

WPŁYW RODZAJU CEMENTU I WARUNKÓW DOJRZEWANIA NA PRZYCZEPNOŚĆ ZAPRAW DO PODŁOŻA BETONOWEGO

Dorota MAŁASZKIEWICZ*, Aneta JURGUĆ

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 A, 15-351 Białystok

Streszczenie: Celem badań było określenie wpływu rodzaju cementu użytego do wykonania zapraw cementowych i cementowo-wapiennych oraz warunków dojrzwania na ich przyczepność do podłoża betonowego. Zastosowano cementy CEM I 32,5, CEM II/B-V 32,5 oraz CEM III/A 32,5. Zaprawy naniesiono na podkłady betonowe i poddano dojrzwaniu w różnych warunkach ciepłno-wilgotnościowych: seria I w warunkach naturalnych w temperaturze $+20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ i wilgotności względnej $60\% \pm 5\%$, seria II w temperaturze $+30^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ przy wilgotności względnej $40\% \pm 5\%$ oraz seria III w temperaturze $+7^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Przyczepność do podłoża zbadano zgodnie z procedurą normy PN-EN 1015-12:2002. Wapno wpłynęło na wzrost przyczepności zaprawy do podłoża betonowego niezależnie od zastosowanego cementu i warunków dojrzwania. Najmniej korzystne warunkami dojrzwania miały próbki w serii II. Cement CEM I okazał się najbardziej wrażliwy na niekorzystne warunki dojrzwania.

Słowa kluczowe: zaprawa cementowa, zaprawa cementowo-wapienna, przyczepność zaprawy, warunki dojrzwania.

1. Wstęp

Celem naprawy konstrukcji betonowych jest przywrócenie pierwotnego stanu technicznego i ochrona konstrukcji przed działaniem niekorzystnych czynników środowiskowych. Na skuteczność naprawy wpływa zarówno dobór odpowiednich materiałów naprawczych, jak również charakter ich aplikacji. Jednym ze sposobów zabezpieczenia i ochrony elementów betonowych jest zabezpieczenie ich warstwą ochronną z zaprawy tynkarskiej. Warunki użytkowania oraz czynniki zewnętrzne, takie jak temperatura i wilgoć, powodują z upływem czasu zmianę właściwości materiału naprawczego między innymi zmniejszenie adhezji, co może prowadzić do pęknięć, odspojeń, zmniejszenia właściwości barierowych. O skuteczności naprawy w głównej mierze decyduje przyczepność materiału naprawczego do betonu (Siewczyńska i Jasiczak, 2009). Naprawy konstrukcji betonowych wykonywane są podczas remontów, przebudowy bądź odbudowy obiektów. Dobór materiałów i sposobu wykonania prac w dużym stopniu decyduje o efektywności napraw. Po zastosowaniu wyroby i zestawy przeznaczone do napraw obiektów powinny zapewnić stabilność i trwałość naprawionego betonu i całej konstrukcji (Mozaryn, 2005).

Do oceny celowości i możliwości naprawy konieczne jest ustalenie wad występujących w konstrukcji betonowej oraz ich przyczyn. Wady te mogą wynikać zarówno

z błędów powstałych w czasie projektowania, nadzoru, wykonania prac i doboru materiałów, jak również z powodu (Czarnecki i Łukowski, 2010):

- nieprawidłowego zaprojektowania konstrukcji,
- niewystarczającej otuliny betonowej,
- niewłaściwego zaprojektowania, wymieszania i zagęszczenia mieszanki betonowej,
- użycia kruszywa złej jakości, skażonego lub reaktywnego,
- wadliwej lub niewystarczającej izolacji przeciwwodnej,
- nieodpowiedniej pielęgnacji.

Beton wybrano na podłożu w przeprowadzonych badaniach również ze względu na to, że w porównaniu z innymi materiałami (ceramika, silikat, gazobeton) wykazuje względnie stałe cechy w zakresie szorstkości i niską nasiąkliwość. Tym samym chłonność podłoża betonowego jest niewielka (Pytel i Łagosz, 2008).

2. Metodologia badań własnych

Przedmiotem badań były zaprawy cementowe oraz cementowo-wapienne wykonane przy użyciu cementów CEM I 32,5R, CEM II/B-V 32,5 oraz CEM III/A 32,5, wapna hydratyzowanego, wody i piasku naturalnego 0/2. Zaprawy nanoszono ręcznie na wcześniej przygotowane

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: d.malasziewicz@pb.edu.pl

podłoże betonowe. Grubość warstwy zaprawy wynosiła $1,2 \text{ cm} \pm 10\%$. Wykonano badanie przyczepności zaprawy metodą „pull off test” za pomocą urządzenia DYNA Z16 zgodnie z normą PN-EN 1015-12:2002 *Metody badań zapraw do murów – Część 12: Określenie przyczepności do podłoża stwardniałych zapraw na obrzutkę i do tynkowania*.

Zaprojektowanie składu zaprawy z trzema rodzajami cementu polegało na odważeniu suchych składników zaprawy (przy założeniu proporcji objętościowych podanych w tabeli 1) i poddaniu ich wstępnemu mieszanin. Następnie dodano wodę w takiej ilości, aby zapewnić odpowiednią jednakową konsystencję równą $4 \pm 0,5 \text{ cm}$ przy badaniu penetrometrem. Dla każdej z planowanych do wykonania zapraw indywidualnie ustalono właściwą ilość wody. Składy poszczególnych zapraw przedstawiono w tabeli 1.

Podłoże pod zaprawę zostało oczyszczone z kurzu, brudu i słabo przylegających części mogących osłabić przyczepność zaprawy. Zaprawę narzucano równomiernie przy pomocy kielni, a nadmiar zaprawy zbierano pacą styropianową.

Przygotowane próbki rozformowywano po okresie 24 h. Po wyjęciu z form próbki oznaczono i pozostawiono przez 6 dni dojrzewania w różnych warunkach ciepłowo-wilgotnościowych. Dla dwóch serii próbek celowo nie zapewniono właściwej pielęgnacji podczas wiązania i dojrzewania zaprawy. Pielęgnowanie próbek w zmiennych warunkach temperaturowo-wilgotnościowych polegało na umieszczeniu ich odpowiednio:

- seria I: pod folią, w warunkach naturalnych przy prawidłowej pielęgnacji, w temperaturze $+20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$, wilgotność względna $60\% \pm 5\%$;
- seria II: w suszarce w temperaturze $+30^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ przy wilgotności względnej $40\% \pm 5\%$;
- seria III: zamknięte w lodówce w warunkach obniżonych temperatur, w temperaturze $+7^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$.

Po upływie tego czasu wszystkie próbki przechowywane były w warunkach jak dla serii I. Po 28 dniach od wykonania próbek przeprowadzone zostało badanie przyczepności zaprawy do podłoża. Według normy PN-EN 1015-12:2002 przyczepność jest określana jako maksymalne naprężenie rozciągające wywołane przez obciążenie odrywające przyłożone

prostopadle do powierzchni zaprawy na obrzutkę lub do tynkowania naniesionej na podłoże. Obciążenie odrywające jest przykładane za pomocą płytki odrywającej przyklejanej do powierzchni licowej badanej zaprawy. Na wynik próby odrywania wpływają w dużym stopniu: rozmiar kruszywa, rozmiar rdzenia, dopasowanie urządzenia do powierzchni i staranność wykonania badania.



Rys. 1. Etap ustawiania urządzenia do pomiaru DYNA Z16 nad krążkiem i zerowanie licznika

Po 24 h (po stwardnieniu kleju) krążki stalowe połączone z metalowym ciągnem przyrządu odrywającego próbkę zaprawy tak, że oś ciągną pokrywała się ze środkiem krążka. Następnie wyzerowano przyrząd do pomiaru i rozpoczęto odrywanie krążka od powierzchni podłoża (rys. 1). Przyrost siły podczas odrywania wynosił 10 N/s . Badanie prowadzono do chwili oderwania naciętej próbki zaprawy od podłoża rejestrując wielkość siły. Wynikiem końcowym oznaczania jest średnia arytmetyczna przyczepności trzech krążków, które uzyskały wartości wytrzymałości najbardziej zbliżone do średniej arytmetycznej z pięciu oznaczeń. Dwa skrajne wyniki należało odrzucić. Przyczepność wyliczono z dokładnością do $0,01 \text{ N/mm}^2$.

Tab. 1. Zestawienie proporcji objętościowych suchych składników oraz skład wagowy na 1 m^3 zaprawy

| Rodzaj cementu | Proporcje objętościowe | | | Skład na 1 m^3 zaprawy, kg | | | |
|-----------------|------------------------|-------|------------|--------------------------------------|-------|------------|------|
| | Cement | Wapno | Piasek 0/2 | Cement | Wapno | Piasek 0/2 | Woda |
| CEM I 32,5 | 1 | 0 | 3 | 346 | 0 | 1414 | 298 |
| | 1 | 0,33 | 3 | 320 | 42 | 1400 | 280 |
| CEM II/B-V 32,5 | 1 | 0 | 3 | 311 | 0 | 1469 | 288 |
| | 1 | 0,33 | 3 | 304 | 44 | 1460 | 283 |
| CEM III/A 32,5 | 1 | 0 | 3 | 295 | 0 | 1493 | 274 |
| | 1 | 0,33 | 3 | 289 | 44 | 1478 | 268 |

3. Wyniki badań stwardniałych zapraw

W praktyce budowlanej przyczepność jest przedmiotem pomiarów inżynierskich. Gdy w wyniku przyłożonego naprężenia zniszczenie następuje w płaszczyźnie złącza, to przyczepność odzwierciedla wielkość sił adhezji oddziałujących między materiałami. W innym przypadku (zniszczenie w materiale naprawczym, w podłożu lub w sposób mieszany) można jedynie wnioskować, że siła łączenia materiałów jest większa od wyznaczonej w badaniu.

Rozróżnia się trzy modele rozerwania.

- A – pęknięcie kohezyjne, pęknięcie w materiale podłoża – przyczepność jest większa niż wynik badania;
- B – pęknięcie adhezyjne, pęknięcie na styku zaprawy z podłożem – przyczepność jest równa wynikowi badania;
- C – pęknięcie kohezyjne, pęknięcie w samej zaprawie - przyczepność jest większa niż wynik badania.

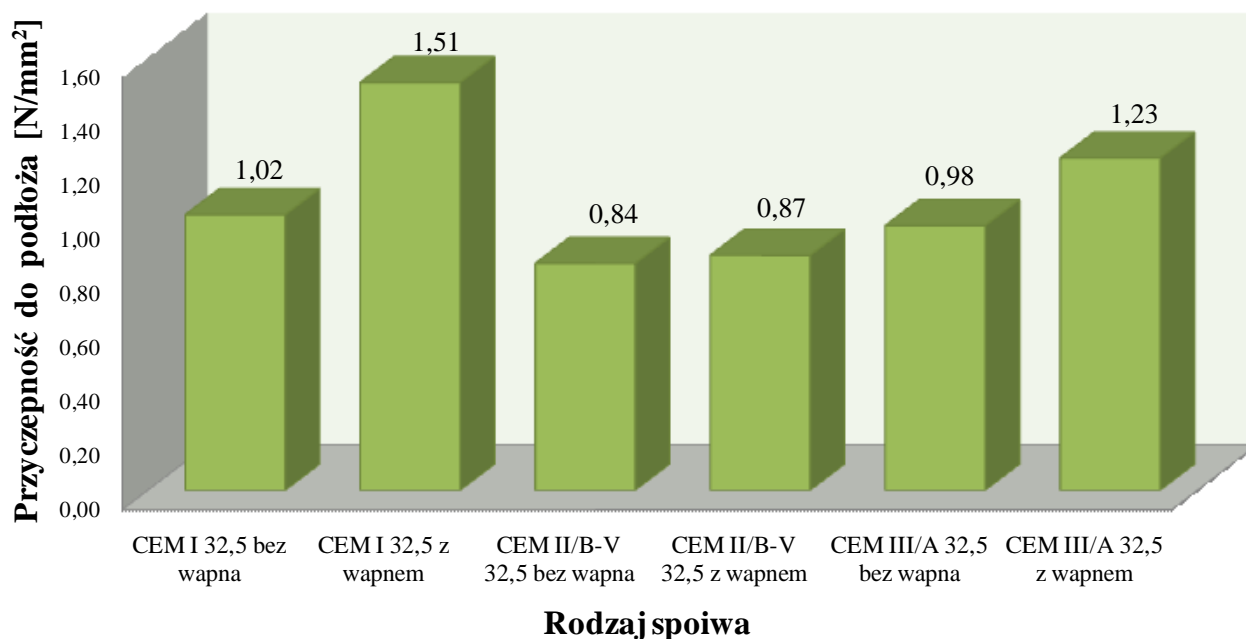
Średnie arytmetyczne przyczepności zapraw do podłoża betonowego dla poszczególnych warunków dojrzewania oraz danego rodzaju zaprawy po odrzuceniu dwóch skrajnych wyników zestawione zostały w tabeli 2. Za model pęknięcia przyjmowano taki, który dominował wśród wyników oznaczenia i wskazywał na jeden z zasadniczych modeli zerwania. Biorąc pod uwagę wszystkie próby oderwania krążka, przeważającym modelem zerwania był model C.

4. Analiza wyników badań przyczepności zapraw do podłoża betonowego

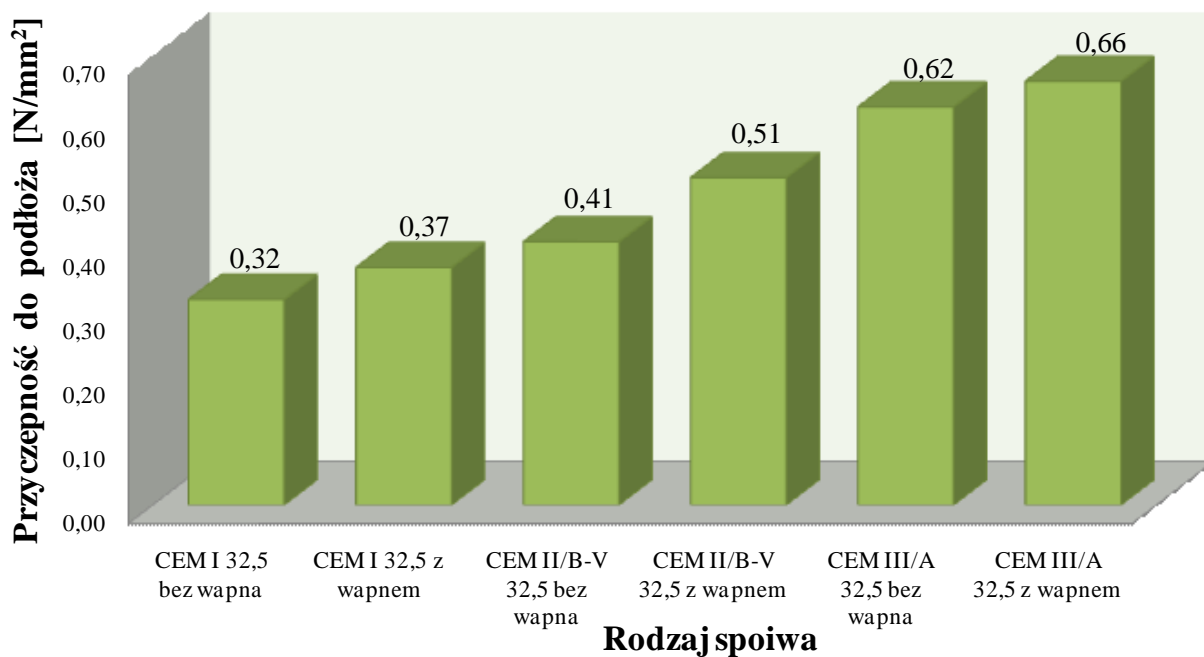
Na rysunku 2 przedstawiono wykres zależności przyczepności zapraw do podłoża betonowego od rodzaju spoiwa użytego do ich wykonania. Zaprawy te dojrzewały pod folią w warunkach naturalnych w temperaturze $+20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Największą przyczepność do podłoża betonowego spośród zapraw dojrzewających w warunkach naturalnych wykazała zaprawa cementowo-wapienna z CEM I 32,5. Zaprawa wykonana przy użyciu tego samego cementu, jednak bez użycia wapna, uzyskała przyczepność do podłoża mniejszą o 0,49 MPa (32 %). W przypadku zapraw z CEM II/B- V 32,5 dodatek wapna nie wpłynęło na zmianę przyczepności. Analizując przyczepność zaprawy z CEM III/A również zaobserwować można zwiększenie przyczepności po dodaniu wapna o około 25%.

Na rysunku 3 zaprezentowano wykres zależności przyczepności zapraw dojrzewających w suszarce w temperaturze $+30^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ przy wilgotności względnej 40% od rodzaju spoiwa. Dodatek wapna wpłynął na wzrost przyczepności zaprawy do podłoża betonowego. W przypadku zapraw dojrzewających w suszarce wapno spowodowało wzrost przyczepność zapraw o około 16%, 24% oraz 6% odpowiednio dla cementów CEM I, CEM II/B-V, CEM III/A. Największą przyczepność uzyskała zaprawa wykonana z cementem CEM III/A 32,5 z dodatkiem wapna, najmniejszą natomiast zaprawa z CEM I 32,5 bez wapna. Przyczepność zaprawy z CEM III/A jest ponad dwukrotnie większa niż zaprawy wykonanej z cementem CEM I 32,5.



Rys. 2. Wykres zależności przyczepności zaprawy do podłoża betonowego od rodzaju spoiwa użytego do wykonania zaprawy dla próbek dojrzewających pod folią

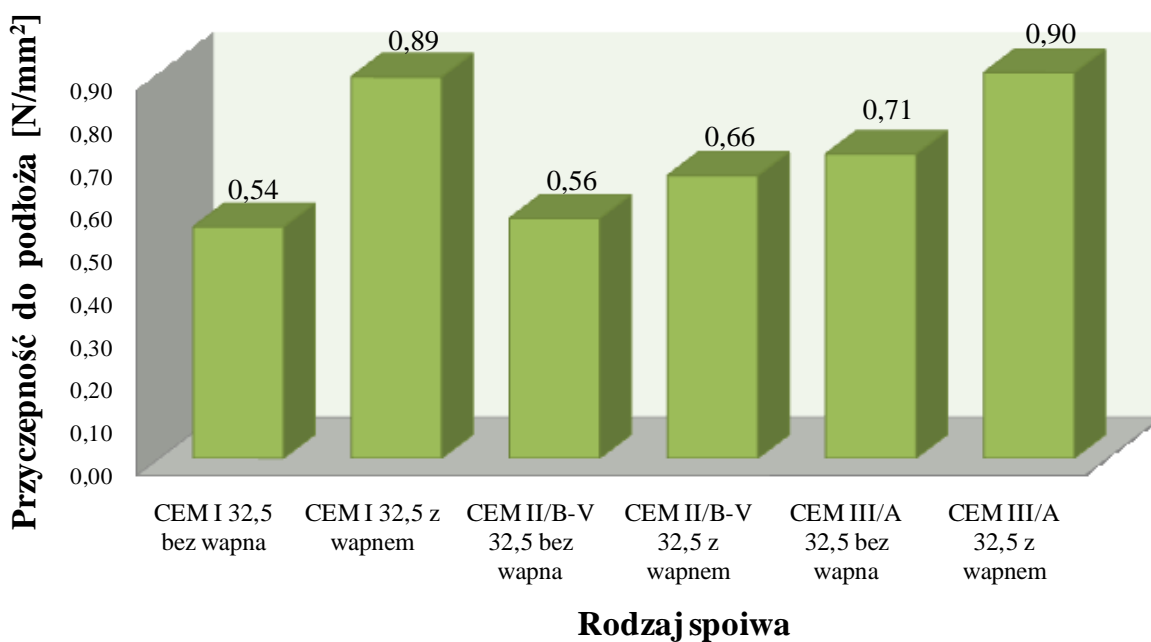


Rys. 3. Wykres zależności przyczepności zaprawy do podłoża betonowego od rodzaju spoiwa użytego do wykonania zaprawy dla próbek dojrzewających w suszarce

Rysunek 4 przedstawia wartości przyczepności zapraw do podłoża betonowego w zależności od rodzaju spoiwa użytego do wykonania zaprawy. Dojrzwianie odbyło się w warunkach obniżonych temperatur w temperaturze $+7^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Największe przyczepności do podłoża betonowego uzyskały zaprawy cementowo-wapienne wykonana z cementami CEM III/A oraz CEM I. W przypadku CEM I 32,5 przyczepność wzrosła o około 65% po dodaniu wapna. Analizując przyczepność

zaprawy z CEM II/B-V zaobserwować można mniej znaczące zwiększenie przyczepności po dodaniu wapna (o około 18%).

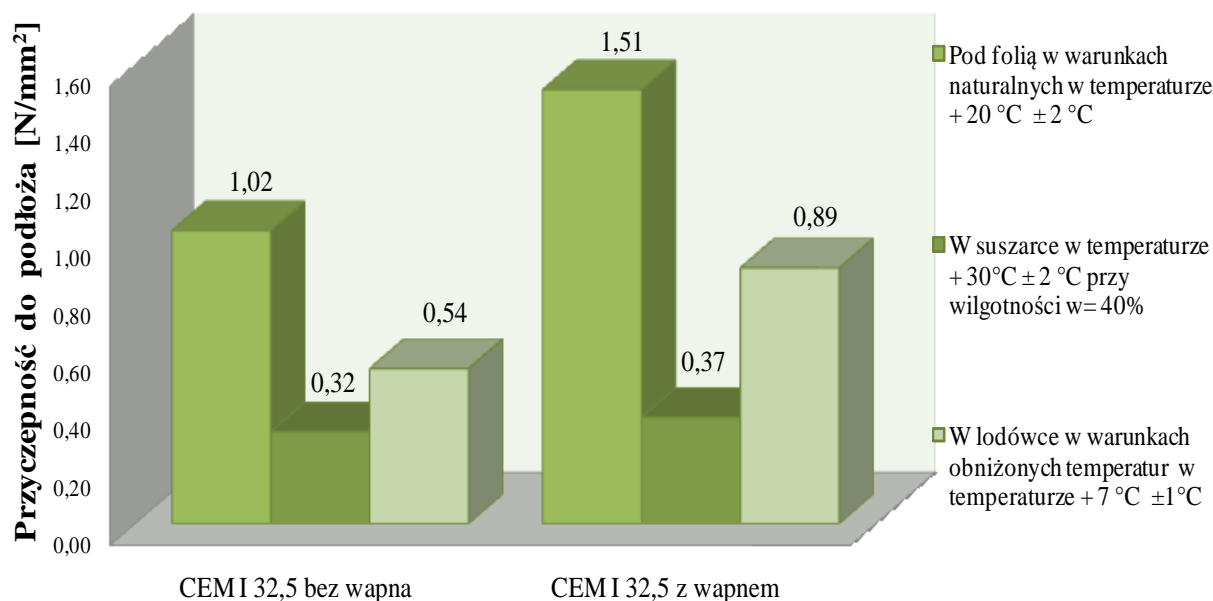
Z analizy powyższych wykresów wynika, że dodanie do zaprawy wapna w ilości 42 kg/m^3 podwyższa przyczepność zaprawy do podłoża betonowego niezależnie od zastosowanego cementu i warunków dojrzewania.



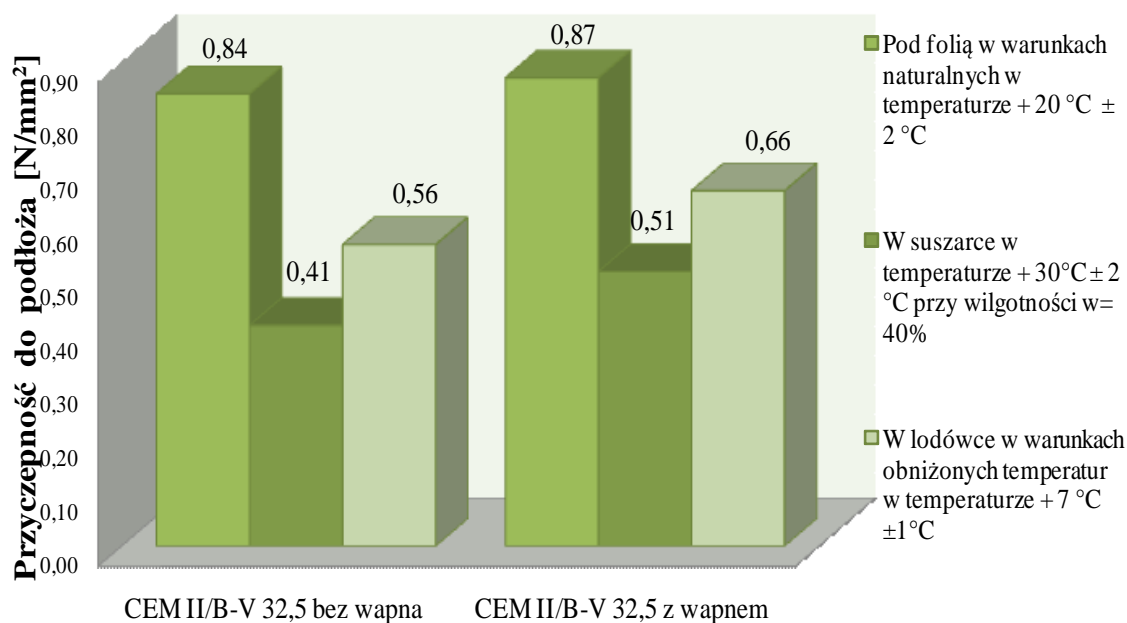
Rys. 4. Wykres zależności przyczepności zaprawy do podłoża betonowego od rodzaju spoiwa użytego do wykonania zaprawy dla próbek dojrzewających w lodówce

Na rysunku 5 zaprezentowano wykres zależności przyczepności zaprawy wykonanej z CEM I 32,5 od warunków dojrzewania. Najniższą przyczepność uzyskały zaprawy dojrzewające w suszarce. Dotyczy to zarówno zaprawy cementowej, jak i cementowo-wapiennej. Przyczepność zapraw cementowych zmniejszyła się o 69% i 47% odpowiednio w stosunku do zapraw dojrzewających w warunkach naturalnych i w obniżonej temperaturze. W przypadku zapraw cementowo-wapiennych spadek wyniósł odpowiednio 76% i 41%.

Na rysunku 6 przedstawiono zależność przyczepności zaprawy wykonanej z cementem CEM II/B-V 32,5 od warunków podczas dojrzewania. Przyczepność zaprawy cementowej dojrzewającej w warunkach naturalnych jest wyższa od wartości przyczepności zapraw dojrzewających w suszarce i w lodówce odpowiednio o 51% i 33%. W przypadku zaprawy cementowo-wapiennej przyczepność do podłoża betonowego jest wyższa o odpowiednio 41% i 24%.



Rys. 5. Wykres zależności przyczepności zaprawy wykonanej z cementem CEM I 32,5 do podłoża betonowego od warunków dojrzewania



Rys. 6. Wykres zależności przyczepności zaprawy wykonanej z cementem CEM II/B-V 32,5 do podłoża betonowego od warunków dojrzewania

Na rysunku 7 pokazano wykres zależności przyczepności zaprawy z CEM III/A 32,5 od warunków dojrzewania próbek. Przyczepność zaprawy cementowej maleje o 37% i 28% w przypadku dojrzewania odpowiednio w suszarce i w obniżonej temperaturze. W przypadku zaprawy cementowo-wapiennej spadek wyniósł odpowiednio 46% i 27%. Cement hutniczy okazał się najmniej wrażliwy na niekorzystne warunki dojrzewania spośród trzech zastosowanych cementów, co pozostaje w sprzeczności z wynikami uzyskanymi przez Cakara i Akoza (2008), którzy badali wpływ dodatku granulowanego żużla wielkopieczowego na właściwości zapraw.

Z analizy powyższych wykresów wynika, że najniższą przyczepność do podłoża betonowego uzyskały zaprawy dojrzewające przez 7 dni w temperaturze $+30^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ bez pielęgnacji na mokro, najwyższą zaś dojrzewające w temperaturze $+20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ w warunkach wilgotnych, niezależnie od zastosowanego spoiwa. Niniejsze badania potwierdzają wyniki uzyskane przez Hassana i in. (2000). Mniej niekorzystne okazało się dojrzewanie w lodówce w warunkach obniżonej temperatury. Należy to tłumaczyć tym, że po spowolnieniu dojrzewania zaprawy spowodowanym niską temperaturą, po przełożeniu próbek pod folię w temperaturze $+20^{\circ}\text{C}$ proces hydratacji został wznowiony ze względu na obecność wody w systemie. Próbkę w lodówce były szczelnie zamknięte i nie nastąpiło tak silne odparowanie wody, jak w przypadku próbek przechowywanych w suszarce.

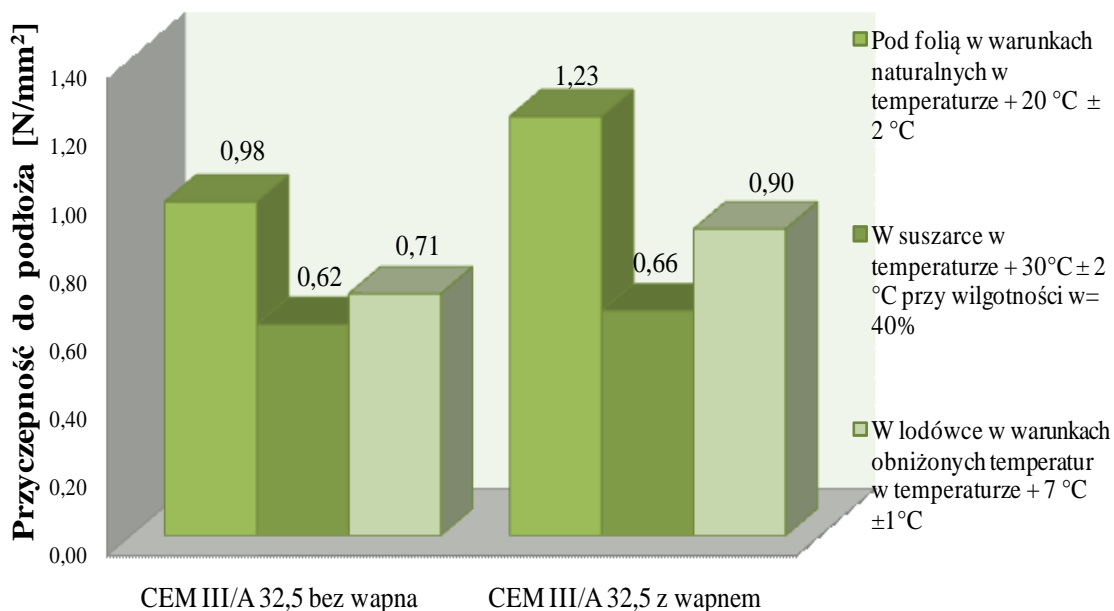
5. Wnioski

Uwzględniając rodzaj cementu można stwierdzić, że:

1. Cementy CEM II/B-V i CEM III/A są mniej wrażliwe na temperaturę podczas procesu dojrzewania i twardnienia w początkowym okresie (7 dni) niż cement CEM I.
2. Zmiana temperatury podczas procesu hydratacji spowodowała około trzy- i dwukrotny spadek przyczepności zapraw cementowych z CEM I dojrzewających odpowiednio w suszarce i w lodówce oraz odpowiednio cztero- i dwukrotny spadek przyczepności zapraw cementowo-wapiennych.

Uwzględniając wpływ dodatku wapna można stwierdzić, że:

1. Wapno w znacznej mierze wpłynęło na wzrost przyczepności zaprawy do podłoża betonowego niezależnie od zastosowanego cementu i warunków dojrzewania.
2. Najbardziej widoczne jest to w przypadku zapraw z CEM I 32,5. Po dodaniu wapna przyczepność wzrosła o około 16%, 48% i 65% odpowiednio dla próbek dojrzewających w warunkach naturalnych, w suszarce oraz w lodówce.
3. Najmniejszy wpływ wapna uzyskano w przypadku zapraw z CEM II/B-V.



Rys. 7. Wykres zależności przyczepności zaprawy wykonanej z cementem CEM III/A 32,5 do podłoża betonowego od warunków dojrzewania

Uwzględniając wpływ warunków dojrzewania można stwierdzić, że:

1. Największą przyczepność do podłoża wykazały próbki przechowywane w warunkach naturalnych, najmniejszą zaś przechowywane w suszarce. Różnice te wyniosły około 69%, 51% i 37% dla zapraw cementowych oraz 76%, 41% i 46% dla zapraw cementowo-wapiennych odpowiednio z cementami CEM I 32,5, CEM II/B-V 32,5 i CEM III/A 32,5.
2. Próbkę dojrzewającą w lodówce uzyskały pośrednie wartości przyczepności zaprawy do podłoża betonowego.
3. Świeża zaprawa powinna być chroniona zarówno przed oddziaływaniem podwyższonej jak i obniżonej temperatury. Temperatura wyższa przyspiesza hydratację pod warunkiem dostatecznej wilgotności, a niższa opóźnia proces dojrzewania. Przy niskiej wilgotności, co miało miejsce w suszarce, nastąpiło szybkie odparowywanie wody. W przypadku niewystarczającej ilości wody do poprawnego przebiegu wiązania doszło do przesuszenia i zahamowania procesu hydratacji.

Literatura

- Cakar O., Aköz F. (2008). Effect of curing conditions on the mortars with and without GGBFS. *Construction and Building Materials*, No. 22, 308-314.
- Czarnecki L., Łukowski P. (2010). Wdrażanie normy PN-EN 1504-9 do stosowania w Polsce. *Materiały budowlane*, 2/2010, 2-21.
- Hassan K.E., Robery P.C., Al.-Alawi L. (2000). Effect of hot-dry curing environment in the intrinsic properties of repair

materials. *Cement and Concrete Research*, No. 22, 453-458.

Możaryn T. (2005). Wymagania dotyczące wyrobów do napraw konstrukcji z betonu. *Materiały budowlane*, 9/2005, 12-13.

Pytel Z., Łagosz A. (2008). Przyczepność tradycyjnych zapraw do typowych elementów ściennych. W: *Materiały Konferencji „Dni Betonu”*, Wisła 2008.

Siewczyńska M., Jasiczak J. (2009). Wpływ wybranych parametrów betonu na przyczepność powłok naprawczych. *Materiały budowlane*, 2/2009, 10-11.

THE INFLUENCE OF CEMENT TYPE AND CURING CONDITIONS ON MORTARS ADHESION TO CONCRETE BASE

Abstract: The aim of the study was determination of the influence of cement type and curing conditions on adhesion of cement and cement-lime mortars to concrete base. The following cements were used: CEM I 32,5, CEM II/B-V 32,5 and CEM III/A 32,5. Mortars were applied on concrete base and cured in different temperatures and relative humidity: series I in natural conditions in temperature $+20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ and relative humidity $60\% \pm 5\%$, series II in temperature $+30^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ and relative humidity $40\% \pm 5\%$ and series III in temperature $+7^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Adhesion was tested according to the procedure described in the standard PN-EN 1015-12:2002. Addition of lime increased adhesion of mortars to concrete base regardless the applied cement type and curing environment. The least favorable conditions had specimens in series II. Cement CEM I turned out to be the most sensitive to varying curing conditions

Pracę wykonano w Politechnice Białostockiej w ramach pracy statutowej nr S/WBiŚ/1/10