

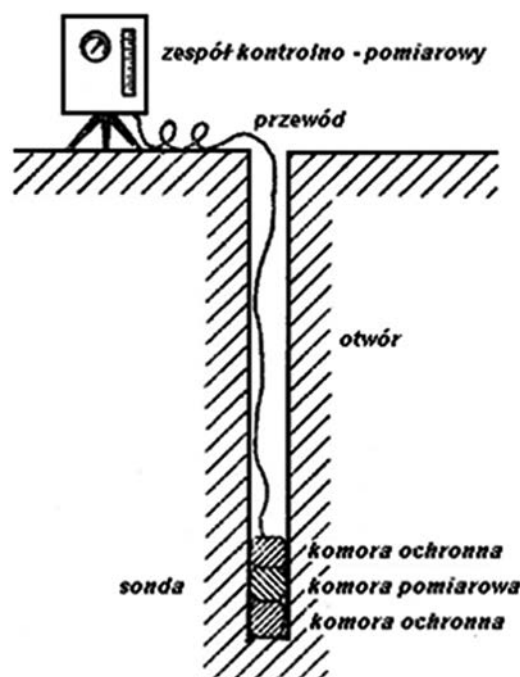
Zmiany w wykonywaniu i interpretacji badań presjometrycznych wprowadzone w normie PN-EN ISO 22476-4

Dr hab. Marek Tarnawski

Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Wydział Budownictwa i Architektury

Badanie presjometryczne jest to próbne obciążenie gruntu na żądanej głębokości za pomocą sondy o kształcie walca rozszerzanej radialnie pod wpływem zadawanego ciśnienia, które jednolicie oddziałuje na ścianki otworu [1] lub specjalnie przygotowanej wnęki [5]. Każdy zestaw presjometryczny składa się z trzech głównych elementów: umieszczanej w podłożu sondy, pozostającego na powierzchni urządzenia zasilającego (kontrolno) – pomiarowego (ewentualnie także rejestrującego) oraz łączących je przewodów (rys. 1). Niezbędne są również żerdzie służące do opuszczania, wwiercania, wciskania bądź wbijania sondy w podłoże gruntowe.

Wszystkie znane odmiany presjometru należą do jednej z trzech grup: presjometrów z wyprzedzającym wierceniem (PDP), presjometrów samowiercących (SBP) lub presjometrów wciskanych w podłoże (PIP). Klasyczny (bo wynaleziony jako pierwszy) sprzęt Ménarda [9], którego dotyczy niniejszy artykuł, należy do grupy urządzeń służących do badań w otworze wiertniczym. Jego cechą charakterystyczną jest trójkomorowa sonda, której środkowa komora pomiarowa jest wypełniona wodą (lub innym płynem), zaś komory ochronne gazem. Badanie polega na stopniowym zadawaniu ciśnienia powodującego rozszerzanie się sondy wywierającej wzrastający nacisk na otaczający ją grunt



Rys. 1. Schemat zestawu presjometrycznego Ménarda [2]

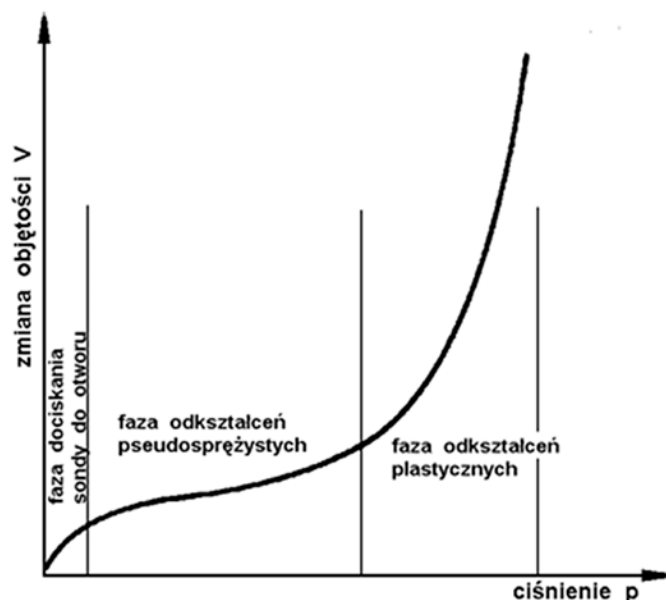
i obserwacji skutków tego procesu. Presjometr jako narzędzie badawcze jest spełnieniem marzeń o próbnym obciążeniu podłoża, które nie jest tak trudne organizacyjnie, kosztowne i czasochłonne jak badania pełnoskalowe, a jednocześnie może dotyczyć gruntu zalegającego na dowolnej głębokości. Kolejną zaletą metody jest możliwość traktowania badania presjometrycznego jako ekspansji cylindrycznej wnęki, co daje jej pewne podstawy teoretyczne. Presjometr służy uzyskaniu zarówno podstawowych parametrów gruntu, jak i takich, które bezpośrednio wykorzystuje się w projektowaniu. Wynik badania presjometrycznego pozwala odnieść się do dwóch najważniejszych dla projektanta właściwości gruntu: jego wytrzymałości (nośności) i ścisłości. Dodać też należy, że o ile na przykład stożek sondy wiskanej oddziałuje w trakcie badania na powierzchnię 10 cm^2 , a podobnie rzecz ma się z badaniami próbek gruntu w edometrze czy aparacie trójosiowym, to strefa oddziaływania sondy presjometrycznej sięga co najmniej kilkuset centymetrów kwadratowych. W ten sposób jest redukowany problem efektu skali. Wreszcie fakt, że ciśnienie przekazywane na grunt wokół sondy jest równoważone jego odporem, pozwala uniknąć potrzeby sztucznej przeciwwagi, na przykład kotwienia sprzętu [4, 6, 7, 14].

Usystematyzowane zasady wykonywania i interpretacji badań presjometrycznych Ménarda autor tej metody przedstawił w swej najbardziej znanej pracy [10]. Szerzej opisano je nieco później w podręczniku „Badania presjometryczne a fundamentowanie” [2, 3]. Metoda presjometryczna największą popularność zyskała we Francji, nic dziwnego zatem, że postępy w technologii wierceń na potrzeby tych badań, wykonywania samych badań i interpretacji uzyskanych wyników przez szereg lat wyznaczały kolejne wersje francuskiej normy AFNOR NF P 94 – 110-1-N. Normę francuską zastąpiono w 2012 roku normą europejską EN ISO 224764:2012, którą (w wersji anglojęzycznej) zatwierdził Prezes PKN 9 kwietnia 2013 roku. Przetłumaczona na język polski ukazała się drukiem w czerwcu 2015 roku. Zapewne ta wersja normy zyska większą popularność w środowisku polskich geotechników. Autor, będąc tłumaczem tej normy, zauważył szereg mniej lub bardziej istotnych zmian w stosunku do dotychczas obowiązujących zasad. Wskazanie tych różnic, a także pewnych wątpliwości, jakie budzą niektóre zapisy nowej normy o symbolu PN-EN ISO 22476-4 (Rozpoznanie i badania geotechniczne; Badania polowe; Część 4: Badanie presjometrem Ménarda), może być interesujące i pożyteczne dla osób zajmujących się badaniami presjometrycznymi w Polsce.

ZASADNICZE ASPEKTY PROCEDUR BADANIA GRUNTU PRESJOMETREM MÉNARDA

Wśród podstawowych zasad presjometrycznej metody badawczej regulowanych we wspomnianej normie, a także opisywanych w literaturze rodzaju „state-of-art.” [np. 1] wymienić należy:

- budowę, wymiary i inne cechy charakterystyczne sond presjometrycznych oraz pozostałych elementów zestawu presjometrycznego,
- zalecane i dopuszczalne metody wierceń, ich średnica oraz długości marszu, czyli odcinka wiercenia realizowanego jednorazowo na potrzeby przeprowadzenia badań presjometrycznych,



Rys. 2. Trzy fazy klasycznej krzywej presjometrycznej [8]

- przygotowanie sprzętu do badań, w tym zwłaszcza przeprowadzenie tzw. cechowań, czyli pomiarów sztywności własnej układu, aby później użyć ich wyniki do korygowania terenowych danych badania presjometrycznego i otrzymać skorygowaną krzywą presjometryczną,
- sposób przeprowadzenia badania (liczba przyrostów ciśnienia, czas utrzymywania danego stopnia ciśnienia, zasady notowania uzyskiwanych wyników),
- zdefiniowanie sposobu wyznaczania współrzędnych końców (p_1, v_1 i p_2, v_2) „niemal prostoliniowego” odcinka krzywej presjometrycznej w fazie odkształceń pseudosprężystych (rys. 2), które służą do dalszych obliczeń,
- zdefiniowanie parametrów geotechnicznych, które wyznacza się na podstawie wyników badania presjometrycznego (moduł presjometryczny E_M , presjometryczne naprężenie graniczne p_f , naprężenie pełzania p_p),
- sposób dokumentowania wyników badań.

Należy podkreślić, że zarówno poprzednie, jak i obowiązujące od niedawna (norma ISO) uregulowania normowe dotyczące badań presjometrycznych nie odnoszą się ani do możliwej dalszej analizy i interpretacji uzyskanych wyników, do których należy na przykład wyznaczanie tzw. współczynników reologicznych, czy korelacje z innymi parametrami, ani do zaproponowanej przez Ménarda [10] metody projektowania posadowień na podstawie zinterpretowanych wyników badań presjometrycznych. Zatem w artykule również kwestie te nie będą poruszane.

Sondy presjometryczne

W sondzie presjometru Ménarda zastosowano system trójkomorowy: środkowy odcinek pomiarowy otoczony jest tzw. komorami ochronnymi. Trzy niezależne komory miała starsza wersja sondy, model „E”. W późniejszych modelach serii „G” konstrukcja sondy uległa zmianie i obecnie mamy do czynienia z jedną komorą ochronną obejmującą niejako komorę pomiarową. Komora pomiarowa jest wypełniona wodą, obieg ochronny

Tabl. 1. Specyfikacje geometryczne sond (według PN-EN ISO 22476-4, uzupełnienia autora)

Rodzaj sondy i parametr		Symbol	Jednostka	Wartość	Tolerancja	
Sonda z elastyczną osłoną		Długość centralnej komory pomiarowej	l_c	mm	210	+ 5; 0
		Długość komory ochronnej	l_g	mm	120	±15
		Średnica zewnętrzna	d_c	mm	58	±2
Sonda z rurą szczelinową	Część wewnętrzna: krótka centralna komora pomiarowa	Długość centralnej komory pomiarowej	l_{sc}	mm	210	+ 2; 0
		Długość komory ochronnej	l_{gs}	mm	200	±5
		Średnica zewnętrzna centralnej komory pomiarowej	d_{ci}	mm	44	±2
	Część wewnętrzna: długa centralna komora pomiarowa	Długość centralnej komory pomiarowej	l_{ci}	mm	370	±5
		Długość komory ochronnej	l_{gl}	mm	110	±5
		Średnica zewnętrzna centralnej komory pomiarowej	d_{ci}	mm	44	±2
	Rura szczelinowa	Średnica zewnętrzna	d_c	mm	59	±5
		Długość szczeliny (wzdłuż osi rury)	l_m	mm	≥ 800	–

– gazem. Osłona komory pomiarowej to tzw. membrana (guma) wewnętrzna, zaś komory ochronnej – zewnętrzna zwana także płaszczem. Dzięki przyleganiu do ścianek otworu powyżej i poniżej badanego odcinka (wnęki wytwarzanej przez rozszerzającą się komorę pomiarową) komora ochronna zapobiega ekspansji komory pomiarowej (czyli wypierania gruntu) w niepożądanym, innym niż radialny, kierunku. Zabezpieczona jest więc stała długość wnęki podczas badania. Dobre przyleganie obu membran do siebie i w efekcie uformowanie górnej i dolnej komory ochronnej zapewnia różnica ciśnień, jaką należy zachować w komorach. Większe powinno być w komorze pomiarowej [14].

W normie PN-EN ISO 22476-4 w zależności od warunków gruntowych zaleca się stosowanie:

- sondy z elastyczną osłoną,
- sondy z elastyczną osłoną i/albo z dodatkową (np. paski metalowe) osłoną o większej sztywności, albo umieszczoną w stalowej rurze szczelinowej.

Chociaż w cytowanej normie wspomina się o sondach o różnych średnicach (44 ÷ 76 mm), za typowe uznaje się te, których zewnętrzna średnica (samej sondy lub otaczającej ją rury szczelinowej) wynosi 58 ÷ 59 mm. Cechy geometryczne tych normowych sond zestawiono w Tablicy A1 załącznika A normy (tabl. 1).

Wiercenia realizowane na potrzeby przeprowadzenia badań presjometrycznych

W normie PN-EN ISO 22476-4 rozróżnia się pojęcia „wnęka dla badania presjometrycznego” i „otwór presjometryczny”. Przez otwór presjometryczny rozumie się otwór wiertniczy, w którym wykonuje się w gruncie wnękę o przekroju kołowym do badania presjometrycznego i umieszcza w nich sondę presjometryczną. Niekiedy faktycznie wierci się otwór pilotujący o większej średnicy i wykonuje w jego dnie odpowiednią wnękę świdrem o mniejszej średnicy lub próbnikiem. Można też wiercić skuteczną (i brutalną) techniką otwór pilotujący o mniejszej od wymaganej średnicy, po czym poszerzać go delikatnie bądź

też wbijać weń rurę szczelinową. Najczęściej jednak wybiera się technikę wiercenia pozwalającą na uzyskanie otworu o odpowiedniej i stałej średnicy oraz z nienaruszonymi ściankami. Cały otwór pełni więc wówczas rolę owej „wnęki”. Paletę możliwych do stosowania metod wiercenia otworu presjometrycznego zestawiono w tabl. 2.

Przygotowanie wnęki o zadowalającej jakości to podstawowy warunek uzyskania poprawnego wyniku badania presjometrycznego. Ponieważ jakość ta pogarsza się z upływem czasu, idealnym rozwiązaniem jest wykonanie wnęki (marszu wiercenia) na potrzeby tylko jednego badania. Z drugiej strony jednak procedura taka wydłuża czas (zwiększa koszty) realizacji badań, wobec czego w normie bezwzględnie zaleca się przestrzegać tej zasady tylko w najmniej korzystnych warunkach gruntowych (miękkoplastyczne grunty spoiste, pyły i luźne piaski poniżej zwierciadła wody gruntowej), natomiast w innych, typowych przypadkach dopuszcza się marsze rzędu 2 ÷ 5 m. Średnica narzędzia formującego wnękę nie powinna przekraczać więcej niż o 8% zewnętrznej średnicy centralnej komory pomiarowej (liczoną łącznie z dodatkową osłoną typu rura szczelinowa). W praktyce dla normowych sond o średnicy 58 mm wierci się świdrem 60 mm. W normie PN-EN ISO 22476-4 zwraca się uwagę, że realizując wiercenie presjometryczne w pewnych warunkach gruntowych (np. grunty pylaste lub słabiej zagęszczone nawodnione piaski) trudno uniknąć przewymiarowania wycinanej wnęki, wynikającego albo z drgań narzędzia tnącego, albo z erodowania ściany przez cyrkulację płuczki, a w innych z kolei (niektóre ily) należy obawiać się zaciskania otworu po usunięciu świdra z otworu, a przed umieszczeniem w nim sondy.

Analiza zawartości tabl. 2 wskazuje, że szereg wyszczególnionych w niej metod to sposoby wiercenia (lub czynności towarzyszących) stosowane powszechnie do profilowania i opróbowania gruntów podłoża (wiercenia rdzeniowe i udarowo-obrotowe, próbki wbijane i wciskane). Podano je, jak się wydaje, aby zwrócić uwagę, że można realizować badania presjometryczne, nie ponosząc kosztów zakupu nowego sprzętu. Jednak gdy uświadomimy sobie, że dobrą jakość otworu, a stąd i badania uzyskamy, wybierając technikę zalecaną (3) lub od-

powiednią (2), to okaże się, że stosowalność tych metod jest ograniczona. Dobre efekty osiągnie się, stosując urządzenia zaprojektowane specjalnie na potrzeby techniki presjometrycznej. Dotyczy to zwłaszcza wiercenia nierurowanego (OHD: *open hole drilling*), zwykle realizowanego z użyciem płuczki wiertniczej.

W trudniejszych warunkach gruntowych („jedyńki” w kolumnie OHD tabl. 2) lepsze efekty daje zastosowanie ręcznej

odmiany wiercenia płuczkowego (HAM). Słaba wydajność i niekomfortowe warunki pracy powodują jednak, że współcześnie odchodzi się od tej metody. Można rozważać stosowanie wówczas nowej technologii, jaką jest tzw. otwarta rura szczelinowa (STD TM), w której odcinek ze szczelinami jest fragmentem normalnego (ochronnego) orurowania otworu. Klasyczna (chroniąca sondę i wbijana, ewentualnie z poprzedzającym wierceniem pilotowym o mniejszej średnicy) rura szczelinowa

Tabl. 2. Techniki formowania wnęki (realizacji wiercenia) według PN-EN ISO 22476-4, w ujęciu autora

		Wprowadzanie sondy bez przemieszczania gruntu									Wbijanie sondy	
Technika wiercenia Warunki gruntowe		1 < d _f /d _c ≤ 1,08									d _f /d _c = 0	
		Wiercenie obrotowe				Wiercenie obrotowo-udarowe			Próbnik wciskany, wbijany lub wwibrowywany			Wbijana rura szczelinowa
		OHD*	HA/ HAM*	CFA	CD	RP	RPM	STD _{TM}	PT	DT	VDT	DST
Muł i miękki il		2°	3°	—	—■		—	—■	3 TWT	—		1■
Miękkoplastyczne i plastyczne grunty spoiste		3°	3°	2■	2■	—	1■°	1°	1■	1	-	
Twardoplastyczne grunty spoiste		3°	2■°	3	3°	1■	2°	2■°	—	1■	-	
Grunty pylaste — powyżej zwierciadła wody — poniżej zwierciadła wody		2°	3°	2	2■°	—	1°	2°	1■	1	1	—
		1■°	2■°	—	1■°	—	1°	2▲°	—	—	—	1■
Luźne piaski — powyżej zwierciadła wody — poniżej zwierciadła wody		2°	3■°	2	1	—	1°	1°	—■	—	—	—
		1■°	2°	—	—■	—	1°	1▲°	—■	—	—	1■+
Grunty piaszczyste średnio zagęszczone i zagęszczone		3°	3°	3	1°	1	2°	2▲°	—	1	1	2■+
Żwiry, otoczaki		2°	—■°	—■	—■	1	3°	1■°		1	1	3■+
Niejednorodne grunty spoiste (np. gliny zwalowe)		2°	1°	1	2■°	1	3°	1■°		1	1	
Luźne grunty niejednorodne, inne grunty nie wymienione wyżej (np. gliny, niektóre utwory rzeczne, grunty antropogeniczne lub nasypy niekontrolowane)		2°	1°	1	1°	1	2°	2■°	—	1	1	2■+
Skały zwietrzałe i miękkie		3°	2°	2	2■°	1■	2°	2■°		1■	1■	

Objaśnienia:

Metody:

- 3 – zalecana
- 2 – odpowiednia
- 1 – zadowalająca
- – nieodpowiednia
- – nie objęta tą normą

- OHD Wiercenie nierurowane płuczkowe
- HA Wiercenie ręczne nierurowane
- HAM Wiercenie ręczne płuczkowe
- CFA Wiercenie świdrem spiralnym
- CD Obrotowe wiercenie rdzeniowe
- RP Wiercenie obrotowo-udarowe na sucho

- RPM Wiercenie obrotowo-udarowe płuczkowe
- STD TM Otwarta rura szczelinowa
- PT Próbnik wciskany
- DT Próbnik wbijany
- VDT Próbnik wwibrowywany
- DST Wbijana rura szczelinowa

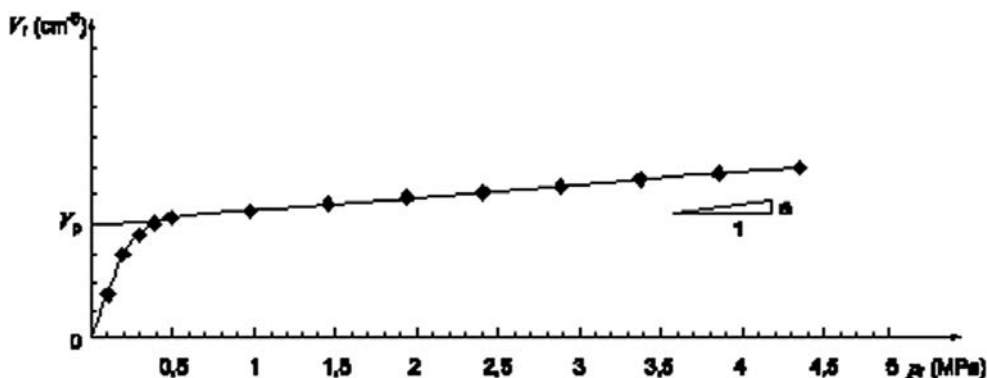
■ W zależności od lokalnych warunków gruntowych i oceny operatora

* Szybkość obrotów nie powinna przekraczać 1 s^{-1} , a średnica świdra 1,15 d_c

° Parametry obiegu płuczki: ciśnienie do 500 kPa, wydatek do 15 l/min z okresowymi przerwami

+ Otwór pilotowy poprzedzający wbijanie rury szczelinowej dostępnymi technikami, jak RP i RPM

▲ Wymagania specjalne: dodatkowa rura ochronna pod rurą szczelinową, wykonywanie badań schodząc w dół, poziom płuczki w orurowaniu utrzymywany powyżej zwierciadła wody gruntowej



Rys. 3. Przykład cechowania strat objętości (Rys. B.2 z normy PN-EN ISO 22476-4)

(DST) jest zalecana natomiast w przypadku badań w gruntach żwirowych i kamienistych. Wreszcie wiercenie prymitywnym (wydawałoby się) świdrem spiralnym (CFA) daje dobre efekty w gruntach nośnych, takich jak co najmniej twardoplastyczne grunty spoiste i dobrze zagęszczone piaski, ale oczywiście powyżej zwierciadła wody gruntowej.

Warto zwrócić uwagę na zalecenia rozdziału 2.3 Załącznika C normy PN-EN ISO 22476-4 dotyczące postępu wiercenia i świdrów płuczkowych. Nacisk pionowy na obracający się świder powinien być niewielki, a rotacja powolna, podobnie jak przepływ płuczki. Niskie wydatki pompowania powinna kompensować jej wystarczająco duża (w celu usunięcia zwiercin) lepkość. Świdry skrawające (trójpiórowe) lub kruszące (gryzery) powinny mieć osiowe, skierowane w dół dysze wylotowe. Wszystko to celem zminimalizowania uszkodzeń ściany wnęki presjometrycznej (otworu). Wiercenie OHD powyżej zwierciadła wody gruntowej można prowadzić zwykłym świdrem rurowym bez użycia płuczki.

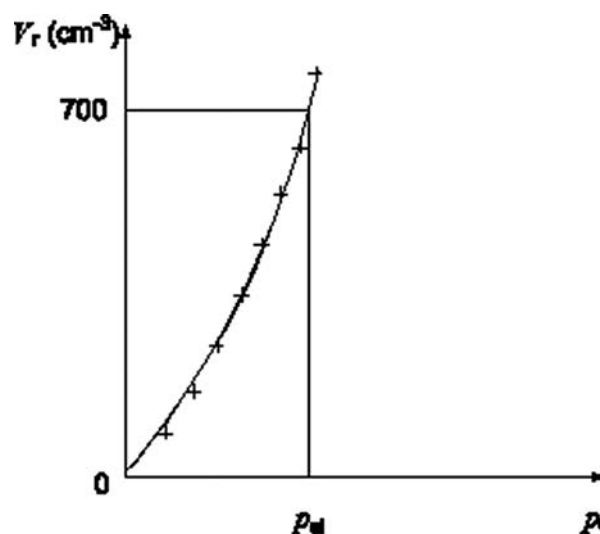
Przygotowanie sprzętu presjometrycznego do badań

Przygotowanie presjometru do badań polega na sprawdzeniu (i wyzerowaniu) manometrów, napełnieniu płynem układu urządzenie pomiarowe – sonda (dbając przy tym o usunięcie pęcherzyków powietrza), sprawdzeniu poprawności jego działania i przeprowadzeniu tzw. cechowań, czyli pomiarów sztywności własnej układu. Zasady te były oczywiście znane i stosowane od dawna. W nowej normie uściślono je tylko w niektórych aspektach oraz wprowadzono zróżnicowanie (dotyczące także przebiegu badania) wynikające ze stosowania albo ręcznych zapisów danych przez operatora (tzw. procedura A), albo ich automatycznej rejestracji (procedura B). W podstawowym tekście normy znajdziemy jedynie krótkie napomknienie na temat cechowań (rozdział 5.2) kierujące czytelnika do załącznika B.

W normie PN-EN ISO 22476-4 wyraźniej od jej poprzedniczek akcentuje się kwestie konieczności sprawdzania i kalibrowania urządzeń pomiarowych (rozdziały 1 i 3 załącznika B). Zasady *cechowania strat objętości* w nieodkształcalnej, stalowej rurze grubościenniej nie uległy żadnym zmianom, podobnie jak przyjęcie jako dopuszczalnej maksymalnej wartości poprawki $a < 6 \text{ cm}^3/\text{MPa}$. Ewentualne wyższe jej wartości wskazują na stan awaryjny (np. nieszczelność) sprzętu albo użycie niewłaści-

wej cieczy. Wykres ilustrujący przebieg tego cechowania (rys. 3) wzięto bezpośrednio z normy francuskiej, podobnie jak sposób obliczania początkowej objętości komory pomiarowej V_c (przydatny, jeśli wartość ta nie jest określona i gwarantowana przez producenta). Jedyną istotną nowością procedury *cechowania strat ciśnienia* jest zdefiniowanie wielkości stosowanych wówczas przyrostów ciśnienia jako $1/5$ spodziewanej sztywności własnej sondy p_{el} , która to wartość to odczyt ciśnienia przy (nie skorygowanej) objętości $V_r = 700 \text{ cm}^3$ (patrz rys. 4; w przypadku tzw. krótkiej sondy w rurze szczelinowej wartość ta wynosi $V_r = 550 \text{ cm}^3$). W normie wskazuje się, że wartość sztywności sondy może wahać się w granicach $p_{el} = 0,05 \div 0,2 \text{ MPa}$. Wartości najniższe dotyczą wyjątkowo miękkich gum stosowanych w słabych gruntach, najwyższe zaś rur szczelinowych. Wartość p_{el} osłon typowych (do stosowania w gruntach o przeciętnej wytrzymałości, nośnych) są bliskie $p_{el} = 0,1 \text{ MPa}$ (lub nieznacznie wyższe), wobec czego w przypadku *cechowania strat ciśnienia* stosuje się zazwyczaj przyrosty ciśnienia $0,02$ lub $0,025 \text{ MPa}$, zależnie od wyskalowania stosowanego manometru.

Współczynnik strat objętości a jest nachyleniem prostej najlepszego dopasowania tej części wykresu, który powstaje po uzyskaniu pełnego kontaktu sondy z cylindrem kalibracyjnym: $V_r = V_p + ap_r$.



Rys. 4. Przykład cechowania strat ciśnienia (Rys. B.4 z normy PN-EN ISO 22476-4, uzupełnienia autora)

Wartość V_p , długość centralnej komory pomiarowej l_c oraz wewnętrzna średnica cylindra kalibracyjnego d_i pozwalają wyliczyć początkową objętość komory pomiarowej V_c .

Wyniki cechowań wykorzystuje się do korygowania wyników badania, czyli do wyznaczenia skorygowanej krzywej presjometrycznej. Zasady tych obliczeń zawarto w Załączniku D normy. Brak tu istotnych różnic w stosunku do dotychczasowych procedur. Zredukowane wartości ciśnienia p i objętości V dla każdego stopnia ciśnienia i odczytu po 60 sekundach (tzn. tuż przed kolejnym zwiększeniem ciśnienia) oblicza się następująco:

$$p = p_r + p_h - p_e(V_r) \quad (1a)$$

$$V = V_r - ap_r \quad (1b)$$

Dolny indeks „r” oznacza surowe (ang. *raw*), czyli nieskorygowane wartości ciśnienia p i objętości V , p_e to poprawka na straty ciśnienia przy danej objętości, zaś p_h – ciśnienie hydrostatyczne cieczy wprowadzonej do obiegu, odpowiadające różnicy poziomów pomiędzy rzędną urządzenia mierzącego ciśnienie w zespole kontrolno-pomiarowym z_c , a rzędną środka sondy presjometrycznej z_s .

Poprawkę na straty ciśnienia interpolowano dotychczas liniowo pomiędzy punktami doświadczalnymi cechowania. Jego wykres nie jest jednak linią prostą (rys. 4). Aktualnie w normie PN-EN ISO 22476-4 dopuszcza więc tę metodę jedynie „dla zgrubnej analizy”, zalecając „na potrzeby prac badawczych” interpolację rodzaju wykładniczego lub metodą podwójnego dopasowania hiperbolicznego (rozdziały D 1.3 i D 4.3.3 normy).

Przebieg badania presjometrycznego Ménarda

Choć nie ulega wątpliwości, że badanie presjometryczne to zasadnicza czynność menardowskiej metody badania podłoża, to jednak może zaskakiwać znaczne zwiększenie w normie formalnych wymagań związanych z tą czynnością. Rozdzielono też pojęcia „otwór” i „sondowanie” presjometryczne. Zauważamy to w rozdziale „Terminy i definicje” (3.1). Otwór presjometryczny to „tylko” otwór wiertniczy, w którym wykonuje się wnęki do badania presjometrycznego i umieszcza sondę presjometryczną, natomiast serię „operacji niezbędnych do przeprowadzenia badania presjometrem Ménarda w danej lokalizacji”, czyli uformowanie wnęk do badań presjometrycznych i wykonanie w nich samych badań nazwano „sondowaniem presjometrycznym”, co jest nowością.

Za gwaranta dobrej jakości badania presjometrycznego w normie PN-EN ISO 22476-4 słusznie uznano adekwatną jakość (nienaruszenie ściany, właściwa średnica) otworu (wnęki) oraz wymóg realizowania badania natychmiast po uformowaniu wnęki. Problematyce tej jest poświęcony obszerny Załącznik C. Temu też zapewne ma służyć typowe dla wszystkich geotechnicznych norm podnoszenie wymogów formalnych. W tym świetle dziwić może niemal zupełny brak wskazówek dotyczących manewrowania sondą presjometryczną w otworze, zachowania się przed rozpoczęciem badania i realizowania go tak, aby zapewnić wymóg uzyskania „około 10 odczytów badania”.

Wprowadzenie sondy do otworu wydaje się prostą operacją, niewymagającą komentarza: opuszcza się ją na żerdziach (im lżejsze, tym lepsze) do otworu i przytrzymuje na żądanej głębokości za pomocą prostego klucza (ścisków wiertniczych). Jednak nie zawsze tak jest. Zaciiskające otwór ility albo pozostające w otworze zwierciny utrudniają opuszczanie sondy, zmuszając do czynienia tego bardziej energicznie, co grozi uszkodzeniu ściany otworu na planowanym poziomie badania. Mając to na uwadze, należy pamiętać, żeby sondę opuszczać do otworu z zamkniętym obiegiem wody, aby nie dopuścić do wpływania jej do sondy pod ciśnieniem hydrostatycznym, gdyż zwiększałoby to objętość sondy, prowadząc do zakleszczania jej w otworze. Warto podkreślić, że lepiej jest ręcznie manewrować sondą w otworze, nawet jeśli dysponuje się wiertnicą mechaniczną. Wynika to z dwóch powodów:

- siła rąk ludzkich jest mniejsza niż maszyny, stąd szanse uszkodzenia lub zniszczenia zarówno sondy, jak i ścianek otworu są wtedy również mniejsze, tym bardziej zakleszczenia sondy w sposób uniemożliwiający jej późniejsze wyciągnięcie z otworu,
- pokonując ewentualne przeszkody, operator wyczuwa stan otworu i łatwiej jest mu podejmować decyzje dotyczące zarówno sposobu pokonania konkretnego problemu, jak i sposobu poprawy technologii wiercenia, aby uniknąć podobnych kłopotów głębiej bądź w kolejnym otworze.

Stosowanie sprzętu mechanicznego jest wygodniejsze, należy jednak pamiętać o związanym z tym ryzykiem: trwałość sondy presjometrycznej jest przecież wielokrotnie mniejsza niż narzędzia wiertniczego, nie mówiąc już o ściankach otworu. W każdym przypadku pokonywanie przeszkód nie powinno następować poprzez stały nacisk, lecz poprzez zastosowanie delikatnych ruchów w górę i w dół [13, 14].

Po umieszczeniu sondy na poziomie badania i otwarciu zaworu wodnego ważną rolę odgrywają obserwacje zachowania się poziomu wody w wizjerze objętościomierza. Dają one istotne informacje o prawdopodobnej jakości otworu. W dobrze zwymiarowanym otworze poziom wody powinien nieznacznie opaść pod wpływem hydrostatycznego ciśnienia słupa wody. Wyraźniejszy spadek rzędu 100 cm³ lub więcej oznacza, że otwór jest zbyt luźny, czyli jego średnica jest zbyt duża. Spadek poziomu wody powyżej 200 cm³ daje już znikome szanse na zrealizowanie poprawnego badania. Jeśli były trudności z umieszczeniem sondy na poziomie badania, można oczekiwać, że otwór będzie zbyt ciasny. Należy być wtedy przygotowanym na potrzebę szybkiego zamknięcia obiegu wody, gdyż woda wyciskana przez otaczającą sondę grunt może nawet „chcieć” wypłynąć przez otwarty zawór, gdyż wolne miejsce w objętościomierzu jest ograniczone zaledwie do około 100 cm³. Następnie zaleca się kilkakrotnie powtórzyć cykl otwierania i zamykania obiegu wody. W skomplikowanym wówczas układzie ciśnień wokół i wewnątrz sondy zdarza się bowiem, że poziom wody po początkowym gwałtownym podniesieniu się, potem znów opada. W skrajnych przypadkach podejmuje się bardziej zdecydowane działania, na przykład poruszając lekko przewodem z sondą w górę i w dół lub rozpoczynając badanie, nie czekając na stabilizację poziomu wody w wizjerze. Wyniki badania stanowią ostateczną weryfikację uzyskanej jakości otworu [14].

Tabl. 3. Przyrosty ciśnienia stosowane przy badaniach różnych rodzajów gruntu presjometrem Ménarda [14]

Stosowany przyrost ciśnienia Δp (MPa)	Rodzaj badanych gruntów
0,02 lub 0,025	torfy, namuły organiczne, gytie itp. – nieskonsolidowane, bardzo luźne piaski, miękkoplastyczne grunty spoiste
0,05	grunty organiczne skonsolidowane, luźne piaski, plastyczne grunty spoiste
0,1	twardoplastyczne i półzwarne pyły, ily i gliny zwałowe, średnio zagęszczone piaski
0,2	zwarte pyły, ily i gliny zwałowe, zagęszczone piaski

Normowy zapis dotyczący wyboru skoków ciśnienia jest skromny. Każdego operatorowi ustalić go na podstawie parametrów wiercenia, badania urobku oraz według (bliżej niesprecyzowanej) instrukcji. Norma nie precyzuje również, jak rozumieć „około” 10 odczytów (skoków ciśnienia). Zdaniem autora poprawne wyniki badania otrzymamy przy $6 \div 14$ odczytach badania, natomiast rolę „instrukcji” mogą pełnić, w przypadku warunków polskich, dane z tabl. 3.

Ciśnienie gazu w komorach ochronnych p_k powinno być mniejsze od ciśnienia w centralnej komorze pomiarowej p_c . Dawniej obowiązywała konwencjonalna wartość zalecanej różnicy ciśnień: 110 kPa, z możliwością zmniejszenia jej aż do 50 kPa w przypadku gum o niskiej sztywności. Potem w normie francuskiej odniesiono ją do straty ciśnienia membrany p_m rozumianej jako ciśnienie, przy którym objętość cieczy wprowadzonej do centralnej komory pomiarowej jest równa 700 cm³ (550 cm³ w przypadku krótkiej sondy w rurze szczelinowej). Wartość tę ustala się analogicznie jak w przypadku p_{el} uzyskiwanego podczas standardowego cechowania strat ciśnienia. Cechowanie samej membrany (nie okrytej płaszczem) należy prowadzić przyrostami ciśnienia równymi 10 kPa. Jest ono wymagane tylko wówczas, gdy wartość p_m nie była podana przez dostawcę gum. Choć sposób wyliczania różnicy ciśnień (rozdział B.4.4 Załącznika B normy) rozbudowano w stosunku do dotychczasowej procedury (zaleca się, ale bezwzględnie nie wymaga uwzględniać zmiany ciężaru właściwego gazu wraz ze zmianą ciśnienia), to zasada generalna, że ciśnienie gazu p_k powinno być mniejsze o co najmniej $2p_m$ (ale nie bardziej niż o $3p_m$) od ciśnienia płynu w komorze pomiarowej p_c pozostała niezmienną w przypadku większości zastosowań. Należy pamiętać, że:

$$P_c = p_r + p_h \quad (2a)$$

$$\text{gdzie: } p_h = \gamma_i(z_c - z_s) \quad (2b)$$

Znaczenie symboli objaśniono pod wzorami 1a i 1b; γ_i oznacza ciężar właściwy cieczy wprowadzonej do obiegu.

Wyznaczanie geotechnicznych parametrów presjometrycznych

Pierwszym krokiem interpretacji wyników presjometrycznych badań polowych jest skorygowanie zanotowanych warto-

ści ciśnień p i objętości V wzorami 1a i 1b. Uzyskane w ten sposób dane służą wykreśleniu skorygowanej krzywej presjometrycznej. Jej analiza rozpoczyna się od wyliczenia nachylenia m_i każdego odcinka pomiędzy dwoma sąsiednimi punktami danych:

$$m_i = \frac{V_i - V_{i-1}}{p_i - p_{i-1}} \quad (3)$$

gdzie:

p_i i V_i to współrzędne początku odcinka i ($i \geq 1$).

Najniższa (ale zawsze dodatnia) wartość m_i to m_E . Według normy francuskiej z 1991 roku do fazy pseudosprężystej, na odcinku której należy wyznaczyć moduł presjometryczny, włączamy te kolejne odcinki, które wykazują nachylenie mniejsze od lub równe β razy m_E , co wynosi zwykle około 1,2 m_E [5]. Do wyliczenia współczynnika β stosuje się współrzędne początku odcinka m_E (p_E, V_E) i jego końca (p'_E, V'_E), jak następuje:

$$\beta = 1 + \frac{1}{100} \times \frac{p'_E + p_E}{p'_E - p_E} + \frac{2\delta V}{V'_E - V_E} \quad (4)$$

W normie PN-EN ISO 22476-4 wprowadzono do wzoru (4) małą, ale istotną, zmianę w stosunku do poprzedniej wersji. W liczniku ostatniego członu wzoru wprowadzono $2\delta V$ (zamiast liczby „6” poprzednio), definiując δV jako tolerancję dla V przyjmowaną wstępnie jako 3 cm³. To tylko pozornie oznacza to samo, gdyż uzyskany rezultat traktujemy teraz jedynie jako pierwsze przybliżenie wyznaczające współrzędne początku zakresu pseudosprężystego (p_1, V_1) i jego koniec (p_2, V_2). Jeśli uzyskana w ten sposób strefa modułu będzie zawierać „zbyt mało” odcinków (według normy jest to $n < 3$), to „kierując się osądem inżynierskim”, należy zwiększyć przedział tolerancji δV . W praktyce niemal zawsze będzie to oznaczać przesunięcie strefy modułu „w prawo”, co zazwyczaj spowoduje zbliżenie p_2 do p_{pm} , czyli wyznaczonej wstępnie wartości presjometrycznego naprężenia pełzania (patrz niżej). Najistotniejszą zmianą będzie jednak uzyskanie w ten sposób niższej (bezpieczniejszej, bardziej konserwatywnej) wartości modułu presjometrycznego. Zdaniem autora sugerowane w normie dążenie do włączenia do strefy modułu co najmniej trzech odcinków krzywej presjometrycznej może być przesadne, zwłaszcza jeśli w całym badaniu uzyskamy wyrażnie mniej niż 10 odczytów. Natomiast wydaje się celowe korzystanie z tej nowinki normowej zawsze wtedy, gdy w pierwszym przybliżeniu w strefie modułu znajdzie się tylko jeden odcinek krzywej. Zasada wyliczania modułu presjometrycznego nie uległa istotnym zmianom. Zwrócono jedynie uwagę na specyfikę obliczeń podczas stosowania rury szczelinowej oraz zalecono podawanie wyniku w MPa z dokładnością do dwóch cyfr znaczących.

Według normy PN-EN ISO 22476-4 presjometryczne naprężenie pełzania p_{pm} można oszacować, jeśli podczas badania otrzymano przynajmniej po dwa zbiory odczytów z drugiej i trzeciej grupy odczytów, czyli fazy odkształceń (rys. 2). Tak samo definiuje się minimalny wymóg poprawności badania „w ogóle”, to znaczy, aby móc określić wszystkie trzy parametry: p_{pm} , p_{LM} i E_M . Wymóg dwóch zbiorów odczytów w strefie trzeciej (faza odkształceń plastycznych) jest łagodniejszy niż dotychczas, kiedy to wymagano trzech takich zbiorów (punktów badania). Nie jest do końca jasne, jak liczyć punkty w fazie odkształceń pseudosprężystych, to znaczy, czy można włączyć

też punkty graniczne tej strefy, czy nie. Normowa definicja drugiej grupy odczytów (są to te odczyty, „które wykazują małe nachylenia m_i i niskie wartości pełzania”) zdaje się wskazywać na pierwszą interpretację, choć sama definicja budzi wątpliwości, ponieważ to przecież nie odczyty, a odcinki krzywej pomiędzy odczytami wykazują nachylenia.

Niewielkiej zmianie uległa zasada graficznego wyznaczania wartości p_{fMi} : jest to odcięta przecięcia dwóch prostych włączających punkty grupy drugiej i trzeciej, przy czym prosta łącząca punkty grupy drugiej nie jest już definiowana jako pozioma. Sposób prowadzenia dalszej analizy uściślającej wartość p_{fM} nie jest opisany w normie jednoznacznie. Sprowadza się do stwierdzenia: „naprężenie pełzania powinno znaleźć się pomiędzy p_{fMi} i p_{2i} ”. Przykład (rys. 5, czyli Rys D.2 normy) idzie dalej i utożsamia p_{fM} z p_2 (koniec strefy E_M), przy czym to graficzne przedstawienie sytuuje ten punkt pomiędzy punktami badania, co wydaje się dopuszczalne jedynie dla p_{fM} , a nie dla p_2 .

Liczby 1 i 2 poniżej osi poziomej wskazują odpowiednio na wyniki oceny wstępnej i sprawdzianu ostatecznego. Linia 3 to krzywa presjometryczna ($p - V$) ekstrapolowana metodą podwójnego dopasowania hiperbolicznego, zaś 4 – prosta aproksymująca trzy ostatnie wartości krzywej odwrotnych objętości ($p - 1/V$; druga metoda ekstrapolacji krzywej presjometrycznej). Linia 5 to przykład dopasowania punktów pełzania. Rysunek ilustruje różne aspekty interpretacji komentowane w tekście, w tym kontrowersyjny „górny” punkt d mający oznaczać zarówno p_f (powinno być p_{fM}), jak i koniec strefy modułu presjometrycznego E_M , czyli punkt p_2 .

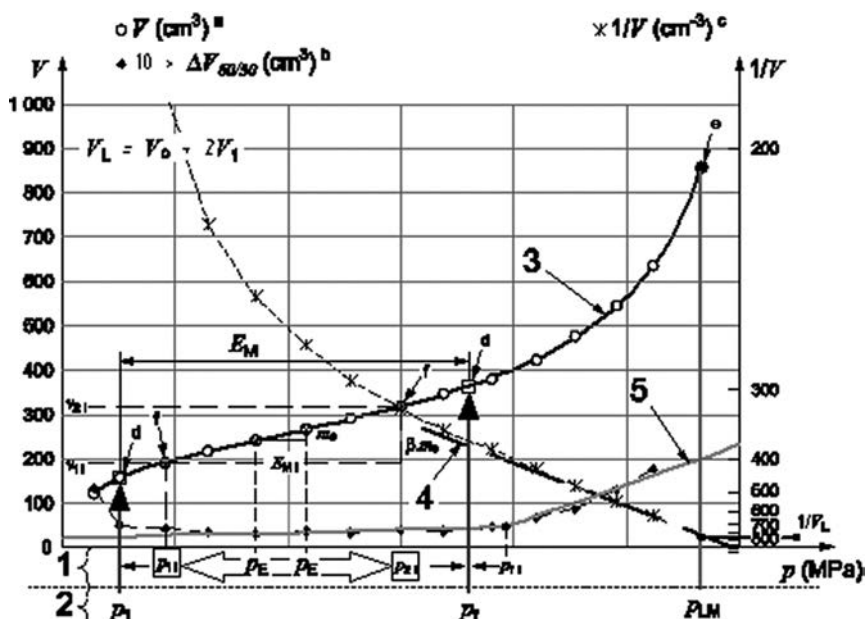
Zdaniem autora często spotykany rozróżnienie pomiędzy położeniem punktów p_{fMi} i p_{2i} nie wynika z niskiej jakości badania, lecz z metody wstępnego wyznaczania punktu p_{fMi} (przecięcie prostych), która jest niewłaściwa i wymaga korekty [12, 16]. Odzwierciedlający zjawisko pełzania układ punktów trzeciej grupy wyników pozwala zazwyczaj wydzielić dwa odcinki: jeden mniej, a drugi bardziej nachylony. Widać to nawet na przykładowym badaniu umieszczonym na rys. 5. Proces pełzania bywa dzielony na trzy fazy [11]. Pierwsza to pełzanie konsoli-

lidacyjne (zwane też konsolidacją wtórną), druga to pełzanie niezaniżające (lub o stałej prędkości), a trzecia to pełzanie przyspieszające prowadzące do przekroczenia nośności granicznej gruntu. Obserwacje pełzania gruntu podczas badania presjometrycznego zdają się odpowiadać dwóm fazom pełzania: pierwszej i trzeciej, podczas gdy faza druga jest zapewne ograniczona do punktu przegięcia. Gdy podczas graficznej interpretacji p_{fMi} (rys. 6) zamiast użyć do wykreślenia prostej ukośnej wszystkich punktów grupy trzeciej (linia przerywana) ograniczamy ich zbiór do punktów odpowiadających pełzaniu pierwotnemu (strzałka), uzyskujemy bardziej wiarygodną (i bliższą p_2) wartość naprężenia pełzania p_p , czego oczekuje omawiana norma podczas „sprawdzianu ostatecznego”.

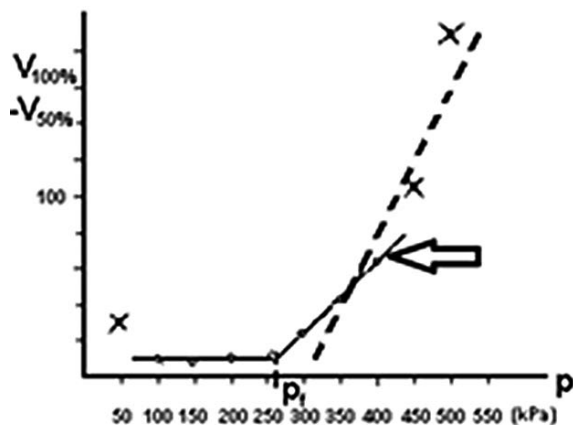
Definicja presjometrycznego naprężenia granicznego V_L nie uległa żadnym modyfikacjom. Odpowiada ono ciśnieniu, przy którym objętość centralnej komory pomiarowej sondy jest dwukrotnie powiększona, czyli:

$$V_L = V_C + 2V_1 \quad (5)$$

Ponieważ odczyty objętości nie zawierają początkowej objętości V_C centralnej komory pomiarowej (badanie rozpoczynamy od wartości V bliskiej lub równej zeru), wzór (5) nie odpowiada podwojonej objętości wnętrza [gdyż ta wynosi $2(V_C + V_1)$], lecz na odpowiadający objętości granicznej skorygowany odczyt na skali objętościomierza presjometru. Jeżeli końcowa skorygowana objętość uzyskana podczas badania jest większa od V_L , naprężenie graniczne otrzymuje się z interpolacji liniowej. W częstym, przeciwnym przypadku wartość naprężenia granicznego ustala się poprzez ekstrapolację przebiegu krzywej presjometrycznej. Należy ją przeprowadzić dwoma zalecanymi i opisanymi w normie metodami: krzywej odwrotnej i dopasowania hiperbolicznego. Jak już wspomniano, obecnie dopuszcza się interpretację wartości V_C poprzez ekstrapolację, gdy liczba stopni ciśnienia w trzeciej grupie odczytów wynosi co najmniej dwa. Należy przy okazji zauważyć, że w normie używa się zamiennie określeń „dwa zbiory odczytów w trzeciej grupie” i „poza naprężeniem p_{fM} ”, a to nie zawsze jest to samo. Druga istotna róż-



Rys. 5. Analiza krzywej badania presjometrycznego (Rys. D.2 z normy PN-EN ISO 22476-4)



Rys. 6. Propozycja wyznaczania naprężenia pełzania według autora
Objaśnienia w tekście

nica w stosunku do dotychczasowych zasad polega na tym, że poprzednio zalecano przyjąć ostrożniejszy wynik ekstrapolacji, obecnie zaś wartość uzyskaną metodą dającą niższy średni błąd wyliczany podaną w normie metodą (punkt D.4.4).

Dokumentowanie wyników badań

Sformalizowanie wymagań dotyczących badania znajduje swoje odbicie w zalecanej dokumentacji badania (Załącznik F). O ile dotychczas na jednej stronie formatu A4 mieściły się dokumentacje jednego, dwóch, trzech, czy nawet sześciu badań, a składały się na nie zazwyczaj krzywa presjometryczna i wyliczone parametry presjometryczne, o tyle w nowej normie sugeruje się potrzebę udokumentowania jednego badania na dwóch stronach A4. Dokumentacja taka ma zawierać dane ogólne projektu, wszystkie techniczne aspekty wiercenia, dane sondy, cechowań oraz szczegóły samego badania (data, dane geodezyjne, odczyty zarówno terenowe, jak i skorygowane, wykresy, obliczeniowe wartości normatywne, parametry metod ekstrapolacyjnych) i różne inne komentarze. Na poziom badania przeniesiono więc niektóre informacje umieszczane dotychczas na karcie otworu, a ponadto uznano za niezbędne umieszczenie tam pomijanych zwykle dotychczas szczegółów technicznych, a także terenowych (nieskorygowanych) wyników badania.

Na szczęście Załącznik F rozpoczyna zdanie „O ile treść z zapisów (tu) podanych stanowi minimalne wymagania normatywne, o tyle format można wybrać dowolny.” Mając to na uwadze, sugeruje się rozwiązanie, które sprowadza się do przeniesienia do załącznika „Profil sondowania presjometrem Menarda” tych informacji proponowanych w „Karcie badania presjometrem Menarda”, które są powtarzalne, a więc dotyczą zazwyczaj co najmniej kilku albo, jeszcze częściej, wszystkich badań danego sondowania. Chodzi tutaj o:

- dane (nazwa, adres, logo) firmy wykonawczej i nazwisko operatora,
- miejscowość, adres (ewentualnie kraj) i nazwę tematu,
- numer sondowania, rzędną (i współrzędne) punktu badawczego, datę rozpoczęcia i zakończenia (z rozbiciem na marsze i podaniem czasu ich wykonania),

- opis (lub kod, numer) zespołu kontrolno-pomiarowego (ewentualnie rejestratora danych), sondy (płaszczka i membrany + ewentualnie rura szczelinowa, procedura badania (A lub B),
- parametry przewodów i płynów (które chochlik drukarski umieścił w polskiej wersji normy w języku niemieckim, choć normę tłumaczono z angielskiego ...),
- dane z cechowań,
- technikę wiercenia (wiertnica, sposób wiercenia, narzędzia wiertnicze, rurowanie, płuczka),
- stosowany program obliczeniowy oraz
- ewentualnie inne obserwacje (w terenie) i komentarze.

Ograniczając dane z badania do:

- odczytów terenowych p i V (redukując możliwą liczbę skoków ciśnienia najwyżej do dwudziestu, czyli $2 \times$ liczba optymalna, na przykładowym druku w normie jest ich 24),
- danych skorygowanych,
- wykresu krzywej presjometrycznej i wykresu pełzania,
- obliczeniowych wartości normatywnych,
- parametrów metod ekstrapolacyjnych

oraz (powtarzając nazwę tematu i numer sondowania) głębokości i rzędnej badania, odwierconego przelotu przed badaniem, różnicy ciśnień w komorach, daty i godziny zarówno wiercenia, jak i badania mamy szansę zmieścić wszystkie dane badania na jednej stronie formatu A4. Szczegółową listę wymaganych w dokumentacji danych i wyników obliczeń przedstawiono w rozdziale 7.3 normy.

PODSUMOWANIE

W europejskiej normie PN-EN ISO 22476-4 nie zmieniono żadnej istotnej zasady prowadzenia menardowskich badań presjometrycznych i interpretacji ich wyników. Wprowadzono natomiast szereg szczegółowych zapisów albo nieco odmiennych od dotychczasowych wytycznych, albo też normujących czynności, które dotychczas nie były precyzowane tak jednoznacznie.

Aby ułatwić porównanie dotychczasowych wytycznych francuskiej normy AFNOR NF P 94 – 110-1-N z zasadami wprowadzonymi w normie PN-EN ISO 22476-4 zestawiono je w tabl. 4 w taki sposób, że w pierwszej kolumnie podano pakiet danych, które aktualnie są wprowadzane do opartego na wytycznych normy AFNOR NF P 94 – 110-1-N polskiego programu PRESJOMETR 2.0 [15], a w drugiej kolumnie te dane, które muszą być wprowadzone dodatkowo, by uczynić zadość wymaganiom normy PN-EN ISO 22476-4. W tabl. 5 wyszczególniono wyniki obliczeń i sposób prezentacji, które zapewnia program PRESJOMETR 2.0 (kursywą podano możliwości programu wykraczające poza wymogi normowe), a obok dodatkowe funkcje (obliczenia), które zgodnie z normą PN-EN ISO 22476-4 program musi wykonywać. To zestawienie dotyczy oczywiście prostszej („ręcznej”) procedury badania, czyli tzw. procedu-

Tabl. 4. Dane niezbędne (programom komputerowym) do przetwarzania i prezentacji wyników badań gruntu presjometrem Ménarda

Dane wprowadzane do programu PRESJOMETR 2.0 (dotychczasowe)	Dodatkowe dane, które należy wprowadzić zgodnie z PN-EN ISO 22476-4
1. nazwa (lokalizacja) tematu, nr archiwalny; 2. zleceniodawca; 3. cechowanie na straty ciśnienia, jego data, położenie sondy w stosunku do urządzenia mierzącego ciśnienie ($z_c - z_s$); 4. wyniki cechowania na straty objętości; 5. wcześniej wyliczone: poprawka a i początkowa objętość komory pomiarowej V_c; 6. typ sondy i zespołu kontrolno-pomiarowego; 7. używana ciecz i jej gęstość; 8. numer sondowania (otworu); 9. rzędna terenu z_n (ewentualnie współrzędne otworu) i pozycja urządzenia mierzącego ciśnienie; 10. głębokość zwierciadła wody gruntowej; 11. profil litologiczny (warstwy gruntu), ich współczynniki K_0; 12. głębokości i daty badań presjometrycznych; 13. wyniki badania (wartości p_r, V_{30} i V_{60}).	1. zastosowana procedura: A lub B; 2. technika wiercenia (formowania wnęk), ewentualne orurowanie, daty i czas uformowania poszczególnych wnęk (odcinków otworu); 3. detale dotyczące sondy (kody dostawcy membrany i płaszcza, rodzaj płaszcza, długość komory pomiarowej, zastosowanie rury szczelinowej); 4. typ i długość przewodów; 5. numer zespołu kontrolno-pomiarowego i data jego ostatniego przeglądu; 6. używany gaz i jego ściśliwość; 7. nachylenie sondowania i jego kierunek; 8. poziom płuczki wiertniczej (jeśli dotyczy); 9. komentarze o zdarzeniach, które mogą wpływać na wyniki badań; 10. nazwisko operatora; 11. strata ciśnienia p_m i różnice ciśnień w komorach; 12. do wyników badania dodatkowo V_{15}; 13. oprócz daty: czas badania; 14. zamiast a i V_c wyniki cechowania na straty ciśnienia i średnica cylindra kalibracyjnego d_p aby automatycznie wyliczyć a i V_c.

Tabl. 5. Wyliczanie parametrów geotechnicznych i dokumentowanie wyników badań gruntu presjometrem Ménarda

Parametry geotechniczne i dokumentowanie wyników programem PRESJOMETR 2.0	Dodatkowe wymogi PN-EN ISO 22476-4
1. dane, o których wprowadzeniu informują punkty nr 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10 i 11 lewej kolumny tabl. 4; 2. wyniki cechowań i wyliczenie na ich podstawie parametrów skorygowanych (interpolacja liniowa); 3. karta otworu presjometrycznego z podaną rzędną terenu, profilem litologicznym, poziomem wody i parametrami uzyskanymi z badań (E_M, p_{LM} i p_f); 4. odwołanie się do normy; 5. skorygowane krzywe badania i pełzania oraz parametry: σ_{hs} (inaczej p_0), p_1, p_2, p_f, p_{LM}, p_{LM}^*, E_M, E_M/p_{LM}, E_M/p_{LM}^* (dodatkowo V_1, V_2, V_1, V_2, V_1, V_2, p_f, p_{LM}/p_f, p_{LM}/p_f^*); 6. możliwość klasyfikowania wyników badań do różnych warstw geotechnicznych.	1. dane, o których wprowadzeniu informują punkty nr 1 – 13 prawej kolumny tabl. 4; 2. wyliczenie poprawek na straty ciśnienia, interpolując cechowanie wykładniczo lub metodą podwójnego dopasowania hiperbolicznego; 3. wyliczenie a i V_c; 4. rzędna badania; 5. odczyty terenowe p_r i V_r, dane skorygowane, nachylenie m_p, pełzanie $\Delta V_{60/30}$; 6. parametry metod ekstrapolacyjnych, w tym ich średni błąd i ekstrapolacja metodą charakteryzującą się mniejszym błędem; 7. wyszczególnienie metod, którymi posługiwano się do: wprowadzenia poprawek na straty ciśnienia i objętości oraz wyliczenia E_M, p_{LM} i p_{LM}^*.

ry A, bowiem rejestrator stosowany według procedury B zbiera automatycznie szereg danych. W celu uniknięcia powtórzeń, w tabl. 5 odwoływano się do danych, których wprowadzenie omówiono w stosownych kolumnach tabl. 4.

Zebranie w zwięzłej, tabelarycznej formie dotychczasowych i nowych wymogów normowych dotyczących dokumentowania wyników badań presjometrycznych ma na celu ułatwienie przyswojenia istoty wprowadzonych zmian. Umieszczenie w dokumentacji projektu (tematu) i jego poszczególnych badań presjometrycznych danych wyszczególnionych w tabl. 4 i 5 oznacza zapewnienie zgodności tej dokumentacji z aktualnie obowiązującą normą PN-EN ISO 22476-4.

LITERATURA

1. Amar S., Clarke B. G. F., Gambin M.p., Orr T. L. L.: The application of pressuremeter test results to foundation design in Europe. A-state-of-the-art report by ISSMFE European Technical Committee on Pressuremeters, Part I: Predrilled pressuremeters and self-boring pressuremeters; Balkema, Rotterdam 1991.

2. Baguelin F., Jézéquel J. F., Shields D. H.: Badania presjometryczne a fundamentowanie. Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1984.
3. Baguelin F., Jézéquel J. F., Shields D. H.: The Pressuremeter and Foundation Engineering. Trans-Tech Publications, Clausthal-Zellerfeld 1978.
4. Clarke B. G.: Pressuremeters in Geotechnical Design. Blackie Academic & Professional, London 1995.
5. Clarke B. G., Gambin M. P.: Pressuremeter testing in onshore ground investigations: A report by the ISSMGE Committee 16. Int. Conf. on Site Characterization Atlanta 1998.
6. Gambin M.: Presjometr Menarda – podstawowe narzędzie w badaniach geotechnicznych. XI Krajowa Konf. Mech. Gruntów i Fundamentowania, Gdańsk 1997, 53-63.
7. Gambin M.: Reasons for the Success of Menard Pressuremeter. 4th Int. Sym. on Pressuremeters, Sherbrooke, Canada 1995.
8. Glazer Z., Malinowski J.: Geologia i geotechnika dla inżynierów budownictwa. Wydawnictwa Naukowe PWN, Warszawa 1991.
9. Ménard L.: An Apparatus for Measuring the Strength of Soils in Place. M.Sc. Thesis, University of Illinois 1957.

10. Ménard L.: Interpretation and Application of Pressuremeter Test Results to Foundation Design. *Sols Soils* № 26, 1975.
11. Soga K.: Time Effects Observed in Granular Materials. The COE Workshop on Evaluation of Mechanical Behavior of Granular Materials, Lecture 3, Hokkaido University, Sapporo 2005.
12. Tarnawski M.: Pełzanie gruntu pod obciążeniem. *Inżynieria i Budownictwo* nr 5/2015, 254-257.
13. Tarnawski M.: Working with Pressuremeter. Skrypt szkoleniowy; archiwum GEOTEK OY, Helsinki 1983.
14. Tarnawski M.: Zastosowanie presjometru w badaniach gruntu. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
15. Tarnawski M., Tarnawski T.: „PRESJOMETR 2.0”: a comfortable and prospective tool for pressuremeter test interpretation. *ISP5 – Pressio 2005 International Symposium 50 years of pressuremeters*, Marne-la-Vallée Vol. 1, 2005, 369-376.
16. Tarnawski M., Ura M.: Towards soil profile from pressuremeter data. *ISP7-Pressio 2015. International Symposium 60 years of Pressuremeters*; Tunisie, Hammamet 2015, 281-288.
17. Tarnawski M.: Zmiany w wykonywaniu i interpretacji badań presjometrycznych wprowadzone w normie PN-EN ISO 22476-4.