KONFERENCJA

GRUNTY ORGANICZNE JAKO PODŁOŻE BUDOWLANE

Dobór parametrów odkształceniowych i wytrzymałościowych gruntów organicznych do projektowania posadowienia budowli

Prof. dr hab. inż. Zbigniew Lechowicz
Dr inż. Grzegorz Wrzesiński

Dr inż. Simon Rabarijoely
Mgr inż. Katarzyna Goławska

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska
Katedra Geoinżynierii

Plan prezentacji

1. Wstęp
2. Charakterystyka gruntów organicznych
3. Parametry do oceny stanów granicznych nośności (ULS)
4. Parametry do oceny stanów granicznych użytkowalności (SLS)
5. Dobór parametrów do projektowania budowli
6. Podsumowanie

Charakterystyka gruntów organicznych

- mała wytrzymałość na ścinanie w warunkach bez odpływu
- duża odkształcalność z wyraźną tendencją do pełzania
- znaczna zmiana przepuszczalności wraz ze zmianą porowatości
- znaczna nieliniowa zmienność charakterystyk materiałowych
- znaczna przestrzenna zmienność właściwości

Grunty organiczne (holoceńskie)

Rodzaj gruntu	Zawartość cz. organ. I_{om} [%]	Zawartość $CaC0_3$ [%]	Wilgotność w_n [%]	Granica płynności w_L [%]	Gęstość	
					objętościowa ρ [t/m^3]	właściwa ρ_s [t/m^3]
Namuł organiczny	20-30	-	120-150	130-150	1.25-1.30	2.25-2.3
Gytia wysokowęglanowa	5-20	65-90	105-140	80-110	1.25-1.40	2.2-2.30
Torf amorficzny	65-75	10-15	310-340	305-450	1.05-1.10	1.45-1.50

Charakterystyka gruntów organicznych

- mała wytrzymałość na ścinanie w warunkach bez odpływu
- duża odkształcalność z wyraźną tendencją do pełzania
- znaczna zmiana przepuszczalności wraz ze zmianą porowatości
- znaczna nieliniowa zmienność charakterystyk materiałowych
- znaczna przestrzenna zmienność właściwości

Grunty organiczne (interglacjał eemski)

Rodzaj gruntu	Zawartość cz. organ. I_{om} [%]	Zawartość $CaC0_3$ [%]	Wilgotność w_n [%]	Granica płynności w_L [%]	Gęstość	
					objętościowa ρ [t/m^3]	właściwa ρ_s [t/m^3]
Namuł organiczny	8-12	-	32-34	50-55	1.6-1.65	2.4-2.5
Gytia mineralna, niskowęglanowa	7-9	29-38	60-80	75-85	1.6-1.65	2.4-2.45
Gytia mineralno-organiczna, wysokowęglanowa	17-25	54-77	80-120	120-130	1.55-1.6	2.3-2.35

Stany graniczne

Nośności - Ultimate Limit States (ULS)

- utrata ogólnej stateczności konstrukcji – EQU
- utrata nośności konstrukcji (elementu) – STR
- utrata nośności podłoża lub katastrofalne odkształcenie – GEO
- utrata stateczności konstrukcji na skutek ciśnienia wody (wypór) – UPL
- wypiętrzenie lub przebicie hydrauliczne gruntu – HYD

Użytkowalności – Serviceability Limit States (SLS)

- nadmierne osiadania (średnie, różnica)
- nadmierny obrót
- nadmierne wypiętrzenie spowodowane pęcznieniem, zamarzaniem lub inną przyczyną
- niedopuszczalne drgania

Parametry do oceny stanów granicznych nośności (ULS)

- **Stan i historia naprężenia**
  - naprężenie prekonsolidacji σ'_p
  - wskaźnik prekonsolidacji OCR
  - współczynnik parcia gruntu w spoczynku K_o
- **Parametry wytrzymałościowe**
  - efektywny kąt tarcia wewnętrznego φ'
  - efektywna spójność c'
- **Wytrzymałość na ścinanie bez odpływu τ_{fu}**

Stan i historia naprężenia

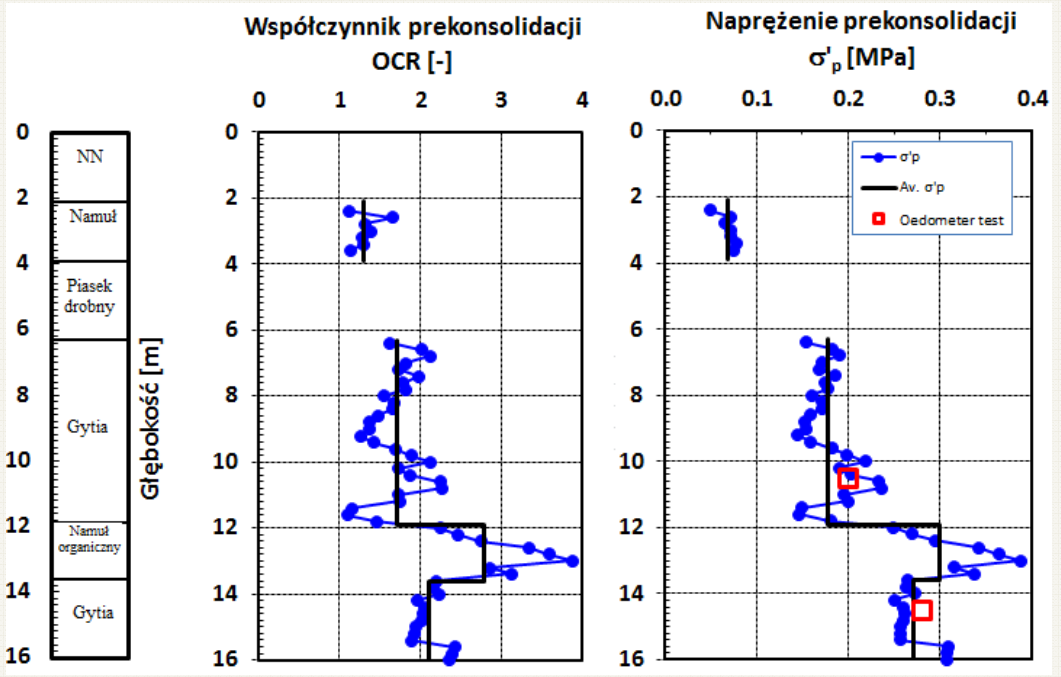
DMT Marchetti 1980:

$OCR = (0.67 \cdot K_D)^{1.91}$ $I_D > 2.0$

$OCR = (0.5 \cdot K_D)^{1.56}$ $I_D < 1.2$

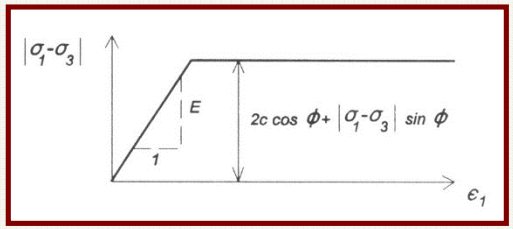
Zmodyfikowany Marchetti (Lechowicz 1997):

$OCR = (0.45 \cdot K_D)^{1.40}$

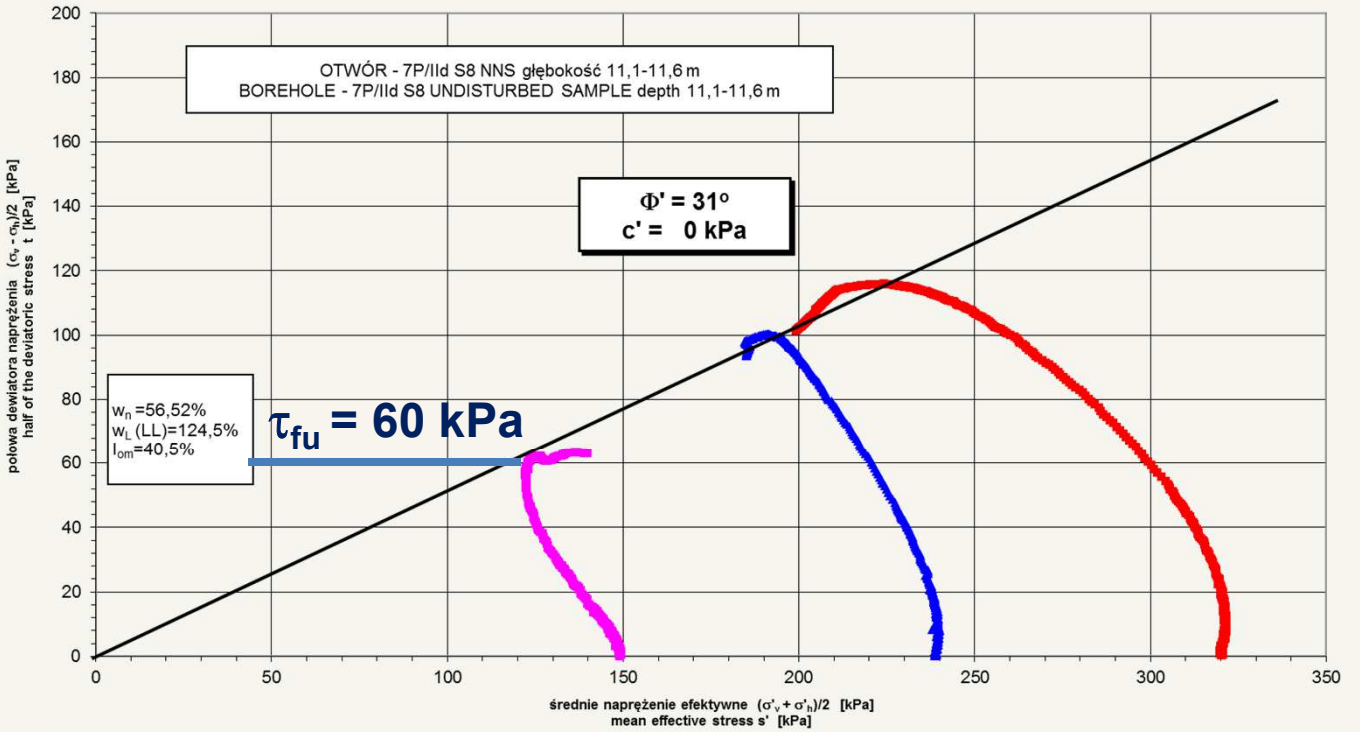


Stacja S8 Płocka
(interglacjał eemski)

Wyznaczenie parametrów wytrzymałościowych φ' i c'



Stacja S8 Płocka (interglacjał eemski)



	Ścieżki naprężeń efektywnych z badań trójosiowych w warunkach bez odpływu (TXCIU) Consolidated undrained triaxial tests, effective stress paths	Zał. 9.5.4b Appendix 9.5.4b
	OBIEKT (JOB) : II LINIA METRA, Odcinek IId, Stacja "Wolska"-IIdS8	Wyk. mgr inż. M. Wdowska Prepared by: M. Sc. Eng. M. Wdowska

Wytrzymałość na ścinanie bez odpływu τ_{fu}

DMT Marchetti 1980:

$$\frac{\tau_{fu}}{\sigma'_{v0}} = 0.22 \cdot (0.5 \cdot K_D)^{1.25} \quad (1)$$

Zmodyfikowany Marchetti (Lechowicz 1997):

$$\frac{\tau_{fu}}{\sigma'_{v0}} = S \cdot (0.45 \cdot K_D)^{1.20} \quad (2)$$

Torf → S = 0.50

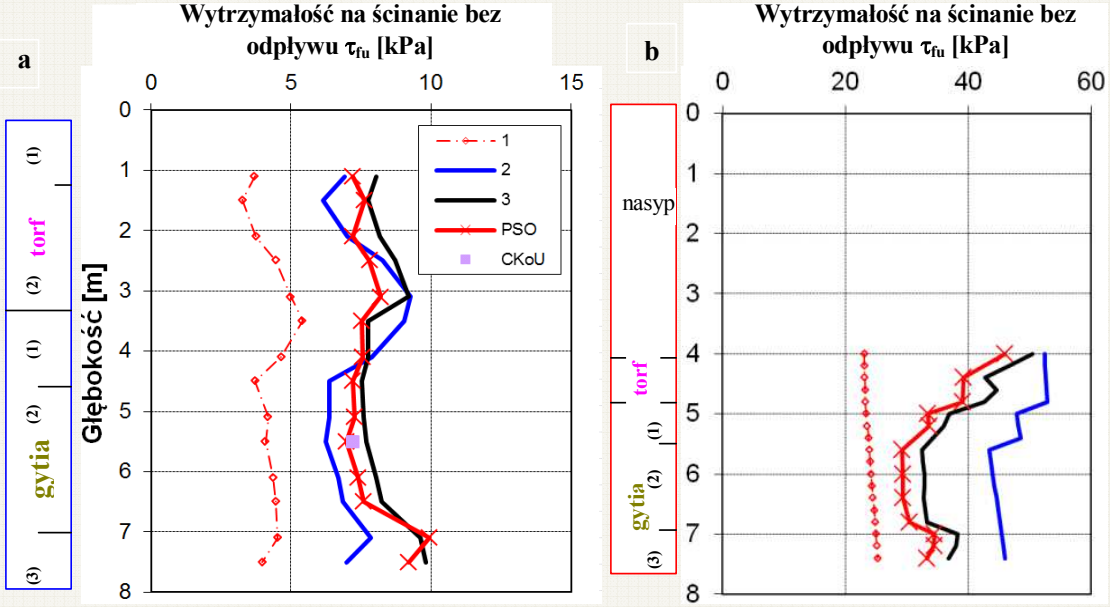
Gytia → S = 0.45

Rabarijoely 2000:

$$\tau_{fu} = \alpha_0 \cdot \sigma_{v0}^{\alpha_1} \cdot (p_0 - u_0)^{\alpha_2} \cdot (p_1 - u_0)^{\alpha_3} \quad (3)$$

Współczynniki	$\alpha_i = C_i \cdot e + D_i$ $i = 0, 1, 2, 3$			
	$i = 0$	$i = 1$	$i = 2$	$i = 3$
C_i	0.149	-0.0233	0.0065	0.0114
D_i	1.003	0.3406	0.1104	0.1847

Nasyp w Antoninach (holoceńskie grunty organiczne)



Wytrzymałość na ścinanie bez odpływu τ_{fu}

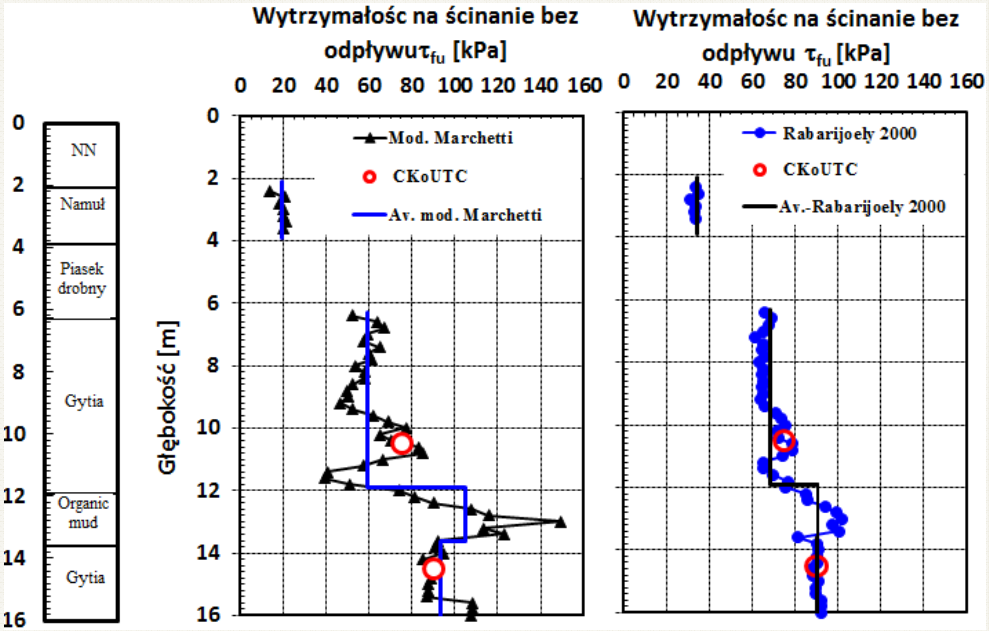
DMT Marchetti 1980:

$$\frac{\tau_{fu}}{\sigma'_{v0}} = 0.22 \cdot (0.5 \cdot K_D)^{1.25}$$

Zmodyfikowany Marchetti (Lechowicz 1997):

$$\frac{\tau_{fu}}{\sigma'_{v0}} = S \cdot (0.45 \cdot K_D)^{1.20}$$

Namuł organiczny → S = 0.30
Gytia → S = 0.35



Rabarijoely 2000:

$$\tau_{fu} = \alpha_0 \cdot \sigma_{v0}^{\alpha_1} \cdot (p_0 - u_0)^{\alpha_2} \cdot (p_1 - u_0)^{\alpha_3}$$

Namuł organiczny
$\alpha_o = 1.12$, $\alpha_1 = 0.13$
$\alpha_2 = 0.10$, $\alpha_3 = 0.44$

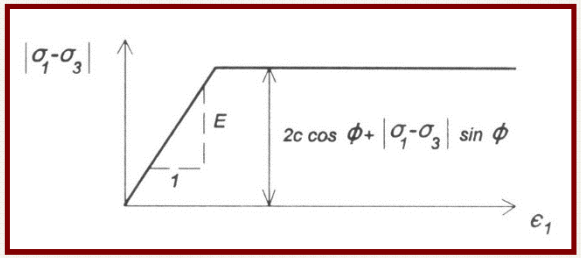
Gytia
$\alpha_o = 1.25$, $\alpha_1 = 0.30$
$\alpha_2 = 0.12$, $\alpha_3 = 0.30$

Stacja S8 Płocka (interglacjał eemski)

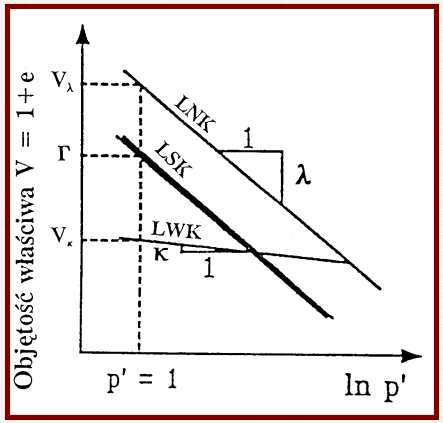
Parametry do oceny stanów granicznych użytkowalności (SLS)

- Parametry ściśliwości M , M_o ; C_{re} , C_{ce}
- Parametry konsolidacji c_v , c_h oraz pełzania $C_{\alpha e}$
- Parametry odkształceniowe do analizy numerycznej

  E i ν ; K i G ; κ i λ



Model liniowo sprężysty-idealnie plastyczny

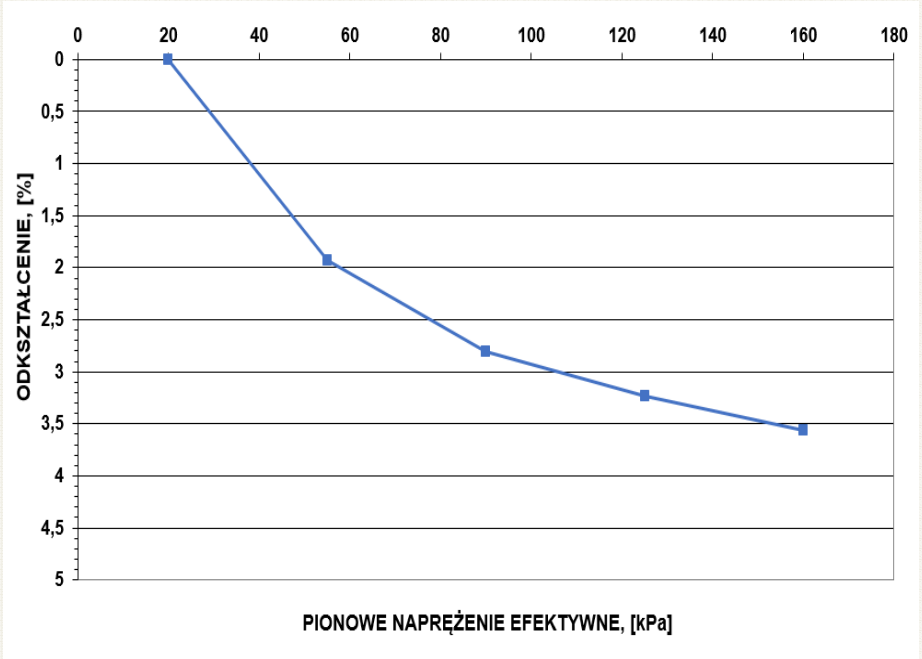


Model Cam-Clay

$$S_f = S_c + S_s$$

$$\sigma'_{vf} = \sigma'_{vo} + \Delta\sigma'_v > \sigma'_p$$

$$S_c = \frac{(\sigma'_p - \sigma'_{vo}) \cdot H_o}{M} + \frac{(\sigma'_{vf} - \sigma'_p) \cdot H_o}{M_o}$$



$$M_o = \frac{\Delta\varepsilon_c}{\Delta\,\sigma'_v}$$

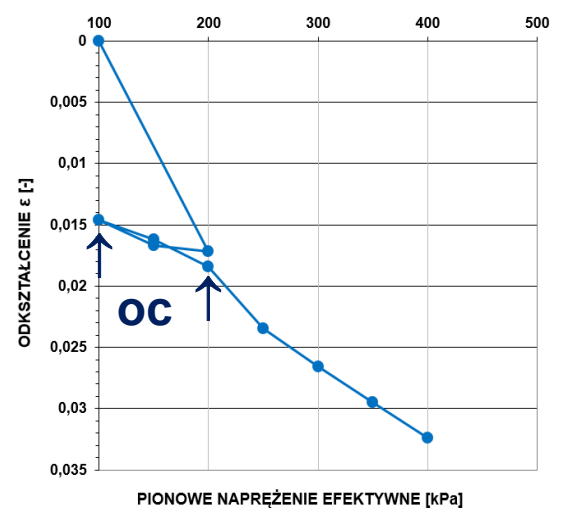
$\Delta\sigma'_v$ [kPa]	M_o [MPa]
20-55	0.36
55-90	0.79
90-125	1.66
125-160	2.10

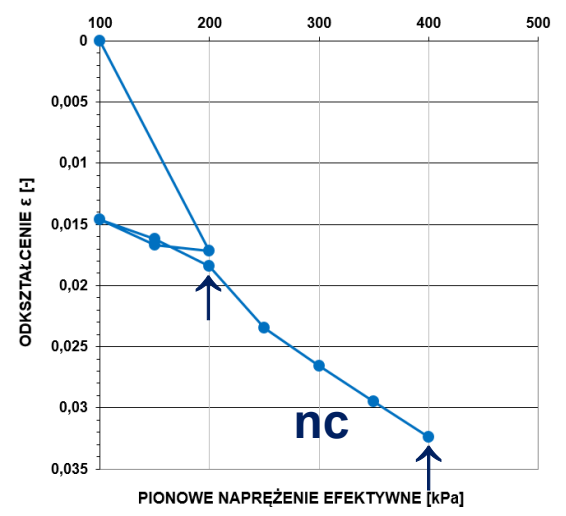
Gytia niskowęglanowa, organiczna (holoceńska)

$$S_f = S_c + S_s$$

$$\sigma'_{vf} = \sigma'_{vo} + \Delta\sigma'_v > \sigma'_p$$

$$S_c = \frac{(\sigma'_p - \sigma'_{vo}) \cdot H_o}{M} + \frac{(\sigma'_{vf} - \sigma'_p) \cdot H_o}{M_o}$$





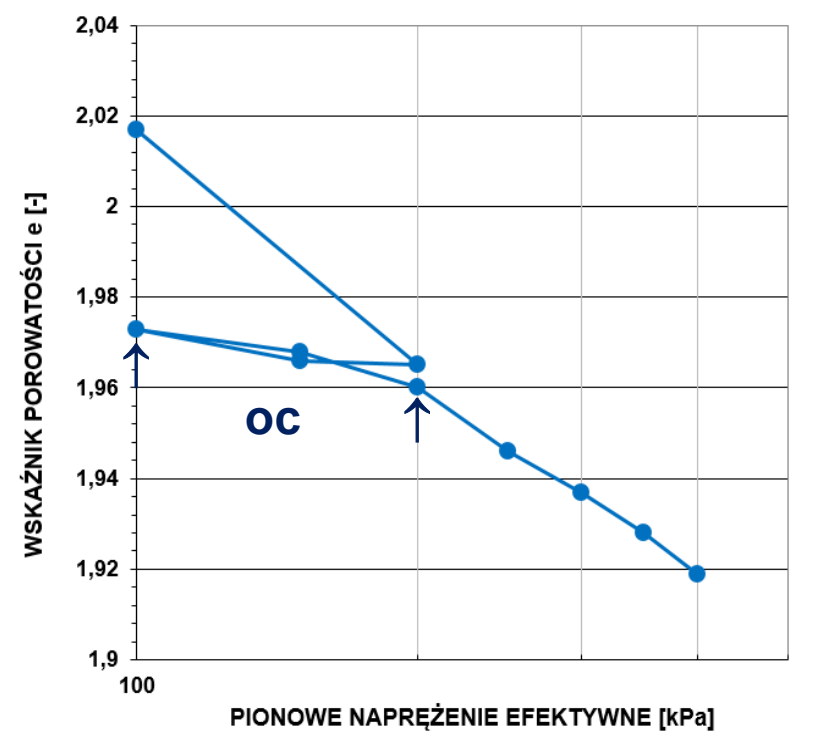
Gytia (interglacjał eemski)
ul. Skierniewicka

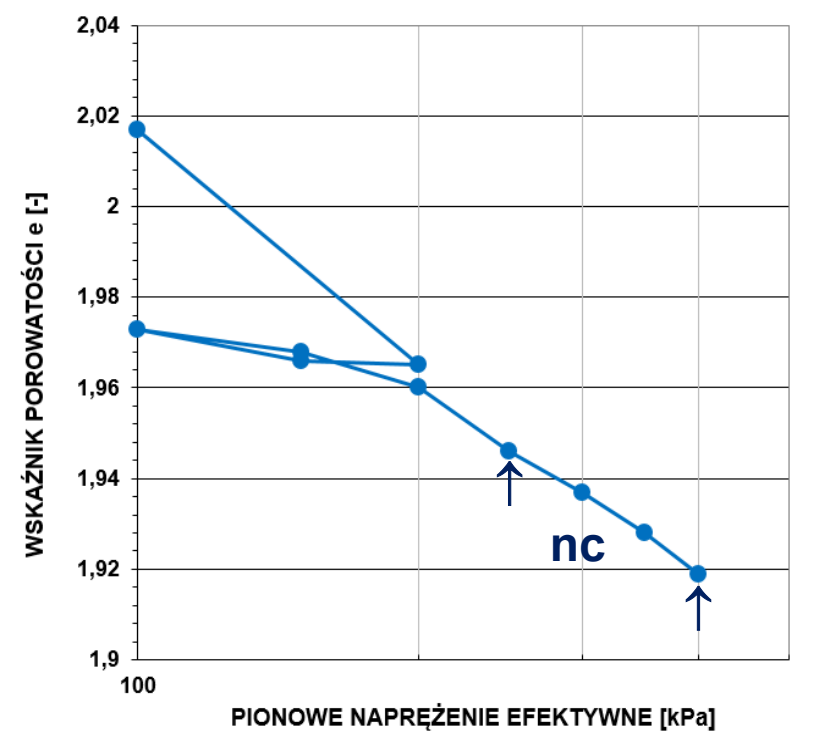
$$M = \frac{\Delta\varepsilon_r}{\Delta\,\sigma'_v}$$

$\Delta\sigma'_v$ [kPa]	M [MPa]
100-150	31.2
150-200	22.7

$$M_o = \frac{\Delta\varepsilon_c}{\Delta\,\sigma'_v}$$

$\Delta\sigma'_v$ [kPa]	M_o [MPa]
200-300	12.2
300-400	17.2





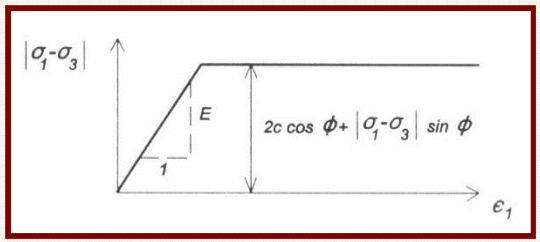
$$C_{re} = \frac{\Delta e_r}{\Delta \log \sigma'_v}$$

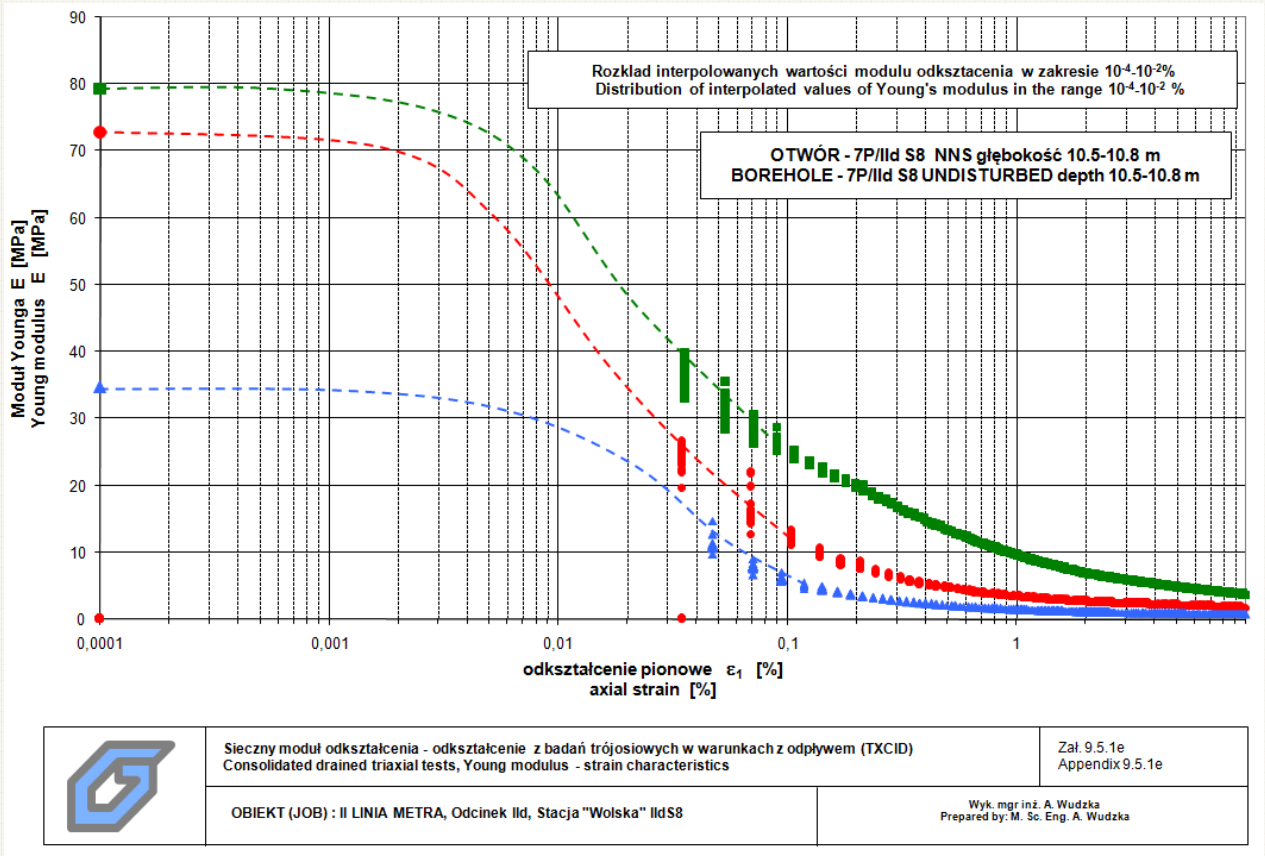
$$C_{ce} = \frac{\Delta e_c}{\Delta \log \sigma'_v}$$

Gytia (interglacjał eemski)
ul. Skierniewicka

C_{re}	C_{ce}
0.0432	0.1323

Wyznaczenie modułu odkształcenia $E_{0.1\%}$ i modułu odkształcenia E_0





Moduł odkształcenia $E_{0.1\%}$ i moduł ścinania G_o (SDMT)

Moduł odkształcenia $E_{0.1\%}$ (Lechowicz et al. 2012):

$$E_{0.1\%} = R_E \cdot E_D$$

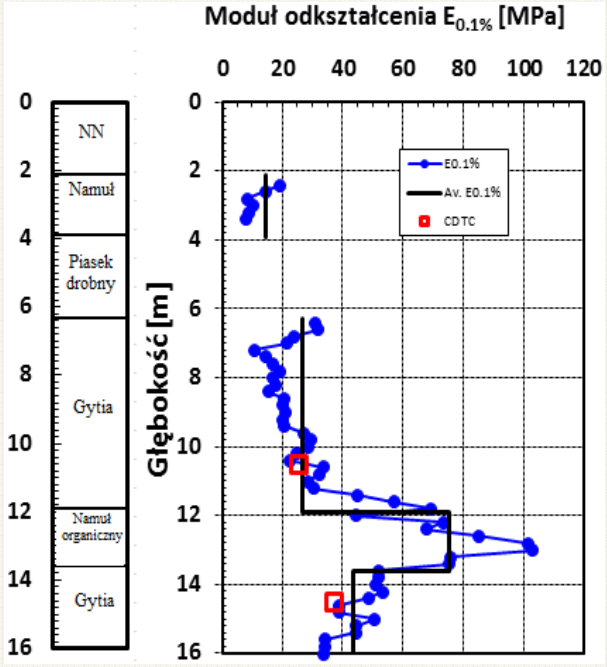
Namuł organiczny → $R_E = 2.4 + 2.36 \cdot \log K_D$

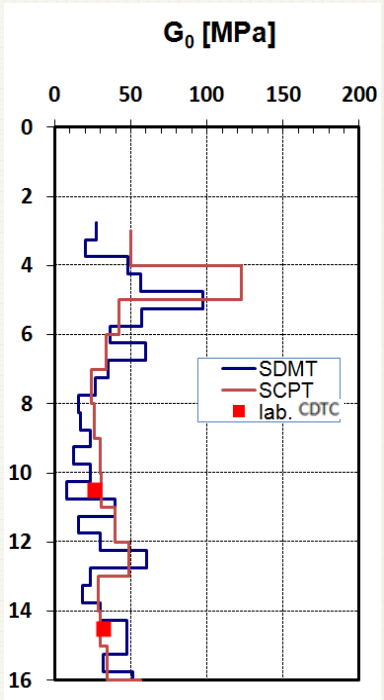
Gytia → $R_E = 2.15 + 2.10 \cdot \log K_D$

Moduł ścinania G_o:

$$G_0 = \rho \cdot V_s^2$$

Stacja S8 Płocka (interglacjał eemski)





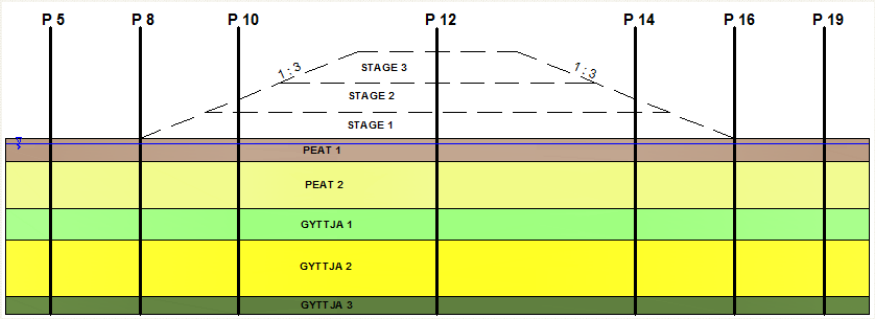
Dobór parametrów do projektowania budowli

- **Projektowanie nasypów**
  (analiza stateczności i osiadania)

- **Projektowanie ścian szczelinowych**
  (analiza numeryczna z wykorzystaniem MES)

Wyprowadzenie parametrów

(na podstawie wyników badań polową sondą krzyżakową)



Profile badań polową sondą krzyżakową

Właściwości podłoża

Właściwości	Torf	Gytia
Wilgotność w_n [%]	310-450	105-140
Granica płynności w_L [%]	305-310	80-110
Zawartość części organicznych [%]	8-85	5-20
Zawartość $CaCO_3$ [%]	5-15	65-90

WARTOŚCI POMIERZONE

Współczynniki poprawkowe

$$\tau_{fu} = \mu \cdot \tau_{fv}$$

WARTOŚCI SKORYGOWANE

Analiza statystyczna

Rozkład prawdopodobieństwa

$\bar{\tau}_{fu}$, SD

WARTOŚCI ŚREDNIE I CHARAKTERYSTYCZNE

Eurokod 7

Współczynniki częściowe

Podejście obliczeniowe DA3 (γ_M i γ_Q)

WARTOŚCI OBLICZENIOWE

Analiza statystyczna parametrów dla 1 etapu

Wartości średnie, odchylenia standardowe i wskaźniki zmienności

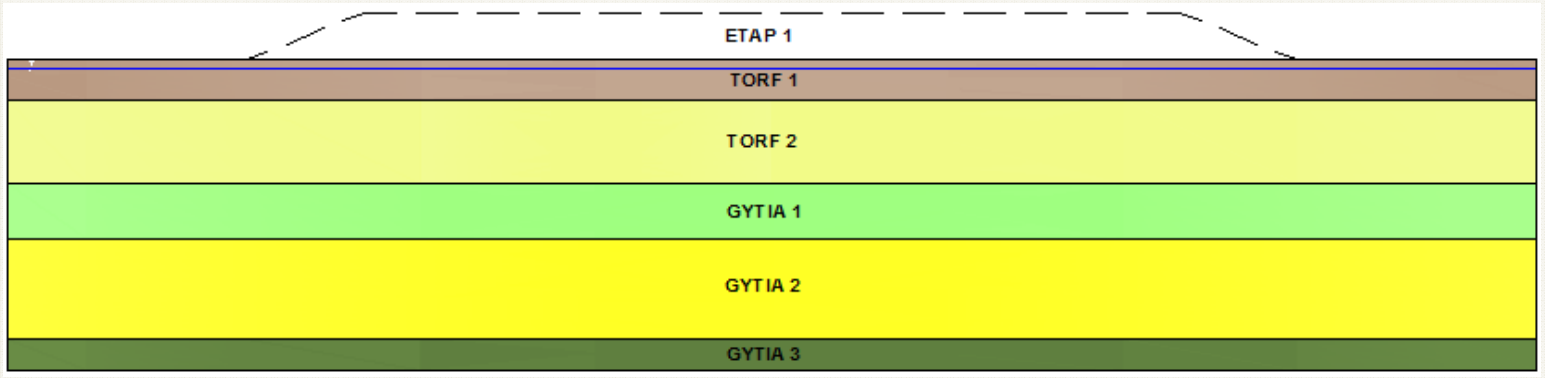
Warstwa	Wytrzymałość na ścinanie bez odpływu $\bar{\tau}_{fu}$ [kPa]	Odchylenie standardowe SD [kPa]	Wskaźnik zmienności V
torf 1	12.8	2.40	0.19
torf 2	6.4	0.71	0.11
gytia 1	7.7	1.12	0.15
gytia 2	7.0	0.49	0.07
gytia 3	7.5	0.92	0.12

Wskaźnik zmienności

$$V = SD/\bar{\tau}_{fu}$$

Odchylenie standardowe

$$SD = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{k}(\tau_{fui} - \bar{\tau}_{fu})^2}$$

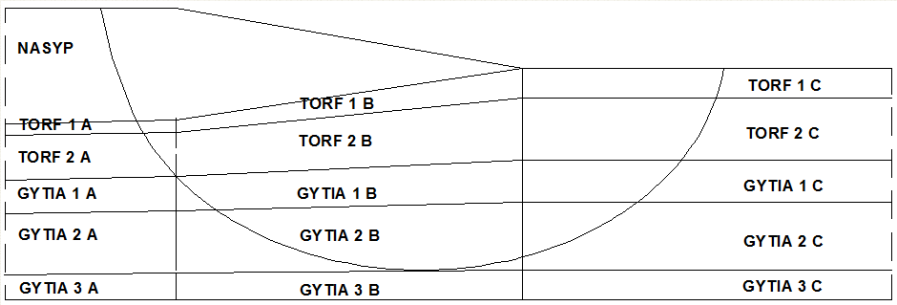


Podłoże organiczne przed obciążeniem

Analiza statystyczna parametrów dla 3 etapu

Wartości średnie, odchylenia standardowe i wskaźniki zmienności

Strefa	Warstwa	Wytrzymałość na ścinanie bez odpływu $\bar{\tau}_{fu}$ [kPa]	Odchylenie standardowe SD [kPa]	Wskaźnik zmienności V
A	torf 1	20,4	2,20	0,11
	torf 2	18,6	2,99	0,16
	gytia 1	12,9	0,23	0,02
	gytia 2	10,4	0,37	0,04
	gytia 3	12,4	0,61	0,05
B	torf 1	15,3	1,52	0,10
	torf 2	13,9	0,43	0,03
	gytia 1	11,0	1,29	0,12
	gytia 2	8,7	0,37	0,04
	gytia 3	8,9	0,72	0,08
C	torf 1	12,8	2,40	0,19
	torf 2	6,3	0,71	0,11
	gytia 1	7,7	1,12	0,15
	gytia 2	7,0	0,48	0,07
	gytia 3	7,1	1,38	0,19



Podział podłoża organicznego

Osiadania całkowite S_f:

$$S_f = S_c + S_s$$

S_c – osiadania konsolidacyjne [m]
S_s – osiadania wtórne [m]

Osiadania konsolidacyjne S_c gruntów prekonsolidowanych:

$$\sigma'_{vf} = \sigma'_{vo} + \Delta\sigma'_v > \sigma'_p$$

$$S_c = \frac{1}{1+e_o} \cdot H_o \cdot \left[C_{re} \cdot \log \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{vo}} \right] + \frac{1}{1+e_o} \cdot H_o \cdot \left[C_{ce} \cdot \log \frac{\sigma'_{vf}}{\sigma'_p} \right]$$

Osiadania wtórne S_s:

$$S_s = \frac{1}{1+e_o} \cdot C_{\alpha e} \cdot \log\left(\frac{t_f}{t_p}\right) \cdot H_o$$

Profile wskaźników ściśliwości C_{re} i C_{ce}

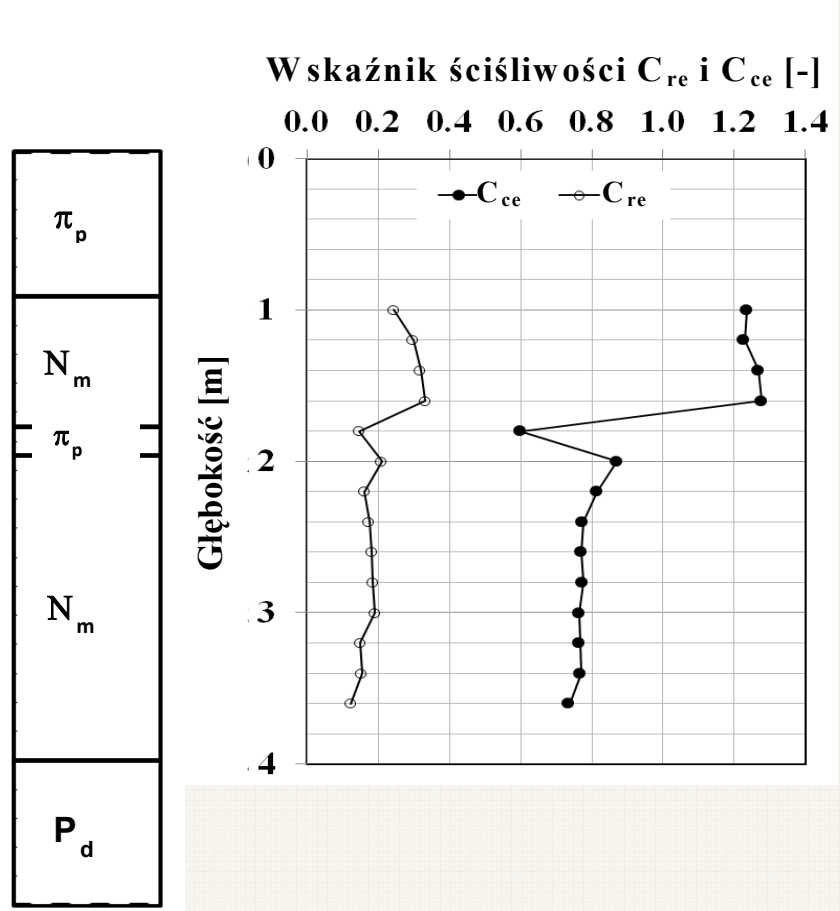
Interpretacja badań dylatometrycznych

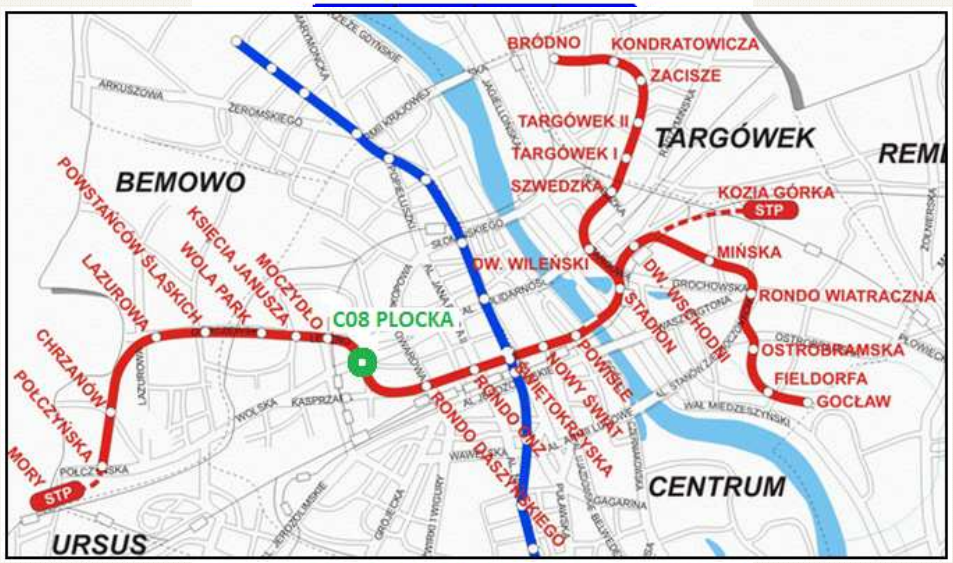
$$C_{ce} = a \cdot (I_D)^m$$

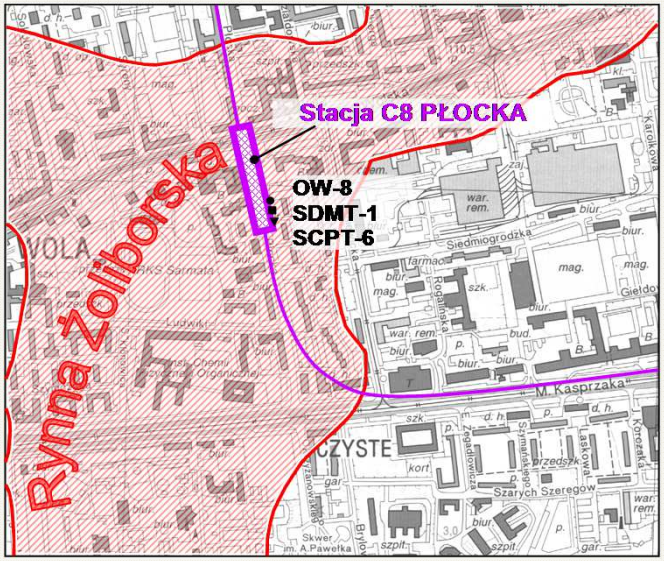
Współczynniki empiryczne dla namułu organicznego
I_{om}=10-20% i I_{om}=20-30%,
a=0,6 i a=0,9 oraz m= -0,15

$$\frac{C_{ce}}{C_{re}} = b \cdot (K_D)^n$$

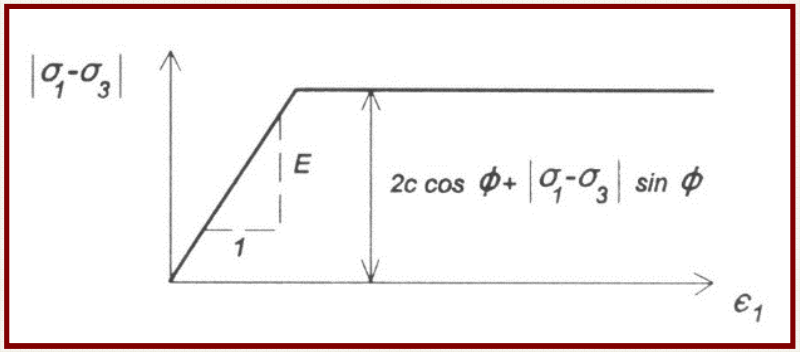
Współczynniki empiryczne dla gruntów organicznych b=0,27 i n=1,9

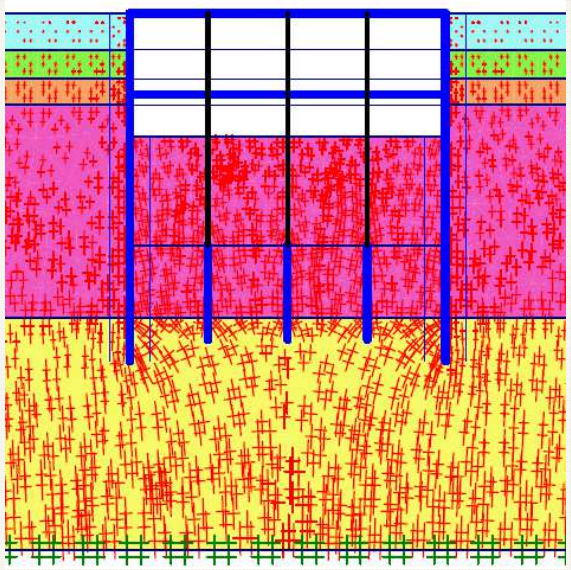




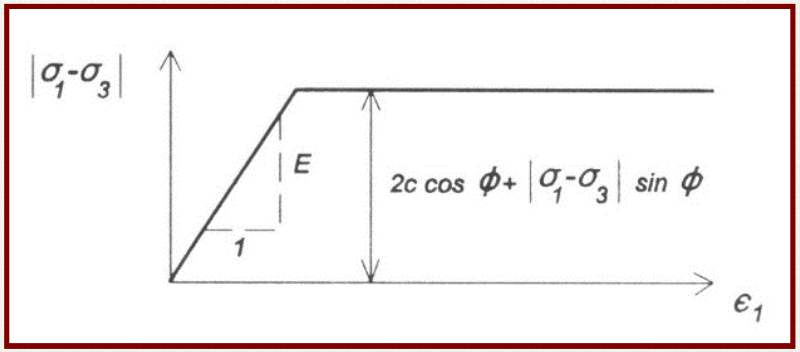


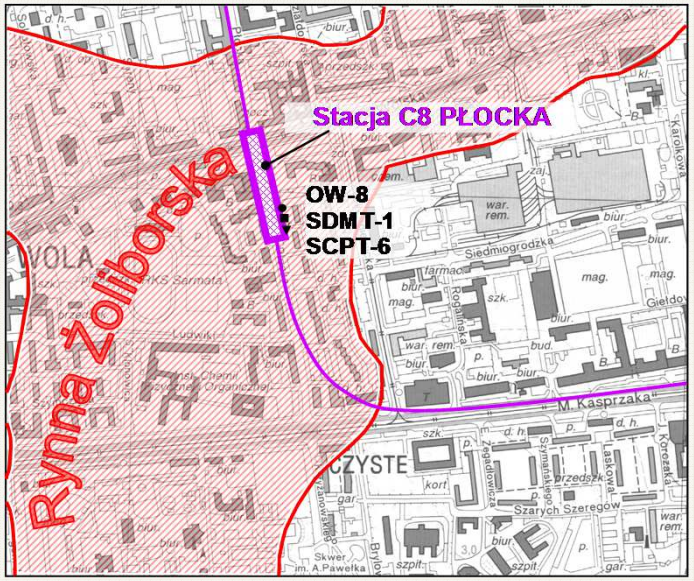
Model
liniowo sprężysty-idealnie plastyczny





Model
liniowo sprężysty-idealnie plastyczny

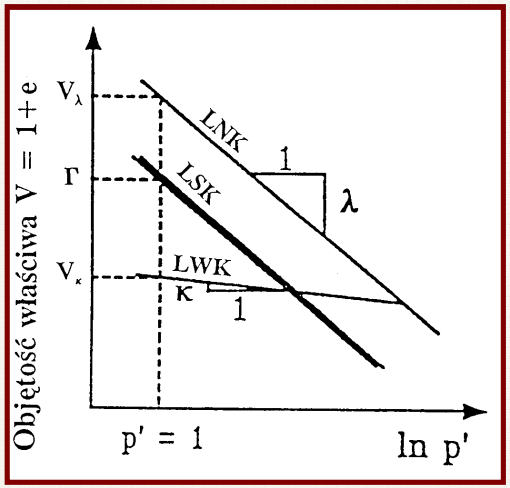


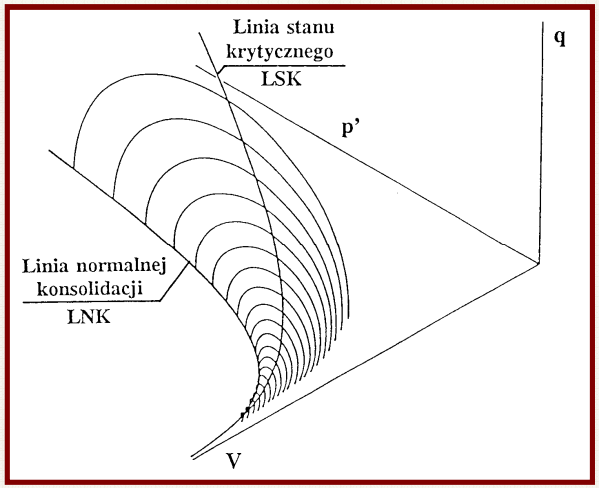


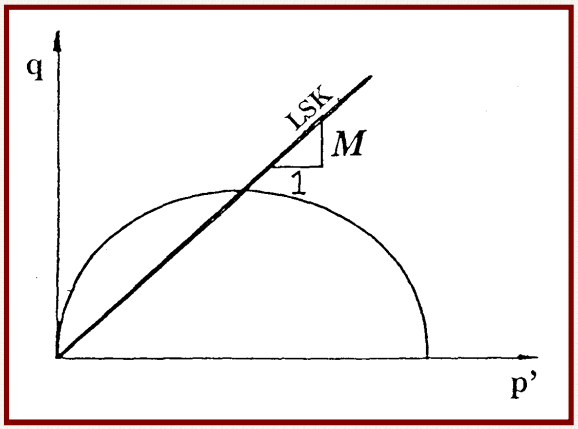
Stacja S8 Płocka
Gytia
(interglacjał eemski)

σ_3 [kPa]	E_o [MPa]	$E_{0.1\%}$ [MPa]	$E_{0.5\%}$ [MPa]	ν [-]
150	72	26	12	0.35
250	80	32	17	0.35

Model Cam-Clay
(nieliniowo sprężysty – plastyczny ze wzmocnieniem gęstościowym)







Stacja S8 Płocka
Gytia (interglacjał eemski)

κ	λ	M
0.0187	0.0575	1.24

Podsumowanie

Dalszy postęp w wyznaczaniu i doborze parametrów

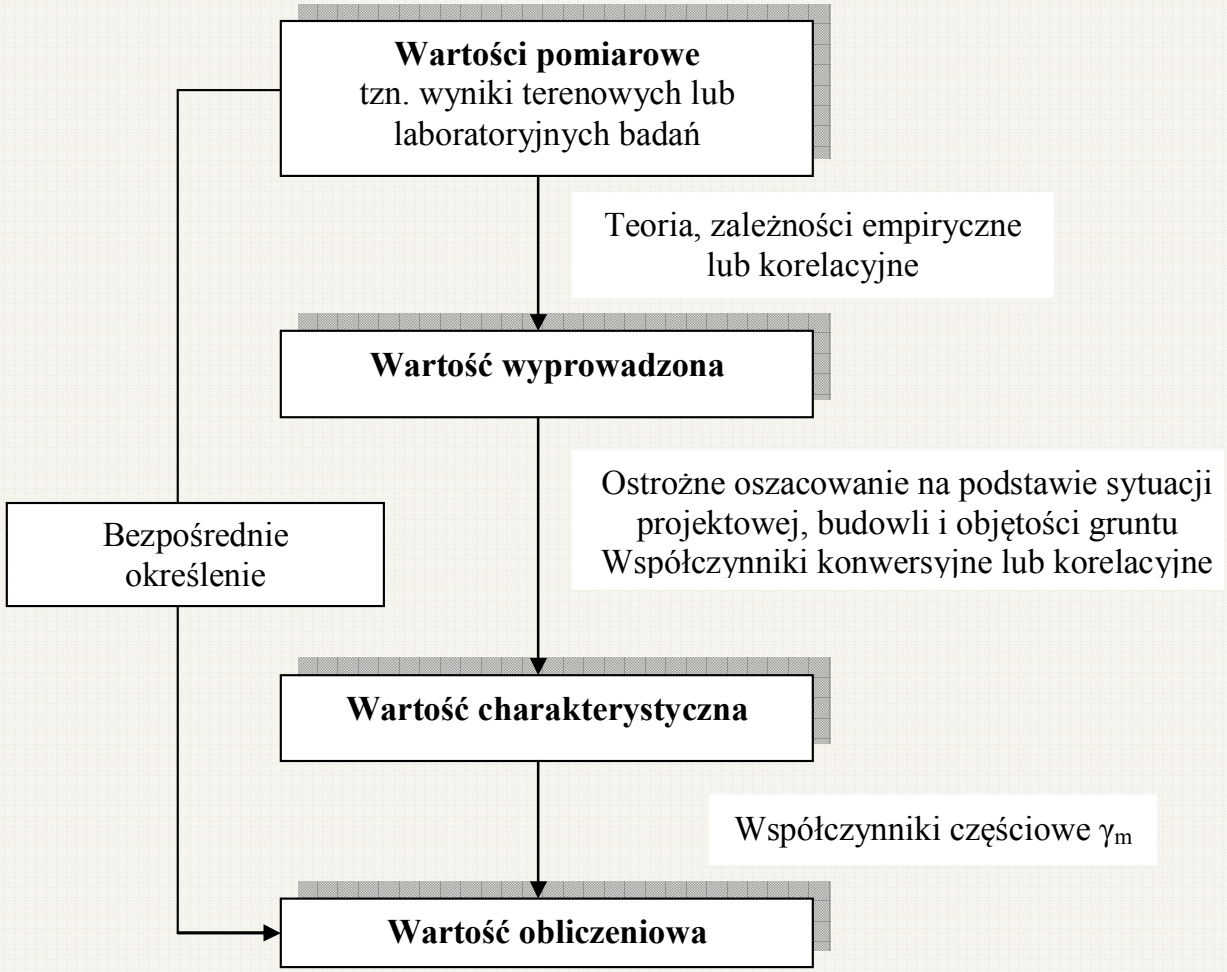
- upowszechnienie udoskonalonej aparatury i metody badań laboratoryjnych gruntów organicznych
- upowszechnienie interpretacji sondowań statycznych i badań dylatometrycznych podłoży organicznych z wykorzystaniem zweryfikowanych zależności empirycznych
- wykorzystanie w projektowaniu posadowienia budowli na gruntach organicznych modelowania numerycznego opartego na poprawnie wyznaczonych parametrach odkształceniowych i wytrzymałościowych

Udoskonalenie metod projektowania

- badania zachowania się gruntów organicznych w złożonych warunkach obciążenia (obciążenia monotoniczne i cykliczne, pełzanie)
- badania w skali naturalnej zachowania się podłoży organicznych wzmocnionych kolumnami

Dziękuję za uwagę

Procedura określania wartości obliczeniowych z wyników badań

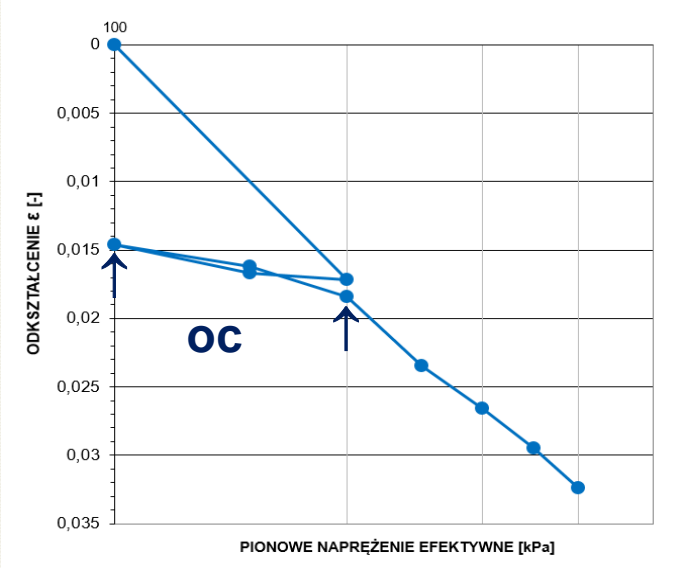


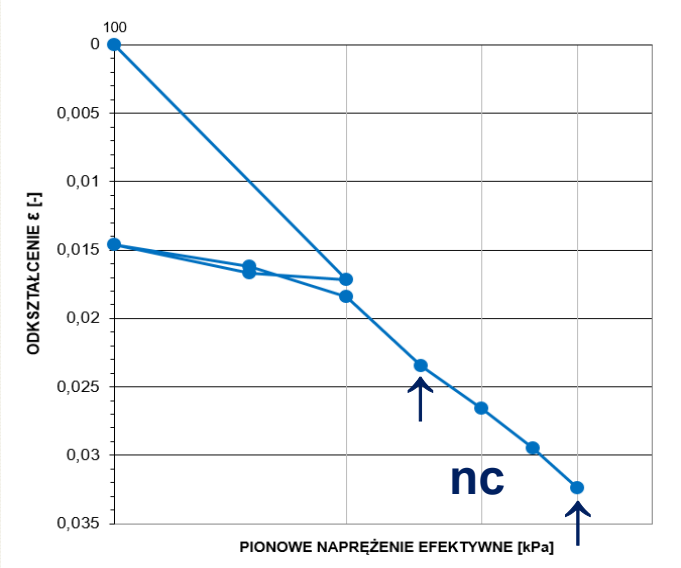
$$C_{r\varepsilon} = \frac{C_{re}}{1 + e_o}$$

$$C_{r\varepsilon} = \frac{\Delta\varepsilon_r}{\Delta \log \sigma'_v}$$

$$C_{c\varepsilon} = \frac{\Delta\varepsilon_c}{\Delta \log \sigma'_v}$$

$$C_{c\varepsilon} = \frac{C_{ce}}{1 + e_o}$$





$C_{r\varepsilon}$	$C_{c\varepsilon}$
0.0126	0.0436

Gytia (interglacjał eemski)
ul. Skierniewicka

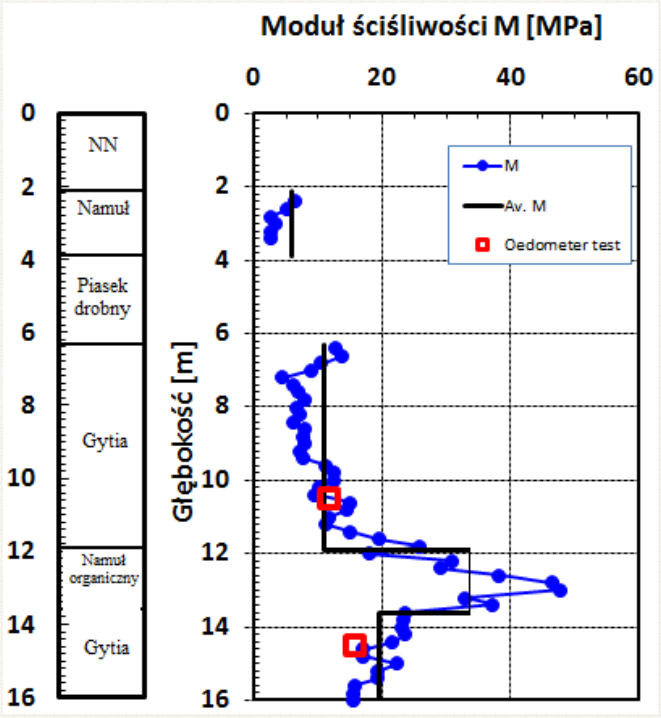
Moduł ściśliwości M

Moduł ściśliwości (DMT) (Marchetti 1980):

$$M = R_M \cdot E_D$$

Namuł organiczny → $R_M = 0.14+2.36 \cdot \log K_D$

Gytia → $R_M = 0.12+2.10 \cdot \log K_D$



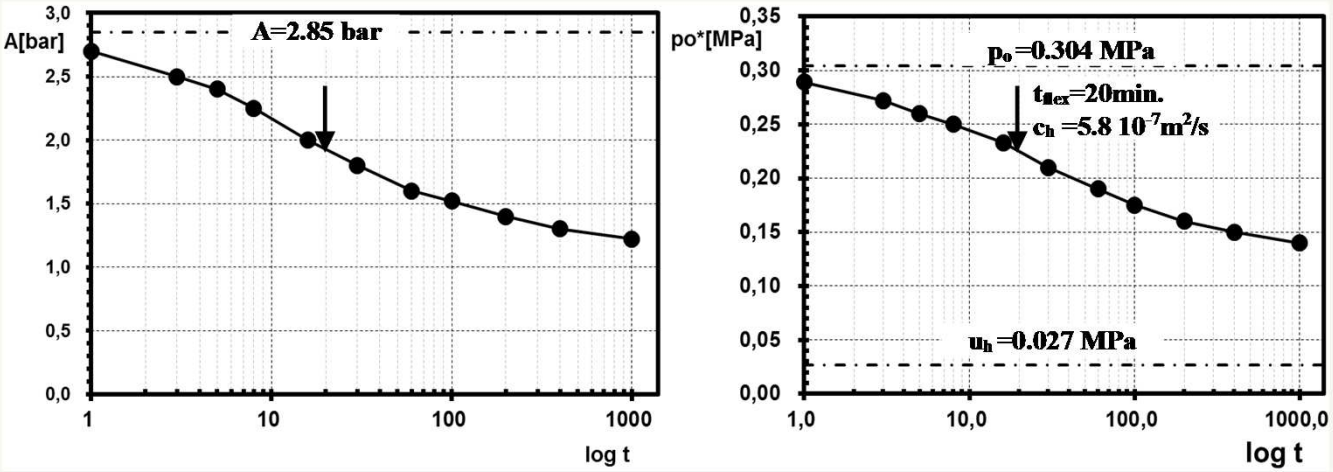
Stacja S8 Płocka
(interglacjał eemski)

Współczynnik konsolidacji poziomej c_h (DMT)

$$c_h = \frac{7 \cdot 10^{-4}\ m^2}{T_{flex}}$$

T_{flex} – czas odpowiadający punktowi zmiany charakteru przebiegu zależności p_0 = f(log t)

Holoceński namuł organiczny – zapora Nielisz



Jak otrzymać wartości charakterystyczne?

Wartość charakterystyczna:

$$X_k = X_m(1 - k_n V)$$

X_m – wartość średnia

k_n – współczynnik zależny od typu rozkładu statystycznego oraz liczby wyników badań

V – wskaźnik zmienności

Zalecenia Schneidera (1999):

$$X_k = X_m - 0.5 \cdot SD$$

SD – odchylenie standardowe

Osiadania całkowite S_f:

$$S_f = S_c + S_s$$

S_c – osiadania konsolidacyjne [m]
S_s – osiadania wtórne [m]

Osiadania konsolidacyjne S_c gruntów prekonsolidowanych:

$$\sigma'_{vf} = \sigma'_{vo} + \Delta\sigma'_v > \sigma'_p$$

$$S_c = H_o \cdot \left[C_{r\varepsilon} \cdot \log \frac{\sigma'_p}{\sigma'_{vo}} \right] + H_o \cdot \left[C_{c\varepsilon} \cdot \log \frac{\sigma'_{vf}}{\sigma'_p} \right]$$

Osiadania wtórne S_s:

$$S_s = C_{\alpha\varepsilon} \cdot \log\left(\frac{t_f}{t_p}\right) \cdot H_o$$

$C_{\alpha\varepsilon}$ – współczynnik wtórnej ściśliwości odniesiony do odkształceń [-]
t_f – czas końca okresu prognozy [dni]
t_p – czas zakończenia pierwotnej konsolidacji [dni]