

*Maciej Gruszczyński
Kamil Sokołowski
Jerzy Wrona
Krzysztof Wrzecion*

Wpływ domieszki przedłużającej urabialność na strukturę napowietrzenia i mrozoodporność betonu

THE INFLUENCE OF PROLONGED WORKABILITY ADMIXTURES ON THE STRUCTURE AERATION AND FROST RESISTANCE CONCRET

Streszczenie

Beton przeznaczony do wykonywania elementów konstrukcyjnych obiektów mostowych i hydrotechnicznych winien charakteryzować się, ze względu na znaczny stopień zbrojenia, doskonałymi właściwościami reologicznymi – długim czasem utrzymania konsystencji, bardzo dobrą urabialnością i w obecnym czasie często zdolnością do samozagęszczania się. Nadto beton w tego rodzaju obiektach winien cechować się wysoką wytrzymałością i odpornością na działanie znakozmiennych temperatur i soli odladzających.

Uzyskanie tych cech możliwe jest przez odpowiedni dobór, pod względem ilościowym i jakościowym, składników, tj. właściwych cementów, kruszyw, domieszek chemicznych i dodatków mineralnych.

W prezentowanym artykule przedstawiono wyniki z prób realizowanych w skali przemysłowej. Ich celem była ocena wpływu opóźnionego dozowania polimerowej domieszki przedłużającej urabialność mieszanki, na napowietrzenie betonu, a zwłaszcza charakterystykę jego wymiarowej struktury. Powodowane było to faktem, że pierwotna – uzyskana na skutek zadziałania domieszki napowietrzającej – struktura porów często ulega niekorzystnej zmianie, której przyczyną może być brak kompatybilności układu domieszka upłynniająca – napowietrzająca, co w efekcie powoduje obniżenie odporności betonu na działanie środków odladzających i znakozmiennych temperatur.

Uzyskane wyniki rozkładów porowatości betonu, charakteryzowane przez współczynnik rozmieszczenia porów \bar{L} i wskaźnik mikroporowatości A_{300} skonfrontowano

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

mgr inż. Kamil Sokołowski – General Beton Polska Sp. z o.o.

mgr inż. Jerzy Wrona – MAPEI Polska Sp. z o.o.

mgr inż. Krzysztof Wrzecion – MAPEI Polska Sp. z o.o.

z wynikami badania mrozoodporności w kontekście wymagań nowych OST GDDKIA dla betonów mostowych i nawierzchniowych.

Abstract

Concrete destined for constructing the structural elements of bridges and hydro-technical objects, due to the high amount of reinforcement, should be characterized with perfect rheological properties - long time of consistency maintenance, very good workability and presently also ability to self-compaction. Moreover, concrete for such types of objects ought to be marked with high strength and resistance to the action of temperatures with different signs as well as defrosting salts.

Obtaining such properties is possible only by the proper qualitative and quantitative selection of components, i.e. cement, aggregate, chemical admixtures and mineral additives.

In the paper there are presented results from tests carried out in industrial scale. The aim of tests was to estimate the influence of late dosage of polymer admixture improving the mixture workability onto concrete aeration and especially onto characteristic of its dimensional micro-structure. It was due to the fact that initial pore micro-structure, obtained as a result of aeration admixture, frequently subjects to the unfavorable change caused by lack of compatibility of the system: plasticizer admixture, which finally decreases the concrete resistance to the action of temperatures with different signs as well as defrosting salts.

Results obtained for concrete pores distribution, characterized with pores distribution coefficient and micro-porosity factor A_{300} were confronted with the results of frost resistance within the context of new OST GDDKIA requirements for bridge and surface concretes.

1. Wprowadzenie

Beton cementowy jest podstawowym materiałem konstrukcyjnym stosowanym do budowy drogowych obiektów inżynierskich. Wynika to z jego licznych i dobrze znanych zalet.

Jeszcze do niedawna podstawowym wyznacznikiem jakości betonu była jego wytrzymałość na ściskanie. Dotrzymanie warunków normowych w zakresie cech wytrzymałościowych przy stosowaniu współczesnych cementów, dodatków mineralnych i domieszek chemicznych nie nastrocza technologom betonu większych problemów. Podstawowa trudność polega na zapewnieniu wieloletniej trwałości konstrukcji betonowej w warunkach jej eksploatacji w środowisku znakozmiennych temperatur i środków odladzających. Jednocześnie ze względu na przyjmowane w procesie projektowania znaczne zagęszczenie zbrojenia i często złożone kształty elementów, konieczne jest stosowanie mieszanek, które charakteryzują się wysoką ciekłością, a bardzo często wymaga się aby posiadały także zdolność do samozagęszczania.

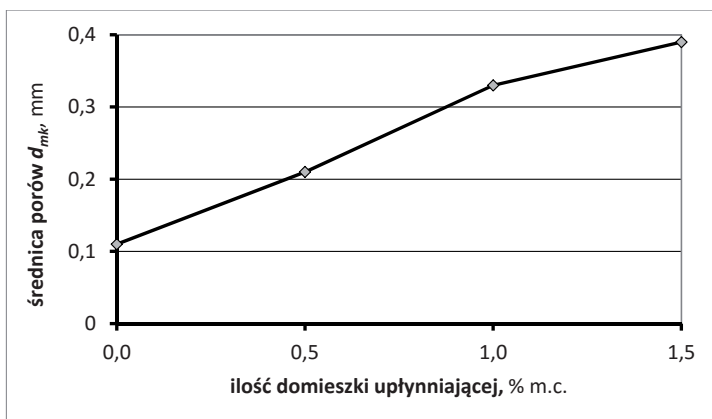
Uzyskanie tych cech mieszanki betonowej możliwe jest tylko w przypadku właściwego doboru jakościowego i ilościowego składników betonu (cement, kruszywa, dodatki mineralne) oraz odpowiednich kombinacji domieszek chemicznych – plastyfikujące/upłynniające – napowietrzające i często nieodzowne domieszki opóźniające wiązanie.

Jak pokazuje praktyka bardzo często dochodzi do zaburzenia pierwotnej, korzystnej struktury porowatości, która charakteryzowana jest przez współczynnik rozmieszczenia porówdyspersji porowatości \bar{L} i wskaźnik mikroporowatości A_{300} . Krytyczne, warunkujące trwałość betonu w warunkach agresji mrozowej i oddziaływania soli odladzających wartości tych parametrów wyznaczył Powers [1] i po weryfikacji praktycznej ich wielkości podają dokumenty normatywne, np. OST GDDKIA „Nawierzchnia z betonu cementowego” [2] – tabela 1.

Tabela 1. Wymagania wobec charakterystyki porów w betonie do wykonywania nawierzchni z betonu cementowego [2]

Klasa ekspozycji	Współczynnik rozmieszczenia porów \bar{L} [mm]	Wskaźnik mikroporowatości A_{300} [%]
XF3	$\leq 0,250$	$\geq 1,5$
XF4	$\leq 0,200$	

Po raz pierwszy przypadki pogorszenia jakości nowych odcinków dróg betonowych zaobserwowano na przełomie lat siedemdziesiątych i osiemdziesiątych w Austrii i Niemczech. Przyczyna problemu została wyjaśniona przez Sommera i Sinnhubera [1], którzy stwierdzili, że jednoczesne stosowanie domieszki napowietrzającej i wprowadzonych w tym czasie na rynek, wysokowydajnych upłynniaczy na bazie naftalenu, znacząco poprawia efektywność działania domieszek napowietrzających w zakresie ilości ich dozowania, niezbędnej do uzyskania wymaganego poziomu napowietrzenia betonu, ale jednocześnie prowadzi do powstania układu porów o wyraźnie pogorszonej wymiarowej strukturze i stabilności, aniżeli w przypadku stosowania samej tylko domieszki napowietrzającej. Nadto Sommer wykazał, że wraz ze wzrostem poziomu dozowania domieszki upłynniającej w betonie napowietrzonym, zwiększa się przeciętna średnica porów d_{mk} a tym samym, niebezpiecznie dla trwałości mrozowej, wzrasta wartość współczynnika rozmieszczenia porów \bar{L} (rys. 1).



Rys. 1. Wpływ ilości dodatku plastyfikatora na bazie naftalenu na przeciętny wymiar średnicy porów powietrza d_{mk} w stwardniałym betonie [1]

Według Powersa ma miejsce zależność [4]:

$$\bar{L} = \frac{d_{mk}}{2} \times \left[1,4 \times \left(\frac{P}{A} + 1 \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right] \quad (1)$$

gdzie: \bar{L} – współczynnik rozmieszczenia porów, mm
 d_{mk} – średni wymiar porów, mm
 P – objętość zaczynu, %
 A – całkowita zawartość porów powietrza, %

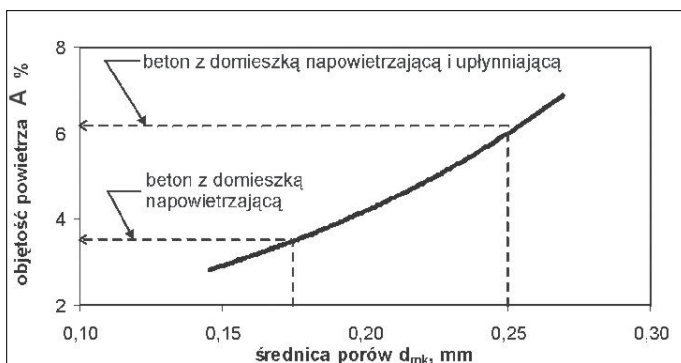
Jak wynika z analizy powyższego równania (1) w betonie z domieszką upłynniająca przeciętny por powietrza ma kilkunastokrotnie większą objętość niż w betonie z samą tylko domieszką napowietrzającą. W takiej sytuacji, przy jednakowym poziomie napowietrzenia, wartość współczynnika rozmieszczenia porów \bar{L} betonu z domieszką upłynniająca jest o wiele wyższa niż wymagana wartość krytyczna 0,200 mm.

Z tego też powodu przedmiotowe wytyczne niemieckie [5, 6] wymagają przy jednoczesnym stosowaniu kombinacji domieszki napowietrzającej/plastyfikującej, zwiększenie poziomu napowietrzenia o 1,0÷1,5% vol. w stosunku do podstawowych wymagań normowych.

Wymagane zwiększenie ilości wprowadzonego powietrza można wyznaczyć rozwiązując poniższe równanie:

$$\bar{L} = \frac{d_{mk}}{2} \times \left[1,4 \times \left(\frac{P}{A} + 1 \right)^{\frac{1}{3}} - 1 \right] \leq 0,200 \text{ mm} \quad (2)$$

W efekcie jego rozwiązania uzyskuje się zależność pomiędzy średnim wymiarem porów d_{mk} a wymaganą zawartością powietrza A , tak aby współczynnik rozmieszczenia porów \bar{L} nie przekraczał krytycznej wartości 0,200 mm (rys. 2).



Rys. 2. Związek pomiędzy średnicą porów d_{mk} a minimalną ilością powietrza A dla zapewnienia maksymalnej, dopuszczalnej przepisami wartości współczynnika rozmieszczenia porów \bar{L} [1]

Analiza powyższego przykładu pokazuje, że dla uzyskania dostatecznej, warunkującej trwałość mrozową wartości współczynnika rozmieszczenia porów \bar{L} w przypadku stosowania domieszki upłynniającej konieczne jest zwiększenie poziomu napowietrzenia betonu. W przytoczonym przykładzie z 3,5%, dla porów o średnicy 0,18 mm do 6,0%, dla porów o $d_{mk}=0,25$ mm. Skutkiem tego jest niekorzystne obniżenie wytrzymałości betonu. Z tej też przyczyny do produkcji mieszanek betonów napowietrzonych należy stosować takie kombinacje domieszki napowietrzającej i upłynniającej, które powodują wytworzenie układu porów o możliwie drobnej strukturze, co umożliwi zmniejszenie poziomu napowietrzenia do dolnej wymaganej przepisami granicy i zapewni tym samym lepszą stabilność systemu pustek.

2. Cel i zakres badań

Celem zrealizowanego programu badań własnych było określenie wpływu dozowania domieszki DYNAMON RT POWDER na konsystencję, strukturę porowatości, wytrzymałość i mrozoodporność betonu. Program badań własnych zrealizowano w warunkach produkcji przemysłowej na wytwórni betonu towarowego, należącej do firmy General Beton Polska w Niepołomicach i podzielono na dwa etapy.

W pierwszym etapie oceniano wpływ dozowania domieszki DYNAMON RT POWDER na zmianę konsystencji betonu klasy C30/37. Program badań dla tego betonu przewidywał ocenę zmian konsystencji, gęstości i zawartości powietrza w mieszance w czasie 120 minut od chwili zarobienia składników. Domieszkę zadozowano po 90 minutach istnienia mieszanki w ilości $1,0 \text{ kg/m}^3$. Nadto z mieszanki zaformowano kostki o boku 15 cm w ilości po 15 sztuk przed i bezpośrednio po dozowaniu domieszki DYNAMON RT POWDER do mieszalnika betonomieszarki.

W drugim etapie oceniano wpływ dozowania domieszki DYNAMON RT POWDER w ilości $0,5 \text{ kg/m}^3$ na konsystencję, zawartość powietrza i charakterystykę porowatości mieszanki betonu napowietrzonego klasy wytrzymałości C35/45. Tak jak w pierwszym etapie dozowanie domieszki wykonywano po 90 minutach od zarobienia składników i oceny ww. właściwości dokonywano w czasie 120 minut. W przypadku mieszanki betonu napowietrzonego, oprócz ciał próbnych, do oceny wytrzymałości na ściskanie przed

i po zadozowaniu DYNAMON RT POWDER pobrano dodatkowe próbki w celu oceny struktury porowatości betonu, metodą planimetryczną wg PN-EN 480-11.

Celem weryfikacji uzyskanych wyników analizy struktury porów przed i po zadozowaniu domieszki pobrano serie próbek kostkowych o boku 100 mm do badania mrozoodporności do stopnia F150, metodą zwykłą wg PN-88/B-06250.

Szczegółowe zestawienie receptur mieszanek betonowych podano w tabeli 2. W czasie prowadzenia prób mieszanka znajdowała się w mieszalniku betonomieszarki samochodowej, która obracała się na tzw. „wolnych obrotach”.

Tabela 2. Zestawienie receptur mieszanek betonowych

Składnik [kg/m ³]	Beton zwykły C30/37	Beton napowietrzony C35/45
Cement CEM I 42,5N	280	350
Popiół lotny	60	-
Piasek 0/2	650	650
Granit 2/8	450	440
Granit 8/16	710	650
Woda	160	160
Domieszki [% m.c.]:		
Plastyfikator Mapefluid N100	0,7%	1,1%
Dom. napowietrzająca Mape-air AE 20	-	0,1%

2.1. Charakterystyka domieszki DYNAMON RT POWDER

Wykorzystywana w programie badawczym domieszka MAPEI DYNAMON RT POWDER jest specjalistycznym produktem, przeznaczonym do przywracania i przedłużania urabialności mieszanki betonowej.

Jej cechą charakterystyczną jest fakt, że stosowana jest ona w postaci proszkowej, co znakomicie ułatwia jej prawidłowe i precyzyjne dozowanie do mieszalnika betonomieszarki. Domieszka DYNAMON RT POWDER oparta jest na bazie polimerów akrylowych i jest w pełni kompatybilna ze stosowanymi współcześnie domieszkami napowietrzającymi.

Zgodnie z danymi producenta domieszka DYNAMON RT POWDER może być stosowana na dwa sposoby:



- w celu zwiększenia stopnia konsystencji 1m³ betonu o jedną klasę (np. 1m³ o konsystencji S4 + 0,5 kg DYNAMON RT POWDER = 1m³ o konsystencji S5);



- w celu zwiększenia stopnia konsystencji mieszanki betonowej o dwie klasy – np. 1m³ klasy S3 + 1kg DYNAMON RT POWDER = 1m³ o konsystencji S5.

Domieszka DYNAMON RT POWDER jest specjalistycznym produktem umożliwiającym kontrolowane podwyższenie klasy konsystencji mieszanki betonowej, która w czasie transportu utraciła urabialność. Poprzez jej dozowanie w postaci proszkowej, zapakowanej w 1kg pakiety w rozpuszczalnych workach (fot. 1), uzyskuje się możliwość precyzyjnego dozowania, co niejednokrotnie jest trudne w praktyce, przy stosowaniu tradycyjnych domieszek plastyfikujących/upłynniających.



Fot. 1. Dozowanie domieszki DYNAMON RT POWDER do mieszalnika betonomieszarki

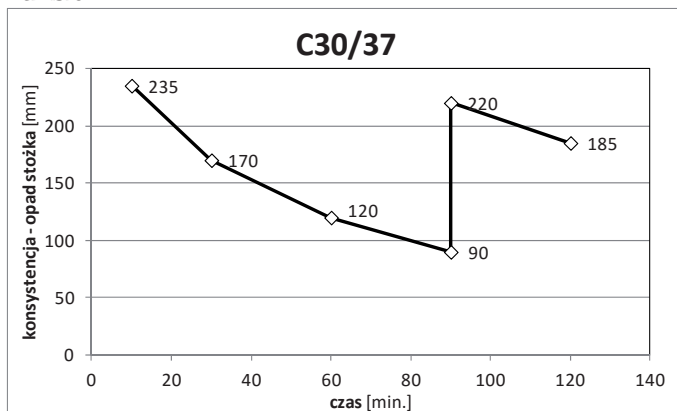
3. Wyniki badań i dyskusja

3.1. Ocena właściwości mieszanki betonowej

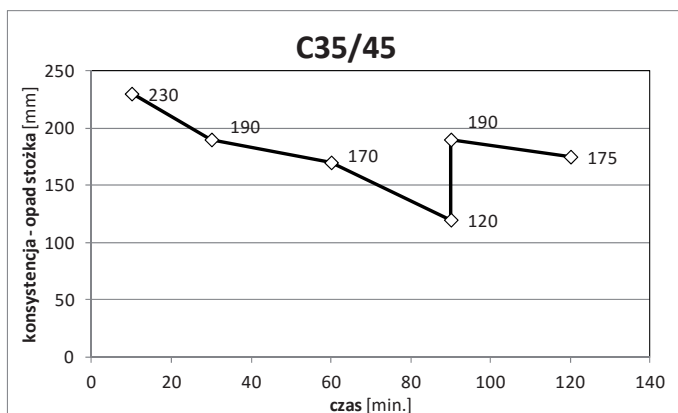
W pierwszej części zrealizowanego programu badań własnych oceniano utrzymanie konsystencji mieszanek: betonu zwykłego klasy C30/37 bez napowietrzenia oraz betonu napowietrzonego klasy C35/45.

Konsystencję oceniano metodą stożka opadowego po 10, 30, 60, 90 i 120 minutach, przy czym w 90 minucie dozowano domieszkę DYNAMON RT POWDER w ilości odpowiednio: $1\text{kg}/\text{m}^3$ (beton C30/37) i $0,5\text{kg}/\text{m}^3$ (beton C35/45).

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono wyniki badania konsystencji przedmiotowych mieszanek w czasie.



Rys. 3. Utrzymanie konsystencji w czasie – mieszanka betonu C30/37



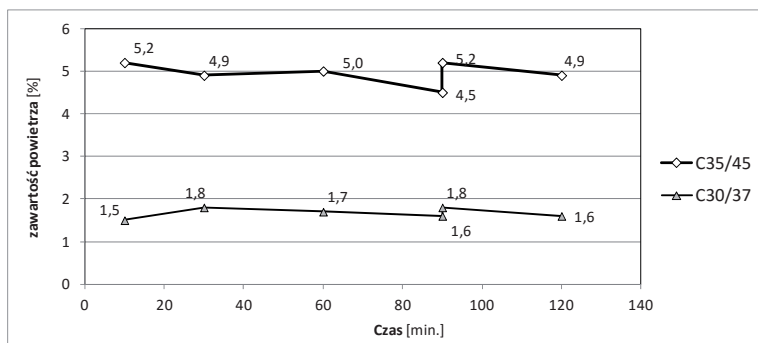
Rys. 4. Utrzymanie konsystencji w czasie – mieszanka betonu C35/45 (z domieszką napowietrzającą)

Jak pokazuje analiza uzyskanych wyników pomiarów konsystencji, domieszka DYNAMON RT POWDER dozowana w ilości odpowiednio:

- 1,0 kg/m³ – mieszanka betonu C30/37 (bez napowietrzenia),
- 0,5 kg/m³ – mieszanka betonu C35/45 (z napowietrzeniem),
- po 90 minutach umożliwiła przywrócenie pierwotnej klasy konsystencji przedmiotowych mieszanek betonowych, a tym samym zapewniało to zachowanie ich właściwości reologicznych, gwarantujących możliwość wbudowania w elementy konstrukcyjne nawet po 120 minutach.

Celem oceny wpływu dozowania domieszki DYNAMON RT POWDER na napowietrzenie mieszanki, wykonano pomiary zawartości powietrza metodą ciśnieniową wg PN-EN 12350-7.

Wyniki badania zawartości powietrza w czasie dla mieszanek betonu C30/37 i C35/45 przedstawiono na rysunku 5



Rys. 5. Wyniki pomiarów zawartości powietrza w badanych mieszankach betonowych

Wykonane pomiary wykazały w sposób jednoznaczny, że w przedmiotowych mieszankach betonu klasy odpowiednio: C30/37 i C35/45, uzyskano stabilny system porów powietrznych o charakterystyce nieziennej w czasie.

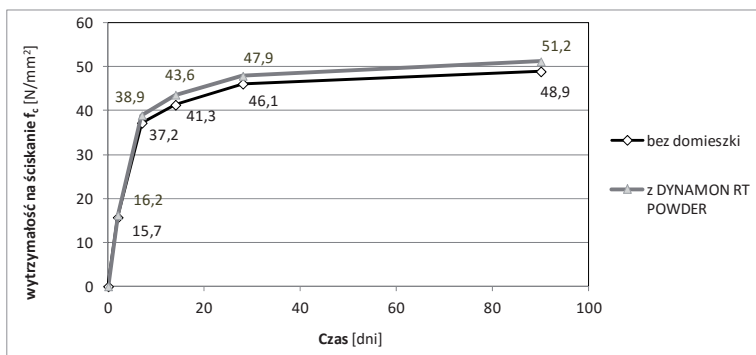
Nadto zaobserwowano, że dozowanie domieszki DYNAMON RT POWDER, pomimo znaczącego (o dwie klasy) upłynnienia mieszanki, nie spowodowało istotnej zmiany ilości powietrza zarówno w mieszance betonu C30/37 (bez domieszki napowietrzającej), jak i C35/45 (z domieszką napowietrzającą, dozowaną w ilości gwarantującej poziom napowietrzenia $\approx 5,0\%$). W przypadku mieszanki betonu zwykłego C30/37 nie zaobserwowano aby dozowanie przedmiotowej domieszki DYNAMON RT POWDER skutkowało niekontrolowanym napowietrzeniem betonu. Uzyskane wyniki pomiarów zawartości powietrza (rys. 5), pokazują w sposób jednoznaczny, że w czasie 120 minut napowietrzenie mieszanek utrzymuje się na praktycznie stałym poziomie, tj. $\approx 1,8\%$ (C30/37) i $\approx 5,0\%$ (C35/45).

3.2. Ocena właściwości betonu stwardniałego

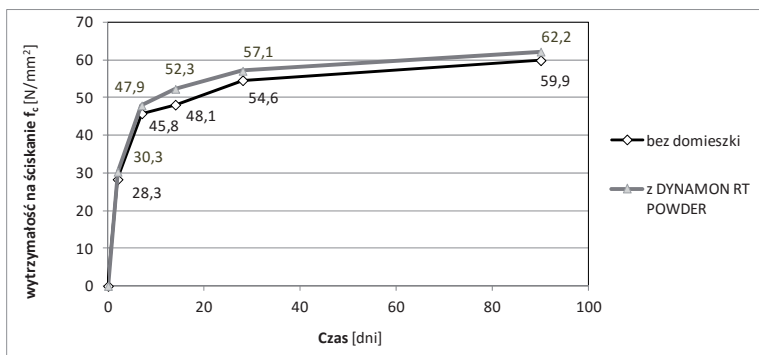
Z mieszanek przedmiotowych betonów klas C30/37 i C35/45 pobrano serie ciał próbnych w postaci kostek o boku 150 mm, bezpośrednio przed i 30 min. po dozowaniu domieszki DYNAMON RT POWDER, celem oznaczenia wytrzymałości na ściskanie (po 2, 7, 14, 28 i 90 dniach).

Dodatkowo z mieszanki betonu napowietrzonego, klasy C35/45 pobrano w sposób analogiczny serie próbek do oceny odporności betonu na działanie mrozu (badanie prowadzone metodą zwykłą do stopnia F150 wg PN-88/B-06250) i wymiarowej struktury porowatości wg PN-EN 480-11.

Wyniki badania wytrzymałości na ściskanie przedmiotowych serii betonu podano na rysunkach 6 i 7.



Rys. 6. Rozwój w czasie wytrzymałości betonu klasy C30/37 (bez napowietrzenia) – przed i po dozowaniu domieszki DYNAMON RT POWDER



Rys. 7. Rozwój w czasie wytrzymałości betonu klasy C35/45 (z napowietzeniem) – przed i po dozowaniu domieszki DYNAMON RT POWDER

Zrealizowany program badań własnych w sposób jednoznaczny wykazał, że przywrócenie urabialności mieszanki betonowej, poprzez dozowanie domieszki DYNAMON RT POWDER pozostaje praktycznie bez wpływu na uzyskiwane wartości wytrzymałości na ściskanie. Uzyskane wartości wytrzymałości dla próbek betonu wykonanych przed i po dozowaniu domieszki wykazują różnice nie większe niż 5%, co uznać należy za wynik bardzo dobry i w praktyce inżynierskiej mieszczący się w granicach dokładności pomiaru.

Celem oznaczenia wymiarowej charakterystyki systemu napowietzenia, wykonano na próbkach o boku 150 mm, pobranych z mieszanki betonu napowietzonego klasy C35/45, zaformowanych bezpośrednio przed i 30 min. po zadozowaniu domieszki DYNAMON RT POWDER badanie struktury porowatości. Analizy wykonano na zglądach próbek betonu, metodą planimetryczną wg PN-EN 480-11 z wykorzystaniem automatycznego systemu firmy Merk Elektronik.

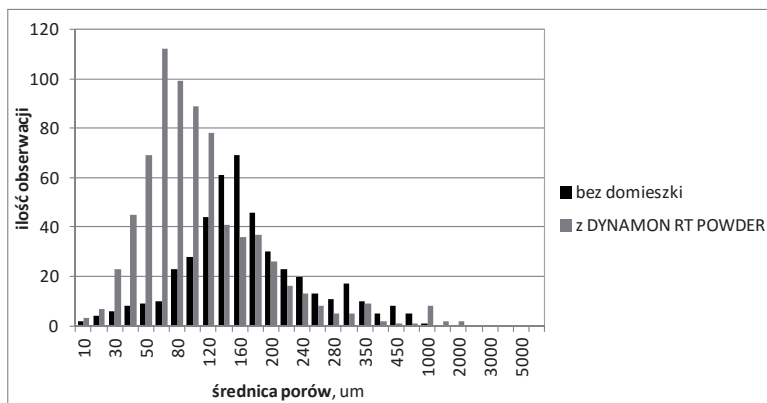
Wyniki badania struktury porowatości betonu klasy C35/45 przed i po dozowaniu domieszki przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki badania wymiarowej charakterystyki porowatości betonu C35/45

Klasa betonu	C35/45	
	Bez domieszki	Po dozowaniu DYNAMON RT POWDER
Współczynnik rozmieszczenia porów \bar{L} [mm]	0,174	0,158
Wskaźnik mikroporowatości A_{300} [%]	1,85	1,96
Zawartość powietrza A [%]	4,48	5,12

Jak pokazuje analiza wyników badania struktury porowatości, uzyskane charakterystyki lokują przedmiotowe betony w bezpiecznym przedziale ($\bar{L} \leq 0,200$ mm i $A_{300} \geq 1,5\%$). Na podkreślenie zasługuje fakt, że dozowanie domieszki DYNAMON RT POWDER powoduje wyraźną poprawę struktury systemu pustek. Znajduje to swoje odzwierciedlenie w uzyskanych wynikach charakterystyki wielkości porów. Na rysunku 8 przedstawiono

histogramy rozkładu wymiarów porów powietrznych betonu klasy C35/45 przed i po dozowaniu przedmiotowej domieszki.



Rys. 8. Histogramy rozkładu wielkości porów betonu C35/45 przed i po dozowaniu domieszki DYNAMON RT POWDER

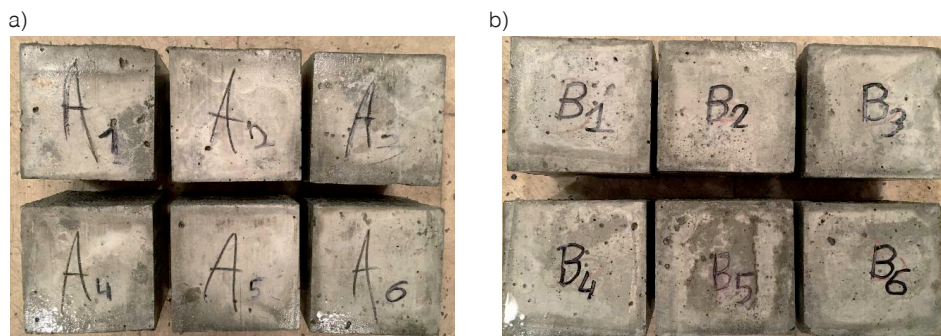
Wykonane analizy wykazały, że zastosowanie domieszki DYNAMON RT POWDER, oprócz poprawy urabialności mieszanki betonowej, powoduje korzystną modyfikację wymiarowej struktury porowatości betonu. Dowodzi tego wyraźnie lewo-skośny charakter przebiegu rozkładu porowatości betonu, którego skład modyfikowano przedmiotową domieszką.

W próbkach betonu do modyfikacji którego wykorzystano domieszkę DYNAMON RT POWDER dominują pory o średnicy 50–80 μm , podczas gdy w betonie bez tej domieszki dominują pory o wymiarach 120–160 μm . Jest to niezwykle korzystny efekt oddziaływania, gdyż zapewnia uzyskanie optymalnej z punktu widzenia trwałości mrozowej, struktury porów, a nadto stanowi rękojmię uzyskania stabilności systemu napowietrzenia. Jest to niezwykle istotne z tego powodu, że w trakcie mieszania, a zwłaszcza pompowania mieszanki betonowej bardzo często dochodzi do zaburzenia pierwotnej, korzystnej struktury napowietrzenia na skutek wyporu hydrostatycznego i agregacji porów. Jako pokazują zrealizowane próby technologiczne dozowanie domieszki DYNAMON RT POWDER niweluje to ryzyko do minimum.

Celem praktycznej weryfikacji wpływu przedmiotowej domieszki na trwałość betonu, wykonano dla serii betonów klasy C35/45 badanie odporności na działanie mrozu, wg procedury PN-88/B-06250 „Beton zwykły” dla stopnia F150.

Badanie wykonano na próbkach o boku 100 mm, które przed rozpoczęciem cykli zamrażania-odmrażania dojrzewały 90 dni.

Wyniki badania mrozoodporności przedmiotowych serii betonu zestawiono w tabeli 4, a widok próbek po badaniu uwidoczniono na fotografii 2.



Fot. 2. Widok próbek betonu po wykonaniu 150 cykli zamrażania-odmrażania a) bez domieszki, b) z domieszką DYNAMON RT POWDER)

Tabela 4. Wyniki badania odporności betonu na działanie mrozu, wg PN-88/B-06250 dla stopnia F150

Klasa betonu	C35/45	
	bez domieszki	po dozowaniu DYNAMON RT POWDER
Uszkodzenia powierzchni próbek	brak	brak
Ubytek masy próbek, ΔG [%]	0,2	0,1
Spadek wytrzymałości, ΔR [%]	3,5	2,1

Uzyskane wyniki badania odporności na działanie mrozu do stopnia F150, potwierdziły w sposób jednoznaczny, że przedmiotowe betony, ze znacznym zapasem, uzyskały wysoki poziom trwałości na działanie znakozmiennych temperatur.

Tym samym potwierdza to tezę, że przywrócenie urabialności mieszanki, poprzez dozowanie domieszki DYNAMON RT POWDER nie wpływa destrukcyjnie na strukturę napowietrzenia betonu. W przypadku betonu modyfikowanego przedmiotową domieszką, stwierdzono uzyskanie układu porów o wyraźnie poprawionej charakterystyce wymiarowej, co objawia się uzyskaniem systemu pustek o mniejszej przeciętnej średnicy d_{mk} , tym samym gęściej rozmieszczonych w strukturze betonu. Skutkuje to korzystnym obniżeniem wartości współczynnika rozmieszczenia porów \bar{L} (tabela 3), co znajduje swoje odzwierciedlenie w wynikach badania mrozoodporności (tabela 4).

Tym samym potwierdza to pełną kompatybilność układu: domieszka plastyfikująca (Mapefluid N100), napowietrzająca (Mapeair AE20) i domieszka przedłużająca urabialność mieszanki DYNAMON RT POWDER.

4. Wnioski

Zrealizowany w skali przemysłowej program badań własnych upoważnia do sformułowania następujących wniosków ogólnych:

- Zastosowanie proszkowej domieszki DYNAMON RT POWDER umożliwia w sposób kontrolowany i precyzyjny przywrócenie pierwotnej konsystencji mieszanki betonowej.
- Dozowanie przedmiotowej domieszki nie powoduje istotnej zmiany zawartości powietrza w mieszance betonowej zarówno w przypadku betonu zwykłego (bez domieszki napowietrzającej), jak i napowietrzonego.
- Zastosowanie domieszki praktycznie pozostaje bez wpływu na uzyskiwane przez beton wytrzymałości na ściskanie w całym okresie dojrzewania.
- W przypadku betonu napowietrzonego, przedmiotowa domieszka, pozytywnie oddziałuje na wymiarową strukturę porowatości. Zarejestrowano korzystne obniżenie przeciętnej średnicy porów d_{mk} , co zaskutkowało zmniejszeniem wartości współczynnika rozmieszczenia porów \bar{L} i zwiększeniem udziału mikroporów A_{300} w ogólnej strukturze porowatości.
- Korzystna modyfikacja struktury porowatości znalazła swoje odzwierciedlenie w wynikach badania mrozoodporności przedmiotowych betonów, które wykazały wysoką odporność na działanie znakozmiennych temperatur.

Literatura

- [1] Sommer H., Sinnhuber N.: Wie erreicht man befreidigens Luftporensystem bei Strassenbeton mit Fließmittel? *Strasse und Autobahn* 2/1987.
- [2] Ogólne Specyfikacje Techniczne – Nawierzchnia z betonu cementowego – Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, 2015.
- [3] Richter R., Sommer H.: Fruezeitige Verkehrsfreigabe von Betondecken. *Zement + Beton* 4/1995.
- [4] Springenschmid R.: Grundlagen und Praxis der Herstellung und Überwachung von Luftporenbeton. *Zement und Beton* 47/1969.
- [5] ZTV Beton-Stß 93 „Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton“.
- [6] Springenschmid R.: Technische Grundlagen des Betonstrassenbaus und ihre Umsetzung in die Praxis – gestern, heute, morgen. *Strasse und Autobahn* 3/2000.