

Kształtowanie właściwości betonu modyfikowanego asfaltem na agresję chemiczną

Prof. zw. dr hab. inż. Michał Bołtryk, prof. zw. dr hab. inż. Grzegorz Wieczorek, dr inż. Józef Wiszniewski, mgr Wioleta Rutkowska

Trwałość konstrukcji inżynierskich z betonów cementowych o wysokich wytrzymałościach stanowi dzisiaj bardzo ważne zagadnienie w aspekcie ich niezawodności w określonych klasach agresywnego środowiska oraz przy obciążeniach dynamicznych. Autorzy uważają, że powyższe zagadnienie może być rozwiązane poprzez zastosowanie metod chemiczno-mechanicznych zapewniających właściwą ochronę materiałowo-strukturalną konstrukcji w określonych warunkach użytkowania. Do chemicznej modyfikacji mikrostruktury betonu stosowano w badaniach pastę asfaltową w wysokowrzącym rozpuszczalniku, zaś do formowania struktury betonów specjalne metody zagęszczania mieszanki betonowej.

Słowa kluczowe: beton, pasta bitumiczna, porowatość, wytrzymałość na ścislenie, odporność korozyjna betonu, wibroprasowanie.

Shaping properties of cement concrete resistant to the effect of the aggressive environment

The durability of engineering structures with cement high performance concrete nowadays is the very important issue in the aspect of their reliability in determined classes of the aggressive environment and at dynamic load. In authors opinion the above issue can be solved by applying chemical-mechanical methods ensuring the proper material-structural protection in determined conditions of the use. For the chemical modification of microstructure of concrete asphalt paste, dissolved in high boiling organic solvent, was applied, whereas for forming the structure of concrete special methods of consolidation of concrete mixture was used.

Key words: concrete, asphalt paste, porosity, compressive strength, corrosion resistance of concrete, vibropressing.

1. Wprowadzenie

Autorzy w ramach projektu rozwojowego pt. „Ochrona materiałowo-strukturalna elementów drobnowymiarowych przed korozją realizowana poprzez modyfikację betonu asfaltem” pracują nad technologią betonu o wysokiej odporności na agresywne środowiska poprzez chemiczne ukształtowanie mikrostruktury i mechaniczne struktury tworzywa betonowego. Zdaniem autorów uzyskanie tak wysokiej odporności i jakości betonów wysokich wytrzymałości będzie możliwe tylko poprzez zastosowanie metod chemiczno-mechanicznych zapewniających właściwą ochronę materiałowo-strukturalną konstrukcji w określonych warunkach użytkowania.

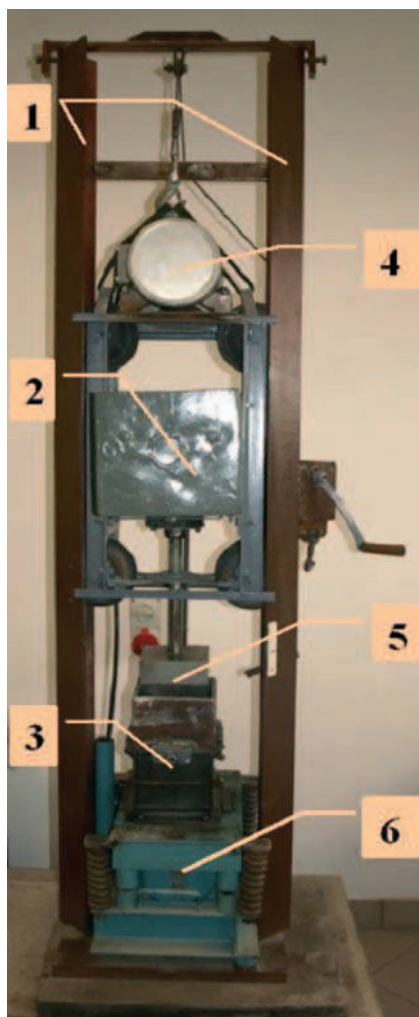
Do chemicznej modyfikacji mikrostruktury betonu stosowano w badaniach pastę asfaltową wg patentu RP nr 136449, zaś do formowania struktury betonów urządzenie do zagęszczania mieszanki betonowej (rys. 1), na którym używano różne metody formowania, w tym metodę specjalną wibro-wibroprasowania z możliwością regulacji siły wymuszającej górnego wibratora oraz siły prasującej działającej na tłok dociskający mieszankę betonową w trakcie jej zagęszczania.

Pasta asfaltowa jest roztworem asfaltu przemysłowego w wysokowrzącym rozpuszczalniku organicznym – nafcie technicznej z dodatkami. Może być stosowana do betonu w postaci domieszki lub dodatku. Równomierne rozmiesz-

czenie pasty w objętości zarobu uzyskuje się poprzez wykorzystanie cementu jako nośnika [2].

2. Badania własne

Próbki betonów wykonano przy zastosowaniu cementów portlandzkich CEM I 42,5 N-HSR/NA (cement 1) z cementowni Rejowiec i CEM I 42,5R+5% SiO₂ (cement 2) z cementowni Ożarów. Zawartość cementu w betonach wynosiła 450 kg/m³. Receptury mieszanek charakteryzowały się zmiennym współczynnikiem w/c, od 0,22 do 0,40, i stałą wartością stosunku pasta bitumiczna/cement p/c=0,07. Pastę bitumiczną wprowadzono do zarobu w postaci mieszaniny z cementem. Jako kruszywo stosowano piasek normowy frakcji 0÷2 mm oraz



Rys. 1. Stanowisko do wibro-wibroprasowania mieszanek betonowych, 1 – prowadnice, 2 – obciążenie inercyjne, 3 – forma z nadstawką, 4 – wibrator górny z regulowaną siłą wymuszającą, 5 – tłok dociskowy, 6 – wibrator dolny

Fig 1. Workstand for vibro-vibro-pressing of concrete mixture, 1 – runners, 2 – inert load, 3 – form with a top 4 – top vibrator with adjustable exciting force, 5 – pressing piston, 6 – bottom vibrator

kruszywo łamane bazaltowe o uziarnieniu od 2 do 8 mm. Punkt piaskowy wynosił 41,95%. Zagęszczanie mieszanek betonowych realizowano poprzez wibrowanie, wibroprasowanie i wibro-wibroprasowanie. W artykule przyjęto następujące oznaczenia receptur betonów: *Bw1* i *Bw2* – betony wibrowane z cementem 1 i 2 (bez pasty); *Bw1p* i *Bw2p* – betony wibrowane z cementem 1 i 2 (z pastą); *Bwp1* i *Bwp2* – betony wibroprasowane z cementem

1 i 2 (bez pasty); *Bwp1p* i *Bwp2p* – betony wibroprasowane z cementem 1 i 2 (z pastą). Konsystencja mieszanek betonowych była zróżnicowana. Betony wibroprasowane bez pasty *Bwp1* i *Bwp2* oraz wibroprasowane z pastą *Bwp1p* i *Bwp2p* jak i wibro-wibroprasowane wykonywane były przy konsystencji wilgotnej V0/V1. Betony wibrowane z pastą *Bw1p* i *Bw2p* charakteryzowała konsystencja V2, natomiast betony wibrowane bez pasty *Bw1* i *Bw2* wykonywano przy konsystencji V3. Konsystencja betonów *Bw1* i *Bw2* wynikała z wartości w/c = 0,4 przy określonej zawartości cementu i kruszywa, jak dla pozostałych rozpatrywanych receptur.

Wybrane właściwości betonów badano na próbkach w formie beleczek 4 x 4 x 16 cm, kostek 10 x 10 x 10 cm i 15 x 15 x 15 cm oraz walców o średnicy 102 mm. Badania obejmowały oznaczenie wytrzymałości na ściskanie i zginanie, gęstości objętościowej i właściwej, nasiąkliwości, podciągania kapilarnego, wodoprzepuszczalności, skurczu, przyczepności zaprawy z pastą asfaltową do podłoża, ścieralności, kruchości, mrozoodporności, odporności korozyjnej na wnikanie chlorków oraz na oddziaływanie roztworów agresywnych. Ponadto wykonano badania strukturalne betonów za pomocą elektronowego mikroskopu skaningowego, badania porozymetryczne, analizę termiczną (DTG, DTA i TG) oraz rentgenowska analizę dyfrakcyjną.

3. Wyniki badań i ich analiza

Cechą charakterystyczną betonów z pastą przy p/c = 0,07 (dla obu cementów) jest to, że niezależnie od tego czy były wibrowane czy wibroprasowane charakteryzowały się zbliżonymi wytrzymałościami na ściskanie. Dla *Bw1p* i *Bwp1p* wytrzymałość wynosiła ~50 MPa (po 28 dniach) i ~55 MPa (po 90 i 180 dniach); dla *Bw2p* i *Bwp2p* ~ 45 MPa (po 28 dniach i 90 dniach). Znacznie wyższe wytrzymałości stwierdzono dla betonów bez pasty: wibrowa-

nych i wibroprasowanych (niż dla betonów z pastą); np. po 90 dniach dojrzewania dla *Bw1* (o ~21%), *Bw2* i *Bwp1* (o ~26%) oraz *Bwp2* (o ~31%). Porównując wytrzymałości betonów z pastą na cementie 1 i cementie 2 wynika, że betony z cementem 1 uzyskiwały wyższe wytrzymałości zarówno po 28, jak i po 90 oraz 180 dniach.

Największe wytrzymałości na ściskanie betonów można uzyskać przy zastosowaniu wibro-wibroprasowania, które charakteryzuje się dużą siłą wymuszającą górnego wibratora. Badania optymalizacyjne wibro-wibroprasowania są w trakcie realizacji, stąd w artykule zostaną przedstawione wyniki z badań betonów wibrowanych oraz wibroprasowanych przy stałej sile docisku tłoka na górną powierzchnię formowanej próbki.

Wyniki badań nasiąkliwości wodą i podciągania kapilarnego wody wskazują na korzystny wpływ zarówno domieszki pasty bitumicznej, jak i wibroprasowania. Betony wibroprasowane z pastą *Bwp1p* i *Bwp2p* charakteryzują się bardzo niską nasiąkliwością wodą poniżej 2% i najniższą wartością podciągania kapilarnego około 8 mm. Nasiąkliwość wodą wszystkich badanych betonów wzrasta po 50 cyklach zamrażania i rozmrażania w 3% NaCl i 7% CaCl₂, a także po 9-miesięcznej ekspozycji korozyjnej.

Badanie przepuszczalności wody przez betony wykazało, że wszystkie badane betony charakteryzują się wodoprzepuszczalnością W16. Głębokość wnikania wody była ~2-krotnie niższa dla betonów z pastą bitumiczną niż dla betonów bez pasty. Porównując jednak betony z pastą wibrowane i wibroprasowane korzystniejsze wyniki uzyskano dla próbek wibrowanych.

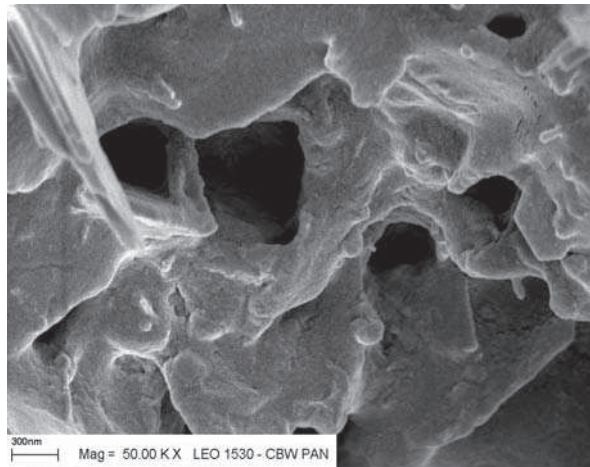
Wyniki badań odporności betonów na wnikanie chlorków pozwoliły stwierdzić, że przenikalność chlorków dla betonów wibroprasowanych z pastą bitumiczną *Bwp1p* i *Bwp2p* jest bardzo niska (zarówno po 28, jak i 120 dniach twardnie-

nia), natomiast dla betonów *Bw1p* i *Bwp1* oraz *Bw2p* i *Bwp2* po 28 dniach jest niska (wyjątek *Bwp1* gdzie jest bardzo niska), a po 120 dniach bardzo niska. Betony wibrowane *Bw1* i *Bw2* charakteryzują się po 28 dniach twardnienia średnią przenikalnością chlorków, a po 120 dniach niską przenikalnością.

Badania mrozoodporności prowadzone: a) metodą zwykłą w wodzie (po 150 cyklach zamrażania i rozmrażania), b) metodą złuszczeń powierzchniowych, c) metodą w środkach odladzających 3% NaCl i 7% CaCl₂ (po 50 cyklach zamrażania i rozmrażania) oraz badania porozymetryczne przed i po testach mrozoodporności wykazały, że wibroprasowanie betonów cementowych z domieszką asfaltu umożliwia otrzymanie tworzywa o korzystnej strukturze porowatości i podwyższonej odporności na działanie czynników atmosferycznych.

Analizując wyniki badań mrozoodporności stwierdzono, że wszystkie badane betony charakteryzują się dobrą odpornością na:

a) 150 cykli zamrażania i rozmrażania w wodzie; jednak wskaźniki mrozoodporności betonów z pastą bitumiczną są niższe niż betonów bez pasty, jak również dla betonów wibroprasowanych z pastą w stosunku do wibrowanych z pastą,
b) środki odladzające (3% NaCl) i cykliczne zamrażanie i rozmrażanie (56 cykli), z wyjątkiem betonu *Bw1*, dla którego odporność jest do przyjęcia. Betony z cementu 1 w porównaniu do betonów z cementu 2 są bardziej odporne, a masa złuszczeń powierzchniowych jest mniejsza,
c) cykliczne procesy zamrażania i rozmrażania w roztworach soli odladzających (7% CaCl₂ i 3% NaCl); wskaźniki mrozoodporności po 50 cyklach są wyższe od 0,8. Roztwór 7% CaCl₂ powoduje większe zmiany wskaźnika niż 3% roztwór NaCl. Porównując betony z pastą bitumiczną i bez pasty oraz wibrowane i wibroprasowane, dowiedziono, że przy stosowaniu 7% CaCl₂ betony z pastą (na cemencie 1 i 2) charakteryzują się wyższymi wskaźnikami



Rys. 2. Faza CSH. Produkty hydratacji z widocznymi porami o średnicy ~300nm, pokryte warstewką asfaltu
Fig. 2. CSH phase. Hydration products with visible pores about ~300 nm in diameter covered with a thin asphalt layer

mrozoodporności niż betony bez pasty. Dla próbek betonów nasączanych 3% roztworem NaCl występuje podobna zależność, z wyjątkiem *Bwp1p*.

Wyniki badań porozymetrycznych potwierdzają korzystny wpływ domieszki pasty i wibroprasowania na strukturę porowatości betonów. Betony modyfikowane pastą bitumiczną i wibroprasowane *Bwp1p* i *Bwp2p* charakteryzują się największą zawartością porów żelowych i drobnych porów kapilarnych, najmniejszą porowatością całkowitą i najmniejszą zawartością porów kapilarnych. Właściwości te są korzystne ze względu na nasiąkliwość wodą i podciąganie kapilarne oraz odporność korozyjną i mrozoodporność.

Badania porozymetryczne posłużyły również do oceny zmian w strukturze porów betonów po 50 cyklach zamrażania – rozmrażania w 3% NaCl i 7% CaCl₂. Badania takie były wskazane z uwagi na to, że wszystkie badane betony były odporne na 150 cykli zamrażania i rozmrażania w wodzie oraz 50 cykli zamrażania w środkach odladzających. Stwierdzono, że występują niewielkie różnice wartości wskaźników mrozoodporności, a ponadto wskaźniki te są niekiedy niższe od oczekiwanych dla betonów wibroprasowanych z pastą bitumiczną. Zmiany struktury porowatości betonów po cyklach zamrażania i rozmrażania w środkach odladzających polegają na występowaniu tendencji wyrównywania

się udziału porów żelowych (wyjątki to *Bwp2p* po 7% CaCl₂ i *Bw2p* po 3% NaCl) (pomimo dużych różnic początkowych między betonami z pastą i bez pasty asfaltowej) oraz wzroście średnic zastępczych dla betonów z pastą niż odpowiedników bez pasty. W efekcie występuje odwrotna relacja między betonami z pastą i bez pasty niż przed badaniami mrozoodporności. Wyjątki to *Bwp2* po CaCl₂ i *Bw2* po NaCl.

Ocenę odporności korozyjnej betonów na oddziaływanie roztworów substancji agresywnych wykonano w okresie 1 roku. Stosowano 1,4% roztwory NH₄Cl, MgSO₄, (NH₂)₂CO, CH₃COOH i CaCl₂ (wymieniane co tydzień). Zrealizowano w ten sposób klasę ekspozycji XA3 dotyczącą środowiska chemicznego silnie agresywnego. Współczynniki odporności korozyjnej $O_k < 0,8$ określano zarówno dla wytrzymałości na ściskanie $O_k(f_c)$, jak i dla wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu $O_k(f_{ct})$. Po 9 miesiącach ekspozycji korozyjnej brak odporności wykazały betony wibrowane: bez pasty *Bw1*, *Bw2* i z pastą *Bw1p*. Dla betonów wibroprasowanych bez pasty *Bwp1* i *Bwp2* brak odporności stwierdzono odpowiednio dla $O_k(f_c)$ i $O_k(f_{ct})$. Odporność korozyjną wykazały betony z pastą: wibroprasowane *Bwp1p*, *Bwp2p* i wibrowane *Bw2p*. Po ekspozycji rocznej odporność korozyjną ($O_k > 0,8$) uzyskano tylko dla betonów wibroprasowanych z pastą *Bwp1p*.

Obserwacje mikrostruktury betonu pod mikroskopem skaningowym wykazały, że efektem działania pasty bitumicznej w betonie jest zajmowanie przez nią części objętości stojącej do dyspozycji żelu cementowego, hydrofobizacja ścianek porów i zablokowanie połączeń między nimi, jak również pokrywanie powłoką asfaltową: produktów hydratacji cementów (rys. 2), powierzchni ziaren cementu i kruszywa oraz wnętrza porów kapilarnych.

Pozostałe właściwości betonów, takie jak wytrzymałość, zginanie, gęstość objętościowa i właściwa, skurcz, przyczepność, ścieralność, kruchość omówiono w pracy [2], podobnie jak wyniki analizy termicznej oraz rentgenowskiej analizy dyfrakcyjnej.

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wskazują na możliwości wpływania na cechy betonów cementowych przez modyfikację pastą bitumiczną oraz zagęszczanie przez wibroprasowanie

w celu uzyskania korzystnych właściwości użytkowych. Betony wibroprasowane z pastą bitumiczną w stosunku do betonów wibroprasowanych bez pasty i betonów wibrowanych z pastą charakteryzują się niższą: wytrzymałością na ściskanie, nasiąkliwością, podciąganiem kapilarnym, głębokością wnikania wody, porowatością całkowitą, zawartością porów kapilarnych oraz najwyższą: zawartością porów żelowych i drobnych porów kapilarnych jak i odpornością na agresywne środowiska korozyjne.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Wieczorek G., Boltryk M., Wiszniewski J., XIV Konferencja Naukowo-Techniczna Kontra'2004, „Trwałość budowli i ochrona przed korozją”, Zakopane 2004; Ochrona przed Korozją R.47, nr 5s/A, 2004, s. 302–317
 [2] Wiszniewski J., Ochrona materiałowo-strukturalna prasowanych elementów drobnowymiarowych realizowana poprzez modyfikację asfaltem betonu. Rozprawa doktorska, Politechnika Białostocka, 2007 r.

INFORMACJE O AUTORACH

Prof. zw. dr hab. inż. Michał Boltryk
 – ukończona uczelnia: Politechnika

Warszawska, aktualne miejsca pracy: Politechnika Białostocka oraz Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Suwałkach, zawodowe zainteresowania: technologia materiałów i procesów budowlanych, e-mail: m.boltryk@pb.edu.pl

Prof. zw. dr hab. inż. Grzegorz Wieczorek
 – ukończona uczelnia: Politechnika Warszawska, zawodowe zainteresowania: korozja materiałów budowlanych, e-mail: wiegrzeg@poczta.onet.pl

Dr inż. Józef Wiszniewski – ukończona uczelnia: Politechnika Białostocka, aktualne miejsce pracy: Mazurskie Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Budowlane J.W. „Ślepsk” w Augustowie, zawodowe zainteresowania: technologia betonu, e-mail; slepsk@slepsk.com.pl

Mgr Wioleta Rutkowska – ukończona uczelnia: Uniwersytet w Białymstoku, aktualne miejsce pracy: Politechnika Białostocka, zawodowe zainteresowania: korozja betonu i zapraw, e-mail: w.rutkowska@pb.edu.pl

Adres do korespondencji: Prof. zw. dr hab. inż. Michał Boltryk, Katedra Podstaw Budownictwa i Ochrony Budowli, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45E, 15–351 Białystok.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2007–2010 jako projekt badawczy rozwojowy.

Trwałość powłok cynkowych i powłok typu duplex w środowisku agresywnym

Dr inż. Dominika Dębska

Powłoki cynkowe są często stosowane do zabezpieczania elementów stalowych poddanych działaniu środowiska zewnętrznego. Ze względów estetycznych, a także w celu wydłużenia trwałości, powlekanie są dodatkowo pokryciem malarskim. W artykule przedstawiono wyniki obserwacji zachowania się powłok cynkowych z dodatkowym pokryciem malarskim, eksponowanych w następujących środowiskach: obojętnej soli, zasadowym i wody destylowanej.

Słowa kluczowe: korozja, trwałość, stal ocynkowana, pokrycia malarskie.

Durability of zinc-coated steel and duplex-coated steel exposed to an aggressive medium

Metal coats made of zinc are often used as a protection of steel materials exposed to atmospheric medium. In case of aesthetics and longitude protection time, they are covered by paint coat.

The results of examinations of zinc coated steel samples covered by added paint layer to a corrosive medium such as NaCl solution, Ca(OH)₂ solution and distilled water were presented in the paper.

Key words: corrosion, durability, zinc-coated steel, paint coats.