

**PROTOKÓŁ Z PRACY**  
**nr 30/24/20**

pod tytułem

**Badania dotyczące określenia przydatności  
technologii „*rubblizingu*” do stosowania  
na nawierzchniach lotniskowych z betonu  
cementowego**

Symbol tematu:

**0-5293-24-1-00**

Warszawa, dn. 03 listopada 2020 r.

ZATWIERDZAM

ZASTĘPCA DYREKTORA  
INSTYTUTU TECHNICZNEGO WOJSK LOTNICZYCH  
ds. Organizacyjno-Technicznych  
dr inż. Jarosław SAŃNECKI

## ORZECZENIE NR 30/24/2020

dotyczące

### OCENY PRZYDATNOŚCI METODY „RUBBLIZINGU” PRZY UŻYCIU TECHNOLOGII MHB (MULTI-HEAD BREAKER) DO ODPREŻANIA BETONOWYCH WARSTW KONSTRUKCYJNYCH NAWIERZCHNI LOTNISKOWYCH

na podstawie

BADAŃ

wykonanych przez

INSTYTUT TECHNICZNY WOJSK LOTNICZYCH

w ramach

realizacji umowy nr 51/U/24/15 z dnia 19.06.2015 r. i aneksu nr 1/51/U/24/15  
z dnia 29.09.2020 r.

zawartej z Zamawiającym:

firma WEGARTEN CONSTRUCTION Sp. z o.o., ul. Wał Miedzeszyński 630,  
03-994 Warszawa

firma ROBOZ Piotr Przyłucki, ul. Kościuszki 25 lok. 20, 05-300 Mińsk Mazowiecki

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

1. Metoda „rubblizingu” przy użyciu technologii MHB może być stosowana do odprężania betonowych warstw konstrukcyjnych nawierzchni lotniskowych, w tym:
  - nawierzchni lotniskowych o konstrukcji jednowarstwowej (układ sztywny) - **warstwa jezdna wykonana z betonu cementowego spoczywająca na odpowiednio przygotowanym podłożu;**
  - nawierzchni lotniskowych o konstrukcji wielowarstwowej (układ mieszany) - **warstwa podbudowy wykonana z betonu cementowego spoczywająca na odpowiednio przygotowanym podłożu / podbudowie pomocniczej (po mechanicznym usunięciu istniejących warstw z betonu asfaltowego).**
2. Nowo formowana warstwa z przekruszonego gruzu betonowego, po odpowiednim zagęszczeniu, może być uznawana za warstwę podbudowy pod projektowane konstrukcje nawierzchni lotniskowych.

ZASTĘPCA DYREKTORA  
INSTYTUTU TECHNICZNEGO WOJSK LOTNICZYCH  
ds. Naukowych  
prof. dr. hab. inż. Andrzej ŻYLUK

KIEROWNIK  
ZAKŁADU LOTNISKOWEGO  
Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych  
ppłk dr inż. Maciej WESOŁOWSKI

<b>ZAKŁAD LOTNISKOWY</b>		<b>SPRAWOZDANIE Nr 30/24/20</b> Badania dotyczące określenia przydatności technologii „ <i>rubblizingu</i> ” do stosowania na nawierzchniach lotniskowych z betonu cementowego	
INSTYTUT TECHNICZNY WOJSK LOTNICZYCH ul. Księcia Bolesława 6, skr. poczt. 96 01-494 WARSZAWA	egz. nr	strona Sprawozdania: 3	
tel./fax. 261 851 324 (424, 124) / 261 851 134	ilość załączników: -	Stron Sprawozdania: 23	

## SPIS TREŚCI

<b>1. WSTĘP</b> .....	<b>4</b>
1.1. Zleceniodawca.....	4
1.2. Podstawa realizacji pracy .....	4
1.3. Przedmiot pracy.....	4
1.4. Okres realizacji pracy.....	4
1.5. Miejsce i zakres pracy .....	4
1.6. Obszar badań .....	5
<b>2. METODA „RUBBLIZINGU” TECHNOLOGIĄ MHB (Multi-Head Breaker)</b>	<b>7</b>
<b>3. METODYKA BADAŃ</b> .....	<b>8</b>
<b>4. WYNIKI BADAŃ</b> .....	<b>10</b>
4.1. Sprawdzenie skuteczności metody „ <i>rubblizingu</i> ” .....	10
4.2. Badania nośności podłoża gruntowego .....	12
4.3. Badania nośności nowo powstałej warstwy (konstrukcji) .....	14
4.3.1. Pomiary aparaturą VSS .....	15
4.3.2. Pomiary lekką płytą dynamiczną .....	19
4.3.3. Pomiary urządzeniem HWD .....	20
<b>5. WNIOSKI</b> .....	<b>21</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>22</b>

## 1. WSTĘP

### 1.1. Zleceniodawca

WEGARTEN CONSTRUCTION Sp. z o.o. z siedzibą w 03-994 Warszawa przy ul. Wał Miedzeszyński 630 (poprzednio ul. Jugosłowiańska 15A/45, 03-984 Warszawa) i Piotr Przyłucki prowadzący działalność gospodarzą pod firmą ROBOZ Piotr Przyłucki z siedzibą w 05-300 Mińsk Mazowiecki przy ul. Tadeusza Kościuszki 25/20.

### 1.2. Podstawa realizacji pracy

Praca została zrealizowana na podstawie umowy nr 51/U/24/15 z dnia 19.06.2015 r. oraz aneksu nr 1/51/U/24/15 z dnia 29.09.2020 r.

### 1.3. Przedmiot pracy

Przedmiotem pracy były wytypowane odcinki doświadczalne nawierzchni lotniskowych o konstrukcji sztywnej (warstwa jezdna z betonu cementowego) i konstrukcji mieszanej (warstwa ścierna z betonu asfaltowego), których warstwy z betonu cementowego poddane zostały odprężeniu metodą „*rubblizingu*”.

### 1.4. Okres realizacji pracy

Zgodnie z zapisami ww. umowy i aneksu, termin realizacji pracy (przekazanie sprawozdania) określono do dnia 16.11.2020 r.

### 1.5. Miejsce i zakres pracy

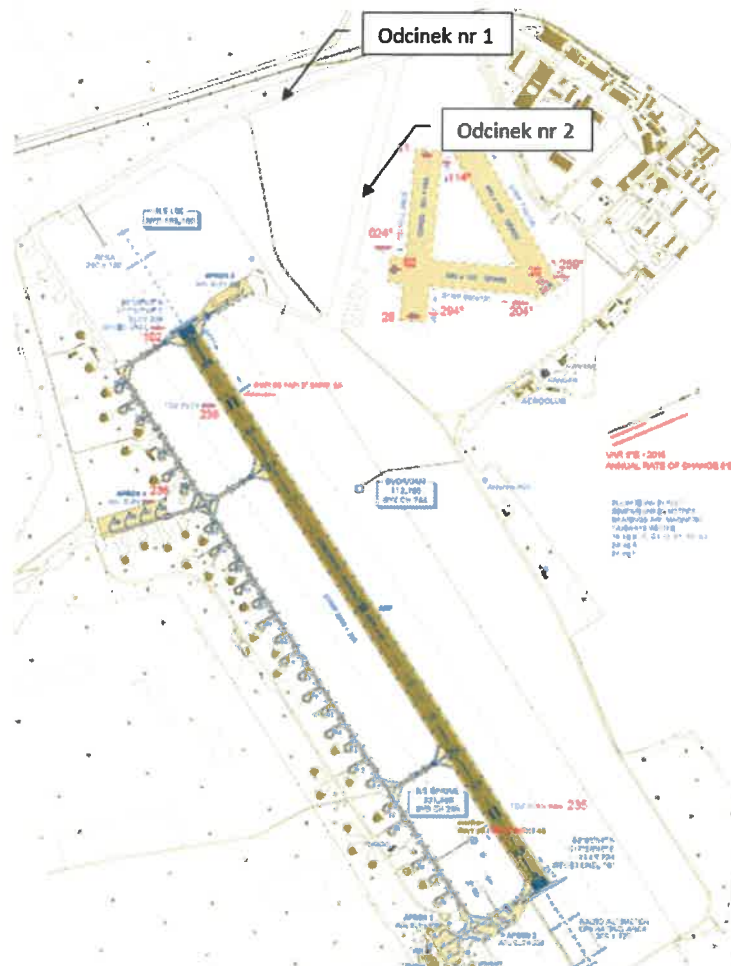
Zakres pracy obejmował przeprowadzenie badań mających na celu sprawdzenie i określenie skuteczności metody „*rubblizingu*” przy użyciu technologii MHB (Multi-Head Breaker) do odprężania betonowych warstw konstrukcyjnych nawierzchni lotniskowych. Badania zostały przeprowadzone na wytypowanych i przygotowanych przez Zleceniodawcę odcinkach doświadczalnych (konstrukcja jednowarstwowa betonowa - warstwa wykonana z betonu cementowego spoczywająca na odpowiednio przygotowanym podłożu), zlokalizowanych na terenie Portu Lotniczego Bydgoszcz (odcinki nr 1 i nr 2) oraz Portu Lotniczego im. F. Chopina w Warszawie (odcinek nr 3). Szczegółowy zakres badań obejmował:

- sprawdzenie skuteczności metody „*rubblizingu*” do odprężania betonowych warstw konstrukcyjnych nawierzchni lotniskowych;

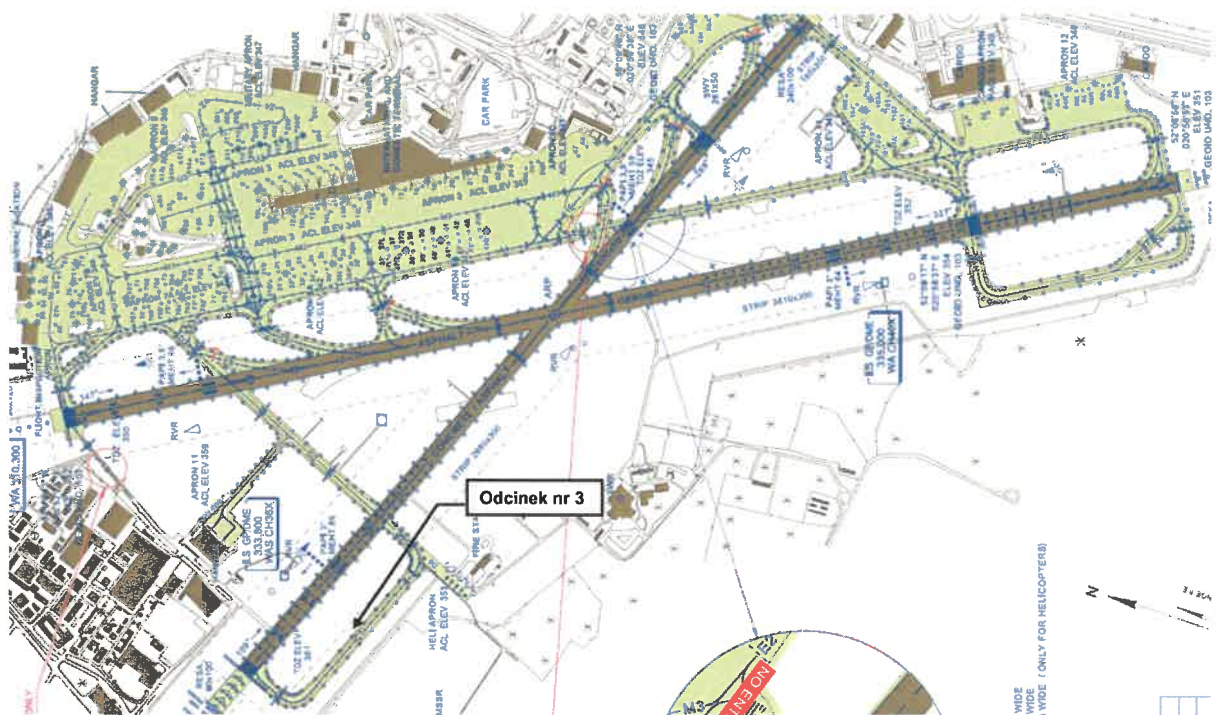
- badania nośności podłoża gruntowego (na jednym odcinku doświadczalnym), przed wykonaniem odprężenia warstwy konstrukcyjnej z betonu cementowego metodą „*rubblizingu*”;
- badania nośności nowo powstałej warstwy (konstrukcji), po jej wcześniejszym zagęszczeniu według zaleceń technologicznych ocenianej metody.

### 1.6. Obszar badań

Obszar badań obejmował trzy odcinki doświadczalne nawierzchni lotniskowych o konstrukcji jednowarstwowej betonowej (warstwa wykonana z betonu cementowego spoczywająca na odpowiednio przygotowanym podłożu). Odcinki doświadczalne przygotowane zostały na bazie istniejących konstrukcji nawierzchni lotniskowych, tj. konstrukcji sztywnej (warstwa jezdna z betonu cementowego) występującej na części odcinka nr 2 i konstrukcji mieszanej (warstwa ścieralna z betonu asfaltowego) występującej na części odcinka nr 2 oraz na odcinku nr 1 i nr 3. W ramach przygotowania odcinków doświadczalnych, istniejące warstwy konstrukcyjne z betonu asfaltowego zostały sfrezowane. Lokalizacja odcinków doświadczalnych przedstawiona została poniżej (rys. 1.1 i rys. 1.2).



Rys. 1.1. Lokalizacja odcinków doświadczalnych (Port Lotniczy Bydgoszcz)



Rys. 1.2. Lokalizacja odcinka doświadczalnego (Port Lotniczy im. F. Chopina Warszawa)



## 2. METODA „RUBBLIZINGU” TECHNOLOGIĄ MHB (Multi-Head Breaker)

Oceniana technologia „*rubblizingu*” do odprężania nawierzchni lotniskowych wykorzystuje wielogłowicowy łamacz do nawierzchni MHB (Multi Head Breaker), tj. samojedzną jednostkę na kołach ogumionych, która wyposażona jest w pary młotów (rys. 2.1).



Rys. 2.1. Wielogłowicowy łamacz do nawierzchni MHB [źródło: archiwum ITWL]

Połowa młotów umieszczona jest w rzędzie przednim a druga połowa w rzędzie tylnym. Rząd tylny przesunięty jest po przekątnej względem rzędu przedniego. Każda para młotów jest doczepiona do cylindra hydraulicznego, który działa jako niezależna jednostka, wywołując zmienną energię niezależnie od wybranej (zadanej) wysokości spadania młota i liczby cykli (od 30 do 35 uderzeń na minutę). Maszyna o szerokości 2,44 m wyposażona jest w 12 młotów, każdy po 200 mm szerokości. Dodatkowo do podstawy maszyny doczepiane są dwa boczne skrzydła, każde wyposażona w dwa młoty o szerokości 300 – 381 mm. Daje to pełną szerokość maszyny wynoszącą 3,95 m. Operator w dowolnym momencie przejazdu jest w stanie regulować prędkość maszyny oraz wysokość opadania każdego z młotów w celu uzyskania optymalnego pokruszenia nawierzchni. Każdy z młotów w dowolnym momencie pracy maszyny może zostać wyłączony, co daje możliwość ochrony urządzeń podziemnych. Układ hydrauliczny maszyny daje pełną kontrolę i panowanie operatora nad maszyną.

Po odprężeniu i rozdrobieniu nawierzchni poprzez użycie maszyny MHB następuje jej dokruszenie i dogęszczenie walcem o wadze 9 t lub cięższym (rys. 2.2).



Rys. 2.2. Dokruszanie i dogęszczanie odprężonej warstwy walcem [źródło: archiwum ITWL]

Metoda „*rubblizingu*” ma na celu uzyskanie strukturalnie mocnej warstwy podbudowy przed wykonaniem kolejnej warstwy konstrukcyjnej nawierzchni z zastosowaniem nakładki z warstw asfaltowych. Pokruszona na miejscu warstwa nawierzchni stanowi zespół brył o nieregularnej wielkości i kształcie, które po odpowiednim wtłoczeniu w podłoże i zagęszczeniu tworzy ścisłą, zaklinowaną warstwę. W efekcie końcowym powinno się uzyskać beton pokruszony w sposób jednorodny, w ziarna, które nie przekraczają średnicy 310 mm. Jednocześnie co najmniej 75% ziaren powinno posiadać wymiary nie większe niż:

- w dolnej połowie płyty – 230 mm;
- w górnej połowie płyty – 75 mm;
- na powierzchni płyty – 50 mm.

[źródło opisu metody: <http://www.wegarten.com/index.php?page=rubblizing&subpage=technologie>]

### 3. METODYKA BADAŃ

Metodyka badań została szczegółowo ustalona na podstawie wymagań *Zleceniodawcy*.

W wyniku zrealizowanego zakresu badań sprawdzono i określono skuteczność metody „*rubblizingu*” przy użyciu technologii MHB (Multi-Head Breaker)



do odprężania betonowych warstw konstrukcyjnych nawierzchni lotniskowych (konstrukcja jednowarstwowa - warstwa wykonana z betonu cementowego spoczywająca na odpowiednio przygotowanym podłożu).

- **Sprawdzenie skuteczności metody „rubblizingu” do odprężania betonowych warstw konstrukcyjnych nawierzchni lotniskowych**

Sprawdzenie skuteczności metody „rubblizingu” przeprowadzono w warunkach terenowych i polegało na zweryfikowaniu deklarowanej struktury nowo powstałej warstwy z przekruszonego gruzu betonowego, tj. wielkości pojedynczych brył oraz możliwości odprężenia warstwy na pełnej grubości.

- **Badania nośności podłoża gruntowego, przed i po wykonaniu odprężenia warstwy konstrukcyjnej z betonu cementowego metodą „rubblizingu”**

Badania nośności podłoża gruntowego bezpośrednio pod warstwą odprężaną metodą „rubblizingu” przy użyciu technologii MHB przeprowadzono przed i po jej odprężeniu. Nośność podłoża gruntowego określono na podstawie pomiarów sondą SDS (Sonda Dynamiczna Stożkowa) – ang. DCP (*Dynamic Cone Penetrometr*) oraz ugięciomierza lotniskowego HWD. Na podstawie uzyskanych wyników określono wpływ odprężenia warstwy z betonu cementowego (układu jednowarstwowego) na nośność podłoża gruntowego spoczywającego bezpośrednio pod tą warstwą (wyznaczono wskaźnik *CBR* oraz moduł odkształcenia *E*). Jako wartość wymaganą *E* dla podłoża gruntowego przyjęto 120 MPa.

- **Badania nośności nowo powstałej warstwy (konstrukcji), po jej wcześniejszym zagęszczeniu według zaleceń technologicznych ocenianej metody**

Badania nośności nowo powstałej warstwy (konstrukcji) po odprężeniu warstwy z betonu cementowego (układu jednowarstwowego) metodą „rubblizingu” przy użyciu technologii MHB przeprowadzono aparaturą VSS oraz ugięciomierzem lotniskowym HWD. Dodatkowo wykonano pomiary lekką płytą dynamiczną w celu określenia jednorodności odprężonej warstwy oraz dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$ . W wyniku przeprowadzonych pomiarów terenowych wyznaczono moduły odkształcenia konstrukcji odprężonej ( $E_1$  i  $E_2$ ) i wskaźnik odkształcenia  $I_0$  oraz moduł zastępczy  $E_z$ . Ponadto, na podstawie pomiarów urządzeniem HWD

ZAKŁAD LOTNISKOWY ITWL	strona Sprawozdania: 10 stron Sprawozdania: 23	SPRAWOZDANIE nr 30/24/20
---------------------------	---	-----------------------------

określono moduł sprężystości  $E$  nowo powstałej warstwy konstrukcyjnej z przekruszonego gruzu betonowego (analiza odwrócona). Jako wartości wymagane przyjęto:

- $E_2 (E_z) > 200 \text{ MPa}$ ;
- $E > 400 \text{ MPa}$ .

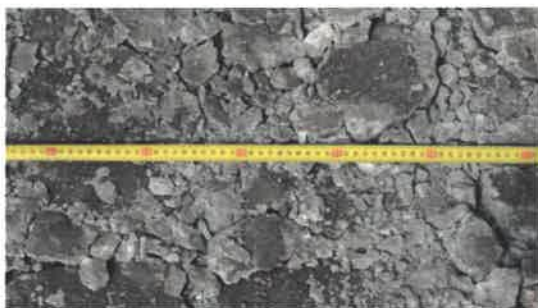
#### 4. WYNIKI BADAŃ

Badania terenowe przeprowadzono w następujących terminach: na odcinku nr 1 w dniach 11-12.05.2015 r. na odcinku nr 2 w dniu 06.07.2015 r. a na odcinku nr 3 w dniu 08.04.2019 r.

##### 4.1. Sprawdzenie skuteczności metody „*rubblizingu*”

W ramach sprawdzenia skuteczności metody „*rubblizingu*” przy użyciu technologii MHB do odprężania sztywnych nawierzchni lotniskowych, przeprowadzono w warunkach terenowych weryfikację deklarowanej struktury nowo powstałej warstwy z przekruszonego gruzu betonowego, tj. w zakresie wielkości pojedynczych brył oraz możliwości odprężenia warstwy na pełnej głębokości. W tym celu, po przeprowadzonym zabiegu „*rubblizingu*” dokonano kontrolnych pomiarów wymiarów geometrycznych brył powstałego gruzu betonowego oraz sprawdzono, czy powstała warstwa została odprężona na pełnej grubości. Pierwotnie grubość odprężanej warstwy wynosiła około 20,0 cm (odcinek nr 1 i nr 2) oraz około 30,0 cm (odcinek nr 3).

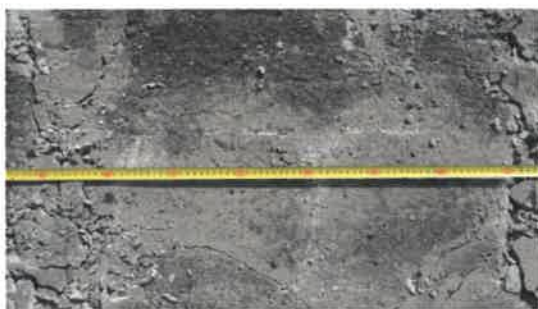
Poniżej, na rys. 4.1 - 4.3 przedstawiono dokumentację fotograficzną wykonaną w ramach sprawdzenia skuteczności ocenianej metody.



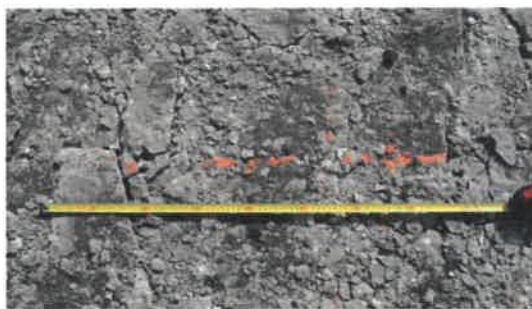
*Punkt pomiarowy nr 1*



*Punkt pomiarowy nr 2*



*Punkt pomiarowy nr 3*



*Punkt pomiarowy nr 4*

Rys. 4.1. Pomiary wymiarów geometrycznych brył powstałego gruzu betonowego [źródło: archiwum ITWL]



*1*



*2*



*3*



*4*

Rys. 4.2. Sprawdzenie głębokości odprężenia warstwy z betonu cementowego [źródło: archiwum ITWL]



Rys. 4.3. Widok odprężonej warstwy z betonu cementowego  
[źródło: archiwum ITWL]

Na podstawie sprawdzenia *in situ* skuteczności ocenianej metody można stwierdzić, że wielkość (średnica) pojedynczych brył powstałego gruzu betonowego nie przekracza deklarowanej wartości 310,00 mm (poza punktem pomiarowym nr 3). Ponadto, około 75% posiada wymiary nie większe niż:

- w dolnej połowie płyty – 230,00 mm;
- w górnej połowie płyty – 75,00 mm;
- na powierzchni płyty – 50,00 mm.

#### 4.2. Badania nośności podłoża gruntowego

Parametry podłoża gruntowego znajdującego się bezpośrednio pod nawierzchnią wykonano zgodnie z NO-17-A500:2016 *Nawierzchnie lotniskowe i drogowe. Badania nośności* oraz NO-17-A503:2017 *Nawierzchnie lotniskowe. Naturalne nawierzchnie lotniskowe. Badania nośności*. Pomiary wykonano na odcinku doświadczalnym nr 1.

Nośność podłoża gruntowego określono na podstawie pomiarów sondą SDS (Sonda Dynamiczna Stożkowa) – ang. DCP (*Dynamic Cone Penetrometr*) o nr inwentarzowym 801/ITWL/000965 (przed zabiegiem „*rubblizingu*”) oraz ugięciomierza lotniskowego HWD o nr inwentarzowym 664/1040 (przed i po zabiegu „*rubblizingu*”). Do określenia nośności podłoża gruntowego wykorzystano:

- wartości wskaźnika **CBR**;

ZAKŁAD LOTNISKOWY ITWL	strona Sprawozdania: 13 stron Sprawozdania: 23	SPRAWOZDANIE nr 30/24/20
---------------------------	---	-----------------------------

- wartości modułów;
- zależności korelacyjne:  $E = 10 \cdot CBR$ .

Zgodnie z wymaganiami ww. norm kategorię nośności podłoża gruntowego należy określać na podstawie kalifornijskiego wskaźnika nośności -  $CBR$  [%], który oblicza się zgodnie ze wzorem:

$$CBR = \frac{292}{DCP^{1,12}}$$

gdzie:

$CBR$  – Kalifornijski Wskaźnik Nośności [%].

$DCP$  – zagłębienie stożka sondy przypadające na jedno uderzenie [mm].

Sondowania sondą SDS wykonano w trzech punktach pomiarowych zlokalizowanych w otworach po wykonanych odwiertach rdzeniowych, do głębokości 0,85 m p.p.k. (pod poziomem konstrukcji). Widok wykonywania badania nośności podłoża gruntowego bezpośrednio pod konstrukcją nawierzchni lotniskowej przedstawiono poniżej na rys. 4.4.



Rys. 4.4. Widok wykonywania badania nośności sondą SDS [źródło: archiwum ITWL]

Wyniki badania nośności podłoża gruntowego pod ocenianymi nawierzchniami lotniskowymi sondą SDS, przedstawiono poniżej w tabelicy 4.1.



Tablica 4.1. Wyniki badania nośności podłoża gruntowego sondą SDS

	Nr punktu pomiarowego	Głębokość	CBR [%]
Odcinek doświadczalny nr 1	1	od 0,0 m do 0, 15 m	9,0
		od 0,0 m do 0, 85 m	8,8
	2	od 0,0 m do 0, 15 m	12,7
		od 0,0 m do 0, 85 m	11,7
	3	od 0,0 m do 0, 15 m	8,4
		od 0,0 m do 0, 85 m	11,5
	Średnia:	od 0,0 m do 0, 85 m	10,7

Korzystając z zależności pomiędzy  $E$  i  $CBR$ , wartość modułu odkształcenia podłoża  $E$  (przed zabiegiem „rubblizingu”) wynosi **106,7 MPa**.

Natomiast na podstawie pomiarów urządzeniem HWD, wyznaczono wartości modułów odkształcenia podłoża  $E$  korzystając z zależności:

$$E_0(r) = \frac{(1 - \nu^2) \cdot q \cdot a^2}{r \cdot u(r)}$$

gdzie:

$E_0(r)$  – moduł powierzchniowy w odległości  $r$  od środka płyty obciążającej.

$a$  – promień płyty.

$\nu$  – współczynnik Poissona.

$u$  – ugięcie w badanym punkcie.

$q$  – naprężenie pod płytą obciążającą.

Uzyskane wartości modułów odkształcenia podłoża  $E$  wynoszą:

- przed zabiegiem „rubblizingu”  $\approx$  **100 MPa**;
- po zabiegu „rubblizingu”  $\approx$  **130 MPa**.

Na podstawie uzyskanych wyników badań można stwierdzić, że odprężenie warstwy z betonu cementowego (układ jednowarstwowy) metodą „rubblizingu” przy użyciu technologii MHB wpływa również na poprawę nośności podłoża gruntowego, spoczywającego bezpośrednio pod tą warstwą.

#### 4.3. Badania nośności nowo powstałej warstwy (konstrukcji)

Badania nośności nowo powstałej warstwy (konstrukcji) po odprężeniu warstwy z betonu cementowego (układu jednowarstwowego) metodą „rubblizingu”



przy użyciu technologii MHB przeprowadzono aparaturą VSS o nr inwentarzowym 664/2865 oraz ugięciomierzem lotniskowym HWD o nr inwentarzowym 664/1040. Dodatkowo wykonano pomiary lekką płytą dynamiczną o nr inwentarzowym 664/0980 (tylko na odcinku nr 2). Poniżej na rys.4.5 - 4.6 przedstawiono widok wykonywanych pomiarów.



Rys. 4.5. Widok wykonywania badania aparaturą VSS [źródło: archiwum ITWL]



Rys. 4.6. Widok wykonywania badania urządzeniem HWD [źródło: archiwum ITWL]

#### 4.3.1. Pomiary aparaturą VSS

Badanie nośności za pomocą aparatury VSS zgodnie z normą PN-S-02205:1998 *Drogi samochodowe - Roboty ziemne - Wymagania i badania*. Badanie VSS polega na pomiarze odkształceń pionowych (osiadań) badanej warstwy pod wpływem nacisku

statycznego wywieranego na nią za pomocą stalowej okrągłej płyty. Nacisk na płytę wywierany jest za pośrednictwem dźwignika hydraulicznego z dołączonym manometrem. Rozróżnia się pierwotny moduł odkształcenia  $E_1$  oznaczony w pierwszym obciążeniu i wtórny moduł  $E_2$  oznaczony w powtórnym obciążeniu badanej warstwy. Moduł odkształcenia oblicza się ze wzoru:

$$E = \frac{3 \cdot \Delta p}{4 \cdot \Delta s} \cdot D$$

gdzie:

$\Delta p$  – przyrost obciążenia jednostkowego w określonym zakresie.

$\Delta s$  – przyrost odkształcenia odpowiadający przyjętemu zakresowi obciążeń jednostkowych, tj. 0,25 – 0,35 MPa (zespół warstw / po zdjęciu ścieralnej).

$D$  – średnica płyty obciążającej (300 mm).

Na podstawie wartości modułów odkształcenia, obliczono wskaźnik odkształcenia  $I_o$ , według zależności:

$$I_o = \frac{E_2}{E_1}$$

Uzyskane wyniki z badań aparaturą VSS przedstawiono poniżej w tablicach 4.2 - 4.7.

Tablica 4.2. Wyniki badań VSS – odcinek nr 1 / pkt nr 1

X	Ciśnienie manometr u $\Delta p$ [MPa]	Wielkość średniego odkształcenia zmierzonego na czujnikach $\Delta s$ [mm]			Średnia wartość $\Delta s$ [mm]
		I czujnik	II czujnik	III czujnik	
Obciążanie pierwotne	0,02	0,00	0,00	0,00	
	0,05	0,17	0,08	0,14	
	0,10	0,38	0,18	0,31	
	0,15	0,62	0,30	0,50	
	0,20	0,78	0,37	0,63	
	0,25	0,87	0,52	0,76	0,72
	0,30	0,89	0,83	0,85	
	0,35	0,97	0,90	0,96	0,94
	0,40	1,08	0,96	1,12	
Obciążanie wtórne	0,05	0,79	0,61	0,77	
	0,10	0,91	0,72	0,90	
	0,15	1,01	0,80	1,00	
	0,20	1,10	0,85	1,07	
	0,25	1,19	0,91	1,15	1,08
	0,30	1,16	1,06	1,17	
	0,35	1,21	1,11	1,22	1,18
X				$E_1$ [Mpa]	102,3
				$E_2$ [Mpa]	225,0
				$l_0$	2,2

Tablica 4.3. Wyniki badań VSS – odcinek nr 1 / pkt nr 2

X	Ciśnienie manometr u $\Delta p$ [MPa]	Wielkość średniego odkształcenia zmierzonego na czujnikach $\Delta s$ [mm]			Średnia wartość $\Delta s$ [mm]
		I czujnik	II czujnik	III czujnik	
Obciążanie pierwotne	0,02	0,00	0,00	0,00	
	0,05	0,14	0,14	0,12	
	0,10	0,29	0,33	0,31	
	0,15	0,40	0,48	0,49	
	0,20	0,49	0,63	0,67	
	0,25	0,61	0,74	0,81	0,72
	0,30	0,67	0,81	0,95	
	0,35	0,77	0,88	1,11	0,92
	0,40	0,86	0,95	1,24	
	0,45	0,93	1,00	1,35	
Obciążanie wtórne	0,05	0,61	0,58	0,94	
	0,10	0,68	0,68	1,04	
	0,15	0,74	0,76	1,11	
	0,20	0,78	0,82	1,15	
	0,25	0,82	0,88	1,22	0,97
	0,30	0,84	0,92	1,25	
	0,35	0,88	0,97	1,32	1,06
X				$E_1$ [Mpa]	112,5
				$E_2$ [Mpa]	250,0
				$l_0$	2,2

Tablica 4.4. Wyniki badań VSS – odcinek nr 1 / pkt nr 3

	Ciśnienie manometr u $\Delta p$ [MPa]	Wielkość średniego odkształcenia zmierzonego na czujnikach $\Delta s$ [mm]			Średnia wartość $\Delta s$ [mm]	
		I czujnik	II czujnik	III czujnik		
Obciążanie pierwotne	0,02	0,00	0,00	0,00		
	0,05	0,18	0,12	0,10		
	0,10	0,46	0,27	0,27		
	0,15	0,72	0,42	0,41		
	0,20	0,98	0,61	0,48		
	0,25	1,18	0,76	0,56	0,83	
	0,30	1,40	0,88	0,67		
	0,35	1,60	0,98	0,79	1,12	
	0,40	1,84	1,04	1,06		
	0,45	2,01	1,11	1,15		
Obciążanie wtórne	0,05	1,59	0,54	0,90		
	0,10	1,67	0,62	0,97		
	0,15	1,75	0,69	1,04		
	0,20	1,81	0,77	1,07		
	0,25	1,87	0,84	1,11	1,27	
	0,30	1,93	0,89	1,15		
	0,35	2,00	0,93	1,21	1,38	
					$E_1$ [Mpa]	77,6
					$E_2$ [Mpa]	204,5
					$I_o$	2,6

Tablica 4.5. Wyniki badań VSS – odcinek nr 2 / pkt nr 1

	Ciśnienie manometr u $\Delta p$ [MPa]	Wielkość średniego odkształcenia zmierzonego na czujnikach $\Delta s$ [mm]			Średnia wartość $\Delta s$ [mm]	
		I czujnik	II czujnik	III czujnik		
Obciążanie pierwotne	0,02	0,00	0,00	0,00		
	0,05	0,17	0,08	0,14		
	0,10	0,38	0,18	0,31		
	0,15	0,62	0,30	0,50		
	0,20	0,78	0,37	0,63		
	0,25	0,87	0,52	0,76	0,72	
	0,30	0,89	0,83	0,85		
	0,35	0,97	0,90	0,96	0,94	
	0,40	1,08	0,96	1,12		
	0,45	1,20	1,03	1,25		
Obciążanie wtórne	0,05	0,79	0,61	0,77		
	0,10	0,91	0,72	0,90		
	0,15	1,01	0,80	1,00		
	0,20	1,10	0,85	1,07		
	0,25	1,19	0,91	1,15	1,08	
	0,30	1,16	1,06	1,17		
	0,35	1,21	1,11	1,22	1,18	
					$E_1$ [Mpa]	102,3
					$E_2$ [Mpa]	225,0
					$I_o$	2,2

Tablica 4.6. Wyniki badań VSS – odcinek nr 2 / pkt nr 2

X	Ciśnienie manometru $\Delta p$ [MPa]	Wielkość średniego odkształcenia zmierzonego na czujnikach $\Delta s$ [mm]			Średnia wartość $\Delta s$ [mm]	
		I czujnik	II czujnik	III czujnik		
Obciążanie pierwotne	0,02	0,00	0,00	0,00		
	0,05	0,05	0,04	0,08		
	0,10	0,11	0,15	0,24		
	0,15	0,16	0,26	0,35		
	0,20	0,21	0,38	0,43		
	0,25	0,26	0,52	0,53	0,44	
	0,30	0,27	0,64	0,60		
	0,35	0,31	0,71	0,69	0,57	
	0,40	0,37	0,75	0,75		
	0,45	0,43	0,79	0,89		
Obciążanie wtórne	0,05	0,25	0,34	0,51		
	0,10	0,28	0,41	0,58		
	0,15	0,32	0,47	0,63		
	0,20	0,35	0,53	0,68		
	0,25	0,37	0,61	0,73	0,57	
	0,30	0,37	0,72	0,76		
	0,35	0,39	0,76	0,80	0,65	
X					$E_1$ [Mpa]	173,1
					$E_2$ [Mpa]	281,3
					$I_o$	1,6

Tablica 4.7. Wyniki badań VSS – odcinek nr 3 / pkt nr 1

X	Ciśnienie manometru $\Delta p$ [MPa]	Wielkość średniego odkształcenia zmierzonego na czujnikach $\Delta s$ [mm]			Średnia wartość $\Delta s$ [mm]	
		I czujnik	II czujnik	III czujnik		
Obciążanie pierwotne	0,02	0,00	0,00	0,00		
	0,05	0,07	0,07	0,04		
	0,10	0,31	0,33	0,28		
	0,15	0,52	0,54	0,47		
	0,20	0,66	0,69	0,60		
	0,25	0,85	0,91	0,80	0,85	
	0,30	0,98	1,07	0,93		
	0,35	1,13	1,24	1,07	1,14	
	0,40	1,29	1,42	1,21		
	0,45	1,42	1,57	1,32		
Obciążanie wtórne	0,05	0,76	1,05	0,64		
	0,10	0,85	1,12	0,74		
	0,15	0,94	1,19	0,82		
	0,20	1,05	1,30	0,93		
	0,25	1,14	1,40	1,02	1,19	
	0,30	1,23	1,48	1,11		
	0,35	1,31	1,56	1,19	1,35	
X					$E_1$ [Mpa]	77,6
					$E_2$ [Mpa]	140,6
					$I_o$	1,8



#### 4.3.2. Pomiary lekką płytą dynamiczną

Pomiary lekką płytą dynamiczną wykonano na odcinku nr 2, w losowo wybranych 20 punktach pomiarowych. Na podstawie ustalonych relacji między wynikami badań statycznych (aparaturą VSS) i wynikami badań dynamicznych (lekką płytą dynamiczną) zawartych w *Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Strassenbau TP BF- StB, Teil B 8.3, Dynamischer Plattendruckversuch mit Hilfe des Leichten Fallgewichtsgerates Ausgabe 1997*, wyznaczono wartości modułów statycznych ( $E_{st}$ ). Zgodnie z w/w literaturą przyjęto że relacja ta jest następująca:

$$E_{st} = E_{vd} \cdot 1,95$$

gdzie:

$E_{st}$  – moduł statyczny.

$E_{vd}$  – moduł dynamiczny (określony przy pomocy lekkiej płyty dynamicznej).

Wyznaczone wartości modułów statycznych  $E_{st}$  oraz wartości dynamicznego modułu odkształcenia  $E_{vd}$  przedstawiono w tabelicy 4.8.

Tabela 4.8. Wyniki badań lekką płytą dynamiczną

Numer pomiaru	Moduł dynamiczny $E_{vd}$ [MPa]	Moduł statyczny $E_{st}$ [MPa]	Numer pomiaru	Moduł dynamiczny $E_{vd}$ [MPa]	Moduł statyczny $E_{st}$ [MPa]
1	89,6	174,8	10	54,6	106,5
2	65,6	127,9	11	48,3	94,1
3	54,1	105,5	12	65,5	127,8
4	62,9	122,6	13	94,9	185,1
5	47,2	92,0	14	47,5	92,6
6	41,6	81,1	15	28,1	54,8
7	73,1	142,4	16	80,0	156,0
8	46,9	91,4	17	55,0	107,3
9	60,0	117,0	18	74,3	144,8
10	37,0	72,1	19	91,5	178,3
11	91,8	179,1	20	-	-
			<b>Wartość średnia:</b>	$E_{vd}$ [Mpa]	<b>62,3</b>
				$E_{st}$ [Mpa]	<b>121,6</b>

#### 4.3.3. Pomiary urządzeniem HWD

Pomiary urządzeniem HWD wykonano na losowo wybranych punktach pomiarowych. Badanie polegało na pomiarze ugięć sprężystych, na podstawie których wyznaczono wartości modułów zastępczych  $E_z$  korzystając z niżej przedstawionej zależności:



$$E_z = \frac{2 \cdot q \cdot a}{u(0)}$$

Uzyskane wartości modułów zastępczych  $E_z$  dla poszczególnych odcinków doświadczalnych wynoszą:

- **201,83 MPa** dla odcinka nr 1;
- **202,53 MPa** dla odcinka nr 2;
- **192,08 MPa** dla odcinka nr 3.

Ponadto, na podstawie pomiarów urządzeniem HWD określono moduły sprężystości  $E$  nowo powstałej warstwy konstrukcyjnej z przekruszonego gruzu betonowego (analiza odwrócona), które wynoszą odpowiednio:

- **≈ 650 MPa** dla odcinka nr 1;
- **≈ 700 MPa** dla odcinka nr 2;
- **≈ 600 MPa** dla odcinka nr 3.

## 5. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań terenowych i uzyskanych wyników oraz wykonanych następnie analiz, można sformułować następujące wnioski:

1. W wyniku przeprowadzonej w warunkach terenowych weryfikacji struktury nowo powstałej warstwy z przekruszonego gruzu betonowego można stwierdzić, że wielkość (średnica) pojedynczych brył powstałego gruzu betonowego nie przekracza deklarowanych wartości (pkt 4.1).
2. Oceniana metoda „*rubblizingu*” przy użyciu technologii MHB zapewnia możliwość odprężenia betonowej warstwy konstrukcyjnej nawierzchni lotniskowej na pełnej grubości, przyjmując typową grubość betonowej warstwy konstrukcyjnej nawierzchni do 40 cm (pkt 4.1).
3. Na podstawie uzyskanych wyników badań można także stwierdzić, że odprężenie betonowej warstwy konstrukcyjnej nawierzchni lotniskowej metodą „*rubblizingu*” przy użyciu technologii MHB wpływa również na poprawę nośności podłoża gruntowego, spoczywającego bezpośrednio pod tą warstwą (pkt 4.2).
4. Nowo powstała warstwa z przekruszonego gruzu betonowego, po jej wcześniejszym

zagęszczeniu według zaleceń technologicznych ocenianej metody spełnia przyjęte wymagania w zakresie nośności (pkt 4.3).

5. Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych proponuje, aby jako wymaganą minimalną wartość wtórnego modułu odkształcenia  $E_2$  dla nowo powstałej warstwy z przekruszonego gruzu betonowego przyjąć **130 MPa** (wartości wskaźnika odkształcenia  $I_0 \leq 2,2$ ).
6. Biorąc pod uwagę powyższe stwierdza się, że metoda „*rubblizingu*” przy użyciu technologii MHB może być stosowana do odprężania betonowych warstw konstrukcyjnych nawierzchni lotniskowych, w tym:
  - a. nawierzchni lotniskowych o konstrukcji jednowarstwowej (układ sztywny) - **warstwa jezdna wykonana z betonu cementowego spoczywająca na odpowiednio przygotowanym podłożu;**
  - b. nawierzchni lotniskowych o konstrukcji wielowarstwowej (układ mieszany) - **warstwa podbudowy wykonana z betonu cementowego spoczywająca na odpowiednio przygotowanym podłożu / podbudowie pomocniczej (po mechanicznym usunięciu istniejących warstw z betonu asfaltowego).**
7. Ponadto, nowo formowana warstwa z przekruszonego gruzu betonowego, po odpowiednim zagęszczeniu może być uznawana za warstwę podbudowy pod projektowane konstrukcje nawierzchni lotniskowych.

## LITERATURA

1. NO-17-A500:2016 *Nawierzchnie lotniskowe i drogowe. Badania nośności.*
2. NO-17-A503:2017 *Nawierzchnie lotniskowe. Naturalne nawierzchnie lotniskowe. Badania nośności.*
3. NO-17-A204:2015 *Nawierzchnie lotniskowe. Nawierzchnie z betonu cementowego. Wymagania i metody badań.*
4. PN-S-02205:1998 *Drogi samochodowe - Roboty ziemne - Wymagania i badania.*

ZAKŁAD LOTNISKOWY ITWL	strona Sprawozdania: 23 stron Sprawozdania: 23	SPRAWOZDANIE nr 30/24/20
---------------------------	---	-----------------------------

5. Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Strassenbau TP BF- StB, Teil B 8.3, Dynamischer Plattendruckversuch mit Hilfe des Leichten Fallgewichtsgerates Ausgabe 1997.

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

**Rozdzielnik Sprawozdania:**

Egz. nr 1 – Biblioteka ITWL,

Egz. nr 2÷3 – Zleceniodawca (WEGARTEN CONSTRUCTION Sp. z o.o.),

Egz. nr 4÷5 – Zleceniodawca (ROBOZ Piotr Przyłucki),

Egz. nr 6 – Kierownik Zakładu Lotniskowego.

**Opracowali:**

ppłk dr inż. Mariusz WESOŁOWSKI

.....  


mjr mgr inż. Krzysztof BLACHA

.....  


mgr inż. Agata KOWALEWSKA

.....  


mgr inż. Paweł PIETRUSZEWSKI

.....  


technik Wiesław EYCHLER

.....  


**KIEROWNIK  
ZAKŁADU LOTNISKOWEGO**

KIEROWNIK  
ZAKŁADU LOTNISKOWEGO  
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

.....  
  
ppłk dr inż. Mariusz WESOŁOWSKI

**ZASTĘPCA DYREKTORA**

ZASTĘPCA DYREKTORA  
INSTYTUTU TECHNICZNEGO WOJSK LOTNICZYCH  
ds. Naukowych

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

ZASTĘPCA DYREKTORA  
INSTYTUTU TECHNICZNEGO WOJSK LOTNICZYCH  
ds. Organizacyjno-Technicznych

.....  
  
dr inż. Jarosław SABNECKI