

mgr inż. Jerzy Balacha*

Wpływ ilości i rodzaju wypełniacza na odporność na ścieranie podkładów podłogowych

W ostatnich kilkunastu latach wybudowano wiele obiektów handlowych, przemysłowych oraz parkingów. Natężenie ruchu kołowego oraz pieszego zmusza projektantów i inwestorów do poszukiwania takich rozwiązań, które zapewnią bezproblemową eksploatację i użytkowanie posadzki przez kilka dekad bez konieczności wykonywania napraw bądź remontów. Zamknięcie obiektu bądź czasowe wyłączenie z użytkowania jego części, spowodowane niewłaściwym wykonaniem posadzki, naraża bowiem właściciela na poważne konsekwencje. Naprawa źle wykonanych posadzek jest długotrwała, bardzo kosztowna i w wielu przypadkach kończy się niepowodzeniem. Inwestorzy, po przeanalizowaniu wymienionych warunków oraz aspektu ekonomicznego, najczęściej decydują się na posadzkę betonową pływającą „na gruncie”, wykonaną w technologii suchej posypki utwardzającej.

Małą ścieralność zapraw cementowych można uzyskać, stosując odpowiednie kruszywa. Norma DIN 1100 dopuszcza **trzy grupy materiałów trudnościeralnych**:

- **grupa A** – kamień naturalny i (lub) zwarty żużel lub zmieszane z materiałami z grupy M i KS;
- **grupa M** – metale;
- **grupa KS** – elektrokorund i węgiel krzemu.

Grupy kruszyw A, M i KS różnią się odpornością na ścieranie. Wymaganą minimalną grubość warstwy trudnościeralnej zaprawy cementowej, wykonanej z kruszywa określonej grupy, dobiera się w zależności od rodzaju ruchu (lekki, średni czy ciężki). Twarde materiały zwiększają odporność posadzki cementowej na ścieranie, a materiały plastyczne odporność posadzki na

uderzenie i odporność na ścieranie powstałe w wyniku toczenia.

Zgodnie z normą DIN 18560 cz. 7 **dopuszcza się do stosowania dwie technologie wykonania posadzek betonowych z wykończeniem z trudnościeralnej zaprawy cementowej**:

- „świeże na świeże” na podkład betonowy, czyli nakładanie zaprawy cementowej grubości kilku-kilkunastu mm w tym samym dniu co wykonywanie podkładu;
- nakładanie zaprawy cementowej grubości kilkunastu mm za pośrednictwem warstwy szpachlowej na wcześniej wykonane i odpowiednio przygotowane podłoże betonowe.

Bardzo popularne ze względu na relatywnie niski koszt oraz dużą trwałość przy prawidłowym wykonaniu są tzw. **posypki**, dostarczane w postaci suchych pigmentowanych proszków. Jakość suchych posypek utwardzających ma decydujący wpływ na trwałość powierzchniowej strefy betonowej posadzki przemysłowej, która odpowiada za przejście większości obciążeń eksploatacyjnych.

Posypka utwardzająca bardzo dobrej jakości powinna zawierać wysokogatunkowe spoiwa cementowe; specjalnie o wyselekcjonowanej krzywej uziarnienia twarde wypełniacze oraz dodatki i domieszki polepszające parametry produktu. W zależności od klasy produktu stosowane są kruszywa: naturalne o dużej zawartości kwarcu i twardości $6 \div 7$ w skali Mohsa; mineralne kruszywa syntetyczne oraz metaliczne lub korundowe o twardości $8 \div 9,5$ w skali Mohsa. Dokładny skład jest tajemnicą producenta.

Badania zestawów surowcowych

Z grupy najczęściej stosowanych wypełniaczy wybrano kilka kruszyw, na bazie których przygotowano mie-

szanki o zbliżonej krzywej uziarnienia oraz zbliżonej objętości tego samego cementu. Do badań zastosowano wypełniacze, których maksymalny wymiar ziaren nie przekracza 3,0 mm.

Duża odporność na ścieranie jest związana z uzyskaniem materiału kompozytowego, w którym porowatość jest minimalna, a wypełniacz trudnościeralny zajmuje możliwie dużą objętość. Problem maksymalnego upakowania przestrzeni suchymi składnikami ziarnistymi podejmowany jest przez różnych badaczy na wiele sposobów. Jednym z nich są empirycznie uzyskane krzywe optymalnego uziarnienia. Punktem wyjścia do tego sposobu rozumowania była analiza Fullera oraz Thompsona przeprowadzona na początku XX wieku na potrzeby technologii betonu tradycyjnego. Wykazuje ona, że najlepsze upakowanie kruszywa grubego uzyskuje się, gdy kumulacyjna krzywa uziarnienia zbliżona jest do krzywej o równaniu:

$$y = \left(\frac{D_i^n}{D_{\text{Max}}^n} \right) 100\%$$

gdzie:

- y – kumulacyjny % zawartości i-tej frakcji;
- D_i – średnica i-tej frakcji [mm];
- D_{Max} – średnica maksymalnego ziarna [mm];
- n – wykładnik równy 0,45.

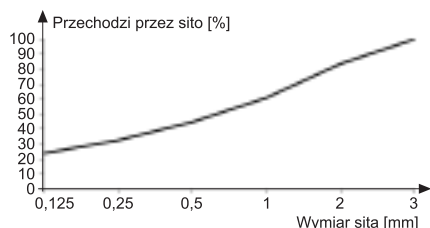
Korzystając z równania Fullera – Thompsona, po wprowadzeniu w miejsce D_{Max} wartości równej 3 oraz w miejsce D_i wymiarów sit, a mianowicie 3, 2, 1, 0,5, 0,25, 0,125 mm, uzyskano udział procentowy stosu okruszowego na poszczególnych sitach, który obrazuje tabela 1, a krzywą uziarnienia przedstawia rysunek 1.

Dysponując wynikami z obliczeń krzywej uziarnienia, dokonano wyliczenia udziału procentowego przyjętych frakcji, czyli 0,125/0,5, 0,5/1 oraz 1/3 mm. W związku z tym, że przez sito 0,125 mm przechodzi 23,9% wypełniacza, to suma masy składników wypełniających, bez spoiwa cemento-

* Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych, Oddział Szklania i Materiałów Budowlanych w Krakowie

Tabela 1. Udział procentowy stosu okrucowego

Sito [mm]	Y	Przechodzi przez sito [%]
3	(3/3) ^{0,45}	100,0
2	(2/3) ^{0,45}	83,3
1	(1/3) ^{0,45}	61,0
0,5	(0,5/3) ^{0,45}	44,7
0,25	(0,25/3) ^{0,45}	32,7
0,125	(0,125/3) ^{0,45}	23,9



Rys. 1. Krzywa uziarnienia przygotowanych zestawów

wego, wynosi 76,1%. Udział objętościowy pozostałych frakcji jest następujący:

- frakcja 1/3 – 51,3%;
- frakcja 0,5/1 – 21,5%;
- frakcja 0,125/0,5 – 27,2%.

Przyjęto, że do wykonania trzech kostek o wymiarach 71 x 71 x 71 mm wystarczającą ilością suchych składników (wypełniacz w postaci piasku kwarcowego i cement) jest 3000 g. Ilość cementu została zwiększona do poziomu 30% masy suchej mieszanki zawierającej wypełniacz kwarcowy. Jako spoiwo zastosowano cement CEM I 42,5R. Dodatkowym składnikiem przygotowanych mieszanek była domieszka dodana w ilości 1,35% w stosunku do masy cementu. W wyniku przeprowadzonych obliczeń zakładających tę samą objętość kruszywa każdej frakcji niezależnie od jego rodzaju, przygotowano 28 zestawów (tabela 2) zawierających: piasek kwarcowy; bazalt; elektrokorund oraz żużel pomiedziowy.

Aby przygotować próbki do badania ścieralności, wymieszano suche składniki z wodą dodaną w takiej ilości, aby świeża zaprawa uzyskała konsystencję 130 – 140 mm zmierzoną na stoliku rozplwu wg PN-EN 13454-2:2008. Wartości rozplwu świeżych zapraw przedstawiono w tabeli 3.

Odporność na ścieranie wg Böhmego mierzono na górnej powierzchni trzech próbek w postaci sześcianów o boku 71 mm, które uformowano zgodnie z PN-EN 13892-1:2004. Powierzchnia badana oraz dolna próbki były równoległe i płaskie. Odporność

Tabela 2. Składy surowcowe zestawów (kolorem oznaczono rodzaj surowca)

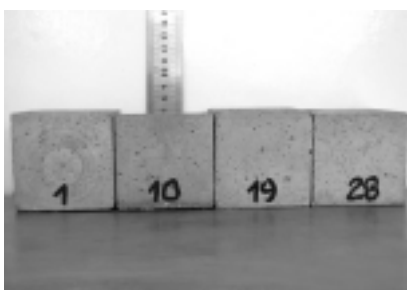
Składniki mieszanek	Oznaczenie próby/masa poszczególnych składników na 1 zarób w zestawach [g]									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Frakcja 1,0 – 3,0 mm	1077	1077	1077	1077	1077	1077	1077	1077	1077	
Frakcja 0,5 – 1,0 mm	452	452	510	510	452	672	672	510	672	
Frakcja 0,125 – 0,5 mm	571	647	571	647	853	571	853	853	647	
Cement	901	901	901	901	901	901	901	901	901	
Domieszka	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Frakcja 1,0 – 3,0 mm	1218	1218	1218	1218	1218	1218	1218	1218	1218	
Frakcja 0,5 – 1,0 mm	510	510	452	452	510	672	672	452	672	
Frakcja 0,125 – 0,5 mm	647	571	647	571	853	647	853	853	571	
Cement	901	901	901	901	901	901	901	901	901	
Domieszka	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Frakcja 1,0 – 3,0 mm	1604	1604	1604	1604	1604	1604	1604	1604	1604	1199
Frakcja 0,5 – 1,0 mm	672	672	452	452	672	510	510	452	510	502
Frakcja 0,125 – 0,5 mm	853	571	853	571	647	853	647	647	571	634
Cement	901	901	901	901	901	901	901	901	901	901
Domieszka	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2
	Piasek kwarcowy		bazalt			elektrokorund		żużel pomiedziowy		

Tabela 3. Konsystencja świeżych zapraw

Cechy	Oznaczenie wykonanych mieszanek									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Ilość wody [ml]	239	271	260	286	267	273	277	273	284	
w/c	0,266	0,301	0,289	0,317	0,296	0,303	0,308	0,303	0,315	
Rozplw [mm]	136	135	133	136	140	135	140	136	133	
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Ilość wody [ml]	305	273	279	256	273	275	286	271	267	
w/c	0,338	0,303	0,310	0,284	0,303	0,305	0,317	0,301	0,296	
Rozplw [mm]	139	140	131	135	130	130	138	133	131	
	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Ilość wody [ml]	290	277	284	273	298	305	309	294	292	285
w/c	0,322	0,308	0,315	0,303	0,331	0,338	0,343	0,326	0,324	0,316
Rozplw [mm]	131	132	132	130	133	130	132	130	131	140

na ścieranie wg Böhmego oznaczono jako zmniejszenie objętości obliczone na podstawie zmiany masy.

Stan próbek po badaniu odporności na ścieranie przedstawiono na fotografii. Zaprezentowane kostki (kolejno



Ubytek objętości kostek po badaniu odporności na ścieranie

od lewej) zostały wykonane z piasku kwarcowego; bazaltu; elektrokorundu i żużla pomiedziowego. Uzyskane wyniki badania odporności na ścieranie zgodnie z PN-EN 13892-3:2005 *Metody badania materiałów na podkłady podłogowe. Część 3: Oznaczanie odporności na ścieranie wg Böhmego* zamieszczono w tabeli 4.

Próbki, które poddano ocenie odporności na ścieranie, wykorzystano do określenia wytrzymałości na ściskanie (tabela 5).

Analiza wyników badań

Największą odpornością na ścieranie na poziomie 2,23 cm³/50 cm² charakteryzuje się zestaw, w którym jako wypeł-

Tabela 4. Odporność na ścieranie wg Böhme'go zgodnie z PN-EN 13892-3:2005

Oznaczenie próbek	Wyniki dotyczące poszczególnych próbek									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Gęstość [kg/m ³]	2,35	2,40	2,36	2,40	2,52	2,50	2,64	2,56	2,51	
Ubytek masy [g]	13,1	15,3	14,9	17,5	12,2	7,7	8,9	15,5	8,1	
Ścieralność [cm ³ /50 cm ²]	5,57	6,37	6,31	7,29	4,84	3,08	3,37	6,05	3,23	
Oznaczenie próbek	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Gęstość [kg/m ³]	2,52	2,48	2,51	2,47	2,71	2,63	2,79	2,64	2,61	
Ubytek masy [g]	30,0	24,6	24,2	22,1	19,5	11,7	12,1	19,8	10,4	
Ścieralność [cm ³ /50 cm ²]	11,9	9,92	9,64	8,95	7,20	4,45	4,37	7,50	3,98	
Oznaczenie próbek	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Gęstość [kg/m ³]	2,91	2,77	2,80	2,61	2,78	2,85	2,71	2,62	2,64	2,28
Ubytek masy [g]	6,5	6,5	8,5	7,3	6,9	11,3	9,7	8,4	8,7	17,9
Ścieralność [cm ³ /50 cm ²]	2,23	2,35	3,04	2,80	2,48	3,96	3,58	3,21	3,30	7,85

Tabela 5. Wytrzymałość na ściskanie próbek po badaniu odporności na ścieranie

Oznaczenie próbek	Wyniki dotyczące poszczególnych próbek									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	89,1	88,6	76,5	83,8	71,7	74,2	70,0	83,7	84,0	
Oznaczenie próbek	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	92,5	92,9	99,1	98,0	95,5	91,2	93,6	90,1	97,5	
Oznaczenie próbek	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Wytrzymałość na ściskanie [MPa]	73,3	81,7	73,0	74,1	80,6	86,6	87,8	82,1	87,3	67,0

niaczkę zastosowano tylko elektrokorund. Warto pamiętać, że kruszywa syntetyczne należą do materiałów, które raczej rzadko wykazują zwilżalność powierzchni wodą. To sprawia, że ich zbyt duży udział w masie wypełniacza lub zbyt wysoki stopień rozdrobnienia wpływają na obniżenie parametrów wytrzymałości powierzchni utwardzającej posadzkę. Często efektem nadmiernej ilości wypełniacza jest odklejanie się od powierzchni ziaren zaczynu cementowego już w początkowym okresie eksploatacji, czego efektem jest obserwowanie dużej liczby ciemnych punktów na powierzchni eksploatawanej posadzki.

Na drugim biegunie występuje kruszywo bazaltowe. Mieszanki z tym kruszywem wykazały odporność na ścieranie na poziomie 11,9 cm³/50 cm², co klasyfikuje je w klasie A12. Można uznać to za zaskakujące, bowiem wielu producentów stosuje tego typu surowiec w mieszankach, podkreślając modyfikację odporności na ścieranie. Pomiędzy tymi dwoma rodzajami wypełniacza znalazło się kruszywo kwarcowe z odpornością na ścieranie 5,57 cm³/50 cm² oraz żużel pomiedziowy (7,85 cm³/50 cm²).

W zestawach od 1 do 9, frakcję 1/3 mm reprezentował piasek kwarcowy. Wraz z dodatkiem kruszywa bazal-

owego zaobserwować można tendencję spadkową odporności na ścieranie. Dotyczy to zarówno podmiary frakcji 0,5/1 mm, jak i 0,125/0,5 mm. Inaczej jest w przypadku wymiany frakcji kruszywa kwarcowego na elektrokorund. Jego dodatek wyraźnie zmniejsza wartość abrazyj. W tej grupie zestawów, z kwarcem jako wypełniaczem wielkości 1/3 mm, najlepszy wynik reprezentuje zestaw 6, będący mieszanką piasku kwarcowego i elektrokorundu – zastępującego w sumie frakcję o najmniejszym udziale (21,5%), tj. 0,5/1 mm. Grupa zestawów 10 ÷ 18 to mieszanki, w których najgrubszą frakcją jest kruszywo bazaltowe. Zastąpienie frakcji najdrobniejszej (0,125/0,5 mm) piaskiem kwarcowym zwiększa odporność na ścieranie o 2 cm³/50 cm², podobnie bazaltu innym wypełniaczem. Jednocześnie stwierdzono, że najbardziej efektywny wpływ na odporność na ścieranie wykazuje frakcja 0,5/1 mm. W przypadku wytrzymałości na ściskanie wygląda to zgoła odmiennie. Bazalt powoduje wzrost wytrzymałości na ściskanie, natomiast elektrokorund zmniejszenie. Na szczególną uwagę zasługują zestawy 8 i 9, w których wypełniacz jest mieszaniną piasku kwarcowego, kruszywa bazaltowego i elektrokorundu. Piasek kwarcowy

wy w obydwu wspomnianych zestawach występuje jako frakcja 1/3 mm, natomiast kruszywo bazaltowe i elektrokorund wymiennie jako frakcja 0,5/1,0 mm bądź 0,125/0,5 mm. Odporność na ścieranie zestawu nr 8 wynosi 6,05 cm³/50 cm², natomiast zestawu 9 to 3,23 cm³/50 cm². Oba zostały zakwalifikowane do tej samej klasy, ale ich odporność na ścieranie jest bardzo zbliżona do wartości granicznych klas A3 i A6. Zapewne niewielka modyfikacja składu doprowadziłaby do sytuacji, że zestaw 8 znalazłby się w klasie A9/C80, natomiast zestaw 9 w klasie A3/C80.

Niewątpliwie, na poziom parametrów wytrzymałościowych miał wpływ udział wody w świeżych mieszankach, wyrażony stosunkiem w/c (woda/cement). Zawartość wody wynosi 26,6 – 34,3%. Większe wartości w/c odnotowywano bowiem w przypadku stosowania kruszyw łamanych. Obecność frakcji kwarcowej, a szczególnie najdrobniejszej, wpłynęła w znaczny sposób na zmniejszenie stosunku w/c. Jednocześnie wzrost stosunku w/c nie musi skutkować spadkiem wytrzymałości na ściskanie. Oznacza to, że cecha ta tylko w niewielkim stopniu zależy od proporcji składników zaczynu cementowego, a jednocześnie bardzo od rodzaju wypełniacza.

Przedstawione wyniki badań pokazują silną zależność odporności na ścieranie podkładów podłogowych od rodzaju użytego materiału wypełniającego.

Literatura

- [1] Zajac G., Posadzki przemysłowe o dużej odporności na ścieranie. Materiały Budowlane 5, s. 28 – 30 (2007).
- [2] Norma PN-EN 13892-3:2005, Metody badania materiałów na podkłady podłogowe. Część 3: Oznaczanie odporności na ścieranie według Böhme'go.
- [3] Rzyński W., Projektowanie i realizacja betonowych posadzek przemysłowych. Materiały Budowlane 9, s. 14 – 15,67 (2008).



Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych

Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie

tel. (12) 683 79 00
fax (12) 683 79 01
www.icimb.pl/krakow