



Konkurs:
**„Przyszłość dróg zależy od Ciebie –
– nie myśl szablonowo”**

**Produkt firmy Carbo Proces-Recykling -
- kruszywo mineralne pochodzące z odzysku.**

Koncepcja zastosowania:
**„Wzmocnienie gruntu pod drogi i nasypy z zastosowaniem kolumn
scementowanych w technologii wibrowymiany oraz kamiennych
formowanych w technologii wymiany dynamicznej”**

Wykonanie:
ZESPÓŁ: M1234K

1. Wstęp

Ciągły rozwój infrastruktury prowadzi do zajmowania coraz to nowszych dotąd niewykorzystywanych terenów pod budowę dróg, nasypów drogowych, czy budynków kubaturowych. Tereny, na których mają powstać te obiekty często posiadają bardzo słabe warunki gruntowe. Występujące podłoże nie nadaje się aby bezpośrednio na nim je posadzić. Dlatego też potrzebne jest jego wzmocnienie.

Istnieje kilka sposobów ulepszania gruntu każdy z nich powoduje zmianę parametrów wytrzymałościowych takich jak:

- kąta tarcia wewnętrznego [ϕ],
- spójności [c],
- modułu odkształcenia gruntu [E].

Wymiana dynamiczna (ang. *dynamic replacement*) - nazywana również formowaniem słupów tłuczniowych jest jedną z metod wzmocniania podłoża gruntowego. Słupy (kolumny) wykonuje się przede wszystkim w bardzo słabych gruntach.

Metoda poza wzrostem nośności podłoża posiada jeszcze kilka innych funkcji:

- redukuje osiadania,
- przyspiesza konsolidację słabego gruntu,
- zabezpiecza niespoiste (luźne) grunty przed zjawiskiem upłynniania gruntu.

Metodę wymiany dynamicznej stosuje się do gruntów spoistych i niespoistych gdy:

- występują dość małe obciążenia wywierane przez obiekt,
- obciążenie działa prostopadle do podłoża gruntowego,
- nie występują siły wrywające.

Kolumny kamienne w technologii wymiany dynamicznej wykonuje się przy pomocy kilkunastotonowego ubijaka, który z wysokości kilkunastu metrów spada na podłoże gruntowe. Powoduje on powstanie krateru, który wypełnia się materiałem grubo okruchowym, a następnie powtarza procedurę ubijania i zasypywania. Grunt uważa się za zagęszczony, gdy podczas wbijania wystąpi wyraźny opór. Po wykonaniu kolumn zmieniają się parametry mechaniczne i fizyczne gruntu. Maleje wilgotność i porowatość gruntu, wzrasta natomiast kąt tarcia wewnętrznego i moduł odkształcalności.

Parametry wykonywanych kolumn zależą w dużej mierze od rodzaju zagęszczanego gruntu i wahają się w przedziałach:

- liczba uderzeń: 7-30
- energia uderzenia: 0,22-3,99MNm
- średnica wykonywanych kolumn (zależna od średnicy ubijaka) – 0,6-4,0 metra

Warunki stawiane kruszywu wykorzystywanemu do robienia kolumn kamiennych nie są bardzo restrykcyjne. Kruszywo powinno charakteryzować się parametrami, które zapewnią, że kolumna będzie miała dużą nośność, małe osiadania oraz dobre parametry filtracyjne. Zakłada się, że wykorzystywane kruszywo ma średnicę 1/6, 1/7 średnicy kolumny. Zatem wielkość frakcji sięgać może nawet 300mm. Coraz częściej stosuje się materiały rodzime w postaci: tłucznia, materiały odpadowe takie jak przepalone łupki kopalniane, żużle

wielkopieczowe, czy rozdrabniane materiały budowlane. Kolumny kamienne wykonuje się w określonych siatkach. W zależności od budowanego obiektu wyróżnić można siatki trójkątne, kwadratowe, sześcioboczne. Rozstaw kolumn nie powinien przekraczać czterech średnic kolumny, dlatego też powinien być spełniony warunek:

$$L=2-3,5D_k$$

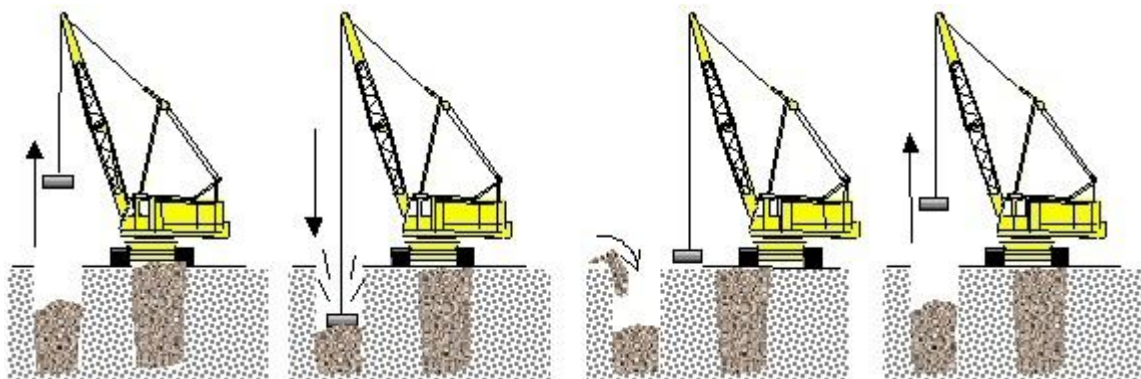
gdzie,

L- rozstaw kolumn,

D_k – średnica kolumny.

Podczas wzmocniania gruntu metodą dynamiczną wystąpić mogą nierównomierne osiadania, powodujące powstanie „efektu grzyba”. W tym celu wykorzystuje się geomatryce w postaci warstwy kruszywa o określonej miąższości owiniętej georusztem. Zastosowana metoda zmniejsza nierównomierne osiadania.

Podczas wzmocniania gruntu przy pomocy ubijaków o dużej masie powstają drgania, które mogą mieć negatywny wpływ na sąsiednie budynki i budowle. W tym celu stosuje się ścianki szczelne wypełnione styropianem lub trocinami. Operacja taka umożliwia formowanie kolumn już przy odległości 12 metrów od sąsiedniego budynku.



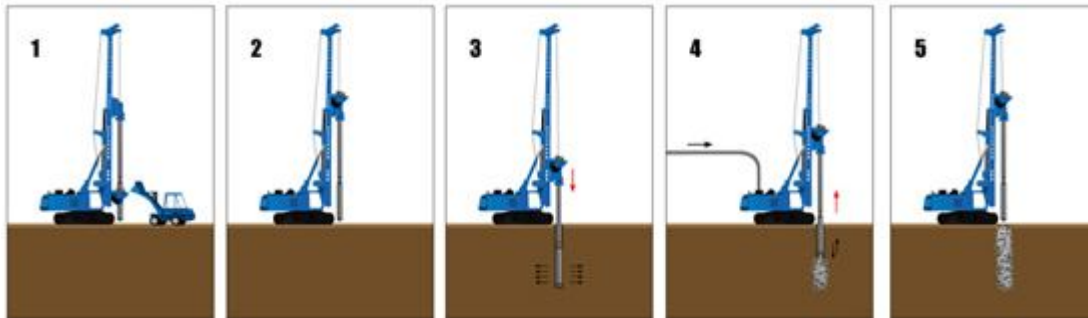
Rys. 1: Wymiana dynamiczna

Wibrowymiana i wykonywanie kolumn scementowanych – proces polega na formowaniu w gruncie kolumn poprzez zastosowanie wibratora wglębnego, dzięki któremu możliwe jest rdzeniowe podawanie mieszanki do dna otworu. Wibrator zagłębia się w gruncie do zaprojektowanej głębokości (dodatkowo pogrążanie może być wspomagane poprzez dodatkowy nacisk maszyny). Kolejnym etapem jest wyciąganie wibratora z otworu ruchem posuwisto zwrotnym, przy jednoczesnym podawaniu mieszanki. W czasie trwania tego procesu, dodatkowo tłoczy się sprężone powietrze, aby zapobiec zasysaniu się wibratora w otworze. Ruch wibratora w dół powoduje rozpychanie na boki i zagęszczanie podawanego materiału.

Metoda stosowana jest w bardzo słabych gruntach spoistych i silnie nawodnionego gruntach organicznych (z wyłączeniem gruntów o kwasowym odczynie pH). Efektami zastosowania tej technologii są kolumny z zadanego materiału o średnicy od 0,6 do 0,8m i długości nawet do 20m (jako optymalną długość zaleca się maksymalnie 7m). Dzięki wykonaniu kolumn, otrzymuje się zwiększenie nośności oraz zmniejszenie osiadań. Kolumny

z kruszywa o średnicy od 0,6 do 0,8 m i długości do 20 m (jednak tylko długość do 7 m gwarantuje poprawną pracę kolumn).

Otrzymane kolumny charakteryzują się większą sztywnością trzonu niż kolumny wykonane wyłącznie ze żwiru.



Rys. 2: Proces wykonywania kolumny scementowanej.

2. Kontakt z producentem oraz uzyskanie próbek materiału

Pozyskano od producenta próbkę kruszywa oraz wyniki wcześniej przeprowadzonych badań. Po wybraniu koncepcji, wykonano dwie próbki materiału o cechach zbliżonych do betonu, które zbadano pod względem wytrzymałości na ściskanie. (wyniki badań zawarto w Rys.11). Po konsultacji z pracownikami Katedry Budownictwa Betonowego oraz Katedry Geotechniki i Budowli Inżynierskich PŁ zdecydowano, że analizowane kruszywo, można wykorzystać w robotach związanych ze wzmacnianiem gruntu pod drogi i budowę inżynierskie. Poniżej zaprezentowane zostaną konkretne przykłady rozwiązań z wykorzystaniem kruszywa mineralnego pochodzącego z odzysku.

3. Wykonywanie kolumn w gruncie z materiału badawczego nr 1 w technologii wibrowymiany

A) Opis receptury oraz sposobu wykonania próbek z materiału badawczego nr 1.

- Określenie ilości piasku:

$M_1=12,695\text{kg}$ – masa kruszywa mineralnego z odzysku

$M_2=4,585\text{kg}$ – masa pustego naczynia

$M_w=2,91\text{kg}$ – masa dolanej wody

$V=8\text{dm}^3$ – objętość naczynia badawczego

$V_w=2,91\text{dm}^3$

$V_w/V=0,364$

Gęstość pozorną kruszywa z odzysku:

$$\frac{M_1}{V - V_w} = \frac{12,695\text{kg}}{8\text{dm}^3 - 2,91\text{dm}^3} = 2,49 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$$



Rys. 3: Kruszywo w naczyniu badawczym

Zatem w 1m^3 mieszanki musi znaleźć się 364kg składników innych niż kruszywo mineralne pochodzące z odzysku.

$$\rho_p = 2650\text{kg/m}^3$$

$$\rho_w = 1000\text{kg/m}^3$$

$$\rho_c = 3100\text{kg/m}^3$$

$0,02\text{m}^3$ – pustki powietrzne

Przyjęto:

$$c = 250\text{kg}$$

$$w = 180\text{kg}$$

$$V_{\text{zaprawy}} = \frac{p}{\rho_p} + \frac{w}{\rho_w} + \frac{c}{\rho_c} + 0,02\text{m}^3$$
$$0,364\text{m}^3 = \frac{p}{2650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + \frac{180\text{kg}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + \frac{250\text{kg}}{3100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + 0,02\text{m}^3$$

Zatem masa piasku wynosi $p = 220,89\text{kg}$

- Obliczanie ilości kruszywa z odzysku:

$$V_{\text{ABS}} = \frac{p}{\rho_p} + \frac{w}{\rho_w} + \frac{c}{\rho_c} + 0,02\text{m}^3 + \frac{k}{\rho_k}$$
$$1\text{m}^3 = \frac{220,89\text{kg}}{2650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + \frac{180\text{kg}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + \frac{250\text{kg}}{3100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + 0,02\text{m}^3 + \frac{k}{2490 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

Zatem masa kruszywa z recyklingu wynosi: $k = 1583,64\text{kg}$

Zaproponowano następującą recepturę na 1m^3 :

Cement CEMII 32,5: 250kg

Woda: 180kg

Piasek: 220,89kg

Kruszywo mineralne z odzysku: 1583,64kg

Wskaźnik W/C=0,72



Rys. 4: Piasek.



Rys. 5: Cement.

Producent przesłał 12,695kg kruszywa, wystarczyło go tylko na dwie próbki sześciennie o boku 150mm.



Rys. 6: Przygotowanie foremek normowych do wykonania próbek.



Rys. 7: Mieszanka umieszczona w foremkach normowych.



Rys. 8: Próbką przed badaniem wytrzymałości na ściskanie.

Wykonane próbki rozformowano po 3 dniach i zanurzone w wodzie.

Po 7 dniach sprawdzono wytrzymałość próbek na ściskanie.



Rys. 9: Próbką nr 1 podczas badania w prasie wytrzymałościowej.



Rys. 10: Próbkę nr 2 podczas badania w prasie wytrzymałościowej.

Poniżej zaprezentowano wyniki otrzymane po badaniu przeprowadzonym w atestowanej prasie wytrzymałościowej:

Politechnika Łódzka

Prüfprotokoll Page: 1

Order Name Date 2013-04-22

Ćwiczenie - próbki szpecienne PN-EN 12930-3: 2002?růfkörper : Kostka o boku 150x150x150

Series designation	1	Prüfer	M. P.
Manufacture date	15-04-2013 / 00:00	Age	7 Days 10:35
Prüfdatum	22-04-2013 / 10:35	Default sample age	0 Days
concrete class			

Designation	Dimensions [mm]			Mass [g]	Bulk [kg/m ³]	Höchstkraft [kN]	Strength [MPa]	Break type
	Ø	w	h					
1	150	150	149	7570	2258	247,2	11,0	
2	150	150	150	7581	2246	265,0	11,8	
Average					2250		11,4	
Standard Deviation					8,3		0,6	

M. P.

Rys. 11. Protokół z badania wytrzymałości próbek na ściskanie.

Z protokołu wynika, że próbki osiągnęły odpowiednio 11,0 i 11,8MPa wytrzymałości na ściskanie. **Średnia wytrzymałość materiału na ściskanie: 11,4MPa**



Rys.12: Próbka po wykonaniu badania.

Opis wykonania kolumn z zastosowaniem powyższego materiału:

1. Przygotowanie terenu do wykonywania robót geotechnicznych (uprzątnięcie, w razie potrzeby przygotowanie z kruszywa lub żwiru materaca umożliwiającego ruch maszyn w obrębie prac).
2. Wprowadzenie na teren ciężkiego sprzętu (jednostki nośnej, z której będzie można spuścić wibrator w żądane miejsce oraz podać zaprojektowaną mieszankę)
3. Zagłębienie wibratora w gruncie do zaprojektowanej głębokości (dodatkowo pogrążanie może być wspomagane poprzez dodatkowy nacisk maszyny).
4. Kolejnym etapem jest wyciąganie wibratora z otworu ruchem posuwisto zwrotnym, przy jednoczesnym podawaniu mieszanki. W czasie trwania tego procesu, dodatkowo tłoczy się sprężone powietrze, aby zapobiec zasysaniu się wibratora w otworze. Ruch wibratora w dół powoduje rozpychanie na boki i zagęszczanie podawanego materiału.

Uwaga: Zaprojektowany materiał, z uwagi na przewagę frakcji grubych (63-80mm i 120-180mm) jest bardzo gęsty. Po wymieszaniu wygląda bardziej jak kruszywo oblepione zaczynem, niż jak beton o standardowej konsystencji. Z tego powodu, przypuszcza się, że podawanie materiału mogłoby przebiegać w sposób właściwy, bez rozwarstwiania oraz istotnych zmian granulometrycznych. Można zatem założyć, że wykonany w ten sposób słup w gruncie, miałby parametry wytrzymałościowe zbliżone do tych, które uzyskano w laboratorium.

4. Wykonywanie kolumn w gruncie z kruszywa mineralnego pochodzącego z odzysku metodą wymiany dynamicznej

A) Analiza przesłanych przez producenta wyników wcześniej wykonanych badań
Producent przesłał badania kruszywa pochodzącego z recyklingu odpadów górniczych przeprowadzone przez Główny Instytut Górnictwa oraz Politechnikę Gdańską.
Po przeanalizowaniu powyższych dokumentów, nie stwierdzono przeciwwskazań do zastosowania rozważanego kruszywa w zaproponowanej technologii.

B) Ocena wizualna kruszywa

- Duża różnorodność frakcji, przeważa frakcja o średnicach 63-80mm (50%) oraz 120-180mm (16,8%).
- W kruszywie, w niewielkich ilościach znajdują się elementy o bardzo słabej wytrzymałości, które można było pokruszyć w dłoni.
- Pozostała część kruszywa wykazywała dużo lepsze właściwości i odporność na uderzenia.

C) Badanie nasiąkliwości i gęstości pozornej kruszywa

Masa próbki mokrego kruszywa: $M_m=2708,6\text{g}$

Masa próbki po wysuszeniu: $M_s=2622,9\text{g}$

$$n = \frac{M_m - M_s}{M_s} * 100\% = \frac{2708,6\text{g} - 2622,9\text{g}}{2622,9\text{g}} * 100\% = 3,27\%$$



Rys. 13: Kruszywo podczas badania nasiąkliwości.

Badanie gęstości pozornej opisano w koncepcji nr 1 w punkcie A.

Opis wykonania kolumn z zastosowaniem kruszywa mineralnego pochodzącego z odzysku:

1. Przygotowanie terenu do wykonywania robót geotechnicznych (uprzątnięcie, w razie potrzeby przygotowanie z kruszywa lub żwiru materaca umożliwiającego ruch maszyn w obrębie prac).
2. Wprowadzenie na teren ciężkiego sprzętu (jednostki nośnej, z której będzie można spuszczać ubijak oraz sprzętu do podawania kruszywa)
3. Wykonanie ubijakiem otworu o odpowiedniej głębokości, jeśli jest to możliwe, to dno otworu powinno być zagłębione w warstwie gruntu nośnego, lub przynajmniej gruntu o lepszych właściwościach niż grunt wierzchni.
4. Stopniowe wprowadzanie kruszywa połączone z dalszym ubijaniem.
5. Zakończenie ubijania w momencie, gdy wykonany wcześniej otwór zostanie wypełniony kruszywem, oraz nie będą rejestrowane dalsze osiadania pod wpływem uderzeń ubijaka.

5. Innowacyjność, strona ekologiczna i ekonomiczna.

Aspekt ekologiczny

Stosowane kruszywo jest kruszywem mineralnym, powstałym w procesie wydobycia węgla, jako materiał odpadowy. Pod względem użytego materiału przedstawiona metoda wzmocnienia podłoża nie wpływa negatywnie na środowisko. Jeśli zostałyby zastosowane w powyższych koncepcjach, ponownie trafi pod ziemię. Oczywiście ingerencja w środowisko występuje ale nie da się tego wykluczyć w przypadku wzmocnienia gruntu, niezależnie od metody.

Wynika z tego, że ingerencja w środowisko naturalne jest możliwie zminimalizowana. W innych zastosowaniach materiał wykorzystywany jest do ochrony środowiska (np. przy budowie wysypisk śmieci, zasypywania niecek, niwelacji terenu).

Aspekt ekonomiczny

Koszty związane ze wzmocnieniem gruntu według zaproponowanych metod ograniczają się do zaprojektowania i wykonania. Nie uwzględniają kosztów utrzymania, ponieważ nie istnieje taka potrzeba. Poniżej przedstawiona została orientacyjna symulacja kosztów.

Po skonsultowaniu się z firmą Keller – Polska, jedną z czołowych firm zajmujących się wzmocnieniem gruntu pozyskaliśmy następującą informację:

Średnia cena wykonania 1 metra kolumny o średnicy 60 centymetrów wynosi:

- metodą wymiany dynamicznej - 100zł (jest to cena materiału i wykonawstwa),
- metodą wibrowymiany - 120zł (jest to cena materiału i wykonawstwa).

Firma nie chciała udostępnić informacji jaka jest cena samego wykonania, bez materiału, dlatego też przeprowadzona będzie symulacja kosztów pozwalająca w przybliżeniu określić tę kwotę.

Wszystko przeliczane będzie na $1m^3$ materiału użytego do wykonania kolumny:

Koszt wykonania kolumny z użyciem $1m^3$ kruszywa dla metody wymiany dynamicznej:

promień kolumny $r=0,3m$

$$\begin{aligned}\pi * r^2 * H &= 1m^3 \\ H &= \frac{1m^3}{\pi * r^2} = 3,54m\end{aligned}$$

Zatem przyjmijmy, że z $1m^3$ materiału da się wykonać 3,5 metrową kolumnę o średnicy 60cm, co daje nam kwotę 350zł.

Na podstawie danych firmy CERTYFIKOWANE KRUSZYWA DROGOWE TIRSO SP. Z O.O. znajdującej się w Piekarach Śląskich (miejscowość oddalona ok. 25km od Dąbrowy Górniczej, gdzie znajduje się firma Carbo Proces-Recykling) przyjmujemy, że $1m^3$ kruszywa ma gęstość $2,65g/cm^3$, zatem waży ok. 2650kg. Koszt 1 tony kruszywa dolomitowo – żuźlowego o frakcji 63-250mm wynosi 19zł/tona (z takiego kruszywa bez problemu można formować kolumny kamienne za pomocą wymiany dynamicznej).

Zatem koszt samego materiału do wykonania 3,5 metra kolumny wynosi:

$$2,65 * 19zł = 50,35zł$$

Do dalszego porównania przyjmujemy kwotę wykonania 3,5 metra kolumny o średnicy 60cm równą **300zł** (plus cena materiału 50zł).

Koszt wykonania kolumny z użyciem $1m^3$ kruszywa dla metody wibrowymiany:

Wykonanie 3,5 metrowej kolumny o średnicy 60cm, to koszt **420zł**. Zakładamy, że cena wykonawstwa jest taka jak w metodzie wymiany dynamicznej i wynosi **300zł** (plus cena materiału 120zł).

Kolumny wykonywane metodą wymiany dynamicznej z użyciem kruszywa firmy Carbo Proces-Recykling:

Do wykonania wykorzystuje się tylko kruszywo z recyklingu. Gęstość kruszywa to ok. $2,5g/cm^3$ zatem na $1m^3$ potrzeba 2500kg kruszywa. Cena 1 tony kruszywa z recyklingu to 2,0zł.

Cena $1m^3$ kruszywa wyniesie:

$$2,5 * 2,0zł = 5,0zł$$

$$\frac{50\text{zł} - 5\text{zł}}{50\text{zł}} * 100\% = 90\%$$

Z powyższego wynika, że na samym materiale jesteśmy w stanie zaoszczędzić 90%.

$$\frac{350\text{zł} - 305\text{zł}}{350\text{zł}} * 100\% \cong 13\%$$

Wykonanie kolumn metodą wymiany dynamicznej z użyciem kruszywa firmy Carbo Proces-Recykling pozwala obniżyć koszty (koszt wykonania 3,5metra kolumny o średnicy 60cm) o ok.13% w porównaniu ze standardowo stosowanym kruszywem.

Kolumny scementowane w technologii wibrowymiany z użyciem kruszywa firmy Carbo Proces-Recykling:

Do wykonania wykorzystuje się mieszankę, której skład podany jest poniżej w przeliczeniu na 1m³:

- Kruszywo mineralne z odzysku: 1583,64kg
- Cement (CEM II 32,5): 250kg (Koszt 1 tony cementu to 237zł netto według cennika firmy Cem – Mix)
- Woda: 180kg
- Piasek: 220,89kg (Koszt 1 tony piasku drobnoziarnistego to 9,5zł netto według cennika firmy CERTYFIKOWANE KRUSZYWA DROGOWE TIRSO SP. Z O.O.)

Cena 1m³ mieszanki wyniesie:

$$1,58 * 2,0\text{zł} + 0,25 * 237\text{zł} + 0,22 * 9,5\text{zł} = 3,16\text{zł} + 59,25\text{zł} + 2,09\text{zł} = 64,5\text{zł}$$

$$\frac{120\text{zł} - 64,5\text{zł}}{120\text{zł}} * 100\% \cong 46\%$$

Z powyższego wynika, że na samym materiale jesteśmy w stanie zaoszczędzić ok. 46%.

$$\frac{420\text{zł} - 364,5\text{zł}}{420\text{zł}} * 100\% \cong 13\%$$

Wykonanie kolumn metodą wibrowymiany z użyciem kruszywa firmy Carbo Proces-Recykling pozwala obniżyć koszty (koszt wykonania 3,5metra kolumny o średnicy 60cm) o ok.13% w porównaniu ze standardowo stosowanym kruszywem.

UWAGI:

- Podane ceny są cenami netto,
- Podane ceny nie uwzględniają dodatkowych kosztów transportu wynikających z dużej odległości miejsca inwestycji od miejsca składowania materiałów (koszt ten niezależny jest od wybranej metody i w przypadku porównywania metod ze sobą nie ma on istotnego znaczenia).

6. Podsumowanie oraz porównanie zaproponowanych rozwiązań.

Ze zgromadzonej przez nas wiedzy, wynika, iż jak do tej pory nie stosowano kruszywa mineralnego pochodzącego z odzysku do zaproponowanych przez nas technologii. Konsultacje z kadrą naukową naszego wydziału oraz firmami działającymi w tej branży skłoniły nas do następujących wniosków:

- Pomysł takiego sposobu użycia badanego przez nas kruszywa jest nowatorski i warty uwagi – nikt wcześniej tego nie robił.
- Pod względem ekonomicznym jest bardzo atrakcyjny.
 - Wykonywanie kolumn w gruncie z kruszywa mineralnego pochodzącego z odzysku może być o około **13%** tańsze niż wykonywanie kolumn żwirowych.
 - Wykonywanie kolumn w gruncie z zaproponowanej przez nas mieszanki może być o około **13%** tańsze niż wykonanie klasycznych kolumn w technologii wibrowymiany i wykonywania kolumn scementowanych.
- Aby móc z dużą dozą prawdopodobieństwa przewidzieć rzeczywiste właściwości kolumn wykonanych według naszych koncepcji, należałoby wykonać rzeczywisty model i poddać go badaniom (osiadania, odporność na zróżnicowane warunki gruntowo-wodne).
- Nasze rozważania poparte są jedynie badaniami laboratoryjnymi, które byliśmy w stanie wykonać, dokumentacją przesłaną przez producenta, oceną wizualną, wiedzą z literatury oraz własną intuicją.
- Zaprezentowane wyliczenia ekonomiczne również oparte są na pewnych założeniach. Rzeczywisty koszt wykonania kolumn według naszej technologii byłby bezpośrednio uzależniony od ich ilości, jednak na pewno byłby sporo mniejszy niż koszt wykonania kolumn w technologiach klasycznych.

Bibliografia:

1. Kwiecień Sławomir, Sękowski Jerzy. 2012. Kolumny kamienne formowane w technologii wymiany dynamicznej. Gliwice. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej.
2. <http://www.keller.com.pl/>
3. <http://www.polbud-pomorze.pl/>
4. <http://www.menard.pl/>
5. <http://www.tirso.pl/cennik.html>