

TECHNOLOGIA OCHRONY MATERIAŁOWO-STRUKTURALNEJ BETONÓW CEMENTOWYCH W ŚRODOWISKU AGRESYWNYM

Krzysztof FALKOWSKI*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

Streszczenie: O trwałości konstrukcji z betonów cementowych wysokich wytrzymałości w określonych warunkach użytkowania (klasach ekspozycji) decyduje przede wszystkim odporność betonu na agresywne oddziaływania środowiskowe. Przeprowadzone przez autora badania potwierdzają, iż modyfikacja mikrostruktury betonu przez zastosowanie domieszki pasty asfaltowej, z wykorzystaniem specjalnych metod zagęszczania mieszanki betonowej, stanowi skuteczną ochronę materiałowo-strukturalną betonów cementowych przy jednoczesnym zmniejszeniu zawartości pasty bitumicznej w stosunku do masy cementu. Uzyskany w badanych betonach układ struktury porowatości pozwala osiągnąć mniejszą nasiąkliwość i wyższą mrozoodporność oraz sprawia, że beton staje się praktycznie nieprzepuszczalny dla jonów chlorkowych.

Słowa kluczowe: beton, pasta bitumiczna, wibrowanie z wibroprasowaniem, odporność korozyjna betonu, porowatość, wytrzymałość na ściskanie.

1. Wprowadzenie

Wpływ oddziaływań środowiskowych na postępującą destrukcję betonu niewątpliwie wymaga ciągłych poszukiwań i udoskonalania zbadanych już metod ochrony konstrukcji betonowych. Zdaniem autora najbardziej pożądana jest ochrona materiałowo-strukturalna polegająca na zapewnieniu trwałości betonu, w określonych warunkach użytkowania, poprzez dokonanie właściwego doboru składników oraz ukształtowanie odpowiedniej mikrostruktury betonu w wyniku reakcji chemicznych i procesów fizyko-chemicznych zachodzących pomiędzy składnikami w procesie wytwarzania (Falkowski, 2011). W przedstawionym eksperymencie dokonano modyfikacji mikrostruktury betonu przez dodanie pasty bitumicznej, a strukturę betonu formowano z wykorzystaniem szczególnie skutecznych metod zagęszczania mieszanki betonowej, takich jak: wibroprasowanie i wibrowanie z wibroprasowaniem, nazwane również w literaturze wibro-wibroprasowaniem (Bołtryk i in., 2010).

2. Cel badań

Celem opisywanych badań stosowanych jest uzyskanie nowego materiału konstrukcyjnego o podwyższonej odporności w środowiskach silnie agresywnych chemicznie. Dotychczasowe wyniki badań przeprowa-

dzonych na betonach z dodatkiem pasty bitumicznej w stosunku do masy cementu 9,5-13% (Kosior-Kazberuk, 2002) oraz 5-7% (Wieczorek i in., 2004; Wieczorek 2006; Wiszniewski, 2007) wykazują, że przy zawartościach pasty bitumicznej powyżej 5% faktycznie następuje znacząca poprawa niektórych właściwości betonu, na przykład mrozoodporności betonu w połączeniu z odpornością na oddziaływanie soli odladzających, co ma pierwszorzędne znaczenie praktyczne przy produkcji krawężników drogowych, kostki brukowej, prefabrykatów do zabezpieczania skarp i innych wyrobów drobnowymiarowych. Jednakże zastosowanie takiej ilości pasty bitumicznej w stosunku do cementu prowadzi do znacznego obniżenia właściwości mechanicznych, a w szczególności wytrzymałości na ściskanie betonu. W realizowanej pracy postawiono za cel wykazanie, że dzięki zastosowaniu skutecznej metody wibroprasowania lub wibrowania z wibroprasowaniem można uzyskać betony o korzystnej strukturze porowatości i podwyższonej odporności na oddziaływanie różnych agresywnych środowisk korozyjnych, przy jednoczesnym zmniejszeniu ilości pasty bitumicznej poniżej 5% w stosunku do masy cementu. Takie podejście w rozwiązywaniu postawionego celu wymagało budowy stanowiska badawczego oraz zastosowania planowania doświadczeń eksperymentalnych, w wyniku których można było optymalizować, zarówno ilość pasty bitumicznej, jak i parametry oddziaływań zewnętrznych w procesie zagęszczania mieszanek betonowych.

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: krzysztoffalkowski1@wp.pl

3. Przebieg eksperymentu

Eksperyment podzielono na trzy etapy. W pierwszym etapie badań zaplanowano doświadczenie trójczynnikowe i dokonano statystycznej oceny istotności wpływu badanych czynników na właściwości fizyczno-mechaniczne betonu. Czynnikiem zmiennymi w badaniach były: czynnik A – zawartość pasty bitumicznej w stosunku do cementu na trzech poziomach $A_1 = 0\%$, $A_2 = 5\%$, $A_3 = 10\%$, czynnik B – naprężenia ściskające pod tłokiem na trzech poziomach $B_1 = 0,00$ MPa, $B_2 = 0,05$ MPa, $B_3 = 0,10$ MPa oraz czynnik C – czas wibrowania (wibroprasowania) $C_1 = 60$ s, $C_2 = 90$ s, $C_3 = 120$ s. Optymalizowanymi cechami w eksperymencie były wytrzymałość na ściskanie, gęstość pozorna oraz nasiąkliwość betonu po 28 dniach twardnienia (dojrzewania) w warunkach laboratoryjnych. W badaniu wytrzymałości próbek betonowych dla każdej kombinacji na trzech poziomach czynników zaplanowano po $n = 5$ powtórzeń i uzyskano $q^2n = 3^2 \cdot 5 = 45$ jednostek doświadczalnych (próbek). Natomiast w badaniu nasiąkliwości i gęstości pozornej próbek betonowych dla wszystkich kombinacji doświadczalnych $A_i B_j C_k$ zaplanowano trzy powtórzenia i stąd liczba zbadanych próbek wynosiła $3 \cdot 3 = 27$. Przygotowanie i badanie wszystkich próbek betonowych wykonano w sposób całkowicie losowy, aby wykluczyć błąd systematyczny. Formowanie próbek o wymiarach $150 \times 150 \times 150$ mm odbywało się na stanowisku wibroprasowania z regulowaną siłą docisku wywołującą naprężenia ściskające w mieszance betonowej w zakresie od 0 do 0,2 MPa (0-450 kg).

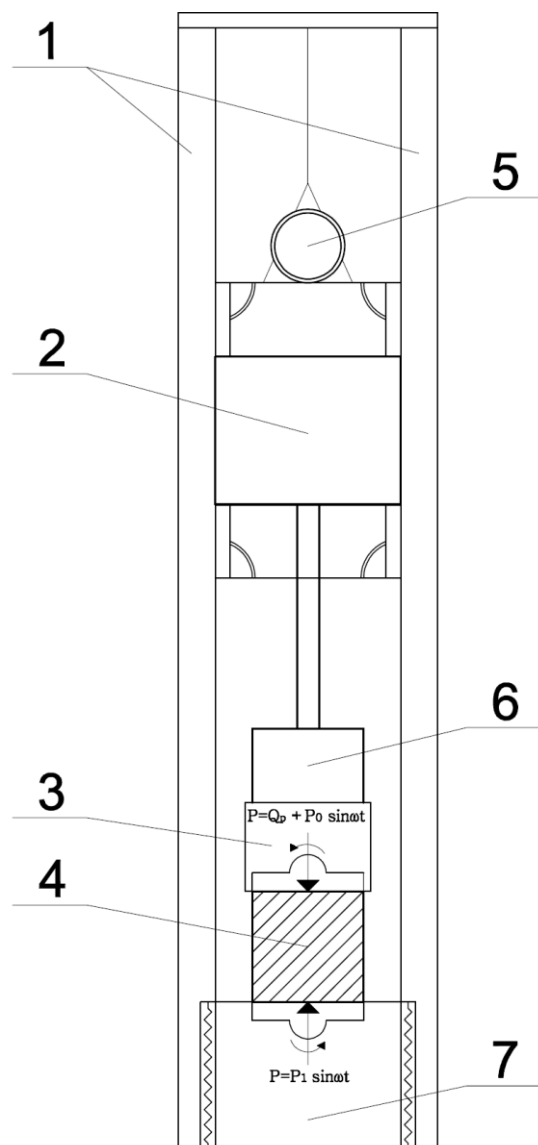
Drugi etap eksperymentu obejmował badania optymalizacyjne w zakresie technologii formowania betonu z uwzględnieniem siły wymuszającej wibrację jako dodatkowego czynnika. Na podstawie wyników badań przeprowadzonych w pierwszym etapie eksperymentu ustalono, że w przypadku zastosowania wibrowania z wibroprasowaniem z optymalną siłą wymuszającą (dodatkowy czynnik), istnieje możliwość zmniejszenia zawartości pasty bitumicznej do 2-4% w stosunku do masy cementu z równoczesnym zapewnieniem uzyskania szczelnej struktury betonu bez znacznego zmniejszenia jego mechanicznych właściwości. Dla sprawdzenia tego założenia zaplanowano i zrealizowano doświadczenie czteroczynnikowe z następującymi zmiennymi: X_1 – zawartość pasty bitumicznej w stosunku do masy cementu ($2 \leq X_1 \leq 4\%$), X_2 – siła wymuszająca ($0,8 \leq X_2 \leq 4,0$ kN), X_3 – naprężenie ściskające ($0,05 \leq X_3 \leq 0,1$ MPa), X_4 – czas wibrowania ($30 \leq X_4 \leq 60$ s) i zbadano ich wpływ na wytrzymałość oraz nasiąkliwość betonu. Mieszankę betonową zagęszczano w formach o wymiarach $150 \times 150 \times 150$ mm i po wibrowaniu z wibroprasowaniem próbki przechowywano przez 24 h w formach przykrytych folią a następnie przez kolejne 27 dni w komorze nad lustrem wody. Z każdej z 8 serii wykonano po 8 kostek, w sumie przygotowano 64 próbki betonowe. W celu optymalizacji technologii formowania po 28 dniach dojrzewania betonów w sposób losowy wybierano 5 próbek do badania

wytrzymałości na ściskanie i 3 próbki do badania nasiąkliwości wagowej.

W trzecim etapie przeprowadzono badania specjalistyczne odporności betonu modyfikowanego pastą bitumiczną na agresywne oddziaływania środowiskowe, a mianowicie: badanie mrozoodporności metodą zwykłą, badanie mrozoodporności metodą złuszczeń powierzchniowych, badania przenikalności chlorków, badanie odporności na oddziaływanie CO_2 , badania korozyjne w roztworach substancji agresywnych zmiennych cyklicznie (tak zwany „test przemienny”), badania strukturalne z wykorzystaniem porozymetrii rtęciowej, dyfraktometrii rentgenowskiej, termicznej analizy różnicowej oraz mikroskopii skaningowej z mikroanalizą rentgenowską. Badania prowadzono przyjmując zoptymalizowane parametry procesu wibrowania z wibroprasowaniem, to jest siłą wymuszającą równą 4 kN, naprężenia ściskające 0,1 MPa i czas wibrowania 30 s, na trzech składach betonów, które oznaczono: B0 – beton bez domieszki pasty bitumicznej, B2 – beton z 2% zawartością pasty bitumicznej w stosunku do cementu, B4 – beton z 4% zawartością pasty bitumicznej w stosunku do cementu. Mieszankę betonową zagęszczono w formach o wymiarach $150 \times 150 \times 150$ mm. Po wibrowaniu z wibroprasowaniem próbki przechowywano przez 24 h w formach przykrytych folią, a następnie przez kolejne 27 dni, w komorze nad lustrem wody. Z każdej receptury wykonano po kilkanaście próbek betonowych, które wykorzystano do dalszych badań. Wybrane właściwości badano na próbkach w kształcie prostopadłościanów o wymiarach $100 \times 100 \times 50$ mm, $75 \times 75 \times 150$ mm i $40 \times 40 \times 40$ mm oraz walców o średnicy 93 mm wyciętych z podstawowych próbek sześciennych $150 \times 150 \times 150$ mm.

4. Stanowisko badawcze

Na podstawie analizy wyników badań właściwości fizyczno-mechanicznych betonu na stanowisku wibroprasowania przeprowadzonych w pierwszym etapie eksperymentu stwierdzono, że dalsze badania optymalizacyjne w zakresie technologii formowania powinny być realizowane z wykorzystaniem techniki wibrowania z wibroprasowaniem, jako bardziej skutecznej metody zagęszczania mieszanek betonowych modyfikowanych pastą bitumiczną. W tym celu rozbudowano stanowisko laboratoryjne. Schemat ideowy stanowiska przedstawiono na rysunku 1. Do ruchomego tłoka zamocowano dodatkowo górny wibrator przyczepny z regulowaną siłą wymuszającą P_o w sześciu zakresach. Konstrukcja wibratora pozwala regulować siłę wymuszającą, odpowiednio: 0,8 kN; 2,50 kN; 3,15 kN; 4,00 kN i 6,30 kN. Ponadto można regulować siłę docisku tłoka Q_p praktycznie w dowolnym przedziale naprężeń.



Rys. 1. Schemat ideowy stanowiska do wibrowania z wibroprasowaniem: Q_p – siła docisku, P_o – siła wymuszająca drgania górnego wibratora, P_1 – siła wymuszająca drgania dolnego wibratora; 1 – prowadnice, 2 – obciążenie inercyjne, 3 – nadstawka, 4 – forma, 5 – wibrator górny z regulowaną siłą wymuszającą, 6 – tłok dociskowy, 7 – wibrator dolny

5. Zastosowane materiały i składy badanych betonów

Do wykonania próbek użyto cementu portlandzkiego o wysokiej odporności na siarczany i małej zawartości alkaliów CEM I 42,5 N-H-HSR/NA z Cementowni Rejowiec. Jako kruszywo zastosowano piasek normowy frakcji 0-2 mm oraz kruszywo łamane bazaltowe o uziarnieniu od 2 do 16 mm. Punkt piaskowy mieszanki kruszyw wynosił 41,95%. Receptury mieszanek zostały sporządzone przy stałej zawartości cementu równej 500 kg/m^3 , stałym współczynniku $w/c = 0,3$ oraz zmiennej ilości pasty bitumicznej w stosunku do masy cementu. Pasta bitumiczna jest upłynnionym roztworem asfaltu przemysłowego w wysokowrzącym rozpuszczalniku organicznym (naftie technicznej z dodatkami) według patentu RP nr 136449. Pastę bitumiczną wprowadzano do zarubu jako mieszaninę z cementem. Przy ustalaniu składu mieszanki betonowej założono konsystencję wilgotną jako optymalną przy zastosowaniu specjalnych technologii, do których zalicza się wibroprasowanie i wibrowanie z wibroprasowaniem. Składy betonów na 1 m^3 przedstawiono w tabelach 1 i 2.

6. Wyniki badań i ich analiza

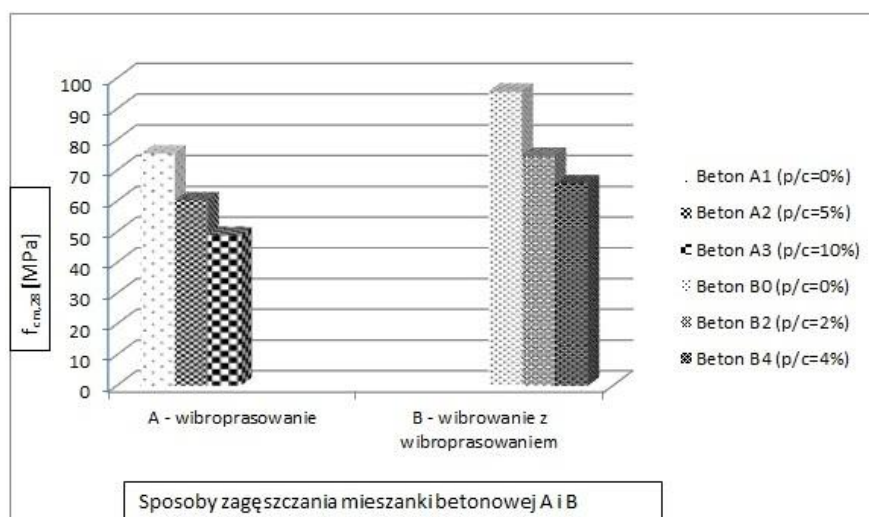
Wykorzystanie techniki wibrowania z wibroprasowaniem przy formowaniu próbek pozwoliło na uzyskanie betonów o wysokich wytrzymałościach na ściskanie (rys. 2). Zarówno betony bez pasty bitumicznej (B0), jak i modyfikowane pastą bitumiczną (B2 i B4), charakteryzowały się wyraźnym przyrostem wytrzymałości nawet o 20% w stosunku do wyników uzyskanych przy samym wibroprasowaniu (A1, A2, A3). Przy $p/c = 0,02$ betony (B2) osiągały wytrzymałość na ściskanie ponad 70 MPa, zaś przy $p/c = 0,04$ wytrzymałość na ściskanie (B4) przekraczała 60 MPa. Jeszcze wyższe wytrzymałości uzyskiwały betony bez pasty (B0-wibro-wibroprasowany) ponad 90 MPa i (A1 – wibroprasowany) średnia 74,6 MPa (rys. 3).

Tab. 1. Składy mieszanek betonowych zastosowanych w I etapie eksperymentu

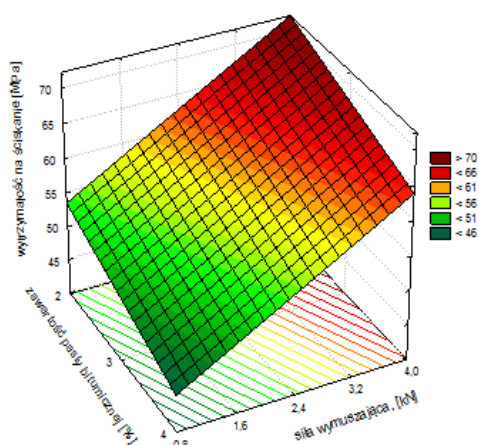
Skład	Ilość poszczególnych składników, w kg/m^3						
	Cement	Pasta bitumiczna	Piasek normowy	Grys			Woda
				2-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	
A1	500	-	824,4	341,5	683,0	113,8	150
A2	500	25	807,3	334,4	668,9	111,5	150
A3	500	50	789,6	327,1	654,2	109,0	150

Tab. 2. Składy mieszanek betonowych zastosowanych w II i III etapie eksperymentu

Skład	Ilość składników, w kg/m^3						
	Cement	Pasta bitumiczna	Piasek normowy	Grys			Woda
				2-4 mm	4-8 mm	8-16 mm	
B0	500	-	824	341	683	114	150
B2	500	10	818	329	678	113	150
B4	500	20	811	336	672	112	150



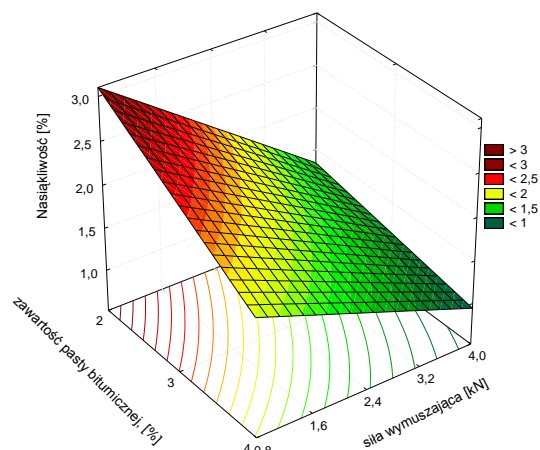
Rys. 2. Wytrzymałość na ściskanie betonu po 28 dniach dojrzewania $f_{cm,28}$ [MPa] w zależności od zawartości pasty bitumicznej p/c [%] w stosunku do masy cementu i sposobu zagęszczania: przez wibroprasowanie (A) i przez wibrowanie z wibroprasowaniem (B)



Rys. 3. Wytrzymałość na ściskanie próbek betonowych modyfikowanych pastą w zależności od zawartości pasty bitumicznej (X_1) i siły wymuszającej drgania górnego wibratora (X_2)

Wyniki badań nasiąkliwości potwierdzają istotny wpływ domieszki pasty bitumicznej i wykorzystanej techniki zagęszczania mieszanki betonowej. Przy optymalnych parametrach wibrowania z wibroprasowaniem uzyskano niską nasiąkliwość próbek betonowych, na przykład dla B2 ($p/c = 0,02$) średnia nasiąkliwość wynosiła 1,25% zaś dla B4 ($p/c = 0,04$)

tylko 0,94%. Natomiast przy formowaniu próbek poprzez samo wibroprasowanie odnotowano wyższe wartości, na przykład średnia nasiąkliwość A2 ($p/c = 0,05$) wyniosła 1,29%. Analiza wyników nasiąkliwości wskazuje na bardzo korzystny wpływ zarówno domieszki pasty bitumicznej jak i zoptymalizowanej metody formowania techniką wibrowania z wibroprasowaniem (rys. 4).

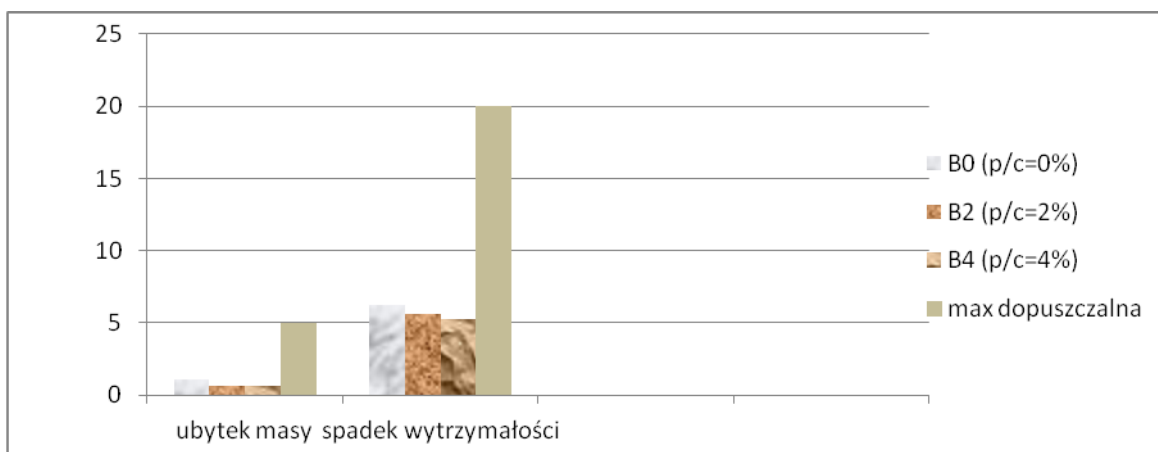


Rys. 5. Nasiąkliwość próbek betonowych modyfikowanych pastą w zależności od zawartości pasty bitumicznej (X_1) i siły wymuszającej drgania górnego wibratora (X_2)

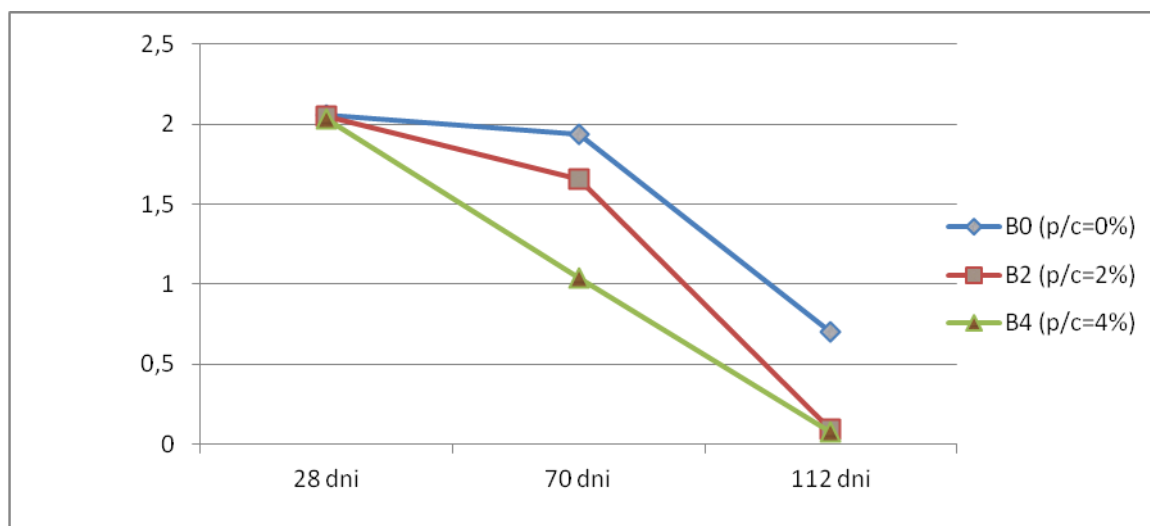
W badaniach mrozoodporności betonu metodą zwykłą po 150 cyklach zamrażania i rozmrażania nie stwierdzono znacznych ubytków masy, pęknięć ani złuszczeń. Beton bez pasty charakteryzował się 0,14% spadkiem masy i 6,2% spadkiem wytrzymałości na ściskanie, a betony z 2% i 4% zawartością pasty – 0,08% ubytkiem masy i odpowiednio 5,6% i 5,3% spadkiem wytrzymałości. Jak wynika z uzyskanych wartości wszystkie badane betony zagęszczane przez wibrowanie z wibroprasowaniem charakteryzuje odporność na 150 cykli zamrażania i rozmrażania w wodzie. Zarówno przy spadkach wytrzymałości, jak i ubytkach masy, lepsze rezultaty odporności mrozowej osiągnięto na betonach modyfikowanych pastą (rys. 5).

Wyniki badań mrozoodporności betonu z udziałem soli odladzających pozwalają na stwierdzenie, że wszystkie badane betony formowane w technice wibrowania z wibroprasowaniem (B0, B2, B4) charakteryzują się bardzo dobrą odpornością na zamrażanie i rozmrażanie z udziałem soli odladzających. Średnie masy złuszczeń po 28 cyklach w obecności 3% roztworu NaCl wynosiły odpowiednio:

0,33 kg/m², 0,92 kg/m², 0,34 kg/m² i nie przekroczyły dopuszczalnej wartości normowej wynoszącej 1,0 kg/m². W wyniku przeprowadzonych badań odporności betonu na wnikanie jonów chlorkowych stwierdzono, iż beton zagęszczany przez wibrowanie z wibroprasowaniem, prawidłowo zaprojektowany i po odpowiedniej pielęgnacji, jest bardzo mało przepuszczalny dla jonów chlorkowych. Natomiast wprowadzenie do mieszanki betonowej pasty asfaltowej pozwala uzyskać beton praktycznie nieprzepuszczalny dla jonów chlorkowych. Współczynnik przenikania chlorków przez badane betony D_{nssm} po 28 dniach dojrzewania jest nawet pięciokrotnie niższy niż betonów zagęszczanych przez wibrowanie. Oznacza to, że zastosowanie metody zagęszczania przez wibrowanie z wibroprasowaniem pozwala uzyskać betony o bardzo małej przepuszczalności jonów chlorkowych. W przypadku betonów, zawierających pastę asfaltową, pomiędzy 28 a 112 dniem dojrzewania wartość współczynnika obniżyła się nawet dwudziestokrotnie osiągając wartość $0,1 \times 10^{-12}$ m²/s, czyli uzyskano beton praktycznie nieprzepuszczalny dla jonów chlorkowych (rys. 6).



Rys. 5. Ubytek masy i spadek wytrzymałości betonów formowanych z wykorzystaniem techniki wibrowania z wibroprasowaniem po 150 cyklach zamrażania i rozmrażania w zależności od zawartości pasty asfaltowej



Rys. 6. Zmiany współczynnika przenikania jonów chlorkowych w zależności od zawartości pasty asfaltowej i wieku betonu

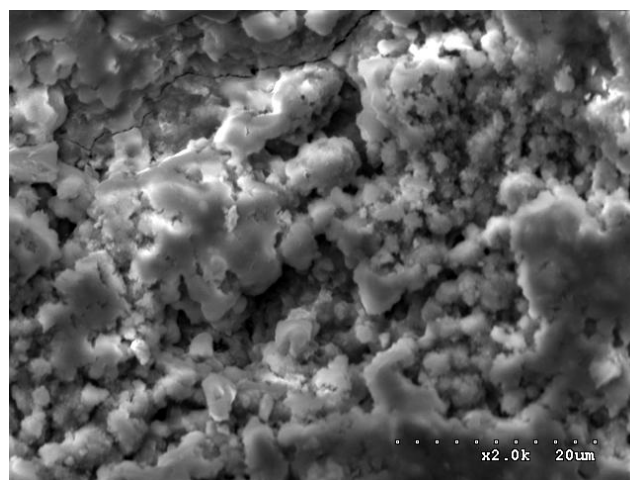
Wykonano także badania korozyjne w roztworach substancji agresywnych zmienianych cyklicznie (tak zwany „test przemienny”). Z obserwacji próbek betonu wibrowanego z wibroprasowaniem przechowywanych przez 3 miesiące w wodzie i środowiskach agresywnych wynika, że badane betony charakteryzują się zwiększoną odpornością na działanie silnie agresywnych środowisk. We wszystkich badanych przypadkach próbki zachowały swój kształt i wymiary niezależnie od roztworu korozyjnego, nie obserwowano destrukcji betonu, ani znacznego spadku wytrzymałości próbek betonu poddanych działaniu środowisk korozyjnych, w porównaniu do wytrzymałości próbek przechowywanych w wodzie. Próbki betonów z 2% zawartością pasty miały mniejszą wytrzymałość na ściskanie niż próbki przechowywane w środowisku porównawczym. Pomimo tego, wykazywały się stosunkowo dużym współczynnikiem odporności korozyjnej równym $OK = 0,93$. Natomiast próbki z 4% zawartością pasty charakteryzowały się większą wytrzymałością na ściskanie niż próbki przechowywane w środowisku wodnym ($OK = 1,20$), a próbki bez pasty bitumicznej wykazywały porównywalną wytrzymałość ($OK = 1,01$).

Na podstawie przeprowadzonych badań mikrostruktury przy zastosowaniu porozymetrii rtęciowej można stwierdzić, że modyfikacja pastą asfaltową wibrowanych z wibroprasowaniem betonów cementowych umożliwia otrzymanie tworzywa o zbliżonej strukturze porowatości w stosunku do betonów niemodyfikowanych z niewielkim przesunięciem porowatości w kierunku drobnych porów kapilarnych. Taki układ struktury porowatości pozwala osiągnąć mniejszą nasiąkliwość, kapilarność i wyższą mrozoodporność materiału, z jednoczesnym obniżeniem wytrzymałości na ściskanie. Betony modyfikowane pastą bitumiczną i wibrowane z wibroprasowaniem charakteryzują się: zbliżoną porowatością całkowitą w porównaniu z betonem niemodyfikowanym, najmniejszą zawartością porów żelowych oraz makroporów, największą zawartością drobnych porów kapilarnych. Właściwości te są korzystne ze względu na odporność korozyjną i trwałość w warunkach oddziaływań czynników atmosferycznych.

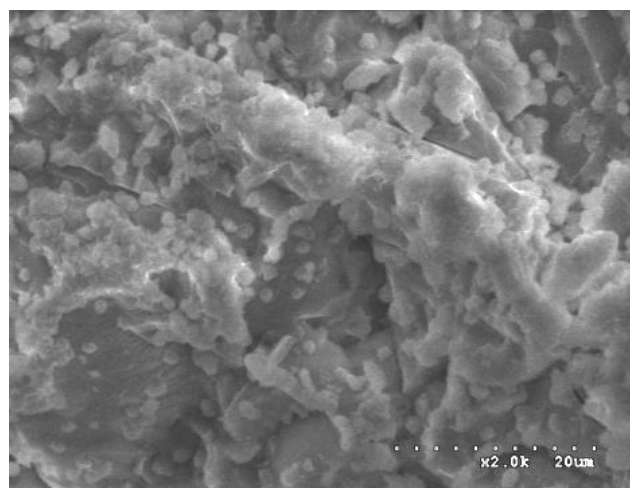
Wyniki dyfraktometrii rentgenowskiej wskazują, że ilość nieprzereagowanego alitu we wszystkich badanych seriach betonów jest podobna, z występującą nieznaczną tendencją wzrostową wraz ze wzrostem zawartości pasty asfaltowej. Można przypuszczać, że obecność modyfikatora nieznacznie spowolniła proces hydratacji cementu w ciągu 90 dni. Z kolei intensywność refleksów pozostałych składników klinkieru, takich jak belit i fazy glinianowe, zmniejszyła się nieznacznie w obecności pasty asfaltowej. Po 90 dniach hydratacji refleksy fazy CSH były intensywniejsze w przypadku betonów modyfikowanych pastą asfaltową. Dodatek pasty asfaltowej w ilości 4% w stosunku do masy cementu spowodował spadek zawartości $Ca(OH)_2$ w stosunku do betonu bez pasty o około 2% co potwierdza tylko nieznaczne spowolnienie procesu hydratacji cementu. Ubytek masy spowodowany rozkładem węgla wapnia

w zakresie temperatur 580-1000°C wzrastał wraz ze wzrostem ilości pasty asfaltowej, zarówno w przypadku badanych próbek cementów, jak i separatorów z betonów.

Obserwacje prowadzone na przełamach próbek za pomocą mikroskopu skaningowego pozwoliły stwierdzić, że obecność pasty w ilości 2% i 4% w stosunku do masy cementu wpływa na modyfikację morfologii powstającej fazy CSH, nadając jej formę włóknistą. Wpływ pasty asfaltowej na budowę mikrostruktury betonu uznano za korzystny z uwagi na jego właściwości użytkowe. Pasta asfaltowa działając jako środek hydrofobizujący, pokrywa ściany porów przez co utrudnia migrację wilgoci oraz przerywa ciągłość porów kapilarnych (rys. 7 i 8).



Rys. 7. Beton B0. Faza CSH. Powiększenie 2000x (fot. T. Koziolkiewicz)



Rys. 8. Beton B4. Alit częściowo pokryty fazą CSH. Powiększenie 2000x (fot. T. Koziolkiewicz)

7. Wnioski

W pracy wykazano, że dzięki zastosowaniu skutecznej metody wibrowania z wibroprasowaniem można uzyskać betony o korzystnej strukturze porowatości i podwyższonej odporności na oddziaływanie różnych

agresywnych środowisk korozyjnych przy jednoczesnym zmniejszeniu ilości pasty bitumicznej w stosunku do masy cementu.

Na podstawie badań kompleksowych zrealizowanych w ramach eksperymentu, ustalono optymalne receptury betonów i technologię ich wykonywania.

1. Uzyskano betony wysokich wytrzymałości o $f_{cm,28}$ w przedziale 60-70 MPa i bardzo jednorodnej strukturze, niskiej nasiąkliwości oraz odpornych na oddziaływanie środowiska agresywnego.
2. Opracowane i wykonane stanowisko laboratoryjne do wibrowania z wibroprasowaniem pozwala zagęszczać dowolne mieszanki betonowe bez domieszek upłynniających w czasie 30 sekund.
3. Dzięki specjalnej metodzie zagęszczania zmniejszono zużycie pasty asfaltowej z 10% do 2-4% w stosunku do masy cementu.
4. Ustalono optymalną recepturę betonu i technologię formowania wyrobów (krawężników mostowych) w warunkach półprzemysłowych: współczynnik woda-cement ($w/c = 0,3$), kruszywo frakcji 0-16 mm; zawartość pasty 2 i 4% w stosunku do masy cementu; stosunek dociążenia tłoka (Q_p) do siły wymuszającej górnego wibratora (P_o) powinien wynosić od 0,4 do 0,6; naprężenia prasujące 0,075-0,1 MPa.
5. Technologia wibrowania z wibroprasowaniem betonów modyfikowanych domieszką asfaltową w ilości 2-4% w stosunku do masy cementu może znaleźć zastosowanie w zakładach prefabrykacji wytwarzających prefabrykaty na potrzeby budownictwa drogowego, mostowego i hydrotechnicznego.

Literatura

Bołtryk M., Wieczorek G., Wiszniewski J., Rutkowska W. (2010). Kształtowanie właściwości betonu modyfikowanego asfaltem na agresję chemiczną. W: Materiały konferencji naukowo-technicznej KONTRA 2010, *Przegląd budowlany*, 6/2010, 29-32.

Falkowski K. (2011). Ochrona materiałowo-strukturalna betonów cementowych przed mrozem oraz agresją środków odladzających. *Inżynier budownictwa*, 2/2011, 51-54.

Kosior-Kazberuk M. (2002). Modyfikacja betonu przeznaczonego do konstrukcji mostowych roztworem asfaltu w wysokowrzącym rozpuszczalniku organicznym. Rozprawa doktorska, *Politechnika Białostocka*, Białystok, 2002.

Wieczorek G. (2006). Ochrona materiałowo-strukturalna betonu przez jego modyfikację asfaltem. W: Materiały konferencji naukowo-technicznej KONTRA 2006, *Ochrona przed korozją*, 5s/A/2006, 185-192.

Wieczorek G., Bołtryk M., Wiszniewski J. (2004). Beton modyfikowany asfaltem i szkłem wodnym. Perspektywy wdrożeniowe. W: Materiały konferencji naukowo-technicznej KONTRA 2004, *Ochrona przed korozją*, 5s/A/ 2004, 302-317.

Wiszniewski J. (2007). Ochrona materiałowo-strukturalna prasowanych elementów drobnowymiarowych realizowana poprzez modyfikację asfaltem betonu. Rozprawa doktorska, *Politechnika Białostocka*, Białystok, 2007.

TECHNOLOGY OF MATERIAL AND STRUCTURAL PROTECTION OF CEMENT CONCRETE IN AGGRESSIVE ENVIRONMENT

Abstract: The sustainability of the construction made of high-strength cement concrete in specific operating conditions (display classes) mainly depends on concrete resistance on aggressive environmental effects. The research carried out by the author of the paper confirms that modification of concrete microstructure by applying admixture of asphalt pastes by means of special concrete concentration methods provides efficient protection. At the same time the content of asphalt paste in relation to the weight of cement decreases. The porosity structure system that was obtained in examined concrete allows receive lower impregnability and higher frost resistance and makes concrete virtually impervious to chloride ions