

mgr inż. Filip Szmatuła¹⁾
ORCID: 0000-0001-9725-1540

Assessment of the impact of SBR rubber waste on selected properties of cement concrete

Ocena wpływu odpadów gumowych SBR na wybrane właściwości betonu cementowego

DOI: 10.15199/33.2025.12.01

Abstract. The article presents an assessment of the influence of shredded SBR rubber waste on the properties of C20/25 cement concrete. Tests were carried out on mixtures containing 0%, 5%, 10%, and 20% rubber granulate relative to the total concrete volume. The results showed a decrease in compressive strength and elastic modulus with increasing rubber content, accompanied by improved frost resistance and thermal insulation. Rubber content up to 10% did not significantly affect water absorption or penetration depth. The obtained results confirm the feasibility of using rubber waste in concrete to enhance its thermal insulation properties.

Keywords: recycling; SBR rubber waste; concrete; use of waste materials in concrete; durability; frost resistance; thermal conductivity; strength.

Streszczenie. W artykule przedstawiono ocenę wpływu rozdrobnionych odpadów gumowych SBR na właściwości betonu cementowego klasy C20/25. Przeprowadzono badania mieszanek zawierających 0, 5, 10 i 20% granulatu gumowego w stosunku do objętości całkowitej betonu. Wyniki wykazały zmniejszenie wytrzymałości na ściskanie i modułu sprężystości wraz ze wzrostem ilości gumy przy jednoczesnej poprawie mrozoodporności oraz izolacyjności cieplnej betonu. Zawartość do 10% odpadów gumowych nie miała istotnego wpływu na nasiąkliwość i głębokość penetracji wody. Uzyskane rezultaty potwierdzają możliwość wykorzystania tego typu odpadów w betonach w celu poprawy ich izolacyjności cieplnej.

Słowa kluczowe: recykling; odpady z gumy SBR; beton; zastosowanie odpadów w betonach; trwałość; mrozoodporność; przewodność cieplna; wytrzymałość.

Improper rubber waste management leads to serious environmental problems, including environmental pollution, excess waste in landfills, inability to process rubber waste, and the risk of fires. In response to these challenges, and due to the limited resources of natural aggregates (e.g., sand, gravel), which are the basic ingredients used in construction, it has become necessary to develop effective methods for managing rubber waste. One possible solution is to use rubber in the form of dust, fines, or granules as a partial replacement for natural aggregate in the production of mortars and cement concrete [1 – 8] as well as asphalt mixes [9 – 11]. This approach aligns with the concept of sustainable construction, simultaneously reducing the amount of rubber waste released into the environment and reducing the demand for primary raw materials.

Despite its environmental benefits, the introduction of crushed rubber into concrete poses technological challenges. Studies have shown that this type of addition negatively affects the basic mechanical properties of concrete [1 – 8]. Namely, a reduction in compressive strength is observed, proportional to the increase in the percentage of rubber in the mix. On the other hand, cement concrete with crushed rubber has favorable performance properties, making it an attractive material for applications requiring specific parameters. This material exhibits high energy absorption capacity, improved fatigue resistance, good thermal and acoustic properties, and high

Niewłaściwe gospodarowanie odpadami gumowymi prowadzi do poważnych problemów ekologicznych wpływających na zanieczyszczenie środowiska, nadmiar odpadów na składowiskach, brak możliwości przetworzenia gumowych odpadów i ryzyko pożarów. W odpowiedzi na te wyzwania, a także ze względu na ograniczone zasoby kruszyw naturalnych (np. piasek, żwir) stanowiących podstawowe składniki stosowane w budownictwie, konieczne stało się opracowanie skutecznych sposobów zagospodarowania odpadów gumowych. Jednym z możliwych rozwiązań jest ich wykorzystanie w postaci pyłu, miazgi lub granulatu jako częściowego zamiennika kruszywa naturalnego w produkcji zapraw i betonu cementowego [1 – 8] oraz mieszanek mineralno-asfaltowych [9 – 11]. Takie podejście wpisuje się w ideę zrównoważonego budownictwa, umożliwiając jednocześnie ograniczenie ilości odpadów gumowych trafiających do środowiska oraz zmniejszenie zapotrzebowania na surowce pierwotne.

Pomimo korzyści środowiskowych wprowadzenie rozdrobnionej gumy do betonu wiąże się z wyzwaniami technologicznymi. Badania wykazały, że tego typu dodatek negatywnie wpływa na podstawowe właściwości mechaniczne betonu [1 – 8]. Obserwuje się zmniejszenie wytrzymałości na ściskanie, proporcjonalne do wzrostu procentowej zawartości gumy w mieszance. Z drugiej strony beton cementowy z dodatkiem rozdrobnionej gumy charakteryzuje się korzystnymi właściwościami użytkowymi, co czyni go atrakcyjnym materiałem w zastosowaniach wymagających specyficznych parametrów. Materiał ten wykazuje

¹⁾ Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Budownictwa; t.szmatula@ib.uz.zgora.pl

water and frost resistance [1–8]. Current research activities focus on selecting the appropriate grain size and amount of crushed rubber in concrete to limit its negative impact on strength.

A review of the literature reveals that most existing research focuses on concrete containing rubber granulate obtained from used car tires. This is justifiable, as used tires constitute approximately 80% of all rubber waste. Additionally, the continued growth of the automotive industry increases the amount of rubber products. Therefore, I conducted a study on concrete incorporating crushed rubber waste derived from the automotive industry (both post-production and end-of-life tires) as well as from household appliances. The aim of the research presented in this article was to assess the properties of cement concrete containing this type of rubber waste.

Materials and methods

The research program included the modification of the reference concrete with the addition of SBR rubber granulate with a grain size of 1–4 mm, which was obtained from post-production waste from the automotive industry, crushed to the appropriate fraction.

It was added to the concrete mix by volume, simultaneously reducing the content of individual components. Three different concrete mixes were prepared, containing 5, 10, and 20% of crushed rubber waste, and a mix without the waste (reference). The following designations were adopted for the tested mixes: C0 – reference, and C5, C10, and C20 with crushed rubber in amounts of 5, 10, and 20% of the concrete volume, respectively. The concrete was designed as standard C20/25 class concrete. The composition of the concrete mix is presented in Table 1. Portland cement CEM I 42.5 R, gravel (2/8 and 8/16 mm), washed sand 0/2 mm, and fly ash were used to prepare the concrete mix. A superplasticizer was also added. The water-cement ratio was assumed to be 0.56. Concrete mixtures were prepared in the Construction Laboratory of the Institute of Civil Engineering, University of Zielona Góra. From each

dużą zdolność do absorpcji energii, poprawia odporność na zmęczenie, wykazuje dobre właściwości cieplne i akustyczne oraz dużą odporność na działanie wody i mrozu [1–8]. Obecne działania badawcze koncentrują się na doborze odpowiedniego uziarnienia oraz ilości rozdrobnionej gumy w betonie, tak aby ograniczyć jej negatywny wpływ na wytrzymałość.

Z przeglądu literatury wynika, że większość dotychczasowych badań dotyczy betonu z udziałem granulatu gumowego pozyskanego ze zużytych opon samochodowych. Jest to zrozumiałe, ponieważ zużyte opony stanowią ok. 80% wszystkich odpadów gumowych. Stały rozwój motoryzacji zwiększa jednak również ilość wyrobów z gumy. W związku z tym podjąłem się badania betonu z dodatkiem rozdrobnionych odpadów gumowych, pochodzących z branży motoryzacyjnej (gumowe odpady poprodukcyjne i użytkowe) oraz ze sprzętów AGD. Celem badań, których wyniki przedstawiono w artykule, była ocena właściwości betonu cementowego z dodatkiem tego rodzaju odpadów gumowych.

Materiały i metody badań

Program badań obejmował modyfikację betonu referencyjnego dodatkiem granulatu gumowego SBR o uziarnieniu 1–4 mm, który uzyskano z odpadów poprodukcyjnych z branży motoryzacyjnej, rozdrobnionych do odpowiedniej frakcji.

Dodawano go do mieszanki betonowej objętościowo, zmniejszając jednocześnie zawartość poszczególnych składników. Przygotowano trzy różne mieszanki betonowe zawierające 5, 10 i 20% rozdrobnionych odpadów gumowych oraz mieszankę bez dodatku odpadów (referencyjna). Przyjęto następujące oznaczenia badanych mieszanek: C0 – referencyjna oraz C5, C10 i C20 z rozdrobnioną gumą odpowiednio w ilości 5, 10 i 20% w stosunku do objętości betonu. Beton zaprojektowano jako zwykły klasy C20/25. Skład mieszanek betonowych przedstawiono w tabeli 1. Do sporządzenia mieszanki betonowej zastosowano cement portlandzki CEM I 42,5 R, żwir (2/8 i 8/16 mm), piasek płukany 0/2 mm oraz popiół lotny. Dodawano również superplastifikator. Współczynnik wodno-cementowy przyjęto na poziomie 0,56. Mieszanki betonowe przygotowano w Laborato-

Table 1. Composition of the concrete mixes C0, C5, C10, C20 per 1 m³

Tabela 1. Skład mieszanek betonowych C0, C5, C10, C20 na 1 m³

Material name/Nazwa materiału	Composition of the concrete mixes [kg/m ³]/Skład mieszanki betonowej [kg/m ³]			
	C0 (0% rubber)/ C0 (0% gumy)	C5 (5% rubber)/ C5 (5% gumy)	C10 (10% rubber)/ C10 (10% gumy)	C20 (20% rubber)/ C20 (20% gumy)
Superplasticizer/Superplastyfikator	2,16	2,05	1,94	1,72
Water/Woda	150	142	135	120
Cement CEM I 42,5R	270	256	243	216
Sand 0/2 mm/Piasek 0/2 mm	850	807	765	680
Aggregate 2/8 mm/Kruszywo 2/8 mm	500	475	450	400
Aggregate 8/16 mm/Kruszywo 8/16 mm	570	541	513	456
Fly ash/Popiół lotny	75	71	67,5	60
SBR rubber granulate/Guma SBR granulat	–	27,5	55	110

mixture series, 9 cubic samples with dimensions of 150 x 150 x 150 mm and 12 cubic samples with dimensions of 100 x 100 x 100 mm, as well as 3 cylindrical samples with a diameter of 150 mm and a height of 300 mm were prepared. For each concrete mixture, its consistency was determined by the slump method in accordance with PN-EN 12350-2:2019-07 [12], density in accordance with PN-EN 12350-6:2019-08 [13], and air content by the pressure method in accordance with PN-EN 12350-7:2019-08 [14].

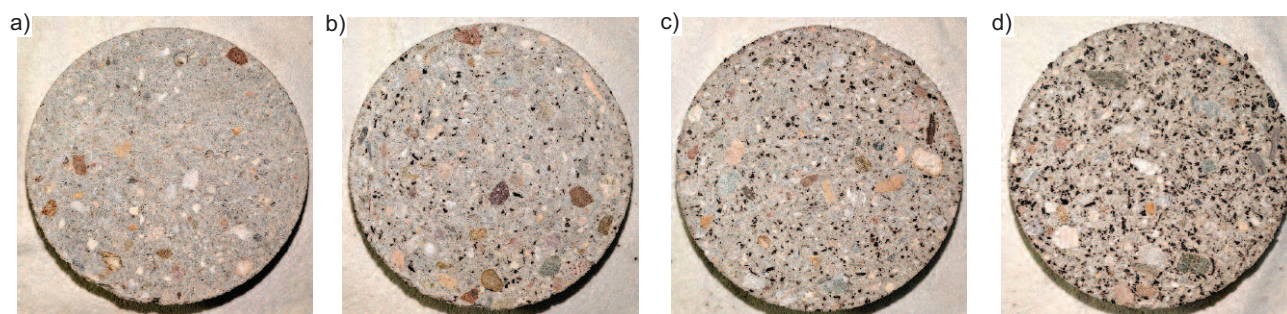
All series of tested mixtures were prepared in accordance with the PN-EN 12390-2:2019-07 standard [15]. The same sequence of component dosing and mixing time were maintained. The concrete mixture was compacted in the molds on a vibrating table. After 24 hours, the samples were demoulded and placed in water at a temperature of 20°C. Concrete compressive strength was determined in accordance with the PN-EN 12390-3:2019-07 standard [16], after 2, 28, and 56 days of sample curing. Subsequently, water absorption was tested according to PN-88/B-06250 [17] and bulk density based on PN-EN 12390-7:2019-08 [18]. The depth of water penetration under pressure was determined according to PN-EN 12390-8:2019-08 [19] after 28 days of curing, while the frost resistance was tested using 150 freeze-thaw cycles according to PN-B-06265:2022-08 [20] on samples cured for 28 days. The photograph shows the surface of the sample after cutting.

Based on a visual assessment of the sample surfaces, it was determined that the crushed rubber was evenly distributed throughout the concrete structure. In addition to the standard parameters of the cement concrete, the thermal conductivity coefficient was also determined using a FOX plate apparatus at a temperature of 20°C. The sample dimensions were 100 x 100 mm, with a thickness of 100 mm. The top and bottom surfaces were ground to achieve parallelism and flatness.

rium Budowlanym Instytutu Budownictwa Uniwersytetu Zielonogórskiego. Z każdej serii mieszanki wykonano 9 próbek sześciennych o wymiarach 150 x 150 x 150 mm i 12 próbek o wymiarach 100 x 100 x 100 mm oraz 3 próbki walcowe o średnicy 150 mm i wysokości 300 mm. W przypadku każdej mieszanki betonowej określono jej konsystencję metodą opadu stożka zgodnie z PN-EN 12350-2:2019-07 [12], gęstość zgodnie z PN-EN 12350-6:2019-08 [13] oraz zawartość powietrza metodą ciśnieniową wg PN-EN 12350-7:2019-08 [14].

Wszystkie serie badanych mieszanek przygotowano zgodnie z normą PN-EN 12390-2: 2019-07 [15]. Zachowano identyczną kolejność dozowania składników i czas mieszania. Mieszanke betonową zagęszczano w formach na stoliku wibracyjnym. Po upływie 24 h próbki zostały rozformowane i umieszczone w wodzie o temperaturze 20°C. Oznaczenie wytrzymałości na ściskanie betonu wykonano zgodnie z normą PN-EN 12390-3:2019-07 [16], po 2, 28 i 56 dniach dojrzewania próbek. W dalszej kolejności przeprowadzono badanie nasiąkliwości wg PN-88/B-06250 [17] i gęstości objętościowej na podstawie PN-EN 12390-7:2019-08 [18]. Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem wykonano wg PN-EN 12390-8:2019-08 [19] po 28 dniach dojrzewania, a mrozoodporność określono, stosując 150 cykli zamrażania i rozmrażania wg PN-B-06265:2022-08 [20] na próbkach dojrzewających przez 28 dni. Widok powierzchni próbek po przecięciu przedstawiono na fotografii. Na podstawie oceny wizualnej powierzchni próbek stwierdzono, że dodatek rozdrobnionej gumy jest równomiernie rozmieszczony w strukturze betonu.

Oprócz standardowych parametrów betonu cementowego określono również współczynnik przewodzenia ciepła, w aparacie płytowym FOX, w temperaturze 20°C. Wymiary próbek wynosiły 100 x 100 mm, a ich grubość 100 mm. Powierzchnię górną i dolną zeszlifowano w celu uzyskania ich równoległości i równości.



Surface of concrete samples without and with the addition of crushed rubber waste: a) 0%; b) 5%; c) 10%; d) 20%
Powierzchnia próbek betonu bez i z dodatkiem rozdrobnionych odpadów gumowych: a) 0%; b) 5%; c) 10%; d) 20%

Results and discussion

All concrete mixtures, regardless of the added amount of SBR rubber, demonstrated a uniform distribution of the additive within the structure. Mix test results are presented in Table 2.

The density of the concrete mixture varied significantly with the increasing content of rubber in each mix. The maximum difference in density was 470 kg/m³. The 5% of rubber addition increased the fluidity of the concrete

Wyniki badań i ich analiza

Wszystkie mieszanki betonowe, niezależnie od ilości dodatku gumy SBR, wykazały jednorodne rozmieszczenie dodatku w strukturze. Wyniki badań mieszanki zamieszczono w tabeli 2.

Gęstość mieszanki betonowej zmieniała się znacznie wraz ze wzrostem ilości dodatku gumy w poszczególnych mieszankach. Maksymalna różnica gęstości wynosiła 470 kg/m³. Pięcioprocentowy dodatek gumy spowodował zwiększenie ciekłości mieszanki betonowej w porównaniu z próbką referencyjną. Po-

Table 2. Test results of the concrete mixture modified with SBR rubber

Tabela 2. Wyniki badań mieszanki betonowej modyfikowanej gumą SBR

Concrete mix/ Mieszanka betonowa	Concrete mix density [kg/m ³]/ Gęstość mieszanki betonowej [kg/m ³]	Concrete mix consistency [mm]/ Konsystencja mieszanki betonowej [mm]	Air content in the concrete mix [%]/ Zawartość powietrza w mieszance betonowej [%]
C0	2240	50 (S2)	5,5
C5	2030	130 (S3)	12,0
C10	1960	70 (S2)	12,5
C20	1770	80 (S2)	20,0

mix compared to the reference sample. However, the remaining samples, containing rubber additions of 10 and 20% by volume, did not exhibit significantly higher fluidity.

All mixtures modified with SBR rubber exhibited high air content during the pressure gauge test. This can be attributed to the high rubber content, a significant reduction in the concrete density, and the influence of the rubber addition on the concrete's behavior during testing, including its ability to deform under pressure in the air gauge. Figure 1 presents the results of the concrete compressive strength with and without the addition of crushed rubber waste.

Based on the obtained compressive strength test results, it was found that the incorporation of rubber granulate into concrete reduced its strength.

The lowest compressive strength was observed for the concrete with 20% of crushed rubber waste, regardless of the curing time. After 28 days of curing, its strength decreased by as much as 86.9% compared to the reference concrete. With 5% and 10% of crushed rubber in the concrete, the decrease was smaller, reaching 52.1% and 61.0%, respectively. Only the reference concrete achieved the designed compressive strength class after 28 days of curing.

The water absorption of the concrete containing the crushed rubber additive and the reference concrete was 5.8 – 7.0%. The reference sample achieved a water absorption by weight equal to 6.3%. The sample with a 5% of rubber additive achieved the highest water absorption of 7.0%, while the

zostałe próbki zawierające dodatek gumy na poziomi 10 i 20% objętości nie wykazywały znacznie większej ciekłości.

Wszystkie mieszanki modyfikowane dodatkiem gumy SBR charakteryzowała duża zawartość powietrza podczas wykonywania próby metodą ciśnieniomierza. Może to być związane z dużą zawartością gumy, ze znacznym zmniejszeniem gęstości mieszanki betonowej oraz wpływem dodatku gumy na zachowanie się betonu podczas wykonywania próby, w tym zdolności do odkształcania się podczas wywierania ciśnienia w aparacie do badania zawartości powietrza w mieszance betonowej. Na rysunku 1 przedstawiono wyniki badania wytrzymałości na ściskanie betonu bez i z dodatkiem rozdrobnionych odpadów gumowych.

Na podstawie uzyskanych wyników badań wytrzymałości na ściskanie stwierdzono, że wprowadzenie granulatu gumowego do betonu spowodowało zmniejszenie jego wytrzymałości. Najmniejszą wytrzymałością na ściskanie charakteryzował się beton z dodatkiem 20% rozdrobnionych odpadów gumowych niezależnie od czasu dojrzewania. Po 28 dniach dojrzewania odnotowano spadek jego wytrzymałości aż o 86,9% w porównaniu z betonem referencyjnym. Przy ilości rozdrobnionej gumy w betonie 5% i 10% spadek jest mniejszy i wynosi odpowiednio 52,1 i 61,0%. Tylko w przypadku betonu referencyjnego udało się uzyskać projektowaną klasę wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania.

Nasiąkliwość betonu zawierającego dodatek rozdrobnionej gumy oraz betonu referencyjnego wynosiła 5,8 – 7,0%. Próbką referencyjną uzyskała nasiąkliwość wagową równą 6,3%. Próbką z dodatkiem gumy na poziomie 5% uzyskała największą nasiąkliwość równą 7,0%, a próbki zawierające 10 i 20% gumy na poziomie 5,8 i 6,2%. Wyniki pomiaru głębokości penetracji wody pod ciśnieniem przedstawiono na rysunku 2.

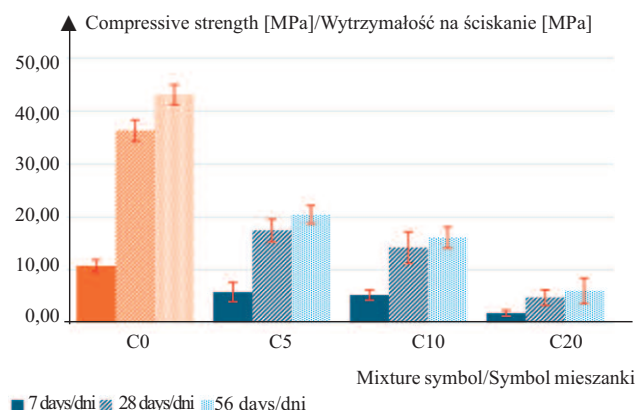


Fig. 1. Compressive strength of concrete without and with the addition of crushed rubber waste after 7, 28 and 56 days of curing
Rys. 1. Wytrzymałość na ściskanie betonu bez i z dodatkiem rozdrobnionych odpadów gumowych po 7, 28 i 56 dniach dojrzewania

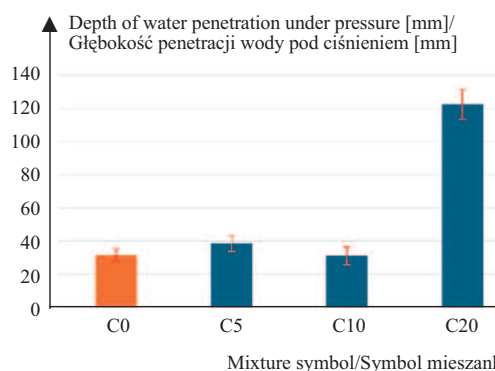


Fig. 2. Depth of water penetration under pressure in concrete without and with the addition of crushed rubber waste
Rys. 2. Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem w betonie bez i z dodatkiem rozdrobnionych odpadów gumowych

samples containing 10% and 20% of rubber achieved 5.8 and 6.2% respectively. The results of the water penetration depth measurements are shown in Figure 2.

The greatest water penetration depth was achieved in the case of concrete containing 20% of crushed rubber waste (123 mm – which is a four times greater than that of C0). With lower contents of crushed rubber in the concrete (5 and 10%), the maximum penetration depth of water under pressure was equal to 39 mm – a 24% increase compared to C0, and 31 mm – no increase compared to C0, respectively. The depth of water penetration into the reference concrete was 31 mm.

Frost resistance testing of concretes with the addition of crushed rubber and the reference concrete was performed after 150 freezing and thawing cycles (Figures 3). The standard requirement for evaluating compliance with the F150 frost resistance grade consists of fulfilling three criteria simultaneously according to PN-B-06265:2022-08 [20].

The addition of crushed rubber to concrete, regardless of its dosage, did not adversely affect its frost resistance. Compared to the reference concrete, the samples containing rubber waste showed a smaller decrease in compressive strength after 150 cycles. All tested concretes showed a mass increase after 150 freeze-thaw cycles. For the reference concrete, this increase was equal to 0.1%, while for the concretes with crushed rubber, it was $0.3 \div 0.6\%$ (the higher the crushed rubber content, the smaller the increase). The samples exhibited no cracking.

Modulus of elasticity of concrete with the addition of crushed rubber waste after 28 days of curing is clearly lower than that of the reference concrete (Figure 4). The test was performed in accordance with the PN-EN 12390-13 standard. However, no significant decrease in the modulus of elasticity was observed in the concretes modified with 5, 10, and 20% of the rubber waste. The ratio of the modulus of elasticity to the compressive strength increased with increasing amount of the additive in the individual mixes. The percentage decrease in the modulus of elasticity compared

Największą głębokość penetracji wody uzyskano w przypadku betonu zawierającego 20% rozdrobnionych odpadów gumowych (123 mm – zwiększenie o cztery razy w porównaniu z C0). Przy mniejszej zawartości dodatku rozdrobnionej gumy w betonie (5 i 10%) maksymalna głębokość penetracji wody pod ciśnieniem wyniosła odpowiednio 39 mm – zwiększenie o 24% w porównaniu C0 i 31 mm – brak zwiększenia w porównaniu z C0. Głębokość wnikania wody do betonu referencyjnego wynosiła 31 mm.

Badanie mrozoodporności betonów z dodatkiem rozdrobnionej gumy oraz referencyjnego wykonano po 150 cyklach zamrażania i rozmrażania (rysunek 3). Wymaganie normowe w celu oceny spełnienia stopnia mrozoodporności F150 polega na spełnieniu trzech kryteriów jednocześnie wg PN-B-06265:2022-08 [20].

Zastosowanie dodatku rozdrobnionej gumy w betonie, niezależnie od jej ilości, nie wpłynęło negatywnie na jego odporność na oddziaływanie mrozu. W porównaniu z betonem referencyjnym próbki z gumą charakteryzowały się mniejszym spadkiem wytrzymałości na ściskanie po 150 cyklach. W przypadku wszystkich badanych betonów odnotowano zwiększenie masy po 150 cyklach zamrażania i rozmrażania. W przypadku betonu referencyjnego wynosił on 0,1%, a betonów z dodatkiem rozdrobnionej gumy $0,3 \div 0,6\%$ (im więcej rozdrobnionej gumy, tym mniejszy przyrost). Próbki nie wykazywały spękań.

Moduł sprężystości betonu z dodatkiem rozdrobnionych odpadów gumowych po 28 dniach dojrzewania jest wyraźnie mniejszy niż betonu referencyjnego (rysunek 4). Badanie wykonano zgodnie z normą PN-EN 12390-13. Nie odnotowano natomiast wyraźnego zmniejszenia modułu sprężystości w grupie betonów modyfikowanych odpadami gumy w ilości 5, 10 i 20%. Stosunek modułu sprężystości do wytrzymałości na ściskanie zwiększał się wraz ze zwiększeniem ilości dodatku w poszczególnych mieszankach. Procentowy spadek modułu sprężystości w porównaniu z próbką referencyjną wyniósł: 38% w przypadku próbki C5; 43% w przypadku próbki C10 oraz 41% – próbki C20. Na rysun-

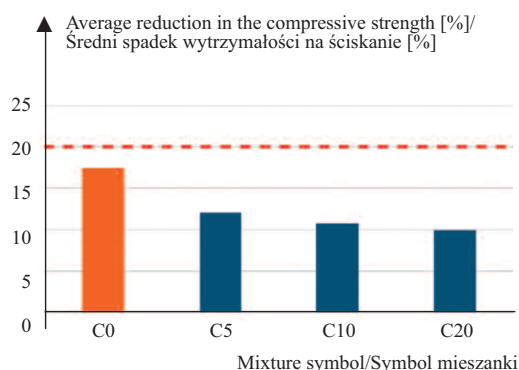


Fig. 3. Average reduction in the compressive strength of concrete without and with the addition of crushed rubber waste after 150 freeze-thaw cycles

Rys. 3. Średnie zmniejszenie wytrzymałości na ściskanie betonu bez i z dodatkiem rozdrobnionych odpadów gumowych po 150 cyklach zamrażania i rozmrażania

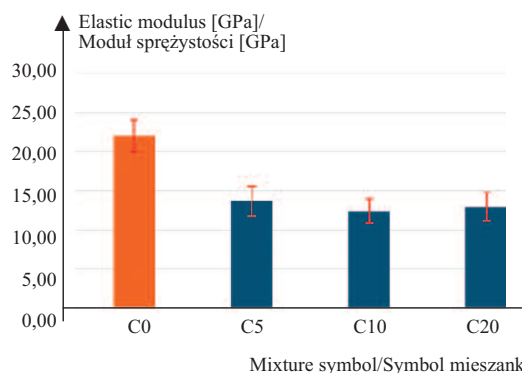


Fig. 4. Modulus of elasticity of concrete without and with the addition of crushed rubber waste

Rys. 4. Moduł sprężystości betonu bez i z dodatkiem rozdrobnionych odpadów gumowych

to the reference sample was: 38% for sample C5; 43% for sample C10; and 41% for sample C20. Figure 5 compares the thermal conductivity coefficients of concrete with and without the addition of crushed rubber.

The obtained measurement results of the thermal conductivity coefficient range from 0.61 to 1.04 W/(m K), with the reference concrete characterized by the highest thermal conductivity coefficient. The addition of crushed rubber waste to concrete reduces the thermal conductivity coefficient (the higher the crushed rubber content, the greater the decrease in thermal conductivity). The comparison of the reference concrete with concrete containing 5% of crushed rubber reveals a 15% reduction in thermal conductivity. An even greater difference, 41.4%, is observed between the concrete with the highest crushed rubber content (20%) and the reference concrete. Despite the significant reduction in density of the concretes modified with SBR rubber, their thermal properties were improved. Consequently, it can be concluded that concrete containing crushed rubber (particularly at the highest content) exhibits very good thermal insulation properties, significantly superior to those of cement concrete unmodified with rubber waste.

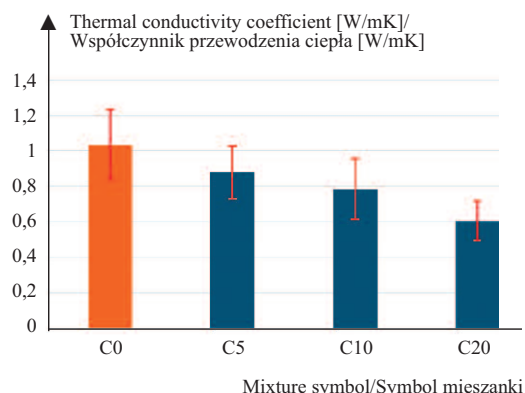


Fig. 5. Average value of the thermal conductivity coefficient of concrete without and with the addition of crushed rubber waste

Rys. 5. Średnia wartość współczynnika przewodzenia ciepła betonu bez i z dodatkiem rozdrobnionych odpadów gumowych

ku 5 zestawiono wartości współczynników przewodzenia ciepła betonu bez i z dodatkiem rozdrobnionej gumy.

Uzyskane wyniki pomiarów wartości współczynnika przewodzenia ciepła wynoszą od 0,61 do 1,04 W/(m·K), przy czym beton referencyjny charakteryzuje się największym współczynnikiem przewodzenia ciepła. Dodatek rozdrobnionych odpadów gumowych do betonu powoduje zmniejszenie współczynnika przewodzenia ciepła (im większa zawartość rozdrobnionych odpadów gumowych, tym większy spadek wartości współczynnika przewodzenia ciepła). Z porównania betonu referencyjnego z betonem zawierającym 5% rozdrobnionej gumy wynika zmniejszenie wartości współczynnika przewodzenia o 15%. Jeszcze większą różnicę uzyskuje się między betonem z największą ilością rozdrobnionej gumy (20%) a betonem referencyjnym, a mianowicie 41,4%. Pomimo wyraźnego zmniejszenia gęstości betonów modyfikowanych dodatkiem gumy SBR odnotowano poprawę ich właściwości termicznych. Można wnioskować, iż beton z dodatkiem rozdrobnionej gumy (szczególnie z największą jej ilością) ma cechy materiału o bardzo dobrej izolacyjności termicznej, wyraźnie lepszej niż beton cementowy niemodyfikowany odpadami z gumy.

Można wnioskować, iż beton z dodatkiem rozdrobnionej gumy (szczególnie z największą jej ilością) ma cechy materiału o bardzo dobrej izolacyjności termicznej, wyraźnie lepszej niż beton cementowy niemodyfikowany odpadami z gumy.

Conclusions

Based on the conducted research and analyses, the following conclusions were drawn:

1) the addition of crushed rubber waste reduces the compressive strength of concrete regardless of its curing time, namely the greater the addition, the greater the strength loss. A simultaneous decrease in the modulus of elasticity of concrete is observed;

2) the addition of rubber improves the frost resistance of concrete, as evidenced by a smaller strength loss compared to the reference concrete. The average decrease in compressive strength of concrete after 150 freeze-thaw cycles is less than the permissible 20% and further decreases with increasing crushed rubber content;

3) modifying concrete with up to 10% of crushed rubber waste does not increase the depth of water penetration; it remains at a similar level to the reference concrete. With a 20% of crushed rubber content, the depth of water penetration under pressure increases dramatically;

4) the addition of crushed rubber reduces the thermal conductivity of concrete, which may be advantageous when requiring very good thermal insulation.

The utilization of rubber waste from recycling of automotive industry by-products and household appliances in concrete can be an effective method of managing these materials.

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz sformułowano następujące wnioski:

1) dodatek rozdrobnionych odpadów gumowych powoduje zmniejszenie wytrzymałości na ściskanie betonu niezależnie od czasu jego dojrzewania, przy czym im więcej dodatku, tym większy spadek wytrzymałości. Jednocześnie obserwuje się zmniejszenie modułu sprężystości betonu;

2) dodatek gumy powoduje poprawę odporności na zamrażanie i rozmrażanie betonu, o czym świadczy mniejszy spadek wytrzymałości w porównaniu z betonem referencyjnym. Średni spadek wytrzymałości betonów na ściskanie po 150 cyklach zamrażania i rozmrażania jest mniejszy niż dopuszczalny 20% i dodatkowo maleje wraz ze wzrostem zawartości rozdrobnionej gumy;

3) modyfikacja betonu odpadami gumowymi w ilości do 10% nie powoduje zwiększenia głębokości penetracji wody; pozostaje ona na zbliżonym poziomie do betonu referencyjnego. Przy 20% udziale rozdrobnionej gumy gwałtownie zwiększa się penetracja wody pod ciśnieniem;

4) dodatek rozdrobnionej gumy zmniejsza współczynnik przewodzenia ciepła betonu, co może być korzystne w przypadku zastosowania bardzo dobrej izolacyjności termicznej.

Wykorzystanie odpadów gumowych pochodzących z recyklingu odpadów z branży motoryzacyjnej oraz ze sprzętów

Concrete containing up to 10% of crushed rubber can be used for the production of non-structural elements exposed to frost, which additionally exhibit improved thermal insulation properties.

Received: 22.09.2025

Revised: 08.10.2025

Published: 23.12.2025

AGD w betonie może być skutecznym sposobem ich zagospodarowania. Beton z dodatkiem rozdrobnionej gumy do 10% można wykorzystać do produkcji elementów niekonstrukcyjnych narażonych na działanie mrozu, które dodatkowo wykazują poprawę izolacyjności cieplnej.

Artykuł wpłynął do redakcji: 22.09.2025 r.

Otrzymano poprawiony po recenzjach: 08.10.2025 r.

Opublikowano: 23.12.2025 r.

Literature

[1] Korentz J, Szmatuła F. Wpływ dodatku miazgu gumowego SBR na właściwości zapraw cementowych. *Materiały Budowlane*. 2020. DOI:10.15199/33.2020.12.02.

[2] Azunna SU, Farah NAA, Aziz, Raizal SM, Rashid, Nabilah BA. Bakar. Review on the characteristic properties of crumb rubber concrete. *Cleaner Materials*. 2024. DOI: 10.1016/j.clema.2024.100237.

[3] Gruszczyński M, Lenart M, Sokołowski K. Granulat gumowy jako dodatek zapewniający wibroizolacyjność przegród betonowych. *Dni Betonu* 2023. s. 381-396.

[4] Hisbani N, Shafiq N, Shams MA, Farhan SA, Zahid M. Properties of concrete containing crumb rubber as partial replacement of fine Aggregate – A review. *Hybrid Advances*. 2025. DOI: 10.1016/j.hybadv.2025.100481.

[5] Liu J, Li J, Xu Y, Ma S. Mechanical Properties of Cement Concrete with Waste Rubber Powder. *Appl. Sci*. 2024. DOI:10.3390/app14156636.

[6] Major I, Adamczyk I, Halbiniak J. Beton modyfikowany granulatem gumowym SBR i płatkami politereftalanu etylenu PET. *Materiały Budowlane*. 2023. DOI: 10.15199/33.2023.08.01.

[7] Ołdakowska E. Beton cementowy modyfikowany rozdrobnionymi odpadami gumowymi. *Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Seria: Budownictwo*. 2006; z. 109.

[8] Ołdakowska E. Ocena przydatności gumy ze zużytych opon samochodowych do modyfikacji chudych betonów przeznaczonych do podbudów drogowych. *Materiały Budowlane*. 2014; 4:34 – 36.

[9] Jurczak R, Marczak M. Możliwość wykorzystania poprodukcyjnych odpadów gumowych w mieszankach mineralno-asfaltowych. *Drogownictwo*. 2023; 2 – 3: 29 – 32.

[10] Kukiela J. Podbudowy kompozytowe z dodatkiem miazgu gumowego z recyklingu opon samochodowych do nawierzchni drogowych. *Materiały Budowlane* 2023. DOI: 10.15199/33.2023.10.08.

[11] Radziszewski P, Sarnowski M, Król J, Kowalski JK, Ruttmar I, Zborowski A. Właściwości asfaltów modyfikowanych gumą i mieszanek mineralno-gumowo-asfaltowych. WKŁ, Warszawa 2017.

[12] PN-EN 12350-2:2019-07 Badania mieszanki betonowej – Część 2: Badanie konsystencji metodą opadu stożka.

[13] PN-EN 12350-6:2019-08 Badania mieszanki betonowej – Część 6: Gęstość.

[14] PN-EN 12350-7:2019-08 Badania mieszanki betonowej – Część 7: Zawartość powietrza – Metody ciśnieniowe.

[15] PN-EN 12390-2:2019-07 Badania betonu – Część 2: Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych.

[16] PN-EN 12390-3:2019-07 Badania betonu – Część 3: Wytrzymałość na ściskanie próbek do badań.

[17] PN-EN 12390-7:2019-08 Badania betonu – Część 7: Gęstość betonu.

[18] PN-88/B-06250 Beton zwykły.

[19] PN-EN 12390-8:2019-08 Badania betonu – Część 8: Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem.

[20] PN-B-06265:2022-08 Beton – Wymagania, właściwości użytkowe, produkcja i zgodność – Krajowe uzupełnienie PN-EN 206+A2:2021-08.