

Dynamiczny penetrometr PANDA w odniesieniu do badania stabilności zapór

Badanie gruntu sprowadza się do trzech możliwości badawczych: badania laboratoryjne, testy obciążeniowe, badania in-situ. Wśród badań terenowych najczęściej spotykanymi metodami są: badania penetrometrem statycznym, testy dylatometryczne, badania sondą wbijaną, sondowania SPT, płyta obciążana statycznie i dynamicznie.

Każde z powyższych testów dają nam inne wyniki i mają swoje wady i zalety. Celem badań jest dostarczenie informacji niezbędnych do dalszych prac terenowych oraz informacji o odpowiedniej dokładności niezbędnych do oceny stanu gruntu. Niektóre z ww. metod są bardzo czasochłonne lub wymagają specjalistycznego ciężkiego sprzętu ograniczając przy tym możliwość stosowania danej metody badawczej.

W tym celu został stworzony penetrometr PANDA (Penetrometre Autonome Numerique Dynamique Assisté), który dzięki swojej mobilności może być stosowany do badań w dowolnym miejscu. Jest to urządzenie lekkie, przenośne i łatwe w użyciu i pozwala na badania geologiczne i geotechniczne również w miejscach o ograniczonym dostępie dając przy tym natychmiastowy wynik badania.



Rys. 1 Przykłady zastosowania penetrometru PANDA w miejscach trudnodostępnych

Penetrometr PANDA został wyprodukowany we Francji a jego pierwsza generacja została oddana do sprzedaży w roku 1992. Urządzenie dzięki swojej uniwersalności i szybkości pomiaru zostało przyjęte bardzo pomyślnie przez rynek francuski w efekcie czego w maju 2000 roku powstała norma **NF XP 94-105** w której opisano pomiar zagęszczenia gruntu przy użyciu penetrometru PANDA. Aktualnie we Francji ilość pracujących urządzeń szacowana jest na około 2000-2500 szt. Badanie polega na zagłębieniu żerdzi przy użyciu młotka o znanej masie. Po każdym uderzeniu urządzenie rejestruje siłę uderzenia i głębokość zagłębienia żerdzi. Zasada działania opiera się na wzorze holenderskim.

$$q_d = \frac{1}{A} \times \frac{E}{e} \times \frac{1}{1 + \frac{P}{M}}$$

Równanie 1. Wzór holenderski na opór stożka

Metoda ta pozwala na badanie z zastosowaniem różnej siły uderzenia co jest charakterystyczne dla metody pomiarowej i pozwala na jej stosowanie na różnych rodzajach gruntu oraz przy stosowaniu różnych typów stożków pomiarowych.

Francja nie jest jedynym krajem w którym penetrometr PANDA został przyjęty z dużym entuzjazmem. Takimi krajami są Kanada, Meksyk, Brazylia a zwłaszcza Chile, które tak jak Francja przy wsparciu krajowych oraz międzynarodowych instytucji i przedsiębiorstw takich jak: El Grupo Geotecnia de la P. Universidad

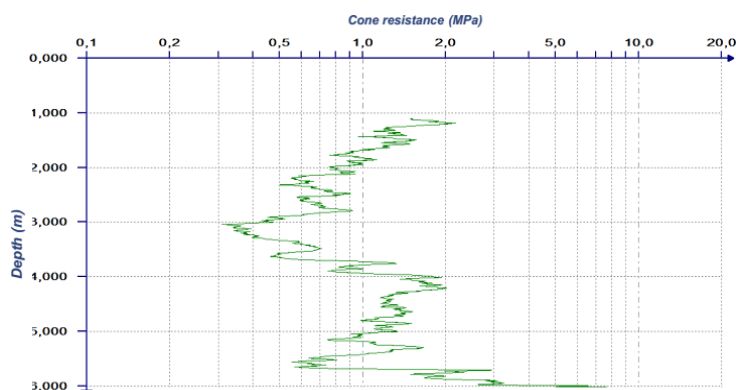
Catolica de Velparaiso, El Servicio Nacional de Minería Geología (SERNAGEOMIN), SOL-SOLUTION – producent, Blaise Pascal University z Francji, Geotecnia Ambiental, Chilijskiego Instytutu Normalizacji w 2012 roku opracowało normę (**NCh 3261-2012**) pozwalającą na kontrolę zapór.

Co ciekawe można zauważyć sporą zależność pomiędzy trudnością posadowienia a popularnością penetrometru PANDA. Kraje takie jak Meksyk czy Brazylia charakteryzują się gruntami o bardzo dużej miąższości. Chile natomiast położone jest na styku płyt tektonicznych. W efekcie zbiorniki zaporowe stanowiące magazyn wody pitnej lub pozostałości po wydobyciu surowców np. miedzi, stanowią bardzo duże zagrożenie dla okolicznej ludności. Ze względu na zastosowane metody konstrukcyjne i materiały możliwe są różne mechanizmy niszczenia, takie jak utrata stabilności, upłynnienie oraz erozja wewnętrzna i zewnętrzna – efekty stanowią poważne zagrożenie dla ludzi i środowiska. Ryzyko uwypuklają również wypadki, które miały miejsce w Chile i obiegły świat. W tym awarie, które wystąpiły podczas trzęsienia ziemi 27 lutego 2010 r. oraz wstrząsów wtórnych.



Rys. 2 Przykładowe uszkodzenia skarp i zapór w Chile po trzęsieniu ziemi 27.02.2010 (Źródło: Internet)

W celu zarządzania ryzykiem przeprowadzono liczne badania próbując zastosować probabilistyczne podejście do przewidywania zachowania zapory podczas budowy i po jej zakończeniu. Jednak stosowanie takiego podejścia w praktyce było ograniczone trudnościami w zarządzaniu danymi (zmiennymi losowymi i polami stochastycznymi), które należy wprowadzić do obliczeń niezawodności dla warunków granicznych i uwarunkowane stosownością modeli prawdopodobieństwa wybranych do reprezentacji zmienności właściwości zapór. Z tego powodu wykonano szereg badań porównawczych parametrów takich jak gęstość, kąt tarcia, stopień zagęszczenia mających wpływ na stabilność zapór oraz ich zmienności przy badaniach penetracyjnych.

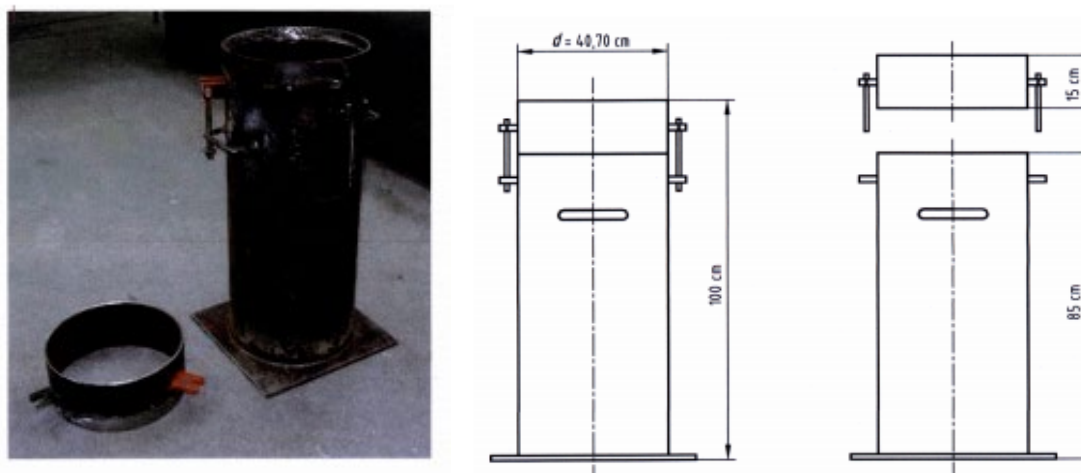


Rys. 3 Przykładowy wykres zależności oporu stożka od głębokości

Badania oparto na wykorzystaniu dynamicznych oporów penetracji stożka (qd) uzyskanych za pomocą penetrometru PANDA gdzie wynik otrzymany przedstawia opór gruntu (qd) w funkcji głębokości.

W porównaniu do innych narzędzi PANDA oferuje szereg korzyści związanych z mobilnością, a sam pomiar uwzględnia zmienność materiału przy bardzo szybkim pomiarze o bardzo dużej dokładności i powtarzalności. Kontrola zagęszczenia oraz stanu gruntu polega na porównaniu wartości uzyskanych w terenie z krzywą uzyskaną w wyniku wcześniejszej kalibracji w laboratorium lub in situ z materiałem kontrolnym celem oceny wymaganego stanu zagęszczenia oraz stanu hydrologicznego.

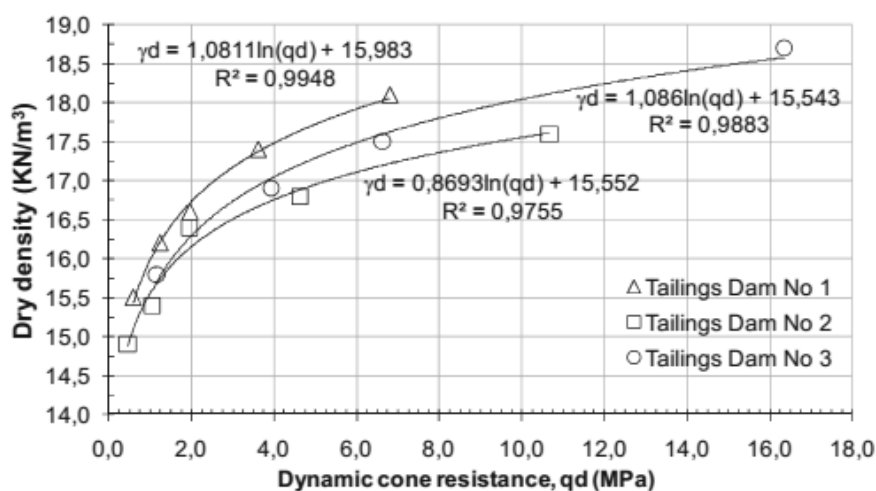
Przeprowadzono serię testów Panda na odpadach kopalnianych pochodzących z badanych zapór, w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych w formie kalibracyjnej.



Rys. 4 Forma kalibracyjna zgodna z NCh3261

Zastosowano następującą procedurę:

- a) Określenie właściwości fizycznych próbek odpadów z kopalni miedzi
- b) Przeprowadzono badania dynamiczne oporu stożka w formie kalibracyjnej Rys. 5 dla różnych stanów gęstości w celu uzyskania zależności γ_d / q_d (krzywa kalibracji). (Dla tego rodzaju materiału można zaobserwować zależność logarytmiczną co potwierdzają również wcześniejsze badania.)



Rys. 5 Zależność γ_d / q_d dla zapór nr 1, nr 2 i nr 3 badania

- c) Normalizacja q_d z uwzględnieniem ciśnienia atmosferycznego

$$q_{dN1} = q_d \cdot C_q \quad \text{with} \quad C_q = \left(p_a / \sigma'_v \right)^c$$

Równanie 2. Normalizacja oporu stożka z uwzględnieniem ciśnienia atmosferycznego

W badaniach wykazano wiele zależności potwierdzających przydatność penetrometru PANDA między innymi:

- $ID\% = f(q_{dN1})$

- $\phi' = f(q_{dN1})$

- $q_{dN1} = q_{CN1}$

Aby przewidzieć zachowanie zapór oraz zarządzania związanym z nimi ryzykiem, wydaje się konieczne zastosowanie podejścia probabilistycznego. Jednak w praktyce wdrożenie tego rodzaju podejścia ograniczają trudności w zarządzaniu danymi, które mają być wykorzystane do określenia warunków granicznych.

W niniejszym materiale przedstawiono ogólną ideę pomiarów penetrometrem PANDA bazując na doświadczeniach oraz pracach naukowych geotechników z Francji oraz Chile w których zaproponowano metodę szacowania in situ wskaźnika gęstości (ID%) oraz efektywnego kąta tarcia (ϕ') i jego zmienności, umożliwiając przeprowadzenie probabilistycznego badania tych struktur. Dotychczasowe badania proponują jeden model dla wszystkich zapór kopalnianych w Chile i połączenie prawdopodobieństwa w odniesieniu do uzyskanych zależności.

Zaproponowano metodę uwzględniającą przestrzenną zmienność danych w celu wykonania oceny ryzyka upłynnienia, które jest główną przyczyną awarii tego typu konstrukcji. Na podstawie uzyskanych wyników wykazano, że metoda szacowania potencjalnego upłynnienia gruntu pozwala ocenić prawdopodobieństwo wystąpienia tego zjawiska. Oszacowanie niezawodności zapory w odniesieniu do stanów granicznych statycznej i dynamicznej stabilności pokazuje zalety i przydatność tego podejścia, wykorzystując w szczególności zmienność właściwości geotechnicznych odpadów kopalnianych i odporność na penetrację (q_{dN1}).

Normy:

1. **NF XP 94-105** Contrôle de La Qualité Du Compactage Au Pénétrömètre PANDA
2. **NCh 3261-2012** Tailings Deposits - Compaction Control with Dynamic Cone Penetrometer (PANDA) - Chilean Standard

Bibliografia:

1. *Stability of chilean's tailings dams with the Panda® penetrometer. Experiences of the last 10th.*, autor: R. Espinace, G. Villavicencio, J. Palma; Grupo de Geotecnia. Escuela de Ingeniería en Construcción. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Chile.; Geotecnia Ambiental, Chile.; P. Breul, C. Bacconnet; Institut Pascal – Polytech'Clermont-Ferrand. Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, France.; M.A. Benz, R. Gourvès; Sol-Solution Géotechnique Réseaux, Riom, France
2. *Use of a geotechnical survey with high effectiveness on the Vallabregues scheme*, autor: L. Duchesne, J-J. Fry, N. Racana
3. *The PANDA technology applied to design and operation of tailings dams*, autor: R. Espinace, G. Villavicencio, L. Lemus
4. *Liquefaction potential of sand tailings dams evaluated using a probabilistic interpretation of estimated in-situ relative density*, autor: A. Villavicencio, Gabriel; Breul, Pierre; Bacconnet, Claude; Fourie, Andy; A. Espinace, Raúl

KONTAKT:

MERAZET S.A.

ul. J. Krauthofera 36, 60-203 Poznań

T: +48 61 8644 611, F: +48 61 8651 933

E: budownictwo@merazet.pl



www.merazet.pl