



dr hab. Marek Tarnawski

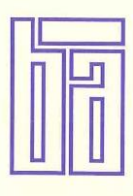
Wydział Budownictwa i Architektury, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny,
al. Piastów 50, 70-311 Szczecin

PODSTAWOWE ZASADY I NOWE MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTYWANIA WYNIKÓW BADAŃ PRESJOMETRYCZNYCH

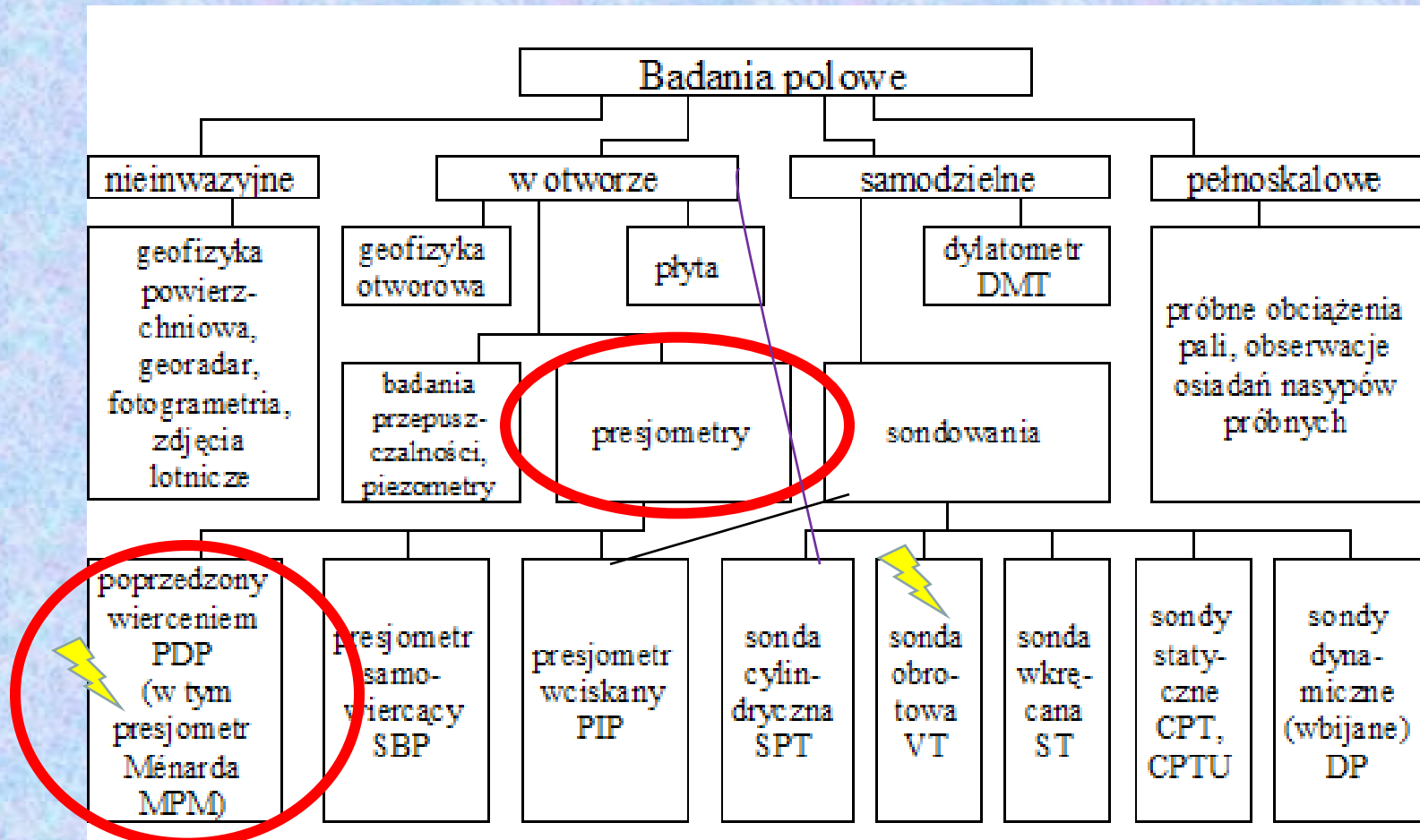
6.WPGI
2017 17-20.10
RZESZÓW



6. OGÓLNOPOLSKIE SYMPOZJUM
WSPÓŁCZESNE PROBLEMY
GEOLOGII INŻYNIERSKIEJ W POLSCE

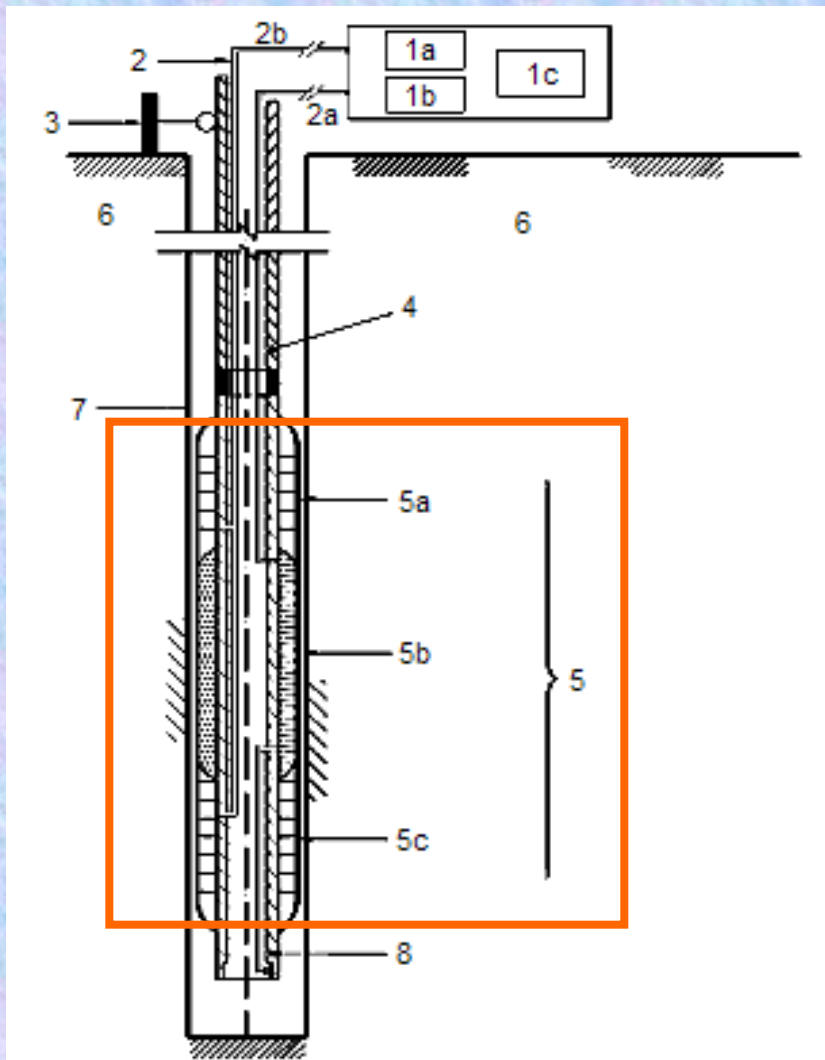


Pozycja badań presjometrycznych wśród innych metod badań polowych.





Presjometr Ménarda: zasada działania.



1. Zespół kontrolno – pomiarowy
 - a. układ podawania ciśnienia
 - b. urządzenia pomiarowe
 - c. rejestrator wyników (opcja)
2. Przewód ciśnieniowy
 - a. płynu
 - b. gazu
3. Układ pomiaru głębokości
4. Żerdzie
5. Sonda
 - a. górna komora ochronna
 - b. komora pomiarowa
 - c. dolna komora ochrona
6. Badany grunt
7. Otwór wiertniczy
8. Przelotowy korpus sondy



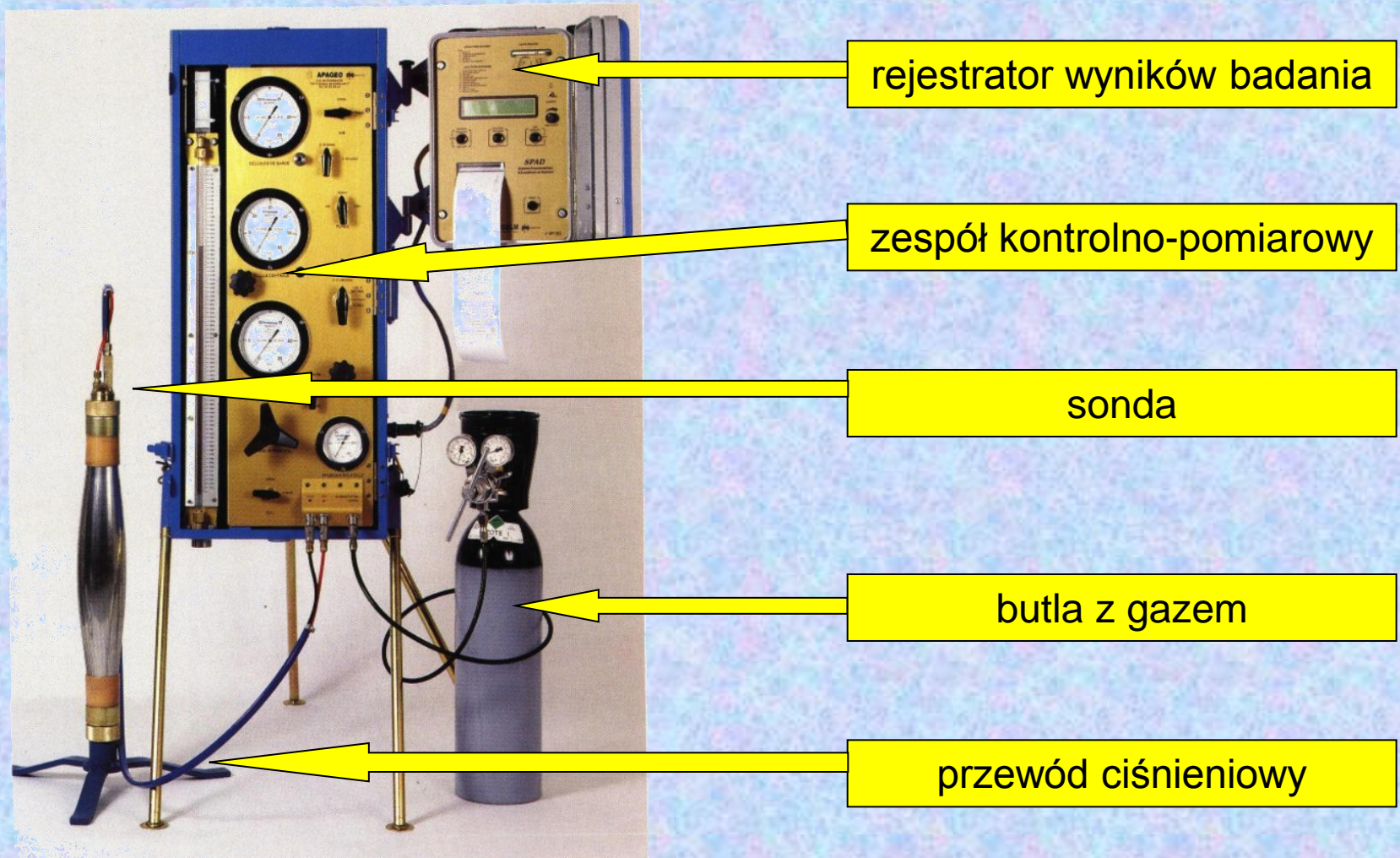
Zasady prowadzenia badania presjometrycznego

Badanie presjometryczne według zasad opracowanych przez L. Ménarda polega na podawaniu z zespołu kontrolno – pomiarowego do sondy równych przyrostów ciśnienia p oraz obserwowaniu i notowaniu (ręcznie lub automatycznie) przyrostów objętości sondy V .

Aktualne wytyczne dotyczące realizacji i interpretacji wyników badań presjometrycznych podaje norma PN-EN ISO 22476-4. W referacie wskazano wprowadzone w niej nowości.



Presjometr Ménarda: sprzęt badawczy.





Metody realizacji otworu dla polowych badań presjometrycznych.

Sonda presjometryczna umieszczana jest w podłożu w otworze o średnicy nieznacznie większej od średnicy sondy.

Średnica otworu nie może przekraczać średnicy sondy więcej niż 15%. Dla typowej 58 mm sondy BX powinna wynosić 60 – 66 mm.

Metod wiercenia jest kilka, o różnej przydatności w danych warunkach gruntowych.

Naczelną zasadą przy wyborze techniki wiercenia jest uzyskanie możliwie jak najlepszej jakości otworu przez co rozumie się:

- odpowiednią (i stałą) średnicę oraz
- nie naruszoną ściankę.



Zasady prowadzenia badania presjometrycznego

Wprowadzenie sondy na planowaną głębokość badania i obserwacje zachowania się wody po otwarciu jej obiegu.

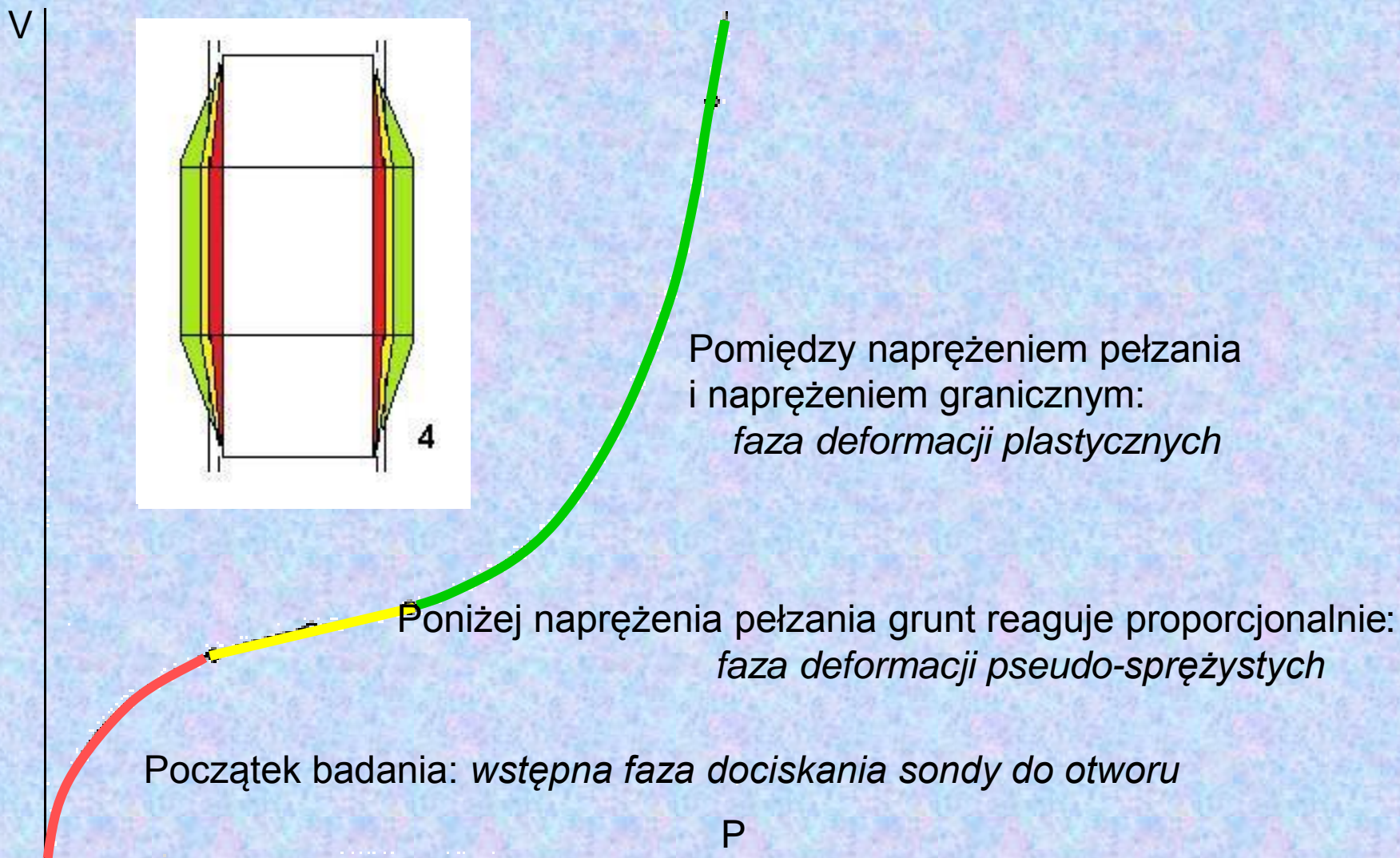
Wybór skoku ciśnienia, aby zachować zasadę 10 (7 – 14) przyrostów.

Przyrosty ciśnienia stosowane przy badaniach różnych rodzajów gruntu presjometrem Ménarda.

Stosowany przyrost ciśnienia Δp (MPa)	R o d z a j b a d a n y c h g r u n t ó w
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 półzwarte pyły, ły i gliny zwałowe, średnio zagęszczone piaski
0,2 (lub więcej)	zwarte pyły, ły i gliny zwałowe, zagęszczone piaski

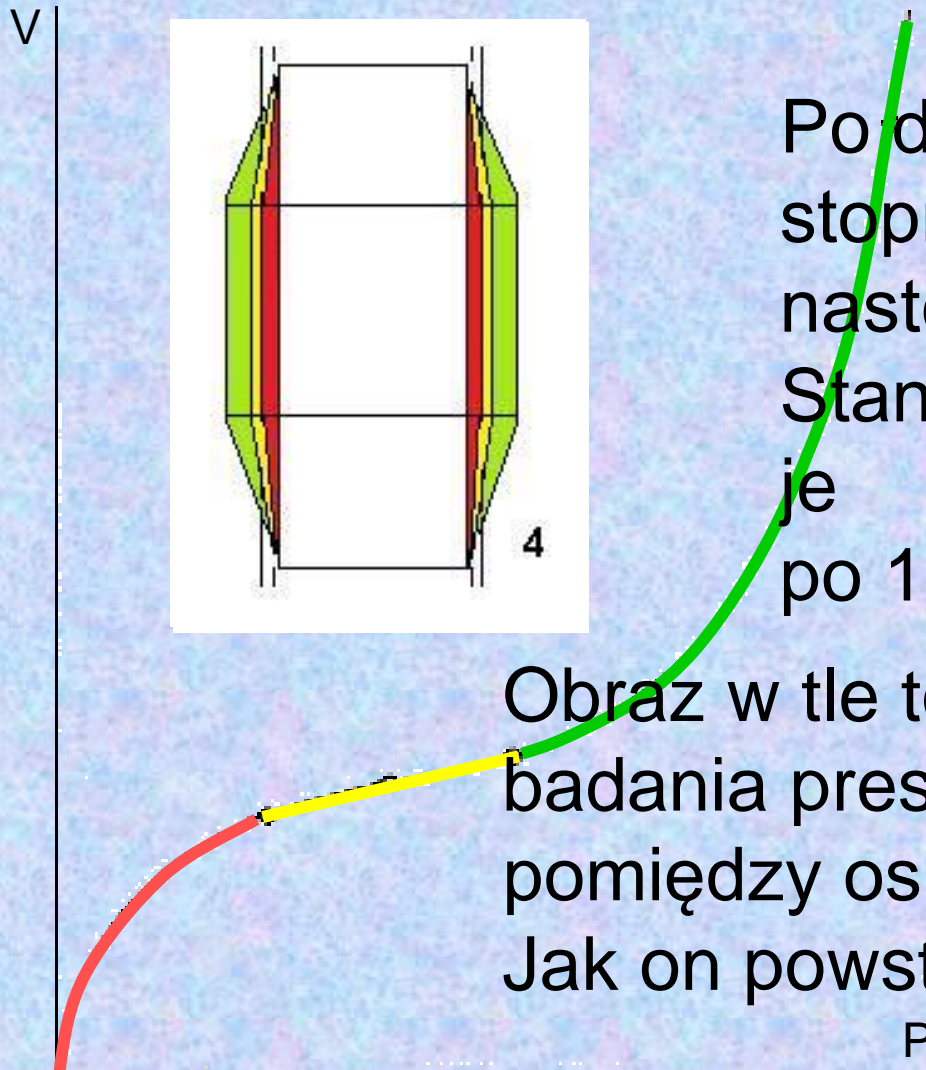


Przebieg badania presjometrem Ménarda (MPT)





Przebieg badania presjometrem Ménarda (MPT)

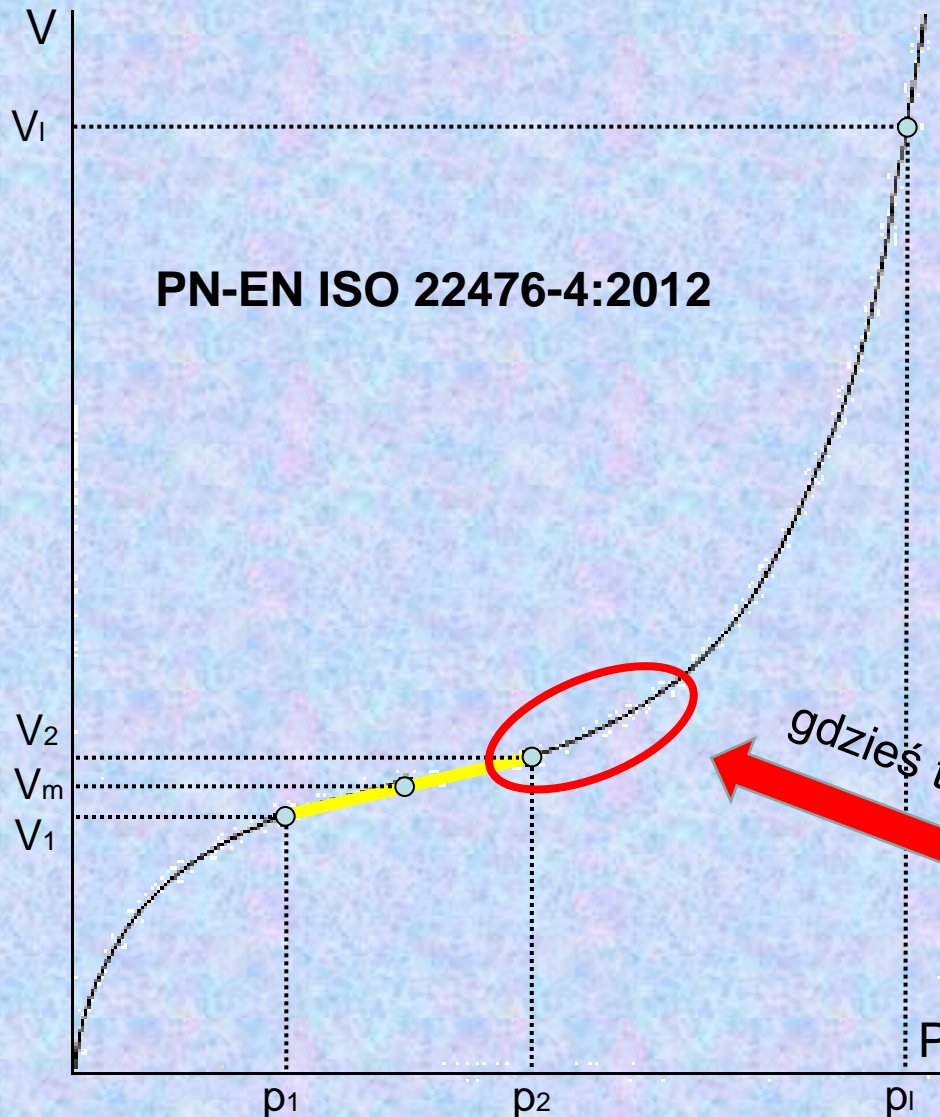


Po dodaniu kolejnego stopnia ciśnienia następują odczyty objętości. Standardowo wykonuje się je po 1, 15, 30 i 60 sekundach.

Obraz w tle to wykres typowego badania presjometrycznego. pomiędzy osiami ciśnienia i objętości. Jak on powstaje ?



Wyznaczanie parametrów



Moduł presjometryczny:

$$E_M = 2,66V_m \frac{p_2 - p_1}{V_2 - V_1}$$

Presjometryczne
napężenie graniczne:

$$p_l = p(V_l)$$

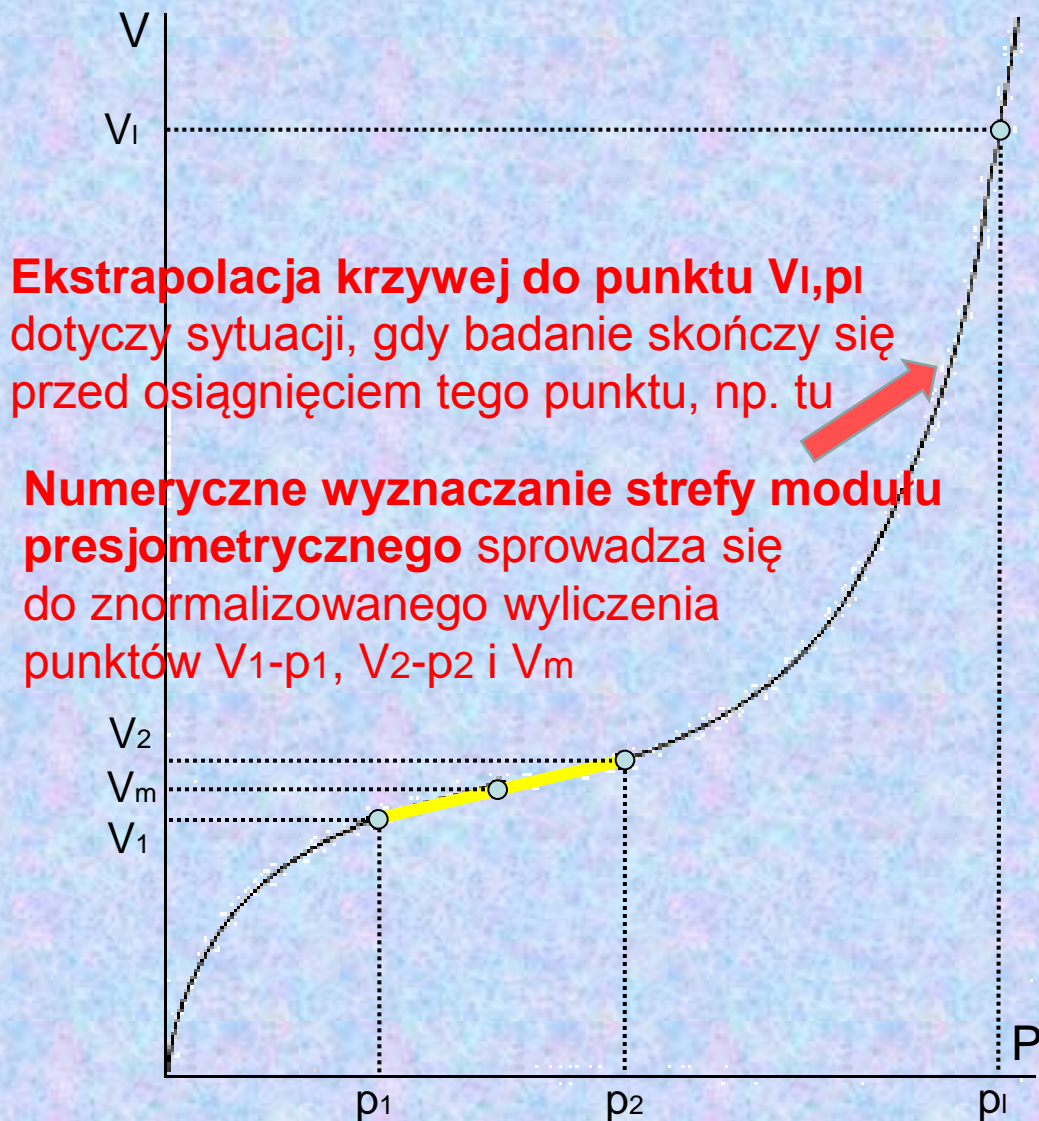
$$V_l = 2V_1 + V_s$$

Presjometryczne
napężenie pełzania: p_{fM}

(dane: p i $V_{60} - V_{30}$)



Wyznaczanie parametrów



Ekstrapolacja krzywej do punktu V_1, p_1 dotyczy sytuacji, gdy badanie skończy się przed osiągnięciem tego punktu, np. tu

Numeryczne wyznaczanie strefy modułu presjometrycznego sprowadza się do znormalizowanego wyliczenia punktów V_1-p_1 , V_2-p_2 i V_m

Moduł presjometryczny:

$$E_M = 2,66V_m \frac{p_2 - p_1}{V_2 - V_1}$$

Presjometryczne napężenie graniczne:

$$p_l = p(V_l)$$

$$V_l = 2V_1 + V_s$$



Ekstrapolacja krzywej presjometrycznej do punktu V_i, p_i .

Współcześnie stosuje się numeryczne metody ekstrapolacji.
Standardowo dopuszcza się metody:

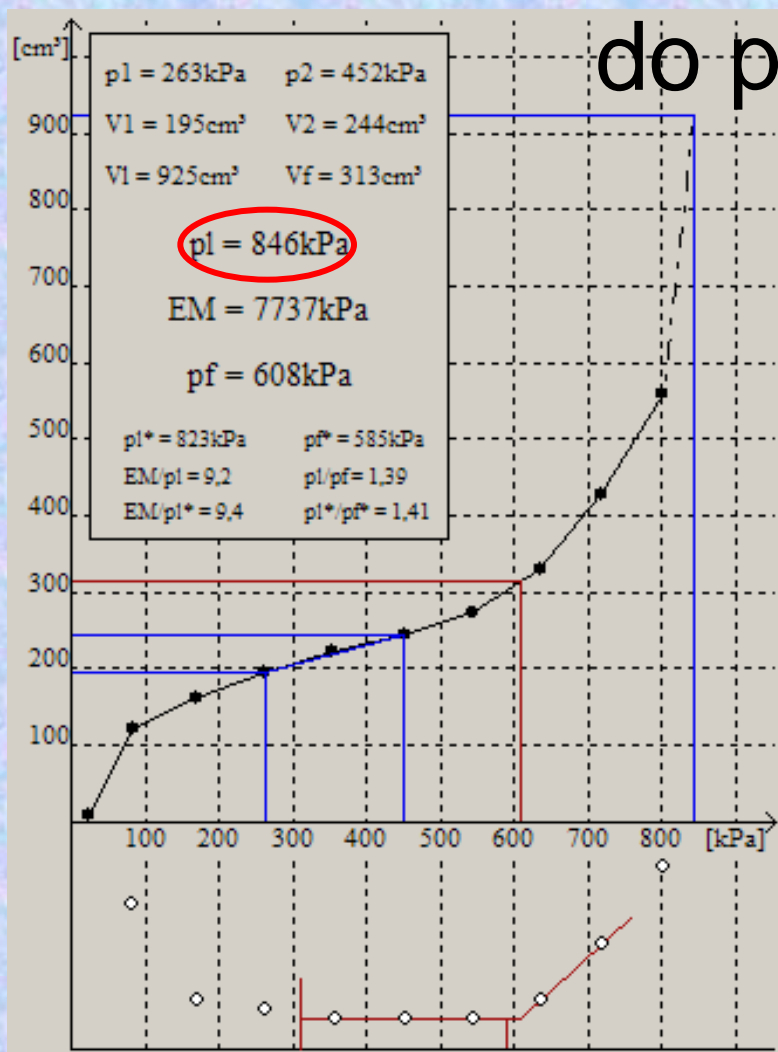
- krzywej odwrotnej,
- dopasowania hiperbolicznego.

Obie metody dają wyniki ostrożne (niedoszacowane). Mimo to dawniej zalecano przyjmować mniejszą z uzyskanych wartości.



Ekstrapolacja krzywej presjometrycznej

do punktu V_i, p_i .

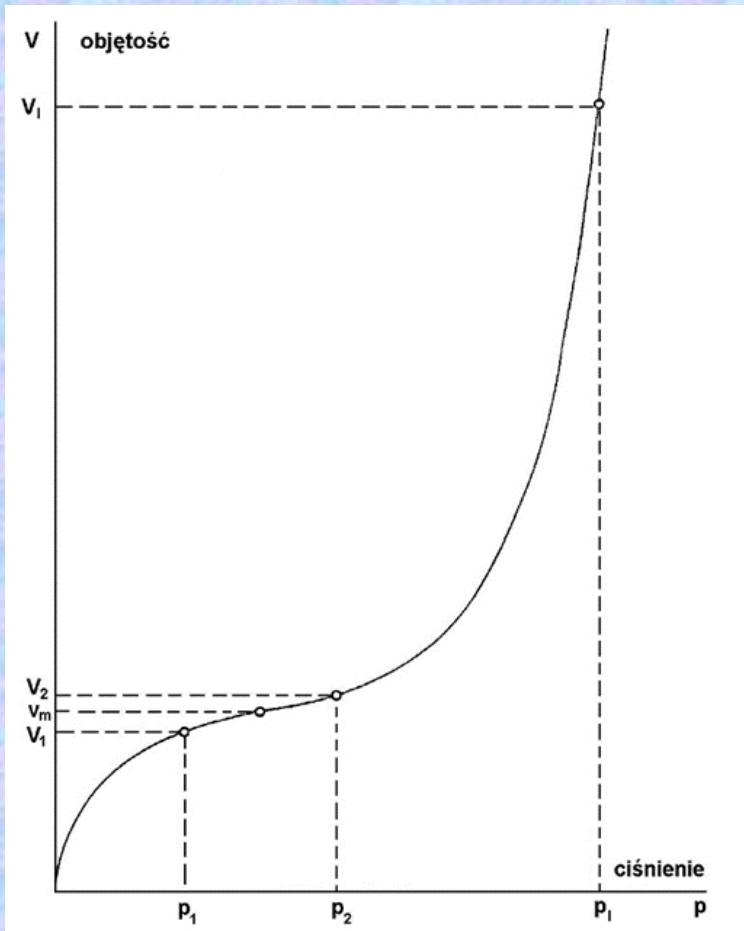


Ekstrapolacja według normy
AFNOR NF P 94-110-1-N
(mniejsza wartość z oszacowań
metodami krzywej odwrotnej
i dopasowania hiperbolicznego)

Norma PN-EN ISO 22476-4 dopuszcza interpretację wartości V_i poprzez ekstrapolację, gdy liczba stopni ciśnienia w fazie deformacji plastycznych wynosi co najmniej dwa. Przyjąć należy ten wynik ekstrapolacji, który uzyskano metodą dającą niższy średni błąd, wyliczony podaną w normie metodą.



Moduł presjometryczny E_M ; szczegóły i nowości



$$E_M = 2(1 + \nu)V_m \frac{p_2 - p_1}{V_2 - V_1}$$

ν : współczynnik Poissona konwencjonalnie przyjmowany jako 0,33.

V_m : objętość środka „przedziału modułu” v_m + początkowa objętość komory pomiarowej.

Porównanie nachylenia odcinków pomiędzy dwoma sąsiednimi punktami danych.

$$m_i = \frac{V_i - V_{i-1}}{p_i - p_{i-1}}$$

Najniższa wartość m_i to m_E . W normie PN-EN ISO 22476-4 zaleca się włączać do strefy modułu te kolejne odcinki, które wykazują nachylenie mniejsze od lub równe β razy m_E

$$\beta = 1 + \frac{1}{100} \times \frac{p'_E + p_E}{p'_E - p_E} + \frac{2\delta V}{V'_E - V_E} \leftarrow \text{dawniej} = 6 \text{ a } \beta \approx 1,2.$$

Obecnie:

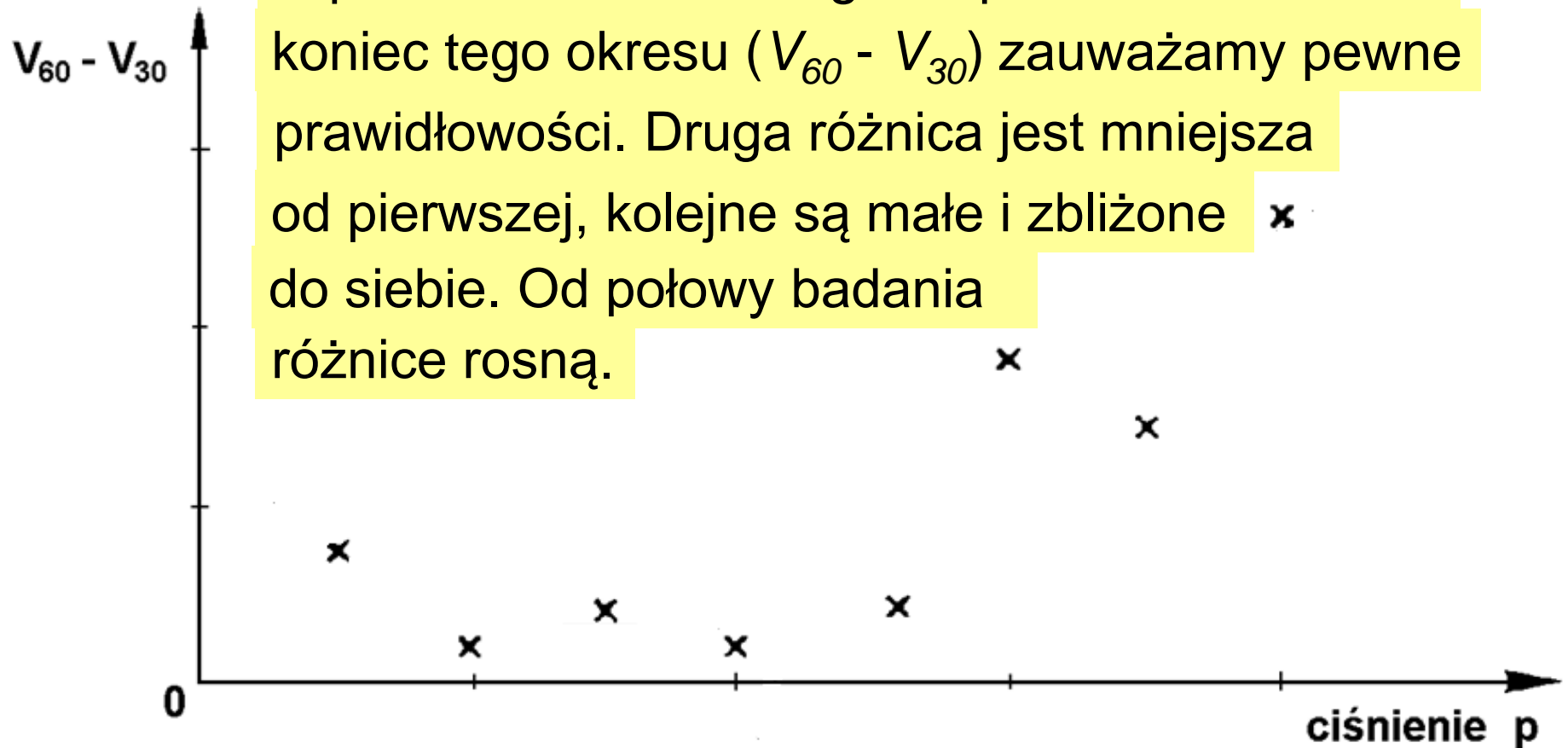
$\delta V =$ (wstępnie) 3. Może być więcej, jeśli strefa modułu zawierać będzie „zbyt mało” odcinków (wg normy jest to $n < 3$).

Norma zaleca stosować „osąd inżynierski”.



Ustalenie naprężenia pełzania p_{fM}

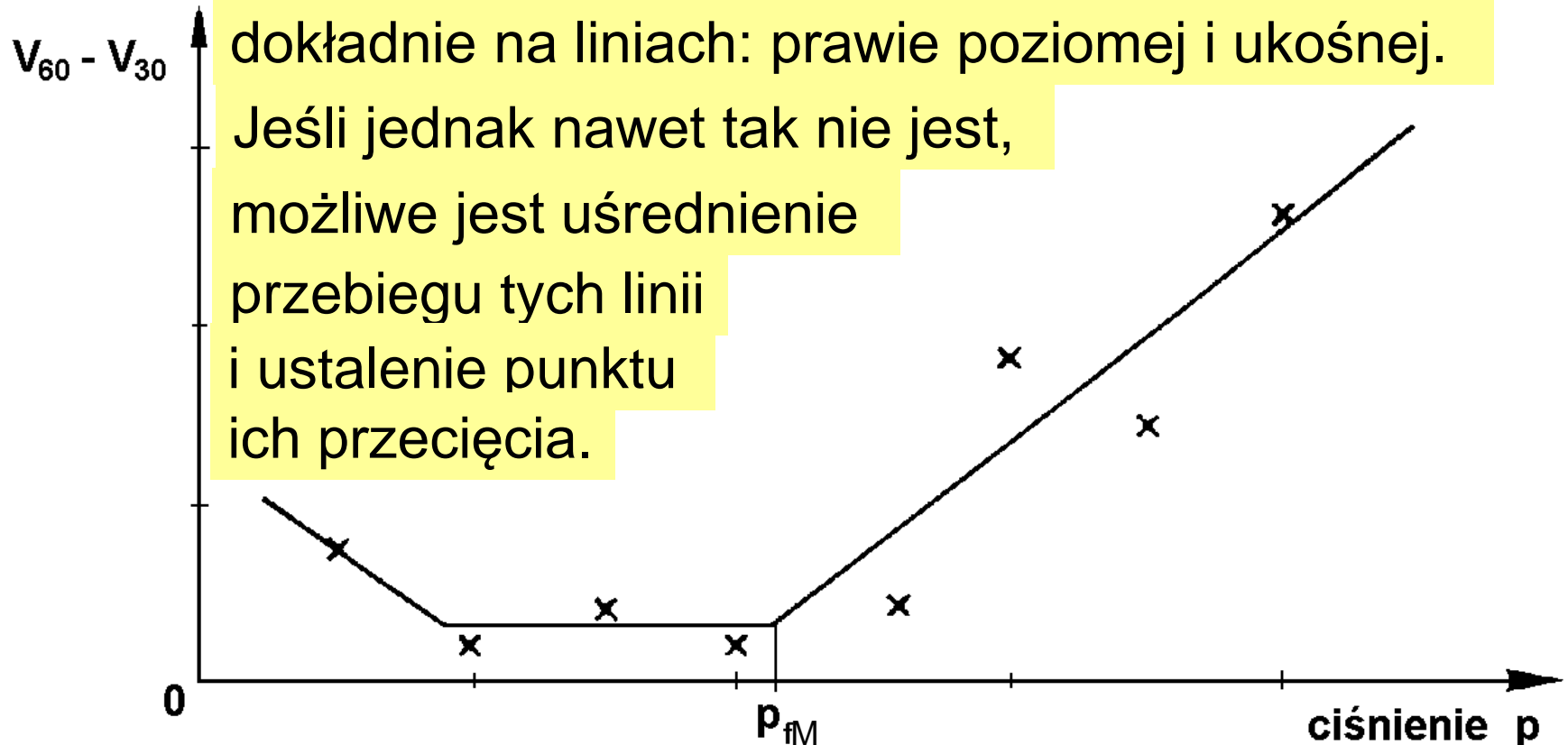
Porównując różnice wartości objętości odczytane w połowie okresu danego stopnia ciśnienia i na koniec tego okresu ($V_{60} - V_{30}$) zauważamy pewne prawidłowości. Druga różnica jest mniejsza od pierwszej, kolejne są małe i zbliżone do siebie. Od połowy badania różnice rosną.





Ustalenie naprężenia pełzania p_f

W badaniu idealnym punkty drugiego i trzeciego odcinka wykresu $p, \Delta V$ układają się niemal dokładnie na liniach: prawie poziomej i ukośnej. Jeśli jednak nawet tak nie jest, możliwe jest uśrednienie przebiegu tych linii i ustalenie punktu ich przecięcia.





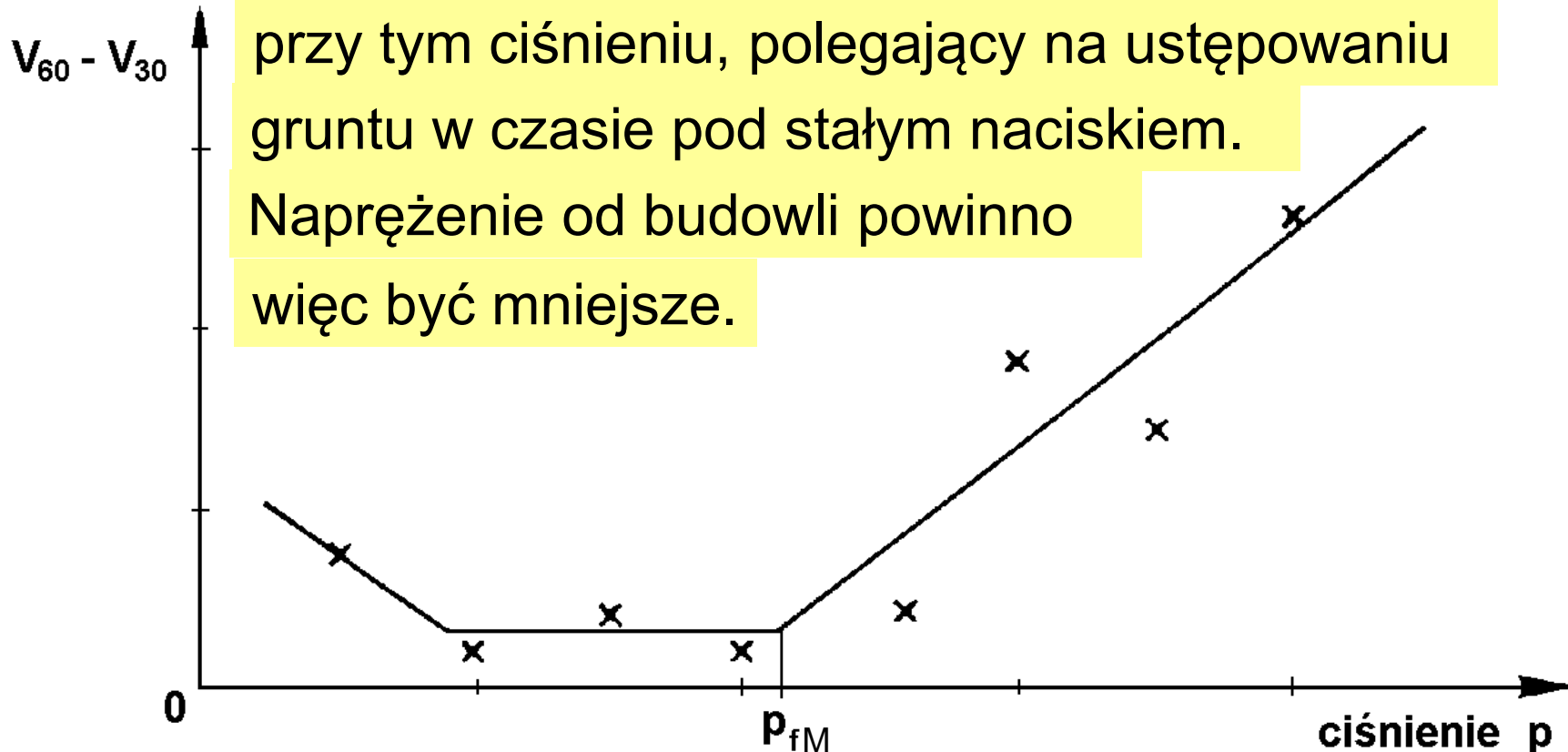
Naprężenie pełzania p_f

Jest to tak zwane naprężenie pełzania (p_{fM}).

Tak nazywamy proces zapoczątkowany

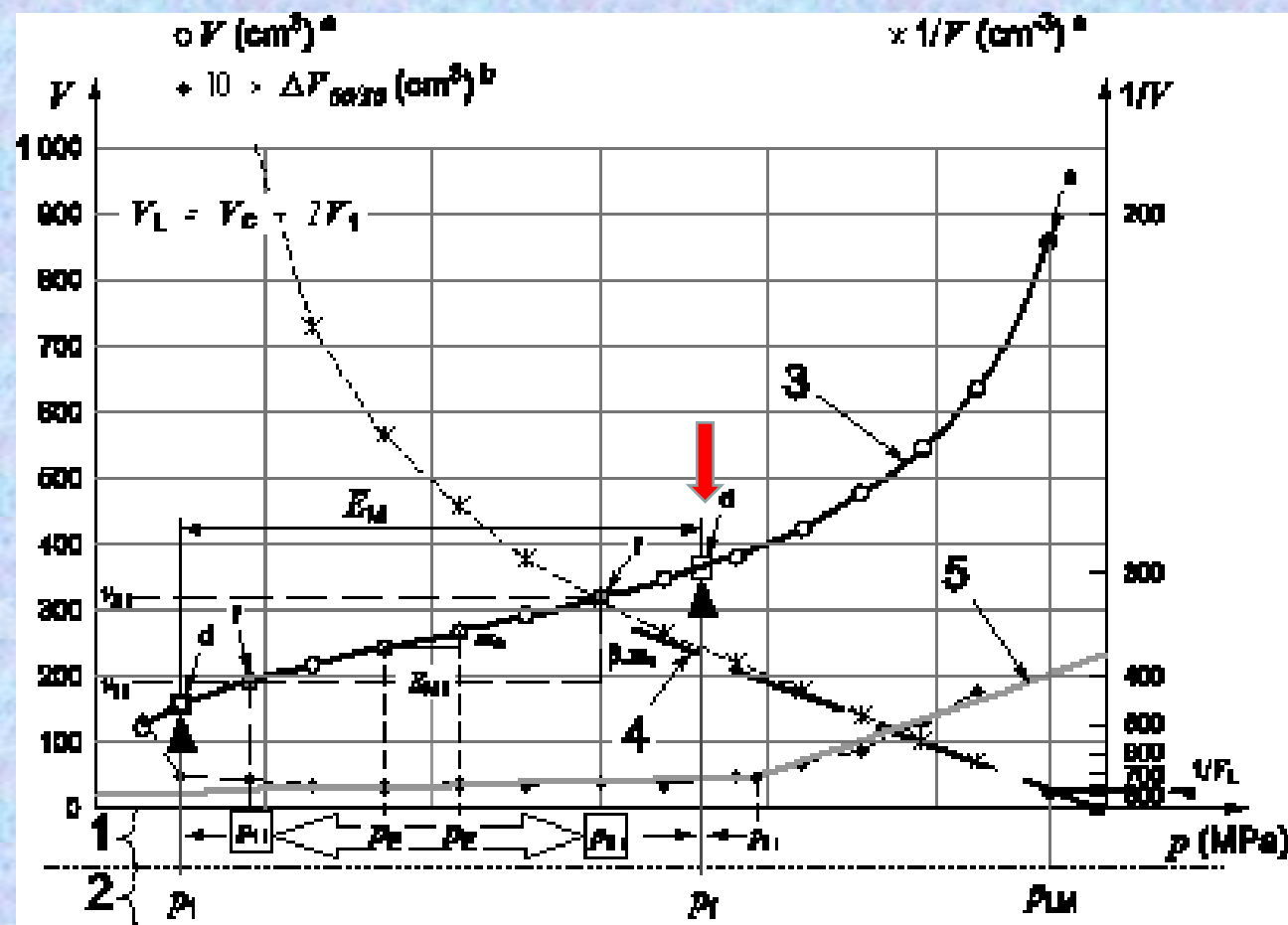
przy tym ciśnieniu, polegający na ustępowaniu
gruntu w czasie pod stałym naciskiem.

Naprężenie od budowli powinno
więc być mniejsze.





Koordynowanie wartości E_M i p_{fM} według normy PN-EN ISO 22476-4:2012



Etap 1:

wyliczenie obu parametrów metodami podstawowymi (przecięcie prostych dla p_{fM} i $\delta V = 3$ dla E_M).

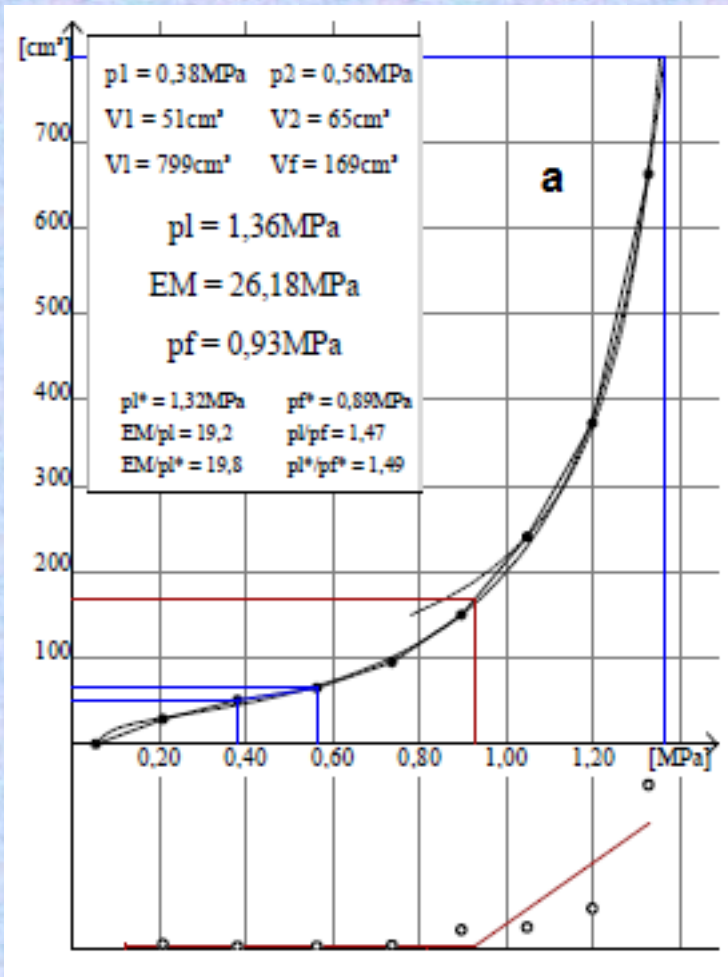
Typowy **efekt**: punkt p_{fM} wypada „w prawo” od E_M .

Wg normy: „im bliżej są oba punkty, tym lepsza jakość badania”. Stąd **Etap 2**: rozszerzamy strefę modułu zwiększając δV i przenosimy p_{fM} do lub w pobliże p_2 .

Wady: obniżenie wartości E_M , punkt p_{fM} ustalony arbitralnie.



Analiza problemu (rys. z programu „Presjometr 2.0”)



Cechy przykładowego badania:

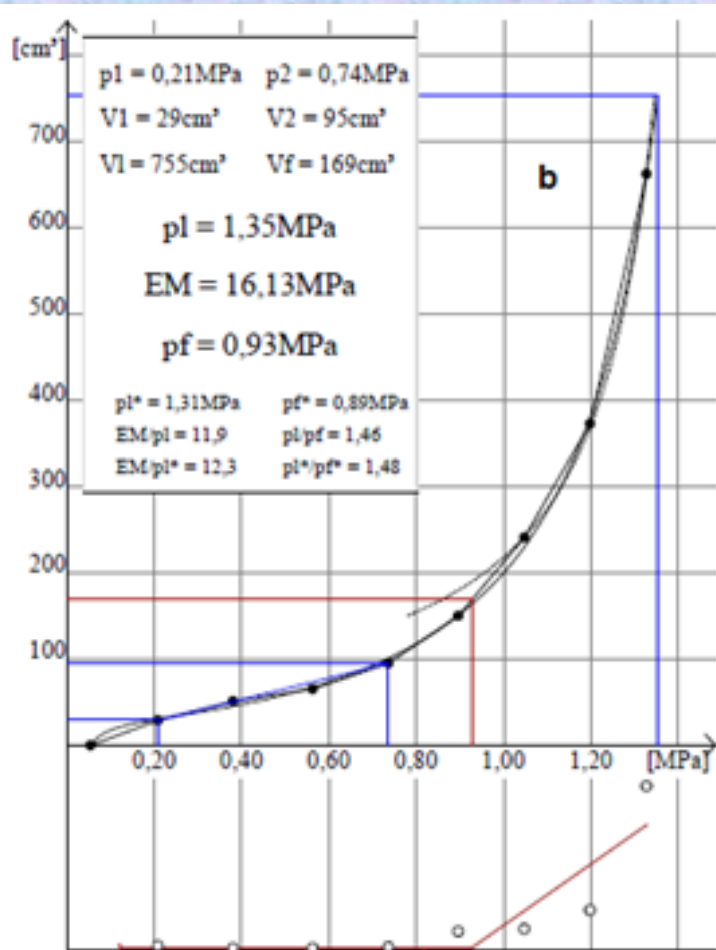
1. ewidentnie zbyt wąska (jeden skok ciśnienia) strefa modułu, a stąd
2. zawyżona wartość modułu i stosunku E_M/p_{1M} . oraz
3. oddalony „daleko w prawo” od p_2 punkt p_{fM} ; na jego niewłaściwą pozycję wskazuje niski stosunek p_{1M}/p_{fM} .

Remedium zalecane normą:

- zwiększenie wartości δV aby rozszerzyć strefę modułu.



Analiza problemu



Uzyskany efekt:

1. Rozszerzenie strefy modułu, a stąd
2. spadek jego wartości i stosunku E_M/p_{1M} , być może nadmierny (badano grunty prekonsolidowane), niezależnie od tego
3. pozostaje do rozwiązania problem zbyt wysokiej wartości p_{fM} .

Remedium zalecane normą:

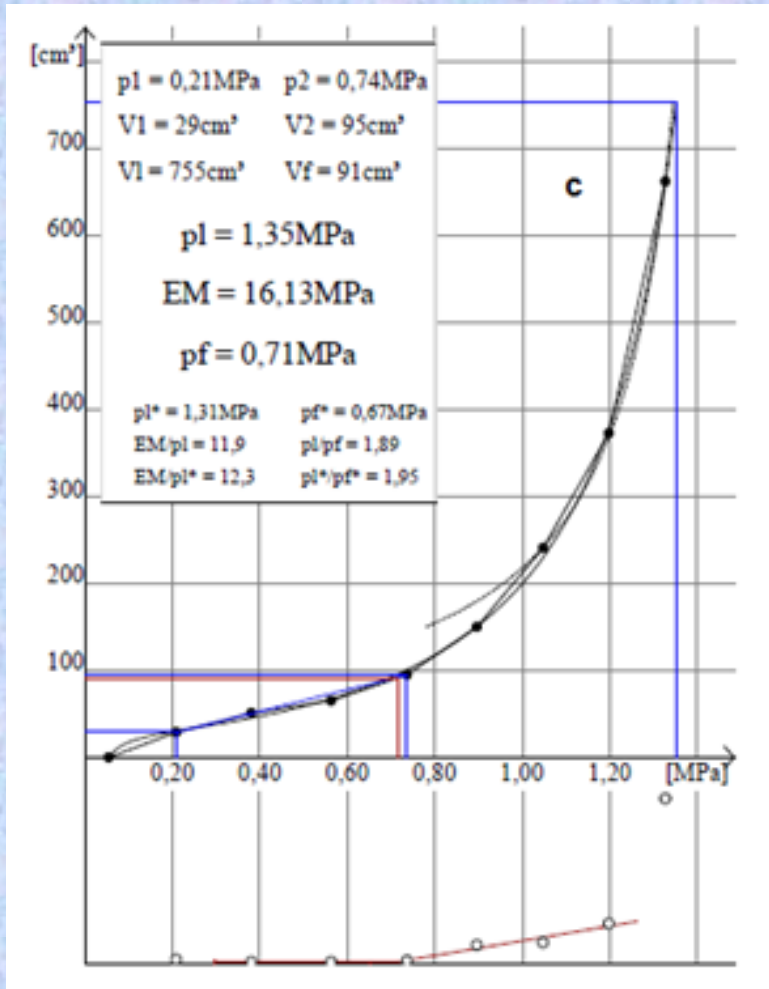
- Zbliżenie wartości p_{fM} do „nowego” p_2 kierując się „osądem inżynierskim”.

Rozwiązanie zalecane przez autora:

1. Bliższa analiza punktów tworzących linię ukośną.



Rozwiązanie problemu



Rozwiązanie zalecane przez autora:

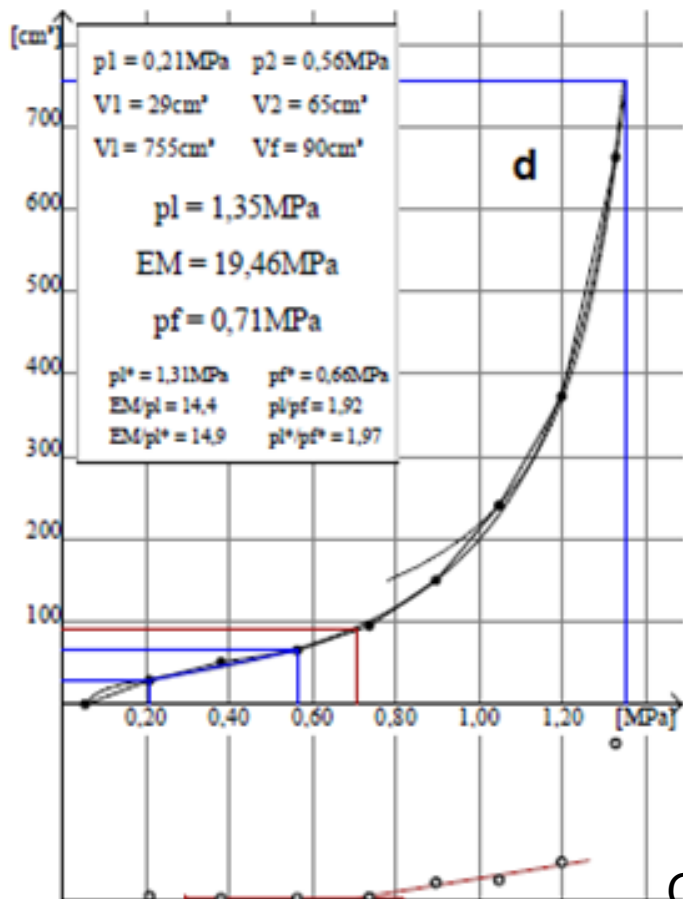
1. Bliższa analiza punktów tworzących linię ukośną.
2. Usunięcie z tej grupy tych punktów, które wychodzą poza typową (zanikającą) konsolidację wtórną, zwłaszcza wskazujących na pełzanie przyspieszające.

Uzyskany efekt:

1. Wyraźny i racjonalny spadek wartości p_{fM} i stosunku p_{1M}/p_{fM} .
2. Wskazówka: p_{fM} mniejsze od p_2 .
Wniosek: poprzednio nadmiernie rozszerzono strefę modułu.



Rozwiązanie problemu



Rozwiązanie zalecane przez autora:

1. Bliższa analiza punktów tworzących linię ukośną.
2. Usunięcie z tej grupy tych punktów, które wychodzą poza typową (zanikającą) konsolidację wtórną, zwłaszcza wskazujących na pełzanie przyspieszające.

Uzyskany efekt:

1. Wyraźny i racjonalny spadek wartości p_{fM} i stosunku p_{iM}/p_{fM} .
2. Wskazówka: p_{fM} mniejsze od p_2 .
Wniosek: poprzednio nadmiernie rozszerzono strefę modułu.

Ostateczna korekta: racjonalne zwężenie strefy modułu.

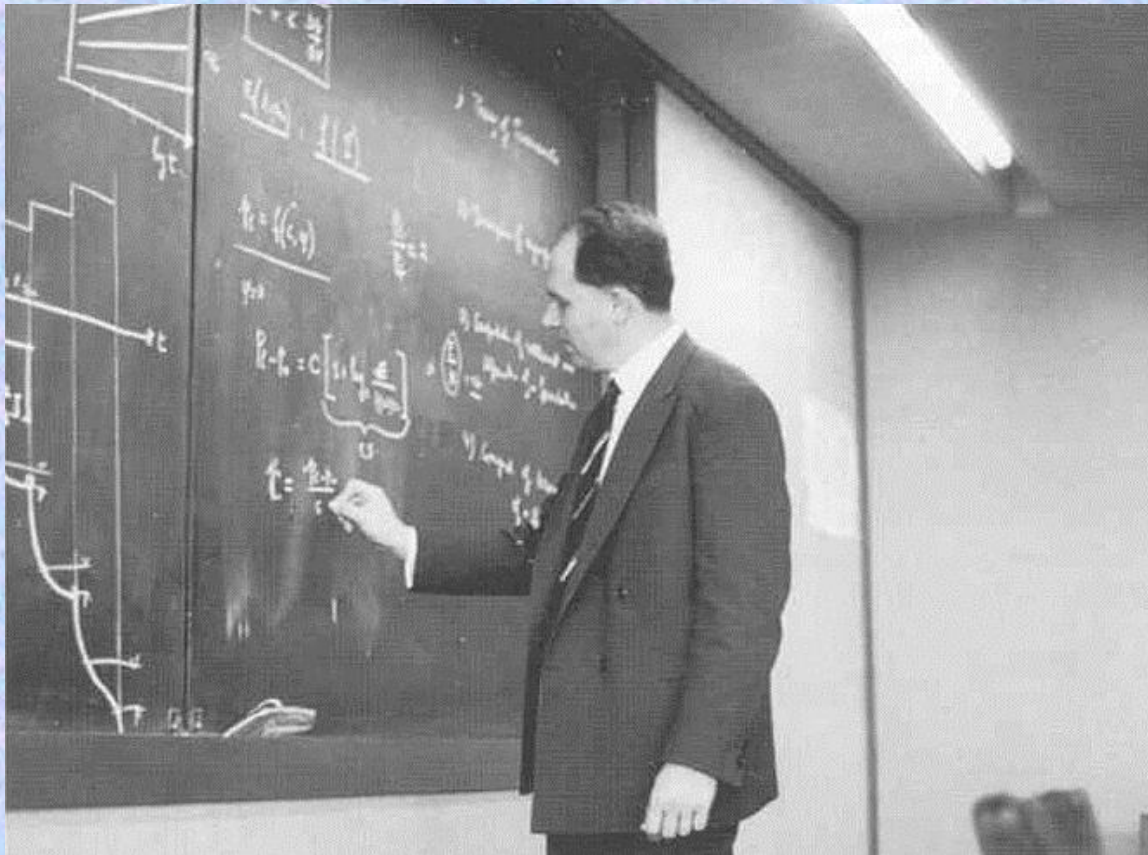


Nowości normy PN-EN ISO 22476-4; podsumowanie

1. Norma PN-EN ISO 22476-4 słusznie zmieniła zasady ekstrapolacji wyników badania oraz zwróciła uwagę na konieczność korygowania uzyskiwanych z nich automatycznie wartości modułu presjometrycznego i naprężenia pełzania. Dała ku temu możliwość poprzez indywidualne podejście do wyboru odcinków krzywych, z których składać ma się tzw. druga grupa odczytów, czyli „strefa modułu”.
2. Autor przestrzega przed przechodzeniem z jednej formy automatyzmu w drugą, czym grozi bezwzględne przestrzeganie zalecenia o co najmniej trzech odczytach badania w strefie modułu. Zalecenie to jest niewłaściwe zwłaszcza wtedy, gdy liczba skoków ciśnienia (czyli par odczytów p-V) jest wyraźnie mniejsza niż 10.
3. Norma nie podaje jednoznacznie, jak korygować wartość naprężenia pełzania. Autor wskazuje właściwą do tego celu metodę. Polega ona na wykluczeniu ostatnich (odbiegających „w górę”) odczytów p , $\Delta V_{60/30}$.
Na konkretnym, typowym przykładzie udowodniono zasadność tych zaleceń.
4. Na końcowym etapie są aktualnie prace nad wersją 3.0 programu „Presjometr” dostosowującą go do wymogów norm PN-EN ISO 22476-4 i PN-EN ISO 14688.



Projektowanie posadowień



Wynalazca presjometru Louis Ménard równolegle z ulepszaniem sprzętu i metod badawczych pracował nad zasadami wykorzystania wyników badań presjometrycznych do projektowania posadowień.

W 1975 roku ukazała się jego podstawowa praca:

„Interpretation and Application of Pressuremeter Test Results to Foundation Design”.



Projektowanie posadowień

Przy rozpatrywaniu sposobu posadowienia z wykorzystaniem wyników badań presjometrycznych analizowane są kryteria:

- **nośności** podłoża budowli
- oraz
- wielkości **osiadań** obciążonych fundamentów budowli.

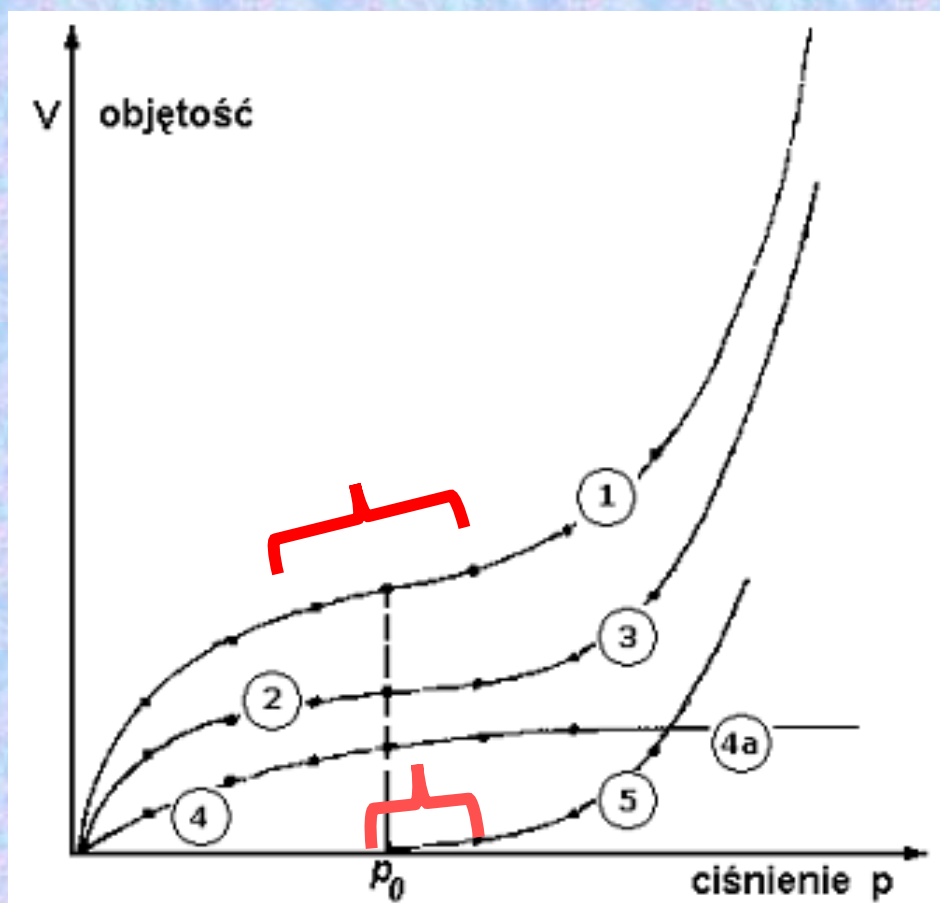
Jest to możliwe, gdyż dysponujemy:

- **presjometrycznym naprężeniem granicznym** p_l
- oraz
- **modułem presjometrycznym** E_M ,

czyli parametrami określającymi zarówno wytrzymałość gruntu, jak i jego odkształcalność pod obciążeniem.



Wynik badania a reakcja gruntu nienaruszonego



1. Typowa, prawidłowa krzywa presjometryczna.
2. Straty objętości zużyte na przeciwdziałanie odprężeniu (rola p_0) i
3. Dalszy, idealny przebieg krzywej.
4. Straty objętości wynikające z naruszenia gruntu malejące do zera w dalszej fazie badania (4a)
5. Idealna krzywa presjometryczna po odjęciu strat objętości wg „2” i „4”.

Wniosek dotyczący modułu presjometrycznego: jego wartość jest niższa od rzeczywistego modułu odkształcenia. W obliczeniach osiadań jest to korygowane tzw. współczynnikiem reologicznym $\alpha = 0,25 - 1$ zależnym od rodzaju i stopnia skonsolidowania gruntu.

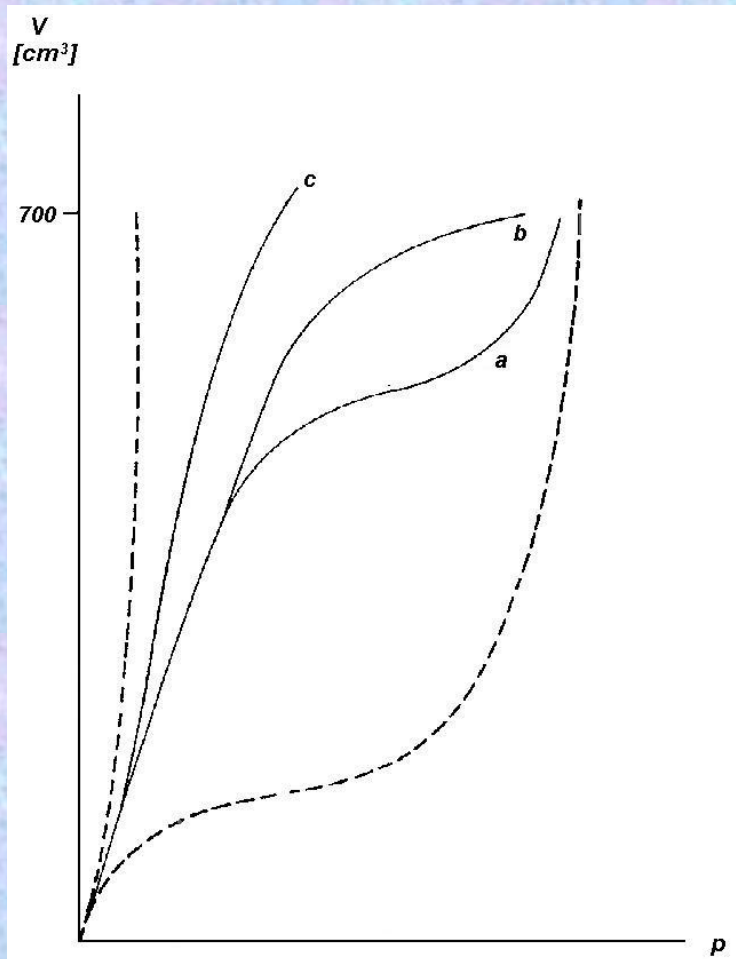


Związek stosunku E_M/p_l z rodzajem i stanem gruntu

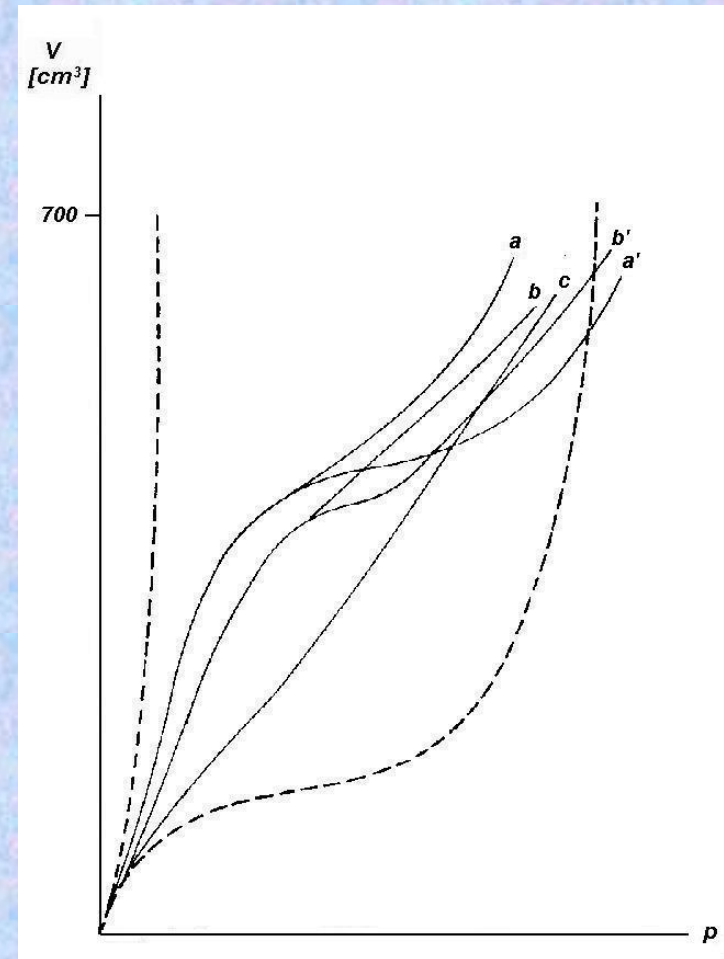
Rodzaj gruntu	Stosunek E_M/p_l
luźne piaski, zwłaszcza nawodnione	4 – 7
piaski średnio zagęszczone	7 – 10
piaski zagęszczone	10 – 13
plastyczne do twardoplastycznych pyły i gliny, grunty organiczne	6 – 11
pyły i gliny półzwarte i zwarte	11 – 15
iłły plastyczne i twardoplastyczne	8 – 12
iłły półzwarte i zwarte	12 - 20



Jakość badań presjometrycznych



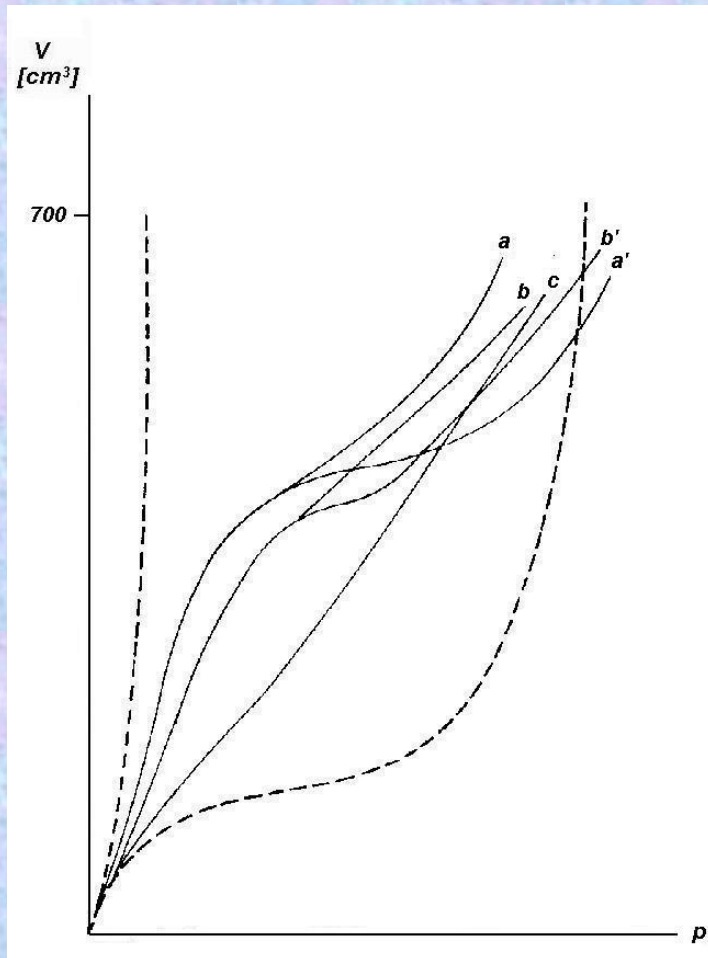
Otwór o zbyt dużej średnicy



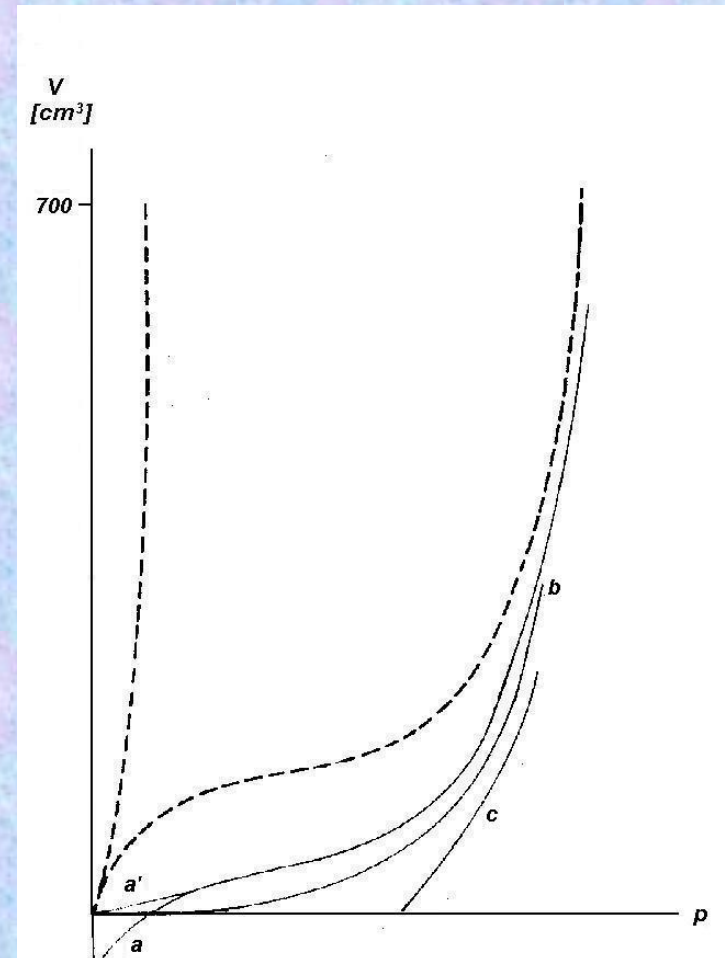
Otwór o naruszonej ścianie



Jakość badań presjometrycznych



Otwór o naruszonej ścianie



Otwór zbyt ciasny



Kierunki zastosowań wyników badań presjometrycznych i rozwoju metody

- korelacje z wynikami innych badań gruntu,
- wykorzystanie wyników na potrzeby rejonizacji geologiczno – inżynierskiej i podziału geotechnicznego,
- klasyfikacje stosujące analizy wieloparametrowe (np. E_M/p_{IM} vs. p_{IM} ; p_{fM} vs. p_{IM}/p_{fM}),
- metody nienormowe: badania w cyklach obciążenie – odciążenie, badania powolne,
- propozycje stosowania wartości znormalizowanych (np. E_e/p_{IM} vs. p_{IM}) i analizy skupień.



Zalety metody presjometrycznej :

- łatwa, tania i szybka odmiana próbnego obciążenia,
- wykorzystanie odporu gruntu jako przeciwwagi,
- możliwość zbadania gruntu na dowolnej głębokości,
- ograniczenie efektu skali,
- podstawy teoretyczne (ekspansja cylindrycznej wnęki),
- bezpośrednia ocena dwóch najważniejszych cech gruntu: wytrzymałości (nośności) i ścisłości,
- łatwa oceny poprawności wykonania badania (tu też główna wada – realizacja badania dobrej jakości jest trudna),
- wykorzystanie wyników badań w menardowskiej metodzie projektowania posadowień lub podejściach klasycznych,
- zgodność z wymogami Eurokodu 7,
- możliwość charakteryzowania serii geol. - inż. (warstw geot.).



Dziękuję za uwagę