

dr hab. inż. Krzysztof Zieliński, prof. PP^{1)*}

ORCID: 0000-0002-3805-1108

prof. dr hab. inż. Józef Jasiczak¹⁾

ORCID: 0000-0003-3643-9819

Analiza możliwości napowietrzenia betonu cementowego z zastosowaniem preparatu białkowego

Analysis of the possibility of aeration of cement concrete with the use of a protein preparation

DOI: 10.15199/33.2021.11.05

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badania wpływu dodatku czerwonych ciałek krwi (preparatu białkowego) na strukturę napowietrzenia betonu cementowego. Wykonano badanie wytrzymałości na ściskanie oraz przeprowadzono ocenę parametrów napowietrzenia betonów (rozkład porów powietrznych z uwzględnieniem ich średnicy, całkowita zawartość powietrza A (%), zawartość mikroporów A_{300} , powierzchnia właściwa porów powietrznych α [mm^{-1}] oraz wskaźnik rozmieszczenia \bar{L} [mm]). Analiza wyników wykazała, że preparat białkowy ma silne działanie napowietrzające beton zarówno pod względem wydajności, intensywności działania, jak i parametrów napowietrzenia. **Słowa kluczowe:** domieszka do betonu; napowietrzenie betonu; krew bydlęca; białko.

Abstract. The article presents the results of the research on the influence of the addition of red blood cells (protein preparation) on the structure of air entrainment in cement concrete. Compressive strength tests were carried out and the concrete aeration parameters were assessed (air pores distribution taking into account diameters, total air content A (%), A_{300} micropore content, air pores specific surface α (mm^{-1}) and distribution index \bar{L} (mm)).

Keywords: concrete admixture; concrete aeration; bovine blood; protein.

Już w starożytności zaobserwowano, że krew dodana do mieszanki betonowej ma korzystny wpływ na trwałość betonu. W 1805 r. Thomas Telford użył zaprawy z domieszką krwi z wołu do wznoszenia kamiennych podpór akweduktu Pontcysyllte (fotografia 1) w północno-wschodniej Walii [6]. Ciekawą wzmiankę można odnaleźć także w powieści kubańskiego pisarza Alejo Carpentiera pt. „Królestwo z tego świata”. Opisując budowę twierdzy Citadelle Laferrière położonej na wzgórzu w północnym Haiti, wspomina o codzien-



Fot. 1. Akwedukt w Pontcysyllte [6]
Photo 1. Pontcysyllte aqueduct [6]

¹⁾ Politechnika Poznańska, Instytut Budownictwa

^{*} Adres do korespondencji:

krzysztof.zielinski@put.poznan.pl

nym zarzynaniu kilku byków na placu broni [7]. Inne źródło podaje, że do sporządzania zaprawy do budowy fortecy używano wapna palonego, melasy oraz krwi pochodzenia zwierzęcego [2].

W XXI wieku pojawiły się okoliczności sprzyjające ponownemu zastosowaniu krwi zwierzęcej jako domieszki do betonu. Zawarte w niej czerwone krwinki są doskonałym źródłem białka (zawierają go ok. 99%). W związku z tym krew zwierzęca stosowana jest jako wartościowy składnik pasz dla bydła i trzody chlewnej. Jednak w pierwszych latach XXI wieku, w związku z psychozą spowodowaną pojawieniem się choroby Creutzfeldta-Jakoba, znacznie ograniczono stosowanie krwi do ich produkcji. Szukając jej alternatywnego wykorzystania, podjęliśmy badania mające na celu określenie wpływu krwi (nazywanej w dalszej części artykułu preparatem białkowym) na napowietrzenie betonu. Celowość prowadzenia takich badań uzasadniają także patenty zgłoszone w USA, a dotyczące poprawy cech mieszanki betonowej i samego betonu w wyniku aplikacji preparatów białkowych [1, 8].

Napowietrzenie betonu

Wymagania dotyczące charakterystyki porów powietrznych zawartych w stwardniałym betonie zamieszczone są w EN 480-11 [3]. O jakości napowietrzenia betonu świadczą następujące parametry:

- rozkład porów powietrznych z uwzględnieniem ich średnicy;
- całkowita zawartość powietrza A (%);
- zawartość mikroporów o średnicy $< 300 \mu\text{m}$ (A_{300});
- powierzchnia właściwa porów powietrznych (mm^{-1});
- wskaźnik rozmieszczenia \bar{L} (mm).

Domieszki napowietrzające są substancjami powierzchniowo czynnymi. Działają głównie na zasadzie zmniejszenia napięcia powierzchniowego. Pod względem chemicznym, w skład typowej domieszki wchodzi grupa hydrofilowa i hydrofobowa długi łańcuch węglowodorowy. Pęcherzyki powietrza utworzone podczas mieszania są ustabilizowane w przestrzeni. Na skutek oddziaływania elektrostatycznego grupy hydrofilowe substancji powierzchniowo czyn-

nej odpychają od siebie utworzone pęcherzyki powietrza, uniemożliwiają ich wzajemne łączenie. Taki mechanizm działania domieszki powoduje również, że struktura wprowadzonego powietrza jest jednorodna w całej objętości mieszanki betonowej. Głównymi substancjami pełniącymi rolę domieszek napowietrzających są obecnie najczęściej sole kwasów tłuszczowych, pochodzące z tłuszczów lub olejów zwierzęcych i roślinnych, alkaliczne sole żywic drzewnych oraz siarczany i sulfoniany związków organicznych.

Zakres badań

Badania wykonano w laboratorium Instytutu Budownictwa Politechniki Poznańskiej. Użyty do badań preparat białkowy uzyskiwany jest w wyniku przemysłowego przerobu krwi z uboju świń i bydła. Ma on postać drobnego proszku i zawiera ponad 99% wag. białka zwierzęcego.

Do wykonania próbek betonowych zastosowano cement CEM I 42,5R oraz wodę destylowaną. W celu zapewnienia pełnej jednorodności wykonywanych próbek cement pochodził z jednego worka. W wyniku badań wstępnych ustalono, że optymalna zawartość preparatu białkowego w betonie wynosi 2 – 3‰ w stosunku do masy cementu. Wykonano także beton porównawczy bez dodatku napowietrzającego. Czas pełnego rozpuszczenia preparatu białkowego w wodzie wynosi 24 h.

W celu wykonania próbek do badań zaprojektowano mieszankę betonową o recepturze przedstawionej w tabeli. Po 28 dniach dojrzewania w warunkach normowych wykonano badania wytrzymałości na ściskanie i na podstawie kryteriów zgodności zakwalifikowano beton do klasy C25/30. Stosunek w/c w zaprojektowanej recepturze wynosi 0,45, a punkt piaskowy 34%.

Z zaprojektowanej mieszanki betonowej wykonano próbki betonowe o boku 15 cm. Część z nich (po 3 w przypad-

ku każdej odmiany betonu) poddano badaniu wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania w warunkach normowych, a pozostałe próbki ocenie parametrów napowietrzenia.

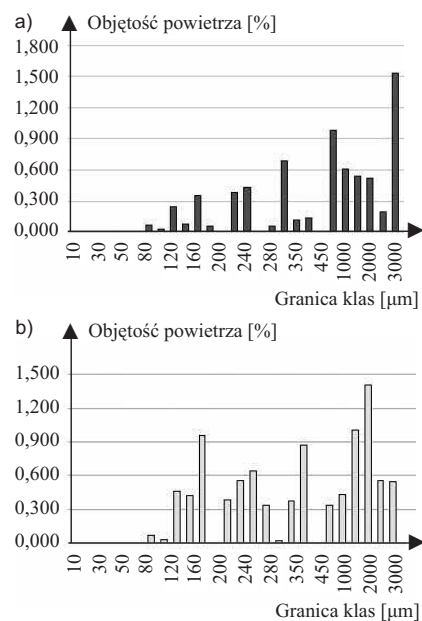
Na wewnętrznej (przełamanej) powierzchni (15 x 15 cm) części kostek betonowych wykonano zgłady wg zaleceń normy [7], w celu optycznego określenia stopnia ich napowietrzenia. Następnie próbki zaczynu zostały zeskanowane w rozdzielczości optycznej 4800 dpi. Na otrzymanych obrazach wielkość jednego piksela odpowiadała ~5,3 x 5,3 μm. Po zeskanowaniu próbek wykonano pomiary i obliczenia określające charakterystykę struktury porów. Ustalono, że całkowita długość linii pomiarowej, czyli suma długości odcinków pomiarowych przechodzących przez fazy stałe i pory, wynosiła 2500 mm. Następnie pomierzono, wg instrukcji zawartej w normie [3], długość cięciw przecinających pory wzdłuż wyznaczonych linii pomiarowych.

Wyniki badań i ich analiza

Wytrzymałość na ściskanie (f_{cm}) jest średnią arytmetyczną z trzech uzyskanych wyników. W przypadku betonu bez domieszki uzyskano po 28 dniach dojrzewania 36,1 MPa, a w przypadku betonu z 3‰ domieszką preparatu białkowego 28,3 MPa.

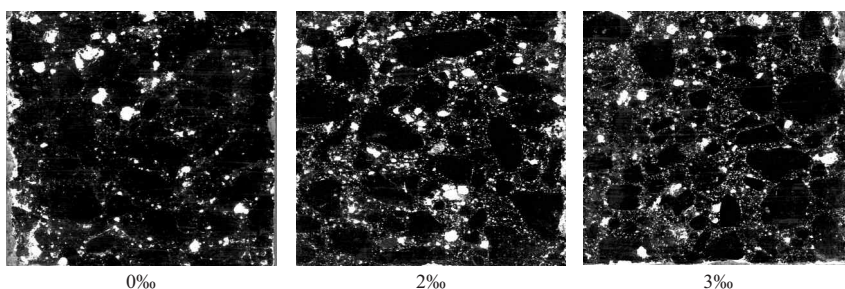
Rozkład porów powietrznych z uwzględnieniem ich średnicy. Na fotografii 2 przedstawiono wygląd zeskanowanych zgładów powierzchni próbek z zawartością substancji napowietrzającej 0 – 3‰. Widoczne białe punkty to pęcherzyki powietrza zawarte w związanym zaczynie. Można zauwa-

nych w próbkach betonowych, w zależności od ich średnicy, oznaczony metodą mikroskopową. Liczbę i wielkość porów powietrznych analizowano w dwóch grupach: o średnicy 10 – 300 μm oraz większej od 300 μm. Zawartość preparatu białkowego w betonie w ilości 3‰ skutkuje znaczną intensyfikacją występowania porów powietrznych o średnicy 10 – 300 μm w porównaniu z betonem bez domieszki napowietrzającej.



Rozkład porów powietrznych, z uwzględnieniem ich średnicy, oznaczonych normową metodą mikroskopową, zawartych w badanych próbkach betonowych cementowych: a) bez domieszki preparatu białkowego; b) z domieszką preparatu białkowego

Distribution of air pores contained in cement concrete samples, taking into account their diameters, determined with the standard microscope method: a) an admixture without protein preparation; b) admixture with protein preparation



Fot. 2. Wygląd próbek betonowych z zawartością preparatu białkowego 0 – 3‰ Fot. Autorzy
Photo 2. The appearance of concrete samples with from 0 to 3‰ content of the protein preparation

żyć wyraźne zwiększenie się ich liczby wraz ze wzrastającą ilością użytej substancji napowietrzającej. Na rysunku przedstawiono rozkład porów powietrz-

Całkowita zawartość powietrza. Relatywnie duża zawartość powietrza w próbce wykonanej bez domieszki napowietrzającej (3,76%) wynika m.in.

Receptura 1 m³ mieszanki betonowej

Recipe of 1 m³ concrete mix

Składnik	Masa [kg]
Grys granitowy 8 – 16	800
Żwir drobny 2 – 8	600
Piasek 0 – 2	600
CEM I 42,5R	320
Woda	145



SODASIL – TiO₂ Extender

– lepsze krycie, wzrost stopnia białości,
– obniżenie kosztów produkcji dzięki zmniejszeniu udziału TiO₂



Rettenmaier Polska

Sp. z o.o.

Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7B

02-366 Warszawa

mobile +48 600 423 423

Tel + 48 22 608 51 00

e-mail: arbolcel@jrs.pl

z jej „gęstej” konsystencji (18s wg Ve-Be → konsystencja V2). Domieszka preparatu białkowego powoduje znaczne zwiększenie napowietrzenia mieszanki betonowej – do 9,27%.

Zawartość mikroporów A₃₀₀. Jest to parametr określający zawartość powietrza w porach powietrznych o średnicy do 0,3 mm (300 μm). Wprowadzenie preparatu białkowego w ilości 3‰ skutkuje wzrostem zawartości mikroporów w betonie o 120%. Próbką bez domieszki ma parametr A₃₀₀ na poziomie 1,9%, a próbka z 3‰ dodatkiem krwi – 4,0%. Jak widać, działanie tej domieszki jest bardzo intensywne.

Minimalna dopuszczalna przez przepisy niemieckiego Federalnego Ministerstwa Komunikacji ZTV Beton-StB 01 [10], a także określona w publikacjach [4, 5] zawartość mikroporów A₃₀₀ w betonie wynosi w przypadku klas ekspozycji mrozowej: XF1 i XF2 – 1,5%, XF3 i XF4 – 1,8%. Badane próbki betonów spełniają te warunki.

Powierzchnia właściwa porów powietrznych α jest ważnym parametrem jakości napowietrzenia betonu. Przedstawia wynik podzielenia całkowitej powierzchni porów powietrznych przez ich objętość wyrażony w mm⁻¹. Za optymalny uważa się przedział 16 – 24 mm⁻¹, a za górną dopuszczalną granicę powierzchni właściwej ok. 32 mm⁻¹. W przypadku betonu bez domieszki krwi powierzchnia właściwa porów wewnętrznych wynosi 13,59 mm⁻¹. Przy zawartości preparatu białkowego 3‰ zwiększa się do 18,85 mm⁻¹, a więc znajduje się w optymalnym przedziale.

Wskaźnik rozmieszczenia porów zawartych w próbkach betonowych \bar{L} jest to wg normy [3] parametr określający maksymalną odległość dowolnego punktu zaczynu cementowego od krawędzi poru powietrznego, mierzoną wzdłuż zaczynu, wyrażony w mm. Przy obliczaniu tego parametru zakłada się, że wszystkie występujące pory powietrzne mają jednakową wielkość i są równomiernie rozłożone w zaczynie cementowym. Wskaźnik zależy od stosunku zaczyn/powietrze i obliczony został wg zawartego w normie wzoru:

$$\bar{L} = (P \cdot T_{\text{tot}}) / (400 \cdot N) \text{ [mm]}$$

gdzie: P – objętość zaczynu; T_{tot} – całkowita długość linii pomiarowej; N – suma liczby cięciw w każdej klasie wielkości.

Zgodnie z cytowanymi wytycznymi dotyczącymi budowy betonowych nawierzchni dróg ZTV Beton-StB 01 [10], wartość wskaźnika rozmieszczenia w betonie nie powinna przekraczać 0,2 mm. W przypadku betonu wykonanego bez domieszki jego wartość wynosi 0,22 mm natomiast betonu z 3‰ zawartością testowanej domieszki – 0,11 mm. Dodatek 3‰ preparatu białkowego zmniejsza wartość wskaźnika rozmieszczenia porów (względem betonu wykonanego bez domieszki napowietrzającej) o ok. 50%.

Podsumowanie

Preparat białkowy zarówno pod względem wydajności, intensywności działania, jak i parametrów napowietrzenia, ma silne oddziaływanie na beton, ale także na zaprawę, co potwierdziły wcześniejsze badania autorów [9]. Mamy świadomość, że napowietrzające działanie preparatu białkowego będzie można w pełni ocenić, testując go w znacznie szerszym zakresie odmian betonów oraz ich składu. Przedstawione w artykule informacje jednoznacznie wskazują, że naturalna domieszka w postaci preparatu białkowego powinna być poddana dalszym badaniom.

Literatura

- [1] Caillau P., P. M. Bougival, D. C. De Veauce. 1989. *Additive of protein nature for hydraulic cements, mortars & concretes, and use thereof in the field construction*. United States Patent No. 4.836.855.1989.
- [2] Carpentier A. 1986. *Królestwo z tego świata (El reino de este mundo)*. Kraków. Wydawnictwo MUZA.
- [3] EN 480-11:2008 – Admixtures for concrete, mortar and grout – Test methods – Part 11: Determination of air void characteristics in hardened concrete.
- [4] Glinicki M. A. 2005. *Europejskie wymagania na beton napowietrzony w klasie środowiska XF*. *Drogownictwo*. Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN, s. 86 – 88. Warszawa.
- [5] Glinicki M. A. 2014. „Metody ilościowe i jakościowe oceny napowietrzenia betonu”. *Cement Wapno Beton*, T. R. 19/81, s. 359 – 369.
- [6] https://en.wikipedia.org/wiki/Pontcysyllte_Aqueduct.
- [7] https://en.wikipedia.org/wiki/Citadelle_Laferrière.
- [8] Laleman C. 1980. *Use of blood in the cement, mortar and concrete industry for obtaining a lightened material*. United States Patent No. 4203674.1980.
- [9] Zieliński Krzysztof, Józef Jasiczak. 2006. „Efekt of protein additive on properties of mortar”. *Cement and Concrete Composites*, Volume 28 Issue 5, pp. 451 – 457.
- [10] ZTV Beton-StB 01. *Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Fahrbahndecken aus Beton*. 2001.

Artykuł przygotowany w ramach programu badawczego Nr 0412/SBAD/0022.

Przyjęto do druku: 08.10.2021 r.