

# Zastosowanie nowoczesnych betonów specjalnych na przykładzie naprawy falochronu wyspowego w porcie Gdynia

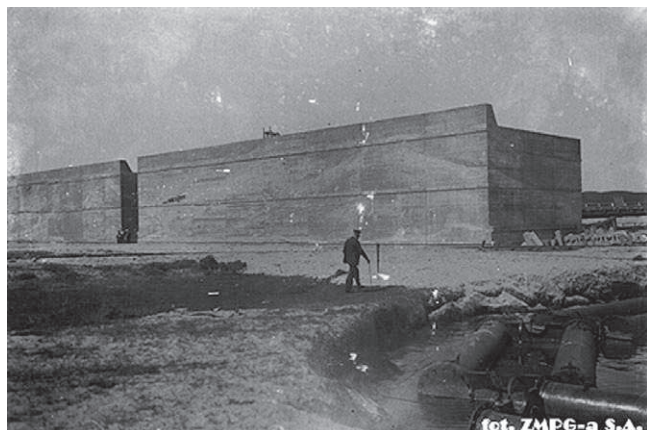
TECH-BUD'2013



Dr inż. Maciej Gruszczyński, Politechnika Krakowska, Stowarzyszenie Producentów Betonu Towarowego w Polsce

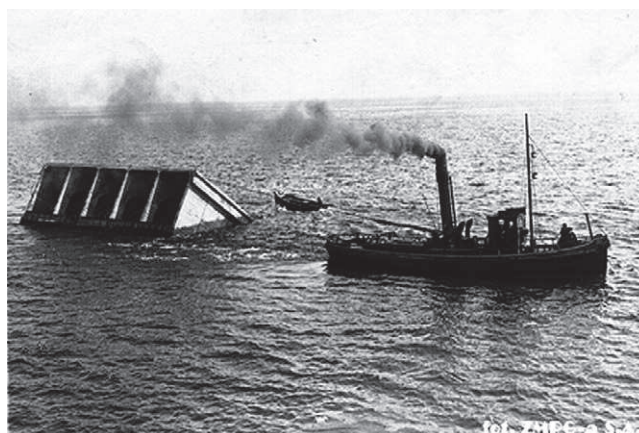
## 1. Wprowadzenie

W połowie 2006 roku rozpoczęły się prace w Porcie Gdynia, których celem była naprawa uszkodzeń, poprawa stabilności i wzmocnienie konstrukcji falochronu wyspowego. Przedmiotowy obiekt powstał w latach 1925–1928 i praktycznie, poza doraźną naprawą uszkodzeń wojennych nie przechodził poważniejszych napraw i remontów. Z tego powodu Zarząd Morskiego Portu Gdynia zdecydował o konieczności istotnej naprawy i modernizacji konstrukcji na całej długości 2019 m. Przedmiotowy falochron wykonany został z segmentów żelbetonowych, pięciokomorowych o długości 40 m i wysokości 18 m każdy (fot. 1, 2).



**Fot. 1.** Widok gotowego segmentu falochronu (fot. archiwum ZMPG S.A.)

Opracowany projekt modernizacji falochronu zakładał poprawę stabilności konstrukcji poprzez jej poszerzenie o 2,5 m, jak również podwyższenie konstrukcji „nosków” falochronu do wysokości 4,40 m ponad lustro wody oraz naprawę wszelkiego typu innych uszkodzeń spowodowanych prawie 80-letnią eksploatacją. Na rysunku 1 przedstawiono schemat naprawy przedmiotowej konstrukcji – kolorem czarnym zaznaczono elementy, do wykonania których wykorzystano beton cementowo-polimerowy.



**Fot. 2.** Holowanie gotowego segmentu falochronu do miejsca zatopienia (fot. archiwum ZMPG S.A.)

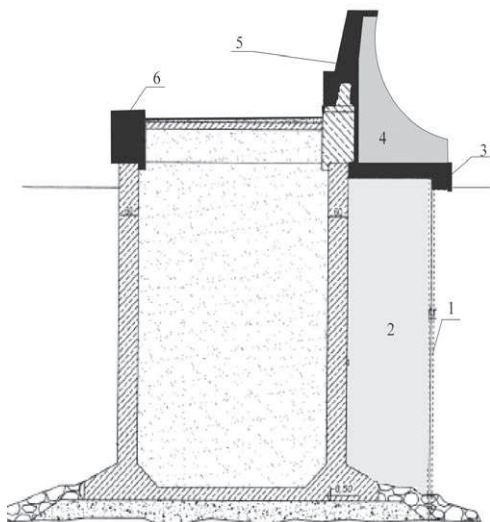
W przedmiotowej naprawie zdecydowano się na wykorzystanie betonu cementowo-polimerowego ze względu na jego zalety w stosunku do betonu zwykłego, z których najważniejsze to [6, 7, 9]:

- znaczące ograniczenie odkształceń skurczowych i modułu sprężystości,
- wysoka przyczepność do stali i betonu stwardniałego,
- istotnie większa wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu,
- bardzo wysoka trwałość w warunkach oddziaływania wody morskiej i znakozmiennych temperatur.

## 2. Etapy naprawy konstrukcji falochronu

Przedmiotowa konstrukcja falochronu wykazywała znaczne uszkodzenia w postaci licznych pęknięć i zarysowań. Beton w konstrukcji „nosków” i belki cumowniczej praktycznie na całej długości nosił ślady uszkodzeń, będących skutkiem działania wody morskiej i znakozmiennych temperatur (fot. 3).

Naprawa przedmiotowej konstrukcji falochronu wyspowego w Porcie Gdynia przebiegała etapami, z których najważniejsze to:



**Rys. 1.** Przekrój konstrukcji falochronu – kolorem czarnym zaznaczono elementy wykonane z betonu cementowo-polimerowego (1 – ścianka szczelna Larsena, 2 – ściana poszerzająca, 3 – parapet wieńczący, 4 – element prefabrykowany tzw. „łamacz fal”, 5 – „nosek” falochronu, 6 – belka cumownicza)

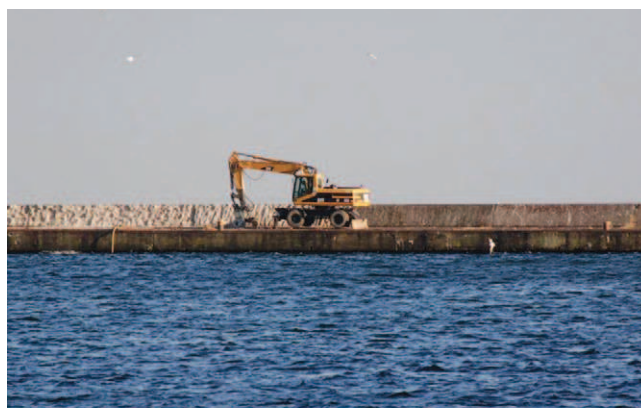


**Fot. 3.** Uszkodzenia belki cumowniczej falochronu wyspowego w Porcie Gdynia

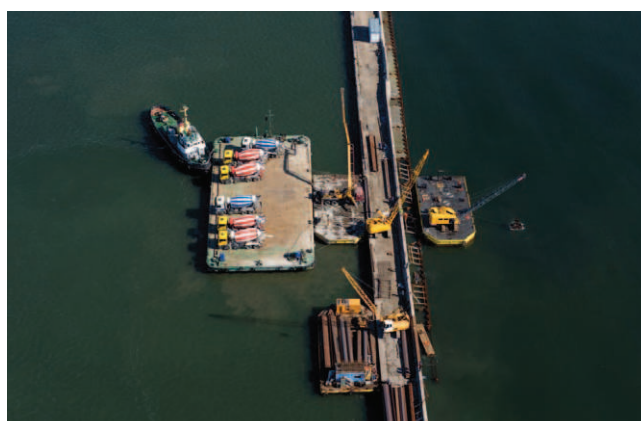
- usunięcie warstwy skorodowanego betonu (fot. 4),
- wykonanie ścianki poszerzającej konstrukcję o 2,5 m poprzez jej zabetonowanie metodą *Contractor* betonem klasy C30/37 w ostonie ścianki szczelnej Larsena (fot. 5),
- budowa parapetu wieńczącego ścianę poszerzającą z betonu cementowo-polimerowego klasy C35/45,
- ustawienie na wykonanej konstrukcji poszerzającej elementów prefabrykowanych tzw. „łamaczy fal” z betonu klasy C30/37 (fot. 6),
- odtworzenie konstrukcji „nosków” i belki cumowniczej falochronu betonem cementowo-polimerowym klasy C35/45.

### 3. Cel i zakres badań

Celem wykonanego programu badań, którego inicjatorem był Marek Aleksiuń, był wybór optymalnej recepty betonu modyfikowanego dodatkiem dyspersji ko-



**Fot. 4.** Usunięcie warstwy skorodowanego betonu z konstrukcji falochronu



**Fot. 5.** Betonowanie ściany poszerzającej konstrukcję falochronu



**Fot. 6.** Prefabrykowane „łamacze fal” ustawione na poszerzonej konstrukcji falochronu

polimeru styrenowo-akrylowego, którego produkcja jest możliwa na standardowej wytwórni betonu towarowego. Podyktowane było to faktem, że proponowane przez dostawców chemii budowlanej rozwiązania materiałowo-technologiczne w postaci gotowych, suchych mieszanek typu „*ready mix*” nie były akceptowalne ze względów ekonomicznych. Mieszanki betonu cementowo-polimerowego wykonano na bazie cementu portlandzkiego CEM I 42,5N

HSR NA z Cementowni Lafarge Kujawy i kruszyw granitowych (frakcje 2/8 i 8/16 mm) ze złoża w Glesanda, przy zmiennej wartości wskaźnika w/c (odpowiednio: 0,38, 0,40, 0,42). Jako dodatek polimerowy wykorzystano dyspersję kopolimeru styrenowo-akrylowego Estrifan Additiv KD 962, którą dozowano w ilości 0, 5, 8, 11% w stosunku do masy cementu.

Zaroby próbne wykonano w skali przemysłowej (objętość pojedynczego zarobu 2 m<sup>3</sup>) na węźle betoniarskim dostawcy betonu firmy Ol-Trans w Mrzeżynie k. Gdyni. Mieszanki próbne zaprojektowano przy następujących założeniach:

- ilość cementu CEM I 42,5N HSR NA: 370 kg/m<sup>3</sup>,
- wskaźnik w/c = 0,42; 0,40 i 0,38 (uwzględniając wodę zawartą w dyspersji dodatku kopolimeru styrenowo-akrylowego Estrifan Additiv KD962),
- zawartość kruszywa w stosie okruszowym mieszanki: piasek – 35%, gryś 2/8 – 28%, gryś 8/16 – 37%,
- ilość dodatku dyspersji polimerowej: 0, 5, 8, 11% w stosunku do masy cementu,
- poziom dozowania domieszki reologicznej FK63.30 (baza eter polikarboksylowy) dobierano tak, aby osiągnąć konsystencję mieszanki S3 wg PN-EN 206-1:2003 (tj. 110 ÷ 150 mm opadu stożka).

Łącznie wykonano 12 zarobów próbnych. Badano następujące cechy mieszanki betonowej:

- zawartość powietrza wg PN-EN 12350-7:2000,
- gęstość objętościową wg PN-EN 12350-6:2001,
- konsystencję wg PN-EN 12350-2:2001 i jej utrzymanie w czasie 180 min.

Z mieszanki betonowej formowano 36 próbek kostkowych o boku 150 mm i 12 belek o wymiarach 150×150×700 mm. Próbkę poddawano pielęgnacji wilgotnej przez 7 dni, a w dalszym czasie przechowywano w warunkach naturalnych. Badano następujące cechy betonu:

- wytrzymałość na ściskanie wg PN-EN 12390-3:2001,
- wytrzymałość na zginanie wg PN-EN 12390-5:2001,
- mrozoodporność metodą *Slab test* wg CEN/TS 12390-9:2007 i metodą zwykłą do stopnia F250 wg PN-88/B-06250,
- wodoszczelność do stopnia W10 wg PN-88/B-06250,
- nasiąkliwość wagową wg PN-88/B-06250.

Dodatkowo oznaczono wpływ zawartości dyspersji kopolimeru styrenowo-akrylowego Estrifan Additiv KD962 na czas początku wiązania cementu.

## 4. Wyniki badań i dyskusja

### 4.1. Mrozoodporność i odporność na powierzchniowe złuszczenie w obecności 3% NaCl

Zrealizowany program badawczy pokazał na istotny wpływ dodatku dyspersji kopolimeru styrenowo-akrylowego Estrifan Additiv KD 962 na trwałość mrozową wykonanych betonów. Badanie mrozoodporności prowadzono równoległe dwiema metodami: metodą *Slab*

test i tzw. metodą zwykłą obejmująca 250 cykli zamrażania-odmrażania próbek betonu (zamrażanie w powietrzu w temperaturze –20°C a odmrażanie w wodzie o temperaturze 20°C). Badanie mrozoodporności metodą *Slab test* obejmowało wykonanie 56 cykli zamrażania-odmrażania próbek w 3% roztworze NaCl. Wyniki badania mrozoodporności serii betonów modyfikowanych dodatkiem kopolimeru styrenowo-akrylowego Estrifan Additiv KD962 w sposób jednoznaczny pokazują, że wpływa on w sposób istotny na kształtowanie trwałości mrozowej.

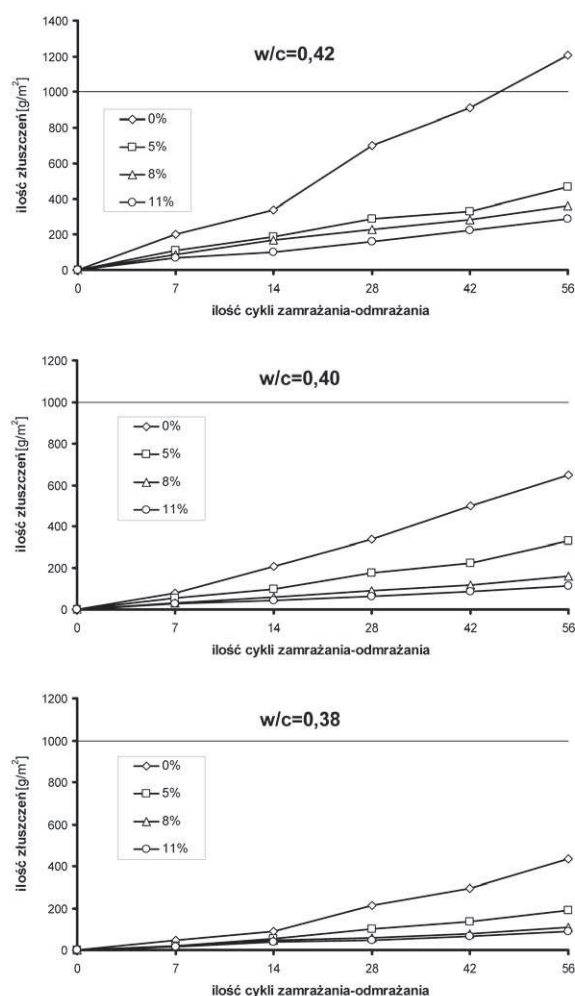
Wszystkie 12 serii betonów spełniły wymagania testu mrozoodporności przeprowadzonego wg procedury PN-88/B-06250, który obejmował 250 cykli zamrażania-odmrażania. W żadnym przypadku nie stwierdzono istotnych uszkodzeń powierzchni i krawędzi próbek betonu. Ubytki masy próbek po wykonaniu testu mieściły się w przedziale 0,3 ÷ 0,9% i były mniejsze od wartości granicznej  $\Delta m = 5\%$ . Zarejestrowane obniżenie wytrzymałości próbek mrożonych w stosunku do próbek świadkowych mieściły się w granicach 5,1 ÷ 8,3% i były mniejsze od wartości dopuszczalnej wynoszącej  $\Delta R = 20\%$ . Z tego powodu za bardziej wiarygodne, ze względu na lepsze odzwierciedlenie rzeczywistych warunków eksploatacji betonów, przy jednoczesnym skróceniu procedury testu, uznano prowadzenie badania metodą *Slab test*.

Badanie odporności serii betonów na powierzchniowe złuszczenie w obecności 3% NaCl prowadzono metodą *Slab test*, każdorazowo na 4 próbkach o wymiarach 150×150×50 mm, wycinanych z belek po badaniu wytrzymałości na zginanie. Próbkę przygotowano i badanie prowadzono zgodnie z procedurą CEN/TS 12390-9:2007. Za kryterium spełnienia wymagań testu przyjęto wymagania szwedzkiej normy SS 13 72 44:1995, która wyróżnia cztery kategorie betonów w zależności od ilości złuszczeń oraz szybkości ich postępowania:

- beton bardzo dobrej jakości:  $m_{56} \leq 100 \text{ g/m}^2$ ,
- beton dobrej jakości:  $m_{56} \leq 200 \text{ g/m}$  lub  $m_{56} < 500 \text{ g/m}^2$  i  $m_{56}/m_{28} \leq 2$ ,
- beton dopuszczalnej jakości:  $m_{56} \leq 1000 \text{ g/m}^2$  i  $m_{56}/m_{28} < 2$ ,
- beton niedopuszczalnej jakości:  $m_{56} > 1000 \text{ g/m}^2$ .

Na rysunku 2 przedstawiono wyniki badania odporności na powierzchniowe złuszczenie betonów metodą *Slab test*. Na wykresach przedstawiono ilości złuszczonego materiału z górnej powierzchni próbek po 7, 14, 28, 42 i 56 cyklach zamrażania-odmrażania.

Zrealizowany program badawczy pokazał, że w przypadku betonów zwykłych bez napowietrzenia, spełnienie zadość wymogom *Slab test* i uzyskanie betonów o dobrej mrozoodporności wymaga redukcji porowatości kapilarnej, a tym samym obniżenia wartości wskaźnika w/c poniżej 0,40, mimo uzyskania wytrzymałości na ściskanie w granicach 58 ÷ 65 N/mm<sup>2</sup>. Należy zauważyć, że w przypadku betonów zwykłych redukcja



**Rys. 2.** Wyniki badania odporności na powierzchniowe złuszczenie serii betonów metodą Slab test przy zmiennej wartości wskaźnika w/c i zróżnicowanym poziomie dozowania dodatku dyspersji kopolimeru styrenowo-akrylowego Estrifan Additiv KD 962 (odpowiednio 0, 5, 8, 11% masy cementu)

w/c do wartości 0,38 nie pozwoliła na otrzymanie materiału o bardzo dobrej odporności na powierzchniowe złuszczenie wg SS 137244:1995. Zgodnie z przypuszczeniami i wynikami badań innych autorów, ilość złuszczeń powierzchni betonu zmniejsza się proporcjonalnie do obniżenia wartości w/c [6, 8].

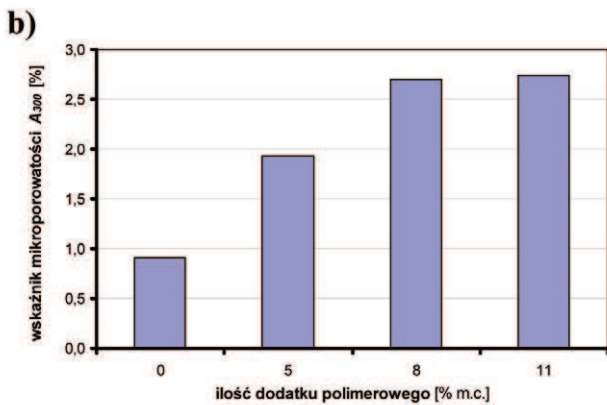
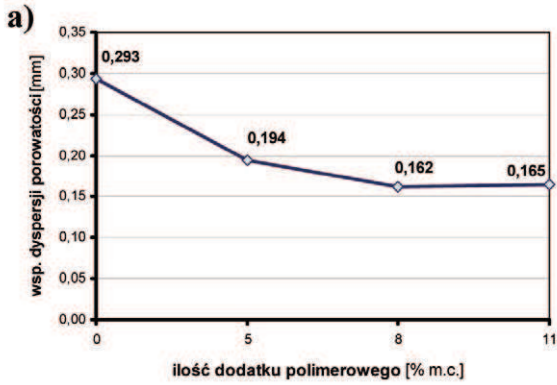
Zastosowanie do modyfikacji betonu dodatku kopolimeru styrenowo-akrylowego KD 962 istotnie wpływa na poprawę jego trwałości mrozowej już przy poziomie dozowania wynoszącym 5% masy cementu. Zastosowanie tego typu dodatku umożliwia spełnienie zadość wymogom Slab test przy jego poziomie dozowania 5÷11% masy cementu i możliwe jest uzyskanie betonów o dobrej i bardzo dobrej odporności na powierzchniowe złuszczenie w obecności wody morskiej. Należy zauważyć, że wraz ze wzrostem ilości dozowania dodatku polimerowego, w sposób istotny maleje ilość rejestrowanych złuszczeń powierzchni próbek

betonowych. W przypadku betonów, których wskaźnik w/c wynosił 0,38, przy poziomach dozowania dodatku kopolimeru styrenowo-akrylowego 8 i 11% masy cementu, udało się uzyskać materiał o bardzo dobrej mrozoodporności, dla którego ilość złuszczeń  $m_{56}$  była mniejsza niż 100 g/m<sup>2</sup>. Należy zauważyć, że dodatek polimerowy nie zmienia praktycznie szybkości niszczenia powierzchni betonu, której miernikiem jest stosunek masy złuszczeń po wykonaniu 28 i 56 cykli zamrażania-odmrażania ( $m_{56}/m_{28}$ ). Wartość ta pozostaje praktycznie na niezmiennym poziomie i mieści się w granicach 1,7÷1,9 dla wszystkich badanych betonów, niezależnie od wartości w/c i ilości stosowanego dodatku polimerowego.

Przeprowadzone badania dowodzą, że dodatek dyspersji kopolimeru styrenowo-akrylowego w ilości 5÷11% m.c. wpływa na ograniczenie ilości złuszczeń powierzchni betonu pod wpływem oddziaływania znakozmiennej temperatur. Prawdopodobnie spowodowane jest to uszczelnieniem struktury betonu przez tworzące się podczas hydratacji cementu błony polimerowe, które przenikają matrycę cementową. Zastosowanie dodatku polimerowego już w ilości 5% m.c. powoduje zmianę struktury porowatości betonu [5, 7]. Dodatek kopolimeru styrenowo-akrylowego Estrifan Additiv KD 962 powoduje zmniejszenie udziału porów kapilarnych w ogólnej strukturze porowatości betonu, kosztem zwiększenia objętości porów żelowych, które nie mają istotnego wpływu na szczelność i trwałość betonu [10].

Dodatek dyspersji kopolimeru styrenowo-akrylowego w ilości 5÷11% m.c. w połączeniu z równoczesnym stosowaniem domieszki reologicznej Muraplast FK 63.30 na bazie eteru polikarboksyłowego (dozowanie 0,40÷0,48% m.c.) powoduje napowietrzenie betonu na poziomie 4,0÷4,8%. W odróżnieniu od betonów zwykłych, gdzie zmierzona zawartość powietrza mieściła się w granicach 1,3÷2,5%, zwiększanie poziomu dozowania dodatku polimerowego z 5 do 11% m.c. powoduje niewielkie zmiany poziomu napowietrzenia betonu.

Dodatek dyspersji kopolimeru styrenowo-akrylowego Estrifan Additiv KD962 powoduje pożądane zmiany wymiarowej struktury porowatości betonu. Rejestruje się korzystne ze względu na poprawę mrozoodporności pojawienie się porów o średnicach 10÷1000 μm, które dostatecznie gęsto rozmieszczone w objętości betonu przerywają ciągłość kapilar i stanowią przeszkody dla ekspansji lodu podczas zamrażania próbek. Przeprowadzone badania struktury rozkładu porowatości betonu metodą planimetryczną i aparatem AVA (podczas kontroli jakości w czasie realizacji inwestycji) dla betonu o wskaźniku w/c wynoszącym 0,38 i przy poziomie dozowania dodatku kopolimeru styrenowo-akrylowego 8% m.c., pozwoliły na ustalenie wartości współczynnika dyspersji porowatości  $\bar{L}$  (spacing factor) w granicach 0,185÷0,202 mm. Wynik tego badania, jak również uzyskane wartości wskaźnika mikroporowatości  $A_{300} > 1,8\%$ , znajdują swoje



**Rys. 3.** Wpływ ilości dodatku kopolimeru styrenowo-akrylowego Estrifan Additiv KD 962 na wymiarową strukturę porowatości betonu: a) współczynnik dyspersji porowatości  $L$ ; b) wskaźnik mikroporowatości  $A_{300}$

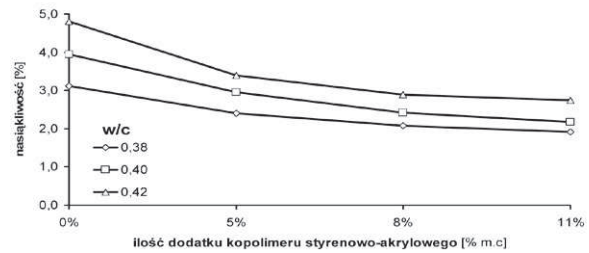
potwierdzenie w teście odporności na powierzchniowe złuszczenie (*Slab test*), który potwierdza uzyskanie betonu o bardzo dobrej jakości (ilość złuszczeń  $m_{56} < 100g/m^2$ ) – rysunek 3.

#### 4.2. Nasiąkliwość wagowa i wodoszczelność

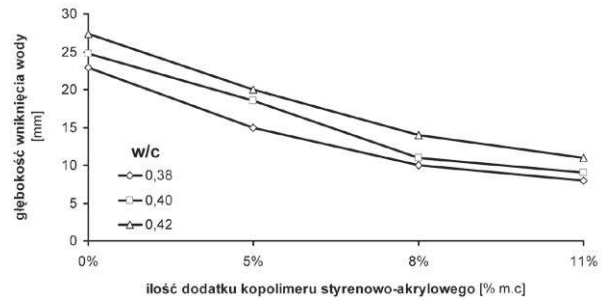
Korzystne zmiany w strukturze porowatości kompozytu betonowego, wywołane zastosowaniem dodatku dyspersji kopolimeru styrenowo-akrylowego Estrifan Additiv KD 962, znajdują odbicie w wynikach badania wodoszczelności i nasiąkliwości wagowej. Na rysunku 4 przedstawiono zależność nasiąkliwości wagowej betonu w zależności od ilości zastosowanego modyfikatora polimerowego.

Potwierdzeniem znaczącego wzrostu szczelności betonu modyfikowanego dodatkiem kopolimeru styrenowo-akrylowego są też zaobserwowane wyniki badania wodoszczelności, które prowadzono zgodnie z procedurą PN-88/B-06250 do ciśnienia max. 1,0 MPa. Na rysunku 5 przedstawiono uzyskane wartości głębokości wniknięcia wody w próbki betonu modyfikowanego różną ilością dodatku polimerowego Estrifan Additiv KD 962.

Jak pokazuje zrealizowany program badawczy, zastosowanie dodatku kopolimeru styrenowo-akrylowego KD 962 już w ilości 5% w stosunku do masy cementu powoduje istotne uszczelnienie struktury betonu w stosunku do kompozytu niemodyfikowanego. Świadczy o tym



**Rys. 4.** Wpływ ilości dodatku kopolimeru styrenowo-akrylowego KD 962 na nasiąkliwość wagową betonu



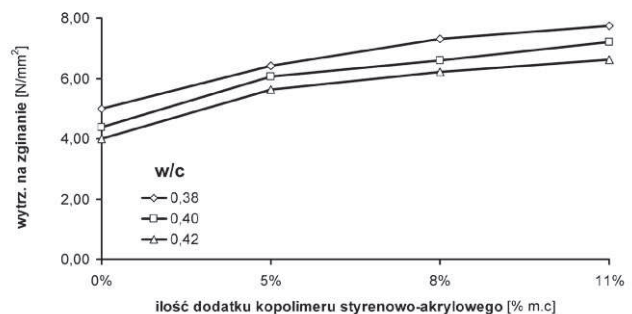
**Rys. 5.** Wpływ ilości dodatku kopolimeru styrenowo-akrylowego na głębokość wniknięcia wody w strukturę próbek betonu (ciśnienie wody 1 MPa)

zmniejszenie nasiąkliwości i znaczące zmniejszenie głębokości wniknięcia wody w materiał.

#### 4.3. Wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie przy zginaniu

Na rysunku 6 przedstawiono wyniki badania wytrzymałości na zginanie betonów modyfikowanych dodatkiem kopolimeru styrenowo-akrylowego po 28 dniach dojrzewania. Badanie to prowadzono na próbkach belkowych o wymiarach 150×150×700 mm w czteropunktowym schemacie obciążenia wg PN-EN 12390-5:2001 (rozstaw podpór 450 mm, odległość wałków obciążających 150 mm – fot. 7).

Wyniki badań pokazują, że niezależnie od wielkości wskaźnika w/c, przy zastosowaniu dodatku polimerowego, obserwuje się wzrost wytrzymałości na zginanie

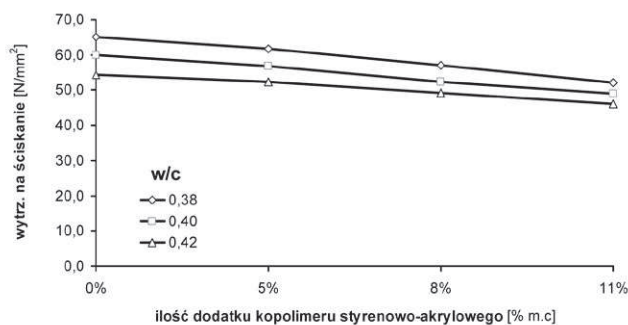


**Rys. 6.** Wpływ ilości dodatku kopolimeru styrenowo-akrylowego Estrifan Additiv KD 962 na wytrzymałość na zginanie betonu

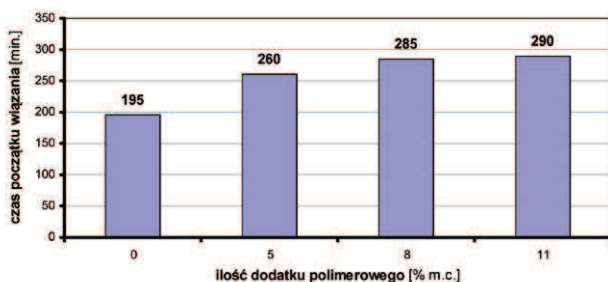


**Fot. 7.** Stanowisko do badania wytrzymałości betonu na rozciąganie przy zginaniu

betonu w granicach 50÷80% w stosunku do betonu zwykłego i jest proporcjonalny do ilości zastosowanego modyfikatora polimerowego. Obserwowany wzrost wytrzymałości na zginanie powodowany jest wzmocnieniem warstwy kontaktowej zaczyn-ziarno kruszywa na skutek zmniejszenia jej porowatości. Powszechnie uważa się, że warstwa kontaktowa zaczyn-ziarno kruszywa jest bardziej porowata i zawiera mniej produktów hydratacji niż pozostały zaczyn. W przypadku betonu modyfikowanego dodatkiem polimeru, pustki w warstwie stykowej wypełnione są cząsteczkami polimeru, co poprawia kontakt kruszywa z matrycą cementową [7, 10]. Innym powodem wzrostu wytrzymałości na zgina-



**Rys. 7.** Wpływ dodatku polimerowego Estrifan Additiv KD 962 na wytrzymałość na ściskanie betonu



**Rys. 8.** Wpływ ilości dodatku dyspersji polimerowej Estrifan Additiv KD 962 na czas początku wiązania cementu, wg PN-EN 196-3:2006

nie jest zwiększenie odkształcalności kompozytu oraz zdolność powstałych błon polimerowych do mostkowania mikrozarysowań [4, 10].

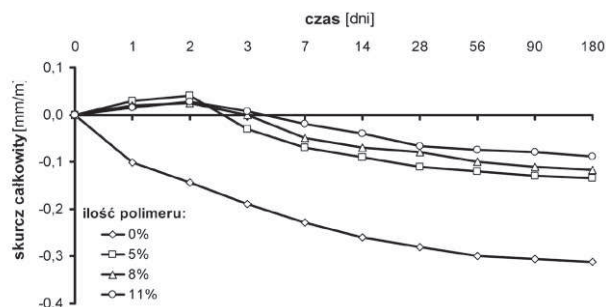
Na rysunku 7 przedstawiono wpływ dodatku kopolimeru styrenowo-akrylowego na wytrzymałość na ściskanie betonu. Wyniki badań pokazują, że w przypadku betonu modyfikowanego dodatkiem polimeru obserwuje się spadki wytrzymałości na ściskanie zarówno po 7 i 28 dniach dojrzewania, w granicach 5÷10%. Obserwowane spadki wytrzymałości tego typu kompozytów w stosunku do betonów zwykłych powodowane są opóźnieniem procesu hydratacji cementu przez tworzące się błony polimerowe, które ograniczają dostęp wody do ziarna cementu. Innym powodem spadku wytrzymałości betonu modyfikowanego jest napowietrzenie mieszanki betonowej w granicach 4,0÷4,5% [5, 7].

Wytworzone w strukturze kompozytu błony polimerowe otaczają również ziarna cementu, spowalniając proces hydratacji, poprzez utrudnienie dostępu do niego wody [2, 3]. W analizowanym przypadku efekt opóźnienia wiązania był niezwykle korzystny ze względu na potrzebę długotrwałego transportu mieszanki przy zachowaniu jej konsystencji i pompowalności (wg ST wymagane było utrzymanie konsystencji 110÷150 mm opadu stożka przez co najmniej 180 minut). Na rysunku 8 przedstawiono wpływ zmiennej ilości dodatku kopolimeru styrenowo-akrylowego Estrifan Additiv KD 962 na czas początku wiązania wykorzystanego cementu CEM I 42,5N HSR NA.

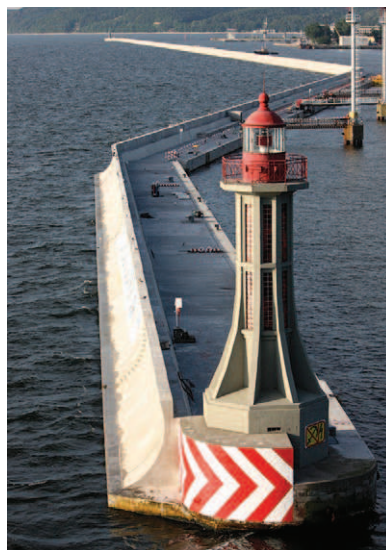
#### 4.4. Skurcz betonu

Zrealizowany program badawczy wyraźnie pokazuje, że zastosowanie modyfikacji betonu dodatkiem kopolimeru styrenowo-akrylowego znacząco wpływa na wielkość odkształceń skurczowych. Na rysunku 9 pokazano przebieg odkształceń skurczowych betonów modyfikowanych dodatkiem polimerowym, przy wartości wskaźnika  $w/c=0,38$ . Pomiar odkształceń skurczowych wykonywane były na belkach  $10 \times 10 \times 50$  cm, tensometrem nasadowym DEMEC o bazie długości 400 mm.

Największą redukcję skurczu betonu zarejestrowano w przypadku zastosowania modyfikatora polimerowego Estrifan Additiv KD 962 w ilości 11% masy cementu. Zmniejszenie wielkości odkształceń skurczowych jest proporcjonalne do ilości zastosowanego dodatku.



**Rys. 9.** Wpływ dodatku kopolimeru styrenowo-akrylowego na przebieg odkształceń skurczowych betonu ( $w/c=0,38$ )



**Fot. 8.**  
Widok naprawionej  
konstrukcji Falochronu  
Wyspowego  
w Porcie Gdynia

W przypadku kompozytów polimerowo-cementowych, w początkowym okresie dojrzewania obserwowano pojawienie się niewielkiej ekspansji (maks. 0,05 mm/m). Skurcz betonów modyfikowanych dodatkiem kopolimeru styrenowo-akrylowego stabilizuje się na poziomie 0,08÷0,12 mm/m, co stanowi maks. 35% wartości skurczu betonu porównawczego. Zatem tego typu betony cementowo-polimerowe można zaliczyć do grupy materiałów niskoskurczowych.

Analiza wyników badań pokazuje, że dodatek kopolimeru styrenowo-akrylowego Estrifan Additiv KD 962 już w ilości 5% masy cementu powoduje znaczne zmniejszenie odkształceń skurczowych betonu. Powodowane jest to przenikaniem matrycy cementowej błonami polimerowymi, która otacza ziarna kruszywa i cementu, tworząc przestrzenną strukturę o budowie przypominającej plaster miodu. Dodatkowym pozytywnym oddziaływaniem polimeru jest to, że błony polimerowe otaczają ziarna cementu, ograniczając do niego dostęp wody, a tym samym spowalniają proces jego hydratacji. Powstałe w jej wyniku produkty, a zwłaszcza kryształy portlandytu, charakteryzują się korzystnie zmienioną drobnokrystaliczną strukturą. Dodatkowo przenikające matrycę cementową błony polimerowe posiadają zdolność do mostkowania mikrozarostów skurczowych [1, 10].

## 5. Podsumowanie

Wykonane zaroby próbne i przeprowadzone badania pozwoliły na opracowanie technologii produkcji w standardowych wytwórniach mieszanek betonu cementowo-polimerowego o wysokiej trwałości i wytrzymałości, przy znacząco mniejszych nakładach kosztowych w stosunku do gotowych mieszanek typu „ready mix” oferowanych przez dostawców chemii budowlanej.

Ponadto zrealizowany program badawczy pozwolił na sformułowanie następujących wniosków ogólnych:  
– Dodatek kopolimeru styrenowo-akrylowego Estrifan Additiv KD 962 w ilości 5÷11% masy cementu pozwa-

la na znaczące zwiększenie odporności betonu na powierzchniowe złuszczenie, na skutek uszczelnienia struktury kompozytu przez przenikające matrycę cementową błony polimerowe, a z drugiej strony przez korzystną modyfikację wymiarowej charakterystyki porowatości betonu.

– Uzyskanie betonów o dobrej i bardzo dobrej odporności na powierzchniowe złuszczenie możliwe jest przy obniżeniu wartości wskaźnika w/c poniżej 0,40, i przy dozowaniu dodatku kopolimeru styrenowo-akrylowego w granicach 8÷11% masy cementu.

– Zastosowanie dodatku kopolimeru styrenowo-akrylowego pozwala na istotne (35÷48%) zwiększenie wytrzymałości betonu na zginanie, jak również na obniżenie wielkości odkształceń skurczowych do poziomu 0,1 mm/m, co pozwala na zaliczenie tego kompozytu do grupy materiałów niskoskurczowych i jest szczególnie istotne w przypadku jego zastosowania do naprawy konstrukcji betonowych.

Wykonane zaroby próbne i uzyskane wyniki badań pozwoliły na wytypowanie odpowiedniej mieszanki betonu cementowo-polimerowego do naprawy konstrukcji falochronu w Porcie Gdynia. Za optymalną, ze względu na bardzo dobrą odporność na powierzchniowe złuszczenie w obecności wody morskiej, jak również niską wartość odkształceń skurczowych i osiągnięcie założonego poziomu wytrzymałości, uznano recepturę o wskaźniku w/c wynoszącym 0,38, przy poziomie dozowania dodatku kopolimeru styrenowo-akrylowego Estrifan Additiv KD 962 8% w stosunku do masy cementu.

Fotografia 8 przedstawia widok „główki” naprawionej konstrukcji Falochronu Wyspowego w Porcie Gdynia.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Flaga K., „Skurcz betonu i jego wpływ na nośność, użyteczność i trwałość konstrukcji żelbetowych i sprężonych”, monografia, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej 2002
- [2] Gruszczyński M., Aleksion M., „Freeze resistance of concrete modified with styrene-acrylic co-polymer additive for the repair of a breakwater in Gdynia Harbor” – 13th International Congress on Polymers in Concrete, Madeira, 10–12.02.2010, s. 721–728
- [3] Gruszczyński M., Aleksion M., Wasąg T., „Ocena mrozoodporności betonu modyfikowanego dodatkiem kopolimeru styrenowo-akrylowego na przykładzie betonu użytego do naprawy falochronu wyspowego w Porcie Gdynia”, Konferencja Dni Betonu 2010, s. 43–53
- [4] Gruszczyński M., „Ocena wielkości odkształceń skurczowych zapraw i betonów cementowych z dodatkiem polimerów” – Cement Wapno Beton nr 3/2007, s. 139–144
- [5] Czarnecki L., „Durability of Concrete Polymer Composites” Int. Colloquium on Corrosion of Cement Paste, Kraków-Mogilany 1994, 105–112
- [6] Czarnecki L., „Influence of polymer admixture on the durability of concrete”. International Seminar Durability of concrete. Aspects of admixtures and industrial by-products. Göteborg 1986. 191–222
- [7] Ohama Y., „Handbook of polymer-modified concrete and mortars; properties and process technology” Noyes Publications, Park Ridge 1995
- [8] Ohama Y., Demura K., Kim W. K., „Freeze-thaw durability of polymer-modified mortars using redispersible polymer powders”. 8th Int. Congress on Polymers in Concrete, Ostende 1995, 251–256
- [9] Wheat H., „Using polymers to minimize corrosion of steel in concrete”, Cement and Concrete Composites 1/2002, 119–126
- [10] Schorn H., „Fracture behaviour of PCC”. 2nd International Symposium on Adhesion between Polymers and Concrete, Dresden 1999