

*Marek Aleksium
Marek Mackiewicz
Krzysztof Wrzecion
Jerzy Wrona*

Praktyczne aspekty stosowania domieszek nowej generacji w betonie towarowym

PRACTICAL ASPECTS OF USING NEW GENERATION ADMIXTURES IN READY MIX CONCRETE

Streszczenie

Każdego roku przed betonem towarowym stawia się coraz większe wymagania. Uzyskanie zarówno wysokich parametrów wytrzymałości na ściskanie, jak i restrykcyjnych wymagań trwałościowych betonu takich jak: wysoki stopień mrozoodporności, wodoprzepuszczalności czy nasiąkliwość betonu poniżej 5% (coraz częściej nawet poniżej 4%) możliwe jest dzięki zastosowaniu domieszek nowej generacji na bazie między innymi akrylanów.

Niniejsze opracowanie przedstawia wyniki badań przeprowadzonych przemysłowo na węźle betoniarskim. Badania były wykonywane dwuetapowo, jednym z pierwszym istotnych parametrów było uzyskanie bardzo dobrej reologii świeżej mieszanki betonowej. Dzięki wykorzystaniu domieszek PCE, możliwe było uzyskanie zarówno wysokiego stopnia upłynnienia mieszanki betonowej – klasa konsystencji S5 – przy jednoczesnym zachowaniu niskiego współczynnika wodno-cementowego (W/C), jak również urabialność w czasie pozwalająca na swobodne wbudowywanie mieszanki betonowej bez nadmiernego wibrowania. Po zapewnieniu bardzo dobrych parametrów wyjściowych mieszanki równie istotnym aspektem było zapewnienie parametrów trwałościowych stwardniałego betonu. Dzięki restrykcyjnemu reżimowi technologicznemu na węźle, możliwe było uzyskanie betonu spełniającego najwyższe wymagania trwałościowe.

W opracowaniu podjęto również próbę wykazania słuszności sprawdzania kompatybilności różnego rodzaju domieszek chemicznych wytwarzanych na różnych surowcach z cementami dostępnymi na polskim rynku. Przedstawione wyniki pozwalają po pierwsze wykazać słuszność stosowania domieszek chemicznych w betonach, gdzie istotnym pa-

Marek Aleksium – AMSC Laboratorium Technologii Materiałów Budowlanych

Marek Mackiewicz – P.W. Mackiewicz

Krzysztof Wrzecion – MAPEI Polska

Jerzy Wrona – MAPEI Polska

rametrem jest trwałość betonu, po wtóre wykazać jaki wpływ mają domieszki PCE przy produkcji betonu z niskim współczynnikiem wodno-cementowym W/C.

Abstract

Every year the demands made on concrete get bigger and bigger. Thanks to the use of new generation admixtures based on acrylates (among others) it is possible to obtain both high parameters with respect to compressive strength and meet stringent requirements of concrete durability, such as: high resistance to frost, hydraulic conductivity and absorbability of concrete at less than 5 per cent (and more and more often, even less than 4 per cent).

The presentation below shows the results of research carried out in industrial conditions in a concrete mixer. The research was done at two stages. One of the first essential parameters was to obtain very good rheology of fresh concrete mix. Thanks to the use of PCE admixtures, it was possible to obtain both high flowability of concrete mix –consistency class S5- while the low level of water/cement (W/C) ratio) was retained. Workability made it possible to easily fill the mold without heavy vibrating. After ensuring very good initial

parameters of the mix, it was equally essential to ensure durability parameters of hardened concrete. Thanks to the stringent technological regime applied in the concrete mixer, it was possible to obtain concrete that meets the highest durability requirements.

The study also attempts to prove that it is justified to check the compatibility of various kinds of chemical admixtures produced from different materials with cements that are accessible on the Polish market. The presented results prove, first of all, that it is right to use chemical admixtures in concretes where concrete durability is an essential parameter. They also show what influence PCE admixtures have when concrete with low water-cement (W/C) ratio is produced.

1. Wprowadzenie

Obecnie beton towarowy zmienia się pod każdym względem. Zarówno wygląd świeżej mieszanki betonowej, jak i jego parametry wytrzymałościowe czy trwałościowe podlegają zmianom, które towarzyszą nam co dzień. Dzieje się tak pod wpływem nowych technologii, coraz większej dostępności innowacyjnych surowców czy łatwiejszemu dostępowi do materiałów, które w znaczący sposób poprawiają parametry techniczne betonu.

Prace nad mieszanką betonową przeważnie zaczynają się w laboratorium. To tam można eksperymentować z różnymi materiałami czy testować poszczególne rozwiązania chemiczne. Konieczne jest sprawdzenie kompatybilności układu cement-domieszka-kruszywo. Ważnym aspektem takich poszukiwań jest wynik, który zadowolili nie tylko technologa betonu. Konieczne jest również znalezienie rozwiązania, które pomoże właścicielowi zaproponować taką cenę za 1 metr sześcienny mieszanki betonowej, która będzie po pierwsze konkurencyjna, a po wtóre pozwoli na uzyskanie odpowiedniej marży. Znalezienie optymalnego rozwiązania wielokrotnie wymaga większych nakładów czasowych niż zakłada się wyjściowo. W niektórych przypadkach dobranie cementu, który spełni wymagania techniczne oraz jest dostępny w określonych rejonach Polski stanowi problem. W innych ustalenie właściwej domieszki chemicznej do cementu, który musi zostać użyty może nastęrczać trudności. Gdy już rozwiążemy te zagadnienia, konieczne jest znalezienie lokalnych kruszyw, dzięki którym parametry stwardniałego betonu okażą się satysfakcjonujące zarówno dla technologa, jak i właściciela.

Gdy znajdziemy rozwiązanie w laboratorium, konieczna jest jego weryfikacja w warunkach przemysłowych. W niektórych przypadkach rozwiązanie opracowane w laboratorium nie znajduje swojego przełożenia w produkcji. Spowodowane może być to między innymi: rodzajem zastosowanego mieszalnika w węzle betoniarskim, czasem mieszania świeżej mieszanki betonowej czy możliwościami technicznymi węzła (sondy wilgotności). Niniejsze opracowanie przedstawia wyniki z prób przemysłowych przeprowadzone w P.W. Mackiewicz. Testy wykonywane były w 2015 roku na przestrzeni kilku miesięcy. Zawarte w tym opracowaniu wyniki przedstawiają jaki wpływ na reologię oraz właściwości stwardniałego betonu ma dobór domieszek chemicznych. Wykorzystano trzy rozwiązania chemiczne. Pierwsze, rozwiązanie konwencjonalne – superplastyfikator na bazie naftalenu dodatkowo wzmocniony plastyfikatorem na bazie lignosulfonianiu. Drugie, rozwiązanie oparte na superplastyfikatorze, którego bazą surowcową są akrylany, a zawartość suchej masy oscyluje w okolicach 20%. I wreszcie trzecie – rozwiązanie oparte na superplastyfikatorze, którego bazą surowcową są również akrylany, przy czym zawartość suchej masy oscyluje w okolicach 30%. Sprawdzone zostały parametry mieszanki betonowej takie jak utrzymanie konsystencji, zawartość powietrza w mieszanke badana metodą ciśnieniową oraz organoleptycznie wygląd mieszanki betonowej. Po upływie normowego czasu dojrzewania betonu przebadana została wytrzymałość stwardniałego betonu na ściskanie oraz wykonane zostały badania trwałościowe wspomnianego betonu. W tym celu wykonano następujące badania betonu: nasiąkliwość, wodoszczelność, mrozoodporność, wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu oraz wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu.

2. Cel przeprowadzonych testów

Przedstawione w projekcie wyniki mają na celu weryfikację słuszności stosowania grupy domieszek wykonanych po pierwsze na różnych bazach surowcowych, a po drugie w różnych stężeniach. Wykorzystany w projekcie recepty stosunek wodno-cementowy (W/C) jest stosunkowo niski – ok 0,42, wyniki zatem wykażą czy domieszki starej generacji na bazie naftalenu poradzą sobie z utrzymaniem konsystencji w czasie oraz czy parametry techniczne stwardniałego betonu będą porównywalne z użyciem domieszek polimerowych nowej generacji. Obecnie wymagania stawiane betonowi towarowemu są niezwykle wysokie, musi spełniać on restrykcyjne normy reologiczne, utrzymanie konsystencji w czasie z uwzględnieniem wysokich temperatur musi być w szczególnych przypadkach perfekcyjne. Niniejsze opracowanie przedstawia wyniki zarobów, gdzie główny nacisk położono na znalezienie rozwiązań z lokalnych surowców, przy jednoczesnym zwróceniu szczególnej uwagi na uzyskanie jak najniższego kosztu wytworzenia metra sześciennego betonu. Wykazane poniżej wyniki przedstawiają obrazowo, która grupa domieszek w mniejszym lub większym stopniu powinna być wykorzystywana przy bardziej wymagających technologicznie betonach.

Przedstawiona poniżej analiza może również posłużyć jako źródło wiedzy gdzie istotnym parametrem jest wytrzymałości betonu na rozciąganie zarówno przy zginaniu jak i rozłupywaniu.

3. Skład mieszanki betonowej

Przedstawiony poniżej poglądowy skład mieszanki betonowej we wszystkich trzech przypadkach był do siebie zbliżony. Jedyną zmienną wprowadzaną była ilość zastosowanej domieszki chemicznej.

Tabela 1. Poglądowy skład mieszanki betonowej

Składniki	Pochodzenie	Gęstość [kg/dm ³]	Udział V[%]	Ilość [kg/m ³]	Objętość [Lt/m ³]
CEM II AV 42,5	Lafarge Kujawy	3,10		360	116,1
Popiół lotny	-	2,15		-	-
-	-	-		-	-
Woda	-	1,00		148	148,0
Suma kruszyw			100,0%	1797	678,2
Zawartość powietrza [%]			5,5%		55,0
PCE	Mapei	1,07	0,80%	2,88	2,69
LP	Mapei	1,01	0,10%	0,36	0,36
Suma:				2308	1000

Zastosowano następujące bazy domieszkowe:

- Domieszka na bazie naftalenu – dozowanie 1,2% w stosunku do masy cementu, ilość: 4,32 kg/1m³
- Domieszka na bazie akrylanów – zawartość suchej masy ok. 20% – dozowanie 0,8% w stosunku do masy cementu, ilość: 2,88 kg/1m³
- Domieszka na bazie akrylanów – zawartość suchej masy ok. 30% – dozowanie 0,58% w stosunku do masy cementu, ilość: 2,27 kg/1m³

Różnice pomiędzy dozowaniami domieszek chemicznych w poszczególnych przypadkach nie są duże, dalsza część opracowania wykaże jednak, że zarówno urabialność

mieszanki betonowej, jak i parametry stwardniałego betonu różnić się będą w znaczącym stopniu. Dodatkowo zdecydowano się na użycie domieszki chemicznej napowietrzającej. Zastosowany cement to cement portlandzki wieloskładnikowy z dodatkiem popiołu lotnego krzemionkowego CEM II AV 42,5 R. Warto zwrócić uwagę również na fakt, że używane kruszywa to naturalne kruszywo otoczkowe z lokalnego rynku północnej polski oraz piasek płukany. Jak wspomniano wcześniej współczynnik wodno/cementowy to 0,42, co w przypadku betonu towarowego jest niskim współczynnikiem i może powodować utratę urabialności.

4. Wyniki badań

Przedstawione poniżej wyniki zostały podzielone na dwie grupy: pierwszą z nich stanowią wyniki mieszanki betonowej (uwzględniono wyniki takie jak: reologia oraz zawartość powietrzna wprowadzonego przy napowietrzeniu mieszanki betonowej w funkcji czasu mierzona metodą ciśnieniową). Następnie kolejna grupa wyników to badania stwardniałego betonu (uwzględniono wyniki takie jak: wytrzymałość na ściskanie, wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu, wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu, nasiąkliwość betonu, wodoszczelność oraz mrozoodporność betonu). Wszystkie przedstawione wyniki to średnia z minimalnych wartości koniecznych do wykonania badania zadeklarowana przez normy, w oparciu o które wykonane było badanie.

5. Właściwości mieszanki betonowej

5.1. Reologia mieszanki betonowej

W zależności od zastosowanej domieszki chemicznej zarówno wygląd mieszanki betonowej, jak i jej właściwości różniły się od siebie. Zastosowanie domieszki na bazie naftalenowej upłyniło nieco słabiej niż wykorzystanie domieszek na bazie polimerów. Badanie organoleptyczne wykazało również, że mieszanka z wykorzystaniem domieszek PCE jest bardziej zwarta (fot. 2), lepiej się układa po wylaniu oraz podczas wibrowania w większym stopniu wykazuje tendencję do płynięcia niż mieszanka z użyciem domieszki konwencjonalnej (fot. 1).

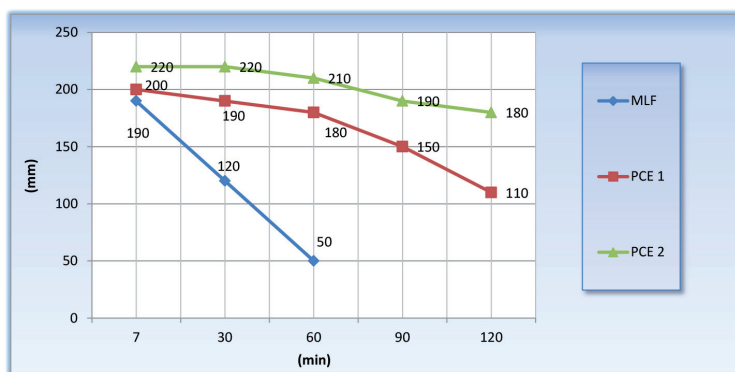


Tabela 2. Wykres utrzymania konsystencji mieszanki betonowej

Użycie domieszki na bazie akrylanów, gdzie zawartość suchej masy to około 30% wykazuje najlepsze utrzymanie konsystencji. Podczas dobierania cementu projekt recepty nie wymaga zastosowania żadnych dodatkowych opóźniaczy, co nie przyczyni się do generowania dodatkowych kosztów. Rozwiązanie z wykorzystaniem 20% domieszki PCE do 90 minut wypadło nieznacznie gorzej, natomiast w przypadku 120 minut rozwiązanie to skończyło w klasie S3 (110 mm), przy czym opisane wcześniej skończyło w klasie S4 (180 mm). Rozwiązanie, które wypadło zdecydowanie najgorzej przy tak niskim współczynniku wodno-cementowym, to rozwiązanie na bazie naftalenu. Po 60 minutach opad stożka wyniósł jedynie 50 mm, czyli plasował się w klasie S2. Bez dodatkowego opóźniacza urabialność świeżej mieszanki betonowej w czasie była bardzo niska.



Fot. 1. Opad stożka uzyskany przy wykorzystaniu chemii konwencjonalnej



Fot. 2. Opad stożka uzyskany przy wykorzystaniu domieszki PCE

5.2. Właściwości powietrza wprowadzonego przy napowietrzeniu

Betony napowietrzane oprócz parametrów technicznych charakteryzować muszą się również stabilnym powietrzem wprowadzonym przy napowietrzeniu. Istotnym jest, aby różnica powietrza pomiędzy wyprodukowaniem mieszanki betonowej, a jej wbudowaniem była możliwie najmniejsza. Pozwoli to na produkcję ciągłą betonu, bez dodatkowych problemów.

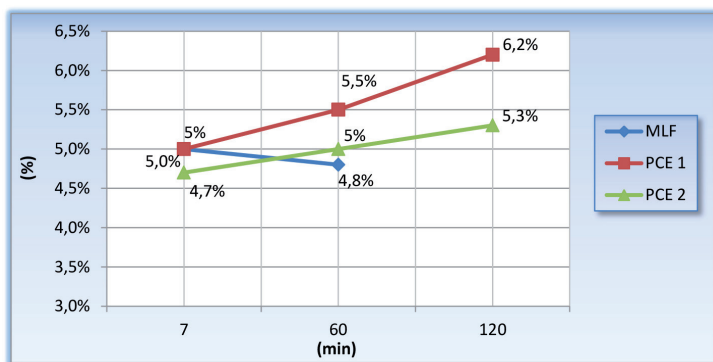


Tabela 3. Wykres powietrza wprowadzonego przy napowietrzeniu

Żadne z przedstawionych rozwiązań nie wykazało niepokojących symptomów. Domieszki na bazie PCE nosiły znamiona lekkiego dopowietrzenia mieszanki betonowej, natomiast domieszka na bazie lignosulfonianu miała lekką tendencję do odpowietrzenia. Stabilność wszystkich trzech rozwiązań nie budziła zaniepokojenia.

6. Właściwości stwardniałego betonu

6.1. Wytrzymałość betonu ściskanie

W przypadku produkcji betonu towarowego, nie tylko reologia świeżej mieszanki jest bardzo istotna. Projektowanie składu mieszanki betonowej musi oczywiście opierać się również na parametrach wytrzymałościowych oraz trwałościowych. Przedstawione poniżej wyniki obrazują jaki wpływ na skład chemiczny cementu ma dobrane odpowiednich domieszek chemicznych. W projekcie uwzględniono wyniki wytrzymałości na ściskanie badane po dwóch, siedmiu oraz dwudziestu ośmiu dniach dojrzewania stwardniałego betonu. Należy pamiętać, że we wszystkich trzech przypadkach współczynnik wodno-cementowy był taki sam. Wyniki wykazują, że zastosowanie domieszek PCE przyczyniło się do zwiększenia wytrzymałości zarówno wczesnych, jak i końcowych. W przypadku wyników dwudniowych różnice w wytrzymałości sięgają nawet 6 MPa, natomiast różnice w wynikach dwudziestoosmiodniowych wzrosły do niespełna 9 MPa. Należy jednak pamiętać, że tak wysokie różnice są możliwe tylko dzięki doborze odpowiedniej domieszki chemicznej PCE do konkretnego rodzaju cementu.

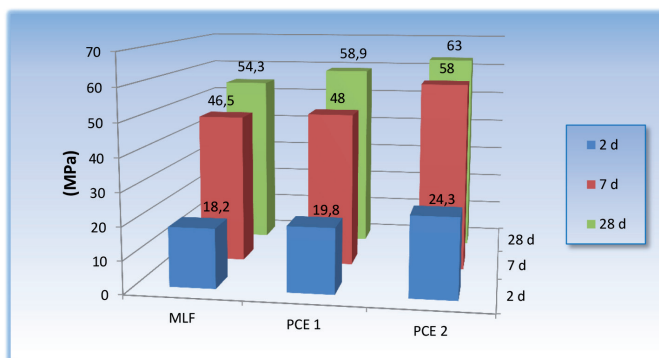


Tabela 4. Wykres porównania wytrzymałości na ściskanie

6.2. Wytrzymałość betonu na rozciąganie przy zginaniu

Kolejnym sprawdzanym parametrem była wytrzymałość betonu na rozciąganie przy zginaniu. Badanymi próbkami były belki o wymiarach 450x150x150 mm. Badanie wykonywane zgodnie z PN-EN 12390-5. W przypadku wszelkiego rodzaju betonów specjalistycznych takich jak np. nawierzchnie z betonu cementowego jest to parametr istotny. Ważnym jest, aby przy wykorzystaniu powszechnie dostępnych surowców otrzymać jak najlepsze wyniki wytrzymałościowe. Przedstawione poniżej wyniki to średnia z trzech belek wykonanych na każdym rozwiązaniu. Wykorzystanie domieszki na bazie PCE również w tym przypadku wykazało największy przyrost wytrzymałości po dwudziestu ośmiu dniach dojrzewania. W przypadku rozwiązania konwencjonalnego średni wynik to 4,7 MPa, w przypadku rozwiązania 20% PCE wynik to 5,1 MPa, natomiast rozwiązanie z wykorzystaniem 30% domieszki PCE dało rezultat 6,2 MPa.

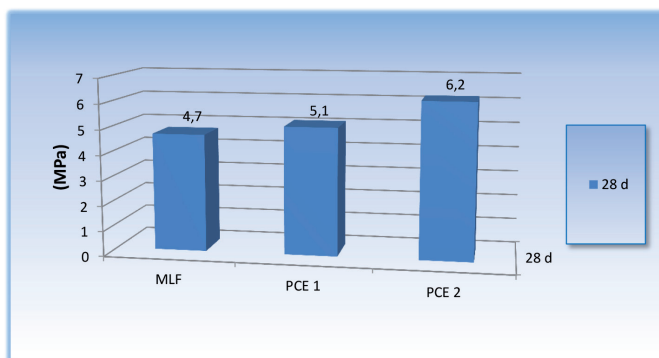


Tabela 5. Wykres porównania wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu

6.3. Wytrzymałość betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu

W przypadku badania wytrzymałości betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu testy można przeprowadzać zarówno na próbkach sześciennych 150x150x150mm, jak i na

próbkach walcowych o średnicy 150 mm i wysokości 300 mm. Badanie przeprowadzone zgodnie z PN-EN 12390-6. W przedstawionym poniżej zestawieniu wykorzystano próbki walcowe. Powszechnie wiadomym jest, że wytrzymałość betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu w pierwszej kolejności zależy od przyczepności ziaren kruszywa do stwardniałego zaczynu cementowego. Wyniki poniżej pokazują również zależność, gdzie widać jaki wpływ ma wytrzymałość betonu na ściskanie na rozciąganie przy rozłupywaniu. Wartości te przedstawiają liniowość względem wytrzymałości na ściskanie. Rozwiązanie z wykorzystaniem domieszki konwencjonalnej uzyskało średnią wartość 3,4 MPa, a rozwiązanie z wykorzystaniem domieszki na bazie PCE 4,5 MPa.

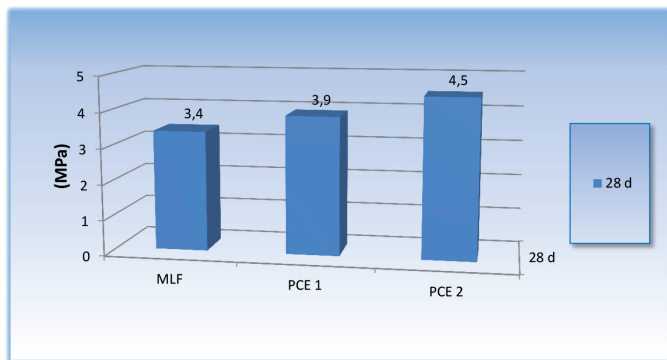


Tabela 6. Wykres porównania wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu

6.4. Nasiąkliwość betonu stwardniałego

Badanie nasiąkliwości betonu stwardniałego zostało wykonane zgodnie z normą PN-88/B-06250. Dzisiejsze wytyczne specyfikacji technicznych dla betów np. drogowo-mostowych wymagają nasiąkliwości poniżej 5%, w bardzo restrykcyjnych przypadkach nawet do 4%. Uzyskanie tak niskich wyników nasiąkliwości jest możliwe tylko wtedy, gdy kompatybilność materiałów wsadowych jest wysoka.

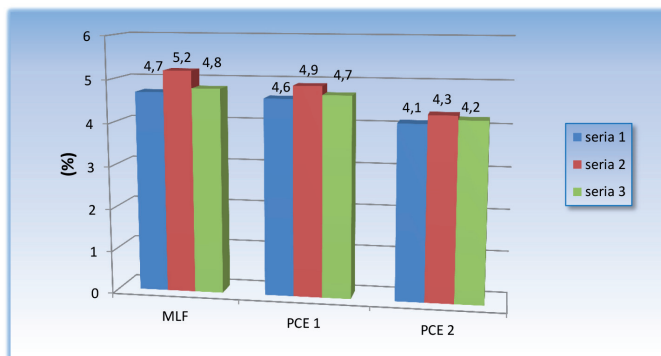


Tabela 7. Badanie nasiąkliwości betonu

Uzyskane wyniki pokazują, że uzyskanie nasiąkliwości poniżej 5% przy bezpiecznym poziomie jest jak najbardziej możliwe. Przy zastosowaniu domieszki na bazie PCE (w przypadku 20% suchej masy) uzyskana nasiąkliwość jest co prawda poniżej 5%, ale wynik dzięki któremu można mówić o większym „zapasie” to rozwiązanie z wykorzystaniem domieszki na bazie 30%–4,2%. Najgorzej w tym zestawieniu plasuje się rozwiązanie, gdzie wykorzystano domieszkę konwencjonalną. Średnia wyników nasiąkliwości to 4,9%, jednak należy pamiętać, że pojedynczy wynik to 5,2%.

6.5. Badanie wodoszczelności betonu

Badania przeprowadzone zgodnie z normą: PN-88/B-06250. Stopień wodoszczelności został wykonany z wykorzystaniem ciśnienia na poziomie 12 atmosfer (W12) na próbkach sześciennych 150x150x150mm. Dzięki tak restrykcyjnemu badaniu możliwe było sprawdzenie jaki wpływ miało zastosowanie różnych domieszek chemicznych na matrycę cementową i porównanie wyników.

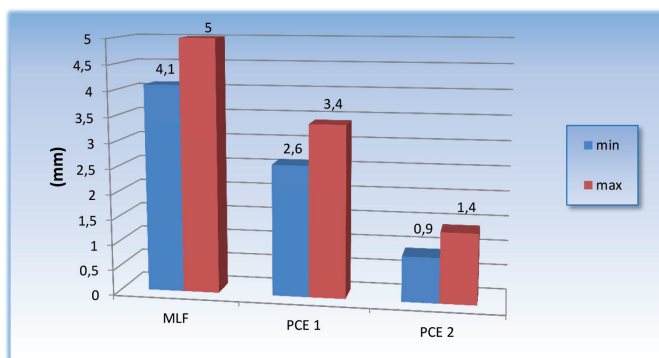


Tabela 8. Badanie wodoszczelności betonu

Wszystkie wyniki spełniają kryterium wodoszczelności na poziomie W12. Na powyższym wykresie widać jednak, że dzięki zastosowaniu domieszek na bazie polimerowej wnikanie wody w beton jest mniejsze.

6.6. Badanie mrozoodporności betonu

Kolejnym istotnym parametrem trwałościowym jest mrozoodporność betonu. Większość specyfikacji technicznych określa mrozoodporność na poziomie F150. W tym przypadku również oparto badanie na normie PN-88/B-06250, ilość cykli po których sprawdzano wytrzymałość oraz ubytek masy to 150. W przypadku wytrzymałości, spadek nie może być większy niż 20% względem próbek świadków, które nie są poddawane obniżonym temperaturom. W przypadku ubytku masy nie może być większy niż 5% względem próbek świadków. Przeprowadzone badania odbyły się na 12 sztukach kostek sześciennych 100x100x100mm w trzech wariantach domieszkowych.

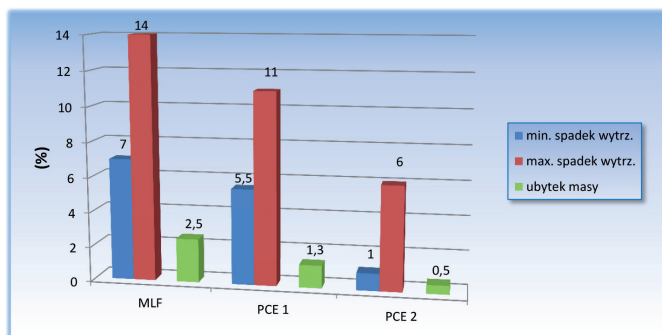


Tabela 9. Badanie mrozoodporności betonu

Badania wykazały że wszystkie trzy rozwiązania mieszczą się w kryterium badania F150. Istotny jednak jest fakt, że w przypadku zastosowania polimerowego trwałość wykonanego betonu jest znacznie lepsza niż w przypadku wykorzystania domieszek konwencjonalnych. Maksymalny spadek wytrzymałości w przypadku rozwiązania konwencjonalnego to 14%, w przypadku zaś rozwiązania polimerowego to tylko 6%. Jeśli spojrzymy na ubytek masy w pierwszym przypadku to 2,5%, a w przypadku trzecim to tylko 0,5%. Należy również pamiętać, że podczas betonowania mogą występować odchylenia spowodowane różnymi czynnikami. Zatem istotne jest, aby wstępne wyniki były jak najlepsze po to, aby w przypadku nieoczekiwanych zmian mieć „zapas” w każdej metodzie badania.

7. Podsumowanie

Przeprowadzone testy przemysłowe wykazały zasadność testowania wszelkich nowych rozwiązań. Dzięki zastosowaniu zarówno cementu CEM II AV 42,5 R, jak i kruszywa naturalnego otoczkowego wykazano, że dzięki zastosowaniu domieszek nowej generacji na bazie PCE przy 30% udziale suchej masy, można produkować beton towarowy spełniający nawet bardzo restrykcyjne założenia. Przy szeroko obecnie dostępnym wachlarzu rozwiązań chemicznych problemem nie stanowi uzyskanie betonu towarowego mrozoodpornego, wodoszczelnego czy spełniającego wysokie parametry wytrzymałościowe. Problem jest jedynie czas, który trzeba poświęcić na znalezienie odpowiedniego rozwiązania. Kolejnym istotnym parametrem są koszty wytworzenia 1m³ betonu. Obecnie zastosowanie domieszek na bazie PCE nie musi oznaczać znacznego podwyższenia kosztów materiałów wsadowych. Cena jednego kilograma takiej domieszki oczywiście będzie nieco większa niż domieszki konwencjonalnej, natomiast należy pamiętać o tym jak takie rozwiązanie wpłynie na poprawę reologii czy parametrów stwardniałego betonu. W niektórych przypadkach przy wykorzystaniu domieszek konwencjonalnych, konieczne byłoby dodanie kolejnych domieszek chemicznych poprawiających np. wodoszczelność betonu stwardniałego, czy w przypadku gdzie współczynnik wodno/cementowy będzie wyższy dodanie środków redukujących np. skurcz, co w końcowym rozliczeniu mogłoby sprawić, że rozwiązane z zastosowaniem domieszek na bazie PCE okaże się korzystniejsze cenowo.

Należy również zwrócić uwagę na fakt że wykorzystanie domieszek nowej generacji pozwoliło uzyskać wytrzymałość betonu na rozciąganie przy zginaniu o ponad 30%.

W przypadku wytrzymałości betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu o niespełna 20% a nasiąkliwości betonu o ponad 15%. Podwyższenie wyżej wymienionych parametrów pozwala np. rozważyć zmianę ilości stosowania stali zbrojeniowej w nawierzchniach z betonu cementowego lub stosowanie dodatkowych materiałów zmniejszających nasiąkliwość betonu co ma bezpośrednio wpływ na koszty 1m^3 betonu.

Literatura

- [1] A.M. Neville: Właściwości betonu. Polski Cement, Kraków 2012
- [2] P. Łukowski: Domieszki do zapraw i betonów. Polski Cement, Kraków 2008
- [3] Z. Jamróży: Beton i jego technologie. PWN, Warszawa 2006
- [4] W. Kurdowski: Chemia cementu i betonu. Polski Cement, Kraków 2010
- [5] PN-EN 206:2014. Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność
- [6] PN-88/B-06250. Beton zwykły
- [7] PN-EN 12390-5. Wytrzymałość na zginanie próbek do badań
- [8] PN-EN 12390-6. Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu próbek do badań