

Sposób wytwarzania kruszywa lekkiego z osadów ściekowych i kruszywo lekkie

Przedmiotem wynalazku jest sposób wytwarzania kruszywa lekkiego z osadów ściekowych pozwalający na obniżenie temperatur technologicznych, zastosowaniu osadów ściekowych i roztworu poreakcyjnego po syntezie zeolitów oraz kruszywo lekkie uzyskane tym sposobem.

Dotychczas znanych jest wiele sposobów wytwarzania kruszyw lekkich. Do najbardziej popularnych należą metody polegające na wypaleniu gliny i dodatków w temperaturach od około 900 do 1300°C.

Z opisu zgłoszenia patentowego nr CN107188601 (A) znane jest wytwarzanie porowatego materiału ceramicznego z komunalnych osadów ściekowych w ilości 70-80%, 15-25% sproszkowanego węgla, 1-5% sproszkowanego karborundu i 2-10% fosforanu wapnia. Uformowany materiał wysuszono w temperaturze 100-120°C przez 40 minut, kolejno wypalono w piecu stopniowo zwiększając temperaturę od 120 do 600°C przez 80 minut, następnie do około 1060°C. Otrzymano materiał ceramiczny, którego nasiąkliwość nie przekracza 10%, gęstość nasypowa-500 kg/m³, a wytrzymałość na ściskanie-0,4 MPa.

Z dokumentu patentowego nr PL210921 (B1) znane jest otrzymywanie kruszywa lekkiego z odpadów komunalnych i przemysłowych polegający na tym, że osady ściekowe z oczyszczalni ścieków o zawartości od 15 do 25% składników palnych miesza się z pyłem krzemionkowym oraz z rozdrobnionym odpadem szklanym. Otrzymaną mieszaninę w postaci gęstej pasty poddaje się granulowaniu do postaci granulek o określonej wielkości, które po wysuszeniu są spiekane w temperaturze od 1000° do 1200°C w czasie od 0,5 do 2 godzin.

Z opisu zgłoszenia wynalazku nr EP1841708 (A2) znany jest sposób produkcji kruszywa z osadów ściekowych i materiałów odpadowych w postaci popiołów glinokrzemianowych, nie zawierającym węgla, o zmiennej zawartości wapnia. Dodatkowo materiał odpadowy zawiera popioły ze spalania odpadów komunalnych, pyły z pieców cementowych, odpady szklane, żużel wielkopiecowy, odpady z wydobycia granitu. Zmielony materiał odpadowy (korzystne mielenie na mokro) wymieszano i poddano procesowi termicznemu w wyniku czego otrzymano kruszywo lekkie, zwykle, o powierzchni zeszkliwionej.

Z dokumentu patentowego US4943233 (A) znane jest wytwarzanie kruszywa z łupków ilastych w ilości 30%, osadów ściekowych w ilości 60% oraz 10% żużli wielkopieczowych o wysokiej zawartości wapnia. Po wymieszaniu składników w młynie kulowym, uformowano granule, które wypalono w temperaturze 2000°C w piecu obrotowym z zastosowaniem paliwa.

Z opisu zgłoszenia patentowego nr CN107021734 (A) znane jest wytwarzanie keramzytu z popiołu ze spalania odpadów komunalnych w procentach masowych od 60 do 75, 10- 15% popiołów lotnych, 10 do 30 części gliny, od 5 do 10% perlitu ekspandowanego oraz wodę, która stanowi od 20 do 40% całkowitej masy stałych surowców. Przygotowany materiał ceramiczny spełnia standardowe wymagania dotyczące kruszyw lekkich, które posiadają wysoką wytrzymałość oraz niewielką gęstość.

Z dokumentu patentowego CA1337359 (C) znane jest wytwarzanie kruszywa z osadów odseparowanych ze ścieków przy zastosowaniu gliny i flokulantów. Osad wypalany jest w wysokiej temperaturze w celu otrzymania ceramicznych cząstek. Utleniona materia organiczna oraz metale ciężkie związane w strukturze kruszywa nie wymywają się, otrzymany materiał można zastosować do betonu.

Z dokumentu patentowego US4943233 (A) znany jest proces wytwarzania kruszywa lekkiego z odwodnionego osadu ściekowego, łupka ilastego oraz żużla wielkopieczowego jako topnika.

Z dokumentu patentowego US2016052823 (A1) znany jest proces wytwarzania syntetycznego kruszywa lekkiego z gliny i z co najmniej jednego strumienia odpadów, takiego jak olej odpadowy lub osad ściekowy. Mieszanie formuje się w granulki i poddaje procesowi wypalania w różnych temperaturach, w których następuje kalcynacja i pęcznienie wyrobu. Otrzymane lekkie kruszywo syntetyczne o niskiej gęstości może mieć zastosowanie jako materiał budowlany do izolacji cieplnej.

Z chińskiego dokumentu patentowego CN107311687 (A) znane jest wytwarzanie keramzytu z bentonitu w ilości 5-10% wagowych, 3-5% słomy, 30-50% popiołu lotnego i komunalnego osadu. Kruszywo lekkie spełnia wymagania GB/ T17431.1-2010 dla sztucznych kruszyw lekkich.

Z opisu zgłoszenia wynalazku nr EP1571135 (A2) znany jest sposób wytwarzania kruszywa i cegły z gliny oraz osadów ściekowych, które są mułem

organiczno-mineralnym o zawartości wody od 20% do 50% wagowych. Wsuszony materiał w temperaturze od 25° do 120°C spiekano w pierwszej fazie w temperaturze od 500° do 750°C, a następnie w temperaturze od 900° do 1200°C. W zgłoszonym wynalazku został również przedstawiony inny produkt otrzymany tym sposobem, 5 czyli w postaci cegły odpornej na działanie wody.

Z opisu zgłoszenia patentowego nr EP1226099 (A1) znane jest wytwarzanie kruszywa z popiołu lotnego i osadów ściekowych. Ze zmieszanych składników tworzy się pellet, który wprowadzono do pieca obrotowego ze współprądowym kierunkiem powietrza. W wyniku spalania materii organicznej oraz pęcznienia materiału powstaje 10 kruszywo lekkie.

Z dokumentu patentowego nr KR20160147371 (A) znane jest wytwarzanie porowatych kruszyw lekkich o wysokiej wytrzymałości. Zgodnie z niniejszym wynalazkiem mieszanina ceramiczna do przygotowania kruszyw zawiera: 15 30-50 części wagowych wody i osadu ściekowego, 10-20 części wagowych szlamu, 20-30 części wagowych skalenia, 20-30 części wagowych czerwonej gliny, 10-15 części wagowych miki, 5-10 części wagowych stłuczki, 1-2 części wagowych środka powierzchniowo czynnego, 1-2 części wagowe dodatku spieniającego. Utworzone kruszywa są lekkimi materiałami o dużej wytrzymałości i mogą mieć szerokie zastosowanie.

Z dokumentu patentowego nr CN108218272 (A) znane jest wytwarzanie syntetycznego kruszywa lekkiego z granulowanego żużla wielkopiecowego, proszku z recyklingu z betonu i popiołów z osadów ściekowych. Po zmieszaniu składników dodano do nich środka wiążącego, następnie zgranulowano na granulatorze poprzez natryskiwanie wodą. Otrzymane kruszywa o wytrzymałości na miążdzenie 0,5 MPA 25 można zastosować do produkcji betonu i materiałów do budowy dróg.

Z opisu zgłoszenia patentowego nr CN107188601 (A) znany jest sposób wytwarzania kruszywa lekkiego z 70-80% szlamu komunalnego, 15-25% sproszkowanego węgla, 1-5% sproszkowanego karborundu i 2-10% fosforanu wapniowego. Po wymieszaniu wszystkich składników zastosowano metodę 30 formowania tłoczego przy użyciu ciśnienia 5-15 MPa. Wsuszony materiał w temperaturze 100-120°C przez 40 minut, umieszczono w piecu, w którym stopniowo zwiększano temperaturę od 120 do 600°C przez 80 minut, a następnie do około 1060°C z prędkością nagrzewania 5-10°C/min. Otrzymane kruszywo lekkie ma

nasiąkliwość nie większą niż 10%, gęstość nasypową nie większą niż 500 kg/m³, a wytrzymałość na ściskanie nie mniejszą niż 0,4 MPa.

Opis zgłoszenia patentowego nr GB2174381 (A) zawiera informacje dotyczące mechanizmu tworzenia się z osadów ściekowych i gliny, w wyniku reakcji
5 w odpowiednio podwyższonej temperaturze pewnej ilości materiału w fazie szklistej, która łączy masę ze sobą a po ochłodzeniu uzyskuje się twardy i mocny produkt w postaci kruszywa.

Z opisu zgłoszenia patentowego nr PL342459 (A1) znany jest sposób termicznej utylizacji komunalnych osadów ściekowych, który charakteryzuje się tym,
10 że określoną ilość suchej masy ustabilizowanego osadu ściekowego dodaje się do naturalnego surowca w postaci gliny. Sposób według ww. zgłoszenia służy do bezodpadowej utylizacji osadów ściekowych do produkcji lekkiego kruszywa budowlanego typu keramzyt.

Znane jest z artykułów Latosińska J., Zygałło M., Symultaniczny odzysk
15 materii i energii z osadów ściekowych w produkcji materiałów spiekanych, Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, Vol. 11, nr 4, 2009, s. 37-56, ISSN czasopisma: 1733-4381 oraz Latosińska J., Zygałło M., Kruszywo lekkie na bazie mas ceramicznych z osadów ściekowych, Prace Naukowe Instytutu Budownictwa Politechniki Wrocławskiej, Konferencje, vol. 80, nr 29, 2001, s.113-118, ISSN
20 czasopisma 0324-9883, stosowanie mieszaniny osadu ściekowego z gliną do otrzymywania kruszywa lekkiego typu keramzyt, które wypalano w temperaturze 1100-1200°C. Z ww. publikacji znany jest wpływ osadu ściekowego na wzrost porowatości całkowitej kruszywa, na spadek gęstości kruszywa oraz na obniżenie temperatury wypalania. Jak wynika z publikacji Latosińska J., Zygałło M.,
25 Symultaniczny odzysk materii i energii z osadów ściekowych w produkcji materiałów spiekanych, Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska, vol. 11, nr 4, 2009, s. 37-56, optymalny udział osadów ściekowych w zestawie surowcowym wynosi na poziomie 5-10% .

Znane jest z artykułu Król M., Wons W., Brylska E., Wróbel B., Mozgawa W.,
30 Wypalane kruszywo lekkie z dodatkiem zeolitów po sorpcji substancji ropopochodnych, MATERIAŁY CERAMICZNE 68, ISSN 1505-1269, 3 2016, s. 259-265 sposób wykorzystania zużytego sorbentu zeolitowego jako składnika modyfikującego skład mieszanki surowcowej do otrzymywania wypalanego

w temperaturze 1170°C kruszywa lekkiego oraz przedstawiono metody pomiarowe wraz z wykonywanymi badaniami mającymi na celu określenia składu fazowego kruszywa lekkiego wraz z dyfraktogramami i widmami IR potwierdzającymi uzyskane rezultaty.

5 Znane jest z artykułu González–Corrochano B., Alonso–Azcárate J., Rodas M., Barrenechea J. F., Luque F. J., Microstructure and mineralogy of lightweight aggregates manufactured from mining and industrial wastes, *Construction and Building Materials*, nr 25, 2011, s. 3591–3602, kruszywo lekkie otrzymane w wyniku
10 zmieszania surowych osadów ściekowych (W) oraz suchych osadów ściekowych w różnych proporcjach (S): W:S=75:25, W:S=50:50, W:S=25:75), które wypalano w zmiennych temperaturach: 1150°C, 1175°C, 1200°C, 1225°C. Otrzymano kruszywo o gęstościach charakterystycznych dla kruszyw lekkich. Przykładowo gęstość kruszywa W:S=25:75 wypalonego w temperaturze 1150°C wynosiła 0,9 g/cm³, kruszywa W:S=50:50 – 1,03 g/cm³, kruszywa W:S=75:25 – 1,34 g/cm³.
15 Nasiąkliwość zmniejszała się proporcjonalnie z obniżeniem ilości suchych osadów ściekowych (SS) i wynosiła odpowiednio: W:S=25:75–70,14%, W:S=50:50–57,79%, W:S=75:25–33,64%. Dostyc niska wytrzymałość na miążdzenie kruszywa W:S=25:75% równa 0,5 MPa wynika z obecności pęknięć między cząstkami, większych rozmiarów porów, które są podłużne i połączone.

20 Możliwe jest wytworzenie kruszywa z popiołów ze spalania osadów ściekowych i gliny dodawanej w różnych w ilościach, a sposób ten został opisany w publikacji Cheeseman C. R., Viridi G. S., Properties and microstructure of lightweight aggregate produced from sintered sewage sludge ash. *Resources Conservation and Recycling*, nr 45 (1), s. 18–30, 2005. Kruszywo wypalone
25 w temperaturze 1060°C ma gęstość 1,35 g/cm³, a nasiąkliwość 8%. Zwiększanie ilości gliny w mieszaninie surowcowej do otrzymania kruszywa nie wpłynęło znacząco na właściwości kruszyw. Optymalna temperatura wypalania mieści się w przedziale 1050°–1070°C.

 Znany jest również z artykułu Pichór W., Latosińska J., Możliwości
30 wykorzystania keramzytu modyfikowanego komunalnym osadem ściekowym do wytwarzania betonów lekkich, *Materiały z Konferencji „Dni betonu. Tradycja i nowoczesność”*, Kraków 2006, sposób otrzymania keramzytu z uwodnionych osadów ściekowych (80%), których udział masowy w mieszance surowcowej wynosił

4% suchej masy osadu, zaś resztę stanowiła glina. Temperatura wypalania kruszyw wynosiła 1170°C. Dodatek osadów ściekowych podwyższa porowatość całkowitą kruszyw natomiast obniża ich gęstość pozorną w porównaniu do kruszywa niemodyfikowanego.

5 Z publikacji Qi Y. F., Yue Q. Y., Han S. X., Yue M., Gao B., Zhao Q., Yu H., Shao T., Preparations and mechanism of ultra-lightweight ceramics produced from sewage sludge, *Journal of Hazardous Materials*, nr 176, s. 76–84, 2010, znany jest sposób wytworzenia kruszywa z uwodnionych osadów ściekowych w ilości 20–30% wagowych oraz ilitu. Otrzymano kruszywo lekkie nietoksyczne o gęstości nasypowej
10 330,8 kg/m³, gęstości objętościowej–865,3 kg/m³ oraz nasiąkliwości–5,3%.

Sposobem wytwarzania kruszywa lekkiego jest zastosowanie osadów ściekowych i osadów rzecznych, które opisano w publikacji Xu G., Liu M., Li G., Stabilization of heavy metals in lightweight aggregate made from sewage sludge and river sediment, *Journal of Hazardous Materials*, nr 260, s. 74–81, 2013.
15 Osady ściekowe, osady rzeczne i krzemianu sodu zmieszano stosunkiem wagowym 1: 1: 0,1 (wag./wag.), do których dodano wodę. Następnie z mieszaniny wytworzono granulki o średnicy 6–10 mm, które suszono w temperaturze pokojowej (25°C) przez 5 dni, potem w temperaturze 110°C przez 24 godziny, następnie wypalono z prędkością 8°C/min w piecu muflowym, w temperaturze 200, 600 i 800, 950, 1000,
20 1050, 1100, 1150 i 1200°C przez 30 min. Proces spiekania powyżej 1100°C spowodował efektywną stabilizację form metali ciężkich w strukturze glinokrzemianowej i krzemianowej kruszywa.

Znany jest również z artykułu Chiou I.-J., Wang K.-S., Chen Ch.-H., Lin Y.-T., Lightweight aggregate made from sewage sludge and incinerated ash, *Waste
25 Management*, nr 26, s. 1453–1461, 2006, sposób wytwarzania kruszywa lekkiego z osadów ściekowych w ilości 10%, 20%, 30% wagowych i z popiołów z osadów ściekowych, które zmieszano i wypalono w temperaturze 1050°C, 1100°C i 1150°C przez 10 i 20 minut. Wzrost temperatur wypalania kruszyw zawierających 10% wag. osadów ściekowych obniża ich gęstość nasypową. Najniższą gęstość nasypową
30 mają kruszywa z udziałem 20% i 30% osadów ściekowych wypalane w temperaturze 1100°C przez 10 minut i wynosi odpowiednio 0,78–0,82 i 0,76–0,83 g/cm³. Kruszywo z dodatkiem 10% osadów ściekowych i 90% popiołów z osadów ściekowych wypalane w temperaturze 1050°C przez 10 minut ma najwyższą gęstość, która

wynosi $1,78 \text{ g/cm}^3$, nasiąkliwość równą 30,49%. Wzrost temperatury i czasu wypalania kruszyw obniża ich nasiąkliwość.

Z opisu patentowego PL 224734 (B1) znany jest sposób wytwarzania zeolitów z popiołów lotnych i NaOH, który polega na tym, że do reaktora wprowadzono 90 l wody i podawano NaOH w formie granulek w ilości 12 kg po czym mieszano za pomocą mieszadła oraz pompy membranowej. Następnie dodano substrat reakcji syntezy, którym był popiół lotny pochodzący ze spalania węgla kamiennych, który po uzyskaniu zadanej masy został zsypywany do ww. reaktora w ilości 20 kg. Następnie całość mieszaniny podgrzano. Po osiągnięciu temperatury 60°C w reaktorze uruchomiono sekwencyjnie mieszadło z pompą membranową aż do ogrzania do zadanej temperatury 90°C . Po osiągnięciu zadanego czasu reakcji i temperatury reakcji partię produktu reakcji skierowano na prasę hydrauliczną, w której oddzielono powstały materiał zeolitowy od roztworu wodnego NaOH.

Celem wynalazku jest otrzymanie kruszywa lekkiego z wykorzystaniem osadów ściekowych, gliny oraz roztworu poreakcyjnego po syntezie zeolitów będący wodnym roztworem NaOH przy użyciu mikrofal.

Istotą sposobu wytwarzania kruszywa lekkiego z osadów ściekowych i gliny jest to, że do mieszaniny powstałej z gliny w ilości od 75% do 95% masowych suchej mieszaniny i osadów ściekowych w ilości od 5% do 25% masowych suchej mieszaniny dodaje się roztwór poreakcyjny po syntezie zeolitów w postaci wodnego roztworu NaOH, w ilości od 80 do 110% masowych suchej mieszaniny, po czym całość miesza się do uzyskania plastycznej konsystencji i tworzy granule o średnicy od 8 do 16 mm, które suszy się w temperaturze pokojowej przez okres od 1 h do 1,5 h. Granule poddaje się działaniu mikrofal o minimalnej mocy 1000 W przez okres od 3 do 5 min, wskutek czego wytwarza się granule z gliny, osadów ściekowych i mieszaniny w postaci glinokrzemianu o strukturze nefelinu.

Istotą kruszywa lekkiego zawierającego glinę i osady ściekowe jest to, że składa się z gliny w ilości od 45,73 do 49,95% masowych, osadów ściekowych w ilości od 2,63 do 15,24% masowych oraz mieszaniny w postaci glinokrzemianu o strukturze nefelinu w ilości od 39,03 do 47,42% masowych powstałego po odparowaniu przez suszenie i działanie mikrofal poreakcyjnego roztworu wodnego NaOH po syntezie zeolitów.

Korzystnym skutkiem wynalazku jest obniżenie energii i temperatury utwardzania kruszyw poprzez zastosowanie mikrofal co wiąże się z niższą energią i temperaturą uzyskania kruszyw lekkich z osadów ściekowych. Dodatkowo sposób według wynalazku pozwala na zmniejszenie emisji związków niebezpiecznych wydobywających się podczas produkcji kruszywa. Kolejną zaletą jest oszczędzanie nieodnawialnych naturalnych surowców mineralnych, zastosowanie roztworu poreakcyjnego po syntezie zeolitów, w postaci wodnego roztworu NaOH, które pozwala na jego zagospodarowanie, zmniejszenie opłat za każdą tonę wydobytego surowca naturalnego, zmniejszenie powierzchni składowania osadów ściekowych, a tym samym opłat z tym związanych oraz bezpieczne pozbycie się odpadu. Poza tym zostają obniżone koszty instalacji do ich obróbki biologicznej, chemicznej i termicznej oraz przeróbki zmniejszającej ich masę i objętość. Dodatkowo zastosowanie jest uniwersalne – wynalazek może być stosowany z geotechnice, ogrodnictwie, inżynierii środowiska, w budownictwie.

Sposób obniżenia temperatur technologicznych kruszywa lekkiego według wynalazku zachowuje właściwości fizykomechaniczne wyprodukowanych kruszyw lekkich takie jak posiadają kruszywa wypalane w temperaturach od 900 do 1300°C, w tym gęstość właściwą, gęstość pozorną, gęstość nasypową, nasiąkliwość, odporność na miazdzenie.

Przykład 1.

Kruszywo lekkie, przeznaczone do produkcji betonu lekkiego, przygotowano w laboratorium według składu przedstawionego w tabeli 1.

Tabela 1. Udział procentowy składników mieszanki w pierwszym przykładzie wykonania

Nazwa składnika Mieszanki	Udział masowy składników w mieszanki [%]
Gлина 0,063/0,1 mm	75
Osad ściekowy o gęstości 0,79 g/cm ³ ,	25

Osobno wytworzono roztwór poreakcyjny po syntezie zeolitów będący wodnym roztworem NaOH w ten sposób, że do reaktora opisanego w opisie patentowym nr PL 224734 (B1) wprowadzono 90 l wody i podawano NaOH w formie granulek w ilości 12 kg po czym mieszano za pomocą mieszadła oraz pompy membranowej. Następnie dodano substrat reakcji syntezy, którym był popiół lotny pochodzący ze spalania węgla kamiennych o składzie: 42,02% wagowych SiO₂, 19,77% wagowych Al₂O₃, 6,18% wagowych Fe₂O₃, 2,29% wagowych K₂O, 1,33% wagowych TiO₂, 1,30% wagowych CaO, 1,23% wagowych P₂O₅, 0,69% wagowych MgO, 0,35% wagowych SO₃, 0,15% wagowych ZrO₂, 0,13% wagowych SrO, 0,10% wagowych BaO, 0,09% wagowych NiO, 0,08% wagowych MnO, 0,06% wagowych V₂O₅ i stratach prażenia 24,23%, który po uzyskaniu zadanej masy został zsypywany do ww. reaktora w ilości 20 kg. Następnie całość mieszaniny podgrzano. Po osiągnięciu temperatury 60°C w reaktorze uruchomiono sekwencyjnie mieszadło z pompą membranową aż do ogrzania do zadanej temperatury 90°C. Po osiągnięciu zadanego czasu reakcji 36 h system grzania wyłączono. Partie produktu reakcji skierowano na prasę hydrauliczną, w której oddzielono materiał zeolitowy od roztworu wodnego NaOH.

Osobno do gliny o frakcji 0,063/0,1 mm ze złoża „Budy Mszczonowskie” o składzie: 66,50% wagowych SiO₂, 14,30% wagowych Al₂O₃, 5,10% wagowych Fe₂O₃, 2,20% wagowych MgO, 1,37% wagowych K₂O, 0,43% wagowych Na₂O, 0,32% wagowych CaO, 0,22% wagowych TiO₂, 0,04% wagowych SO₃, 0,02% wagowych P₂O₅, stratach prażenia 9,5%, w ilości 200 g – 75% suchej mieszaniny, dodano osady ściekowe z oczyszczalni ścieków mechaniczno-biologicznej o składzie chemicznym: azot ogólny 4,39% s. m. (suchej masy), azot amonowy 0,43% s. m., fosfor ogólny 0,65% s. m., magnez 0,38% s. m., cynk 802,34 mg/kg s. m., miedź 134,78 mg/kg s. m., ołów 11,2 mg/kg s. m., nikiel 18,74 mg/kg s. m., kadm 2,59 mg/kg s. m., gęstości 0,79 g/cm³, zawartości substancji organicznej 68%, stratach prażenia 60,65%, CHZT-136423 mg/dm³, LKT-92 mg/dm³, w ilości 66,7 g - 25% suchej mieszaniny i mieszano przez 1 min w mieszadle.

Następnie dodano roztwór poreakcyjny po syntezie zeolitów w postaci wodnego roztworu NaOH, otrzymanego według powyżej przedstawionej procedury, w ilości 80% masowo suchej mieszaniny – 213,4 g i mieszano przez kolejne 180 s aż

do uzyskania plastycznej konsystencji. Z dokładnie zhomogenizowanego zarobu wyrobiono ręcznie granule o średnicach od 8 do 16 mm i suszono w temperaturze 22°C przez 1 h. Po suszeniu, próbki przeniesiono do mikrofal gdzie poddano je działaniu mikrofal o mocy 1000 W przez czas 3 min w celu utwardzenia. Wskutek 5 procesu suszenia i działania mikrofal nastąpił 20% ubytek roztworu poreakcyjnego. W wyniku tego powstało kruszywo lekkie o składzie: 45,73% gliny, 15,24% osadów ściekowych oraz 39,3% mieszanki w postaci glinokrzemianu o strukturze nefelinu.

Wytworzone kruszywa lekkie poddano badaniom, których średnie wyniki przedstawiono w tabeli 2.

10

Tabela 2. Wartości parametrów kruszyw lekkich wytworzonych w pierwszym przykładzie wykonania

Właściwości	Jednostka	Wyniki badań kruszywa lekkiego
Gęstość właściwa kruszyw wg PN-EN-1097-3	[kg/m ³]	2590
Gęstość objętościowa kruszyw wg PN-EN-1097-3	[kg/m ³]	950
Gęstość nasypowa kruszyw wg PN-EN-1097-3 – w stanie luźnym – w stanie zagęszczonym	[kg/m ³]	500 600
Jamistość wg PN-EN-1097-3	[%]	80
Porowatość wg PN-EN-1097-3	[%]	63
Nasiąkliwość wg PN-EN-1097-3	[%]	16,5
Odporność na miazdzenie wg PN-EN 13055	[MPa]	0,85

Przykład 2.

Kruszywo lekkie, przeznaczone do produkcji betonu lekkiego, przygotowywano w laboratorium według składu przedstawionego w tabeli 3.

Tabela 3. Udział procentowy składników mieszanki w drugim przykładzie wykonania

Nazwa składnika Mieszanki	Udział masowy składników w mieszance [%]
Gлина 0,063/0,1 mm	95
Osad ściekowy o gęstości 0,79 g/cm ³ ,	5

5

Osobno wytworzono roztwór poreakcyjny po syntezie zeolitów będący wodnym roztworem NaOH, w ten sposób, że do reaktora opisanego w opisie patentowym nr PL 224734 (B1) wprowadzono 90 l wody i podawano NaOH w formie granulek w ilości 12 kg, po czym mieszano za pomocą mieszadła oraz pompy membranowej. Następnie dodano substrat reakcji syntezy, którym był popiół lotny pochodzący ze spalania węgla kamiennych o składzie: 42,02% wagowych SiO₂, 19,77% wagowych Al₂O₃, 6,18% wagowych Fe₂O₃, 2,29% wagowych K₂O, 1,33% wagowych TiO₂, 1,30% wagowych CaO, 1,23% wagowych P₂O₅, 0,69% wagowych MgO, 0,35% wagowych SO₃, 0,15% wagowych ZrO₂, 0,13% wagowych SrO, 0,10% wagowych BaO, 0,09% wagowych NiO, 0,08% wagowych MnO, 0,06% wagowych V₂O₅ i stratach prażenia 24,23%, który po uzyskaniu zadanej masy został zsypywany do ww. reaktora w ilości 20 kg. Następnie całość mieszanki podgrzano. Po osiągnięciu temperatury 60°C w reaktorze uruchomiono sekwencyjnie mieszadło z pompą membranową aż do ogrzania do zadanej temperatury 90°C. Po osiągnięciu zadanego czasu reakcji 36 h system grzania wyłączono. Partie produktu reakcji skierowano na prasę hydrauliczną, w której oddzielono materiał zeolity od roztworu wodnego NaOH.

Osobno do gliny o frakcji 0,063/0,1 mm ze złoża „Budy Mszczonowskie”, o której mowa w tab. 1, pochodzącej z kopalni kruszyw lekkich w Mszczonowie o składzie: 66,50% wagowych SiO₂, 14,30% wagowych Al₂O₃, 5,10% wagowych Fe₂O₃, 2,20% wagowych MgO, 1,37% wagowych K₂O, 0,43% wagowych Na₂O, 0,32% wagowych CaO, 0,22% wagowych TiO₂, 0,02% wagowych P₂O₅,

25

0,04% wagowych SO_3 , stratach prażenia 9,5%, w ilości 190 g - 95% suchej mieszaniny, dodano osad ściekowy z oczyszczalni ścieków mechaniczno-biologicznej o składzie chemicznym: azot ogólny 4,76% s. m. (suchej masy), azot amonowy 0,41% s. m., fosfor ogólny 0,69% s. m., magnez 0,36% s. m.,
5 cynk 795,47 mg/kg s. m., miedź 145,32 mg/kg s. m., ołów 10,27 mg/kg s. m., nikiel 17,94 mg/kg s. m., kadm 2,47 mg/kg s. m., gęstości $0,81 \text{ g/cm}^3$, zawartości substancji organicznej 67%, stratach prażenia 60,32%, $\text{CHZT-129823mg/dm}^3$, LKT-95 mg/dm^3 w ilości 10 g - 5% suchej mieszaniny i mieszano przez 1 min w mieszadle.

10 Następnie dodano roztwór poreakcyjny po syntezie zeolitów w postaci wodnego roztworu NaOH, otrzymanego według powyżej przedstawionej procedury, w ilości 110% masowo suchej mieszaniny – 181,8 g i mieszano przez kolejne 180 s aż do uzyskania plastycznej konsystencji. Z dokładnie zhomogenizowanego zarobu
15 wyrobiono ręcznie granule o średnicach od 8 do 16 mm i suszono w temperaturze 22°C przez 1,5 h. Po suszeniu próbki przeniesiono do mikrofal gdzie poddano je działaniu mikrofal o mocy 1000 W przez czas 3 min w celu utwardzenia. Wskutek procesu suszenia i działania mikrofal nastąpił 18% ubytek roztworu poreakcyjnego. W wyniku tego powstało kruszywo lekkie o składzie 49,95% gliny, 2,63% osadów ściekowych oraz 47,42% mieszaniny w postaci glinokrzemianu o strukturze nefelinu.
20 Wytworzone kruszywa lekkie poddano badaniom, których średnie wyniki przedstawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Wartości parametrów kruszyw lekkich wytworzonych w drugim przykładzie wykonania

Właściwości	Jednostka	Wyniki badań kruszywa lekkiego
Gęstość właściwa kruszyw wg PN-EN-1097-3	[kg/m ³]	2520
Gęstość objętościowa kruszyw wg PN-EN-1097-3	[kg/m ³]	980
Gęstość nasypowa kruszyw wg PN-EN-1097-3 – w stanie luźnym – w stanie zagęszczonym	[kg/m ³]	520 610
Jamistość wg PN-EN-1097-3	[%]	79
Porowatość wg PN-EN-1097-3	[%]	61
Nasiąkliwość wg PN-EN-1097-3	[%]	17,00
Odporność na miazdzenie wg PN-EN 13055	[MPa]	0,86

RZECZNIK PATENTOWY

Maciej Nowicki
mgr inż. Maciej Nowicki
Nr wp. 3476