

# MOISTURE SUSCEPTIBILITY OF WARM MIX ASPHALT CONCRETE CONTAINING SYNTHETIC ZEOLITE

## Abstract

*The primary objective of this study was to perform a laboratory testing to determine the moisture sensitivity of an asphalt concrete produced in warm mix asphalt technology (WMA) with the addition of the synthetic zeolite. The usage of this technology may cause potential difficulties like the insufficient mixture compaction or undesirable impact of some WMA additives. One of the design assumptions was the potential adhesion problem. That is why the addition of hydrated lime was also evaluated as anti-stripping agent to WMA with the zeolite.*

**Keywords:** warm mix asphalt, moisture susceptibility, road pavements, synthetic zeolite

## 1. Introduction

Warm Mix Asphalt technology (WMA) stands for environmental, economic and technological benefits, as it enables to produce and place asphalt mixtures at temperatures by as much as 50°C lower than the conventional ones. Therefore, numerous advantages can be selected: energy savings, decreased emission of fumes and odors, improved working conditions, extended paving season. Despite all the promising benefits, temperature reduction is limited by the quality of the resulting pavement. One of the fundamental property that cannot be sacrificed is the moisture susceptibility. The purpose of this study was to perform a laboratory testing to determine the moisture sensitivity of an asphalt concrete produced in WMA technology. The reduction in mixing and compaction temperatures was possible due to the mineral WMA additive – zeolite.

## 2. Moisture susceptibility problem in WMA

Moisture susceptibility, one of the main demanded parameter, is a measure of asphalt mixture durability at negative temperatures and in the presence of water. Water and frost have an adverse impact on such phenomena as cohesion of the mix and adhesion between the binder and the aggregate. Water activity enhances the stripping of the bitumen from the surface of aggregate grains, resulting in detachment, peeling, loosening and, consequently, deterioration of the mixture [1].

The parameter of moisture susceptibility is crucial because of the connection with other vital mix properties. Computational analysis of the asphalt pavement construction have shown the significant effect of this parameter on fatigue life of the structure [1].

The meaning of moisture susceptibility does not depend on technology used to produce asphalt mix. However, the usage of warm mix asphalt technology may cause some difficulties, like the insufficient mixture compaction or undesirable impact of some WMA additives. The difficulty in obtaining an adequate amount of air voids is a result of lowered compaction temperature. Another matter is that WMA additives may worsen adhesion of (modified or unmodified) asphalt to the aggregate, as their main objective is to interact with the binder: reduce its viscosity or create foaming effect.

The usage of the synthetic zeolite, which is a WMA additive in form of a very fine powder, creates a danger of mentioned adhesive failure due to its properties. Zeolite is a sodium aluminum silicate with large inter connected spaces, regular network of channels and chambers in its crystal structure. Thanks to this specific, diverse and loose internal “architecture”, it can accommodate water (approx. 25%) and remove it reversibly. The presence and amount of this zeolitic water is the main property that determines the usefulness of this additive, because as a result of zeolite and hot asphalt contact, it turns into vapor, creating

a microscopic foaming effect in the bitumen. This process is gradual; that is why there is a possibility of adhesive failure due to residual moisture contained in the zeolite. In order to eliminate such phenomenon, it is recommended to use anti-stripping agents.

### 3. Sample preparation and testing procedure

There are several tests to evaluate moisture sensitivity of the asphalt mixes that can be divided into two groups. The first one contains examination of selected fractions of loose aggregate coated with binder. The main objective is to visually assess the percentage of grains that remained coated with the asphalt after the procedure of submitting the samples to water saturation. The other group include tests that are carried out on compacted specimens produced in the laboratory or cut from the existing pavement. Moisture susceptibility is evaluated by the decrease in mechanical parameters like stiffness or durability (resilient modulus or indirect tensile strength) of the conditioned specimens in comparison with unconditioned ones [1].

To evaluate moisture sensitivity of asphalt mixes produced in WMA technology with the addition of the synthetic zeolite, the decrease in indirect tensile strength was evaluated in this study.

For the purpose of testing, asphalt concrete AC 16 W 35/50 KR 3-4 was designed in accordance with WT-2 2010. The output content of the zeolite was selected at the level of 0.2% (from the amount of the whole mixture) according to the literature sources [2] and differentiate into: 0.1, 0.3 and 0.4% (diminishing the amount of the filler respectively). One of the design assumptions was the potential adhesion problem. That is why one set of specimens with recommended 0.2% of the zeolite was produced with the addition of anti-stripping agent-hydrated lime in amount of 1.5% [3]. The confirmed effectiveness [4] and formation of strong ionic bonds created by calcium cations from the hydrated lime and silicon atoms from the zeolite, were the main reasons why this particular anti-stripping agent was chosen.

The reduction in temperature was achieved by lowering the conventional production temperature by 20°C. The compaction process of cylindrical specimens (compaction energy was 35 pestle blows) was carried out at four different temperatures: from 115 to 145°C in increment of 10°C, in order to find out the influence of this factor on the measured parameter. Additionally, to compare indirect tensile strength mixes with different amounts of the zeolite, the designed mixture was produced also without the addition of the zeolite in

traditional hot mix asphalt technology and compacted in the entire temperature range.

The specimens conditioning process, simulating water and frost impact on the asphalt concrete, was conducted in accordance with WT-2 2010 Appendix 1, after specimens were separated into two sets: wet and dry. Dry specimens were stored on flat surface at ambient temperature, while wet ones were saturated with water, subjected to one freezing cycle and kept in high temperature conditions before subjected to destructive force. After conditioning process the test was conducted on both wet and dry sets, and indirect tensile strength was evaluated:

$$ITS = \frac{2P}{\pi DL} \quad (1)$$

### 4. Test results and analysis

Indirect tensile strength results were presented in Figure 1 and 2: of unconditioned specimens from the dry set (ITS<sub>d</sub>) and conditioned ones from the wet set (ITS<sub>w</sub>), respectively.

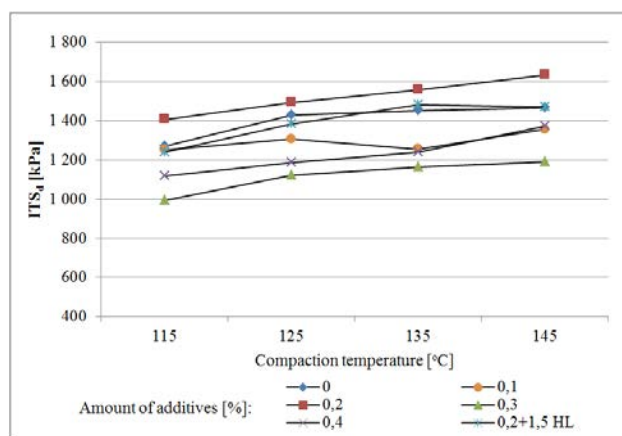


Fig. 1. Indirect tensile strength results of unconditioned specimens from the dry set

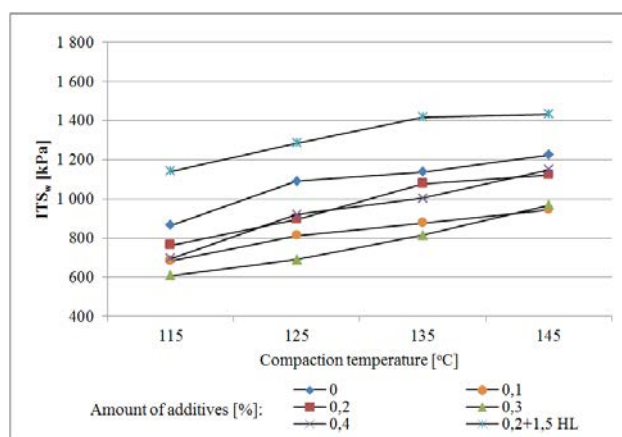


Fig. 2. Indirect tensile strength results of conditioned specimens from the wet set

From the indirect tensile strength test results, several conclusions were made. First of all, visible downward trend was observed on both graphs: increasing temperature increased the testing parameter. Such finding was irrespective of following factors: presence of additives in the mixture, production technology (HMA or WMA) and whether specimens were conditioned or not.

The presented results seemed to suggest the lack of linear dependence between the addition of the zeolite and the indirect tensile strength. The lowest strength was obtained for the asphalt mixture with 0.3% of the zeolite, for both conditioned and unconditioned specimens. On the other hand, the highest results were obtained for mixtures with 0.2% zeolite (dry set) and 0.2% zeolite with the hydrated lime (wet set). In both cases, the greatest parameter did not depend on compaction temperature.

Another important observation was that HMA mix was comparable to WMA mix with 0.2% zeolite and 1.5% hydrated lime among unconditioned specimens. Oppositely, the addition of zeolite and hydrated lime resulted in significantly higher strength in wet set. All conditioned WMA mixtures only with the zeolite achieved worse results than HMA mixture.

Indirect tensile strength ratio (ITSR) was evaluated as a proportion of indirect tensile strength measured on conditioned specimens to unconditioned ones (2). The ITSR results were presented in Figure 3 where minimum required value of 80% (according to [5]) was highlighted in grey.

$$ITSR = \frac{ITS_w}{ITS_d} 100\% \quad (2)$$

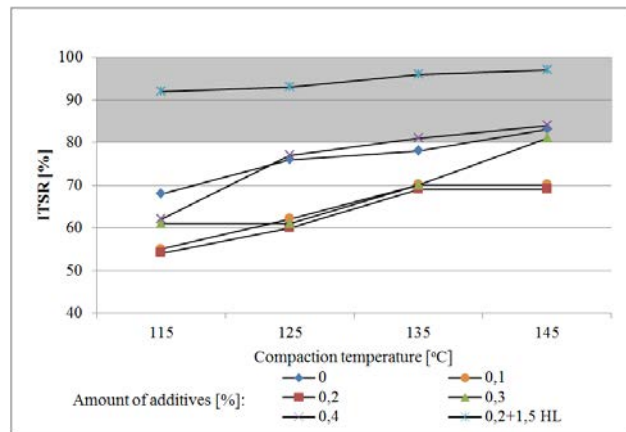


Fig. 3. Indirect tensile strength ratio

The presented results indicated that mixtures with the zeolite and hydrated lime achieved significantly higher ITSR values than minimum required, irrespective of compaction temperature. Therefore, it can be concluded that the amount of 1.5% of hydrated lime can be reduced and will still meet the requirements even at the lowest compaction temperature. Only 4 of other 20 mixture combinations (4 compaction temperatures and 5 contents of the zeolite) met the minimum requirements, 3 of them were compacted at the highest temperature of 145°C.

It should be noted that the asphalt mixture with 0.2% of the zeolite turned out to achieve the lowest ITSR value despite the highest indirect tensile strength of unconditioned mixture.

An Analysis of Variance (ANOVA) was performed to determine which of two factors (compaction temperature and additives) and interaction between them, significantly affect the measured indirect tensile strength ratio. The assumed null hypothesis was that the source of variation did not differentiate the outcomes at the significance level of  $\alpha = 0.05$ . The results were presented in the table.

Table 1. Two-way analysis of variance

ANOVA						
Source of Variation	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Additives	8150.79	5	1630.158	538.4009	6.493E-41	2.4085
Temperature	2519.6	3	839.8657	277.3869	2.617E-30	2.7981
Interaction	567.153	15	37.81019	12.4878	8.288E-12	1.8802
Within	145.333	48	3.027778			
Total	11382.9	71				

The ANOVA results clearly indicated that the P-value was lower than the 0.05 significance level in each case. It justified the rejection of the null hypothesis in favor of finding that both explanatory variables differentiate the results. In addition, the interaction between compaction temperature and additives significantly affected obtained results.

## 5. Conclusions

Based on the analysis of the test results of asphalt concrete the following conclusions can be drawn:

- indirect tensile strength ratio does not linearly depend on the amount of the zeolite in the asphalt mixture;

- the addition of the hydrated lime in the mixture with the zeolite produced in WMA technology significantly improves moisture resistance, even after reduction in compaction temperature of 30°C in comparison to conventional temperature;
- compaction temperature and the addition of the zeolite statistically significantly affect ITR value of the asphalt mixture.

## References

- [1] Jaskuła P.: *Analiza niszczącego oddziaływania wody i mrozu na mieszanki mineralno-asfaltowe (Analysis of the deteriorating effects of water and frost on asphalt mixes)*. PhD dissertation, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, doctoral supervisor: prof. dr hab. inż. Józef Judycki, Gdańsk 2004.
- [2] Hurley G.C., Prowell B.D.: *Evaluation of Aspha-Min zeolite for use in arm mix asphalt*. National Center for Asphalt Technology, NCAT Report 05-04 Auburn University 2005.
- [3] Jaskuła P., Judycki J.: *Wapno hydratyzowane w mieszankach mineralno-asfaltowych: Asphacal Wypełniacz mieszany (Hydrated lime in asphalt mixes: Asphacal mixed filler)*, Kraków 2007.
- [4] Małasiewicz D., Sarlińska H.: *Jak poprawić parametr ITR w mieszankach mineralno-asfaltowych (How to improve the ITR parameter in asphalt mixes)*. „Nawierzchnie asfaltowe”, PSWNA, 2 (2013), pp. 3-7.
- [5] WT-2 Nawierzchnie asfaltowe 2010, Część 1: Mieszanki mineralno-asfaltowe.

Agnieszka Róg

# Mrozoodporność betonu asfaltowego w technologii na ciepło z dodatkiem syntetycznego zeolitu

## 1. Wstęp

Produkcja mieszanek mineralno-asfaltowych w technologii na ciepło (WMA) jest korzystna ze względów środowiskowych, ekonomicznych i technologicznych, gdyż możliwa jest w temperaturach niższych niż tradycyjne o ok. 50°C. Jako główne zalety należy wskazać przede wszystkim mniejsze koszty zużycia paliw, redukcję emisji szkodliwych substancji i potencjalnego narażenia na nią pracowników, wydłużenie sezonu budowlanego itp. Obniżenie temperatury mieszanki jest jednak ograniczone stawianym jej wymaganiom, redukcja temperatury może odbywać się dopóki nie ulegają pogorszeniu wymagane parametry wytrzymałościowe gwarantujące trwałość nawierzchni. Ze względu na to, że jednym z głównych wymagań stawianych mma jest mrozoodporność, za cel niniejszej pracy obrano zbadanie betonu asfaltowego wyprodukowanego w technologii na ciepło. Produkcję w tej technologii umożliwiło zastosowanie mineralnego dodatku do WMA – zeolitu.

## 2. Problem mrozoodporności w mieszankach WMA

Mrozoodporność, jako jeden z normowo wymaganych parametrów, jest miarą trwałości mieszanki w ujemnych temperaturach i w obecności wody.

Woda i mróz wpływają bowiem niekorzystnie na takie zjawiska, jak kohezja mieszanki i adhezja asfaltu do kruszywa. Woda ma tendencję do odmywania otoczki asfaltu z powierzchni agregatu mineralnego, prowadząc do odrywania się ziaren kruszywa, łuszczenia i rozluźniania się mieszanki, a w konsekwencji obniżenia jej wytrzymałości i degradacji nawierzchni [1].

Parametr odporności mieszanki na działanie wody i mrozu jest istotny także ze względu na powiązanie z innymi istotnymi właściwościami mieszanki. Analizy obliczeniowe konstrukcji nawierzchni asfaltowej wykazały, że odporność mieszanki mineralno-asfaltowej na działanie wody i mrozu istotnie wpływa na trwałość zmęczeniową konstrukcji [1].

Znaczenie parametru mrozoodporności jest niezależne od stosowanej technologii produkcji mma. W technologii na ciepło jednak szczególne zagrożenie występuje z powodu możliwości niedogęszczenia mieszanki lub działania dodatków do WMA. Z trudnością uzyskania odpowiedniego poziomu zawartości wolnych przestrzeni mamy do czynienia w rezultacie redukcji temperatury zagęszczania. Natomiast konsekwencją zastosowanych dodatków do WMA, których głównym celem jest obniżenie lepkości asfal-



tu lub jego spienienie, może być pogorszenie adhezji lepiszcza (zmodyfikowanego lub nie) do kruszywa.

Zastosowany w niniejszej pracy dodatek do WMA – zeolit syntetyczny w postaci proszku, ze względu na swoje właściwości stwarza niebezpieczeństwo opisanego powyżej negatywnego wpływu na adhezję asfaltu do kruszywa. Zeolit jest glinokrzemianem o krystalicznej strukturze, w której występują duże puste przestrzenie oraz sieci regularnych kanalików i komór. Dzięki tej specyficznej, zróżnicowanej i luźnej „architekturze” możliwe jest pochłanianie (zdolność absorpcji wody do 25% wag.) i odwracalne oddawanie wody. Obecność i ilość tej tzw. wody zeolitycznej decyduje o możliwości zastosowania tego dodatku, gdyż w momencie kontaktu zeolitu z gorącym lepiszczem następuje uwolnienie wody z jego struktur i spowodowanie efektu spienienia asfaltu. Ze względu na rozłożony w czasie (a nie gwałtowny) przebieg procesu spienienia i stopniowe oddawanie wody z zeolitu istnieje możliwość uwięzienia jej w mieszance i pogorszenia adhezji. W celu eliminacji tego zjawiska, zalecane jest zastosowanie środków adhezyjnych.

### 3. Przygotowanie próbek i procedura badawcza

Badania umożliwiające ocenę odporności mieszank na działanie wody i mrozu można podzielić na dwie grupy. Do pierwszej z nich należą badania polegające na badaniu wybranych frakcji kruszywa otoczonego asfaltem. Taka luźna mieszanka poddawana jest ocenie wizualnej procentu ziaren otoczonych asfaltem pozostałych po nasycaniu wodą. W obrębie drugiej grupy bada się zagęszczone laboratoryjnie lub wycięte z nawierzchni. Wrażliwość na oddziaływanie wody i mrozu oceniana jest przez spadki parametrów mechanicznych, takich jak sztywność czy wytrzymałość (moduł sztywności sprężystej przy pośrednim rozciąganiu, wytrzymałość przy pośrednim rozciąganiu itp.) próbek poddanych kondycjonowaniu w stosunku do niekondycjonowanych [1].

W niniejszym opracowaniu do oceny mrozoodporności mieszank wyprodukowanych w technologii WMA z dodatkiem zeolitu wykorzystano spadek wytrzymałości na rozciąganie pośrednie próbek kondycjonowanych względem niekondycjonowanych.

Na potrzeby przeprowadzenia badań, zgodnie z WT-2 2010 zaprojektowano beton asfaltowy AC 16 W 35/50 przeznaczony na drogi obciążone ruchem KR 3-4. Wyjściową ilość dodatku zeolitu do mieszanki ustalono na poziomie 0,2% (w stosunku do masy mma) zgodnie z literaturą [2], wykonując także próby dla zawartości: 0,1, 0,3 i 0,4% (pomniejszając o daną

ilość wypełniacz wapienny). Jednym z założeń projektowych było wykonanie serii próbek z dodatkiem środka adhezyjnego w celu eliminacji potencjalnego problemu adhezji w WMA z zeolitem. Jako środek ten zastosowano wapno hydratyzowane w ilości 1,5% [3], które dodano do mieszanki z zalecaną ilością zeolitu. Za wyborem tego rodzaju środka stała przede wszystkim jego potwierdzona skuteczność [4] i obecność w nim kationów wapnia, które łącząc się z atomami krzemu z zeolitu, tworzą silne wiązanie jonowe.

Założenie technologiczne produkcji w technologii na ciepło i narzucające redukcję temperatur produkcji mieszanki spowodowało, że zostały one obniżone o ok. 20°C w stosunku do tradycyjnych. Proces zagęszczania cylindrycznych próbek Marhalla (po 35 uderzeń na stronę) przeprowadzono w 4 różnych temperaturach od 115 do 145°C ze skokiem o 10°C, w celu stwierdzenia wpływu tego czynnika na badany parametr. Dodatkowo w celu porównania wytrzymałości na rozciąganie pośrednie jakie możliwe są do uzyskania z różnymi dodatkami zeolitu, mieszankę tę wyprodukowano także w tradycyjnej technologii na gorąco bez dodatku zeolitu i poddano procesowi zagęszczania w całym założonym przedziale temperatur.

Kondycjonowanie próbek, symulujące wpływ wody i mrozu, przeprowadzono zgodnie z załącznikiem nr 1 do WT-2 2010, po uprzednim ich podziale na dwa zestawy: mokry i suchy. Próbki z zestawu suchego przechowywane były na płaskiej powierzchni w temperaturze pokojowej, natomiast próbki z zestawu mokrego poddano nasycaniu wodą, cyklowi zamrażania i odmrażania oraz przedłużonemu oddziaływaniu wody w podwyższonej temperaturze. Po zakończeniu kondycjonowania badanie wykonano na próbkach z zestawu suchego i mokrego, a wytrzymałość obliczona według wzoru (1).

### 4. Wyniki badań i ich analiza

Na rysunku 1 i 2 przedstawiono wyniki badania wytrzymałości na rozciąganie pośrednie odpowiednio próbek zestawu suchego niepoddanych kondycjonowaniu (ITSd) i zestawu mokrego poddanych kondycjonowaniu (ITSw).

Analiza obu wykresów wytrzymałości na rozciąganie pośrednie pozwala dostrzec trend spadku tego parametru wraz ze spadkiem temperatury zagęszczania niezależnie od takich czynników, jak obecność dodatków w mieszance, zastosowana technologii produkcji (HMA czy WMA) i tego, czy próbki były poddane kondycjonowaniu czy nie.

Kolejnym spostrzeżeniem jest brak liniowej zależności między dodatkiem zeolitu a badanym parametrem. Zarówno dla próbek z zestawu suchego, jak i mokrego najslabsze wyniki uzyskano dla dodatku 0,3% zeolitu względem masy mma. Najwyższe wytrzymałości natomiast pozwoliło osiągnąć zastosowanie zeolitu w ilości 0,2% w zestawie próbek niekondycjonowanych oraz 0,2% zeolitu i wapna w zestawie próbek kondycjonowanych. W obu przypadkach osiągnięcie najwyższych wytrzymałości dla tych ilości dodatków było niezależne od temperatury zagęszczania próbek.

Na uwagę zasługuje fakt, że w obrębie wyników próbek z zestawu suchego mieszanka wyprodukowana w technologii na gorąco bez zeolitu osiągnęła porównywalne wyniki jak mieszanka na ciepło z dodatkiem 0,2% zeolitu i wapnem hydratyzowanym. W obrębie próbek z zestawu mokrego powyższe zjawisko nie wystąpiło jednak, gdyż dodatek zeolitu i wapna poskutkował znacznie wyższymi wynikami wytrzymałości. Zauważono także, że w zestawie mokrym wszystkie mieszanki z zeolitem były słabsze niż mieszanka na gorąco bez zeolitu.

Wskaźnik mrozoodporności obliczono jako procentowy stosunek wytrzymałości na rozciąganie pośrednie próbek poddanych kondycjonowaniu do niekondycjonowanych według wzoru (2). Wyniki przedstawiono na rysunku 3.

Zgodnie z [5] dla zaprojektowanej mieszanki o danym uziarnieniu i przeznaczeniu wskaźnik ten powinien wynosić co najmniej 80%.

Na podstawie otrzymanych wyników zaobserwowano, że niezależnie od temperatury zagęszczania próbek, te z dodatkiem zeolitu i wapna osiągnęły wskaźnik znacząco wyższy od wymaganego, przewyższający pozostałe wyniki. Można zatem stwierdzić, że redukcja ilości wapna w mieszance nawet w najniższej temperaturze zagęszczania może przynieść korzystne rezultaty i pozwoli spełnić stawiane wymagania wskaźnika mrozoodporności. Spośród pozostałych 20 kombinacji mieszanek (4 temperatury zagęszczania i 5 zawartości zeolitu) tylko 4 z nich spełniły wymagania, 3 spośród nich były zagęszczone w najwyższej temperaturze 145°C.

Na uwagę zasługuje fakt, że mieszanka z dodatkiem 0,2% zeolitu mimo osiągnięcia najlepszych wyników wytrzymałości na rozciąganie pośrednie na próbkach niekondycjonowanych i wyników na średnim poziomie próbek kondycjonowanych, okazała się mieć najniższy spośród wszystkich mieszanek wskaźnik

mrozoodporności, nie spełniając wymagań nawet w najwyższej temperaturze zagęszczania.

W celu stwierdzenia istotności wpływu czynników: temperatury zagęszczania i obecność dodatków do WMA oraz interakcji między nimi na zmienność cechy mierzalnej jaką był wskaźnik mrozoodporności ITSR, posłużono się dwuczynnikową analizą wariancji. Postawiono hipotezę, że źródło zmienności nie różnicuje wyników przy poziomie istotności równym  $\alpha = 0,05$ . Wyniki tej analizy przedstawiono w tabeli 1.

Analizując wyniki przedstawione w tabeli, można zauważyć, że odpowiednie wartości prawdopodobieństwa są znacznie mniejsze od założonego poziomu istotności 0,05. Tym samym należy odrzucić hipotezę o braku wpływu zmiennych objaśniających na zmienność cechy mierzalnej na korzyść stwierdzenia, że oba czynniki: temperatura zagęszczania i dodatek zeolitu różnicują wyniki. Dodatkowo stwierdzono również wpływ interakcji tych dwóch czynników na otrzymane wyniki.

## 5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

- wskaźnik mrozoodporności nie zależy liniowo od ilości zeolitu w mieszance;
- dodatek wapna hydratyzowanego do mieszanki wyprodukowanej w technologii na ciepło z 0,2% zeolitu istotnie przyczynia się do poprawy jej mrozoodporności, nawet po obniżeniu temperatury zagęszczania o 30°C względem temperatury zagęszczania na gorąco;
- temperatura zagęszczania i dodatek zeolitu do mieszanki istotnie statystycznie wpływają na wartość wskaźnika mrozoodporności mieszanki ITSR.