

Możliwości wykorzystania łupin z orzechów laskowych jako lekkiego kruszywa do produkcji betonu

Opportunities for the use of hazelnut shell as a lightweight aggregate in the production of concrete

Murat Özocak^{1*}, Can Burak Sisman²

¹Istanbul University – Cerrahpaşa, Forestry Vocational School, Irrigation Technology Program Department, Istanbul/Turkey

²Tekirdağ Namık Kemal University, Agricultural Faculty, Biosystem Engineering Department, Tekirdağ/Turkey

*Corresponding author: M. Ozocak, e-mail: murat.ozocak@outlook.com

Streszczenie

W dzisiejszych czasach wzrost kosztów ogrzewania i energii spowodował zwiększenie znaczenia izolacji w budynkach i poszukiwanie nowych rozwiązań w tym zakresie. W wyniku tych poszukiwań na pierwszy plan wysunęły się badania nad produkcją porowatych i lekkich betonów, w celu poprawy właściwości izolacyjnych betonu. W niniejszej pracy zbadano przydatność łupin z orzecha laskowego, jednego z ważnych produktów rolnych w Turcji, które są odpadami po zbiorach, jako lekkiego kruszywa do betonu. W tym celu wyprodukowano beton zastępując kruszywa łupinami z orzecha laskowego, w ilości 3%, 6%, 9%, 12% i 15%. Zbadano właściwości fizyczne, mechaniczne i cieplne tak przygotowanego betonu. W wyniku badań stwierdzono, że łupiny z orzecha laskowego, które są odpadem rolniczym, mogą być stosowane jako kruszywo do produkcji betonu. Można także wyprodukować lekki beton o wystarczającej wytrzymałości i trwałości oraz dużej izolacji cieplnej i dźwiękowej, pod warunkiem, że ilość łupin orzecha laskowego dodawana do mieszanki, nie będzie większa niż 10% kruszywa.

Słowa kluczowe: łupiny z orzecha laskowego, kruszywo lekkie, beton lekki, beton, cement, odpady rolnicze

Summary

Today, the increase in heating and energy costs has increased the importance of insulation in buildings and new searches are being made for this purpose. As a result of these searches, studies on the production of lightweight concrete have come to the forefront, to improve the insulation properties of concrete. In this study, the usability of hazelnut shells, one of the important agricultural products of Turkey, which are post-harvest waste materials as a lightweight aggregate in concrete, was investigated. To this end, concrete was produced by replacing the aggregate with hazelnut shell by 3%, 6%, 9%, 12% and 15%, and the physical, mechanical and thermal properties of this concrete, were examined. As a result of the study, it was determined that hazelnut shell, which is an agricultural waste, could be used as aggregate in the production of concrete and that lightweight concrete with sufficient strength and durability and improved heat and sound insulation could be produced, provided that the amount of hazelnut shell to be added to the mixture would not be more than 10% of the aggregate.

Keywords: hazelnut shell, lightweight aggregate, lightweight concrete, concrete, cement, agricultural waste

1. Wprowadzenie

Beton, który jest dzisiaj jednym z głównych materiałów budowlanych, ciągle próbuje się ulepszać ze względu na jego niekorzystne właściwości, do których należą ciężar i mała wartość izolacyjna (1). Duża gęstość betonu, wiąże się również z dużymi kosztami i ryzykiem w trakcie produkcji i użytkowania, ponieważ zwiększa obciążenie budynku i zmniejsza izolacyjność (2).

1. Introduction

Concrete, which is one of the main building materials, is a material that is constantly trying to be improved, due to its negative properties, such as its mass and poor thermal insulation properties (1). The high density of concrete also leads to high costs and risks during the production and usage stages since it increases the building load and reduces the insulation value (2).

Prowadzone są badania w celu produkcji lekkiego, izolacyjnego i ekonomicznego betonu, który zmniejsza obciążenie budynku. Badania produkcji lekkiego betonu, przy zastosowaniu naturalnych lub sztucznych kruszyw lekkich, nabrały w ostatnich latach dużego rozmachu (3). Dzięki produkcji betonu lekkiego, można osiągnąć oszczędności materiałowe w skutek zmniejszenia obciążeń własnych budynku i wielkości elementów nośnych. Można także zmniejszyć straty ciepła budynku dzięki dobrej izolacji cieplnej, a w przypadku ewentualnych szkód, szczególnie w strefach trzęsień ziemi, można osiągnąć korzystne wyniki w ratowaniu ludzkiego życia (4–7). Możliwe jest zapewnienie lekkości i dużych izolacyjnych właściwości betonu, dzięki porowatej teksturze uzyskanej przez zwiększenie udziału dużych porów powietrznych w betonie (8,9).

Oprócz lekkich kruszyw, naturalnych lub sztucznych, do których należy żużel wielkopiecowy, diatomit, pumeks, tuf, bims – pumeks, do produkcji lekkiego betonu można stosować również odpady organiczne. Te ostatnie są na przykład, pochodzące z rolnictwa łodygi słonecznika i pszenicy, łuski ryżu, odpady bawełny i kora drzew (10–13). W produkcji betonu lekkiego stosuje się kruszywa lekkie, o masie jednostkowej mniejszej niż 400 kg/m^3 . Betony te mogą być stosowane do celów izolacyjnych, natomiast o masie jednostkowej w zakresie $400\text{--}650 \text{ kg/m}^3$ do celów izolacyjnych i o umiarkowanej wytrzymałości. O masie jednostkowej większej niż 650 kg/m^3 , zwykle do celów nośnych (2,14).

Łupina orzecha laskowego [ŁO] jest kolejnym odpadem rolniczym, który może być wykorzystany jako kruszywo lekkie. Orzech laskowy, który uzyskuje się w ilości 750-800 tysięcy ton rocznie, na około 65 tysiącach hektarów ziemi, jest ważnym rolniczym produktem eksportowym w Turcji (15).

Orzech laskowy po zbiorze, sprzedawany jest jako orzech laskowy niełuskany lub łuskany. Oprócz tego, że jest bezpośrednio spożywany, jest również stosowany jako surowiec, do produkcji różnych artykułów spożywczych. Odpady w postaci łupin orzechów laskowych występują w obu rodzajach (16). Ilość łupin orzecha laskowego, pozostająca po produkcji orzecha laskowego, wynosi około 50% całego zbioru orzecha laskowego. Odpady te są przerabiane na słupki lub brykiety i wykorzystywane do różnych celów, przede wszystkim jako paliwo i linoleum oraz w petrochemii (15, 17).

W niniejszym artykule podjęto próbę określenia potencjału łupiny orzecha laskowego, która jest odpadem rolniczym, do zastosowania jako kruszywo lekkie, w produkcji betonu lekkiego. W tym celu określono wpływ łupin orzecha laskowego, które zastępowano zastępując nią kruszywo w różnych proporcjach, na fizyczne, mechaniczne i cieplne właściwości betonu oraz potwierdzono jej przydatność, w oparciu o literaturę.

2. Program doświadczalny

2.1. Materiały

Materiał do badań stanowiły próbki betonu, uzyskane z kruszywa składającego się z piasku i żwiru, łupin orzecha laskowego zastępujących żwir oraz cementu i wody.

For the production of lightweight, highly insulating and economical concrete that reduces the building load, studies on the production of lightweight concrete using natural or artificial lightweight aggregates, have gained great momentum in recent years (3). With the production of lightweight concrete, material savings can be achieved by reducing the dead loads on the building and reducing the size of bearing elements. Heat losses from the building can be reduced through high thermal insulation, and life-saving positive results can be achieved in the possible damages, especially in earthquake zones (4 - 7). It is possible to provide lightness and high insulation in concrete with the porous microstructure, obtained by increasing air voids in the concrete (8, 9).

In addition to lightweight aggregates such as natural or artificial coal slag, diatomite, pumice stone, tuff, bims [pumice], organic wastes such as agriculturally sourced sunflower stalk, wheat stalk, paddy husk, cotton waste, and tree barks can also be used in the production of lightweight concrete (10, 11, 12, 13). In the production of lightweight concrete, it is indicated that while lightweight aggregates with a density less than 400 kg/m^3 can be used for insulation purposes, those with a density between $400\text{--}650 \text{ kg/m}^3$ can be used for insulation and moderate strength, and those with a density greater than 650 kg/m^3 , for bearing purposes (2, 14).

The hazelnut shell [HS] is another agricultural waste that can be used as a lightweight aggregate. Hazelnut, which is produced in the amount of 750-800 thousand tonnes per year, on approximately 65 thousand hectares of land, is an important agricultural export product in Turkey (15).

Hazelnuts are sold unshelled and shelled after harvest. In addition to being consumed directly, it is also used as a raw material in the production of different foodstuffs. Hazelnut shell waste [HS] occurs in both consumption types (16). The amount of hazelnut shell emerging after hazelnut production is approximately 50% of the harvested hazelnut. This waste is turned into poles or briquettes and is used for different purposes such as fuel, contralite, and linoleum, and petrochemicals (15, 17).

In this study, it was attempted to determine the potential of hazelnut shell [HS], which is an agricultural waste, to be used as a lightweight aggregate in the production of lightweight concrete. To this end, the effect of the hazelnut shell [HS], which was used by the replacing of aggregate in different ratios, on the physical, mechanical, and thermal properties of the concrete was determined, and its usability was investigated, based on the literature.

2. Experimental Program

2.1. Materials

Concrete samples produced with aggregate consisting of sand and gravel, a hazelnut shell replacing gravel, and cement and water, were the study material.

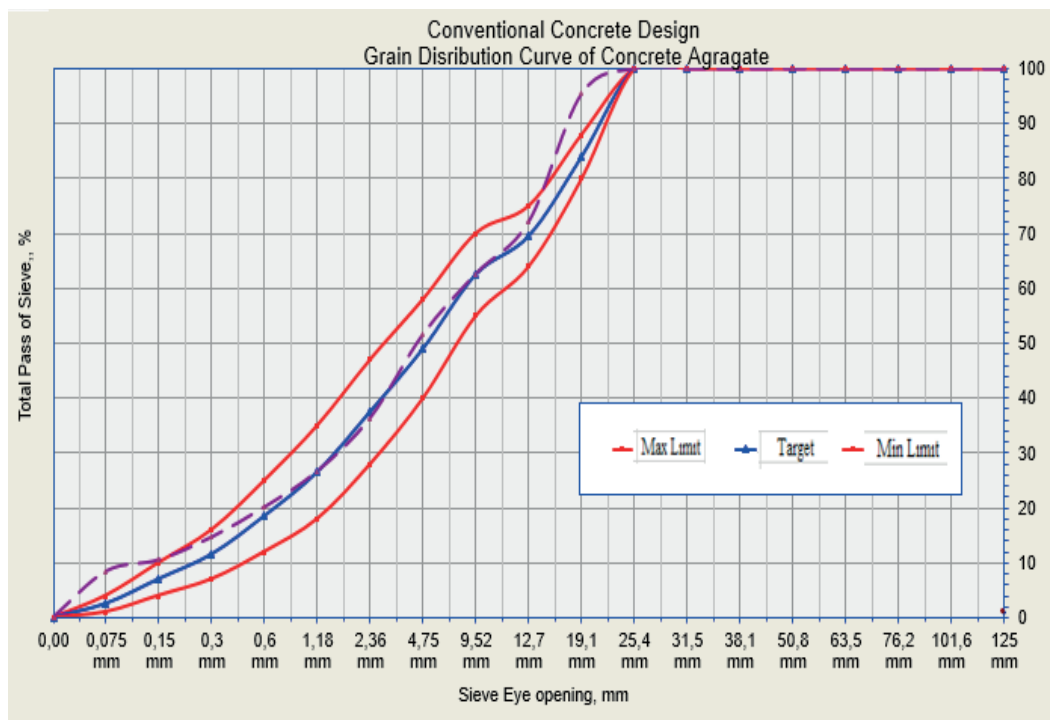
The aggregate used in the study was obtained from the quarries in Kastamonu region, and the largest grain size was chosen as 22

Tablica 1 / Table 1

FIZYCZNE I CHEMICZNE WŁAŚCIWOŚCI KRUSZYWA

PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF AGGREGATE

Properties / Właściwości	Aggregate Grain Size, mm		
	0-5	5-12	12-22
Aggregate flakiness index / Wskaźnik płaskości ziaren	-	9	10
Shell content / Zawartość muszli, %	-	0- SC10	0-SC10
Very thin material content / Zawartość materiału bardzo drobnego, %	5.1	0.9	0.7
Methylene blue test / Badanie błękitem metylenowym, g/kg	1		
Los Angeles abrasion test / Współczynnik Los Angeles, %	27- LA30		
Grain density / Gęstość ziaren, mg/m ³	2.53	2.57	2.58
Water absorption / Nasiąkliwość, Wa-%	4.5	3.5	3.4
Freeze- thaw resistance / Mrozoodporność, %	10		
Alkali silica reactivity / Reaktywność krzemionki z alkaliami, %	0.013		
Chloride content / Zawartość chlorków, %	0.004		
Acid soluble sulfate / Siarczany rozpuszczalne w kwasie, %	0.094		
Total sulfur / Całkowita zawartość siarki, %	0.426		



Rys. 1. Krzywa uziarnienia kruszywa

Fig. 1. Aggregate grain-size curve

Kruszywo zastosowane w badaniach pozyskano z kamieniołomów w regionie Kastamonu, a jako największy rozmiar ziarna wybrano 22 mm. Kruszywo pobrano w trzech różnych wielkościach ziaren od 0-5 mm i 5-12 mm, do 12-22 mm, zgodnie z normami TS EN 933-1 (18). Właściwości fizyczne i chemiczne tego kruszywa przedstawiono w tablicy 1, a krzywą uziarnienia, wyznaczoną na podstawie analizy sitowej, pokazano na rys. 1.

Do wykonania próbek betonu użyto cementu portlandzkiego CEM I 42,5, wyprodukowanego w cementowni Bartin zgodnie z TS EN

mm. The aggregate was taken in three different grain sizes ranging from 0-5 mm 5-12 mm, and 12-22 mm in accordance with TS EN 933-1 (18) standard. The physical and chemical properties of the aggregates used are presented in Table 1, and the grain-size curve determined by sieve analysis is given in Fig.1.

CEM I Portland cement produced at the Bartin cement factory according to TS EN 197-1 (19), was used to cast concrete samples. The chemical and physical analysis are presented in Table 2.

Tablica 2 / Table 2

CHEMICZNE I FIZYCZNE WŁAŚCIWOŚCI CEMENTU

CHEMICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF CEMENT

Chemical Properties / Właściwości chemiczne, %		Physical Properties / Właściwości fizyczne	
Total SiO ₂ / Całkowite SiO ₂	18,80	Density / Gęstość, g/cm ³	3.10
Insoluble SiO ₂ / Nierozpuszczalny SiO ₂	0.51	Volume expansion / Stałość objętości, mm	1.0
Soluble SiO ₂ / Rozpuszczalny SiO ₂	18.29	Standard consistency [water demand] / Konsystencja normowa [wodożądność], %	28.80
Al ₂ O ₃	5.29	Initial setting time / Czas początku wiązania, min	172
Fe ₂ O ₃	2.89	Final setting time / Czas końca wiązania, min	235
CaO	62.82	Blaine surface / Powierzchnia wg. Blaine'a, cm ² /g	4271
MgO	2.44	45 mm sieve residue / Pozostałość na sicie 45 mm, %	4.7
SO ₃	3.29	90 mm sieve residue / Pozostałość na sicie 90 mm, %	0.2
Cl	0.076	Compressive strength Wytrzymałość na ściskanie, MPa	2 days / 2 dni
Na ₂ O	1.21		7 days / 7 dni
LOI / Straty prażenia	3.34		28 days / 28 dni

197-1 (19), a wyniki analizy chemicznej i fizycznej przedstawiono w tabeli 2.

Zastosowane w miejsce kruszywa grubego łupin orzecha laskowego, pozyskane od producentów orzechów laskowych działających w prowincji Düzce, a ich gęstość wynosiła 1,04 g/cm³ [Rys.2]. Wodę wodociągową z Kastamonu stosowano jako wodę do mieszania, w produkcji próbek betonu.

2.2. Metody

W badaniach stosowano beton klasy C25, z 300 kg cementu w metrze sześciennym. Zastosowano łupiny orzecha laskowego, zastępując kruszywo grube w ilości 3%, 6%, 9%, 12% i 15% masy kruszywa, o uziarnieniu 12-22 mm, co było celem badania. Wszystkie materiały, z których wykonano mieszanki, zważono na elektronicznej wadze precyzyjnej, w warunkach laboratoryjnych i umieszczone w mieszalniku do betonu. Przed dodaniem wody do mieszania w zbiorniku maszyny, wymieszano wszystkie materiały suche, uzyskując jednorodną mieszaninę, a następnie dodawano wodę do mieszania i uzyskiwano mieszankę betonową.

Przygotowano serię mieszanek próbnych z odpowiednią ilością wody zarobowej, cementu i konsystencji docelowej oraz ustalono, że opad stożka wynosi ok. 13±1 cm (20). Oznaczanie opadu stożka mieszanek przeprowadzono zgodnie z normą TS EN 12350-2 (20). Ich gęstość oznaczona była zgodnie z normą TS EN 12350-6 (21), a zawartość powietrza, z normą TS 3261 (22).

Łącznie przygotowano 270 próbek sześciennych – 15 cm × 15 cm × 15 cm do badań betonu; wykonywano je po trzy równolegle, w każdej serii. W celu przygotowania próbek sześciennych mie-



Rys. 2. Łupiny orzechów laskowych

Fig. 2. Hazelnut shells

The hazelnut shells replacing coarse aggregate were obtained from the hazelnut producers operating in Düzce province, and their density was determined to be 1.04 g/cm³ [Fig. 2]. The tap water of Kastamonu was used as mixing water, in the production of concrete samples.

2.2. Methods

In the study, C25 grade concrete with cement content of 300 kg/m³. The hazelnut shell was used to replace the coarse aggregate at 0%, 3%, 6%, 9%, 12% and 15% of coarse aggregate [12-22 mm] mass, which was the aim of the study, and a total of 6 subjects were created. All materials were weighed on an electronic precision scale under laboratory conditions and placed in the concrete mixer.

szankę wlewano do form w trzech warstwach i zagęszczano 25 uderzeniami pręta (23).

Próbki betonu wyjmowano z form po 24 godzinach i przechowywano w wodzie do stwardnienia, do dnia badania (24). Po 7, 28 i 90 dniach, gęstość przygotowanych próbek określano zgodnie z TS EN 12390-7 (25), a ich wytrzymałość na ściskanie oznaczano zgodnie z TS EN 12390-3 (26), natomiast wytrzymałość na zginanie zgodnie z TS EN 12390-6 (27). Szybkość przejścia fali dźwiękowej określono zgodnie z TS EN 12504-4 (28), mrozoodporność po 28 dniach określono zgodnie z TSE CEN/ TR 15177 (29), a absorpcję wody zgodnie z TS EN 12390-7 (25). Współczynnik przewodności cieplnej określono za pomocą urządzenia QTM 500. Ponadto wykonano zdjęcia SEM z próbek ściskanych, w celu zbadania mikrostruktury wyprodukowanego betonu.

3. Wyniki i ich omówienie

3.1. Badania mieszanki betonowej

Zmiany masy jednostkowej próbek świeżego betonu przedstawiono na rys. 3. Jak widać na tym rysunku, masy jednostkowe malały wraz z ilością dodanych do mieszanki łupin z orzecha laskowego i wahały się między 2230 kg/m³ a 1910 kg/m³. Maksymalny spadek masy jednostkowej świeżego betonu określono na około 14%, w próbkach betonu z dodatkiem 15% łupin z orzecha laskowego. Ten spadek masy jednostkowej świeżego betonu był spowodowany łupinami z orzecha laskowego [1,04 g/cm³], która miała mniejszą masę jednostkową, w porównaniu do kruszywa grubego [2,48 g/cm³].

Zawartość powietrza w mieszance betonowej zwiększała się wprost proporcjonalnie do zawartości łupin z orzechów laskowych – rys. 4. Ponadto stwierdzono, że zawartość powietrza była dwa i pół razy większa w próbce, w której zastosowano 15% dodatek łupin z orzechów laskowych, w porównaniu z próbką wzorcową. Równoległe ze spadkiem gęstości, zgodnie z oczekiwaniami wzrosła również zawartość powietrza.

3.2. Badania betonu stwardniałego

Zmiany gęstości próbek betonu, otrzymanych z dodatkiem łupin orzechów laskowych jako kruszywa grubego w mieszance betonowej, po 7, 28 i 90 dniach przedstawiono na rys. 5. Gęstość malała równoległe z ilością dodanych do mieszanki łupin z orzechów laskowych i wahała się w granicach 2243-2061 kg/m³, 2276-2074 kg/m³ i 2302-2085 kg/m³, odpowiednio w betonie po 7, 28 i 90 dniach. W próbce, w której zastosowano głównie łupiny z orzechów laskowych, spadek gęstości wynosił 8,1%, 8,8% i 9,4%, odpowiednio po 7, 28 i 90 dniach. Podobne wyniki uzyskano również w wielu badaniach, w których jako kruszywo do produkcji betonu stosowano odpady rolnicze, a przede wszystkim łupiny orzechów laskowych, które są lżejsze od kruszywa mineralnego (13; 30 – 32).

Nasiąkliwość betonu oznaczona w tym badaniu po 28. dniach – rys. 6, wzrastała wraz z zawartością łupin z orzechów lasko-

Before the mixing water was placed in the machine reservoir, a homogeneous mixture was formed by mixing all materials, and then fresh concrete mix was prepared by adding mixing water.

A series of the trial mix was prepared according to the amount of mixing water, cement dosage and the target consistency, and the slump value was determined to be approximately 13±1 cm (20). The slump value of the fresh concrete samples prepared was measured according to TS EN 12350-2 (20) standard, their density was made according to TS EN 12350-6 (21) standard, and their air content was made according to TS 3261 (22) standard.

A total of 270 cubic samples 15 cm × 15 cm × 15 cm were prepared for concrete tests, performed in three parallel on each subject. In the preparation of cubic samples, fresh concrete was poured into molds to be filled in 3 layers and compacted by 25 hits of the rod in each casting (23).

The molded concrete samples were removed from the molds after 24 hours and kept in the curing pool at 20 ± 2°C until the test day (24). At the end of 7, 28, and 90 days, the density of the prepared samples was determined following the TS EN 12390-7 (25), their compressive strength was determined according to TS EN 12390-3 (26), their splitting strength was determined acc. to TS EN 12390-6 (27), their sound velocity was determined acc. to TS EN 12504-4 (28) Frost resistance after 28 days was determined according to TSE CEN/ TR 15177 (29), water absorption was determined according to TS EN 12390-7 (25), and the thermal conductivity coefficient was determined, using the QTM 500 device. Furthermore, SEM images were taken from the samples after compressive strength test, to examine the microstructure of the concrete produced.

3. Results and discussion

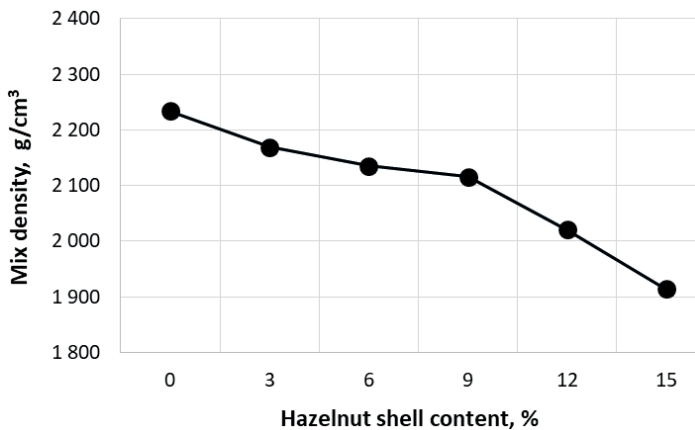
3.1. Fresh concrete tests

The changes in the density of fresh concrete samples are presented in Fig. 3. As can be seen from Fig. 3, the density decreased with the content of hazelnut shell added to the mixture and varied between 2230 kg/m³ and 1910 kg/m³. The maximum decrease in the density of fresh concrete mix was determined to be approximately 14% in concrete mix, with the addition of 15% hazelnut shell. This decrease in the density of the fresh concrete mix was due to the density of the hazelnut shell [1.04 g/cm³], which is lower compared to the coarse aggregate [2.48 g/cm³].

The air content of fresh concrete increased in direct proportion to the percentage of hazelnut shell [Fig. 4.], and it was observed that the air content was two and a half times higher in the case of concrete mix containing 15% hazelnut shell, compared to the control sample. In parallel with the decrease in density, air contents also increased, as expected.

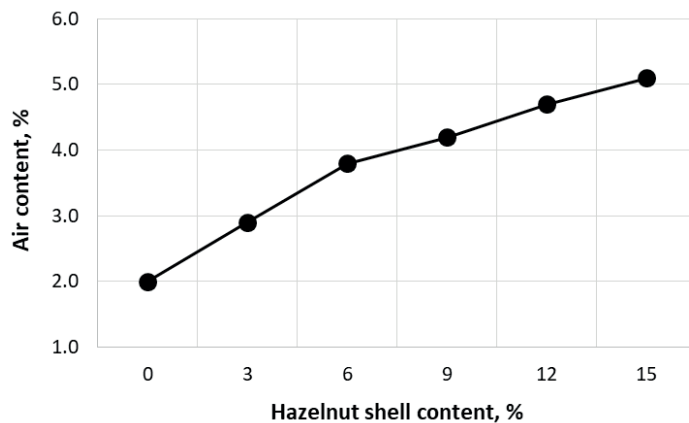
3.2. Hardened concrete tests

The changes in the density of concrete samples produced using hazelnut shell as a partial replacement of coarse aggregate in



Rys. 3. Zmiana masy jednostkowej świeżego betonu

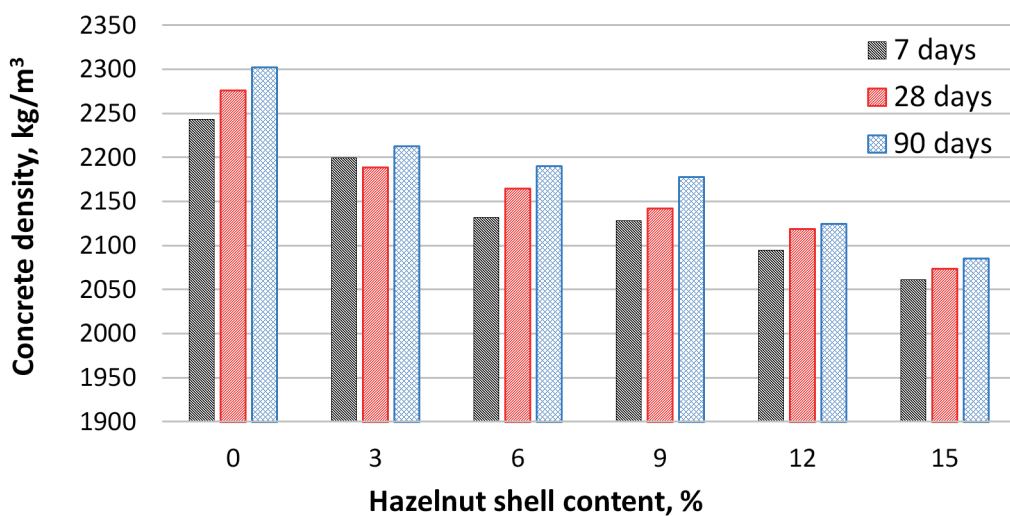
Fig. 3. Change in the density of fresh concrete



Rys. 4. Zmiana zawartości powietrza w świeżym betonie

Fig. 4. Change in the air content of fresh concrete

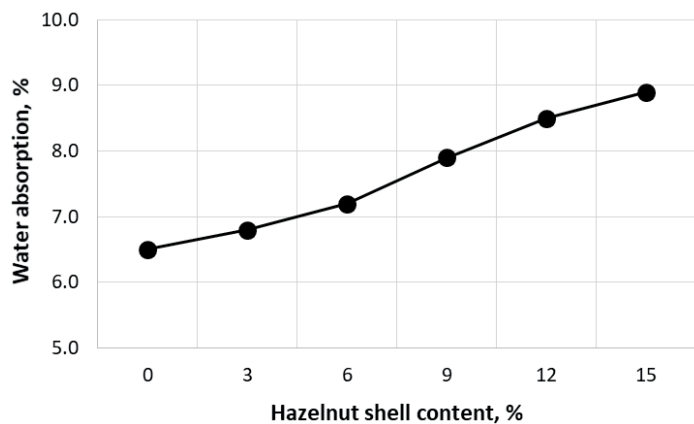
wych, dodanych do mieszanki. W zależności od zawartości łupin z orzecha laskowego – 3, 6, 9, 12 i 15%, wzrost nasiąkliwości wynosił odpowiednio 4,6, 10,7, 21,5, 30,7 i 36,9%. Duża nasiąkliwość betonu jest czynnikiem, który negatywnie wpływa na wytrzymałość i trwałość betonu. Według Ceylan i Saraç (33), dopuszczalna nasiąkliwość dla betonu lekkiego wynosi 20%. Dlatego pod względem dopuszczalnej nasiąkliwości, można powiedzieć, że łupiny orzecha laskowego mogą być stosowane, zastępując grube kruszywo.



Rys. 5. Zmiana masy jednostkowej stwardniałych próbek betonu

Fig. 5. Change in the density of hardened concrete samples

Zmiany wytrzymałości na ściskanie próbek betonu po 7, 28 i 90 dniach, do których dodano łupiny orzechów laskowych, zastępując nimi kruszywo grube, przedstawiono na rys. 7. Wytrzymałość na ściskanie malała odwrotnie proporcjonalnie do zawartości dodanych do mieszanki łupin z orzechów laskowych, we wszyst-

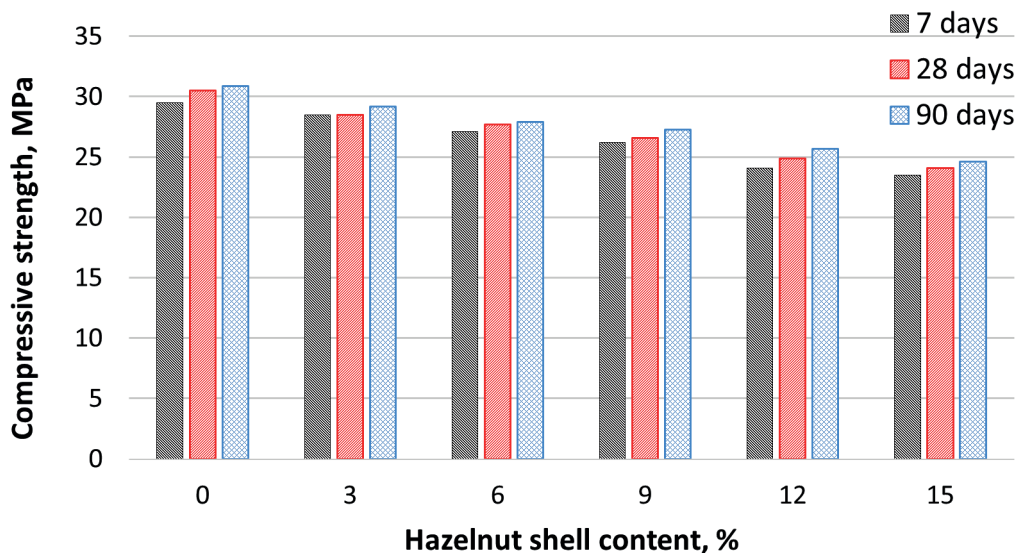


Rys. 6. Zmiany absorpcji wody przez próbki stwardniałego betonu

Fig. 6. Change in the water absorption rates of hardened concrete samples

concrete after 7, 28, and 90 days of curing, are presented in Fig. 5. The density decreased parallelly with the amount of hazelnut shell added to the mixture, and varied between 2243-2061 kg/m³, 2276-2074 kg/m³, and 2302-2085 kg/m³, respectively, after 7, 28, and 90 days of curing. In the subject in which the hazelnut shell was used mainly, the changes in density were determined to be 8.1, 8.8 and 9.4%, respectively, for 7, 28 and 90 days of curing. Similar results were also observed in many studies in which agricultural wastes such as hazelnut shell, which are lighter than aggregate, were used as an aggregate in concrete production (13, 30 - 32).

The water absorption rates of the concrete samples produced in this study after 28 days of curing, are presented in Fig. 6. They increased with the amount of hazelnut shell added to the mixture. Depending on the addition of the hazelnut shell: 3, 6, 9, 12 and 15%, the increase in water absorption rates was measured to be 4.6, 10.7, 21.5, 30.7 and 36.9%, respectively. The high water absorption rates of concrete are a parameter that adversely affects strength and durability. According to Ceylan and Saraç (33), the acceptable water absorption rate for lightweight concrete is 20%.



Rys. 7. Zmiany wytrzymałości na ściskanie stwardniałych próbek betonu

Fig. 7. Change in the compressive strength of hardened concrete samples

kich trzech okresach twardnienia. Ten spadek wytrzymałości na ściskanie wahał się od 3,3% do 20,3% po 7. dniach, od 6% do 20,9% po 28. dniach i od 5,5% do 20,3% po 90. dniach. Ten spadek wytrzymałości na ściskanie, w zależności od ilości dodanych do mieszanki łupin z orzecha laskowego, był oczekiwanym wynikiem małej wytrzymałości tych łupin, przy zmniejszającej się masie jednostkowej i zwiększającym się współczynniku porowatości. Podobne wyniki uzyskano również w wielu badaniach, w których jako kruszywo stosowano różne odpady rolnicze (11, 13, 34, 35).

Podobnie jak w przypadku wytrzymałości na ściskanie, wytrzymałość na rozłupywanie stwardniałego betonu, malała odwrotnie proporcjonalnie do ilości dodanych do mieszanki łupin z orzechów laskowych – rys. 8. Maksymalny spadek wytrzymałości na rozłupywanie wynosił 62%, 54% i 52%, odpowiednio po 7., 28. i 90. dniach, w przypadku dodania 15% łupin z orzecha laskowego. Stwierdzono, że zastosowanie łupin z orzecha laskowego, jako kruszywa grubego w betonie, ma duży negatywny wpływ na wytrzymałość na rozłupywanie.

Wyniki badania wytrzymałości na ściskanie, po cyklach zamrażania-rozmrażania, otrzymanych próbek betonu po 28. dniach twardnienia, przedstawiono na rys. 9. Jak widać także na rysunku 10, straty przy ściskaniu wyniosły 4,5%, 12,1%, 17,6%, 26,6% i 30,1% odpowiednio dla 3, 6, 9, 12 i 15% zawartości łupin orzecha laskowego. Na podstawie tych wyników stwierdzono, że mrozoodporność próbek z 12% i 15% zawartości łupin z orzecha laskowego była niewystarczająca, ponieważ przekraczała największą granicę

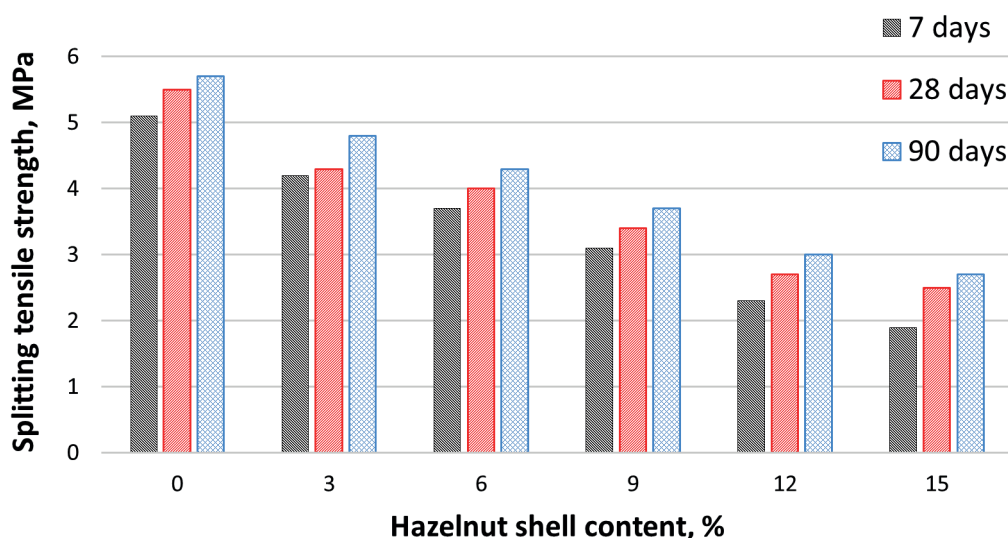
Therefore, in terms of the acceptable water absorption rate, it can be said that the hazelnut shell can be used as a replacement for coarse aggregate.

The changes in the compressive strength after 7, 28 and 90 days for concrete in which hazelnut shell was used as replacement for coarse aggregate, are presented in Fig. 7. The compressive strength decreased inversely proportional to the amount of hazelnut shell added to the mixture, in all three curing periods. This decrease in compressive strength ranged between 3.3% and 20.3% for 7 days of curing, between 6% and 20.9% for 28 days, and between 5.5%

and 20.3% for 90 days of curing. This decrease in compressive strength dependence on the amount of hazelnut shell added to the mixture was an expected result of the low strength properties of the hazelnut shell, with decreasing density and increasing void ratio. Similar results were also found in many studies in which different agricultural wastes, were used as aggregates (11, 13, 34, 35).

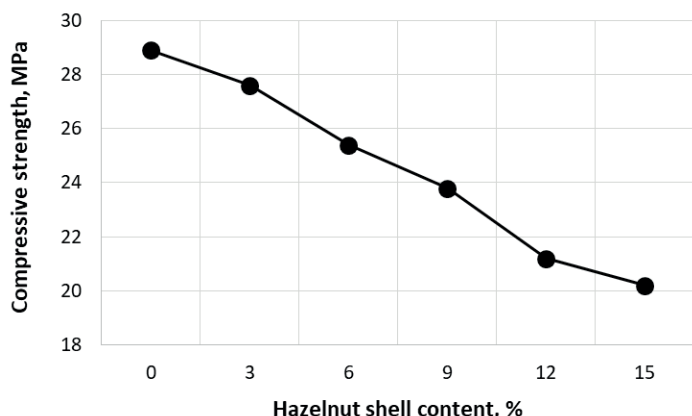
Similarly to compressive strength, the splitting strength of hardened concrete decreased inversely proportional to the amount of hazelnut shell added to the mixture, as shown in Fig. 8. The maximum decrease in splitting strength was determined to be 62%, 54% and 52% after 7, 28, and 90 days of curing, respectively, in the case where 15% hazelnut shell was used. It was observed that the use of hazelnut shell as a coarse aggregate in concrete, had a high negative effect on the splitting strength.

The compressive strength of concrete cured for 28 days and subjected to freeze-thaw cycles, is presented in Fig. 9. As it can be



Rys. 8. Zmiany wytrzymałości na rozłupywanie stwardniałych próbek betonu

Fig. 8. Change in the splitting strength of hardened concrete samples



Rys. 9. Wytrzymałość na ściskanie stwardniałych próbek betonu, dojrzewających 28 dni, po cyklach zamrażania-rozmrażania

Fig. 9. Compressive strength of hardened concrete samples after 28 days of curing and freeze-thaw cycles

utrąty wytrzymałości na ściskanie – 20%, podaną w literaturze (36). Dlatego można stwierdzić, że zastosowanie łupin z orzecha laskowego, w ilości do 10%, jako kruszywa grubego w otrzymanym betonie, szczególnie w regionach o zimnym klimacie, nie będzie powodowało żadnych niekorzystnych skutków.

Przy zastosowaniu łupin z orzechów laskowych jako kruszywa w mieszance betonowej, prędkości przejścia dźwięku zmniejszyły się jak oczekiwano, z powodu spadku masy jednostkowej i wzrostu współczynnika porów – rys. 10. W doświadczeniach, w których zastosowano głównie łupiny z orzecha laskowego, uzyskano poprawę izolacyjności akustycznej, o około 15%.

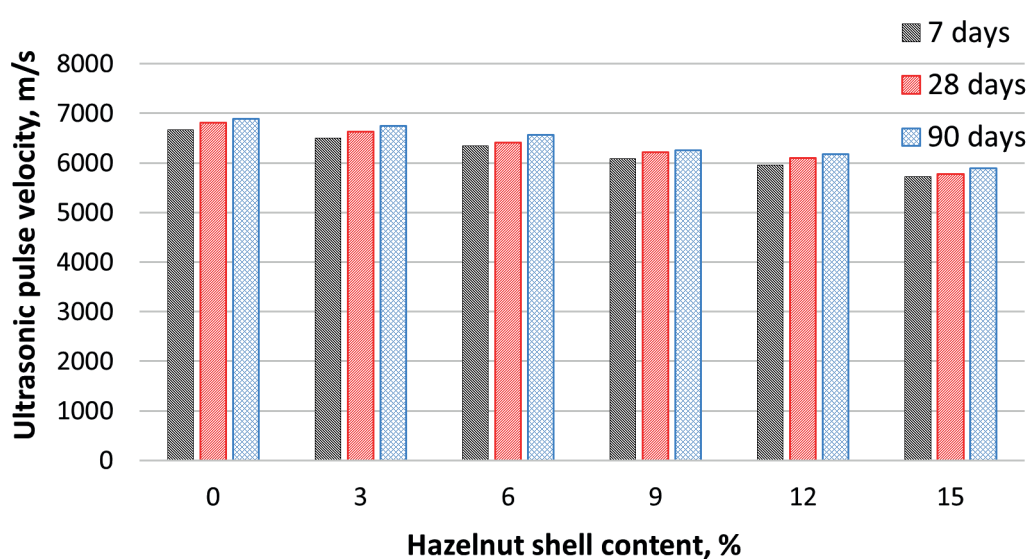
Analogicznie do korzystnego wpływu zastosowania łupin z orzecha laskowego do otrzymywania betonu, na izolację akustyczną, ma ona również korzystny wpływ na izolację cieplną, co wykazano na podstawie pomiarów współczynnika przewodności cieplnej próbek betonu – rys. 11. Współczynniki przewodności cieplnej 28- dniowych próbek betonu, zmniejszyły się z 2,00 W/(m.K) do 0,98 W/(m.K), równoległe z ilością dodanych łupin z orzechów laskowych, a izolacja cieplna uległa około dwukrotnej poprawie.

3.3. Mikrostruktura próbek stwardniałego betonu

Zdjęcia ze skaningowego mikroskopu elektronowego, wykonane w celu zbadania mikrostruktury próbek betonu otrzymanych w tym badaniu, przedstawiono na rys. 12. Stwierdzono, że pomiędzy zastosowanymi jako kruszywo łupinami z orzechów laskowych a uwodnionym zaczynem cementowym, utworzyło się bardzo mocne wiązanie.

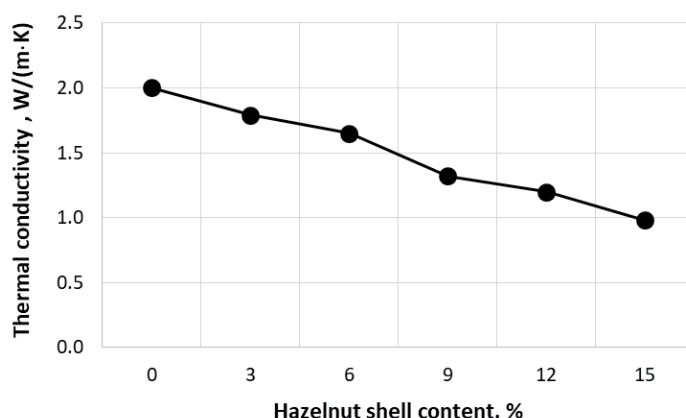
seen, the strength loss was measured to be 4.5%, 12.1%, 17.6%, 26.6%, and 30.1%, respectively, for 3, 6, 9, 12, and 15% hazelnut shell addition. Based on these results, it was determined that the frost resistance of the samples with 12 and 15% hazelnut shell was insufficient, since it exceeded the highest limit of compressive strength loss [20%] indicated in the literature (36). Therefore, it can be said that the use of hazelnut shell by up to 10% as a coarse aggregate in concrete to be produced, especially in regions with a cold climate, will not lead to significant disadvantage.

With the use of hazelnut shell as an aggregate in the concrete mix, ultrasonic pulse velocity decreased as expected due to the decrease in density and the increase in voids ratio, as can be seen in Fig. 10. An improvement of approximately 15% was achieved in sound insulation in the subject in which hazelnut shell was used mostly.



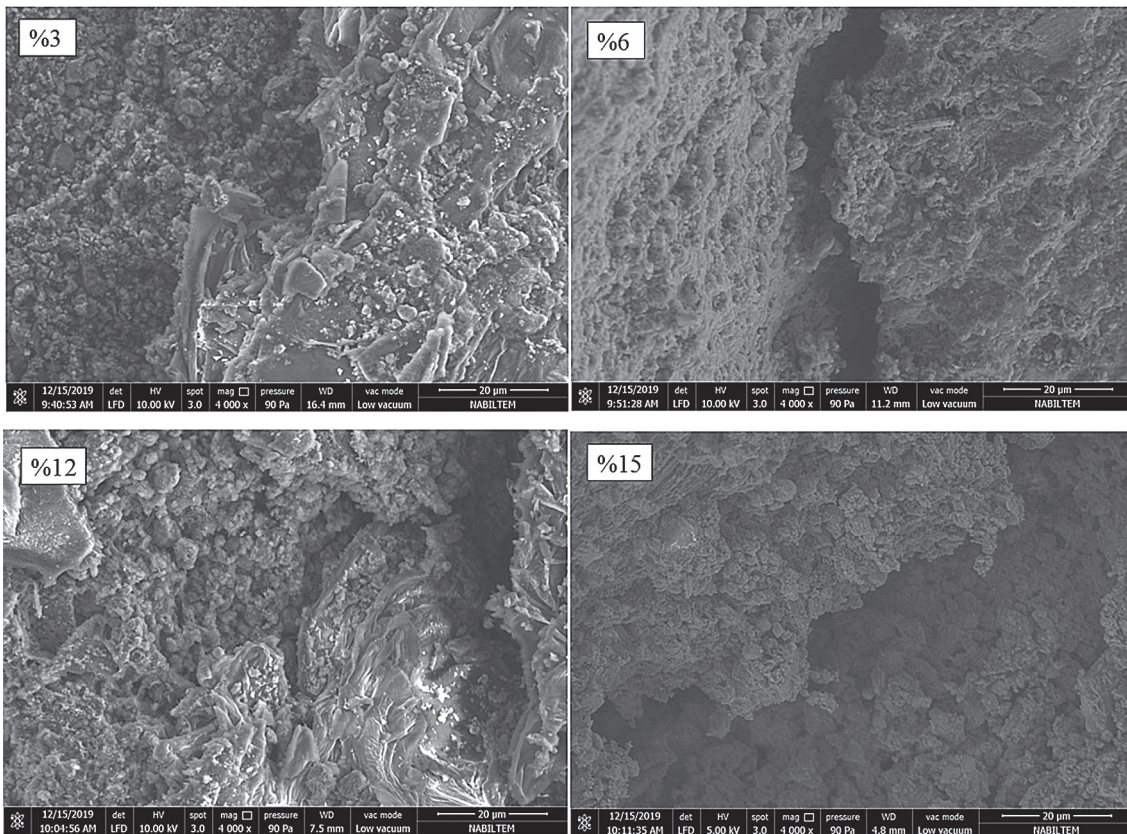
Rys. 10. Zmiany prędkości przejścia fali dźwiękowej w próbkach stwardniałego betonu

Fig. 10. Change in the ultrasonic pulse pass velocities of hardened concrete samples



Rys. 11. Zmiana współczynników przewodności cieplnej stwardniałych próbek betonu

Fig. 11. Change in the thermal conductivity coefficients of hardened concrete samples



Rys. 12. Mikrostruktura próbki betonu, zawierającego 3%, 6%, 12% i 15% łupin z orzecha laskowego

Fig. 12. Microstructures of 3%, 6%, 12% and 15% hazelnut shell bearing concrete samples

4. Wnioski

W badaniach określono przydatność łupin z orzecha laskowego, będących odpadem rolniczym w dzisiejszych warunkach, jako kruszywo o małej gęstości. Trzeba podkreślić, że lekkie materiały budowlane z każdym dniem zyskują na znaczeniu. Wyniki tych doświadczeń można podsumować następująco:

Wraz ze wzrostem zawartości łupin z orzechów laskowych w kruszywie, zmniejsza się gęstość betonu. Można powiedzieć, że możliwe jest zastosowanie łupin z orzecha laskowego, jako kruszywo do produkcji betonu lekkiego, a tym samym można zmniejszyć obciążenie budowli.

Gdy porównano beton z dodatkiem łupin z orzecha laskowego pod względem wytrzymałości na ściskanie i rozłupywanie, próbki z tym dodatkiem miały mniejszą wytrzymałość, w porównaniu z betonem wzorcowym. Przy ocenie, pod kątem docelowej klasy betonu C25, stwierdzono, że beton uzyskany z dodatkiem 9% łupin z orzecha laskowego miał wystarczającą wytrzymałość. Dlatego można powiedzieć, że dodatek 9% łupin z orzechów laskowych można stosować jako kruszywo, szczególnie w niskim budownictwie rolniczym. Podobnie można stwierdzić, że pod względem mrozoodporności, w betonie z łupinami orzechów laskowych, wystąpił akceptowalny poziom strat przy ściskaniu, nie przekraczający 9%. Z tego powodu ten beton może być bez problemu stosowany również w zimnych regionach.

Similar to the positive effect of the use of hazelnut shell in concrete production on sound insulation, it was revealed by the thermal conductivity coefficient measurements made on concrete samples that it also had a positive effect on thermal insulation, as shown in Fig. 11. The thermal conductivity coefficient of the 28-day old concrete samples decreased from 2.00 W/(m·K) to 0.98 W/(m·K) in parallel with the amount of hazelnut shell used, and thermal insulation was approximately twice improved.

3.3. Microstructures of Hardened Concrete Samples

The SEM images taken to examine the microstructure of the concrete samples produced in this study, are presented in Fig. 12. It was determined that a good bond was formed between the hazelnut shells used as aggregates and the hydrated cement paste.

4. Conclusions

In today's conditions, where light building materials are gaining more importance day by day, the use of low density hazelnut shell, which is an agricultural waste, as aggregate material was investigated according to the test results actually carried out in this study. Obtained result can be summarized as follows.

It was found that incorporation of hazelnut shell decreased the concrete density. In this case, it can be said that the use of a hazelnut shell, as a partial substitution of aggregates in the production of lightweight concrete, can reduce the building load. Water absorption increased with the addition of hazelnut shell.

Pod względem izolacji cieplnej i dźwiękowej zastosowanie łupin z orzecha laskowego w produkcji betonu, przyniosło pozytywne wyniki. Nawet zastosowanie 3% łupin z orzecha laskowego w mieszance, zmniejszyło współczynnik przewodności cieplnej o około 10%. Maksymalny spadek współczynnika przewodności cieplnej – 51%, uzyskano w przypadku betonu z 15% zawartością łupin z orzecha laskowego. Podobne wyniki uzyskano w zakresie izolacji akustycznej.

Na podstawie wszystkich wyników doświadczalnych można stwierdzić, że lekki beton o wystarczającej wytrzymałości i trwałości, izolacji cieplnej i dźwiękowej, może być produkowany przy zastosowaniu łupin z orzecha laskowego, który jest odpadem rolniczym, jako kruszywo w betonie. Można zalecić, aby ilość łupin z orzecha laskowego, dodawana do mieszanki, nie była większa niż 10% objętości kruszywa, szczególnie w przypadku betonu, który ma być stosowany w elementach nośnych.

Literatura / References

1. S. Güner, *Materials Science Building Materials and Concrete Technology*. Aktif Publishing House Erzurum (1999) (in Turkish).
2. C. Sönmezoğlu, *The Effect of Curing Conditions on the Mechanical Properties of Lightweight Concrete*. Master Thesis, Yapı Eğitim Anabilim Dalı (2005).
3. İ. Türkmen, *Investigation of Freeze-Thaw Resistance of Lightweight Concrete Produced from Van-Erciş Pumice*. Ataturk University Institute of Science and Technology, Master Thesis, Erzurum (1997).
4. A.M. Neville, J.J. Brooks, *Concrete Technology*, Longman Group UK Limited, (1987).
5. L. Gündüz, A. Sarıışık, B. Tozaçan, M. Davraz, İ. Uğur, O. Çankıran, *Pumice Technology Volume I*, Süleyman Demirel University, 275-285, (1998) (in Turkish).
6. G. Campione, L. La Mendola, *Behavior in compression of lightweight fiber reinforced concrete confined with transverse steel reinforcement*. *Cem. Concr. Comp.* **26**, 645–656 (2004)
7. L. Cavaleri, N. Miraglia, M. Papia, *Pumice Concrete for Structural Wall Panels*. *Eng. Struct.* **25**, 115-125. (2003).
8. E. Arıcı, *The Effect of Volcanic Tuff from Van Region on Concrete Strength and Investigation of Its Usability as Lightweight Concrete Aggregate*, Master Thesis, Fırat University, Institute of Science and Technology, Elazığ. (1997).
9. G. Serin, *Investigation of the Use of Pumice as a Lightweight Concrete Block Wall Element*. Master Thesis, SDU Graduate School of Natural and Applied Sciences, Isparta. (1999).
10. G. H. Öztütüncü, *The Effects of Average Light Aggregate Size on the Frost Resistance of Semi-Light Concretes*. Master Thesis, İ.T.Ü. (1992).
11. M.A. Mannan, J. Alexander, C. Ganapathy, D.C.L. Teo, *Quality improvement of oil palm shell (OPS) as coarse aggregate in lightweight concrete*. *Build. Environ.* **41**, 1239–1242. (2006).
12. C.B. Sisman, E. Gezer, I. Kocaman, *Effects of Organic Waste (Rice Husk) on the Concrete Properties for Farm Buildings*. *Bulgarian J. Agricul. Sci.* **17**(1), 40-48. (2011).
13. C.B. Sisman, S. Alkaya, *Usability of Sunflower Stems As Lightweight Aggregate in Concrete Production*. *Fresenius Environ. Bull.* **28**(12A), 9983-9990. (2019).

Compared in terms of compressive and splitting strength tests, the hazelnut shell-containing concrete has lower strength than the control concrete. When evaluated in terms of the quality of C25 concrete targeted in production, it was observed that sufficient strength was provided in the concrete produced with a 9% hazelnut shell addition. Likewise, it can be said that an acceptable strength loss of up to 9% occurs in hazelnut shell concrete, in terms of frost resistance. Therefore, this concrete can be used easily in cold regions.

According to the thermal conductivity tests performed in the study, even the use of 3% hazelnut shell in the mixture decreased the thermal conductivity coefficient by approximately 10%. The maximum reduction in the coefficient of thermal conductivity equal to 51%, was obtained in concrete with 15% hazelnut shell. Similar results were obtained in the ultrasonic pulse transmission velocity experiment.

Within the scope of the test results obtained in the study, it can be said that light weight concrete with sufficient strength and durability, providing the heat and sound insulation, can be produced by using hazelnut shell, which is agricultural waste, as aggregate in concrete. It can be recommended that the amount of hazelnut shells to be added to the mixture should not exceed 10% of the aggregate, especially for the concrete to be used in the carrier elements.

14. H. Ceylan, Characteristics of Lightweight Concrete Obtained from Different Types of Pumice Aggregates under the Effect of Temperature, PhD. Thesis, Mining Engineering and Mining Department, Süleyman Demirel University Isparta, Türkiye. (2005).
15. G. Topçuoğlu, Contribution of Hazelnut in the International Market to Turkish Economy and Its Problems. Master Thesis, Tekirdağ Namık Kemal University, Institute of Science and Technology, Department of Agricultural Economics (2008).
16. P.M. Kris-Etherton, V. Mustad, A. Lichtenstein, Recruitment and screening of study participants in well-controlled clinical studies. In: Dennis B, Ershow A, Obarzanek E, et al. ., eds. *Metabolic diet studies in humans: a practical guide to design and management*. Chicago: The American Dietetic Association (1999).
17. E.Z. Hoşgün, B. Bozan, Investigation of the Effect of Low Temperature Low Time Alkaline Pretreatments on the Composition and Enzymatic Hydrolysis of Hazelnut Shell. *J. Gazi Univ. Facul. Eng. Archit.* **32**(2), 517-529 (2017) (in Turkish).
18. TS EN 933-1. Tests for geometrical properties of aggregates - Part 1: Determination of particle size distribution - Sieving method, TSE, Ankara (2015).
19. TS EN 197-1. Cement - Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements, TSE, Ankara (2012).
20. TS EN 12350-2. Testing fresh concrete – Part 2: Slump test, TSE, Ankara (2019).
21. TS EN 12350-6. Testing fresh concrete - Part 6: Density, TSE, Ankara (2019).
22. TS 3261. Determination of the air content of fresh concrete by volumetric method, TSE, Ankara (2019).
23. TS EN 206-1. Concrete-part-1: Specification, performance, production and conformity, TSE, Ankara (2002).
24. TS EN 12390-2. Testing hardened Concrete-part 2: Making and curing specimens for strength tests, TSE, Ankara (2010).
25. TS EN 12390-7. Testing hardened concrete - Part 7: Density of hardened concrete, TSE, Ankara (2019)
26. TS EN 12390-3. Testing hardened concrete - Part 3: Compressive strength of test specimens, TSE, Ankara (2019).
27. TS EN 12390-6. Testing hardened concrete - Part 6: Tensile splitting strength of test specimens, TSE, Ankara (2010).
28. TS EN 12504-4. Testing concrete - Part 4: Determination of ultrasonic pulse velocity, TSE, Ankara (2012).
29. TSE CEN/ TR 15177. Testing the freeze-thaw resistance of concrete - Internal structural damage, TSE, Ankara (2012).
30. T. Ozturk, M. Bayraklı. The possibilities of using tobacco wastes in producing lightweight concrete. *Agri. Eng. Int.: CIGR J.* (2005).
31. H.M. Algin, P. Turgut, Cotton and limestone powder wastes as brick material. *Constr. Build. Mater.* **22**, 1074-1080 (2008).
32. C.B. Sisman, E. Gezer, H.C. Kurc, Effects of Rice Husk on the Lightweight Concrete Properties Produced by Natural Zeolite for Farm Buildings. *Asian J. Appl. Sci.* **2**(2), 158-166 (2014).
33. H. Ceylan, M.S. Saraç, A Research on Some Properties of Lightweight Concrete Obtained from Different Types of Pumice Aggregate under the Effect of Temperature. Süleyman Demirel University, J. Graduate School Natur. Appl. Sci. **10**(3), 413-421 (2006).
34. G. Li, Y. Yu, Z. Zhao, J. Li, C. Li, Properties study of cotton stalk fibre/ gypsum composite. *Cem. Concr. Res.* **33**(1), 43-46 (2003).
35. C.B. Sisman, E. Gezer, Sunflower Seed Waste As Lightweight Agregate in Concrete Production, *Int. J. Env. Waste Manag.* **12**(2): 203-212 (2013).
36. T. Ekmekyapar, İ. Özüng, Construction Material Information. Atatürk Üniv., Ziraat Fak. Ders Yay., No:145, Erzurum. (1997) (in Turkish).