dr inż. **Piotr Kanty**, Menard Polska Sp. z o.o.

Wzmocnienie podłoża antropogenicznego

odcinka budowanej trasy N-S w Rudzie Śląskiej realizowane w technologii zagęszczania impulsowego RIC

W artykule omówiono realizację wzmocnienia podłoża pod budowaną w Rudzie Śląskiej drogą N-S mającą w przyszłości połączyć Drogową Trasę Średnicową z autostradą A4. Zagęszczanym impulsowo gruntem był typowy dla terenów Śląska łupek nieprzepalony. Badania efektywności zagęszczenia wykazały skuteczność technologii RIC we wzmocnieniu tego typu gruntu do głębokości 4,0-5,0 m. Dodatkowo w artykule opisano wpływ prowadzonego zagęszczania na sąsiadujące z budową obiekty.

W Rudzie Śląskiej powstaje kolejny odcinek tzw. trasy N-S, której celem będzie połączenie DTŚ z autostradą A4 w węźle Wirek oraz zwiększenie przepustowości drogi wojewódzkiej nr 925 na kierunku północ – południe. Aktualnie trwa budowa ul. Nowobukowej, tj. odcinka od ul. 1 Maja do ul. Bukowej wraz z węzłem dwupoziomowym i budową odcinka drogi od ul. Bukowej do ul. ks. Niedzieli.

Z uwagi na niekorzystne warunki gruntowe w postaci gruntów antropogenicznych o zróżnicowanym stanie konieczne było wzmocnienie podłoża, pozwalające na spełnienie warunków nośności i osiadań przy obciążeniu nasypem drogowym. Na przedmiotowym obszarze zaprojektowano wzmocnienie podłoża w technologii ubijania (zagęszczania) impulsowego RIC (ang. *Rapid Impact Compaction*).

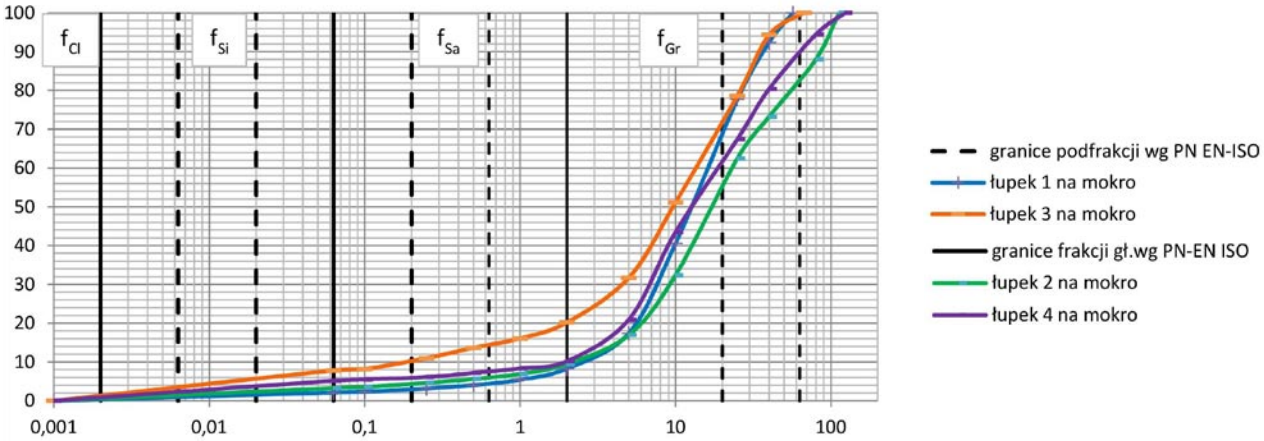
Warunki gruntowe

Podłoże pod budowaną drogą stanowi warstwa współczesnych nasypów, w przeważającej części związanych z hałdami. Ich grubość jest zmienna i szacowana na ok. 25 m. Litologicznie to najczęściej nasypy hałdy odpadów kopalnianych i budowlanych. W składzie nasypów przeważają kamienie skały płonnej – iłołupka (częściowo zlasowanego), rzadziej piaskowca. Towarzyszą im: piasek, okruchy lub miał węgla, kamienie, gruz ceglany, spieki, piasek gliniasty [4]. Stan nasypów określony za pomocą sondowań sondami DPM i DPH oceniono jako luźny do zagęszczonego. W ramach rozpoznania podłoża wykonano 13 otworów wiertniczych, 15 sondowań DPH, kilka przekopów kontrolnych oraz 4 analizy granulometryczne (rys. 1).

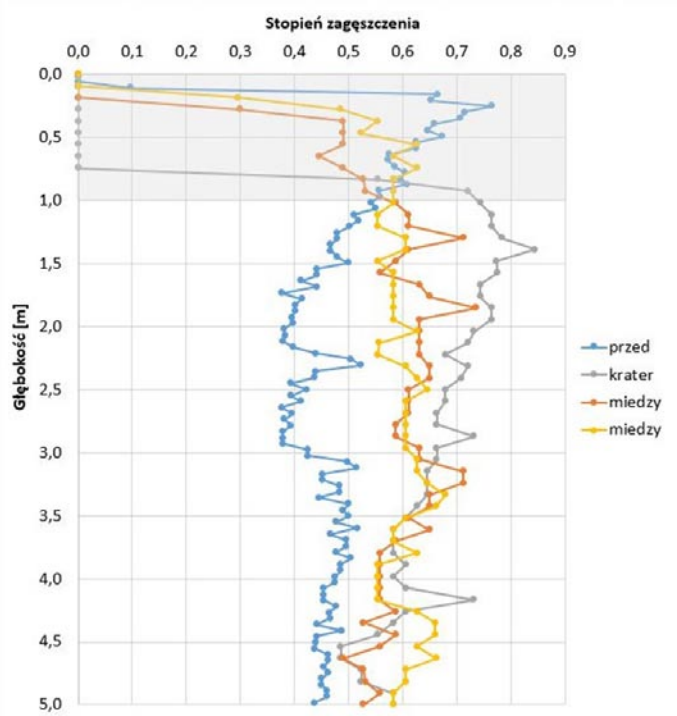
Technologia zagęszczania impulsowego RIC

Zagęszczenie impulsowe jest technologią o średnim zasięgu. Najczęściej wynosi on ok. 4,5 m [1]. Zasięg ten jest większy od zasięgu okołkowanego walca wibracyjnego (1 m), ale równocześnie znacząco mniejszy od zasięgu zagęszczenia dynamicznego (7-8 m). Wzmocnienie podłoża za pomocą RIC charakteryzuje się dobrą szybkością realizacji prac, dlatego też w niektórych warunkach może konkurować z zagęszczeniem dynamicznym (DC).

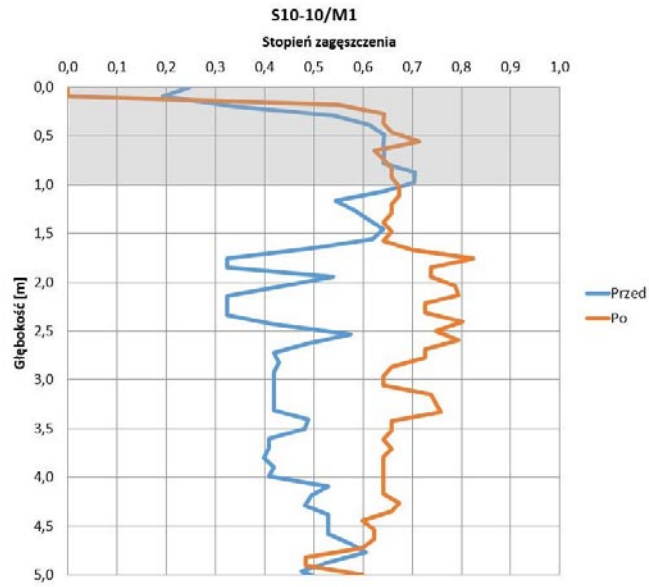
Wzmocnienie polega na wielokrotnym (40-60 razy/min) zrzucie młota o masie 5, 7 lub 9 ton w punkt z wysokości do 1,2 m. Duże



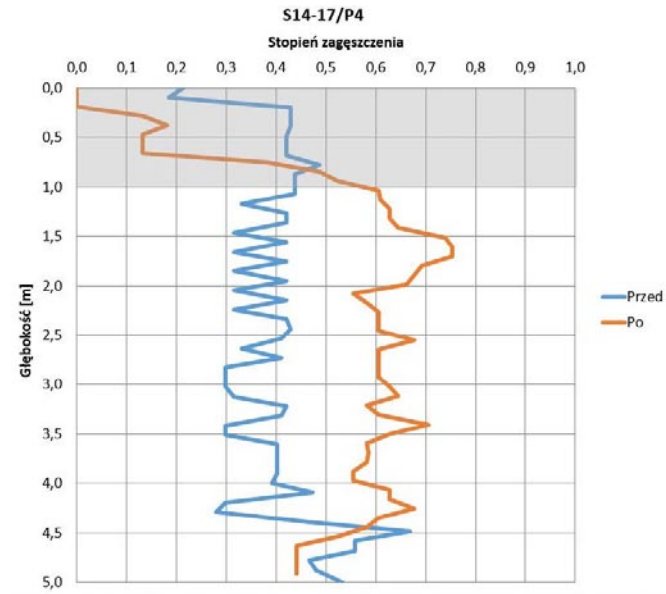
Rys. 1. Krzywe uziarnienia łupków pobranych z różnych odcinków wzmacnianej drogi



Rys. 2. Wyniki interpretacji badań stopnia zagęszczenia na poletku testowym



Rys. 3. Wyniki interpretacji badań stopnia zagęszczenia w losowo wybranym punkcie między kraterami



Rys. 4. Wyniki interpretacji badań stopnia zagęszczenia w losowo wybranym kraterze

powierzchnie zagęszcza się, tworząc siatkę punktów, np. trójkątną lub kwadratową. Wzmocnienie wykonuje się w jednej, dwóch lub trzech fazach. Między fazami następuje zasyp kraterów. Każdorazowo po ostatniej fazie i zasypie kraterów konieczne jest powierzchniowe zagęszczenie wibracyjne gruntu za pomocą walca.

Do wykonania zagęszczania impulsowego RIC na opisywanej realizacji użyto młota hydraulicznego zamontowanego na koparce. Zestaw do wykonania zagęszczanie RIC9000 gwarantował możliwość wykonywania wielokrotnych impulsów o energii 106 kNm, w liczbie 40-60 szt./min. Zastosowane urządzenie było wyposażone w 9-tonowy młot hydrauliczny, średnica podstawy stopy wynosiła 1,5 m. System sterowania umieszczony w kabinie operatora dawał możliwość kontroli procesu zagęszczania, rejestrując typowe parametry pracy.

Opis przeprowadzonych prac

Pracę w technologii RIC poprzedzono wykonaniem trzech poletek próbnych, na których wykonywano zagęszczenie dla różnych parametrów roboczych. Następnie zbadano zagęszczenie wzmocnionego gruntu do głębokości 5 m (wyniki przedstawiono w dalszej części artykułu). Dobranie odpowiednich parametrów pracy było możliwe po dokładnej analizie wyników zmian stopnia zagęszczenia. Zaletą technologii RIC jest ciągła rejestracja takich parametrów jak: osiadanie po każdym uderzeniu, liczba uderzeń, całkowita głębokość krateru, wysokość zrzutu, sumaryczna energia. Niemniej jednak analiza tych parametrów nie pozwala określić, jaki jest stopień zagęszczenia gruntu na poszczególnych głębokościach oraz jaki jest zasięg wzmocnienia, dlatego też każdorazowo należy wykonywać badania zagęszczenia na poletkach próbnych i w ramach badań odbiorczych.

Wzmocnienie realizowano na trzech pododcinkach drogi o długościach: 80, 458 i 760 m. Prace prowadzono w terminie 18.08-15.09.2015 r. Łącznie zagęszczono podłoże w 3409 punktach, w trójkątnym rozstawie. Zagęszczenie wykonywano poprzez jedno przejście lub dwa przejścia robocze (etapy pracy). Pracę prowadzono na terenie wcześniej wyprofilowanym do niwelety. Tak przygotowane podłoże powodowało konieczność ubijania na nierównym terenie, co przyczynia się do szybszego zużycia sprzętu. Dla technologii RIC platforma robocza powinna być możliwie pozioma. Powstałe w wyniku prac kratery miały głębokości wynoszące od 0,30 do 1,25 m, ich średnica sięgała 2,50 m.

Efektywność zagęszczania impulsowego

Efektywność wykonywanych prac wzmocnieniowych sprawdzono na początku na poletkach testowych oraz po ich wykonaniu, w losowo wybranych punktach trasy. Badaniu podlegał stopień zagęszczenia materiału nasypowego. Badania zagęszczenia wykonywano sondą dynamiczną DPM, mierząc liczbę uderzeń potrzebną na 10 cm wpędu, a interpretację I_D wykonano zgodnie

	Drgania poziome			Drgania pionowe		
Odległość [m]/Obiekt	A [mm/s²]	F [Hz]	Drgania bezpieczne	A [mm/s²]	F [Hz]	Drgania bezpieczne
24/Biurowiec	160	20-25	Nie	220	15	Nie
38/Biurowiec	100	20-25	Tak	130	15	Tak
100/Biedronka	20	-	Tak	20	-	Tak

Tab. 1. Wyniki pomiarów drgań badanych budynków

z [5]. Zastosowanie sond dynamicznych jest powszechne w sprawdzaniu efektywności wzmocnienia w technologii RIC [2]. Autor zwraca jednak uwagę na fakt, że podana w ww. normie korelacja jest stworzona dla naturalnych gruntów piaszczystych. Jednakże ze względu na powszechność takiej interpretacji (łatwość zrozumienia dla projektanta, nadzoru budowy) zastosowano ją również dla łupków. Autor nie zna korelacji między liczbą uderzeń sondy dynamicznej a stopniem zagęszczenia stworzonej dla łupków nieprzepalonych.

Badania zagęszczenia na poletkach wykonywano dzień po realizacji testów, natomiast badania odbiorcze – po zakończeniu prac na danym odcinku roboczym (4-8 dni od ubijania). Na rys. 2 pokazano wyniki badań zagęszczenia z jednego z poletek próbnych. Zagęszczanie impulsowe pozwoliło podnieść stopień zagęszczenia gruntów antropogenicznych o ok. 0,1-0,2 między kraterami oraz o 0,2-0,3 w kraterach. Zasięg wzmocnienia wynosił ok. 4,5 m.

Rys. 3 przedstawia wyniki testów zagęszczenia wykonanych w ramach badań odbiorczych w miejscu między powstałymi po zagęszczaniu kraterami. Zagęszczanie impulsowe pozwoliło podnieść stopień zagęszczenia gruntów antropogenicznych od ok. 0,3 na głębokości 1,5 m ppt. do ok. 0,1 na głębokości 4,5 m ppt. Zasięg wzmocnienia wynosił ok. 4,7 m. Uwagę zwraca brak zmian w zagęszczeniu do głębokości 1,5 m.

Na rys. 4 pokazano wyniki testów zagęszczenia wykonanych w ramach badań odbiorczych w powstałym podczas zagęszczania kraterze. Zagęszczanie impulsowe pozwoliło podnieść stopień zagęszczenia gruntów antropogenicznych o ok. 0,2, równo na głębokości od 1,0 do 4,5 m ppt.

Przedstawione na rys. 4. wyniki badań pokazują skuteczność zagęszczenia gruntów antropogenicznych za pomocą technologii RIC. Należy jednak w tym miejscu wspomnieć, że ze względu na niejednorodność podłoża wzmocnienie nie w każdym zbadanym punkcie było tak znaczące oraz jednorodne. Ogólnie można przyjąć, że stopień zagęszczenia gruntów antropogenicznych (łupków) zmieniał się do głębokości 4,5 m.

Wpływ na pobliskie obiekty

Front robót prowadzonych w ramach realizacji wzmocnienia podłoża drogi N-S w Rudzie Śląskiej przebiegał w sąsiedztwie m.in. dwóch budynków – biurowca „Bukowa Office" oraz hali centrum dystrybucyjnego „Biedronka".

Najbliższy punkt wzmocnienia w technologii RIC był oddalony o 24 m od fasady obiektu biurowego. Dla tego punktu prowadzono pomiar drgań. Pomiary prowadzono również w momencie, kiedy wzmacniano punkt odległy o 38 m od fasady tego budynku. Rejestrację drgań hali dystrybucyjnej wykonano w momencie, kiedy front robót był oddalony od niej o 100 m. Pomiarów drgań obu budynków dokonywano na posadzce obiektu oraz belce podwalinowej. Wyniki pomiarów dla obu budynków przedstawiono w tab. 1.

Dla budynku hali „Biedronka" drgania były mniejsze niż tło. Z tego względu nie określono drgań bezpiecznych dla badanego obiektu i nie prowadzono szczegółowej analizy wibracji.

Dla badanego budynku biurowego określono [3], że bezpieczne będą drgania o amplitudzie przyspieszenia A [mm/s²], w kierunku pionowym o wartości 250, w kierunku poziomym – 200. Wartości te określono dla spektrum częstotliwości 15-40 Hz. Wyniki badań uzyskane w odległości 24 m od budynku biurowego były bliskie granicy bezpieczeństwa, dlatego też po wykonaniu pomiarów wydano opinię, że roboty wzmocnieniowe można prowadzić w odległości 38 m od budynku biurowego bez zmian w technologii robót, natomiast bliżej dopiero po zmniejszeniu wysokości zrzutu młota.

Analizując wyniki pomiarów drgań, można stwierdzić, że bezpieczna odległość od budynków w trakcie prowadzenia prac w technologii RIC wynosi ok. 40 m, tak więc jest niemalże identyczna jak w przypadku zagęszczenia dynamicznego (DC) oraz wymiany dynamicznej (DR).

Podsumowanie

Z opisu realizacji zawartego w artykule można wywnioskować, że:
- zastosowanie technologii RIC pozwoliło szybko i skutecznie wzmocnić podłoże budowanego odcinka drogi N-S w Rudzie Śląskiej;
- zanotowany w trakcie sondowań odbiorowych wzrost I_D wynosił średnio ok. 0,2;
- osiągnięto typowy zasięg zagęszczenia łupków pokopalnianych, który wynosił ok. 4,5 m i był większy od zasięgu okołkowanego walca wibracyjnego (1 m), ale równocześnie mniejszy od zasięgu zagęszczenia dynamicznego (7-8 m);
- bezpieczne odległości od budynków ze względu na generowane drgania są podobne do tych występujących w technologii DC/DR i wynoszą ok. 40 m. ❑

Piśmiennictwo

1. Adam D., Paulmichl I.: *Rapid impact compactor - an innovative dynamic compaction device for soil improvement.* „Improvement of Soil Properties", nr 4-5, Bratislava 2007.
2. Adam D., Paulmichl I., Adam C., Falkner F.J.: *Five years of Impact Compaction in Europe - successful implementation of an innovative compaction technique based on fundamental research and field experiments.* Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris 2013.
3. Okroj P.: *Ocena szkodliwości drgań mechanicznych wywołanych udarowym wzmacnianiem w technologii RIC dla budynku administracyjnego „BUKOWA OFFICE" położonego w sąsiedztwie placu budowy trasy N-S w Rudzie Śląskiej, weryfikowana w okresie: wrzesień 2015 r.*
4. *Opinia geotechnicznych warunków podłoża (Załącznik nr 5 do Projektu Budowlanego) inwestycji „Budowa odcinka trasy N-S od ul. 1 Maja do ul. Bukowej w Rudzie Śląskiej wraz z węzłem dwupoziomowym i budową odcinka drogi od ul. Bukowej do ul. Ks. Niedzieli - ul. Nowobukowa".* Lipiec 2012.
5. *PN-B-04452:2002 Geotechnika - Badania polowe.*