

Czynniki determinujące odporność betonu na agresję wywołaną ścieraniem

TECHNOLOGICAL FACTORS THAT DETERMINE ABRASION RESISTANCE OF CONCRETE

Streszczenie

Powierzchnie betonowe mogą ulegać zużyciu ściernemu na różne sposoby (przykładowo na skutek toczenia, abrazji, erozji czy kawitacji), w zależności od warunków, w jakich pracuje element wykonany z betonu. Wykazano już do tej pory, że z uwagi na zmieniające się mechanizmy zużycia, żadna z dostępnych metod badania ścieralności betonu nie jest uniwersalna. Niewiele natomiast jest badań dotyczących wpływu różnych czynników, które należy uwzględnić przy projektowaniu betonu odpornego na agresję wywołaną ścieraniem.

W niniejszym artykule zaprezentowano wyniki badań wpływu różnych składników betonu, takich jak: rodzaj cementu, dodatki do betonu, rodzaj kruszywa oraz wpływu wskaźnika wodno-cementowego, utwardzenia powierzchniowego i napowietrzenia, na ścieralność betonu.

Mieszanki betonowe do badań zaprojektowano tak, aby spełniona została klasa ekspozycji XM3, czyli odporność na ekstremalnie silne zagrożenie ścieraniem, zgodnie z PN-B-06265, krajowym uzupełnieniem do normy PN-EN 206-1. Norma PN-B-06265 uwzględnia w klasyfikacji oddziaływań środowiskowych na konstrukcje betonowe agresję wywołaną ścieraniem i podaje zalecenia co do wartości granicznych dla składu oraz właściwości betonu, brakuje w niej jednak zapisów dotyczących wymagań stawianych choćby dla kruszyw.

Wobec tego autorzy pracy podjęli próbę zweryfikowania, jaki wpływ ma zastosowanie kruszyw o różnych parametrach ścieralności na uzyskanie betonu odpornego na ścieranie. Ponadto przedstawiono wyniki badań wytrzymałościowo-trwałościowych, dla potwierdzenia spełnienia również innych wymagań stawianych często betonowi na przykład dla obiektów drogowych, mostowych czy hydrotechnicznych.

Abstract

Concrete surfaces are exposed to different types of abrasion wear. One method cannot be used for all types of concrete constructions because there are many different types of environmental actions that influence surface of concrete. There is still lack of research presenting how much differences in design of concrete recipes can affect abrasion of concrete.

The following technological factors were taken into consideration during analysis of the process of concrete wear: type of cement and addition, different aggregates and water-cement ratios, use of surface hardening and air-entraining admixtures etc.

Concrete recipes have been designed to comply with XM3 exposure class what means extreme abrasion risk – according to PN-B-06265 which is Polish complementation to PN-EN 206-1 standard. PN-B-06265 includes exposure to abrasion resistance and gives some advice about limitations for composition and properties of concrete, but there is still lack of recommendations e.g. no requirements for aggregates properties.

Therefore, the authors intended to describe how different aggregates types and their properties can affect abrasion resistance of concrete. In addition, this paper presents strength and durability test results of concrete mixes designed to fulfill requirements for pavements, bridge or hydrotechnical concrete constructions.

1. Wstęp

Zjawisko zużycia materiałów to skomplikowany proces fizykomechaniczny, który można zdefiniować przykładowo, jako „postępujący ubytek materiału z powierzchni ciała stałego, wywołany przez przyczyny mechaniczne to znaczy styk i ruch względny ciała stałego, cieczy bądź gazu” [1]. Ścieranie to jeden z typów zużycia powierzchni materiału i w przypadku konstrukcji betonowych może odbywać się w układach ciało stałe - ciecz, ciało stałe – ciecz – cząstki stałe oraz ciało stałe–cząstki.

Literatura przedmiotu podaje wiele klasyfikacji procesów zużycia, a dziedzinę nauki, która to opisuje nazywamy tribologią. Przykładowa klasyfikacja procesów zużycia powierzchni betonu wyróżnia takie rodzaje procesów jak: erozja, kawitacja, (hydro) abrazja czy toczenie.

Beton bez wątplenia jest materiałem podatnym na ścieranie, pomimo to tematyka dotycząca badań procesów destrukcji betonu spowodowanej ścieraniem oraz badań wpływu czynników kształtujących odporność betonu na tę agresję środowiska, jest wciąż mało rozpoznana.

Odporność betonu na ścieranie zależy od wielu czynników, które można podzielić na materiałowe, technologiczne oraz środowiskowe (eksploatacyjne). Autorzy projektu badawczego, jako technolodzy betonu odpowiedzialni za projektowanie betonów mających spełniać określone wymagania, postanowili skupić się tym razem na aspekcie odporności betonu na ścieranie oraz na czynnikach ją kształtujących. Czynniki, na które producent betonu ma największy wpływ, to dobór odpowiednich składników i składu mieszanki betonowej, dlatego autorzy postanowili sprawdzić efektywność oddziaływania różnych materiałów wsadowych betonu na uzyskaną w badaniach odporność na ścieranie, a także na inne parametry określające jego trwałość.

Tym samym autorzy próbowali zweryfikować różne poglądy dostępne w literaturze, dotyczące wpływu wybranych składników mieszanki betonowej na odporność betonu na ścieranie.

Podstawowe stwierdzenia mówią, że odporność betonu na ścieranie zależy przede wszystkim od jego wytrzymałości na ściskanie, a czynniki takie jak liczba i rodzaj porów powietrznych, wskaźnik wodno-cementowy, rodzaj i właściwości stosowanego kruszywa (przede wszystkim jego ilość i twardość), również należy brać pod szczególną uwagę przy projektowaniu betonu odpornego na ścieranie.

Celem podjętego projektu badawczego, obejmującego zakresem wykonanie serii 14 mieszanek betonowych oraz szeregu badań stwardniałego betonu było zweryfikowanie wybranych też dotyczących wpływu różnych czynników materiałowych na odporność betonu na ścieranie, np.:

- Zużycie ścierne betonu maleje wraz ze wzrostem jego wytrzymałości na ściskanie. Minimalna wytrzymałość na ściskanie betonu charakteryzującego się pewną odpornością na ścieranie, powinna wynosić 30 MPa (ponadto zgodnie z PN-B-06265:2004 dla betonów zaliczanych do klasy ekspozycji XM1 i XM2, zaleca się minimalną klasę wytrzymałości na ściskanie C30/37, a dla klasy ekspozycji XM3 – klasę wytrzymałości C35/45);
- Wskaźnik wodno-cementowy powinien być możliwie niski, gdyż im wyższa wartość wskaźnika wodno-cementowego, tym niższa odporność betonu na ścieranie;
- Stosowanie dodatkowych zabiegów pielęgnacyjnych jak odwadnianie próżniowe, utwardzanie czy impregnacja powierzchniowa poprawiają odporność betonu na ścieranie;

- „Bogate” w cement mieszanki nie są pożądane. Zalecana ilość cementu nie powinna być wyższa niż 350 kg/m^3 ;
- Wskazane jest stosowanie kruszyw łamanych o wysokiej twardości, szorstkości i odporności na ścieranie, z podwyższonym udziałem kruszywa grubego (górne krzywe graniczne);
- Beton z dodatkiem popiołu lotnego wykazuje nie gorszą, a być może nawet lepszą odporność na ścieranie w porównaniu do betonu bez tego dodatku;
- Beton z dodatkiem pyłu krzemionkowego wykazuje podwyższoną odporność na ścieranie w porównaniu do betonu bez tego dodatku;
- Beton o skompensowanym skurczu ma zwiększoną odporność na ścieranie (z uwagi na redukcję drobnych rys, które ułatwiają rozwój i propagację procesów ścierania), dlatego zasadnym jest stosowanie cementów o niskim cieple hydratacji np. CEM III;
- Beton napowietrzany przy użyciu domieszki chemicznej, może charakteryzować się gorszą odpornością na ścieranie w porównaniu do betonu nienapowietrzanego;
- Betony, które mogą być narażone na ścieranie, przeznaczone na nawierzchnie drogowe, lotniskowe, obiekty mostowe lub hydrotechniczne, powinny mieć niską nasiąkliwość i wysoką mrozodporność.

2. Wymagania normowe dla betonów odpornych na agresję wywołaną ścieraniem

Norma PN-B-06265:2004 uwzględnia w klasyfikacji oddziaływań środowiskowych na konstrukcje betonowe agresję wywołaną ścieraniem: klasy XM1-XM3 (tabela 1.) i podaje zalecenia do projektowania (wartości graniczne dla składu oraz właściwości betonu o podwyższonej odporności na agresję wywołaną ścieraniem).

Tabela 1. Klasy ekspozycji betonu dotyczące agresji wywołanej ścieraniem

Oznaczenie klasy	Opis środowiska	Przykłady występowania klas ekspozycji
Agresja wywołana ścieraniem		
W przypadku, gdy powierzchnia betonu narażona jest na obciążenie mechaniczne, oddziaływanie środowiska należy klasyfikować w następujący sposób:		
XM1	Umiarkowane zagrożenie ścieraniem	Posadzki i nawierzchnie eksploatowane przez pojazdy o ogumieniu pneumatycznym
XM2	Silne zagrożenie ścieraniem	Posadzki i nawierzchnie eksploatowane przez pojazdy o ogumieniu pełnym oraz wózki podnośnikowe z ogumieniem elastomerowym lub na rolkach stalowych
XM3	Ekstremalnie silne zagrożenie ścieraniem	Posadzki i nawierzchnie często najeżdżane przez pojazdy gąsienicowe
		Filary mostów
		Powierzchnie przelewów
		Ściany spustów i sztolni hydrotechnicznych
		Niecki wypadowe

Norma podaje również zalecenia dla wyboru kruszyw do zastosowania w betonach odpornych na ścieranie. Brakuje jednak opisu parametrów (oraz norm badawczych), które takie kruszywa powinny spełniać. Prowadzony eksperyment miał posłużyć poszukiwaniu zależności między ścieralnością kruszywa, a odpornością na ścieranie betonu wykonanego z tego kruszywa.

Realizując program badawczy, przy doborze materiałów i składów mieszanek betonowych wzięto pod uwagę zapisy ogólnych specyfikacji technicznych GDDKiA dla betonu konstrukcyjnego, oraz zapisy normy PN-EN 206-1 wraz z polskim uzupełnieniem PN-B-06265:2004. Zaprojektowane mieszanki miały charakteryzować się podwyższoną odpornością na ścieranie, przy zachowaniu trwałości w warunkach oddziaływania wysokiej agresji środowiska.

3. Badania laboratoryjne – projekt badawczy

Betony szczególnie narażone na ekstremalnie silne zagrożenie ścieraniem to np. nawierzchnie drogowe, posadzki czy konstrukcje narażone na działanie przepływającej wody (lub wody z cząstkami) jak obiekty hydrotechniczne czy mostowe. Przy projektowaniu składu mieszanek betonowych przyjęto następujące materiały i założenia:

- Cementy: CEM I 42,5 N-SR3/NA z cementowni Chełm oraz CEM III/A 42,5 N-LH/HSR/NA z cementowni Rudniki;
- Dodatki mineralne typu II: popiół lotny kat. A oraz mikrokrzemionka;
- Kruszywa naturalne grube żwirowe oraz łamane: dolomitowe, granitowe oraz bazaltowe;
- Domieszki napowietrzające i upłynniające;
- Minimalna klasa wytrzymałości na ściskanie C35/45;
- Odporności betonu na działanie mrozu z udziałem soli odladzającej – FT2;
- Odporności betonu na działanie mrozu metodą zwykłą – F150;
- Maksymalna wartość $W/C=0,45$;
- Konsystencja mierzona opadem stożka 15–17 cm;
- Klasa ekspozycji od agresji wywołanej ścieraniem XM3;
- Klasa ekspozycji od agresji mrozowej XF3–XF4;
- Zawartość powietrza w mieszance betonowej jak dla klas XF3 i XF4 oraz z uwzględnieniem [3], od 5,5% do 7,5% (najniższa wartość napowietrzenia, dla której istnieje największe prawdopodobieństwo spełnienia warunku mrozoodporności F150 lub F200 wynosi 5,5%).

Ponadto:

- Zastosowano kruszywo o znanej (zbadanej) odporności na ścieranie, wyrażonej parametrami Los Angeles oraz mikro-Deval;
- Dla określenia wpływu pewnych składników lub składu mieszanki betonowej na odporność betonu na ścieranie, niektóre mieszanki celowo odbiegają od powyższych pierwotnych założeń.

Parametry zastosowanych kruszyw obrazuje tabela 2.

Tabela 2. Cechy fizyczne kruszywa

Lp.	Właściwości użytkowe	Żwir frakcja 2/8	Żwir frakcja 8/16	Grys granitowy frakcja 2/8	Grys granitowy frakcja 8/16	Grys dolomitowy frakcja 2/8	Grys dolomitowy frakcja 8/16	Grys bazaltowy frakcja 2/8	Grys bazaltowy frakcja 8/16
1	Nasiąkliwość (PN-EN 1097-6)	WA ₂₄ 2	WA ₂₄ 2	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1
2	Kategoria zawartości pyłów (PN-EN 933-1)	f _{1,5}	f _{1,5}	f _{1,5}	f _{1,5}	f _{1,5}	f _{1,5}	f _{1,5}	f _{1,5}
3	Kategoria mrozoodporności (PN-EN 1367-1)	F ₁	F ₁	F ₁	F ₁	F ₁	F ₁	F ₁	F ₁
4	Odporność na ścieranie mikro-Deval (PN-EN 1097-1)	M _{DE} 15	M _{DE} 15	M _{DE} 20	M _{DE} 20	M _{DE} 10	M _{DE} 10	M _{DE} 10	M _{DE} 10
5	Odporność na rozdrabnianie Los Angeles (PN-EN 1097-2)	LA ₃₅	LA ₃₅	LA ₃₀	LA ₃₀	LA ₂₅	LA ₂₅	LA ₁₅	LA ₁₅

Dokonano sprawdzenia podstawowych cech mieszanki betonowej, odporności na ścieranie betonu po normowym czasie pielęgnacji, a także podstawowych cech stwardniałego betonu stwardniałego określających jego trwałość (w tym z premedytacją uwzględniono parametr nasiąkliwości). Opis, nazewnictwo i podstawowy układ materiałowy badanych receptur obrazuje Tablica 3.

Tablica 3. Charakterystyka badanych mieszanek betonowych

Identyfikacja mieszanek	Rodzaj użytego spoiwa	Rodzaj użytego kruszywa	Wskaźnik W/C	Parametry mieszanki betonowej	
				Konsystencja - opad stożka [cm]	Zawartość powietrza - metoda ciśnieniowa [%]
Z-01	CEM I 42,5 N SR3/NA	grys granitowy	≤ 0,45	17	5,6
Z-02	CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA	grys granitowy	≤ 0,45	17	6,0
Z-03	CEM I 42,5 N SR3/NA	grys granitowy	≤ 0,50	17	5,7
Z-04	CEM I 42,5 N SR3/NA	grys granitowy	≤ 0,45	16	3,3
Z-05	CEM I 42,5 N SR3/NA	grys granitowy		17	8,2
Z-06	CEM I 42,5 N SR3/NA + popiół lotny kat. A	grys granitowy	≤ 0,45	15	6,7

Tabela 3. Cd. Charakterystyka badanych mieszanek betonowych

Identyfikacja mieszanek	Rodzaj użytego spoiwa	Rodzaj użytego kruszywa	Wskaźnik W/C	Parametry mieszanki betonowej	
				Konsystencja - opad stożka [cm]	Zawartość powietrza - metoda ciśnieniowa [%]
Z-07	CEM I 42,5 N SR3/NA + mikrokrzemionka	grys granitowy	$\leq 0,45$	16	6,5
Z-07/a	CEM I 42,5 N SR3/NA + mikrokrzemionka	grys granitowy	$\leq 0,45$	16	6,5
Z-07/b	CEM I 42,5 N SR3/NA + mikrokrzemionka	grys granitowy	$\leq 0,45$	16	6,5
Z-07/c	CEM I 42,5 N SR3/NA + mikrokrzemionka	grys granitowy	$\leq 0,45$	16	6,5
Z-08	CEM I 42,5 N SR3/NA	żwir	$\leq 0,45$	15	7,0
Z-09	CEM I 42,5 N SR3/NA	grys bazaltowy	$\leq 0,45$	16	6,0
Z-10	CEM I 42,5 N SR3/NA	grys dolomitowy	$\leq 0,45$	16	5,7
Z-11	CEM III/A 42,5 N LH/HSR/NA	grys dolomitowy	$\leq 0,45$	16	5,8
Z-12	CEM I 42,5 N SR3/NA + popiół lotny kat. A	grys dolomitowy	$\leq 0,45$	16	6,1
Z-13	CEM I 42,5 N SR3/NA + mikrokrzemionka	grys dolomitowy	$\leq 0,45$	15	6,8
Z-14	CEM I 42,5 N SR3/NA	grys granitowy	$\leq 0,50$	17	3,2

Wszystkie próbki do badań pielęgnowane były zgodnie z wymaganiami norm badawczych, z wyłączeniem:

- Z-07 – pielęgnowanie w $T=20^{\circ}\text{C}$ oraz wilgotności=100%
- Z-07/a – pielęgnowanie w $T=20^{\circ}\text{C}$ oraz wilgotności=55%
- Z-07/b – impregnacja (preparat na bazie żywicy akrylowej)
- Z-07/c – impregnacja (preparat na bazie krzemianów sodowych), celem określenia wpływu pielęgnowania na odporność betonu na ścieranie.

W zakresie badania betonów konstrukcyjnych zaliczanych do klasy ekspozycji XM3 można stosować metody badań opisane w normie PN-EN 14157 (norma zastępująca wcześniej obowiązującą i stosowaną PN-84/B-04111).

Do oceny odporności na ścieranie zaprojektowanych mieszanek betonowych, autorzy wybrali najbardziej znaną i najczęściej stosowaną w Polsce metodę badania odporności na ścieranie betonów przy użyciu tarczy Böhmego (metoda naśladująca zużycie ścierne

betonu w układzie ciało stałe – ciało stałe) oraz dla porównania metodę szerokiej tarczy (przez PN-EN 14157 określana jako wzorcowa). Sprawdzano również czy zaistnieje korelacja pomiędzy wynikami uzyskanymi przy użyciu obu metod badawczych. W metodach tych miarą uszkodzenia betonu jest zmniejszenie masy próbki i/lub jej wymiarów.

Norma PN-EN 1340 podaje następujące kryteria oceny w przypadku tarczy Böhmego (załącznik H) oraz szerokiej tarczy (załącznik G).

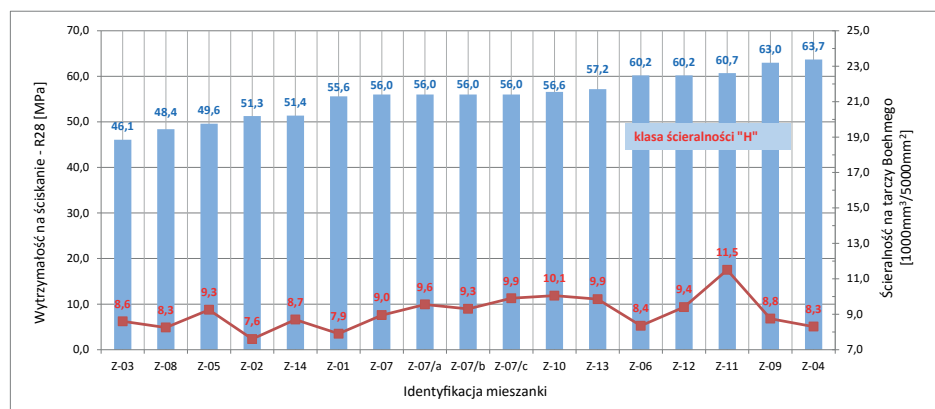
Tabela 4. Klasy odporności na ścieranie zgodnie z PN-EN 1340.

Klasa	Oznaczenie	Wymagania	
		Pomiar wykonany zgodnie z metodą badania opisaną w załączniku G	Pomiar wykonany zgodnie z metodą alternatywną opisaną w załączniku H
1	F	nie określa się	nie określa się
3	H	$\leq 23 \text{ mm}$	$\leq 20\,000 \text{ mm}^3/5\,000 \text{ mm}^2$
4	I	$\leq 20 \text{ mm}$	$\leq 18\,000 \text{ mm}^3/5\,000 \text{ mm}^2$

4. Analiza uzyskanych wyników badań

Wszystkie badane mieszanki betonowe spełniły zakładane wymagania zarówno w aspekcie wartości mierzalnych, jak i oceny makroskopowej.

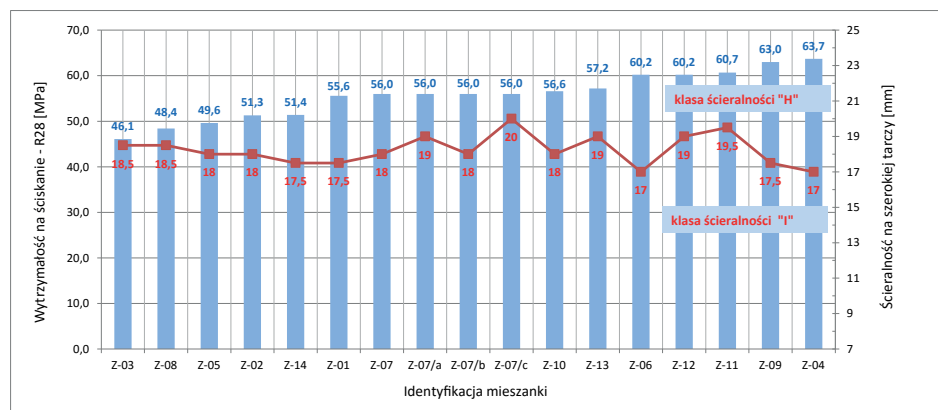
Poniżej zestawiono, w ujęciu tabelarycznym (tabela 5.) oraz na wykresach (rys. 1 i 2.) uzyskane wyniki odporności na ścieranie w korelacji do wytrzymałości na ściskanie. Na kolejnym wykresie (rys. 3.) zestawiono wyniki odporności na ścieranie uzyskane za pomocą obu metod badawczych.



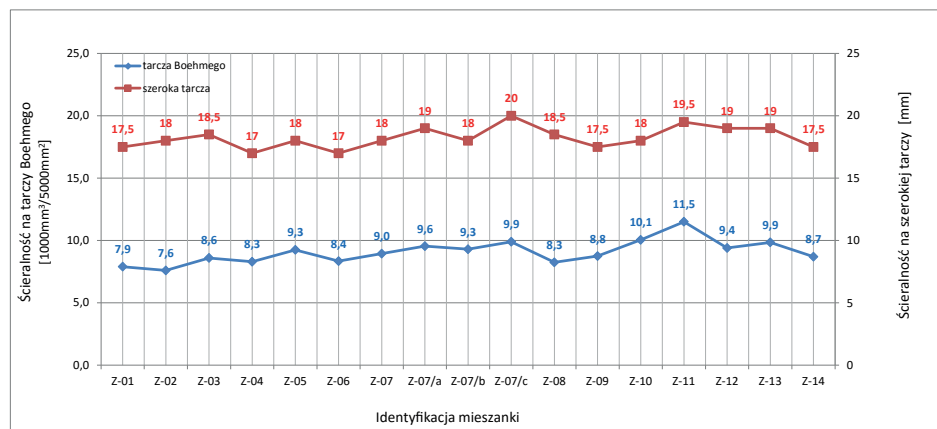
Rys. 1. Wykres przedstawiający zależność między wytrzymałością na ściskanie, a ścieralnością na tarczy Böhmego

Tabela 5. Zestawienie wyników badania odporności na ścieranie.

Identyfikacja mieszanek	Ścieralność metodą tarczy Boehmego [1000mm ³ /5000mm ²]	Klasa odporności na ścieranie (tarcza Boehmego)	Ścieralność metodą szerokiej tarczy [mm]	Klasa odporności na ścieranie (szeroka tarcza)	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]
Z-01	7,9	I	17,5	I	55,6
Z-02	7,6	I	18,0	I	51,3
Z-03	8,6	I	18,5	I	46,1
Z-04	8,3	I	17,0	I	63,7
Z-05	9,3	I	18,0	I	49,6
Z-06	8,4	I	17,0	I	60,2
Z-07	9,0	I	18,0	I	56,0
Z-07/a	9,6	I	19,0	I	56,0
Z-07/b	9,3	I	18,0	I	56,0
Z-07/c	9,9	I	20,0	I	56,0
Z-08	8,3	I	18,5	I	48,4
Z-09	8,8	I	17,5	I	63,0
Z-10	10,1	I	18,0	I	56,6
Z-11	11,5	I	19,5	I	60,7
Z-12	9,4	I	19,0	I	60,2
Z-13	9,9	I	19,0	I	57,2
Z-14	8,7	I	17,5	I	51,4



Rys. 2. Wykres przedstawiający zależność między wytrzymałością na ściskanie, a ścieralnością na szerokiej tarczy

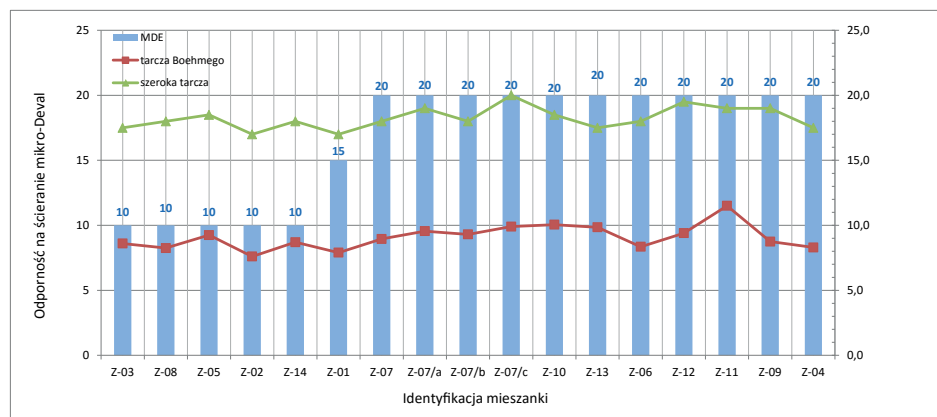


Rys. 3. Porównanie wyników ścieralności betonu dwoma wybranymi metodami

Analiza uzyskanych wyników badań laboratoryjnych stwardniałego betonu (po 28 dniach normowej pielęgnacji) pozwala na wysunięcie następujących wniosków:

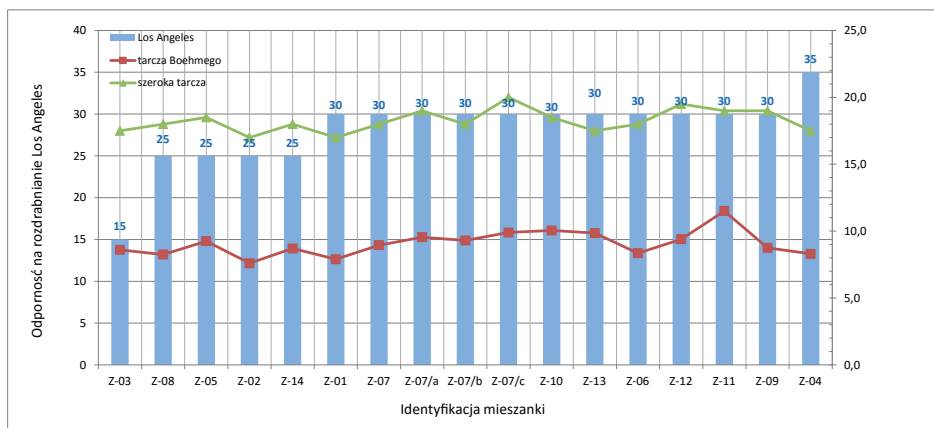
- Większość sprawdzanych receptur betonów spełniła wymagania klasy wytrzymałości na ściskanie C35/45, natomiast wszystkie spełniły wymagania klasy C30/37.
- Wszystkie sprawdzane receptury, w obu metodach badania ścieralności (wzorcowej – szerokiej tarczy oraz tarczy Böhmego) uzyskały najwyższą klasę odporności na ścieranie. Dodatkowo warto zauważyć, że wykresy obrazujące wyniki odporności na ścieranie dla obu metod są do siebie symetryczne.

Autorzy próbowali wykazać wpływ parametrów charakteryzujących ścieralność kruszywa (mikro-Deval oraz Los Angeles) na odporność betonu na agresję wywołaną ścieraniem, co przedstawiono na rysunkach 4 i 5.



Rys. 4. Porównanie wartości parametru mikro-Deval kruszywa do uzyskanych wyników ścieralności betonu dwoma wybranymi metodami

Z analizy powyższych wykresów wynika, iż trudno jest wykazać istnienie korelacji pomiędzy parametrami mechanicznymi kruszywa opisującymi jego ścieralność, a odpornością betonu na ścieranie, wykonanego na tym kruszywie.



Rys. 5. Porównanie wartości parametru Los Angeles kruszywa do uzyskanych wyników ścieralności betonu dwoma wybranymi metodami

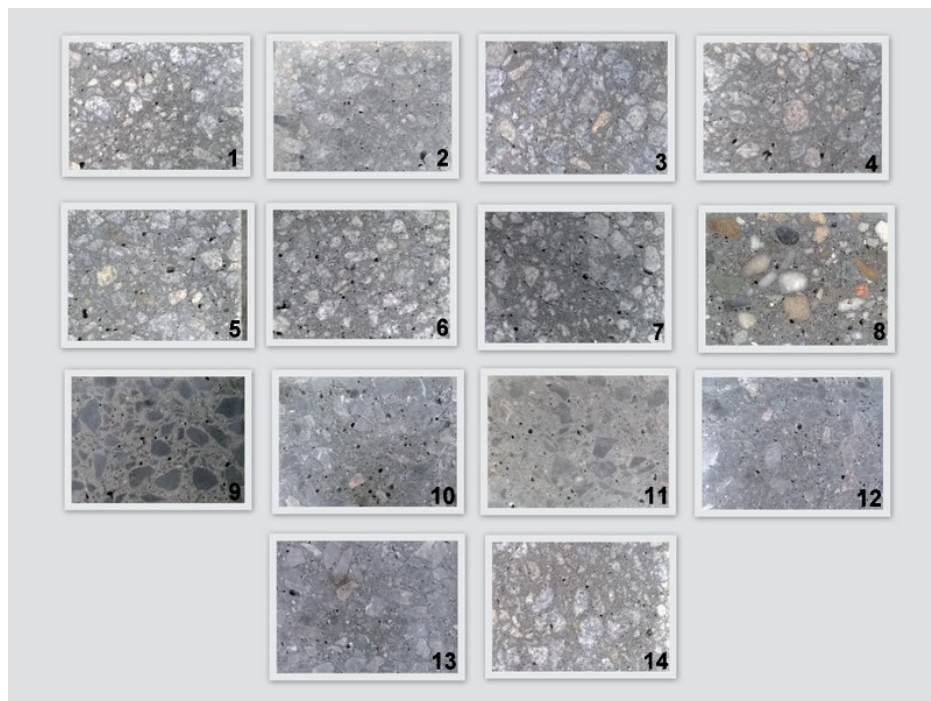
Wyniki badań rozpatrywanych mieszanek betonowych w aspekcie odporności na zamrażanie/rozmarzanie metodą zwykłą, oraz z udziałem soli odladzających, w zestawieniu z nasiąkliwością, przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Parametry trwałościowe betonu stwardniałego

Identyfikacja mieszanek	Nasiąkliwość betonu [%]	Badania mrozoodporności betonu F150 (metodą zwykłą wg PN-88/B-06250)	Badania odporności betonu na powierzchniowe złuszczenie w warunkach cyklicznego zamrażania i odmrażania w obecności soli odladzających (kryteria oceny wg PN-EN 13877-2)
Z-01	5,2	+	FT2
Z-02	5,3	+	FT1
Z-03	6,3	+	FT1
Z-04	5,3	-	FT0
Z-05	5,1	+	FT2
Z-06	5,2	+	FT2
Z-07	5,3	+	FT2
Z-08	5,1	+	FT2
Z-09	5,2	+	FT2
Z-10	4,9	+	FT2
Z-11	4,9	+	FT2
Z-12	4,7	+	FT2
Z-13	4,7	+	FT2
Z-14	5,9	-	FT1

Wszystkie mieszanki napowietrzone do odpowiedniego poziomu wartości (min. 5,5%) spełniły parametr mrozoodporności F150, a także parametr mrozoodporności w obecności soli odladzających FT1/FT2. Mieszanki nienapowietrzane powyższych kryteriów nie spełniły.

Poniżej przedstawiono zdjęcia przełamów próbek przeznaczonych do badań ścieralności.



Fot. 1. Powierzchnie przekroju próbek poddanych agresji wywołanej ścieraniem

5. Wnioski

Bazując na uzyskanych wynikach badań ze zrealizowanego programu badawczego można wysunąć następujące wnioski:

- Badania pokazują, że warunkiem koniecznym uzyskania betonu o podwyższonej odporności na ścieranie jest odpowiedni dobór jakościowy i ilościowy składników. We wszystkich badanych przypadkach można zauważyć, iż beton zaprojektowany zgodnie ze wstępnymi założeniami, niezależnie od zastosowanych materiałów, spełnił wszystkie zakładane specyfikacjami wymagania (pomijając parametr nasiąkliwości). Należy jednak pamiętać, że nie jest to warunek wystarczający, gdyż równie ważne jest prawidłowe wbudowanie i pielęgnacja betonu w konstrukcji.

- Odstąpienie od założenia napowietrzenia mieszanki betonowej do odpowiedniego poziomu (celem sprawdzenia wpływu tego parametru na ścieralność) spowodowało nie uzyskanie przez beton odporności na działanie mrozu.
- Nie potwierdzono istnienia znaczącego wpływu wytrzymałości na ściskanie na uzyskane wyniki odporności betonu na ścieranie. Wniosek ten należy jednak ograniczyć tylko do dwóch zastosowanych metod badawczych. Możliwe, że aby korelacja ta mogła zostać zaobserwowana, badane receptury powinny charakteryzować się znacznie szerszym spektrum wytrzymałości.
- Wszystkie sprawdzane receptury, w obu metodach badania ścieralności (wzorcowej – szerokiej tarczy oraz tarczy Böhme), spełniły zakładane wymagania tj. uzyskały najwyższą klasę odporności na ścieranie.
- Wyniki odporności na ścieranie metodami szerokiej tarczy oraz tarczy Böhme nie są wystarczająco zróżnicowane (dlatego z pewnością nie mogą być stosowane do wszystkich typów konstrukcji). Z uwagi na dość zbliżone wartości wytrzymałości, niewielkie różnice wskaźnika w/c , a także stały wskaźnik uziarnienia (nawet pomimo zastosowania różnych typów kruszyw), uzyskano wyniki mało różnorodne dla jednoznacznej oceny wpływu poszczególnych składników mieszanki betonowej na uzyskany wynik pomiaru ścieralności.
- Z uwagi na powyższe, trudno również potwierdzić istnienie zależności między odpornością betonu na ścieranie, a ścieralnością kruszywa oznaczoną metodami Los Angeles oraz Micro-Deval.
- Warto zauważyć, że pomimo uzyskania przez większość serii sprawdzanych receptur wartości nasiąkliwości $> 5\%$ wag., nie miało to istotnego wpływu na trwałość mrozową betonu, ponieważ wszystkie pozostałe badane parametry zostały spełnione. Wniosek ten poddaje w wątpliwość (nie po raz pierwszy, gdyż wypowiadali się już na ten temat autorzy w licznych publikacjach) istotność tego parametru i jego wpływ dla określania trwałości betonów konstrukcyjnych.
- Brakuje normowych zapisów precyzujących wymagania dla kruszyw (i określających metody badawcze), które powinny być zastosowane przy projektowaniu betonów odpornych na ścieranie.
- Należy mieć świadomość, że dla właściwego doboru materiałów i technologii wykonania betonu odpornego na ścieranie konieczna jest prawidłowa interpretacja procesów zużycia ściernego. Ocena odporności betonu na ścieranie w oparciu tylko i wyłącznie o wyniki badań laboratoryjnych mogłaby być niepełna. Metodę badania odporności na ścieranie i kryteria oceny powinno się dobierać uwzględniając rzeczywiste mechanizmy ściernego i wielkość obciążenia betonu w konstrukcji.

Literatura

- [1] Horszczaruk E., Model zużycia abrazyjnego betonów cementowych, Prace Nauk. PS, nr 599, Wyd. PS, Szczecin 2008
- [2] Horszczaruk E., Odporność betonu na ścieranie w aspekcie wymogów normy PN-EN 206-1, Budownictwo, Technologie, Architektura, nr 1/2007 s. 63–65
- [3] Kołacz Z., Górak P., Szabat Ł. Napowietrzenie mieszanki betonowej, jako parametr determinujący trwałość betonu wyrażony stopniem mrozoodporności, Budownictwo, Technologie, Architektura, nr 1/2016 s. 68–72
- [4] PN-EN 206:2013 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [5] PN-EN 206-1:2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność

- [6] PN-B-06265:2004 Krajowe uzupełnienia PN-EN 206-1:2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [7] PN-88/B-06250 Beton zwykły
- [8] A.M. Neville, Właściwości betonu, Polski Cement, 2012
- [9] OST M-13.01.00 Beton konstrukcyjny w obiekcie mostowym GDDKiA, 2011
- [10] PKN-CEN/TS 12390-9 – Testing hardened concrete – Part 9 Freeze-thaw resistance – Scaling
- [11] PN-EN 14157:2005 Kamień naturalny. Oznaczenie odporności na ścieranie
- [12] PN-EN 1340 Krawężniki betonowe. Wymagania i metody badań
- [13] Horszczaruk E., Wpływ metodyki badań na ocenę odporności betonu na ścieranie, „Dni Betonu – Tradycja i Nowoczesność”, Polski Cement, Szczyrk 2002, s. 201–212
- [14] PN-B-06256/1983. Beton odporny na ścieranie
- [15] PN-EN 12620 Kruszywa do betonu
- [16] PN-84/B-04111 Materiały kamienne. Oznaczanie ścieralności na tarczy Boehmego