

Kompatybilność posypek cementowych z betonami o obniżonym śladzie węglowym

Krzysztof Wrzecion
krzysztof.wrzecion@holcim.com



Opis projektu badawczego

Zaprojektowanie posypki

Zaprojektowane zostały 3 posypki o różnych klasach ścieralności. W procesie projektowania posypek ukierunkowano dobór spoiwa na zastosowanie cementów charakteryzujących się niższym śladem węglowym w porównaniu z cementem portlandzkim CEM I.

Badania posypek oraz świeżej mieszanki betonowej

Przygotowano pola testowe z betonu zaprojektowanego z użyciem cementów portlandzkich wieloskładnikowych. Zbadano właściwości świeżych mieszanek. Na powierzchnię betonu po odpowiednim czasie dojrzewania zaaplikowano 3 rodzaje posypek.

Badanie in situ

Na każde z pól testowych z danym betonem i posypką przetestowano 3 rodzaje wykończenia powierzchni - impregnat rozpuszczalnikowy, impregnat wodny oraz brak wykończenia. **Przebadano kompatybilność posypek z betonami posadzkowymi poprzez badanie ścieralności BCA oraz przyczepności (pull-off).**

Betony posadzkowe - teoria



Wymagania wobec betonu posadzkowego

- klasa min. C20/25
- stosunek w/c $\leq 0,50$
- klasa konsystencji S3
- napowietrzenie $< 3\%$



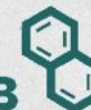
Cementy stosowane w technologii posadzek

- CEM I
- CEM II/A-S
- CEM II/B-S
- CEM III/A
- ilość cementu $\leq 350 \text{ kg/m}^3$

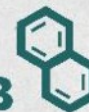


Stos okrucowy w betonie posadzkowym

- uziarnienie $\leq 16 \text{ mm}$
- frakcja $\leq 0,25 \text{ mm}$ - min. 4%
- punkt piaskowy ok. 35%
- łączna ilość cementu i kruszywa $\leq 0,25 \text{ mm}$ – max. 450 kg/m^3



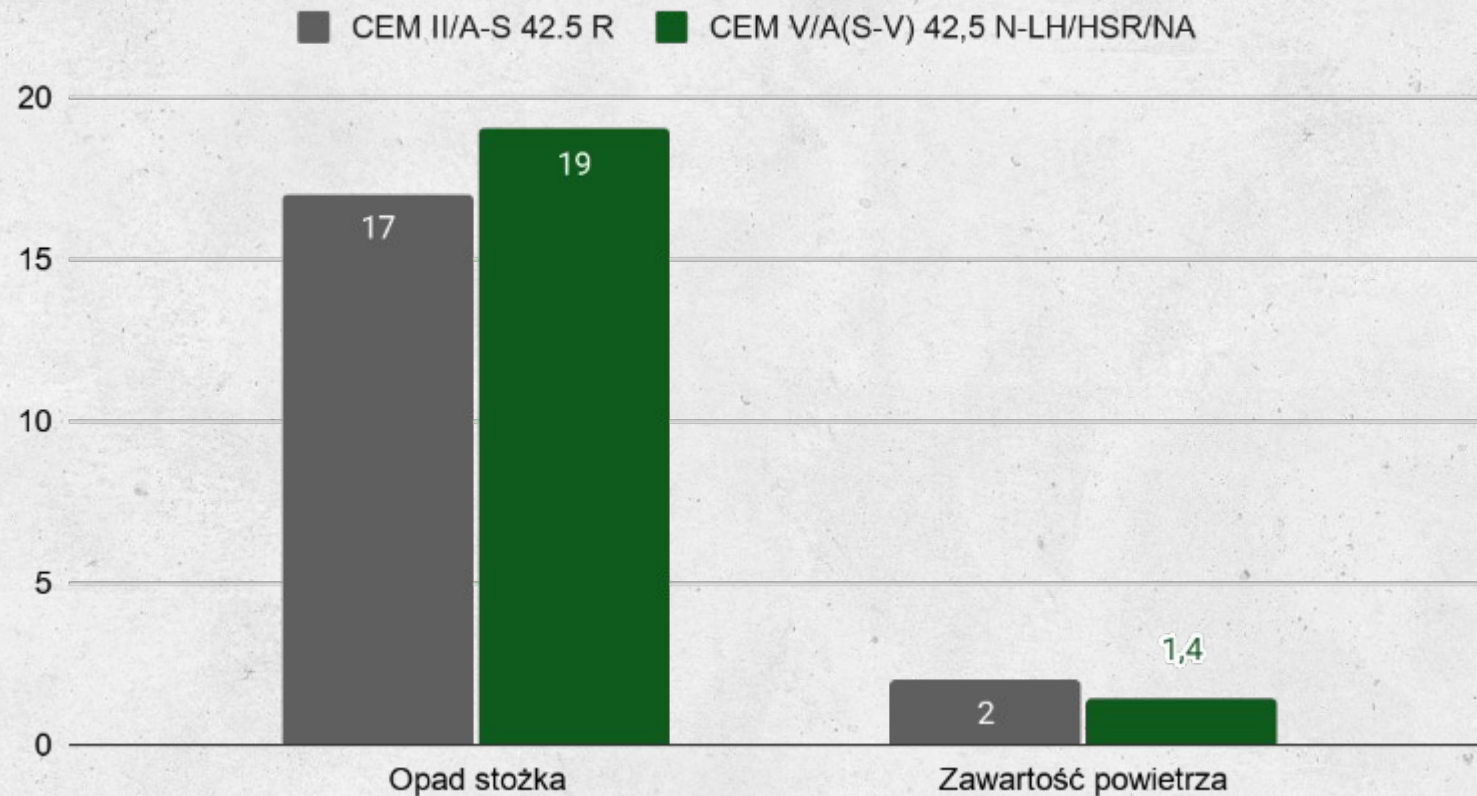
Betony posadzkowe - praktyka





Właściwości mieszanki betonowej i stwardniałego betonu

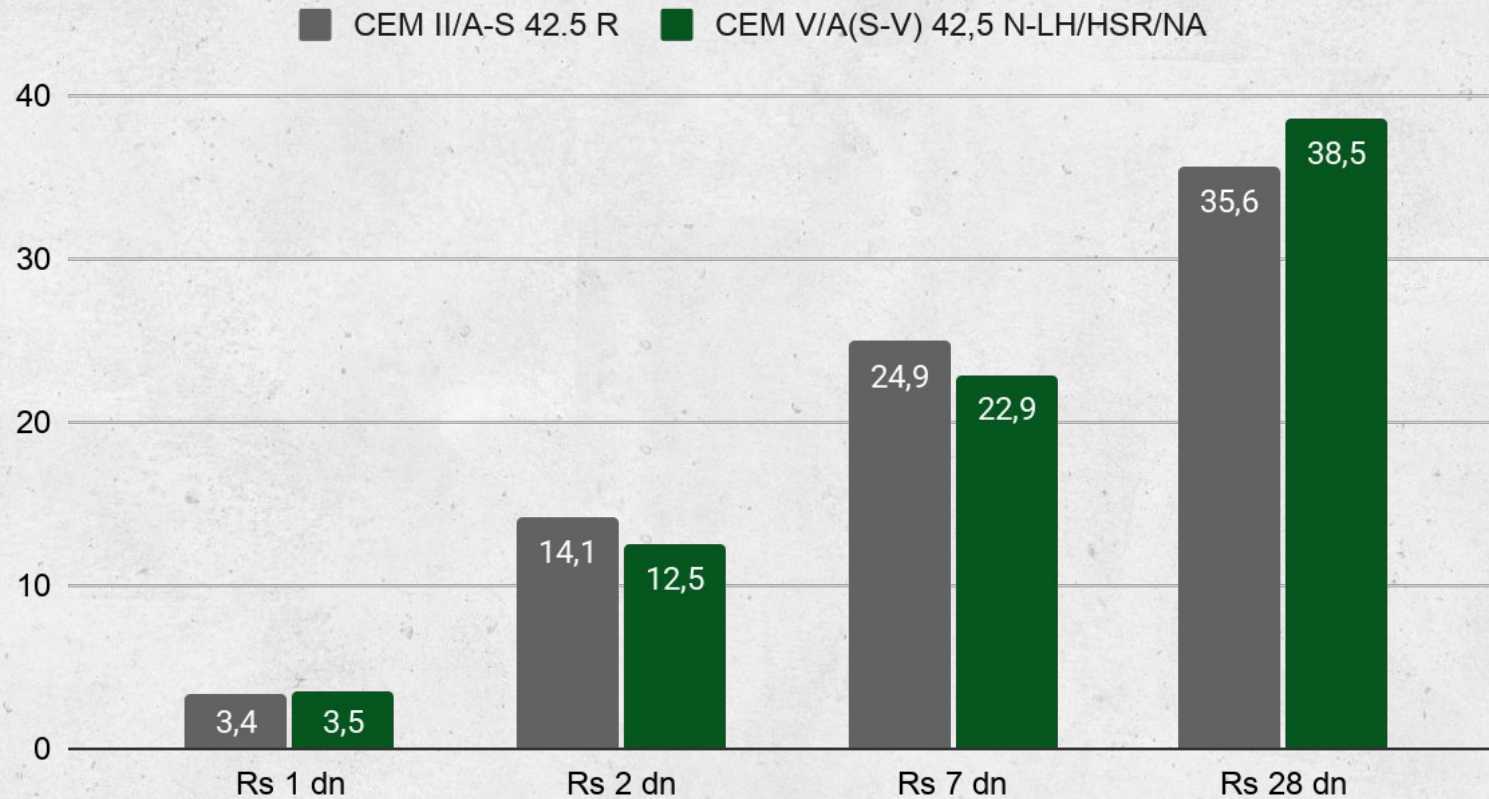
Opad stożka [cm] i zawartość powietrza [%] w betonie





Właściwości mieszanki betonowej i stwardniałego betonu

Wytrzymałość na ściskanie [MPa]

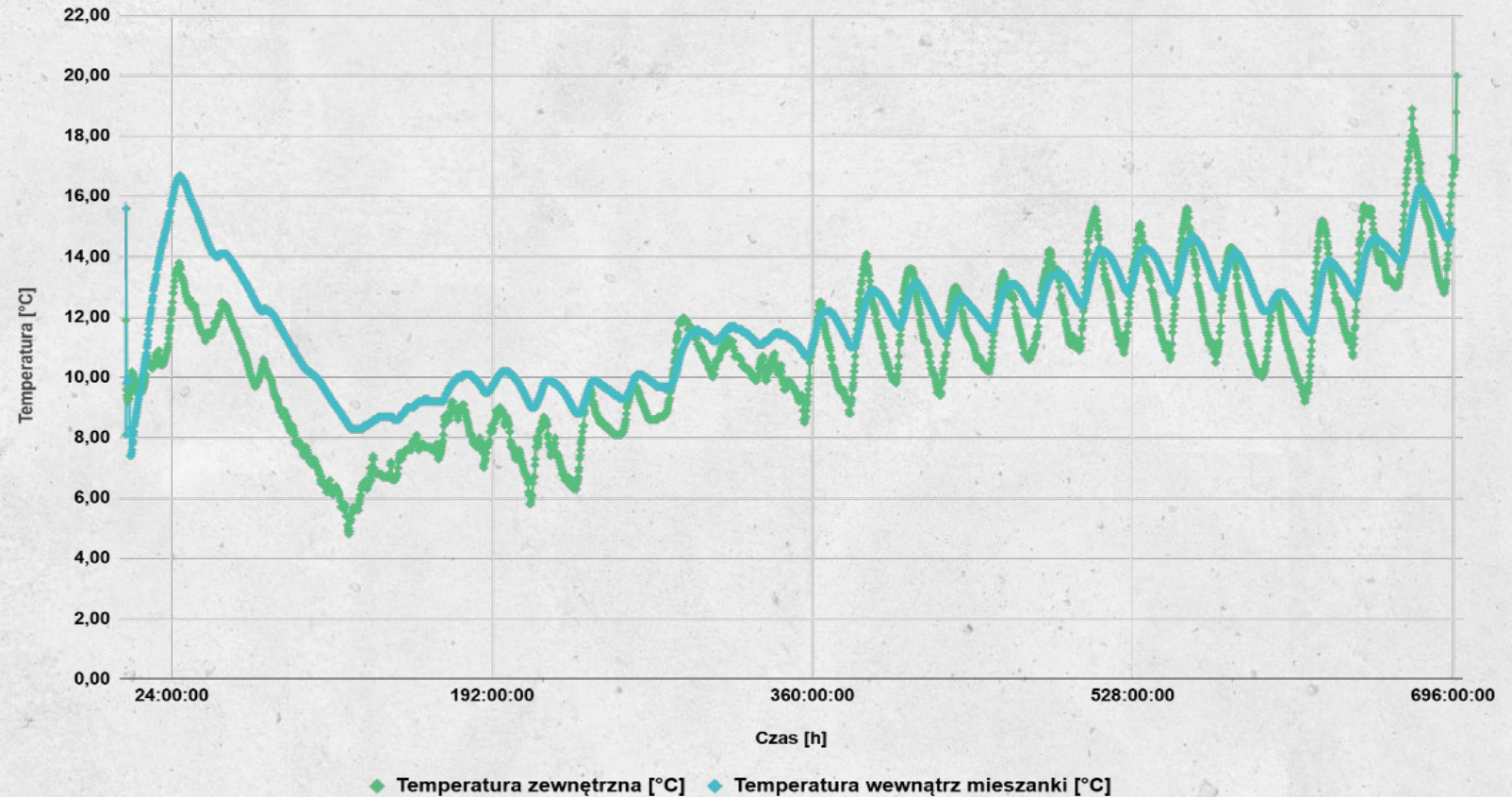




Właściwości mieszanki betonowej i stwardniałego betonu

CEM V/A(S-V) 42,5N

Wytrzymałość [MPa]	CEM V/A(S-V) 42,5 N-LH/HSR/NA
Rs 1 dn	3,5
Rs 2 dn	12,5
Rs 7 dn	22,9
Rs 28 dn	38,5

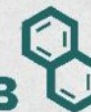
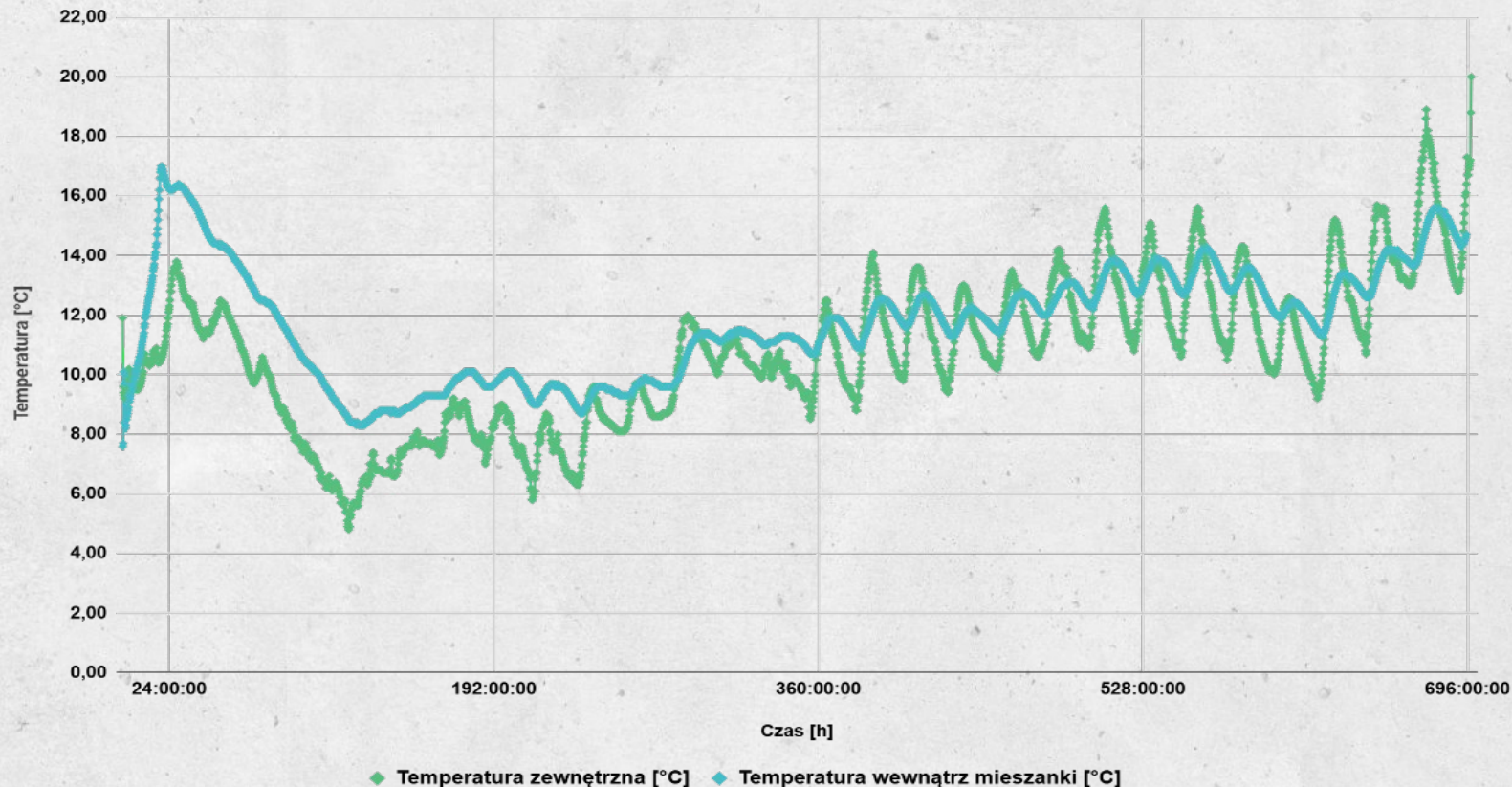




Właściwości mieszanki betonowej i stwardniałego betonu

CEM II/A-S 42.5 R

Wytrzymałość [MPa]	CEM II/A-S 42.5 R
Rs 1 dn	3,4
Rs 2 dn	14,1
Rs 7 dn	24,9
Rs 28 dn	35,6





Cementy zastosowane w betonach posadzkowych

CEM V/A (S-V) 42,5 N - LH/HSR/NA

Cement ECOPlanet 5A to zaawansowane spoiwo wieloskładnikowe klasy 42,5N, zaprojektowane w celu optymalizacji parametrów wykonawczych i środowiskowych posadzek przemysłowych. Kluczowe właściwości techniczne spoiwa:

- **LH (Low Heat):** Niskie ciepło hydratacji minimalizuje gradienty termiczne w płycie posadzkowej, co drastycznie ogranicza ryzyko powstawania rys skurczowych.
- **HSR (High Sulfate Resistance):** Wysoka odporność na agresję siarczanową zapewnia długowieczność struktury w środowiskach przemysłowych.
- **NA (Low Alkali):** Niska zawartość alkaliów rozpuszczalnych skutecznie zapobiega destrukcyjnej reakcji alkaliczno-krzemionkowej z kruszywem (ASR).
- **Charakterystyka ekologiczna:** Zastosowanie cementu ECOPlanet 5A pozwala na uzyskanie śladu węglowego o ponad 40% niższego w porównaniu do standardowego cementu CEM I (w fazie A1-A3), co stanowi fundament nowoczesnej, zrównoważonej technologii betonu.

Cement CEM II/A-S 42,5 R

Cement CEM II/A-S 42,5 R to wysokiej jakości cement portlandzki żuźlowy klasy wytrzymałości 42,5 R, przeznaczony do produkcji betonów konstrukcyjnych o wysokich wymaganiach wytrzymałościowych, zarówno w zakresie wytrzymałości wczesnej, jak i końcowej. Dzięki wysokiej dynamice narastania wytrzymałości w początkowym okresie dojrzewania cement ten znajduje zastosowanie w wykonywaniu posadzek przemysłowych. Kluczowe właściwości techniczne spoiwa:

- **R (Rapid Strength Development):** Wysoka wytrzymałość wczesna umożliwia skrócenie cyklu produkcyjnego oraz prowadzenie prac betonowych w warunkach obniżonych temperatur.
- **Żużel wielkopiecowy (S):** Dodatek żużla poprawia szczelność mikrostruktury betonu oraz ogranicza ryzyko powstawania wykwitów powierzchniowych.
- **Umiarkowane ciepło hydratacji:** Redukuje ryzyko powstawania rys skurczowych.
- **Ograniczony skurcz:** Wpływa korzystnie na trwałość oraz stabilność wymiarową posadzek i elementów konstrukcyjnych, szczególnie w początkowym okresie dojrzewania betonu.



Redukcja śladu węglowego względem rozwiązań na CEM I

Beton posadzkowy z CEM V/A (S-V) 42,5 N - LH/HSR/NA

Beton referencyjny:
276kg CO₂/m³

Beton posadzkowy na
CEM V:
171 kg CO₂/m³

Obniżenie emisji CO₂
(A1-A3):
37% mniej CO₂

Beton posadzkowy z CEM II/A-S 42,5N

Beton referencyjny:
276kg CO₂/m³

Beton posadzkowy na
CEM II:
193 kg CO₂/m³

Obniżenie emisji CO₂
(A1-A3):
30% mniej CO₂

Odporność na ścieranie

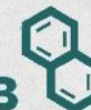
Kluczowy parametr posadzek - wg normy PN-EN 13813

Tablica 4 – Klasy odporności na ścieranie Böhmeo materiałów wykonanych na bazie cementu oraz innych materiałów przeznaczonych na podkłady podłogowe

Klasa	A22	A15	A12	A9	A6	A3	A1,5
Odporność na ścieranie w $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$	22	15	12	9	6	3	1,5

Tablica 5 – Klasy odporności na ścieranie BCA materiałów wykonanych na bazie cementu oraz innych materiałów przeznaczonych na podkłady podłogowe

Klasa	AR6	AR4	AR2	AR1	AR0,5
Maksymalna wartość abrazji w μm	600	400	200	100	50



Przeprowadzone badania



Wariantów

2 mieszanki betonowe x3
posypki x3 warianty
impregnacji (brak, dyspersja
wodna i rozpuszczalnikowa)



Badania BCA

Trzykrotne badanie ścieralności
dla trzech klas posypek:

Tector Spex 760

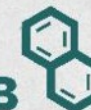
Tector Spex 761

Tector Spex 762



Pull-off'ów

Badanie przyczepności
posypek do posadzki
w kontekście
kompatybilności
z mieszanką betonową



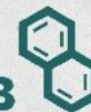
Badanie BCA - metoda



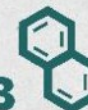
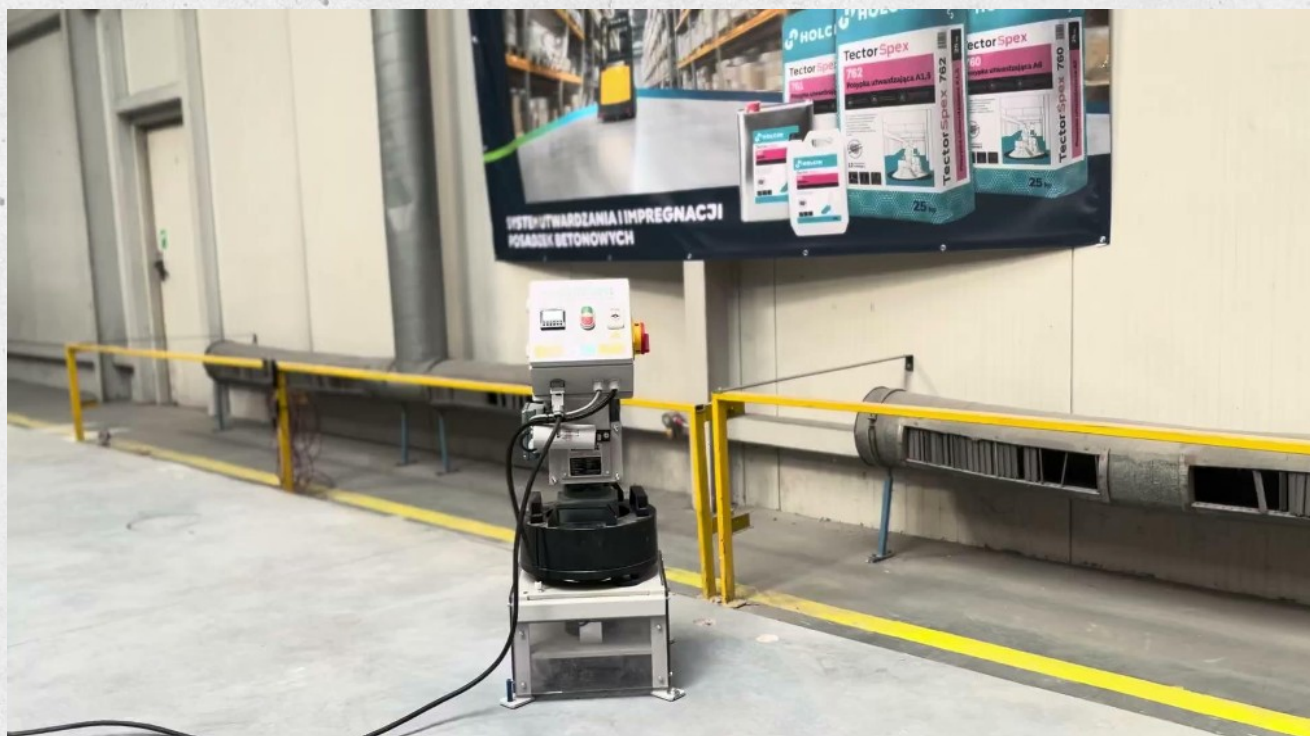
**Przed 2850 cyklami
ścierania**



**Po 2850 cyklach
ścierania**



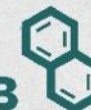
Badanie BCA - metoda



Badanie BCA - wyniki

Rodzaj posypki (klasa wg Boehme)	Wariant impregnacji	Średnia ścieralność z posadzką na bazie cementu CEM V/A(S-V) 42,5N [μm]	Średnia ścieralność z posadzką na bazie cementu na bazie cementu CEM II/A-S 42,5N [μm]	Klasa końcowa wg metody badania BCA
TectorSpex 760 (A6)	Brak	47,50	66,67	AR1*
	Dyspersja wodna	20,00	5,65	AR0,5
	Dysp. rozpuszczalnikowa	12,50	8,75	AR0,5
TectorSpex 761 (A3)	Brak	27,08	40,83	AR0,5
	Dyspersja wodna	12,50	-1,25	AR0,5
	Dysp. rozpuszczalnikowa	11,87	6,25	AR0,5
TectorSpex 762 (A1,5)	Brak	12,91	46,67	AR0,5
	Dyspersja wodna	-8,75	21,25	AR0,5
	Dysp. rozpuszczalnikowa	10,00	-11,25	AR0,5

***Uwaga dotycząca klasyfikacji:** W przypadku posypki TectorSpex 760 bez impregnatu, dla posadzki z CEM V, pomimo średniej ścieralności mieszczącej się w limicie klasy AR0,5 ($\leq 50 \mu\text{m}$), klasyfikacja została obniżona do AR1. Wynika to z faktu, że jeden z pomiarów punktowych wyniósł 66,25 μm , przekraczając dopuszczalny próg dla najwyższej klasy.



Pull-off - wyniki

Rodzaj posypki (klasa wg Boehmego)	Wariant impregnacji	Wyniki pull-off średnie - 7 dni [MPa]		Wyniki pull-off średnie - 28 dni [MPa]	
		CEM II/A-S [MPa]	CEM V [MPa]	CEM II/A-S [MPa]	CEM V [MPa]
TectorSpex 762 (A1,5)	Dysp. rozpuszczalnikowa	1,62	1,44	1,35	2,03
	Dyspersja wodna	1,84	2,58	1,50	1,29
	Brak	1,79	2,06	1,55	2,10
TectorSpex 761 (A3)	Dysp. rozpuszczalnikowa	1,78	2,21	0,94	2,03
	Dyspersja wodna	2,11	1,99	1,16	1,29
	Brak	2,52	2,09	1,45	2,10
TectorSpex 760 (A6)	Dysp. rozpuszczalnikowa	2,35	1,68	0,99	1,04
	Dyspersja wodna	2,29	2,09	1,31	1,13
	Brak	2,51	1,92	1,17	1,43

Wnioski

Badanie wykazało pełną kompatybilność między betonami a posypką - pull-off potwierdza brak odspojień.

Niskie ciepło hydratacji ECOPlanet 5A wydłuża czas otwarty, co sprzyja precyzyjnej aplikacji posypek i ogranicza ryzyko delaminacji.

Najwyższą odporność na ścieranie uzyskano dla systemu TectorSpex 762 (klasa A1,5) z impregnatem na bazie rozpuszczalnika.

Zastosowanie dowolnego impregnatu pozwala na uzyskanie najwyższej klasy ścieralności AR0,5 dla wszystkich badanych posypek.

Zastosowanie cementu klasy R gwarantuje szybki przyrost wytrzymałości (35,6 MPa po 28 d), podczas gdy umiarkowane ciepło hydratacji i ograniczony skurcz minimalizują ryzyko wystąpienia rys termicznych i skurczowych.

Dziękuję za uwagę

Krzysztof Wrzecion
krzysztof.wrzecion@holcim.com

