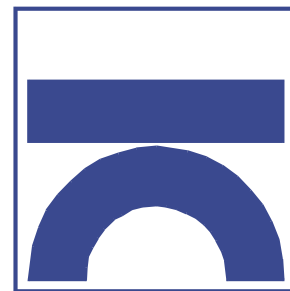


**INSTYTUT BADAWCZY DRÓG I MOSTÓW  
LABORATORIUM GEOTECHNIKI**

03-301 Warszawa, ul. Jagiellońska 80

tel. (0 22) 811 14 46, tel. / fax. (0 22) 814 53 16



**WPLYW TECHNOLOGII ZAGĘSZCZANIA  
NA WŁAŚCIWOŚCI  
MATERIAŁÓW GRUBOZIARNISTYCH  
STOSOWANYCH DO WARSTW  
MROZOOCHRONNYCH**

**Kierownik tematu**

**Kierownik Zakładu**

**Opracował zespół**

**prof. dr inż. Jan Pachowski  
mgr inż. Cezary Kraszewski  
mgr inż. Marcin Dreger  
inż. Mieczysław Przygoda  
mgr inż. Mirosław Szpikowski  
inż. Piotr Wileński**

**techn. Rafał Drózdź  
techn. Marcin Dąbrowski  
techn. Marzenna Har  
techn. Michał Mitrut  
techn. Tadeusz Tokarczyk  
techn. Piotr Żuławnik**

**Współpraca i konsultacje naukowe**

**dr inż. Jadwiga Wilczek  
prof. dr hab. inż. Leszek Rafalski**

**Warszawa, listopad 2005 r.**

# **ZADANIE I**

**STYCZEŃ – GRUDZIEŃ 2004 r**

## Spis treści

### ZADANIE I (2004 r.)

Str.

#### CZĘŚĆ 1

<b>Przegląd i analiza wykonanych dotychczas prac oraz inwentaryzacja ważniejszych zastosowań słabych kruszyw i odpadów przemysłowych w warstwach mrozoochronnych .....</b>	<b>4</b>
1. Wprowadzenie.....	4
2. Przegląd i analiza wyników badań.....	4
2.1. Badania zmian właściwości słabych kruszyw grubookruchowych wbudowywanych w warstwy mrozoochronne pod wpływem działania energii zagęszczającej .....	5
2.1.1. Zmiany składu ziarnowego łupków przywęglowych przepalonych, żużli pocynkowych i kruszywa z gruzu betonowego.....	5
2.1.2. Zmiany wartości wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej i wodoprzepuszczalności po zagęszczeniu energią normalną i zmodyfikowaną.....	9
2.2. Badania zmian właściwości słabych kruszyw grubookruchowych wbudowywanych w warstwy mrozoochronne pod wpływem działania energii zmodyfikowanej, wody i mrozu .....	12
2.2.1. Zmiany składu ziarnowego łupków przywęglowych przepalonych, żużli pocynkowych i kruszywa z gruzu betonowego .....	12
2.2.2. Zmiany wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej i wodoprzepuszczalności.....	16
2.3. Zmiany nasiąkliwości, mrozoodporności bezpośredniej i ścieralności po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i działaniu wody i mrozu.....	20
3. Przykładowe zastosowanie słabych kruszyw i odpadów przemysłowych w warstwach mrozoochronnych .....	24
3.1. Konstrukcje mrozoochronne dwuwarstwowe .....	25
3.2. Warstwy mrozoochronne z mieszanek o nieciągłym uziarnieniu .....	27
3.3. Warstwy mrozoochronne z mieszanek o uziarnieniu ciągłym .....	31
4. Podsumowanie .....	32
4.1. Rozpoznanie zmian zachodzących w uziarnieniu materiałów grubookruchowych pod wpływem działania energii zagęszczającej, wody i mrozu w warunkach laboratoryjnych...	33

4.2. Rozpoznanie zmian wartości wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej, wodoprzepuszczalności i wskaźnika nośności gruntów grubookruchowych, pod wpływem zagęszczania oraz działania wody i mrozu .....	33
4.3. Rozpoznanie zmian nasiąkliwości, mrozoodporności bezpośredniej i ścieralności gruntów grubookruchowych, pod wpływem zagęszczania oraz działania wody i mrozu.....	34
5. Propozycje zmian wymagań stosowanych w praktyce inżynierskiej .....	34

## **CZĘŚĆ 2**

<b>Ustalenie cech technicznych materiałów podlegających ocenie .....</b>	<b>35</b>
--	-----------

## **CZĘŚĆ 3**

<b>Szczegółowy program badań .....</b>	<b>36</b>
<b>Literatura .....</b>	<b>39</b>

## **CZĘŚĆ 1 Przegląd i analiza wykonanych dotychczas prac oraz inwentaryzacja najważniejszych zastosowań słabych kruszyw i odpadów przemysłowych w warstwach mrozoochronnych**

### **1. Wprowadzenie**

Stawianie coraz wyższych wymagań nośności konstrukcji nawierzchni często stwarza konieczność wzmocnienia podłoża nawet z niektórych gruntów niewysadzinowych, których odporność na odkształcenia jest niewystarczająca.

Oznacza to potrzebę wbudowywania w warstwy ulepszonego podłoża takich gruntów grubookruchowych, które są niewysadzinowe i charakteryzują się jednocześnie odpowiednio dużą nośnością. Jeżeli dysponujemy gruntami grubookruchowymi, będącymi pochodną skał twardych, odpornych na rozkruszenie, wodę i temperaturę nie ma istotnego znaczenia stan gruntu w jakim oceniamy jego przydatność do wbudowania w podłoże ulepszone, ponieważ jego parametry wysadzinowości nie zmieniają się lub zmieniają się nieznacznie w procesie zagęszczania i w zmiennych warunkach temperaturowo-wodnych.

W przypadku słabych gruntów grubookruchowych, pochodzących ze zwietrzelin i niektórych złóż antropogenicznych lub kruszyw gruzowych zaobserwowano znaczące zmiany właściwości tych materiałów pod wpływem zagęszczania, wody i mrozu.

Do takich materiałów należą np. kruszywa z łupków przywęglowych przepalonych, żużli pocynkowych i gruzu betonowego.

Aktualne standardy wymagają od podłoża pod konstrukcję nawierzchni cech niewysadzinowości, wg kryteriów jak dla drobnoziarnistych gruntów mineralnych. Jest to przyczyną wielu błędów, mających wymierne negatywne skutki, podczas klasyfikacji materiałów grubookruchowych pod względem ich niewysadzinowości oraz szeroko rozumianej przydatności do wbudowania w ulepszone podłoże.

W wyniku przeprowadzonych w ciągu ostatnich lat badań stwierdzono, że zmiany krzywej uziarnienia na sitach o boku oczka od 4 do 63 mm, słabych gruntów grubookruchowych występujących w Polsce, nie przekraczają 50 %.

### **2. Przegląd i analiza wyników wykonanych badań**

Przedstawione w tej części opracowania, badania laboratoryjne i ich analiza, odnoszą się do stosowanych dotychczas polskich aktów normatywnych. Po przeprowadzeniu badań porównawczych i ustaleniu na podstawie ich wyników wymagań aplikacyjnych zostaną opracowane wytyczne stosowania słabych materiałów grubookruchowych w oparciu o polskie normy europejskie.

## 2.1. Badania zmian właściwości słabych kruszyw grubokrukowych wbudowywanych w warstwy mrozoochronne, pod wpływem działania energii zagęszczającej

### 2.1.1. Zmiany składu ziarnowego łupków przywęglowych przepalonych, żużli pocynkowych i kruszywa z gruzu betonowego

Badania laboratoryjne zmian składu ziarnowego pod wpływem zagęszczania wykonano stosując aparat Proctora z cylindrem o średnicy 25 cm, objętości 10 dm<sup>3</sup>, masie ubijaka równej 15 kg i wysokości spadania ubijaka 60 cm.

Zmiany zawartości poszczególnych frakcji w każdej próbce po zagęszczeniu zadaną energią przedstawiają tablice nr 1,2,3 i wykresy uziarnienia na rysunkach nr 1,2,3.

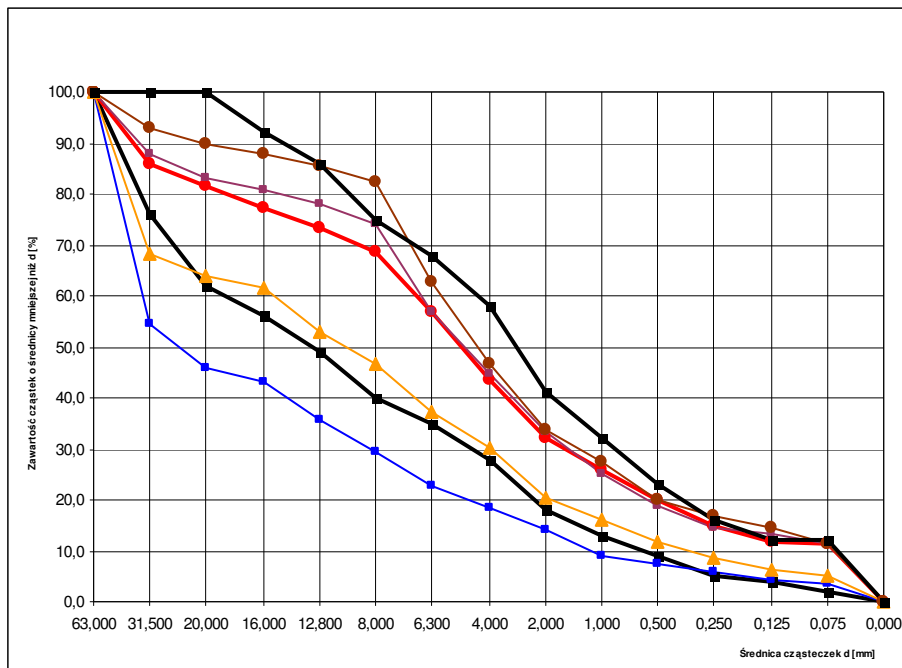
Przedstawione wyniki badań dotyczą łupków przywęglowych przepalonych ze zwałowisk: K.W.K. *Kazimierz Juliusz, Saturn, Powstańców Śląskich, Dębieńsko i Wesola*, żużli pocynkowych z K.G.H. „*Orzeł Biały*” w *Piekarach Śląskich, Z.G.H. „Bolesław” w Bukownie, Huty „Silesia” Zakład w Lipinach*, kruszywa uzyskanego z przekruszenia gruzu betonowego z rozbiórki konstrukcji betonowych, klasy B15 do B40.

Ponieważ wyniki badań łupków wykazały, że znaczące zmiany uziarnienia zachodzą w wyniku działania energii zmodyfikowanej wg Proctora czyli 2,650 J/cm<sup>3</sup>, dla pozostałych badanych materiałów grubokrukowych badano właśnie te zmiany.

Tablica 1

Zmiany zachodzące w uziarnieniu łupków pod wpływem zagęszczania zmienną wielkością energii

Stan materiału	Zawartość frakcji w materiale [%]			
	pyłowo-iłowej	piaskowej	żwirowej	kamienistej
Naturalny	3,6	10,5	44,1	41,8
Po 5-cio krotnym zagęszczeniu metodą normalną	5,0	15,3	48,7	31,0
Zmiana uziarnienia	+1,4	+4,8	+4,6	-10,8
Po 5-cio krotnym zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną	11,2	21,0	51,5	16,3
Zmiana uziarnienia	+6,2	+5,7	+2,8	-14,7
Po 5-cio krotnym zagęszczeniu energią równą 150 % energii zmodyfikowanej	11,3	22,0	52,0	14,7
Zmiana uziarnienia	+0,1	+1,0	+0,5	-1,6
Po 5-cio krotnym zagęszczeniu energią równą 200 % energii zmodyfikowanej	11,4	22,4	52,0	14,2
Zmiana uziarnienia	+0,1	+0,4	0,0	-0,5
<b>Sumaryczna zmiana uziarnienia</b>	<b>+ 7,8</b>	<b>+ 11,9</b>	<b>+ 7,9</b>	<b>- 27,6</b>



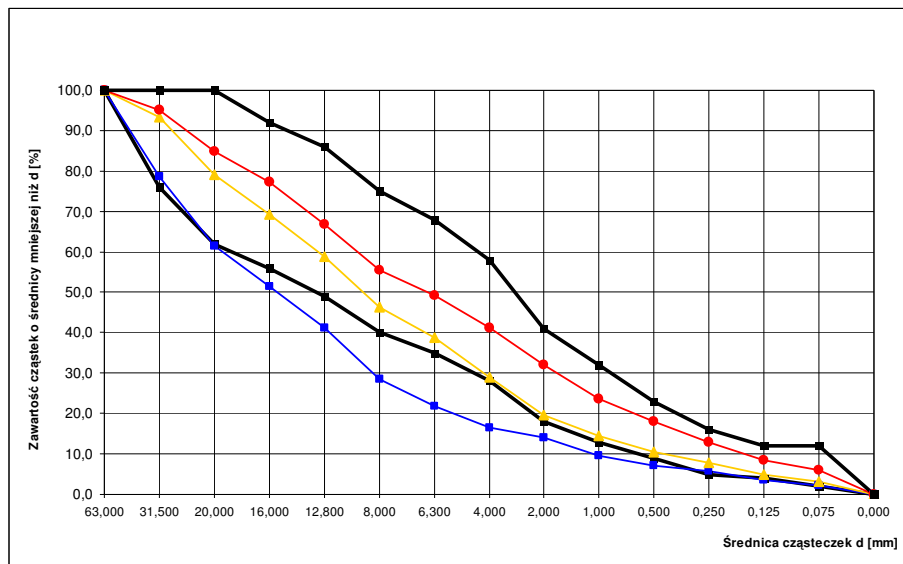
- krzywe graniczne obszaru optymalnego uziarnienia dla podbudów pomocniczych
- krzywa uziarnienia łupków w stanie naturalnym
- krzywa uziarnienia łupków po zagęszczeniu energią normalną
- krzywa uziarnienia łupków po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną
- krzywa uziarnienia łupków po zagęszczeniu energią równą 150 % energii zmodyfikowanej
- krzywa uziarnienia łupków po zagęszczeniu energią równą 200 % energii zmodyfikowanej

Rys. nr 1  
Wykresy krzywych uziarnienia łupków przywęglowych przepalonych zagęszczanych energią o zmiennej wielkości

Tablica 2

Zmiany zachodzące w uziarnieniu żużli pocynkowych pod wpływem zagęszczania energią normalną i zmodyfikowaną

Stan materiału	Zawartość frakcji w materiale [%]			
	pyłowo-iłowej	piaskowej	żwirowej	kamienistej
Naturalny	2,2	10,1	74,5	13,2
Po 5-cio krotnym zagęszczeniu metodą normalną	3,1	14,1	74,7	8,1
<b>Zmiana uziarnienia</b>	<b>+ 0,9</b>	<b>+ 4,0</b>	<b>+ 0,2</b>	<b>- 5,1</b>
Po 5-cio krotnym zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną	6,1	26,0	63,7	4,2
<b>Zmiana uziarnienia</b>	<b>+ 3,0</b>	<b>+ 11,9</b>	<b>- 11,0</b>	<b>- 3,9</b>
<b>Sumaryczna zmiana uziarnienia</b>	<b>+ 3,9</b>	<b>+ 15,9</b>	<b>- 10,8</b>	<b>- 9,0</b>



- krzywe graniczne obszaru optymalnego uziarnienia dla podbudów pomocniczych
- krzywa uziarnienia żużli pocynkowych w stanie naturalnym
- krzywa uziarnienia żużli pocynkowych zagęszczeniu energią normalną
- krzywa uziarnienia żużli pocynkowych po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną

Rys. nr 2

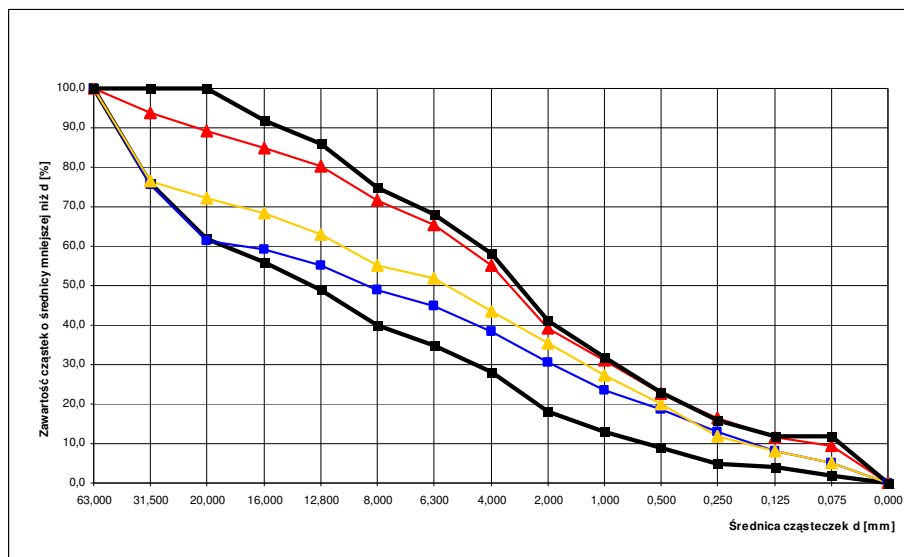
Wykresy krzywych uziarnienia żużli pocynkowych  
zagęszczanych energią o zmiennej wielkości



Tablica 3

Zmiany zachodzące w uziarnieniu kruszywa z gruzu betonowego pod wpływem zagęszczania energią normalną i zmodyfikowaną

Stan materiału	Zawartość frakcji w materiale [%]			
	pyłowo-iłowej	piaskowej	żwirowej	kamienistej
Naturalny	3,1	26,9	54,9	15,1
Po 5-cio krotnym zagęszczeniu metodą normalną	3,7	28,3	53,0	15,0
<b>Zmiana uziarnienia</b>	<b>+ 0,6</b>	<b>+ 1,4</b>	<b>- 1,9</b>	<b>- 0,1</b>
Po 5-cio krotnym zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną	8,2	30,7	56,0	5,1
<b>Zmiana uziarnienia</b>	<b>+ 4,5</b>	<b>+ 10,6</b>	<b>- 5,2</b>	<b>- 9,9</b>
<b>Sumaryczna zmiana uziarnienia</b>	<b>+ 5,1</b>	<b>+ 12,0</b>	<b>- 7,1</b>	<b>- 10,0</b>



- krzywe graniczne obszaru optymalnego uziarnienia dla podbudów pomocniczych
- krzywa uziarnienia kruszywa z gruzu betonowego w stanie naturalnym
- krzywa uziarnienia kruszywa z gruzu betonowego zagęszczeniu energią normalną
- krzywa uziarnienia kruszywa z gruzu betonowego po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną

Rys. nr 3

Wykresy krzywych uziarnienia kruszywa z gruzu betonowego zagęszczanego energią o zmiennej wielkości

Przedstawione wyniki wskazują na znaczne zmiany w uziarnieniu pod wpływem zagęszczenia w warunkach laboratoryjnych badanych materiałów grubookruchowych.

Wyraźny jest zasadniczy skok w zmianie uziarnienia przy przejściu z energii normalnej do zmodyfikowanej oraz nieznacznie postępująca zmiana przy dalszym zwiększaniu porcji energii zagęszczania. Prawdopodobnie wynika to ze znaczącej różnicy pomiędzy oddziaływaniem na słabe materiały energii zmodyfikowanej i normalnej. Związane jest to z małą odpornością ziaren tych kruszyw na uderzenia podczas zagęszczania. Można również przyjąć, że rozkruszenie frakcji grubych powoduje powstanie drobnoziarnistego wypełnienia pomiędzy tymi ziarnami, łagodzącego skutki zagęszczania ubijaniem Proctora.

Należy zwrócić uwagę na fakt, że w przypadku gruntów grubookruchowych, kruszących się w procesie zagęszczania, zmiany uziarnienia są tak istotne, że początkowy materiał o charakterze niewysadzinowym pod względem uziarnienia może stać się wątpliwy lub wysadzinowy.

Dlatego niezwykle istotne jest przyjęcie do oceny podobnych materiałów, kryterium granicznych zmian składu ziarnowego po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną wg Proctora.

### **2.1.2. Zmiany wartości wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej i wodoprzepuszczalności po zagęszczeniu energią normalną i zmodyfikowaną.**

W wyniku badania zmian uziarnienia po zagęszczeniu energią o zmiennej wielkości, stwierdzono zasadniczą zmianę w uziarnieniu słabych gruntów grubookruchowych po zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną. Dlatego zdecydowano się na określenie zmian innych właściwości materiałów grubookruchowych pod wpływem działania energii zagęszczającej o maksymalnej wielkości równej energii zmodyfikowanej wg Proctora

Wartość wskaźnika piaskowego określono dla frakcji 0/4, a wartość kapilarności biernej dla frakcji 0/2. Dodatkowo określono zawartość procentową wydzielonych frakcji przed i po zagęszczeniu.

Badanie wodoprzepuszczalności przeprowadzono na próbkach o pełnym uziarnieniu w cylindrze Proctora o  $V=10 \text{ dm}^3$ , przy przepływie wody z góry do dołu i zachowaniu spadku hydraulicznego  $i = 0,8$ .

Wyniki badań dla łupków przywęglowych przepalonych przedstawiono w tablicy nr 4, dla żużli pocynkowych w tablicy nr 5, a dla kruszywa z gruzu betonowego w tablicy nr 6.

Tablica 4

Zmiany wartości wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej i wodoprzepuszczalności łupków przywęglowych przepalonych pod wpływem zagęszczania

Stan materiału	Wskaźnik piaskowy WP	Procentowa zawartość frakcji 0/4	Kapilarność bierna $H_{kb}$ (m)	Procentowa zawartość frakcji 0/2	Wodoprzepuszczalność $k_{10}$ (m/ dobę)
Naturalny	69,4	18,6	0,11	14,1	46,1
Po zagęszczeniu metodą normalną	<b>72,3</b>	<b>25,9</b>	<b>0,18</b>	<b>20,3</b>	<b>22,3</b>
Po zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną	<b>50,4</b>	<b>38,8</b>	<b>0,47</b>	<b>32,2</b>	<b>11,2</b>

Tablica 5

Zmiany wartości wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej i wodoprzepuszczalności kruszywa z żużli pocynkowych pod wpływem zagęszczania

Stan materiału	Wskaźnik piaskowy WP	Procentowa zawartość frakcji 0/4	Kapilarność bierna $H_{kb}$ (m)	Procentowa zawartość frakcji 0/2	Wodoprzepuszczalność $k_{10}$ (m/ dobę)
Naturalny	75,6	16,1	0,11	12,2	46,9
Po zagęszczeniu metodą normalną	<b>60,3</b>	<b>28,2</b>	<b>0,41</b>	<b>19,8</b>	<b>24,0</b>
Po zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną	<b>50,2</b>	<b>40,6</b>	<b>0,47</b>	<b>30,8</b>	<b>11,7</b>

Tablica 6

Zmiany wartości wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej i wodoprzepuszczalności kruszywa z gruzu betonowego pod wpływem zagęszczania

Stan materiału	Wskaźnik piaskowy WP	Procentowa zawartość frakcji 0/4	Kapilarność bierna $H_{kb}$ (m)	Procentowa zawartość frakcji 0/2	Wodoprzepuszczalność $k_{10}$ (m/ dobę)
Naturalny	70,3	38,2	0,08	29,7	39,7
Po zagęszczeniu metodą normalną	<b>51,1</b>	<b>43,2</b>	<b>0,27</b>	<b>36,0</b>	<b>16,1</b>
Po zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną	<b>50,9</b>	<b>55,9</b>	<b>0,48</b>	<b>39,3</b>	<b>8,7</b>

Wyniki badań pokazane w tablicach 4, 5 i 6 wykazują dla wszystkich rodzajów materiałów gruboziarnistych znaczny spadek wartości wodoprzepuszczalności po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną oraz wzrost wartości kapilarności biernej. Należy zwrócić uwagę na fakt, że zgodnie z metodyką badań próbki materiału do oznaczania kapilarności biernej o uziarnieniu 0/2, stanowiły średnio około 20 % masy próbki o pełnym uziarnieniu, co nie odzwierciedla rzeczywistych możliwości zatrzymywania wody w kapilarach dla materiału o pełnym uziarnieniu.

Wielkość zmian wskaźnika piaskowego dla zbadanych łupków nie jest funkcją liniową zmian zawartości frakcji pyłowo-iłowej w zagęszczonym materiale. Oznacza to, że nie zawsze rozdrobnienie materiału w procesie badawczym, wpływa ujemnie na wartość wskaźnika piaskowego.

W przypadku kruszyw z żużli pocynkowych i z gruzu betonowego wzrost zawartości frakcji pyłowo-iłowej powoduje spadek wartości wskaźnika piaskowego.

## **2.2.Badania zmian właściwości słabych kruszyw grubookruchowych wbudowywanych w warstwy mrozochronne, pod wpływem działania energii zmodyfikowanej, wody i mrozu**

### **2.2.1.Zmiany składu ziarnowego łupków przywęglowych przepalonych, żużli pocynkowych i kruszywa z gruzu betonowego**

Oprócz zmian zachodzących w materiale grubookruchowym pod wpływem zagęszczania, grunt znajdujący się w strefie przemarzania, poddany jest cyklicznemu działaniu wody i mrozu, co może powodować dalsze rozkruszanie się jego ziaren.

Badania mrozoodporności i nasiąkliwości, prowadzone zgodnie z przedmiotowymi normami, polegają na określeniu możliwości absorpcji wody przez luźne, zamoczone w wodzie ziarna oraz pomiarze ubytku masy wydzielonych ziaren po ich cyklicznym zamrażaniu i odmrażaniu.

Odpowiednio uziarniony grubookruchowy materiał po zagęszczeniu, a więc po zminimalizowaniu wolnych przestrzeni, może stanowić warstwę mrozochronną drogi.

Na taki grunt, działa woda i mróz. Jednak w dobrze zagęszczonym gruncie każde większe ziarno jest otoczone warstewką mniejszych i bardzo drobnych ziaren. Jak wówczas działa woda i mróz można sprawdzić w wyniku badań modelowych.

Badanie zmian uziarnienia przeprowadzono w cylindrach Proctora wielkowieńcowego, poddając kruszywo zagęszczone energią zmodyfikowaną 25 cyklom zamrażania w temperaturze ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) i odmrażania w temperaturze ( $+18^{\circ}\text{C}$ )

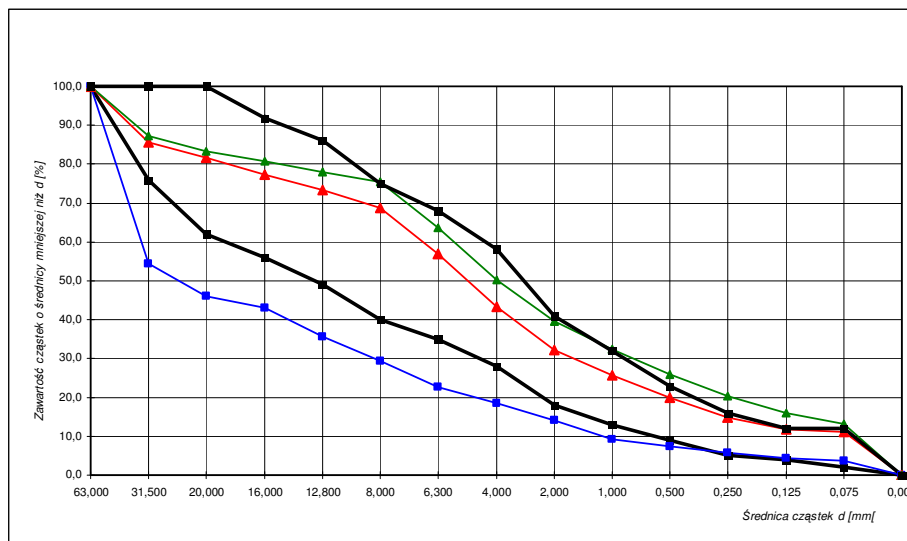
Każdorazowo przygotowywano cylindry z materiałem o jednakowym, skomponowanym jak naturalny składzie. Materiał w cylindrach, po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i obciążeniu poddany został 25 cyklom zamrażania w temperaturze ( $-18^{\circ}\text{C}$ ) i odmrażania w temperaturze ( $+18^{\circ}\text{C}$ ).

Zmiany uziarnienia pokazano w tablicach nr 7,8 i 9 oraz na rysunkach nr 4,5,6.

Tablica 7

Zmiany zachodzące w uziarnieniu łupków przywęglowych pod wpływem zagęszczenia energią zmodyfikowaną i działania mrozu

Stan materiału	Zawartość frakcji w materiale [%]			
	pyłowo-iłowej	piaskowej	żwirowej	kamienistej
Naturalny	3,6	10,5	44,1	41,8
Po 5-cio krotnym zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną	11,2	21,0	51,5	16,3
<b>Zmiana uziarnienia</b>	<b>+7,6</b>	<b>+10,5</b>	<b>+7,4</b>	<b>- 25,5</b>
Po 5-cio krotnym zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i 25 cyklach z-o	13,2	26,4	50,2	10,2
<b>Zmiana uziarnienia</b>	<b>+2,0</b>	<b>+5,4</b>	<b>-1,3</b>	<b>- 6,1</b>
<b>Sumaryczna zmiana uziarnienia</b>	<b>+9,6</b>	<b>+ 15,9</b>	<b>+ 6,1</b>	<b>- 31,6</b>



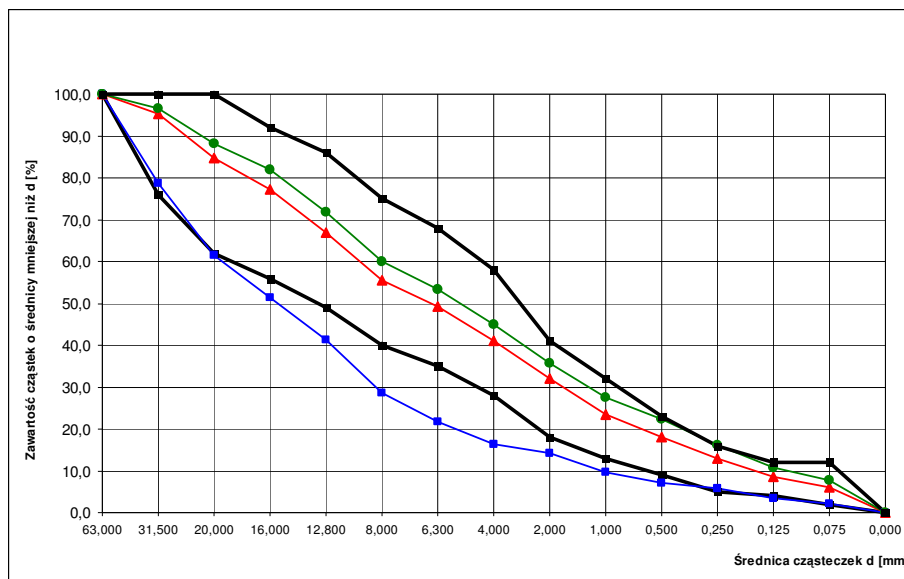
- krzywe graniczne obszaru optymalnego uziarnienia dla podbudów pomocniczych
- krzywa uziarnienia łupków w stanie naturalnym
- krzywa uziarnienia łupków po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną
- krzywa uziarnienia łupków po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i zamrażaniu

Rys. nr 4  
Wykresy krzywych uziarnienia łupków przywęglowych  
przepalonych zagęszczanych energią zmodyfikowaną i zamrażanych

Tablica 8

Zmiany zachodzące w uziarnieniu żużli pocynkowych pod wpływem zagęszczenia energią zmodyfikowaną i działania mrozu

Stan materiału	Zawartość frakcji w materiale [%]			
	pyłowo-iłowej	piaskowej	żwirowej	kamienistej
Naturalny	2,2	10,1	74,5	13,2
Po 5-cio krotnym zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną	6,1	26,0	63,7	4,2
<b>Zmiana uziarnienia</b>	<b>+3,9</b>	<b>+15,9</b>	<b>-10,8</b>	<b>- 9,0</b>
Po 5-cio krotnym zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i 25 cyklach z-o	8,2	27,8	61,0	3,0
<b>Zmiana uziarnienia</b>	<b>+2,1</b>	<b>+1,8</b>	<b>-2,7</b>	<b>- 1,2</b>
<b>Sumaryczna zmiana uziarnienia</b>	<b>+6,0</b>	<b>+ 17,7</b>	<b>- 13,5</b>	<b>- 10,2</b>



- krzywe graniczne obszaru optymalnego uziarnienia dla podbudów pomocniczych
- krzywa uziarnienia żużli pocynkowych w stanie naturalnym
- krzywa uziarnienia żużli pocynkowych po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną
- krzywa uziarnienia łupków po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i zamrażaniu

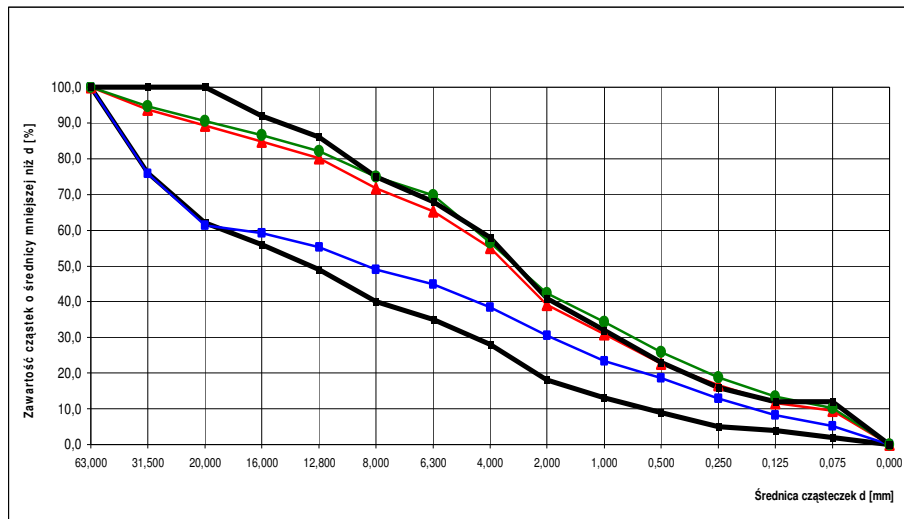
Rys. nr 5

Wykresy krzywych uziarnienia żużli pocynkowych  
zagęszczanych energią zmodyfikowaną i zamrażanych

Tablica 9

Zmiany zachodzące w uziarnieniu kruszywa z gruzu betonowego pod wpływem zagęszczenia energią zmodyfikowaną i działania mrozu

Stan materiału	Procentowa zawartość frakcji w materiale			
	pyłowo-iłowej	piaskowej	żwirowej	kamienistej
Naturalny	3,1	26,9	14,9	15,1
Po 5-cio krotnym zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną	8,2	30,7	56,0	5,1
<b>Zmiana uziarnienia</b>	<b>+5,1</b>	<b>+3,8</b>	<b>+1,1</b>	<b>- 10,0</b>
Po 5-cio krotnym zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i 25 cyklach z-o	10,3	28,3	57,4	4,0
<b>Zmiana uziarnienia</b>	<b>+ 2,1</b>	<b>-2,4</b>	<b>+ 1,4</b>	<b>- 1,1</b>
<b>Sumaryczna zmiana uziarnienia</b>	<b>+ 7,2</b>	<b>+1,4</b>	<b>+ 2,5</b>	<b>- 11,1</b>



- krzywe graniczne obszaru optymalnego uziarnienia dla podbudów pomocniczych
- krzywa uziarnienia żuźli pocynkowych w stanie naturalnym
- krzywa uziarnienia żuźli pocynkowych po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną
- krzywa uziarnienia łupków po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i zamrażaniu

Rys. nr 6  
Wykresy krzywych uziarnienia kruszywa z gruzu betonowego  
zagęszczanego energią zmodyfikowaną i zamrażanego



Analiza wyników badań uziarnienia zbadanych słabych materiałów grubookruchowych pozwala stwierdzić, że dla materiału zagęszczonego, zmiany uziarnienia po cyklicznym zamrażaniu i odmrażaniu nie są już tak istotne jak te, które nastąpiły pod wpływem zagęszczania energią zmodyfikowaną.

Krzywe uziarnienia materiału po zagęszczeniu i cyklicznym zamrażaniu lokują się nieco powyżej krzywych uziarnienia materiału po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną. Wyraźnie widać jednak znaczące różnice w położeniu tych krzywych w obszarze optymalnego uziarnienia dla podbudów pomocniczych.

Krzywe uziarnienia materiału w stanie naturalnym mieszczą się w pobliżu dolnych krzywych granicznych obszaru optymalnego uziarnienia, natomiast krzywe uziarnienia materiału po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i cyklicznemu zamrażaniu lokują się w pobliżu górnej krzywej granicznej, wychodząc czasami poza obszar optymalnego uziarnienia.

Oznacza to, że z czasem działanie sił mechanicznych oraz mrozu może wpływać korzystnie na poprawę uziarnienia słabych materiałów grubookruchowych. Oczywiście nie znaczy to, że wszystkie słabe materiały grubookruchowe zachowują się podobnie.

Przedstawione wyniki badań dotyczą łupków całkowicie przepalonych, zawierających śladowe ilości ziaren spopielałych, wyróżniających się ciemnoceglastą barwą oraz żużli pocynkowych eksploatowanych ze zwałowisk w sposób selektywny.

Gruz betonowy do produkcji kruszywa również nie był przypadkowo pozyskanym gruzem budowlanym.

Przedstawione wyniki badań są uśrednione dla materiałów pozyskiwanych z różnych źródeł. W pojedynczych przypadkach zdarzało się, że zawartość frakcji pyłowej i ilowej w materiale po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i cyklicznym zamrażaniu przekraczała wartości dopuszczalne dla gruntów określanych jako wysadzinowe, a krzywa uziarnienia przebiegała powyżej górnej krzywej granicznej obszaru optymalnego, co świadczy o nadmiernym rozdrobnieniu materiału.

### **2.2.2. Zmiany wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej i wodoprzepuszczalności**

W celu otrzymania najbardziej wiarygodnych wyników, badanie zmian wskaźnika piaskowego, wodoprzepuszczalności, kapilarności biernej i wskaźnika nośności przeprowadzono na próbkach materiału o uziarnieniu 0/31,5, zagęszczonych energią zmodyfikowaną w cylindrze CBR pod obciążeniem 200 kPa.

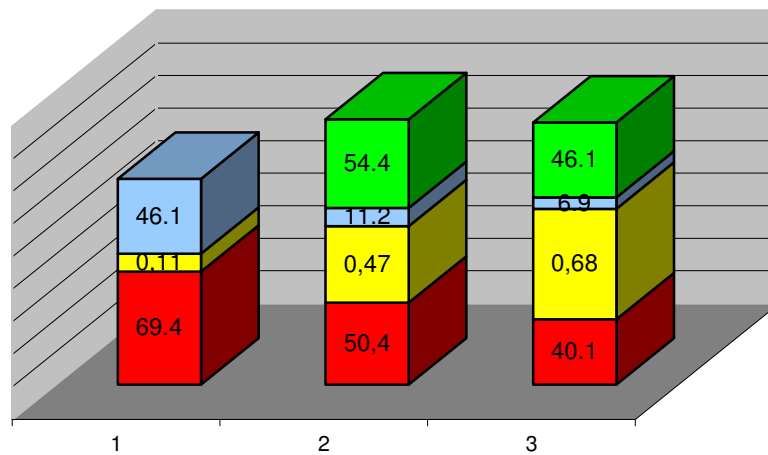
Po zakończeniu cyklicznego zamrażania i odmrażania, dla każdego materiału wykonano badanie nośności, wodoprzepuszczalności, wartości wskaźnika piaskowego i kapilarności biernej.

Zmiany cech wysadzinowości, nośności i wodoprzepuszczalności przedstawiono w tablicach nr 10, 11 i 12 oraz na rysunkach nr 7, 8 i 9.

Tablica 10

Zmiany wartości wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej, wodoprzepuszczalności i wskaźnika nośności łupków przywęglowych pod wpływem zagęszczenia i działania mrozu

Stan materiału	Wskaźnik piaskowy WP	Procentowa zawartość frakcji 0/4	Kapilarność bierna $H_{kb}$ (m)	Procentowa zawartość frakcji 0/2	Wodoprzepuszczalność $k_{10}$ (m/dobę)	Wskaźnik CBR (%)
Naturalny	69,4	18,6	0,11	14,1	46,1	-
Po zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną	<b>50,4</b>	<b>38,8</b>	<b>0,47</b>	<b>32,2</b>	<b>11,2</b>	<b>54,4</b>
Po zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną i 25 cyklach z-o	<b>40,1</b>	<b>46,9</b>	<b>0,68</b>	<b>39,6</b>	<b>6,9</b>	<b>46,1</b>



■ - wskaźnik piaskowy WP  
■ - kapilarność bierna  $H_{kb}$  (m)  
■ - wodoprzepuszczalność  $k_{10}$  (m/dobę)  
■ - wskaźnik nośności CBR (%)

- 1- materiał w stanie naturalnym
- 2- materiał po zagęszczeniu
- 3- materiał po zagęszczeniu i zamrażaniu

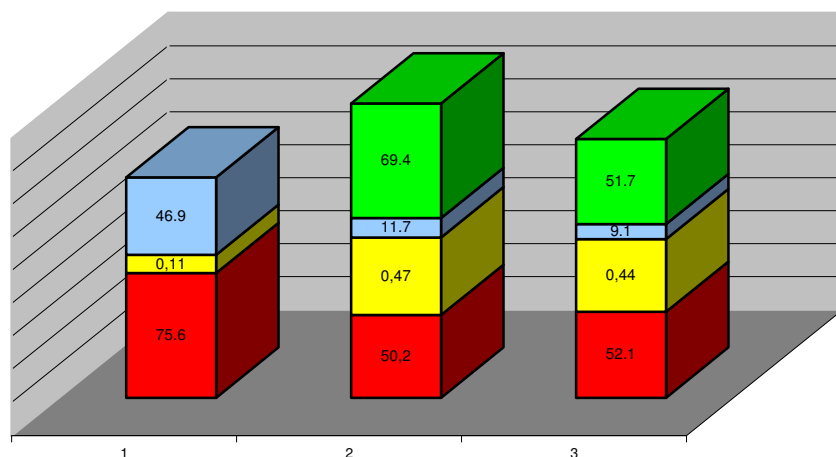
Rys. nr 7

Zmiany wartości wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej,  
wodoprzepuszczalności i wskaźnika nośności łupków przywęglowych pod  
wpływem zagęszczenia i działania mrozu

Tablica 11

Zmiany wartości wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej, wodoprzepuszczalności i wskaźnika nośności żużli pocynkowych pod wpływem zagęszczenia i działania mrozu

Stan materiału	Wskaźnik piaskowy WP	Procentowa zawartość frakcji 0/4	Kapilarność bierna $H_{kb}$ ( m )	Procentowa zawartość frakcji 0/2	Wodoprzepuszczalność $k_{10}$ ( m/dobę )	Wskaźnik CBR ( % )
Naturalny	75,6	16,1	0,11	12,2	46,9	-
Po zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną	<b>50,2</b>	<b>40,6</b>	<b>0,47</b>	<b>30,8</b>	<b>11,7</b>	<b>69,4</b>
Po zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną i 25 cyklach z-o	<b>52,1</b>	<b>44,1</b>	<b>0,44</b>	<b>34,9</b>	<b>9,1</b>	<b>51,7</b>



- kapilarność bierna  $H_{kb}$  ( m )
- wskaźnik nośności CBR ( % )
- wskaźnik piaskowy WP
- wodoprzepuszczalność  $k_{10}$  ( m/dobę )

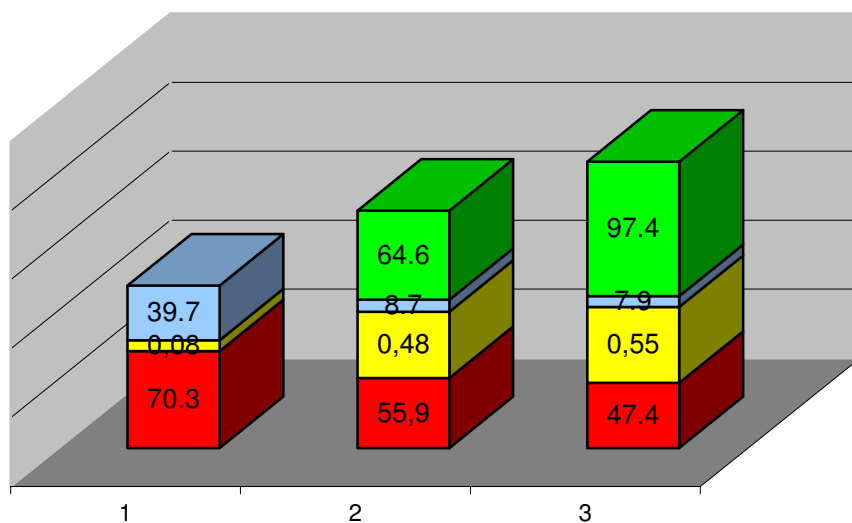
- 1- materiał w stanie naturalnym
- 2- materiał po zagęszczeniu
- 3- materiał po zagęszczeniu i zamrażaniu

Rys. nr 8  
Zmiany wartości wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej, wodoprzepuszczalności i wskaźnika nośności żużli pocynkowych pod wpływem zagęszczenia i działania mrozu

Tablica 12

Zmiany wartości wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej, wodoprzepuszczalności i wskaźnika nośności kruszywa z gruzu betonowego pod wpływem zagęszczenia i działania mrozu

Stan materiału	Wskaźnik piaskowy WP	Procentowa zawartość frakcji 0/4	Kapilarność bierna $H_{kb}$ ( m )	Procentowa zawartość frakcji 0/2	Wodoprzepuszczalność $k_{10}$ ( m/ dobę )	Wskaźnik CBR ( % )
Naturalny	70,3	38,2	0,08	29,7	39,7	-
Po zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną	<b>50,9</b>	<b>55,9</b>	<b>0,48</b>	<b>39,3</b>	<b>8,7</b>	<b>64,6</b>
Po zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną i 25 cyklach z-o	<b>47,4</b>	<b>57,3</b>	<b>0,55</b>	<b>41,0</b>	<b>7,9</b>	<b>97,4</b>



- 1- materiał w stanie naturalnym  
 2- materiał po zagęszczeniu  
 3- materiał po zagęszczeniu i zamrażaniu

Rys. nr 9  
Zmiany wartości wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej, wodoprzepuszczalności i wskaźnika nośności kruszywa z gruzu betonowego pod wpływem zagęszczenia i działania mrozu

O ile oczywiste dla każdego ze zbadanych materiałów grubookruchowych było znaczne zmniejszenie ich wodoprzepuszczalności, jednak nie mniejsze niż 5m/dobę oraz spadek nośności, to nie można zauważyć liniowej zmiany spadku wartości wskaźnika piaskowego i wzrostu kapilarności biernej.

Zdarzają się zarówno partie materiałów o wskaźniku piaskowym po zwięźczeniu i zamrażaniu niższym od granicznej wartości dla gruntów niewysadzinowych, jak i takie, dla których następuje wzrost wartości wskaźnika piaskowego i spadek kapilarności biernej po zagęszczaniu i zamrażaniu. Świadczy to o tym, że sam przyrost zawartości frakcji pyłowo-iłowej w całości materiału nie powoduje spadku wartości wskaźnika piaskowego i kapilarności biernej, jeżeli towarzyszy im przyrost frakcji piaskowej.

Istotną staje się proporcja tych zmian, to znaczy jak duży wzrost zawartości frakcji piaskowej nie powoduje znacznego obniżenia wartości wskaźnika piaskowego, przy wzroście zawartości frakcji iłowo-pyłowej.

### **2.3. Zmiany nasiąkliwości, mrozoodporności bezpośredniej i ścieralności po zagęszczaniu energią zmodyfikowaną i działaniu wody i mrozu**

W przypadku części ulepszonego podłoża: warstwy mrozoochronnej i odsączającej, głównym kryterium przydatności wbudowywanego w nie materiału jest niewysadzinowość, wodoprzepuszczalność, nośność i niezdefiniowana mrozoodporność.

Część ulepszonego podłoża, stanowiąca warstwę wzmacniającą (technologiczną) dla dróg ekspresowych i autostrad wymaga wbudowywania kruszyw łamanych o właściwościach jak dla podbudów pomocniczych stabilizowanych mechanicznie o wartości CBR  $\geq 40$  %.

Dla słabych kruszyw alternatywnych określenie tych cech jest szczególnie istotne, biorąc pod uwagę znaczące zmiany zachodzące w tych materiałach pod wpływem zagęszczania.

W trakcie badań porównano wyniki oznaczeń nasiąkliwości, mrozoodporności bezpośredniej i ścieralności dla kruszywa w stanie naturalnym i po zagęszczaniu energią zmodyfikowaną.

Założono, że skoro część ziaren grubych ulega częściowemu rozkruszeniu w procesie zagęszczania, to zmienia się proporcja udziału poszczególnych frakcji w całości frakcji 4/63 będącej przedmiotem badania. Wynik badania mrozoodporności i ścieralności jest średnią ważoną wyników dla poszczególnych frakcji, więc zmiana proporcji ich udziału w całości materiału wpływa na zmianę tego wyniku.

Ponadto rozkruszeniu podlega słabsza część ziarna, stanowiąca w efekcie wypełnienie międzyziarnowe, a zostaje mocniejsza, która faktycznie podlega działaniu sił poziomych i pionowych od obciążenia kołem.

Badania kruszywa przeprowadzono dla materiału w stanie naturalnym, zgodnie z normami przedmiotowymi, czyli selekcyjując poszczególne frakcje 4/8, 8/16, 16/31,5, 31,5/63.

Dodatkowo w taki sam sposób przeprowadzono badania dla wyselekcjonowanych frakcji kruszywa po zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną.

Wyniki badań oraz procentowy udział poszczególnych frakcji w kruszywie 4/63 przedstawiono w tablicach nr 13, 14, 15.

Tablica 13

Zmiany wartości ścieralności całkowitej, mrozoodporności i nasiąkliwości łupków przywęglowych przepalonych pod wpływem zagęszczenia energią zmodyfikowaną

<b>Oznaczenie ścieralności całkowitej</b>									
stan materiału	zawartość frakcji 4/8 [%]	S <sub>c</sub> dla frakcji 4/8 [%]	zawartość frakcji 8/16 [%]	S <sub>c</sub> dla frakcji 8/16 [%]	zawartość frakcji 16/31,5 [%]	S <sub>c</sub> dla frakcji 16/31,5 [%]	zawartość frakcji 31,5/63 [%]	S <sub>c</sub> dla frakcji 31,5/63 [%]	S <sub>c</sub> [%]
naturalny	11,8	50,2	12,3	49,7	11,1	39,0	46,2	42,1	44,6
po zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną	<b>27,1</b>	<b>44,3</b>	<b>9,8</b>	<b>42,6</b>	<b>9,4</b>	<b>34,3</b>	<b>14,9</b>	<b>32,2</b>	<b>39,5</b>
<b>Oznaczenie mrozoodporności bezpośredniej</b>									
stan materiału	zawartość frakcji 4/8 [%]	M <sub>x</sub> dla frakcji 4/8 [%]	zawartość frakcji 8/16 [%]	M <sub>x</sub> dla frakcji 8/16 [%]	zawartość frakcji 16/31,5 [%]	M <sub>x</sub> dla frakcji 16/31,5 [%]	zawartość frakcji 31,5/63 [%]	M <sub>x</sub> dla frakcji 31,5/63 [%]	M <sub>x</sub> [%]
naturalny	11,8	16,1	12,3	15,3	11,1	12,4	46,2	12,3	13,9
po zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną	<b>27,1</b>	<b>11,3</b>	<b>9,8</b>	<b>8,7</b>	<b>9,4</b>	<b>9,7</b>	<b>14,9</b>	<b>6,1</b>	<b>9,3</b>
<b>Oznaczenie nasiąkliwości</b>									
stan materiału	zawartość frakcji 4/63					N <sub>k</sub>			
naturalny	81,4					5,2			
po zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną	<b>61,2</b>					<b>4,4</b>			

Tablica 14

Zmiany wartości ścieralności całkowitej, mrozoodporności i nasiąkliwości żużli pocynkowych pod wpływem zagęszczenia energią zmodyfikowaną

<b>Oznaczenie ścieralności całkowitej</b>									
stan materiału	zawartość frakcji 4/8 [%]	S <sub>c</sub> dla frakcji 4/8 [%]	zawartość frakcji 8/16 [%]	S <sub>c</sub> dla frakcji 8/16 [%]	zawartość frakcji 16/31,5 [%]	S <sub>c</sub> dla frakcji 16/31,5 [%]	zawartość frakcji 31,5/63 [%]	S <sub>c</sub> dla frakcji 31,5/63 [%]	S <sub>c</sub> [%]
naturalny	10,8	47,2	21,6	33,1	29,9	39,2	21,6	37,4	<b>38,1</b>
po zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną	<b>14,1</b>	<b>35,1</b>	<b>22,9</b>	<b>28,6</b>	<b>17,6</b>	<b>32,3</b>	<b>4,8</b>	<b>30,1</b>	<b>31,1</b>
<b>Oznaczenie mrozoodporności bezpośredniej</b>									
stan materiału	zawartość frakcji 4/8 [%]	M <sub>x</sub> dla frakcji 4/8 [%]	zawartość frakcji 8/16 [%]	M <sub>x</sub> dla frakcji 8/16 [%]	zawartość frakcji 16/31,5 [%]	M <sub>x</sub> dla frakcji 16/31,5 [%]	zawartość frakcji 31,5/63 [%]	M <sub>x</sub> dla frakcji 31,5/63 [%]	M <sub>x</sub> [%]
naturalny	10,8	8,9	21,6	8,8	29,9	9,1	21,6	7,2	<b>8,5</b>
po zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną	<b>14,1</b>	<b>6,1</b>	<b>22,9</b>	<b>5,3</b>	<b>17,6</b>	<b>6,4</b>	<b>4,8</b>	<b>3,1</b>	<b>5,7</b>
<b>Oznaczenie nasiąkliwości</b>									
stan materiału	zawartość frakcji 4/63 [%]					<b>N<sub>k</sub> [%]</b>			
naturalny	83,9					<b>6,4</b>			
po zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną	<b>59,4</b>					<b>3,0</b>			

Tablica 15

Zmiany wartości ścieralności całkowitej, mrozoodporności i nasiąkliwości kruszywa z gruzu betonowego pod wpływem zagęszczenia energią zmodyfikowaną

<b>Oznaczenie ścieralności całkowitej</b>									
stan materiału	zawartość frakcji 4/8 [%]	S <sub>c</sub> dla frakcji 4/8 [%]	zawartość frakcji 8/16 [%]	S <sub>c</sub> dla frakcji 8/16 [%]	zawartość frakcji 16/31,5 [%]	S <sub>c</sub> dla frakcji 16/31,5 [%]	zawartość frakcji 31,5/63 [%]	S <sub>c</sub> dla frakcji 31,5/63 [%]	S <sub>c</sub> [%]
naturalny	10,8	39,2	10,1	44,1	16,2	30,1	24,7	32,3	34,8
po zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną	<b>16,5</b>	<b>33,1</b>	<b>12,2</b>	<b>37,3</b>	<b>9,1</b>	<b>26,3</b>	<b>6,3</b>	<b>24,1</b>	<b>31,5</b>
<b>Oznaczenie mrozoodporności bezpośredniej</b>									
stan materiału	zawartość frakcji 4/8 [%]	M <sub>x</sub> dla frakcji 4/8 [%]	zawartość frakcji 8/16 [%]	M <sub>x</sub> dla frakcji 8/16 [%]	zawartość frakcji 16/31,5 [%]	M <sub>x</sub> dla frakcji 16/31,5 [%]	zawartość frakcji 31,5/63 [%]	M <sub>x</sub> dla frakcji 31,5/63 [%]	M <sub>x</sub> [%]
naturalny	10,8	12,3	10,1	17,3	16,2	11,0	24,7	10,2	11,8
po zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną	<b>16,5</b>	<b>8,1</b>	<b>12,2</b>	<b>12,3</b>	<b>9,1</b>	<b>6,2</b>	<b>6,3</b>	<b>7,1</b>	<b>8,6</b>
<b>Oznaczenie nasiąkliwości</b>									
stan materiału	zawartość frakcji 4/63					<b>N<sub>k</sub></b>			
naturalny	61,8					<b>5,1</b>			
po zagęszczeniu metodą zmodyfikowaną	<b>44,1</b>					<b>3,9</b>			



Oznaczone wartości nasiąkliwości, mrozoodporności bezpośredniej oraz ścieralności dla wszystkich zbadanych słabych materiałów grubookruchowych w stanie naturalnym, okazały się znacznie mniej korzystne w ocenie materiału niż w przypadku oznaczeń wykonanych dla tego samego materiału po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną.

### **3. Przykładowe zastosowania słabych kruszyw i odpadów przemysłowych w warstwach mrozoochronnych**

W praktyce inżynierskiej często spotyka się trudności z wykonaniem takiej warstwy, która spełnia funkcję ochrony mrozowej, a jednocześnie odsacza wodę i posiada odpowiednią nośność, wynikającą z obliczeń konstrukcji drogi.

Szczególnie warstwy z materiałów równoziarnistych lub o średniej różnoziarnistości, czyli te, które doskonale odprowadzają wodę, bywają niewystarczająco nośne i nie przenoszą skutecznie obciążenia od warstw wyżej leżących. Dodatkowo trudno jest uzyskać odpowiednią nośność technologiczną takich warstw, która jest zależna nie tylko od zagęszczenia materiału, ale również od sposobu klinowania się ziaren i stopnia wypełnienia przestrzeni międzyziarnowych.

Konieczne jest poszukiwanie innych rozwiązań oraz wykorzystanie stosowanych technologii do uzyskania warstw o odpowiednich właściwościach. Warstwy takie konstruować można z wykorzystaniem słabych materiałów grubookruchowych.

Z ważniejszych zastosowań na terenie Polski należy wymienić zastosowanie słabych materiałów grubookruchowych w konstrukcjach warstw mrozoochronnych przy realizacji następujących inwestycji:

- budowa autostrady A 4 Kraków – Wrocław, realizacja kontraktu KA/93/1 - zastosowanie łupka przywęglowego przepalonego ze zwałowiska KWK „Kazimierz Juliusz”,
- budowa autostrady A 4 Kraków–Wrocław, realizacja kontraktu KA/94/G1- zastosowanie łupka przywęglowego przepalonego ze zwałowiska KWK „Barbara”,
- budowa autostrady A 4 Kraków–Wrocław, realizacja kontraktu KA/95/G2 - zastosowanie łupka przywęglowego przepalonego ze zwałowiska KWK „Barbara”,
- budowa Drogowej Trasy Średnicowej GOP Katowice- Gliwice, realizacja zadań XXII i XXIV – zastosowanie łupka przywęglowego ze zwałowiska KWK „Nowy Wirek”,
- budowa Drogowej Trasy Średnicowej GOP Katowice- Gliwice, realizacja kontraktu nr 2 - zastosowanie kruszywa z gruzu betonowego.

### **3.1. Konstrukcje mrozoochronne dwuwarstwowe**

Jednym z rozwiązań jest wykonanie konstrukcji mrozoochronnej w dwóch warstwach, z których jedna wykonana z równoziarnistego materiału zapewni odprowadzenie wody, a nadległa dociskająca ustabilizuje jej nośność.

W celu sprawdzenia zasadności tej technologii, do zbudowania takiej warstwy zastosowano żużel pocynkowy, który jest produktem ubocznym przy wytopie cynku i powstaje w technologii studzenia wodą gorącego żużla szybowego. Żużel ten ma charakter granulatu o uziarnieniu zbliżonym do piasku.

Główną przyczyną braku wstępnej akceptacji żużla pocynkowego do wbudowania w warstwę filtracyjną, stanowiącą dolną część warstwy mrozoochronnej, był zbyt mały wskaźnik różnoziarnistości (granulat z żużla pocynkowego charakteryzuje się  $U=2,6-3,1$ ).

Badania laboratoryjne potwierdziły całkowicie niewysadzinowy charakter żużla pocynkowego oraz jego wysoką wodoprzepuszczalność ( $k_{10} = 44,0$  m/dobę po zagęszczeniu).

Pozytywną właściwością żużla pocynkowego z pieca szybowego jest jego stosunkowo wysoka wartość kąta tarcia wewnętrznego ( $\phi=43^0$ ), co jest korzystne w porównaniu z materiałami naturalnymi o podobnym uziarnieniu.

Mimo nie spełnienia niektórych wymagań stawianych materiałom do warstw mrozoochronnych, żużel posiada na ogół znacznie lepszą stabilność mechaniczną (zdolność przenoszenia obciążeń) od piasków oraz pospółek.

Zastosowanie żużla pocynkowego wymagało specyficznych zabiegów technologicznych. Dolna warstwa mrozoochronna, pełniąca równocześnie funkcję warstwy filtracyjnej, grubości 40 cm, została uformowana z czterech oddzielnie zagęszczonych warstw piasku żużlowego, o grubości 10 cm każda.

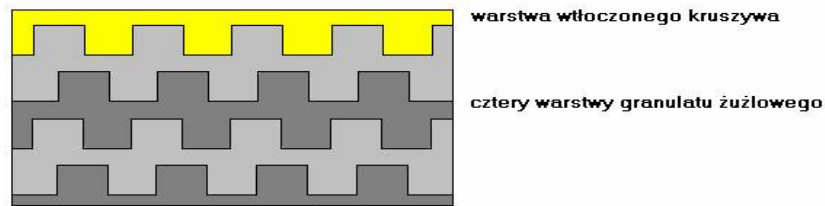
Każda warstwa zagęszczona została poprzez 4–6 przejść ciężkiego walca okołkowanego. Po końcowym przejściu walca na każdej warstwie nie wykonywano wykończenia „na gładko”, celowo zostawiając specyficznie ukształtowaną działaniem walca okołkowanego powierzchnię, aby zapewnić dobre połączenie warstw między sobą.

Pomierzone, przy użyciu cylindra wartości wskaźnika zagęszczenia dla każdej z warstw mieściły się w granicach: 1,01–1,03 i były wyższe od wymaganej wartości minimalnej  $I_s = 1,00$ .

Przeprowadzone równolegle badania nośności i wskaźnika odkształcenia okazały się mało miarodajne, ponieważ przy suchej i wietrznej pogodzie następowało natychmiastowe rozluźnianie górnej powierzchni szybko wysychającej warstwy, zaniżając wartość pomierzonego pierwotnego modułu nośności.

Zdecydowaną poprawę nośności i warunków badań uzyskano w wyniku dogęszczenia ostatniej warstwy żużla przez nadległą 10-cio cm warstwę z mieszanki kruszywa z łupka przywęglowego przepalonego.

Schematyczny przekrój warstwy przedstawiono na rysunku nr 10.



Rys. 10

Przekrój dwuwarstwowej konstrukcji mroзоochronnej, wykonanej z łupka przywęglowego przepalonego i żuźła pocynkowego

Warstwa żuźła wzmocniona kruszywem z łupka przywęglowego przepalonego charakteryzowała się wartością modułu wtórnego  $E_2=115-141$  MPa oraz wskaźnikiem odkształcenia  $I_0=1,9-2,2$ , uzyskano więc wartości korzystniejsze od minimalnych wymaganych dla całej warstwy mroзоochronnej, pomimo, że badania te nie były wykonywane na docelowym poziomie górnej warstwy mroзоochronnej (brak kolejnej warstwy grubości 10 cm z kruszywa kamiennego łamanego stanowiącej część normowej warstwy wzmocniającej).

W celu ustalenia rzeczywistych wartości modułów nośności i wskaźnika odkształcenia bezpośrednio na powierzchni zabudowanej warstwy równoziarnistego żuźła pocynkowego, wykonano badania płytą VSS po uprzednim zdjęciu nadległej warstwy łupka przywęglowego przepalonego, wyrównując powierzchnię szybkowiążącym gipsem.

Uzyskane w wyniku tego pomiaru wartości wynosiły:  $E_2= 115-150$  MPa oraz  $I_0 = 1,9-2,2$ .

Wykonywanie i sposób odbioru warstwy mroзоochronnej zgodnie z opisaną metodą, pozwoliły na uzyskanie wszystkich parametrów technicznych warstwy mroзоochronnej, badanych łącznie lub rozdzielnie, zgodnych z wymaganiami stawianymi warstwie mroзоochronnej.

Taka konstrukcja warstwy mroзоochronnej została zaproponowana i wykonana na przebiegającym przez teren Katowic odcinku autostrady A4, zaprojektowanym w przekroju ulicznym ( zamiennie stosowano kruszywo z łupka przywęglowego przepalonego i łamane dolomitowe). Uprzednio, podobne rozwiązanie zastosowano na realizowanym odcinku autostrady A4 w rejonie Mysłowic.

Materiałem wbudowywanym w dolną warstwę była pospółka, która mimo spełnienia wszystkich normowych wymagań, sprawiała istotne trudności technologiczne podczas wykonywania warstwy, natomiast materiałem w warstwie dociskającej był łupek przywęglowy przepalony.

Warstwę mrozoochronną grubości 50 cm ułożono i zagęszczono w dwóch fazach. W fazie pierwszej ułożono warstwę pospółki grubości 30 cm, wykonanej na całej szerokości projektowanej warstwy mrozoochronnej i zagęszczono ją sześcioma przejściami walca okołkowanego wibracyjnego z włączoną wibracją.

W celu efektywnego dogęszczenia tej warstwy i utrzymania jej zagęszczenia, niezwłocznie przykryto ją warstwą przepalonego łupka przywęglowego o grubości około 10 cm. Łupek rozkładano metodą „od czoła”, na ukształtowaną działaniem walca okołkowanego powierzchnię i zagęszczono walcem wibracyjnym.

Zagęszczenie warstwy wykonanej w fazie pierwszej kontrolowano alternatywnie:

- a) metodą bezpośredniego pomiaru wskaźnika zagęszczenia  $I_s$  warstwy pospółki, po usunięciu nadległej warstwy łupka w miejscu wykonywania pomiaru (wymagany wskaźnik zagęszczenia  $I_s=1,0$ )
- b) metodą pośrednią, poprzez pomiar modułów odkształcenia  $E_1$  i  $E_2$  oraz wskaźnika odkształcenia  $I_0$  na powierzchni łupka (wymagane wartości  $E_2 = 100$  MPa,  $I_0 < 3,0$  oraz pożądana wielkość  $E_1 > 45$  MPa ze względu na ruch technologiczny).

W fazie drugiej uzupełniono warstwę łupka przepalonego do projektowanej grubości 20 cm z zagęszczeniem walcem wibracyjnym.

Zagęszczenie kontrolowano przy wykorzystaniu aparatury VSS, wymagając  $E_2 = 120$  MPa,  $I_0 = 2,2$ .

Obydwa zrealizowane odcinki, w trakcie kilkuletniej eksploatacji potwierdziły zasadność zastosowanej technologii.

### **3.2. Warstwy mrozoochronne z mieszanek o nieciągłym uziarnieniu**

W fazie projektowania konstrukcji za pomocą metody mechanistycznej, każdej warstwie wraz z podłożem stawia się wymaganie określonych parametrów mechanicznych.

Zaprojektowana na jednym z odcinków autostrady A4 warstwa mrozoochronna miała posiadać następujące cechy:

- niewysadzinowość,
- wskaźnik różnoziarnistości  $U > 5$ ,
- wskaźnik nośności  $CBR \geq 35$  %,
- wodoprzepuszczalność  $k \geq 8$  m/dobę,
- nośność warstwy  $E_2 \geq 120$  MPa.

Materiał o tak wysokim jak dla gruntów wskaźniku CBR, powinien być bardzo dobrze zagęszczalny, czyli bardzo różnoziarnisty.

Taki materiał nie zapewniłby z kolei odpowiedniej wodoprzepuszczalności. Problem w doborze materiału polegał na pogodzeniu wykluczających się wzajemnie wymagań, a mianowicie: materiał miał być dobrze zagęszczalny, a jednocześnie na tyle porowaty, aby szybko odprowadzić wodę i oczywiście bardzo nośny.

Takie materiały w naturze występują w Polsce bardzo rzadko, a zaprojektowanie mieszanki wymaga bardzo ostrożnego ustalenia warunków brzegowych.

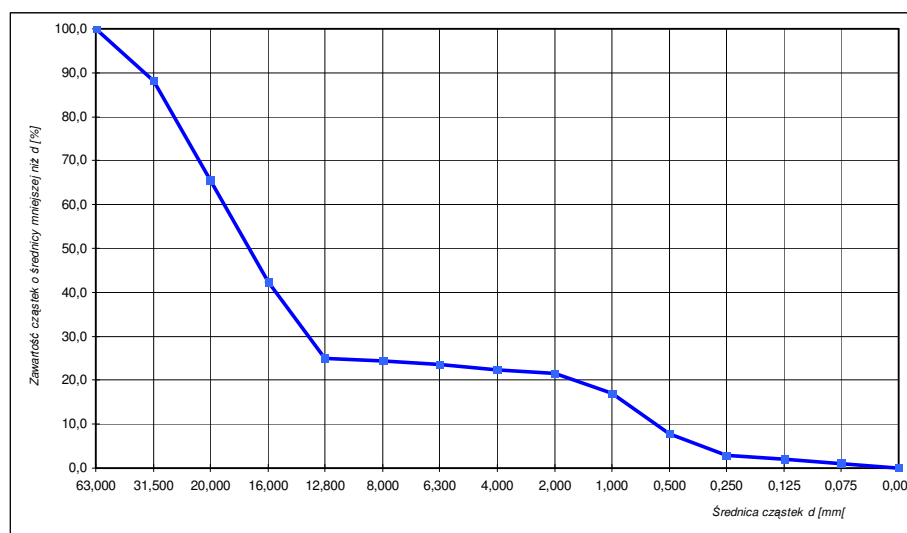
Opisywanego wcześniej rozwiązania w postaci dwuwarstwowej konstrukcji mrozoochronnej nie można było zastosować z powodu wymaganego dla każdej warstwy (nawet częściowej) wskaźnika nośności  $CBR \geq 35\%$  (granulat żużla pocynkowego charakteryzuje się  $CBR=32\%$ ).

Spróbowano wykorzystać materiały odpadowe i skomponować z nich mieszankę spełniającą wszystkie wymagane warunki.

Opracowano kilka receptur mieszank 0/31,5 z żużla stalowniczego ze zwałowiska Huty Batory oraz granulatu żużla pocynkowego z pieca szybowego. Do skomponowania mieszanki o założonych parametrach użyto: pobrane ze zwałowiska, przekruszone i odsiane na sicie o oczku 10 mm kruszywo łamane z odpadu poprodukcyjnego Huty Batory frakcji 0/31,5 oraz granulatu żużla pocynkowego z Huty Cynku Miasteczko Śląskie o uziarnieniu 0/4.

Przygotowano kilka wariantów mieszanki. W praktyce inżynierskiej zastosowano mieszankę składzie: 80 % żużlu stalowniczego 10/31,5 + 20 % granulatu żużlowego pocynkowego 0/4.

Krzywą uziarnienia zaprojektowanej mieszanki przedstawiono na rys 11.



Rys. 11

Krzywa uziarnienia mieszanki o nieciągłym uziarnieniu, wykonanej z żużla stalowniczego i żużla pocynkowego

Właściwości tej mieszanki pokazano w tablicy 16.

Tablica 16

Właściwości mieszanki o nieciągłym uziarnieniu, wbudowanej w warstwę mrozoochronną

Lp	Badana cecha	Badanie wg normy	Wynik
1	wskaźnik różnoziarnistości	PN-88/B-04481	26,8
2	wodoprzepuszczalność ( m/dobę)	PN-55/B-04492	40,4
3	wskaźnik CBR ( % )	PN-S-06102:1997	98,0
4	zawartość ziaren mniejszych niż 0,075 mm ( % )	PN-88/B-04481	0,30
5	zawartość ziaren mniejszych niż 0,002 mm ( % )	PN-88/B-04481	0,10
6	zawartość zanieczyszczeń obcych ( % )	PN-78/B-06714.	0,18
7	zawartość części organicznych	PN-78/B-06714	brak
8	wskaźnik piaskowy ( % )	PN-60/B-04493	87,0
9	kapilarność bierna (m)	BN-64/8931-01	0,10

Wszystkie parametry zostały oznaczone dla mieszanki po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną.

Nie badano zmian po cyklach zamrażania-odmrażania, ponieważ określona mrozoodporność bezpośrednia kruszywa z żużla stalowniczego wynosiła  $M_x = 4,8 \%$

W celu sprawdzenia tego materiału w praktyce wykonano odcinek próbny. Ponieważ w wykopach warstwa mrozoochronna układana była na geowłókninie, natomiast w nasypach (wzmocnionych u podstawy materacami z kruszywa łamanego zawiniętego w geosiatkę) bezpośrednio na gruncie rodzimym, zdecydowano zlokalizować odcinek próbny w nasypie.

Nośność podłoża na realizowanym odcinku wynosiła  $E_2=58-68$  MPa, a wskaźnik odkształcenia  $I_0 = 2,1-2,2$ .

Ponieważ kruszywo było układane bezpośrednio na podłożu, wstępnie sprawdzono warunek nie przenikania cząstek pomiędzy podłożem, a warstwą mrozoochronną, który wynosił  $D_{15}/d_{85}=0,013$  i był mniejszy od 5.

Mieszanka została wbudowana w dwóch warstwach grubości 30 cm każda, przy zastosowaniu następującego sposobu zagęszczania:

- 4 przejścia walca okołkowanego z wibracją,
- 4 przejścia walca gładkiego bez wibracji, przy czym ostatnie przejście walca z zostawieniem śladu opon gumowych.

Przed ułożeniem drugiej warstwy następowało jedno przejście walca okołkowanego bez wibracji, w celu zostawienia śladów umożliwiających wzajemne zazębienie się warstw.

Uzyskane wyniki badań nośności jednopunktowym aparatem typu VSS na pierwszej warstwie kształtowały się w przedziale:  $E_2=83-94$  MPa. Ponadto wykonano oznaczenie dynamicznego modułu nośności za pomocą płyty dynamicznej o średnicy 30 cm. Uzyskano wartości modułów dynamicznych:  $E_{vd} = 38 - 42$  MN/m<sup>2</sup>.

Ustalenie ostatecznego schematu zagęszczania warstwy było efektem wielu prób. W trakcie stwierdzono trudności z zagęszczaniem warstwy wynikające z nadmiernego wibrowania materiału w procesie zagęszczania, co powodowało rozsegregowanie i rozluźnienie górnej powierzchni warstwy. Efektem tego były „otwarte”, pozbawione drobnych frakcji powierzchnie w zagłębieniach po kołku. Po ułożeniu drugiej warstwy i zagęszczeniu wg ustalonego schematu, uzyskano wartości wtórnego modułu odkształcenia w granicach  $E_2 = 150-173$  MPa oraz wskaźnika odkształcenia  $I_0 = 1,9 - 2,1$ .

W efekcie uzyskano łatwą w wykonaniu, bardzo nośną, wodoprzepuszczalną warstwę mrozoochronną, po której mógł odbywać się ruch technologiczny.

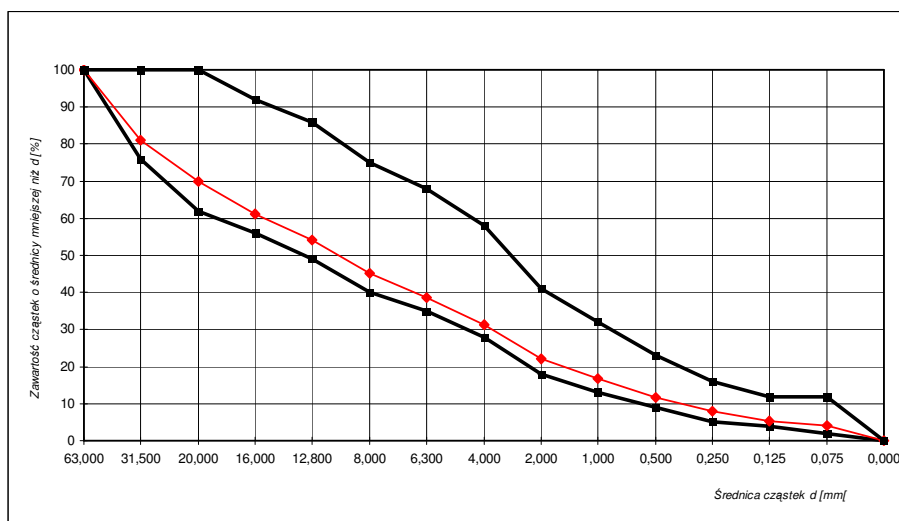
Wstępnie ustalono, że pojazdy budowlane mogły swobodnie poruszać się po warstwie już po osiągnięciu nośności  $E_1= 40$  MPa, przy wskaźniku zagęszczenia  $I_s= 0,95$ .

### **3.3. Warstwy mrozoochronne z mieszanek o uziarnieniu ciągłym**

Warstwę mrozoochronną o podobnych parametrach jak ta z dwuskładnikowego materiału o nieciągłym uziarnieniu wykonano również z kruszywa z gruzu betonowego o uziarnieniu ciągłym, ale krzywej przebiegającej w pobliżu dolnej krzywej granicznej obszaru optymalnego podbudów stabilizowanych mechanicznie.

Materiał taki uzyskano z kruszywa z gruzu betonowego w sposób następujący: z mieszanki kruszywa o uziarnieniu ciągłym 0/63 odsiano frakcję 0/10, a następnie ponownie domieszano tą frakcją ale tylko w ilości 20 % całości odsianej frakcji 0/10. Postępowanie to miało na celu zwiększenie wodoprzepuszczalności.

Uziarnienie tej mieszanki przedstawiono na rys. nr 12, a pozostałe cechy w tablicy nr 17.



Rys. 12  
 Krzywa uziarnienia wodoprzepuszczalnej mieszanki o ciągłym uziarnieniu, wykonanej z gruzu betonowego

Tablica 17

Właściwości mieszanki z kruszywa z gruzu betonowego o ciągłym uziarnieniu, wbudowanej w warstwę mrozoochronną

Lp	Badana cecha	Badanie wg normy	Wynik
1	wskaźnik różnoziarnistości	PN-88/B-04481	40,1
2	wodoprzepuszczalność ( m/dobę)	PN-55/B-04492	9,9
3	wskaźnik CBR (%)	PN-S-06102:1997	72,4
4	Zawartość ziaren mniejszych niż 0,075 mm (%)	PN-88/B-04481	3,1
5	Zawartość ziaren mniejszych niż 0,002 mm (%)	PN-88/B-04481	0,7
6	zawartość zanieczyszczeń obcych (%)	PN-78/B-06714.	0,27
7	zawartość części organicznych	PN-78/B-06714	brak
8	wskaźnik piaskowy (%)	PN-60/B-04493	47,2
9	kapilarność bierna (m)	BN-64/8931-01	0,23



Wszystkie parametry zostały oznaczone dla mieszanki po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i 25-ciu cyklach zamrażania - odmrażania.

Z takiej mieszanki wykonana została droga dojazdowa do szybu „Piast” w Katowicach w ramach budowy Drogowej Trasy Średnicowej.

Mieszanka została wbudowana w dwóch warstwach grubości 20 i 15 cm każda, przy zastosowaniu następującego sposobu zagęszczania:

- 4 przejścia walca okołkowanego z wibracją
- 2 przejścia walca gładkiego bez wibracji, przy czym ostatnie przejście walca z zostawieniem śladu opon gumowych.

Przed ułożeniem drugiej warstwy następowało jedno przejście walca okołkowanego bez wibracji, w celu zostawienia śladów umożliwiających wzajemne zazębienie się warstw.

Uzyskane wyniki badań nośności jednopunktowym aparatem typu VSS na pierwszej warstwie kształtowały się w przedziale:  $E_2=98-115$  MPa.

Po ułożeniu drugiej warstwy i zagęszczeniu wg ustalonego schematu, uzyskano wartości wtórnego modułu odkształcenia w granicach  $E_2 = 150-187$  MPa oraz wskaźnika odkształcenia  $I_0 = 2,0 - 2,1$ .

#### **4. Podsumowanie**

Grunty, wbudowywane w warstwę mrozoochronną, poddane są działaniu obciążeń, wody i mrozu. Czynniki te wywołują w gruntach pewne zmiany, których rodzaju i wielkości, w przypadku słabych gruntów grubookruchowych, nie można dobrze przewidzieć w wyniku rutynowych badań laboratoryjnych. Zakres takich badań w świetle przepisów polskich i niektórych europejskich jest zasadny przede wszystkim w stosunku do gruntów drobnoziarnistych, dla których większość cech określonych przed wbudowaniem nie zmienia się w wykonywanej lub pracującej warstwie. Inaczej jest w przypadku niektórych gruntów grubookruchowych. Zbadane w laboratorium właściwości gruntów grubookruchowych różnią się istotnie od właściwości tych gruntów, po wbudowaniu w warstwę mrozoochronną, a także po poddaniu tej warstwy obciążeniom oraz działaniu wody i mrozu. Ważne jest zatem uwzględnienie oddziaływania na te grunty stosowanych technologii i czynników klimatycznych.

#### **4.1. Rozpoznanie zmian zachodzących w uziarnieniu gruntów grubookruchowych pod wpływem działania energii zagęszczającej, wody i mrozu w warunkach laboratoryjnych**

W wyniku przeprowadzonych badań laboratoryjnych stwierdzono, że pod wpływem zagęszczenia zmienną wielkością energii, w niektórych gruntach grubookruchowych pochodzenia antropogenicznego, tj. przywęglowych łupkach przepalonych, żuźlach pocynkowych, gruzie betonowym zachodzą znaczne zmiany. Ponadto zmiany te pogłębiają się w efekcie działania wody i mrozu na zagęszczony materiał. W gruntach tych zauważa się głównie rozpad frakcji kamienistej i wzrost zawartości frakcji pyłowo-iłowej.

Określanie składu ziarnowego badanych materiałów grubookruchowych w stanie naturalnym nie odzwierciedla rzeczywistego składu tych gruntów w wykonanej i pracującej warstwie stanowiącej podłoże nawierzchni drogowej. Stwierdzono, że zbadane materiały przed zagęszczeniem są równoziarniste, a więc słabo zagęszczalne, a po zagęszczeniu w warunkach laboratoryjnych stają się różnoziarniste i bardzo dobrze zagęszczalne.

Jednocześnie zmiany uziarnienia tych materiałów powstałe w wyniku zagęszczania i wskutek działania wody i mrozu wskazują wyraźnie na zwiększenie wysadzinowości niektórych z nich.

Stwierdzono również, że największe zmiany w uziarnieniu słabych materiałów grubookruchowych zachodzą pod wpływem działania energii zmodyfikowanej, a nie w wyniku energii normalnej.

Jednakże istnieje pewna granica osiągania tych zmian, tzn. energia większa od zmodyfikowanej jedno lub dwukrotnie, nie powoduje już istotnych zmian uziarnienia.

#### **4.2. Rozpoznanie zmian wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej, wodoprzepuszczalności i wskaźnika nośności gruntów grubookruchowych, pod wpływem zagęszczenia oraz działania wody i mrozu w warunkach laboratoryjnych**

Zagęszczanie oraz działanie wody i mrozu powodują zmiany wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej, wodoprzepuszczalności i wskaźnika nośności badanych słabych materiałów grubookruchowych. Obserwuje się tendencję do zmniejszania wskaźnika piaskowego. Ponadto rozdrobnienie tych materiałów zdecydowanie wpływa na wzrost kapilarności biernej. Jednakże nie oznacza to, że wynik badania kapilarności biernej materiałów grubookruchowych reprezentuje ich wysadzinowość, ponieważ stosowany sposób badania polega na oznaczaniu kapilarności biernej wyselekcjonowanej frakcji 0/2.

Słabe materiały grubookruchowe zagęszczone energią zmodyfikowaną oraz poddane działaniu wody i mrozu charakteryzują się znacznie zmniejszoną wodoprzepuszczalnością i nośnością w porównaniu do tych w stanie naturalnym.

Zauważa się, że wartość wskaźnika nośności po 4 cyklach nasycania wodą jest znacznie większa od nośności po 25 cyklach zamrażania i odmrażania.

Oznacza to, że w procedurze badania miarodajnego wskaźnika nośności słabych materiałów grubookruchowych należy uwzględnić wpływ oddziaływania mrozu.

#### **4.3. Rozpoznanie zmian nasiąkliwości, mrozoodporności bezpośredniej i ścieralności słabych gruntów grubookruchowych, pod wpływem zagęszczenia oraz działania wody i mrozu w warunkach laboratoryjnych**

W przypadku oznaczania, ścieralności, nasiąkliwości i mrozoodporności bezpośredniej wyselekcjonowanych frakcji kruszywa, zaobserwowano znaczące różnice w wynikach oznaczeń wykonanych dla wyselekcjonowanych frakcji z materiału w stanie naturalnym w stosunku do oznaczeń przeprowadzonych na tych samych frakcjach wyselekcjonowanych z materiału po jego zagęszczeniu energią zmodyfikowaną, czyli o uziarnieniu najbardziej zbliżonym do tego jakie rzeczywiście występuje w pracującej warstwie.

### **5. Propozycje zmian wymagań stosowanych w praktyce inżynierskiej**

Stosowanie dotychczasowych kryteriów oceny przydatności słabych materiałów grubookruchowych do warstw mrozoochronnych nie jest prawidłowe. Na podstawie wykonanych badań laboratoryjnych i terenowych, proponuje się opracowanie wytycznych technicznych w których uwzględniono by następujące zmiany obecnych wymagań:

◆ określanie składu ziarnowego oraz wskaźnika piaskowego dla materiałów wbudowywanych w warstwy mrozoochronne nie w stanie naturalnym, a po zagęszczeniu w aparacie Proctora energią zmodyfikowaną i w przypadku analizy sitowej przyjmowanie wyników tych oznaczeń zależnie od zawartości frakcji mniejszych od 0,02 mm i 0,075 mm przy kwalifikacji przydatności gruntu,

◆ ustalenie wymogu wartości wskaźnika plastyczności drobnych frakcji gruntów grubookruchowych (dla gruntów tych nie wymaga się sprawdzenia mrozoodporności bezpośredniej, a jeżeli takie badanie się wykonuje to wyłącznie dla frakcji > 4 mm, podczas gdy rozdrobnienie pod wpływem mrozu frakcji < 4 mm może zmienić właściwości gruntu); proponuje się wymóg wartości wskaźnika plastyczności dla frakcji mniejszych od 0,42 mm na poziomie  $I_p \leq 4 \%$ , dla materiału po zagęszczeniu i zamrażaniu,

◆ określenie wielkości udziału frakcji 0/2 i 0/4 w gruntach grubookruchowych, dla których wykonywanie oznaczania wielkości wskaźnika piaskowego i kapilarności biernej jest zasadne; proponuje się wykonywanie oznaczania kapilarności biernej dla materiałów, w których udział frakcji 0/2 po zagęszczeniu energią

zmodyfikowaną jest większy od 50 %, a wskaźnika piaskowego dla materiałów, w których udział frakcji 0/4 po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną jest większy od 50 %,

♦ustalenie warunków w jakich powinno się wykonywać oznaczenie wodoprzepuszczalności; proponuje się określanie filtracji materiału po zagęszczeniu do wskaźnika zagęszczenia wymaganego w warunkach budowy i po cyklicznym zamrażaniu.

Ponadto należy rozpatrzyć możliwość włączenia warstwy mrozoochronnej do konstrukcji nawierzchni. Takie rozwiązanie zwiększyłoby ważność zagadnienia warstw mrozoochronnych, które dotychczas są często traktowane jako element podłoża gruntowego.

## **CZĘŚĆ 2. Ustalenie cech technicznych materiałów podlegających ocenie**

W celu uzyskania najbardziej bezpiecznych warunków zastosowania słabych materiałów grubookruchowych oraz miejsca ich wbudowania ( warstwy mrozoochronne) należy ustalić kryteria ich oceny. Z uwagi na znaczne rozdrobnienie ocenianych materiałów pod wpływem zagęszczenia oraz działania wody i mrozu, proponuje się określenie wszystkich następujących cech technicznych materiału:

A.Ocena wysadzinowości poprzez określenie następujących cech materiału po zgeszczeniu energią zmodyfikowaną zgodnie z EN 13286-2 oraz cyklach zamrażania – odmrażania zgodnie z PN-EN 1367-1

- skład granulometryczny (zawartość frakcji < 0,063 mm) zgodnie z PN-EN 933-1,
- ocena zawartości cząstek ilastych metodą błękitu metylenowego zgodnie z PN-EN 933-9 (w przypadku gdy zawartość frakcji 0/2 po zagęszczeniu i zamrażaniu jest większa od 50% ),
- oznaczenie wskaźnika piaskowego zgodnie z PN-EN 933 – 8, (w przypadku gdy zawartość frakcji 0/2 po zagęszczeniu i zamrażaniu jest większa od 50 % ),
- oznaczenie kapilarności biernej zgodnie z (norma EN na kapilarność) (w przypadku gdy zawartość frakcji 0/2 po zagęszczeniu i zamrażaniu jest większa od 50 %).

B. Oznaczenie straty przy prażeniu zgodnie z PN-EN 1744-1 (z korektą wartości zgodnie z EN 196-2:1987 dla żużli i łupków).

C. Oznaczenie wodoprzepuszczalności wg DIN-18 130-1 materiału po zgeszczeniu energią zmodyfikowaną zgodnie z EN 13286-2 oraz cyklach zamrażania – odmrażania zgodnie z PN-EN 1367-1.

- D. Oznaczenie ścieralności (dla materiałów w warstwie wzmacniającej) zgodnie z PN-EN 1097-2 dla frakcji 10/14 po zjęczeniu energią zmodyfikowaną zgodnie z EN 13286-2 całości materiału (w przypadku gdy jej zawartość po zjęczeniu jest większa od 10 %).
- E. Oznaczenie niestałości żużli zgodnie z PN- EN 1744 dla materiału po zjęczeniu energią zmodyfikowaną zgodnie z EN 13286-2 (rozpad krzemianu dwuwapniowego w świetle ultrafioletowym).
- F. Oznaczanie zawartości siarki całkowitej zgodnie z PN-EN 1744-1.
- G. Oznaczenie wartości IPI dla materiału po zjęczeniu energią zmodyfikowaną wg EN 13286-2 oraz CBR i pęczenia dla materiału po 10 cyklach z-o wg PN-EN 1367-1. Badanie należy wykonać zgodnie z EN 13286-47.

### **CZĘŚĆ 3. Program badań porównawczych i uzupełniających**

**A.** Uwzględniając aktualny stan wiedzy o zmianach właściwości słabych kruszyw grubookruchowych zaplanowano do wykonania w II etapie realizacji zadania następujące badania uzupełniające i porównawcze. Wyniki omówionych poniżej badań pomogą w sformułowaniu szczegółowych zasad określających rodzaj wymagań oraz możliwości zastosowania omawianych kruszyw jako pełnowartościowy materiał warstw mrozoochronnych konstrukcji drogowych.

**B.** Laboratoryjne badania uzupełniające – w ramach nowych, niewykonywanych dotychczas testów pozwalających na zwiększenie zakresu informacji o zmianach właściwości kruszyw zaplanowano do wykonania badania pozwalające na:

- a) bezpośredni pomiar wysadzinowości,
- b) określenie ilości frakcji drobnych kruszyw z wykorzystaniem błękitu metylenowego,
- c) wyznaczanie rozpadów kruszyw słabych w świetle ultrafioletowym (żużle pocynkowe),
- d) określanie zmian wysadzinowości mrozoochronnych warstw nieprzepuszczalnych pod wpływem zamarzania i rozmarzania przy stałej wilgotności ( $w = w_{opt}$ ).

**C.** Polowe badania uzupełniające – jako uzupełniające badania polowe przeprowadzone zostaną w 2005 roku badania stanu słabych kruszyw wbudowanych w eksploatowane od 1-7 lat odcinki drogowe. Porównanie aktualnych i wyjściowych właściwości kruszyw znacznie poszerzy stan wiedzy o wpływie czasu, warunków atmosferycznych i eksploatacyjnych na zmianę uziarnienia, wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej oraz stanu „związania” różnych materiałów (gruz betonowy, łupki) wbudowanych w warstwy konstrukcyjne nawierzchni drogowych.

**D.** Badania porównawcze – w celu ustalenia właściwości kruszyw i porównania nierozpoznanych dotychczas różnic w metodach badawczych wynikających z rozbieżności pomiędzy PN a PN-EN (wprowadzonych w 2004 r.) badań wykonywanych odmiennymi metodami i związanych z nimi konsekwencji, przeprowadzone zostaną dodatkowe badania porównawcze w zakresie wynikającym ze szczegółowej analizy metod badawczych wg PN i PN-EN.

**E.** Podsumowanie omówionych powyżej badań i sformułowanie szczegółowych zasad określających rodzaj wymagań, kryteriów oceny oraz możliwości zastosowania omawianych kruszyw jako pełnowartościowego materiału warstw mrozochronnych konstrukcji drogowych.

### **Szczegółowy program badań laboratoryjnych i polowych**

Uwzględniając sformułowane powyżej, wynikające z analizy wyników badań i informacji zawartych w wymienionych materiałach źródłowych, wnioski zdecydowano o celowości przeprowadzenia badań uzupełniających, uwzględniających różne sposoby pielęgnacji próbek, zbliżone do warunków naturalnych dla kruszywa wbudowanego w warstwy mrozochronne konstrukcji drogowych o różnych rodzajach nawierzchni.

W powyższym celu dla reprezentatywnych prób materiałów, różnych od wykorzystanych w części I i II, wykonano serię badań pozwalających na określenie wpływu zagęszczenia i „mrozu” (przy stosowaniu jednakowej energii zagęszczania materiałów-metoda IV wg Proctora) na wybrane właściwości materiałów przeznaczonych do wbudowania w warstwy mrozochronne konstrukcji drogowych. Badania w omówionym poniżej zakresie wykonywano dla próbek:

- w stanie naturalnym,
- po zagęszczeniu wg IV metody Proctora (PN-B/04481:1998),
- po zagęszczeniu jw. + 25 cykli zamrażania i odmrażania (z-o) w warunkach powietrzno-wilgotnych odpowiadających optymalnym warunkom zagęszczania (konstrukcje drogowe o nawierzchni szczelnej),
- po zagęszczeniu wg. IV metody Proctora. + 25 cykli zamrażania i odmrażania (z-o) w warunkach nasycenia wodą (konstrukcje nieszczelne, np. z kostki betonowej).

Jako szczególnie ważne dla scharakteryzowania właściwości badanych materiałów przyjęto określenie (w warunkach laboratoryjnych) następujących parametrów:

- składu granulometrycznego,
- wskaźnika piaskowego,
- kapilarności biernej,
- wskaźnika nośności i pęcznienia,
- wodoprzepuszczalności,
- ścieralności,
- bezpośredniego pomiaru wysadzinowości,

- zawartości cząstek drobnych dla kruszywa frakcji 0/0.125 mm (badanie błękitem metylenowym).

Dodatkowo w celu weryfikacji dotychczasowych ustaleń oraz zwiększenia zakresu informacji o zmianie właściwości kruszyw, dla materiałów wbudowanych w eksploatowane od kilku lat konstrukcje drogowe określono:

- skład granulometryczny,
- wskaźnik piaskowy,
- kapilarność bierną,
- ocenę zawartości cząstek drobnych przez oznaczenie całkowitej powierzchni właściwej metodą sorpcji błękitu metylenowego.

W celu zapoznania się z aktualnym stanem konstrukcji wykonanych z kruszyw słabych na udostępnionych odcinkach testowych wykonano pomiary:

- modułów odkształcenia (aparatura VSS)
- wskaźnika nośności CBR (aparat Clegg'a)

Warunki, metodykę prowadzenia badań oraz wynikające z ich analizy wnioski omówiono w Zadaniu II.

## **Literatura**

1. BS 1377: 1990 *Soils for civil engineering purposes. Classification tests*
2. BS 812 Pt 124: 1989 *Testing aggregates method for determination of frost –heave*
3. J.F. CORTE, H. ODEON, M. BOUTTONET *Verification au gel des structures de chaussée* Bull. Liaison Labo. P. et Ch. 7-8/1995
4. J.F. CORTE, M.T. GOUX *Le guide technique de conception et de dimensionnement des structures de chaussée* Revue generale des routes et des aerodromes, 41/1996
5. DIN 18 196 *Erd und Grundbau. Bodenklassifikation Fur Bautechnik Zwecke*
6. FGSV *Merkblatt fur die Verhutung von Frostscha den an StraBen* 1991
7. FGSV A.M. LIRTSMAN *Influence of natural condition on pavement design*  
8th Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Cartagena, Columbia
8. A. DUSZYŃSKI *Keramzyt-OPTIROC-bardzo lekkie kruszywo do robót drogowych* VII Międzynarodowa Konferencja „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe” Kielce 2001
9. A. DUSZYŃSKI, W. ROWIŃSKA *Zastosowanie kruszyw z rozbiórki konstrukcji betonowych i murowych do nasypów i podbudów drogowych*  
VII Międzynarodowa Konferencja „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe” Kielce 2001
10. *Katalog typowych konstrukcji nawierzchni podatnych i półsztywnych*, 1997 GDDP
11. *Katalog typowych wzmocnień i remontów nawierzchni podatnych i półsztywnych* 2001 GDDP
12. L. KIVEKAS, L. ENVIROTEC Finlandia, referaty seminarium IBDiM Przyjazne środowisku i nowoczesne drogi Warszawa 1997
13. H. KUBO *The influence of frost action on the bearing capacity of flexible pavements* International Symposium on Bearing Capacity of Roads and Airfields, Rondheim 1992
14. *Instrukcja badań podłoża gruntowego i drogowego* 1998 GDDP cz. 2
15. R. LEHNE *Untersuchung des frost-tau-verhaltenes and recy kling baustoffen fur ungebundene tragschichten in straBenbau* StraBe und Autobahn 4/97



16. W. JUNKER, K.W. DAMM *Ausbau der Bundesautobahn A 2 Berlin- Helmstedt StraBe und Autobahn 10/93*
17. PN-S-02205: 1998 *Roboty ziemne. Wymagania i badania*
18. PN-91/B-06714.15 *Oznaczanie składu ziarnowego*
19. PN-S-02201:1987 *Drogi samochodowe. Nawierzchnie drogowe. Podział, nazwy, określenia*
20. BN-64/8931-01 *Oznaczanie wskaźnika piaskowego*
21. *Katalog Typowych Konstrukcji nawierzchni sztywnych 2001 GDDP*
22. PN-60/B-04493 *Oznaczanie kapilarności biernej*
23. PN-S-06102:1997 *Podbudowy z kruszyw stabilizowanych mechanicznie*
24. M. LOCKE, B. INDRARATNA *Filtrowanie w gruntach szeroko uziarnionych: metoda zredukowanego uziarnienia Geotechnique 4/2002*
25. W. ŁABINIEC, J. WILCZEK *Zastosowanie materiałów przemysłowych w drogownictwie materiały na XII Zjazd Drogowców Miejskich , Jelenia Góra 2001*
26. L. RAFALSKI *Przemarzanie gruntów w inżynierii lądowej Sympozjum polsko- francuskie. Warszawa 1985*
27. Th. MERKEL i in. *Praktyczne doświadczenia z żuzłem z pieców elektrycznych do budowy dróg StraBe und Autobahn 12/2000*
28. NF P 11-300: 1992 *Earthwork. Classification of materials for use in the construction of embankments and capping layers of road infrastructures*
29. W. RUWINSKI *Kak dobitsia mrozoustrojstwi? Awtomobilnyje dorogi 1/2000*
30. W. RUWINSKI *Siurpriuzy dieda moroza Awtomobilnyje dorogi 3/1998*
31. M. REID *Droga do recydingu Ground Engineering 4/2002*
32. S. PISARCZYK *Badanie gruntów grubookruchowych do budowy nasypów drogowych Drogownictwo 10/1997*
33. S. PISARCZYK *Czynniki wpływające na wibracyjne zagęszczenie gruntów niespoistych Inżynieria i Budownictwo 8/1996*

34. S. PISARCZYK *Ocena zagęszczalności niespoistych gruntów* Drogownictwo 3/1978
35. S. PISARCZYK *Wpływ zawartości frakcji grubej na zagęszczalność gruntów grubo-  
okruchowych* Inżynieria morska i geotechnika 6/1997
36. W. RUWINSKI *Kak dobitsia mrozoustrojstwi?* Awtomobilnyje dorogi 1/2000
37. S. ROLLA *Przełomy drogowe i wzmacnianie nawierzchni* WKiŁ Warszawa 1977
38. S. ROLLA *Projektowanie nawierzchni* WKiŁ Warszawa 1987
39. S. ROLLA *Błędnie oznaczamy CBR?* Drogownictwo 9/2001
40. S. ROLLA *Katalog wzmocnień i remontów nawierzchni - dobry poradnik, złe nazewnictwo*  
Drogownictwo 2/2002
41. SINTEF *Lekkie kruszywo keramzytowe w zastosowaniach geotechnicznych* Materiały  
Budowlane 1/2002
42. K. SKARŻYŃSKA *Odpady powęglowe i ich zastosowanie w inżynierii lądowej i wodnej* AR  
Kraków 1997
43. P. SOBCZYŃSKI *Kruszywa hutnicze Slag Recycling. Materiał do budowy także dróg  
gminnych* Polskie Drogi 1-2/2002
44. A. SZYDŁO *Konstrukcja nawierzchni autostrady A4* Drogownictwo 9/2001
45. G. WAECHTER *Historia żużla wielkopieczowego w budowie dróg od 1945* StraBe+Autobahn  
11/2001
46. J. WILCZEK *Zastosowanie żużla pocynkowego z pieca szybowego do warstwy filtracyjnej  
autostrady A4, jako przykład dostosowania technologii do specyfiki materiału* V  
Międzynarodowa Konferencja „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie drogowe” Kielce 2001
47. J. WILCZEK *Warstwa mrozochronna i odsączająca autostrady A-4 z żużla* Drogownictwo  
2/2001
48. J. WILCZEK, P. WILEŃSKI *Możliwości i warunki wykorzystania gruzu betonowego do  
podbudów drogowych* VII Międzynarodowa Konferencja „Trwałe i bezpieczne nawierzchnie  
drogowe” Kielce 2001
49. P. WILEŃSKI *Przygotowanie konstrukcji nawierzchni na autostradach i drogach szybkiego  
ruchu* 1993, praca niepublikowana
50. P. WILEŃSKI *Warunki techniczne wykonania podbudowy pomocniczej z łupku przepalonego  
pod konstrukcję nawierzchni autostrady A4* 1995, praca niepublikowana

51. Z. WIŁUN *Zarys geotechniki* wyd. V 2001 podręcznik akademicki
52. *Wytyczne wzmocnienia podłoża gruntowego w budownictwie drogowym*, GDDP 2002
53. K. Zabielska Adamska *Zagęszczalność odpadów energetycznych z węgla kamiennego*  
Inżynieria Morska i Geotechnika 1/2002
54. E. ZAWISZA, K. DZIERŻWA *Ścisłość odpadów powęglowych* Inżynieria Morska i  
Geotechnika 4/2000

## **ZADANIE II**

**STYCZEŃ – LISTOPAD 2005 r.**

## Spis treści

### ZADANIE II (2005 r.)

	<b>Str.</b>
<b>CZĘŚĆ 1a</b>	
<b>Laboratoryjne badania zmian właściwości słabych kruszyw grubookruchowych wbudowywanych w warstwy mrozoochronne pod wpływem działania stałej energii zagęszczania i mrozu</b> .....	44
1. Metodyka badań .....	44
1.1 Wpływ zagęszczania i mrozu na zmianę uziarnienia .....	44
1.2 Wpływ zagęszczania i mrozu na zmianę wartości wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej, zawartości cząstek drobnych i wskaźnika wodoprzepuszczalności.....	44
1.3 Wpływ zagęszczania i mrozu na zmianę wartości wskaźnika nośności, pęcznienia oraz wysadzinowości bezpośredniej.....	44
1.4 Wpływ zagęszczania i mrozu na ścieralność wybranych materiałów .....	44
2 Omówienie wyników badań laboratoryjnych .....	45
2.1 Łupek przepalony .....	45
2.2 Żużel pocynkowy .....	48
2.3 Kruszywo z przekruszonego betonu .....	51
3 Analiza wyników .....	54

### CZĘŚĆ 1b

<b>Terenowe badania zmian właściwości słabych kruszyw grubookruchowych wbudowywanych w warstwy mrozoochronne</b> .....	55
1. Badania kruszyw i odcinków testowych .....	55
1.1 Zakres i metodyka badań .....	55
2. Omówienie wyników badań kruszyw pobranych z odcinków testowych .....	56
2.1. Podbudowa z kruszywa betonowego .....	56
2.2. Warstwa mrozoochronna .....	58
2.2.1 Łupek przywęglowy przepalony.....	58
2.2.2 Żużel pocynkowy.....	62
3. Analiza wyników .....	65

### CZĘŚĆ 2

<b>Ustalenia kryteriów oceny poszczególnych materiałów, metod badań i cech technicznych</b> .....	67
Załącznik nr 1 .....	69

## **CZĘŚĆ 1a Laboratoryjne badania zmian właściwości słabych kruszyw grubookruchowych wbudowywanych w warstwy mrozoochronne, pod wpływem zagęszczania i działania mrozu**

### **1. Metodyka badań**

#### **1.1 . Wpływ zagęszczenia i mrozu na zmianę uziarnienia**

W celu określenia bezpośredniego wpływu zagęszczania i „mrozu” na zmianę uziarnienia, badaniu poddawano próbki materiałów zagęszczane metodą zmodyfikowaną (IV metoda Proctora, wg PN-B/88-04481) bezpośrednio po ubiciu oraz po 25 cyklach zamrażania (-25<sup>0</sup> C) i odmrażania (+20<sup>0</sup> C) wg PN-78/B-06714/19 w warunkach powietrzno-wilgotnych i w stanie nasycenia wodą. Skład granulometryczny określono wg PN-EN 933-1: 2000.

#### **1.2. Wpływ zagęszczenia i mrozu na zmianę wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej, zawartości pyłów, wskaźnika wodoprzepuszczalności**

Wymienione w tytule jw. właściwości wyznaczano dla próbek przygotowanych i przechowywanych w warunkach opisanych w pkt. 1.1.1.

Wartości badanych parametrów wyznaczano zgodnie z:

- wskaźnik piaskowy – PN-EN 933-8: 2001,
- kapilarność bierna – PN-60/B-04493,
- zawartość drobnych cząstek błękitem metylenowym – PN-EN 933-9: 2001,
- wskaźnik wodoprzepuszczalności – N-55/B-04492,
- ścieralność w bębnie Los Angeles – PN-79/B-06714/42.

#### **1.3. Wpływ zagęszczenia i mrozu na zmianę wskaźnika nośności, pęcznienia oraz wysadzinowości bezpośredniej**

Wskaźnik nośności i pęcznienie określono wg PN-S-02205:1998, załącznik A, przechowując próbki zagęszczone energią zmodyfikowaną w warunkach powietrzno-wilgotnych i nasyconych wodą.

Wysadzinowość bezpośrednią wyznaczono na podstawie precyzyjnych (codziennych) pomiarów różnic wysokości próbki zagęszczonej jw. i poddawanej cyklom zamrażania.

#### **1.4. Badanie ścieralności**

Ścieralność badanych kruszyw określono wg. PN-79/B-06714/42 poddając badaniu próbki zagęszczone energią zmodyfikowaną wg IV metody Proctora bezpośrednio po zagęszczeniu oraz po zagęszczeniu i 25 cyklach zamrażania i odmrażania w różnych warunkach pielęgnacji, tj. w warunkach powietrzno wilgotnych i w stanie nasycenia wodą.

## **2. Omówienie wyników badań laboratoryjnych**

### **2.1. Łupek przepalony**

W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że pod wpływem zagęszczania oraz zagęszczania połączonego z cyklami zamrażania i odmrażania właściwości kruszywa reprezentowanego przez łupek przepalony uległy zmianom.

Analiza wyników przeprowadzonych badań wykazała, że zmiany właściwości łupka a w szczególności zmiany jego wodoprzepuszczalności (z  $k_{10}^{n 1)} = 47.8$  m/dobę do  $k_{10}^{z 2)} = 14.8$  m/dobę) i uziarnienia (rys. nr 1-2) wynikają głównie z wpływu zagęszczania materiału. Wartym podkreślenia jest towarzyszący rozpadowi ziarn kamienistych i żwirowych wzrost wartości wskaźnika piaskowego (z SE =44 do SE=53). Nie stwierdzono natomiast znaczącego, destrukcyjnego wpływu mrozu (25 cykli zamrażania i odmrażania) na skład granulometryczny i wskaźnik wodoprzepuszczalności badanych próbek.

Przeprowadzone badania wpływu zagęszczania i zamrażania próbek w warunkach powietrzno-wilgotnych wykazały, że badany materiał praktycznie nie zmienia niekorzystnie swoich naturalnych właściwości w odniesieniu do wielkości wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej, wskaźnika nośności i ścieralności. Niekorzystny spadek wartości wskaźnika nośności (z CBR = 158% do CBR = 84%) zaobserwowano jedynie w przypadku zamrażania i odmrażania próbek w wodzie.

Nie stwierdzono wpływu zagęszczania i działania mrozu na zawartość cząstek drobnych ( $BM_f = 3.3$  g/kg.) określaną metodą sorpcji błękitu metylenowego.

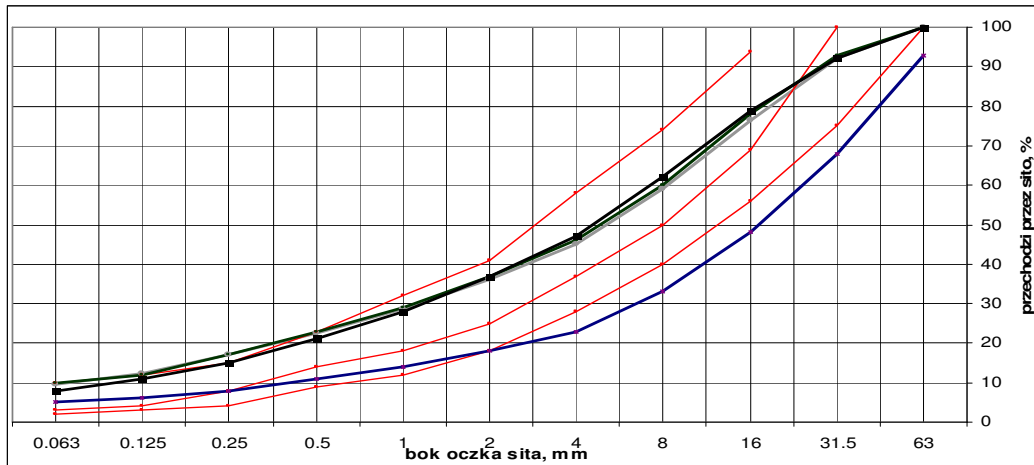
Badanie bezpośredniej wysadzinowości nie wykazało pionowych odkształceń próbek zagęszczonych energią zmodyfikowaną zamrażanych zarówno w warunkach powietrzno-wilgotnych jak również próbek nasyconych wodą. Nie stwierdzono praktycznie żadnego wpływu zagęszczania i mrożenia próbek na wartość ścieralności materiału.

Zaobserwowane zmiany wartości badanych cech pokazano na rys. nr 1-4. Szczegółowe wyniki badań właściwości łupka zestawiono w załączniku nr 1.

---

<sup>1)</sup> Wskaźnik wodoprzepuszczalności kruszywa w stanie naturalnym

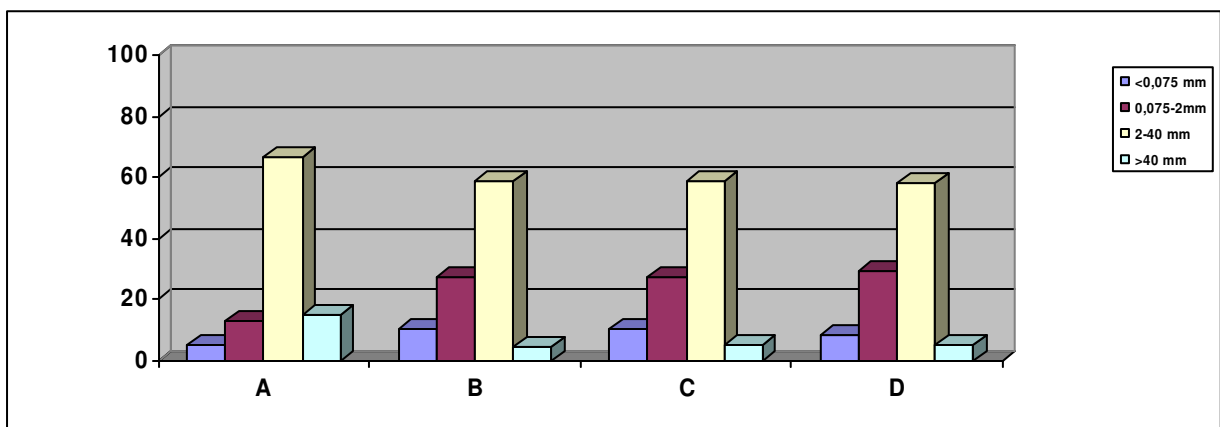
<sup>2)</sup> Wskaźnik wodoprzepuszczalności kruszywa zagęszczonego i poddanego cyklom zamrażania



- krzywe graniczne obszaru optymalnego uziarnienia dla podbudów zasadniczych i pomocniczych wg PN-S-06102:1997
- krzywa uziarnienia łupka nieprzepracowanego w stanie naturalnym
- krzywa uziarnienia łupka nieprzepracowanego po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną
- krzywa uziarnienia łupka nieprzepracowanego po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i zamrażaniu w warunkach wodnych
- krzywa uziarnienia łupka nieprzepracowanego po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i zamrażaniu w warunkach powietrznych

Rys. nr 1

Krzywe uziarnienia łupka nieprzepracowanego: naturalnego, po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną oraz zamrażaniu w warunkach powietrznych i wodnych

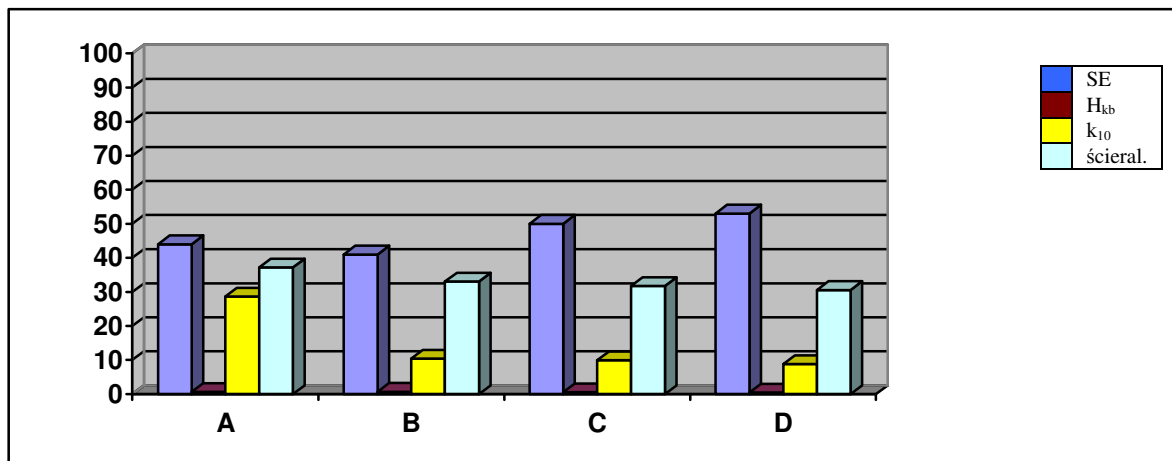


- A - stan naturalny (przed zagęszczeniem)
- B- po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną
- C- po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i 25 cyklach z-o w war. powietrzno-wilgotnych
- D- po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i 25 cyklach z-o w stanie nasycenia wodą

Rys. nr 2

Zmiany zawartości frakcji podstawowych pod wpływem zagęszczania oraz zagęszczania połączonego z zamrażaniem i odmrażaniem próbek w warunkach powietrzno-wilgotnych oraz nasyconych wodą

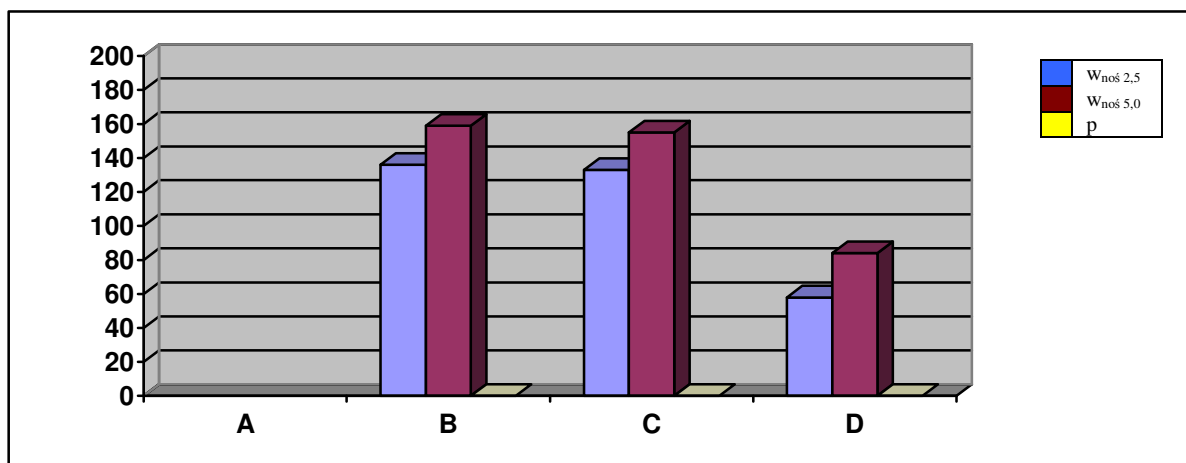




- A - stan naturalny (przed zagęszczeniem)  
 B - po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną  
 C - po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i 25 cyklach z-o w war. powietrzno-wilgotnych  
 D - po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i 25 cyklach z-o w stanie nasycenia wodą

Rys. nr 3

Zmiany wartości wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej, wodoprzepuszczalności i ścieralności pod wpływem zagęszczania oraz zagęszczania połączonego z zamrażaniem i odmrażaniem próbek w warunkach powietrzno-wilgotnych oraz nasyconych wodą



- A - stan naturalny (przed zagęszczeniem)  
 B- po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną  
 C- po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i 25 cyklach z-o w war. powietrzno-wilgotnych  
 D- po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i 25 cyklach z-o w stanie nasycenia wodą

Rys. nr 4

Zmiany wartości wskaźnika nośności i pęcznienia pod wpływem zagęszczania oraz zagęszczania połączonego z zamrażaniem i odmrażaniem próbek w warunkach powietrzno-wilgotnych oraz nasyconych wodą

## **2.2. Żużel pocynkowy**

W przypadku kruszywa z żużla pocynkowego podobnie jak dla mieszanki z łupka nie stwierdzono niekorzystnych zmian właściwości próbek poddawanych zagęszczeniu oraz zagęszczeniu połączonemu z zamrażaniem i odmrażaniem.

Uwidocznione na poniższych rysunkach (nr 5-6) zmiany dotyczą praktycznie tylko składu granulometrycznego. Obserwuje się około 10 % ubytek frakcji „grubszych”, przy wzroście (około 2-4 %) frakcji drobnych. Zmiany te nie przekładają się jednak bezpośrednio na zwiększenie się wysadzinowości mieszanki do warstwy mrozoochronnej. Potwierdzają to pomierzone dla badanych próbek kruszywa korzystnie wysokie wartości wskaźnika piaskowego ( $SE > 40$ ), wskaźnika wodoprzepuszczalności ( $k_{10} > 9$  m / dobę) oraz brak pęcznienia.

Uwzględniając wyniki badania nośności (rys. nr 8) próbek kruszywa z żużla pocynkowego zaobserwowano bardzo korzystne zjawisko wzrostu wartości wskaźnika CBR dla materiału zagęszczonego i zamrażanego w warunkach powietrzno-wilgotnych ( $CBR_n^{3)} = 126-129$  %,  $CBR_{z\ p-w}^{4)} = 155-157$  %). Stwierdzony spadek nośności próbek zamrażanych w stanie nasycenia do wartości  $CBR_{z\ w}^{5)} = 93-105$  % nie stanowi zagrożenia dla warunków eksploatacyjnych konstrukcji drogowej.

Badanie bezpośredniej wysadzinowości nie wykazało pionowych odkształceń próbek zagęszczonych energią zmodyfikowaną zamrażanych zarówno w warunkach powietrzno-wilgotnych jak również próbek nasyconych wodą.

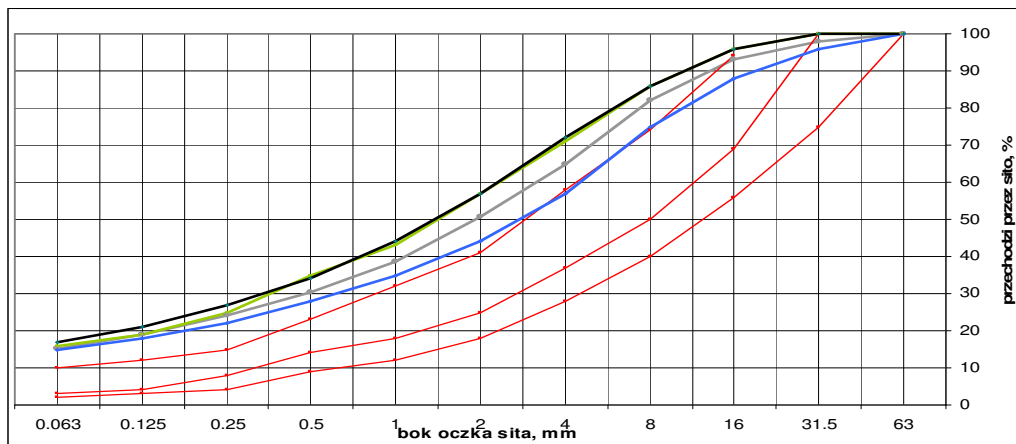
Nie stwierdzono praktycznie żadnego wpływu zagęszczania i mrożenia próbek na ścieralność materiału.

---

<sup>3)</sup> Wartość wskaźnika CBR w stanie naturalnym

<sup>4)</sup> Wartość wskaźnika CBR kruszywa zagęszczonego i zamrażanego w warunkach powietrzno-wilgotnych

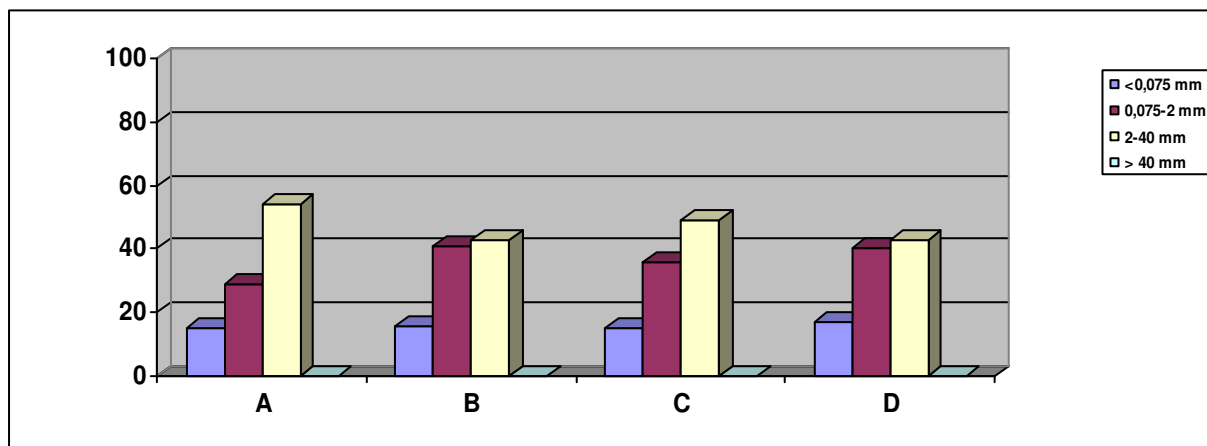
<sup>5)</sup> Wartość wskaźnika CBR kruszywa zagęszczonego i zamrażanego w stanie nasycenia wodą



- krzywe graniczne obszaru optymalnego uziarnienia dla podbudów zasadniczych i pomocniczych wg PN-S-06102:1997
- krzywa uziarnienia żużla w stanie naturalnym
- krzywa uziarnienia żużla po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną
- krzywa uziarnienia żużla po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i zamrażaniu w warunkach wodnych
- krzywa uziarnienia żużla po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i zamrażaniu w warunkach powietrznych

Rys. nr 5

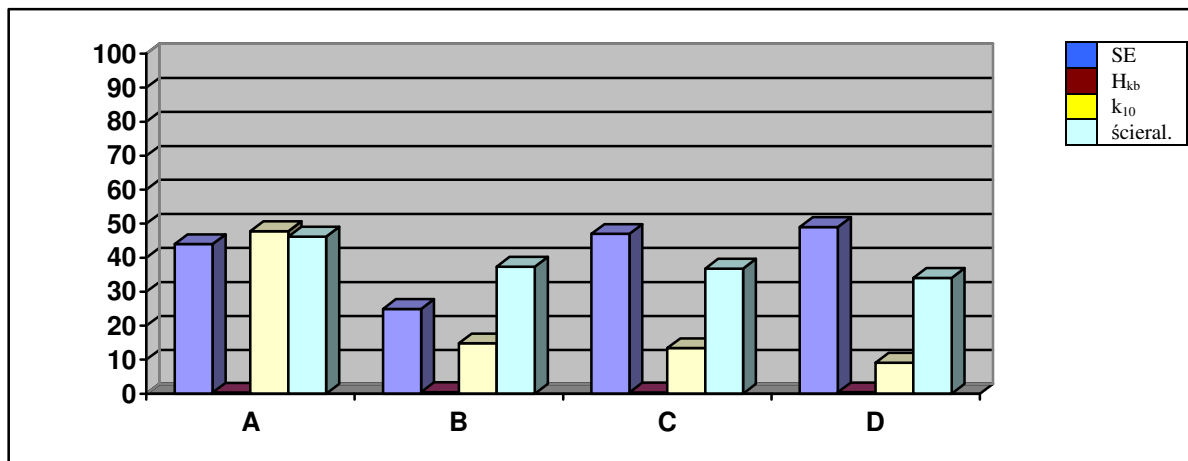
Krzywe uziarnienia żużla naturalnego, po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i zamrażaniu w warunkach powietrznych i wodnych.



- A - stan naturalny (przed zagęszczeniem)
- B - po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną
- C - po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i 25 cyklach z-o w war. powietrzno-wilgotnych
- D - po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i 25 cyklach z-o w stanie nasycenia wodą

Rys. nr 6

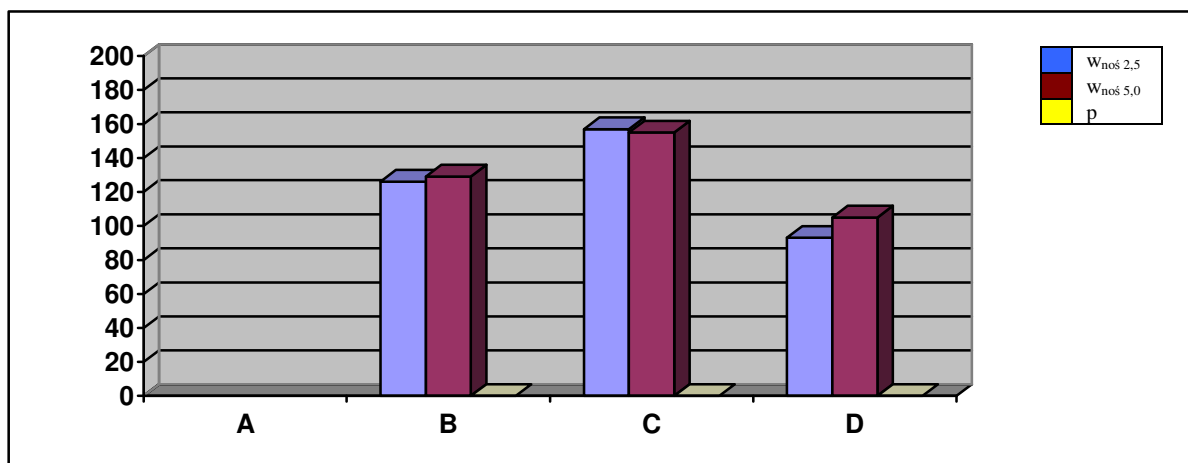
Zmiany zawartości frakcji podstawowych pod wpływem zagęszczania oraz zagęszczania połączonego z zamrażaniem i odmrażaniem próbek w warunkach powietrzno-wilgotnych oraz nasyconych wodą



- A - stan naturalny (przed zagęszczeniem)
- B - po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną
- C - po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i 25 cyklach z-o w war. powietrzno-wilgotnych
- D - po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i 25 cyklach z-o w stanie nasycenia wodą

Rys. nr 7

Zmiany wartości wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej, wodoprzepuszczalności i ścieralności pod wpływem zagęszczania oraz zagęszczania połączonego z zamrażaniem i odmrażaniem próbek w warunkach powietrzno-wilgotnych oraz nasyconych wodą



- A - stan naturalny (przed zagęszczeniem)
- B - po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną
- C - po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i 25 cyklach z-o w war. powietrzno-wilgotnych
- D - po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i 25 cyklach z-o w stanie nasycenia wodą

Rys. nr 8

Zmiany wartości wskaźnika nośności i pęcznienia pod wpływem zagęszczania oraz zagęszczania połączonego z zamrażaniem i odmrażaniem próbek w warunkach powietrzno-wilgotnych oraz nasyconych wodą

### **2.3. Kruszywo z przekruszonego betonu**

Materiał pozyskany z przekruszonego betonu podobnie jak omówione wcześniej kruszywa poddawane procesowi zagęszczania oraz zagęszczaniu połączonemu ze skrajnie niekorzystnymi warunkami zamrażania i odmrażania uległ pewnym zmianom właściwości.

Najbardziej destruktywnie oddziaływało tu, podobnie jak w przypadku łupka zagęszczanie. Pod wpływem zagęszczania zaobserwowano znaczny ubytek frakcji > 40 mm na rzecz frakcji 0,075-2 mm oraz wyraźne zmniejszenie się wskaźnika wodoprzepuszczalności (od wartości  $k_{10} = 33.1$  do  $k_{10} = 11.2$  m / dobę).

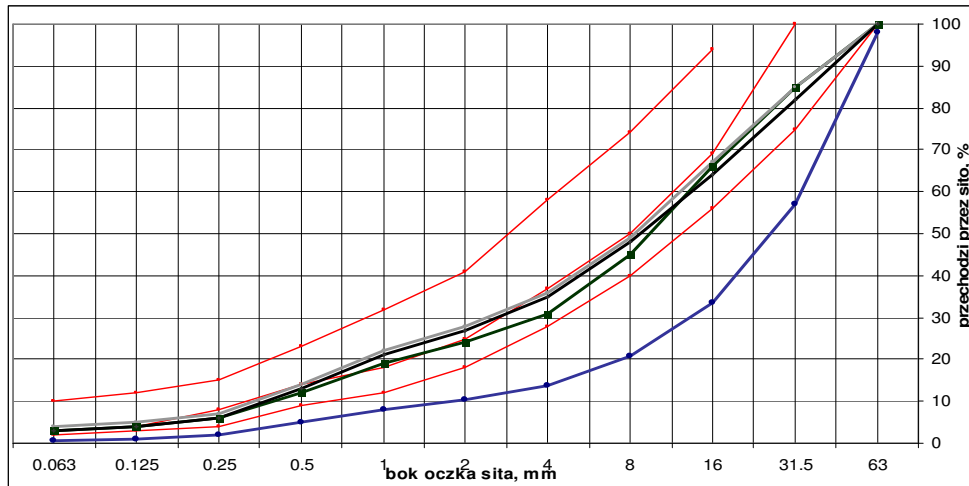
Nie zaobserwowano jednak „ważącego” w przypadku charakterystyki materiałów do warstw mrozoochronnych zwiększenia zawartości w próbce cząstek drobnych (o średnicy mniejszej od 0.075 mm). Zagęszczanie nie spowodowało również znaczących, niekorzystnych zmian wartości wskaźnika piaskowego i ścieralności. Materiał po zagęszczeniu charakteryzował się wskaźnikiem piaskowym o wartości  $SE=74$  i ścieralnością  $s = 43 \%$ ).

Kruszywo poddane zagęszczeniu połączonemu z różnymi warunkami zamrażania w stosunku do materiału poddanego jedynie zagęszczeniu uległo znaczącym zmianom dotyczącym wartości wskaźnika nośności (zmniejszył się z wartości  $CBR=175\%$  do  $CBR=91\%$ ) oraz zawartości cząstek drobnych określanych przez sorpcję błękitu metylenowego (wzrost wartości od  $MB_f = 4$  do  $MB_f = 8.3$ ). Próby powiązania wartości zawartości cząstek drobnych określonych metodą przesiewania i metodą sorpcji wykazują, że np. w przypadku gruzu betonowego, około 2-krotne zwiększenie zawartości cząstek mniejszych od 0.075 mm odpowiada około 2-krotnemu zwiększeniu wartości  $MB_f$ . Określenie dokładnej korelacji pomiędzy stosowanymi metodami wymaga jednak odrębnego potraktowania problemu.

Badanie bezpośredniej wysadzinowości nie wykazało pionowych odkształceń próbek zagęszczonych energią zmodyfikowaną zamrażanych zarówno w warunkach powietrzno-wilgotnych jak również próbek nasyconych wodą.

Nie stwierdzono praktycznie żadnego wpływu zagęszczania i mrożenia próbek na wartość ścieralności materiału.

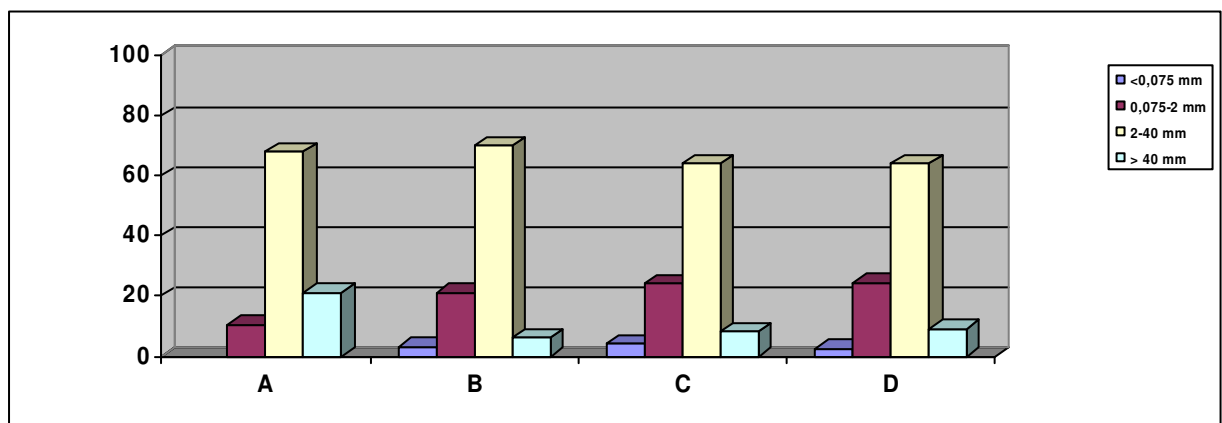
Omówione powyżej wyniki, związane z określeniem wpływu zagęszczania oraz zagęszczania połączonemu z zamrażaniem na właściwości kruszywa z betonu zobrazowano na zamieszczonych poniżej rysunkach (nr 9 – 12). Szczegółowe zestawienie badanych parametrów przedstawiono w załączniku nr 1.



- krzywe graniczne obszaru optymalnego uziarnienia dla podbudów zasadniczych i pomocniczych wg PN-S-06102:1997
- krzywa uziarnienia gruzu betonowego w stanie naturalnym
- krzywa uziarnienia gruzu betonowego po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną
- krzywa uziarnienia gruzu betonowego po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i zamrażaniu w warunkach wodnych
- krzywa uziarnienia gruzu betonowego po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i zamrażaniu w warunkach powietrznych

Rys. nr 9

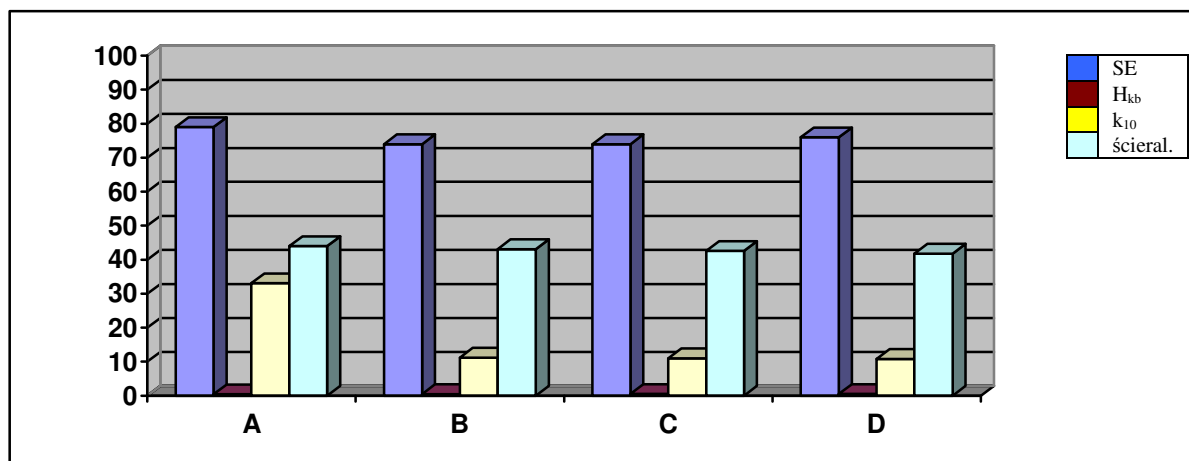
Wykres krzywej uziarnienia gruzu betonowego naturalnego, po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i zamrażaniu w warunkach powietrznych i wodnych



- A - stan naturalny (przed zagęszczeniem)
- B - po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną
- C - po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i 25 cyklach z-o w war. powietrzno-wilgotnych
- D - po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i 25 cyklach z-o w stanie nasycenia wodą

Rys. nr 10

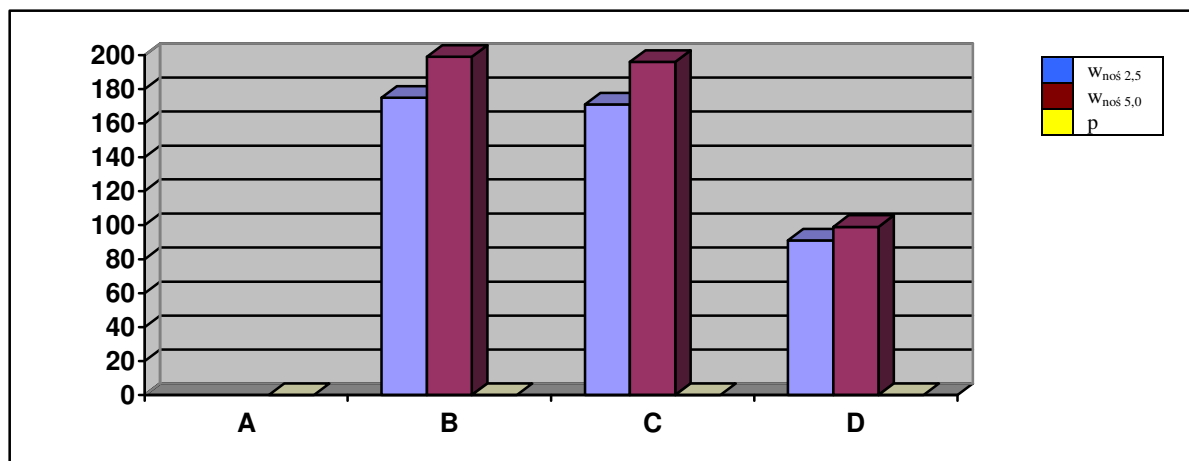
Zmiany zawartości frakcji podstawowych pod wpływem zagęszczania oraz zagęszczania połączonego z zamrażaniem i odmrażaniem próbek w warunkach powietrzno-wilgotnych oraz nasyconych wodą



- A - stan naturalny (przed zagęszczeniem)  
 B - po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną  
 C - po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i 25 cyklach z-o w war. powietrzno-wilgotnych  
 D - po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i 25 cyklach z-o w stanie nasycenia wodą

Rys. nr 11

Zmiany wartości wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej, wodoprzepuszczalności i ścieralności pod wpływem zagęszczania oraz zagęszczania połączonego z zamrażaniem i odmrażaniem próbek w warunkach powietrzno-wilgotnych oraz nasyconych wodą



- A - stan naturalny (przed zagęszczeniem)  
 B - po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną  
 C - po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i 25 cyklach z-o w war. powietrzno-wilgotnych  
 D - po zagęszczeniu energią zmodyfikowaną i 25 cyklach z-o w stanie nasycenia wodą

Rys. nr 12

Zmiany wartości wskaźnika nośności i pęcznienia pod wpływem zagęszczania oraz zagęszczania połączonego z zamrażaniem i odmrażaniem próbek w warunkach powietrzno-wilgotnych oraz nasyconych wodą

## **2. Analiza wyników**

W wyniku przeprowadzonej analizy wyników badań laboratoryjnych stwierdzono, że wskutek zagęszczania energią zmodyfikowaną oraz zagęszczania połączonego z zamrażaniem w różnych warunkach wilgotnościowych testowane kruszywa (łupek przepalony, żużel pocynkowy i kruszywo z recyklowanego betonu) zmieniały swoje właściwości wyjściowe.

Szczególną destrukcję związaną ze zmianą składu granulometrycznego oraz obniżeniem wartości wskaźnika wodoprzepuszczalności  $k_{10}$  i wskaźnika CBR zaobserwowano odpowiednio w przypadku zagęszczania oraz zagęszczania połączonego z zamrażaniem i odmrażaniem próbek nasyconych wodą. Dla wszystkich materiałów stwierdzono niewielki i uznawany za pomijalny (3-5 %) spadek wartości wskaźnika nośności pod wpływem zamrażania i odmrażania w warunkach powietrzno-wilgotnych. Znacznie większy spadek zaobserwowano w przypadku poddania próbek „ostrzejszym” warunkom pielęgnacji, tj. zamrażaniu i odmrażaniu w warunkach nasycenia wodą. Tu różnica wartości wskaźnika nośności wynosiła już 50-100 %, choć uzyskiwane wskaźniki CBR generalnie nie były mniejsze od 60 %, w przypadku łupków i 90%, w przypadku materiału z przekruszonego betonu. Mając na uwadze wymagania stawiane materiałom stosowanym do wykonania warstw mrozoochronnych pomierzone wartości uważa się za korzystnie wysokie.

W przypadku wszystkich badanych materiałów zaobserwowano, korzystną z uwagi na pełnioną przez kruszywo funkcję, zmianę (wzrost) wartości wskaźnika piaskowego wynikającą z przekruszenia ziarn frakcji kamienistej i żwirowej na frakcję piaskową. Analiza składu granulometrycznego próbek w stanie naturalnym i próbek poddanych destruktywnemu wpływowi zagęszczania połączonego z zamrażaniem i odmrażaniem wykazała bardzo nieznaczny, około 2 % przyrost ilości ziarn o średnicy  $d < 0.075$  mm (określonych metodą przesiewania).

Analizując zawartości cząstek drobnych w badanych materiałach nie zauważono jednoznacznej korelacji pomiędzy wynikami badań metodą przesiewania i metodą sorpcji błękitu metylenowego.

Badania wskaźnika piaskowego, kapilarności, zawartości cząstek drobnych (metodą sorpcji błękitu metylenowego) i ścieralności wykazywały nieznaczne, w stosunku do wyjściowych, zmiany.

Analizując uzyskane w wyniku laboratoryjnych badań uzupełniających rezultaty, zbliżone „rzędem wielkości” do przedstawionych w częściach I i II stwierdza się, że nie zauważono „ważącego” wpływu mrozu na wartości podstawowych parametrów kwalifikujących materiał do wbudowywania w warstwy mrozoochronne.

Generalnie można więc przyjąć, że głównym czynnikiem wpływającym na utratę korzystnych właściwości badanych kruszyw słabych jest metoda ich zagęszczania.

Z przeprowadzonej analizy wynikają następujące wnioski:

- 1) największy wpływ na zmiany parametrów geotechnicznych badanych kruszyw ma proces zagęszczania, dlatego przy ocenie jakości materiału należy brać pod uwagę jego właściwości po zagęszczeniu.
- 2) wpływ cykli zamrażania i odmrażania kruszyw w warunkach powietrzno-wilgotnych i w stanie nasycenia nie jest znaczący. Zmniejszające się w stosunku do określonych w stanie naturalnym wartości wskaźnika nośności utrzymują się na poziomie wymagań dla podbudów drogowych.
- 3) nie stwierdzono istotnego wpływu zamrażania na wartości wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej, wskaźnika wodoprzepuszczalności, dyskwalifikującego badane materiały jako kruszywa do mrozoochronnych.



## **CZĘŚĆ 1b Terenowe badania zmian właściwości słabych kruszyw grubookruchowych wbudowywanych w warstwy mrozoochronne**

### **1. Badania warstw konstrukcji nawierzchni i kruszyw z odcinków testowych**

#### **1.1. Zakres i metodyka badań**

W ciągu ostatnich lat podejmowano próby zabudowania w warstwy ulepszonego podłoża i warstwy konstrukcyjne nawierzchni, grubookruchowych materiałów odpadowych.

Poniżej przedstawiono wyniki badań archiwalnych, przeprowadzonych na odcinkach doświadczalnych w trakcie ich wykonywania oraz badań porównawczych po 5 letnim okresie eksploatacji konstrukcji.

W celu sprawdzenia przydatności technologicznej i konstrukcyjnej kruszywa z gruzu betonowego, łupka przywęglowego przepalonego i żuźla pocynkowego wykonano w maju 2000 r. dwa odcinki próbne o powierzchni  $2 \times 180 \text{ m}^2$  zlokalizowane na drodze dojazdowej do składowiska kruszywa PRInż. S.A. w Katowicach – Janowie (odcinek I) oraz drodze dojazdowej do szybu „Piast” w Chorzowie (odcinek II).

Na wymienionych odcinkach zaprojektowano następujące konstrukcje nawierzchni:

odcinek I

- warstwa ścieralna (wykonana po 3 miesiącach),
- podbudowa grub. 25 cm z kruszywa betonowego (dwie warstwy),
- warstwa mrozoochronna grub. 50 cm – łupek przepalony (2 x 25 cm),
- podłoże – glina piaszczysta.

odcinek II

- warstwa ścieralna (wykonana bezpośrednio po ułożeniu podbudowy),
- podbudowa grub. 25 cm z kruszywa betonowego (dwie warstwy),
- warstwa mrozoochronna grub. 50 cm – żużel pocynkowy (2 x 25 cm),
- podłoże – piasek gliniasty.

Na każdym z odcinków do podbudowy z kruszywa betonowego wykorzystano mieszankę zestawioną z frakcji :

- 25 % frakcja 0/2 mm,
- 45 % frakcja 2/16 mm,
- 30 % frakcja 16/63 mm.

Dla wykonanych warstw i kruszyw wbudowanych w podbudowę i warstwy mrozoochronne (pobranych z obu odcinków testowych) przeprowadzono następujące badania :

- uziarnienia (kruszywa),
- wskaźnika piaskowego (kruszywa),
- kapilarności biernej (kruszywa),
- zawartości cząstek drobnych (kruszywa),
- modułów odkształcenia (podbudowa lub warstwa mrozoochronna – aparat VSS),
- modułu sprężystości (podbudowa lub warstwa mrozoochronna – płyta dynamiczna),
- wskaźnika nośności CBR (podbudowa lub warstwa mrozoochronna – tester Clegg'a).

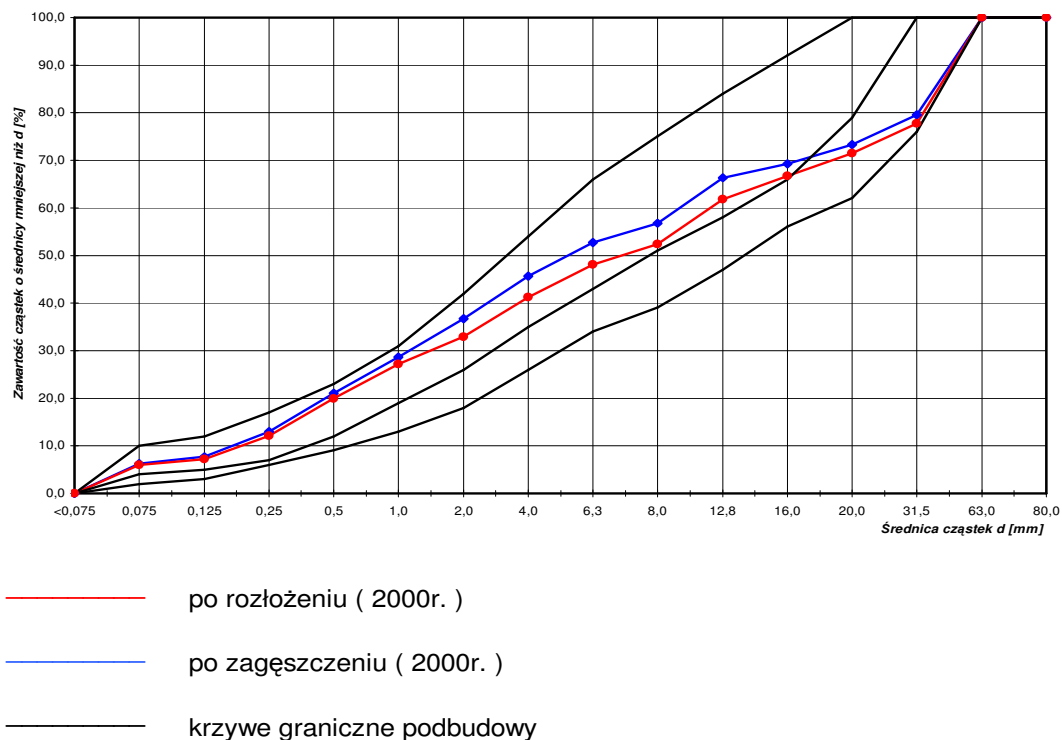
## 2. Omówienie wyników badań kruszywa pobranych z odcinków testowych

### 2.1. Podbudowa z kruszywa betonowego

Dla materiału przygotowanej wg pkt 1.1 podbudowy wykonano badania uziarnienia oraz, bezpośrednio po zagęszczeniu, pomierzono moduły odkształceń  $E_1$ ,  $E_2$  i wskaźniki odkształcenia  $I_0$ . Badania powtórzono po trzech miesiącach wstępnego twardnienia podbudowy, bezpośrednio przed ułożeniem warstwy bitumicznej oraz po 5 latach eksploatacji warstwy. Pod koniec okresu jesienno – zimowego (połowa marca), po całkowitym rozmarznięciu konstrukcji, zdecydowano o powtórzeniu badań nośności podbudowy, po zdjęciu warstwy bitumicznej.

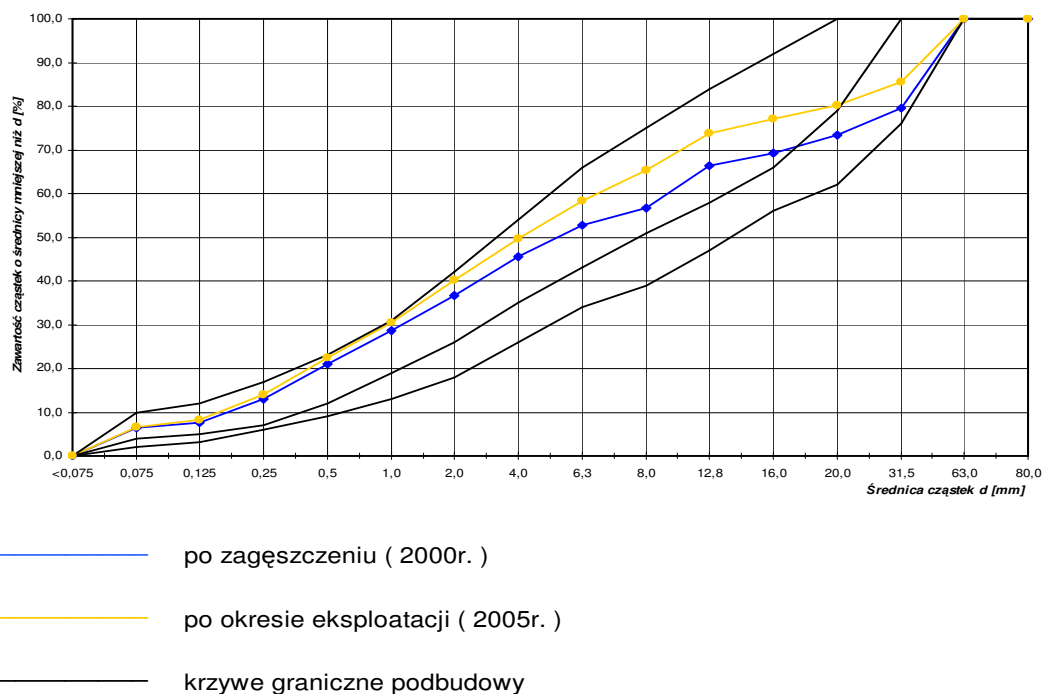
Niekorzystne warunki pogodowe (opady deszczu) sprawiły, że podbudowa znalazła się w stanie znacznego zawilgocenia, a zdjęcie warstwy bitumicznej spowodowało rozluźnienie jej powierzchni. Mogło to stać się przyczyną uzyskania mniej korzystnych, od spodziewanych, rezultatów badań.

Wyniki wykonanych badań przedstawiono na rys. nr 13 i 14 oraz w tablicach 1-2.



Rys. nr 13

Uziarnienie kruszywa przed i bezpośrednio po zagęszczeniu podbudowy



Rys. nr 14  
Wykres uziarnienia kruszywa z gruzu betonowego po okresie 5 – letniej eksploatacji

Tablica 1

Zestawienie wyników badania modułów odkształcenia  
odcinek I – podbudowa z kruszonego betonu

Okres eksploatacji (miesiące)	Pierwotny moduł odkształcenia	Wtórny moduł odkształcenia	Wskaźnik odkształcenia
0	107÷119	225÷250	2.1÷2.2
3	189÷197	321 ÷ 375	1.7÷1.9
6	163	375	2.3

Tablica 2

Zestawienie wyników badań podbudowy z kruszywa betonowego (odcinek I) po 5 latach eksploatacji konstrukcji

<i>Rodzaj badania</i>	<i>Numer normy</i>	<i>Jednostka</i>	<i>Uzyskany wynik</i>
Badanie nośności płytą VSS	<b>PN-S-02205:1998 zał. B</b> (roboty ziemne) <b>BN 64/8931- 02</b> (podbudowa)	MPa	$E_2 =$ 450,450,563,375
			$I_0 =$ 1,8;2,0;1,8;2,2
Wskaźnik nośności CBR aparatem Clegga	Instrukcja	%	80,9;90,7;106,5; 106,5
Badanie dynamicznego modułu nośności $E_{VD}$	<b>TP BF – StB: 1994</b>	%	190,6;187,4;218,9; 181,3

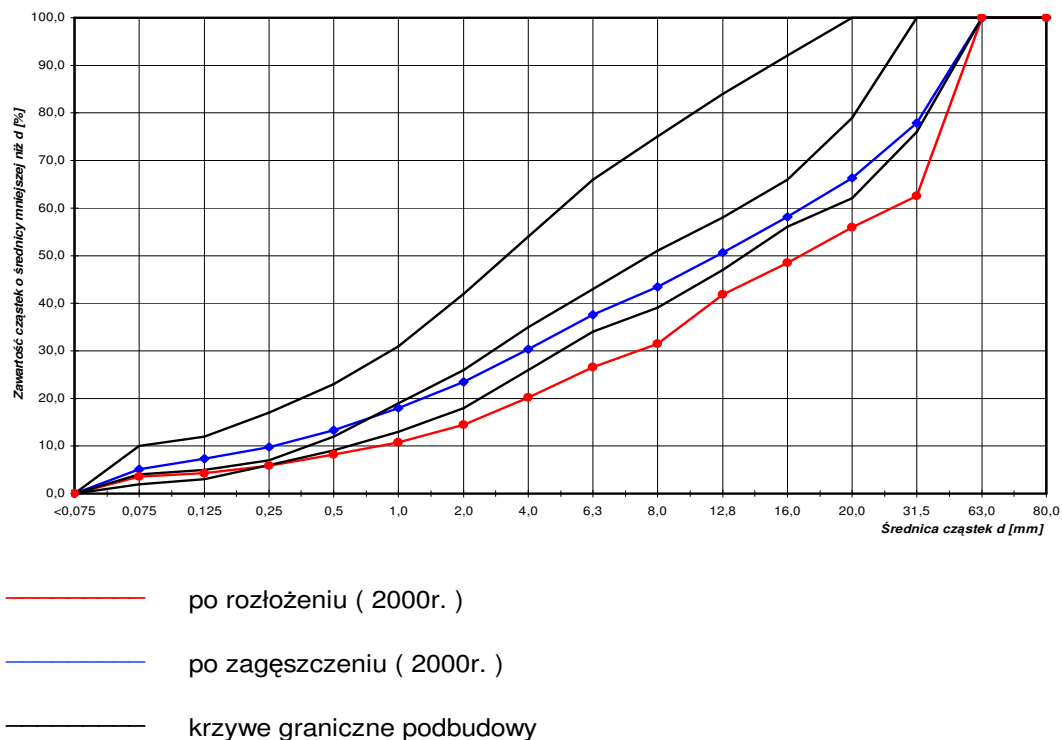
<i>Rodzaj badania</i>	<i>Numer normy</i>	<i>Jednostka</i>	<i>Uzyskany wynik</i>
Oznaczenie wskaźnika piaskowego	<b>BN-64/8931-01</b>	-	63,4;64,3;62,8;62,3
Oznaczenie kapilarności biernej	<b>PN-60/B-04493</b>	m	0,77;0,71;0,64;0,68
Oznaczenie całkowitej powierzchni właściwej ( $S_i$ ) gruntów metodą sorpcji błękitu metylenowego	<b>PN-88/B-04481 p.4.3.</b>	g/kg	1,0;1,0;1,0;1,0
Oznaczenie ścieralności w bębnie Los Angeles	<b>PN-79/B-06714/42</b>	%	42,7

## 2.2. Warstwa mrozochronna

### 2.2.1. Łupek przywęglowy przepalony

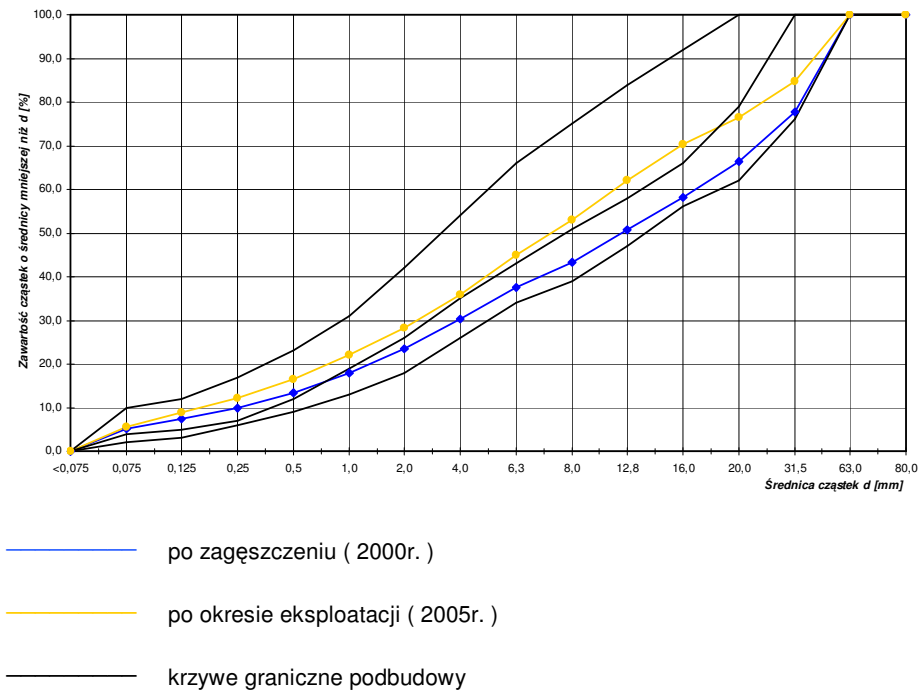
Na odcinku I równoległe z badaniami podbudowy przeprowadzono badania warstwy mrozochronnej, wykonanej z łupka przywęglowego przepalonego.

Uziarnienie kruszywa przed i bezpośrednio po zagęszczeniu warstwy mrozochronnej pokazano na rys. nr 15.



Rys. nr 15  
Wykresy uziarnienia kruszywa z łupka przywęglowego przepalonego – odcinek I

W roku 2005, po pięcioletniej eksploatacji konstrukcji przeprowadzono ponownie badania warstwy mrozoochronnej z łupka przywęglowego przepalonego. Uziarnienie materiału pobranego z odkrywek przedstawiono na rys. nr 16, porównując z uziarnieniem tego materiału określonym w 2000 r. Wyniki badań połowych zestawiono w tablicach 3 i 4.



Rys. nr 16  
Wykres uziarnienia kruszywa z łupka przywęglowego przepalonego po okresie 5 – letniej eksploatacji

Tablica 3

Zestawienie wyników badania modułów odkształcenia warstwa mrozochronna z łupka przepalonego

Okres eksploatacji (miesiące)	Pierwotny moduł odkształcenia	Wtórny moduł odkształcenia	Wskaźnik odkształcenia
0	56÷73	125÷132	1.8÷2.2
3	59÷69	125÷132	1.9÷2.1
6	71	136	1.9

Tablica 4

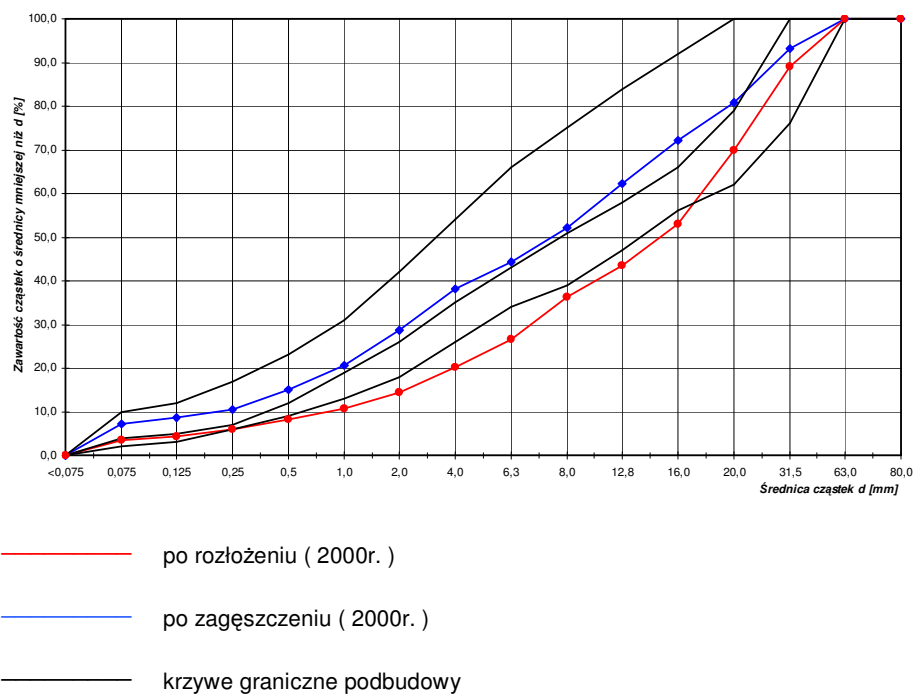
Zestawienie wyników badań warstwy mrozoochronnej z łupka przepalonego (odcinek I) po 5 latach eksploatacji konstrukcji

<i>Rodzaj badania</i>	<i>Numer normy</i>	<i>Jednostka</i>	<i>Uzyskany wynik</i>
Badanie nośności płytą VSS	<b>PN-S-02205:1998 zał. B</b> (roboty ziemne) <b>BN 64/8931- 02</b> (podbudowa)	MPa	$E_2 =$ 141,136,150,141
			$I_0 =$ 1,9;1,9;2,3;2,0
Wskaźnik nośności CBR aparatem Clegga	Instrukcja	%	47,3;40,3;51,0;43,8
Badanie dynamicznego modułu nośności $E_{VD}$	<b>TP BF – StB: 1994</b>	%	70,0;69,3;73,4;72,0

<i>Rodzaj badania</i>	<i>Numer normy</i>	<i>Jednostka</i>	<i>Uzyskany wynik</i>
Oznaczenie wskaźnika piaskowego	<b>BN-64/8931-01</b>	-	74,0;73,0;71,5;71,0
Oznaczenie kapilarności biernej	<b>PN-60/B-04493</b>	m	0,64;0,60;0,57;0,51
Oznaczenie całkowitej powierzchni właściwej ( $S_s$ ) gruntów metodą sorpccji błękitu metylenowego	<b>PN-88/B-04481 p.4.3.</b>	g/kg	1,25;1,24;1,11;1,0
Oznaczenie ścieralności w bębnie Los Angeles	<b>PN-79/B-06714/42</b>	%	35,6

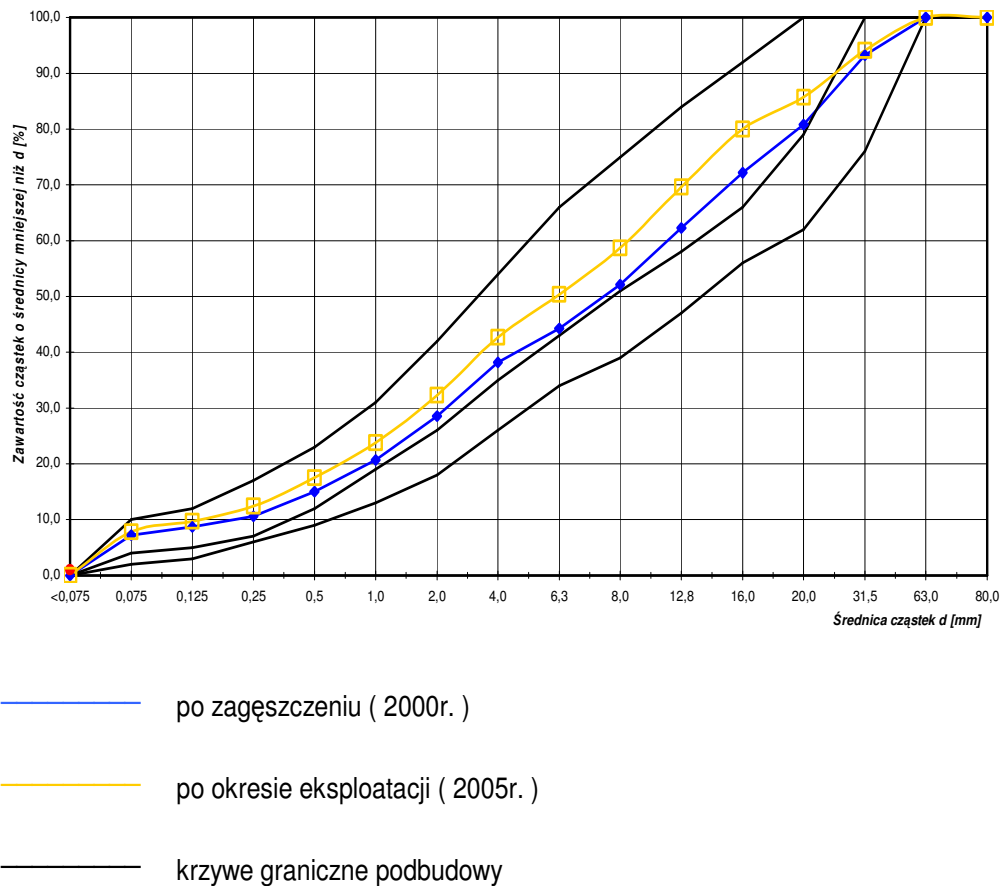
### 2.2.2. Żużel pocynkowy

Na odcinku II przeprowadzono badania warstwy mrozochronnej, wykonanej z kruszywa z żużła pocynkowego, bezpośrednio po zagęszczeniu. Wyniki badania uziarnienia pokazano na rys 17. Na rys. 18 przedstawiono uziarnienia materiału określone bezpośrednio po zagęszczeniu oraz po 5 letnim okresie eksploatacji warstwy.



Rys. nr 17  
Wykres uziarnienia kruszywa z żużła pocynkowego





Rys. nr 18

Wykres uziarnienia kruszywa z żużla pocynkowego – odcinek II, po okresie 5 – letniej eksploatacji

Na warstwie mrozoochronnej charakteryzowanej przez kruszywo o powyżej pokazanym uziarnieniu, bezpośrednio po zagęszczeniu, pomierzono moduły odkształceń  $E_2$  i wskaźniki odkształcenia  $I_0$ . Pomierzone wartości zestawiono w tabelicy 5.

Badania powtórzono po trzech miesiącach, bezpośrednio przed ułożeniem warstwy bitumicznej, po zdjęciu warstwy podbudowy z kruszywa betonowego oraz pod koniec okresu jesienno – zimowego.

W tabelicy 6 zestawiono wyniki badań polowych wykonanych po 5 letnim okresie eksploatacji odcinka.

Tablica 5

Zestawienie wyników badania modułów odkształcenia  
warstwa mrozochronna z żużla pocynkowego

Okres eksploatacji (miesiące)	Pierwotny moduł odkształcenia	Wtórny moduł odkształcenia	Wskaźnik odkształcenia
0	71÷86	136÷173	1.9÷2.0

Tablica 6

Zestawienie wyników badań warstwy z żużla pocynkowego (odcinek II) po 5 latach eksploatacji konstrukcji

Rodzaj badania	Numer normy	Jednostka	Uzyskany wynik
Badanie nośności płytą VSS	<b>PN-S-02205:1998 zał. B</b> (roboty ziemne) <b>BN 64/8931- 02</b> (podbudowa)	MPa	$E_2 =$ 141,136,150,141
			$I_0 = 1,9;1,9;2,3;2,0$
Wskaźnik nośności CBR aparatem Clegg'a	Instrukcja	%	47,3;40,3;51,0;43,8
Badanie dynamicznego modułu nośności $E_{VD}$	<b>TP BF – StB: 1994</b>	%	70,0;69,3;73,4;72,0

Rodzaj badania	Numer normy	Jednostka	Uzyskany wynik
Oznaczenie wskaźnika piaskowego	<b>BN-64/8931-01</b>	-	74,0;73,0;71,5;71,0
Oznaczenie kapilarności biernej	<b>PN-60/B-04493</b>	m	0,64;0,60;0,57;0,51
Oznaczenie całkowitej powierzchni właściwej ( $S_v$ ) gruntów metodą sorpcji błękitu metylenowego	<b>PN-88/B-04481 p.4.3.</b>	g/kg	1,25;1,24;1,11;1,0
Oznaczenie ścieralności w bębnie Los Angeles	<b>PN-79/B-06714/42</b>	%	35,6

### **3. Analiza wyników**

W wyniku analizy rezultatów badań laboratoryjnych kruszyw pobranych z warstw odcinków testowych oraz badań polowych warstw, stwierdzono, że w efekcie zagęszczania technologicznego oraz 5-cio letniej eksploatacji warstw pod ruchem i naturalnych cyklach zamrażania i odmrażania, testowane kruszywa (łupka przepalony, żużel pocynkowy i kruszywo z recyklowanego betonu) i warstwy zmieniały swoje właściwości wyjściowe.

Zaobserwowano, że największe zmiany składu granulometrycznego następowały po zagęszczeniu technologicznym, natomiast znacznie mniejsze w wyniku działania obciążenia ruchem i naturalnych zmian atmosferycznych.

W przypadku zmian uziarnienia powstałych w efekcie zagęszczania technologicznego, zmiany zawartości poszczególnych frakcji wyniosły dla kruszywa betonowego od 0,2 do 5,1 % , dla łupka przywęglowego od 1,6 do 17,0 % , a dla żużła pocynkowego od 4,1 do 20,3 %.

Po 5-cio letnim okresie eksploatacji pod ruchem w naturalnych warunkach atmosferycznych, zmiany uziarnienia dla niektórych kruszyw okazały się znacznie niższe.

Dla kruszywa betonowego wyniosły od 0,1 do 4,4 % , dla łupka przywęglowego przepalonego od 0,3 do 11 % , a dla żużła pocynkowego od 0,7 do 7,5 %.

Dla każdego wbudowanego w warstwę kruszywa nie zaobserwowano spadku minimalnej wartości nośności, pomierzonej bezpośrednio po zagęszczeniu, w stosunku do nośności pomierzonej po 5-cio letnim okresie eksploatacji w naturalnych warunkach atmosferycznych. W niektórych przypadkach (kruszywo betonowe stwierdzono znaczący przyrost nośności.

I tak dla kruszywa betonowego pomierzona średnia wartość wtórnego modułu nośności  $E_2$  bezpośrednio po zagęszczeniu wynosiła  $E_2=238$  MPa, natomiast po 5-cio letnim okresie eksploatacji w naturalnych warunkach atmosferycznych wzrosła do wartości  $E_2=458$  MPa. Tak wysoki wzrost nośności jest efektem procesu wtórnego wiązania cementu w drobnych frakcjach kruszywa.

W przypadku łupka przywęglowego przepalonego po 5-ciu latach zaobserwowano również przyrost nośności lecz , nie tak znaczący jak w przypadku kruszywa betonowego.

Pomierzona średnia wartość wtórnego modułu nośności  $E_2$  bezpośrednio po zagęszczeniu wynosiła  $E_2=128$  MPa, natomiast po 5-cio letnim okresie eksploatacji w naturalnych warunkach atmosferycznych wzrosła do wartości  $E_2=142$  MPa.

Wzrost nośności może być również efektem procesu wiązania drobnych frakcji kruszywa, o czym świadczy fakt, że własności pucolanowe łupka wykorzystywane są w produkcji niektórych spoiw drogowych.

Na warstwie mrozoochronnej z kruszywa z żużła pocynkowego stwierdzono niewielki, na poziomie 8% spadek średniej wartości nośności, która to wartość mieści się w granicach błędu pomiarowego.

Średnia wartość nośności, po powyższym okresie eksploatacji wyniosła  $E_2 = 142$  MPa, przy wyjściowej  $E_2 = 154$  MPa. Wartość ta jest wyższa od wymaganej dla tego rodzaju warstw.

W przypadku wszystkich badanych warstw zaobserwowano bardzo korzystne, z uwagi na pełnioną przez kruszywo funkcję, wartości wskaźnika nośności pomierzone in situ aparatem Clegg'a .

Minimalna pomierzona a wartość wskaźnika CBR wyniosła dla kruszywa betonowego  $w_{noś}=80,9\%$ , dla kruszywa z łupka przywęglowego przepalonego  $w_{noś} = 40,3 \%$ , natomiast dla kruszywa z żużla pocynkowego również  $w_{noś} = 40,3 \%$ .

Bardzo korzystne okazały się również wyniki pomiarów dynamicznego modułu nośności, przeprowadzane z zastosowaniem płyty dynamicznej.

Minimalne wartości modułów  $E_{vd}$ , pomierzone po 5-cio letnim okresie eksploatacji w naturalnych warunkach atmosferycznych wyniosły:

- dla warstwy podbudowy z kruszywa betonowego  $E_{vd} = 181,3 \text{ MN/m}^2$ ,
- dla warstw mrozochronnych z kruszywa z łupka przywęglowego przepalonego  $E_{vd}=69,3 \text{ MN/m}^2$ ,
- z kruszywa z żużla pocynkowego  $E_{vd} = 69,3 \text{ MN/m}^2$ .

Dla wszystkich kruszyw, pobranych z warstw odcinków testowych po 5-cio letnim okresie eksploatacji w naturalnych warunkach atmosferycznych, wyniki badań parametrów wysadzinowości okazały się pozytywne.

## CZĘŚĆ 2 Ustalenia kryteriów oceny poszczególnych materiałów, metod badań i cech technicznych

Wnioski wynikające z omówienia wyników badań gruntów grubookruchowych, zarówno laboratoryjnych jak i polowych, wskazują na zasadność wybranej metody badawczej.

Wyniki badań pozwalają na stwierdzenie, że określanie cech:

- składu granulometrycznego,
- wysadzinowości,
- nośności oraz
- ścieralności

dla materiału po zagęszczeniu i cyklach zamrażania i odmrażania, w przypadku pozytywnych efektów gwarantują prawidłową pracę warstwy mrozoochronnej po x latach eksploatacji, bez konieczności określania pozostałych cech „klasowych”. Należy zatem zaproponować poniższe kryteria doboru materiałów gruboziarnistych do wbudowywania w warstwy mrozoochronne. Kryteria te zestawiono w tablicy 7.

Tablica 7

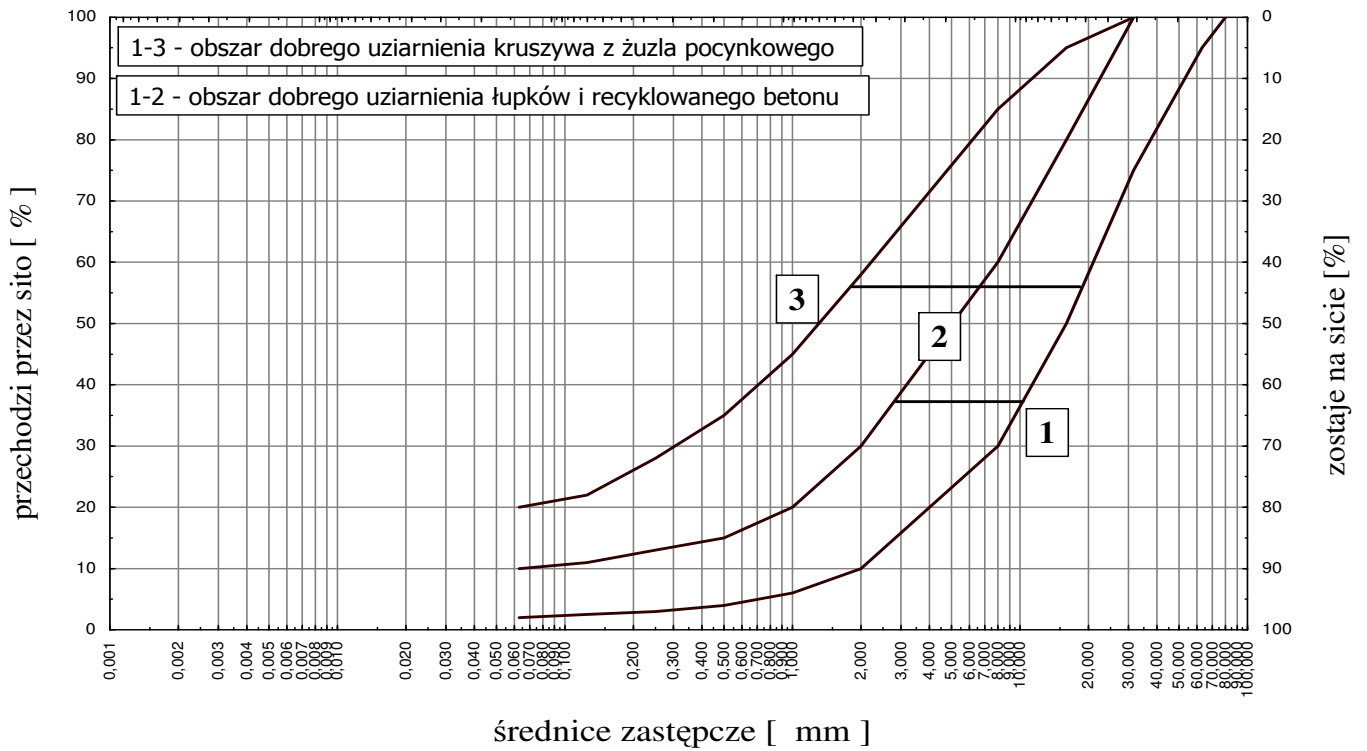
### Kryteria oceny i metody wykonania badań materiałów na warstwy mrozoochronne

L.p.	Rodzaj badanej cechy	Jednostka	Warstwa mrozoochronna	Sposób wykonania badania
1a	Uziarnienie : - maksymalna zmiana zawartości frakcji po zagęszczeniu	%	30	wg PN-EN - 933-1: 2000
1b	- maksymalna zmiana zawartości frakcji po zagęszczeniu i zamrażaniu		5	
1c	- uziarnienie graniczne		wg rys. nr 19	
2	Maksymalna zawartość ziarn powyżej 63 mm określona: - po zagęszczeniu	%	10	wg PN-EN - 933-1: 2000
3a	Dopuszczalna ilość ziarn o wymiarach poniżej 0,063 mm określona : -bezpośrednio po zagęszczeniu	%	≤ 15	wg PN-EN - 933-1: 2000
3b	-po zagęszczeniu i zamrażaniu	%	≤ 20	
4a	Wskaźnik piaskowy SE określony dla kruszywa : - bezpośrednio po zagęszczeniu	%	≥ 35 <sup>*)</sup>	wg PN-EN - 933-8: 2001
4b	- po zagęszczeniu i zamrażaniu	%	≥ 35	
5a	Wskaźnik nośności CBR dla kruszywa : - bezpośrednio po zagęszczeniu	%	≥ 80	wg PN-S-06102 zał.A z zachowaniem warunków badań opisanych w p.3.2.4
5b	- po zagęszczeniu i zamrażaniu	%	≥ 40	
6a	Współczynnik filtracji $k_{10}$ dla kruszywa po zagęszczeniu: - dla warstw filtracyjnych	m/dobę	≥ 8	wg PN-55/B-04492
6b	- dla pozostałych		≥ 5 <sup>*)</sup>	
7	Ścieralność w bębnie Los Angeles bezpośrednio po zagęszczeniu	%	≤ 50	wg PN-79/B-06714 ark. 42

<sup>\*)</sup> w przypadku uzyskania wyniku  $25 < SE < 35$  oraz  $k_{10} < 5$  m/dobę (pkt 6b) zaleca się wykonanie pomiaru wysadzinę bezpośredniej z obciążeniem. Wysadzina nie może być większa niż 0,5 %.

Rys. nr 19

GRANICZNE KRZYWE UZIARNIENIA  
KRUSZYW DO WARSTW MROZOOCHRONNYCH



## **ZAŁĄCZNIK NR 1**

## **WYNIKI BADAŃ LABORATORYJNYCH**

**ŁUPEK PRZEPALONY Z HUTY KOŚCIUSZKO**

### **Zawartość załącznika:**

**Badanie wilgotności optymalnej i maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego**

**Badanie wskaźnika nośności IPI**

**Badanie uziarnienia**

**- stan naturalny**

**- po zagęszczeniu (w aparacie Proctora) energią zmodyfikowaną**

**- po 25 cyklach zamrażania i odmrażania bez nasycania wodą**

**- po 25 cyklach zamrażania i odmrażania próbek nasycanych wodą**

**Badanie wskaźnika piaskowego**

**Badanie kapilarności biernej**

**Badanie wskaźnika nośności i pęcznienia**

**Badanie wodoprzepuszczalności**

**Badanie ścieralności**

**Badanie wysadziny**



Tablica 1

Zmiany uziarnienia kruszywa z łupków przepalonych  
wynikające z wpływu zamrażania i odmrażania badanej próbki

stan materiału	procentowa zawartość frakcji w materiale			
	pyłowo-iłowej	piaskowej	żwirowej	kamienistej
naturalny	5	13	67	15
po zagęszczeniu	10	27	59	4
po zagęszczeniu i 25 cyklach z-o w warunkach powietrzno- wilgotnych	10	27	59	5
po zagęszczeniu i 25 cyklach z-o w warunkach nasycenia wodą	8	29	58	5
<b>zmiana uziarnienia</b>	<b>2</b>	<b>0-2</b>	<b>0-1</b>	<b>1</b>

Tablica 2

Zmiany wartości wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej  
i wodoprzepuszczalności kruszywa z łupków przepalonych wynikające z wpływu zamrażania i  
odmrażania badanej próbki

stan materiału	wskaźnik piaskowy SE	procentowa zawartość frakcji 0/4	kapilarność bierna $H_{kb}$ (m)	procentowa zawartość frakcji 0/2	wodoprze- puszczalność $k_{10}$ (m/ dobę)
naturalny	44	23	0.65	18	28.7
po zagęszczeniu	41	45	0.70	37	10.4
po zagęszczeniu i 25 cyklach z-o w warunkach powietrzno- wilgotnych	50	47	0.55	37	9.9
po zagęszczeniu i 25 cyklach z-o w warunkach nasycenia wodą	53	45	0.45	36	8.8
<b>zmiana</b>	<b>8 ÷ 9</b>	<b>0 ÷ 2</b>		<b>0 ÷ 1</b>	<b>0.5-1.6</b>

Tablica 3

Zmiany wartości wskaźnika nośności , pęcznienia, zawartości cząstek drobnych i bezpośredniej wysadzinowości łupków przepalonych wynikające z wpływu zamrażania i odmrażania badanej próbki

stan materiału	wskaźnik nośności 2.5 mm [%]	wskaźnik nośności 5.0 mm [%]	cząstki drobne MB <sub>f</sub>	pęcznienie P [%]	wysadzina W [%]
naturalny			3.3		
po zagęszczeniu	136	159	3.3	-	-
po zagęszczeniu i 25 cyklach z-o w warunkach powietrzno-wilgotnych	133	155	3.3	0.0	0,0
po zagęszczeniu i 25 cyklach z-o w warunkach nasycenia wodą	58	84	3.3	0.0	0,0
<b>zmiana</b>	<b>3÷68</b>	<b>4÷75</b>	<b>0.0</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

Tablica 4

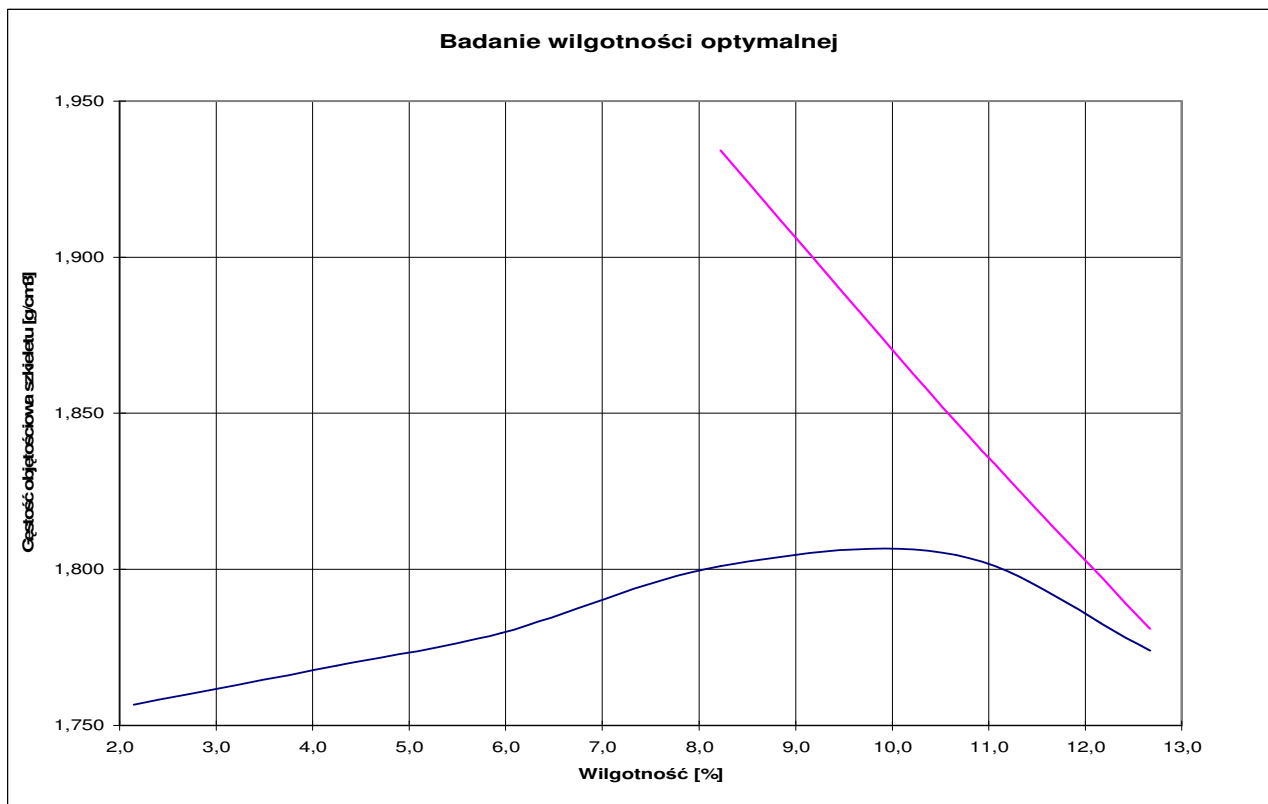
Zmiany wartości ścieralności łupków przepalonych wynikające z wpływu zagęszczania, zamrażania i odmrażania badanej próbki

stan materiału	ścieralność [%]
naturalny	37.2
po zagęszczeniu	33.1
po zagęszczeniu i 25 cyklach z-o w warunkach powietrzno-wilgotnych	31.8
po zagęszczeniu i 25 cyklach z-o w warunkach nasycenia wodą	30.6
<b>zmiana</b>	<b>1.2-2.5</b>

**KARTA BADANIA**  
**BADANIE WILGOTNOŚCI OPTYMALNEJ I MAKSYMALNEJ GĘSTOŚCI**  
**OBJĘTOŚCIOWEJ SZKIELETU GRUNTOWEGO**  
**PN-88-B-04481: 1988**

Łupek przepalony - metoda IV wg Proctora

Badanie wilgotności													
Nr par.	722	66	7	30	3-P	13	251	214	9	2-P	212	44	
m+t	271,96	273,73	258,75	222,12	264,83	244,19	272,80	251,40	280,49	272,73	287,61	291,35	
ms+t	268,42	270,24	251,34	215,76	254,14	233,96	257,16	238,86	259,86	252,91	265,27	270,93	
m-ms	3,54	3,49	7,41	6,36	10,69	10,23	15,64	12,54	20,63	19,82	22,34	20,42	
t	100,92	110,16	80,3	63,01	70,87	65,39	64,63	88,22	67,54	65,68	88,71	110,01	
ms	167,5	160,08	171,04	152,75	183,27	168,57	192,53	150,64	192,32	187,23	176,56	160,92	
WI WII	2,11	2,18	4,33	4,16	5,83	6,07	8,12	8,32	10,73	10,59	12,65	12,69	
Wśr	2,15		4,25		5,95		8,22		10,66		12,67		
m+t	9002		9117		9212		9358		9468		9472		
t	4875		4875		4875		4875		4875		4875		
m	4127		4242		4337		4483		4593		4597		
V	2300		2300		2300		2300		2300		2300		
pd	1,757		1,769		1,780		1,801		1,805		1,774		
pδs					2,3		2,3		2,3		2,3		
pd przy Sr = 1					2,02		1,93		1,85		1,78		



WILGOTNOŚĆ OPTYMALNA = .....10,0..... %

MAKSYMALNA GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA SZKIELETU GRUNTOWEGO = ..... 1,810 g/cm<sup>3</sup>

**Łupek przepalony**

**KARTA BADANIA  
BADANIE WSKAŹNIKA NOŚNOŚCI IPI  
PN - S - 02205:1998, zał. A**

<b>Badanie wilgotności</b>												
	bezpośrednio po zagęszczeniu				po 25 cyklach -odmrażanie w powietrzu				po 25cyklach odmrażanie w wodzie			
Nr par.	214	2-P	30	13	31	45	74	613	722	99	66	212
m+t	244.62	279.07	268.99	295.99	257.09	291.13	279.53	263.48	271.73	286.33	253.78	273.54
ms+t	227.98	259.57	250.36	275.15	240.89	274.81	264.23	248.76	244.30	257.12	230.80	244.09
m-ms	16.64	19.50	18.63	20.84	16.20	16.32	15.30	14.72	27.43	29.21	22.98	29.45
t	58.25	65.68	63.08	65.38	76.87	109.99	109.59	100.57	101.82	103.35	110.14	88.71
ms	169.73	193.89	187.28	209.77	164.02	164.82	154.64	148.19	142.48	153.77	120.66	155.38
W	9.80	10.06	9.95	9.93	9.88	9.90	9.89	9.93	19.25	19.00	19.05	18.95
Wśr	<b>9.94</b>				<b>9.90</b>				<b>19.06</b>			

<b>Badanie gęstości objętościowej</b>						
	bezpośrednio po zagęszczeniu		po 25 cyklach -odmrażanie w powietrzu		po 25cyklach odmrażanie w wodzie	
9438	9492		14660		13046	
t	4916		10084		8090	
m	4576		4576		4956	
V	2300		2300		2300	
ρ	<b>1.990</b>		<b>1.990</b>		<b>2.155</b>	
pd	<b>1.810</b>		<b>1.810</b>		<b>1.810</b>	

<b>Badanie wskaźnika nośności</b>									
	bezpośrednio po zagęszczeniu			po 25 cyklach -odmrażanie w powietrzu			po 25cyklach - odmrażanie w wodzie		
	siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]	siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]	siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]
0.62	3.22	77		2.84	68		1.25	30	
1.25	8.99	215		7.94	190		3.18	76	
1.86	14.09	337		13.04	312		5.60	134	
2.5	19.02	455	136	18.60	445	133	8.07	193	58
3.75	25.83	618		25.41	608		12.83	307	
5	31.85	762	159	30.93	740	155	16.72	400	84
6.25	38.04	910		35.99	861		20.57	492	
7.5	44.27	1059		41.17	985		23.91	572	
8.75	50.03	1197		44.64	1068		26.75	640	
10	0.00	0		47.86	1145		29.13	697	
Srednia			148			144			71

1 punkt z czujnika = 0.002 mm

**Pomiar pęcznienia z obciążeniem po 25 cyklach z-o wynosi 0%**

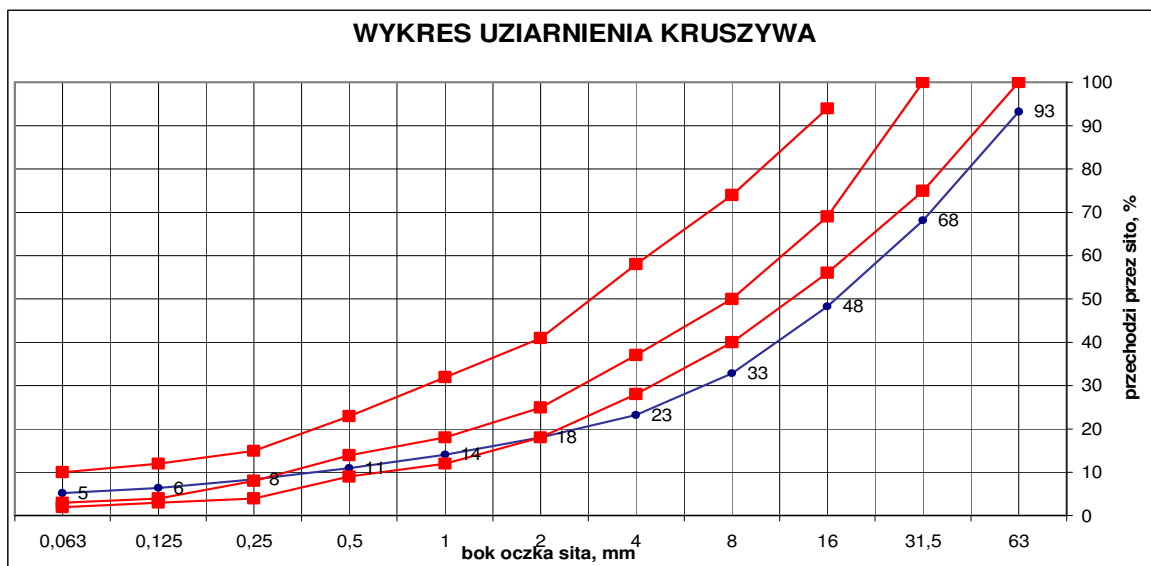
**KARTA BADANIA**  
**BADANIE SKŁADU GRANULOMETRYCZNEGO**  
**PN-EN 933-1: 2000**

**Łupek przepalony - stan naturalny**

M1 - całkowita masa sucha [ kg ]	20,000
M2 - sucha masa po przesianiu próbki na mokro [ kg ]	19,036
M3 = M1-M2 - sucha masa pyłów usunięta podczas przesiewania na mokro [ kg ]	0,964
P - masa przesianego materiału znajdującego się na denku [ kg ]	0,0452

Wymiar otworów sita [ mm ]	Masa materiału pozostającego Ri [ kg ]	Procent materiału pozostającego $Ri / M1 * 100$	Procent materiału pozostającego $Ri / M1 * 100$	Suma mas przechodzących $100 - [(Ri/M1)*100]$ [ % ]	Suma mas pozostających $[(Ri/M1)*100]$ [ % ]
63	1,364	6,820	7	93	7
31,5	5,033	25,165	25	68	32
16	3,982	19,910	20	48	52
8	3,092	15,460	15	33	67
4	1,913	9,565	10	23	77
2	1,039	5,195	5	18	82
1	0,804	4,020	4	14	86
0,5	0,613	3,065	3	11	89
0,25	0,519	2,595	3	8	92
0,125	0,387	1,935	2	6	94
0,063	0,2445	1,223	1	5	94,8
suma	18,991	94,953			
P - denko	0,0452	0,226	0,2	100,0	100,0

procentowa zawartość pyłów [ f ]	5,0
błąd pomiaru [ b% ]	0,0016
	1,00



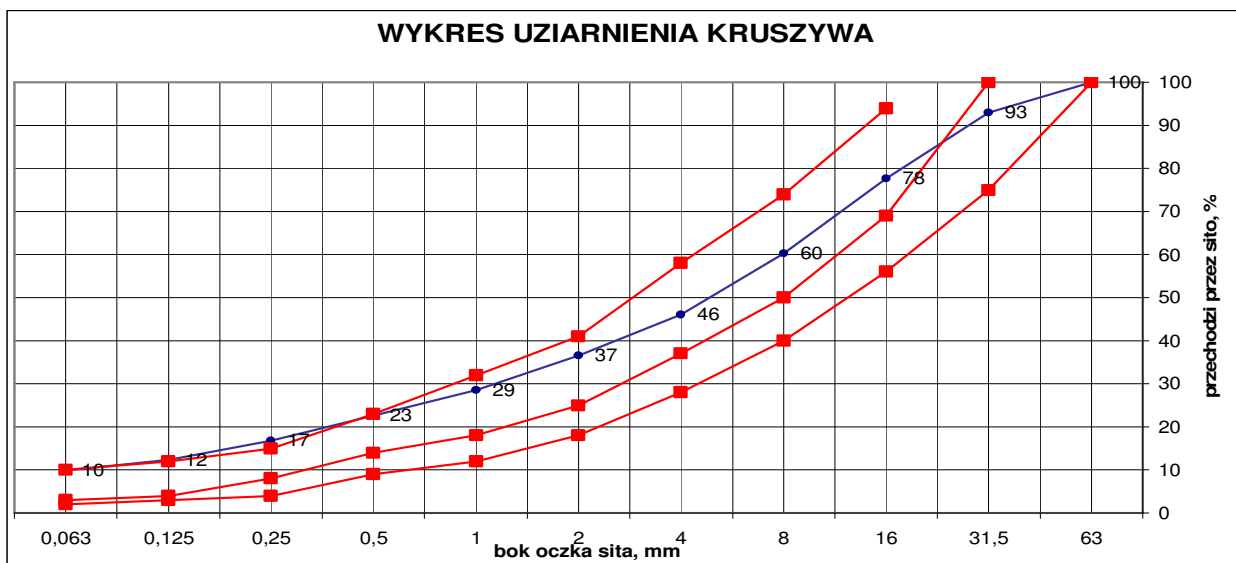
**KARTA BADANIA**  
**BADANIE SKŁADU GRANULOMETRYCZNEGO**  
**PN-EN 933-1: 2000**

**Łupek przepalony – po zagęszczeniu wg IV metody Proctora**

M1 - całkowita masa sucha [ kg ]	15,000
M2 - sucha masa po przesianiu próbki na mokro [ kg ]	13,643
M3 = M1-M2 - sucha masa pyłów usunięta podczas przesiewania na mokro [ kg ]	1,357
P - masa przesianego materiału znajdującego się na denku [ kg ]	0,0479

Wymiar otworów sita	Masa materiału pozostającego Ri	Procent materiału pozostającego Ri / M1 * 100	Procent materiału pozostającego Ri / M1 * 100	Suma mas przechodzących 100-[(Ri/M1)*100]	Suma mas pozostających [(Ri/M1)*100]
[ mm ]	[ kg ]			[ % ]	[ % ]
63	0	0,000	0	100	0
31,5	1,122	7,480	7	93	7
16	2,3	15,333	15	78	22
8	2,608	17,387	17	60	40
4	2,129	14,193	14	46	54
2	1,435	9,567	10	37	63
1	1,198	7,987	8	29	71
0,5	0,897	5,980	6	23	77
0,25	0,871	5,807	6	17	83
0,125	0,651	4,340	4	12	88
0,063	0,3813	2,542	3	10	90,1
suma	13,592	90,615			
P - denko	0,0479	0,319	0,3	100,0	100,0

procentowa zawartość pyłów [ f ]	9,4
błąd pomiaru [ b% ]	0,0205
	1,00



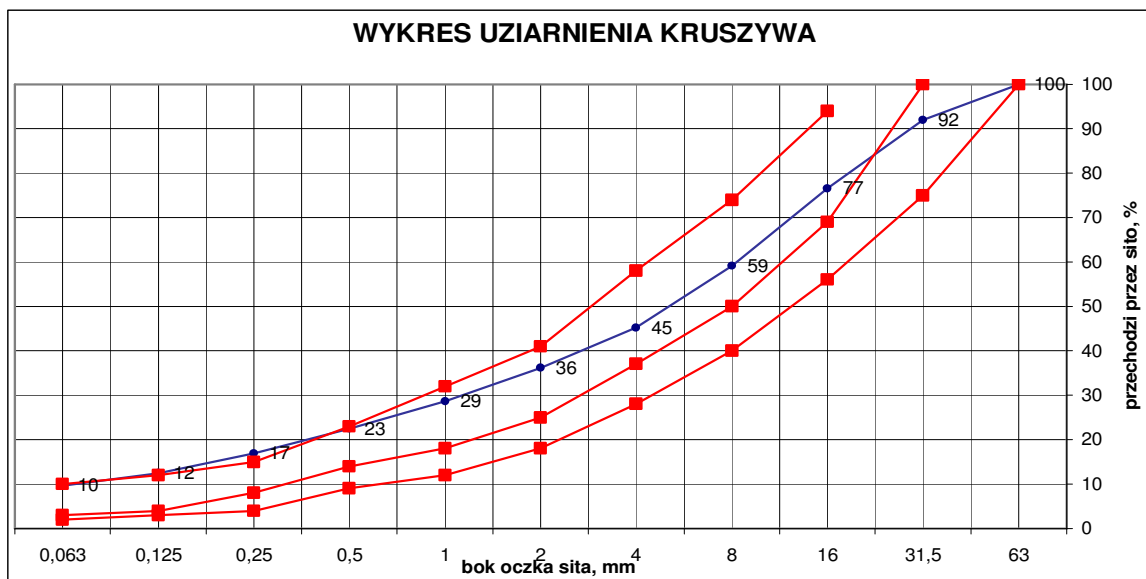
**KARTA BADANIA  
BADANIE SKŁADU GRANULOMETRYCZNEGO  
PN-EN 933-1: 2000**

**Łupek przepalony – po 25 cyklach zamrażania i odmrażania bez nasycenia wodą**

M1 - całkowita masa sucha [ kg ]	12,000
M2 - sucha masa po przesianiu próbki na mokro [ kg ]	10,833
M3 = M1-M2 - sucha masa pyłów usunięta podczas przesiewania na mokro [ kg ]	1,167
P - masa przesianego materiału znajdującego się na denku [ kg ]	0,0371

Wymiar otworów sita [ mm ]	Masa materiału pozostającego Ri [ kg ]	Procent materiału pozostającego Ri / M1 * 100	Procent materiału pozostającego Ri / M1 * 100	Suma mas przechodzących 100-[(Ri/M1)*100] [ % ]	Suma mas pozostających [(Ri/M1)*100] [ % ]
63	0	0,000	0	100	0
31,5	0,91	7,583	8	92	8
16	1,852	15,433	15	77	23
8	2,097	17,475	17	59	41
4	1,666	13,883	14	45	55
2	1,082	9,017	9	36	64
1	0,904	7,533	8	29	71
0,5	0,736	6,133	6	23	77
0,25	0,675	5,625	6	17	83
0,125	0,535	4,458	4	12	88
0,063	0,3362	2,802	3	10	90,4
suma	10,793	89,943			
P - denko	0,0371	0,309	0,3	100,0	101,0

procentowa zawartość pyłów [ f ]	10,0
błąd pomiaru [ b% ]	0,0249



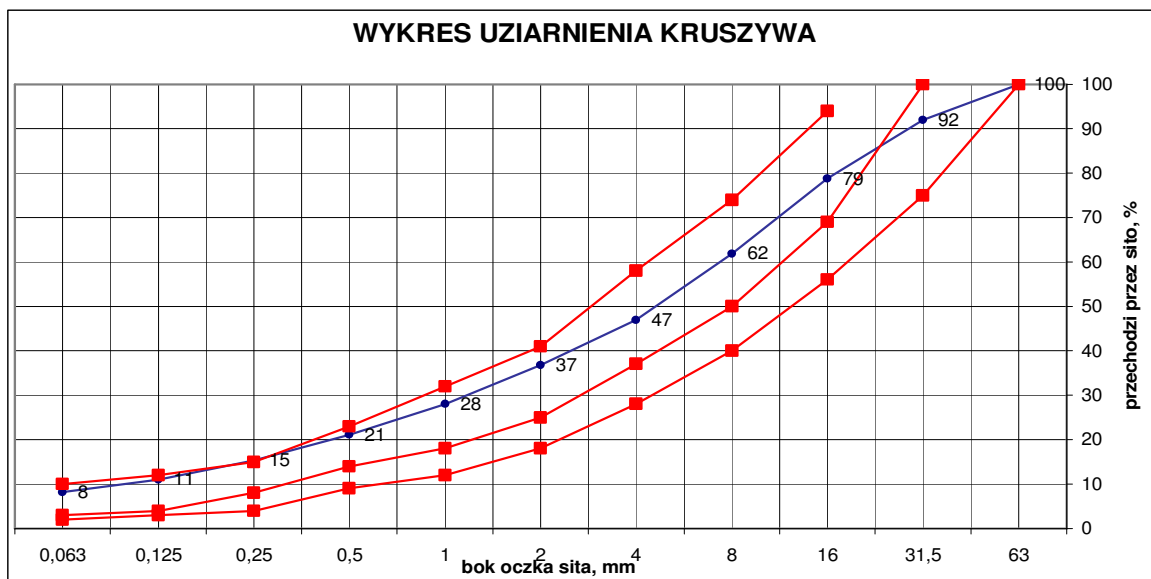
**KARTA BADANIA**  
**BADANIE SKŁADU GRANULOMETRYCZNEGO**  
**PN-EN 933-1: 2000**

**Łupek przepalony – po 25 cyklach zamrażania i odmrażania z nasyceniem wodą**

M1 - całkowita masa sucha [ kg ]	12,000
M2 - sucha masa po przesianiu próbki na mokro [ kg ]	11,050
M3 = M1-M2 - sucha masa pyłów usunięta podczas przesiewania na mokro [ kg ]	0,950
P - masa przesianego materiału znajdującego się na denku [ kg ]	0,0587

Wymiar otworów sita [ mm ]	Masa materiału pozostającego Ri [ kg ]	Procent materiału pozostającego Ri / M1 * 100	Procent materiału pozostającego Ri / M1 * 100	Suma mas przechodzących 100-[(Ri/M1)*100] [ % ]	Suma mas pozostających [(Ri/M1)*100] [ % ]
63	0	0,000	0	100	0
31,5	0,929	7,742	8	92	8
16	1,595	13,292	13	79	21
8	2,022	16,850	17	62	38
4	1,796	14,967	15	47	53
2	1,219	10,158	10	37	63
1	1,042	8,683	9	28	72
0,5	0,826	6,883	7	21	79
0,25	0,708	5,900	6	15	85
0,125	0,512	4,267	4	11	89
0,063	0,3413	2,844	3	8	91,8
suma	10,990	91,586			
P - denko	0,0587	0,489	0,5	100,0	101,0

procentowa zawartość pyłów [ f ]	8,4
błąd pomiaru [ b% ]	0,0090
	1,00





## **WYNIKI BADAŃ LABORATORYJNYCH**

### **ŻUŻEL POCYNKOWY Z HUTY SILESIA**

#### **Zawartość załącznika:**

**Badanie wilgotności optymalnej i maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego**

**Badanie wskaźnika nośności IPI**

**Badanie uziarnienia**

**stan naturalny**

- **po zagęszczeniu (w aparacie Proctora) energią zmodyfikowaną**
- **po 25 cyklach zamrażania i odmrażania bez nasycania wodą**
- **po 25 cyklach zamrażania i odmrażania próbek nasycanych wodą**

**Badanie wskaźnika piaskowego**

**Badanie kapilarności biernej**

**Badanie wskaźnika nośności i pęcznienia**

**Badanie wodoprzepuszczalności**

**Badanie ścieralności**

**Badanie wysadziny**

Tablica nr 5

Zmiany uziarnienia żużli pocynkowych wynikające z wpływu zagęszczania oraz  
Zagęszczania połączonego z zamrażaniem i odmrażaniem

Stan materiału	procentowa zawartość frakcji w materiale			
	pyłowo-iłowej	piaskowej	żwirowej	kamienistej
naturalny	15	29	54	2
po zagęszczeniu	16	41	43	0
po zagęszczeniu i 25 cyklach z-o w warunkach powietrzno- wilgotnych	15	36	49	0
po zagęszczeniu i 25 cyklach z-o w warunkach nasycenia wodą	17	40	43	0
<b>zmiana uziarnienia</b>	<b>1-2</b>	<b>1-5</b>	<b>0-6</b>	<b>0</b>

Tablica 6

Zmiany wartości wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej  
i wodoprzepuszczalności żużli pocynkowych wynikające z wpływu zamrażania i odmrażania  
badanej próbki

stan materiału	wskaźnik piaskowy SE	procentowa zawartość frakcji 0/4	kapilarność bierna $H_{kb}$ (m)	procentowa zawartość frakcji 0/2	wodoprze- puszczalność $k_{10}$ (m/ dobę)
naturalny	44	57	0.35	44	47.8
po zagęszczeniu	25	71	0.50	57	14.8
po zagęszczeniu i 25 cyklach z-o w warunkach powietrzno- wilgotnych	47	65	0.40	51	13.4
po zagęszczeniu i 25 cyklach z-o w warunkach nasycenia wodą	49	72	0.45	44	9.1

Tablica 7

Zmiany wartości wskaźnika nośności, pęcznienia, jakości pyłów  
i bezpośredniej wysadzinowości żużli pocynkowych wynikające z wpływu zamrażania i  
odmrażania badanej próbki

stan materiału	wskaźnik nośności 2.5 mm [%]	wskaźnik nośności 5.0 mm [%]	cząstki drobne MB <sub>f</sub>	pęcznienie P [%]	wysadzina W [mm]
naturalny			8.3		
po zagęszczeniu	126	129	10.0	-	-
po zagęszczeniu i 25 cyklach z-o w warunkach powietrzno- wilgotnych	157	155	8.3	0	0,0
po zagęszczeniu i 25 cyklach z-o w warunkach nasylenia wodą	93	105	8.3	0	0,0

Tablica 8

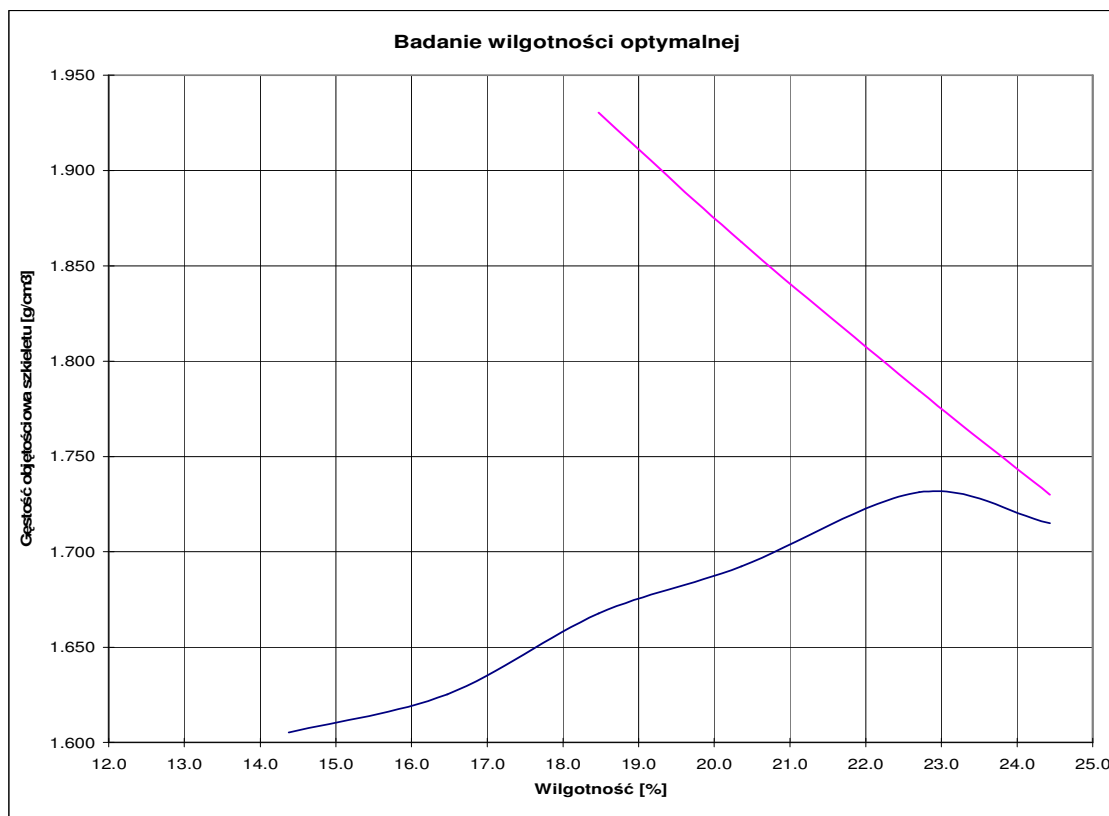
Zmiany wartości ścieralności żużla pocynkowego wynikające z wpływu zagęszczania,  
zamrażania i odmrażania badanej próbki

stan materiału	ścieralność [%]
naturalny	46.2
po zagęszczeniu	37.4
po zagęszczeniu i 25 cyklach z-o w warunkach powietrzno-wilgotnych	36.8
po zagęszczeniu i 25 cyklach z-o w warunkach nasylenia wodą	34.1

**KARTA BADANIA**  
**BADANIE WILGOTNOŚCI OPTYMALNEJ I MAKSYMALNEJ GĘSTOŚCI**  
**OBJĘTOŚCIOWEJ SZKIELETU GRUNTOWEGO**  
**PN-88-B-04481: 1988**

**Żużel pocynkowy - metoda IV wg Proctora**

Badanie wilgotności													
Nr par.	2-P	251	13	30	7	214	9	3-P	66	722	44	212	
m+t	257.24	248.99	264.77	269.64	267.10	252.63	276.26	264.36	299.73	298.37	283.65	278.64	
ms+t	233.41	225.57	236.56	240.43	237.83	222.47	241.06	231.57	264.56	261.93	249.68	241.46	
m-ms	23.83	23.42	28.21	29.21	29.27	30.16	35.20	32.79	35.17	36.44	33.97	37.18	
t	65.75	64.63	65.4	63.02	80.28	58.24	67.76	70.87	110.16	100.92	110.77	89.13	
ms	167.66	160.94	171.16	177.41	157.55	164.23	173.3	160.7	154.4	161.01	138.91	152.33	
WI WII	14.21	14.55	16.48	16.46	18.58	18.36	20.31	20.40	22.78	22.63	24.45	24.41	
Wśr	14.38		16.47		18.47		20.36		22.71		24.43		
m+t	9098		9229		9419		9560		9761		9782		
t	4875		4875		4875		4875		4875		4875		
m	4223		4354		4544		4685		4886		4907		
V	2300		2300		2300		2300		2300		2300		
pd	1.605		1.625		1.668		1.692		1.731		1.715		
pōs					3		3		3		3		
pd przy Sr = 1					1.93		1.86		1.78		1.73		



WILGOTNOŚĆ OPTYMALNA = .....22,7..... %

MAKSYMALNA GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA SZKIELETU GRUNTOWEGO = .....1 1,731 g/cm<sup>3</sup>

## Żużel pocynkowy

### KARTA BADANIA BADANIE WSKAŹNIKA NOŚNOŚCI IPI PN - S - 02205:1998, zał. A

Badanie wilgotności												
Nr par.	bezpośrednio po zagęszczeniu				po 25 cyklach -odmrażanie w powietrzu				po 25cyklach odmrażanie w wodzie			
	251	9	3-P	7	39	81	89	8	73	26	49	71
m+t	243.85	260.48	245.19	278.37	184.20	185.87	170.08	196.59	190.17	198.56	201.73	200.21
ms+t	211.14	225.34	212.78	242.05	159.66	160.82	147.14	168.96	161.46	167.07	171.04	169.30
m-ms	32.71	35.14	32.41	36.32	24.54	25.05	22.94	27.63	28.71	31.49	30.69	30.91
t	64.61	67.64	70.86	80.27	49.66	48.36	43.54	46.48	47.15	44.52	49.85	46.62
ms	146.53	157.7	141.92	161.78	110	112.46	103.6	122.48	114.31	122.55	121.19	122.68
W	22.32	22.28	22.84	22.45	22.31	22.27	22.14	22.56	25.12	25.70	25.32	25.20
Wśr	<b>22.47</b>				<b>22.32</b>				<b>25.33</b>			

Badanie gęstości objętościowej						
	bezpośrednio po zagęszczeniu		po 25 cyklach -odmrażanie w powietrzu		po 25cyklach odmrażanie w wodzie	
9438	9790		14956		13185	
t	4913		10085		8194	
m	4877		4871		4991	
v	2300		2300		2300	
ρ	<b>2.120</b>		<b>2.118</b>		<b>2.170</b>	
pd	<b>1.731</b>		<b>1.731</b>		<b>1.731</b>	

Badanie wskaźnika nośności									
	bezpośrednio po zagęszczeniu			po 25 cyklach -odmrażanie w powietrzu			po 25cyklach - odmrażanie w wodzie		
	siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]	siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]	siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]
0.62	6.90	165		8.74	209		2.72	65	
1.25	11.91	285		14.71	352		5.94	142	
1.86	15.05	360		18.89	452		9.78	234	
2.5	17.64	422	126	22.03	527	157	13.04	312	93
3.75	22.15	530		26.96	645		17.56	420	
5	25.71	615	129	30.93	740	155	20.98	502	105
6.25	29.18	698		34.36	822		23.99	574	
7.5	32.52	778		37.37	894		26.42	632	
8.75	35.74	855		40.21	962		28.72	687	
10	38.87	930		42.89	1026		30.76	736	
Srednia			127			156			99

1 punkt z czujnika = 0.002 mm

**Pomiar pęcznienia z obciążeniem - po 25 cyklach z-o wynosi 0%**

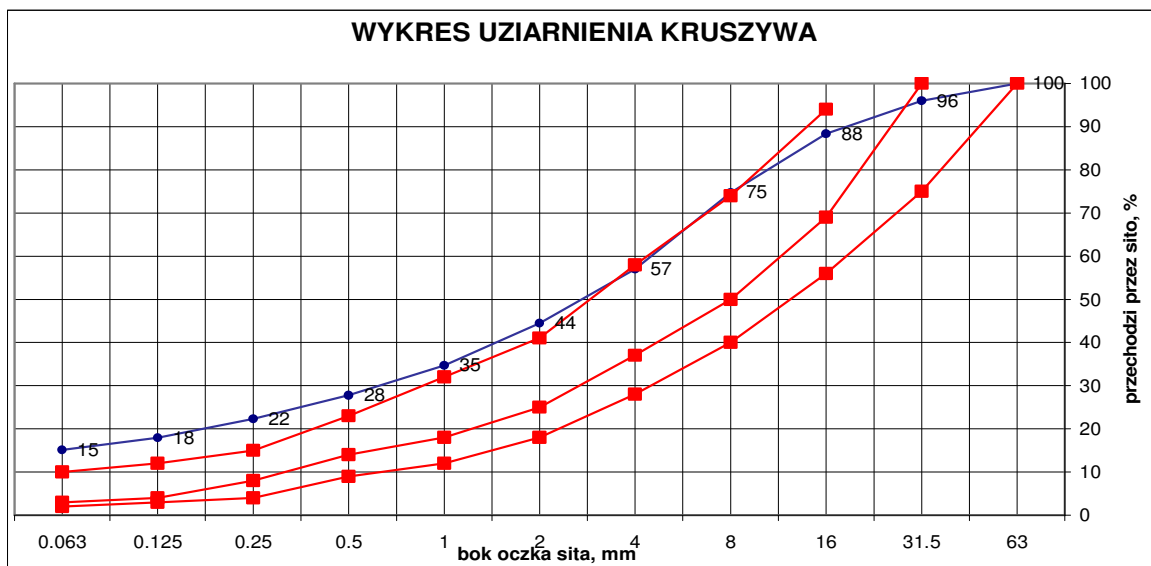
**KARTA BADANIA**  
**BADANIE SKŁADU GRANULOMETRYCZNEGO**  
**PN-EN 933-1: 2000**

**Żużel pocynkowy - stan naturalny**

M1 - całkowita masa sucha [ kg ]	10.000
M2 - sucha masa po przesianiu próbki na mokro [ kg ]	8.470
M3 = M1-M2 - sucha masa pyłów usunięta podczas przesiewania na mokro [ kg ]	1.530
P - masa przesianego materiału znajdującego się na denku [ kg ]	0.0172

Wymiar otworów sita [ mm ]	Masa materiału pozostającego Ri [ kg ]	Procent materiału pozostającego Ri / M1 * 100	Procent materiału pozostającego Ri / M1 * 100	Suma mas przechodzących 100-[(Ri/M1)*100] [ % ]	Suma mas pozostających [(Ri/M1)*100] [ % ]
125	0				
63	0	0.000	0	100	0
31.5	0.364	3.640	4	96	4
16	0.768	7.680	8	88	12
8	1.357	13.570	14	75	25
4	1.775	17.750	18	57	43
2	1.251	12.510	13	44	56
1	0.981	9.810	10	35	65
0.5	0.689	6.890	7	28	72
0.25	0.544	5.440	5	22	78
0.125	0.443	4.430	4	18	82
0.063	0.2767	2.767	3	15	84.8
suma	8.449	84.487			
P - denko	0.0172	0.172	0.2	100.0	101.0

procentowa zawartość pyłów [ f ]	15.5
błąd pomiaru [ b% ]	0.0484
	1.00



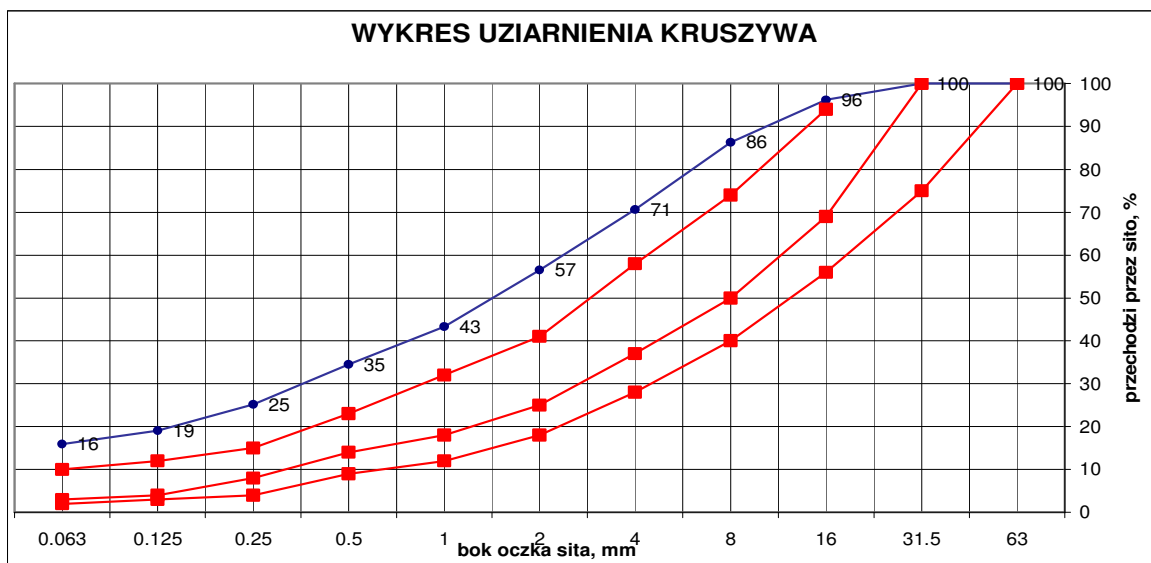
**KARTA BADANIA**  
**BADANIE SKŁADU GRANULOMETRYCZNEGO**  
**PN-EN 933-1: 2000**

**Żużel pocynkowy – po zagęszczeniu wg IV metody Proctora**

M1 - całkowita masa sucha [ kg ]	10.000
M2 - sucha masa po przesianiu próbki na mokro [ kg ]	8.457
M3 = M1-M2 - sucha masa pyłów usunięta podczas przesiewania na mokro [ kg ]	1.543
P - masa przesianego materiału znajdującego się na denku [ kg ]	0.0515

Wymiar otworów sita	Masa materiału pozostającego Ri	Procent materiału pozostającego Ri / M1 * 100	Procent materiału pozostającego Ri / M1 * 100	Suma mas przechodzących 100-[(Ri/M1)*100]	Suma mas pozostających [(Ri/M1)*100]
[ mm ]	[ kg ]			[ % ]	[ % ]
125	0				
63	0	0.000	0	100	0
31.5	0	0.000	0	100	0
16	0.38	3.800	4	96	4
8	0.987	9.870	10	86	14
4	1.573	15.730	16	71	29
2	1.407	14.070	14	57	43
1	1.318	13.180	13	43	57
0.5	0.881	8.810	9	35	65
0.25	0.936	9.360	9	25	75
0.125	0.611	6.110	6	19	81
0.063	0.3112	3.112	3	16	84.0
suma	8.404	84.042			
P - denko	0.0515	0.515	0.5	100.0	100.0

procentowa zawartość pyłów [ f ]	15.9
błąd pomiaru [ b% ]	0.0154
	1.00



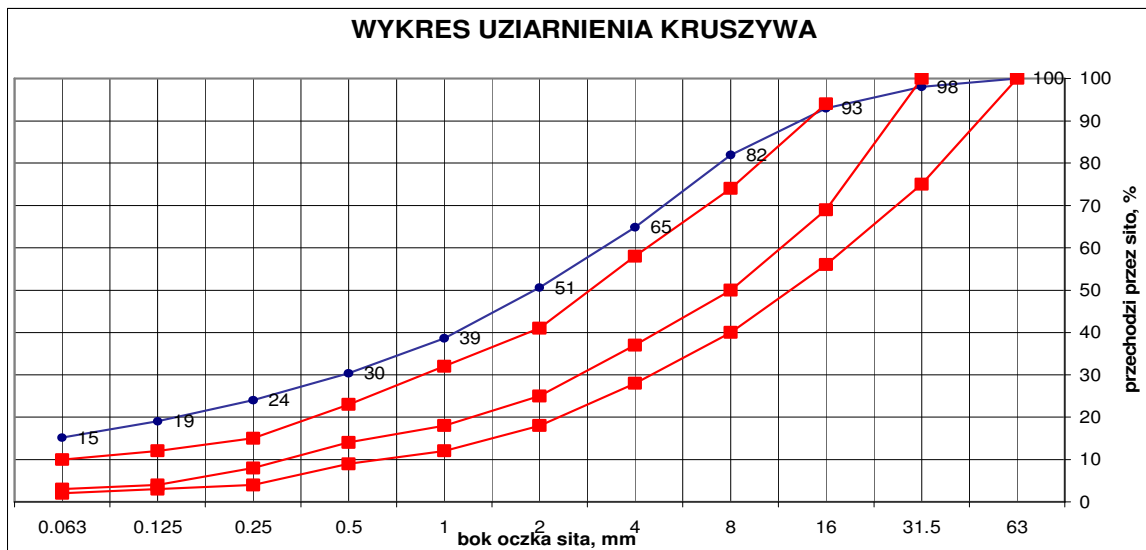
**KARTA BADANIA  
BADANIE SKŁADU GRANULOMETRYCZNEGO  
PN-EN 933-1: 2000**

**Żużel pocynkowy – po 25 cyklach zamrażania i odmrażania bez nasycenia wodą**

M1 - całkowita masa sucha [ kg ]	7.000
M2 - sucha masa po przesianiu próbki na mokro [ kg ]	5.978
M3 = M1-M2 - sucha masa pyłów usunięta podczas przesiewania na mokro [ kg ]	1.022
P - masa przesianego materiału znajdującego się na denku [ kg ]	0.0618

Wymiar otworów sita [ mm ]	Masa materiału pozostającego $R_i$ [ kg ]	Procent materiału pozostającego $R_i / M1 * 100$	Procent materiału pozostającego $R_i / M1 * 100$	Suma mas przechodzących $100 - [(R_i/M1)*100]$ [ % ]	Suma mas pozostających $[(R_i/M1)*100]$ [ % ]
125	0	0			
63	0	0.000	0	100	0
31.5	0.117	1.671	2	98	2
16	0.351	5.014	5	93	7
8	0.772	11.029	11	82	18
4	1.196	17.086	17	65	35
2	1	14.286	14	51	49
1	0.836	11.943	12	39	61
0.5	0.579	8.271	8	30	70
0.25	0.445	6.357	6	24	76
0.125	0.351	5.014	5	19	81
0.063	0.2686	3.837	4	15	84.8
suma	5.916	84.509			
P - denko	0.0618	0.883	0.9	100.0	101.0

procentowa zawartość pyłów [ f ]	15.5
błąd pomiaru [ b% ]	0.0100
	1.00





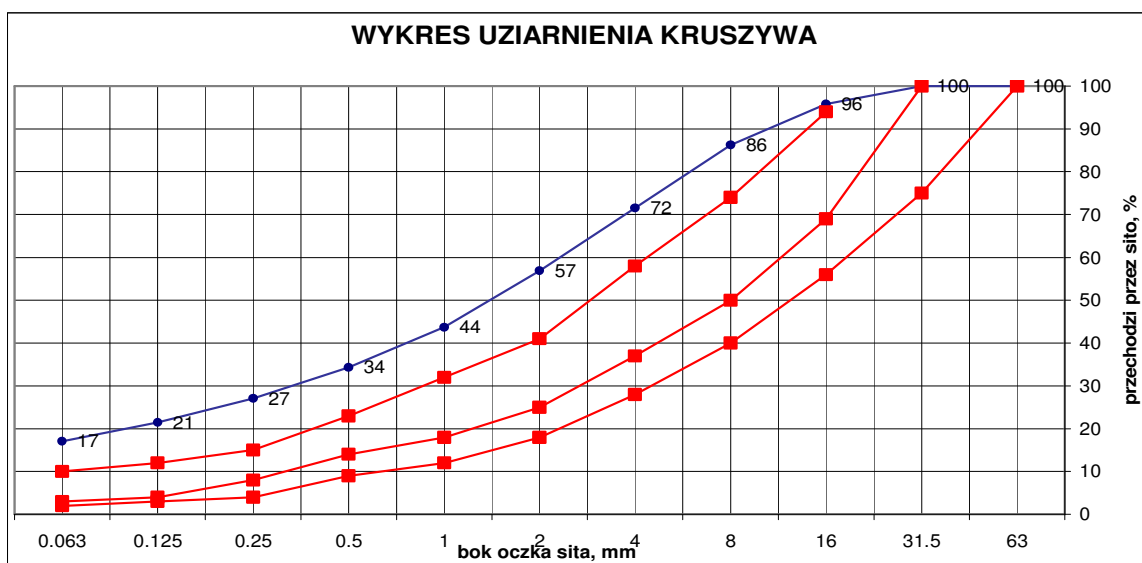
**KARTA BADANIA  
BADANIE SKŁADU GRANULOMETRYCZNEGO  
PN-EN 933-1: 2000**

**Żużel pocynkowy – po 25 cyklach zamrażania i odmrażania z nasyceniem wodą**

M1 - całkowita masa sucha [ kg ]	7.000
M2 - sucha masa po przesianiu próbki na mokro [ kg ]	5.872
M3 = M1-M2 - sucha masa pyłów usunięta podczas przesiewania na mokro [ kg ]	1.128
P - masa przesianego materiału znajdującego się na denku [ kg ]	0.0770

Wymiar otworów sita [ mm ]	Masa materiału pozostającego Ri [ kg ]	Procent materiału pozostającego Ri / M1 * 100	Procent materiału pozostającego Ri / M1 * 100	Suma mas przechodzących 100-[(Ri/M1)*100] [ % ]	Suma mas pozostających [(Ri/M1)*100] [ % ]
125	0				
63	0	0.000	0	100	0
31.5	0	0.000	0	100	0
16	0.293	4.186	4	96	4
8	0.667	9.529	10	86	14
4	1.031	14.729	15	72	28
2	1.025	14.643	15	57	43
1	0.925	13.214	13	44	56
0.5	0.659	9.414	9	34	66
0.25	0.5	7.143	7	27	73
0.125	0.397	5.671	6	21	79
0.063	0.307	4.386	4	17	82.9
suma	5.804	82.914			
P - denko	0.0677	0.967	1.0	100.0	101.0

procentowa zawartość pyłów [ f ]	17.1
błąd pomiaru [ b% ]	0.0051
	1.00



## **WYNIKI BADAŃ LABORATORYJNYCH (KARTY BADAŃ)**

### **GRUZ BETONOWY – DELTA S.A. WARSZAWA**

#### **Zawartość załącznika:**

**Badanie wilgotności optymalnej i maksymalnej gęstości objętościowej szkieletu gruntowego**

**Badanie wskaźnika nośności IPI**

**Badanie uziarnienia**

- stan naturalny
- po zagęszczeniu (w aparacie Proctora) energią zmodyfikowaną
- po 25 cyklach zamrażania i odmrażania bez nasycania wodą
- po 25 cyklach zamrażania i odmrażania próbek nasycanych wodą

**Badanie wskaźnika piaskowego**

**Badanie kapilarności biernej**

**Badanie wskaźnika nośności i pęcznienia**

**Badanie wodoprzepuszczalności**

**Badanie ścieralności**

**Badanie wysadziny bezpośredniej**

Tablica nr 9

Zmiany uziarnienia kruszywa z betonu wynikające z wpływu zamrażania i odmrażania badanej próbki

Stan materiału	procentowa zawartość frakcji w materiale			
	pyłowo-iłowej	piaskowej	żwirowej	kamienistej
naturalny	0.5	10.5	68	21
po zagęszczeniu	3	21	70	6
po zagęszczeniu i 25 cyklach z-o w warunkach powietrzno-wilgotnych	4	24	64	8
po zagęszczeniu i 25 cyklach z-o w warunkach nasycenia wodą	2.5	24.5	64	9
<b>zmiana uziarnienia</b>	<b>0.5-1</b>	<b>3-3.5</b>	<b>6</b>	<b>2-3</b>

Tablica 10

Zmiany wartości wskaźnika piaskowego, kapilarności biernej i wodoprzepuszczalności mieszanki z przekruszonego betonu wynikające z wpływu zamrażania i odmrażania badanej próbki

stan materiału	wskaźnik piaskowy SE	procentowa zawartość frakcji 0/4	kapilarność bierna $H_{kb}$ (m)	procentowa zawartość frakcji 0/2	wodoprzepuszczalność $k_{10}$ (m/ dobę)
naturalny	79	14	0.45	11	33.1
po zagęszczeniu	74	31	0.50	24	11.2
po zagęszczeniu i 25 cyklach z-o w warunkach powietrzno-wilgotnych	74	36	0.55	28	11.0
po zagęszczeniu i 25 cyklach z-o w warunkach nasycenia wodą	76	35	0.55	27	10.8
<b>zmiana</b>	<b>0 ÷ 2</b>	<b>4 ÷ 5</b>	<b>0.05</b>	<b>3 ÷ 4</b>	<b>0.2-0.4</b>

Tablica 11

Zmiany wartości wskaźnika nośności, pęcznienia, zawartości cząstek drobnych i bezpośredniej wysadzinowości kruszywa z przekruszonego betonu wynikające z wpływu zamrażania i odmrażania badanej próbki

stan materiału	wskaźnik nośności 2.5 mm [%]	wskaźnik nośności 5.0 mm [%]	cząstki drobne MB <sub>f</sub>	pęcznienie P [%]	wysadzina W [mm]
naturalny			3.3	-	-
po zagęszczeniu	175	199	4.0	-	-
po zagęszczeniu i 25 cyklach z-o w warunkach powietrzno-wilgotnych	171	196	6.6	0.0	0,0
po zagęszczeniu i 25 cyklach z-o w warunkach nasycenia wodą	91	99	8.3	0.0	0,0
<b>zmiana</b>	<b>4÷60</b>	<b>3÷97</b>	<b>2.6÷4.3</b>	<b>0.0</b>	<b>-</b>

Tablica 12

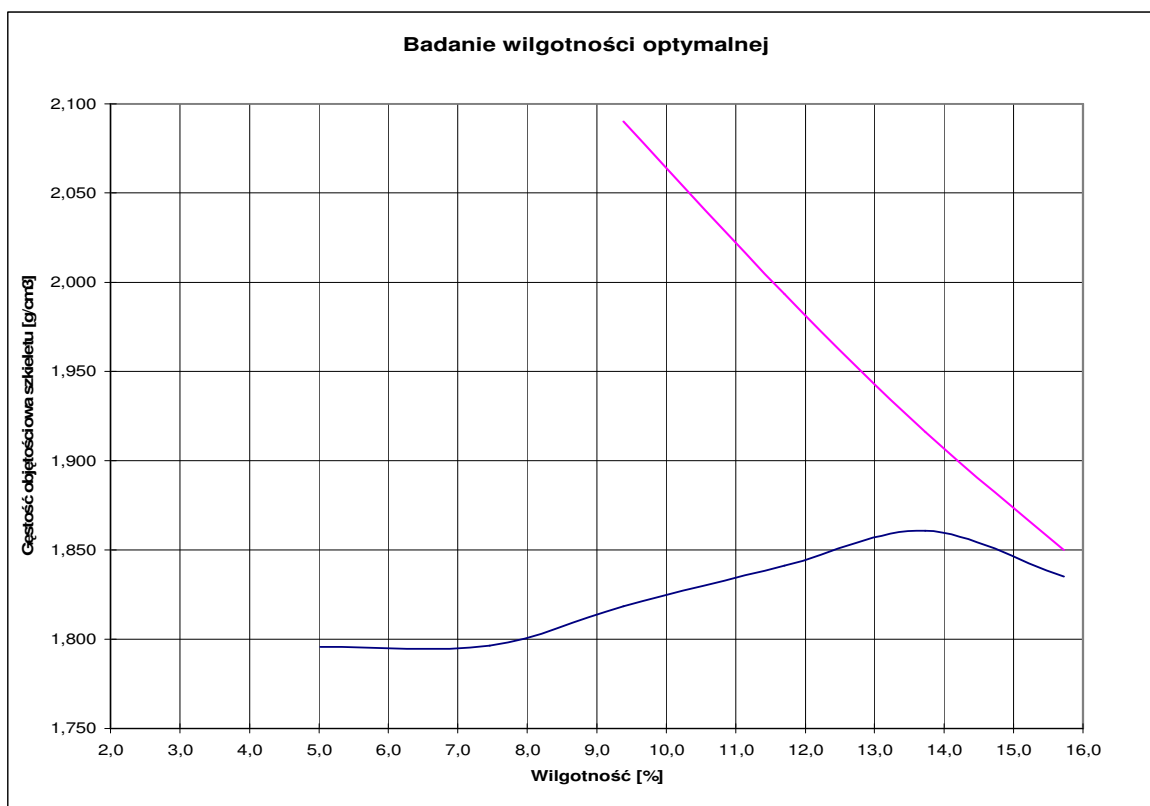
Zmiany wartości ścieralności przekruszonego betonu wynikające z wpływu zagęszczania, zamrażania i odmrażania badanej próbki

stan materiału	ścieralność [%]
naturalny	44.0
po zagęszczeniu	43.1
po zagęszczeniu i 25 cyklach z-o w warunkach powietrzno-wilgotnych	42.6
po zagęszczeniu i 25 cyklach z-o w warunkach nasycenia wodą	41.8

**KARTA BADANIA**  
**BADANIE WILGOTNOŚCI OPTYMALNEJ I MAKSYMALNEJ GĘSTOŚCI**  
**OBJĘTOŚCIOWEJ SZKIELETU GRUNTOWEGO**  
**PN-88-B-04481: 1988**

Gruz betonowy DELTA S.A. - metoda IV wg Proctora

Badanie wilgotności												
Nr par.	2-P	7	251	13	30	214	3-P	9	17	20	66	65
m+t	249,37	250,48	255,21	243,13	285,28	291,23	277,95	297,61	294,87	286,24	264,53	248,65
ms+t	240,78	242,16	241,87	230,89	265,98	271,48	256,65	273,07	272,70	265,38	243,84	229,29
m-ms	8,59	8,32	13,34	12,24	19,30	19,75	21,30	24,54	22,17	20,86	20,69	19,36
t	65,69	80,29	64,63	65,38	63,01	58,25	70,88	67,55	112,87	111,82	110,17	107,96
ms	175,09	161,87	177,24	165,51	202,97	213,23	185,77	205,52	159,83	153,56	133,67	121,33
WI WII	4,91	5,14	7,53	7,40	9,51	9,26	11,47	11,94	13,87	13,58	15,48	15,96
Wśr	5,02		7,46		9,39		11,70		13,73		15,72	
m+t	9212		9315		9450		9605		9742		9759	
t	4875		4875		4875		4875		4875		4875	
m	4337		4440		4575		4730		4867		4884	
V	2300		2300		2300		2300		2300		2300	
ρd	1,795		1,796		1,818		1,841		1,861		1,835	
ρδs					2,6		2,6		2,6		2,6	
ρd przy Sr = 1					2,09		1,99		1,92		1,85	



WILGOTNOŚĆ OPTYMALNA = .....13,7..... %

MAKSYMALNA GĘSTOŚĆ OBJĘTOŚCIOWA SZKIELETU GRUNTOWEGO = ..... 1,861 g/cm<sup>3</sup>

**Gruz betonowy DELTA S.A. WARSZAWA**

**KARTA BADANIA  
BADANIE WSKAŹNIKA NOŚNOŚCI IPI  
PN - S - 02205:1998, zał. A**

<b>Badanie wilgotności</b>												
Nr par.	bezpośrednio po zagęszczeniu				po 25 cyklach -odmrażanie w powietrzu				po 25cyklach odmrażanie w wodzie			
	2	44	208	68	32	48	72	603	700	198	66	212
m+t	287.67	295.48	288.29	282.94	257.09	291.13	279.53	263.48	271.73	286.33	253.78	273.54
ms+t	269.51	276.33	267.97	263.98	238.49	272.81	262.45	246.28	248.32	261.12	234.80	249.09
m-ms	18.16	19.15	20.32	18.96	18.60	18.32	17.08	17.20	23.41	25.21	18.98	24.45
t	106.91	109.99	89.66	97.65	76.87	109.99	109.59	100.57	101.82	103.35	110.14	88.71
ms	162.6	166.34	178.31	166.33	161.62	162.82	152.86	145.71	146.5	157.77	124.66	160.38
W	11.17	11.51	11.40	11.40	11.51	11.25	11.17	11.80	15.98	15.98	15.23	15.25
Wśr	<b>11.37</b>				<b>11.43</b>				<b>15.61</b>			

<b>Badanie gęstości objętościowej</b>						
	bezpośrednio po zagęszczeniu		po 25 cyklach -odmrażanie w powietrzu		po 25cyklach odmrażanie w wodzie	
	9438	t	14856	t	13042	t
m	4769		4772		4952	
V	2300		2300		2300	
ρ	<b>2.073</b>		<b>2.075</b>		<b>2.153</b>	
ρd	<b>1.862</b>		<b>1.862</b>		<b>1.862</b>	

<b>Badanie wskaźnika nośności</b>									
	bezpośrednio po zagęszczeniu			po 25 cyklach -odmrażanie w powietrzu			po 25cyklach - odmrażanie w wodzie		
	siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]	siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]	siła [kN]	odczyt z czujnika	W noś [%]
0.62	7.32	175		7.11	170		3.85	92	
1.25	14.71	352		14.46	346		7.69	184	
1.86	20.15	482		19.90	476		10.12	242	
2.5	24.49	586	175	23.91	572	171	12.75	305	91
3.75	32.52	778		32.40	775		16.59	397	
5	39.71	950	199	39.21	938	196	19.90	476	99
6.25	46.61	1115		46.23	1106		23.58	564	
7.5	0.00	0		0.00	0		27.25	652	
8.75	0.00	0		0.00	0		31.10	744	
10	0.00	0		0.00	0		35.03	838	
Srednia			187			183			95

1 punkt z czujnika = 0.002 mm

**Pomiar pęcznienia z obciążeniem po 25 cyklach z-o wynosi 0%**

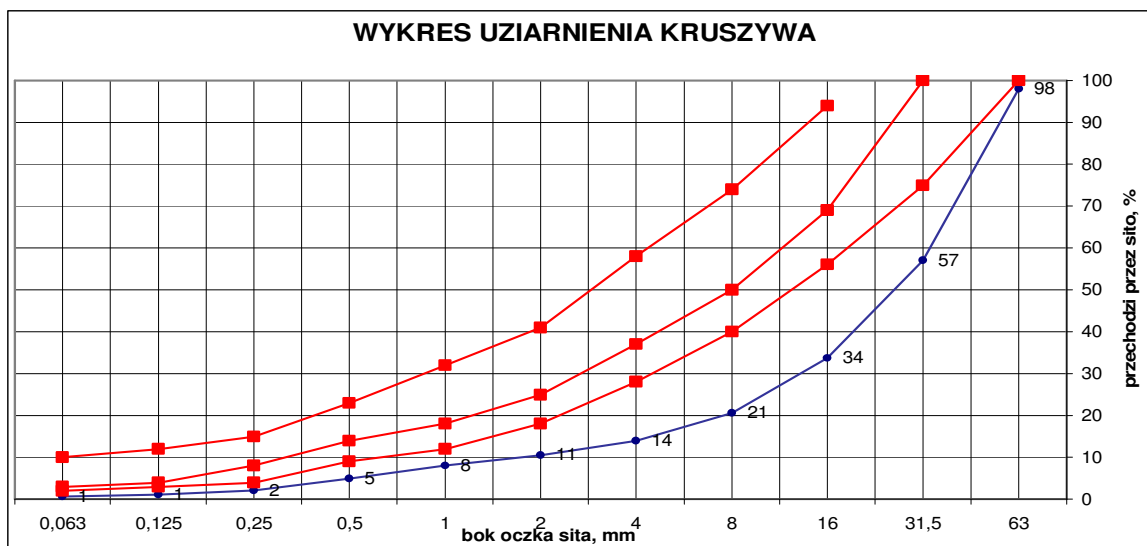
**KARTA BADANIA**  
**BADANIE SKŁADU GRANULOMETRYCZNEGO**  
**PN-EN 933-1: 2000**

**Gruz betonowy DELTA S.A. WARSZAWA - stan naturalny**

M1 - całkowita masa sucha [ kg ]	26,986
M2 - sucha masa po przesianiu próbki na mokro [ kg ]	26,926
M3 = M1-M2 - sucha masa pyłów usunięta podczas przesiewania na mokro [ kg ]	0,060
P - masa przesianego materiału znajdującego się na denku [ kg ]	0,0291

Wymiar otworów sita [ mm ]	Masa materiału pozostającego Ri [ kg ]	Procent materiału pozostającego $Ri / M1 * 100$	Procent materiału pozostającego $Ri / M1 * 100$	Suma mas przechodzących $100 - [(Ri/M1)*100]$ [ % ]	Suma mas pozostających $[(Ri/M1)*100]$ [ % ]
63	0,535	1,983	2	98	2
31,5	11,126	41,229	41	57	43
16	6,298	23,338	23	34	66
8	3,519	13,040	13	21	79
4	1,817	6,733	7	14	86
2	0,91	3,372	3	11	89
1	0,691	2,561	3	8	92
0,5	0,81	3,002	3	5	95
0,25	0,773	2,864	3	2	98
0,125	0,278	1,030	1	1	99
0,063	0,1282	0,475	0	1	99,4
suma	26,885	99,626			
P - denko	0,0291	0,108	0,1	100,0	100,0

procentowa zawartość pyłów [ f ]	0,3
błąd pomiaru [ b% ]	0,0435
	1,00



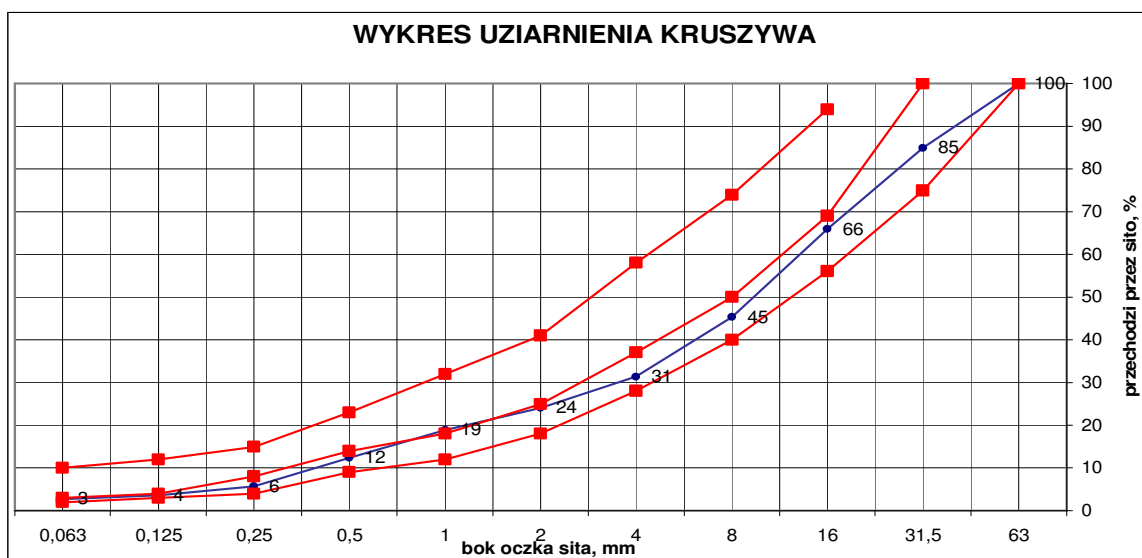
**KARTA BADANIA**  
**BADANIE SKŁADU GRANULOMETRYCZNEGO**  
**PN-EN 933-1: 2000**

**Gruz betonowy DELTA S.A. WARSZAWA – po zagęszczeniu wg IV metody Proctora**

M1 - całkowita masa sucha [ kg ]	10,000
M2 - sucha masa po przesianiu próbki na mokro [ kg ]	9,773
M3 = M1-M2 - sucha masa pyłów usunięta podczas przesiewania na mokro [ kg ]	0,227
P - masa przesianego materiału znajdującego się na denku [ kg ]	0,0053

Wymiar otworów sita	Masa materiału pozostającego Ri	Procent materiału pozostającego Ri / M1 * 100	Procent materiału pozostającego Ri / M1 * 100	Suma mas przechodzących 100-[(Ri/M1)*100]	Suma mas pozostających [(Ri/M1)*100]
[ mm ]	[ kg ]			[ % ]	[ % ]
63	0	0,000	0	100	0
31,5	1,54	15,400	15	85	15
16	1,908	19,080	19	66	34
8	2,061	20,610	21	45	55
4	1,398	13,980	14	31	69
2	0,725	7,250	7	24	76
1	0,515	5,150	5	19	81
0,5	0,657	6,570	7	12	88
0,25	0,668	6,680	7	6	94
0,125	0,204	2,040	2	4	96
0,063	0,0912	0,912	1	3	97,3
suma	9,767	97,672			
P - denko	0,0053	0,053	0,1	100,0	100,0

procentowa zawartość pyłów [ f ]	2,3
błąd pomiaru [ b% ]	0,0051





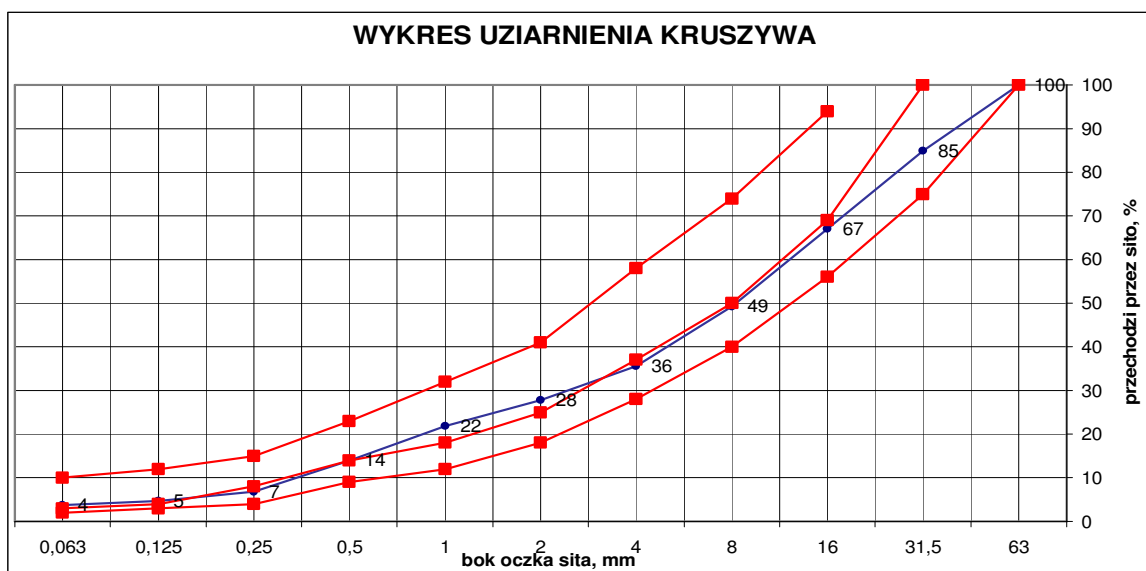
**KARTA BADANIA**  
**BADANIE SKŁADU GRANULOMETRYCZNEGO**  
**PN-EN 933-1: 2000**

**Łupek przepalony DELTA S.A. – po 25 cyklach zamrażania i odmrażania bez nasycenia**

M1 - całkowita masa sucha [ kg ]	21,377
M2 - sucha masa po przesianiu próbki na mokro [ kg ]	20,678
M3 = M1-M2 - sucha masa pyłów usunięta podczas przesiewania na mokro [ kg ]	0,699
P - masa przesianego materiału znajdującego się na denku [ kg ]	0,0394

Wymiar otworów sita	Masa materiału pozostającego Ri	Procent materiału pozostającego Ri / M1 * 100	Procent materiału pozostającego Ri / M1 * 100	Suma mas przechodzących 100-[(Ri/M1)*100]	Suma mas pozostających [(Ri/M1)*100]
[ mm ]	[ kg ]			[ % ]	[ % ]
63	0	0,000	0	100	0
31,5	3,251	15,208	15	85	15
16	3,843	17,977	18	67	33
8	3,788	17,720	18	49	51
4	2,93	13,706	14	36	64
2	1,67	7,812	8	28	72
1	1,269	5,936	6	22	78
0,5	1,677	7,845	8	14	86
0,25	1,555	7,274	7	7	93
0,125	0,446	2,086	2	5	95
0,063	0,2082	0,974	1	4	96,3
suma	20,637	96,539			
P - denko	0,0394	0,184	0,2	100,0	100,0

procentowa zawartość pyłów [ f ]	3,5
błąd pomiaru [ b% ]	0,0068
	1,00



**KARTA BADANIA**  
**BADANIE SKŁADU GRANULOMETRYCZNEGO**  
**PN-EN 933-1: 2000**

**Gruz betonowy DELTA S.A. – po 25 cyklach zamrażania i odmrażania z nasyceniem wodą**

M1 - całkowita masa sucha [ kg ]	21,140
M2 - sucha masa po przesianiu próbki na mokro [ kg ]	20,649
M3 = M1-M2 - sucha masa pyłów usunięta podczas przesiewania na mokro [ kg ]	0,491
P - masa przesianego materiału znajdującego się na denku [ kg ]	0,0289

Wymiar otworów sita [ mm ]	Masa materiału pozostającego Ri [ kg ]	Procent materiału pozostającego Ri / M1 * 100	Procent materiału pozostającego Ri / M1 * 100	Suma mas przechodzących 100-[(Ri/M1)*100] [ % ]	Suma mas pozostających [(Ri/M1)*100] [ % ]
63	0	0,000	0	100	0
31,5	3,816	18,051	18	82	18
16	3,809	18,018	18	64	36
8	3,453	16,334	16	48	52
4	2,686	12,706	13	35	65
2	1,592	7,531	8	27	73
1	1,301	6,154	6	21	79
0,5	1,667	7,886	8	13	87
0,25	1,622	7,673	8	6	94
0,125	0,453	2,143	2	4	96
0,063	0,2178	1,030	1	3	97,5
suma	20,617	97,525			
P - denko	0,0289	0,137	0,1	100,0	100,0

procentowa zawartość pyłów [ f ]	2,5
błąd pomiaru [ b% ]	0,0160
	1,00

