

Hydrofobizacja rozdrobnionego perlitu ekspandowanego i jego zastosowanie w zaprawach z cementu portlandzkiego

Preparation and application of micronized expanded hydrophobic perlite in Portland cement mortars

1. Wprowadzenie

Ekspandowany perlit ma wiele zastosowań, szczególnie w budownictwie i w wielu innych przemysłach. Jest on zalecany jako dodatek oczyszczający, jako nośnik pestycydów oraz herbicydów, w koncentratkach i w innych podobnych zastosowaniach. Jest także stosowany jako faza stała w procesach fermentacji (1), a także jako izolator cieplny, wypełniacz do gum i w produkcji materiałów pokryciowych (2).

Ekspandowany perlit ma małą gęstość nasypową [65-100 kg/m³], co czyni z niego doskonały izolator cieplny i dźwiękowy. Turcja ma 74% światowej rezerwy perlitu, co powoduje, że przeprowadzono w tym kraju wiele badań, poświęconych efektywnemu jego wykorzystaniu w budownictwie. Gokce i in. (3, 4) badali wpływ dodatku ekspandowanego perlitu do lekkiego betonu na absorpcję wody i inne właściwości tego materiału budowlanego. Stwierdzili, że perlit może być stosowany do produkcji lekkiego betonu, jednak jego wadą jest absorpcja wody. Sengul i in. (5) ustalili, że stosowanie perlitu zamiast klasycznego kruszywa zmniejszało przewodnictwo ciepła, jednak absorpcja wody rosła w przypadku dużej jego zawartości w betonie. W innej pracy stwierdzono, że perlit jest dobrym dodatkiem do gromadzenia ciepła w budynkach, gdyż ma on dużą pojemność w przechowywaniu ciepła (6). Bulgurcu (7) donosi, że perlit poprawia właściwości cieplne betonu, a jego dodatek wynosi zwykle od 10% do 80%, a Erdogan i Saglik (8) podają, że dodatek 25% aktywowanego chemicznie perlitu w zaprawie zwiększało wytrzymałość na ściskanie po 1 i 3 dniach.

Perlit ma wiele zalet jako materiał budowlany, jednak jego wadą jest absorpcja wody i z tego powodu obróbka powierzchni stanowi rozwiązanie tego problemu. Zastosowanie w tym celu silanów jest jedną z metod, którą stosuje się w przypadku ekspandowanego perlitu. W przeszłości stosowano różne metody obróbki powierzchniowej naturalnego perlitu. Natomiast zastosowanie obróbki za pomocą dimetylodichlorosilanu [SiCl₂(CH₃)₂] lub heksadimetylosilanu [(CH₃)₃Si – NH – Si CH₃)₃], trwającej 24 godziny, daje hydrofobowy

1. Introduction

Expanded perlite products are being used in many applications, particularly in the construction, horticulture and other various industrial fields. It is recommended as an efficient purifying agent and as a carrier for pesticides, feed concentrates, herbicides and other similar applications. It is also used as a solid support in solid-state fermentations (1). Expanded perlite products are also often used as insulating fillers, resin fillers, and in the manufacture of textured coatings (2).

Expanded perlite has a low bulk density (65-100 kg/m³) making it excellent material to use in insulation and soundproofing. Turkey has 74% reserves of perlite in the world so many research studies have been attending to use perlite effectively in construction sector. Gokce et al. (3, 4) have studied the effect of expanded perlite for the lightweight concrete production and its water absorption effects on concrete properties. They concluded that expanded perlite can be used in concrete to produce lightweight concrete with an insulating property although it has disadvantage in water absorption. In previous study was found that perlite usage in concrete mixture, instead of ordinary aggregate, was substantially decreased the thermal conductivity although water absorption increased with high perlite content in the mixture (5). In another study perlite was found to be favourable for thermal energy storage applications in buildings, due to the high heat storage capacity (6). Bulgurcu (7) reported that perlite improves thermal property of concrete, when addition is 10% to 80% and Erdogan and Saglik (8) reported that the 25% addition of chemical activated perlite in mortar increased compressive strengths at 1 and 3 days.

Perlite has many advantages as a construction material but water absorption property is a serious disadvantage thus surface treatment can be a solution to overcome this problem. Silanization is one of the methods for surface modification of expanded perlite. In the past, the different surface treatments were applied for natural perlite modification. Micronized perlite filler treated

produkt (2). Stosowano także obróbkę powierzchniową w celu poprawy interakcji perlitu z matrycą z fluoroelastomeru. Greene i in. (9) badali zastosowanie perlitu ekspandowanego jako wypełniacza do fluoroelastomerów w celu zachowania lub poprawy ich właściwości mechanicznych, cieplnych, lub elektrycznych. Ten polimer zawierał 15% do 60% masowych perlitu, w stosunku do całej masy kompozytu. Oktem i Dincer (10) badali zastosowanie aminopropyltrietyksylanu [APS] do obróbki powierzchniowej perlitu ekspandowanego. Ten perlit, po obróbce, dodawano w różnych proporcjach do polietylenu o dużej gęstości [HDPE] w celu uzyskania lepszej adhezji powierzchniowej. Badano także granicę ścinania. Z wszystkich tych prac wynika, że obróbka powierzchni perlitu silanami poprawia właściwości materiałów z jego dodatkiem, w tym trwałość.

W pracy zastosowano dwa silany do obróbki powierzchniowej ekspandowanego perlitu rozdrobionego do dużej powierzchni, w celu zmniejszenia absorpcji wody i dodawano go do zapraw i tynków z cementu portlandzkiego.

2. Obróbka powierzchniowa rozdrobionego, ekspandowanego perlitu

Rozdrobiony ekspandowany perlit [MEP] dostarczył Genper wytwarzający ten produkt w Turcji, a jego właściwości podano w tablicy 1. Przed obróbką silanem perlit ten suszono w 110°C przez 1 godzinę. Rozkład ziarnowy badano za pomocą gra-

Tablica 1 / Table 1

SKŁAD CHEMICZNY I WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE MIAŁKIEGO PERLITU EKSPANDOWANEGO NSP

CHEMICAL COMPOSITION AND PHYSICAL PROPERTIES OF MICRONIZED EXPANDED PERLITE NSP

Składnik / Component	Zawartość / Content, %
SiO ₂	74.00
Al ₂ O ₃	14.33
K ₂ O	4.95
MgO	0.28
CaO	0.50
Fe ₂ O ₃	0.97
Właściwości fizyczne/Physical properties	
Kolor/Colour	Biały/White
Temperatura topnienia / Meltingpoint, °C	1270-1295
pH	7-9
Powierzchnia właściwa Specific surface area, m ² /g	2.107
Średnie ziarno Particle size average, μm	35
Porowatość/Porosity, %	85
Gęstość pozorna Bulk density, kg/m ³	65-100
Maksymalna wilgotność Max moisture*, %	0.1

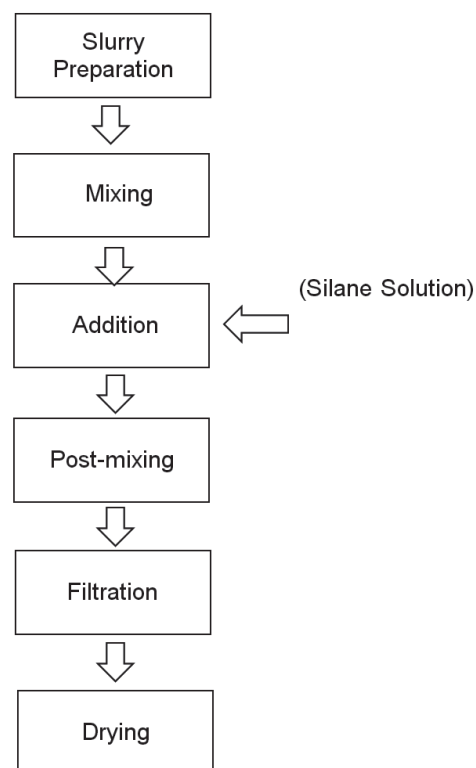
*Stabilized in air of 60% RH *Po stabilizacji w powietrzu o WW 60%

with dimethyldichlorosilane [SiCl₂(CH₃)₂] or hexadimethylsilazane [(CH₃)₃Si—NH—Si(CH₃)₃] over a 24 h period, resulting in more hydrophobic product (2). Also, the surface treatment agents were used as providing improved interaction between the perlite and the fluoroelastomer matrix. Greene et al. (9) investigated the expanded perlite as fluoroelastomer filler for the purpose of preserving or improving the mechanical, thermal and/or electrical properties of the fluoroelastomer. The polymer composition was prepared with expanded perlite addition from about 15% to about 60% by mass of the total mixture. Oktem and Dincer (10) studied the use of aminopropyltriethoxysilane (APS) for surface treatment of the expanded perlite. Silanized perlite was applied to the high-density polyethylene (HDPE) in various proportions to achieve higher interfacial adhesion. Yield stress properties of all the prepared HDPE samples were measured and reported. As it can be seen from these works silanization process can improve processing, performance and durability of mineral-modified products.

In this study, two different silane coupling agents were used in surface treatment of micronized expanded perlite for reducing water absorption and silanized perlite samples were tested as an additive in Portland cement mortars and plasters.

2. Surface modification of micronized expanded perlite

Micronized expanded perlite (NSP) was provided by Genper Expanded Perlite Industry Business Co. (Turkey). Chemical and physical properties of the perlite are given in Table 1. Before the



Rys. 1. Schemat obróbki powierzchniowej mialkiego perlitu ekspandowanego

Fig. 1. Surface treatment process of micronized expanded perlite

nulometru Malvern Mastersizer 2000. Powierzchnię właściwą mierzono metodą BET. Stosowano dwa różne silany metakryloksypropyltrimetoksylan [MPS] i vinyltrimetoksylan [VMS], w celu uzyskania hydrofobowego perlitu, który oznaczano odpowiednio MPS-P i VMS-P. Silany dostarczyła Alfa-Aesar-Johnson Matthey Company Inc., a przed ich użyciem przeprowadzano hydrolizę. W tym celu stosowano mieszaninę etanolu 95% i 5% wody, którą zakwaszono do pH 4,5 kwasem acetonowym. Do tego roztworu dodawano silan i mieszano przez około 40 minut, a ten roztwór dodawano do zawiesiny silanu w dejonizowanej wodzie. Stosunek faza stała/roztwór utrzymywano 1/10, a stosunek silanu do wypełniacza na poziomie 2% masowych. Obróbka silanem trwała 16 godzin [rysunek 1], po czym fazę stałą oddzielano za pomocą filtracji i suszono w normalnej temperaturze, przed dalszym stosowaniem w badaniach.

3. Gęstość nasypowa i absorpcja wody przez ekspandowany hydrofobowy perlit oraz jego przewodnictwo ciepła

Oznaczono gęstość nasypową próbek NSP, MPS-P i VMS-P oraz ich absorpcję wody, zanurzając je w wodzie na trzy dni. W tym celu oznaczano masę wyjściową próbek, a następnie susząc je w suszarce do stałej masy. Różnica mas daje absorpcję wody; wyniki podano w tablicy 2.

Do oznaczenia przewodności cieplnej i odporności termicznej stosowano pomiar temperatury powierzchni próbek zgodnie z normą EN 1745. Pomiarzy te służyły do oceny właściwości izolacyjnych wszystkich próbek, a przed pomiarem próbki perlitu przygotowano zgodnie z normami TS EN 998-1:2010 i TS EN 1015-10:2006. Próbkę tynku podgrzewano do 96°C, chłodzono w powietrzu i mierzono ich temperaturę powierzchniową za pomocą kamery Fluke Ti-32. Temperaturę powierzchniową porównywano z wzorcem, którym był tynk Aerogel, nowy materiał o bardzo dobrych właściwości izolacyjnych.

4. Badanie zapraw z cementu portlandzkiego, zawierających dodatek hydrofobowego mialkiego perlitu

Po obróbce powierzchniowej silanem uzyskano dwa rodzaje perlitu MPS-P i VMS-P, którym zastępowano cement w zaprawach oraz porównywano z próbkami z dodatkiem perlitu, nie poddawanego tej obróbce [NSP]. Zaprawy sporządzono zgodnie z normą TS-EN 480-1, a zawierały cement CEM I 42,5R, perlit oraz normowy piasek. Właściwości cementu podano w tablicy 3.

Pierwsza seria zapraw obejmowała zaprawy referencyjne nie zawierające perlitu, a ich właściwości podano w tablicy 4. Natomiast w próbkach MPS-P i VMS-P zastępowano perlitem 45% cementu.

Konsystencję świeżych zapraw mierzono metodą rozplywu i utrzymywano na stałym poziomie około 20±1 cm, natomiast zawartość wody w świeżych zaprawach dobierano tak aby

silanization process the received perlite was dried at 110°C in an oven for 1 hour. The average particle size was measured by a Malvern Mastersizer-2000 and the specific surface area by using Autosorb-1 equipment from Quantachrome B.E.T Instrument. Two different silane coupling agents, methacryloxypropyltrimethoxysilane (MPS) and vinyltrimethoxysilane (VMS) were used for preparing of hydrophobic expanded perlite. Modified perlites with MPS and VMS are designed as MPS-P and VMS-P in the study. These chemicals were supplied by Alfa-Aesar-Johnson Matthey Company Inc. Before the treatment, hydrolysis of the silane agents was performed. The solution with a 95% ethanol and 5% water was prepared and acidified to pH of 4.5, with acetic acid. The silane was added to the solution and mixed approximately ~40 minutes. The silane solution was added to the slurry of the expanded perlite, in the deionize water. The solid/liquid ratio was adjusted as 1/10. Ratio of silane solution to the filler was adjusted to 2% by mass. The silanization process in water lasted for 16 hours (Fig.1). The products were separated by filtration and then dried at room temperature, for the comparison tests.

3. Bulk density and water absorption properties of hydrophobic micronized expanded perlites and thermal examination of plasters

The bulk densities of NSP, MPS-P and VMS-P samples were measured and water absorption were tested by keeping samples for three days in water. A water absorption tests consisted of the samples initial mass and the mass of dried perlite sample in an oven to the constant mass. The ratio of the mass difference to the mass of sample gave the water absorption. The results are given in Table 2.

The surface temperature measurements are very important for thermal conductivity and thermal resistance/capacity of both masonry products and masonry (TS EN 1745). Therefore, thermal insulation performances of the NSP, MPS-P and VMS-P samples were evaluated applying the measurements of surface temperatures. For the measurement, plaster samples, based on hydrophobic micronized expanded perlites, were prepared according to Europe-

Tablica 2 / Table 2

GĘSTOŚĆ I ABSORPCJA WODY MIAŁKIEGO EKSPANDOWANEGO PERLITE BEZ I PO OBRÓBCE POWIERZCHNIOWEJ SILANEM
DENSITY AND WATER ABSORPTION OF MICRONIZED EXPANDED PERLITE WITHOUT AND AFTER SILANIZATION PROCESS

Właściwość / Property	NSP	VMS-P	MPS-P
Gęstość pozorna Bulk density, g/cm ³	1.08	1.33	1.24
Początkowa masa próbki Initial mass of sample, W1	126.2	126.2	126.2
Masa suchej próbki Mass of dry sample, W2	46.2	126.1	126.1
Nasiąkliwość / Water absorption, % 100*(W1-W2)/W2	173.2	0.05	0.05

Tablica 3 / Table 3

SKŁAD CHEMICZNY I WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE CEMENTU
 CHEMICAL COMPOSITION AND PHYSICAL PROPERTIES OF PORTLAND CEMENT CEM I 42.5R

Składnik / Component	Zawartość / Content, %
SiO ₂	19.57
Al ₂ O ₃	4.15
Fe ₂ O ₃	3.50
CaO	63.81
MgO	2.22
Na ₂ O	0.17
K ₂ O	0.82
SO ₃	2.75
Free CaO	1.50
C ₃ A	5.08
C ₃ S	64.20
Właściwości fizyczne / Physical Properties	
Ciężar właściwy/Specific gravity, g/cm ³	3.15
Zatrzymane na sicie 45 μm Retained on 45 μm sieve, %	1.1
Zatrzymane na sicie 90 μm Retained on 90 μm sieve, %	0.1
Wytrzymałość na ściskanie po 2, 7, 28 dniach Compressive strengths at 2, 7, 28 days, MPa	35.8, 47.4, 58.5

zachować tę konsystencję. Gęstość nasypowa referencyjnej zaprawy wynosiła 2198 g/l, a zapraw z dodatkiem NSP, MPS-P i VMS-P odpowiednio 1855 g/l, 1795 g/l i 1825 g/l, czego można było oczekiwać. Najmniejsza gęstość zaprawy MPS-P łączyła się także z najmniejszą wodą zarobową, wystarczającą do uzyskanie odpowiedniej konsystencji.

W drugiej serii prób [tablica 5] zmniejszono zawartość cementu w zaprawach do 315 g, a dodatek perlitu był stały i wynosił obję-

Tablica 4 / Table 4

SKŁAD I WŁAŚCIWOŚCI ZAPRAW, PIERWSZA SERIA BADAŃ
 COMPOSITION OF MORTARS, FIRST SERIES OF TESTS

Składnik / Component	Reference	NSP mortar	MPS-P mortar	VMS-P mortar
Portland Cement, g	450	247.5	247.5	247.5
Perlite, g	0	202.5	202.5	202.5
Perlite, % of cement	0	45	45	45
Zwykły piasek / Standart Sand, g	1350	1350	1350	1350
Woda/Water, g	225	230	175	210
w/c / Water to cement ratio	0.50	0.93	0.71	0.85
Średnica przepływu / Diameter of flow, cm	19.7	19.9	20.0	19.9
Gęstość pozorną / Bulk density, g/l	2198	1855	1795	1825
Wytrzymałość na ściskanie / Compressive strenght, MPa				
2 dni/days	35.3	8.6	7.5	7.8
7 dni/days	47.3	12.8	11.4	12.2
28 dni/days	58.4	21.6	19.3	21.5

an technical standards (TS EN 998-1:2010, TS EN 1015-10:2006) and designated as NSP, MPS-P, VMS-P. For the experiments, the plaster samples were heated in an oven at 96°C and then air cooled, while their superficial temperature was recorded by a thermal imaging camera (Fluke Ti-32 model). Surface temperatures were compared with reference Aerogel insulating plaster, which is known of high-performance insulating plaster and innovative in the field of building insulation. Thermal conductivity of the material is two to three times lower than of conventional insulating plasters.

4. Testing of Portland cement mortars prepared with hydrophobic micronized perlite addition

After silanization process, two different hydrophobic micronized perlites (MPS-P, VMS-P) were tested by replacing cement in mortar mixtures and test results were compared with nonsilanized perlite (NSP). Cement mortar mixtures were prepared according to standard test method (TS-EN 480-1), using CEM I 42.5R Portland cement, perlite, standard sand and water. Chemical and physical properties of Portland cement used in tests are given in Table 3.

In the first series of cement mortar tests (Table 4), reference mortar mixture without perlite was prepared according to standard test method and flow, bulk density, compressive strengths after 2, 7 and 28 days were taken. NSP, MPS-P and VMS-P samples were replacing 45% of cement in the mixtures, to get effect of perlite in cement mortar mixtures.

Consistency of the fresh mortars was measured with flow test for keeping the maintenance almost constant at 20±1 cm. Water contents in the mixtures were changed to maintain constant flow value. Bulk density of reference mixture was 2198 g/l and in the mixtures prepared with NSP, MPS-P and VMS-P, bulk densities were found to be 1855, 1795 and 1825 g/l, respectively. Cement replacement with perlite reduced bulk densities of the mixtures due to the very low density of this additive. Lowest bulk density was obtained in MPS-P mortar mixture and minimum water 175 g was needed to obtain constant flow value.

Tablica 5 / Table 5

SKŁAD I WŁAŚCIWOŚCI ZAPRAW, DRUGA SERIA BADAŃ

COMPOSITION AND PROPERTIES OF MORTARS, SECOND SERIES OF TESTS

	Reference	NSP zaprawa / mortar	MPS-P zaprawa / mortar	VMS-P zaprawa / mortar
Portland Cement, g	450	315	315	315
Perlite, g	0	53.15	57.00	46.28
Perlite, % of cement	0	11.8	12.6	10.3
Normowy piasek / Standart Sand, g	1350	1350	1350	1350
Woda / Water, g	225	263	270	275
w/c / Water to cement ratio	0.50	0.83	0.86	0.87
Średnica przepływu / Diameter of flow, cm	19,7	19.9	19.8	19.8
Gęstość pozorna / Bulk Density,g/l	2198	2020	1978	2035
Wytrzymałość na ściskanie / Compressive strenghts, MPa				
2 dni/days	35.3	9.4	9.6	10.6
7 dni/days	47.3	14.2	15.1	16.2
28 dni/days	58.4	20.3	22.5	24.3

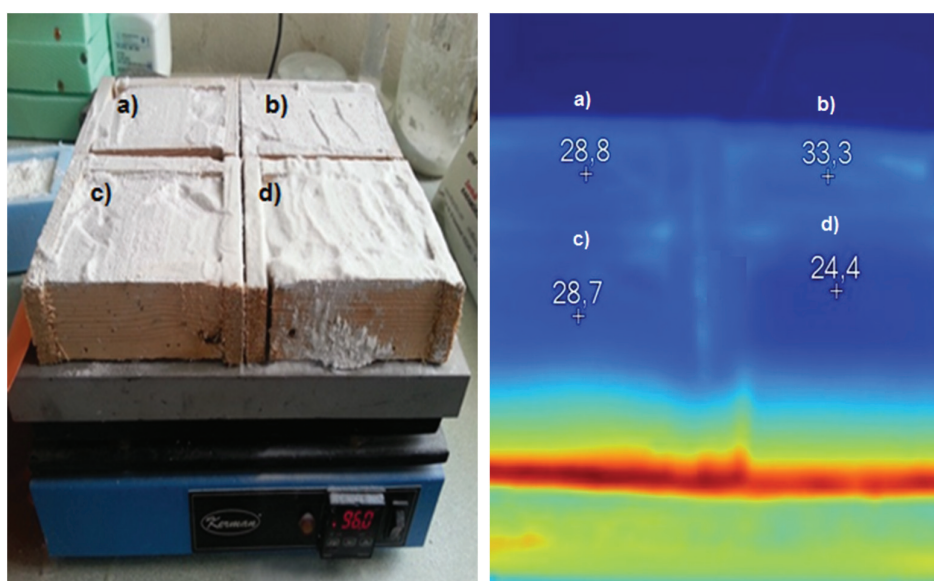


Fig. 2. Surface temperatures of plaster samples determined via thermographic camera, a)VMS-P plaster b) MPS-P plaster c) NSPplaster d) Aerogel insulation plaster

Rys. 2. Temperatura powierzchni próbek tynku oznaczona kamerą Fluke Ti-32

tościowo 42,8 cm³. Stosunek w/c wynosił odpowiednio 0,50; 0,83; 0,86 i 0,87 dla próbek referencyjnej, NSP, MPS-P i VMS-P. Gęstość nasypowa zmieniła się w szeregu 2198, 1855, 1795 i 1825 g/l. Wytrzymałość na ściskanie badano po 2,7 i 28 dniach.

5. Wyniki badań

5.1. Wpływ obróbki powierzchniowej na gęstość nasypową, absorpcję wody i temperaturę powierzchni rozdrobnionego ekspandowanego perlitu

Przeprowadzone pomiary wykazały, że obróbka powierzchni silanami spowodowały wzrost gęstości perlitu ekspandowanego. Przed obróbką gęstość wynosiła 1,08 g/cm³ a po obróbce za po-

W the second series of tests in (Table 5), cement content was reduced to 315 g in mortar mixture and perlites were used at constant volume of 42.86 cm³ in mixtures. Water/cement ratios were 0.50, 0.83, 0.86 and 0.87 in reference, NSP, MPS-P and VMS-P samples, respectively. Bulk densities were found in the same order as 2198, 1855, 1795 and 1825 g/l. Compressive strength were measured after 2, 7 and 28 days.

5. Results

5.1. The effect of surface treatment on bulk density, water absorption and surface temperature of micronized expanded perlite

The experimental test results have shown that the surface modification by silanization caused the increase in density of micronized

mocą MPS i VMS gęstości MPS-P i VMS-P osiągnęły odpowiednio 1,24 g/cm³ i 1,33 g/cm³, która była największa [tablica 2].

Absorpcja wody, która wynosiła 173% w przypadku perlitu nie poddanego obróbce silanami [NSP], po tej obróbce znacznie zmalała, przy czym działanie obu silanów MPS i VMS było bardzo efektywne w nadawaniu perlitowi właściwości hydrofobowych.

Na rysunku 2 pokazano temperaturę powierzchni próbek tynków, która wyniosła dla referencyjnego tynku „Aerogel” 24,4°C, a dla próbek MPS-P 28,7°C i VMS-P 28,8°C, a w przypadku próbki bez perlitu 33,3°C. Tynki zawierające dodatek VMS-P i MPS-P miały zbliżoną temperaturę próbek z dodatkiem VSP, a najlepszą izolacyjność miał tynk „Aerogel”.

5.2. Wyniki badań zapraw cementowych

W pierwszej serii doświadczeń zaprawy MPS-P i VMS-P potrzebowały mniej wody zarobowej niż NSP, co wynikało z absorpcji wody przez ten perlit. Obróbka powierzchni perlitu miała wpływ także na właściwości zapraw; dodatek perlitu spowodował zmniejszenie gęstości nasypowych o 10%, jak można było tego oczekiwać. Ich gęstość była mniejsza od 2000 g/cm³, co jest graniczną wartością dla betonu lekkiego według TS-EN 480-1. W drugiej serii doświadczeń tylko MPS-P uzyskał wynik mniejszy od 2000 g/cm³.

Stosunek w/c wzrósł z oczywistych względów w zaprawach, w których cement zastąpiono perlitem. Natomiast największą wytrzymałość na ściskanie wykazała zaprawa NSP, pomimo że miała największy w/c wynoszący 0,93, prawdopodobnie ze względu na absorpcję wody przez perlit. Wytrzymałość po 2 dniach wynosiła 8,6 MPa, podczas gdy MPS-P i VMS-P osiągnęły odpowiednio 7,5 i 7,8 MPa, natomiast po 28 dniach wszystkie miały zbliżoną wytrzymałość.

W drugiej serii prób zaprawy miały w/c 0,83; 0,86 i 0,87 odpowiednio w przypadku NSP, MPS-P i VMS-P, a zawartość cementu wynosiła 315 g w mieszance. VMS-P osiągnął największą wytrzymałość na ściskanie po 2,7 i 28 dniach, pomimo największego stosunku w/c. Zaprawa MPS-P miała lepszą wytrzymałość od NSP.

6. Wnioski

Pomimo, że ekspandowany perlit jest ważnym materiałem budowlanym, duża absorpcja wody jest niekorzystnym czynnikiem ograniczającym jego stosowanie w budownictwie. W związku z tym celowym byłoby opracowanie taniej metody zmniejszenia tej niekorzystnej właściwości aby można było stosować perlit jako dodatek do cementu i betonu. Może to być obróbka powierzchni perlitu z zastosowaniem silanów. Przeprowadzone doświadczenia wykazały bowiem, że ekspandowany, mialki perlit po takiej obróbce nabiera właściwości hydrofobowych, co pozwala na uzyskiwanie lekkich betonów. Zmniejszenie absorpcji wody pozwala na zastosowanie cementu zawierającego dodatek hydrofobowego perlitu do produkcji lekkiego betonu, lub tynków zmniejszających przewodność cieplną.

expanded perlite. Before the surface treatment, the density of NSP was 1.08 g/cm³ and after this treatment with MPS and VMS, MPS-P and VMS-P densities were 1.24 g/cm³ and 1.33 g/cm³, respectively (Table 2). VMS-P has higher density than other.

The percentage of water absorption was determined as 173% for non-silanized perlite (NSP) however MPS-P and VMS-P sparingly absorbed water. It was seen that surface MPS and VMS agents were very effective in conversion of micronized expanded perlite to hydrophobic form.

Figure 2 presents the thermographic images and surface temperatures of the plaster samples. Surface temperature of Aerogel insulating plaster was measured as 24.4°C, while NSP, MPS-P and VMS-P were measured as 28.7, 28.8 and 33.3°C, respectively. Plasters prepared with VMS-P were found to have similar surface temperature values to those obtained with NSP. Also surface temperature of the VMS-P was lower than MPS-P and the best result was obtained in Aerogel insulating plaster.

5.2. Results of Portland cement mortar testing

In the first series of tests, mortar mixtures of MPS-P and VMS-P required less water than NSP, which was caused by water absorption of this perlite. Silanization process was also confirmed in mortar tests. Addition of perlite to mortar mixture caused approximately 10% reduction of the bulk density of the mortar. As it should be expected the bulk density of mortars with perlite addition was lower than of the reference mortar and the value of 2000 g/cm³ belongs to the lightweight concrete criteria (TS EN 480-1). In the second series only mortar mixture prepared with MPS-P gave lower density than 2000 g/cm³.

As it should be expected water to cement ratio was increased in the samples in which perlite was replacing cement. Compressive strength was lower than of reference sample, as expected. However, NSP mortar gave higher compressive strength than others although the higher water cement ratio equal 0.93; that probably was caused by water absorption by this perlite. The compressive strength of NSP mortars after 2 days was 8.6 MPa, but MPS-P and VMS-P mortars strength were 7.5 and 7.8 MPa, respectively, probably as aforementioned because of water absorption by the perlite. After 28 days all samples showed approximately the same compressive strength. In the second series of tests w/c ratio were 0.83, 0.86 and 0.87 for NSP, MPS-P and VMS-P mortars while the cement content was 315 g in all mixtures. VMS-P mortar has higher compressive strength than others for 2, 7 and 28 days, although the highest water to cement ratio. MPS-P mortar has higher strength than NSP.

6. Conclusions

Although expanded perlite is important mineral addition for construction sector, high water absorption is very disadvantage property for its utilization in this sector. Low cost surface treatment methods should be developed to have the effective benefit from

Literatura / References

1. H. Tian, H. Tagaya, Preparation, Characterization and Mechanical Properties of the Polylactide/perlite and the Polylactide/montmorillonite Composites. *Journal of Material Science*, **42**, 3244–3250 (2007).
2. B. Wang, T. R. Smith, A. L. Masters, N. J. K. Danvers, Micronized Perlite Filler Product. US Patent 7,497,903 (2009).
3. H. S. Gokce, G. Durmus, O. Simsek, Alternatif Karışım Oranlarında Üretilen Doğal Perlit Agregalı Hafif Betonların Özelliklerine Su Çimento Oranının Etkisi. *Politeknik Dergisi*, **13**, 1, 55-63 (2010).
4. H. S. Gokce, G. Durmus, O. Simsek, I. Demir, Effect of Alternative Expanded Perlite Using on Properties of Raw Perlite Aggregated Light-Weight Concrete. *Journal of Polytechnic*, **13**, 2, 159-163 (2010).
5. O. Sengul, S. Azizi, F. Karaosmanoglu, M. A. Tasdemir, Effect of Expanded Perlite on the Mechanical Properties and Thermal Conductivity of Lightweight Concrete. *Energy and Buildings*, **43**, 671-676 (2011).
6. A. Bicer, A. Sari, New Kinds of Energy Storing Building Composite PCMs for Thermal Energy Storage. *Energy Conversion and Management*, **69**, 148-156 (2013).
7. H. Bulgurcu, Investigation of Thermal and Mechanical Properties of Building Materials Such as Cement Include Expanded Perlite and Plaster Binder. *Cement National Thermal Science and Technology*, Sivas, Turkey 2009.
8. S. T. Erdogan, A. U. Saglik, Early-age Activation of Cement Pastes and Mortars Containing Ground Perlite as a Pozzolan. *Cem. Concr. Comp.*, **38**, 29-39 (2013).
9. M. Greene, R. N. Rotheron, N. J. K. Danvers, Polymer Compositions Comprising Fluoro Elastomers and Expanded Perlite. US Patent 2008/081173.
10. G. A. Oktem, T. A. Dincer, Study on the Yield Stress of Perlite-filled high-density polyethylenes. *Journal of Material Science*, **28**, 6313-6317 (1993).

Standards:

TS EN 480-1 (2011) Admixtures for concrete, mortar and grout-Test methods-Part 1: Reference concrete and reference mortar for testing.

TS EN 998-1:2010 Specification for mortar for masonry—Rendering and plastering mortar

TS EN 1015-10:2006 Methods of test for mortar for masonry—Part10: Determination of dry bulk density of hardened mortar.

TS EN 1745 Masonry and masonry products. Methods for determining thermal properties.

expanded perlite application, as additive to mortar or cement. The usage of silane agents can be the solution for perlite application in construction sector. The experiments have shown that micronized expanded perlites can be converted to hydrophobic light material, by treating with MPS and VMS. Surface treatment by silane agents improved the properties of mixtures and gives the possibility for lightweight mortars and concretes production. Plasters produced with VPM-P addition showed better thermal conductivity than plaster mortars prepared with MPS-P. The elimination of water absorption property of perlite after silanization process, VPM-P and MPS-P gave the mortars of lower bulk density and of good thermal insulation of plasters. These perlites can be applied for the production of lightweight materials in construction sector and for heat insulating plasters, mortars or concretes.