

## NAPRĘŻENIA POD FUNDAMENTEM BEZPOŚREDNIM

Naprężenia pod fundamentem oblicza się w celu oceny spodziewanego osiadania podłoża. Stan naprężeń w ośrodku gruntowym pod geometrycznym środkiem bezpośredniego, prostokątnego fundamentu, posadowionego w wykopie zmienia się w trakcie realizacji inwestycji.

1. Przed rozpoczęciem inwestycji w gruncie istnieją naprężenia pierwotne, których źródłem jest ciężar własny gruntu

$$\sigma_h^\gamma = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \gamma_i$$

gdzie:  $h$  – głębokość od powierzchni terenu [m],

$i$  – numer warstwy geotechnicznej,

$n$  – ilość warstw geotechnicznych,

$m_i$  – miąższość kolejnej warstwy [m],

$\gamma_i$  – ciężar objętościowy warstwy [kN/m<sup>3</sup>].

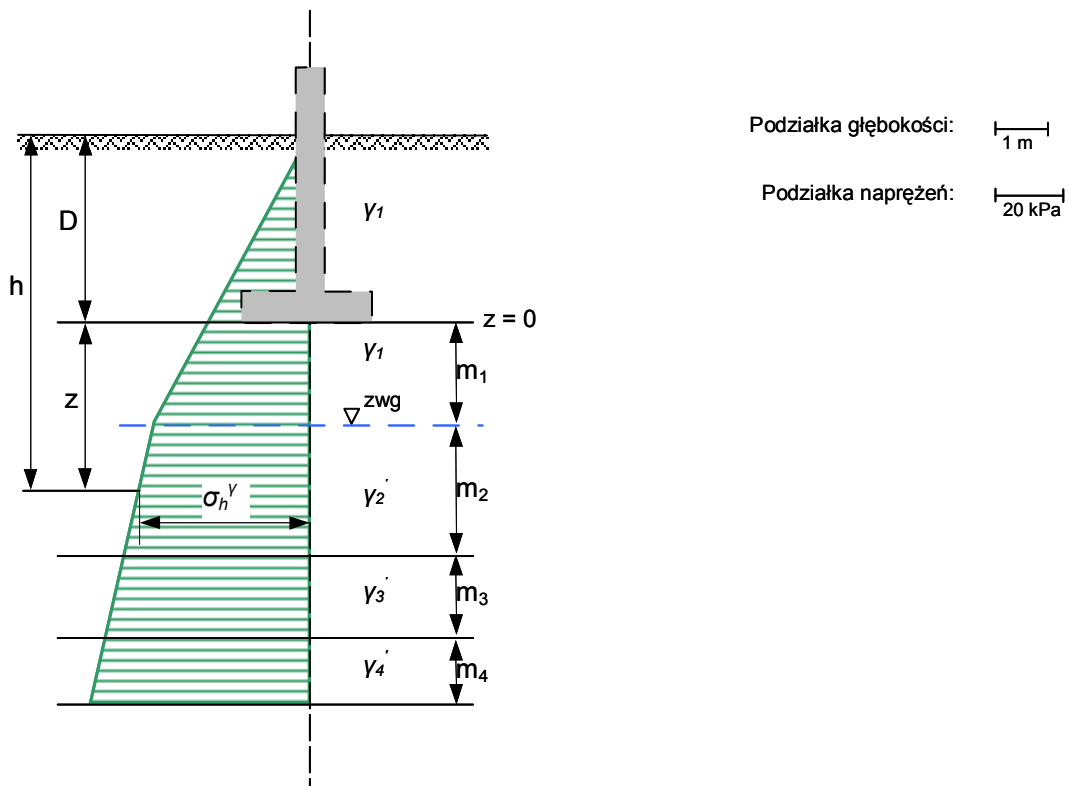
W przypadku, gdy warstwa geotechniczna znajduje się poniżej zwierciadła wody gruntowej należy uwzględnić wypór wody działający na szkielet gruntowy i do obliczenia naprężeń przyjąć ciężar objętościowy gruntu  $\gamma' = (1 - n) (\gamma_s - \gamma_w)$ .

Dla przykładu przedstawionego na rysunku 1, naprężenia pierwotne w poziomie posadowienia wynoszą:

$$\sigma_D^\gamma = D \cdot \gamma_1$$

naprężenia pierwotne na głębokości  $z$  poniżej poziomu posadowienia (głębokość  $h$  poniżej powierzchni terenu) są równe:

$$\sigma_h^r = D \cdot \gamma_1 + m_1 \cdot r_1 + (z - m_1) \cdot \gamma_2'$$



Rys. 1 Wykres naprężeń pierwotnych

2. Po wykonaniu wykopu fundamentowego następuje odprężenie gruntu i istniejące w tym stanie naprężenia pionowe w gruncie noszą nazwę naprężeń minimalnych (rysunek 2). Naprężenia minimalne w dnie wykopu są równe zero, zaś na głębokości  $z > 0$  poniżej poziomu posadowienia wynoszą:

$$\sigma_z^m = \sigma_h^\gamma - \sigma_z^s$$

gdzie:

$\sigma_z^m$  - naprężenia minimalne [kPa],

$\sigma_h^\gamma$  - naprężenia pierwotne [kPa],

$\sigma_z^s$  - naprężenia wtórne [kPa].

Naprężenia wtórne w poziomie posadowienia są równe naprężeniom pierwotnym na tym poziomie:

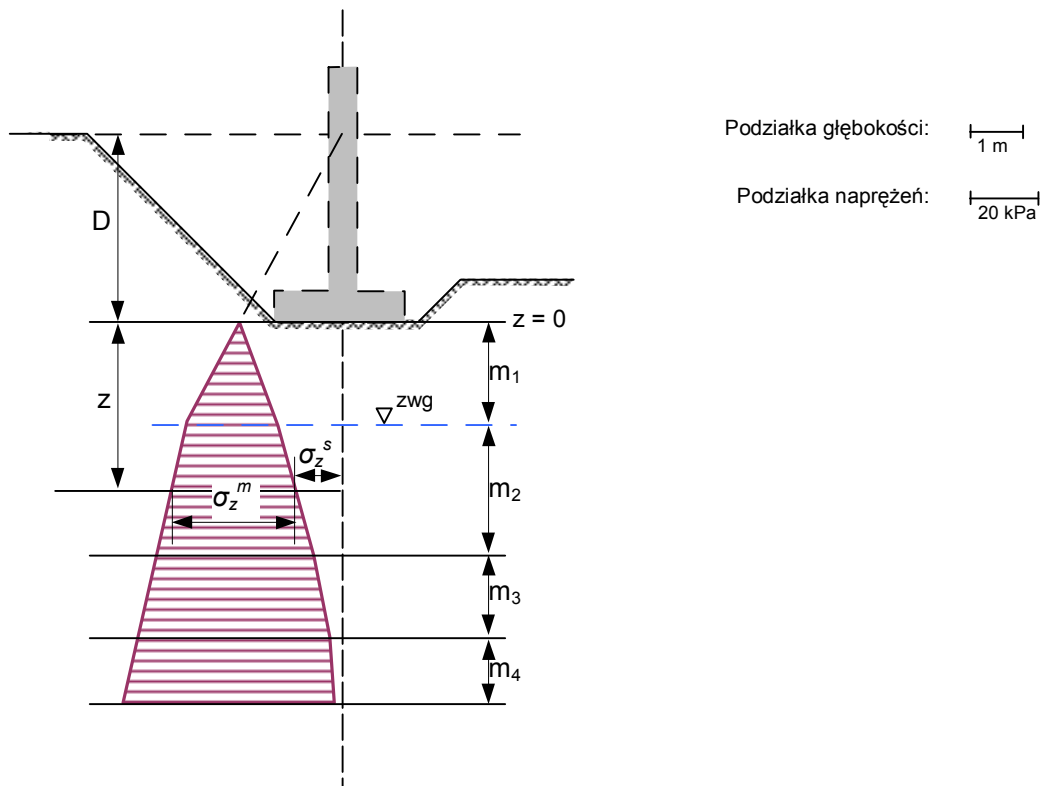
$$\sigma_{z=0}^s = \sigma_D^\gamma$$

Na głębokości  $z > 0$  naprężenia wtórne oblicza się ze wzoru:

$$\sigma_z^s = \sigma_{z=0}^s \cdot \eta_o$$

gdzie:

$\eta_0$  – współczynnik zanikania naprężeń dla metody punktów środkowych.



Rys. 2 Wykres naprężeń minimalnych

3. W dalszych etapach realizacji inwestycji siła  $Q$ , pochodząca od ciężaru fundamentu oraz nadziemnych części obiektu budowlanego (ciężar ścian, stropów itd) systematycznie rośnie.

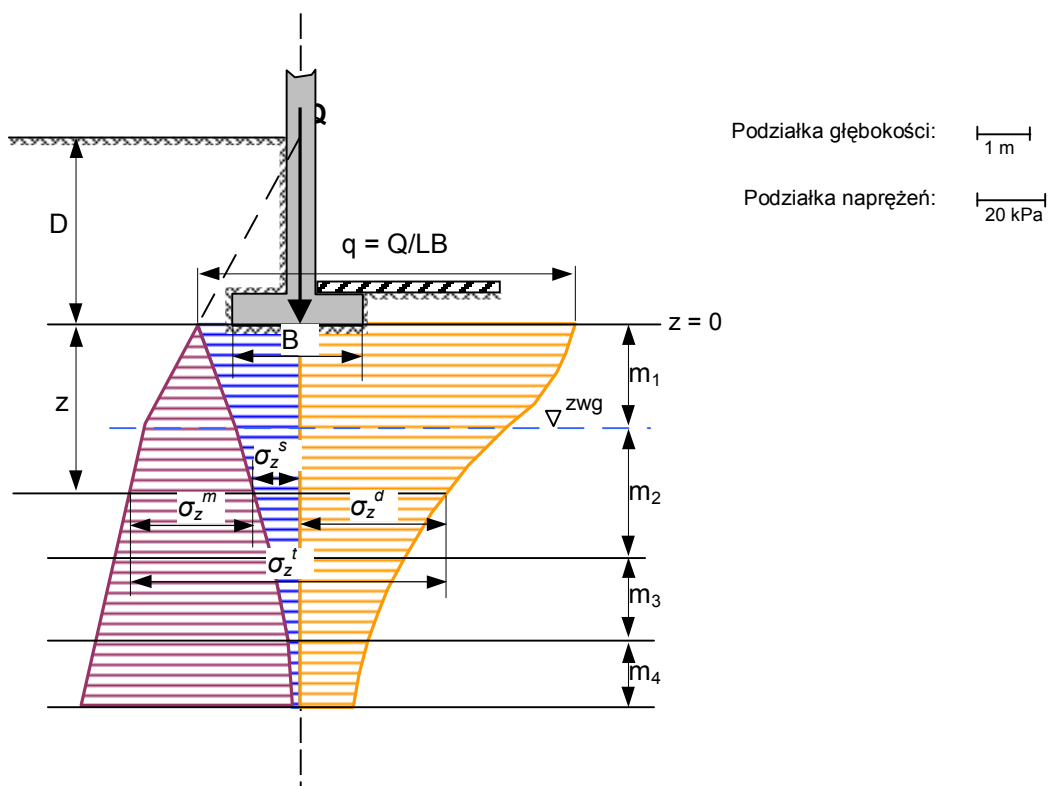
4. Po zakończeniu inwestycji i wyposażeniu obiektu jednostkowe obciążenie działające na podłoże gruntowe wynosi:

$$q = \frac{Q}{L \cdot B}$$

gdzie:

$Q$  – obciążenie od fundamentu i budowli [kN],

$L, B$  – wymiary fundamentu [m].



Rys 3. Wykres naprężeń wtórnych, dodatkowych i całkowitych

W poziomie posadowienia jednostkowe obciążenie podłoża  $q$  jest równe:

$$q = \sigma_{z=0}^s + \sigma_{z=0}^d, \text{ czyli:}$$

$$\sigma_{z=0}^d = q - \sigma_{z=0}^s$$

gdzie

$\sigma_{z=0}^s$  - naprężenie wtórne [kPa],

$\sigma_{z=0}^d$  - naprężenie dodatkowe [kPa].

Na głębokości  $z > 0$  naprężenie dodatkowe oblicza się według wzoru:

$$\sigma_z^d = \sigma_{z=0}^d \cdot \eta_o$$

Po oddaniu obiektu do eksploatacji w ośrodku gruntowym panują naprężenia całkowite (rysunek 3), które oblicza się ze wzorów:

$$\sigma_z^t = \sigma_h^r + \sigma_z^d, \text{ lub}$$

$$\sigma_z^t = \sigma_h^m + \sigma_z^s + \sigma_z^d$$

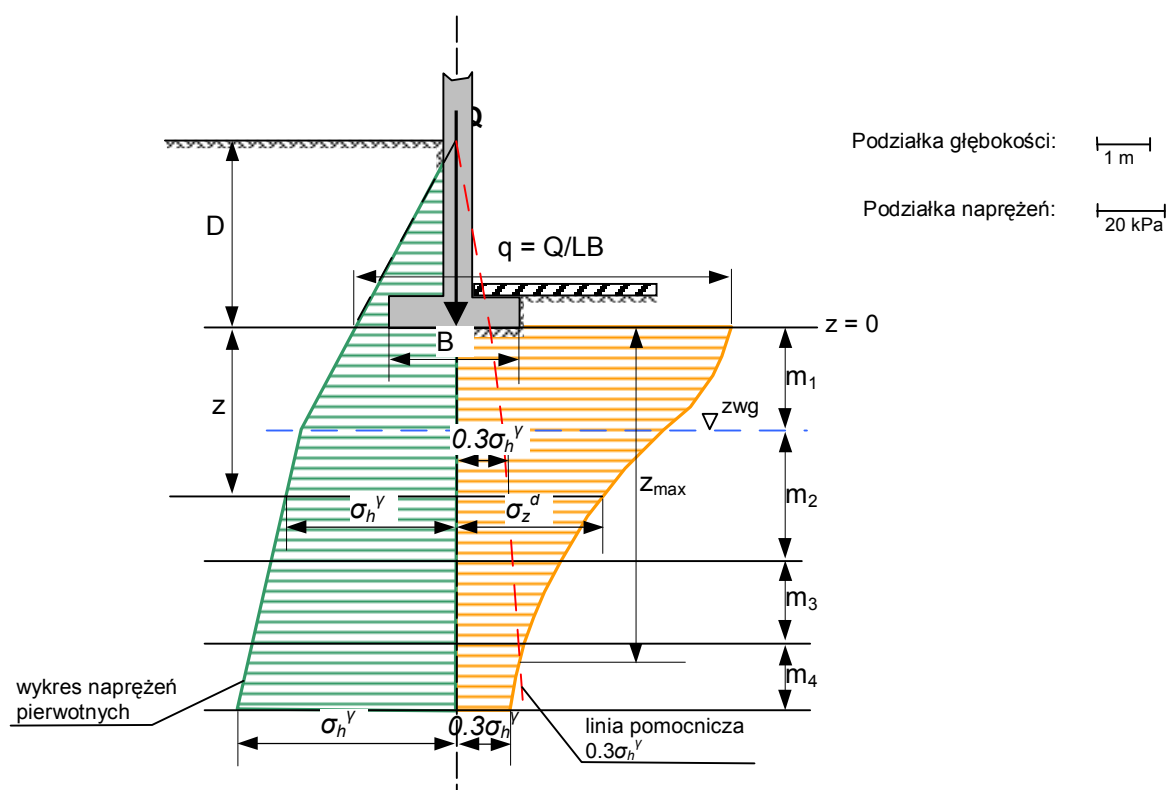
W przypadku, gdy w pobliżu rozpatrywanego fundamentu znajduje się obiekt wywierający nacisk na podłoże należy dodatkowo obliczyć naprężenia od tego obiektu, posługując się metodą punktów narożnych.

Wykres naprężeń pod fundamentem należy sporządzić do głębokości  $z_{max}$ , do której będą obliczane osiadania podłoża.

Głębokość podłoża budowlanego  $z_{max}$  wyznacza się według warunku:

$$\sigma_{z_{max}}^d \leq 0.3 \sigma_z^\gamma$$

Najprościej wartość  $z_{max}$  można wyznaczyć graficznie, stosując konstrukcję wykreślną jak na rysunku 4.

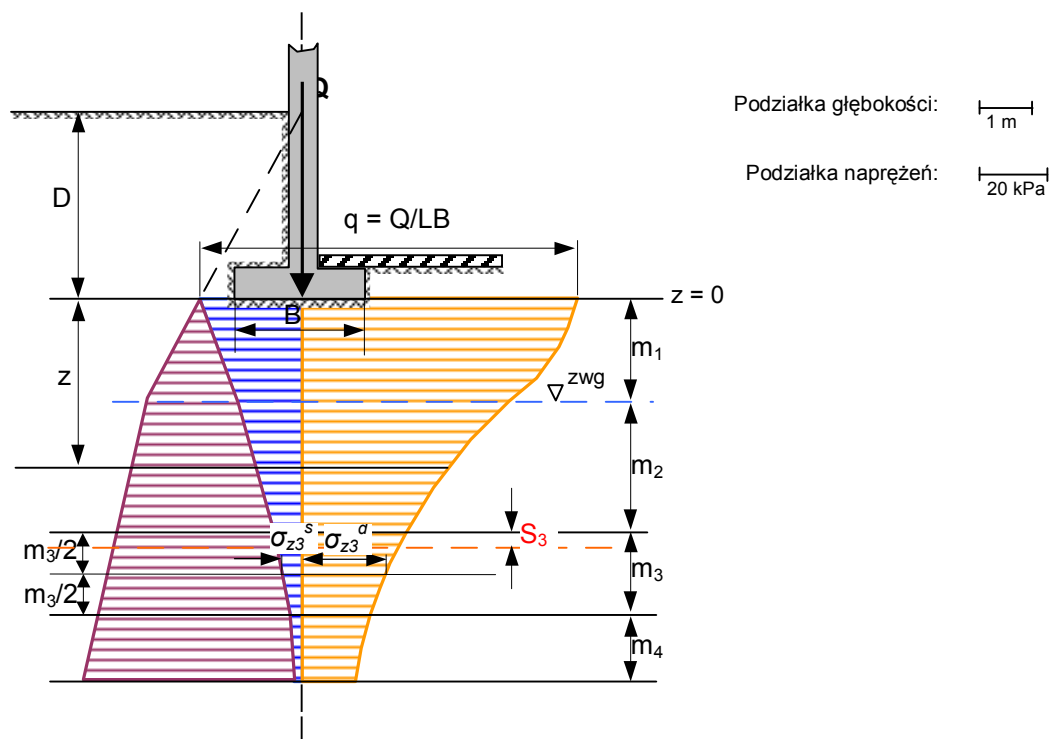


Rys. 4 Wyznaczenie głębokości podłoża budowlanego ( $z_{max}$ )

Jeśli jednak głębokość  $z_{max}$  wyznaczona graficznie wypadnie w obrębie warstwy geotechnicznej „słabej”, o module ścisłości pierwotnej  $M_0$  co najmniej dwukrotnie mniejszym niż w bezpośrednio głębiej zalegającej warstwie geotechnicznej, to głębokość podłoża budowlanego ( $z_{max}$ ) należy powiększyć do spągu tej warstwy.

### Obliczanie osiadania fundamentów.

Obliczanie osiadania zaleca się przeprowadzić metodą naprężeń. Osiadanie  $S_i$  warstwy należy wyznaczyć jako sumę osiadania wtórnego  $S_i''$  w zakresie naprężenia wtórnego  $\sigma_z^s$ , z zastosowaniem modułu ścisłości wtórnej gruntu  $M$  (lub modułu wtórnego odkształcenia  $E$ , w zależności od metody obliczania), oraz osiadania pierwotnego  $S_i'$  w zakresie naprężenia dodatkowego  $\sigma_z^d$ , z zastosowaniem modułu ścisłości pierwotnej gruntu  $M_o$  (lub  $E_o$ ).



Rys. 5 Schemat obliczenia osiadania pojedynczej warstwy podłoża

Osiadanie  $S_i$  warstwy podłoża o miąższości  $m_i$  oblicza się wg wzorów:

$$S_i = S_i'' + S_i'$$

$$S_i'' = \lambda \frac{\sigma_{zi}^s \cdot m_i}{M_i}$$

$$S_i' = \frac{\sigma_{zi}^d \cdot m_i}{M_{oi}}$$

w których:

$S_i''$  – osiadanie wtórne warstwy i, [cm],

$S_i'$  – osiadanie pierwotne warstwy i, [cm],

$\sigma_{zi}^s, \sigma_{zi}^d$  – odpowiednio wtórne i dodatkowe naprężenie w podłożu pod fundamentem,  
w połowie grubości warstwy, [kPa],

$M_b, M_{oi}$  – edometryczny moduł ścisłości, odpowiednio wtórnej i pierwotnej,  
ustalony dla gruntu warstwy  $i$ , kPa,

$m_i$  – grubość warstwy  $i$ , cm,

$\lambda$  - współczynnik uwzględniający stopień odprężenia podłoża po wykonaniu wykopu,  
którego wartość należy przyjmować:

$\lambda = 0$  – gdy czas wznoszenia budowli (od wykonania wykopów fundamentowych do  
zakończenia stanu surowego, z montażem urządzeń stanowiących obciążenie  
stałe) nie trwa dłużej niż 1 rok,

$\lambda = 1.0$  – gdy czas wznoszenia budowli jest dłuższy niż 1 rok.

Warstwy o grubości większej niż połowa szerokości  $B$  fundamentu należy dzielić dodatkowo  
na części o miąższości nie przekraczającej  $0.5B$ .

Całkowite osiadanie podłoża pod fundamentem bezpośrednim, a zatem osiadanie całej  
budowli oblicza się sumując osiadania wszystkich warstw cząstkowych według wzoru:

$$S = \sum_{i=1}^n S_i$$

gdzie:

$i$  – numer warstwy cząstkowej;

$n$  – ilość warstw,

$S_i$  – osiadanie warstwy  $i$ -tej.