

Kompatybilność domieszki napowietrzającej i upłynniającej w przypadku mieszanek cementowych

Prof. dr hab. inż. Janusz Szwabowski, dr hab. inż. Beata Łażniewska-Piekarczyk,
Katedra Inżynierii Materiałów i Procesów Budowlanych, Politechnika Śląska, Gliwice

1. Wprowadzenie

Celem uzyskania mrozoodporności betonu należy zapewnić m.in. jego poprawne napowietrzenie. Stopień napowietrzenia betonu dla klasy agresywności środowiska XF dyktuje PN-EN 206. Według wymienionej normy napowietrzenie betonu powinno zawierać się w przedziale 4–7%. Zbyt duża zawartość powietrza w betonie prowadzi do obniżenia jego parametrów mechanicznych. Rezultaty badań prowadzone przez autorów wykazały, że w przypadku konieczności upłynnienia uprzednio napowietrzonej mieszanki cementowej, w większości przypadków nowej generacji domieszek upłynniających występuje problem z zachowaniem poprawnego poziomu jej napowietrzenia, szczególnie w przypadku zapraw wykonanych z udziałem cementu portlandzkiego wieloskładnikowego. Efektem upłynnienia napowietrzonej zaprawy cementowej jest nawet potrojona zawartość powietrza, pomimo większego stopnia jej płynności. Natomiast, w przypadku mieszanki betonowej zawartość powietrza może wzrosnąć z 6,5% do 18% i więcej. Przyczyną tego zjawiska jest prawdopodobnie wpływ najnowszej generacji domieszek upłynniających na zawartość powietrza w mieszance cementowej. Również wyniki badań [2], [6], [7] dowodzą, iż nowe generacje domieszek upłynniających wykazują działanie napowietrzające (tab. 1). Zawartość powietrza w stwardniałym betonie, będąca ubocznym efektem działania domieszki upłynniającej może wynosić aż 8,30% [7].

Powszechnie wiadomo, że zbyt duża zawartość powietrza w betonie powoduje znaczne obniżenie parametrów wytrzymałościowych [3]. Ponadto, oprócz objętości, ważnymi czynnikami są także kształt i wymiar porów. Pory utworzone na skutek oddziaływania do-

mieszki upłynniającej na fazę płynną zaczynają charakteryzować się większymi rozmiarami [5], [7] niż powstałe w wyniku oddziaływania domieszki napowietrzającej. Celem referatu jest zbadanie wpływu rodzaju i ilości domieszki upłynniającej, domieszki napowietrzającej oraz kolejności ich dozowania na zawartość powietrza w mieszance zaprawy cementowej, wzorcowej. Zakres analizowanych badań dotyczy zaprawy cementowej wykonanej na CEM I 42,5 R dwóch rodzajów domieszki napowietrzającej: naturalnej i syntetycznej oraz trzech różnych rodzajów domieszki upłynniającej, wykonanej na bazie modyfikowanego naftalenu, polikarboksylanu oraz eteru polikarboksylanowego.

2. Opis badań doświadczalnych

Materiałami wyjściowymi użytymi do przygotowania mieszanek wzorcowych zapraw cementowych, stanowiących przedmiot badań były: CEM I 42,5 R (tab. 2), piasek normowy, woda destylowana oraz domieszki napowietrzające i upłynniające (tab. 3). Z wymienionych materiałów przygotowano mieszanki wzorcowych zapraw cementowych o w/c = 0,50 zgodnie z wytycznymi PN-EN 480–1.

W pierwszym etapie badań sprawdzono wpływ rodzaju i ilości domieszki upłynniającej na zawartość powietrza w uprzednio napowietrzonej zaprawie. Z uwagi na postać domieszki i zalecenia producenta, domieszki napowietrzające dozowano wraz z cementem (tab. 3). Domieszkę upłynniającą, zgodnie z zaleceniem PN-EN 480–1, dozowano wraz z wodą zarobową. Celem badań w pierwszym ich etapie było określenie ilości domieszek tak, aby zawartość powietrza w zaprawie wykonanej na cemencie CEM I 42,5 R wynosiła każdorazowo 11% z uwagi na to, że beton wzorcowy wykonany zgodnie

Tabela 1. Wpływ rodzaju domieszki upłynniającej na napowietrzenie mieszanki betonowej [2]

| Rodzaj SP | Lignosulfonian LS | Naftalen SNF | Melamina SMF | Nowa generacja superplastyfikatorów | |
|----------------|-------------------|--------------|--------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| | | | | polikarboksylan PCP | aminofosfonianowy polioksyetylen AAP |
| Napowietrzenie | ++ | + | 0 | ++ | ++ |

Tabela 2. Właściwości CEM I 42,5 R

| Analiza chemiczna, % | | | | | | | Powierzchnia właściwa Blaina [cm ² /g] | Gęstość właściwa [g/cm ³] | Wytrzymałość na ściskanie [MPa] | Czas wiązania, Vicat, min. | |
|----------------------|-------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------------------|-----------------|---|---------------------------------------|---------------------------------|----------------------------|--------|
| SiO ₂ | CaO | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MgO | Na ₂ O | SO ₃ | | | | początek | koniec |
| 21,61 | 64,41 | 4,46 | 2,24 | 1,25 | 0,4 | 3,1 | 3830 | 3,1 | 69,3 | 175 | – |

Tabela 3. Charakterystyka domieszek upłynniających i napowietrzających

| Rodzaj domieszki | Symbol domieszki | Postać domieszki | Baza chemiczna |
|------------------|------------------|------------------|-------------------------------|
| Napowietrzająca | N1 | proszek | syntetyczna |
| Napowietrzająca | N2 | proszek | naturalna |
| Uptynniająca | U1 | proszek | modyfikowany naftalen |
| Uptynniająca | U2 | plyn | modyfikowane polikarboksylany |
| Uptynniająca | U3 | plyn | eter polikarboksylowy |

z wytycznymi PN-EN 480-1 o w/c = 0,5 charakteryzował się napowietrzeniem wynoszącym 5,5% (oznaczonym metodą ciśnieniową wg PN-EN 12350-7:20, a więc zgodnym z wytycznymi PN-EN 206 dla klasy środowiska XF). Ilość domieszki upłynniającej odpowiadała około połowie zakresu jej stosowania zalecanego przez producenta oraz ilości, maksymalnej możliwej, przy której nie następowała segregacja zaprawy.

W drugim etapie badań weryfikowano wpływ kolejności dozowania domieszki napowietrzającej i upłynniającej na zawartość powietrza w zaprawie wzorcowej. W przypadku uprzednio upłynnionej zaprawy, domieszkę napowietrzającą dozowano osobno, w przerwie procesu mieszania, zgodnie z wytycznymi PN-EN 480-1 względem procedury wykonania zaprawy wzorcowej. Należy zaznaczyć, że do etapu 1 i 2 wybrano domieszki upłynniające U2 i U3 o największej zdaniem producentów udziale domieszki przeciwpianującej, to jest najmniej „napowietrzające” spośród przebadanych o tej samej głównej bazie chemicznej (w niektórych przypadkach zapraw wykonanych z CEM I 42,5 R uzyskano napowietrzenie rzędu 30%, a w przypadku cementów portlandzkich wieloskładnikowych „napowietrzenie” było jeszcze większe). Wykonano także zaprawę odniesienia (referencyjną), to jest bez udziału domieszek upłynniających i napowietrzających.

Konsystencję zapraw oznaczano na stoliku rozplywo-

wym zgodnie z normą PN-EN 1015-3, natomiast zawartość powietrza w zaprawie była oznaczana metodą ciśnieniową wg PN-EN 1015-7 za pośrednictwem aparatu ciśnieniowego o objętości 0,75 l. Temperatura otoczenia w trakcie badań zaprawy wynosiła 20°C ± 1°C. Wilgotność względna powietrza wynosiła około 50%.

3. Analiza wyników badań, dyskusja

Rezultaty badań wykazały, że napowietrzenie i rozplyw zapraw Z0, ZN1 i ZN2 wynosi odpowiednio 4,5% i 16 cm, 11% i 18,6 cm oraz 11% i 18,4 cm. Na rysunkach 1 i 2 zestawiono wyniki badań właściwości upłynnionych zapraw wzorcowych. Kolejność symboli domieszek (wg tab. 3) odpowiada kolejności ich dozowania. Analiza wyników badań prowadzi do wniosku, że na wynikową zawartość powietrza w zaprawie wpływa zarówno rodzaj, jak i ilość domieszki upłynniającej oraz kolejność dozowania domieszek upłynniającej i napowietrzającej.

Analiza wyników badań zestawionych w tabeli 5 prowadzi, że w przypadku stosowania domieszki upłynniającej na bazie polikarboksylanu i eteru polikarboksylanowego, w ilości odpowiadającej połowie zakresu stosowania zalecanego przez producenta, następuje bardzo znaczący wzrost zawartości powietrza. W przypadku stosowania domieszki upłynniającej w ilości

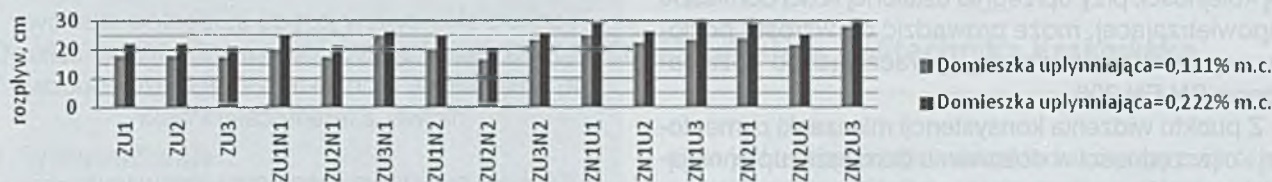
Tabela 4. Oznaczenia zapraw zawierających domieszki

| Symbol zaprawy* | Domieszka napowietrzająca [% m.c.] | Domieszka upłynniająca [% m.c.] | | Symbol zaprawy* | Domieszka napowietrzająca [% m.c.] | Domieszka upłynniająca [% m.c.] | |
|-----------------|------------------------------------|---------------------------------|-------|-----------------|------------------------------------|---------------------------------|-------|
| Z0 | – | – | – | ZU1N2 | 0,021 | 0,111 | 0,222 |
| ZN1 | 0,180 | – | – | ZU2N2 | 0,021 | 0,111 | 0,222 |
| ZN2 | 0,021 | – | – | ZU3N2 | 0,021 | 0,222 | 0,333 |
| ZU1 | – | 0,111 | 0,222 | ZN1U1 | 0,122 | 0,111 | 0,222 |
| ZU2 | – | 0,111 | 0,222 | ZN1U2 | 0,122 | 0,111 | 0,222 |
| ZU3 | – | 0,111 | 0,222 | ZN1U3 | 0,122 | 0,222 | 0,333 |
| ZU1N1 | 0,122 | 0,111 | 0,222 | ZN2U1 | 0,021 | 0,111 | 0,222 |
| ZU2N1 | 0,122 | 0,111 | 0,222 | ZN2U2 | 0,021 | 0,111 | 0,222 |
| ZU3N1 | 0,122 | 0,222 | 0,333 | ZN2U3 | 0,021 | 0,222 | 0,333 |

*Kolejność symboli domieszek (wg tabeli 3) odpowiada kolejności ich dozowania



Rys. 1. Wyniki badań zaprawy wzorcowej



Rys. 2. Wyniki badań zaprawy wzorcowej

maksymalnej, czyli takiej, przy której nie dochodzi jeszcze do segregacji zaprawy, następuje nieco mniejszy przyrost zawartości powietrza w stosunku do ilości powietrza w napowietrzonej celowo zaprawie wzorcowej, ale nadal występuje problem utrzymania uzyskanego pierwotnie napowietrzenia. Przyczyna tego zjawiska prawdopodobnie tkwi we wpływie domieszki upłynniającej na napięcie powierzchniowe fazy ciekłej zaczynu. Obecność różnych grup funkcyjnych w cząsteczkach plastyfikatorów (grupy eterowej, hydroksylowej i grupy karboksylowej) wywołuje zmniejszenie napięcia powierzchniowego wody, wywołując deflokulację asocjantów i zwiększenie zwilżalności nie tylko ziaren cementu, ale całego szkieletu mineralnego [1], [4]. Jest to jednym z powodów zwiększania zawartości powietrza w mieszance cementowej przez domieszkę upłynniająca [7]. Niektóre domieszki upłynniająca wykazują tylko działanie dyspergujące, nie zmniejszając napięcia powierzchniowego fazy ciekłej. Są to na przykład: sole kwasów hydrokarboksylowych, sulfonowane żywice melaminowo-formaldehydowe, sole pikondensatów formaldehydowych kwasu beta-naftalensulfonowego [1], [4]. Rodzaj domieszki upłynniającej jest ważny ze względu na wielkość oraz proporcje udziału porów powietrznych, uzyskiwanych w wyniku jej działania, chociaż z upływem czasu w trakcie twardnienia betonu zachodzą przeważnie dalsze zmiany tych proporcji [5]. Przy stosowaniu domieszek upłynniających polikarboksylanowych pory powietrzne mają mniejsze średnice, niż pory powstałe w wyniku działania domieszek upłynniających lignosulfonianowych, czy też naftalenowych.

Analiza wyników zamieszczonych w tabeli 5 wskazuje na to, że w przypadku konieczności upłynnienia uprzednio napowietrzonej mieszanki powinno się stosować domieszki upłynniająca na bazie naftalenu, czy też mniej dostępnej w obecnym czasie melaminy (tab. 1). Niektórzy producenci domieszek w swej ofercie handlo-

wej posiadają także domieszki upłynniająca wykonane na bazie eteru polikarboksylanowego z dodatkiem dużej ilości domieszki przeciwpieniującej, szczególnie zalecanych w prefabrykacji, jednak jak wskazują wyniki badań zestawione w tabeli 5, nie zawsze dodatek domieszki przeciwpieniującej skutecznie przeciwdziała nadmiernemu napowietrzeniu uprzednio napowietrzonej mieszanki cementowej.

Z punktu widzenia uzyskania odpowiedniego napowietrzenia mieszanki cementowej korzystne jest w pierwszej kolejności jej upłynnienie za pomocą domieszek upłynniająca nowej generacji, a dopiero potem napowietrzenie. Zastosowanie odwrotnej kolejności może prowadzić do nadmiernego zwiększenia zawartości powietrza w mieszance cementowej (tab. 5), pomimo uzyskania większego stopnia jej płynności. W przypadku, gdy celem jest uzyskanie jak największego stopnia płynności celowo napowietrzonej mieszanki cementowej, przy możliwie najmniejszej ilości domieszki upłynniającej, zaleca się najpierw jej napowietrzenie, a dopiero później upłynnienie. Jednak należy w tym przypadku zmniejszyć ilość domieszki napowietrzającej, szczególnie, gdy przewidziana do zastosowania domieszka upłynniająca wykonana jest na bazie eteru polikarboksylanowego, a zwłaszcza polikarboksylanu.

4. Podsumowanie

Celem uzyskania zalecanego przez PN-EN 206 napowietrzenia betonu dla klasy XF należy sprawdzać kompatybilność domieszek z cementem, biorąc pod uwagę stwierdzone na podstawie badań zalecenia:

1. Warunek kompatybilności domieszki upłynniającej z cementem należy weryfikować biorąc pod uwagę jej wpływ zarówno na konsystencję, jak i na zawartość powietrza w mieszance cementowej. Istotne jest, że kompatybilność domieszek z cementem należy sprawdzać nie dla każdej z osobna, gdyż domieszki występu-

ją łącznie, aby zweryfikować ich wzajemne interakcje i możliwe następstwa dla napowietrzenia i konsystencji zaprawy, a także betonu. Ponadto, ważna jest także kolejność ich dozowania.

2. Celem uzyskania oczekiwanego napowietrzenia upłynniającej, celowo napowietrzonej mieszanki cementowej zaleca się najpierw jej upłynnienie za pomocą domieszek upłynniających nowej generacji, a dopiero w drugiej kolejności napowietrzenie. Zastosowanie odwrotnej kolejności, przy uprzednio ustalonej ilości domieszki napowietrzającej, może prowadzić do wzrostu poziomu napowietrzenia, dalece wykraczającego poza zalecenia PN-EN 206.

3. Z punktu widzenia konsystencji mieszanki cementowej i oszczędności w dozowaniu domieszki upłynniającej, korzystniejsze jest najpierw jej napowietrzenie, a następnie upłynnienie. Jednak w tym przypadku zaleca się stosować domieszki upłynniające wykonane na bazie modyfikowanego naftalenu, czy też melaminy. Stosowanie domieszek upłynniających na bazie eteru polikarboksylianowego, a szczególnie polikarboksylianu, prowadzi do znacznego wzrostu napowietrzenia betonu, pomimo deklarowanej przez producenta obecności domieszki przeciwpieniącej.

Przedstawiony problem kompatybilności domieszki napowietrzającej i upłynniającej nasila się w przypadku cementów portlandzkich wieloskładnikowych. W kolejnym etapie badań prowadzonych przez autorów oceniony zostanie wpływ kompatybilności domieszek napowietrzających i upłynniających na strukturę napowietrzenia betonu. Wyniki prowadzonych badań w tym zakresie zostaną omówione w szerszej publikacji autorów.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Kucharska L., Tradycyjne i współczesne domieszki do betonu zmniejszające ilość wody zarobowej, *Cement, Wapno, Beton*, 2/2000, s. 46-61
- [2] Mosquet M., Domieszki nowej generacji, *Budownictwo Technologie Architektura numer specjalny 2003*
- [3] Neville A. M., Właściwości betonu, *Polski Cement*, Kraków 2000.
- [4] Rudnicki T., Naturalne i syntetyczne domieszki uplastyczniające oraz mechanizmy ich oddziaływania w mieszance betonowej, *Magazyn Autostrady 4/2004*, s. 22-25
- [5] Sakai E., Kasuga T., Sugiyama T., Asaga K., Daimon M., Influence of superplasticizers on the hydration of cement and the pore structure of hardened cement, *Cement and Concrete Research* 36 (2006) 2049-2053
- [6] Szwabowski J., Łaźniewska-Piekarczyk B., Wymogi względem parametrów struktury porowatości mrozoodpornego samozagęszczalnego betonu (SCC), *Cement, Wapno, Beton* 3/2008
- [7] Szwabowski J., Łaźniewska-Piekarczyk B., Zwiększenie napowietrzenia mieszanki pod wpływem działania superplastyfikatorów karboksylowych, *Cement, Wapno, Beton*, nr 4/2008

Prezentowane badania były finansowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Projektu PBS1/A2/4/2012 PT. „Innowacyjne Cementy Napowietrzające Beton”.

„ZAPROJEKTUJ ZIEŁONE MIASTO NA START”

– Konkurs dla studentów architektury

Zachęcamy do udziału w nowym konkursie, organizowanym w ramach IV Edycji Ogólnopolskiej Akcji „Od eko-samorządu do eko-społeczeństwa”, pt.: „ZAPROJEKTUJ ZIEŁONE MIASTO NA START”

konkurs skierowany jest do studentów studiów wyższych studiujących na kierunkach: architektura, urbanistyka, architektura krajobrazu i budownictwo, z terenu całej Polski

Konkurs polega na stworzeniu innowacyjnego projektu zagospodarowania terenu miejskiej przestrzeni publicznej / obiektu / budowli.

Oczekujemy na projekty:

- oryginalne,
- praktyczne/realne w zastosowaniu,
- skuteczne pod względem ekologicznym np. przyczyni się do prawidłowego funkcjonowania ekosystemów miejskich i poprawy jakości życia mieszkańców terenów zurbanizowanych.

Poprzez zaangażowanie w twórcze poszukiwania rozwiązań przyjaznych środowisku w ramach konkursu „ZAPROJEKTUJ ZIEŁONE MIASTO NA START” chcemy kształtować i poszerzać świadomość ekologiczną u studentów architektury, projektantów i całego społeczeństwa.

Biorąc pod uwagę fakt, iż planowanie przestrzeni publicznej często postrzegane jest jako mało wizjonerskie chcemy przełamać tę opinię pokazując, iż te tereny mogą być polem do popisu i upustu wodzy fantazji dla wielu ekologicznych wizjonerów zielonej przyszłości, przyjaznej mieszkańcom, zgodnej ze zrównoważonym rozwojem.

Na zgłoszenia do konkursu czekamy od 10 kwietnia do 20 maja 2014 r.

Dla zwycięzców konkursu przewidujemy

3 atrakcyjne nagrody pieniężne:

- za I miejsce – 5.000 zł,
- za II miejsce – 3.000 zł,
- za III miejsce – 2.000 zł.

Nagrodzone prace oraz reportaże na ich temat zostaną zaprezentowane w portalu Eko-Samorządowiec.pl oraz w serwisie specjalnym projektu na portalu Onet.pl

Więcej o konkursie i projekcie na www.ekosamorzadowiec.pl