

dr hab. inż. Elżbieta Horszczaruk, prof. ZUT*

Odporność na ścieranie betonowych posadzek przemysłowych

Abrasion resistance of industrial concrete floors

Streszczenie. W artykule omówiono metody badania odporności na ścieranie posadzek betonowych. Wyjaśniono również podstawowe mechanizmy zużycia ściernego obserwowane w przypadku przemysłowych posadzek betonowych oraz scharakteryzowano główne czynniki materiałowe i technologiczne wpływające na odporność na ścieranie posadzek.

Słowa kluczowe: odporność na ścieranie, metody badania ścieralności, posadzki betonowe.

Abstract. In the presented paper methods of abrasion testing of the concrete floors have been discussed. Also the basic mechanisms of wear phenomenon have been explained in relation to the industrial concrete floors. The main material and technological factors that have influence on the wear resistance of the industrial floors have discussed.

Keywords: abrasion resistance, abrasion testing method, industrial floors.

Zjawisko ścierania betonowych posadzek przemysłowych jest jednym z głównych problemów technicznych występujących w okresie ich eksploatacji. Dobór odpowiedniego rozwiązania jest zagadnieniem złożonym [1 ÷ 3, 6]. Zapewnienie właściwej odporności na ścieranie projektowanej posadzki wymaga nie tylko doboru odpowiednich materiałów i technologii wykonania, ale także pielęgnacji w czasie użytkowania.

Jednym z najczęściej stosowanych rozwiązań posadzek przemysłowych są posadzki betonowe lub posadzki na bazie spoiw cementowych. Zjawisko ścierania betonu występujące w posadzkach cementowych jest bardzo złożonym zagadnieniem fizykomechanicznym [4]. Prawidłowa interpretacja procesów zużycia ściernego betonu, obserwowanych w przypadku posadzek betonowych, pozwała na właściwy dobór materiałów i technologii wykonania. Należy pamiętać, że słaba odporność na ścieranie to zjawisko bardzo nietypowe w nowoczesnej konstrukcji posadzek przemysłowych, gdzie stosowane są: dobrej jakości beton; dobre wykończenie powierzchni i właściwe techniki pielęgnacji.

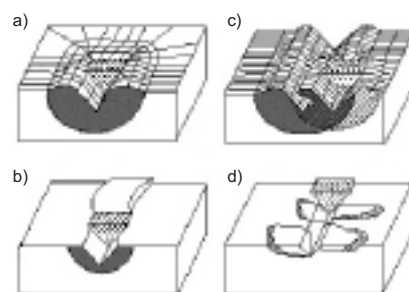
Mechanizmy ścierania

Zużycie ściernie przemysłowych posadzek betonowych jest najczęściej wynikiem oddziaływania różnego ro-

dzaju środków transportu. W zależności od nacisku na powierzchnię posadzki, prędkości poruszających się pojazdów, natężenia ruchu oraz rodzaju zastosowanego ogumienia dochodzi do różnego rodzaju uszkodzeń powierzchni. Natura zużycia ściernego jest zjawiskiem czysto mechanicznym i nie zależy od współczynnika tarcia [9]. W zależności od właściwości materiału oraz kształtu i twardości cząstek stałych oddziałujących na ścieraną powierzchnię wyróżnia się cztery podstawowe formy oddziaływania wzajemnego między działającą cząstką a zużywającą się powierzchnią:

- bruzdowanie;
- mikroskrawanie;
- zmęczenie powierzchniowe;
- mikrokruszenie.

W przypadku **bruzdowania** (rysunek 1a) materiał jest odkształcony plastycznie wewnątrz bruzdy i wypierany do jej krawędzi. Ubytek materiału może jednak wystąpić w wyniku jednoczesnego działania wielu cząstek albo przez wielokrotne działanie cząstki pojedynczej. W takim przypadku materiał jest wielokrotnie wypierany w kierunku krawędzi bruzdy i ostatecznie, w wyniku procesu **zmęczenia** (rysunek 1c), odrywa się od powierzchni. Idealne **mikroskrawanie** (rysunek 1b) prowadzi do ubytku materiału w postaci wióra, którego objętość równa jest objętości powstającej bruzdy. **Mikrokruszenie** (rysunek 1d) występuje w materiałach kruchych w miejscach o dużej koncentracji naprężeń. Cząstki materiału są usuwane z obciążonej powierzchni



Rys. 1. Formy oddziaływania między cząstką ścierniwa a powierzchnią [9]: a) bruzdowanie; b) mikroskrawanie; c) zmęczenie powierzchniowe; d) mikrokruszenie

przez tworzenie się i rozprzestrzenianie pęknięć. Bruzdowanie i mikroskrawanie jest charakterystyczne dla materiałów ciągliwych (plastycznych), podczas gdy w materiałach kruchych, takich jak beton, przeważa mikrokruszenie [9].

W typowych pomieszczeniach magazynowych i centrach dystrybucji powszechnie stosowane wózki transportowe z ogumieniem neoprenowym nie powodują skrawania powierzchni posadzek betonowych. Najczęściej powierzchnia warstwa ulega starciu na skutek walcowania (polerowania). Ciężkie wózki z kołami stalowymi powodują głównie zniszczenie powierzchni posadzek w wyniku procesu zmęczenia. Najwięcej uszkodzeń na skutek skrawania powierzchni powstaje w wyniku ciągnięcia palet z wbitymi gwoździemi. Uszkodzenia będące wynikiem mikroskrawania występują w przypadku zabrudzonych i zapylnych posadzek oraz transportowania przez ogumienie po-

* Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Architektury

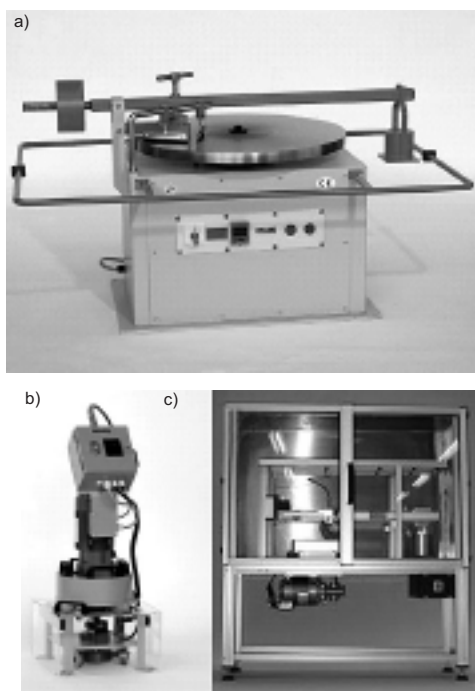
jazdów cząstek stałych wywołujących mikroskrabanie. Największe uszkodzenia powstają w wyniku uderzeń dynamicznych o powierzchnię posadzek (np. przy przeładunku rud i kruszyw, materiałów odpadowych) czy niekontrolowanych uderzeń łyżek stalowych urządzeń załadunkowych [6]. Najczęściej obserwuje się dwie lub więcej form zużycia ściernego posadzek, a działające mechanizmy powodują wzmocnienie zjawiska ścierania [10].

Metody badania ścieralności

Odporność na ścieranie podkładów podłogowych na bazie cementu oraz warstw użytkowych posadzek betonowych oznaczana jest za pomocą metody:

- wg Boehmego, zgodnie z normą PN-EN 13892-3 (fotografia 1a);
- wg BCA (British Cement Association), zgodnie z PN-EN 13892-4 (fotografia 1b);
- pod naciskiem toczącego się koła (Rolling Wheel Abrasion – RWA), zgodnie z PN-EN 13892-5 (fotografia 1c).

Badanie odporności na ścieranie podkładów betonowych **za pomocą**



Fot. 1. Urządzenia do badań odporności na ścieranie posadzek i podkładów betonowych: a) tarcza Boehmego; b) urządzenie wg BCA; c) stół ze stalowym kołem wg metody RWA [www.formtest.de]

tarczy Boehmego jest w Polsce bardzo dobrze znane i stosowane od dziesięcioleci. **Badanie pod naciskiem toczącego się koła (RWA)** jest wykorzystywane w przypadku podkładów podłogowych z materiałów cementowych i żywic syntetycznych. Może być również stosowane jako metoda alternatywna do oceny ścieralności posadzek i podkładów na bazie asfaltu lanego, magentytu czy siarczanu wapnia [8]. W metodzie RWA próbka podkładu o wymiarach 500 x 500 mm i grubości co najmniej 50 mm umieszczona jest na specjalnym stole obrotowym i poddawana obciążeniu stalowym kołem, obciążonym siłą 2000 N. Koło porusza się po powierzchni próbki ruchem wzdłużnym, wykonując 10 000 cykli (czas badania jednej próbki wynosi ok. 24 h), a stół wsporczy porusza z zamocowaną próbką względem koła w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach, tak by w trakcie całego badania obciążenie oddziaływało na powierzchnię 1100 cm². Wynikiem badania jest średnia głębokość powstałego ubytku próbki, na podstawie której określa się objętość startego materiału.

Metoda wg BCA jest zalecana do badania ścieralności podkładów na bazie cementu i materiałów żywicznych. Urządzenie badawcze BCA składa się z głowicy ścierającej wyposażonej w trzy koła stalowe, które nie mogą się obracać wokół własnych osi pionowych (fotografia 1c). Głowica napędzana jest silnikiem elektrycznym zamocowanym na ramie stalowej. W czasie pracy rama urządzenia jest usztywniona za pomocą dwóch sworzni i zamocowana w badanym podkładzie. Badanie ścieralności przeprowadza się na minimum 3 próbkach kwadratowych o boku 500 mm i grubości co najmniej 50 mm, wykonanych zgodnie z PN-EN 13892-1. Czas badania jednej próbki wynosi 15 min. W przypadku badania podkładu w warunkach naturalnych badana powierzchnia powinna być sucha i niezanieczyszczona. Odczytuje się głębokość ubytku za pomocą mikrometru i specjalnego szablonu, który wyznacza 8 niezależnych miejsc pomiarowych. Wynikiem badania jest średnia głębokość ścierania powierzchni podana z dokładnością do 10 µm.

Badania pod naciskiem toczącego się koła oraz wg Boehmego można przeprowadzić tylko w laboratorium na specjalnych urządzeniach. Metoda oznaczenia odporności na ścieranie wg BCA pozwala na prowadzenie badań ścieralności bezpośrednio w obiekcie (fotografia 2).

Ocena odporności na ścieranie w przypadku wszystkich trzech metod polega na pomiarze straty wysokości próbki pomierzonej po zakończeniu badania. Klasy ścieralności, na podstawie których dokonuje się klasyfikacji badanego materiału, przedstawiono w tabeli.



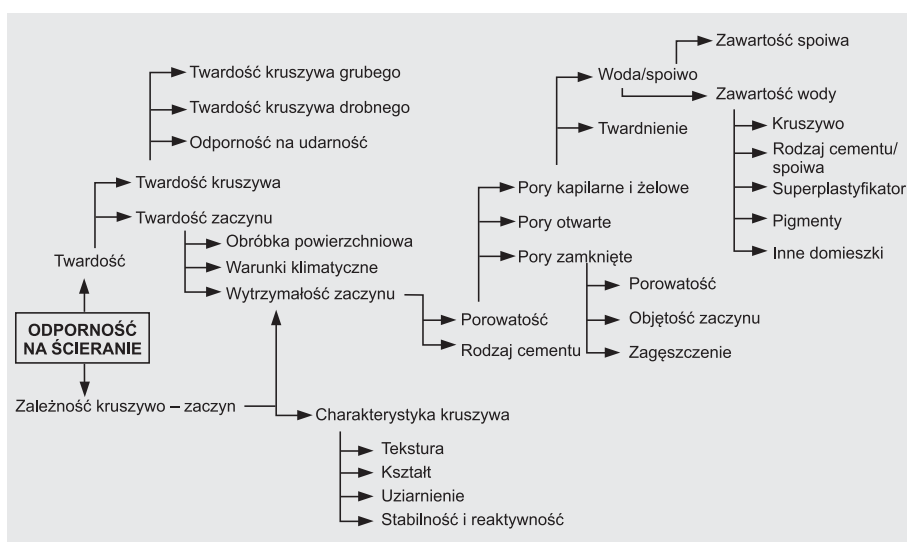
Fot. 2. Badanie ścieralności posadzki w warunkach rzeczywistych za pomocą urządzenia BCA [6]

Czynniki wpływające na odporność na ścieranie posadzek betonowych

Odporność betonu na ścieranie zależy m.in. od właściwości kruszywa, rodzaju i ilości stosowanego cementu, sposobu wykończenia powierzchni oraz zastosowanych utwardzaczy lub powłok (rysunek 2). Zużycie ściernie betonu maleje wraz ze wzrostem jego wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie. W wielu badaniach wykazano, że odporność na ścieranie betonu zależy przede wszystkim od jego wytrzymałości na ściskanie [5]. Czynniki takie jak liczba i rodzaj porów powietrznych, stosunek wodno-cementowy (w/c), rodzaj stosowanego kruszywa i jego właściwości itp., które mają wpływ na wytrzymałość betonu, należy również rozważyć przy projektowaniu betonów odpornych na ścieranie. Zdaniem Amerykańskiego Instytutu Betonu (ACI), wytrzymałość betonu na ściskanie, który będzie poddawany działaniu sił ścierających, nie powinna być mniejsza niż 30 MPa [3]. Zgodnie z normą PN-B-06265 na posadzki

Klasy ścieralności materiałów na podkłady podłogowe

Odporność na ścieranie wg metody Boehmego (PN-EN 13892-3)							
Klasa ścieralności	A22	A15	A12	A9	A6	A3	A1,5
Objętość startego materiału [cm ³ /50 cm ²]	22	15	12	9	6	3	1,5
Odporność na ścieranie pod naciskiem toczącego się koła (PN-EN 13892-5)							
Klasa ścieralności	RWA300	RWA100	RWA20	RWA10	RWA1		
Objętość startego materiału [cm ³]	300	100	20	10	1		
Odporność na ścieranie wg BCA (PN-EN 13892-4)							
Klasa ścieralności	AR6	AR4	AR2	AR1	AR0,5		
Maksymalna głębokość ubytku [μm]	600	400	200	100	50		



Rys. 2. Czynniki wpływające na odporność na ścieranie posadzek betonowych [3]

i nawierzchnie betonowe, zaliczane do klasy ekspozycji XM1 i XM2, zaleca się minimalną klasę wytrzymałości betonu C30/37.

W latach 80. i 90. XX wieku sugerowano, że odporność na ścieranie posadzki wzrasta wraz z zawartością cementu, co mogło oznaczać, że większa zawartość cementu pozwala uzyskać trwalszą podłogę. W efekcie w krajach anglosaskich zwiększano minimalną zawartość cementu nawet do 400 kg/m³ (norma brytyjska BS 8204). Z literatury [6] wynika, że odporność na ścieranie posadzek nie zwiększa się wraz ze wzrostem zawartości cementu powyżej górnej granicy ok. 350 kg/m³. Stosowanie dużej ilości cementu w posadzkach powoduje zwiększenie skurczu betonu.

Zapewnienie wymaganej odporności na ścieranie posadzek betonowych wiąże się również z zastosowaniem dodatkowych zabiegów technologicznych podczas ich układania i pielęgnacji. W celu zahamowania procesu ubytku wody z powierzchni betonu bez wprowadzania wody z zewnątrz i zapewnienia maksymalnego nawilżenia powierzchni betonu posadzki stosuje się różnego rodzaju zabezpieczenia powłokowe w postaci folii i preparatów błonotwórczych na bazie żywic oraz emulsje woskowe [7]. Niektóre nowoczesne preparaty błonotwórcze zawierają np. mikroopłuki metalu, powodujące lokalnie, powierzchniowe zwiększenie twardości i odporności na ścieranie powierzchni posadzki. W przypadku stosowania utwardzaczy chemicznych należy

bezwzględnie przestrzegać zasad podanych w kartach technologicznych. Jednym z tradycyjnych utwardzaczy powierzchni jest krzemian sodu (szkło wodne) używany w celu ograniczenia pylenia posadzek betonowych spowodowanego np. nieodpowiednim utwardzeniem. Jest stosowany do 12 h po betonowaniu w ramach procesu obróbki wykończającej. W innych przypadkach należy go używać po siedmiu dniach, po usunięciu np. mokrej folii polietylenowej [6]. Wszystkie utwardzacze chemiczne wzmacniają posadzki tylko w cienkiej warstwie przypowierzchniowej. Zużycie tej warstwy w okresie eksploatacji zależy od rodzaju obciążenia i może nastąpić dosyć szybko. Stosowanie utwardzaczy powierzchniowych może okazać się korzystne w przypadku wzmacniania starych posadzek.

Literatura

[1] Chmielewska B., Czarnecki L., Wymagania norm dotyczące posadzek przemysłowych, Materiały Budowlane, nr 2/2012, s. 5 – 9.
 [2] Czarnecki L., Chmielewska B., Uszkodzenia i naprawy posadzek przemysłowych, XXIII Ogólnopolska Konferencja Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji, Szczyrk 2008, s. 215 – 254.
 [3] Gencel O., Sabri Gok M., Brotsow W., Effect of metallic aggregate and cement content on abrasion resistance behaviour of concrete, Materials Researches Innovation, Vol. 15/2011, p. 116 – 123.
 [4] Horszczaruk E., Odporność betonu na ścieranie w aspekcie wymogów normy PN-EN 206-1, Budownictwo, Technologia, Architektura, nr 1/2007 s. 63 – 65.
 [5] Horszczaruk E., Model zużycia abrazyjnego betonów cementowych, Prace Nauk. PS, nr 599, Wyd. PS, Szczecin 2008.
 [6] Hulett T., Abrasion resistance of warehouse floors, Concrete, nr Dec./Jan. 2013/2014, p. 53 – 54.
 [7] Woyciechowski P., Rackiewicz-Rec W., Rola pielęgnacji w kształtowaniu trwałości betonu. Materiały Budowlane, nr 5/2012, s. 44 – 48.
 [8] Zeus K., Rules for screed materials according to European standards, Otto-Graf-Journal Vol. 12/200, p. 115 – 126.
 [9] Zum Gahr K. H., Wear by hard particles. Tribology International 1998, Vol. 31/1998, p. 587 – 596
 [10] Woyciechowski P., Adamczewski G.: Przyczyny pylenia posadzki przemysłowej w hali magazynowej, Materiały Budowlane 2/2012, (nr 474), s. 25 – 27.