

WZMOCNIENIE PODŁOŻA PALAMI PRZEMIESZCZENIOWYMI IMBDP¹

Roman Rogowski

mgr inż., P.I. „IMB-Podbeskidzie” Sp. z o.o. Ul. Górny
Bór 31a, 43-430 Skoczów, tel. (33) 853 25 66, e-mail:
biuro@imbpodbeskidzie.pl

Andrzej Szalbót

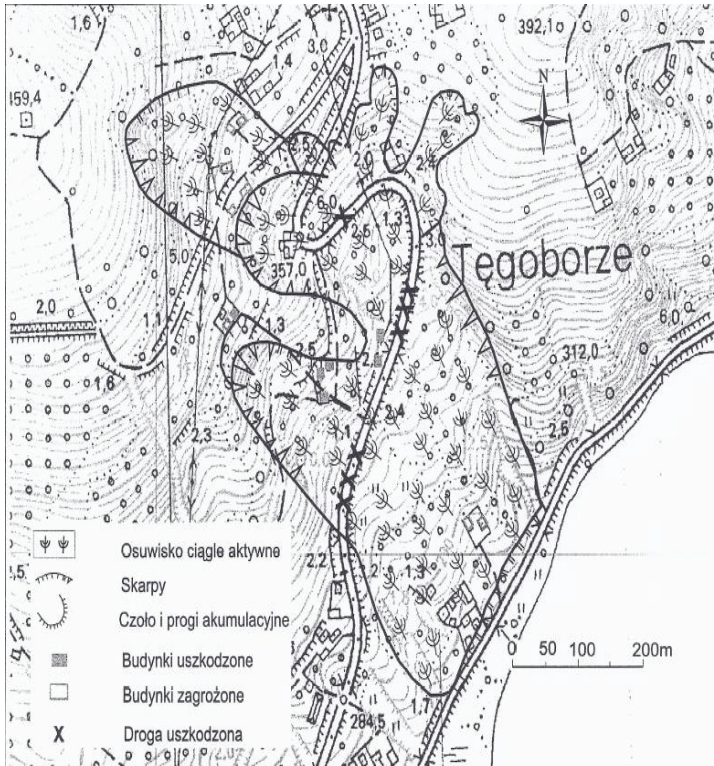
mgr inż., P.I. „IMB-Podbeskidzie” Sp. z o.o. Ul. Górny
Bór 31a, 43-430 Skoczów, tel. (33) 853 25 66, e-mail:
biuro@imbpodbeskidzie.pl

Streszczenie. *Przedmiotem artykułu jest przedstawienie charakterystyki zadania pn. „Rozbudowa drogi krajowej nr 75 od km 51+600.00 do km 53+305.51 w miejscowości Tęgoborze wraz z odwodnieniem osuwiska”, realizowanego przez Przedsiębiorstwo Inżynieryjne „IMB-Podbeskidzie” Sp. z o.o. na rzecz Zamawiającego - Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad Oddział Kraków. W trakcie realizacji robót drogowych konieczne było wzmocnienie podłoża pod korpusem drogowym, spowodowane wystąpieniem przewarstwień gruntów organicznych i słabonośnych w stanie miękkoplastycznym. Przedmiotowe wzmocnienie podłoża zostało wykonane przy zastosowaniu dwóch technologii przemieszczeniowych – pali FDP oraz autorskiego rozwiązania P.I. „IMB-Podbeskidzie”- pali przemieszczeniowych IMBDP. Po wykonaniu pali przygotowano 3 pola testowe dla których przeprowadzono po 2 próbne obciążenia statyczne wraz z dokładną interpretacją oraz analizą uzyskanych wyników, pozwalające porównać zastosowane technologie FDP oraz IMBDP.*

Słowa kluczowe: *pale przemieszczeniowe IMBDP*

Przedsiębiorstwo Inżynieryjne „IMB-Podbeskidzie” Sp. z o.o. od maja 2018 roku realizuje na rzecz Zamawiającego - krakowskiego Oddziału Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad zadanie pn.: „Rozbudowa drogi krajowej nr 75 od km 51+600.00 do km 53+305.51 w miejscowości Tęgoborze wraz z odwodnieniem osuwiska”. Inwestycja lokalizowana jest w województwie małopolskim, w powiecie nowosądeckim, w gminie Łososina Dolna. Głównym zadaniem przedsięwzięcia jest poprawa stanu odwodnienia istniejącej drogi krajowej nr 75, a także odbudowa do pierwotnego przebiegu odcinka drogi krajowej nr 75 (od km 52+540.00 do km 52+686.00) który został przesunięty na skutek ruchów masowych. Efektem końcowym zrealizowanych prac ma być ograniczenie dewastacji istniejącej drogi wskutek oddziaływania osuwiska.

¹ Wkład procentowy poszczególnych autorów: Rogowski R. 50%, Szalbót A. 50%



od	do	grunt	opis	barwa	PW	symb. k.	stan	Wn	ρ	Cu	Φ_u	E _s
otwór 1 woda: sączenia 2,9- 4,0 m ppt												
0.00	0.50	nN	Nasyp - glina zwęzła, rumosż, pospółka	zmiennie	-	-	pl-szg	w	-	-	-	-
0.50	1.00	Osz+KR	Olina pylasta zwęzła z okruchami kúpka	szarobrzáwa	PW 1.5	c	l ₁ =0.28, pl	w	1,90	15	13	17000
1.00	1.50	Osz+KR	Olina pylasta zwęzła z okruchami kúpka	szarobrzáwa	PW 2.8	c	l ₁ =0.08, tpl	mw	2,00	23	16	27000
1.50	2.80	Osz+KR	Olina pylasta zwęzła z okruchami kúpka	szarobrzáwa	PW 4.0	c	l ₁ =0, pzw	mw	2,15	30	18	34000
2.80	4.00	KRg	Rumosż gliniasty	brázowoszara	-	c	l ₁ =0.45, pl	wfww	1,90	10	10	12000
otwór 2 woda: sączenia 1.7- 2.4 m ppt												
0.00	0.40	nN	Nasyp - glina zwęzła, rumosż, pospółka	zmiennie	-	-	pl-szg	w	-	-	-	-
0.40	1.40	Osz+KR	Olina pylasta zwęzła z okruchami kúpka	szarobrzáwa	PW 1.4	c	l ₁ =0.38, pl	w	1,90	11	12	14000
1.40	1.70	Osz+KR	Olina pylasta zwęzła z okruchami kúpka	szarobrzáwa	PW 0.8	c	l ₁ =0.45, pl	w	1,90	10	10	12000
1.70	2.40	Nmg Osz+H	Namul gliniasty przewarszóna gliną pylastą zwęzłą z domieszką humusu	szara	-	c	mpl	mw	UWAGA - grunty nieośnie			-
2.40	2.70	Osz+H	Olina pylasta zwęzła z domieszką humusu	brázowoszara	PW 2.2	c	l ₁ =0.30, pl	w	1,90	14	13	17000
2.70	3.60	Osz+KR	Olina pylasta zwęzła z okruchami kúpka	brázowoszara	PW 2.5	c	l ₁ =0.20, tpl	mw	2,00	19	14	21000
3.60	4.00	Osz+KR	Olina pylasta zwęzła z okruchami kúpka	brázowoszara	PW 4.0	c	l ₁ =0.10, tpl	mw	2,00	22	16	26000
otwór 3 woda: sączenia 1.6 2.1- 4.4 m ppt												
0.00	0.40	nN	Nasyp - glina zwęzła, rumosż, pospółka	zmiennie	-	-	pl-szg	w	-	-	-	-
0.40	1.20	Osz+KR	Olina pylasta zwęzła z okruchami kúpka	brázowoszara	PW 2.2	c	l ₁ =0.20, tpl	mw	2,00	19	14	21000
1.20	1.60	Osz+KR	Olina pylasta zwęzła z okruchami kúpka	brázowoszara	PW 1.7	c	l ₁ =0.30, pl	w	1,90	14	13	17000
1.60	2.10	Osz+H	Olina pylasta zwęzła z domieszką humusu	szara	PW 1.6	c	l ₁ =0.32, pl	w	1,90	13	13	16000
2.10	4.40	Nmg	Namul gliniasty	szara	-	c	mpl	mw	UWAGA - grunty nieośnie			-
4.40	6.00	Osz+KR	Olina pylasta zwęzła z okruchami kúpka	brázowoszara	PW 2.0	c	l ₁ =0.26, pl	w	2,15	13	13	16000
otwór 4 woda: sączenia 4.0, 4.3, 4.6 m ppt												
0.00	0.60	nN	Nasyp - glina, rumosż, zwir, humus	zmienna	-	-	pl-szg	w	-	-	-	-
0.60	1.40	Osz+KR	Olina pylasta zwęzła z rumoszem	brázowoszara	PW 1.0	c	l ₁ =0.40, pl	w	1,90	11	11	13000
1.40	1.70	Osz+KR	Olina pylasta zwęzła z rumoszem	brázowoszara	PW 1.7	c	l ₁ =0.26, pl	w	1,90	16	14	18000
1.70	2.50	Osz+KR KRg	Olina pylasta zwęzła z rumoszem przewarszóna rumoszem gliniastym	brázowoszara	PW 0.5	c	l ₁ =0.53, mpl	mw	1,80	8	9	11000
2.50	4.30	Nmg	Namul gliniasty - glina pylasta zwęzła z rumoszem i dużymi fragmentami drewna	brázowoszara	PW 0.7	c	mpl	wfww	UWAGA - grunty nieośnie			-
4.30	4.60	Osz+H+KR	Olina pylasta zwęzła z domieszką humusu i okruchów kúpka	szarobrzáwa	PW 0.7	c	l ₁ =0.46, pl	w	1,90	9	10	12000
4.60	5.20	Osz+KR	Olina pylasta zwęzła z okruchami kúpka	szarobrzáwa	PW 1.5	c	l ₁ =0.37, pl	w	1,90	12	12	14000
5.20	6.00	KWg(Osz+KR)	Zwielzelnina gliniasta = glina zwęzła z okruchami kúpka	ciemnoszara	PW 4.5	c	l ₁ =0, pzw	mw	2,20	30	18	34000
otwór 5 woda: sączenia 1.5-4.8, 5.2-5.3, stabilizacja 0.0 m ppt												
0.00	0.30	nN	Nasyp - glina, rumosż, zwir, humus	zmienna	-	-	pl-szg	w	-	-	-	-
0.30	1.50	Osz+KR	Olina pylasta zwęzła z rumoszem	brázowoszara	PW 1.5	c	l ₁ =0.32, pl	w	1,90	13	13	16000
1.50	2.10	Osz+KR	Olina pylasta zwęzła z rumoszem	brázowoszara	PW 1.0	c	l ₁ =0.45, pl	w	1,90	10	10	12000
2.10	2.60	Osz+KR	Olina pylasta zwęzła z rumoszem	brázowoszara	PW 0.4	c	l ₁ =0.52, mpl	mw	1,80	8	9	11000
2.60	4.40	Nmg	Namul gliniasty	szara	-	c	mpl	w-rw	UWAGA - grunty nieośnie			-
4.40	4.80	Osz+KR	Olina pylasta zwęzła z rumoszem	szara	PW 0.5	c	l ₁ =0.51, mpl	mw	1,80	8	10	11000
4.80	5.20	KWg(Osz+KR)	Zwielzelnina gliniasta = glina zwęzła z okruchami kúpka	szara	PW 2.5	c	l ₁ =0.13, tpl	mw	2,10	21	15	24000
5.20	5.50	KWg(Osz+KR)	Zwielzelnina gliniasta = glina zwęzła z okruchami kúpka	szara	PW 0.4	c	l ₁ =0.55, mpl	mw	1,90	8	9	10000
5.50	6.00	KWg(Osz+KR)	Zwielzelnina gliniasta = glina zwęzła z okruchami kúpka	szara	PW 4.5	c	l ₁ =0, pzw	mw	2,20	30	18	34000
otwór 6 woda: sączenia 0.7, 1.5-3.2, stabilizacja 0.1 m ppt												
0.00	0.30	nN	Nasyp - glina, rumosż, zwir, humus	zmienna	-	-	pl-szg	w	-	-	-	-
0.30	1.20	Osz+H+KR	Olina pylasta zwęzła z domieszką humusu i okruchów kúpka	szarobrzáwa	PW 1.0	c	l ₁ =0.29, pl	w	1,90	14	13	17000
1.20	1.50	Osz+KR	Olina pylasta zwęzła z rumoszem	szarobrzáwa	PW 1.5	c	l ₁ =0.32, pl	w	1,90	13	13	16000
1.50	3.20	Osz+H	Olina pylasta zwęzła z domieszką humusu	brázowa	PW 0.8	c	l ₁ =0.47, pl	w	1,90	9	10	12000
3.20	3.50	Osz Ox	Olina pylasta zwęzła przewarszóna gliną pylastą	brázowa	PW 1.5	c	l ₁ =0.34, pl	w	1,90	13	12	15000
3.50	3.80	KWg W	Zwielzelnina gliniasta przewarszóna zwielzelniną	szara	PW 2.5	c	l ₁ =0.15, tpl	mw	2,00	20	15	23000
3.80	5.00	KWg	Zwielzelnina gliniasta kúpka	brázowa	PW 4.6	c	l ₁ =0, pzw	mw	2,15	30	18	34000
otwór 7 woda: sączenia 0.5-1.2, 1.6 m ppt												
0.00	0.30	nN	Nasyp - glina, rumosż, zwir, humus	zmienna	-	-	pl-szg	w	-	-	-	-
0.30	1.20	Nmg	Namul gliniasty	szara	-	c	mpl	mw	UWAGA - grunty nieośnie			-
1.20	1.60	Osz Ox	Olina pylasta zwęzła przewarszóna gliną pylastą	brázowa	PW 0.7	c	l ₁ =0.48, pl	w	1,90	9	10	12000
1.60	2.50	Osz Ox	Olina pylasta zwęzła przewarszóna gliną pylastą	brázowa	PW 1.2	c	l ₁ =0.35, pl	w	1,90	12	12	15000
2.50	3.00	Osz	Olina pylasta zwęzła	brázowa	PW 2.8	c	l ₁ =0.10, tpl	mw	2,00	22	16	26000
3.00	4.00	KWg W	Zwielzelnina gliniasta przewarszóna zwielzelniną	szarobrzáwa	PW 4.6	c	l ₁ =0, pzw	mw	2,15	30	18	34000

Rys.3. Tabela obrazująca warunki gruntowe na projektowanym zakresie wzmocnienia[3]

W związku z osuwiskowym charakterem terenu, w celu zwiększenia lokalnej stateczności skarp korpusu drogowego oraz przeciwdziałając zaciskaniu rowów przez przeciwskarpy zboczy przylegających do odcinka DK75 lokalnie przewidziano wykonanie konstrukcji oporowych w formie kotwionych palisad. Całe zadanie zakłada dla 19 palisad wykonanie 1207 szt. pali wierconych fi 600 mm o długości od 8,5 do 19,0 m, 643 szt. trwałych kotew linowych typu SUSPA DCP S1860 o długości od 13,0 do 23,0 m, 49 szt. drenów wierconych fi 110 mm o długościach od 15,0 do 30,0 m oraz 10 studni odwodnieniowych fi 800 mm.

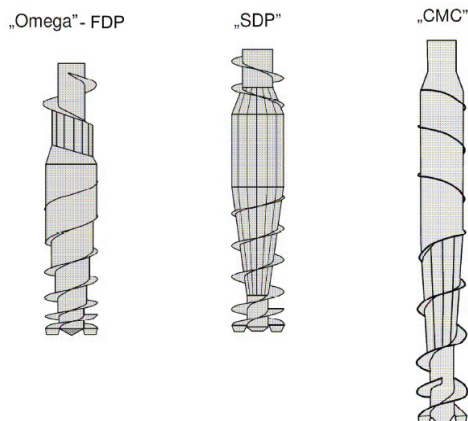
Podczas prowadzenia prac związanych z wykonaniem konstrukcji korpusu drogowego konieczne było wykonanie wzmocnienia podłoża gruntowego, spowodowane wystąpieniem namulów gliniastych oraz glin pylastych z domieszką

humusu. Po wykonaniu dodatkowych odwiertów geologicznych określony został dokładny zakres wzmocnienia podłoża, długość pali oraz ich rozmieszczenie [5].

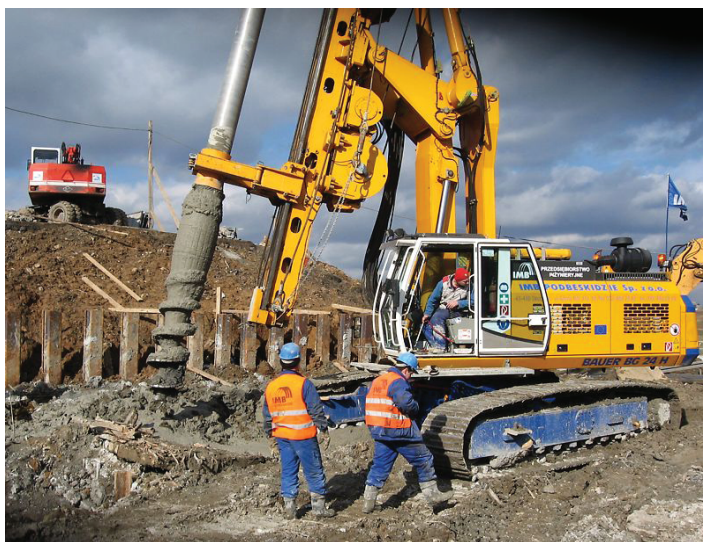
Warstwy konstrukcyjne korpusu drogowego, uwzględniające występowanie wyżej wymienionych gruntów zostały zaprojektowane dla konstrukcji nawierzchni w następujący sposób [5]:

W-wa ścieralna – SMA 11	4cm
W-wa wiążąca – AC 16 WMS	10cm
Podbudowa zasadnicza – AC 16 WMS	10cm
Podbudowa zasadnicza z mieszanki niezwiązanej 0/31,5mm E2>180 MPa	20cm
Podbudowa pomocnicza z mieszanki niezwiązanej 0/63mm E2>120MPa	37cm
Geokrata 200mm	20cm
Geokrata 200mm	20cm
Geosiatka Wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż pasma 40kN/m Wytrzymałość na rozciąganie wszerz pasma 40kN/m	
w-wa transmisyjna z kruszywa naturalnego 0/63	50-72cm
Geosiatka Wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż pasma 40kN/m Wytrzymałość na rozciąganie wszerz pasma 40kN/m	
W-wa separacyjna z geowłókniny Bontec NW 21 Wytrzymałość na rozciąganie wzdłuż pasma 21kN/m Wytrzymałość na rozciąganie wszerz pasma 21kN/m	
Wzmocnienie podłoża palami przemieszczeniowymi FDP Ø400mm	8m

Na rynku robót geotechnicznych występuje kilkanaście rodzajów i odmian świrdrów przemieszczeniowych o różnych nazwach oraz symbolach handlowych do wzmacniania podłoża gruntowego. W polskich warunkach wykonawczych najczęściej stosowane są pale przemieszczeniowe wkręcane typu: Omega - (nazywane także FDP), SDP lub CMC (pokazane na rys. 4a/b).



Rys. 4. a) Najpopularniejsze rodzajów świrdrów do wykonywania pali wkręcanych stosowanych w warunkach polskich{ 6}



Rys. 4. b) świder FDP do wykonywania pali wkręcanych [10]

Nowa technologia pali przemieszczeniowych opracowana została w Przedsiębiorstwie Inżynieryjnym „IMB - Podbeskidzie” o nazwie autorskiej: IMB Injection Displacement Pile (w skrócie IMBDP). Widok kształtu świdra wierzącego IMBDP przedstawiono na rys. 5.1 (bez elementów dysz iniekcyjnych).

Zewnętrzny kształt świdra w technologii IMBDP w dużym stopniu przypomina inne odmiany świdrów przemieszczeniowych spotykanych obecnie na rynku. Głównym celem opracowanej technologii IMBDP jest zagęszczenie gruntu na pobocznicy i pod podstawą pala poprzez rozpychanie gruntu specjalną głowicą rozpychającą grunt w trakcie wiercenia oraz wyciągania wiertła pod ciśnieniem poprzez zastosowanie jednoczesnej iniekcji cementowej z iniekcją betonową. Przedmiotem nowatorskim naszego rozwiązania jest właśnie możliwość jednoczesnego podania mieszanki betonowej i iniektu. Istota zagęszczenia gruntu na pobocznicy i pod podstawą pala polega na tym, że zagęszczenie gruntu uzyskuje się poprzez rozpychanie gruntu wzdłuż pobocznicy formowanego pala za pomocą świdra wierzącego posiadającego zmienny skok dolnych łopatek, obły kształt w centralnej części, jak również przeciwny kierunek łopatek w górnej części. Rozpychaniu gruntu towarzyszy dogęszczenie podłoża w czasie wkręcania i podnoszenia świdra, czego konsekwencją jest zwiększenie nośności pala. Dodatkowe zagęszczenie gruntu uzyskuje się poprzez beton który podawany jest pod ciśnieniem przez rdzeń świdra. Ponadto, jeśli zajdzie taka potrzeba w trakcie pograżania lub wyciągania świdra, będzie można poprzez dysze iniekcyjne umiejscowione bezpośrednio nad pilotem wiertniczym świdra (rys.5.2- widok dyszy iniekcyjnej) podawać iniekt lub spulchniać grunt powietrzem lub rozluźniać go wodą. Spulchnianie gruntu lub jego rozluźnienie dotyczyć będzie szczególnie gruntów niespoiste średnio zagęszczonych lub zagęszczonych, ale także gruntów spoistych zwartych lub półzwartych, których przewarstwienia występować będą w trakcie wykonywania pali

przemieszczeniowych powyżej zakładanego poziomu posadowienia. W przypadku podawania iniektu przy podnoszeniu głowicy pała, uzyskane zostanie dodatkowe wzmocnienie lub uszczelnienie podstawy pała oraz jego poboczniczy poprzez zastrzyki z mieszanek cementowymi lub cementowo bentonitowych.

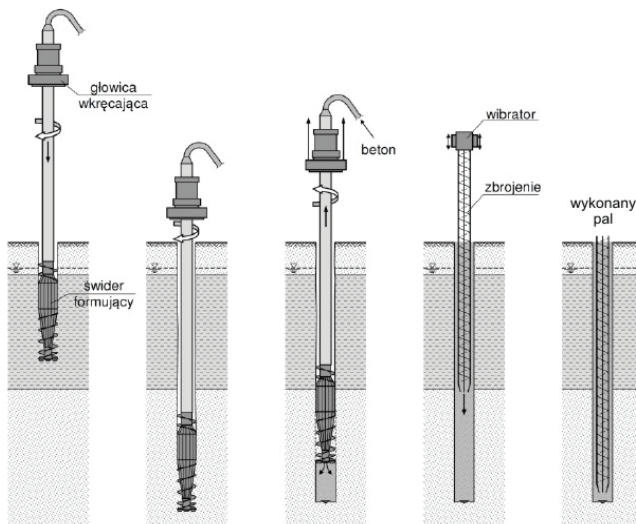


Rys. 5.1. Świder IMB Injection Displacement Pile (w skrócie IMBDP) do wykonywania pali przemieszczeniowych [10]

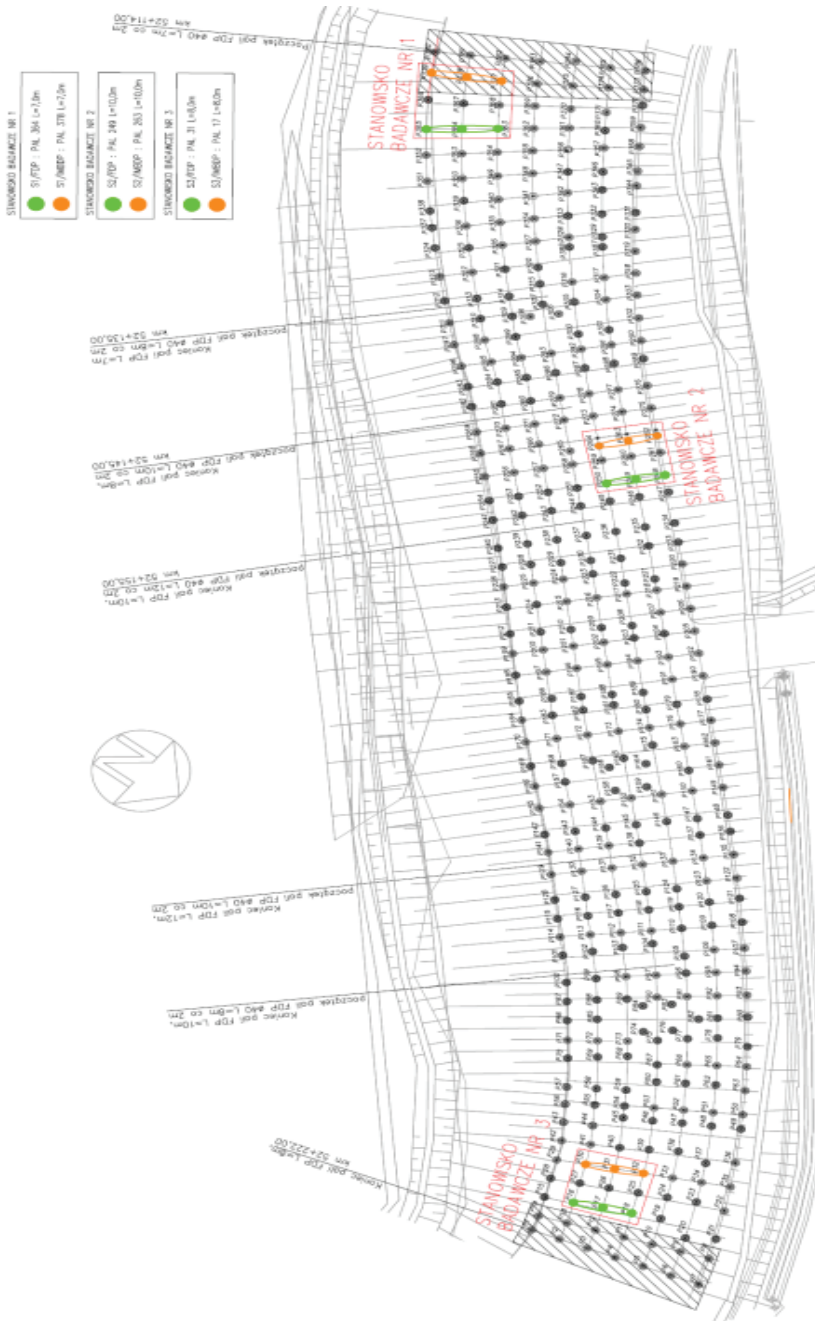


Rys. 5.2. Świder IMB Injection Displacement Pile (w skrócie IMBDP) – widok dyszy iniekcyjnej [10]

Generalnie metoda wykonania pali dla wszystkich technologii przemieszczeniowych polega na nieudarowym wkręcaniu świda w gruncie bez transportu urobku z wykonywanego otworu na powierzchnię terenu. Fazy wykonywania pali przemieszczeniowych wkręcanych przedstawiono schematycznie na rys. 6.



Rys. 6. Fazy realizacji pala przemieszczeniowego [6]



Rys. 7. Lokalizacja poletek badawczych {6}

Zastosowany świder przemieszczeniowy rozpycha grunt na boki i dogęszcza go wzdłuż całej poboczniczy pała zarówno podczas pograżania jak i w trakcie wykręcania świdra. Dogęszczenie gruntu wzdłuż poboczniczy oraz bezpośrednio

pod podstawą pala prowadzi do poprawy jego parametrów, zwiększając tym samym nośność oraz poprawiając charakterystykę obciążenie - osiadanie $Q-s$ wyznaczaną w trakcie próbnego obciążenia. Ponadto nowoczesne maszyny do robót inżynieryjno-hydraulicznych i fundamentowych umożliwiają monitorowanie procesu wiercenia i betonowania przez operatora oraz rejestrowanie wyników pomiarów, co stanowi istotny element systemu kontroli jakości. W czasie wykonywania pali najczęściej rejestrowane są: liczba obrotów i postęp świda (zagłębianie i wyciąganie), ciśnienia w układach hydraulicznych, czasy wiercenia i betonowania, ciśnienie i objętość podawanego betonu.

Wyżej opisane technologie pali FDP oraz IMBDP zastosowano do wzmocnienia podłoża gruntowego pod nawierzchnię drogową w km 52+100 do km 52+300 realizowanej inwestycji W ramach badań polowych przeprowadzono serie próbnych obciążeń statycznych 6 pali na trzech poletkach badawczych S1, S2, S3. Na każdym z poletek w podobnych warunkach gruntowych wykonano po dwa pale w różnych technologiach. Wytypowane poletka testowe stanowią odpowiednią próbę do oceny zastosowanych technologii pali - na tej podstawie możemy formułować odpowiednie wnioski wynikające z porównania charakterystyki pracy przedmiotowych pali. Lokalizację poletek badawczych przedstawiono na poniższym rys. 7. Wyniki badań poddano interpretacji oraz dokonano oceny nośności i porównano charakterystyki przenoszenia obciążeń, $Q-s$.

Zestawienie pali przemieszczeniowych FDP oraz IMBDP próbnie obciążanych zamieszczono poniżej w tabeli 1 [6].

Tabela 1. Charakterystyka pali próbnie obciążanych {6}

Numer pala	Poletko S1		Poletko S2		Poletko S3	
	364	378	249	263	31	17
Średnica pala [mm]	400 mm					
Długość pala [m]	7,0	7,0	10,0	10,0	8,0	8,0
Technologia wykonania	FDP	IMBDP	FDP	IMBDP	FDP	IMBDP
Nośność obliczeniowa [kN]	Nt = 310 kN		Nt = 600 kN		Nt = 400 kN	
Maks. siła w czasie badania [kN]	Qmax = 539 kN		Qmax = 931 kN		Qmax = 637 kN	
Data badania statycznego	29.11.2018 r		22.11.2018 r		15.11.2018 r	

Próbne obciążenia przeprowadzono metodą statyczną kotwioną do 4 sąsiednich pali konstrukcyjnych. Konstrukcję stanowiska stanowiła belka główna oraz dwie belki drugorzędne połączone w sposób zapewniający równomierne przekazywanie sił wyciągających na pale kotwiące. Próbne obciążenia przeprowadzono z uwzględnieniem zaleceń normy [7].

Obciążenie przykładano stopniami o wartości $1/8 \div 1/12 N_t$. Do zadawania obciążenia wykorzystano zestaw hydrauliczny złożony z podnośnika o nośności 1500 kN podłączony do ręcznej pompy hydraulicznej z manometrem do pomiaru ciśnienia. Każdy stopień obciążenia utrzymywano do osiągnięcia stabilizacji osiadań, mierzonych za pomocą czterech czujników zegarowych o dokładności

0,01 mm w 10-minutowych odstępach, oraz natychmiast po zmianie obciążenia. Umowną stabilizację osiadań pała należy przyjąć, gdy w ciągu 10 minut jego osiadanie nie przyrośnie więcej niż 0.05 mm. Czujniki do pomiarów przemieszczeń ustawiono na niezależnej bazie pomiarowej. Wyniki pomiarów z czujników przemieszczeń notowano w dziennikach badania, zał. 3. Podczas każdego badania przy sile $Q_{\text{poś}}$ (zblizonej do nośności pała) dokonano odciążenia pała oraz pomierzono osiadanie trwałe. Następnie przywrócono wartość siły sprzed odciążenia i kontynuowano obciążanie pała stopniami do siły $Q_{\text{max}} = 1,5 \times N_t$. Po końcowym odciążeniu ponownie pomierzono trwałe osiadanie końcowe pała.

Na podstawie pomiarów terenowych przemieszczenia głowicy pała w zależności od przyłożonego obciążenia Q skonstruowano charakterystykę zależności obciążenie – osiadanie (Q - s) i dokonano interpretacji graficznej zgodnie z PN-83/B-02482 oraz na podstawie poniższych zależności:

$$n_3 = \frac{dQ - dN_C^1}{Q_B - N_C^1}$$

$$n_4 = dN_C^1 - n_3 N_C^1$$

$$N_g^1 = -\frac{n_4}{n_3}$$

$$\frac{N_C^1}{N_g^1} \geq 0.4$$

Krzywa typu "a"; $N_C^0 = N_C^1$; $k=1$

Nośność pała $N_{tp} = k \cdot N_C^0$; [kN]

Warunek nośności $Q_r \leq N_{tp}$; [kN]

a podstawie uzyskanych wyników badania i przeprowadzonej interpretacji według PN-83/B-02482 określono nośność obliczeniową badanych pali na poziomie:

<i>pał FDP nr 364</i>	$k \cdot N_c^0 @ 392 \text{ kN};$	<i>przy $s_{\text{całkow.}}$ @ 3,80 mm</i>
<i>pał IMBDP nr 378</i>	$k \cdot N_c^0 @ 392 \text{ kN};$	<i>przy $s_{\text{całkow.}}$ @ 3,30 mm</i>
<i>pał FDP nr 249</i>	$k \cdot N_c^0 @ 637 \text{ kN};$	<i>przy $s_{\text{całkow.}}$ @ 5,00 mm</i>
<i>pał IMBDP nr 263</i>	$k \cdot N_c^0 @ 637 \text{ kN};$	<i>przy $s_{\text{całkow.}}$ @ 3,50 mm</i>
<i>pał FDP nr 31</i>	$k \cdot N_c^0 @ 490 \text{ kN}$	<i>przy $s_{\text{całkow.}}$ @ 5,60 mm</i>
<i>pał IMBDP nr 17</i>	$k \cdot N_c^0 @ 490 \text{ kN};$	<i>przy $s_{\text{całkow.}}$ @ 4,50 mm</i>

Według zapisów Eurokodu 7 z próbnych obciążeń statycznych pali pod dany obiekt należy wyznaczyć charakterystyczną nośność graniczną pała na wciskanie $R_{c;k}$ oraz nośność obliczeniową pała na wciskanie $R_{c;d}$.

Na podstawie interpretacji wyników według EC7 określono następujące nośności badanych pali:

<i>pał FDP nr 364</i>	$R_{c;d} @ 565 \text{ kN};$	<i>przy $s @ 7,20 \text{ mm}$</i>
<i>pał IMBDP nr 378</i>	$R_{c;d} @ 588 \text{ kN};$	<i>przy $s @ 6,70 \text{ mm}$</i>
<i>pał FDP nr 249</i>	$R_{c;d} @ 820 \text{ kN};$;	<i>przy $s @ 8,00 \text{ mm}$</i>

<i>pal IMBDP nr 263</i>	$R_{c,d}$ @ 855 kN;	<i>przy s @ 7,00 mm</i>
<i>pal FDP nr 31</i>	$R_{c,d}$ @ 600 kN;	<i>przy s @ 9,20 mm</i>
<i>pal IMBDP nr 17</i>	$R_{c,d}$ @ 619 kN;	<i>przy s @ 6,50 mm</i>

Podsumowanie

1. W ramach prowadzonych prac związanych z wzmocnieniem podłoża dla zadania „Rozbudowa drogi krajowej nr 75 od km 51+600,00 do km 53+305,51 w miejscowości Tęgoborze wraz z odwodnieniem osuwiska” przeprowadzono serie próbnych obciążeń statycznych 6 pali na trzech poletkach badawczych S1, S2, S3. Trzy z sześciu badanych pali wykonano w tradycyjnej technologii przemieszczeniowej FDP natomiast trzy pozostałe w technologii IMBDP opracowanej w Przedsiębiorstwie Inżynieryjnym „IMB- Podbeskidzie”
2. Uwzględniając wartości obciążeń obliczeniowych dla pali obu technologii z poszczególnych poletek badawczych S1, S2 i S3 można sformułować warunki stanu granicznego nośności, które zestawiono w tabeli 2 poniżej.

Tabela 2. Warunki stanu granicznego nośności SGN dla badanych pali {6}.

Nr pala		Q_r, E_d [kN]	R_{cd} [kN]	$k \cdot N_c^0$ [kN]	Warunek SGN wg. Eurokod 7 $E_d < R_{cd}$	Warunek SGN wg. PN-83/B-02482 $Q_r \leq k \cdot N_c^0$
Poletko S1	FDP nr364 fi 400, L=7,0m	310	565	392	310<565	310<392
	IMBDP nr364 fi 400, L=7,0m	310	588	392	310<588	310<392
Poletko S2	FDP nr249 fi 400, L=10,0m	600	820	637	600<820	600<637
	IMBDP nr263 fi 400, L=10,0m	600	855	637	600<855	600<637
Poletko S2	FDP nr31 fi 400, L=8,0m	410	600	490	410<600	410<490
	IMBDP nr17 fi 400, L=8,0m	410	619	490	410<619	410<490

Na podstawie zestawionych zależności $E_d < R_{cd}$ oraz $Q_r \leq k \cdot N_c^0$ w tabeli 2 można stwierdzić, że spełnione zostały normowe warunki stanu granicznego nośności dla wszystkich badanych pali.

3. Zgodnie z Eurokodem 7 przy wyznaczaniu charakterystycznej wartości nośności granicznej na wciskanie $R_{c,k}$ z wartości $R_{c,m}$ ustalonej z jednego lub kilku próbnych obciążeń pali, należy brać pod uwagę zmienność podłoża i zmienność warunków wykonywania pala.
4. Przeprowadzone próbne obciążenia dowodzą, iż wdrażana przez IMB nowa technologia pali przemieszczeniowych IMBDP, może być z powodzeniem

wprowadzana do zastosowania. Wprawdzie zauważalne korzyści są może niewielkie w liczbach bezwzględnych, ale trzeba zauważyć, iż ich mobilizacja następuje przy znacznie mniejszym osiadaniu w stosunku do tradycyjnej technologii. IMB jest jeszcze na początkowym etapie wdrażania nowej technologii jest to jej pierwsze praktyczne zastosowanie, niestety z uwagi na reżimy terminowe nie mogliśmy poddać badaniu większej ilości pali wykonanych tą metodą. Na pewno będziemy ją udoskonalać poprzez testowanie w jakich warunkach gruntowych będzie ona najbardziej efektywna i przyniesie największe korzyści. Dla nas ważne jest, iż potrafiliśmy wykonać urządzenie, które współpracuje z innymi narzędziami firmy Bauer (płuczka, głowica, moduł pomiarowy). Technologia ta w naszym odczuciu może mieć duże zastosowanie w budownictwie drogowym dla wzmacniania podłoża pod nasypy i drogi. Technologia ta jest objęta wnioskiem patentowym.

Bibliografia

- [1] Projekt Wykonawczy „Rozbudowa drogi krajowej nr 75 od km 51+600.00 do km 53+305.51 w miejscowości Tęgoborze wraz z odwodnieniem osuwiska.”- Pracownia Inżynierska „KLOTOTIDA”, ul. Bochenka 16a 30-693 Kraków, listopad 2016 r.
- [2] Karta Dokumentacji Osuwiska nr 12-10-102, sporządzona dnia 15-11-2010r., PIG-PIB Oddział Karpacki, Kraków 2010 r.
- [3] Dokumentacja geologiczna, „PROGEO”, ul. Głowackiego 34A, 33-300 Nowy Sącz, październik 2018 r.
- [4] Projekty technologiczne Wykonania Palisad dla zadania pn.: „Rozbudowa drogi krajowej nr 75 od km 51+600.00 do km 53+305.51 w miejscowości Tęgoborze wraz z odwodnieniem osuwiska”, P.I. „IMB-Podbeskidzie” Sp. z o.o., ul. Górny Bór 31a, 43-430 Skoczów, 2018 r.
- [5] Projekt technologiczny Wzmocnienie podłoża gruntowego pali przemieszczeniowymi fi 400 mm pod nawierzchnię drogową. „Rozbudowa drogi krajowej nr 75 od km 51+600,00 do km 53+305,51 w miejscowości Tęgoborze wraz z odwodnieniem osuwiska”. P.I. „IMB – Podbeskidzie” Sp. z o. o. , ul. Górny Bór 31a., 43-430 Skoczów, październik 2018 r.
- [6] Opracowanie pn.: „Interpretacja oraz porównanie wyników próbnych obciążeń statycznych pali przemieszczeniowych FDP oraz IMBDP o średnicy fi 400 mm według norm i przepisów polskich oraz zaleceń Eurokodu 7”, P.I. „IMB-Podbeskidzie” Sp. z o.o., ul. Górny Bór 31a, 43-430 Skoczów, grudzień 2018 r.
- [7] PN-83/B-02482 Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów palowych

-
- [8] PN-EN 1997-1:2004, Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne- Część 1: Zasady ogólne.
 - [9] PN-EN 1997-2. Eurokod 7: Projektowanie geotechniczne. Część 2. Rozpoznanie i badanie podłoża gruntowego.
 - [10] Materiały własne Przedsiębiorstwa Inżynieryjnego „IMB-Podbeskidzie” Sp. z o.o., ul. Górny Bór 31a, 43-430 Skoczów.

