

dr hab. inż. Jacek Korentz, prof. UZ<sup>1)\*</sup>

ORCID: 0000-0002-1521-8681

mgr inż. Filip Szmatała<sup>2)</sup>

ORCID: 0000-0001-9725-1540

# Wpływ dodatku miału gumowego SBR na właściwości zapraw cementowych

## *Effect of the addition of rubber dust SBR on the properties of cement mortars*

DOI: 10.15199/33.2020.12.02

**Streszczenie.** Zagospodarowanie odpadów gumowych ma duże znaczenie dla ochrony środowiska. Ważny jest też aspekt ekonomiczny. W wyniku recyklingu materiałowego odpadów gumowych otrzymuje się granulaty o różnych frakcjach, który jest z powodzeniem stosowany np. w budownictwie drogowym do modyfikacji asfaltów. Prowadzone są także badania zastosowania granulatu gumowego do produkcji betonu cementowego. W artykule przedstawiono wyniki badań zapraw cementowych z dodatkiem miału gumowego SBR z recyklingu odpadów gumowych pochodzących ze sprzętów AGD, uszczeltek samochodowych i taśmociągów przemysłowych. Zastosowanie miału gumowego w zaprawach cementowych powoduje zmniejszenie ich wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie oraz gęstości pozornej i zwiększenie nasiąkliwości ze wzrostem ilości miału gumowego. Wzrost ilości gumy sprawia, że zaprawa staje się materiałem mniej kruchym, ponieważ rośnie relacja między wytrzymałością na rozciąganie i wytrzymałością na ściskanie.

**Słowa kluczowe:** granulaty gumowe; beton; wytrzymałość; nasiąkliwość; gęstość.

**Abstract.** The management of rubber waste is of great importance for environmental protection, the economic aspect is important. The material recycling of rubber waste results in granulate with different fractions. It is successfully used e.g. in road construction to modify asphalt. Research is also being conducted into the use of rubber granules for the production of cement concrete. The article presents the results of tests of cement mortars with the addition of SBR rubber dust from recycled rubber waste from household appliances, car seals and industrial belt conveyors. The application of rubber dust in cement mortars causes a decrease in their compressive and tensile strength, a decrease in apparent density and an increase in absorbability with an increase in the amount of rubber dust. The increase in the amount of rubber makes the mortar less brittle as the relation between tensile strength and compressive strength increases.

**Keywords:** rubber granulate; concrete; strength; absorbability; density.

W Polsce, podobnie jak w innych krajach Unii Europejskiej, ok. 80% zużytych wyrobów gumowych stanowią opony zanieczyszczające środowisko naturalne. Od lat zwiększa się ich ilość. Rozwiązaniem problemu może być odzysk oraz recykling [8]. Odpady gumowe pochodzące w głównej mierze z przemysłu motoryzacyjnego, a także z branży AGD poddawane są recyklingowi.

W wyniku recyklingu materiałowego otrzymywane są materiały gumowe o różnych frakcjach: strzępy; czipsy; grys; ścier; granulaty; miał [10]. Zastosowanie tak uzyskanych materiałów uzależnione jest od frakcji. Strzępy i czipsy najczęściej pełnią funkcję izolacji ter-

micznej i akustycznej [6]. Granulaty gumowe stosowane są z powodzeniem w budownictwie drogowym [4, 8], a miał do wykonywania wykładzin i modyfikacji asfaltów [9]. Podejmowane są także badania nad wykorzystaniem granulatu gumowego jako zamiennika zazwyczaj drobnych frakcji kruszywa mineralnego do produkcji betonów cementowych. Zwiększenie ilości granulatu gumowego w mieszance betonowej powoduje zmniejszenie wytrzymałości betonu na ściskanie i rozciąganie oraz modułu Younga [6]. Wyniki badań [2] wykazały, że mimo tego dodatek granulatu do betonu jest interesującym rozwiązaniem, ponieważ powoduje zwiększenie mrozoodporności, a także zmniejszenie jego gęstości oraz zwiększenie odporności na uderzenia w porównaniu z betonem konwencjonalnym [3]. Wytrzymałość betonu zależy od frakcji granulatu gumowego [5]. Beton z granulatem o większych frakcjach

wykazywał większy spadek nośności niż beton z granulatem o mniejszej frakcji. W badaniach [7] stwierdzono przydatność granulatu gumowego w betonach wysokowartościowych, jeżeli jego ilość nie będzie przekraczała 15% masy kruszywa. W badaniach zapraw cementowych z dodatkiem granulatu gumowego [11] określono optymalną ilość granulatu ze względu na stosunek wytrzymałości na ściskanie i zginanie, odporność na uderzenia i skurcz. Podejmowane były też próby jednoczesnego zastosowania w betonie granulatu gumowego SBR z innymi materiałami z recyklingu, np. płatkami politereftalanu etylenu PET [1].

We wszystkich cytowanych badaniach stwierdzono zmniejszenie **wytrzymałości betonu na ściskanie ze wzrostem ilości granulatu gumowego**, co powoduje ograniczone zastosowanie gumobetonów w elementach konstrukcyjnych.

<sup>1)</sup> Uniwersytet Zielonogórski; Instytut Budownictwa

<sup>2)</sup> Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Oddział w Szczecinie

\* Adres do korespondencji: j.korentz@ib.uz.zgora.pl

W artykule przedstawiono wyniki badań zapraw cementowych z miałem gumowym SBR pochodzącym z recyklingu odpadów gumowych. Motywem wykonanych badań było działanie proekologiczne polegające na wykorzystaniu przetworzonych odpadów pochodzących z elementów gumowych ze sprzętu AGD, uszczelek samochodowych i taśmociągów przemysłowych. Zagospodarowanie odpadów gumowych ma aspekt ekologiczny i ekonomiczny. Pozwala chronić środowisko naturalne i zmniejszyć koszty pozyskania składników do produkcji różnych materiałów.

## Opis przeprowadzonych badań

Celem przeprowadzonych badań była ocena możliwości częściowego zastąpienia spoiwa cementowego w zaprawach cementowych miałem gumowym z zachowaniem właściwości mechanicznych i fizycznych mieszanki betonowej oraz betonu stwardniałego. Działanie takie ma na celu zmniejszenie kosztów produkcji betonu przy jednoczesnym zapewnieniu dobrej jego jakości.

Badania zapraw cementowych obejmowały następujące parametry: wytrzymałość na zginanie po 2 i 28 dniach dojrzewania; wytrzymałość na ściskanie po 2 i 28 dniach dojrzewania, gęstość stwardniałych zapraw cementowych po 2 i 28 dniach dojrzewania oraz ich nasiąkliwość.

**Materiały.** Do wykonania zapraw użyto cementu CEM I 42,5R. Właściwości użytkowe wyrobu przyjęto z deklaracji producenta. Na potrzeby badań nie weryfikowano takich właściwości, jak stałość objętości czy początek i koniec czasu wiązania cementu.

Zgodnie z normą PN-EN 196-1 zastosowano piasek normowy CEN oraz wodę destylowaną o temperaturze 20°C. Jako dodatek do zaprawy stosowano różne ilości miału gumowego SBR o średnicy mniejszej od 1 mm, powstające w procesie odsiewania podczas produkcji granulatu gumowego. Producentem granulatów EPDM i SBR z recyklingu, pochodzących z różnego rodzaju uszczelek i taśmociągów, jest firma **Unirubber** z Zielonki k. Węglińca.

**Receptury wykorzystane do wykonania zarobów.** W tabeli zamieszczono skład zarobów zapraw cementowych z dodatkiem miału gumowego SBR. Procentowa jego zawartość w stosunku do masy cementu była następująca: 0; 5; 10; 15; 20; 25; 30; 40; 50 i 60%.

### Skład zarobów zapraw cementowych Composition of cement mortars

Zawartość gumy SBR [%]	Ilość			
	piasku CEN [g]	gumy SBR [g]	wody [g]	cementu [g]
0		0		
5		22,5		
10		45,0		
15		67,5		
20	1350	90,0	225	450
25		112,5		
30		135,0		
40		180,0		
50		225,0		
60		270,0		

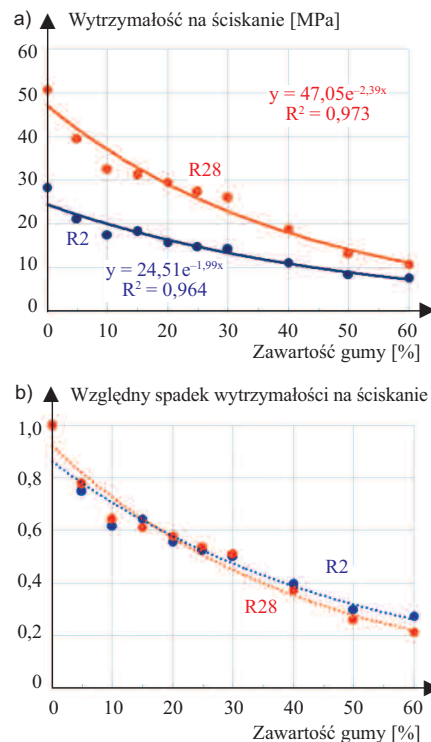
Wszystkie zaprawy składały się z trzech części piasku wzorcowego, jednej części cementu i pół części wody. Optymalna zawartość poszczególnych składników do wykonania jednego zarobu wynosiła 1350 g piasku wzorcowego, 450 g cementu i 225 g wody.

**Metoda badawcza.** Badania przeprowadzono zgodnie z PN-EN 197-1 *Cementy Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku* oraz PN-EN 196-1 *Metody badania cementu Część 1: Oznaczenie wytrzymałości*. Metodę badawczą zmodyfikowano przez dodanie do zaprawy wzorcowej miału gumowego SBR.

## Wyniki badań

**Wytrzymałość na zginanie** określono na podstawie przełamania beleczek cementowych na urządzeniu realizującym schemat statyczny trójpunktowego zginania, natomiast **wytrzymałość na ściskanie** badano podczas ściskania przełamanych beleczek cementowych. Wyniki badania wytrzymałości na ściskanie zaprawy wzorcowej i zapraw z różną zawartością miału w gumy po dwóch (R2) i 28 (R28) dniach dojrzewania zamieszczono na rysunku 1.

**Wytrzymałość zaprawy na ściskanie** po 2 i 28 dniach dojrzewania zmienia się w bardzo podobny sposób. Zmiany te można opisać funkcją wykładniczą. Wytrzymałość na ściskanie zmniejsza się



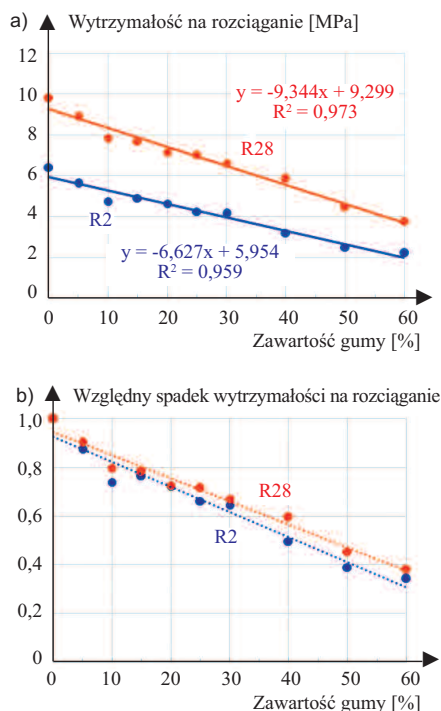
**Rys. 1. Wpływ ilości miału gumowego na: a) wytrzymałość na ściskanie; b) względny spadek wytrzymałości na ściskanie, po 2 i 28 dniach dojrzewania**

*Fig. 1. Influence of the amount of rubber dust on: a) compressive strength; b) relative decrease in compressive strength, after 2 and 28 days of hardening*

wraz ze wzrostem zawartości dodatku miału gumowego SBR. Już dodatek w ilości 5% masy cementu (22,5 g gumy) powoduje zmniejszenie wytrzymałości na poziomie 22%. Największy spadek wytrzymałości na ściskanie (nieprzekraczający 80%) ma miejsce, gdy dodatek gumy wynosi 60%. Z rysunku 1a wynika także, że ze wzrostem ilości gumy maleje przyrost wytrzymałości na ściskanie pomiędzy 2 i 28 dniem dojrzewania.

**Wyniki badania wytrzymałości zapraw na rozciąganie przy zginaniu** zamieszczono na rysunku 2. Zmiana wytrzymałości na rozciąganie zależy liniowo od zawartości gumy w zarobie. Z uzyskanych wyników widać silną tendencję spadku wytrzymałości na rozciąganie wraz ze wzrostem zawartości dodatku gumy, ale jest on mniejszy niż spadek wytrzymałości na ściskanie. W przypadku maksymalnej zawartości gumy w zarobie spadek wytrzymałości na rozciąganie nie przekracza 70%.

Beton jest materiałem kruchym, ponieważ różnica pomiędzy jego wytrzy-

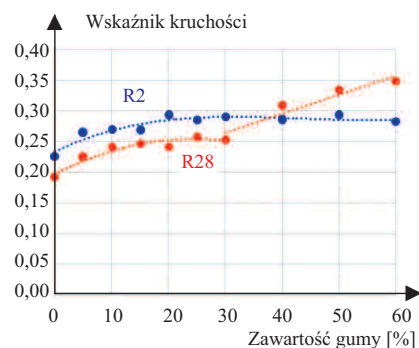


Rys. 2. Wpływ ilości miazgu gumowego na: a) wytrzymałość na rozciąganie; b) względny spadek wytrzymałości na rozciąganie, po 2 i 28 dniach dojrzewania

Fig. 2. Influence of the amount of rubber dust on: a) tensile strength; b) relative decrease in tensile strength, after 2 and 28 days of hardening

małością na ściskanie i rozciąganie jest duża. Miarą kruchości jest **wskaźnik kruchości** zdefiniowany jako iloraz wytrzymałości na rozciąganie i wytrzymałości na ściskanie. Przyjmuje się, że jeżeli jest on mniejszy od 1/8, to materiał nazywamy kruchym. Na rysunku 3 pokazano wskaźnik kruchości zaprawy bez dodatku i z dodatkiem miazgu gumowego po 2 i 28 dniach dojrzewania.

Rozpatrując wyniki badań w kontekście stosunku wytrzymałości na rozcią-



Rys. 3. Wpływ ilości miazgu gumowego na wskaźnik kruchości

Fig. 3. Influence of the amount of rubber dust on the brittleness index

ganie do wytrzymałości na ściskanie, widać zdecydowany przyrost wytrzymałości na zginanie poszczególnych próbek względem wytrzymałości na ściskanie. W przypadku wytrzymałości po dwóch dniach dojrzewania wskaźnik kruchości, po przekroczeniu 20% zawartości gumy, utrzymuje się na stałym poziomie i wynosi ok. 0,28. Natomiast w przypadku wytrzymałości po 28 dniach dojrzewania wskaźnik kruchości zwiększa się ze wzrostem ilości gumy i osiąga 0,25, gdy zawartość gumy nie przekracza 30%. Po przekroczeniu tej ilości wskaźnik kruchości zwiększa się liniowo do 0,35.

Zaskakujący jest fakt, iż przy małej wytrzymałości na ściskanie i dużej zawartości gumy następuje przyrost wytrzymałości na zginanie nawet o przeszło 30% w odniesieniu do wytrzymałości na ściskanie. Dodatek gumy powoduje, że zaprawa staje się materiałem mniej kruchym. **Im większa zawartość gumy, tym mniejsza kruchość zaprawy.**

Zmianę gęstości pozornej zapraw w stanie nasycenia wodą, z różną zawartością domieszki gumy po 2 (G2) i 28 dniach (G28) dojrzewania przedstawiono na rysunku 4. Uzyskane wyniki badań pokazują dosyć duży spadek gęstości pozornej wraz ze wzrostem dodatku miazgu gumowego. W przypadku zawartości 60% spadek gęstości pozornej wynosi ok. 15%. Oznacza to szansę na zastosowanie tego materiału w miejscach, gdzie mała gęstość ma znaczny wpływ na obciążenie konstrukcji lub elementu. Należy jednak pamiętać, że zmniejszenie gęstości jest wprost pro-

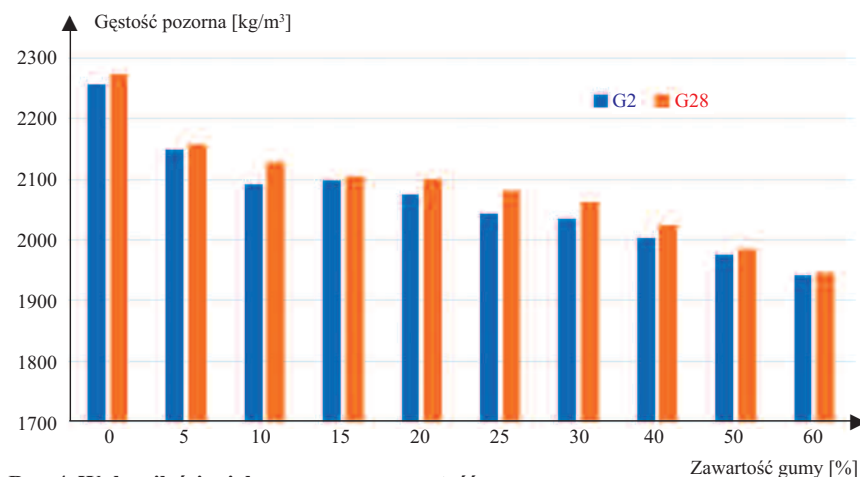
porcjonalne do spadku wytrzymałości na ściskanie i zginanie zapraw cementowych z dodatkiem miazgu gumowego.

**Nasiąkliwość zapraw** oznaczono w celu oceny wpływu dodatku gumy na uszczelnienie mieszanki betonowej. Badaniu poddano próbki po określeniu wytrzymałości na ściskanie i zginanie po 28 dniach dojrzewania (rysunek 5).

Zdecydowana większość uzyskanych wyników nasiąkliwości oscyluje w granicach 10%. Seria wzorcowa wykazała nasiąkliwość na poziomie 9,5%. Miał gumowy nie wpływa w istotny sposób na nasiąkliwość zapraw, jeżeli jego zawartość nie przekracza 30%. Należy jednak zwrócić uwagę na to, że w przypadku 25% SBR nastąpił wyraźny spadek nasiąkliwości zapraw. Niepokojący jest fakt, że powyżej 30% zawartości gumy następuje zauważalny wzrost nasiąkliwości, pokrywający się ze wzrostem dodatku miazgu w zaprawach cementowych.

## Podsumowanie

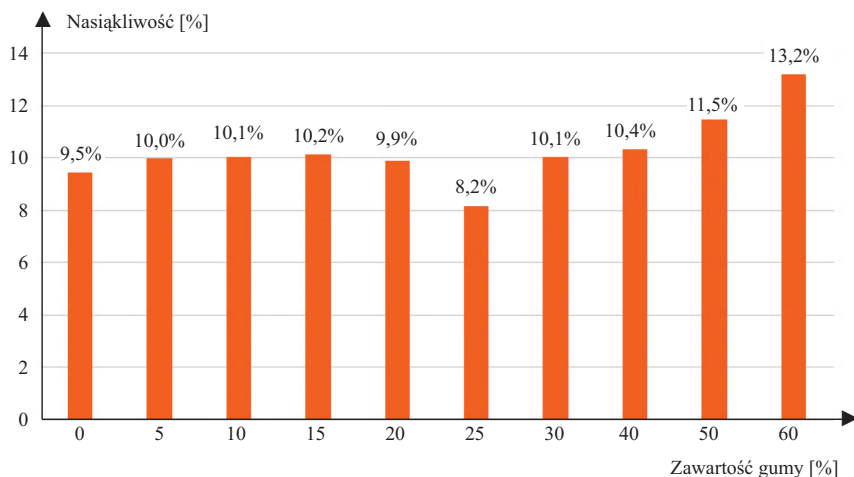
Badania przeprowadzone za zaprawach cementowych wykazały **duży spadek wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie przy zginaniu wraz ze wzrostem zawartości miazgu gumowego**. Spadek wytrzymałości na ściskanie wynosił ok. 40 i 80% w przypadku zawartości miazgu gumowego odpowiednio 20 i 60%. Spadek wytrzymałości na rozciąganie, w przypadku takiej samej zawartości gumy, był mniejszy o 10% w porównaniu ze spadkiem wytrzymałości na ściskanie i wynosił odpowiednio 30 i 70%.



Rys. 4. Wpływ ilości miazgu gumowego na gęstość pozorną

Fig. 4. Influence of the amount of rubber dust on apparent density





Rys. 5. Wpływ ilości mialu gumowego na nasiąkliwość  
Fig. 5. Influence of the amount of rubber dust on absorptivity

Ze wzrostem zawartości mialu gumowego zaprawa cementowa staje się mniej krucha, ponieważ zwiększa się stosunek wytrzymałości na rozciąganie do wytrzymałości na ściskanie.

Zgodnie z oczekiwaniami, dodatek mialu gumowego powoduje obniżenie gęstości pozornej zaprawy. W przypadku 60% zawartości mialu gumowego gęstość pozorna maleje o ok. 15% w porównaniu z zaprawą wzorcową. Nasiąkliwość zapraw utrzymuje się mniej więcej na stałym poziomie, tj. ok. 10% przy zawartości gumy do 30% i jest porównywalna z nasiąkliwością zaprawy wzorcowej wynoszącej 9,5%. Po przekroczeniu 30% zawartości gumy nasiąkliwość zapraw wyraźnie się zwiększa.

Uzyskane wyniki badań potwierdzają ograniczone możliwości zastosowania mialu gumowego w betonowych elementach konstrukcyjnych ze względu na duży spadek wytrzymałości betonu na ściskanie i rozciąganie. Niemniej zastosowanie granulatu gumowego w ilości do 10% jest do zaakceptowania.

Betony z dodatkiem gumy wykazują inne ciekawe cechy, które pozwalają na ich zastosowanie w elementach niekonstrukcyjnych, gdy zależy nam na zmniejszeniu ciężaru właściwego oraz poprawie izolacyjności cieplnej.

**Podziękowanie.** Autorzy składają podziękowanie firmie Unirubber Sp. o.o. za przekazanie granulatu gumowego do przeprowadzonych badań doświadczalnych.

## Literatura

- [1] Adamczyk I. 2019. „The analysis of the compression strength of concrete modified with rubber granules SBR and polyethene terephthalate”. *Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej, Budownictwo*, (25): 9 – 14.
- [2] Bjegović D., A. Baricević, M. Serdar. 2011. „Durability properties of concrete with recycled waste tyres”. XII International Conference on Durability of Building Materials and Components (DBMC), Porto, Portugal, 12-15 April.
- [3] Gerges N. N., C. A. Issa, S. R. Fawaz. 2018. „Rubber concrete: Mechanics and dynamical properties”. *Case Studies in Construction Materials*, (9), e00184.
- [4] Jurczak R. 2012. „Badania i ocena wpływu granulatu gumowego na właściwości betonu asfaltowego”. *Izolacje*, (3): 27 – 30.
- [5] Jusli E., H. M. Nor, R. P. Jaya, Z. Haton. 2015. „Effect of rubber tyre granules on concrete strength and the microstructure characteristics of rubberized concrete”. *Applied Mechanics and Materials* (773 – 774): 928 – 932.
- [6] Kamiński M., Cz. Bywalski, M. Maszczak. 2013. „Zastosowanie granulatu gumowego w betonie”. *Materiały Budowlane* 487 (3): 30 – 31.
- [7] Silva F. M., E. J. P. Miranda, J. M. C. Dos Santos, L.A. Gache-Barbarosa, A. E. Gomes, R. C. C. Lintz. 2019. „The use of tire rubber in the production of high-performance concrete”. *Cerâmica* (65), Suppl. 1: 110 – 114.
- [8] Sybiliski D. 2009. „Zastosowanie odpadów gumowych w budownictwie”. *Przegląd Budowlany* (5): 37 – 44.
- [9] Trzaska E. 2009. „Zastosowanie zużytych opon samochodowych w budownictwie drogowym”. *Przegląd Budowlany* (5): 37 – 44.
- [10] Wojciechowski A., R. Michalski, E. Kamińska. 2012. „Wybrane metody zagospodarowania zużytych opon”. *Polimery* (57) 9: 656 – 660.
- [11] Xue G., M-I Cao. 2017. „Effect of modified rubber particles mixing amount on properties of cement mortar”. *Advances of Civil Engineering*: 8643839.

Przyjęto do druku: 23.11.2020 r.

## ARBOCEL – The Power of Progress

– włókna na bazie celulozy o charakterze mikrobrojącem, zagęszczającym oraz strukturotwórczym w produktach chemii budowlanej



Rettenmaier Polska  
Sp. z o.o.  
Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7B  
02-366 Warszawa  
mobile +48 600 423 423  
Tel + 48 22 608 51 00  
e-mail: arbocel@jrs.pl