

## **Wpływ redyspergowalnych proszków polimerowych na wybrane właściwości mechaniczne cienkowarstwowych zapraw cementowych**

### **Effect of redispersible polymer powders on selected mechanical properties of thin-bed cementitious mortars**

**Marcin Kulesza<sup>1</sup>, Dawid Dębski<sup>3</sup>, Jadwiga Fangrat<sup>2</sup>, Jacek Michalak<sup>1\*</sup>**

<sup>1</sup> Centrum Badawczo-Rozwojowe Atlas sp. z o.o. (Research and Development Center, Atlas sp. z o.o.), 2, Kilńskiego St., 91-421 Łódź, Poland

<sup>2</sup> Instytut Techniki Budowlanej (ITB, Building Research Institute), 1 Filtrowa St., 00-611 Warszawa, Poland

<sup>3</sup> Izohan sp. z o.o., 2 Łużycka, 81-963 Gdynia

\*corresponding author: J. Michalak, e-mail: [jmichalak@atlas.com.pl](mailto:jmichalak@atlas.com.pl)

#### **Streszczenie**

Współcześnie stosowane zaprawy budowlane to złożone układy wieloskładnikowe. Spośród składników zapraw szczególną rolę odgrywają redyspergowalne proszki polimerowe (RPP). Poprawiają one reologię świeżej zaprawy, zapewniając jednocześnie elastyczność i wytrzymałość na rozciąganie już po jej stwardnieniu. Wpływ spoiw polimerowych na właściwości zapraw budowlanych był i jest obecnie przedmiotem wielu badań. W niniejszej pracy określono jak zastosowanie różnych redyspergowalnych proszków polimerowych wpływa na wybrane właściwości zapraw cementowych, a przede wszystkim zdolność do mostkowania pęknięć, przyczepność oznaczoną jako wytrzymałość na rozciąganie, oraz odkształcenie poprzeczne.

Wyniki badań wykazują, iż wszystkie ze zbadanych RPP wpływają korzystnie na wymienione właściwości, w badanym układzie. Zdecydowanie największy wzrost przyczepności zaprawy stwierdzono dla układu z homopolimerem octanu winylu, mniejszy zaś w układach z heteropolimerami styrenowo-akrylowymi i heteropolimerami octanu winylu i etylenu. Wszystkie badane redyspergowalne proszki polimerowe w rozpatrywanym układzie zwiększają zdolność do mostkowania pęknięć zaprawy cementowej. Jednakże, najmniejszy wzrost obserwuje się dla homopolimeru akrylowego i heteropolimeru styrenowo-butadienowego. Pozostałe RPP podobnie wpływają na wzrost zdolności do mostkowania pęknięć badanej zaprawy, definiowanego jako zdolność stwardniałego materiału (zaprawy) do powstrzymania propagacji pęknięć, bez uszkodzenia. Wyniki uzyskane dla cienkowarstwowych zapraw cementowych w zakresie zdolności do mostkowania pęknięć zostały ocenione w odniesieniu do wymagań dla wyrobów nieprzepuszczających

#### **Summary**

Modern mortars are complex multi-component systems. Among the mortar components, redispersible polymer powders (RDPs) play a unique role. They improve the rheology of fresh mortar while providing flexibility and tensile strength after it has hardened. The impact of polymeric binders on mortar properties has been and is currently the subject of intensive research. This paper describes how the use of different redispersible polymer powders affects cement mortars' selected properties, i.e., crack bridging ability, adhesion determined by measurement of tensile strength and transverse deformation. Results show that all of the RDPs tested positively affect the properties of the examined system. The most significant increase in the mortar's tensile adhesion strength was observed for the system with vinyl acetate homopolymer, the lower one for the systems with styrene-acrylic heteropolymers and vinyl acetate and ethylene heteropolymers. All tested redispersible polymer powders in the considered system increase the ability to bridge cracks in cement mortar. However, the smallest increment is observed for the acrylic homopolymer and styrene-butadiene heteropolymer. Other RDPs similarly increase the mortar's cracks bridging ability under test defined as the ability of the hardened material (mortar) to stop the spread of cracks without damaging it. The results obtained for thin-bed cement mortars in terms of crack bridging ability were evaluated comparing the requirements for water-impermeable products. All examined RDPs showed a similar effect on the transverse deformation value of cement mortar.

**Keywords:** thin-bed cement mortars, redispersible polymer powders, crack bridging ability, transverse deformation, tensile strength

wodę. Stwierdzono zbliżony wpływ wszystkich badanych RPP na wartość odkształcenia poprzecznego zaprawy cementowej.

**Słowa kluczowe:** cienkowarstwowe zaprawy cementowe, redispersyjne proszki polimerowe, zdolność do mostkowania pęknięć, odkształcenie poprzeczne, wytrzymałość na rozciąganie

## 1. Wprowadzenie

Współcześnie stosowane zaprawy budowlane to złożone układy wieloskładnikowe składające się ze spoiw nieorganicznych i organicznych, wypełniaczy oraz domieszek chemicznych (1, 2). Produkowane w specjalistycznych zakładach zaprawy wystarczy jedynie zmieszać z wodą przed użyciem. Ich wprowadzenie na przełomie lat pięćdziesiątych i sześćdziesiątych ubiegłego stulecia w krajach Europy Zachodniej, pozwoliło znacznie zwiększyć wydajność pracy i obniżyć koszty. Wyeliminowało także błędy mogące wystąpić w następstwie zastosowania nieodpowiednich proporcji poszczególnych składników, w trakcie przygotowania zaprawy na budowie. Używane powszechnie w latach osiemdziesiątych w krajach Europy Zachodniej fabrycznie przygotowywane zaprawy budowlane stały się niezwykle popularne w Polsce i innych krajach Europy Środkowo-Wschodniej, po polskiej transformacji systemowej w 1989 roku. Rosnące z roku na rok wymagania użytkowników były i są nadal ważnym czynnikiem wpływającym na rozwój tej technologii. Skalę produkcji suchych zapraw budowlanych dobrze ilustrują poniższe dane. W 2018 roku światowa produkcja płytek ceramicznych wyniosła 13,1 mld m<sup>2</sup> (3), co przy założeniu średniego zużycia zaprawy na poziomie 4 kg/m<sup>2</sup> oznacza konsumpcję 52 mln ton cementowych zapraw klejących do płytek ceramicznych. A zaprawy te, to tylko jedna grupa wyrobów spośród fabrycznie przygotowywanych zapraw budowlanych, wśród której znajdują się także zaprawy do spoinowania, zaprawy do systemów ociepleń, posadzki i podkłady podłogowe, zaprawy montażowe, mineralne tynki dekoracyjne, zaprawy tynkarskie czy murarskie. Gotowe zaprawy budowlane mają jednoznacznie określone właściwości, zależnie od ich przeznaczenia.

Spośród składników modyfikujących właściwości zapraw budowlanych szczególne miejsce zajmują etery celulozy oraz spoiwa organiczne – polimerowe. Te ostatnie w technologii suchych zapraw budowlanych stosowane są w postaci redispersyjnych proszków polimerowych (RPP). Etery celulozy, zwiększają plastyczność, wpływają na lepkość, urabialność oraz zapewniają większą retencję wody w zaprawie (4-8). Spoiwa polimerowe, podobnie jak etery celulozy, wpływają zarówno na właściwości świeżych jak i związanych zapraw (9-26). RPP poprawiają reologię świeżej zaprawy, zaś po jej stwardnieniu, zapewniają przede wszystkim, jej elastyczność i przyczepność.

Wpływ spoiw polimerowych na właściwości zapraw budowlanych był i jest przedmiotem badań wielu ośrodków. Badając procesy hydratacji cementu i tworzenia się filmu polimerowego, uwagę zwracano na efekt synergii pomiędzy ziarnami cementu a czą-

## 1. Introduction

Modern mortars are complex multi-component systems consisting of inorganic binders, organic binders, fillers, and chemical admixtures (1-2). Mortars produced in specialistic plants need only be mixed with water, before use. Their introduction, at the turn of the '50s and '60s of the last century in the Western European countries, allowed to increase labor productivity and reduce costs significantly. It also eliminated errors that may occur due to applying the unproper proportions of individual components during mortar preparation at the construction site. Pre-mixed mortars commonly used in Western Europe in the 1980s became extremely popular in Poland and other Central and Eastern European countries after the Polish system transformation in 1989. The growing demands of users have been an essential factor influencing the development of factory-made mortars' technology. The following data are well illustrating the scale of dry-mix mortars production. In 2018, the global production of ceramic tiles amounted to 13.1 billion m<sup>2</sup> (3), which, assuming an average mortar consumption of 4 kg/m<sup>2</sup>, means the use of 52 million tonnes of cementitious tile adhesives. And these mortars are just one group of products among factory-prepared building mortars which include grouts adhesives for insulation systems, floors and floor underlayers, assembly mortars, and mineral decorative renders, rendering and plastering mortars as well. Dry-mix mortars are characterized by clearly defined properties, depending on their application.

Among the components that modify the properties of building mortars, cellulose ethers, and organic i.e. polymeric binders have a special place – the latter in dry mortar technology used as redispersible polymer powders (RDP). Cellulose ethers as thickeners affect viscosity, workability, and increase water retention in the mortar (4-8). Like cellulose ethers, polymer binders affect both the rheological properties of fresh mortar and after its hardening (9-26). RDPs improve the rheology of fresh mortar, but above all, they provide flexibility and adhesion tensile strength of hardened mortar.

The influence of polymer binders on the properties of building mortars has been the subject of research by many researchers worldwide. While investigating the processes of cement hydration and polymer film formation, attention was paid to the synergy between cement grains and polymer particles. The researchers' interest focused on determining the impact of the polymer on mechanical properties: compressive (9, 11, 14, 15), bending (9, 11, 14) and adhesion tensile strength (9, 11, 19), as well as setting time (17, 26). The subject of many studies were chemical and physical interactions between the polymer and cement, as to the

steczkami polimeru. Zainteresowanie badaczy koncentrowało się w znacznym stopniu, na określeniu wpływu polimeru na właściwości mechaniczne: wytrzymałość na ściskanie (9, 11, 14, 15), zginanie (9, 11, 14), rozciąganie (9, 11, 19), a także na czas wiązania (17, 26). Przedmiotem wielu badań były fizykochemiczne oddziaływania polimeru na cement, co do natury których naukowcy formułowali różne wnioski (13, 15, 18, 20, 21-25). Prowadzone przez dziesięć lat przez *Schulze'a i Killermanna* (12) badania zapraw cementowych modyfikowanych różnymi RPP, z wykorzystaniem skaningowej mikroskopii elektronowej, wykazały brak zmian morfologii polimerów w zaprawie, w czasie. *Silva i inni.* (13) badając, z wykorzystaniem termicznej analizy różnicowej (DTA), analizy termogravimetrycznej (TG) oraz skaningowej mikroskopii elektronowej (SME), wpływ kopolimerów etylenu z octanem winylu na proces hydratacji cementu, stwierdzili powstawanie octanu wapnia, w reakcji chemicznej jonów octanowych z kationami wapnia.

W Polsce wpływ redyspergowalnych proszków polimerowych na hydratację cementu był przedmiotem kilkuletnich badań prowadzonych przez *Małolepszego i Kotwicę* (22-25). Autorzy badając hydratację cementu portlandzkiego z dodatkiem RPP – kopolimeru octanu winylu i etylenu, wykazali występowanie oddziaływań cement – RPP. Nie można ich wytłumaczyć jedynie fizycznym oddziaływaniem powstającego filmu polimerowego, odcinającego hydratyzujące ziarna cementu od otaczającej je fazy ciekłej. Autorzy tych badań zwrócili uwagę na hydrolizę kopolimerów octanu winylu i etylenu, która zachodzi w układzie i prowadzi do zmian w składzie fazy ciekłej. Zmianie ulega między innymi pH roztworu w porach, wpływając na stan równowagi pomiędzy fazą ciekłą a stałymi fazami zaczynu. Tym samym, według *Kotwicy i Małolepszego* (24), oddziaływania natury chemicznej są ważne, a może nawet dominujące w układzie cement – RPP. Autorzy podkreślają, że procesy chemiczne, przebiegające w układzie zaczynu cementowy – RPP, złożonego z kopolimeru octanu winylu i etylenu, przejawiają się we wzajemnym oddziaływaniu obu składników (24, 25). Przy odpowiednio dużej zawartości polimeru w układzie występują dwie wzajemnie przenikające się struktury: mineralna i polimerowa (16, 24, 25).

RPP stosuje się powszechnie do modyfikacji cienkowarstwowych, cementowych zapraw klejących, do płytek ceramicznych. Układy te, z powodu dużego stosunku powierzchni do objętości, zmniejszają stopień hydratacji cementu, w porównaniu z zaprawami w warstwach o większej grubości i betonu (15). Cienkie warstwy zaprawy cementowej wysychają stosunkowo szybko, zawierają także więcej porów powietrznych niż układy złożone z grubych warstw, zaś pokrycie powierzchni stosowane w układach cienkowarstwowych, zmniejsza ich przyczepność (15). Z tego powodu ważnym kryterium oceny trwałości właściwości użytkowych, w przypadku cementowych zapraw klejących jest czas otwarty, tj. maksymalny czas, po naniesieniu kleju, w którym płytki mogą być osadzone w warstwie kleju tak, aby uzyskać wymaganą przyczepność (27).

Zaprawy cementowe, podobnie jak beton, mają małą wytrzymałość na rozciąganie, a tym samym są podatne na pękanie. Z tego

nature of which scientists formulated various conclusions (13, 15, 18, 20, 21-25). Research carried out for ten years by *Schulze and Killermann* (12) on cement mortars modified with various RDPs, using scanning electron microscopy [SEM], showed no change in the morphology of polymers in mortar over time. *Silva et al.* (13) investigating by means of differential thermal analysis [DTA], thermogravimetric analysis [TG], and scanning electron microscopy, the effect of ethylene-vinyl acetate copolymer on the cement hydration process, found out that in a chemical reaction of acetate ions and calcium cations, calcium acetate is formed.

In Poland, the effect of redispersible polymer powders on cement hydration was the subject of several years of research conducted by *Małolepszy and Kotwica* (22-25). The authors examining the hydration of Portland cement with the addition of RDP [vinyl acetate-ethylene copolymer] showed the presence of cement-RDP interactions. These interactions cannot be explained only by the physical interaction of the resulting polymer films, cutting off the hydrating cement grains from the surrounding liquid phase. They noted the hydrolysis of vinyl acetate-ethylene copolymers, causing changes in the composition of the liquid phase of the system, including a difference in the pH of the solution in the pores, affecting the equilibrium between the liquid phase and the solid leaven phases. Thus, according to *Kotwica and Małolepszy*, chemical interactions are significant, and maybe even dominant in the hydrating cement system - RDP (24). The authors emphasize that the chemical processes taking place in the cement paste system - RDP (vinyl acetate-ethylene copolymer) are manifested in the interaction of both components (24, 25). When the polymer content is high enough, the system has two interpenetrating structures: mineral and polymer (16, 24, 25).

Most commonly, RDP is used to modify the thin-bed of cementitious ceramic tile adhesives. Due to the high value of the surface to volume ratio, these systems have a lower degree of cement hydration than in thick-layer mortars and concrete (15). Thin-layer cement mortars dry relatively quickly, they also contain more air pores than thick-layer systems, while skin formation in thin-bed systems reduces their adhesion (15). Thus, a crucial criterion for assessing and verifying the constancy of performance in the case of cementitious adhesives is the open time, i.e., the maximum time after applying the adhesive when the tiles can be embedded in the adhesive layer, to obtain the required adhesion (27).

Cement mortars, like concrete, have low tensile strengths and are therefore prone to cracking. For this reason, cement mortars, including thin-layer ones, are modified (strengthened) with polymers. The presence of polymer in the mortar prevents the propagation of cracks that arise as a result of stresses occurring in the substrate - cement mortar – cladding system. The addition of polymers, also in the form of RDP, increases the modified mortar's cracks bridging ability. This property is one of the criteria for assessing and verifying the constancy of performance of impermeable water products, used in liquid form for ceramic tiles fixed with adhesives (28). However, the ability to bridge cracks is not evaluated in the case of adhesive for ceramic tiles, regardless of whether they are

powodu zaprawy cementowe, w tym także cienkowarstwowe, są modyfikowane, po prostu wzmacniane polimerami. Dodatek polimeru do zaprawy zapobiega rozprzestrzenianiu się pęknięć jakie powstają w następstwie naprężeń występujących w układzie podłoże – zaprawa cementowa – okładzina. Dodatek polimerów, także w postaci RPP, zwiększa zdolność do mostkowania pęknięć, modyfikowanej zaprawy. Właściwość ta jest jednym z kryteriów oceny stałości właściwości użytkowych wyrobów nieprzepuszczających wody, stosowanych w postaci ciekłej pod płytki ceramiczne, mocowane klejami (28). Jednak zdolność do mostkowania pęknięć nie jest oceniana w przypadku zapraw klejących do płytek ceramicznych, niezależnie czy stosowane są one bezpośrednio na podłożu, czy też na warstwę wyrobu do hydroizolacji, wcześniej położoną na podłożu. W obu przypadkach najsłabszym elementem układu jest zaprawa cementowa (29-31). *Francke i Piekarczuk* (30), badając mechanizm utraty właściwości funkcjonalnych zapraw nieprzepuszczających wodę zastosowanych w układzie: podłoże – wyrób do hydroizolacji – zaprawa cementowa – płytka ceramiczna stwierdzili, że przyczepność powłok wodoodpornych do podłoża betonowego jest wyższa niż przyczepność powłoki wodoodpornej z zaprawą klejową, do płytek. Autorzy stwierdzili, że niezależnie od tego czy badane próbki były lub też nie były poddane działaniu czynników zewnętrznych, z których stosowano wodę, podwyższoną temperaturę, cykle zamrażanie/rozmarzanie) uszkodzenie występowało w warstwie kleju albo między klejem a powłoką wodoodporną. Jednocześnie, co ważne, utracie przyczepności na styku powłoki wodoodpornej z klejem nie towarzyszyła utrata szczelności warstwy hydroizolacyjnej (30).

W niniejszej pracy określono wpływ różnych rodzajów RPP na zdolność do mostkowania pęknięć cementowej zaprawy cienkowarstwowej. Równocześnie określono wpływ tych samych RPP na przyczepność oraz odkształcenia poprzeczne, modyfikowanych zapraw.

## 2. Materiały i metody

### **Redyspergowalne proszki polimerowe (RPP)**

RPP wykorzystane do badań (tablica 1) były dostępnymi komercyjnie polimerami.

### **Eter metylohydroksyetylocelulozy**

Do badań użyto modyfikowaną metylohydroksyetylocelulozę [MHEC], która miała standardowy stopień eteryfikacji, mały wpływ na hydratację cementu, średni efekt zagęszczający oraz opóźnione rozpuszczanie. Lepkość 2% wodnego roztworu MHEC użytej do badań wynosiła 6000 mPa·s, według Höpplera.

### **Cement portlandzki**

Do badań użyto cement portlandzki CEM I o klasie wytrzymałości 42,5 oraz o przyspieszonym twardnieniu (R), spełniający wymagania normy EN 197-1 (32) (tablica 2).

applied directly to the substrate or a layer of waterproofing product, previously laid on the substrate. In both cases, the weakest element of the system is cement mortar (29-31). *Francke and Piekarczuk* (30), examining the mechanism of loss of functional properties of water-impermeable product used in the system: substrate – waterproofing product – cement mortar – ceramic tile, found that the adhesion of waterproofing layer to the concrete substrate is higher, than the adhesion between the waterproofing layer and tile adhesive. The authors observed that regardless of whether the tested samples were exposed or not to external factors – water, higher temperature, freeze/thaw cycles, damage occurred in the adhesive layer or between the adhesive and the waterproof coating. At the same time, what is noticeable, the loss of adhesion at the joint of the waterproofing layer – the tile adhesive was not accompanied by a loss of tightness of the waterproofing layer (30).

This paper describes the impact of various types of RDP on the crack bridging ability of cement thin-layer mortar. Simultaneously, the effect of the same RDPs on tensile adhesion strength and transverse deformation of modified mortars was determined.

## 2. Materials and methods

### **Redispersible polymer powders (RDP)**

RDPs used for the studies described in this paper are commercially available polymers. Table 1 lists the basic RDPs properties used for the examinations.

### **Methylhydroxyethylcellulose ether**

Modified methyl hydroxyethylcellulose (MHEC) was used for the tests, characterized by a standard degree of etherification, low effect on cement hydration, medium thickening effect, and delayed dissolution. The viscosity of the 2% aqueous MHEC solution used for the study was 6.000 mPa·s (according to Höppler).

### **Portland cement**

CEM I Portland cement with 42.5R strength class and accelerated hardening (R) meeting the requirements of EN 197-1 (32) was used in the tests.

### **Quartz sand**

The properties of the quartz sand used to prepare the samples is presented in Table 2.

### **Cement mortar**

The composition of mortars used for testing is shown in Table 3.

Five mortars with different RDP content, i.e. 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, and 5.0% by mass were prepared for each RDP tested. In the further part of this paper, cement mortars containing RDP are designed with the RDP symbol given in Table 1. The reference mortar did not contain RDP and, in addition to the cement and methyl hydroxyethylcellulose content in Table 2, contained 69.7% by mass of

Tablica 1 / Table 1

WŁAŚCIWOŚCI REDYSPIERGOWALNYCH PROSZKÓW POLIMERO-  
WYCH UŻYTYCH DO BADAŃ

PROPERTIES OF REDISPERSIBLE POLYMER POWDERS USED IN  
THE STUDY

Oznaczenie* Designation	Skład chemiczny Chemical composition	MFFT, °C	Tg, °C
A0	A	0	-12
SB8	SB	8	15
S0	S-A	0	14
S5	S-A	5	n.d.
H5	Vac	5	34
E0	Vac-Et	0	-7
E1	Vac-Et	1	n.d.
E4	Vac-Et	4	16
E11	Vac-Et	11	n.d.
VV6	Vac-VeoVa	6	16

\*A – akrylowy/acrylic; SB – styrenowo-butadienowy/styrene-butadiene; S-A – styrenowo-akrylowy/styrene-acrylic; Vac – octan winylu/vinyl acetate; Vac-Et – octan winylu – etylen/vinyl acetate – ethylene; Vac-VeoVa – octan winylu – ester winylowy kwasu wersenowego/vinyl acetate – vinyl ester of versatic acid; n.d. – no data.

### Piasek kwarcowy

Właściwości piasku kwarcowego stosowanego do wykonania próbek przedstawiono w tablicy 2.

### Zaprawa cementowa

Dla każdego badanego RPP przygotowano pięć zapraw o różnej jego zawartości, tj. 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 oraz 5,0% masowo. W dalszej części niniejszej pracy zaprawy cementowe zawierające RPP oznaczono odpowiednim symbolem podanym w tablicy 1. Skład zapraw wykorzystanych do badań przedstawiono w tablicy 3.

Zaprawa referencyjna (tablica 3) nie zawierała RPP, a oprócz cementu i metylohydroksyetylocelulozy zawierała 69,7% mas. piasku kwarcowego. Wszystkie zaprawy mieszano ze stałą ilością wody wynoszącą 20%, w stosunku do masy zaprawy cementowej. Zaprawy cementowe przygotowano zgodnie z metodą opisaną w rozdziale 6 normy EN 12004-2 (33). Po wymieszaniu zaprawy cementowej z wodą pozostawiono ją aby dojrzała i po 5 minutach mieszano dodatkowo jeszcze przez 15 sekund.

### Badanie przyczepności

Oznaczenie przyczepności wykonano zgodnie z ETAG 004 pkt. 5.1.4.1.2 (34). Badanie wykonano w warunkach znormalizowanych, tj. w temperaturze ( $23 \pm 2$ ) °C i wilgotności względnej ( $50 \pm 5$ )%, po 28 dniach od wykonania próbek.

### Badanie zdolności do mostkowania pęknięć

Badanie zdolności do mostkowania pęknięć zostało wykonane zgodnie z EN 14891:2012 (28). Badanie wykonano w warunkach

Tablica 2 / Table 2

WŁAŚCIWOŚCI PIASKU KWARCOWEGO

PROPERTIES OF QUARZ SAND

Właściwości / Properties	Udział masowy, % mas Mass fraction, % by mas
SiO <sub>2</sub>	99.25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.07
węglany/carbonates	0.08
Przechodzi przez sito/pass the sieve	
0.071 mm	0.00
0.10 mm	0.20
0.15 mm	9.95
0.20 mm	22.07
0.315 mm	78.30
0.40 mm	93.02
0.63 mm	99.49
0.80 mm	99.90
1.60 mm	100
średnia wielkość ziaren D <sub>50</sub> average grain size D <sub>50</sub>	0.25 mm

quartz sand. All mortars were mixed with a constant water ratio equal to 20%, based on the cement mortar's mass. Cement mortars were prepared according to the method described in chapter 6 of EN 12004-2 (33). After mixing the cement mortar with water, it was left for 5 minutes and mixed for an additional 15 seconds.

### Tensile adhesion strength test

The tensile adhesion strength determination was carried out according to the 5.1.4.1.2 of ETAG 004 (34). The test was performed under standardized conditions, i.e., at a temperature ( $23 \pm 2$ ) °C and relative humidity ( $50 \pm 5$ )%, for 28 days, after the samples preparation.

### Crack bridging ability test

The crack bridging ability test was performed according to EN 14891:2012 (28). The test was performed in standardized conditions, i.e., at the temperature  $23 \pm 2$  °C, relative humidity  $50 \pm 5$ %, and airflow velocity in the working space less than 0.2 m/s.

Tablica 3 / Table 3

SKŁAD BADANYCH ZAPRAW CEMENTOWYCH

COMPOSITION OF TESTED CEMENTITIOUS MORTARS

Składnik / Ingredient	Udział masowy, %, m/m Mass fraction, %, m/m
CEM I 42.5 R	30.0
piasek kwarcowy 0,1-0,5 mm / quartz sand 0.1-0.5 mm	64.7-69.7
MHEC	0.3
RPP / RDP	0-5.0

znormalizowanych, tj. w temperaturze  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ , wilgotności względnej  $(50 \pm 5) \%$  i prędkości przepływu powietrza w przestrzeni roboczej, mniejszej niż 0.2 m/s.

### Badanie odkształcenia poprzecznego

Badanie odkształcenia poprzecznego zapraw cementowych wykonano zgodnie z EN 12002:2008 (35) w temperaturze  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$  i wilgotności względnej  $(50 \pm 5) \%$ .

### 3. Wyniki badań i ich analiza

W tablicach 4, 5 i 6 przedstawiono uzyskane wyniki badań przyczepności, zdolności do mostkowania pęknięć oraz odkształcenia poprzecznego zaprawy cementowej, modyfikowanej RPP.

Tablica 4 / Table 4

#### PRZYCZEPNOŚĆ ZAPRAW CEMENTOWYCH ADHESION STRENGTH OF CEMENT MORTARS

RPP/RDP	Przyczepność, N/mm <sup>2</sup> Tensile adhesion strength, N/mm <sup>2</sup>				
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
Udział masowy RPP, % m/m RDP mass fraction, % m/m					
A0	0.30	0.34	0.40	0.57	0.65
SB8	0.76	0.94	0.96	1.01	1.15
S0	1.63	1.83	1.92	2.07	2.29
S5	1.12	1.73	1.85	1.93	2.13
H5	1.16	2.00	2.32	2.44	2.61
VV6	0.50	0.81	0.99	1.04	1.75
E0	0.90	0.93	0.98	1.02	1.08
E1	0.46	0.76	1.24	1.26	1.27
E4	0.68	0.89	1.69	1.73	1.74
E11	0.99	1.32	1.39	1.60	2.23

Przyczepność zaprawy wzorcowej (bez RPP) wynosiła 0,28 N/mm<sup>2</sup>.  
The adhesion of the reference mortar (without RDP) was 0.28 N/mm<sup>2</sup>.

Ważnym kryterium oceny cienkowarstwowych zapraw cementowych jest ich zdolność do przenoszenia ograniczonych deformacji podłoża. Dla trwałości układu zawierającego cienkowarstwową zaprawę cementową ważna jest jej kompatybilność z pozostałymi elementami – warstwami układu. Z tego względu analizie poddano wpływ rodzaju RPP na zdolność zaprawy cementowej do mostkowania pęknięć i odkształcalność poprzeczną. W przypadku wszystkich badanych RPP minimalna temperatura tworzenia filmu była niższa niż temperatura twardnienia zaprawy cementowej, co zapewniło właściwe i optymalne warunki do tworzenia się powłoki, czyli filmu z polimeru.

Wpływ RPP na badane właściwości mechaniczne cienkowarstwowych zapraw cementowych pokazano na rysunkach 1, 2 i 3 jako przyrost względny danej właściwości, wyrażony w procentach.

### Transverse deformation test

The transverse deformation test of cement mortars was carried out according to EN 12002:2008 (35) at the temperature  $23 \pm 2 ^\circ\text{C}$  and relative humidity of  $50 \pm 5\%$ .

### 3. Results and analysis

Tables 4, 5, and 6 present the results of tensile adhesion, crack bridging, and transverse deformation tests of RDP modified cement mortar.

Tablica 5 / Table 5

#### ZDOLNOŚĆ DO MOSTKOWANIA PĘKNIĘĆ ZAPRAW CEMENTOWYCH CRACK BRIDGING ABILITY OF CEMENTITIOUS MORTARS

RPP/RDP	Zdolność do mostkowania pęknięć, mm Crack bridging ability, mm				
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
Udział masowy RPP, % m/m RDP mass fraction, % m/m					
A0	0.13	0.14	0.15	0.17	0.31
SB8	0.10	0.14	0.24	0.32	0.36
S0	0.20	0.34	0.39	0.41	0.43
S5	0.25	0.36	0.39	0.40	0.51
H5	0.19	0.26	0.36	0.41	0.42
VV6	0.20	0.24	0.31	0.39	0.50
E0	0.25	0.34	0.38	0.41	0.41
E1	0.15	0.24	0.38	0.39	0.40
E4	0.25	0.37	0.44	0.39	0.47
E11	0.35	0.39	0.44	0.43	0.45

Zdolność mostkowania zaprawy wzorcowej (bez RPP) wynosiła 0,10 mm.  
The crack bridging ability of the reference mortar (without RDP) was 0.10 mm.

An essential criterion for assessing thin-bed cement mortar is its ability to transfer limited deformations of the substrate. For the durability of the system containing thin-bed cement mortar, its compatibility with other elements i.e. layers is essential. Thus, the work analyzes the impact of the RDP type on the cement mortar's ability to bridge cracks and transverse deformation. For all RDPs tested, the minimum film formation temperature was lower than the cement mortar's curing temperature, which ensured proper (optimal) conditions for the formation of the polymer coating (film).

The impact of RDPs on the tested mechanical properties of thin-layer cement mortars, Figs. 1, 2, and 3 show the results, obtained as a relative increase of a given property expressed in percent. The relative percentage increase is the ratio of the absolute increase – the difference between the test value and the reference value, to the reference value multiplied by 100%.

ODKSZTAŁCENIE POPRZECZNE ZAPRAW CEMENTOWYCH

TRANSVERSE DEFORMATION OF CEMENT MORTARS

RPP/RDP	Odkształcenie poprzeczne, mm Transverse deformation, mm				
	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
Udział masowy RPP, % m/m RDP mass fraction, % w/w					
A0	1.14	1.37	1.48	1.57	1.78
SB8	1.18	1.37	1.70	1.70	2.10
S0	1.25	1.38	1.63	1.85	2.13
S5	1.37	1.47	1.60	1.80	1.92
H5	1.01	1.18	1.46	1.76	2.27
VV6	1.23	1.58	1.60	1.90	2.02
E0	1.22	1.23	1.42	1.53	1.93
E1	1.33	1.35	1.47	1.80	2.10
E4	1.20	1.57	1.67	2.20	2.30
E11	1.23	1.35	1.57	1.67	2.13

Odkształcenie poprzeczne zaprawy wzorcowej (bez RPP) wynosiło 1,05 mm.

The transverse deformation of the reference mortar (without RDP) was 1.05 mm.

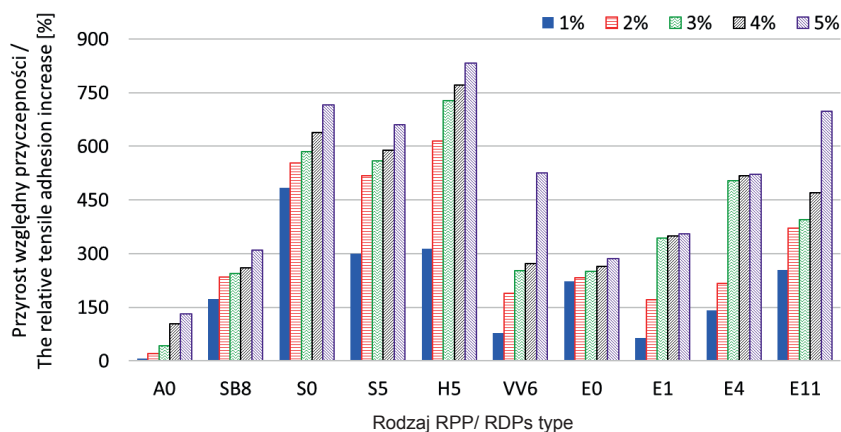
Procentowy przyrost względny jest przyrostem absolutnym, czyli różnicą pomiędzy wartością zbadaną a wartością referencyjną, odniesionym do tej wartości i pomnożony przez 100%.

Spośród badanych układów w najmniejszym stopniu na wzrost przyczepności zaprawy cementowej (rysunek 1) wpłynął redyspersyjny proszek polimerowy, oznaczony symbolem A0, będący homopolimerem akrylowym. Największy wpływ na wzrost przyczepności uzyskano w przypadku homopolimeru octanu winylu, oznaczonego jako H5. Przyczepność zaprawy cementowej zawierającej 5% mas. RPP o symbolu A0 wyniosła 0,65 N/mm<sup>2</sup>, podczas gdy dla H5 uzyskano 2,61 N/mm<sup>2</sup>, co odpowiada przyrostowi względnemu, wynoszącemu 132% dla A0 i 833% dla H5. Dla porównania należy dodać, że dla zaprawy niemodyfikowanej RPP czyli referencyjnej, przyczepność wyniosła 0.28 N/mm<sup>2</sup>. Zbliżoną do wyników uzyskanych dla H5 przyczepność uzyskano dla badanych heteropolimerów styrenowo-akrylowych S0 i S5 oraz heteropolimeru octan winylu-etylen E11, odpowiednio 2,29; 2,23 i 2,13 N/mm<sup>2</sup>. Przyrosty względne wynosiły 716, 660 i 698% dla układu zawierającego 5% masowo RPP. W przypadku pozostałych badanych RPP przyczepność była mniejsza i mieściła się w zakresie od 1,08 N/mm<sup>2</sup> dla E0 do 1,77 N/mm<sup>2</sup> w przypadku E11.

Analizując wpływ rodzaju redyspersyjnego proszku polimerowego na zdolność do mostkowania pęknięć zaprawy cementowej – rysunek 2,

Among the tested systems, the redispersible polymer powder marked with the symbol A0, an acrylic homopolymer, had the least increase in tensile adhesion strength in the tested cement mortars (Fig.1). For the vinyl acetate homopolymer designated H5, the most significant effect on the rise in tensile adhesion strength was found. The tensile adhesion strength of cement mortar containing 5% by mass of RDP A0 was 0.65 N/mm<sup>2</sup>, while for H5 2.61 N/mm<sup>2</sup> was measured, which corresponds to a relative increase of 132% for A0 and 833% for H5. For comparison, it should be added that for the unmodified RDP, thus reference mortar, the tensile adhesion strength was 0.28 N/mm<sup>2</sup>. Tensile adhesion strength was similar to the results obtained for H5 for the investigated styrene-acrylic heteropolymers S0 and S5 and the vinyl acetate-ethylene E11 heteropolymer. For mortar containing 5% by mas of RDP, respectively, 2.29, 2.23, and 2.13 N/mm<sup>2</sup>, which gives a relative increase of 716, 660, and 698% were measured. For the other RDPs tested, the tensile adhesion strength values were lower and ranged from 1.08 N/mm<sup>2</sup> for E0 to 1.77 N/mm<sup>2</sup> for E11.

Analyzing the impact of the type of redispersible polymer powder, on the ability to bridge cracks in cement mortar (Fig.2), it can be concluded that the smallest effect was found for two RDP A0 and SB8, in particular for their lower content. For the system containing 1% by mass of A0, the crack-bridging capacity was 0.13 mm, while for the system comprising 3% by mass was 0.15 mm – a relative increase of 30, and 50%, respectively. For the reference mortar – without RDP, the tested mortar's cracks bridging ability was 0.10 mm. In the case of SB8 for a content of 1% by mass of this RDP, the cracks bridging capacity of 0.10 mm – no influence, was obtained, while for a content of 3% by mass it was 0.24 mm. The other RDPs under study, significantly more effectively affected the ability of bridging mortar cracks. For the RDP addition of 5% by mass, the highest value was recorded for S5 equal to 0.51 mm, while slightly lower for VV6 – 0.50 mm and E4 (0.47 mm). It corresponds to a relative increase of 410, 396 and 366%.



Rys. 1. Przyrost względny przyczepności dla zapraw cementowych modyfikowanych różnymi dodatkami RPP

Fig. 1. The relative tensile adhesion increase for cement mortars modified with various RDP additions

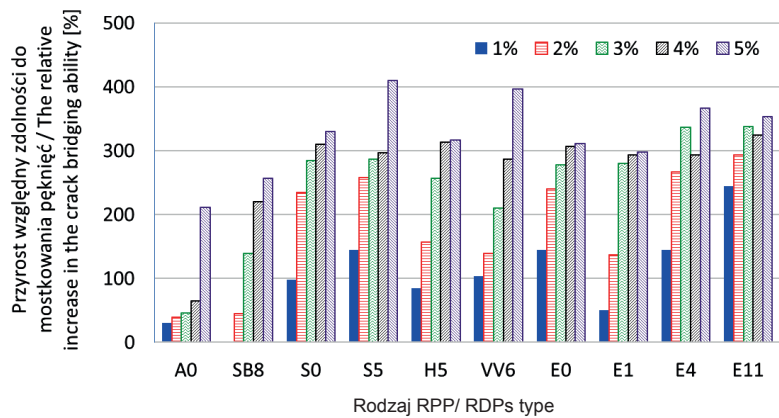
można stwierdzić, że najmniejszy efekt stwierdzono dla dwóch RPP, oznaczonych jako A0 i SB8, w szczególności dla mniejszych ich zawartości. Dla układu zawierającego 1% masowo A0 zdolność do mostkowania pęknięć wyniosła 0,13 mm, zaś dla układu zawierającego 3% masowo 0,15 mm; przyrost względny wynosił odpowiednio 30 i 50%. Dla zaprawy referencyjnej, bez dodatku RPP, zdolność do mostkowania pęknięć badanej zaprawy wyniosła 0,10 mm. W przypadku SB8 dla zawartości 1% masowo tego RPP uzyskano zdolność do mostkowania pęknięć wynoszącą 0,10 mm, a więc brak wpływu, podczas gdy dla dodatku 3% mas. 0,24 mm. Pozostałe badane RPP wpłynęły znacznie na zdolność do mostkowania pęknięć zaprawy. W przypadku zawartości RDP wynoszącej 5% masowo najwyższą zdolność odnotowano dla S5 wynoszącą 0,51 mm, zaś nieznacznie niższe dla VV6 = 0,50 mm i E4 = 0,47 mm, co odpowiada przyrostowi względnemu wynoszącemu 410, 396 i 366%.

Dla wszystkich badanych redyspergowalnych proszków polimerowych stwierdzono ich zbliżony wpływ na wartość odkształcenia poprzecznego zaprawy cementowej (rys. 3). Podobny efekt odnotowano niezależnie od zawartości RPP. I tak dla zawartości 1% masowo RPP uzyskane odkształcenia poprzeczne zawierały się w przedziale od 1,01 do 1,37 mm, a dla zawartości RPP wynoszącej 5% masowo od 1,78 do 2,13 mm, co odpowiada przyrostowi względnemu od 69 do 103%. Dla zaprawy referencyjnej bez RPP, odkształcenie poprzeczne wyniosło 1,05 mm.

#### 4. Wnioski

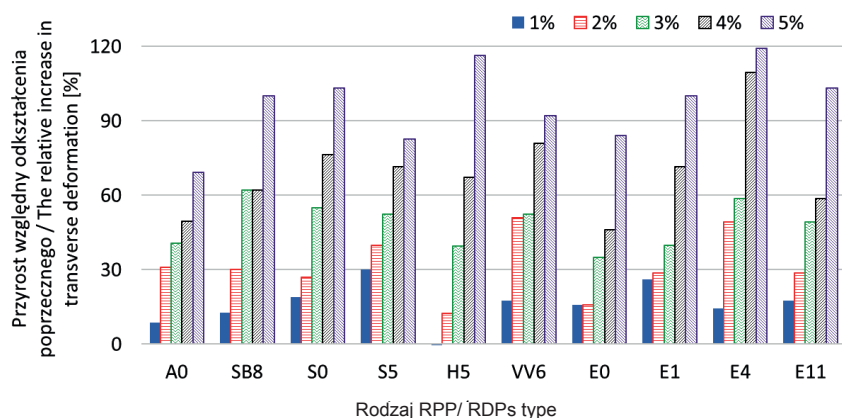
Dodatek wszystkich badanych redyspergowalnych proszków polimerowych powoduje wzrost przyczepności, zwiększa zdolność do mostkowania pęknięć oraz zwiększa odkształcalność poprzeczną zapraw cementowych. Różne polimery mają jednak różny wpływ na właściwości zapraw cementowych. W przypadku przyczepności stwierdzono znaczne różnice pomiędzy badanymi rodzajami proszków. Zdecydowanie największy wpływ na wzrost przyczepności zaprawy ma obecność homopolimeru octanu winylu H5, mniejszy wpływ stwierdzono dla heteropolimerów styrenowo-akrylowych S0 i S5 i heteropolimeru octan winylu – etylen E11. Homopolimer akrylowy A0 w najmniejszym stopniu wpływa na wzrost przyczepności zaprawy cementowej.

Wszystkie badane RPP zwiększają zdolność do mostkowania pęknięć zaprawy cementowej. Dla homopolimeru akrylowego A0 oraz heteropolimeru styrenowo-butadienowego SB8 stwierdzono najmniejszy efekt. Pozostałe RPP wpływają w zbliżony sposób na wzrost zdolności do mostkowania pęknięć badanej zaprawy – dla dodatku RPP wynoszącej 5% masowo uzyskano wyniki w przedziale od 0,40 do 0,50 mm, co odpowiada przyrostowi względnemu



Rys.2. Przyrost względny zdolności do mostkowania pęknięć zaprawy cementowej modyfikowanej różnymi dodatkami RPP

Fig. 2. The relative increase in the crack bridging ability of cement mortar modified with various RDP additions



Rys. 3. Przyrost względny odkształcenia poprzecznego zaprawy cementowej modyfikowanej różnymi dodatkami RPP

Fig. 3. The relative increase in transverse deformation of cement mortar modified with various RDP additions

For all tested redispersible polymer powders, their similar effect on the transverse deformation of cement mortar was found (Fig. 3). The same effect was noted regardless of the MPC content. And so for the content of 1% by mass of RDP the obtained transverse deformation ranged from 1.01 to 1.37 mm, and for the content of 5% by mass of RDP from 1.78 to 2.13 mm, which is the relative increase from 69 to 103%. For the reference mortar, without RDP, the transverse deformation was 1.05 mm.

#### 4. Conclusions

The addition of all tested redispersible polymer powders increases the adhesion and the ability to bridge cracks, as well as to increases the transverse deformation of cement mortars.. However, various polymers demonstrate different effects on the properties of cement mortars. In the case of tensile adhesion strength, significant differences are observed, between the types of powders tested. The most significant influence on the mortar tensile adhesion strength



od 300 do 400%. Cienkowarstwowych zapraw cementowych nie ocenia się z punktu widzenia zdolności do mostkowania pęknięć. Jedynie wyroby nieprzepuszczające wody, stosowane w postaci ciekłej pod płytki ceramiczne, w tym oparte na cemencie, podlegają ocenie w zakresie tej właściwości. Wymaga się aby w warunkach znormalizowanych zdolność do mostkowania pęknięć wynosiła nie mniej niż 0,75 mm (28).

Dla trwałości właściwości funkcjonalnych układów podłoże – cementowa zaprawa klejąca – płytki lub podłoże – wyrób nieprzepuszczający wody – cementowa zaprawa klejąca – płytka ceramiczna ważną jest kompatybilność układu w zakresie przenoszenia ograniczonych deformacji podłoża i z tego względu ma znaczenie znajomość wpływu redyspersyjnych proszków polimerowych na zdolność zaprawy do mostkowania pęknięć. Propagacja pęknięć w zaprawie cementowej modyfikowanej dodatkiem RPP jest spowolniona, ze względu na obecność polimeru. Tym samym większą naprężenia jest przenoszonych przez zaprawę modyfikowaną RPP, w porównaniu z zaprawą cementową niemodyfikowaną.

Wszystkie badane RPP wykazały zbliżony wpływ na odkształcenia poprzeczne zaprawy cementowej. Odkształcenie poprzeczne zapraw cementowych, zawierających 5% masowo badanych RPP wynosiło około 2 mm. Oceniając odkształcalność zapraw cementowych można odnieść się do wymagań w zakresie odkształcenia poprzecznego klejów cementowych (27). Dla zapraw klejących do płytek ceramicznych, klasyfikowanych jako odkształcalne, wartość odkształcenia poprzecznego powinna być większa od 2.5 mm a mniejsza niż 5 mm (27). Dla klejów cementowych, klasyfikowanych jako kleje o dużej odkształcalności odkształcenia poprzeczne powinny być większe od 5 mm (27).

Przeprowadzone badania potwierdzają, że zwiększenie przyczepności, zwiększenie zdolności do mostkowania pęknięć oraz odkształcalności poprzecznej, są związane ze wzrostem dodatku RPP do zaprawy cementowej.

## Literatura / References

1. H. Lutz, R. Bayer, „Dry Mortars” in Ullmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley Online Library, 2010. DOI: 10.1002/14356007.f16\_f01.pub2
2. J. Michalak, „Chemia budowlana. Zaprawy budowlane”, Przemysł Chemiczny **81**, 160-164 (2002).
3. L. Baraldi, „World production and consumption of ceramic tiles”, Ceram. World Rev. **30**(133), 48-63 (2019).
4. L. Patural, P. Marchal, A. Govin, P. Grosseau, B. Ruot, O. Deves, „Cellulose ethers influence on water retention and consistency in cement-based mortars”, Cem. Concr. Res. **41** (1), 46-55 (2011). DOI: org/10.1016/j.cemconres.2010.09.004
5. D. Bülchen, J. Kainz, J. Plank, „Working mechanism of methyl hydroxyethyl cellulose (MHEC) as water retention agent”, Cem. Concr. Res. **42** (7), 953-959 (2012). DOI: org/10.1016/j.cemconres.2012.03.016
6. J. Y. Petit, E. Wirquin, „Evaluation of various cellulose ethers performance in ceramic tile adhesive mortars”, Int. J. Adhes. Adhes. **40**, 202-209 (2013). DOI: org/10.1016/j.ijadhadh.2012.09.007

increase, was found for the H5 vinyl acetate homopolymer. Slightly less increase was noted for styrene-acrylic heteropolymers S0 and S5 and heteropolymer vinyl acetate-ethylene E11. Acrylic homopolymer A0 has the least effect on the increase in the tensile adhesion strength of cement mortar.

All the tested RDPs increased the crack bridging ability of cement mortar. The lowest effect was found for the A0 acrylic homopolymer and SB8 styrene-butadiene heteropolymer. Other RDPs have a similar impact on the increase in crack-bridging capacity of the mortars under tests. For the RDP content of 5% by mass, results in the range from 0.40 to 0.50 mm were obtained, which were a relative increase from 300 to 400%.

Thin-bed cement mortars are not evaluated for crack bridging ability. Only water-impermeable products, used as the liquid for ceramic tiles, including those based on cement, are assessed for this property. Crack bridging ability is required under standardized conditions, to be not less than 0.75 mm (28). For durability of the substrate’s functional properties – cement adhesive mortar – tiles or substrate – impermeable water product – cement adhesive mortar – ceramic tile, the system compatibility is essential, in terms of carrying limited deformations of the substrate. Therefore it is crucial to know the effect of redispersible powder resins on the value of cracks bridging ability of mortar. Cracks propagation in modified with RDP cement mortar is slowed down, due to the presence of polymer. Thus, more stress is transferred by the modified RDP mortars, compared to the unmodified cement mortars.

All examined RDPs showed a similar effect on the transverse deformation of cement mortar. The lateral deformation of cement mortars containing 5% by mass of RDPs tested, was about 2 mm. When assessing cement mortars’ deformability, one can refer to the requirements for lateral deformation of cement adhesives (27). In the case of adhesive mortars for ceramic tiles classified as deformable, the value of transverse deformation should be not less than 2.5 mm and less than 5 mm (27). For cement adhesives, classified as high deformability, the transverse deformation should be higher than 5 mm (27).

The research presented in this paper was confirmed that the increase of adhesion, the improvement of crack-bridging ability, and the increase of transverse deformation are related to the increment of RDP addition, in cement mortars.

7. D. D. Nguyen, L. P. Devlin, P. Koshy, C. C. Sorrell, „Impact of water-soluble cellulose ethers on polymer-modified mortars”, *J. Mater. Sci.* **49** (3), 923-951 (2014). DOI: [org/10.1007/s10853-013-7732-8](https://doi.org/10.1007/s10853-013-7732-8)
8. P. Pichniarczyk, M. Niziurska, „Properties of ceramic tile adhesives modified by different viscosity hydroxypropyl methylcellulose”, *Constr. Build. Mater.* **77**, 227-232 (2015). DOI: [org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.110](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.12.110)
9. E. Sakai, J. Sugita, J. „Composite mechanism of polymer modified cement”, *Cem. Concr. Res.* **25** (1), 127-135 (1995). DOI: [org/10.1016/0008-8846\(94\)00120-N](https://doi.org/10.1016/0008-8846(94)00120-N)
10. Y. Ohama, „Polymer-based admixtures”, *Cem. Concr. Comp.* **20** (2-3), 189-212 (1998). DOI: [org/10.1016/S0958-9465\(97\)00065-6](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(97)00065-6)
11. J. Schulze, „Influence of water-cement ratio and cement content on the properties of polymer-modified mortars”, *Cem. Concr. Res.* **29** (6), 909-915 (1999). DOI: [org/10.1016/S0008-8846\(99\)00060-5](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(99)00060-5)
12. J. Schulze, O. Killermann, „Long-term performance of redispersible powders in mortars”, *Cem. Concr. Res.* **31** (3), 357-362 (2001). DOI: [org/10.1016/S0008-8846\(00\)00498-1](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00498-1)
13. D. A. D. Silva, H. R. Roman, P. J. P. Gleize, „Evidences of chemical interaction between EVA and hydrating Portland cement”, *Cem. Concr. Res.* **32** (9), 1383-1390 (2002). DOI: [org/10.1016/S0008-8846\(02\)00805-0](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00805-0)
14. S. Pascal, A. Alliche, A., P. Pilvin, „Mechanical behaviour of polymer modified mortars”, *Mater. Sci. Eng. A*, **380** (1-2), 1-8 (2004). DOI: [org/10.1016/j.msea.2004.03.049](https://doi.org/10.1016/j.msea.2004.03.049)
15. A. Jenni, L. Holzer, R. Zurbriggen, M. Herwegh, „Influence of polymers on microstructure and adhesive strength of cementitious tile adhesive mortars”, *Cem. Concr. Res.*, **35**(1), 35-50 (2005). DOI: [org/10.1016/j.cemconres.2004.06.039](https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.06.039)
16. A. Beeldens, D. Van Gemert, H. Schorn, Y. Ohama, L. Czarnecki, „From microstructure to macrostructure: an integrated model of structure formation in polymer-modified concrete”, *Mater. Struct.* **38** (6), 601-607 (2005). DOI: [org/10.1007/BF02481591](https://doi.org/10.1007/BF02481591)
17. R. Wang, P. M. Wang, „Action of redispersible vinyl acetate and versatate copolymer powder in cement mortar”, *Constr. Build. Mater.* **25** (11), 4210-4214 (2011). DOI: [org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.060](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.04.060)
18. A. M. Betioli, P. J. P. Gleize, V. M. John, R. G. Pileggi, „Effect of EVA on the fresh properties of cement paste”, *Cem. Concr. Comp.* **34** (2), 255-260 (2012). DOI: [org/10.1016/j.cemconcomp.2011.10.004](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2011.10.004)
19. J. V. Brien, K. C. Mahboub, „Influence of polymer type on adhesion performance of a blended cement mortar”, *Int. J. Adhes. Adhes.* **43**, 7-13 (2013). DOI: [org/10.1016/j.ijadhadh.2013.01.007](https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2013.01.007)
20. R. Wang, J. Li, T. Zhang, L. Czarnecki, „Chemical interaction between polymer and cement in polymer-cement concrete”, *Bull. Pol. Acad. Sci. Tech. Sci.* **64**(4), 785-792 (2016). DOI: [org/10.1515%2Fbpbasts-2016-0087](https://doi.org/10.1515%2Fbpbasts-2016-0087)
21. G. Zhao, P. Wang, G. Zhang, „Principles of polymer film in tile adhesive mortars at early ages”, *Mater. Res. Express*, **6** (2), 025317 (2018). DOI: [org/10.1088/2053-1591/aaf2a2](https://doi.org/10.1088/2053-1591/aaf2a2)
22. Ł. Kotwica, J. Małolepszy, „Investigations on hydration of tricalcium aluminate in the presence of EVA redispersible polymer powders” *Annal. Chimie Sci. Mater.* **33** Suppl. 1, 243 (2009).
23. Ł. Kotwica, „Wpływ redyspersgowalnych proszków polimerowych na proces hydratacji wybranych minerałów klinkierowych cementu”, praca doktorska, AGH Kraków, 2009
24. Ł. Kotwica, J. Małolepszy, „The influence of ethylene - vinyl acetate copolymer redispersible powders on cement hydration”, *Cement Wapno Beton*, **14** (6), 282-291 (2009).
25. Ł. Kotwica, J. Małolepszy, „Polymer-cement and polymer-alite interactions in hardening of cement-polymer composites” *Cement Wapno Beton*, **17** (special issue), 12-16 (2012).
26. M. Kulesza, D. Dębski, J. Fangrat, „Effect of redispersible polymer powder on setting time of thin-bed mortars”, *MATEC Web of Conf.*, **163**, 04005 (2018). DOI: [org/10.1051/mateconf/201816304005](https://doi.org/10.1051/mateconf/201816304005)
27. EN 12004:2007+A1:2012 „Adhesives for tiles – Requirements, evaluation of conformity, classification, and designation”, CEN, Bruksela, (2012)
28. EN 14891:2012 „Liquid applied water-impermeable products for use beneath ceramic tiling bonded with adhesives - Requirements, test methods, assessment and verification of constancy of performance, classification and marking”, CEN, Bruksela (2012)
29. J. K. Felixberger, „Polymer-modified thin-bed tile adhesive”, BASF SE 7, Augsburg, (2008)
30. Francke, A. Piekarczyk, „Experimental investigation of adhesive failure between waterproofing coatings and terrace tiles under usage loads”, *Buildings*, **10**, 59 (2020) DOI: [org/10.3390/buildings10030059](https://doi.org/10.3390/buildings10030059)
31. M. Waldvogel, R. Zurbriggen, A. Berger, M. Herwegh, „The microstructural evolution of cementitious, flexible waterproofing membranes during deformation with special focus on the role of crazing”, *Cem. Concr. Comp.* **107**, 103494 (2020). DOI: [org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103494](https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.103494)
32. EN 197-1, „Cement. Composition, specifications and conformity criteria for common cements”, CEN, Bruksela (2011)
33. EN 12004-2, Adhesives for ceramic tiles – Part 2. Test Methods”, CEN, Bruksela (2017)
34. ETAG 004, „Guideline for European Technical Approval of External Thermal Insulation Composite Systems with Rendering”, EOTA, Bruksela (2011).
35. EN 12002, „Adhesives for tiles – Determination of transverse deformation for cementitious adhesives and grouts”, CEN, Bruksela (2008).