

**PROTOKÓŁ Z PRACY**  
**nr 3/24/2023**

pod tytułem

**BADANIA I OCENA PRZYDATNOŚCI CEMENTU PORTLANDZKIEGO  
AUTOSTRADOWEGO „WARTA” NISKOALKALICZNEGO  
CEM I 42,5 N-NA  
DO WYKONYWANIA BETONU PRZEZNACZONEGO  
NA NAWIERZCHNIE LOTNISKOWE Z MOŻLIWOŚCIĄ  
WBUDOWANIA W WARUNKACH PODWYŻSZONYCH  
TEMPERATUR W OKRESIE LETNIM**

Symbol tematu: 0-7480-24-1-00

**INSTYTUT TECHNICZNY WOJSK LOTNICZYCH**  
**WARSZAWA 2023**



# INSTYTUT TECHNICZNY WOJSK LOTNICZYCH

INSTYTUT BADAWCZY

01-494 WARSZAWA 46, ul. Księcia Bolesława 6

SEKRETARIAT  
KANCELARIA  
DZIAŁ PROMOCJI  
DZIAŁ PLANOWANIA I KOORDYNACJI PRAC N-B  
DZIAŁ PRZETARGÓW I ZAOPATRZENIA  
e-mail  
Internet

tel.: 261 851 300  
fax: 261 851 313  
tel.: 261 851 360  
tel.: 261 851 372; tel./fax: 261 851 672  
tel.: 261 851 482; fax: 261 851 450  
poczta@itwl.pl  
www.itwl.pl

NIP 525-000-72-82

REGON 010401369

Rachunek bankowy:

Bank PKO S.A.

nr konta: 88124059181111000049094891

## SYSTEM ZARZĄDZANIA JAKOŚCIĄ



AQAP 2110:2016  
AQAP 2210:2015  
PN-EN ISO 9001:2015  
WSK

AKREDYTACJE OIB  
udzielone przez  
MINISTRA OBRONY  
NARODOWEJ

Jednostki badawcze  
o numerach certyfikatów:

2/MON/2022  
3/MON/2022  
7/MON/2020  
8/MON/2020  
9/MON/2020  
10/MON/2020  
11/MON/2020  
38/MON/2021  
39/MON/2021  
40/MON/2022  
41/MON/2020  
60/MON/2021

Jednostka certyfikująca wyroby  
o numerze certyfikatu:  
6/MON/2020

NATOWSKI KOD PODMIOTU  
GOSPODARKI NARODOWEJ  
(NCAGE)  
0481H

KONCESJA nr B-404/2003  
MSWiA

ŚWIADECTWO  
BEZPIECZEŃSTWA  
PRZEMYSŁOWEGO  
PIERWSZEGO STOPNIA:

TAJNE

Nr 4/I-87/IV/III/2022

NATO SECRET

Nr 5/I-36/NS/III/2022

SECRET UE/EU SECRET

Nr 6/I-26/UES/III/2022

LABORATORIA BADAWCZE  
AKREDYTOWANE PRZEZ PCA  
o numerach akredytacji:

AB 098  
AB 133  
AB 134  
AB 137  
AB 138  
AB 430  
AB 431  
AB 1794

LABORATORIUM WZORCUJĄCE  
AKREDYTOWANE PRZEZ PCA  
Nr akredytacji AP 004

JEDNOSTKA  
CERTYFIKUJĄCA WYROBY  
AKREDYTOWANA PRZEZ PCA  
Nr akredytacji AC 021

KRS 0000164795  
Sąd Rejonowy dla M. St. Warszawy  
w Warszawie  
XII Wydział Gospodarczy KRS

Drukarnia ITWL - 2022

Warszawa, dn. 14.03.2023 r.

ZATWIERDZAM  
ZASTĘPCA DYREKTORA  
INSTYTUTU TECHNICZNEGO WOJSK LOTNICZYCH  
p.s. Naukowych  
prof. dr hab. inż. Andrzej ŻYLUK

## ORZECZENIE NR 3/24/2023

dotyczące

### OCENY PRZYDATNOŚCI DO WYKONYWANIA BETONU PRZEZNACZONEGO NA NAWIERZCHNIĘ LOTNISKOWE Z MOŻLIWOŚCIĄ WBUDOWANIA W WARUNKACH PODWYŻSZONYCH TEMPERATUR W OKRESIE LETNIM

**Cementu portlandzkiego autostradowego „Warta” niskoalkalicznego  
CEM I 42,5 N-NA**

wydane na podstawie  
BADAŃ I OCENY PRODUKTU

wykonanych przez  
INSTYTUT TECHNICZNY WOJSK LOTNICZYCH

w ramach realizacji

umowy nr 1/ITWL/07/2022 z dnia 28.07.2022 r.  
zawartej z **Cementownią WARTA S.A. z siedzibą w Trębaczewie**  
Trębaczew, ul. Przemysłowa 17, 98-355 Działoszyn

Na podstawie wyników badań i ich oceny stwierdza się, co następuje:

1. Beton, którego składnikiem jest cement portlandzki autostradowy „Warta” niskoalkaliczny CEM I 42,5 N-NA z Cementowni WARTA S.A. spełnia wymagania dla przyjętej receptury, produkcji i technologii wbudowania.
2. Cement portlandzki autostradowy „Warta” niskoalkaliczny CEM I 42,5 N-NA z Cementowni WARTA S.A. może być stosowany do budowy nawierzchni lotniskowych i innych elementów infrastruktury lotniskowej z możliwością wbudowania w warunkach podwyższonych temperatur w okresie letnim, pod warunkiem zachowaniu wymagań wynikających z procesów technologii wytwarzania i wbudowania betonu.

KIEROWNIK ZAKŁADU LOTNISKOWEGO  
Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych

ppłk dr inż. Krzysztof BLACHA

|                                                                                                           |                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>ZAKŁAD<br/>LOTNISKOWY</b>                                                                              |  | <b>SPRAWOZDANIE NR 3/24/23</b><br><b>Badania i ocena przydatności cementu</b><br><b>portlandzkiego autostradowego „Warta”</b><br><b>niskoalkalicznego</b><br><b>CEM I 42,5 N-NA</b><br><b>do wykonywania betonu przeznaczonego</b><br><b>na nawierzchnie lotniskowe z możliwością</b><br><b>wbudowania w warunkach podwyższonych</b><br><b>temperatur w okresie letnim</b> |  |
| <b>INSTYTUT TECHNICZNY WOJSK LOTNICZYCH</b><br>ul. Księcia Bolesława 6, skr. poczt. 96<br>01-494 WARSZAWA | egz. nr 1                                                                         | strona<br>Sprawozdania: 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |
| tel./fax. 261 851 324, 261 851 424, 261 851 154<br>fax. 261 851 300                                       | liczba załączników: 1                                                             | stron<br>Sprawozdania: 45                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |

## SPIS TREŚCI

Strona

Strona

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>1. WSTĘP</b>                                                               |    |
| 1.1. Zleceniodawca .....                                                      | 3  |
| 1.2. Podstawa prawna .....                                                    | 3  |
| 1.3. Przedmiot pracy .....                                                    | 3  |
| 1.4. Cel pracy .....                                                          | 3  |
| 1.5. Okres realizacji pracy .....                                             | 3  |
| 1.6. Miejsce i zakres pracy .....                                             | 3  |
| <b>2. INFORMACJE OGÓLNE I DOKUMENTY DOSTARCZONE PRZEZ ZLECENIODAWCĘ</b> ..... | 5  |
| <b>3. WYNIKI BADAŃ</b> .....                                                  | 6  |
| <b>3.1. Badania zaprawy</b> .....                                             | 6  |
| 3.1.1. Próbkki do badań .....                                                 | 6  |
| 3.1.2. Wytrzymałość na zginanie i wytrzymałość na ściskanie .....             | 6  |
| 3.1.3. Nasiąkliwość w wodzie .....                                            | 11 |
| <b>3.2. Badania właściwości fizyko-mechanicznych betonu</b> .....             | 12 |
| 3.2.1. Wykonanie odcinka próbnego i próbek laboratoryjnych .....              | 12 |
| 3.2.2. Wytrzymałość na ściskanie .....                                        | 14 |
| 3.2.3. Wytrzymałość na zginanie .....                                         | 17 |
| 3.2.4. Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu .....                    | 18 |
| 3.2.5. Nasiąkliwość w wodzie .....                                            | 20 |
| <b>3.3. Badania trwałości betonu</b> .....                                    | 22 |
| 3.3.1. Mrozoodporność w wodzie i w środkach odladzających .....               | 22 |
| 3.3.2. Odporność na powierzchniowe złuszczenie .....                          | 29 |
| 3.4. Wytrzymałość na odrywanie .....                                          | 32 |
| 3.4.1. Informacje ogólne .....                                                | 32 |
| 3.4.2. Badania na nawierzchni odcinka doświadczalnego .....                   | 33 |
| 3.4.3. Próbkki po badaniach odporności na powierzchniowe złuszczenie .....    | 34 |
| <b>4. BADANIA EKSPLOATACYJNE</b> .....                                        | 36 |
| 4.1 Zakres badań .....                                                        | 36 |
| 4.2 Wskaźnik szorstkości .....                                                | 36 |
| <b>5. ZESTAWIENIE WYNIKÓW BADAŃ</b> .....                                     | 38 |
| <b>6. WNIOSKI I ZALECENIA</b> .....                                           | 43 |

Załącznik nr 1: Receptura mieszanki nr 1/MBP/2022 z dnia 15.07.2022 r.

|                           |                                                  |                            |
|---------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 3<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------|

## **1. WSTĘP**

### **1.1. Zleceniodawca**

Cementownia WARTA S.A. z siedzibą w Trębaczewie, Trębaczew ul. Przemysłowa 17, 98-355 Działoszyn.

### **1.2. Podstawa realizacji pracy**

Podstawę realizacji badań stanowi umowa nr 1/ITWL/07/2022 z dnia 28.07.2022 r. zawarta pomiędzy Cementownią WARTA S.A. z siedzibą w Trębaczewie, Trębaczew ul. Przemysłowa 17, 98-355 Działoszyn, a Instytutem Technicznym Wojsk Lotniczych.

### **1.3. Przedmiot pracy**

Przedmiotem pracy był cement portlandzki autostradowy „WARTA” niskoalkaliczny **CEM I 42,5 N-NA**.

### **1.4. Cel pracy**

Celem pracy była ocena i wydanie Orzeczenia o przydatności cementu portlandzkiego autostradowego „WARTA” niskoalkalicznego **CEM I 42,5 N-NA** do wykonywania betonu przeznaczonego na nawierzchnie lotniskowe z możliwością wbudowania w warunkach podwyższonych temperatur w okresie letnim.

### **1.5. Okres realizacji pracy**

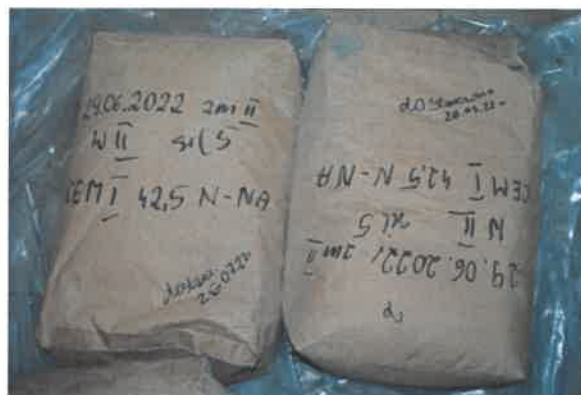
Termin realizacji pracy zgodnie z umową nr 1/ITWL/07/2022 określono do dnia 04.03.2023 r.

### **1.6. Miejsce i zakres pracy**

W celu określenia przydatności cementu portlandzkiego autostradowego „WARTA” niskoalkalicznego **CEM I 42,5 N-NA** do wykonywania betonu przeznaczonego na nawierzchnie lotniskowe z możliwością wbudowania w warunkach podwyższonych temperatur w okresie letnim, wykonano badania wytrzymałościowe zaprawy, badania właściwości fizyko-mechanicznych betonu, a także badania eksploatacyjne betonu wbudowanego w nawierzchnię.

Badania laboratoryjne przeprowadzono w Zakładzie Lotniskowym Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, na próbkach w postaci beleczek o wymiarach 4x4x16 cm wykonanych z cementu dostarczonego w dniu 26.07.2022 r. (2 worki po 25 kg; opis na opakowaniach: 29.06.2022 r., zm. II, W II Sil. 5; rys.1.6-1).

|                           |                                                  |                            |
|---------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 4<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------|



Rys. 1.6-1. Próbkę cementu CEM I 42,5 N-LH/SR5/NA dostarczona do ITWL w dniu 26.07.2022 r.

Badania laboratoryjne wykonano również na kostkach o wymiarach 10x10x10 cm, 15x15x15 cm i 15x15x70 cm oraz na odwiertach rdzeniowych pobranych w dniu 09.08.2022 r. i w dniu 30.08.2022 r. na odcinku doświadczalnym wykonanym w dniu 04.08.2022 r. na terenie Wytwórni Betonu firmy Max Bögl Polska Sp. z o.o. umiejscowionej przy lotnisku im. Fryderyka Chopina w Warszawie i dostarczającej beton na potrzeby remontu nawierzchni na ww. obiekcie lotniskowym.

Badania realizowano zgodnie z normami przedmiotowymi. Wymagania oraz wyniki badań w postaci wartości uśrednionych przedstawiono w tablicy 5-1.

Zakres pracy obejmował:

- badania wytrzymałościowe zaprawy wykonanej z badanym cementem i piaskiem normowym
- badania właściwości fizyko-mechanicznych betonu,
- badania właściwości fizyko-mechanicznych betonu wbudowanego w nawierzchnię.
- badania właściwości eksploatacyjnych: badania szorstkości wykonane na próbkach laboratoryjnych w postaci belek o wymiarach 15x15x70 cm, ponieważ ze względu na czas trwania układania ręcznego odcinka doświadczalnego i wiązanie cementu, nie było możliwe nadanie faktury powierzchni tego odcinka. Wykonano również badania wytrzymałości na odrywanie z wykorzystaniem odwiertów rdzeniowych pobranych na odcinku doświadczalnym.

Kryteria oceny przyjęto zgodnie z wymaganiami normy NO-17-A204:2015 *Nawierzchnie lotniskowe. Nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania i metody badań.*

|                           |                                                  |                            |
|---------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 5<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------|

## 2. INFORMACJE OGÓLNE I DOKUMENTY DOSTARCZONE PRZEZ ZLECENIODAWCĘ

Cement portlandzki autostradowy „WARTA” niskoalkaliczny CEM I 42,5 N–NA charakteryzuje się umiarkowanym ciepłem hydratacji, wydłużonym czasem wiązania ( $\geq 120$  min.), niskim skurczem, wysoką wytrzymałością normową, powierzchnią właściwą  $\leq 3500 \text{ cm}^2/\text{g}$  oraz bardzo niską zawartością alkaliów ( $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}} \leq 0,60$ ) i skurczem  $\leq 0,6 \text{ mm/m}$ .

Cement CEM I 42,5 N–NA przeznaczony jest do stosowania w inżynierii komunikacyjnej do budowy autostrad, dróg wszystkich kategorii, terminali oraz konstrukcji mostowych za wyjątkiem elementów masywnych oraz narażonych na oddziaływanie środowiska w klasach ekspozycji XA2 i XA3 oraz XD3, XS3. Cement może być stosowany do wykonywania prefabrykowanych elementów betonowych i żelbetowych.

*Zleceniodawca* dostarczył następujące dokumenty:

1. Receptura mieszanki nr 1/MBP/2022 z dnia 15.07.2022 r.;
2. Charakterystyka cementu specjalnego niskoalkalicznego. Cement portlandzki PN-B-19707 – CEM I 42,5 N-NA z dn. 07.02.2023 r. (Średnie wyniki analizy fizyko-chemicznej za miesiąc styczeń 2023);
3. Certyfikat stałości właściwości użytkowych 1487-CPR-020-06 z dn. 20.12.2021 r. wydany przez Sieć Badawczą Łukasiewicz – Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych w Krakowie (AC 008);
4. Krajowa deklaracja właściwości użytkowych nr 008-UWB-203 producenta z dn. 04.01.2022 r.;
5. Krajowy certyfikat stałości właściwości użytkowych nr 008-UWB-203 z dnia 20.12.2021 r. (AC 008);
6. Deklaracja właściwości użytkowych nr 1487-CPR-020-02 z dn. 04.01.2022 r.;
7. Karta Charakterystyki: Cement portlandzki niskoalkaliczny (wersja 1.2/PL z dnia 17.01.2023 r.);
8. Rekomendacja Techniczna IBDiM nr RT/2010-0040/2 z dn. 26.08.2020 r. (ważna do 07.05.2025 r.);

|                           |                                                  |                            |
|---------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 6<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------|

9. Sprawozdania z badania wytrzymałości na ściskanie wg PN-EN 12390-3:2019-07: nr 22-08-04-01-BR8h-WARTA z dn. 11.08.2021 r. (po 8 godzinach), nr 22-08-04-01-BR12h-WARTA z dn. 11.08.2021 r. (po 12 godzinach), nr 22-08-04-01-BR24h-WARTA z dn. 11.08.2021 r. (po 24 godzinach), nr 22-08-04-01-BR48h-WARTA z dn. 11.08.2021 r. (po 48 godzinach), wydane przez Laboratorium Budowlane Sp. z o.o., ul. Drzonków Cisowa 7, 66-004 Zielona Góra (AB 1605).

Receptura mieszanki nr 1/MBP/2022 z dnia 15.07.2022 r. stanowi załącznik nr 1 do niniejszego sprawozdania.

### **3. WYNIKI BADAŃ**

#### **3.1. Badania zaprawy wykonanej z badanym cementem**

##### **3.1.1. Próbkki do badań**

Badania laboratoryjne przeprowadzono w Zakładzie Lotniskowym Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych, na próbkach w postaci beleczek o wymiarach 4x4x16 cm wykonanych z cementu dostarczonego w dniu 26.07.2022 r. (rys. 1.6-1) oraz piasku normowego. Składniki zaprawy doprowadzono do temperatury 20 °C (seria I) i do temperatury 35 °C (seria II). W przypadku serii II próbki do czasu rozformowania przetrzymywano w zamkniętym pojemniku umieszczonym w suszarce UFE 800 firmy Memmert (nr fabr. G811.1009) w temperaturze 35 °C. Po rozformowaniu próbki serii II umieszczono w łaźni wodnej WPE 45 (nr fabr. L710.0565) firmy Memmert w temperaturze 35 °C. Próbkki wykonano zgodnie z normą PN-EN 196-1:2016-07 *Metody badania cementu. Część 1. Oznaczanie wytrzymałości*. Próbkki przeznaczono do wykonania badań wytrzymałości na zginanie, wytrzymałości na ściskanie i do badania nasiąkliwości w wodzie.

##### **3.1.2. Wytrzymałość na zginanie i wytrzymałość na ściskanie**

Badania wytrzymałości na zginanie i wytrzymałości na ściskanie zaprawy z badanym cementem wykonano zgodnie z normą PN-EN 196-1:2016-07, po 24 h, 48 h, 7 dniach i 28 dniach dojrzewania.

Badania wytrzymałości na zginanie próbek o wymiarach 4x4x16 cm wykonano przy

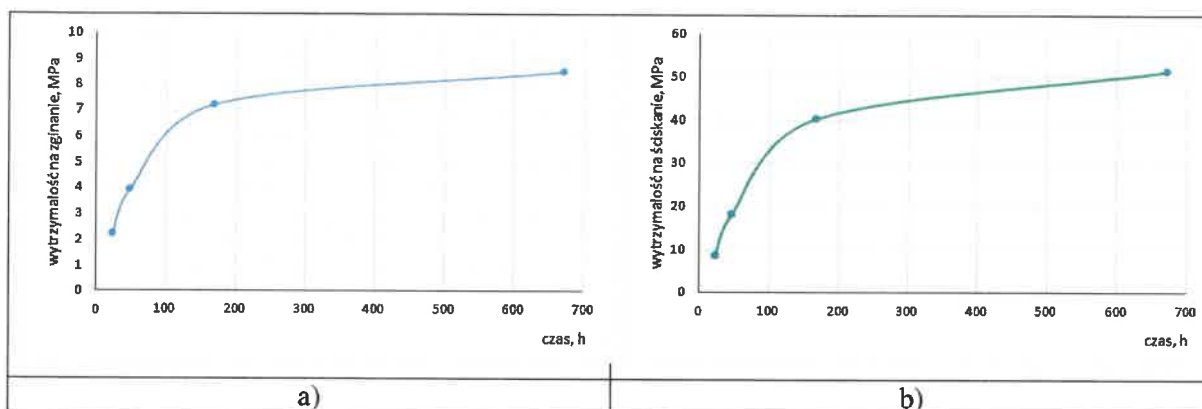
|                           |                                                  |                            |
|---------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 7<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|--------------------------------------------------|----------------------------|

użyciu maszyny wytrzymałościowej UNITRONIC S205 firmy Matest (nr fabr. 5205P107/ZI/0001). Badania wytrzymałości na ściskanie wykonano przy użyciu maszyny wytrzymałościowej do prób statycznych 3000 kN typ 50-C58/H firmy Controls (nr fabr. 94071841).

Wyniki badań próbek wykonanych w 20 °C przedstawiono w tablicy 3.1.2-1 i zobrazowano graficznie na rys. 3.1.2-1, a wyniki badań próbek wykonanych w 35 °C przedstawiono w tablicy 3.1.2-2 i zobrazowano graficznie na rys. 3.1.2-2.

**Tablica 3.1.2-1. Wytrzymałość na zginanie i wytrzymałość na ściskanie próbek o wymiarach 4x4x16 cm wykonanych z zaprawy z badanym cementem, po różnym okresie dojrzewania (próbki wykonane w 20 °C)**

| Próbka<br>(20 °C)<br>(data wykonania<br>próbek)                  | Nr próbki          | WYTRZYMAŁOŚĆ, [MPa] |                                          |                      |      |                                           |      |
|------------------------------------------------------------------|--------------------|---------------------|------------------------------------------|----------------------|------|-------------------------------------------|------|
|                                                                  |                    | na zginanie         |                                          | na ściskanie         |      |                                           |      |
|                                                                  |                    | Sila niszcząca<br>N | Wytrzymałość<br>na zginanie,<br>MPa      | Sila niszcząca<br>kN |      | Wytrzymałość<br>na ściskanie,<br>MPa      |      |
| Próbki po 24 h<br>dojrzewania<br>(08.09.2022 r.)                 | R2/1/BLL           | 884                 | 2,07                                     | 12,0                 | 13,4 | 8,1                                       | 8,4  |
|                                                                  | R2/2/BLL           | 959                 | 2,25                                     | 12,9                 | 13,8 | 8,1                                       | 8,6  |
|                                                                  | R2/3/BLL           | 995                 | 2,33                                     | 13,3                 | 14,5 | 8,3                                       | 9,1  |
|                                                                  | Wartość<br>średnia | 946                 | <b>2,2</b><br>$s = 0,13$<br>$v = 6,0 \%$ | 13,5                 |      | <b>8,4</b><br>$s = 0,38$<br>$v = 4,5 \%$  |      |
| Próbki po 48 h<br>dojrzewania<br>(08.09.2022 r.)                 | R2/4/BLL           | 1727                | 4,05                                     | 28,3                 | 28,6 | 17,7                                      | 17,9 |
|                                                                  | R2/5/BLL           | 1655                | 3,88                                     | 28,6                 | 28,7 | 17,9                                      | 17,9 |
|                                                                  | R2/6/BLL           | 1661                | 3,89                                     | 29,9                 | 30,2 | 18,7                                      | 18,9 |
|                                                                  | Wartość<br>średnia | 1681                | <b>3,9</b><br>$s = 0,09$<br>$v = 2,4 \%$ | 29,1                 |      | <b>18,2</b><br>$s = 0,49$<br>$v = 2,7 \%$ |      |
| Wzrost wytrzymałości<br>w stosunku do próbek badanych<br>po 24 h |                    | -                   | 77,3 %                                   | -                    |      | 116,7 %                                   |      |
| Próbki po 7<br>dniach<br>dojrzewania<br>(08.09.2022 r.)          | R2/7/BLL           | 3064                | 7,18                                     | 61,9                 | 65,1 | 39,3                                      | 40,7 |
|                                                                  | R2/8/BLL           | 2976                | 6,98                                     | 63,0                 | 64,5 | 39,4                                      | 40,3 |
|                                                                  | R2/9/BLL           | 3145                | 7,37                                     | 65,0                 | 65,9 | 40,6                                      | 41,2 |
|                                                                  | Wartość<br>średnia | 3062                | <b>7,2</b><br>$s = 0,20$<br>$v = 2,8 \%$ | 64,4                 |      | <b>40,3</b><br>$s = 0,76$<br>$v = 1,9 \%$ |      |
| Wzrost wytrzymałości<br>w stosunku do próbek badanych<br>po 48 h |                    | -                   | 84,6 %                                   | -                    |      | 121,4 %                                   |      |
| Próbki po 28<br>dniach<br>dojrzewania<br>(08.09.2022 r.)         | R2/10/BLL          | 3556                | 8,33                                     | 81,6                 | 82,8 | 51,0                                      | 51,8 |
|                                                                  | R2/11/BLL          | 3644                | 8,54                                     | 82,7                 | 81,1 | 51,7                                      | 50,7 |
|                                                                  | R2/12/BLL          | 3619                | 8,48                                     | 82,3                 | 82,6 | 51,4                                      | 51,6 |
|                                                                  | Wartość<br>średnia | 3606                | <b>8,5</b><br>$s = 0,11$<br>$v = 1,3 \%$ | 82,2                 |      | <b>51,4</b><br>$s = 0,43$<br>$v = 0,8 \%$ |      |
| Wzrost wytrzymałości<br>w stosunku do próbek badanych<br>po 7 d  |                    | -                   | 18,1 %                                   | -                    |      | 27,5 %                                    |      |



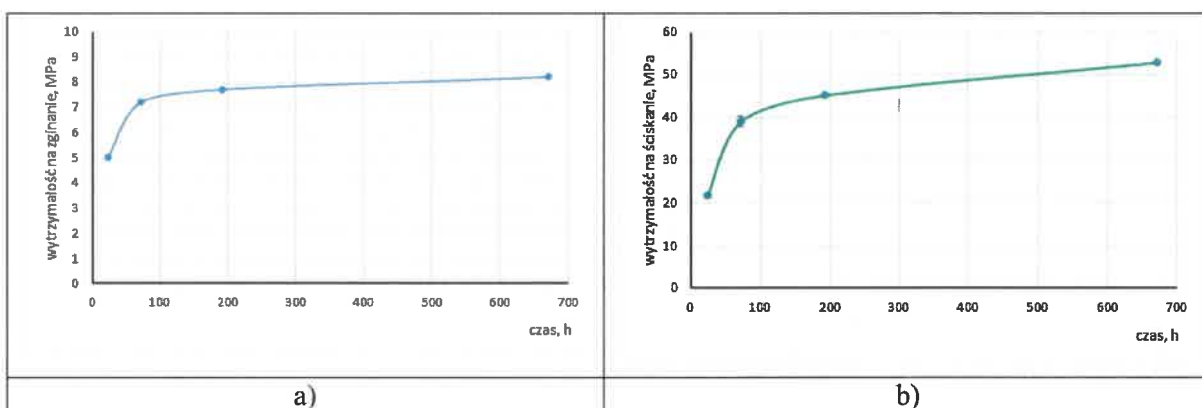
Rys. 3.1.2-1. Zmiana wytrzymałości a) na zginanie i b) wytrzymałości na ściskanie próbek w postaci beleczek o wymiarach 4x4x16 cm (seria I – 20 °C) w czasie 28 dni dojrzewania

Tablica 3.1.2-2. Wytrzymałość na zginanie i wytrzymałość na ściskanie próbek o wymiarach 4x4x16 cm wykonanych z zaprawy z badanym cementem, po różnym okresie dojrzewania (próbki wykonane w 35 °C)

| Próbka<br>(35 °C)<br>(data wykonania<br>próbek)                  | Nr próbki          | WYTRZYMAŁOŚĆ, [MPa]    |                                     |                      |      |                                      |      |
|------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------|-------------------------------------|----------------------|------|--------------------------------------|------|
|                                                                  |                    | na zginanie            |                                     | na ściskanie         |      |                                      |      |
|                                                                  |                    | Siła<br>niszcząca<br>N | Wytrzymałość<br>na zginanie,<br>MPa | Siła niszcząca<br>kN |      | Wytrzymałość<br>na ściskanie,<br>MPa |      |
| Próbki po 24 h<br>dojrzewania<br>(03.10.2022 r.)                 | R2/19/BLL          | 2079                   | 4,87                                | 34,8                 | 34,8 | 21,8                                 | 21,8 |
|                                                                  | R2/20/BLL          | 2133                   | 5,00                                | 34,1                 | 34,6 | 21,3                                 | 21,6 |
|                                                                  | R2/21/BLL          | 2221                   | 5,21                                | 33,8                 | 35,6 | 21,1                                 | 22,3 |
|                                                                  | Wartość<br>średnia | 2144                   | 5,0<br>$s = 0,17$<br>$v = 3,3 \%$   | 34,6                 |      | 21,6<br>$s = 0,39$<br>$v = 1,8 \%$   |      |
| Próbki po 72 h<br>dojrzewania<br>(03.10.2022 r.)                 | R2/16/BLL          | 2858                   | 6,70                                | 65,5                 | 62,7 | 41,2                                 | 39,2 |
|                                                                  | R2/17/BLL          | 3042                   | 7,13                                | 63,3                 | 61,1 | 39,5                                 | 38,0 |
|                                                                  | R2/18/BLL          | 3278                   | 7,68                                | 60,6                 | 60,8 | 37,8                                 | 38,1 |
|                                                                  | Wartość<br>średnia | 3059                   | 7,2<br>$s = 0,49$<br>$v = 6,9 \%$   | 62,3                 |      | 39,0<br>$s = 1,2$<br>$v = 3,0 \%$    |      |
| Wzrost wytrzymałości<br>w stosunku do próbek badanych<br>po 24 h |                    | -                      | 44 %                                | -                    |      | 80,6 %                               |      |
| Próbki po 8<br>dniach<br>dojrzewania<br>(03.10.2022 r.)          | R2/22/BLL          | 3287                   | 7,70                                | 72,7                 | 69,4 | 45,4                                 | 43,4 |
|                                                                  | R2/23/BLL          | 3251                   | 7,62                                | 73,7                 | 72,1 | 46,1                                 | 45,1 |
|                                                                  | R2/24/BLL          | 3353                   | 7,86                                | 74,2                 | 71,4 | 46,4                                 | 44,6 |
|                                                                  | Wartość<br>średnia | 3297                   | 7,7<br>$s = 0,12$<br>$v = 1,6 \%$   | 72,3                 |      | 45,2<br>$s = 1,08$<br>$v = 2,4 \%$   |      |
| Wzrost wytrzymałości<br>w stosunku do próbek badanych<br>po 72 h |                    | -                      | 6,9 %                               | -                    |      | 15,9 %                               |      |

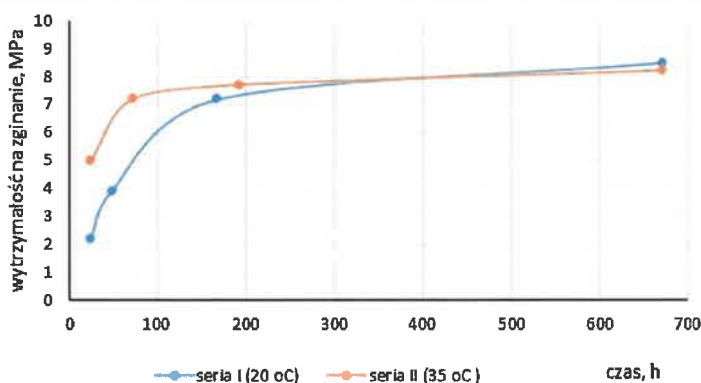
c.d. tablicy 3.1.2-2

|                                                           |                 |      |                                          |      |      |                                           |      |
|-----------------------------------------------------------|-----------------|------|------------------------------------------|------|------|-------------------------------------------|------|
| <b>Próbki po 28 dniach dojrzewania</b><br>(03.10.2022 r.) | R2/25/BLL       | 3444 | 8,07                                     | 83,7 | 82,2 | 52,3                                      | 51,4 |
|                                                           | R2/26/BLL       | 3423 | 8,02                                     | 86,4 | 83,7 | 54,0                                      | 52,3 |
|                                                           | R2/27/BLL       | 3559 | 8,34                                     | 87,1 | 84,6 | 54,4                                      | 52,9 |
|                                                           | Wartość średnia | 3475 | <b>8,2</b><br>$s = 0,17$<br>$v = 2,1 \%$ | 84,6 |      | <b>52,9</b><br>$s = 1,15$<br>$v = 2,2 \%$ |      |
| Wzrost wytrzymałości w stosunku do próbek badanych po 8 d |                 | -    | 6,5 %                                    | -    |      | 17,0 %                                    |      |

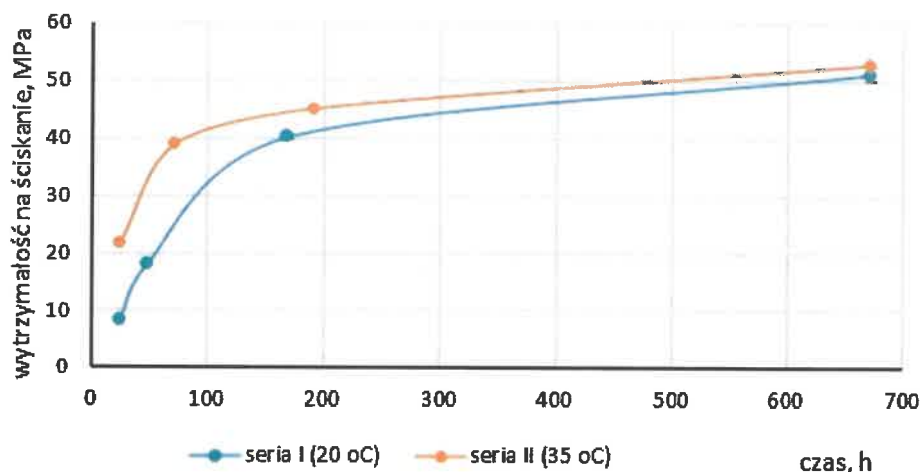


Rys. 3.1.2-2. Zmiana wytrzymałości a) na zginanie i b) wytrzymałości na ściskanie próbek w postaci beleczek o wymiarach 4x4x16 cm (seria II – 35 °C) w czasie 28 dni dojrzewania

Na rys. 3.1.2-3 i rys. 3.1.2-5 porównano wyniki badań wytrzymałości na zginanie próbek wykonanych w temperaturze 20 °C i próbek wykonanych w temperaturze 35 °C. Porównanie wyników badań wytrzymałości na ściskanie próbek serii I i serii II pokazano na rys. 3.1.2-4 i rys. 3.1.2-6.

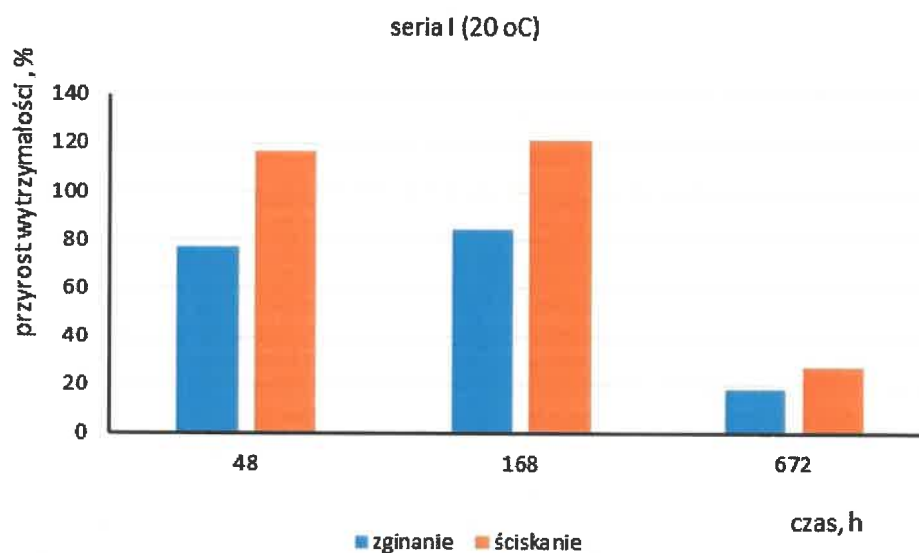


Rys. 3.1.2-3. Porównanie wyników badań wytrzymałości na zginanie próbek w postaci beleczek o wymiarach 4x4x16 cm w czasie 28 dni dojrzewania - serii I – 20 °C i serii II – 35 °C

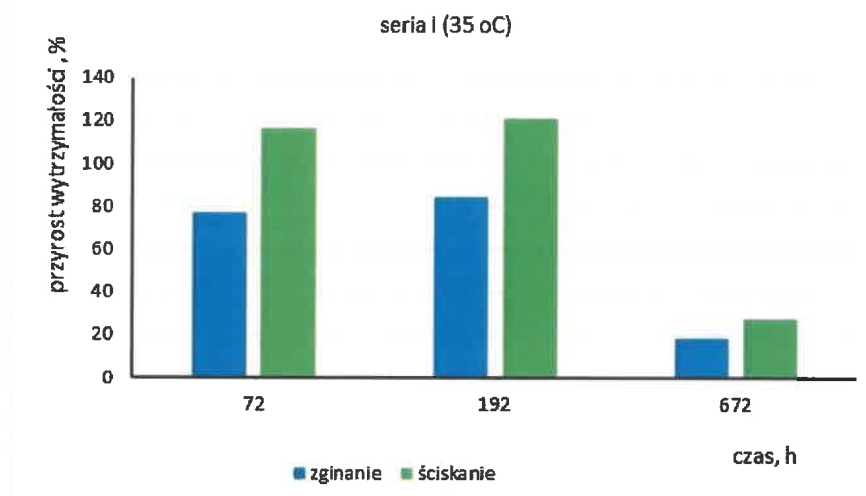


Rys. 3.1.2-4. Porównanie wyników badań wytrzymałości na ściskanie próbek w postaci beleczek o wymiarach 4x4x16 cm w czasie 28 dni dojrzewania - serii I – 20 °C i serii II – 35 °C

Wzrost wytrzymałości na zginanie i na ściskanie próbek w postaci beleczek o wymiarach 4x4x16 cm po 48 h, 7 dniach i 28 dniach dojrzewania - seria I – 20 °C pokazano na rys. 3.1.2-5, a wzrost wytrzymałości na zginanie i na ściskanie próbek serii II - 35 °C przedstawiono na rys. 3.1.2-6.



Rys. 3.1.2-5. Wzrost wytrzymałości na zginanie i na ściskanie próbek w postaci beleczek o wymiarach 4x4x16 cm po 48 h, 7 dniach i 28 dniach dojrzewania - seria I – 20 °C



Rys. 3.1.2-6. Wzrost wytrzymałości na zginanie i na ściskanie próbek w postaci beleczek o wymiarach 4x4x16 cm po 72 h, 8 dniach i 28 dniach dojrzewania - seria I – 35 °C

### 3.1.3. Nasiąkliwość w wodzie zaprawy

Nasiąkliwość wagową w wodzie beleczek o wymiarach 4x4x16 cm wykonanych z cementem CEM I 42,5 N- NA w temperaturze 20 °C i w temperaturze 35 °C, po 28 dniach dojrzewania, określono zgodnie z normą PN-85/B-04500, porównując masy próbek wysuszonych w temperaturze (105±2) °C i nasyconych wodą. Do badań wykorzystano:

- wagę elektroniczną typ: WPX 200/2000 firmy Radwag, nr fabr. 105403/03,
- suszarkę z wymuszonym obiegiem powietrza UFE 600 firmy Memmert, nr fabr. G605.0604.

Wyniki badań nasiąkliwości beleczek w wodzie przedstawiono w tablicy 3.1.3-1.

Tablica 3.1.3-1. Nasiąkliwość w wodzie próbek o wymiarach 4x4x16 cm wykonanych w temperaturze 20 °C i w temperaturze 35 °C (*s* – odchylenie standardowe, *v* - współczynnik zmienności)

| Beleczki<br>4x4x16 cm      | NASIĄKLIWOŚĆ W WODZIE, [%]    |       |       |                               |       |       |
|----------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------------------------------|-------|-------|
|                            | Próbki wykonane w temp. 20 °C |       |       | Próbki wykonane w temp. 35 °C |       |       |
| Nr próbki                  | R2/13                         | R2/14 | R2/15 | R2/28                         | R2/29 | R2/30 |
| masa próbki suchej [g]     | 530,8                         | 531,6 | 533,9 | 532,9                         | 529,6 | 532,4 |
| masa próbki nasyconej, [g] | 573,9                         | 575,2 | 577,8 | 575,7                         | 572,4 | 575,3 |
| nasiąkliwość, [%]          | 8,12                          | 8,20  | 8,22  | 8,03                          | 8,08  | 8,06  |
| Średnia nasiąkliwość [%]   | 8,2<br>(s = 0,05 v = 0,66 %)  |       |       | 8,1<br>(s = 0,03, v = 0,31 %) |       |       |

|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 12<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|

## 3.2. Badania właściwości fizyko-mechanicznych betonu

### 3.2.1. Wykonanie odcinka próbnego i próbek laboratoryjnych

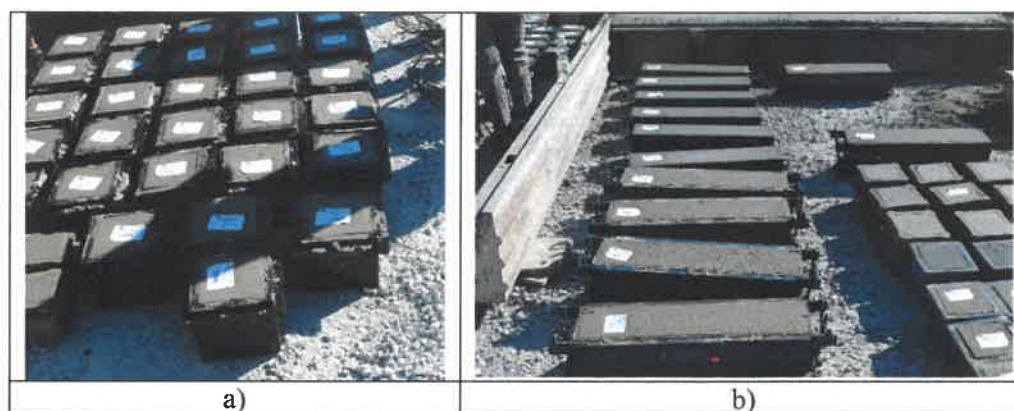
Odcinek doświadczalny (wymiary ok. 5 m x 5 m, grubość ok. 40 cm) wykonano w dniu 04.08.2022 r. na terenie Wytwórni Betonu Max Bögl Polska Sp. z o.o. umiejscowionej przy lotnisku im. Fryderyka Chopina w Warszawie. Odcinek został ułożony po skorygowaniu składu betonu (receptura mieszanki nr 1/MBP/2022 z dn. 15.07.2022 r., załącznik 1), tak aby konsystencja mieszanki betonowej metodą Ve-Be oraz zawartość powietrza w mieszance spełniały wymagania normy NO-17-A204:2015. Temperatura otoczenia wynosiła w słońcu nawet do ok. 40 °C. Widok odcinka doświadczalnego podczas zagęszczania mieszanki betonowej przedstawiono na rys. 3.2.1-1.



Rys. 3.2.1-1. Wykonywanie odcinka doświadczalnego z betonu z cementem CEM I 42,5 N- NA (zagęszczanie mieszanki betonowej)

Podczas układania odcinka doświadczalnego wykonano próbki laboratoryjne w postaci kostek o wymiarach 10x10x10 cm, 15x15x15 cm oraz belek o wymiarach 15x15x70 cm (rys. 3.2.1-2). Próbki zabezpieczono przed utratą wilgoci i pozostawiono do następnego dnia w miejscu ich wykonania. Po przywiezieniu próbek w dniu 05.08.2022 r. do ITWL, próbki po rozformowaniu umieszczono w wodzie. Próbki laboratoryjne były również pobrane przez pracowników Laboratorium Budowlanego Sp. z o.o. (ul. Drzonków-Cisowa 7, 66-004 Zielona Góra; laboratorium współpracujące z producentem mieszanki betonowej).

|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 13<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|



Rys. 3.2.1-2. Próbkki laboratoryjne wykonane podczas układania odcinka doświadczalnego, a) próbki o wymiarach 15x15x15 cm; b) belki o wymiarach 15x15x70 cm

W dniu 09.08.20 22 r. na każdym odcinku doświadczalnym pobrano 6 odwiertów rdzeniowych o średnicy 15 cm do wykonania badań wytrzymałościowych po 7 dniach twardnienia, a w dniu 30.08.2022 r. pobrano 19 odwiertów do wykonania badań wytrzymałościowych po 28 dniach dojrzewania oraz badań trwałościowych zgodnie z harmonogramem do umowy nr 1/ITWL/07/2022 r z dn. 28.07.2022 r. Próbkki pobrano zgodnie z normą PN-EN 12504-1:2019-08 *Badania betonu w konstrukcjach. Część pierwsza: Odwierty rdzeniowe - Wycinanie, ocena i badanie wytrzymałości na ściskanie.*

Widok odcinka doświadczalnego po pobraniu odwiertów przedstawiono na rys. 3.2.1-3.



Rys. 3.2.1.-3. Odcinek doświadczalny wykonany z betonu z cementem CEM I 42,5 N-NA po pobraniu odwiertów

Pobrane próbki laboratoryjne i odwierty rdzeniowe do osiągnięcia wieku 28 dni pielęgnowano w wodzie zgodnie z normą PN-EN 12390-2:2019-07 *Badania betonu. Wytrzymałość i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych.* Próbkki w postaci odwiertów dostosowano do badań metodą cięcia i szlifowania.

### 3.2.2. Badania wytrzymałości na ściskanie

Badania wytrzymałości na ściskanie wykonano w ITWL zgodnie z normą PN-EN 12390-3:2019-07 na próbkach sześciennych o boku 15 cm po 4, 7 oraz 28 dniach dojrzewania (tablica 3.2.2-1). Badania wykonano również na odwiertach rdzeniowych o średnicy 15 cm po 7 i 28 dniach dojrzewania. Próbki sześciennie do czasu badania pielęgnowano w wodzie, natomiast próbki w postaci odwiertów rdzeniowych po przywiezieniu do ITWL przetrzymywano na powietrzu. Badania wytrzymałościowe betonu wykonano przy użyciu maszyny wytrzymałościowej do prób statycznych 3000kN typ 50-C58/H firmy Controls (nr fabr. 94071841) z przystawką do zginania belek (150 kN).

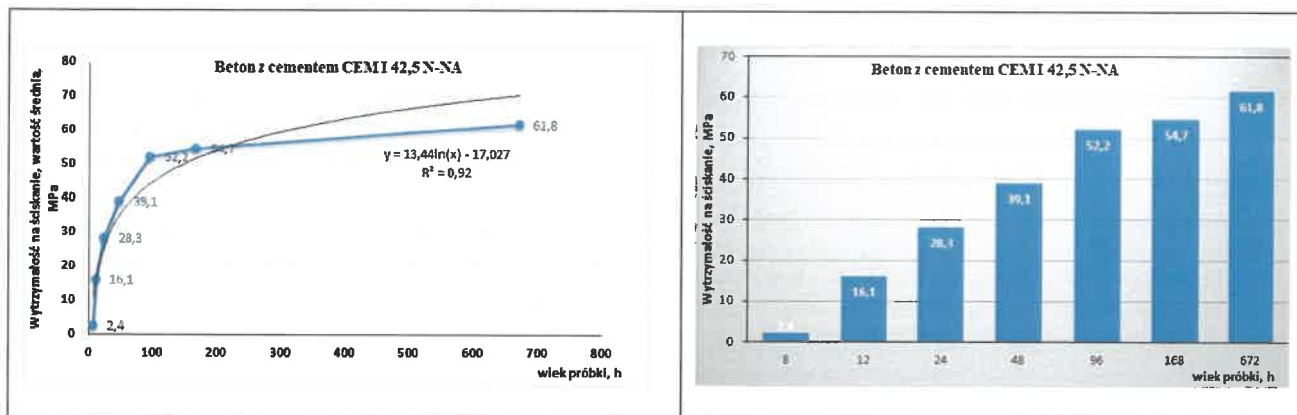
Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie próbek z cementem CEM I 42,5 N-NA o wymiarach 15x15x15 cm uzyskane w Laboratorium Budowlanym Sp. z o.o. i przekazane przez Zleceniodawcę, wynosiły (wartość średnia): po 8 h – 3,4 MPa, po 12 h – 17,5 MPa, po 24 h – 28,8 MPa, po 48 h – 41,2 MPa. Gęstość próbek wynosiła od 2377 kg/m<sup>3</sup> do 2418 kg/m<sup>3</sup>.

Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie próbek o wymiarach 15x15x15 cm uzyskane w ITWL przedstawiono w tablicy 3.2.2-1.

Zmianę wytrzymałości na ściskanie podczas dojrzewania próbek sześciennych (wyniki uzyskane w ITWL i w Laboratorium Budowlanym Sp. z o.o.) przedstawiono na rys. 3.2.1-1.

**3.2.2-1. Wytrzymałość na ściskanie – beton z cementem CEM I 42,5 N-NA (próbki sześciennie o boku 15 cm, badania wykonane w ITWL)**

| Wiek próbki | Nr próbki | Masa próbki | Gęstość           | Gęstość średnia   | Siła   | Wytrzymałość na ściskanie | Wytrzymałość na ściskanie, wartość średnia |
|-------------|-----------|-------------|-------------------|-------------------|--------|---------------------------|--------------------------------------------|
|             |           | g           | kg/m <sup>3</sup> | kg/m <sup>3</sup> | kN     | MPa                       | MPa                                        |
| 4 dni       | R2/9      | 8132,4      | 2395              | 2388              | 1172,6 | 52,1                      | 52,2                                       |
|             | R2/11     | 8150,9      | 2388              |                   | 1214,3 | 54,0                      |                                            |
|             | R2/12     | 8109,8      | 2382              |                   | 1134,9 | 50,4                      |                                            |
| 7 dni       | R2/21     | 8198,5      | 2413              | 2412              | 1204,1 | 53,5                      | 54,7                                       |
|             | R2/33     | 8199,2      | 2418              |                   | 1260,8 | 56,0                      |                                            |
|             | R2/34     | 8188,5      | 2405              |                   | 1227,4 | 54,6                      |                                            |
| 28 dni      | R2/37     | 8136,9      | 2376              | 2382              | 1409,8 | 61,7                      | 61,8                                       |
|             | R2/38     | 8124,2      | 2383              |                   | 1420,9 | 63,2                      |                                            |
|             | R2/39     | 8136,7      | 2387              |                   | 1363,6 | 60,6                      |                                            |

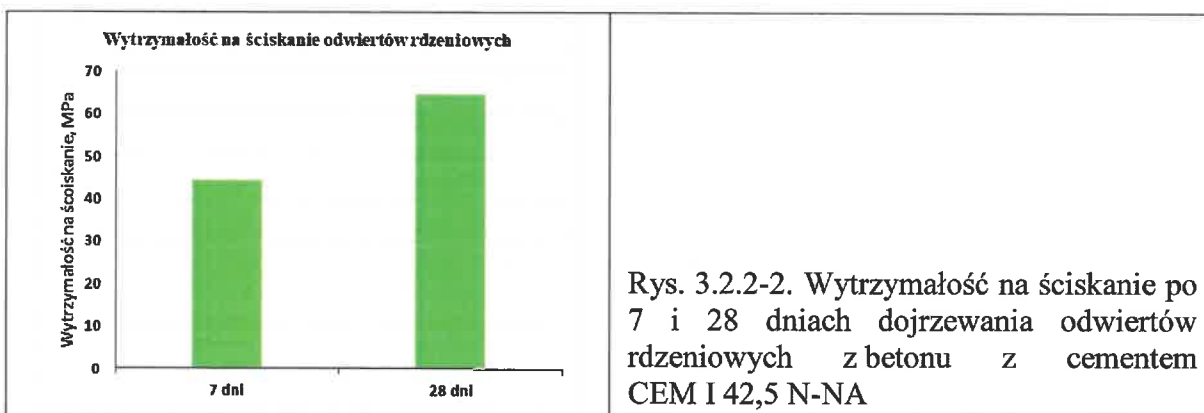


Rys. 3.2.2-1. Przyrost wytrzymałości na ściskanie w czasie dojrzewania betonu z cementem CEM I 42,5 N-NA (próbki sześciennie o wymiarach 15x15x15 cm) na podstawie wyników badań wykonanych w Laboratorium Budowlanym Sp. z o.o i w ITWL

Badaniom wytrzymałości na ściskanie poddano odwierty rdzeniowe o wysokości 15 cm. Odwierty rdzeniowe przygotowano do badań metodą cięcia i szlifowania. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie próbek w postaci odwiertów rdzeniowych przedstawiono w tablicy 3.2.2-2 i zobrazowano graficznie na rys. 3.2.2-2.

3.2.2-2. Wytrzymałość na ściskanie – beton z cementem CEM I 42,5 N- NA (odwierty rdzeniowe o średnicy i wysokości 15 cm)

| Wiek próbki                             | Data pobrania   | Nr próbki              | Masa próbki | Średnica, wartość średnia | Wysokość, wartość średnia | Gęstość           | Siła          | Wytrzymałość na ściskanie |
|-----------------------------------------|-----------------|------------------------|-------------|---------------------------|---------------------------|-------------------|---------------|---------------------------|
|                                         | -               |                        | g           | mm                        | mm                        | kg/m <sup>3</sup> | kN            | MPa                       |
| <b>Beton z cementem CEM I 42,5 N-NA</b> |                 |                        |             |                           |                           |                   |               |                           |
| 7 d                                     | 09.08.22 (ITWL) | R2/1/ODW               | 6685,7      | 153,5                     | 153,1                     | 2361              | 817,8         | 44,2                      |
|                                         |                 | R2/2/ODW               | 6883,0      | 153,3                     | 157,5                     | 2363              | 797,6         | 43,1                      |
|                                         |                 | R2/3/ODW               | 6726,7      | 153,5                     | 154,6                     | 2352              | 849,7         | 45,9                      |
|                                         |                 | <b>Wartość średnia</b> | -           | -                         | -                         | <b>2359</b>       | <b>821,7</b>  | <b>44,4</b>               |
| 28 d                                    | 30.08.22 (ITWL) | R2/7/ODW               | 6815,0      | 153,0                     | 156,1                     | 2376              | 1177,1        | 64,0                      |
|                                         |                 | R2/8/ODW               | 6835,0      | 153,1                     | 156,6                     | 2372              | 1161,2        | 63,1                      |
|                                         |                 | R2/9/ODW               | 6826,0      | 153,1                     | 155,9                     | 2380              | 1235,0        | 67,1                      |
|                                         |                 | <b>Wartość średnia</b> | -           | -                         | -                         | <b>2345</b>       | <b>1191,4</b> | <b>64,7</b>               |



Rys. 3.2.2-2. Wytrzymałość na ściskanie po 7 i 28 dniach dojrzewania odwiertów rdzeniowych z betonu z cementem CEM I 42,5 N-NA

|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 16<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|

Wartość średnia wytrzymałości na ściskanie próbek o wymiarach 15x15x15 cm po 4 dniach dojrzewania wynosi **52,2 MPa**, a po 7 dniach dojrzewania wynosi **54,7 MPa** (wzrost o 4,8 % w stosunku do próbek po 4 dniach dojrzewania), natomiast wartość średnia wytrzymałości na ściskanie odwiertów rdzeniowych o średnicy 15 cm i wysokości 15 cm po 7 dniach dojrzewania pobranych z wykonanego odcinka doświadczalnego, wynosi **44,4 MPa**.

Wytrzymałość na ściskanie (wartość średnia) po 28 dniach dojrzewania próbek sześciennych o boku 15 cm z betonu wykonanego z cementem CEM I 42,5 N- NA wynosi **61,8 MPa** (wzrost wytrzymałości w stosunku do wytrzymałości po 7 dniach wynosi **13,0 %**). Wartość średnia wytrzymałości na ściskanie odwiertów rdzeniowych o średnicy 15 cm i wysokości 15 cm po 28 dniach dojrzewania wynosi **64,7 MPa** (wzrost wytrzymałości w stosunku do wytrzymałości po 7 dniach wynosi **45,7 %**).

#### Klasa betonu

Określenie klasy wbudowanego betonu klasy C35/45 wykonano zgodnie z normą NO-17-A 204:2015 *Nawierzchnie lotniskowe. Nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania i metody badań*. Zgodnie z ww. normą wytrzymałość betonu na ściskanie w konstrukcji została określona na podstawie dwóch poniższych zależności:

$$f_{cm} \geq f_{ck} + 4$$

$$f_{ci} \geq f_{ck} - 4$$

gdzie:

- $f_{ck}$ - wytrzymałość charakterystyczna betonu na ściskanie,
- $f_{cm}$ - średnia wytrzymałość betonu na ściskanie w konstrukcji,
- $f_{ci}$ - wytrzymałość betonu na ściskanie oznaczona na pojedynczej próbce.

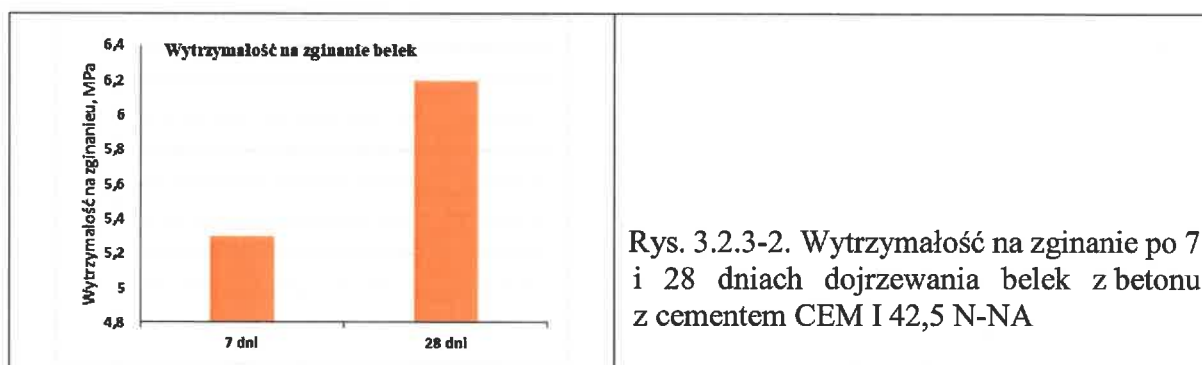
Mając na uwadze otrzymane wyniki badań wytrzymałości na ściskanie, zarówno na kostkach sześciennych, jak i na próbkach pobranych w postaci walców (odwiertów rdzeniowych) z ułożonej warstwy odcinka próbnego stwierdza się, że wytrzymałości próbek ocenianego betonu spełniają wymagania normy obronnej NO-17-A204:2015 *Nawierzchnie lotniskowe. Nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania i metody badań* po 28 dniach dojrzewania dla klasy C35/45.

### 3.2.3. Wytrzymałość na zginanie

Badanie wytrzymałości na zginanie wykonano zgodnie z normą NO-17-A204:2015 *Nawierzchnie lotniskowe. Nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania i metody badań*, na belkach 15x15x70 cm po 7 dniach i 28 dniach dojrzewania (zginanie dwupunktowe, rozpiętość między podporami belki równa 60 cm). Wyniki badań przedstawiono w tablicy 3.2.3-1 i zobrazowano graficznie na rys. 3.2.3-1.

**Tablica 3.2.3-1. Wytrzymałość na zginanie próbek w postaci belek o wymiarach 15x15x70 cm po 7 dniach i 28 dniach dojrzewania**

| Wiek próbki                             | Nr próbki | Sila        | Wytrzymałość na zginanie |
|-----------------------------------------|-----------|-------------|--------------------------|
|                                         |           | kN          | MPa                      |
| <b>Beton z cementem CEM I 42,5 N-NA</b> |           |             |                          |
| <b>7 d</b>                              | R2/3 BL   | 29,5        | 5,3                      |
|                                         | R2/4 BL   | 30,4        | 5,4                      |
|                                         | R2/6 BL   | 29,2        | 5,2                      |
|                                         |           | <b>29,7</b> | <b>5,3</b>               |
| <b>28 d</b>                             | R2/1 BL   | 33,8        | 6,0                      |
|                                         | R2/5 BL   | 35,8        | 6,4                      |
|                                         | R2/2 BL   | 35,5        | 6,3                      |
| <b>Wartość średnia</b>                  |           | <b>35,0</b> | <b>6,2</b>               |



**Rys. 3.2.3-2. Wytrzymałość na zginanie po 7 i 28 dniach dojrzewania belek z betonu z cementem CEM I 42,5 N-NA**

W trakcie przeprowadzonych badań niszczących na próbkach laboratoryjnych o wymiarach 15x15x70 cm uzyskano wartość wytrzymałości betonu na zginanie wynoszącą 5,3 MPa po 7 dniach dojrzewania i 6,2 po 28 dniach dojrzewania. Zgodnie z NO-17-A204:2015 *Nawierzchnie lotniskowe. Nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania i metody badań* wytrzymałość na zginanie próbek z betonu klasy C35/45, w postaci belek o wymiarach 15x15x70 cm po 28 dniach twardnienia (dla pojedynczego wyniku) nie powinna być niższa niż 5,5 MPa, co oznacza, że badany beton osiągnął wymaganą wytrzymałość na zginanie.

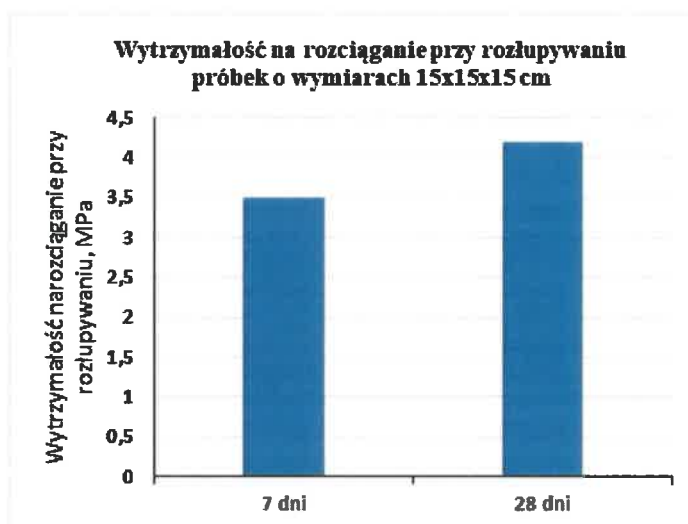
|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 18<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|

### 3.2.4. Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu

Badania wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu wykonano na próbkach w postaci kostek o wymiarach 15x15x15 cm oraz w postaci odwiertów rdzeniowych po 7 dniach i 28 dniach twardnienia, zgodnie z normą PN-EN 12390-6:2011 *Badania betonu. Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu próbek do badań*. Dolną część odwiertów wyrównano przy użyciu piły. Wyniki badań wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu przedstawiono w tablicy 3.2.4-1 i na rys. 3.2.4-1 (kostki) oraz w tablicy 3.2.4-2 i na rys. 3.2.4-2 (odwierty rdzeniowe).

Tablica 3.2.4-1. Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu próbek w postaci kostek o wymiarach 15x15x15 cm po 7 dniach i po 28 dniach dojrzewania

| Wiek próbki                             | Nr próbki | Masa próbki | Gęstość           | Gęstość średnia   | Sila  | Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu | Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu, wartość średnia |
|-----------------------------------------|-----------|-------------|-------------------|-------------------|-------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
|                                         |           | g           | kg/m <sup>3</sup> | kg/m <sup>3</sup> | kN    | MPa                                           | MPa                                                            |
| <b>Beton z cementem CEM I 42,5 N-NA</b> |           |             |                   |                   |       |                                               |                                                                |
| <b>7 dni</b>                            | R2/27     | 8098,3      | 2388              | 2412              | 128,5 | 3,6                                           | 3,5                                                            |
|                                         | R2/28     | 8215,3      | 2421              |                   | 116,4 | 3,3                                           |                                                                |
|                                         | R2/29     | 8201,7      | 2427              |                   | 127,3 | 3,6                                           |                                                                |
| <b>28 dni</b>                           | R2/41     | 8258,8      | 2413              | 2399              | 152,4 | 4,3                                           | 4,2                                                            |
|                                         | R2/42     | 8132,0      | 2389              |                   | 155,9 | 4,4                                           |                                                                |
|                                         | R2/43     | 8202,9      | 2395              |                   | 140,6 | 3,9                                           |                                                                |

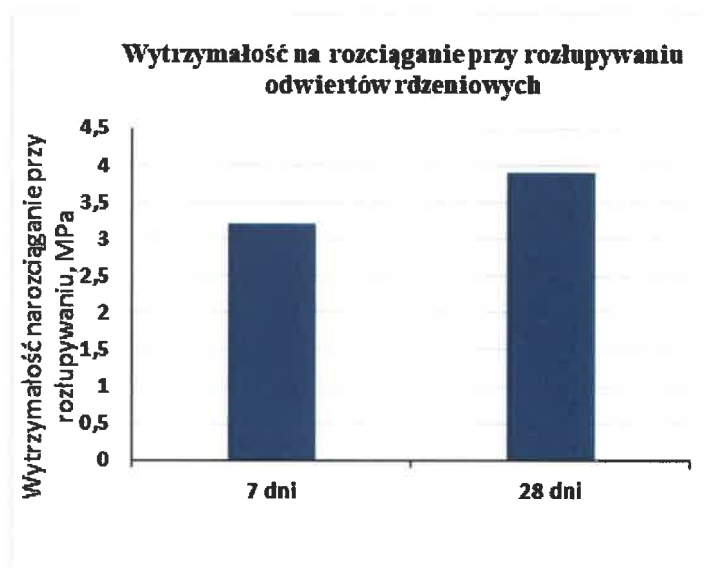


Rys. 3.2.4-1. Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu próbek sześciennych o wymiarach 15x15x15 cm po 7 i 28 dniach dojrzewania

|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 19<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|

**Tablica 3.2.4-2. Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu próbek w postaci odwiertów rdzeniowych o średnicy 15 cm po 7 dniach i 28 dniach dojrzewania**

| Wiek próbki                             | Data pobrania          | Nr próbki              | Masa próbki | Średnica, wartość średnia | Wysokość, wartość średnia | Gęstość           | Siła         | Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu |
|-----------------------------------------|------------------------|------------------------|-------------|---------------------------|---------------------------|-------------------|--------------|-----------------------------------------------|
|                                         | -                      |                        | g           | mm                        | mm                        | kg/m <sup>3</sup> | kN           | MPa                                           |
| <b>Beton z cementem CEM I 42,5 N-NA</b> |                        |                        |             |                           |                           |                   |              |                                               |
| <b>7 dni</b>                            | <b>09.08.22 (ITWL)</b> | R2/4/ODW               | 9635,4      | 153,5                     | 220,5                     | 2343              | 153,9        | 2,9                                           |
|                                         |                        | R2/5/ODW               | 9702,1      | 153,5                     | 221,2                     | 2382              | 185,7        | 3,5                                           |
|                                         |                        | R2/6/ODW               | 9439,1      | 152,1                     | 221,6                     | 2361              | 162,5        | 3,1                                           |
|                                         |                        | <b>Wartość średnia</b> | -           | -                         | -                         | <b>2362</b>       | <b>150,7</b> | <b>3,2</b>                                    |
| <b>28 dni</b>                           | <b>30.08.22 (ITWL)</b> | R2/11/ODW              | 10021,0     | 153,2                     | 227,6                     | 2390              | 193,4        | 3,5                                           |
|                                         |                        | R2/13/ODW              | 10129,0     | 153,1                     | 231,2                     | 2381              | 231,7        | 4,2                                           |
|                                         |                        | R2/14/ODW              | 10080,0     | 153,0                     | 231,4                     | 2371              | 220,7        | 4,0                                           |
|                                         |                        | <b>Wartość średnia</b> | -           | -                         | -                         | <b>2381</b>       | <b>215,3</b> | <b>3,9</b>                                    |



**Rys. 3.2.4-2. Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu odwiertów rdzeniowych po 7 i 28 dniach dojrzewania**

Zgodnie z normą NO-17-A204:2015 *Nawierzchnie lotniskowe. Nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania i metody badań* wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu betonu klasy C35/45 po 28 dniach twardnienia określona metodą brazylijską na odwiertach o średnicy 15 cm lub na kostkach 15x15x15 cm dla pojedynczego wyniku nie powinna być niższa niż **3,6 MPa**. W przypadku betonu z cementem CEM I 42,5 N-NA jedna próbka w postaci odwiertu rdzeniowego nie spełniła ww. wymagania, co może mieć charakter przypadkowy i mieć związek

|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 20<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|

z zagęszczeniem betonu podczas układania odcinka doświadczalnego, a także z miejscem pobrania danego odwiertu. Wyniki badań wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu wykazują znaczny rozrzut, zarówno w przypadku próbek sześciennych, jak i odwiertów rdzeniowych.

### 3.2.5. Nasiąkliwość w wodzie betonu

Nasiąkliwość wagową betonu w wodzie określono na próbkach betonowych w postaci kostek o boku 10 cm oraz na próbkach w postaci odwiertów rdzeniowych o średnicy 15 cm. Odwierty pocięto w kierunku równoległym do powierzchni „roboczej” wycinając cztery warstwy: górną, z zachowaniem naturalnej faktury nawierzchni, o grubości 20 mm, a z pozostałej części - trzy warstwy o równych grubościach.

Nasiąkliwość w wodzie określono zgodnie z metodyką podaną w normie obronnej NO-17-A204:2015 *Nawierzchnie lotniskowe. Nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania i metody badań*, porównując masy próbek nasyconych wodą i wysuszonych w temperaturze  $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . Do badań wykorzystano wagę elektroniczną typ: B-15 firmy AXIS (nr fabr. 681) oraz suszarkę z wymuszonym obiegiem powietrza UFE 600 firmy Memmert (nr fabr. G605.0604).

Wyniki badań nasiąkliwości w wodzie próbek w postaci kostek o boku 15 cm, przedstawiono w tablicy 3.2.5-1. W przypadku odwiertów rdzeniowych (tablica 3.2.5-2) podano nasiąkliwość warstwy górnej oraz wartość średnią obliczoną na podstawie nasiąkliwości poszczególnych warstw. Podane w tablicach 3.2.5-1 i 3.2.5-2 wartości w nawiasach oznaczają: s - odchylenie standardowe, v - współczynnik zmienności, %.

**Tablica 3.2.5-1. Nasiąkliwość w wodzie próbek o wymiarach 15x15x15 cm**

| Próbki o wymiarach 10x10x10 cm       | NASIĄKLIWOŚĆ W WODZIE, [%] |        |        |        |
|--------------------------------------|----------------------------|--------|--------|--------|
| Nr próbki                            | R2/110                     | R2/111 | R2/220 | R2/221 |
| masa próbki betonowej nasyconej, [g] | 2420                       | 2422   | 2422   | 2431   |
| masa próbki betonowej suchej, [g]    | 2321                       | 2322   | 2321   | 2329   |
| nasiąkliwość, [%]                    | 4,27                       | 4,31   | 4,35   | 4,38   |
| Średnia nasiąkliwość, [%]            | 4,3 (s = 0,05, v = 1,2 %)  |        |        |        |

|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 21<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|

**Tablica 3.2.5-2. Nasiąkliwość w wodzie plastrów wyciętych z odwiertów rdzeniowych pobranych na odcinku doświadczalnym**

| Odwierty rdzeniowe                      | NASIĄKLIWOŚĆ W WODZIE PLASTRÓW<br>WYCIĘTYCH Z ODWIERTÓW RDZENIOWYCH,<br>[%] |             |             |             |
|-----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                         | R2/17 ODW-1<br>(górna)                                                      | R2/17/ODW-2 | R2/17/ODW-3 | R2/17/ODW-4 |
| masa próbki betonowej nasyconej, [g]    | 808                                                                         | 3519        | 3605        | 3546        |
| masa próbki betonowej suchej, [g]       | 769                                                                         | 3384        | 3471        | 3414        |
| nasiąkliwość warstwy, [%]               | 4,9                                                                         | 4,0         | 3,9         | 3,9         |
| wartość średnia (warstwa 2, 3 i 4), [%] | 3,9 (s = 0,07, v = 1,9 %)                                                   |             |             |             |
| Średnia nasiąkliwość, [%]               | 4,2 (s = 0,52, v = 12,5 %)                                                  |             |             |             |
| Nr próbki/warstwa                       | R2/18 ODW-1<br>(górna)                                                      | R2/18/ODW-2 | R2/18/ODW-3 | R2/18/ODW-4 |
|                                         |                                                                             |             |             |             |
| masa próbki betonowej nasyconej, [g]    | 943                                                                         | 3580        | 3597        | 3445        |
| masa próbki betonowej suchej, [g]       | 905                                                                         | 3449        | 3462        | 3315        |
| nasiąkliwość warstwy, [%]               | 4,2                                                                         | 3,8         | 3,9         | 3,9         |
| wartość średnia (warstwa 2, 3 i 4), [%] | 3,9 (s = 0,07, v = 1,9 %)                                                   |             |             |             |
| Średnia nasiąkliwość, [%]               | 4,0 (s = 0,17, v = 4,3 %)                                                   |             |             |             |
| Nr próbki/warstwa                       | R2/19 ODW-1<br>(górna)                                                      | R2/19/ODW-2 | R2/19/ODW-3 | R2/19/ODW-4 |
|                                         |                                                                             |             |             |             |
| masa próbki betonowej nasyconej, [g]    | 1004                                                                        | 3450        | 3619        | 3556        |
| masa próbki betonowej suchej, [g]       | 962                                                                         | 3323        | 3489        | 3422        |
| nasiąkliwość warstwy, [%]               | 4,4                                                                         | 3,8         | 3,7         | 3,9         |
| wartość średnia (warstwa 2, 3 i 4), [%] | 3,8 (s = 0,09, v = 2,5 %)                                                   |             |             |             |
| Średnia nasiąkliwość, [%]               | 4,0 (s = 0,28, v = 7,2 %)                                                   |             |             |             |

Zestawienie wyników badań nasiąkliwości w wodzie próbek w postaci kostek o wymiarach 15x15x15 cm oraz plastrów wyciętych z odwiertów rdzeniowych pobranych na odcinku próbnym przedstawiono w tablicy 3.2.5-3.

**Tablica 3.2.5-3. Zestawienie wyników badań nasiąkliwości w wodzie próbek w postaci kostek o wymiarach 15x15x15 cm oraz wyników badań nasiąkliwości w wodzie próbek w postaci plastrów wyciętych z odwiertów rdzeniowych pobranych na odcinku próbnym**

| Medium                            | Nasiąkliwość w wodzie, % |                    |                                       |                                        |
|-----------------------------------|--------------------------|--------------------|---------------------------------------|----------------------------------------|
|                                   | Próbki<br>15x15x15 cm    | Odwierty rdzeniowe |                                       |                                        |
|                                   |                          | warstwa górna      | wartość średnia<br>(warstwa 2, 3 i 4) | wartość średnia<br>(wszystkie warstwy) |
| <b>Woda</b>                       | <b>4,3</b>               | <b>4,5</b>         | <b>3,9</b>                            | <b>4,0</b>                             |
| <i>Odchylenie standardowe</i>     | <i>0,05</i>              | <i>0,39</i>        | <i>0,05</i>                           | <i>0,12</i>                            |
| <i>Współczynnik zmienności, %</i> | <i>1,2</i>               | <i>8,6</i>         | <i>1,2</i>                            | <i>2,9</i>                             |

|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 22<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|

Średnia wartość nasiąkliwości w wodzie określona na próbkach betonowych w postaci kostek wynosi 4,3 %, natomiast w postaci odwiertów wynosi 4,0 % (górna warstwa: 4,4 %).

Zgodnie z normą NO-17-A204:2015 *Nawierzchnie lotniskowe. Nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania i metody badań*, średnia wartość nasiąkliwości w wodzie betonu nawierzchniowego klasy C35/45, oznaczona na kostkach o boku minimum 10 cm oraz na górnej warstwie, o grubości 20 cm, z zachowaniem naturalnej faktury, próbki walcowej wyciętej z nawierzchni, nie powinna przekraczać 4,9 %. Na podstawie uzyskanych wartości nasiąkliwości stwierdzono, że warunek ten w każdym przypadku został spełniony.

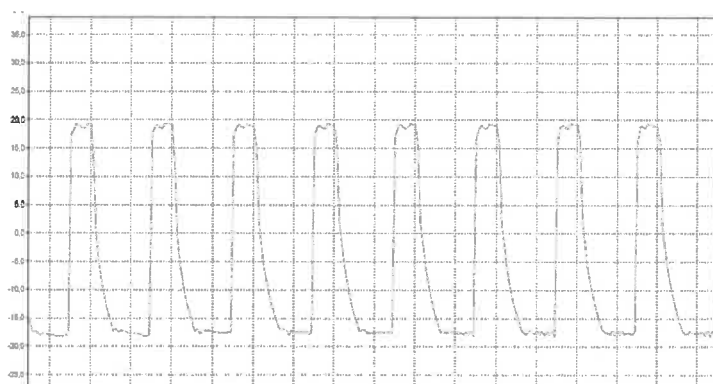
### **3.3. Badania trwałości betonu**

#### **3.3.1. Mrozoodporność w wodzie i w środkach odladzających**

Badania trwałości betonu z cementem CEM I 42,5 N-NA polegały na poddaniu próbek laboratoryjnych w postaci kostek betonowych o wymiarach 15x15x15 cm oraz odwiertów rdzeniowych o średnicy i wysokości 15 cm nasączonych wodą lub środkiem odladzającym (Nordway KF na bazie mrówczanu potasu, Unisalt SF na bazie mrówczanu sodu w przypadku próbek sześciennych; Nordway KF na bazie mrówczanu potasu w przypadku odwiertów rdzeniowych), 200 cyklom zamrażania-odmrażania. Badania przeprowadzono przy użyciu automatycznej komory do zamrażania typ K-015 firmy ToRoPoL Sp. z o.o. (nr fabr. 061001). Próbki po nasączeniu w wodzie lub w środku odladzającym rozmrażano w wodzie (metoda B). Wyniki badań kostek 15x15x15 cm przedstawiono w tablicy 3.3.1-1 i 3.3.1-2, a próbek w postaci odwiertów rdzeniowych przedstawiono w tablicy 3.3.1-3 i w tablicy 3.3.1-4. Przykładowo, na rys. 3.3.1-2 pokazano widok pobranych odwiertów rdzeniowych, z których przygotowano próbki do badania mrozoodporności w wodzie. Próbki porównawcze (świadki nie poddane mrożeniu) przetrzymywano w wodzie.

Temperatura w komorze podczas cyklu zamrażania wynosiła  $-18 \pm 2^{\circ}\text{C}$ , natomiast podczas cyklu odmrażania wynosiła  $+18 \pm 2^{\circ}\text{C}$ . Typowy przebieg temperatury w komorze podczas cykli zamrażania-odmrażania przedstawiono na rys. 3.3.1-1. Badania mrozoodporności w wodzie i w środkach odladzających przeprowadzono zgodnie z normą NO-17-A204:2015 (metodyka zgodna z PN-88/B-06250 *Beton zwykły*), przy czym próbki nasączone w środkach odladzających zamrażane w powietrzu

i rozmrażane w wodzie, co 25 cykli wyjmowano z komory i ponownie nasączano środkiem odladzającym.



Rys. 3.3.1-1. Typowy przebieg temperatury w komorze zamrażalniczej podczas cykli zamrażania-odmrażania

Zakres pracy obejmował:

- oględziny zewnętrzne,
- oznaczenie wytrzymałości na ściskanie, wg PN-EN 12390-3:2019-07 próbek po 200 cyklach zamrażania-odmrażania oraz próbek świadków przetrzymywanych w wodzie lub w środku odladzającym przez cały czas badania odporności na działanie mrozu (określenie obniżenia wytrzymałości),
- oznaczenie ubytku masy.

### Oględziny zewnętrzne

Podczas trwania cykli zamrażania-odmrażania kontrolowano stan próbek.

Próbki w postaci odwiertów rdzeniowych oraz próbki w postaci kostek o wymiarach 15x15x15 cm nie wykazały oznak degradacji.

### Ubytek masy

Po 200 cyklach zamrażania-odmrażania oznaczono ubytek masy próbek nasączonych wodą lub środkami odladzającymi dokonując pomiaru masy próbek przed poddaniem ich cyklom zamrażania i odmrażania oraz po wyjęciu z komory zamrażalniczej. Pomiary masy wykonano przy użyciu wagi elektronicznej typ B-15 firmy AXIS (nr fabr. 681) dla próbek nasączonych wodą lub środkiem odladzającym przed poddaniem ich 200 cyklom zamrażania w temperaturze  $(-18 \pm 2) ^\circ\text{C}$  i odmrażania w temperaturze  $(+18 \pm 2) ^\circ\text{C}$  oraz po wyjęciu z komory zamrażalniczej. Wyniki badań przedstawiono w tablicach 3.3.1-1 ÷ 3.3.1-4.

|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 24<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|

## Obniżenie wytrzymałości na ściskanie

Badania wytrzymałości na ściskanie wykonano przy użyciu maszyny wytrzymałościowej do prób statycznych 3000 kN typ 50-C58/H firmy Controls (nr fabr. 94071841). Obniżenie wytrzymałości na ściskanie określono porównując wytrzymałości uzyskane po badaniach mrozoodporności z wytrzymałością próbek „świadków”. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie przedstawiono w tablicach 3.3.1-1 ÷ 3.3.1-4.

Wyniki badań (wartości średnie) przeprowadzone na próbkach w postaci kostek o boku 15 cm dotyczące badań mrozoodporności w wodzie i w środkach odladzających (zestawiono w tablicy 3.3.1-5. Wyniki badań przeprowadzonych na próbkach w postaci odwiertów rdzeniowych, dotyczące badań mrozoodporności w wodzie i w środku odladzającym Nordway KF przedstawiono w tablicy 3.3.1-6.

### Próbki w postaci kostek o wymiarach 15x15x15 cm

**Tablica 3.3.1-1. Wyniki badań ubytku masy i wytrzymałości na ściskanie po badaniach mrozoodporności w wodzie próbek 15x15x15 cm** (*s* – odchylenie standardowe, *v* - współczynnik zmienności, %)

| Nr próbki<br>Kostki 15x15x15 cm                               | Masa próbki [g] |              | Ubytek masy                                        | Sila                                                 | Wytrzymałość na ściskanie                       |
|---------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                                                               | przed badaniem  | po badaniach | [%]                                                | [kN]                                                 | [MPa]                                           |
| <b>PRÓBKİ ŚWIADKI (przetrzymanywane w wodzie)</b>             |                 |              |                                                    |                                                      |                                                 |
| R2/19                                                         | -               | -            | -                                                  | 1603,8                                               | 70,6                                            |
| R2/20                                                         | -               | -            | -                                                  | 1601,5                                               | 70,7                                            |
| R2/22                                                         | -               | -            | -                                                  | 1734,2                                               | 77,1                                            |
| R2/23                                                         | -               | -            | -                                                  | 1754,9                                               | 76,9                                            |
| R2/24                                                         | -               | -            | -                                                  | 1677,9                                               | 74,6                                            |
| R2/25                                                         | -               | -            | -                                                  | 1587,3                                               | 70,5                                            |
| <b>ŚREDNIA</b>                                                | -               | -            | -                                                  | <b>1424,0</b><br><i>s</i> = 178,1<br><i>v</i> = 12,5 | <b>73,4</b><br><i>s</i> = 3,2<br><i>v</i> = 4,3 |
| <b>BADANIA MROZOODPORNOŚCI W WODZIE (200 cykli)</b>           |                 |              |                                                    |                                                      |                                                 |
| R2/13                                                         | 8146            | 8149         | -0,04                                              | 1566,3                                               | 68,7                                            |
| R2/14                                                         | 8201            | 8201         | 0,00                                               | 1645,0                                               | 72,5                                            |
| R2/15                                                         | 8208            | 8206         | 0,02                                               | 1706,3                                               | 75,4                                            |
| R2/16                                                         | 8144            | 8145         | -0,01                                              | 1612,2                                               | 71,2                                            |
| R2/17                                                         | 8186            | 8186         | 0,00                                               | 1548,4                                               | 67,8                                            |
| R2/18                                                         | 8129            | 8134         | -0,06                                              | 1520,3                                               | 66,9                                            |
| <b>ŚREDNIA</b>                                                | -               | -            | <b>-0,01</b><br><i>s</i> = 0,03<br><i>v</i> = -212 | <b>1599,8</b><br><i>s</i> = 68,7<br><i>v</i> = 4,3   | <b>70,4</b><br><i>s</i> = 3,2<br><i>v</i> = 4,6 |
| <b>spadek wytrzymałości po badaniach mrozoodporności, [%]</b> |                 |              |                                                    |                                                      | <b>4,1</b>                                      |
| <b>ubytek masy [%]</b>                                        |                 |              | <b>-0,01</b><br><b>wzrost</b>                      | -                                                    | -                                               |

|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 25<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|

Tablica 3.3.1-2. Wyniki badań ubytku masy i wytrzymałości na ściskanie po badaniach mrozoodporności w środkach odladzających (metoda B) – w środku odladzającym na bazie mrówczanu potasu i w środku odladzającym na bazie mrówczanu sodu (próbki 15x15x15 cm) (*s* – odchylenie standardowe, *v* – współczynnik zmienności, %).

| Nr próbki<br>15x15x15 cm                                                                                                                                                                           | Masa próbki [g] |              | Ubytek masy                                  | Sila                                          | Wytrzymałość na ściskanie                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                    | przed badaniem  | po badaniach | [%]                                          | [kN]                                          | [MPa]                                      |
| <b>BADANIA MROZOODPORNOŚCI W WODZIE PO NASĄCZENIU W ŚRODKU ODLADZAJĄCYM – NA BAZIE MRÓWCZANU POTASU</b> – metoda B (próbki wyjmowane z komory i nasączone co 25 cykli)                             |                 |              |                                              |                                               |                                            |
| R2/3                                                                                                                                                                                               | 8156            | 8150         | 0,07                                         | 1532,4                                        | 67,7                                       |
| R2/4                                                                                                                                                                                               | 8187            | 8181         | 0,07                                         | 1549,4                                        | 68,1                                       |
| R2/5                                                                                                                                                                                               | 8141            | 8133         | 0,10                                         | 1504,9                                        | 65,9                                       |
| R2/6                                                                                                                                                                                               | 8188            | 8178         | 0,12                                         | 1446,2                                        | 63,2                                       |
| R2/7                                                                                                                                                                                               | 8258            | 8255         | 0,04                                         | 1547,5                                        | 67,8                                       |
| R2/8                                                                                                                                                                                               | 8256            | 8253         | 0,04                                         | 1515,5                                        | 66,4                                       |
| ŚREDNIA                                                                                                                                                                                            | -               | -            | 0,07<br><i>s</i> = 0,03<br><i>v</i> = 46,2   | 1516,0<br><i>s</i> = 42,0<br><i>v</i> = 2,8 % | 66,5<br><i>s</i> = 2,0<br><i>v</i> = 2,9 % |
| spadek wytrzymałości po badaniach mrozoodporności w stosunku do próbek świadków przetrzymywanych w wodzie [%]                                                                                      |                 |              |                                              |                                               | 9,4                                        |
| ubytek masy [%]                                                                                                                                                                                    |                 |              | 0,07<br>wzrost                               | -                                             | -                                          |
| <b>BADANIA MROZOODPORNOŚCI W WODZIE PO NASĄCZENIU W ŚRODKU ODLADZAJĄCYM – NA BAZIE MRÓWCZANU SODU</b> (roztwór o stężeniu 15% wag.) – metoda B (próbki wyjmowane z komory i nasączone co 25 cykli) |                 |              |                                              |                                               |                                            |
| R2/44                                                                                                                                                                                              | 8225            | 8226         | -0,01                                        | 1684,5                                        | 73,8                                       |
| R2/45                                                                                                                                                                                              | 8131            | 8134         | -0,04                                        | 1695,1                                        | 75,3                                       |
| R2/46                                                                                                                                                                                              | 8209            | 8212         | -0,04                                        | 1624,9                                        | 71,3                                       |
| R2/47                                                                                                                                                                                              | 8191            | 8193         | -0,02                                        | 1666,4                                        | 74,1                                       |
| R2/48                                                                                                                                                                                              | 8169            | 8171         | -0,02                                        | 1578,7                                        | 69,1                                       |
| R2/49                                                                                                                                                                                              | 8136            | 8139         | -0,04                                        | 1655,4                                        | 73,6                                       |
| ŚREDNIA                                                                                                                                                                                            |                 |              | -0,03<br><i>s</i> = 0,01<br><i>v</i> = -35,2 | 1650,8<br><i>s</i> = 44,4<br><i>v</i> = 2,7 % | 72,9<br><i>s</i> = 2,3<br><i>v</i> = 3,1 % |
| spadek wytrzymałości po badaniach mrozoodporności w stosunku do próbek świadków przetrzymywanych w wodzie, [%]                                                                                     |                 |              |                                              |                                               | 0,72                                       |
| ubytek masy [%]                                                                                                                                                                                    |                 |              | -0,03<br>wzrost                              | -                                             | -                                          |

### Próbki w postaci odwiertów rdzeniowych

Na rys. 3.3.1-2 pokazano odwierty rdzeniowe, z których przygotowano próbki metodą cięcia i szlifowania, do badań mrozoodporności w wodzie.



Rys. 3.3.1-2. Pobrane odwierty rdzeniowe, z których wykonano próbki przeznaczone do badań mrozoodporności w wodzie

**Tablica 3.3.1-3. Wyniki badań ubytku masy i wytrzymałości na ściskanie po badaniach mrozoodporności w wodzie próbek w postaci odwiertów rdzeniowych o średnicy i wysokości 15 cm**

| Nr próbki<br>Odwierty rdzeniowe<br>o średnicy 15 cm    | Masa próbki [g] |              | Ubytek<br>masy               | Siła                           | Wytrzymałość<br>na ściskanie |
|--------------------------------------------------------|-----------------|--------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
|                                                        | przed badaniem  | po badaniach | [%]                          | [kN]                           | [MPa]                        |
| PRÓBKİ ŚWIADKI (przetrzymywane w wodzie)               |                 |              |                              |                                |                              |
| R2/24/ODW                                              | -               | -            | -                            | 1297,8                         | 70,6                         |
| R2/25/ODW                                              | -               | -            | -                            | 1363,9                         | 74,0                         |
| R2/26/ODW                                              | -               | -            | -                            | 1288,6                         | 70,1                         |
| R2/27/ODW                                              | -               | -            | -                            | 1387,8                         | 75,4                         |
| ŚREDNIA                                                | -               | -            | -                            | 1334,5<br>s = 48,9<br>v = 3,7  | 72,5<br>s = 2,6<br>v = 3,6   |
| BADANIA MROZOODPORNOŚCI W WODZIE                       |                 |              |                              |                                |                              |
| R2/20/ODW                                              | 6831            | 6829         | 0,03                         | 1300,7                         | 70,7                         |
| R2/21/ODW                                              | 6785            | 6784         | 0,01                         | 1116,5                         | 60,7                         |
| R2/22/ODW                                              | 6891            | 6889         | 0,03                         | 1329,3                         | 72,2                         |
| R2/23/ODW                                              | 6925            | 6923         | 0,03                         | 1317,2                         | 71,6                         |
| ŚREDNIA                                                | -               | -            | 0,03<br>s = 0,01<br>v = 28,1 | 1265,9<br>s = 100,3<br>v = 7,9 | 68,8<br>s = 5,4<br>v = 7,9   |
| spadek wytrzymałości po badaniach mrozoodporności, [%] |                 |              |                              |                                | 5,1                          |
| ubytek masy [%]                                        |                 |              | 0,03                         | -                              | -                            |

|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 27<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|

**Tablica 3.3.1-4. Wyniki badań ubytku masy i wytrzymałości na ściskanie po badaniach mrozoodporności w środku odladzającym Nordway KF (metoda B) próbek w postaci odwiertów rdzeniowych o średnicy i wysokości ok. 15 cm**

| Nr próbki<br>Odwierty rdzeniowe<br>o średnicy 15 cm                                                                                                                    | Masa próbki [g] |              | Ubytek<br>masy                                     | Siła                                                | Wytrzymałość<br>na ściskanie                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|--------------|----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                        | przed badaniem  | po badaniach | [%]                                                | [kN]                                                | [MPa]                                           |
| <b>BADANIA MROZOODPORNOŚCI W WODZIE PO NASĄCZENIU W ŚRODKU ODLADZAJĄCYM - NA BAZIE MRÓWCZANU POTASU – metoda B (próbki wyjmowane z komory i nasączone co 25 cykli)</b> |                 |              |                                                    |                                                     |                                                 |
| R2/28/ODW                                                                                                                                                              | 6869            | 6886         | -0,25                                              | 1257,4                                              | 68,2                                            |
| R2/29/ODW                                                                                                                                                              | 6880            | 6896         | -0,23                                              | 1086,1                                              | 58,9                                            |
| R2/30/ODW                                                                                                                                                              | 6839            | 6858         | -0,28                                              | 1205,0                                              | 65,4                                            |
| R2/31/ODW                                                                                                                                                              | 6778            | 6795         | -0,25                                              | 1039,5                                              | 56,4                                            |
| <b>ŚREDNIA</b>                                                                                                                                                         | -               | -            | <b>-0,25</b><br><i>s = 0,02</i><br><i>v = -6,5</i> | <b>1147,0</b><br><i>s = 101,4</i><br><i>v = 8,8</i> | <b>62,2</b><br><i>s = 5,5</i><br><i>v = 8,8</i> |
| <b>spadek wytrzymałości po badaniach mrozoodporności w stosunku do próbek świadków przetrzymywanych w wodzie, [%]</b>                                                  |                 |              |                                                    |                                                     | <b>14,2</b>                                     |
| <b>ubytek masy [%]</b>                                                                                                                                                 |                 |              | <b>-0,25</b><br><b>wzrost</b>                      |                                                     |                                                 |

W wyniku badań mrozoodporności w wodzie i w środkach odladzających Nordway KF na bazie mrówczanu potasu i Unisalt SF na bazie mrówczanu sodu nie stwierdzono przekroczenia wymagań normy NO-17-A204:2015, zgodnie z którą spadek wytrzymałości na ściskanie betonu klasy C35/45 w stosunku do próbek świadków po 200 cyklach zamrażania i odmrażania nie powinien przekraczać 19,0 %, a ubytek masy nie powinien być większy niż 4,9%. Próbki sześciennie i próbki w postaci odwiertów rdzeniowych w badaniu mrozoodporności w wodzie oraz przy narażeniu na roztwór mrówczanu potasu i roztwór mrówczanu sodu wykazały spadek wytrzymałości na ściskanie, największy w przypadku narażenia na roztwór mrówczanu potasu wynoszący 9,4 % w przypadku próbek sześciennych i 14,2 % w przypadku odwiertów rdzeniowych.

#### **3.3.1.1. Zestawienie wyników badań mrozoodporności metodą zwykłą i odporności na środki odladzające**

W tablicy 3.3.1-5 zestawiono wyniki badań ubytku masy i wytrzymałości na ściskanie próbek o wymiarach 15x15x15 cm, poddanych cyklom zamrażania-odmrażania w wodzie po nasączeniu w wodzie lub w środkach odladzających (Nordway KF na bazie mrówczanu potasu, Unisalt SF na bazie mrówczanu sodu).

|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 28<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|

Tablica 3.3.1-6 zawiera zestawienie wyników badań dotyczących próbek w postaci odwiertów rdzeniowych.

**Tablica 3.3.1-5. Zestawienie wyników badań ubytku masy i wytrzymałości na ściskanie po badaniach mrozoodporności w wodzie (nasączonych wodą lub środkiem odladzającym) próbek o wymiarach 15x15x15 cm**

| Próbki w postaci kostek<br>o wymiarach 15x15x15 cm                                                                                    | Próbki świadki             | Próbki badane  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------|
| <i>Próbki nasączone w wodzie, rozmrażane w wodzie</i>                                                                                 |                            |                |
| Wytrzymałość na ściskanie, wartość średnia<br>[MPa]                                                                                   | 73,4<br>(świadki w wodzie) | 70,4           |
| Spadek wytrzymałości, [%]                                                                                                             | -                          | 4,1            |
| Ubytek masy, wartość śr. [%]                                                                                                          | -                          | -0,01 wzrost   |
| <i>Próbki nasączone co 25 cykli w środku odladzającym Nordway KF na bazie mrówczanu potasu, rozmrażane w wodzie (metoda B)</i>        |                            |                |
| Wytrzymałość na ściskanie, wartość średnia<br>[MPa]                                                                                   | 73,4<br>(świadki w wodzie) | 66,6           |
| Spadek wytrzymałości, [%]                                                                                                             | -                          | 9,4            |
| Ubytek masy, wartość śr. [%]                                                                                                          | -                          | -0,03 (wzrost) |
| <i>Próbki nasączone co 25 cykli w 15 % m/m roztworze środka odladzającego na bazie mrówczanu sodu, rozmrażane w wodzie (metoda B)</i> |                            |                |
| Wytrzymałość na ściskanie, wartość średnia<br>[MPa]                                                                                   | 73,4<br>(świadki w wodzie) | 72,9           |
| Spadek wytrzymałości, [%]                                                                                                             | -                          | 0,72           |
| Ubytek masy, wartość śr. [%]                                                                                                          | -                          | -0,03 (wzrost) |

**Tablica 3.3.1-6. Zestawienie wyników badań ubytku masy i wytrzymałości na ściskanie po badaniach mrozoodporności w wodzie (nasączonych wodą lub środkiem odladzającym na bazie mrówczanu potasu) próbek w postaci odwiertów rdzeniowych o średnicy ok. 15 cm**

| Próbki w postaci odwiertów rdzeniowych<br>o średnicy ok. 14,5 cm                                                    | Próbki świadki             | Próbki badane  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------|
| <i>Próbki nasączone w wodzie, rozmrażane w wodzie</i>                                                               |                            |                |
| Wytrzymałość na ściskanie, wartość średnia<br>[MPa]                                                                 | 72,5<br>(świadki w wodzie) | 68,8           |
| Spadek wytrzymałości, [%]                                                                                           | -                          | 5,1            |
| Ubytek masy, wartość śr. [%]                                                                                        | -                          | 0,03           |
| <i>Próbki nasączone co 25 cykli w środku odladzającym na bazie mrówczanu potasu, rozmrażane w wodzie (metoda B)</i> |                            |                |
| Wytrzymałość na ściskanie, wartość średnia<br>[MPa]                                                                 | 72,5<br>(świadki w wodzie) | 62,2           |
| Spadek wytrzymałości w stosunku do próbek<br>świadków umieszczonych w wodzie, [%]                                   | -                          | 14,2           |
| Ubytek masy, wartość śr. [%]                                                                                        | -                          | -0,25 (wzrost) |

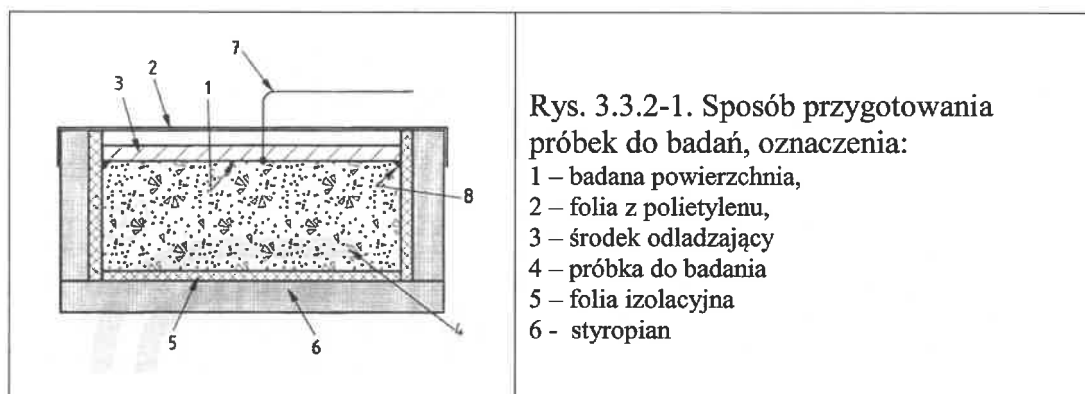
W wyniku przeprowadzonych badań nie stwierdzono ubytku masy, ani ubytku wytrzymałości na ściskanie przekraczających wymagania normy NO-17-A204:2015 dla betonu cementowego klasy C35/45.

### 3.3.2. Odporność na powierzchniowe złuszczenie

Badania odporności na powierzchniowe złuszczenie polegały na poddaniu próbek 56 cyklom zamrażania-odmrażania zgodnie z normą NO-17-A204:2015 *Nawierzchnie lotniskowe. Nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania i metody badań*, metodą opracowaną na podstawie specyfikacji technicznej CEN/TS 12390-9:2007 *Testing hardened concrete – Part.9: Freeze-thaw resistance – Scaling*, przy czym zamiast 3% roztworu soli kuchennej, jak przewiduje wymieniony dokument, zamrażanie-odmrażanie prowadzono w obecności wody oraz środka odladzającego Nordway KF na bazie mrówczanu potasu. Zgodnie z metodyką badań materiał, który zostanie złuszczony, należy zebrać i zważyć. Według NO-17-A204:2015 odporność na złuszczenie uznaje się za bardzo dobrą, jeżeli ubytek masy po 56 cyklach jest mniejszy od  $0,01 \text{ kg/m}^2$ .

Próbki do badań przygotowano w Instytucie Technicznym Wojsk Lotniczych, z plastrów o grubości  $(50 \pm 2) \text{ mm}$ , wyciętych z kostek o wymiarach  $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}$  i z odwiertów rdzeniowych o średnicy 15 cm prostopadle do powierzchni zagładzanej.

Powierzchnie plastrów, oprócz powierzchni badanej zaizolowano termicznie za pomocą styropianu, w sposób przedstawiony na rys. 3.3.2-1. Próbki do badań odporności na powierzchniowe złuszczenie przygotowano również z odwiertów rdzeniowych. Próbki przygotowano po odcięciu warstwy faktury i następnie odcięciu plastra o grubości  $(50 \pm 2) \text{ mm}$ . Widok przykładowych gotowych próbek przedstawiono na rys. 3.3.2-2, a podczas badań - na rys. 3.3.2-3.



|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 30<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|



Rys. 3.3.2-2. Widok przykładowych gotowych próbek do badań odporności na powierzchniowe złuszczenie

Widok próbek podczas badań w komorze zamrażalniczej przedstawiono na rys. 3.3.2-3.



Rys. 3.3.2-3. Widok próbek podczas badań w komorze zamrażalniczej

Dla każdego sposobu mrożenia przygotowano 8 próbek wyciętych z kostek i 4 próbki wycięte z odwiertów rdzeniowych. Połowa próbek wyciętych z kostek została zalana wodą lub środkiem odladzającym i pozostawiona w warunkach laboratoryjnych. Pojedynczy cykl zamrażania i odmrażania trwa 24 godziny. Podczas badań rejestrowano przebieg temperatury w roztworach. Typowy przebieg temperatury podczas cykli zamrażania-odmrażania przedstawiono na rys. 3.3.2-4. Badania wykonano z wykorzystaniem komory zamrażalniczej K015 firmy ToRoPol (nr fabr. 529).



Rys.3.3.2-4. Typowy przebieg temperatury w czasie cykli zamrażania-rozmrażania

Po 56 cyklach zamrażania-odmrażania materiał złuszczoney zebrano i zważono z wykorzystaniem wagi elektronicznej WPX 200/2000 firmy Radwag. Wyniki przedstawiono w tablicy 3.3.2-1. Materiał złuszczoney pokazano na rys. 3.3.2-5 (próbki wycięte z kostek i z odwiertów rdzeniowych).

Tablica 3.3.2-1. Wyniki badań odporności betonu na powierzchniowe złuszczenie

| Typ próbki                                     | Nr próbki | Narażenie próbki                     | Masa złuszczonego materiału [g] | Masa złuszczonego materiału [kg/m <sup>2</sup> ] |
|------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------|
| Próbki wycięte z kostek o wymiarach 15x15x5 cm | R2/30A    | woda                                 | 0,128                           | 0,006                                            |
|                                                | R2/31A    | destylowana                          | 0,052                           | 0,002                                            |
|                                                | R2/39A    | Nordway KF na bazie mrówczanu potasu | Nie stwierdzono                 | -                                                |
|                                                | R2/40A    | Nordway KF na bazie mrówczanu potasu | Nie stwierdzono                 | -                                                |
| Próbki wycięte z odwiertów rdzeniowych         | R2/13/ODW | woda                                 | 0,235                           | 0,013                                            |
|                                                | R2/14/ODW | destylowana                          | 0,177                           | 0,010                                            |
|                                                | R2/15/ODW | Nordway KF na bazie mrówczanu potasu | Nie stwierdzono                 | -                                                |
|                                                | R2/16/ODW | Nordway KF na bazie mrówczanu potasu | Nie stwierdzono                 | -                                                |



Rys. 3.3.2-5. Materiał złuszczoney zebrany z próbek wyciętych, a) z kostek 15x15x15 cm i b) z odwiertów rdzeniowych, po badaniach odporności na powierzchniowe złuszczenie w wodzie

|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 32<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|

Na podstawie wyników badań odporności na powierzchniowe złuszczenie po 56 cyklach zamrażania-odmrażania stwierdzono obecność materiału złuszczonego na powierzchni próbek przygotowanych z kostek 15x15x15 cm i z odwiertów rdzeniowych zalanych wodą. Ilość materiału złuszczonego wynosiła max ok. 0,01 kg/m<sup>2</sup> (dopuszczalna ilość wynosi 0,01 kg/m<sup>2</sup>).

W przypadku próbek, przygotowanych zarówno z kostek o wymiarach 15x15x15 cm, jak i z odwiertów rdzeniowych, narażonych na środek odladzający Nordway KF nie stwierdzono obecności materiału złuszczonego, nie zaobserwowano też materiału złuszczonego na powierzchni próbek świadków (nie mrożonych) przygotowanych z kostek o boku 15 cm zalanych wodą lub środkiem odladzającym.

Próbki po starzeniu poddano badaniom wytrzymałości na odrywanie. Wyniki badań przedstawiono w pkt. 3.4.

### **3.4. Wytrzymałość na odrywanie**

#### **3.4.1. Informacje ogólne**

Badania wytrzymałości na odrywanie wykonano na:

- próbkach w postaci odwiertów rdzeniowych pobranych z nawierzchni wykonanego odcinka doświadczalnego,
- próbkach - plastrach wyciętych z próbek kostek i odwiertów rdzeniowych po badaniach odporności na powierzchniowe złuszczenie (pkt. 3.3.2).

Badania wykonano zgodnie z normą PN-EN 1542:2000 *Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych. Metody badań. Pomiar przyczepności przez odrywanie*. Zastosowane wyposażenie do badań (aparat pull-off firmy Josef Freudl typ F15DEasyM2000, nr fabr. 081026) przedstawiono na rys. 3.4.1-1.



Rys. 3.4.1-1. Aparat pull-off firmy Josef Freudl

### 3.4.2. Badania na nawierzchni odcinka doświadczalnego

Do badań wytrzymałości na odrywanie wykorzystano odwierty rdzeniowe o średnicy 15 cm, pobrane w dniu 30.08.2022 r. z nawierzchni odcinka doświadczalnego wykonanego na terenie na terenie Wytwórni Betonu firmy Max Bögl Polska Sp. z o.o. umiejscowionej przy lotnisku im. Fryderyka Chopina w Warszawie w dniu 04.08.22 r.

Uzyskane wyniki badań przedstawiono w tablicy 3.4.2-1 i na rys. 3.4.2-1.

**Tablica 3.4.2-1. Wyniki badań wytrzymałości na odrywanie warstwy powierzchniowej nawierzchni odcinka doświadczalnego z wykorzystaniem odwiertów rdzeniowych pobranych w dniu 30.08.2022 r.**

| Nr próbki                  | Siła przy zerwaniu [N] | Wytrzymałość na odrywanie [MPa] | Rodzaj zniszczenia                                    |
|----------------------------|------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------|
| R2/10                      | 6437                   | 3,278                           | 50 % kohezyjnie w betonie, 50 % adhezyjnie beton-klej |
| R2/11                      | 6178                   | 3,146                           | 100 % kohezyjnie w betonie                            |
| R2/12                      | 6393                   | 3,256                           | 100 % kohezyjnie w betonie                            |
| Wartość średnia            | <b>6336</b>            | <b>3,23</b>                     | -                                                     |
| Odchylenie standardowe     | 139                    | 0,07                            | -                                                     |
| Współczynnik zmienności, % | 2,2                    | 2,19                            | -                                                     |



Rys. 3.4.2-1. Rodzaj zniszczenia podczas badań wytrzymałości na odrywanie warstwy powierzchniowej nawierzchni odcinka doświadczalnego (badania wykonane z wykorzystaniem odwiertów rdzeniowych. Zerwanie kohezyjne w betonie.

|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 34<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|

Wytrzymałość na odrywanie (wartość średnia) warstwy powierzchniowej ułożonego betonu wynosi: 3,2 MPa. Zgodnie z wymaganiami normy NO-17-A204:2015 *Nawierzchnie lotniskowe. Nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania i metody badań*, średnia wytrzymałość warstwy powierzchniowej nowych (wiek do 10 lat) lotniskowych nawierzchni betonowych powinna wynosić nie mniej niż 2,0 MPa, przy czym uzyskana wartość pojedynczego pomiaru nie powinna być mniejsza niż 1,8 MPa. Uzyskane wartości wytrzymałości na odrywanie oznaczają, że oba powyższe warunki zostały **spełnione**.

### 3.4.3. Próbkki po badaniach odporności na powierzchniowe złuszczenie

Wyniki badań przedstawiono w tablicy 3.4.3-1 dotyczącej próbek przygotowanych z kostek o wymiarach 15x15x15 cm i tablicy 3.4.3-2 dotyczącej próbek przygotowanych z odwiertów rdzeniowych.

**Tablica 3.4.3-1. Wyniki badań wytrzymałości na odrywanie próbek po badaniach odporności na powierzchniowe złuszczenie w wodzie i w środku odladzającym Nordway KF na bazie mrówczanu potasu (próbki przygotowane z kostek 15x15x15 cm pobranych w dn. 04.08.2022 r.)**

| Narażenie próbki                                                                                   | Nr próbki | Siła przy zerwaniu [N] | Wytrzymałość na odrywanie [MPa] | Rodzaj zniszczenia                                     | Wartość średnia                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Próbki świadki zalane wodą                                                                         | R2/30B    | 7078                   | 3,605                           | 100 % kohezynie w betonie                              | <b>3,61</b><br>s = 0,00<br>v = 0,06                   |
|                                                                                                    | R2/31B    | 7085                   | 3,608                           | 100 % kohezynie w betonie                              |                                                       |
| Odporność na powierzchniowe złuszczenie w wodzie                                                   | R2/30A    | 5851                   | 2,979                           | 100 % kohezynie w betonie                              | <b>2,92</b><br>s = 0,08<br>v = 2,7<br>spadek: 19,0 %  |
|                                                                                                    | R2/31A    | 5628                   | 2,866                           | 100 % kohezynie w betonie                              |                                                       |
| Próbki świadki zalane środkiem odladzającym Nordway KF na bazie mrówczanu potasu                   | R2/39B    | 4996                   | 2,544                           | 30 % kohezynie w betonie<br>70 % adhezyjnie klej/beton | <b>2,38</b><br>s = 0,23<br>v = 9,9                    |
|                                                                                                    | R2/40B    | 4345                   | 2,212                           | 40 % kohezynie w betonie<br>60 % adhezyjnie klej/beton |                                                       |
| Odporność na powierzchniowe złuszczenie w środku odladzającym Nordway KF na bazie mrówczanu potasu | R2/39A    | 3970                   | 2,021                           | 10 % kohezynie w betonie<br>90 % adhezyjnie klej/beton | <b>1,86</b><br>s = 0,22<br>v = 11,9<br>spadek: 21,6 % |
|                                                                                                    | R2/40A    | 3352                   | 1,707                           | 20 % kohezynie w betonie<br>80 % adhezyjnie klej/beton |                                                       |

|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 35<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|

**Tablica 3.4.3-2. Wyniki badań wytrzymałości na odrywanie próbek w postaci odwiertów rdzeniowych po badaniach odporności na powierzchniowe złuszczenie w wodzie i w środku odladzającym Nordway KF na bazie mrówczanu potasu (próbki przygotowane z odwiertów rdzeniowych o średnicy 15 cm)**

| Narażenie próbki                                                                           | Nr próbki | Siła przy zerwaniu [N] | Wytrzymałość na odrywanie [MPa] | Rodzaj zniszczenia                                    | Wartość średnia                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Odporność na powierzchniowe złuszczenie w wodzie                                           | R2/13/ODW | 5568                   | 2,836                           | 100 % kohezyjnie w betonie                            | <b>2,80</b><br>s = 0,06<br>v = 2,1 |
|                                                                                            | R2/14/ODW | 5410                   | 2,755                           | 90 % kohezyjnie w betonie, 10 % adhezyjnie klej/beton |                                    |
| Odporność na powierzchniowe złuszczenie w środku odladzającym Nordway KF (mrówczan potasu) | R2/15/ODW | 2763                   | 1,407                           | 100 % adhezyjnie klej/beton                           | <b>1,45</b><br>s = 0,06<br>v = 4,4 |
|                                                                                            | R2/16/ODW | 2942                   | 1,498                           | 5 % kohezyjnie w betonie, 95% adhezyjnie klej/beton   |                                    |

W wyniku badań odporności na powierzchniowe złuszczenie (56 cykli) próbek wykonanych z kostek o wymiarach 15x15x15 cm i próbek przygotowanych z odwiertów rdzeniowych zalanych wodą i poddanych cykлом zamrażania-odmrażania uzyskane wartości średnie wytrzymałości na odrywanie wynoszą, odpowiednio 2,8 MPa i 2,8 MPa. Spadek wytrzymałości na odrywanie próbek sześciennych po badaniach odporności na powierzchniowe złuszczenie w stosunku do próbek świadków wynosi 19,0 %.

Uzyskane wartości wytrzymałości na odrywanie próbek narażonych na środek odladzający na bazie mrówczanu potasu są niższe o ok. 1 MPa od uzyskanych dla próbek po badaniu odporności na powierzchniowe złuszczenie w wodzie.

Spadek wytrzymałości na odrywanie próbek po badaniach odporności na powierzchniowe złuszczenie w stosunku do próbek świadków w przypadku narażenia na środek odladzający Nordway KF wynosi ok. 21,6 %. Uzyskane wartości wytrzymałości na odrywanie próbek przygotowanych z kostek o boku 15 cm poddanych badaniu odporności na powierzchniowe złuszczenie w środku odladzającym Nordway KF na bazie mrówczanu potasu wynoszą ok. 1,9 MPa.

Uzyskana wartość wytrzymałości na odrywanie próbek przygotowanych z odwiertów rdzeniowych poddanych badaniu odporności na powierzchniowe złuszczenie w wodzie i w środku odladzającym Nordway KF na bazie mrówczanu potasu wynosi ok. 1,5 MPa.

Rodzaj zniszczenia jest zróżnicowany. Zniszczenie miało głównie charakter

|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 36<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|

częściowo kohezyjny w betonie i częściowo adhezyjny klej-beton.

## 4. BADANIA EKSPLOATACYJNE

### 4.1. ZAKRES BADAŃ

Ze względu na czas trwania układania ręcznego odcinka doświadczalnego i wiązanie cementu, nie było możliwe nadanie faktury powierzchni tego odcinka. W związku z powyższym badania eksploatacyjne wykonano na próbkach pobranych podczas układania odcinka doświadczalnego (wskaźnik szorstkości) i na próbkach odwierconych z nawierzchni odcinka doświadczalnego (wytrzymałość na odrywanie).

Zakres badań obejmował:

- badania szorstkości – do badań wykorzystano próbki o wymiarach 15x15x70 cm (po badaniach wytrzymałości na zginanie),
- badania wytrzymałości na odrywanie – do badań wykorzystano odwierty rdzeniowe o średnicy 15 cm, pobrane w dniu 30.08.2022 r. z nawierzchni odcinka doświadczalnego. Wyniki badań przedstawiono w pkt. 3.4.2.

### 4.2. WSKAŹNIK SZORSTKOŚCI

Pomiary wskaźnika szorstkości wykonano tylko w celach poglądowych (brak nadania faktury powierzchni na odcinku doświadczalnym) na próbce laboratoryjnej w postaci belki o wymiarach 15x15x70 cm wykonanych w dn. 04.08.2022 r. (po próbie zginania), na jej powierzchni zacieranej, przy użyciu wahadła angielskiego typ B-190 o nr fabr. 8903 zgodnie z normą PN-EN 13036-4:2011 *Drogi samochodowe i lotniskowe – Metody badań – Część 4: metoda pomiaru oporów poślizgu/poślizgnięcia na powierzchni: Próba wahadła*. Pomiar polega na określeniu wielkości tarcia za pomocą ruchomego wahadła zakończonego stopką gumową. Mierzona jest strata energii spowodowana tarcie stopki po zwilżonej powierzchni, na określonej długości, a wynik wyrażany jest w jednostkach SRT.

Minimalne wartości wskazań dla nawierzchni spełniających warunki bezpieczeństwa ruchu przyjęto według *Instrukcji obsługi wahadła angielskiego typ B-190* i przedstawiono w tablicy 4.2 -1.

|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 37<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|

**Tablica 4.2-1. Kryteria oceny pomiarów wykonanych wahadłem angielskim**

| Kategoria | Charakterystyka badanego odcinka drogi                                                                                                                                                                                | Wielkość wskaźnika „W” [SRT] | Klasyfikacja                                                                                                                                                            |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A         | Najbardziej zagrożony, a mianowicie:<br>- pętle zwrotne,<br>- węzły drogowe i trasy o łukach mniejszych od 150 m,<br>- odcinki dłuższe od 100 m i pochyleniach większych od 5%,<br>- dojazdy do dróg szybkiego ruchu. | $W \geq 65$                  | <u>Dobra</u> – spełniająca w pełni wymagania szybkiego ruchu i sprzyjająca eliminacji wypadków spowodowanych poślizgiem pojazdów.                                       |
| B         | Powszechnie występujące m.in. dla dróg i warunków drogowych o innym charakterze aniżeli w kat. A i C.                                                                                                                 | $55 \leq W < 65$             | <u>Zadowalająca</u> – wystarczająca do spełnienia wszelkich wymogów bezpiecznego ruchu z wyjątkiem najbardziej niekorzystnych warunków, jakie mogą wystąpić na drogach. |
| C         | Odcinki proste o niewielkich pochyleniach, łagodne krzywizny, brak skrzyżowań, brak zakłóceń jak, np. ruch mieszany, warunki szczególnie dogodne do opanowania pojazdu na wypadek gwałtownej potrzeby hamowania.      | $45 \leq W < 55$             | <u>Dostateczna</u> – tylko dla sprzyjających warunków.                                                                                                                  |
| D         | Ogólnodostępne, wszystkie pozostałe fragmenty funkcjonalne dróg.                                                                                                                                                      | $W < 45$                     | <u>Niedostateczna</u> – „potencjalnie” śliska.                                                                                                                          |

Wyniki pomiarów wskaźnika szorstkości (w jednostkach SRT) powierzchni próbki z filmem wodnym przedstawiono w tablicy 4.2-2.

**Tablica 4.2-2. Wyniki pomiarów wskaźnika szorstkości uzyskanych przy użyciu wahadła angielskiego**

|                               | Wskaźnik szorstkości [SRT] |                |                |
|-------------------------------|----------------------------|----------------|----------------|
|                               | seria 1                    | seria 2        | seria 3        |
| Powierzchnia zagładzana belki | 65, 60, 60, 65             | 60, 60, 65, 60 | 60, 65, 60, 60 |
| <b>Wartość średnia:</b>       | <b>63</b>                  | <b>61</b>      | <b>61</b>      |
|                               | <b>62</b>                  |                |                |

W wyniku pomiarów wskaźnika szorstkości wykonanych przy użyciu wahadła angielskiego, na zacieranej powierzchni próbki w postaci belki, uzyskana wartość średnia mierzonej wielkości wynosiła 62 SRT.

|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 38<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|

## 5. ZESTAWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

W tablicy 5-1 zestawiono wymagania i wyniki badań zaprawy oraz betonu wykonanego z cementem CEM I 42,5 N-NA.

Tablica 5-1. Zestawienie wyników badań

| Lp.   | Właściwość                                                  | Jm. | Wyma-<br>gania                  | Wyniki badań                                                    | Badania<br>wg                            |                              |
|-------|-------------------------------------------------------------|-----|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------|------------------------------|
| 1     | Badania eksploatacyjne                                      |     |                                 |                                                                 |                                          |                              |
| 1.1   | Szorstkość -<br>-wskaźnik szorstkości,<br>wartość średnia   | -   | ≥ 55<br>(wahadło<br>angielskie) | 62<br>(powierzchnia zacierana belki<br>o wymiarach 15x15x70 cm) | PN-EN 13036-4:2011                       |                              |
| 1.2   | Wytrzymałość na<br>odrywanie (pull-off),<br>wartość średnia | MPa | ≥ 2,0                           | 3,2                                                             | NO-17-A204:2015<br>PN-EN 1542:2000       |                              |
| 2     | Badania zaprawy z badanym cementem                          |     |                                 |                                                                 |                                          |                              |
| 2.1   | Wytrzymałość na ściskanie                                   |     |                                 |                                                                 | PN-EN<br>196-1:2016-07                   |                              |
| 2.1.1 | – beleczki 4x4x16 cm cm, wartość średnia                    |     | Próbki wykonane<br>w temp. 20°C | Próbki wykonane<br>w temp. 35°C                                 |                                          |                              |
|       | - po 24 h                                                   | MPa | -                               | 8,4<br>(s = 0,4, v = 4,5 %)                                     |                                          | 21,6<br>(s = 0,4, v = 1,8 %) |
|       | - po 48 h                                                   |     | ≥ 10                            | 18,2<br>(s = 0,5, v = 2,7 %)                                    |                                          | 39,0<br>(s = 1,2, v = 3,0 %) |
|       | - po 72 h                                                   |     | -                               | -                                                               |                                          | -                            |
|       | - po 7 dniach                                               |     | -                               | 40,3<br>(s = 0,8, v = 1,9 %)                                    |                                          | 45,2<br>(s = 1,1, v = 2,4 %) |
|       | - po 8 dniach                                               |     | -                               | -                                                               |                                          | -                            |
|       | - po 28 dniach                                              |     | ≥ 42,5<br>≤ 62,5                | 51,4<br>(s = 0,4, v = 0,8 %)                                    |                                          | 52,9<br>(s = 1,1, v = 2,2 %) |
| 2.2   | Wytrzymałość na zginanie                                    |     |                                 |                                                                 | PN-EN<br>196-1:2016-07                   |                              |
| 2.2.2 | – beleczki 4x4x16 cm cm, wartość średnia                    |     | Próbki wykonane<br>w temp. 20°C | Próbki wykonane<br>w temp. 35°C                                 |                                          |                              |
|       | - po 24 h                                                   | MPa | -                               | 2,2<br>(s = 0,1, v = 6,0 %)                                     |                                          | 5,0<br>(s = 0,2, v = 3,3 %)  |
|       | - po 48 h                                                   |     | -                               | 3,9<br>(s = 0,1, v = 2,4 %)                                     |                                          | -                            |
|       | - po 72 h                                                   |     | -                               | -                                                               |                                          | 7,2<br>(s = 0,5, v = 6,9 %)  |
|       | - po 7 dniach                                               |     | -                               | 7,2<br>(s = 0,2, v = 2,8 %)                                     |                                          | -                            |
|       | - po 8 dniach                                               |     | -                               | -                                                               |                                          | 7,7<br>(s = 0,1, v = 1,6 %)  |
|       | - po 28 dniach                                              |     | -                               | 8,5<br>(s = 0,1, v = 1,3 %)                                     |                                          | 8,2<br>(s = 0,1, v = 2,1 %)  |
| 2.3   | Nasiąkliwość w wodzie zaprawy                               |     |                                 |                                                                 | PN-85/B-<br>04500                        |                              |
|       | – beleczki 4x4x16 cm cm, wartość średnia                    |     | Próbki wykonane<br>w temp. 20°C | Próbki wykonane<br>w temp. 35°C                                 |                                          |                              |
|       |                                                             | %   | -                               | 8,2<br>(s = 0,05, v = 0,7 %)                                    |                                          | 8,1<br>(s = 0,03, v = 0,3 %) |
| 3     | Badania betonu                                              |     |                                 |                                                                 |                                          |                              |
| 3.1   | Wytrzymałość na ściskanie                                   |     |                                 |                                                                 | NO-17-A204:2015<br>PN-EN 12390-3:2019-07 |                              |
| 3.1.1 | – kostki 15x15x15<br>cm, wartość średnia                    |     | klasa<br>C35/45                 |                                                                 |                                          |                              |
|       | - po 8 h                                                    | MPa | -                               | 2,4*                                                            |                                          |                              |

|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 39<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|

|       |                                                                                      |     |                                        |                                              |                                       |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------|
|       | - po 12 h                                                                            |     | -                                      | 16,1*                                        |                                       |
|       | - po 24 h                                                                            |     | -                                      | 28,3*                                        |                                       |
|       | - po 48 h                                                                            |     | -                                      | 39,1*                                        |                                       |
|       | - po 4 dniach                                                                        |     | -                                      | 52,2<br>(s = 1,8, v = 3,5 %)                 |                                       |
|       | - po 7 dniach                                                                        |     | -                                      | 54,7<br>(s = 1,3, v = 2,3 %)                 |                                       |
|       | - po 28 dniach                                                                       |     | ≥ 45                                   | 61,8<br>(s = 1,3, v = 2,1 %)                 |                                       |
| 3.1.2 | – odwierty rdzeniowe o średnicy 15 cm i wysokości 15 cm, wartość średnia             |     | klasa C35/45                           |                                              |                                       |
|       | - po 7 dniach                                                                        | MPa | -                                      | 44,4<br>(s = 1,4, v = 3,2 %)                 |                                       |
|       | - po 28 dniach                                                                       |     | ≥ 45                                   | 64,7<br>(s = 2,1, v = 3,2 %)                 |                                       |
| 3.2   | Wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu                                        |     |                                        |                                              |                                       |
| 3.2.1 | – kostki 15x15x15 cm (wartość średnia)                                               |     | klasa C35/45                           |                                              |                                       |
|       | - po 7 dniach                                                                        |     | -                                      | 3,5<br>(s = 0,17, v = 5,0 %)                 |                                       |
|       | - po 28 dniach                                                                       | MPa | min. 3,6<br>(pojedynczy wynik)-        | 4,2<br>(s = 0,26, v = 6,3 %)                 | NO-17-A204:2015<br>PN-EN 12390-6:2011 |
| 3.2.2 | odwierty rdzeniowe o średnicy 15 cm i wysokości 15 cm, po 28 dniach, wartość średnia |     |                                        |                                              |                                       |
|       | - po 7 dniach                                                                        | MPa |                                        | 3,2<br>(s = 0,30, v = 9,6 %)                 |                                       |
|       | - po 28 dniach                                                                       |     | min. 3,6<br>(pojedynczy wynik)         | 3,9<br>(s = 0,36, v = 9,3 %)                 |                                       |
| 3.3   | Wytrzymałość na zginanie                                                             |     |                                        |                                              |                                       |
| 3.3.1 | – belki 15x15x70 cm, (wartość średnia)                                               |     | klasa C35/45                           |                                              |                                       |
|       | - po 7 dniach                                                                        |     | -                                      | 5,3<br>(s = 0,10, v = 1,9 %)                 | NO-17-A204:2015                       |
|       | - po 28 dniach                                                                       | MPa | min. 5,5<br>(pojedynczy wynik po 28 d) | 6,2<br>(s = 0,21, v = 3,3 %)                 |                                       |
| 3.4   | Nasiąkliwość w wodzie                                                                |     |                                        |                                              |                                       |
| 3.4.1 | – kostki 15x15x15 cm, wartość średnia                                                |     | klasa C35/45                           |                                              |                                       |
|       | - po 28 dniach                                                                       | %   | max. 4,9                               | 4,3<br>(s = 0,1, v = 1,2 %)                  |                                       |
| 3.4.2 | – plastry wycięte z odwiertów rdzeniowych o średnicy 15 cm, wartość średnia          |     | klasa C35/45                           |                                              | NO-17-A204:2015                       |
|       | - po 28 dniach                                                                       |     |                                        | 4,0<br>(s = 0,12, v = 2,9 %)                 |                                       |
|       |                                                                                      | %   | max. 4,9                               | 4,5 (warstwa górna)<br>(s = 0,39, v = 8,6 %) |                                       |

|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 40<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|

|       |                                                                                                                                                                                                                                |     |                        |                                        |                                          |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|
| 3.5   | Mrozoodporność w wodzie (nasączenie w wodzie, rozmrażanie w wodzie)                                                                                                                                                            |     |                        |                                        | NO-17-A204:2015                          |
| 3.5.1 | – kostki 15x15x15 cm, wartość średnia                                                                                                                                                                                          |     | F200                   |                                        |                                          |
|       | - ubytek masy próbki nie więcej niż:                                                                                                                                                                                           | %   | max. 4,9               | -0,01 wzrost<br>(s = 0,03, v = -212 %) |                                          |
|       | - obniżenie wytrzymałości na ściskanie, nie więcej niż                                                                                                                                                                         | %   | 19,0<br>(klasa C35/45) | 4,1                                    |                                          |
|       | - wytrzymałość na ściskanie (bez badań mrozoodporności - próbek przebywających w wodzie), wartość średnia                                                                                                                      | MPa | -                      | 73,4<br>(s = 3,2, v = 4,3 %)           |                                          |
|       | - wytrzymałość na ściskanie po badaniach mrozoodporności, wartość średnia                                                                                                                                                      | MPa | -                      | 70,4<br>(s = 3,2, v = 4,6 %)           | NO-17-A204:2015<br>PN-EN 12390-3:2019-07 |
| 3.5.2 | – odwierty rdzeniowe o średnicy 15 cm i wysokości 15 cm, wartość średnia                                                                                                                                                       |     | F200                   |                                        | NO-17-A204:2015<br>PN-EN 12390-3:2019-07 |
|       | - ubytek masy próbki nie więcej niż:                                                                                                                                                                                           | %   | max. 4,9               | 0,03<br>(s = 0,01, v = 28,1 %)         |                                          |
|       | - obniżenie wytrzymałości na ściskanie w stosunku do próbek świadków przetrzymywanych w wodzie, nie więcej niż                                                                                                                 | %   | 19,0<br>(klasa C35/45) | 5,1                                    |                                          |
|       | - wytrzymałość na ściskanie (bez badań mrozoodporności - próbek przebywających w wodzie), wartość średnia                                                                                                                      | MPa | -                      | 72,5<br>(s = 2,6, v = 3,6 %)           |                                          |
|       | - wytrzymałość na ściskanie po badaniach mrozoodporności, wartość średnia                                                                                                                                                      | MPa | -                      | 68,8<br>(s = 5,4, v = 7,9 %)           |                                          |
| 3.6   | Odporność na środki odladzające - mrozoodporność w wodzie po nasączeniu w środku odladzającym Nordway KF na bazie <u>mrówczanu potasu</u> – metoda B (próbki wyjmowane z komory i nasączone w środku odladzającym co 25 cykli) |     |                        |                                        | NO-17-A204:2015                          |
| 3.6.1 | – kostki 15x15x15 cm, wartość średnia                                                                                                                                                                                          |     | F200                   |                                        |                                          |
|       | - ubytek masy próbki nie więcej niż:                                                                                                                                                                                           | %   | 4,9<br>(klasa C35/45)  | 0,07<br>(s = 0,03, v = 46,2 %)         |                                          |

|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 41<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|

|       |                                                                                                                                                                                                                                     |     |                        |                                           |                                          |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|------------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------|
|       | - obniżenie wytrzymałości na ściskanie w stosunku do próbek świadków przetrzymywanych w wodzie, nie więcej niż                                                                                                                      | %   | 19,0<br>(klasa C35/45) | 9,4                                       |                                          |
|       | - wytrzymałość na ściskanie (bez badań mrozoodporności - próbek przebywających w wodzie), wartość średnia                                                                                                                           | MPa | -                      | 73,4<br>(s = 3,2, v = 4,3 %)              | NO-17-A204:2015<br>PN-EN 12390-3:2019-07 |
|       | - wytrzymałość na ściskanie po badaniach mrozoodporności, wartość średnia                                                                                                                                                           | MPa | -                      | 66,5<br>(s = 2,0, v = 2,9 %)              |                                          |
| 3.6.2 | - odwierty rdzeniowe o średnicy 15 cm i wysokości 15 cm, wartość średnia                                                                                                                                                            |     | F200                   |                                           | NO-17-A204:2015                          |
|       | - ubytek masy próbki nie więcej niż:                                                                                                                                                                                                | %   | 4,9<br>(klasa C40/50)  | - 0,25 (wzrost)<br>(s = 0,02, v = -6,5 %) |                                          |
|       | - obniżenie wytrzymałości na ściskanie w stosunku do próbek świadków przetrzymywanych w wodzie, nie więcej niż                                                                                                                      | %   | 19,0<br>(klasa C35/45) | 14,2                                      |                                          |
|       | - wytrzymałość na ściskanie (bez badań mrozoodporności - próbek przebywających w wodzie), wartość średnia                                                                                                                           | MPa | -                      | 72,5<br>(s = 2,6, v = 3,6 %)              | NO-17-A204:2015<br>PN-EN 12390-3:2019-07 |
|       | - wytrzymałość na ściskanie po badaniach mrozoodporności, wartość średnia                                                                                                                                                           | MPa | -                      | 62,2<br>(s = 5,5, v = 8,8 %)              |                                          |
| 3.7   | <b>Odporność na środki odladzające - mrozoodporność w środku odladzającym Unisalt SF na bazie mrówczanu sodu (roztwór o stężeniu 15 % m/m) – metoda B (próbki wyjmowane z komory i nasączone w środku odladzającym co 25 cykli)</b> |     |                        |                                           | NO-17-A204:2015                          |
| 3.7.1 | - kostki 15x15x15 cm, wartość średnia                                                                                                                                                                                               |     | F200                   |                                           |                                          |
|       | - ubytek masy próbki nie więcej niż:                                                                                                                                                                                                | %   | 4,9<br>(klasa C35/45)  | -0,03 (wzrost)<br>(s = 0,01, v = -35,2 %) |                                          |
|       | - obniżenie wytrzymałości na ściskanie w stosunku do próbek świadków przetrzymywanych w wodzie, nie więcej niż                                                                                                                      | %   | 19,0<br>(klasa C35/45) | 0,72                                      |                                          |

|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 42<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|

|       |                                                                                                           |                   |                     |                                                                                             |                                          |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
|       | - wytrzymałość na ściskanie (bez badań mrozoodporności - próbek przebywających w wodzie), wartość średnia | MPa               | -                   | 72,5<br>(s = 2,6, v = 3,6 %)                                                                | NO-17-A204:2015<br>PN-EN 12390-3:2019-07 |
|       | - wytrzymałość na ściskanie po badaniach mrozoodporności, wartość średnia                                 | MPa               | -                   | 72,9<br>(s = 2,3, v = 3,1 %)                                                                |                                          |
| 3.8   | Odporność na powierzchniowe złuszczenie – 56 cykli                                                        |                   |                     |                                                                                             | NO-17-A204:2015                          |
| 3.8.1 | – masa materiału złuszczonego - kostki 15x15x15 cm, wartość średnia                                       | kg/m <sup>2</sup> | ≤ 0,01              |                                                                                             |                                          |
|       | - w wodzie                                                                                                |                   |                     | 0,01                                                                                        |                                          |
|       | - w mrówczeniu potasu (Nordway KF)                                                                        |                   |                     | Brak materiału złuszczonego                                                                 |                                          |
| 3.8.2 | – masa materiału złuszczonego - odwierty rdzeniowe o średnicy 15 cm, wartość średnia                      | kg/m <sup>2</sup> | ≤ 0,01              |                                                                                             |                                          |
|       | - w wodzie                                                                                                |                   |                     | 0,01                                                                                        |                                          |
|       | - w mrówczeniu potasu (Nordway KF)                                                                        |                   |                     | Brak materiału złuszczonego                                                                 |                                          |
| 3.9   | Wytrzymałość na odrywanie po badaniach odporności na powierzchniowe złuszczenie                           |                   |                     |                                                                                             | NO-17-A204:2015<br>PN-EN 1542:2000       |
| 3.9.1 | – kostki 15x15x15 cm                                                                                      | MPa               | zaleca się<br>≥ 2,0 |                                                                                             |                                          |
|       | - w wodzie                                                                                                |                   |                     | 2,92<br>(spadek w stosunku do próbek świadków przetrzymywanych w wodzie: 19,0 %)            |                                          |
|       | - w mrówczeniu potasu (Nordway KF)                                                                        |                   |                     | 1,86<br>(spadek w stosunku do próbek świadków przetrzymywanych w mrówczeniu potasu: 21,6 %) |                                          |
| 3.9.2 | – odwierty o średnicy 15 cm                                                                               | MPa               | zaleca się<br>≥ 2,0 |                                                                                             |                                          |
|       | - w wodzie                                                                                                |                   |                     | 2,80                                                                                        |                                          |
|       | - w mrówczeniu potasu (Nordway KF)                                                                        |                   |                     | 1,45                                                                                        |                                          |

\*wynik uzyskany w Laboratorium Budowlanym Sp. z o.o.

|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 43<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|

## 6. WNIOSKI I ZALECENIA

Na podstawie przeprowadzonych badań eksploatacyjnych i laboratoryjnych stwierdza się, co następuje:

1. Beton, którego składnikiem jest cement portlandzki autostradowy „Warta” niskoalkaliczny **CEM I 42,5 N-NA** z Cementowni WARTA S.A. spełnia wymagania dla przyjętej receptury, produkcji i technologii wbudowania.
2. Cement portlandzki autostradowy „Warta” niskoalkaliczny **CEM I 42,5 N-NA** z Cementowni WARTA S.A. może być stosowany do budowy nawierzchni lotniskowych i innych elementów infrastruktury lotniskowej z możliwością wbudowania w warunkach podwyższonych temperatur w okresie letnim, pod warunkiem zachowaniu wymagań wynikających z procesów technologii wytwarzania i wbudowania betonu.
3. W wyniku badań próbek zaprawy wykonanych z cementem **CEM I 42,5 N-NA** i z piaskiem normowym w temperaturze 35 °C uzyskano wyższe wartości wytrzymałości wczesnych w porównaniu z próbkami wykonanymi w temperaturze 20 °C. Po 28 dniach dojrzewania uzyskane wartości wytrzymałości na ściskanie i wytrzymałości na zginanie są porównywalne.
4. Uzyskane wyniki badań wytrzymałościowych, określone zarówno na kostkach sześciennych, jak i na próbkach pobranych w postaci walców (odwiertów rdzeniowych) z ułożonej warstwy odcinka próbnego wskazują, że beton wykonany z cementem **CEM I 42,5 N-NA** zgodnie z ustaloną recepturą, **spełnia wymagania** normy obronnej NO-17-A204:2015 *Nawierzchnie lotniskowe. Nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania i metody badań dla betonu nawierzchniowego klasy C35/45.*
5. Średnia wartość wytrzymałości na ściskanie próbek sześciennych o boku 15 cm z betonu wykonanego z cementem **CEM I 42,5 N-NA** po 28 dniach dojrzewania wynosi 61,8 MPa., natomiast średnia wartość wytrzymałości na ściskanie odwiertów rdzeniowych o średnicy 15 cm pobranych z wykonanego odcinka doświadczalnego wynosi 64,7 MPa.
6. Wytrzymałość na zginanie, określona na belkach o wymiarach 15x15x70 cm po 28 dniach dojrzewania wynosi 6,2 MPa. Zgodnie z NO-17-A204: 2015 wytrzymałość na zginanie próbek z betonu klasy C35/45, w postaci belek o wymiarach 15x15x70 cm po 28 dniach twardnienia (dla pojedynczego wyniku) nie powinna być niższa niż 5,5 MPa. Uzyskane wyniki badań wytrzymałości na zginanie po 28 dniach dojrzewania spełniają powyższe kryterium.

|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 44<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|

7. Zgodnie z NO-17-A204: 2015 wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu próbek z betonu klasy C35/45 po 28 dniach twardnienia, określona metodą brazylijską na odwiertach o średnicy 15 cm pobranych z nawierzchni lub na kostkach o wymiarach 15x15x15 cm (dla pojedynczego wyniku) nie powinna być niższa niż 3,6 MPa. W przypadku betonu z cementem **CEM I 42,5 N-NA** jedna próbka (odwiert rdzeniowy) nie spełniła ww. wymagania, co może mieć charakter przypadkowy i mieć związek z zagęszczeniem betonu podczas układania odcinka doświadczalnego, a także z miejscem pobrania danego odwiertu. Uzyskane wyniki badań wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu wykazują znaczny rozrzut, zarówno w przypadku próbek sześciennych, jak i odwiertów rdzeniowych.
8. Beton z cementem **CEM I 42,5 N-NA** wykazuje odporność na działanie mrozu i środków odladzających przyjętych do badań (Nordway KF na bazie mrówczanu potasu, Unisalt SF na bazie mrówczanu sodu). W wyniku badań mrozoodporności (200 cykli zamrażania-odmrażania) z udziałem wody oraz środków odladzających nie stwierdzono ubytku masy oraz obniżenia wytrzymałości przekraczających wymagania normy NO-17-A204:2015, zgodnie z którą (dla betonu cementowego klasy C35/45 ubytek masy w stosunku do próbek świadków nie powinien przekraczać 4,9 %, a obniżenie wytrzymałości na ściskanie - 19 %). Próbkę o wymiarach 15x15x15 cm i odwiert rdzeniowy o średnicy 15 cm nasączone wodą oraz nasączone środkiem odladzającym, po 200 cyklach zamrażania w powietrzu i odmrażania w wodzie, nie wykazały zmian powierzchniowych. Największy spadek wytrzymałości na ściskanie w stosunku do próbek świadków przetrzymywanych w wodzie, który wynosił 14,2 % stwierdzono w przypadku próbek w postaci odwiertów rdzeniowych nasączonych środkiem odladzającym na bazie mrówczanu potasu.
9. Na podstawie wyników badań odporności na powierzchniowe złuszczenie po 56 cyklach zamrażania-odmrażania próbek, przygotowanych z kostek o boku 15 cm i odwiertów rdzeniowych o średnicy 15 cm, zalanych wodą lub środkiem odladzającym na bazie mrówczanu potasu (Nordway KF) stwierdzono brak materiału złuszczonego na powierzchni próbek narażonych na oddziaływanie środka odladzającego na bazie mrówczanu potasu Nordway KF, stwierdzono natomiast niewielką ilość materiału złuszczonego na powierzchni próbek zalanych wodą w ilości nie przekraczającej dopuszczalnej wartości, 0,01 kg/m<sup>2</sup>, przyjętą w normie NO-17-A204:2015.
10. Średnia wytrzymałość na odrywanie warstwy powierzchniowej ułożonego betonu z cementem **CEM I 42,5 N-NA** wynosi 3,2 MPa. Zgodnie z wymaganiami normy NO-17-A204:2015 średnia wytrzymałość warstwy powierzchniowej nowych (wiek do 10 lat) lotniskowych nawierzchni betonowych powinna wynosić nie mniej niż 2,0 MPa, przy czym uzyskana wartość pojedynczego pomiaru nie powinna być mniejsza niż 1,8 MPa.

|                           |                                                   |                            |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|
| ZAKŁAD<br>LOTNISKOWY ITWL | strona Sprawozdania: 45<br>stron Sprawozdania: 45 | SPRAWOZDANIE<br>nr 3/24/23 |
|---------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------|

11. W wyniku badań próbek po badaniach odporności na powierzchniowe złuszczenie (56 cykli) w wodzie i w środku odladzającym na bazie mrówczanu potasu (Nordway KF) uzyskano wartości wytrzymałości na odrywanie niższe o ok. 1 MPa od uzyskanych dla próbek po badaniu odporności na powierzchniowe złuszczenie w wodzie. Zniszczenie miało głównie charakter częściowo kohezyjny w betonie i częściowo adhezyjny klej-beton, przy czym zniszczenie nastąpiło w warstwie tuż przy powierzchni.
12. Badany beton z cementem może zapewnić właściwe parametry eksploatacyjne w zakresie szorstkości. W wyniku pomiarów wskaźnika szorstkości, wykonanych przy użyciu wahadła angielskiego, na zacieranej powierzchni próbki w postaci belki, uzyskana wartość średnia mierzonej wielkości wynosiła 62 SRT. Ze względu na czas trwania układania ręcznego odcinka doświadczalnego i wiązanie cementu, nie było możliwe nadanie faktury powierzchni tego odcinka. Ocenia się, że w przypadku układania maszynowego problem ten będzie rozwiązany.

*Wyniki pomiarów odnoszą się wyłącznie do badanych próbek/obiektów badań*

#### **Rozdzielnik Sprawozdania:**

egz. nr 1 – Biblioteka ITWL  
egz. nr 2, 3, 4, 5, 6, 7 - Zleceniodawca  
egz. nr 8 – Zakład Lotniskowy ITWL

#### **Załączniki:**

Załącznik nr 1: Receptura mieszanki nr 1/MBP/2022 z dn. 15.07.2022 r.

#### **Opracowali:**

mgr inż. Danuta KOWALSKA – kierownik pracy  
mgr inż. Paweł PIETRUSZEWSKI  
mgr inż. Piotr WŁODARSKI  
mgr Marcin WAŁDYKOWSKI  
technik Wiesław EYCHLER

.....  
.....  
.....  
.....  
.....

**KIEROWNIK  
ZAKŁADU LOTNISKOWEGO**

KIEROWNIK ZAKŁADU LOTNISKOWEGO  
Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych

.....  
ppik dr inż. Krzysztof BLACHA

**ZASTĘPCA DYREKTORA**

ZASTĘPCA DYREKTORA  
INSTYTUTU TECHNICZNEGO WOJSK LOTNICZYCH  
dla Naukowych

.....  
prof. dr hab. inż. Andrzej ŻYLUK

# ZAŁĄCZNIK 1

**Receptura mieszanki nr 1/MBP/2022 z dnia 15.07.2022 r.**

TECHNOLOGIA BETONU I DORADZTWO  
*Bogdan Jursza*  
 40-489 Katowice, ul. Karłowicza 35/7  
 NIP: 954 193 62 61 REGON: 240347960

**RECEPTURA MIESZANKI****Nr****1/MBP/2022**

Rodzaj mieszanki:

**Beton nawierzchniowy**

Norma:

**PN-EN 206**

Klasa/wytrzymałość:

**C35/45**

Konsystencja:

**S1/S2**

Uziarnienie:

**max 22 mm**

Mrozoodporność:

**F200**

Wodoszczelność:

**W8**

Nasiąkliwość:

**≤ 5,0%**

Klasy ekspozycji:

**XD3, XF4, XC4**

Chlorki:

**0,20%**

Klient:

**MAX BÖGL POLSKA Sp. z o.o.**

Budowa:

**Remont płyty postojowej PPS 3 – Warszawa Port Lotniczy**

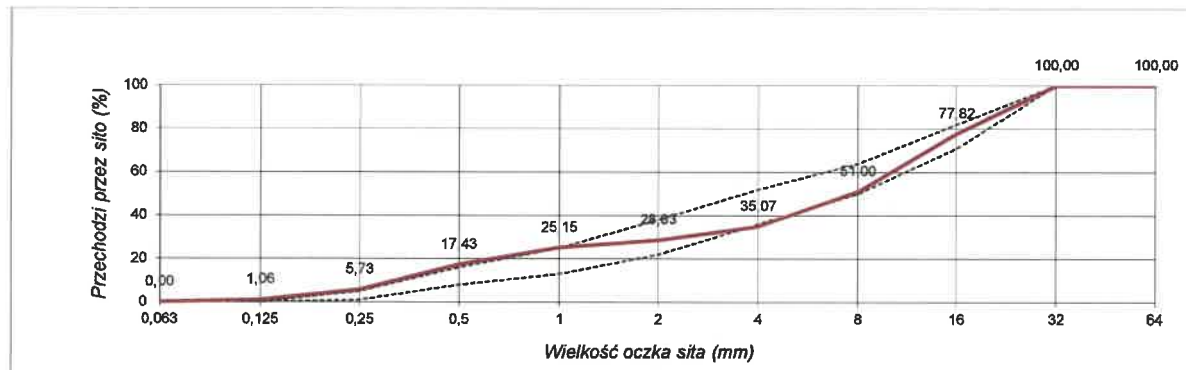
Producent:

**MAX BÖGL POLSKA Sp. z o.o.****Skład mieszanki**

| Lp                         | Nazwa składnika |            | Jedn. | Ilość   | Gęstość<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | Objętość<br>(dm <sup>3</sup> ) | Objętość (%) |
|----------------------------|-----------------|------------|-------|---------|---------------------------------|--------------------------------|--------------|
| 1                          | Piasek 0/2      | Chustki 3  | kg    | 485     | 2,65                            | 183,0                          | 18,3         |
| 2                          | Granit 2/8      | Wieśnica   | kg    | 340     | 2,67                            | 127,3                          | 12,7         |
| 3                          | Granit 8/16     | Wieśnica   | kg    | 420     | 2,67                            | 157,3                          | 15,7         |
| 4                          | Granit 16/22    | Wieśnica   | kg    | 580     | 2,67                            | 217,2                          | 21,7         |
| 5                          |                 |            | kg    |         | 3,16                            |                                |              |
| 6                          |                 |            | kg    |         | 1,00                            |                                |              |
| 7                          |                 |            | kg    |         | 1,00                            |                                |              |
| 8                          | Woda            | Wodociąg   | kg    | 137     | 1,00                            | 137,0                          | 13,7         |
| 9                          | CEM I 42,5 N NA | Warta      | kg    | 380     | 3,10                            | 122,6                          | 12,2         |
| 10                         |                 |            | kg    |         | 3,05                            |                                |              |
| 11                         | Powietrze       |            | %     | 5,0     |                                 | 50,0                           | 5,0          |
| <b>Dodatki do betonu</b>   |                 |            |       |         |                                 |                                |              |
| 1                          |                 |            | kg    |         | 2,15                            |                                |              |
| 2                          |                 |            | kg    |         | 1,0                             |                                |              |
| <b>Domieszki do betonu</b> |                 |            |       |         |                                 |                                |              |
|                            | Nazwa domieszki |            | %     |         |                                 |                                |              |
| 1                          | AM              | Androimpex | 0,80  | 3,04    | 1,16                            | 2,6                            | 0,3          |
| 2                          | FM 140          | Androimpex | 0,60  | 2,28    | 1,01                            | 2,3                            | 0,2          |
| 3                          | NK-3            | Androimpex | 0,55  | 2,09    | 1,01                            | 2,1                            | 0,2          |
| RAZEM                      |                 |            | kg    | 2349,41 | dm <sup>3</sup>                 | 1001                           | 100,0        |

TECHNOLOGIA BETONU I DORADZTWO  
*Bogdan Jursza*  
 40-489 Katowice, ul. Karłowicza 35/7  
 NIP: 954 193 62 61 REGON: 240347960

### Uziarnienie mieszanki



### Cechy mieszanki

| Lp | Cecha                                             | Jedn.                           | Wynik  |
|----|---------------------------------------------------|---------------------------------|--------|
| 1  | Wartość W/C                                       | ---                             | 0,36   |
| 2  | Wartość W/(C+K*P)                                 | ---                             | ---    |
| 3  | Wartość W/S                                       | ---                             | 0,36   |
| 4  | Punkt piaskowy mieszanki                          | %                               | 28,6   |
| 5  | Ilość zaczynu                                     | dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> | 266,5  |
| 6  | Objętość cementu, popiołów i kruszywa # <0,125 mm | dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> | 125,4  |
| 7  | Zawartość cementu, popiołu i kruszywa # <0,125mm  | kg/m <sup>3</sup>               | 387,6  |
| 8  | Zawartość cementu, popiołu i kruszywa # <0,25mm   | kg/m <sup>3</sup>               | 406,0  |
| 9  | Ilość kruszywa                                    | kg/m <sup>3</sup>               | 1825,0 |
| 10 | Objętość zaprawy                                  | dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> | 449,5  |

### Cechy betonu

| Lp | Cecha                                              | Jedn. | Wymagania |
|----|----------------------------------------------------|-------|-----------|
| 1  | Wytrzymałość na ściskanie - 7 dni                  | MPa   | ---       |
| 2  | Wytrzymałość na ściskanie - 28 dni                 | MPa   | Min. 45   |
| 3  | Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu - 28 dni | MPa   | Min. 5,5  |
| 4  | Wytrzymałość na zginanie przy rozłupywaniu         | MPa   | Min. 3,6  |
| 5  | Mrozoodporność - 28 dni                            |       | F200      |
| 6  | Wodoszczelność - 28 dni                            |       | W8        |
| 7  | Nasiąkliwość - 28 dni                              | %     | ≤ 5,0%    |
| 8  | Mrozoodporność w soli - 28 dni                     |       | FT2       |

### Wyniki z zarobu próbnego

| Lp | Cecha                              | Jedn.             | Wyniki |
|----|------------------------------------|-------------------|--------|
| 1  | Konsystencja (Ve-Be)               | s                 | 15     |
| 2  | Zawartość powietrza                | %                 | 5,0    |
| 3  | Gęstość                            | kg/m <sup>3</sup> | 2348   |
| 4  | Wytrzymałość na ściskanie - 7 dni  | MPa               | 44,7   |
| 5  | Wytrzymałość na ściskanie - 28 dni | MPa               |        |

#### UWAGI:

- Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań zgodnie z powołaną normą.
- Przed rozpoczęciem produkcji należy potwierdzić wymagane parametry mieszanki i surowców.
- Dopuszcza się pomiar konsystencji za pomocą aparatu VeBe. Zalecana konsystencja V2/V3