

Dr inż. Radosław Mróz

Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki, Katedra Technologii Materiałów Budowlanych

Wpływ korozji siarczanowej na trwałość zapraw cementowych z dodatkami mineralnymi, w obniżonych temperaturach

The effect of sulfate environment and low temperature on the durability of cement mortars with mineral additives

1. Wstęp

Zagrożenie trwałości betonów może być spowodowane czynnikami wewnętrznymi (np. niewłaściwy dobór spoiwa lub kruszywa), jak też agresją środowiska, w którym znajduje się konstrukcja betonowa. Najgorsza sytuacja występuje wówczas, gdy obydwa te czynniki występują jednocześnie, a ich wpływ jest synergiczny. W ocenie wielu autorów największe zagrożenie dla trwałości konstrukcji z betonów cementowych stanowi korozja siarczanowa, która może być spowodowana agresją środowiska zewnętrznego lub czynnikami związanymi ze składem chemicznym i mineralnym spoiw lub kruszyw, zastosowanych do produkcji betonu. Najczęściej wymienianymi produktami korozji siarczanowej betonów cementowych są: ettringit $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaSO}_4\cdot32\text{H}_2\text{O}$ oraz gips $\text{CaSO}_4\cdot2\text{H}_2\text{O}$. Bardzo rzadko natomiast stwierdza się thaumasyt $\text{CaSiO}_3\cdot\text{CaCO}_3\cdot\text{CaSO}_4\cdot15\text{H}_2\text{O}$ (2, 3). Zniszczenie konstrukcji betonowych spowodowane powstawaniem thaumasytu wiąże się z innym mechanizmem niż korozja wiążąca się z krystalizacją ettringitu i gipsu. Powstawanie w stwardniałym betonie krystalicznych form ettringitu i gipsu wiąże się ze wzrostem objętości co jest źródłem naprężeń, głównie rozciągających, które, w przypadku przekroczenia wytrzymałości betonu, prowadzą do powstawania spękań i odprysków, a w konsekwencji do zniszczenia konstrukcji. Natomiast w przypadku tworzenia się thaumasytu następuje sukcesywne przekształcanie się stwardniałego zaczynu cementowego w niespójną, bezpostaciową masę, w związku z czym następuje zanik podstawowych funkcji, jakie w betonie spełnia stwardniały zaczyn cementowy. Beton traci wytrzymałość, powstają obszary wypełnione proszkiem nie posiadającym właściwości wiążących, które odsłaniają głębsze warstwy betonu, a także zbrojenie. Przekształcanie się stwardniałego zaczynu cementowego w bezpostaciową masę powoduje wzrost porowatości betonu, a to z kolei ułatwia wnikanie do jego wnętrza roztworów agresywnych, przyspieszając proces korozji.

Korozja siarczanowa związana z powstawaniem thaumasytu ma bardzo ważne znaczenie dla budownictwa betonowego w Pol-

1. Introduction

The destruction of concrete can be the effect of internal factors, for example improper selection of aggregate or binder, as well as the result of external, environmental impact. The simultaneous action of these two circumstances is seriously deleterious, particularly when the synergic effect can occur. The sulfate corrosion resulting from the external aggression or internal reasons, such as the chemical and phase composition of binding agents or aggregates is, in opinion of many authors, the most harmful. The main corrosion products are in this case: ettringite $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaSO}_4\cdot32\text{H}_2\text{O}$ and gypsum $\text{CaSO}_4\cdot2\text{H}_2\text{O}$. Thaumassite $\text{CaSiO}_3\cdot\text{CaCO}_3\cdot\text{CaSO}_4\cdot15\text{H}_2\text{O}$ is detected rarely (2, 3). The deterioration of concrete structure due to the thaumasite formation reveals another mechanism than the corrosion being the result of ettringite or gypsum crystallization. The crystallization of ettringite or gypsum is accompanied by a significant volume increase which is the source of tensile stresses. As a consequence, the cracks and exfoliations are observed, when these stresses exceed the strength of concrete and the deterioration of structure takes place. In case of thaumasite formation the hardened cement matrix turns into the incoherent, amorphous substance and the loss of binding properties is observed. The strength decrease is evident; at later age the areas filled with the washable powder product give the access to inner layers and to the reinforcement. The transformation of hardened paste to the amorphous mass leads to the higher porosity and the intensive penetration of aggressive media in the weakened material is possible.

The sulfate corrosion, particularly that leading to the thaumasite formation is of significant meaning, as the durability of concrete structures in Poland is concerned. This is because of the climate conditions and composition of cements used in concrete production.

2. Conditions of thaumasite formation

There are two stages of cement concrete corrosion, as the occurrence of thaumasite is concerned (3, 4). The first one determined

Tabela 1 / Table 1

SKŁAD UKŁADÓW MODELOWYCH ZŁOŻONYCH Z C-S-H O RÓŻNYCH STOSUNKACH MOLOWYCH CaO:SiO₂COMPOSITION OF MIXES CONTAINING C-S-H WITH DIFFERENT CaO:SiO₂ MOLAR RATIO

Lp.	Oznaczenie próbki	Skład badanych materiałów, % masowy*					
		Stosunek molowy CaO:SiO ₂ w C-S-H otrzymanych syntetycznie w warunkach laboratoryjnych			CaCO ₃	Ca(OH) ₂	Na ₂ SO ₄
		0,8	1,5	2,0			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	CaO:SiO ₂ = 0,8	75	-	-	10	5	10
2	CaO:SiO ₂ = 1,5	-	75	-	10	5	10
3	CaO:SiO ₂ = 2,0	-	-	75	10	5	10

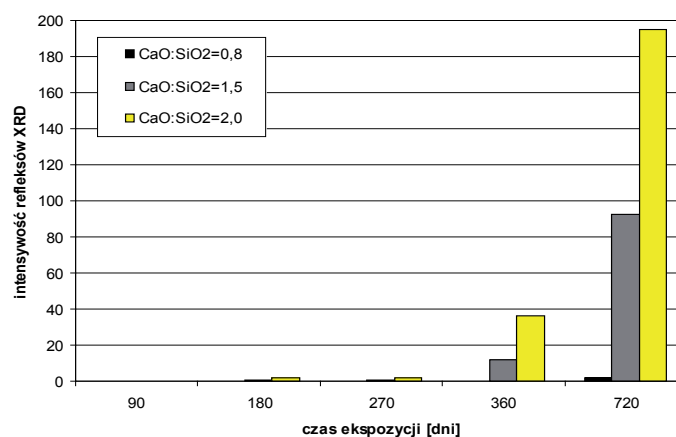
* do mieszanin o składzie podanym w tabeli wprowadzano odpowiednią ilość wody i z uzyskanych zaczynów wykonywano prostopadłościenne kształtki o wymiarach 10×10×100 mm, które umieszczone zostały w szczelnie zamkniętych plastikowych pojemnikach w atmosferze nasyconej pary wodnej. Próbkę poddane były dojrzewaniu w temperaturze 5 ± 1°C.

sce zarówno ze względu na panujące w naszym kraju warunki klimatyczne, a także z uwagi na skład większości stosowanych cementów.

2. Warunki powstawania thaumasytu

W literaturze często wyróżniane są dwa stadia korozji betonów cementowych wiążących się z występowaniem thaumasytu (3, 4). Stadium pierwsze, określane jako „powstawanie thaumasytu”, charakteryzuje się występowaniem thaumasytu w obrębie pustek i spękań w zaczynie cementowym pozostającym w kontakcie z roztworami bogatymi w siarczany, jednak bez widocznych oznak uszkodzenia mikrostruktury stwardniałego zaczynu cementowego. Stadium drugie, zwane „korozją thaumazytową”, cechuje się widocznymi uszkodzeniami stwardniałego zaczynu cementowego, a nawet całkowitym rozkładem produktów hydratacji i przekształceniem ich w niespójną masę.

Thaumasyt w stwardniałym zaczynie cementowym powstaje w wyniku bezpośredniej reakcji produktów hydratacji cementu, głównie uwodnionego krzemianu wapniowego C-S-H z jonami węglanowymi, siarczanowymi i wapniowymi. Możliwa jest także droga pośrednia polegająca na sukcesywnym przekształcaniu się w thaumasyt ettringitu w wyniku reakcji z poprzednio wymienionymi jonami i także krzemianowymi, pochodzącymi z fazy C-S-H, niehydratyzowanego alitu lub belitu. W tej reakcji produktem pośrednim może być roztwór stały ettringitu z thaumasytem, znanym jako woodfordyt i z tego względu ten mechanizm nosi nazwę „drogi woodfordytowej”. Proces powstawania thaumasytu przebiega bardzo powoli w temperaturze niższej od 15°C, przy pH wyższym niż 10,5 (1). Najszybciej proces powstawania thaumasytu przebiega w przedziale temperatur od 0 do 5°C (5, 6). Tworzenie się thaumasytu w betonach cementowych zachodzi zazwyczaj zarówno w wyniku reakcji bezpośredniej, jak też poprzez przekształcanie się ettringitu. O dominacji jednego lub drugiego mechanizmu powstawania thaumasytu decyduje w dużej mierze rodzaj cementu, a zatem skład fazowy i chemiczny zaczynu cementowego (3).



Rys. 1. Wzrost zawartości thaumasytu w badanych układach w zależności od stosunku CaO:SiO₂ w fazie C-S-H

Fig. 1. The increasing of thaumasite content in studied systems refer to CaO:SiO₂ ratio in C-S-H phase

as “formation of thaumasite” relates to the synthesis of this phase in voids and cracks in cement paste exposed to the attack of sulfate rich solutions. However there are no symptoms of deterioration in hardened matrix. The second one determined as “thaumasite corrosion” occurs when the destruction of concrete is found; it means that the decomposition of hydrated phases takes place and the amorphous product appears.

The thaumasite in hardened cement paste is synthesized directly from the cement hydration products that is the calcium silicate hydrates C-S-H, as well as carbonate, sulfate and calcium ions present in the liquid phase. There is also another, indirect way, by transformation of ettringite with the participation of ions mentioned above and silicate anions from C-S-H, alite and belite. The latter process leads to the formation of intermediate product, the solid solution between thaumasite and ettringite, so-called woodfordite. This mechanism is called a “woodfordite path”. The synthesis of thaumasite is very slow at temperature slightly lower than 15°C and at pH higher than 10,5 (1). The highest rate of thaumasite

3. Podatność cementów zawierających dodatki mineralne na korozję thaumasytową

Najwięcej uwagi w badaniach korozji thaumasytowej poświęcono cementom portlandzkim (7, 8). W przypadku innych rodzajów cementów liczba publikacji nie jest tak wielka. Przyjmuje się zgodnie, że cementy stosowane do wznoszenia konstrukcji narażonych na różnego rodzaju korozję siarczanową, w tym także korozję thaumasytową, powinny zawierać mało C_3A . Cementy odporne na korozję siarczanową (cementy specjalne HSR) nie mogą zawierać więcej niż 3% ilość C_3A . Normy przedmiotowe ograniczają również całkowitą zawartość Al_2O_3 w cemencie, która nie powinna przekraczać 5%. Przyjmuje się także, że cementy zawierające więcej niż 2/3 żużla wielkopieczowego lub popiołów lotnych są równie odporne na korozję siarczanową (9, 10). Przeprowadzone badania (2) szybkości tworzenia się thaumasytu w układach modelowych, zawierających uwodniony krzemian wapnia (C-S-H), o różnym stosunku molowym $CaO:SiO_2$ (tablica 1) potwierdziły wzrost zawartości thaumasytu w tych układach wraz ze wzrostem stosunku $CaO:SiO_2$ w fazie C-S-H (rysunek 1).

W ramach prowadzonych prac nad trwałością zaczynów cementowych poddanych działaniu roztworów korozyjnych w obniżonej temperaturze wykonano również badania laboratoryjne odporności korozyjnej szeregu zapraw cementowych przygotowanych w warunkach laboratoryjnych z cementów zawierających obok klinkieru portlandzkiego dodatki mineralne, a mianowicie krzemionkowe popioły z konwencjonalnej instalacji do spalania węgla, mielony granulowany żużel wielkopieczowy oraz popioły fluidalne, nie będące składnikiem głównym cementów zgodnie z wymaganiami zawartymi w normie PN-EN 197-1. Skład użytych w badaniach cementów podano w tablicy 2.

Badania odporności zapraw na siarczany, zostały wykonane na zaprawach normowych, sporządzonych zgodnie z normą PN-B-19707. Beleczki przechowywano w roztworze Na_2SO_4 o stężeniu $SO_4^{2-} = 16,0$ g/l. Badania obejmowały pomiary zmian wymiarów liniowych tych próbek przechowywanych w środowisku korozyjnym w stosunku do zmian liniowych próbek przechowywanych w wodzie co 28 dni (4 tygodnie) przez okres 52 tygodni, zgodnie z podaną wcześniej normą. Wyniki badań podlegają ocenie w stosunku do kryterium zawartego także w tej normie. Kryterium to dotyczy cementów specjalnych, które określa się mianem odpornych na korozję siarczanową (HSR). Badania te wykazały korzystny wpływ zastąpienia części cementu krzemionkowym popiołem lotnym krzemionkowy lub granulowanym żużlem wielkopieczowym. Potwierdzają to wyniki badań zarówno po 52 jak i po 108 tygodniach ekspozycji próbek zapraw w roztworze siarczany sodu, zarówno w temperaturze $20^\circ C$ jak i w $5^\circ C$. Względne zmiany wymiarów liniowych zapraw z cementów CEM II B-V, CEM II B-S i CEM III A (rysunek 2) nie przekroczyły połowy wartości dopuszczalnej dla cementów odpornych na siarczany HSR (5 mm/m = 0,5% zgodnie z wymaganiami zawartymi w PN-B 19707). Natomiast zastąpienie 20% klinkieru popiołem fluidalnym nie wykazuje już tak korzystnego wpływu na trwałość zapraw cementowych, w badanym środowisku. Poddana ocenie zaprawa nie spełnia kryterium trwałości doty-

formation is observed in the temperature range from 0 to $5^\circ C$ (5, 6). The formation of thaumasite in cement concretes occurs both by direct reaction and by transformation of ettringite. The domination of one or the other mechanism depends upon the type of cement and consequently the phase and chemical composition of cement paste (3).

3. Susceptibility of cements with mineral additives on thaumasite corrosion

The main efforts in the studies of thaumasite corrosion focused on Portland cements as starting materials (7, 8). In case of the other cements there are no many reports. It has been commonly accepted that the cements used in constructions exposed to the sulfate corrosion, including the thaumasite one, should have low C_3A content. The sulfate resistant (special HSR cements) cannot contain more than 3% C_3A . The Al_2O_3 content is also restricted in the standards; this could not exceed 5%. It is also accepted that the cements with 2/3 ground granulated blast furnace slag or pulverized fuel ash are resistant to the sulfates (9, 10). The studies (2) on the rate of thaumasite formation in model systems composed of calcium silicate hydrate (C-S-H) of different $CaO:SiO_2$ ratio (Table 1) proved the growth of thaumasite with increasing $CaO:SiO_2$ in C-S-H (Fig. 1).

In the studies on durability of cement pastes exposed to the attack of corrosive media at low temperature the laboratory experiments were carried out on the mortars produced using cements with mineral additives such as pulverized fuel ash, ground granulated blast furnace slag and fly ash from coal combustion in fluidized bed (the latter are not specified in the standard PN-En 197-1 as a component of cement). The composition of cements is given in Table 2.

The sulfate resistance of mortars was determined on the standard mortars produced according to PN-B-19707. The bars were stored in the Na_2SO_4 solution at SO_4^{2-} concentration = 16.0 g/l. The measurements of linear dimension changes of samples stored in corrosive solutions were carried out every 28 days (4 weeks)

Tablica 2 / Table 2

SKŁAD BADANYCH CEMENTÓW

CHARACTERISTIC OF CEMENTS

Rodzaj cementu	Klinkier K	Granulowany żużel wielkopieczowy S	Popiół lotny V	Popiół fluidalny	Gips
CEM I	95	-	-	-	5
CEM II B-V	65	-	30	-	5
CEM II B-S	65	30	-	-	5
CEM II B*	76	-	-	20	4
CEM III A	35	60	-	-	5

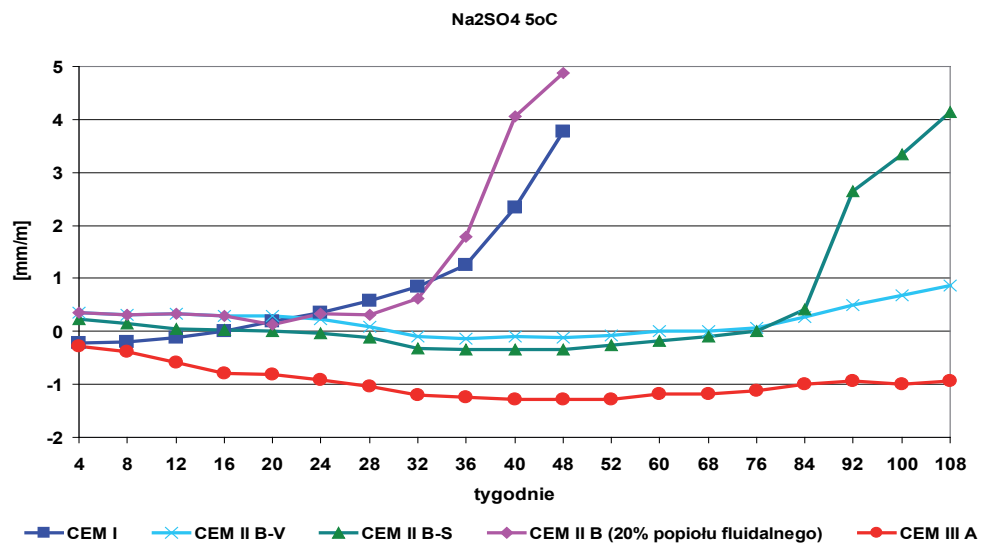
* cement CEM II B został sporządzony w warunkach laboratoryjnych poprzez zmieszanie popiołów fluidalnych z cementem portlandzkim CEM I

czącego cementów odpornych na działanie siarczanów (rysunek 2).

Obserwowane efekty korozji siarczanowej oraz siarczanowo-węglanowej w postaci zmian objętości zapraw na poziomie zbliżonym do cementów portlandzkich, mają związek z ograniczoną odpornością spoiw zawierających dodatek popiołów fluidalnych wynikający ze składu tych popiołów zawierających znaczne ilości wolnego CaO, CaCO₃ i CaSO₄. Jony siarczanowe reagując z jonami glinianowymi powodują powstawanie ettringitu, a także w pewnych warunkach, przy udziale innych faz mineralnych (CaCO₃ i CaSO₄) obecnych w matrycy cementowej do powstania thaumasytu. Zostało to potwierdzone badaniami rentgenograficznymi oraz mikroanalizami za pomocą EDS. Można przyjąć, że omawiane reakcje chemiczne są główną przyczyną korozji zapraw wykonanych z cementu z dodatkiem popiołów fluidalnych. Z tego względu stosowanie tych popiołów jako dodatku do cementu lub betonu powinny poprzedzić prace badawcze określające zawartość niekorzystnych składników.

Badania własne (11, 12) oraz analiza danych literaturowych pozwalają na stwierdzenie, że korozji thaumasytowej można zapobiegać, lub znacznie ją ograniczyć poprzez dodanie do betonu materiałów pucolanowych (popiołów lotnych) lub mielonego żużla wielkopiecowego. Te dodatki mineralne spowodują zwiększenie zawartości w zaczynie fazy C-S-H o stosunkowo niskim stosunku CaO:SiO₂, korzystnie zmieniających strukturę porów w betonie co ogranicza penetrację agresywnych roztworów. Te dodatki mineralne to przede wszystkim krzemionkowe popioły lotne oraz pyły krzemionkowe, które mogą być dodawane do betonu bądź jako składniki określonych rodzajów cementów, lub bezpośrednio, jako składniki mieszanki betonowej. Podobny efekt w postaci zmniejszenia stosunku mołowego CaO:SiO₂ w produktach hydratacji cementów zapewnia również mielony granulowany żużel wielkopiecowy.

Stosowanie popiołów fluidalnych wymaga ciągłej kontroli składu chemicznego i fazowego, wynikające z dużej zmienności zawartości wolnego CaO, CaCO₃ i CaSO₄. Składniki te determinują trwałość betonu w warunkach oddziaływania roztworów siarczanowych. Wydaje się jednak możliwe wprowadzanie jako dodatku do cementów mieszanin krzemionkowych popiołów lotnych z palenisk konwencjonalnych lub granulowanego żużla wielkopiecowego z kontrolowaną ilością popiołów fluidalnych przy zachowaniu bezpiecznej zawartości wolnego CaO i CaSO₄ w tej mieszance. Równocześnie dodatek krzemionkowych popiołów lotnych lub żużli wielkopiecowych przyniesie dodatkowe uszczelnienie matrycy cementowej do bezpiecznego poziomu. Zapewnienie właściwych proporcji popiołów jako dodatku do cementów i betonów może także ograniczyć ich podatność na korozję thaumasytową.



Rys. 2. Zmiany wymiarów liniowych zapraw cementowych przechowywanych w roztworze siarczanu sodu, w temperaturze 5°C

Fig. 2. The linear dimensions changes of cement mortars stored in sodium sulphate solution at 5°C

during the period of 52 weeks. The reference samples were stored in water. The criteria given in the standard mentioned above, relating to the HSR cements were used to characterize the samples. The positive effect of partial cement replacement by the siliceous pulverized fuel ash or the ground granulated blast furnace slag has been proved. The positive results have been obtained both for 52 and 108 weeks matured samples, stored in sodium sulfate solution, at temperature 20°C, as well as at 5°C. The relative changes of linear dimensions of mortar bars produced from cements CEM II B-V, CEM II B-S and CEM III A (Fig. 2) did not exceed a half of permissible value for HSR cements (5 mm/m = 0.5% according to the PN-B 19707). On the other side the 20% replacement of cement clinker by the fly ash from coal combustion in fluidized bed does not reveal so advantageous effect on the durability in the sulfate environment (Fig. 2). The symptoms of sulfate and sulfate – carbonate corrosion thus observed, being on the level of volume changes for Portland cements, can be related to the limited durability of binders with fly ash from coal combustion in fluidized bed. This is the consequence of phase composition, significant amount of free CaO, CaCO₃ and CaSO₄. The sulfate ions react with the aluminate ones to form ettringite and eventually, together with the participation of the other components (CaCO₃ and CaSO₄), the thaumasite can appear. This phase was detected by XRD and EDS. One can find that the chemical reactions mentioned above lead to the corrosion of mortars produced with the fly ash from coal combustion in fluidized bed. Therefore before the implementation of these materials the thorough studies, aimed in determination of harmful components, should be carried out.

Our previous studies (11, 12) and the analysis of literature data lead to the conclusion that the thaumasite corrosion can be prevented or seriously limited by addition of pozzolanic materials (pulverized fuel ash) or ground granulated blast furnace slag to cement. These additives imply the formation of higher amount of C-S-H

4. Podsumowanie

Tworzeniu się thaumasytu w betonach sprzyjają te same czynniki, które są odpowiedzialne za korozję siarczanową. Powstawaniu thaumasytu można jednak zapobiegać, lub znacznie go ograniczać poprzez zmniejszenie do niezbędnego minimum stosunku w/c w mieszankach betonowych. Uzyskanie małej porowatości ogranicza możliwości przemieszczania się cieczy w betonie i zwiększa ich odporność na mróz, zmniejszając w ten sposób prawdopodobieństwo tworzenia się rys i spękań. Również dodawanie do cementu i betonu odpowiednich ilości materiałów pucołanowych lub zmielonego żużla wielkopieczowego, przy zachowaniu stałej kontroli właściwości fizyko-chemicznych tych materiałów, spowoduje powstawanie dodatkowych ilości fazy C-S-H o niskim stosunku CaO:SiO₂ zmieniających korzystnie mikrostrukturę betonów. Duże znaczenie ma również stosowanie do wytwarzania betonów narażonych na korozję thaumasytową cementów zawierających mniej alitu i glinianu trójwapniowego. Należy jednak pamiętać, że uwzględnienie warunków środowiska przy projektowaniu betonu nie jest czynnikiem wystarczającym dla właściwej ochrony konstrukcji betonowej, gdyż osłabienie jej właściwości może być także związane z niewłaściwą pielęgnacją betonu.

Praca została sfinansowana z funduszy przeznaczonych na realizację projektu rozwojowego R04 016 03.

Literatura / References

1. J. Skalny, J. M. Marchand, I. Odler, Sulfate attack on concrete. Spon Press. London and New York 2002.
2. J. Małolepszy, R. Mróz, Warunki powstawania thaumasytu. Cement-Wapno-Beton, 2, 93-101 (2006).
3. Thaumasite Expert Group: The thaumasite from of sulfate attack: Risks, diagnosis, remedial works and guidance on new construction. Raport of the Thaumasite Expert Group. DETR, Londyn 1999.
4. Thaumasite Expert Group: Thaumasite from of sulfate attack. Concrete. No. 2, 37-40 (1999).
5. J. Bensted, Korozja siarczanowa betonu z utworzeniem thaumasytu – stan wiedzy. Mat. Konf. Dni betonu. Tradycja i nowoczesność, 479-496, Wisła 9-11 października 2006.
6. J. H. P. Van Aardt, S. Visser, Thaumasite formation: A cause of deterioration of Portland cement and related substances in the presence of sulphates. Cement and Concrete. Research. 5, 225-232 (1975).
7. J. H. P. Van Aardt, The influence of temperature on sulfate attack on Portland cement mortars. 5th ICCR 3, s. 250, Tokyo 1968.
8. T. Schmidt, B. Lothenbach, K. L. Scrivener, M. Romer, D. Rentsch, R. Figi, Conditions for thaumasite formation. CD. M4-03.2. 12th ICCR, 8-13 July 2007, Montreal, Canada.
9. S. U. Al-Dulajjan, M. Maslehuddin, M. M. Al-Zahrani, A. M. Sharif, M. Shameem, M. Ibrahim, "Sulfate resistance of plain and blended cements exposed to varying concentrations of sodium sulfate", CCC 25, 429-437 (2003).
10. O. S. Baghabra Al.-Amoudi, „Attack on plain and blended cements exposed to aggressive sulfate environments”, CCC 24, 305-316 (2002).
11. R. Mróz, Warunki tworzenia thaumasytu (CaSiO₃×CaCO₃×CaSiO₄×15H₂O) w stwardniałym zaczynie cementowym. Praca doktorska. AGH. Kraków.
12. M. Gawlicki, R. Mróz, Uszkodzenia konstrukcji betonowych jako rezultat tworzenia thaumasytu, 429-436, Awary budowlane: XXIV konferencja naukowo-techniczna : Szczecin-Międzyzdroje, 26-29 maja 2009.

with relatively low CaO:SiO₂ ratio. The structure of pores related to this C-S-H is beneficially modified; in such a way the penetration of aggressive solution inside the material is hampered. Among the additives the siliceous fly ash and silica fume should be mentioned. They can be introduced to concrete as components of cements or directly as components of concrete mixture. The similar effect of reduced CaO:SiO₂ ratio in the hydration products is achieved by the addition of the ground granulated blast furnace slag.

The fly ash from coal combustion in fluidized bed, when used as an additive, should be controlled as the chemical and phase composition is concerned. This is because of the variable content of CaO, CaCO₃ and CaSO₄. These components affect the durability characteristics in terms of sulfate corrosion. However, it seems possible to use them in the mixture with the siliceous fly ash or ground granulated blast furnace slag, at monitored content of CaO and CaSO₄. Simultaneous addition of siliceous fly ash or ground granulated blast furnace slag will seal the cement matrix as it is required. The appropriate, fairly good proportions between the additives will reduce the susceptibility to the thaumasite corrosion.

4. Summary

The formation of thaumasite in concretes is favored by the same factors as the ones responsible for sulfate corrosion. One can prevent this process or seriously limit it reducing the w/c ratio in concrete mixture. The low porosity diminishes the penetration of liquid and augments freeze – thaw resistance; therefore the formation of cracks and fissures is lowered. The addition of pozzolanic materials to cement and concrete and ground granulated blast furnace slag, at permanent control of their physical and chemical properties, results in the formation of additional C-S-H with low CaO:SiO₂ ratio, modifying beneficially the microstructure. The use of cement with lowered alite and calcium aluminate is also of importance. One should remember that taking into account the environmental conditions at concrete design is not sufficient to achieve the protection of the construction. The weakening can be also bound with the improper treatment of final concrete product.