

dr inż. Teresa Rucińska^{1)*}inż. Olga Chańko¹⁾inż. Agnieszka Nowicka¹⁾

Wpływ rodzaju cementu i kruszywa drobnoziarnistego na właściwości zapraw

The influence of cement and fine aggregate type on the properties of mortars

DOI: 10.15199/33.2015.12.25

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań zapraw cementowych na bazie kruszywa drobnoziarnistego naturalnego i kruszyw lekkich oraz dwóch rodzajów cementu. Celem badań było wykazanie wpływu tych składników na właściwości zarówno mieszanki, jak i stwardniałej zaprawy, a ich rezultat pozwolił ocenić właściwości fizyko mechaniczne, w tym także termoizolacyjne. W badaniach potwierdzono, że specyficzna tekstura powierzchni i budowa wewnętrzna ziaren kruszywa drobnoziarnistego wyraźnie różnicują właściwości zapraw, a rodzaj zastosowanego cementu, mimo tej samej klasy wytrzymałości na ściskanie, także nie jest bez znaczenia.

Słowa kluczowe: zaprawy cementowe, lekkie zaprawy cementowe, właściwości zapraw lekkich.

Abstract. The article presents the results of the study on cement mortars with the usage of fine natural aggregates and lightweight aggregates and two types of cement. The aim of the study was to demonstrate the influence of these components on the properties of the mixture as well as hardened mortar. The results allowed to evaluate the physico-mechanical properties, including also heat-insulating ones. The studies confirmed that the specific texture of the surface and internal structure of grains of fine aggregate clearly differentiate the properties of mortars. Moreover, also the type of cement used, although of the same class of compressive strength, is not without significance.

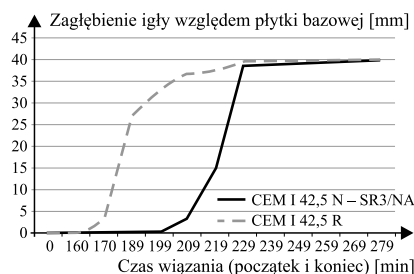
Keywords: cement mortars, lightweight cement mortars, properties of lightweight mortars.

Różnorodność spoiw i kruszyw budowlanych, a także domieszek i dodatków, umożliwia wykonanie zapraw, które łączą korzystne właściwości fizyko mechaniczne z użytkowymi. Należą do nich zaprawy na kruszywach lekkich, których zaletą są m.in. dobre właściwości termoizolacyjne. Stosowanie tego typu zapraw w znaczny sposób zwiększa energooszczędność przegród budowlanych oraz ogranicza powstawanie mostków termicznych np. w tradycyjnym murze. W artykule zaprezentowano, w jaki sposób rodzaj cementu i kruszywa drobnoziarnistego wpływa na właściwości zapraw cementowych.

Składniki zapraw

Do zapraw użyto dwóch cementów CEM I 42,5R i CEM I 42,5N-SR3/NA o ustalonej wodozadržności odpowiednio 29 i 28% oraz przebiegu wiązania przedstawionym na rysunku 1.

W zaprawach zastosowano kruszywo o zróżnicowanej strukturze (fotografia 1), a mianowicie: naturalne kwarcowe frakcji 0/2 ($\rho_o = 2,65 \text{ g/cm}^3$); lekkie glinowe Liapor frakcji 0/4 ($\rho_o = 1,84 \text{ g/cm}^3$);

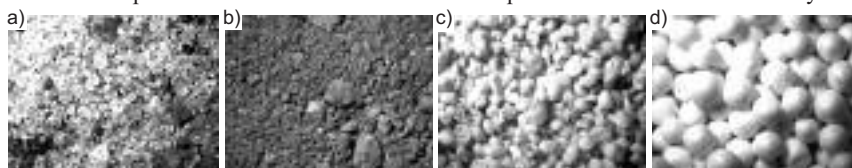


Rys. 1. Czas wiązania cementów (początek i koniec wg PN-EN 196-1)

Fig. 1. Cement bonding time (beginning and end PN-EN 196-1)

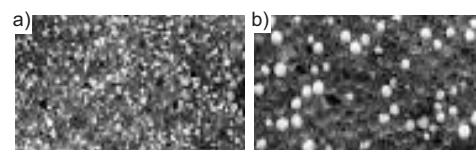
lekkie mineralne – perlit frakcji 1,4/2 ($\rho_o = 0,26 \text{ g/cm}^3$); granulaty styropianowy pochodzenia organicznego o średnicy granulki ok. 3 mm ($\rho_o = 0,032 \text{ g/cm}^3$).

Do zapraw z granulatem styropianowym i perlitem dodano domieszkę stabilizującą MasterMatrix SDC 100 w ilości 0,5% masy cementu, zmieniającą lepkość mieszanki, której zadaniem było zminimalizowanie segregacji lekkich ziaren podczas mieszania składników.



Fot. 1. Kruszywa drobnoziarniste zastosowane do zapraw w powiększeniu 10x; a) piasek kwarcowy; b) lekkie kruszywo Liapor; c) lekkie kruszywo perlit, d) granulaty styropianowy
Photo 1. Fine-grained aggregates used for mortars, magnified 10 times; a) quartz sand; b) lightweight Liapor; c) lightweight perlite, d) polystyrene granulate

ków. Z fotografii 2 wynika, że zaprawy z perlitem wykazują jednorodną strukturę (fotografia 2a), natomiast w zaprawach z granulatem styropianowym doszło do jego nierównomiernego rozmieszczenia (fotografia 2b), co potwierdzają doświadczenia badawcze prezentowane w [1].



Fot. 2. Powierzchnia przekroju; a) zaprawy z perlitem; b) zaprawy z granulatem styropianowym

Photo 2. Cross-section of: a) perlite-based mortar; b) polystyrene granulate-based mortar

Skład i właściwości zapraw

Receptura wyjściowa do ustalenia składu zapraw odpowiadała proporcji wagowej składników normowej zaprawy cementowej, przy czym $w/c = 0,5$ korygowano na etapie mieszania składników do uzyska-

¹⁾ Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Architektury

^{*} Autor do korespondencji:
e-mail: trucińska@zut.edu.pl

nia konsystencji gęstoplastycznej. Zabieg ten był konieczny z uwagi na znaczną absorpcję wody zarobowej przez kruszywo porowate Liapor i perlit [2] oraz wyraźnie niższą wodożądność granulatu styropianowego o strukturze zamkniętokomórkowej.

W celu ułatwienia identyfikacji zapraw opisano je w sposób literowo-liczbowy: zaprawa **Z**; cement do zapraw: **HSR** – CEM I 42,5N-SR3/NA; **R** – CEM I 42,5R; rodzaj użytego kruszywa objętościowo: **1** – piasek 100%; **2** – Liapor 100%; **3** – perlit + piasek (50% na 50%); **4** – granulatu styropianowy + piasek (50% na 50%). Właściwości świeżej zaprawy przedstawiono w tabelach 1 i 2. Zaprawy na piasku oraz granulacie styropianowym charakteryzują porównywalną zawartość powietrza w mieszance, co spowodowane jest brakiem porów otwartych w obu rodzajach kruszywa, w przeciwieństwie do lekkich kruszyw porowatych Liapor i perlit. Duża zawartość powietrza w zaprawach ZHSR3 i ZR3 z udziałem perlitu odpowiednio 10% i 11%, mogła być spowodowana naruszeniem struktury ziaren podczas mieszania bądź wykonania badania [3].

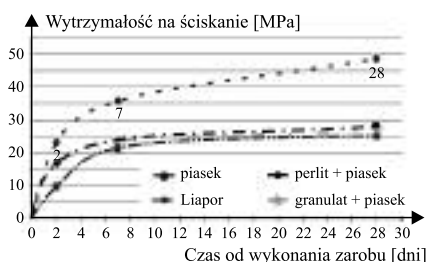
Największą gęstość objętościową wykazały mieszanki zapraw na bazie piasku. W przypadku pozostałych zapraw, wyraźny spadek gęstości wynikał ze znacznie mniejszej gęstości objętościowej zastosowanych kruszyw lekkich. Wytrzymałość zapraw na zginanie (tabela 3) i ściskanie (rysunki 2 i 3) oznaczono po 2, 7 i 28 dniach dojrzewania wg PN-EN 1015-11.

Z tabeli 3 wynika, że największą wytrzymałość na zginanie uzyskały zaprawy na bazie piasku. Korzystnie na ten parametr wpłynął cement o przyspieszonym dojrzewaniu CEM I 42,5R. Natomiast w przypadku zapraw z kruszywem lekkim największą wytrzymałość wykazały zapra-

Tabela 3. Średnia wartość wytrzymałości na zginanie zaprawy na cemencie CEM I 42,5N-SR3/NA i CEM I 42,5R po 2, 7 i 28 dniach dojrzewania

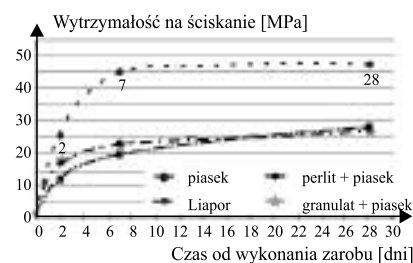
Table 3. The average 2-, 7-, and 28-day flexural strength cement-based mortars CEM I 42,5N-SR3/NA and CEM I 42,5R

Wytrzymałość na zginanie f [MPa]							
Zaprawa	Po 2 dniach	Po 7 dniach	Po 28 dniach	Zaprawa	Po 2 dniach	Po 7 dniach	Po 28 dniach
ZHSR1	1,6	2,8	3,0	ZR1	1,9	3,9	4,5
ZHSR2	0,8	1,6	2,8	ZR2	–	1,7	3,4
ZHSR3	1,3	1,8	2,4	ZR3	1,3	2,0	2,3
ZHSR4	0,6	1,6	2,0	ZR4	1,1	1,5	2,6



Rys. 2. Wytrzymałość na ściskanie w zależności od zastosowanego kruszywa; zaprawy na cemencie CEM I 42,5N-SR3/NA

Fig. 2. Aggregate-dependent compressive strength; CEM I 42,5N-SR3/NA cement-based mortars



Rys. 3. Wytrzymałość na ściskanie w zależności od zastosowanego kruszywa; zaprawy na cemencie CEM I 42,5R

Fig. 3. Aggregate-dependent compressive strength; CEM I 42,5R cement-based mortars

wy z kruszywem Liapor, ale dopiero po 28 dniach twardnienia.

W przypadku wytrzymałości na ściskanie zaprawy z udziałem mieszanki piasku z perlitem oraz granulatem styropianowym

wykazały porównywalny przyrost wytrzymałości bez względu na rodzaj użytego cementu, natomiast zaprawy z udziałem Liaporu charakteryzuje nieco powolniejszy przyrost wytrzymałości we wcześniejszym okresie, a po 28 dniach nastąpiło wyrównanie wartości. Podczas badania wytrzymałości na zginanie oraz oceny makroskopowej powierzchni przełomu próbek zauważono, że charakter zniszczenia badanych zapraw zależy przede wszystkim od rodzaju kruszywa oraz jego przyczepności do matrycy cementowej (fotografia 3).

Zaprawy na bazie piasku wykazują wyraźnie większą wytrzymałość od wytrzymałości matrycy cementowej (fotografia 3a), natomiast w przypadku zapraw na Liaporze (fotografia 3b) i perlicie (fotografia 3c) pękanie przebiega przez ziarna kruszywa, co jest wynikiem ich niewielkiej wytrzymałości mechanicznej. Udział granulatu styropianowego w zaprawach wywołuje pękanie w matrycy (fotografia 3d) z wyraźnym odspojeniem kuleczek.

Należy podkreślić korzystną relację wytrzymałości na zginanie i ściskanie zapraw z kruszywem lekkim Liapor, co jest konsekwencją chropowatej tekstury powierzchni ziaren o porach otwartych. Zaabsorbowana w nich woda w czasie mieszania składników zaprawy zostaje wykorzystana do hydratacji nieuodpornego cementu – następuje zjawisko samopielegnacji [4].

Wskutek procesu suszenia do stałej masy zdecydowanie największą różnicę gęstości wykazały kompozyty z udziałem kruszywa Liapor ok. 20%, co wynika z dużej absorpcji wody spowodowanej porowatością kruszywa oraz jego stuprocentowym udziałem w zaprawie, jako wypełniacza (rysunek 4).

Wpływ na przewodność cieplną zapraw ma głównie struktura, porowatość oraz stan wilgotności materiału [5]. W analizowanym przypadku badanie przeprowadzono na próbkach sezonowanych 28 dni nad wodą oraz po ich wysuszeniu do stałej masy (tabela 4). W badaniach współ-

Tabela 1. Wyniki pomiaru właściwości mieszanki zapraw na cemencie CEM I 42,5N-SR3/NA

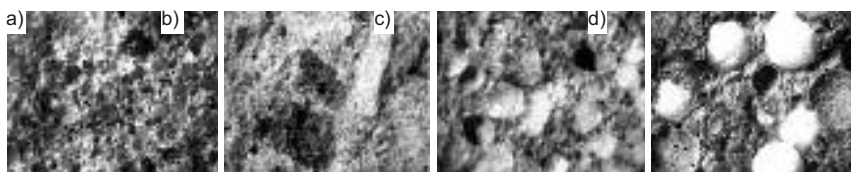
Table 1. The measurement properties of cement-based mortar mixture CEM I 42,5N-SR3/NA

Rodzaj zaprawy	Kruszywo	Wartość rozprywu [mm]	Zawartość powietrza [%]	Gęstość objętościowa ρ_m [kg/m ³]
ZHSR1	piasek	106,3	5,5	2230
ZHSR2	Liapor	119,8	7,7	1730
ZHSR3	perlit 50%/piasek 50%	136,0	10	1840
ZHSR4	granulat styropianowy 50%/piasek 50%	126,3	5,8	1700

Tabela 2. Wyniki pomiaru właściwości mieszanki zapraw na cemencie CEM I 42,5R

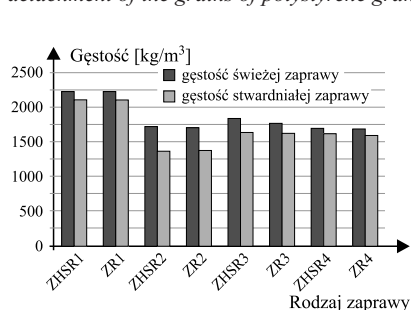
Table 2. The measurement properties of cement-based mortar mixture CEM I 42,5R

Rodzaj zaprawy	Kruszywo	Wartość rozprywu [mm]	Zawartość powietrza [%]	Gęstość objętościowa ρ_m [kg/m ³]
ZR1	piasek	116,3	5,6	2230
ZR2	Liapor	111,0	7,4	1710
ZR3	perlit 50%/piasek 50%	129,5	10	1770
ZR4	granulat styropianowy 50%/piasek 50%	126,3	5,4	1690



Fot. 3. Charakterystyka pęknięcia zapraw pod działaniem siły skupionej. Grupa zapraw: a) Z1 – pęknięcie w matrycy cementowej; b) Z2 i c) Z3 – pęknięcie przebiegające przez ziarna kruszywa odpowiednio Liapor i perlit; d) Z4 – pęknięcie w matrycy cementowej z wyraźnym odspajaniem ziaren granulatu styropianowego

Photo 3. Fracture of mortars induced by a concentrated force. Group of mortars: a) Z1 – fracture within the cement matrix, b) Z2 and c) Z3 – fracture running through the grains of Liapor and perlite respectively, d) Z4 – fracture within the cement matrix with a visible detachment of the grains of polystyrene granulate



Rys. 4. Gęstość objętościowa świeżej zaprawy wg PN-EN 1015-6 i stwardniałej w stanie suchym wg PN-EN 1015-10

Fig. 4. Bulk density of fresh mortar according to PN-EN 1015-6 and of hardened mortar in its dry state according to PN EN 1015-10

Tabela 4. Średnie wartości współczynnika przewodzenia ciepła badanych zapraw, oznaczone metodą niestacjonarną za pomocą aparatu ISOMET 2104

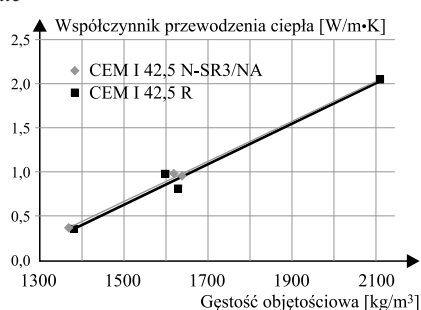
Table 4. The average coefficient of thermal conductivity of tested mortars, measured by a non-stationary method with ISOMET 2104 apparatus

Kruszywo w zaprawie	Pasek		Liapor		Perlit/pasek		Granulat/pasek	
Oznaczenie zaprawy z uwagi na rodzaj cementu	HSR	R	HSR	R	HSR	R	HSR	R
Współczynnik λ zapraw w stanie wilgotnym [W/(m·K)]	2,39	2,53	0,74	0,75	1,37	1,21	1,25	1,31
Współczynnik λ zapraw po wysuszeniu do stałej masy [W/(m·K)]	2,05	2,05	0,37	0,36	0,96	0,81	0,99	0,98
Procentowy spadek współczynnika przewodzenia ciepła po wysuszeniu zapraw do stałej masy [%]	14,26	18,81	50,0	52,29	30,18	32,74	20,72	24,64

czynnik przewodzenia ciepła potwierdzono, że porowatość pozostaje w ścisłym związku z gęstością objętościową materiałów, gdyż wraz ze wzrostem porowatości maleje gęstość objętościowa ρ_o (rysunek 5).

Kapilarne podciąganie wody ma wpływ na trwałość materiałów [6, 7]. W rozpatrywanym przypadku najwyższym współczynnikiem absorpcji cechują się zaprawy na bazie kruszywa lekkiego Liapor oraz perlitu (rysunek 6). Duża liczba otwartych porów przelotowych łącznie z porami kapilarnymi matrycy cementowej powoduje transport wody w górę materiału. Mimo że w zaprawie z perlitem występował taki sam udział objętościowy piasku, zauważono znaczną różnicę wartości współczynnika absorpcji oraz masy zaabsorbowanej wody.

Pasek oraz granulat styropianowy o porach zamkniętych (fotografie 4 i 5), wpływ



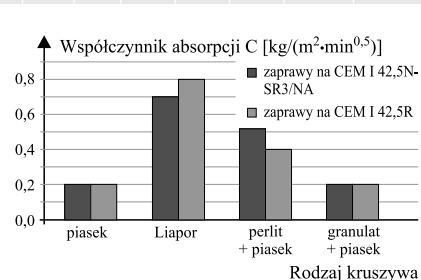
Rys. 5. Zależność współczynnika przewodzenia ciepła od gęstości objętościowej zaprawy w stanie suchym

Fig. 5. Relation between the coefficient of thermal conductivity and bulk density of dried mortar

Tabela 4. Średnie wartości współczynnika przewodzenia ciepła badanych zapraw, oznaczone metodą niestacjonarną za pomocą aparatu ISOMET 2104

Table 4. The average coefficient of thermal conductivity of tested mortars, measured by a non-stationary method with ISOMET 2104 apparatus

Kruszywo w zaprawie	Pasek		Liapor		Perlit/pasek		Granulat/pasek	
Oznaczenie zaprawy z uwagi na rodzaj cementu	HSR	R	HSR	R	HSR	R	HSR	R
Współczynnik λ zapraw w stanie wilgotnym [W/(m·K)]	2,39	2,53	0,74	0,75	1,37	1,21	1,25	1,31
Współczynnik λ zapraw po wysuszeniu do stałej masy [W/(m·K)]	2,05	2,05	0,37	0,36	0,96	0,81	0,99	0,98
Procentowy spadek współczynnika przewodzenia ciepła po wysuszeniu zapraw do stałej masy [%]	14,26	18,81	50,0	52,29	30,18	32,74	20,72	24,64

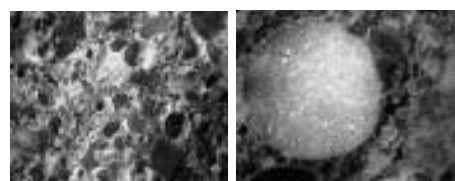


Rys. 6. Masa zaabsorbowanej wody w badanych zaprawach

Fig. 6. Mass of absorbed water in tested mortars

wają w analogiczny sposób na zjawisko kapilarnej absorpcji wody.

Na podstawie obserwacji stwierdzono, że kruszywo i jego struktura w dużym stopniu determinują proces absorpcji spowodowanej kapilarnym podciąganiem wody. Utrata masy próbek badanych zapraw podczas suszenia wyraźnie wskazała różnicę



Fot. 4. Struktura zaprawy z piaskiem, powiększenie 30x

Photo 4. Structure of sand-based mortar, magnified 30 times

Fot. 5. Ziarno granulatu styropianowego z widoczną strukturą porów zamkniętych, powiększenie 35x

Photo 5. Grain of polystyrene granulate with a visible structure of closed pores, magnified 35 times

pomiędzy kruszywem z porami otwartymi a tym, które charakteryzuje brak porów lub ich zamknięta struktura. Zaprawy na kruszywie Liapor i mieszance piasek + perlit oddawały wodę znajdującą się zarówno w porach kruszywa, jak i matrycy, podczas gdy zaprawy na piasku i mieszance typu piasek + granulat styropianowy, wodę znajdującą się głównie w matrycy.

Rezultaty przeprowadzonych badań wskazują na związek zastosowanego kruszywa drobnoziarnistego z właściwościami fizykomechanicznymi zapraw. W mniejszym stopniu jest to zależne od cementu o różnej sprawności narastania wytrzymałości w pierwszych dniach dojrzewania, chociaż nie jest bez znaczenia.

Wszystkie fotografie i rysunki – Autorki

Literatura

- [1] Rucińska T., Kiernożycki W., Właściwości mechaniczne betonu z kruszywem styropianowym i ich wzajemne zależności, Cement-Wapno-Beton nr 5/2010, wrzesień – październik 2010, Wydawnictwo Naukowe „AKAPIT” Kraków, s. 289 – 295.
- [2] Domagała L., Problemy projektowania i wykonawstwa betonów lekkich z kruszyw spiekanych, Przegląd Budowlany, nr 12/2005, s. 22 – 29.
- [3] Gołek Ł., Pichór W.: Modyfikowane zaprawy izolacyjne na bazie perlitu. Dni Betonu „Tradycja i nowoczesność”, 9 – 11 październik 2006, Wisła, s. 570 – 577.
- [4] Neville A. M., Właściwości betonu, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków październik 2012, s. 758 – 761.
- [5] Garbalińska H., Siwińska A.: Badania wpływu zawilgocenia materiałów ściennych na ich współczynnik przewodzenia ciepła, Inżynieria i Budownictwo, nr 11, 2011, s. 611 – 614.
- [6] Garbalińska H., Wygocka A., Microstructure modification of cement mortars: Effect on capillarity and frost-resistance, Construction and Building Materials 51 (2014) s. 258 – 266.
- [7] Abdrahman A., Dynamika podciągania kapilarnego w murach budowlanych, Przegląd Budowlany nr 9/2010, s. 46 – 48.

Przyjęto do druku: 14.04.2015 r.