

Wpływ temperatury na właściwości spoiwa odzyskanego z odpadów betonowych

The temperature effect on the properties of the binder recovered from waste concrete

1. Wstęp

Każdego roku wykorzystuje się 10 miliardów ton surowców nieorganicznych, a także niemal tę samą ilość organicznych. Równocześnie 10-90% tych surowców kończy swoją żywotność jako odpady, które następnie przedostają się do atmosfery i wód oraz zanieczyszczają glebę, a jako odpady przemysłowe mają niekorzystny wpływ na środowisko naturalne (1-4). Sytuacja ta wskazuje na konieczność poszukiwania surowców niekonwencjonalnych.

Obecnie w całym kraju składa się setki milionów metrów sześciennych odpadów betonowych i żelbetowych. Podczas rozbioru starych budynków ogromne ilości cegieł, betonu i szkła lądują na składowisku odpadów, gdzie zajmują znaczny obszar, choć wciąż stanowią cenne surowce wtórne, które można wykorzystać do produkcji wielu materiałów budowlanych. Tymczasem niewykorzystany gruz i elementy betonowe składowane na wysypiskach lub pod ziemią, zanieczyszczają środowisko naturalne. Równocześnie należy zwrócić uwagę, że wywóz odpadów budowlanych prowadzi do straty dużych pokładów cennych materiałów, do których zaliczamy kruszywa, cement i stal zbrojeniową (4).

Recycling betonu rozpoczął się w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XX wieku. Działania te narodziły się w krajach europejskich, w których grunty przeznaczone pod wysypiska były najdroższe. Na obszarze dawnego ZSRR działania te rozpoczęto w Moskwie we wczesnych latach osiemdziesiątych, również z powodu wysokich kosztów terenów przeznaczonych na składowiska odpadów. Pierwszy raz kruszony gruz budowlany wykorzystano jako warstwę podkładową, przy układaniu nawierzchni drogowych i do wyrównywania nierówności terenu, szczególnie w okolicach górskich (5-8).

Do tej pory odpady betonowe z powodzeniem wykorzystuje się jako wypełniacze lub kruszywa, do produkcji różnorodnych materiałów budowlanych (7-12).

Celem niniejszych badań jest wykazanie możliwości ponownego wykorzystania spoiwa i kruszywa drobnziarnistego z odpadowego

1. Introduction

Each year people use approximately 10 billion tons of mineral and almost the same amount of organic raw materials. At the same time, 10% -99% of these raw materials are transformed into wastes that are emitted into the atmosphere and discharged in water as well as are polluting the ground (1-4). The industrial wastes affect negatively the environment and the climate (1-4). This situation is indicating that it is necessary to look for unconventional raw materials, for their application in industry.

Currently, in the country there are accumulated hundreds of millions of cubic meters of waste concrete and reinforced concrete. During the demolition of old buildings, a large number of bricks, concrete and glass wastes, which are transported to the landfill and stored, were occupying a considerable area, while being valuable secondary raw materials for the manufacture of many building materials. The unusable concrete and concrete elements disposed in landfills, or buried in the ground, thereby they are polluting the environment. It should also be taken into account that the disposal of waste concrete leads to the loss of a significant amount of expensive materials - aggregates, cement, and steel reinforcement (4).

The reuse of concrete waste started in the 1970s and 1980s. This work was initiated in the European countries, where the price of land for dumps was the highest. On the territory of the former USSR, the work was carried out in Moscow, in the early 80s, where there was also the factor of high cost of land for dumps. The first use of crushed concrete began in applying it as a bedding course for temporary roads and for filling the voids and ravines (5-8).

By now, much work has been done on the use of concrete waste as the filler or the aggregate, in the production of various building materials (7-12).

The purpose of this study is to show the possibility of reuse of binder and fine aggregate with thermal impact on the fine fraction, formed in the manufacture of coarse filler, from concrete waste.

betonu. Przeprowadzono także badania wpływu obróbki cieplnej na drobną frakcję, powstałą w procesie otrzymywania gruboziarnistych wypełniaczy, z gruzu betonowego.

2. Część doświadczalna

2.1. Materiały i metody

Do badania wykorzystano następujące materiały:

- gruz betonowy na kruszywie keramzytowym typu „claydite” klasy B5; B10; B30 – zgodnie z Normą Krajową,
- gruz betonowy na kruszywie agloporytowym klasy B12,5; B10; B25 – zgodnie z Normą Krajową.

W celu aktywacji kruszonego betonu zastosowano obróbkę mechaniczną, a także termiczną.

Aktywacja mechaniczna obejmowała mieszanie, bez dodatkowego przetwarzania żwiru w wytwórniach betonu oraz rozdrabnianie w młynie kulowym. Jakość aktywowanego tłuczniwa oceniono przede wszystkim ze względu na uziarnienie, nasiąkliwość oraz ciężar objętościowy (13).

Aktywację termiczną pokruszonego betonu przeprowadzono z wykorzystaniem frakcji betonu, rozdrobnionych do średnicy 50-70 mm. Opracowanie warunków obróbki cieplnej ustalono przeprowadzając prażenie betonu klasy B5 w 500°, 650°, 800°C, w czasie wynoszącym od 30 do 90 minut.

W celu pozyskania spoiwa, wypalony gruz betonowy zmielono w młynie kulowym, otrzymując próbki o różnych powierzchniach właściwych. Wytrzymałość spoiwa otrzymanego z wypalonego gruzu betonowego została następnie oceniona poprzez zbadanie wytrzymałości na zginanie i ściskanie.

3. Wyniki i analiza

3.1. Aktywacja gruzu betonowego poprzez obróbkę cieplną.

Wytwarzanie tłuczniwa nie jest najefektywniejszym wykorzystaniem wtórnym betonu. Efektywniejsza jest metoda odzyskiwania zaprawy lub – ogólnie – keramzytobetonu typu „claydite”, która sprowadza się do ograniczonego oddziaływania termicznego oraz tworzenia „wtórnych” krzemianów przy zastosowaniu pokruszonych frakcji betonu, o średnicy 50-70 mm.

W celu ustalenia korzystnej temperatury aktywacji termicznej betonu oraz uzyskania spoiwa o zróżnicowanych właściwościach, sprawdzono najkorzystniejsze metody prażenia gruzu betonowego. Korzystny wpływ obróbki termicznej sprawdzono poddając kalcynacji odpadowy beton klasy B5, w temperaturach 500°, 650° 800°C [rysunek 1].

Wyniki wpływu temperatury prażenia gruzu betonowego oraz rozdrobnienie do korzystnej powierzchni właściwej spoiwa przy zastosowaniu tego gruzu, przedstawiono w tablicy 1.

2. Experimental

2.1. Materials and methods

For this study the following materials were selected:

- waste concrete based on expanded clay aggregate “claydite” of class B5; B10; B30 – according to the National Standard,
- waste concrete based on expanded clay aggregate “aglaporite” of class B12,5; B25 – according to the National Standard.

Mechanical and thermal treatment were used for the activation of crushed concrete.

For mechanical activation a simple mixing, without additional processing of gravel in mixing plants, and processing in the ball mills with metallic balls, were used. The quality of activated crushed stone was evaluated by the water absorption and bulk mass (13).

Thermal activation of crushed waste concrete of class B5 was conducted using the fractions, obtained by crushing to the size of 50-70 mm in diameter. The choice of the modes of thermal effects was carried out by calcining waste concrete at 500°, 650°, 800°C, with the time intervals from 30 to 90 minutes.

To obtain binder the fired waste concrete was ground in the ball mill and the specimens with different surface area were produced. The strength of the binder from fired waste concrete was evaluated by the bending and compression strength tests (14).

3. Results and discussion

3.1. The activation of waste concrete by thermal treatment

The production of crushed stone from concrete is not the most effective way of using secondary concrete (4, 15). More effective is the regeneration of the mortar or, in general, claydite-concrete, the essence of which is in the limited thermal effect and the creation of the secondary calcium silicates based on crushed concrete fractions, with a diameter of 50-70 mm.

To optimize the temperature of the thermal activation of concrete and to obtain a complex binder, separated from the solution part, the choice of firing regimes of the concrete waste was studied. The choice of the modes of thermal treatment was carried out by calcination of class B5 at a temperature of 500°, 650°, 800°C [Fig.1].

The results of the choice of the calcining temperature of a concrete waste and the specific surface of a binder after this treatment, are given in Table 1.

The experimental results have shown, that with constant parameters of temperature and duration of thermal treatment, the increase of the activity of the regenerated binder is significantly affected by the increase of the specific surface area. Thus, with the change in the specific surface area within 400-800 m²/kg, the activity of the regenerated binder has increased in the range 1.5-1.8 times.

Analiza wyników przeprowadzonych doświadczeń wykazała, że przy zastosowaniu stałej temperatury i czasu obróbki, powierzchnia właściwa ma decydujący wpływ na zwiększenie aktywności, odzyskiwanego spoiwa. W związku z tym przy zmianie powierzchni właściwej w granicach 400-800 m²/kg aktywność odzyskiwanego spoiwa wzrosła od 1,5 do 1,8 razy.

Kolejnym ważnym czynnikiem wpływającym na zwiększenie aktywności spoiwa jest temperatura prażenia, która przyczynia się do całkowitego odzyskania nieuwodnionych ziaren cementu. Wynika z tego, że zmiana temperatury prażenia gruzu betonowego do 500-650°C, przy zachowaniu stałego czasu tego procesu i powierzchni właściwej produktu, zwiększa aktywność odzyskiwanego spoiwa o około 50%.

Zmiana wytrzymałości matrycy cementowej po poddaniu obróbce cieplnej w temperaturze 500-650°C – rysunek 1, jest związana z rozkładem hydratów i następującego po nim szybkiego chłodzenia. Stanowi ona podstawę technologicznego procesu oddzielania kruszywa od matrycy cementowej.

W trakcie badania ustalono następujące warunki prażenia oraz właściwości materiałów:

- frakcja tłuczna z gruzu betonowego 70 mm;
- prażenie w temperaturze 650°C;
- czas prażenia 60 minut.

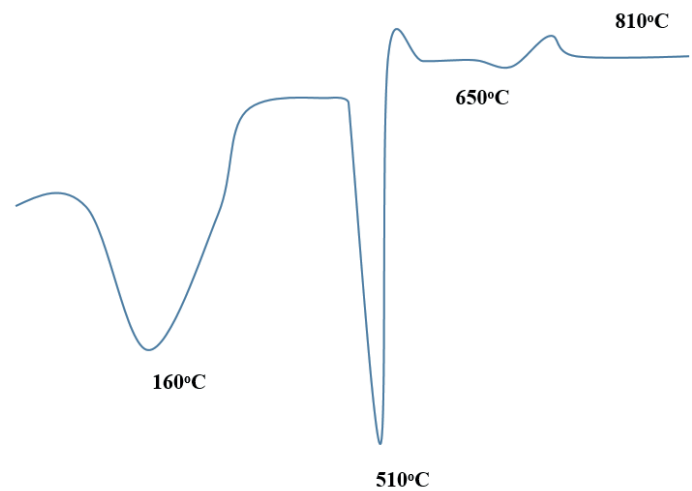
3.2. Wytwarzanie spoiwa

Spoiwo otrzymuje się przez mielenie całkowitej masy betonu, a zaprawę – przez zmielenie betonu, po uprzednim oddzieleniu kruszywa o dużym uziarnieniu.

Z odpadowego betonu uzyskano spoiwo i zaprawę poprzez zmielenie betonu prażonego w korzystnych warunkach, w temperaturze 650°C, przez różny okres oraz zmielenie do powierzchni właściwej wynoszącej 390 do 800 m²/kg. Wyniki badań tych spoiw pokazano na rysunku 2. Otrzymane wyniki pozwoliły na stwierdzenie, że korzystna powierzchnia właściwa spoiwa wynosi 600-700 m²/kg.

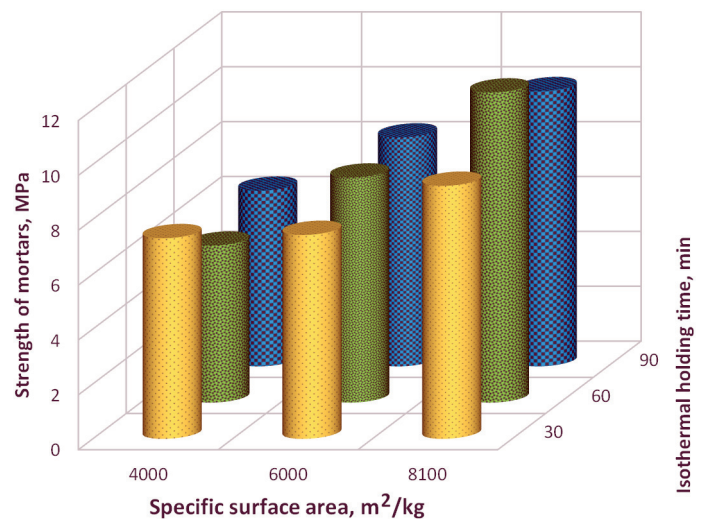
Przy zastosowaniu odpadowego betonu innych klas zbadano wpływ ich właściwości na otrzymane spoiwa. Wyniki pomiarów wytrzymałości na ściskanie i zginanie zapraw na spoiwach otrzymanych z odpadowych betonów różnych klas, podano w tablicy 2.

Z wyników przedstawionych w tablicy 2. można wywnioskować, że aktywność odzyskanego spoiwa wzrasta wraz z klasą wyjściowego betonu odpadowego. Wzrost aktywności odzyskanego spoiwa jest spowodowany zmianą zawartości matrycy cementowej, która waha się w granicach 15% do 30%, dla badanych klas betonu. Aktywność odzyskanego spoiwa jest 1,5-1,7 razy wyższa niż aktywność spoiwa uzyskanego z prażonego gruzu betonu najniższej klasy. W odróżnieniu od zaprawy, spoiwa są zróżnicowane i różnią się znacznie zawartością faz aktywnych i inertywnych dodatków, które powstają podczas mielenia porowatego kruszywa. Odzyskane spoiwo o wytrzymałości przekraczającej 30 MPa może być z powodzeniem stosowane w zaprawach i betonach komórkowych.



Rys. 1. Krzywa termiczna odzyskanego spoiwa

Fig. 1. The DTA curve of the regenerated binder



Rys. 2. Zależności wytrzymałości zapraw otrzymanych z gruzu betonowego klasy B5, po prażeniu w temperaturze 650°C i zmieleniu do kilku powierzchni właściwych

Fig. 2. Dependences of the mortars strength obtained from waste concrete class B5 after thermal treatment at 650°C and ground to several specific surface area

The second important factor affecting the increase of binder activity is the thermal treatment temperature, which promotes a complete regeneration of the non-hydrated grains of cement. Thus, the change in the calcining temperature of the waste concrete within 500-650°C, at constant parameters of the treatment time and the specific surface area, gives the increase of the activity of the regenerated binder by a factor of 1.4.

The change in the strength of cement matrix, when exposed to the calcining temperature in the range of 500-650°C – Fig. 1, is associated with the process of dehydration and subsequent cooling, is the basis of the technological process of separating the aggregate from the binder matrix by self-reduction.

Tabela 1 / Table 1

WYTRZYMAŁOŚĆ SPOIW OTRZYMANÝCH Z GRUZU BETONOWEGO KLASY B5

STRENGTH OF BINDERS OBTAINED FROM THE B5 GRADE WASTE CONCRETE

Temperatura prażenia / Calcining temperature, °C *	500			650			800		
Powierzchnia właściwa / Specific Surface area, m ² /kg	390	610	800	410	600	810	410	610	800
Zawartość wody / Water content, ml	235	232	226	230	236	226	226	223	220
Metoda rozplywu / Cone flow, mm	110	110	109	108	107	108	108	109	109
Wytrzymałość na zginanie / Bending strength, MPa	1,34	2,04	2,39	2,09	2,32	2,46	2,25	2,65	3,73
Wytrzymałość na ściskanie / Compressive strength, MPa	3,79	5,94	7,42	5,72	8,20	11,3	6,54	8,28	9,40

* – warunki izotermiczne/izotermic conditions 60 min.

4. Podsumowanie

Na podstawie uzyskanych wyników doświadczalnych wyciągnięto następujące wnioski:

1. Aby otrzymać dobrej jakości kruszywo z odpadowego betonu, należy usunąć matrycę cementową oraz małe cząstki kruszywa.

The following rational parameters of thermal treatment and the properties of materials are established experimentally:

- size fraction of crushed stone from concrete waste to 70 mm;
- the thermal treatment at the temperature of 650°C;
- the calcining time of 60 minutes.

Tablica 2 / Table 2

WYTRZYMAŁOŚCI ZAPRAW ZE SPOIW ODZYSKANYCH Z GRUZU BETONOWEGO RÓŻNYCH KLAS

STRENGTHS OF THE MORTARS OF REGENERATED BINDERS, OBTAINED FROM DIFFERENT CLASSES OF CONCRETE WASTE

Klasa betonu wyjściowego View and class of the original concrete	Rodzaj spoiwa* Type of binder*	w/c	Rozplyw Flow, mm	Wytrzymałość zaprawy / Strength of the mortar, MPa			
				Zginanie / Bending		Ściskanie / Compression	
				Po obróbce termicznej i zawilgoceniu After the thermal and humidity treatment	28 dni twardnienia w normalnych warunkach 28 days of hardening at normal condition	Po obróbce termicznej i zawilgoceniu After the thermal and humidity treatment	28 dni twardnienia w normalnych warunkach 28 days of hardening at normal condition
Keramzytobeton typu „claydite“ Claydite concrete B5	Zróżnicowane Complex	0,41	107	1,3	2,8	4,7	5,2
	Z zaprawy From the mortar part	0,42	109	1,8	3,4	6,2	8,7
Keramzytobeton typu „claydite“ Claydite concrete B10	Zróżnicowane Complex	0,41	107	2,6	3,6	11,4	12,6
	Z zaprawy From the mortar part	0,41	107	3,1	3,8	16,2	18,7
Keramzytobeton typu „claydite“ Claydite concrete B30	Zróżnicowane Complex	0,42	112	3,6	4,1	19,6	24,2
Agloporytobeton Aglaporite concrete B12,5	Z zaprawy From the mortar part	0,43	112	1,4	2,3	4,8	5,7
Agloporytobeton Aglaporite concrete B25	Zróżnicowane Complex	0,41	107	2,7	3,3	8,1	9,8
	Z zaprawy From the mortar part	0,42	108	9,6	15,36	26,9	32,2

*o powierzchni właściwej/with a specific surface area; S = 700 m²/kg

Zaleca się użycie młyna kulowego. Młyn kulowy wpływa na formowanie się tłuczni bez cząstek, stanowiący korzystny dodatek na linii produkcyjnej, w produkcji kruszyw wtórnych.

2. Aby uzyskać spoiwo z zaprawy z odpadowego betonu na kruszywie keramzytowym, wymagana jest obróbka cieplna kruszonego betonu w temperaturze 650°C. Rozmiar kruszyw nie powinien przekraczać 70 mm. Czas prażenia powinien wynosić 60 minut. Spoiwo powinno zostać zmielone do powierzchni właściwej (Blaine) 600 m²/kg.

3. Wykazano, że w zależności od pochodzenia odpadowego betonu możliwe jest uzyskanie spoiw o różnych wytrzymałościach. O ile z odpadowego betonu z kruszywem keramzytowym typu „claydite” możliwe jest uzyskanie spoiwa o wytrzymałości do 10 MPa, to wytrzymałość ta może wynosić nawet 30 MPa, jeśli beton pierwotny zawierał agloporyt.

Literatura / References

1. S.E. Donskoy, O mehanizmah likvidatsii ekologicheskogo uscherba, svyazannogo s proshloy deyatelnostyu, Ekologiya proizvodstva, № 3, p. 3-11 (2013) (rus).
2. B.V. Gusev, E.V. Putlyayev, V.A. Tyan, Nekotorye printsipy utilizatsii vtorichnykh materialnykh resursov v stroitelstve, Izvestiya vuzov “Stroitelstvo i arhitektura”, №12, p. 58-61, (1990) (rus).
3. M. Yu, D. K-S. Bazhenov, S-A. Bataev, Yu. Murtazaev, Energo-i resursosberegayushchie materialy i tehnologii dlya remonta i vosstanovleniya zdaniy i sooruzheniy, M.: Komteh-Print 2006, p. 235 (rus).
4. B.V. Gusev, V. D. Zagurskiy, Vtorichnoe ispolzovanie betonov, Stroyizdat, p. 97 (1988) (rus).
5. B.D. Kryilov, B.V. Gusev, L.D. Malinina, i dr. Rekomendatsii po primeneniyu produktov pererabotki nekonditsionnykh betonnykh i zhelezobetonnykh izdeliy, p. 9, NIIZhB 1984.
6. K.N. Popov, Novyye stroitelnyie materialy i materialy iz promyshlennyykh othodov, M.: Logos-Razvitie 2002, p. 152 (rus).
7. N. Kisku, H. Joshi, M. Ansari, S.K. Panda, Sanket Nayak, Sekhar Chandra Dutta, A critical review and assessment for usage of recycled aggregate as sustainable construction material, Constr. Build. Mat., 131, 30, 721-740 (2017).
8. Jin-Jun Xu, Zong-Ping Chen, Yan Xiao, Cristoforo Demartino, Jun-Hua Wang, Recycled Aggregate Concrete in FRP-confined columns: A review of experimental results, Composite Structures, 174, 15, 277-291 (2017).
9. Suvash Chandra Paul, Data on optimum recycle aggregate content in production of new structural concrete, Data in Brief, 15, 987-992 (2017).
10. J. Michael, Mark Davis McGinnis, Andres de la Rosa, Brad D. Weldon, Yahya C. Kurama, Strength and stiffness of concrete with recycled concrete aggregates, Construction and Building Materials, 154, 15, 258-269 (2017).
11. Ángel Salesa, José A. Pérez-Benedicto, David Colorado-Aranguren, Pedro L. López-Julián, Luis M. Esteban, Luis J. Sanz-Baldúz, José L. Sáez-Hostaled, Juan Ramis, Daniel Olivares, Physico-mechanical properties of multi-recycled concrete from precast concrete industry, Journal of Cleaner Production, 141, 10, 248-255 (2017).
12. C. Thomas, J. Setián, J. A. Polanco, Structural recycled aggregate concrete made with precast wastes, Constr. Build. Mat., 114, 1, 536-546 (2016).

3.2. The binder production

The binder is obtained by grinding the all mass of concrete, and the mortar is obtained after the separation of a coarse aggregate and grinding of the mortar part.

The production of the binder and mortar, extracted from waste concrete, was carried out by grinding pre-calcined concrete at the optimal parameters of the thermal treatment at the temperature of 650°C, the various isothermal exposures and ground to a specific surface of 390 to 800 m²/kg. The tests of these binders are shown in Fig. 2. The results obtained allowed us to select the optimum specific surface area of the binder equal 600-700 m²/kg.

The relationship of the properties of regenerated binders of the concrete waste classes was found. These properties are better when higher classes of waste concrete were used. The results of the tests of compressive and bending strength of mortars measurements, based on regenerated binders obtained from different classes of concrete waste, are given in Table. 2.

From the results presented in Table 2, it can be seen that the activity of the regenerated binder is increasing with the increase of the class of the applied waste concrete. The increase in the activity of the regenerated binder is caused by a change in the cement content, which is in the range of 15% to 30%, for the concrete classes studied. The activity of the regenerated binder from the cement matrix is 1.5-1.7 times higher than the activity of the complex binder, obtained from the same class of calcined concrete waste. Unlike the extract of the mortar, the complex binder is characterized by a significant content of the active phases and inert additives, which are formed during the grinding of the porous aggregate. The resulting regenerated binder, gaining strength above 30 MPa, will be effective, especially for mortars and aerated concrete.

4. Conclusion

Based on the results of the investigation, the following conclusions are drawn.

1. To obtain the aggregate of good quality from concrete waste, cement matrix and small particles of the waste must be removed. The use of ball mill is recommended. It promotes the formation of crushed stone, without small particles therefore it can be include into the technological line for the production of secondary aggregates at any plant producing concrete.
2. To obtain the recovered binder from the mortar part of the concrete waste, based on expended-clay aggregates, the thermal treatment of crushed concrete is required at up to 650°C. The aggregates must have the size of 70 mm. Time of thermal activation must be 60 minutes. Binder must be milled up to Blaine surface of 600 m²/kg.
3. It is shown that depending on the source of concrete it is possible to obtain a binder with the different strength. From waste concrete based on “claydite” is possible to produce a binder having

13. Russian Standard GOST 8267-93. Shcheben i graviy iz plotnykh gornykh porod dlya stroitelnykh rabot. Tekhnicheskiye usloviya [Crushed stone and gravel of solid rocks for construction works. Specifications]. (rus).

14. Russian Standard GOST 10180-2012. Betony. Metody opredeleniya prochnosti po kontrolnym obraztsam [Concretes. Methods for strength determination using reference specimens]. (rus).

15. S.N. Vladimirov, Problemy pererabotki othodov stroitelnoy industrii, Sistemnyie tehnologii, 19, 2, 101-105 (2016) (rus).

up to 10 MPa, and binder can reach up to 30 MPa, if the concrete consisted of expanded clay aggregate "aglaporite".