

*Janusz Pużak
Damian Dziuk
Artur Golda
Tomasz Klimala*

Składniki betonu a wydzielanie wody z mieszanki betonowej

INGREDIENTS OF CONCRETE AND BLEEDING WATER FROM THE
CONCRETE MIXTURE

Streszczenie

Zjawisko wydzielania wody z betonu zwane bleedingiem jest powszechnie znane i bardzo często spotykane w praktyce budowlanej. Znajomość wpływu tego zjawiska na właściwości zabudowanego betonu w wielu przypadkach decyduje o parametrach mechanicznych oraz trwałościowych wykonanego elementu. Konieczność kontrolowania bleedingu sprawia, że w nowoczesnym projektowaniu składu mieszanki betonowej niezbędna jest wiedza o wpływie poszczególnych składników na występowanie tego zjawiska.

W referacie przedstawiono mechanizm wydzielania wody z mieszanki betonowej oraz wpływ tego zjawiska na właściwości stwardniałego betonu. Zaprezentowano wyniki badań własnych dotyczące wpływu doboru ilościowego oraz jakościowego składników mieszanki betonowej takich jak: kruszywo, cement, dodatki mineralne oraz domieszki, na wielkość bleedingu. W prowadzonych badaniach zastosowano metodykę badań zgodną z normą amerykańską ASTM C232/C 232M -13 oraz PN-EN 480-4:2008.

Abstract

The phenomenon of exuding water from concrete called bleeding is well known and very often encountered in construction practice. Awareness of its influence on the parameters of developed concrete in many cases determines the mechanical and durability properties of finished element. The need to control bleeding and the modern design of the composition of the concrete mixtures requires knowledge about the impact of individual components on this effect.

mgr inż. Janusz Pużak – Centrum Technologiczne BETOTECH Sp. z o.o.

dr inż. Damian Dziuk – Centrum Technologiczne BETOTECH Sp. z o.o.

mgr inż. Artur Golda – Centrum Technologiczne BETOTECH Sp. z o.o.

mgr inż. Tomasz Klimala – BASF Polska Sp. z o.o.

The paper presents a mechanism for exuding water from the concrete mixture and its impact on the properties of hardened concrete. Presented results of author's own investigation, concerning the influence of quantitative and qualitative selection of the concrete mixture, such as aggregate, cement, mineral additives and admixtures, on the bleeding size. In this study, research methodology applied in accordance with ASTM C232 standard U.S. / C 232M -13 and PN-EN 480-4:2008.

1. Wstęp

Wydzielanie wody z mieszanki betonowej (z ang. bleeding) jest naturalnym procesem występującym bezpośrednio po jej zabudowaniu i trwa aż do rozpoczęcia procesów twardnienia. Umiarkowanie wydzielanie wody pozwala na uzupełnianie jej niedoboru w strefie powierzchniowej w skutek parowania, co pozytywnie wpływa na rozwój właściwości powierzchni betonowej. Natomiast nadmierny bleeding powoduje wzrost wskaźnika wodno-cementowego strefy powierzchniowej, co wiąże się bezpośrednio z obniżeniem zarówno wytrzymałości, jak i trwałości elementu betonowego [1].

Możliwe jest rozróżnienie dwóch rodzajów bleedingu:

- bleeding wewnętrzny (kanałowy) (fot. 1), w którym woda gromadzi się w wolnych przestrzeniach w całej objętości ułożonej mieszanki betonowej. Często występuje w przypadku wykonywania elementów o znacznej wysokości np.: słupów, ścian;
- bleeding powierzchniowy (fot. 2÷4), w którym woda wydziela się na powierzchni mieszanki betonowej. Szczególnie widoczne w przypadku wykonywania elementów powierzchniowych tj.: posadzek oraz nawierzchni betonowych [2].

Zjawisko wydzielania wody jest efektem segregacji składników mieszanki betonowej spowodowanej przez różnicę w gęstości pomiędzy wodą a stałymi składnikami betonu [1]. Istniejące metody kontroli bleedingu polegają na odpowiednim doborze zarówno ilościowym, jak również jakościowym poszczególnych składników mieszanki betonowej, co zostało przedstawione w niniejszej pracy.



Fot. 1. Przykład bleedingu kanałowego

Wydzielanie wody występuje bezpośrednio po zabudowaniu mieszanki betonowej, zazwyczaj w okresie od 3 do 5 godzin. Okres ten jest ograniczony przez rozpoczęcie procesów wiązania spoiwa zawartego w mieszance betonowej, które powoduje intensywne hamowanie migracji wody poprzez zmianę struktury mieszanki betonowej oraz chemiczne związanie wody w produktach hydratacji. Wydzielanie wody zwykle jest procesem samoistnym jednak może być zwiększone przez działanie sił zewnętrznych np.: przenoszenie wibracji na ułożoną powierzchnię betonową [1], [2].

Ponieważ wydzielanie wody z mieszanki betonowej powoduje znaczny wzrost wskaźnika wodno–cementowego strefy powierzchniowej betonu wraz z wodą na powierzchni wydzielane są rozpuszczone składniki np.: domieszki chemiczne (fot. 2) oraz lekkie części dodatków mineralnych, co może prowadzić do następujących wad oraz usterek elementu:

- zwiększona ścieralność (fot. 3),
- delaminacja warstwy posypki utwardzającej spowodowana wydzielaniem wody wraz z niespalonymi częściami węgla (fot. 4),
- utrata „kompatybilności” posypki utwardzającej z podkładem betonowym, spowodowana zmianą czasów wiązania oraz dynamiką narastania wytrzymałości betonu (fot. 5),
- woda migrująca na powierzchnię elementu betonowego może zostać zatrzymana przez znajdujące się w mieszance betonowej kruszywo grube, tworząc w ten sposób soczewki wodne. Utworzone pustki w znaczący sposób przyczyniają się do obniżenia wytrzymałości i wodoszczelności wykonanych elementów (fot. 6).



Fot. 2. Wydzielenie wody wraz z domieszką chemiczną na powierzchnię zabudowanej mieszanki



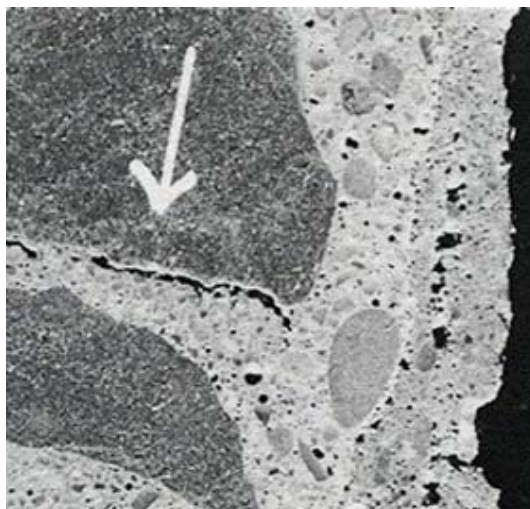
Fot. 3. Zwiększona ścieralność posadzki betonowej wywołana bleedingiem



Fot. 4. Delaminacja górnej warstwy posadzki spowodowana wydzieleniem wody



Fot. 5. Sieć spękań powierzchni posadzki



Fot. 6. Soczewka wodna utworzona pod ziarnem kruszywa grubego

2. Metodyka badawcza

Metody badania zjawiska wydzielania wody z mieszanki betonowej nie są rozpowszechnione w Polsce. Zwykle na etapie projektowania i wykonywania zarobów próbnych mieszankę betonową obserwuje się pod kątem wystąpienia tego zjawiska. Ocena tego rodzaju jest jednak bardzo subiektywna i nie uwzględnia wpływu czynników zewnętrznych takich jak wibracje. W wielu krajach istnieją znormalizowane metody badawcze, zwykle możliwe do wykonania nawet w warunkach budowy. Wśród nich na szczególną uwagę zasługują metody opisane w normie ASTM C232 [3]. Oparte są one na określeniu ilości wydzielanej wody z oznaczonej powierzchni w określonym czasie.



Fot. 7. Sprzęt do badania odsączania wody z mieszanki betonowej wg ASTM C232

Opisywana norma przewiduje dwie procedury badawcze w zależności od czynników zewnętrznych działających na mieszankę betonową po jej ułożeniu. Metoda A przeznaczona jest dla mieszanek betonowych, które nie poddawane są wibracji po ułożeniu. Polega ona na zabudowaniu mieszanki betonowej w cylindrze (fot. 7) o średnicy 255 mm, wysokości 280 mm i pozostawieniu pod przykryciem. Przez pierwsze 40 min od zabudowy, co 10 minut zbierana jest woda z powierzchni, za pomocą pipety i przenoszona do menzurki. Po 40 min woda zbierana jest co 30 min, aż do momentu braku widocznych oznak bleedingu. Metoda B stanowi modyfikację metody A dla mieszanek, które po ułożeniu mogą być poddane dodatkowym wibracjom. Mieszanka poddawana jest dodatkowym cyklem wibracji na stoliku wibracyjnym w cyklach 3 s wibracji na 30 s spoczynku.

Uzyskana ilość wody w cylindrze pozwala na wyznaczenie całkowitej wielkości odsączonej wody przypadającej na jednostkę powierzchni (1) oraz wody wyrażonej jako procent masy wody zastosowanej do przygotowania mieszanki betonowej (2).

$$V = V_1 / A \quad (1)$$

gdzie:

- V – całkowita ilość wody wydzielona podczas badania przypadająca na jednostkę powierzchni [cm³],
- V₁ – objętość wydzielonej wody podczas badania w określonym czasie [cm³],
- A – wielkość badanej powierzchni [cm²].

$$\text{Bleeding, \%} = (D/C) \times 100 \quad (2)$$

gdzie:

- C – masa wody w badanej próbce [g],
- D – masa wydzielonej wody [g].

Uzyskane rezultaty pozwalają na sklasyfikowanie mieszanek betonowych pod kątem podatności na wydzielanie wody. Należy zauważyć, iż zazwyczaj nie ma korelacji pomiędzy przedstawionymi metodami badawczymi tj.: zadowalające wyniki mieszanek betonowych badanych metodą A (brak wibracji) nie zawsze przekładają się na zadowalające wyniki przy udziale wibrowania (metoda B) i odwrotnie [3].

Kolejną metodą badawczą pozwalającą określić ilość wydzielającej się samoczynnie wody z mieszanki betonowej jest metodyka badawcza opisana w normie PN-EN 480-4:2008 [4].

Aparaturę pomiarową stanowi sztywne naczynie cylindryczne o wewnętrznej średnicy 250 ± 10 mm i wewnętrznej wysokości 280 ± 10 mm, które wypełnia się w trzech warstwach próbka badanej mieszanki betonowej, zagęszczając każdą z nich 25-krotnymi zagłębieniami pręta, wyrównując na końcu górną powierzchnię betonu. Następnie tok postępowania jest podobny jak w przypadku metody wg ASTM C232. Końcowy wynik jest przedstawiony jako procent całkowitej ilości samoczynnie wydzielającej się cieczy w stosunku do jej całkowitej ilości (3).

$$B = [m_w / (w \times m_s)] \times 100\% \quad (3)$$

gdzie:

- m_w – masa wydzielającej się cieczy [g],
- m_s – masa próbki [g],
- w – zawartość cieczy w mieszance betonowej [%].

3. Możliwości ograniczania „bleedingu” poprzez dobór składników mieszanki betonowej

3.1. „Bleeding” a rodzaj cementu i mialkość popiołu lotnego

Tendencja do wydzielania wody z mieszanki betonowej zależy w dużym stopniu od stopnia zmielenia cementu. Zmniejsza się, gdy spoiwo ma większą powierzchnię właściwą, w wyniku szybszej hydratacji oraz wolniejszej sedymentacji najdrobniejszych ziaren cementu. Uważa się także, że na odsączenie wody z mieszanki betonowej ma wpływ także ilość alkaliów i zawartość C_3A [1]. Ograniczenie wydzielania wody można także uzyskać przez dodatek popiołów lotnych lub pyłu krzemionkowego, jednak wiele zależy od tego, czy wspomniane dodatki są wprowadzone obok cementu, czy zastępują jego część [1], [2], [5], [6]. Mieszanka betonowa zawierająca popioły lotne jest spoiwa i wykazuje mniejszą tendencję do odsączenia wody. Popioły lotne w mieszance betonowej stanowią nie tylko zamiennik części cementu, ale także pewnego rodzaju „mikrokruszywo”, które pozwala na uzyskanie szczelniejszego stosu kruszywowego, co zapobiega zjawisku odsączenia wody [5], [6].

W przeprowadzonych badaniach podjęto próbę określenia wpływu składników na odsączenie wody z mieszanki betonowej (tabela 1).

Tabela 1. Skład mieszanki betonowej

Składnik	Ilość [kg/m ³]
Cement	280
Woda	176
Kruszywo 0–2 mm	657
Kruszywo 2–8 mm	515
Kruszywo 8–16 mm	681

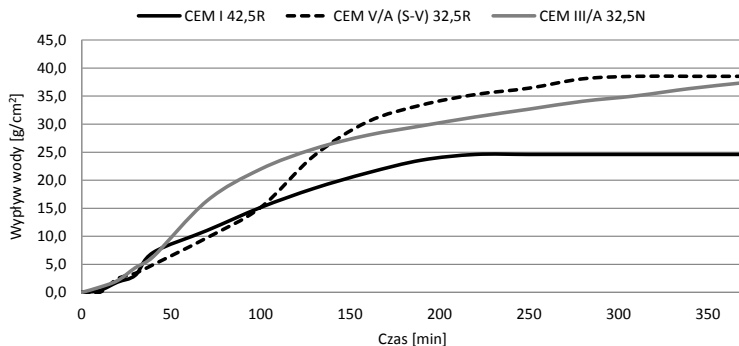
W mieszance o ustalonym składzie (tabela 1) zastosowano:

- trzy różne rodzaje cementów: cement portlandzki CEM I 42,5R; cement hutniczy CEM III/A 32,5N – LH/HSR/NA i cement wieloskładnikowy CEM V/A (S-V) 32,5R – LH/HSR/NA,
- trzy różne popioły lotne krzemionkowe: o mialkości (pozostałości na sicie 45µm) 10%, 35%, 50%. Popioły stosowano jako dodatek typu II do mieszanki z cementu portlandzkiego CEM I 42,5R (ilość popiołu 33% masy cementu przy $k = 0,4$).

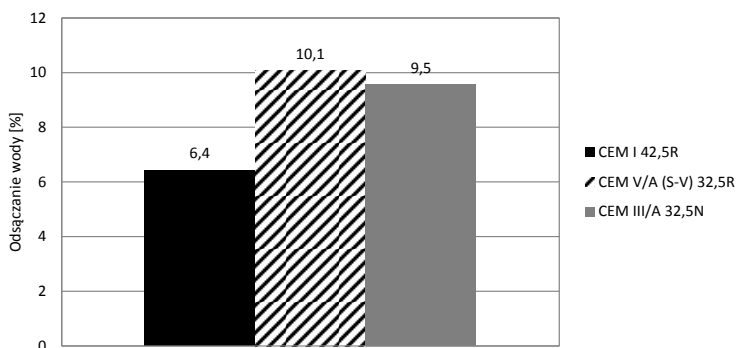
Ze względu na różnicę w gęstości cementów i popiołu stosowano korektę poprzez nieznaczną modyfikację ilości kruszyw.

Wyniki badań mieszanek betonowych przygotowanych z różnych cementów zaprezentowano na rysunkach 1 i 2.

Porównanie rezultatów badań pokazanych na rysunkach 1 i 2 z właściwościami cementów pokazanymi w tabeli 2 wykazało, że zjawisko bleedingu można skorelować z powierzchnią właściwą cementu oraz początkiem czasu wiązania. Stwierdzono, że najmniejszym stopniem bleedingu charakteryzowała się mieszanka z cementu o największej powierzchni właściwej i najkrótszym początku czasu wiązania (CEM I 42,5R). Zaobserwowane tendencje są spójne z danymi literaturowymi dotyczącymi zjawiska odsączenia wody [1].



Rys. 1. Wpływ rodzaju cementu na odsączenie wody

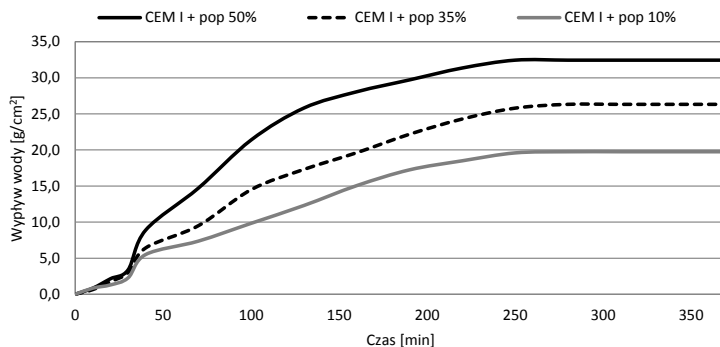


Rys. 2. Całkowita ilość odsączonej wody [%] z mieszanki betonowej z różnych rodzajów cementu

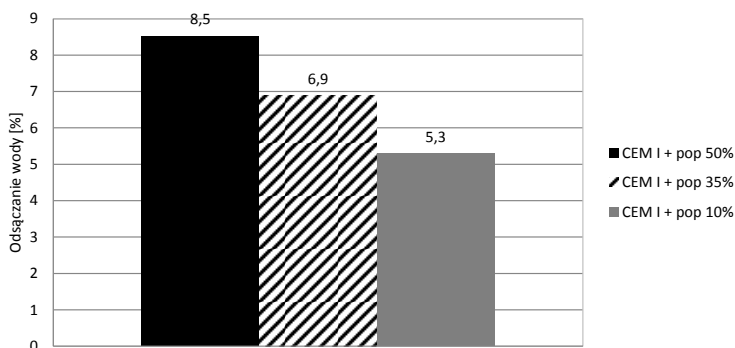
Tabela 2. Wybrane właściwości stosowanych cementów

Rodzaj cementu	Gęstość [g/cm³]	Powierzchnia właściwa [cm²/g]	Początek czasu wiązania [min]
CEM I 42,5R	3,10	3710	150
CEM III/A 32,5N	2,99	3520	200
CEM V/A (S-V) 32,5R	2,90	3270	230

Istotny wpływ na odsączenie wody z mieszanki betonowej ma także miאלkość zastosowanego popiołu lotnego. Uzyskane wyniki badań pokazały, iż zmniejszenie uziarnienia popiołu (spadek miאלkości) w znacznym stopniu ogranicza bleeding (rys. 3÷4).



Rys. 3. Wpływ miążkości stosowanego popiołu na wypływ wody



Rys. 4. Całkowita ilość odsączonej wody [%] z mieszanki betonowej zawierającej popiół lotny o różnej miążkości

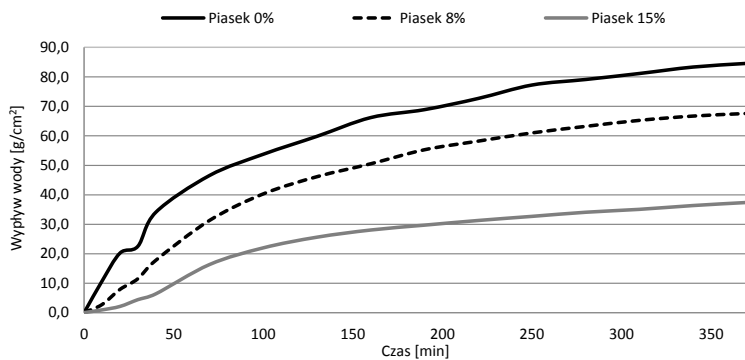
3.2. „Bleeding” betonu a uziarnienie kruszywa drobnego

Szczególnie ważnym aspektem związanym z opisywanym zjawiskiem bleedingu jest odpowiedni dobór uziarnienia kruszywa drobnego stosowanego do produkcji betonu towarowego. Istniejące wytyczne techniczne dotyczące mieszanek betonowych przeznaczonych do wykonywania posadzek betonowych wskazują, iż zawartość frakcji drobnych (poniżej 0,25 mm) w całości mieszanki kruszywowej, zastosowanej do produkcji powinna przekraczać 5%. Pociąga to konieczność stosowania odpowiedniej jakości piasków 0/2 mm, których uziarnienie w zakresie frakcji poniżej 0,25 mm wynosi od 13 do 18%. W przypadku stosowania piasków ubogich we frakcje drobne istnieje konieczność ich uzupełnienia za pomocą dodatków do betonu (popiół lotny, mączka wapienna) lub stosowania domieszek chemicznych zwiększających więzliwość wody. Zastosowanie napowietrzenia mieszanki betonowej również pozytywnie wpływa na zmniejszenie wartości wydzielania wody, co jest szczególnie widoczne w betonach nawierzchniowych [2].

W zaprezentowanych wynikach badań przedstawiono wpływ uziarnienia kruszywa drobnego na zjawisko bleedingu. Badania wykonano na mieszankach betonowych, o składzie pokazanym w tabeli 1, różniących się zastosowanym kruszywem drobnym w postaci piasku 0/2 mm. Zawartość frakcji poniżej 0,25 mm w piaskach wynosiła odpowiednio 0%,

8% oraz 15%. Należy zaznaczyć, że piasek o 15% zawartości frakcji < 0,25 mm spełniał wymóg uzyskania 5% frakcji poniżej 0,25 mm w sumarycznej krzywej mieszanki mineralnej.

Podczas badań wypływu wody z mieszanek betonowych z różnych piasków stwierdzono, że bleeding jest związany z zawartością frakcji < 0,25 mm w mieszance mineralnej (rys. 5), co jest zgodne z danymi literaturowymi [1], [2].



Rys. 5. Wpływ zawartości frakcji poniżej 0,25 mm w kruszywie drobnym na szybkość wypływu wody

3.3. Wpływ rodzaju domieszki chemicznej na bleeding betonu

Rodzaj zastosowanej domieszki chemicznej może także mieć decydujący wpływ na wielkość wydzielania wody z mieszanki betonowej. Z tego powodu jej odpowiedni dobór stanowi bardzo ważny aspekt związany z projektowaniem składu betonu. Na potrzeby niniejszego opracowania wykonane zostały zaroby laboratoryjne z wykorzystaniem domieszek chemicznych opartych na bazie polimerów karboksylowych. Skład mieszanki pokazano w tabeli 1.

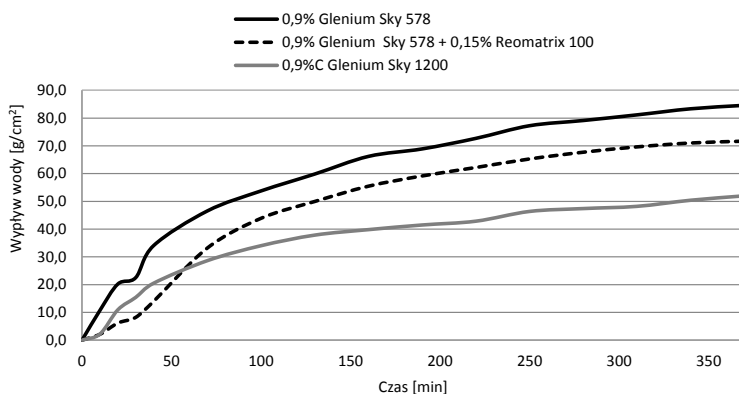
Zastosowano następujące domieszki:

- Glenium Sky 578 superplastyfikator na bazie eterów polikarboksylianowych, dedykowany do produkcji betonu towarowego,
- Rheomatrix 100 regulator lepkości mieszanki betonowej zapewniający mieszance odpowiednią lepkość plastyczną oparty na bazie kopolimeru o wysokiej masie molowej, przyciągający wodę dzięki łańcuchom hydrofilowym tworząc „kapsułki hydratacyjne”, modyfikujące lepkość plastyczną spoiwa cementowego. Dodatkowo adsorpcja większej liczby cząstek możliwa jest, dzięki wiązaniom mostkowym między cementem a piaskiem,
- Glenium Sky 1200 superplastyfikator na bazie rozpuszczalnych w wodzie polimerów opartych na eterach polikarboksylianowych. Przeznaczony do wykorzystania w mieszankach betonowych podatnych na bleeding (z powodu na przykład niewystarczającej ilości frakcji drobnych) oraz w celu ułatwienia pompowania betonu. Mechanizm działania domieszki pozwala na długotrwałe utrzymanie sił odpychania pomiędzy ziarnami cementu. Bazą domieszki jest polimer o dużej masie molekularnej, którego cząsteczki otaczając ziarna cementu i frakcje pylaste piasku powodują powstanie efektu mostkowania.

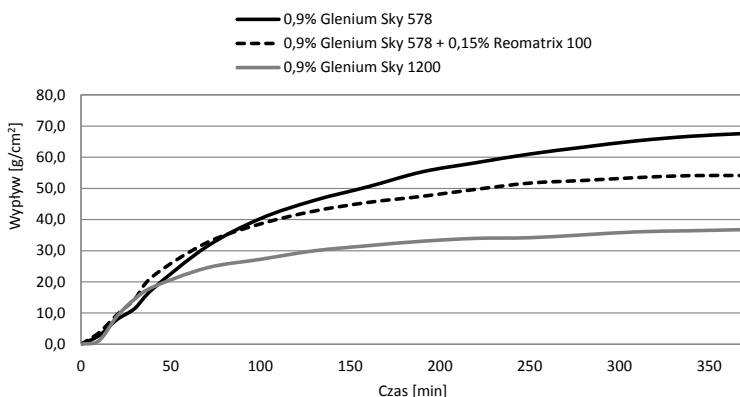
Domieszki stosowano w następujących wariantach:

- Glenium Sky 578 w ilości 0,9% w stosunku do masy cementu,
- Glenium Sky 578 w ilości 0,9% m.c. oraz regulator lepkości mieszanki betonowej RheoMatrix 100 w ilości 0,15% w stosunku do masy cementu,
- Glenium Sky 1200 w ilości 0,9% w stosunku do masy cementu.

Analiza wyników badań zaprezentowanych na rysunkach 6 i 7 wykazała, że gdy w mieszance betonowej zastosowano drobne kruszywo o 0% i 8% zawartości frakcji < 0,25 mm najniższym wpływem wody charakteryzowały się mieszanki zawierające dodatek superplastyfikatora dedykowanego do mieszanek podatnych na bleeding (Glenium Sky 1200). Mieszanki z dodatkiem „konwencjonalnego” superplastyfikatora (Glenium Sky 578) wykazały największe odsączanie wody. Natomiast zastosowanie w mieszance z „konwencjonalnym” superplastyfikatorem dodatku domieszki regulującej lepkość (Rheomatrix 100) spowodowało zmniejszenie bleedingu, ale efekt nie był tak



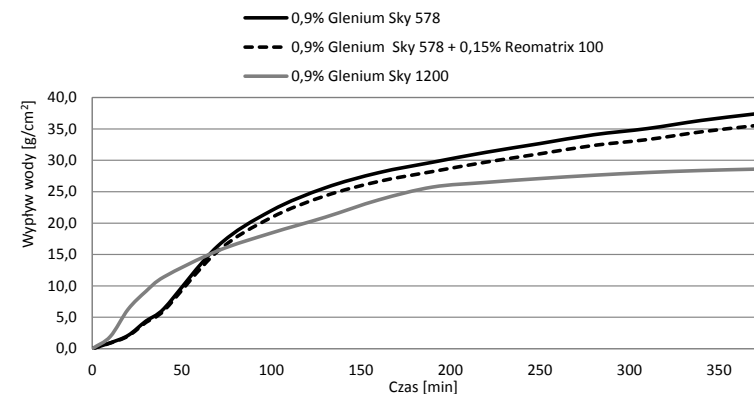
Rys. 6. Wpływ rodzaju zastosowanej domieszki chemicznej na szybkość wypływu, przy 0% zawartości frakcji poniżej 0,25 mm w kruszywie drobnym



Rys. 7. Wpływ rodzaju zastosowanej domieszki chemicznej na szybkość wypływu, przy 8% zawartości frakcji poniżej 0,25 mm w kruszywie drobnym

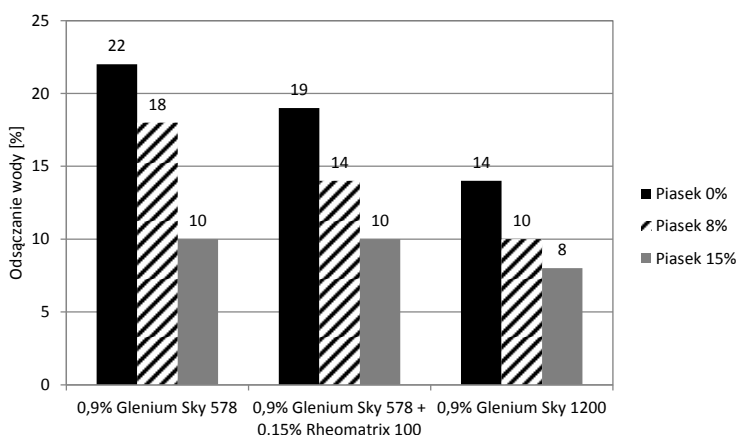
wyraźny jak w sytuacji gdy zastosowano dedykowany superplastyfikator zawierający polimer o dużej masie molekularnej (Glenium Sky 1200).

Wyniki badań mieszanki betonowej z piaskiem o dużej zawartości frakcji < 0,25 mm (rys. 8) nie wykazały tak dużych różnic w odsączaniu wody ze względu na zastosowane domieszki jak w przypadkach pokazanych na rysunkach 6 i 7. Interesujące jest także to, że nie zaobserwowano istotnej różnicy w przypadku gdy stosowano tylko superplastyfikator (Glenium Sky 578) czy też jego kombinację z domieszką regulującą lepkość (Rheomatrix 100).



Rys. 8. Wpływ rodzaju zastosowanej domieszki chemicznej na szybkość wypływu, przy 15% zawartości frakcji poniżej 0,25 mm w kruszywie drobnym

Zastosowanie domieszki dedykowanej do mieszanek podatnych na bleeding (Glenium Sky 1200) w znacznym stopniu ogranicza całkowitą ilość odsączanej wody. Stwierdzono, że mieszanka z tą domieszką, niezależnie od uziarnieniem zastosowanego piasku miała podobny poziom bleedingu tj. 8÷10% (rys. 9).



Rys. 9. Całkowita ilość odsączanej wody w zależności od zawartości frakcji poniżej 0,25 mm w kruszywie drobnym oraz zastosowanych domieszek

4. Podsumowanie

Opisane w niniejszej pracy zjawisko zwane potocznie bleedingiem betonu jest niezwykle złożone, istnieje wiele czynników mogących go zarówno spotęgować np.: wibracje, jak i ograniczyć przez zastosowanie odpowiednich składników do produkcji mieszanki betonowej. Powoduje to, iż zdefiniowanie sztywnych kryteriów jakie ma spełnić mieszanka betonowa jest bardzo trudne. Poziom odsączania wody jest związany z warunkami zewnętrznymi panującymi w momencie wykonywania elementu (temperatura, wilgotność, prędkość wiatru itd.). Przeprowadzone badania wykazały, że metodą kontroli zjawiska bleedingu jest odpowiedni dobór ilościowy oraz jakościowy składników betonu takich jak:

- kruszywo drobne,
- cement,
- dodatek mineralny,
- domieszka chemiczna.

Odpowiedni dobór kruszywa drobnego jest szczególnie ważny w przypadku wykonywania betonów w składzie których nie są stosowane dodatki mineralne. Zmiana zawartości frakcji poniżej 0,25 mm w kruszywie drobnym może spowodować ponad dwukrotny wzrost ilości wydzielonej wody. Wykazano, że jako uzupełnienie frakcji drobnych w kruszywie można stosować popiół lotny o małej mialkości. W przypadku stosowania kruszyw drobnych, ubogich we frakcje poniżej 0,25 mm, rozwiązaniem problemu bleedingu mogą być domieszki chemiczne zwiększające więźliwość wody w mieszance betonowej. Wpływają one korzystnie na stopień wydzielania wody jak również pompowność oraz urabialność mieszanki betonowej. Przy projektowaniu receptur mieszanek betonowych należy także uwzględnić wpływ zastosowanego cementu, ponieważ zaobserwowano wyraźny związek pomiędzy odsączaniem wody a powierzchnią właściwą i początkiem czasu wiązania cementu.

Literatura

- [1] Neville A.M., Właściwości betonu, V edycja, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2012,
- [2] Dr. R. Sri Ravindrarajah, Bleeding of fresh concrete containing cement supplementary materials, The Ninth east Asia – Pacific Conference on Structural Engineering and Construction Bail, Indonesia, 16 – 18 December 2003,
- [3] ASTM C232/C 232M -13 Standard test Methods for Bleeding of Concrete,
- [4] PN-EN 480-4:2008 „Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu Metody badań Część 4: Oznaczenie ilości cieczy wydzielającej się samoczynnie z mieszanki betonowej”
- [5] Giergiczny Z., Popiół lotny w składzie cementu i betonu, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2013,
- [6] Giergiczny Z., Rola popiołów lotnych wapniowych i krzemionkowych w kształtowaniu właściwości współczesnych spoiw budowlanych i tworzyw cementowych, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2006,