

LIGHTWEIGHT MORTARS WITH EXPANDED PERLITE MODIFIED BY ADMIXTURES

LEKKIE ZAPRAWY CEMENTOWE Z DODATKIEM PERLITU EKSPANDOWANEGO, MODYFIKOWANE DOMIESZKAMI

Abstract

The lightweight insulating cement mortars with expanded perlite reveal high porosity bound with the presence of this filler. However, their properties are lowered due to the absorption of water. The studies were performed with aim to improve the composition of cement – perlite mortars and their parameters, such as, density and the percentage of absorbed water by use of admixtures. The three series of mortars of similar consistency were produced with cement to perlite volume ratio of 1/3, 1/5 and 1/7 respectively. The water repellent and air entraining agents were used. The density and water absorption were measured and the observations of microstructure were carried out under SEM. The transport of water in the mortars was significantly slower and limited by use of admixtures. The proportions giving the lowered density at fairly low absorbability complying with the standard requirements have been pointed out. The advantageous effect of water repellent and air entraining agent has been proved.

Keywords: cement, perlite, absorbability, microstructure, admixtures, calorimetry, capillary action

Streszczenie

Lekkie zaprawy ciepłochronne sporządzone z udziałem perlitu ekspandowanego charakteryzują się podwyższoną porowatością, co skutkuje pogorszeniem niektórych właściwości użytkowych w obecności wilgoci. Praca stanowi podsumowanie badań mających na celu poprawę właściwości termoizolacyjnych tworzyw perlitowych poprzez wprowadzenie domieszek o działaniu hydrofobizującym i modyfikującym mikrostrukturę materiału. Sporządzono kilka serii zapraw cementowo-perlitowych o różnej zawartości perlitu. Przeprowadzono pomiary podciągania kapilarnego i standardową ocenę nasiąkliwości. Dokonano obserwacji pod elektronowym mikroskopem skaningowym, podczas których potwierdzono zwartą mikrostrukturę warstwy na granicy rozdziału: wypełniacz perlitowy – matryca cementowa. Ustalono proporcje cement/perlit/domieszka, zapewniające istotne zmniejszenie nasiąkliwości. Wskazano też na korzyści wynikające z zastosowania domieszki hydrofobizującej i napowietrzającej.

Słowa kluczowe: cement, perlit, podciąganie kapilarne, nasiąkliwość, mikrostruktura, domieszka hydrofobizująca

1. Introduction

Natural perlite is an amorphous volcanic rocks occurring in the Mediterranean Sea area. Crude perlite is ground and subjected to the short thermal treatment at temperature 900÷1000°C. This results in expansion of material due to the presence of some water evaporating with the formation of numerous small bubbles – pores in the structure (perlite expands up to 35 times of original volume).

1. Wprowadzenie

Perlit jest szklistym materiałem pochodzenia wulkanicznego występującym w stanie naturalnym w rejonie Morza Śródziemnego. Po wydobyciu ze złoża perlit jest mielony, a następnie poddawany krótkotrwałej obróbce cieplnej w temperaturze około 900÷1000°C. Pod działaniem wysokiej temperatury woda zamknięta w ziarnach perlitu odparowuje, wytwarzając ciśnienie powodujące rozkruszenie ziaren do wymiarów

The pores are surrounded by an amorphous, sintered mass rich in alumina and alkalis. As a consequence, perlite shows extremely low density and very good insulating properties and therefore it can be used as lightweight aggregate in the lightweight mortar/concrete. The density, microstructure, mechanical properties, durability and generally the advantages and inconveniences related to perlite application have been reported in some works [1, 2, 6-8, 14]. A synopsis about perlite as building material has been presented quite recently by Rashaad [12]. Perlite reveals good pozzolanic activity [8]; this means that it can contribute to the formation of hydration products. In cement composites with perlite the alkali silica reaction is mitigated, the compressive strength can be higher or lower – it depends upon the presence of other components [13]. It is possible to modify the perlite component with aim to produce materials of special multifunctional character [11]. Generally, the properties of perlite composites can be shaped by the proportions between the main constituents and by use of modifiers.

Perlite materials, because of the high porosity of the filler, take up significant amount of water penetrating the open pore structure thus worsening their insulating and mechanical characteristics, as well as the durability. In our earlier works [3, 5, 10] the pozzolanic effect of perlite and the intensive heat evolution in the systems hydrated with perlite was proved. The decrease of compressive strength and increase of flexural strength in case of insulating mortars with high perlite amount was found [9]. In the presented work the permeability/absorption of water in the presence of water repellent and air entraining/superplasticizing admixtures is discussed.

2. Experimental

2.1. Materials

Perlite expanded commercially available was used. The chemical composition and some properties of material are given in table 1.

rzędu od kilkudziesięciu do kilkuset mikrometrów. Jednocześnie zachodzi spiekanie szkliwa wulkanicznego i tworzą się szkliste banieczki o nieregularnych kształtach, puste w środku. Dzięki banieczkom objętość wyjściowego materiału może wzrosnąć nawet do 35 razy. Ten proces spęczniania określan jest jako ekspansja, a utworzony w ten sposób materiał jest perlitem ekspandowanym. Amorficzna substancja otaczająca pory jest bogata w glin i alkalia. Perlit wykazuje bardzo mały ciężar nasypowy, a zastosowany jako kruszywo lekkie (wypełniacz) w zaprawach, tynkach, wylewkach i betonach nadaje tym materiałom bardzo dobre właściwości izolacyjne.

Gęstość, mikrostruktura, właściwości mechaniczne, trwałość, jak również korzyści i zagrożenia wynikające z zastosowania perlitu zostały przedstawione w nielicznych raportach [1, 2, 6-8, 14]. Przeglądową pracę na temat perlitu, jako materiału budowlanego, opublikował niedawno Rashaad [12]. Perlit wykazuje bardzo dobre właściwości pucolanowe [8], oznacza to, że uczestniczy w tworzeniu produktów hydratacji. W kompozytach cementowo-perlitowych nie stwierdza się pęcznienia alkalicznego. Wytrzymałość jest bardzo różna i można ją kształtować w zależności od przeznaczenia materiałów poprzez odpowiedni dobór proporcji poszczególnych składników [13]. Jest też możliwa modyfikacja perlitu w celu wytworzenia specyficznych kompozytów wielofunkcyjnych [11]. Materiały zawierające perlit pochłaniają, z uwagi na wysoką porowatość tego składnika, znaczne ilości wody penetrującej otwartą strukturę porów, co wpływa bardzo destrukcyjnie na właściwości termoizolacyjne, jak również na wytrzymałość i trwałość. W naszych wcześniejszych pracach [3, 5, 10] pokazany został istotny wpływ perlitu na wydzielanie ciepła w procesie wiązania, wynikający z reakcji pucolanowej. Stwierdzono również spadek wytrzymałości na ścislenie i wzrost wytrzymałości na zginanie w przypadku zapraw modyfikowanych znaczną ilością perlitu [9]. Prezentowana praca dotyczy transportu i absorpcji wody w zaprawach cementowo-perlitowych z domieszką hydrofobizującą i napowietrzająco-superplastyfikującą.

2. Część doświadczalna

2.1. Materiały

Perlit ekspandowany zastosowany w badaniach jest produktem krajowym otrzymanym przez przetworzenie surowca z importu. Skład chemiczny oraz wybrane właściwości materiału przedstawiono w tabeli 1.

Table 1. The properties of perlite material

Tabela 1. Właściwości perlitu

Bulk density [kg/m ³]	66.8
Moisture content [%]	0.5
Chemical composition:	
L.o.i.	0.6%
SiO ₂	76.2%
Al ₂ O ₃	12.5%
Fe ₂ O ₃	1.3%
MgO	2-6%
CaO	0.5%
TiO ₂	0.4%
MgO	0.7%
K ₂ O	4.5%
Na ₂ O	3.1%

The lightweight perlite mortars were produced using standard CEM I 42.5R type cement, starting from the dry mixtures in which the cement to perlite volume ratios were 1/3, 1/5 and 1/7, respectively. The bulk density of perlite was 66.8 g/dm³, while that of cement 998 g/dm³. The water was added to meet the standard consistency according to the EN 1015-3:2002 standard: "Methods of test for mortar for masonry" (a multi part standard), it means to produce the mortar cake of diameter in the range 12-13 cm. In such a way the mortars differed significantly with process water content (see Table 2), but revealed a similar workability.

The structure and properties of mortars were improved by use of two type admixtures: the water repellent (silicon – organic compound with some modifiers), protecting both surface and bulk of mortar against water penetration and the strongly surface-active air-entraining admixture acting additionally as a plasticizer (based on the sodium lauryl sulfate); the latter one was added only to the mortar with the highest perlite content (1/7 by volume). The basic composition of mortars is presented in Table 2 and their unit weights, with or without admixtures, as measured after mortar preparation, are given in Table 3. The unit weight of mortar with air entraining admixture was markedly reduced - therefore this material plays a role of the "lightweight thermal insulation".

The percentages of admixtures matched well with the producer's recommendation (note: low percentages of air entraining agents). The high water to cement ratios resulting from the high absorbability of perlite (water contents contribute to the stable, standard consistency) were kept constant in the presence of admixtures in absorbability experiments. As one see in Table 3, both

Zaprawy perlitowe sporządzono z udziałem standardowego cementu CEM I 42,5R w oparciu o mieszanki spoiwowe, w których relacje objętościowe pomiędzy cementem i perlitem wynosiły odpowiednio 1/3, 1/5 i 1/7 (gęstość nasypowa perlitu wynosiła 66,8 g/dm³, natomiast cementu – około 998 g/dm³). Wodę wprowadzano w takiej ilości, aby świeże zaprawy uzyskały konsystencję standardową według normy EN 1015-3:2002 „Metody badań zapraw do murów”, to znaczy, aby średnica rozplywu mieściła się w granicach 12-13 cm. Skład zapraw podany jest w tabeli 2, a masa 1 m³ zapraw w tabeli 3. A zatem zaprawy różniły się zawartością wody (tab. 2), ale wykazywały bardzo podobną urabialność. W taki sam sposób postępowano w przypadku zapraw z domieszkami.

Strukturę i właściwości zapraw modyfikowano za pomocą dwóch rodzajów domieszek: hydrofobizującej (związek krzemooorganiczny z dodatkami), zabezpieczającej zarówno powierzchnię, jak i wewnątrz materiału, oraz napowietrzającej na bazie siarczynu laurynowo-sodowego. Domieszkę napowietrzającą wprowadzano jedynie do zaprawy o największym udziale perlitu (zaprawa 1/7) i zmniejszyła ona znacznie gęstość materiału (tab. 3).

Dozowanie domieszek było zgodne z zaleceniami producentów (zauważ: bardzo mały udział procentowy domieszki napowietrzającej). Udział wody (w/c) wynikający z właściwości sorpcyjnych perlitu, gwarantujący stabilną konsystencję i urabialność w stadium początkowym, zachowywano na stałym poziomie przy wprowadzaniu do zapraw domieszek. Można zauważyć, że domieszki zmniejszyły masę

Table 2. Composition of mortars – amounts of component used to produce 1 m³ of mortar
Tabela 2. Skład zapraw cementowo-perlitowych

Cement/perlite volume ratio	1/3	1/5	1/7
Water [kg/m ³]	447	508	518
Cement [kg/m ³]	447	318	216
w/c	1.0	1.6	2.4
Perlite [kg/m ³]	79	79	69

Table 3. Unit weight of cement – perlite mortars

Tabela 3. Gęstość objętościowa zapraw cementowo-perlitowych

Unit weight [kg/m ³]				
Cement/perlite volume and water/cement ratio		1/3 w/c = 1.0	1/5 w/c = 1.6	1/7 w/c = 2.4
Perlite content [% by mass]		17%	25%	32%
No admixture	0	972	904	801
Water repellent % by mass of cement	0.3	895	723	629
	0.6	887	715	608
Air entraining agent % by mass of cement	0.01	x	x	689
	0.03	x	x	675
	0.05	x	x	534
x – not prepared				

water repellent and air entraining agent bring about significant decrease of mortar unit weight.

The perlite mortars were classified as CS I materials, according to the EN 998-1:2003 standard, because their compressive strength were in the range from 0.4 MPa to 2.5 MPa [9]. Fortunately, in most applications these materials need not meet the severe requirements as the strength parameters are concerned. Generally, the strength of mortars is controlled by perlite ratio and decreases with perlite content (and increasing amount of water).

2.2. Methods

The standard mortar bars 4 x 4 x 16 cm were produced and cured according to the EN 1015:2003 standard: “Methods of test for mortar for masonry”. First of all the mortars were produced and cast in the molds for 48 h. The fresh mortars were not vibrated, as it is recommended in the standard, because of potential segregation of lightweight aggregate and paste. Subsequently, the bars were cured at standard conditions (at 95% RH and then at 65%, temperature 21°C). After 28 days from the mortar preparation they were dried to the constant mass. For standard

1 m³ zaprawy (tab. 3). Badane zaprawy zaklasyfikowano do materiałów typu CS I według normy EN 998-1:2003, ponieważ ich wytrzymałości na ściskanie kształtowały się na poziomie od 0,4 MPa do 2,5 MPa [9]. W przypadku materiałów termoizolacyjnych dla większości zastosowań nie są potrzebne tworzywa o wysokich parametrach wytrzymałościowych. Wytrzymałość zapraw jest pochodną udziału perlitu i maleje z zawartością tego składnika oraz ze zwiększającym się wskaźnikiem w/c.

2.2. Metody badań

Próbki do badań transportu wody w zaprawach uformowano w postaci standardowych belek prostokątnych o wymiarach 4 x 4 x 16 cm, według normy EN 1015-3:2003 „Metody badań zapraw do murów”. Zaprawy po wprowadzeniu do form nie były zagęszczane (wytrząsane) na stoliku wibracyjnym z uwagi na obecność lekkiego kruszywa perlitowego, które w trakcie wibrowania ulegałoby segregacji. Badania podciągania kapilarnego przeprowadzono zgodnie z normą EN 1015-18:2003. Belki zaprawy, wyjęte po 48 godzinach z form, przechowywano w laborato-

absorption coefficient determination the side walls were coated with an impermeable layer and the bottom parts of bars were immersed in water in a way described in relevant standard). The specimens were subjected to the continuous non-standard measurements of capillary action, determined as a height of water penetration level vs. time. These experiments were carried out during the 56-day period. The standard absorption coefficient was determined according to the formula given in EN 1015-18:2003 standard, based on the values of mass increment obtained after 10 and 90 min. of exposure to water.

The microstructure of fractured mortar samples (covered with gold) was observed under the scanning electron microscope (SEM) with microanalysis by energy dispersive X-ray spectrometer (EDX) (FEI Nano-Nova 200 with Link ISIS microanalytical equipment).

3. Results and discussion

3.1. Absorbability measurements

The transport of water in the hardened cement – perlite mortars was investigated at temperature 20°C, based on the specimens prepared according to the EN 1015-18:2003 standard. The effects are given as the water penetration height vs. time plots in Figures 1, 2. The results of water absorption coefficient standard calculations are listed in Table 4. According to EN 1015-18 the water absorption coefficient is “a gradient of the straight line obtained by plotting the cumulative mass of water absorbed per unit area against the square root of time” (the comparison of capillary water absorption coefficients has been reported quite recently [4]).

Table 4. Absorption coefficient according to EN-1015-18

Tabela 4. Współczynnik absorpcji według EN-1015-18

Cement/perlite volume ratio		Standard absorption coefficient [kg/m ² × min ^{0.5}]		
		1/3	1/5	1/7
No admixture	0	0.03	0.58	1.05
Water repellent % by mass of cement	0.3	0.02	0.48	0.81
	0.6	0.02	0.42	0.77
Air entraining agent % by mass of cement	0.01	x	x	0.94
	0.03	x	x	1.02
	0.05	x	x	0.83
x – not prepared (see Table 3)				

rium w warunkach podanych w normie, początkowo przy wilgotności względnej 95%, następnie przy wilgotności względnej 65%, w temperaturze 21°C (tzw. warunki powietrzno-suche). W warunkach wilgotnych belki dojrzewały 28 dni, po czym suszone były do stałej masy i umieszczane pionowo w kuwetach w wodzie; boczne ścianki pokrywano warstwą silikonu, tak że wnikanie wody było możliwe jedynie od spodu. Podciąganie kapilarne określano, mierząc wysokość wznoszenia zabarwionej wody. Pomiary (niestandardowe) trwały 56 dni. Standardowe współczynniki absorpcji obliczano według wzoru podanego w normie EN 1015-18:2003 na podstawie różnicy masy próbek po 10 i 90 minutach ekspozycji na działanie wody.

Okruchy próbek (pokryte warstwą złota) po badaniu podciągania kapilarnego (a więc po trzech miesiącach dojrzewania) poddano obserwacjom w elektronowym mikroskopie skaningowym z analizatorem dyspersji energii promieniowania X (EDX) (mikroskop FEI Nano-Nova 200 z mikroanalizatorem Link ISIS).

3. Wyniki i dyskusja

3.1. Pomiary podciągania kapilarnego i współczynnika absorpcji

Transport wody w stwardniałych zaprawach cementowo-perlitowych badano w temperaturze 20°C, na próbkach przygotowanych według normy EN-1015-18:2003. Wyniki w postaci wykresów podciągania kapilarnego w funkcji czasu pokazano na rysunkach 1 i 2, a obliczone współczynniki absorpcji zamieszczono w tabeli 4. Absorpcja wody jest oceniana na podstawie przyrostu masy w związku z podciąganiem kapilarnym; porównanie współczynników absorpcji wielu materiałów budowlanych można znaleźć w niedawno opublikowanym raporcie [4].

As one can see in Table 4, only the mortars with the lowest perlite content comply with the standard requirements for the absorbability category W1; the other ones can be categorized as W0 materials. Therefore, as one could expect, the perlite ratio is a key parameter controlling the water transfer throughout the structure of the lightweight mortar and the potential use of mortars.

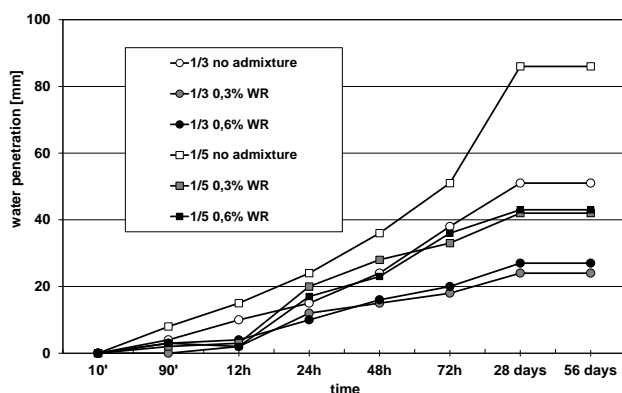


Fig. 1. Water penetration height vs. time, as a result of capillary action, in the mortars produced at cement to perlite volume ratio 1/3 and 1/5 respectively, with no admixture and with water repellent (WR)

Rys. 1. Podciąganie kapilarne wody w zaprawach o stosunku objętościowym cement/perlit 1/3, 1/5 z domieszką hydrofobizującą (WR)

Obviously, the values of parameters characterizing the water penetration height increase with time and perlite ratio. Generally, water penetration height (Figs. 1 and 2) grows steadily up to 28-day maturing, when the saturation of structure with water is observed; the results for 56 days cured samples are only slightly higher. Analyzing these data one can find the significant effect of water repellent as the water absorption controlling agent (particularly at dosage 0.6% by mass of cement), reducing first of all the capillary rise to about half of the reference value after 28 days in case of mortars with cement to perlite volume ratio of 1/3 and 1/5 respectively (Fig. 1). This can be attributed to the hydrophobic admixture, limiting the permeability of capillary pore system in hydrated cement paste part of the composites.

In case of 1/7 mortar the absorption of water is extremely intensive, due to the excess of perlite, contributing to the transport of water throughout the perlite pores (see SEM data). The effect of water repellent on the reduction of capillary action and water absorption is less pronounced – the high

Jak można zauważyć (tab. 4), zaprawy o najmniejszej zawartości perlitu (1/3) mogą zostać zakwalifikowane, z uwagi na wartości współczynników absorpcji, do kategorii W1. Zaprawy o większym udziale perlitu spełniają wymagania normy dla kategorii W0. Tak więc, jak można było przypuszczać, zawartość perlitu jest parametrem decydującym o nasiąkliwości zapraw cementowo-perlitowych i ich potencjalnej użyteczności.

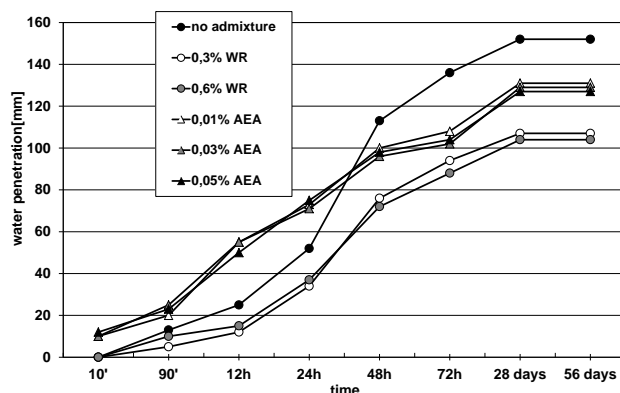


Fig. 2. Water penetration height vs. time, as a result of capillary action, in the mortars produced at cement to perlite volume ratio 1/7, with no admixture and with water repellent (WR) or air entraining agent (AEA)

Rys. 2. Podciąganie kapilarne wody w zaprawach o stosunku objętościowym cement/perlit 1/7 z domieszką hydrofobizującą (WR) lub napowietrzającą (AEA)

Podciąganie kapilarne charakteryzujące transport wody w materiale wzrasta z czasem ekspozycji i zawartością perlitu. Systematyczny wzrost podciągania kapilarnego (rys. 1, 2) obserwowany jest do 28 dnia badania; wyniki po 56 dniach są nieznacznie wyższe. Analizując przedstawione dane, można stwierdzić, że istotną rolę czynnika ograniczającego nasiąkliwość odgrywa domieszka hydrofobizująca (szczególnie wtedy, gdy wprowadzana jest w ilości 0,6% masy cementu), zmniejszająca, w przypadku zapraw o stosunku objętościowym cement/perlit wynoszącym 1/3 i 1/5, podciąganie kapilarne do około połowy wartości stwierdzonej po 28 dniach eksperymentu dla próbek kontrolnych bez domieszki (rys. 1). Efekt ten przypisać należy hydrofobizującemu działaniu domieszki, hamującemu przemieszczanie się wody w porach kapilarnych stwardniałego zaczynu cementowego w kompozycie.

W przypadku zaprawy o stosunku objętościowym cement/perlit wynoszącym 1/7 pochłanianie wody jest szczególnie intensywne, z uwagi na nadmiar perlitu biorącego udział w transportowaniu wody poprzez swój system porów (por. obrazy mikrostruktury). Wpływ

perlite ratio is the main water transport controlling factor; the role of cement matrix is reduced. In cement – perlite 1/7 mortars with air entraining agent (dosage about order of magnitude lower) the intensive absorption and capillary rise, higher than for reference, is observed during the first 1-2 days (Fig. 2). In the presence of air entraining agent (dosage about order of magnitude lower) the intensive absorption and capillary action, higher than for reference, is observed in 1/7 mortar during the early stage of maturing (first 1-2 days). At later age the reduction of water transport in the mortars takes place. One can speculate that the pore structure becomes less opened, since the fragmentation of capillary pores due to the air bubbles occurs (the same phenomenon as improving the freeze – thaw resistance).

As one can see, the amount of water absorbed in perlite mortars with lower perlite content, noted as 1/3 and 1/5 (17% and 25% by weight of cement respectively) is significantly lower than the uptake of water in 1/7 mortar. However, the volumes of perlite in the initial dry mixtures constitute 75%, 83% and 88% of mixed dry components respectively. After 24 hours and later the transport of water occurs much less intensively at 75% and 83% perlite percentage by volume than at 88% by volume. Therefore, the authors are of the opinion that between the 1/5 and 1/7 volume proportion the “percolation treshold” is attained and the role of cement paste sub-structure as the sorptivity controlling factor becomes seriously weakened. Furthermore, it seems reasonable not to exceed the volume cement to perlite proportion 1/5 in case of potential water attack. However, the proportion 1/7 could be taken into account in dry air conditions. The use of admixtures is recommended in every case.

3.2. Observations of microstructure

The observations of microstructure were carried out in order to characterize the perlite – cement paste interface. The fractured samples after the absorbability measurements (that is after 3 months maturing) were examined under SEM (Photo 1, 2). The micrographs of perlite mortars taken at low magnification reveal their high porosity resulting from the presence of characteristic, porous perlite filler (Photo 1a, 2a); it is clearly seen, particularly in Photo 2a (cement to perlite = 1/7). Simultaneously the homogeneous distribution

środka hydrofobizującego w kierunku zmniejszenia podciągania kapilarnego i nasiąkliwości zaznacza się słabiej – o transporcie wody decyduje wysoka zawartość porowatego perlitu; rola matrycy cementowej jest mniejsza. Gdy zastosowany jest środek napowietrzający (wprowadzony w niewielkiej ilości – o rząd wielkości mniejszej niż domieszka hydrofobizująca), początkowo (1-2 dni) obserwuje się intensywny wzrost ilości podciągania kapilarnego (rys. 2), ale później transport wody ulega zahamowaniu. Efekt ten można wyjaśnić ograniczeniem ciągłości struktury porów kapilarnych przez banieczki powietrza wprowadzone wskutek działania domieszki (podobne zjawisko przyczynia się do zwiększenia mrozoodporności materiału).

Jak można stwierdzić, analizując wyniki podciągania kapilarnego i nasiąkliwości przy podciąganiu kapilarnym, ilości wody zaabsorbowanej w zaprawie cementowo-perlitowej o mniejszej zawartości perlitu, to znaczy o stosunku objętościowym cement/perlit wynoszącym odpowiednio 1/3 i 1/5 (o udziale masowym odpowiadającym 17% i 25%), są znacznie mniejsze niż w przypadku zaprawy o stosunku 1/7. Udziały objętościowe perlitu w suchych mieszankach przed sporządzeniem zapraw wynoszą odpowiednio 75%, 83% i 88% (dla zestawów oznaczonych 1/3, 1/5 i 1/7). O wiele mniej dynamiczny transport wody ma więc miejsce przy udziale objętościowym 75% i 83% niż przy 88% perlitu. To spostrzeżenie skłania do postawienia hipotezy, że pomiędzy stosunkiem objętościowym cement/perlit, wynoszącym 1/5 i 1/7, mieści się „próg perkolacji”, co oznacza, że ziarna perlitu tworzą ciągłą podstrukturę, a rola zaczynu cementowego, jako czynnika ograniczającego migrację wody, zostaje poważnie osłabiona. Tak więc wydaje się wskazane ograniczenie proporcji pomiędzy cementem i perlitem do 1/5, jeżeli możliwy jest atak wody; zaprawa o stosunku objętościowym cement/perlit wynoszącym 1/7, może być stosowana w warunkach powietrzno-suchych. W każdym przypadku zaleca się stosowanie domieszek.

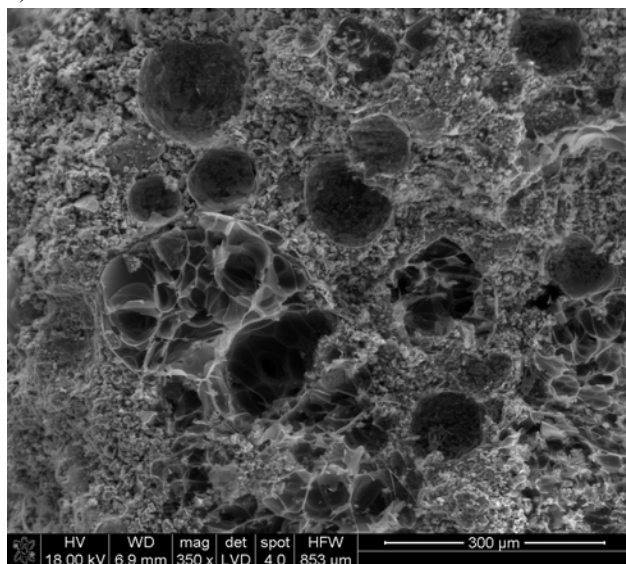
3.2. Obserwacje mikrostruktury

Obserwacje mikrostruktury prowadzono głównie w celu scharakteryzowania strefy kontaktowej perlit – zaczyn cementowy. Przelamy próbek po pomiarach podciągania kapilarnego (to znaczy po trzech miesiącach od przygotowania próbek) poddano badaniom w mikroskopie elektronowym z mikroanalizatorem (fot. 1, 2). Zdjęcia zapraw perlitowych wykonane przy małym powiększeniu ujawniają obecność charakterystycznych, porowatych ziaren perlitu (fot. 1a). Szczególnie dobrze oddaje porowatą mikrostrukturę

of perlite is observed. The perlite grains are embedded in cement matrix, composed of C-S-H, portlandite, ettringite and surrounded by dense crust of hydration products, adjacent to perlite pieces (Photo 1b, 2b). The relatively dense product on the external surface of perlite is formed, due to the pozzolanic reaction [8]. The shortage of weak transition zone has been reported previously [10, 14]. At higher magnification there are the sponge – like structures of calcium silicate hydrate visible in cement matrix (Photo 1b). The ettringite needles are abundant particularly at the highest perlite dosage, when the additional aluminate ions, as well as alkali cations enhancing the ettringite formation, enter the hydration process.

fotografia 2a (zaprawa 1/7), która ponadto świadczy o homogenicznym rozprowadzeniu wypełniacza. Ziarna perlitu zanurzone są w matrycy zaczynu cementowego, złożonego z uwodnionych przemianów wapniowych typu C-S-H, portlandytu i ettringitu. Upakowana otoczka głównie produktu C-S-H, przylegająca ściśle do powierzchni okruchów perlitu (fot. 1b i 2b), powstała w wyniku reakcji pucolanowej [8]. Już wcześniej sygnalizowano w literaturze brak w tego rodzaju materiałach strefy przejściowej o luźnej strukturze [10, 14]. Duże powiększenie umożliwia dostrzeżenie gąbczastej struktury C-S-H (fot. 1b). Kryształy ettringitu o włóknistym pokroju występują w znacznej ilości w zaczynie przy największej zawartości perlitu, gdy w procesie hydratacji uczestniczą jony glinu i alkaliów pochodzące z materiału wypełniacza.

a)



b)

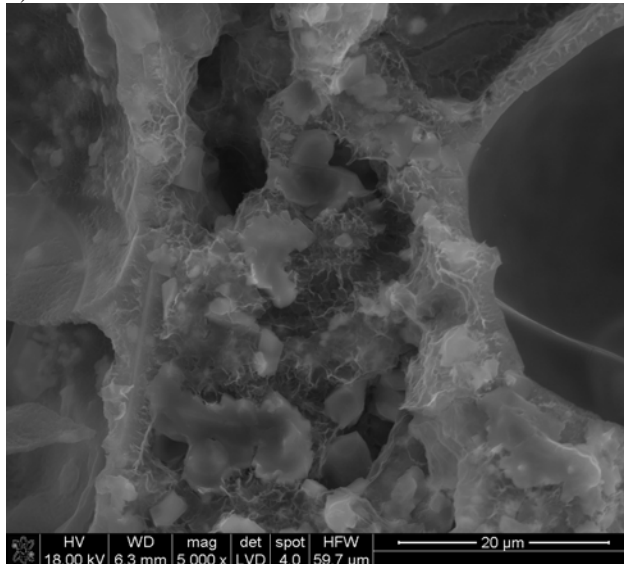


Photo 1. (a) Microstructure of cement – perlite mortar 1/3 with 0.3% WR admixture. The porous perlite grains and the air pores are surrounded by the products of cement hydration. (b) Microstructure of cement – perlite mortar 1/7 with 0.01% AEA admixture. See the hydration products in cement matrix close to perlite grain – mainly sponge – like calcium silicate hydrate (C-S-H) rich in Al, as it has been found by microanalytical method (EDX)

Fot. 1. (a) Mikrostruktura zaprawy perlitowo-cementowej o stosunku objętościowym cement/perlit 1/3 z domieszką hydrofobizującą (0,3%); trzy miesiące dojrzewania. Porowate ziarna perlitu i pory powietrzne w otoczeniu produktów hydratacji. (b) Mikrostruktura zaprawy perlitowo-cementowej o stosunku objętościowym cement/perlit 1/7 z domieszką napowietrzającą (0,01%); trzy miesiące dojrzewania. Widoczne produkty hydratacji cementu na granicy ziarna perlitu, głównie faza C-S-H o gąbczastej budowie, bogata w Al (potwierdzone metodą EDX)

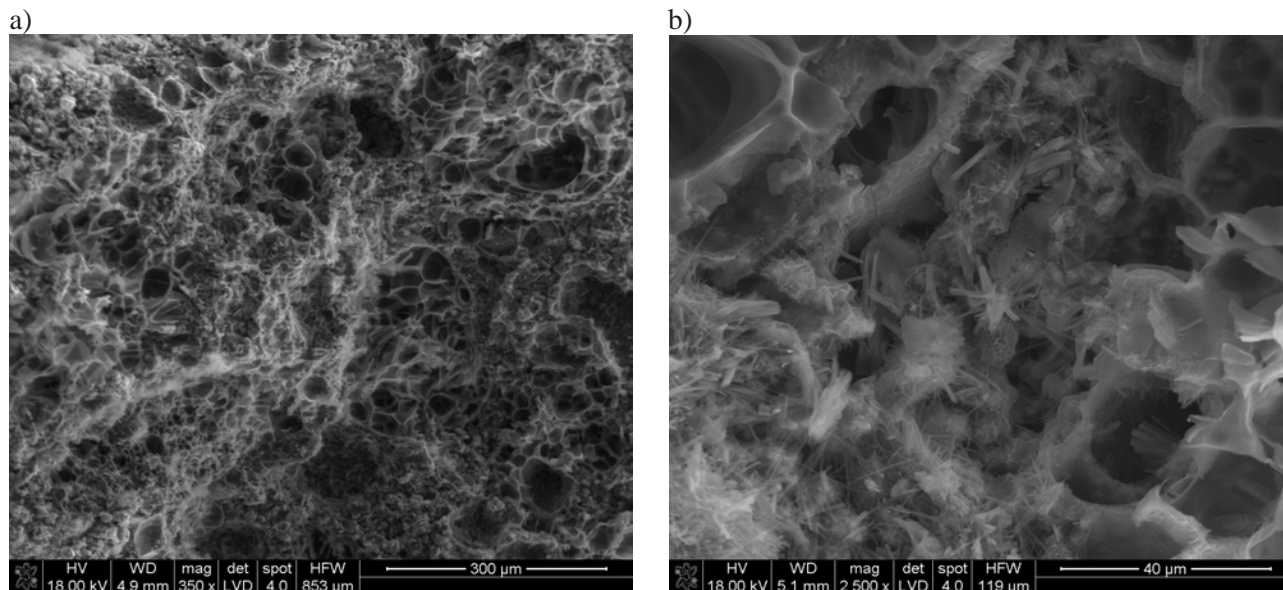


Photo 2. (a) Microstructure of cement – perlite mortar 1/7 with 0.03% AEA admixture. The perlite filler homogeneously distributed throughout the material with no distinct perlite/paste interfaces. (b) Microstructure of cement – perlite mortar 1/7 with 0.03% AEA admixture. The area enriched in ettringite (calcium trisulphoaluminate hydrate), formed between and inside the perlite grains as it has been found by microanalytical method (EDX)

Fot. 2. (a) Mikrostruktura zaprawy perlitowo-cementowej o stosunku objętościowym cement/perlit 1/7 z domieszką napowietrzającą (0,03%); trzy miesiące dojrzewania. Zwraca uwagę brak wyraźnych granic rozdziału perlit-zaczyn cementowy. (b) W powiększonym obrazie matrycy zaczynowej przeważają skupienia wydłużonych kryształów ettringitu (trójsiarczanoglinianu wapnia) utworzone pomiędzy ziarnami perlitu i wewnątrz ziaren (potwierdzone metodą EDX)

4. Conclusions

1. The perlite ratio is a key parameter controlling the water water transfer in cement – perlite mortar. The effect of admixtures is of great importance too. The effect of water repellent on the reduction of water transport is better pronounced at cement – perlite volume ratio 1/3 and 1/5.
2. The reduction of capillary action by use of water repellent in case of mortars with cement – perlite volume ratio 1/3 and 1/5 is a half of water penetration level for reference samples.
3. In cement/perlite 1/7 mortar, with 32% cement replacement by mass, the expected effect of pore structure modification in the paste is limited because of the high perlite content. The effect of water repellent on the reduction of capillary action and water absorption is less pronounced. In the presence of air entraining agent some reduction of capillary action can be achieved.
4. The transport of water is additionally limited by the formation of impermeable layer of cement hydration products, adjacent to the perlite grains.
5. The volume cement to perlite proportion about 1/5 should not be exceeded in case of potential water attack. The proportion 1/7 could be taken into

4. Wnioski

1. Zawartość perlitu w zaprawie cementowo-perlitowej ma istotny wpływ na podciąganie kapilarne: im większa zawartość perlitu, tym większa porowatość zaprawy i intensywniejszy transport wody. Rolę czynnika ograniczającego nasiąkliwość odgrywają domieszki hydrofobizujące, szczególnie w zaprawie o stosunku objętościowym cement/perlit wynoszącym 1/3 i 1/5.
2. Domieszka hydrofobizująca ogranicza podciąganie kapilarne zaprawy perlitowej o stosunku objętościowym cement/perlit wynoszącym 1/3 i 1/5 do około połowy poziomu dla materiału odniesienia.
3. W zaprawie o stosunku objętościowym cement/perlit wynoszącym 1/7, to znaczy przy udziale wynoszącym 32% masy suchej mieszanki, działanie domieszki hydrofobizującej jest mniej skuteczne; w pewnym stopniu podciąganie kapilarne jest też zredukowane w obecności domieszki napowietrzającej.
4. Utworzenie szczelnej, przylegającej do ziaren perlitu warstwy produktów hydratacji cementu sprzyja ograniczeniu transportu wody.
5. Wskazane jest ograniczenie proporcji pomiędzy cementem i perlitem do 1/5, jeżeli spodziewany

account in dry air conditions. The use of water repellents is highly recommended.

jest atak wody; zaprawa o stosunku objętościowym cement/perlit wynoszącym 1/7 może być stosowana w warunkach powietrzno-suchych. W każdym przypadku zaleca się stosowanie domieszek ograniczających transport wody.

References

- [1] Elsharief A., Cohen M.D., Olek J.: *Influence of aggregate size, water cement ratio and age on the microstructure of the interfacial transition zone*. Cem. Concr. Res. 33 (2003), pp. 1837-49. doi: 10.1016/S0008-8846(03)00205-9.
- [2] Erdoğan S.T., Sağlık A.Ü.: *Early-age activation of cement pastes and mortars containing ground perlite as a pozzolana*. Cem. Concr. Comp. 38 (2013), pp. 29-39, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.03.004>.
- [3] Kapeluszna E., Kotwica Ł., Pichór W., Nocuń-Wczelik W.: *Study of expanded perlite by-product as the mineral addition to Portland cement*. Cement – Wapno – Beton 20/82 (2016), pp. 38-44. Karagiannis N., Karaglou M., Bakolas A., Moropoulou A. [in:] *New Approaches to Building Pathology and Durability*, ed. By J.M.P.Q. Delgado, Springer, Singapore 2016.
- [4] Karagiannis N., Karaglou M., Bakolas A., Moropoulou A. [in:] *New Approaches to Building Pathology and Durability*, ed. By J.M.P.Q. Delgado, Springer, Singapore 2016.
- [5] Kotwica Ł., Pichór W., Nocuń-Wczelik W.: *Study of pozzolanic action of ground waste expanded perlite by means of thermal methods*. Jour. Therm. Anal. Calor. 123/1 (2016), pp.607-613. doi: 10.1007/s10973-015-4910-8.
- [6] Kramar D., Bindiganavile V.: *Impact response of lightweight mortars containing expanded perlite*. Cem. Concr. Comp. 37 (2013), pp. 205-14, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2012.10.004>.
- [7] Lanzón Torres M., García-Ruiz P.A.: *Lightweight cement mortars: Advantages and inconveniences of expanded perlite and its influence on fresh and hardened state and durability*. Constr. Build. Mat. 22 (2008), pp. 1798-1806, doi:10.1016/j.conbuildmat.2007.05.006.
- [8] Lanzón Torres M., García-Ruiz P.A.: *Lightweight pozzolanic materials used in mortars: evaluation of their influence on density, mechanical strength and water absorption*. Cem. Concr. Comp. 31 (2009), pp. 114-9, doi:10.1016/j.cemconcomp.2008.11.003.
- [9] Nocuń-Wczelik W., Nowak M., Trybalska B.: *Transport wody w zaprawach z dodatkiem perlitu ekspandowanego modyfikowanych domieszkami (Transport of water in the mortars with perlite addition modified by admixtures)*. *PTcer (Ceramic Materials)*, IX Konferencja i Zjazd Polskiego Towarzystwa Ceramicznego, Zakopane, 19-22 września 2013.
- [10] Nocuń-Wczelik W., Nowak M., Trybalska B.: *Transport wody w zaprawach z dodatkiem perlitu ekspandowanego modyfikowanych domieszkami (Transport of water in the mortars with perlite addition modified by admixtures)*. *Materiały Ceramiczne (Ceramic Materials)*, 66 (2014), pp. 62-67.
- [11] Pichór W., Szymański M.: *The properties of expanded perlite impregnated by redispersible acrylate copolymer* [in:] Proc. of Conference „Dni Betonu: tradycja i nowoczesność”, ed. by P. Kijowski, Deja J., Polish Cement Association, Kraków 2012, pp. 293-299.
- [12] Rashad A.M.: *A synopsis about perlite as building material – a best practice guide for civil engineer*. Constr. Build. Mat. 121 (2016), pp. 338-353, <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.001>.
- [13] Wasserman R., Bentur A.: *Interfacial interaction in lightweight aggregate concretes and their influence on the concrete strength*. Cem. Concr. Comp. 18 (1996), pp. 67-76, [http://dx.doi.org/10.1016/0958-9465\(96\)00002-9](http://dx.doi.org/10.1016/0958-9465(96)00002-9).
- [14] Zhang M.H., Gjorv O.E.: *Microstructure of the interfacial zone between lightweight aggregate and cement paste*. Cem. Concr. Res. 20 (1990), pp. 610-18, [http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846\(90\)90103-5](http://dx.doi.org/10.1016/0008-8846(90)90103-5).