysłowych rekomendowane jest stosowanie klas ścieralności A6 i wyższych (A3 oraz A1,5), choć podejście to nie uwzględnia wpływu grubości

warstwy utwardzonej, gdyż poza dozowaniem opisanym w Karcie Technicznej należałoby uwzględnić rzeczywiste parametry uzyskane w toku prac budowlanych.

Należy pamiętać o tym, że dokonując wyboru posypki utwardzającej, należy uwzględnić jej kompatybilność z cementem użytym w mieszance betonowej oraz wytyczne dostawcy technologii utwardzenia powierzchniowego w zakresie parametrów mieszanki betonowej.

12. Wyniki badań własnych betonowych posadzek przemysłowych utwardzonych suchą posypką nawierzchniową (DST) w zakresie ścieralności

Przeprowadzone badania dotyczyły posadzki betonowej wykończonej technologią DST utwardzonej posypką metaliczną, eksploatowanej przez okres 20 lat w ciągach komunikacyjnych zakładu produkcyjnego zajmującego się obróbką tektury falistej, gdzie podczas eksploatacji występowało duże natężenie ruchu wózków widłowych i paletowych oraz obciążenia mechaniczne. Przedmiotowa posadzka została wykonana, według wstępnego rozpoznania, jako płyta fibrobetonowa o grubości 20-24 cm z betonu klasy C25/30 (B30) zbrojonego stalowym zbrojeniem rozproszonym w ilości 20 kg/m³ betonu. Grubość płyty zróżnicowana była w zależności od lokalizacji i obciążeń. Do szczegółowych badań wytypowano miejsca w głównym ciągu komunikacyjnym gdzie wyznaczono strefy do przeprowadzenia badań diagnostycznych (rys. 12.1). Pobrano odwierty rdzeniowe do badań wytrzymałościowych, a także w celu określenia grubości płyty oraz zawartości i stanu technicznego stalowego zbrojenia rozproszonego. Z materiału pobranego wycięto również próbki do badań ścieralności na tarczy Böhme.

Pomierzona na podstawie odwiertów rdzeniowych grubość płyty zawierała się w przedziale 20,5-22,5 cm. Średnia wytrzymałość betonu na ściskanie oznaczona dla 16 próbek pobranych *in-situ* z konstrukcji posadzki wynosiła: 54,3 ± 1,4 MPa. Przeliczona wg zaleceń normy [N16] wytrzymałość betonu na ściskanie wynosiła min. 50,7 ± 0,6 MPa, a przeliczona wg zaleceń normy [N19] wynosiła 41,0 ± 0,4 MPa. Na podstawie normy PN-EN 13791:2019-12 p. 9 [N19] stwierdzono, że badany beton spełniał wymagania stawiane klasie C40/50. Średnia gęstość objętościowa betonu w stanie naturalnym wynosiła 2297 ± 38 kg/m³. Średnia masa stalowych włókien zbrojeniowych w przeliczeniu na 1m³ betonu wynosiła 18,97 ± 2,33 kg/m³.



Rys. 12.1. Widok ogólny posadzki, podanej diagnostyce w ramach badań polowych, w głównych ciągach komunikacyjnych (fot. S. Świątek-Żołyńska)

12.1. Oznaczenie odporności na ścieranie metodą tarczy Böhme

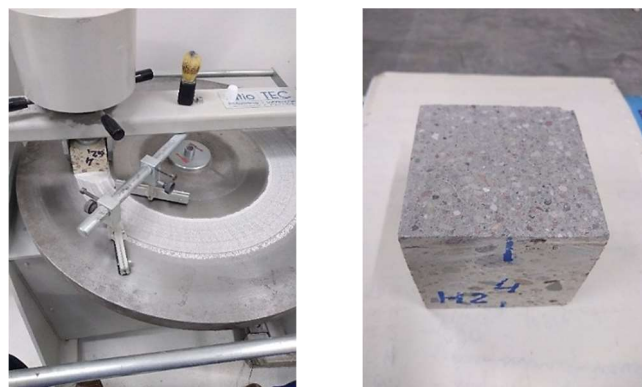
Z analizowanej posadzki wycięto 9 próbek w różnym stopniu zużycia (rys. 12.2). Próbki przycięto do wymiarów normowych, w ten sposób uzyskano 18 próbek do badań laboratoryjnych (rys. 12.3 oraz rys. 12.4). Uzyskane wyniki badań ścieralności na tarczy Böhme wykonane na próbkach pobranych podczas badań polowych przedstawiono w tablicy 12.1.



Rys. 12.2. Próbkę pobrane z posadzki w ramach badań polowych
(fot. S. Świątek-Żołyńska)



Rys. 12.3. Próbkę przycięte do wymiarów normowych,
pobrane z posadzki w ramach badań polowych (fot. S. Świątek-Żołyńska)



Rys. 12.4. Badanie na tarczy Böhme próbek pobranych z posadzki w ramach badań polowych: a) próbkę w trakcie badania, b) próbkę po badaniu (fot. S. Świątek-Żołyńska)

Tablica 12.1. Zbiorcze zestawienie wyników badań na tarczy Boehmego próbek pobranych z posadzki w ramach badań polowych. Klasy ścieralności wg [N23]

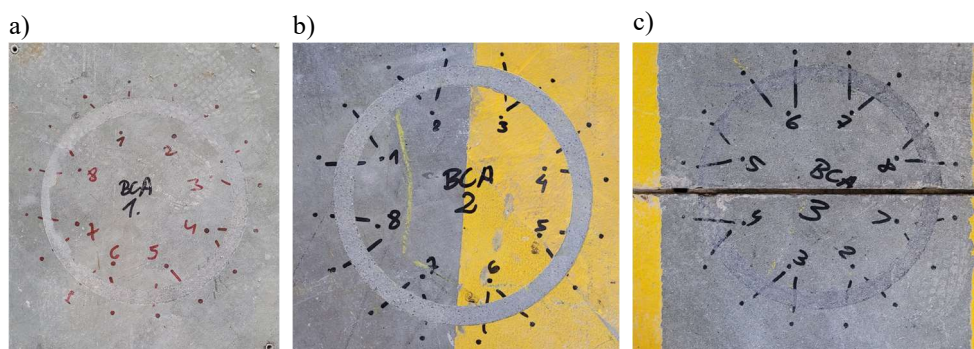
Lp.	Oznaczenie	Uzyskany wynik [cm ³ /cm ²]	Klasa
1	A1	6,49	A9
2	A2	7,78	A9
3	B1	6,83	A9
4	B2	7,66	A9
5	C1	7,45	A9
6	C2	7,55	A9
7	D1	7,81	A9
8	D2	10,23	A12
9	E1	5,96	A6
10	E2	6,22	A9
11	F1	6,40	A9
12	F2	8,38	A9
13	G1	6,31	A9
14	G2	6,65	A9
15	H1	7,96	A9
16	H2	8,28	A9
17	I1	7,33	A9
18	I2	8,28	A9

12.2. Oznaczenie odporności na ścieranie według metody BCA

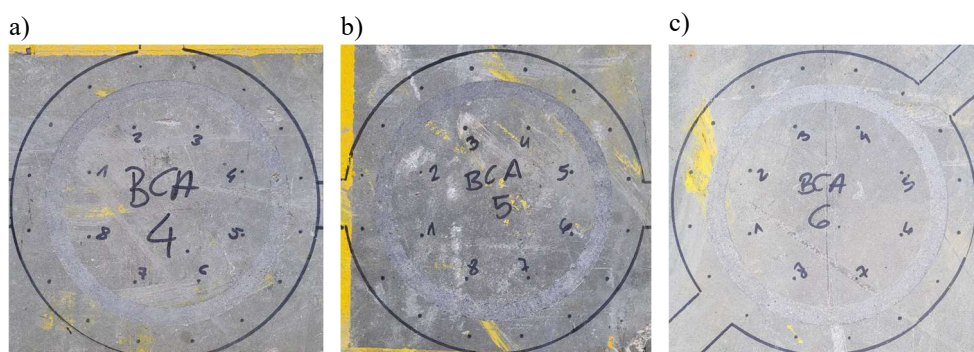
Na posadzce, w miejscach zbliżonych, znajdujących się w bezpośrednim sąsiedztwie, lokalizacji miejsc pobrania próbek do badań na tarczy Böhmego, wykonano badania ścieralności metodą BCA (rys. 12.5). Badanie przeprowadzono w 6 wytypowanych miejscach o różnym stopniu zużycia i zabrudzenia nawierzchni (rys. 12.6 oraz rys. 12.7). Metoda BCA symulowała naturalne zużycie posadzki w okresie 30-letnim, naśladując warunki intensywnego użytkowania. Uzyskane wyniki badań metodą BCA przedstawiono w tablicach: 12.2, 12.3, 12.4, 12.5, 12.6 oraz 12.7.



Rys. 12.5. Pomiar metodą BCA posadzki w ramach badań polowych
(*fol. S. Świątek-Żołyńska*)



Rys. 12.6. Pomiar metodą BCA posadzki w ramach badań polowych
- miejsca pomiarowe: a) nr 1, b) nr 2, c) nr 3 (fot. S. Świątek-Żołyńska)



Rys. 12.7. Pomiar metodą BCA posadzki w ramach badań polowych
- miejsca pomiarowe: a) nr 4, b) nr 5, c) nr 6 (fot. S. Świątek-Żołyńska)

Tablica 12.2. Wyniki pomiarów metodą BCA posadzki w ramach badań polowych
- miejsce pomiarowe nr 1

Nr punktu pomiarowego	1	2	3	4	5	6	7	8	
d_{oi} odczyt głębokości przed badaniem [mm]	4,878	4,831	4,833	4,861	4,845	4,834	4,780	4,841	
d_{wi} odczyt głębokości po badaniu [mm]	4,614	4,781	4,729	4,694	4,700	4,753	4,691	4,839	
d_o średnia wartość głębokości z pomiarów przeprowadzonych we wszystkich 8 punktach pomiarowych przed badaniem [μm]								4838	
d_w średnia wartość głębokości z pomiarów przeprowadzonych we wszystkich 8 punktach pomiarowych po zakończeniu badania [μm]								4725	
Liczba obrotów jaką wykonała głowica ścierająca								2850	
Błąd standardowy								1 μm	
Poziom ufności								95%	
Wynik badania AR odporność na ścieranie BCA wraz z niepewnością								113 \pm 3 μm	
Przedział ufności								od 100 μm do 116 μm	
Współczynnik rozszerzenia k								2.36	
Efektywna liczba stopni swobody v_{eff}								7	
Klasa odporności na ścieranie wg PN-EN 13813:2003 po uwzględnieniu niepewności wyniku badania								AR 2	

Tablica 12.3. Wyniki pomiarów metodą BCA posadzki w ramach badań polowych
- miejsce pomiarowe nr 2

Nr punktu pomiarowego	1	2	3	4	5	6	7	8
d_{oi} odczyt głębokości przed badaniem [mm]	4,878	4,885	4,845	4,764	4,992	4,839	4,885	4,861
d_{wi} odczyt głębokości po badaniu [mm]	4,696	4,791	4,539	4,454	4,615	4,653	4,704	4,737
d_o średnia wartość głębokości z pomiarów przeprowadzonych we wszystkich 8 punktach pomiarowych przed badaniem [μm]	4869							
d_w średnia wartość głębokości z pomiarów przeprowadzonych we wszystkich 8 punktach pomiarowych po zakończeniu badania [μm]	4649							
Liczba obrotów jaką wykonała głowica ścierająca	2850							
Błąd standardowy	6 μm							
Poziom ufności	95%							
Wynik badania AR odporność na ścieranie BCA wraz z niepewnością	220 \pm 13 μm							
Przedział ufności	od 207 μm do 233 μm							
Współczynnik rozszerzenia k	2,36							
Efektywna liczba stopni swobody v_{eff}	7							
Klasa odporności na ścieranie wg PN-EN 13813:2003 po uwzględnieniu niepewności wyniku badania	AR 4							

Tablica 12.4. Wyniki pomiarów metodą BCA posadzki w ramach badań polowych
- miejsce pomiarowe nr 3

Nr punktu pomiarowego	1	2	3	4	5	6	7	8
d_{oi} odczyt głębokości przed badaniem [mm]	4,861	4,838	4,858	4,820	4,853	4,838	4,892	4,827
d_{wi} odczyt głębokości po badaniu [mm]	4,760	4,723	4,806	4,803	4,832	4,793	4,787	4,733
d_o średnia wartość głębokości z pomiarów przeprowadzonych we wszystkich 8 punktach pomiarowych przed badaniem [μm]	4848							
d_w średnia wartość głębokości z pomiarów przeprowadzonych we wszystkich 8 punktach pomiarowych po zakończeniu badania [μm]	4780							
Liczba obrotów jaką wykonała głowica ścierająca	2850							
Błąd standardowy	4 μm							
Poziom ufności	95%							
Wynik badania AR odporność na ścieranie BCA wraz z niepewnością	69 \pm 7 μm							
Przedział ufności	od 62 μm do 76 μm							
Współczynnik rozszerzenia k	2.36							
Efektywna liczba stopni swobody v_{eff}	7							
Klasa odporności na ścieranie wg PN-EN 13813:2003 po uwzględnieniu niepewności wyniku badania	AR 1							



Tablica 12.5. Wyniki pomiarów metodą BCA posadzki w ramach badań polowych
- miejsce pomiarowe nr 4

Nr punktu pomiarowego	1	2	3	4	5	6	7	8
d_{oi} odczyt głębokości przed badaniem [mm]	4,834	4,854	4,774	4,837	4,800	4,815	4,852	4,882
d_{wi} odczyt głębokości po badaniu [mm]	4,695	4,649	4,578	4,731	4,645	4,658	4,774	4,800
d_o średnia wartość głębokości z pomiarów przeprowadzonych we wszystkich 8 punktach pomiarowych przed badaniem [μm]	4831							
d_w średnia wartość głębokości z pomiarów przeprowadzonych we wszystkich 8 punktach pomiarowych po zakończeniu badania [μm]	4691							
Liczba obrotów jaką wykonała głowica ścierająca	2850							
Błąd standardowy	1 μm							
Poziom ufności	95%							
Wynik badania AR odporność na ścieranie BCA wraz z niepewnością	140 \pm 3 μm							
Przedział ufności	od 137 μm do 143 μm							
Współczynnik rozszerzenia k	2,36							
Efektywna liczbą stopni swobody v_{eff}	7							
Klasa odporności na ścieranie wg PN-EN 13813:2003 po uwzględnieniu niepewności wyniku badania	AR 2							

Tablica 12.6. Wyniki pomiarów metodą BCA posadzki w ramach badań polowych
- miejsce pomiarowe nr 5

Nr punktu pomiarowego	1	2	3	4	5	6	7	8
d_{oi} odczyt głębokości przed badaniem [mm]	4,854	4,804	4,842	4,743	4,774	4,859	4,832	4,791
d_{wi} odczyt głębokości po badaniu [mm]	4,805	4,719	4,738	4,730	4,716	4,734	4,650	4,724
d_o średnia wartość głębokości z pomiarów przeprowadzonych we wszystkich 8 punktach pomiarowych przed badaniem [μm]	4812							
d_w średnia wartość głębokości z pomiarów przeprowadzonych we wszystkich 8 punktach pomiarowych po zakończeniu badania [μm]	4727							
Liczba obrotów jaką wykonała głowica ścierająca	2850							
Błąd standardowy	2 μm							
Poziom ufności	95%							
Wynik badania AR odporność na ścieranie BCA wraz z niepewnością	85 \pm 4 μm							
Przedział ufności	od 81 μm do 89 μm							
Współczynnik rozszerzenia k	2,36							
Efektywna liczbą stopni swobody v_{eff}	7							
Klasa odporności na ścieranie wg PN-EN 13813:2003 po uwzględnieniu niepewności wyniku badania	AR 1							

Tablica 12.7. Wyniki pomiarów metodą BCA posadzki w ramach badań polowych
- miejsce pomiarowe nr 6

Nr punktu pomiarowego	1	2	3	4	5	6	7	8
d_{oi} odczyt głębokości przed badaniem [mm]	4,877	4,822	4,805	4,731	4,816	4,810	4,836	4,840
d_{wi} odczyt głębokości po badaniu [mm]	4,748	4,673	4,628	4,688	4,720	4,685	4,718	4,643
d_o średnia wartość głębokości z pomiarów przeprowadzonych we wszystkich 8 punktach pomiarowych przed badaniem [μm]	4817							
d_w średnia wartość głębokości z pomiarów przeprowadzonych we wszystkich 8 punktach pomiarowych po zakończeniu badania [μm]	4688							
Liczba obrotów jaką wykonała głowica ścierająca	2850							
Błąd standardowy	2 μm							
Poziom ufności	95%							
Wynik badania AR odporność na ścieranie BCA wraz z niepewnością	129 \pm 4 μm							
Przedział ufności	od 125 μm do 133 μm							
Współczynnik rozszerzenia k	2,36							
Efektywna liczba stopni swobody ν_{eff}	7							
Klasa odporności na ścieranie wg PN-EN 13813:2003 po uwzględnieniu niepewności wyniku badania	AR 2							

12.3. Porównanie wyników badania odporności na ścieranie metodą Böhmego i BCA

Dla tej samej posadzki poddanej analizie w ramach badań polowych zastosowano 2 różne metody oznaczania jej odporności na ścieranie:

- metodą na tarczy Böhmego wg [N23], oraz
- metodą BCA wg [N24].

W tablicy 12.8. zestawiono otrzymane wyniki badań i klasyfikację ścieralności poszczególnych próbek. Nie należy ich utożsamiać, łączyć i mylić z klasyfikacją klasy ścieralności posadzki jako całości wyznaczonej wg przywołanych norm. W ramach badań odporności na ścieranie otrzymano następujące klasy ścieralności próbek pobranych z tej samej posadzki:

- A9 w 95% zbadanych próbek,
- A12 w 5% zbadanych próbek,
- AR1 w 22% zbadanych miejsc,
- AR2 w 56% zbadanych miejsc,
- AR4 w 22% zbadanych miejsc.

Axx oznacza klasę ścieralność oznaczoną metodą tarczy Böhmego wg [N23], natomiast ARx oznacza klasę oznaczoną metodą BCA wg [N24].

Na podstawie analizy wyników wykonanych badań porównawczych oraz obserwacji posadzki można stwierdzić, że:

- otrzymano istotne różnice klas ścieralności w zależności od wytypowanego miejsca oraz zastosowanej metody pomiarowej,
- nie można zatem postawić znaku równości pomiędzy wynikami i przypisanymi do nich klasami ścieralności uzyskanymi za pośrednictwem obu metod
- uzyskane wyniki nie wykazują wzajemnych korelacji ale widoczny jest trend bardziej restrykcyjnej oceny w badaniu metodą Böhmego. Próbka posadzki, która uzyskała bardzo dobre wyniki w badaniu metodą BCA (AR1) i ocenę bardzo wysoką wg



klasyfikacji [N24] jak również próbka zakwalifikowana jako (AR4) z oceną średnią uzyskującą w badaniu metodą Böhmego klasę A9.

Tablica 12.8. Zbiorcze zestawienie wyników badań na tarczy Böhmego i BCA próbek pobranych z posadzki w ramach badań polowych

Lp.	Metoda tarczy Böhmego			Metoda BCA		
	Oznaczenie	Uzyskany wynik [cm ³ /cm ²]	Klasa wg [N23]	Oznaczenie	Uzyskany wynik [μm]	Klasa wg [N24]
1	A1	6,49	A9	BCA 5	85 ±4	AR1
2	A2	7,78	A9			AR1
3	B1	6,83	A9	BCA 4	140 ±3	AR2
4	B2	7,66	A9			AR2
5	C1	7,45	A9	BCA 6	129 ±4	AR2
6	C2	7,55	A9			AR2
7	D1	7,81	A9	BCA 2	220 ±13	AR4
8	D2	10,23	A12			AR4
9	E1	5,96	A6	BCA 3	69 ±7	AR1
10	E2	6,22	A9			AR1
11	F1	6,40	A9	BCA 4	140 ±3	AR2
12	F2	8,38	A9			AR2
13	G1	6,31	A9	BCA 6	129 ±4	AR2
14	G2	6,65	A9			AR2
15	H1	7,96	A9	BCA 1	113 ±3	AR2
16	H2	8,28	A9			AR2
17	I1	7,33	A9	BCA 2	220 ±13	AR4
18	I2	8,28	A9			AR4

Komentując wyniki pomiarów, należy zaznaczyć, że zbadana posadzka była przez 20 lat użytkowana. Autorzy nie dysponują informacją dotyczącą założeń projektowych odnośnie wymaganej ścieralności, jak również wynikami badań odbiorowych (wykonanych przed oddaniem posadzki do użytkowania) dlatego nie sposób określić rzeczywistego stopnia zużycia w znanym okresie eksploatacji. W projekcie oraz dokumentacji powykonawczej zawarte są informacje o konieczności serwisowania posadzki przez użytkownika, który zgodnie z zapisami powinien okresowo odświeżyć powłokę impregnującą. W dokumentacji technicznej obiektu brak jednak informacji o wykonaniu zaleceń i okresowym odtwarzaniu powłok ochronnych w okresie eksploatacji. Z uwagi na wytypowanie do badań polowych strefy z najbardziej intensywnym ruchem wózków transportowych (widłowych) oraz ruchem pieszych (strefa przy bramie zewnętrznej), potencjalny brak wykonywania okresowych prac serwisowych polegających na odnowieniu warstw ochronnych mógł mieć istotny wpływ na szybsze zużycie wierzchniej warstwy posadzki.

13. Podsumowanie w odniesieniu do metodologii prac renowacyjnych betonowych posadzek przemysłowych utwardzonych suchą posypką nawierzchniową (DST)

Na podstawie informacji zamieszczonych w literaturze naukowo - technicznej, technicznej oraz uwzględniając doświadczenia własne można sformułować następujące spostrzeżenia:



- każdą betonową posadzkę przemysłową należy rozpatrywać indywidualnie, ponieważ nie ma jednej skutecznej metody naprawy i renowacji, a dobór technologii renowacji w tym środków chemicznych i narzędzi powinien być zawsze poprzedzony gruntowną analizą i inwentaryzacją stanu istniejącego,
- bardzo dobre wyniki w zakresie prac renowacyjnych posadzek przemysłowych wykonanych w technologii *DST* można uzyskać stosując technologię ich szlifowania i polewania segmentami oraz padami, niezależnie od tego, jakie warstwy wykończeniowe zastosowano pierwotnie,
- w przypadku stosowania tej technologii, kluczowym zagadnieniem jest dobór odpowiednich narzędzi (maszyn, segmentów, padów), który powinien być przeprowadzony na podstawie poletka doświadczalnego.

14. Wnioski końcowe w aspekcie zagadnienia ścieralności betonowych posadzek przemysłowych utwardzonych suchą posypką nawierzchniową (*DST*)

Posadzki przemysłowe są istotnymi elementami współczesnego budownictwa, a z uwagi na różnorodność obciążeń i warunków eksploatacji są elementami trudnymi w projektowaniu i wykonaniu, jak również generują problemy eksploatacyjne.

Betonowe posadzki utwardzone powierzchniowo należą do rozwiązań najczęściej stosowanych w praktyce z uwagi na korzystny stosunek jakości do ceny w porównaniu do innych rozwiązań, oraz 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.

Betonowe posadzki przemysłowe realizowane w technologii *DST* charakteryzują się dobrymi parametrami użytkowo - eksploatacyjnymi pod warunkiem ich właściwego: zaprojektowania, wykonania zgodnie z warunkami kontraktacji (zapisami umów pomiędzy uczestnikami procesu inwestycyjnego) oraz eksploatacji.

Do dwóch najpopularniejszych obecnie stosowanych metod oznaczania odporności posadzki na ścieranie należą metody tarczy Boehmego oraz metoda BCA. Klas ścieralności oznaczonych obiema metodami nie można bezpośrednio porównywać, jednak co do zasady wykazują one pewną jakościową zgodność w zakresie określania klasy odporności na ścieranie.

Zważywszy na znaczący postęp technologiczny, materiałowy oraz sprzętowy, jaki miał miejsce od czasu wydania ostatnich wytycznych zwartych w warunkach technicznych [N38] i [N39], a także stawianie nowych, podwyższonych wymagań konstrukcyjnych, eksploatacyjnych przy zachowaniu długotrwałego okresu bezawaryjnej pracy i trwałość posadzki, istnieje konieczność podniesienia wymagań w zakresie rekomendowanych klas ścieralności dla nowo powstających obiektów.

Bibliografia

- [1] Ajdukiewicz A.: Aspekty trwałości i wpływu na środowisko w projektowaniu konstrukcji betonowych. Przegląd Budowlany, nr 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 2015 nr 23: str. 7÷18.



- [4] Baranowski W.: Zużycie obiektów budowlanych. Wydawnictwo Warszawskiego Centrum Postępu Techniczno-Organizacyjnego Budownictwa, Ośrodek Szkolenia WACE-TOB sp. z o.o., Warszawa, 2000.
- [5] Bautech: Materiały szkoleniowe i badania wewnętrzne produktów oraz systemów.
- [6] Błyszko J., Kiernożycki W.: Błędy projektowe i wykonawcze posadzek oraz nawierzchni betonowych. 29th International Conference on Structural Failures ICSF-2019, Międzyzdroje 2019, str. 47÷56.
- [7] Bukowski B.: Morfologia rys w konstrukcjach betonowych i żelbetowych. Archiwum Inżynierii Lądowej, nr 3, 4, Warszawa 1957.
- [8] Chmielewska B., Czarnecki L.: Materiały i wymagania dotyczące posadzek. XXVI Ogólnopolska Konferencja WPPK-2011, 239-280, Szczyrk, 2011.
- [9] Chmielewska B., Czarnecki L.: Wymagania norm dotyczące posadzek przemysłowych. Materiały Budowlane, nr 2/2012, str. 5÷9.
- [10] Czarnecki L., Emmons P. H.: Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych. Kraków 2002.
- [11] Drobiec Ł.: Diagnostyka i uszkodzenia betonowych posadzek przemysłowych. Izolacje, nr 1/2017, str. 52÷58.
- [12] Drobiec Ł.: Przyczyny uszkodzeń dylatacji betonowych posadzek przemysłowych. Izolacje, nr 4/2017, str. 74÷77.
- [13] Drobiec Ł.: Sposoby naprawy uszkodzonych posadzek betonowych. Izolacje, Nr 3/2017.
- [14] Fegerlund G.: Trwałość konstrukcji betonowych. Arkady, Warszawa 1997.
- [15] Fiertak M.: Ochrona materiałowo-strukturalna betonu. XXV Ogólnopolska Konferencja WPPK-2010, tom 1, str. 201÷236, Szczyrk, 2010.
- [16] Hajduk P.: Projektowanie podłóg przemysłowych. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.
- [17] Halicka A.: Ocena istniejących konstrukcji budowlanych według normy ISO 13822-2010. V Ogólnopolska Konferencja Problemy techniczno-prawne utrzymania obiektów budowlanych, Warszawa 2019.
- [18] Hoła J., Sadowski Ł., Hoła A.: Katastrofalny stan techniczny nowych posadzek cementowych w budynku użyteczności publicznej-analiza przyczyn. 29th International Conference on Structural Failures ICSF-2019, 57-64, Międzyzdroje, 2019.
- [19] Horszczaruk E.: Odporność betonu na ścieranie w aspekcie wymogów normy PN-EN 206-1. Budownictwo, Technologie, Architektura, 1, Warszawa, 2007.
- [20] Hulimka J.: Wybrane problemy projektowania, wykonawstwa i eksploatacji betonowych podłóg na gruncie w obiektach wielkopowierzchniowych. 29th International Conference on Structural Failures ICSF-2019, Międzyzdroje, 2019, str. 71÷90.
- [21] Instytut Techniki Budowlanej: Instrukcje, Wytyczne, Poradniki. Posadzki mineralne i żywiczne. Warszawa 2018.
- [22] Karwacki J.: Betonowe nawierzchnie przemysłowe nowej generacji. Przegląd Budowlany, 1, 4-7, Warszawa 1997.
- [23] Karwacki J.: Podłogi przemysłowe. Polski Cement, kwiecień – czerwiec 2001, str. 32-34.
- [24] Kucharska-Stasiak E.: Metody pomiaru zużycia obiektów budowlanych. Materiały Budowlane, nr 2/1995, str. 29÷38.
- [25] Latoszek P.: Powierzchniowo utwardzane monolityczne nawierzchnie przemysłowe z fibrobetonów. Konferencja „Dni Betonu”, 2004.
- [26] Małasiewicz A., Boukerou I.: Typowe uszkodzenia posadzek przemysłowych. II Konferencja Techniczna „Technologie i Materiały Budowlane XXI wieku”, Gdańsk 1999.

- [27] Mierzwa J.: Kształtowanie i obliczanie posadzek przemysłowych na gruncie. XXIII Ogólnopolska Konferencja WPPK-2008, Szczyrk, 2008.
- [28] Neville A.M.: Właściwości betonu. Wydawnictwo Polski Cement sp. z o.o., Wiźnice 2018.
- [29] Niedostatkiewicz M., Majewski T.: Ocena techniczna podłóg przemysłowych-błędy wykonawcze i eksploatacyjne. Izolacje, nr 6/2020, str. 2÷6.
- [30] Niedostatkiewicz M., Majewski T.: Uwarunkowania użytkowania podłóg przemysłowych-błędy projektowe. Inżynier Budownictwa, nr 183, 2020, str. 46÷50.
- [31] Niedostatkiewicz M., Majewski T.: Uwarunkowania użytkowania podłóg przemysłowych-błędy wykonawcze. Inżynier Budownictwa, nr 186, 2020, str. 62÷65.
- [32] Niedostatkiewicz M., Majewski T.: Wpływ błędów projektowych, wykonawczych oraz sposobu eksploatacji na trwałość podłóg przemysłowych. XXXV Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji WPPK-2020, Szczyrk, 2020.
- [33] Pająk Z., Drobiec Ł.: Uszkodzenia i naprawy betonowych podkładów posadzek przemysłowych. XXIII Ogólnopolskie Warsztaty Projektanta Konstrukcji WPPK-2008, Szczyrk, 2008.
- [34] Piotrowski T., Świątek-Żołyńska S.: Beton posadzkowy-wymagania i odpowiedzialność za jakość zgodnie z PN-EN 206. Materiały Budowlane, nr 9/2017, str. 3÷6.
- [35] Praca zbiorowa pod red. Prof. Deji: Beton, technologie i metody badań. Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2020.
- [36] Praca zbiorowa: Encyklopedia PWN, Państwowe Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1977.
- [37] Praca zbiorowa: Mały słownik terminów budowlanych. Wydawnictwo Warszawskie Centrum Postępu Techniczno-Organizacyjnego Budownictwa, Ośrodek Szkolenia WACETOB Sp. z o.o., Warszawa 1997.
- [38] Praca zbiorowa: Trwałość i skuteczność napraw obiektów budowlanych. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław, 2007.
- [39] Praca zbiorowa: Trwałość i skuteczność napraw obiektów budowlanych. Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2007.
- [40] Ryżyński W.: Utwardzenie powierzchniowe posadzki betonowej-cz. I. Inżynier Budownictwa, nr 2/2015, str. 54÷62.
- [41] Skowroński W.: Ilustrowany leksykon architektoniczno-budowlany. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 2008.
- [42] Słonina S.: Ścieralność betonowych posadzek przemysłowych utwardzanych powierzchniowo. DOI:10.7862/rb.2017.21, 2017.
- [43] Starosolski W.: Konstrukcje Żelbetowe według Eurokodu 2 i norm związanych. Tom III, rozdz. 16 Posadzki przemysłowe. Wydawnictwo Naukowe PWN S.A., Warszawa 2012.
- [44] Substyk M.: Utrzymanie i kontrola okresowa obiektów budowlanych. Wydawnictwo ODDK, Warszawa, 2012.
- [45] Ściślewski Z.: Ochrona konstrukcji żelbetowych. Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1999.
- [46] Ściślewski Z.: Trwałość konstrukcji żelbetowych. Wydawnictwo ITB, Warszawa 1995.
- [47] Ślusarek J.: Wybrane rozwiązania strukturalno-materiałowe betonowych nawierzchni przemysłowych. XIX Ogólnopolska Konferencja WPPK-2004, 129-154, Szczyrk, 2004.
- [48] Świątek-Żołyńska S., Kasprzak S., Niedostatkiewicz M.: Diagnostyka i naprawy dylatacji konstrukcyjnych w płytach posadzkowych. Część I. Przegląd Budowlany, nr 3-4/2022, str. 2÷5.

- [49] Świątek-Żołyńska S., Kasprzak S., Niedostatkiwicz M.: Diagnostyka i naprawy dylatacji konstrukcyjnych w płytach posadzkowych. Część II. Przegląd Budowlany, nr 11-12/2022, str. 24÷29.
- [50] Świątek-Żołyńska S., Majewski T., Niedostatkiwicz M.: Posadzki antyelektrostatyczne kluczowym elementem ochrony przed elektrycznością statyczną. Builder, 52, 2020, str. 8÷10.
- [51] Świątek-Żołyńska S., Majewski T., Niedostatkiwicz M.: Wybrane zagadnienia projektowania, wykonawstwa oraz użytkowania betonowych posadzek przemysłowych w aspekcie ich ścieralności. Przegląd Budowlany, nr 6/2020, str. 24÷31.
- [52] Świątek-Żołyńska S., Niedostatkiwicz M., Rzyżyński W.: Charakterystyka materiałowo-technologiczna oraz proces degradacji posadzek betonowych typu lastrico. Builder, nr 6/2021, str. 2÷6.
- [53] Świątek-Żołyńska S., Niedostatkiwicz M., Rzyżyński W.: Moda na lastrico. Builder, nr 4/2022, str. 82-84.
- [54] Świątek-Żołyńska S.: Garażowe i parkingowe systemy posadzkowe Bautech. IV Seminarium naukowo-techniczne "Podłogi Przemysłowe", Warszawa, 21 października 2013 r.
- [55] Świątek-Żołyńska S.: Kryteria decydujące o wyborze technologii posadzkowej. Bezpieczny magazyn, nr 3/2017.
- [56] Świątek-Żołyńska S.: Posadzki szyte na miarę. Materiały Budowlane, nr 9/2014, str. 21÷22.
- [57] Świątek-Żołyńska S.: X-Floor® – Nowoczesne metody regeneracji i wzmocnienia nawierzchni oraz betonowych posadzek przemysłowych. XXIX Ogólnopolska Konferencja WPPK-2014, IV, Szczyrk, 2014.
- [58] Urbanowicz D., Sadłowski K., Warzocha M.: Badanie odporności na ścieranie metoda BCA – szybki sposób na sprawdzenie jakości posadzek przemysłowych. Inżynier Budownictwa, nr 11/2018 (166), str. 50÷53.
- [59] Wikipedia (<https://pl.wikipedia.org/wiki/Wikipedia>).
- [60] Woyciechowski P., Adamczewski G., Radomski R., Jasak M., Palacz R.: Warunki wykonywania posadzek betonowych a ich jakość eksploatacyjna. Materiały budowlane, 9/2014. (nr 505), str. 8÷10.
- [61] Zając G.: Posadzki przemysłowe o dużej odporności na ścieranie. Materiały Budowlane, nr 5/2007, str. 28–30.
- [62] Zalewski S. i in.: Remonty budynków mieszkalnych. Poradnik. Wydanie II, Wydawnictwo Arkady, Warszawa 1997.
- [63] Zybura A., Śliwka A.: O interpretacji warunków środowiskowych przy określaniu klasy ekspozycji w projektach konstrukcji żelbetowych. Inżynieria i Budownictwo, nr 3/2010, str. 116÷120.
- [64] Zych T.: Trwałość współczesnego betonu w ujęciu norm europejskich. Architektura. Czasopismo techniczne, 2-A/2, 11, 108, Kraków, 2001.

Akty prawne

- [P1] Ustawa Prawo budowlane z dnia 7 lipca 1994 r (Dz. U. 1994 nr 89 poz. 414) z późniejszymi zmianami.

Normy, instrukcje i wytyczne

- [N1] BS 8204-2:2002: Screeds, bases and in situ floorings. Concrete wearing surfaces. Code of practice.



- [N2] DIN 1100: 2004: Hard aggregates for cement-bound floor screeds - Requirements and test methods.
- [N3] DIN 18202: Toleranzen in Hochbau – Bauwerke.
- [N4] EN 13529: 2004E: Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Odporność na silną agresję chemiczną.
- [N5] EN 13579: 2002: Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Badanie schnięcia przy impregnacji hydrofobizującej.
- [N6] EN ISO 6272: Farby i lakiery. Badania nagłego odkształcenia (odporność na uderzenie). Część 1: Badanie za pomocą spadającego ciężarka, wgłębnik o dużej powierzchni.
- [N7] Instrukcja użytkowania posadzki betonowej wg technologii Bautech.
- [N8] Instytut Techniki Budowlanej, Zeszyt 466/2011 Śliskość. Zasady doboru posadzek. Poradnik.
- [N9] PN-62/B-10144: Posadzki z betonu i zaprawy cementowej. Wymagania i badania przy odbiorze.
- [N10] PN-83 B-06256: Beton odporny na ścieranie.
- [N11] PN-B 19707: Cement. Cement specjalny. Skład, wymagania i kryteria zgodności.
- [N12] PN-B-06250: 2004: Krajowe uzupełnienia normy PN EN 206-1:2003.
- [N13] PN-EN 1062-3:2000P: Farby i lakiery. Wyroby lakierowe i systemy powłokowe stosowane na zewnątrz na mury i beton. Oznaczanie i klasyfikacja współczynnika przenikania wody (przepuszczalności.)
- [N14] PN-EN 1062-3:2008: Farby i lakiery - Wyroby lakierowe i systemy powłokowe stosowane na zewnątrz na mury i beton - Część 3: Oznaczanie przepuszczalności wody.
- [N15] PN-EN 12620: Kruszywa do betonu.
- [N16] PN-EN 12390-3:2019-07: Badania betonu. Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań.
- [N17] PN-EN 13139: Kruszywa do zaprawy.
- [N18] PN-EN 13454-2: Spoiwa na podkłady podłogowe na bazie siarczanu wapnia. Część 2. Metody badań.
- [N19] PN-EN 13791: Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych.
- [N20] PN-EN 13813:2003: Podkłady podłogowe oraz materiały do ich wykonania. Materiały. Właściwości i wymagania.
- [N21] PN-EN 13872: Metody badań hydraulicznie wiążących podłogowych zapraw szpachlowych i/lub wyrównujących. Oznaczenie zmiany wymiarów.
- [N22] PN-EN 13892-2: Metody badania materiałów na podkłady betonowe. Część 2: Oznaczanie wytrzymałości na zginanie i ściskanie.
- [N23] PN-EN 13892-3:2015-02: Metody badania materiałów na podkłady podłogowe - Część 3: Oznaczanie odporności na ścieranie według Boehmego.
- [N24] PN-EN 13892-4:2004: Metody badania materiałów na podkłady podłogowe - Część 4: Oznaczanie odporności na ścieranie według BCA.
- [N25] PN-EN 13892-5:2005: Metody badania materiałów na podkłady podłogowe - Część 5: Oznaczanie odporności na ścieranie materiałów podkładów podłogowych pod naciskiem toczącego się koła.
- [N26] PN-EN 13892-6: Metody badania materiałów na podkłady podłogowe. Część 6. Oznaczenie twardości powierzchniowej.
- [N27] PN-EN 13892-7: Metody badania materiałów na podkłady podłogowe. Część 7. Oznaczanie odporności na ścieranie materiałów podkładów podłogowych pokrytych wykładziną podłogową pod naciskiem toczącego się koła.



- [N28] PN-EN 13892-8: Metody badania materiałów na podkłady podłogowe. Część 8. Oznaczanie przyczepności.
- [N29] PN-EN 1504-2: 2006: Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności - Część 2: Systemy ochrony powierzchniowej betonu.
- [N30] PN-EN 1504-3: 2006: Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności - Część 3: Naprawy konstrukcyjne i niekonstrukcyjne.
- [N31] PN-EN 1504-5: 2013-09: Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych - Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności -- Część 5: Iniekcja betonu.
- [N31] PN-EN 197-1: Cement. Część 1. Skład, wymagania i kryteria zgodności i dotyczące cementów powszechnego użytku.
- [N32] PN-EN 1991-1-1: Eurokod 1: Oddziaływanie na konstrukcje. Część 1-1: Oddziaływania ogólne, Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.
- [N33] PN-EN 1992-1-1:2008: Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu - Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [N34] PN-EN 206-1: Beton: Właściwości, wymagania, produkcja i zgodność.
- [N35] PN-EN 206-1:2003 + A1:2016-12: Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- [N36] PN-EN ISO 178: Tworzywa sztuczne. Oznaczenie właściwości przy zginaniu.
- [N37] PN-EN ISO 6272-2: Farby i lakiery. Badania nagłego odkształcenia (odporność na uderzenie). Część 2: Badanie za pomocą spadającego ciężarka, wgłębnik o małej powierzchni.
- [N38] Nowacki A.: Warunki Techniczne Wykonania i Odbioru Robót Budowlanych, Część B: Roboty wykończeniowe, zeszyt 8: Posadzki betonowe utwardzane powierzchniowo preparatami proszkowymi. ITB, Warszawa 2023.
- [N39] Instytut Techniki Budowlanej: Instrukcje, Wytyczne, Poradniki. Posadzki mineralne i żywiczne. Warszawa 2018.
- [N40] PN-EN 12706: Kleje. Metody badań hydraulicznie wiążących zapraw szpachlowych i/lub wyrównujących. Oznaczanie rozlewności.

Materiały firmowe

- [M1] Materiały techniczne firmy Bautech sp. z o.o.
- [M2] Materiały techniczne firmy Weber.
- [M3] Materiały techniczne firmy Sika Poland sp. z o.o.
- [M4] Materiały techniczne firmy Formatiq sp. z o.o.
- [M5] Materiały techniczne firmy Cemcom sp. z o.o.

