

**Specjalistyczne betony na posadzki przemysłowe winny spełniać szereg wymogów obowiązujących dla betonów na nawierzchnie drogowe. Istotne znaczenie posiada stabilność mieszanki, odporność na ścieranie, a w pewnych warunkach także i odporność betonu na reakcję alkaliczną kruszywa.**

**B**etonowe posadzki przemysłowe utwardzone powierzchniowo znajdują najszersze zastosowanie i stanowią ponad 80% wykonywanych nawierzchni przemysłowych. Obejmują one w zasadzie wszystkie posadzki magazynowe oraz większość nawierzchni supermarketów i zakładów produkcyjnych. Pozostałe 20% stanowią wykończenia żywiczne i ceramiczne.

Z wymogu znacznej trwałości posadzki przemysłowej (fabryka, magazyn, supermarket, chłodnia, browar, huta itp.) wynika wprost, że musi ona sprostać znacznym nieraz obciążeniom eksploatacyjnym, wykazywać wysoką odporność na ścieranie i na udary, a zarazem posiadać dużą równość, szczelność i musi być łatwa w utrzymaniu czystości. Trwałość zaś winna zapewniać nieprzerwaną pracę bez napraw i remontów przez okres kilku dziesięcioleci.

Najczęściej stosowanym obecnie rozwiązaniem nawierzchni odpornych na ścieranie są nawierzchnie z betonów cementowych na kruszywie naturalnym, ze zbrojeniem rozproszonym w postaci włókna stalowego (SFRC – Steel Fiber Reinforced Concrete), wykończone integralnie z nimi związaną, trudno ścieralną warstwą. Warstwa ta posiadać powinna ścieralność określaną badaniem na tarczy Boehmego nie większą niż  $5 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$ . Warstwa trudno ścieralna wykonywana jest techniką suchej posypki (DST – Dry Shake Topping). Technika ta polega na rozścieleniu i wtarcu równocześnie z samym wykonywaniem płyty nośnej nawierzchni suchej posypki, w której skład wchodzi trudno ścieralne materiały, cement i odpowiednie modyfikatory.

Posypka odporna na ścieranie (ścieralność  $< 4 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$ ), wymagana przy szczególnie wysokich intensywnościach ruchu, jest stosowana w ilości 4 do  $7 \text{ kg/m}^2$ , w zależności od wymaganej żywotności posadzki.

Podstawowym warunkiem uzyskania wysokiej jakości i trwałości posadzki po-

# Specjalistyczne betony na posadzki przemysłowe



foto: Michał Braszczynski

wierzchniowo utwardzanej, poza dobo-rem samego materiału utwardzającego, jest właściwy dobór składników betonu i jego odpowiednia receptura.

Najczęściej wykonujemy posadzki przemysłowe z betonów zbrojonych włóknami stalowymi, klas B25 i B30, przy stosowaniu uziarnienia kruszywa naturalnego do 16 mm.

Ograniczenie uziarnienia kruszywa do 16 mm dla posadzek przemysłowych ze zbrojeniem rozproszonym wynika z konieczności uzyskania możliwie równomiernego rozkładu włókien stalowych zbrojenia w betonie. Jednorodność ta maleje wraz ze wzrostem uziarnienia kruszywa.

Warstwa utwardzona z suchej posypki czy wykończenie żywiczne są stosunkowo cienkie i na ich trwałość i wytrzymałość bezpośredni wpływ mają cechy fizyczne górnej warstwy betonu.

Dlatego niezmiernie ważny jest taki dobór uziarnienia kruszywa, jak i składników mieszanki betonowej, by nie wykazywała ona w procesie układania betonu zjawiska wydzielania się wody czy mleka cementowego.

Nadmiar wody czy obecność mleka cementowego powoduje wyraźne obniżenie wytrzymałości i wzrost skurczu warstwy utwardzonej i w efekcie wysoką jej ścieralność, pylenie oraz mikrorysy w postaci sieci pajęcznej.

Z tego powodu takie mieszanki nie mogą

być stosowane dla betonów na posadzki przemysłowe.

Przy prawidłowym doborze składników mieszanki betonowej ma ona po rozłożeniu i ułożeniu (zagęszczeniu listwą wi-bracyjną) wygląd błyszczącej powierzchni z widocznymi wypukłościami ziaren kruszywa bez „kałuż” wody lub mleka cementowego.

By uzyskać mieszankę betonową o takich właściwościach, poza przestrzeganiem podstawowych wymagań, jakimi są ograniczenie ilości cementu do  $< 350 \text{ kg/m}^3$  oraz wskaźnika w/c do  $< 0,5$ , koniecznym jest dobór odpowiedniego uziarnienia kruszywa. Tutaj szczególnie ważna jest dostateczna zawartość frakcji kruszywa  $< 0,25 \text{ mm}$ , które wiążą wodę. Zawartość tych frakcji w stosie okrucowym nie powinna być mniejsza niż 4%. Równocześnie, zawartości pyłów (cement + ziarna kruszywa mniejsze od  $0,125 \text{ mm}$ ) i ziaren drobnych kruszywa (od  $0,125$  do  $0,250 \text{ mm}$ ) są ograniczane, podobnie jak dla betonów drogowych, do  $450 \text{ kg/m}^3$ .

Ograniczenie to wynika z faktu, że przy wyższych zawartościach tych frakcji w mieszance betonowej następuje utrudnienie powstawania porów powietrznych, a mieszanka betonowa staje się „gumowata” [1, 2]. Taka mieszanka utrudnia wyrównanie powierzchni płyty betonowej, jako że za listwą układającą i wyrównującą beton się unosi, nie po-

Tabela 1.

Zawartość cementu [kg/m³]	Dopuszczalna zawartość w kg/m³ mieszanki betonowej o uziarnieniach do 16 mm, do 32 mm i do 63 mm <sup>1,2)</sup>	
	Ziarna pyłaste: cement + ziarna kruszywa mniejsze od 0,125 mm	Ziarna pyłaste i drobne ziarna kruszywa: cement + ziarna kruszywa mniejsze od 0,125 mm
< 300	350	450
300 do 350	400	500

1) podane wielkości mogą być przekroczone, gdy:  
 – zawartość cementu przekracza 350 kg/m³, o różnicę między 350 a rzeczywistą zawartością,  
 – puzolanowy dodatek (np. tras, popiół lotny) jest stosowany, o masę tego dodatku, ale w obu przypadkach nie więcej jak o 50 kg/m³  
 2) podane wielkości mogą być przekroczone o dalsze 50 kg/m³, gdy uziarnienie kruszywa jest ograniczone do 8 mm

zwalając na uzyskanie odpowiedniej równości.

Dla betonów na posadzki przemysłowe opartych na zwykłych kruszywach naturalnych (uwzględniając fakt, że odporność na ścieranie uzyskujemy przez utwardzenie powierzchniowe, a nawierzchnie te zazwyczaj „pracują” pod zadaniem – z wyjątkiem ostatnich kondygnacji garaży nadziemnych), stosujemy zazwyczaj nieco łagodniejsze wymogi [3], które podajemy w tabeli 1. Dla oceny przydatności uziarnienia piasku dla mieszanek betonowych na posadzki przemysłowe można posługiwać się zalecanymi zawartościami poszczególnych frakcji kruszywa w granicach podanych w tabeli poniżej. Dla oceny przydatności uziarnienia kru-

Tabela 2.

UZIARNIENIE PIASKU							
Sito	0,063	0,125	0,250	0,050	1,00	2,00	
%	0-8	3-10	10-33	39-60	55-80	100	

szywa 0-16 mm dla mieszanek betonowych na posadzki przemysłowe można posługiwać się zalecanymi zawartościami poszczególnych frakcji kruszywa w granicach podanych w tabelach poniżej. Niżej podano przykładową recepturę be-

Tabela 3.

UZIARNIENIE KRUSZYWA 0 do 16 mm								
Sito	0,125	0,250	0,500	1,00	2,00	4,00	8,00	16,00
%	2-4	3-8	8-20	12-32	21-42	36-56	60-76	100

tonu na posadzkę przemysłową obiektu Carrefour Wileńska w Warszawie. Dotyczy ona parkingu poziomów -3,80; -0,80 i +3,50, o powierzchni około 40 tys. m², zadaszonego, ale narażonego na wpływy atmosferyczne.

Nawierzchnia została tu wykonana ze spadkami 0,4 do 0,5% w układzie kwadratowych płaszczyzn spływu z betonu klasy B30 na kruszywie naturalnym. Utwardzenie powierzchniowe stanowiła posypka Addiment HEM. Stosowano natrysk pielęgnacyjno-impregacyjny Addiment NB1. Powierzchniowo utwardzane betonowe

posadzki przemysłowe są szczególnie czułe na reakcję alkaliów z reaktywnymi ziarnami kruszywa. Uszkodzenia posadzek objawiają się w takich przypadkach jako punktowe odpryski, zwane popularnie „kraterkami” („pop-outs”). Czasami może to być też sieć pajęczna (mapcracking, spider web), ale tego rodzaju zniszczenie jest typowe raczej dla masywnych konstrukcji betonowych, a nie dla posadzek przemysłowych. Pojawienie się w posadzkach sieci pajęcznej ma najczęściej inne przyczyny, które są związane ze skurczem chemicznym betonu, jakością posypki utwardzającej, niedotrzymaniem wymaganych warunków pielęgnacji betonu oraz brakiem w mieszance betonowej odpowiedniej ilości ziaren o wymiarach <0,25 mm.

Niektóre kruszywa mogą reagować z alkaliami zawartymi w cemencie tworząc pęczniące produkty reakcji w postaci uwodnionych krzemianów alkaliów, które prowadzą do rozmaitych form uszkodzenia i zniszczenia betonu. Reakcję tę nazywamy ogólnie przyjętym międzynarodowym terminem AAR (Alkali Aggregate Reaction = reakcja alkaliów z kruszywem). W przypadku kruszyw niewęglanowych, jakie z reguły stosujemy dla nawierzchni przemysłowych, używamy terminu „reakcja alkaliów z krzemionką” i określamy ją międzynarodowym terminem ASR (Alkali Silica Reaction). W przypadku uszkodzeń w wyniku ASR widoczna jest, na dnie „kraterka”, na powierzchni reaktywnego kruszywa, biała warstwa produktów reakcji, czasem w otocze ciemnego żeluz, a na sieci pajęcznej białe zabarwienia na liniach rys. Białym ma-

terialem jest często krystaliczny thaumazyt  $CaSO_4 \cdot CaSiO_3 \cdot CaCO_3 \cdot 15H_2O$  [4]. W swoich pracach koncentrowaliśmy się na znalezieniu cementów, których niski poziom alkaliów zagwarantowałby eliminację AAR w powierzchniowo utwardzanych nawierzchniach przemysłowych. Z naszych wieloletnich doświadczeń wynika, że w pewnych sytuacjach nawet stosowanie niskoalkalicznych cementów portlandzkich (zawartość alkaliów ekwiwalentnych <0,6%) nie gwarantuje uniknięcia skutków AAR [5]. Wiemy natomiast z wielu źródeł, że przy utrzymaniu całkowitej ilości alkaliów w betonie poniżej 1,8 kg/m³ można być pewnym, że reakcja AAR nie wystąpi.

Poszukiwaliśmy sposobów spełnienia wyznaczonego warunku ilości alkaliów (< 1,8 kg/m³) w betonie (łącznie z innymi, obok cementu, źródłami alkaliów, jak plastyfikatory, superplastyfikatory, kruszywo) i uniknięcia skutków reakcji AAR. Na cementach CEM I 42,5 NA MSR oraz CEM I 32,5R NA z Cementowni Warta (o zawartości alkaliów ekwiwalentnych poniżej 0,5%), wykonano w latach 1999-2000 w obiektach Carrefour Bemowo i Sadyba Center w Warszawie ponad 70.000 m² posadzek przemysłowych powierzchniowo utwardzanych, nie stwierdzając o tej porze występowania zjawiska AAR.

Tabela 4.

Klasa B30 – beton na posadzkę przemysłową									
Konsystencja K3/K4									
Szczególne właściwości: W8, F150									
W/C: 0,47									
Skład mieszanki na 1 m³ suchych składników									
<b>Cement:</b>	CEM III/A 32,5R (Małogoszcz) ( $Na_2O_{eq} < 1,1\%$ ) 350 kg								
<b>Woda:</b>	165 kg								
<b>Kruszywo:</b>	1839 kg								
	19% piasek 0-2 mm, z Pierzchał 349 kg								
	19% piasek 0-2 mm, z Rydwan 349 kg								
	27% żwir 2-8 mm, z Sobolewa 497 kg								
	35% żwir 8-16 mm, z Sobolewa 644 kg								
<b>Domieszki:</b>	plastyfikator Addiment BV3 1,93 kg								
<b>Dodatki:</b>	włókno stalowe Addiment ME 50/1,0 15 kg								
	włókno polipropylenowe Addiment TexaFib 12/3 dtx 0,6 kg								
<b>Ciężar objętościowy mieszanki:</b>	3272 kg								
Skład ziarnowy mieszanki kruszywa									
Bok oczka sita [mm]	0,125	0,250	0,5	1	2	4	8	16	32
Przesiew w % masy	1,5	4,7	14,8	27,7	38,2	47,9	66,4	94,1	100
<b>Obszar uziarnienia:</b>	0 – 16 mm	<b>Zawartość cementu + ziaren &lt; 0,125 mm:</b>	378 kg						
<b>Zawartość zaprawy:</b>	549 l/m³	<b>Zawartość cementu + ziaren &lt; 0,250 mm:</b>	437 kg						

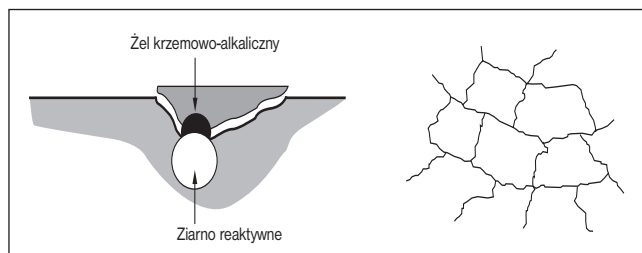
teriałem jest często krystaliczny thaumazyt  $CaSO_4 \cdot CaSiO_3 \cdot CaCO_3 \cdot 15H_2O$  [4].

W swoich pracach koncentrowaliśmy się na znalezieniu cementów, których niski poziom alkaliów zagwarantowałby eliminację AAR w powierzchniowo utwardzanych nawierzchniach przemysłowych. Z naszych wieloletnich doświadczeń wynika, że w pewnych sytuacjach nawet stosowanie niskoalkalicznych cementów portlandzkich (zawartość alkaliów ekwiwalentnych <0,6%) nie gwarantuje uniknięcia skutków AAR [5].

Wiemy natomiast z wielu źródeł, że przy utrzymaniu całkowitej ilości alkaliów w betonie poniżej 1,8 kg/m³ można być pewnym, że reakcja AAR nie wystąpi.

Poszukiwaliśmy sposobów spełnienia wyznaczonego warunku ilości alkaliów (< 1,8 kg/m³) w betonie (łącznie z innymi, obok cementu, źródłami alkaliów, jak plastyfikatory, superplastyfikatory, kruszywo) i uniknięcia skutków reakcji AAR.

Na cementach CEM I 42,5 NA MSR oraz CEM I 32,5R NA z Cementowni Warta (o zawartości alkaliów ekwiwalentnych poniżej 0,5%), wykonano w latach 1999-2000 w obiektach Carrefour Bemowo i Sadyba Center w Warszawie ponad 70.000 m² posadzek przemysłowych powierzchniowo utwardzanych, nie stwierdzając o tej porze występowania zjawiska AAR.



Uszkodzenia w posadzce przemysłowej spowodowane reaktywnością alkaliczną kruszywa (AAR)

Przy tych cementach i dozowaniu cementu na poziomie 330 kg/m<sup>3</sup> alkalia stanowiły w tych przypadkach:

330(-0,5):100 ≈ 1,65 kg/m<sup>3</sup> betonu  
Od IV kwartału 1999 wprowadziliśmy na szeroką skalę do betonów na posadzki przemysłowe powierzchniowo utwardzane posypką Addiment HEM oraz pod wykończenie żywiczne cementy hutnicze niskoalkaliczne.

Postawiliśmy tu wymagania dotyczące zawartości maksymalnej alkaliów ekwiwalentnych w cementach CEM III/A zgodnie z normą DIN 1164-1. W cementach zawierających od 35 do 49% żużla wartość ta musi być poniżej 0,95%, a przy zawartości żużla 50 do 65%, poniżej 1,1%.

Warunek ten spełniały cementy hutnicze CEM III/A 32.5 NA z cementowni Małogoszcz, Rejowiec i Rudniki, Strzelce Opolskie oraz Warta.

Na tych cementach hutniczych wykonano powierzchniowo utwardzane posadzki przemysłowe na obszarze znacznie ponad 100.000 m<sup>2</sup> w obiektach TOYOTA w Wałbrzychu, HOOP w Bielsku Podlaskim, Carrefour Wileński w Warszawie i szeregu innych, nie stwierdzając nigdzie wystąpienia objawów AAR.

Obok eliminacji zagrożeń wynikających z potencjalnej reakcji alkalia – kruszywo (stwierdzono to w wielu pracach badawczych [4]) stosowanie w budowie posadzek cementów hutniczych pozwala na wykorzystanie ich innych szeroko znanych zalet, wśród których szczególnie istotną rolę odgrywa niskie ciepło hydratyzacji oraz niski skurcz. Te cechy cementów hutniczych pozwalają na łatwiejsze uniknięcie takich usterek w posadzkach, jak mikrorysy powierzchniowe (sieć pajęczna), pęknięcia skurczowe i pączenie się płyt.

mgr inż. Janusz Karwacki  
mgr inż. Jan Pleskot

#### Literatura

1. Vollpracht A., Eifert H., Hersel O., Knopp W., *Straßenbau Heute – Betondecken, Bundesverband der Deutschen Zement Industrie, Köln 1995*
2. Grüning R., *Neue Technische Regelbauwerke für den Betonstraßenbau – Bau und Erhaltung von Fahrbahndecken aus Beton, „BETON“ 1/2001*
3. *Betontechnische Daten, Heidelberger Zement, Ausgabe Mai 1999*
4. Kurdowski, W., *Chemia cementu, PWN (1991)*
5. Kucharska, L., Brandt, A.M., *Local Stresses in Concrete Structure due to Expanding Aggregate Grains, 5th International Workshop on Material Properties and Design; Durable Reinforced Concrete Structures, Weimar, October 1998, Aedificatio Publishers, pp.249-264.*

## Na wskroś europejski

Jest to pierwszy dokument w Polsce dotyczący projektowania i wykonywania konstrukcji nawierzchni z betonu cementowego. Zamysł autorów był taki, by jego układ był podobny do układu katalogu nawierzchni podatnych, tak by projektanci przyzwyczajeni do innych wydawnictw wiedzieli, jak się nim posługiwać – mówił prof. Antoni Szydło z Politechniki Wrocławskiej otwierając szkolenie dotyczące „Katalogu typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych”, które w marcu br. odbyło się w Cedzynie k. Kielc. Na trzydniowe szkolenie przyjechało do Cedzyny ponad siedemdziesięciu projektantów, przedstawicieli laboratoriów i wykonawców z całego kraju. Wszyscy chcieli zobaczyć jeszcze „ciepłą” publikację. „Katalog typowych konstrukcji nawierzchni sztywnych” został opracowany i wydany przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie na zlecenie Generalnej Dyrekcji Dróg Publicznych.

Według Małgorzaty Faleńskiej z IBDiM jest on długo wyczekiwany i bardzo potrzebnym dokumentem dla drogownictwa. – Jestem pewna, że zostanie właściwie wykorzystany przy realizacji wielu odcinków dróg. Przyjęte w nim założenia uwzględniają wzrost obciążeń nawierzchni ruchem zarówno pod względem natężenia, jak i wielkości obciążenia – mówiła Małgorzata Faleńska. Podstawą opracowania założeń katalogu były doświadcze-



fol. Michał Braszczowski

Wykłady podczas szkolenia prowadził m.in. prof. Antoni Szydło z Politechniki Wrocławskiej o krajach europejskich o zbliżonych warunkach użytkowania. Jednym z zasadniczych założeń katalogu jest uwzględnienie obciążeń osi 100 i 115 kN. Katalog przedstawia szeroki asortyment materiałów i możliwości ich wyboru dla nawierzchni o różnych parametrach i przeznaczeniu. – To nowoczesny i na wskroś europejski dokument – mówił o katalogu Jerzy Kochon, członek Zarządu Stowarzyszenia Producentów Cementu i Wapna. **pie Wszystkich zainteresowanych kolejnym szkoleniem prosimy o kontakt z biurem organizacyjnym. Szkolenie odbędzie się na początku czerwca br.**

Adres biura organizacyjnego:  
**Polski Cement Sp. z o.o.**  
**ul. Lubelska 29, 30-003 Kraków**  
**tel/fax: 012/423-33-45**  
**tel: 012/423-33-55**

## Kruszywa – szkolenie

W betonie głównym składnikiem, zajmującym od 70 do 80%, są kruszywa. Niestety często traktowane jako drugoplanowe, mają podstawowe znaczenie i bezpośredni wpływ na właściwości świeżego i stwardniałego betonu.

Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom technologicznych betonów, producentów kruszyw, producentów chemii budowlanej, firm budowlanych spółka Polski Cement organizuje w drugiej połowie roku 2002 w Krakowie szkolenie w zakresie „Kruszyw do betonów”. Zakres tematyczny kursu obejmuje:

- Kruszywa naturalne, kruszywa łamane, kruszywa sztuczne
- Pochodzenie kruszyw
- Wpływ składu petrograficznego na właściwości
- Baza kruszyw w Polsce
- Znaczenie kruszyw w projektowaniu betonu

- Wpływ rodzaju kruszywa na właściwości betonu
- Nowa norma na kruszywa do betonu
- Rola kruszywa w kształtowaniu właściwości betonu wibroprasowanego.

Kurs będzie prowadzony przez pracowników Wydziału Geologii, Inżynierii Materiałowej i Ceramiki Akademii Górniczo-Hutniczej, Politechniki Wrocławskiej, Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk. Szkolenie

obejmuje zajęcia teoretyczne (wykłady) i laboratoryjne. Cena kursu to 800 zł plus VAT. Zgłoszenia prosimy kierować na nowy adres biura Polskiego Cementu:

**Polski Cement Sp. z o.o.**  
**ul. Lubelska 29, 30-003 Kraków**  
**tel/fax: 012/423-33-45**  
**tel: 012/423-33-55**  
**e-mail: zbych@polskicement.com.pl**

Zbigniew Pilch

