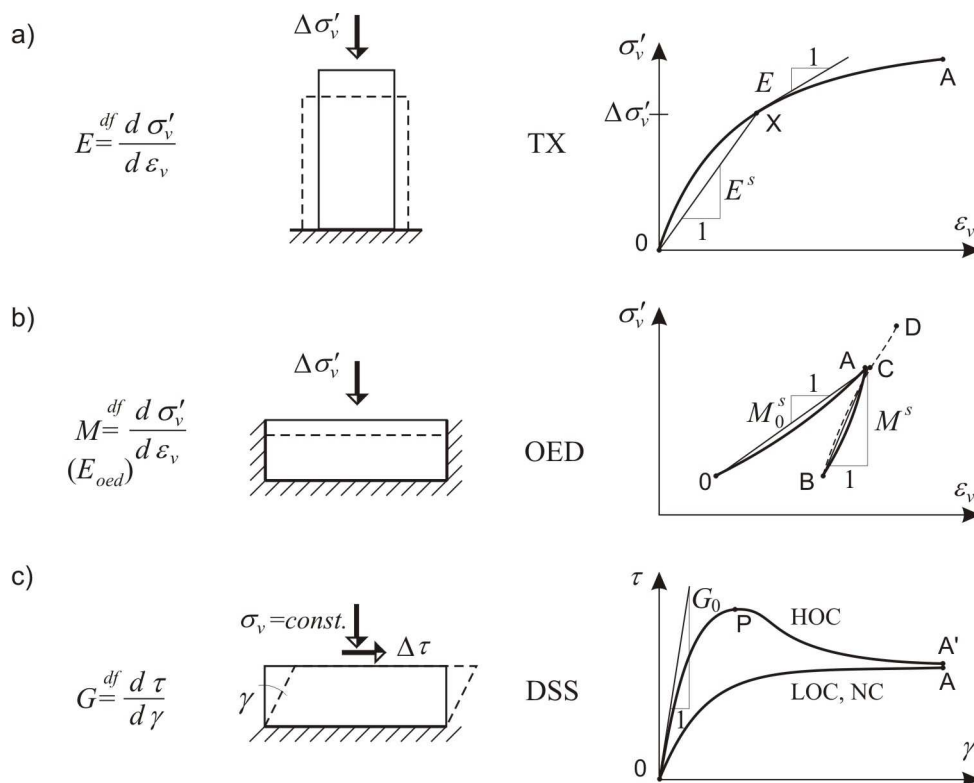


## Moduły sztywności gruntu

Sztywność, to zdolność materiału do przeciwstawiania się odkształceniom wywołanym naprężeniami. Do analizy deformacji konstrukcji budowlanych (stalowych, żelbetowych, drewnianych), jako miarę sztywności materiału stosuje się zazwyczaj moduł *Younga*  $E$ . Dla niektórych materiałów, wykazujących zachowania liniowo-sprężyste moduł *Younga* traktowany jest jako stała materiałowa, a jej wartość można odczytać ze stosownych normach bądź tablicach inżynierskich, np. dla stali  $E=205$  GPa. Wykres  $\sigma$ - $\varepsilon$  jest dla tych materiałów linią prostą, a jej nachylenie jest miarą wartości modułu. Dla stali  $E$  wyznacza się w teście osiowego rozciągania, zaś dla betonu w teście ściskania. W każdym przypadku należy zapewnić próbce swobodę odkształceń poprzecznych.

W mechanice gruntów oprócz modułu *Younga*  $E$  powszechnie wykorzystuje się także moduł edometryczny  $M$  (w normie EC-7 oznaczony jako  $E_{oed}$ ), a także moduł ścinania (moduł *Kirchhoffa*). Na rys. 1. pokazano definicje tych modułów, schemat próbki podczas badania, symbol aparatu badawczego wg EC-7 oraz typowy wynik testu.



Rys. 1. Moduły sztywności gruntu: a) *Younga*, b) edometryczny, c) *Kirchhoffa*. W każdym przypadku podano: definicję modułu, schemat obciążenia próbki, symbol aparatu i typowy wynik badania.

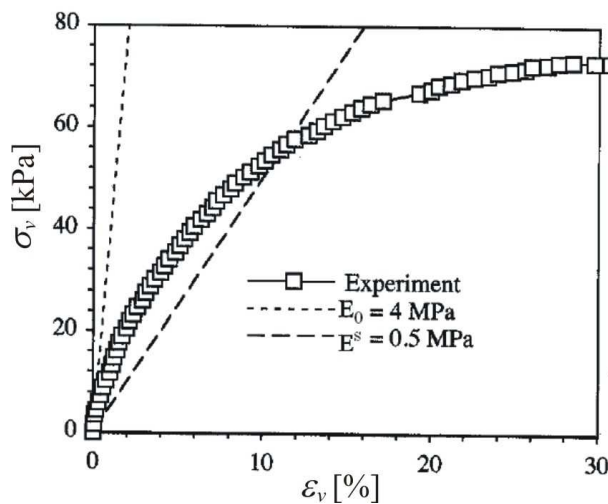
### Oznaczenia i uwagi:

- Na każdym schemacie obciążenia próbki, linią przerywaną zaznaczono jej konfigurację końcową. Indeks  $v$  oznaczono składowe pionowe naprężeń i odkształceń. Wszystkie wartości początkowe modułów z wyjątkiem modułu edometrycznego oznaczone dolnym indeksem '0'. TX – aparat trójosiowego ściskania, OED – edometr, DSS – aparat prostego ścinania.
- Wszystkie wykresy pokazują nieliniowy związek pomiędzy naprężeniami i odkształceniemi w gruncie. Wobec powyższego można mówić o sztywności stycznej (wynikającej z definicji i pokazanej na wykresie z rys. 1a w punkcie X) lub o sztywności siecznej oznaczanej górnym indeksem 's' (np.  $E^s$ ). Sztywność styczna zmienia się przy

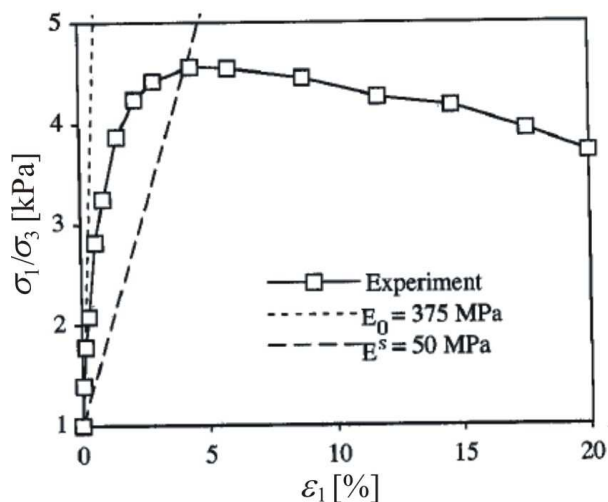
zmianach stanu naprężenia, co utrudnia standardowe analizy. Sztywność sieczna jest stała na przyroście naprężenia, ale jest tylko przybliżoną wartością aktualnej sztywności.

- Warto zwrócić uwagę, że formuły definiujące moduł *Younga* i moduł edometryczny są identyczne. Moduły różnią się warunkami odkształcenia pokazanymi na rysunku. Moduł edometryczny definiowany jest dla jednoosiowego stanu odkształcenia.
- Na przykładzie badań edometrycznych (rys. 1b) pokazano, że krzywa obciążenia (0-A) i krzywa odciążenia (A-B) nie pokrywają się, a w gruncie powstają odkształcenia trwałe. Grunt o stanie naprężenia jak w punkcie B nazywamy gruntem prekonsolidowanym (OC). Jego sztywność ( $M^s$ ) jest większa niż sztywność ( $M_0^s$ ) gruntu o tym samym poziomie naprężenia, ale przed obciążeniem, czyli w punkcie A. Grunt, który nie był przeciążony nazywamy normalnie skonsolidowanym (NC).  $M_0^s$  nazywamy edometrycznym modułem pierwotny, zaś  $M^s$  edometrycznym modułem wtórnym.

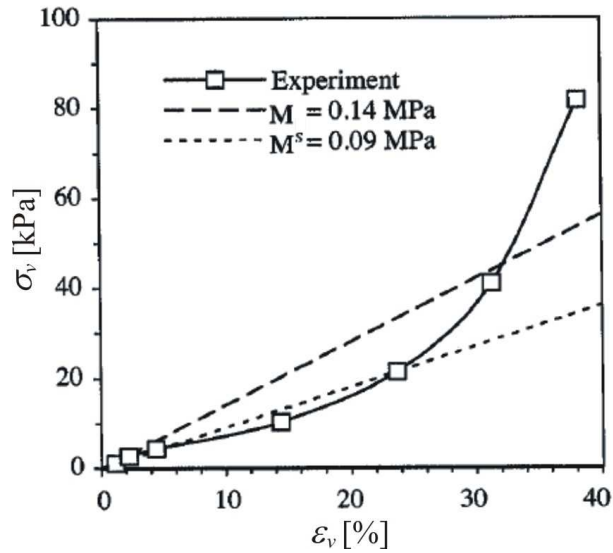
Na rys. 2, 3, 4 i 5 przytoczono z literatury wyniki badań kilku rodzajów gruntu, dla których wyznaczono wartości początkowe i wartości sieczne parametrów sztywności.



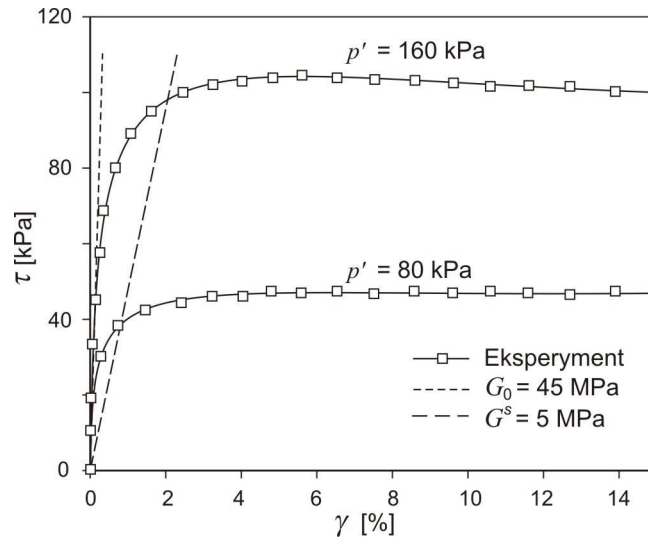
Rys. 2. Wyniki badań trójosiowych (TX) łu. Sieczny moduł *Younga*  $E^s$  wyznaczono przy odkształceniach  $\epsilon_v=12\%$  [Bardet, 1997]



Rys. 3. Wyniki badań trójosiowych (TX) zagęszczonego piasku rzecznego. Sieczny moduł *Younga*  $E^s$  wyznaczono przy odkształceniach  $\epsilon_1=5\%$  [Lee, Seed, 1967]



Rys. 4. Wyniki badań edometrycznych (OED) pyłu. Sieczny moduł edometryczny  $M^s$  wyznaczono przy odkształceniach  $\epsilon_v=24\%$ . Początkową wartość modułu oznaczono jako  $M$  [Holtz, Kovacs, 1981]



Rys. 5. Wyniki badań ścinania (DSS) średniozagęszczzonego piasku przy dwóch różnych naprężeniach średnich. Sieczny moduł ścinania  $G^s$  wyznaczono przy odkształceniach  $\gamma=2\%$  [Arulmoli *et al.*, 1992]