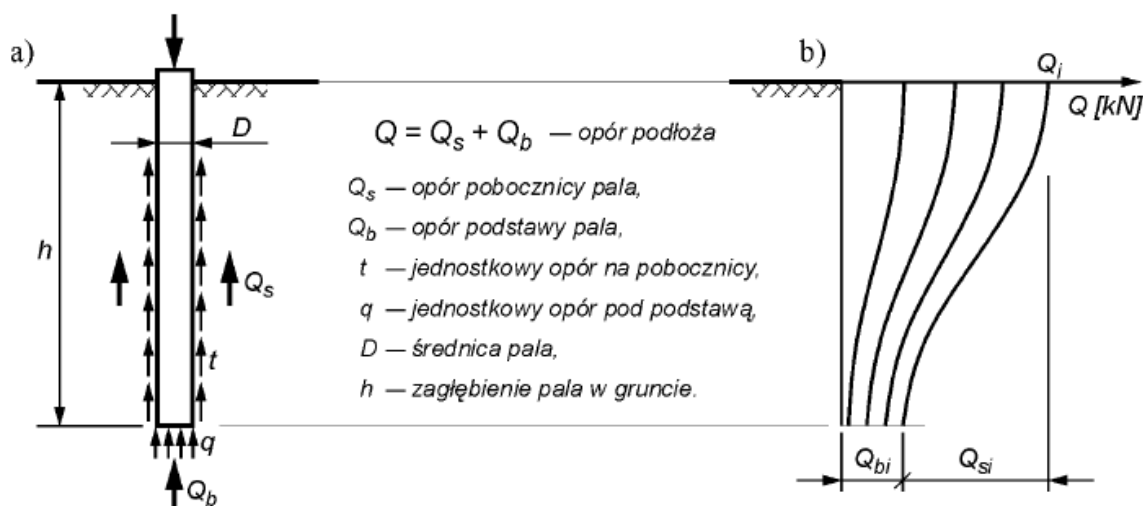


## NOŚNOŚĆ PALI POJEDYNCZYCH



Rys. 1. Pal w podłożu gruntowym: a) oznaczenie podstawowe, b) rozkład oporów

Obliczenia wykonuje się według PN-83/B-02482 „Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów palowych” oraz „Komentarza do normy PN-83/B-02482, autorstwa M. Kosseckiego (PZliTB, Szczecin 1985).

**Opis poniższy odnosi się do przepisów normy PN-83/B-02482 „Fundamenty budowlane. Nośność pali i fundamentów palowych”. Dotyczy to szczególnie pojęcia wysokości zastępczej ( $h_z$ ) do wyznaczenia poziomu interpolacji.**

### Warunek nośności dla pali obciążonych osiowo:

$$Q_r \leq m \times N$$

$N$  – obliczeniowa nośność pala ( $N_t$  – pal wciskany;  $N^w$  – pal wyciągany)

$$N_t = N_s + N_p$$

$$N_s = \sum S_{si} t_i^{(r)} A_{si} \quad N_p = S_p q^{(r)} A_p;$$

$$N^w = \sum S_i^w t_i^{(r)} A_{si}$$

$N_p$  – opór podstawy pala [kN],

$N_s$  – opór poboczniczy pala wciskanego [kN],

- $A_p$  – pole przekroju poprzecznego podstawy pała [m<sup>2</sup>],  
 $A_{si}$  – pole pobocznic pała zagłębionego w gruncie w obrębie warstwy  $i$  [m<sup>2</sup>],  
 $q^{(r)}$  – jednostkowa, obliczeniowa wytrzymałość gruntu pod podstawą pała,  $q^{(r)} = \gamma_m \cdot q$   
 $t_i^{(r)}$  – jednostkowa, obliczeniowa wytrzymałość gruntu wzdłuż pobocznic pała,  
w obrębie warstwy  $i$ ,  $t_i^{(r)} = \gamma_m \cdot t_i$

Dla pali żelbetowych wykonanych w gruncie pod osłoną rury obsadowej, jako  $A_p$  przyjmuje się pole odpowiadające zewnętrznej średnicy tej rury.

W przypadku pali Franki można uwzględnić poszerzenie podstaw pali, przyjmując zamiast  $A_p$  jako pole przekroju poprzecznego wartość 1,75  $A_p$  dla podstawy formowanej w gruncie niespoistym, 1,5  $A_p$  w gruncie spoistym. W przypadku pali Vibro można przyjmować 1,10  $A_p$ , lecz tylko dla gruntów niespoistych. W przypadku pali z poszerzoną podstawą należy wg PN-83/B-02482 przyjmować do obliczania pola przekroju  $A_p$  średnicę zastępczą 0,9  $D_r$ , gdzie  $D_r$  odpowiada średnicy poszerzonego otworu.

### Wyznaczanie wartości $q^{(r)}$

Wytrzymałość obliczeniowa gruntu pod podstawą pała. Wartość jednostkowej obliczeniowej wytrzymałości gruntu pod podstawą  $q^{(r)}$  wyznacza się na podstawie wytrzymałości granicznej  $q$ , przyjmowanej wg tablicy 1, w zależności od rodzaju gruntu oraz stopnia jego zagęszczenia  $I_D$  lub stopnia plastyczności  $I_L$ . Przy obliczaniu wytrzymałości obliczeniowej  $q^{(r)}$  należy stosować, zgodnie z PN-81/B-03020 p.3.2, współczynnik materiałowy gruntu określony jak dla  $I_D$  lub  $I_L$ ,  $\gamma_m \leq 0,9$ .

Wytrzymałość obliczeniową gruntu  $q^{(r)}$  wyznacza się ze wzoru:

$$q^{(r)} = \gamma_m q$$

Dla gruntów bardzo spoistych i zwięzłych spoistych ( $\Phi_u = 0$ ) można przyjmować do obliczeń:

$$q^{(r)} = 9s_u^{(r)}$$

gdzie:

$s_u^{(r)}$  – wytrzymałość obliczeniowa gruntu przy ścinaniu (bez konsolidacji i odsączenia wody z próbki) mierzona „in situ” sondą krzyżakową lub określona na próbkach nienaruszonych w aparacie trójosiowego ściskania.

**Tablica 1 Wartości charakterystyczne jednostkowego granicznego oporu gruntu pod podstawą pała  $q$  [kPa]**

| Nazwa gruntu                                                                              | Stopień zagęszczenia  |                              |              |              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------|--------------|--------------|
|                                                                                           | $I_D = 1,00$          | $I_D = 0,67$                 | $I_D = 0,33$ | $I_D = 0,20$ |
| Żwir, pospółka                                                                            | 7750                  | 5100                         | 3000         | 1950         |
| Piasek gruby i średni                                                                     | 5850                  | 3600                         | 2150         | 1450         |
| Piasek drobny                                                                             | 4100                  | 2700                         | 1650         | 1050         |
| Piasek pylasty                                                                            | 3350                  | 2100                         | 1150         | 700          |
|                                                                                           | Stopień plastyczności |                              |              |              |
|                                                                                           | $I_L < 0, \omega = 0$ | $I_L = 0, \omega = \omega_p$ | $I_L = 0,50$ | $I_L = 0,75$ |
| Żwir gliniasty, pospółka gliniasta                                                        | 4150                  | 2750                         | 1650         | 850          |
| Piasek gliniasty, glina piaszcz., glina, glina pylasta                                    | 2750                  | 1950                         | 850          | 450          |
| Gлина piaszcz. zwięzła, glina zwięzła, glina pylasta zwięzła, il piaszcz., il, il pylasty | 2800                  | 1950                         | 800          | 400          |
| Pył piaszczysty, pył                                                                      | 1850                  | 1250                         | 500          | 250          |

Zależność  $q^{(r)}$  od głębokości i średnicy pała. Wytrzymałość gruntu pod podstawą pała  $q$  (tablica 1) przyjęto dla głębokości krytycznej  $h_c = 10,0$  m i większej, mierząc od poziomu terenu oraz dla średnicy  $D_0 = 0,4$  m. Dla głębokości mniejszych niż  $h_c$  należy wartość  $q$  wyznaczyć przez interpolację liniową, przyjmując wartość zero na pierwotnym poziomie terenu.

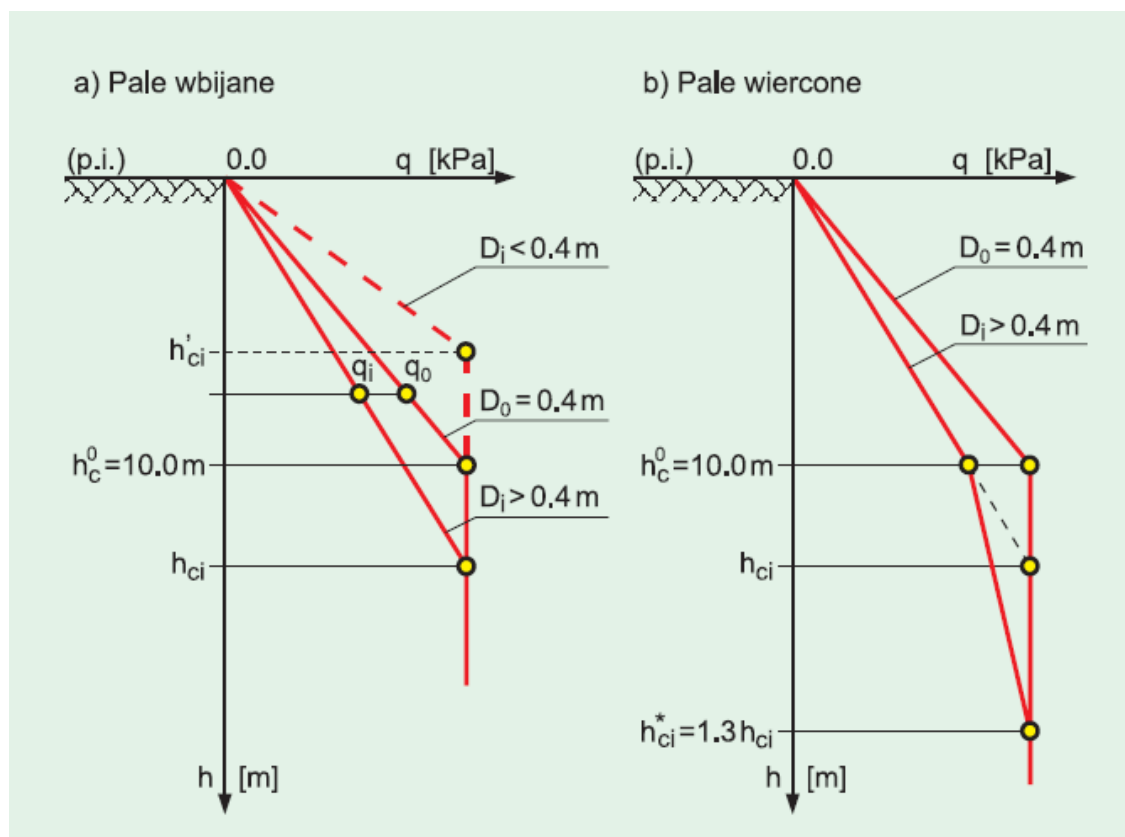
**W gruntach niespoistych średnio zagęszczonych i zagęszczonych należy uwzględnić wpływ średnicy podstawy pała na  $h_c$  wg:**

$$h_{ci} = h_c \sqrt{\frac{D_i}{D_0}}$$

Dla pali typu Franki i Vibro w tym przypadku należy przyjmować średnicę trzonu pała. Wartości  $q_i$  oblicza się zgodnie z rys. 1a.

Dla pali wierconych o  $D > 0,4$  m (grunt niespoisty  $I_D > 0,33$ ), głębokość krytyczną określoną zgodnie ze wzorem należy zwiększyć o 30% ( $h_{ci}^* = 1,3 h_{ci}$ ), zgodnie z rys. 1b.

Dla pozostałych gruntów (wymienionych w tabelicy 1) wartości  $q$  nie zależą od średnicy pała i po przekroczeniu głębokości krytycznej  $h_c = 10,0$  m przyjmują wartości stałe niezależnie od głębokości.



Rys. 1. Interpolacja jednostkowego oporu granicznego pod podstawą pała  $q$  (grunty niespoiste)

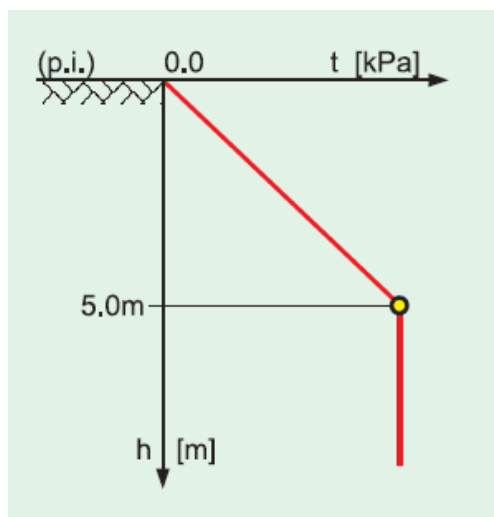
([www.pg.gda.pl/~tbrzo](http://www.pg.gda.pl/~tbrzo))

### Wyznaczanie wartości $t^{(r)}$

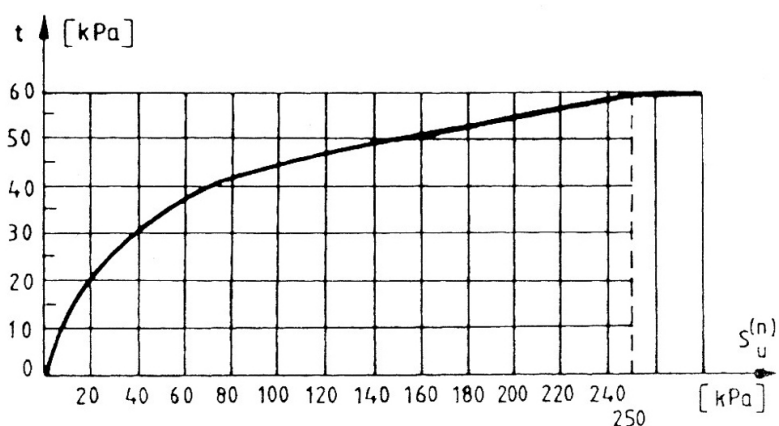
Wartość jednostkowej obliczeniowej wytrzymałości gruntu wzdłuż pobocznic  $t^{(r)}$  wyznacza się na podstawie wytrzymałości granicznej  $t$  przyjmowanej wg tabelicy 2 zależnie od rodzaju gruntu oraz stopnia jego zagęszczenia  $I_D^{(n)}$  lub stopnia plastyczności  $I_L^{(n)}$ . Przy obliczaniu wytrzymałości obliczeniowej  $t^{(r)}$  należy stosować współczynnik materiałowy gruntu  $\gamma_m = 0,9$ , zgodnie z PN-81/B-03020, określony jak dla  $I_D$  lub  $I_L$ .

$$t^{(r)} = \gamma_m t$$

Dla gruntów bardzo spoistych i zwięzło spoistych można przyjmować do obliczeń wartości  $t$  zależnie od wytrzymałości gruntu przy ścinaniu, bez konsolidacji i odsączania wody z próbki  $s_u^{(n)}$  wg rys. 3.



Rys. 2 Interpolacja jednostkowego oporu granicznego na poboczniczy pała  $t$   
 ([www.pg.gda.pl/~tbrzo](http://www.pg.gda.pl/~tbrzo))



Rys. 3 Zależność wytrzymałości gruntu wzdłuż poboczniczy  $t$  od wytrzymałości gruntu przy ścinaniu  $s_u$

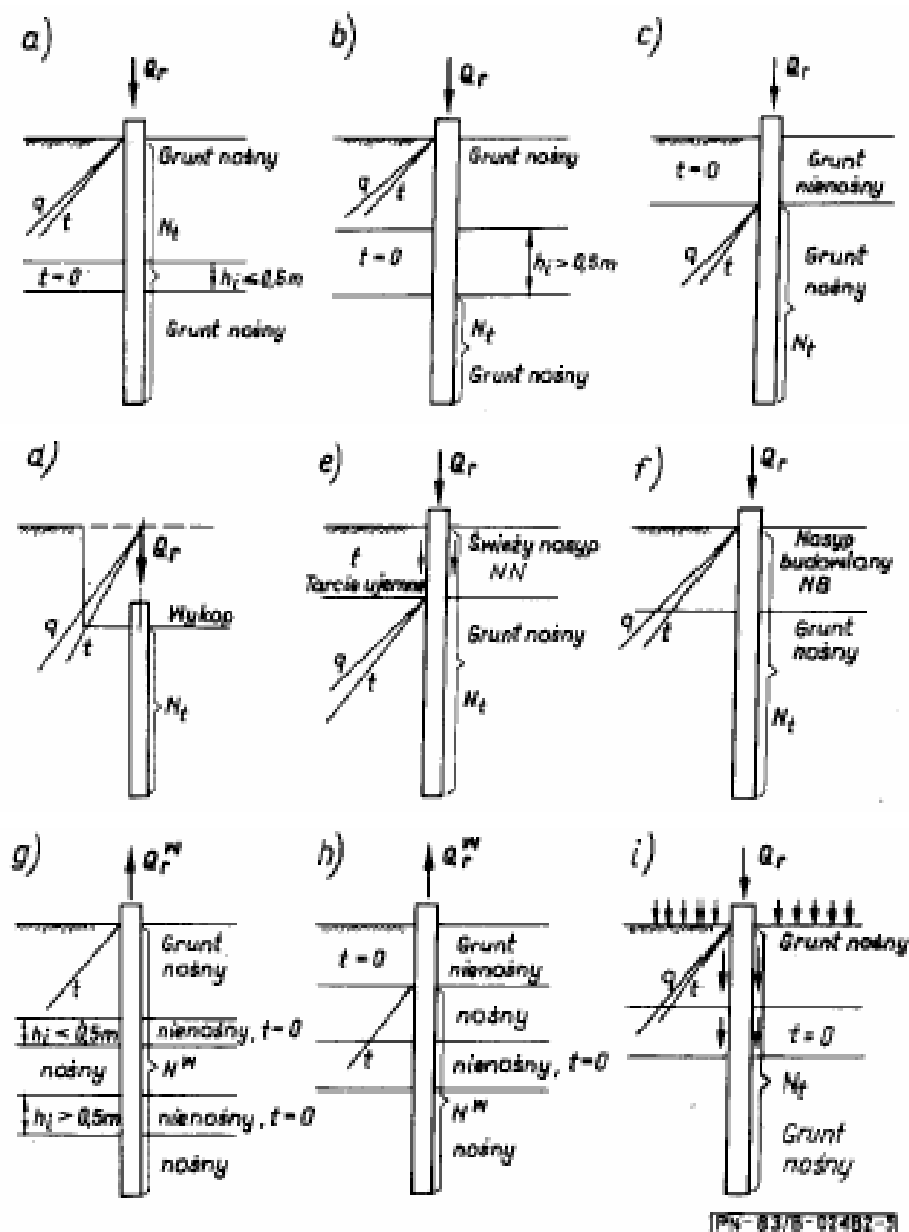
Wartości  $t$  podane w tablicy 2 należy przyjmować dla głębokości 5 m i większej, mierząc od poziomu terenu lub wyznaczonego uprzedni poziomu interpolacji. Na głębokościach mniejszych niż 5 m wartości  $t$  należy wyznaczać przez interpolację między wartościami z tablicy 2 a wartością zero przyjmowaną dla poziomu interpolacji. Wartości  $t$  należy przyjmować bez względu na średnicę pała.

**Tablica 2 Wartości charakterystyczne jednostkowego granicznego oporu gruntu  
 wzdłuż poboczniczy pala  $t$  [kPa]**

| Nazwa gruntu                                                                              | Stopień zagęszczenia            |                              |              |              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------|--------------|
|                                                                                           | $I_D = 1,00$                    | $I_D = 0,67$                 | $I_D = 0,33$ | $I_D = 0,20$ |
| Żwir, pospółka                                                                            | 165                             | 110                          | 74           | 59           |
| Piasek gruby i średni                                                                     | 132                             | 74                           | 47           | 34           |
| Piasek drobny                                                                             | 100                             | 62                           | 31           | 22           |
| Piasek pylasty                                                                            | 75                              | 45                           | 25           | 16           |
|                                                                                           | Stopień plastyczności           |                              |              |              |
|                                                                                           | $I_L < 0, \omega \leq \omega_s$ | $I_L = 0, \omega = \omega_p$ | $I_L = 0,50$ | $I_L = 0,75$ |
| Żwir gliniasty, pospółka gliniasta                                                        | 134                             | 95                           | 67           | 44           |
| Piasek gliniasty, glina piaszcz., glina, glina pylasta                                    | 95                              | 50                           | 31           | 14           |
| Glina piaszcz. zwięzła, glina zwięzła, glina pylasta zwięzła, il piaszcz., il, il pylasty | 95                              | 50                           | 25           | 11           |
| Pył piaszczysty, pył                                                                      | 65                              | 30                           | 16           | 7            |
| Namuły                                                                                    | 48                              | 18                           | 0            | 0            |

### Wartości $q$ i $t$ w szczególnych warunkach gruntowych

W gruntach spoistych w stanie miękkoplastycznym o  $I_L > 0,75$  oraz w torfach i namulach wartości  $q$  i  $t$  (przy tarciu pozytywnym) należy przyjmować równe zero. Wyjątek stanowią namuły w stanie zwartym i półzwartym w odniesieniu do wartości  $t$ . W przypadku przewarstwienia ośrodka gruntowego, w którym jest zagłębiony pał, warstwą lub warstwami gruntu o miąższości większej niż 0,5 m, dla których  $t = 0$ , przy obliczaniu nośności pala znak sumy we wzorze na nośność obejmuje wartości iloczynów  $t_i^{(r)} A_{si}$  odpowiadające jedynie warstwom leżącym pod najniższą warstwą gruntów nienośnych (rys. 4-a,b). Dla takich przypadków wartości  $q$  i  $t$  należy interpolować od pierwotnego poziomu terenu.



Rys. 4. Interpolacja jednostkowych oporów granicznych pod podstawą ( $q$ ) oraz na poboczniczy pała ( $t$ ) dla gruntów uwarstwionych (PN-83/B-024820)

W przypadku występowania gruntów nienośnych od powierzchni terenu lub w postaci przewarstwień ( $h_i > 0,5$  m) oraz gdy warstwy te wywołują tarcie negatywne (ujemne) gruntu (rys. 4-c,e,i) wartości  $q$  i  $t$  można interpolować liniowo od obliczeniowego poziomu terenu, leżącego w poziomie stropu warstwy nośnej.

### **Tarcie negatywne (ujemne) gruntu.**

W obliczaniu nośności pala należy uwzględnić możliwość wystąpienia tarcia negatywnego wywołanego osiadaniem gruntu względem trzonu pala, zmniejszającego całkowitą jego nośność.

Może ono wystąpić w następujących przypadkach:

1. Pal jest wprowadzony w warstwy nośne przez warstwy gruntów nieskonsolidowanych lub luźno usypanych (np. torfy, namuły, grunty spoiste o  $I_L > 0,75$ , grunty niespoiste o  $I_D < 0,2$  i świeże nasypy), które ulegają osiadaniom pod wpływem własnego ciężaru (rys. 5c).
2. Przewidywane jest dodatkowe obciążenie naziomu (rys. 5i) względnie odwodnienie gruntu zalegającego wokół pala.

W pierwszym przypadku należy w drugim członie wzoru na nośność wyrażającym opór poboczniczy przyjmować dla osiadających warstw gruntu ujemną wartość  $t^{(r)}$  wg tabl. 5.

W drugim przypadku, gdy dodatkowemu osiadaniu mogą ulec warstwy gruntu rodzimego mało ściśliwego, wartości tarcia ujemnego w tych warstwach należy przyjmować wg tablicy 2, dla odpowiedniego rodzaju gruntu, wstawiając je do wzoru ze znakiem ujemnym;  $\gamma_m$  należy przyjmować  $\geq 1,1$  określone na podstawie dokumentacji geotechnicznej dla  $I_D$  lub  $I_L$ .

Tak samo należy postępować w odniesieniu do warstwy gruntu, która może osiąść pod wpływem odkształceń niżej leżących warstw ściśliwych.

**Tablica 3 Wartości tarcia negatywnego**

| Lp. | Rodzaj gruntu                                                          | Tarcie ujemne<br>$t^{(r)}$ [kPa] |
|-----|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|
| 1   | Świeże nasypy i piasek ( $I_D \leq 0,2$ )                              | 5÷10                             |
| 2   | Piasek pylasty ( $I_D \leq 0,2$ ), pył piaszczysty ( $I_L \geq 0,75$ ) | 10                               |
| 3   | Piasek gliniasty, glina piaszczysta ( $I_L \geq 0,75$ )                | 5÷10                             |
| 4   | Torf, namuł                                                            | 5÷10                             |

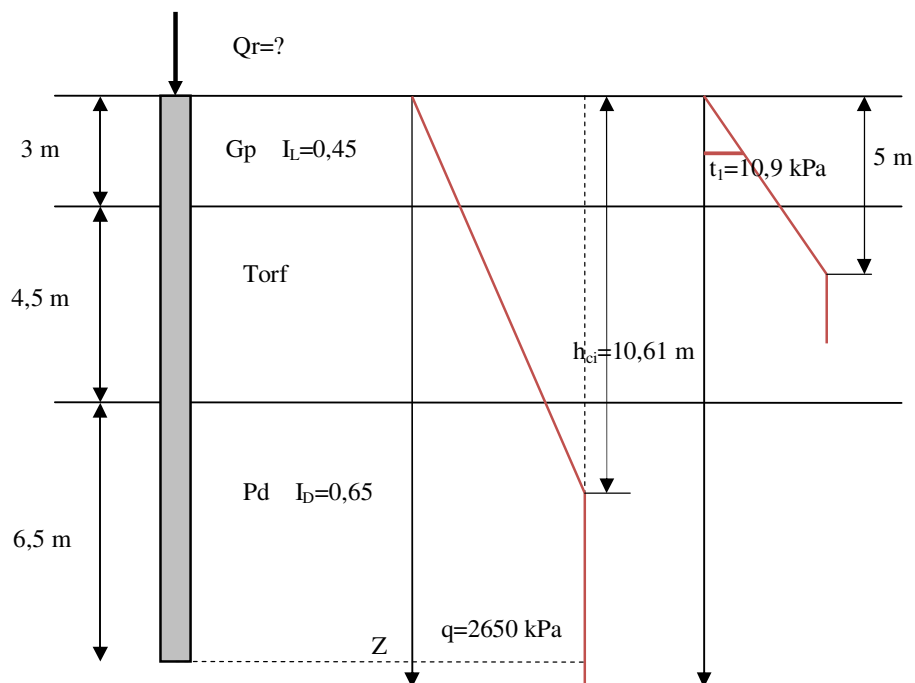
### Przykład obliczeniowy.

Wyznaczyć maksymalną siłę obliczeniową, jaką można obciążyć pal w fundamencie składającym się z 4 pali.

Dane: pal żelbetowy, prefabrykowany, wbijany o przekroju kwadratowym 450×450 mm i długości 14 m. Powierzchnia terenu wokół pala może być obciążona (należy uwzględnić tarcie negatywne).

| Przelot [m]  | Rodzaj gruntu | Metoda B                      |              |                                |                |                   |
|--------------|---------------|-------------------------------|--------------|--------------------------------|----------------|-------------------|
|              |               | $\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ] | Stan gruntu  | $\gamma'$ [kN/m <sup>3</sup> ] | $\phi_u^{(n)}$ | $c_u^{(n)}$ [kPa] |
| 0.0 – -3.00  | Gp            | 18.5                          | $I_L = 0,45$ | 11.2                           | 11             | 10                |
| -3.0 – -7.5  | Torf          | 10.0                          | -            | 3.5                            | 15             | 5                 |
| -7.5 – -25.0 | Pd            | 17.0                          | $I_D = 0,65$ | 9.5                            | 32             | -                 |

ZWG = -2,5 m ppt (zwierciadło wody gruntowej)



Poziom interpolacji dla wyznaczenia  $q$  i  $t$  przyjmuje się zgodnie ze schematem i) rys. 5 PN-83/B-024820, czyli w poziomie terenu. Pamiętajmy przy tym, że istnieją nieco zmodyfikowane schematy z uwzględnieniem tzw. wysokości zastępczej, opisane w dalszej części.

### Wyznaczenie oporu podstawy pała $q$ oraz nośności podstawy

Pale zakończono w warstwie piasków drobnych:  $P_d, I_D = 0,65$ ;

według tablicy 1 PN-83/B-024820:  $q = 2650 \text{ kPa}$  (na głębokości krytycznej  $h_c = 10 \text{ m}$  i dla średnicy podstawy  $D_0 = 0,4 \text{ m}$ )

$$\text{Dla } D_i = 0,45 \text{ m} \rightarrow h_{ci} = 10 \sqrt{\frac{0,45}{0,4}} = 10,61 \text{ m}$$

Podstawa pała znajduje się poniżej głębokości krytycznej ( $h=14 \text{ m} < h_{ci}$ ), więc na poziomie podstaw pali:  $q = 2650 \text{ kPa}$

$$q^{(r)} = q \times \gamma_m = 2650 \times 0,9 = 2385 \text{ kPa}$$

#### Nośność podstawy:

$$N_P = S_P \times q^{(r)} \times A_P = 1,1 \times 2385 \times 0,45^2 = 531,3 \text{ kN}$$

### Wyznaczenie oporów pobocznic pała $t$ oraz nośności pobocznic z uwzględnieniem tarcia negatywnego

Warstwa I:  $G_p, I_L = 0,45$ ;  $h_1 = 3,0 \text{ m}$

Tarcie negatywne

$$\text{dla } I_L = 0,00 \rightarrow t = - 50 \text{ kPa}$$

$$\text{dla } I_L = 0,50 \rightarrow t = - 31 \text{ kPa}$$

$$\text{dla } I_L = 0,45 \rightarrow t = - [50 - (50-31) \times 0,45/0,50] = - 33 \text{ kPa (na głębokości } 5 \text{ m, licząc od poziomu terenu)}$$

Nas interesuje średni opór w obrębie warstwy I, czyli opór w połowie warstwy, tzn. na głębokości  $z = 0,5 \times 3,0 = 1,5 \text{ m} \Rightarrow t_1 = 33 \times 1,5/5 = -9,9 \text{ kPa}$

$$t_1^{(r)} = t_1 \times \gamma_m = -9,9 \times 1,1 = -10,9 \text{ kPa}$$

Warstwa II:  $T, h_2 = 4,50 \text{ m}$

Tarcie negatywne

$$t_2^{(r)} = - 10,0 \text{ kPa (wartość odczytana z tablicy 3 PN-83/B-024820)}$$

Warstwa III:  $P_d, I_D = 0,65$ ;  $h_3 = 6,5 \text{ m}$

$$\text{dla } I_D = 0,67 \rightarrow t = 62 \text{ kPa}$$

$$\text{dla } I_D = 0,33 \rightarrow t = 31 \text{ kPa}$$

$$\text{dla } I_D = 0,65 \rightarrow t = 62 - (62-31) \times (0,67-0,65)/(0,67-0,33) = 60,2 \text{ kPa (na głębokości } 5 \text{ m, licząc od poziomu terenu)}$$

$t_3 = 60,2 \text{ kPa}$  dla całej warstwy ponieważ warstwa III zalega poniżej 5 m od poziomu interpolacji oporu t.

$$t_3^{(r)} = t_3 \times \gamma_m = 60,2 \times 0,9 = 54,2 \text{ kPa}$$

**Nośność poboczniczy:**

$$N_S = \Sigma[S_{Si} \times t_i^{(r)} \times A_{Si}] = S_{S1} \times t_1^{(r)} \times A_{S1} + S_{S2} \times t_2^{(r)} \times A_{S2} + S_{S3} \times t_3^{(r)} \times A_{S3}$$

$$= 4 \times 0,45 \times [S_{S1} \times t_1^{(r)} \times h_1 + S_{S2} \times t_2^{(r)} \times h_2 + S_{S3} \times t_3^{(r)} \times h_3] =$$

$$= 1,8 \times [0,9 \times (-10,9) \times 3,0 + 0,9 \times (-10,0) \times 4,50 + 1,1 \times 54,2 \times 6,5] = 571,7 \text{ kN}$$

w tym tarcie negatywne  $T_n = 125,9 \text{ kN}$

**Całkowita nośność na wciskanie:**

$$N_t = N_S + N_P = 571,7 + 531,3 = 1103,0 \text{ kN}$$

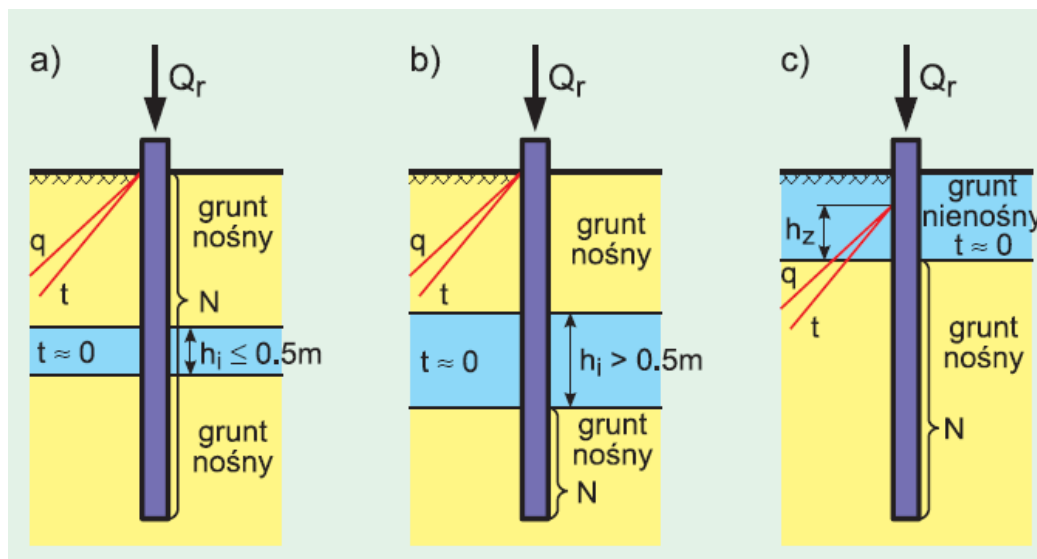
**Warunek nośności dla pala pojedynczego:**  $Q_r \leq 0,9 \times 1103,0 = 992,7 \text{ kN}$

### Obliczenia nośności pali wciskanych wg PN-83/B-02482

#### Przykład

|                   |                          | rodzaj pali: pale żelbetowe, prefabrykowane, wbijane |                    |                   |                                                            |                                                                 |              |                    |                   |                                                                            |                             |                           |                       |                          |
|-------------------|--------------------------|------------------------------------------------------|--------------------|-------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------|--------------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------|--------------------------|
|                   |                          | długość boku D = 0.45 [m]                            |                    |                   |                                                            |                                                                 |              |                    |                   |                                                                            |                             |                           |                       |                          |
|                   |                          | zwiększenie podstawy = 1.0                           |                    |                   |                                                            |                                                                 |              |                    |                   |                                                                            |                             |                           |                       |                          |
| Rzędna<br>[m ppt] | warstwa<br>geotechniczna | Nośność podstawy ( $A_p = 0.2025 \text{ m}^2$ )      |                    |                   |                                                            | Nośność poboczniczy ( $A_s (1\text{mb}) = 1.8000 \text{ m}^2$ ) |              |                    |                   |                                                                            |                             | Nośność pala pojedynczego |                       | Długość<br>pala L<br>[m] |
|                   |                          | $S_p$<br>[-]                                         | $q^{(n)}$<br>[kPa] | $\gamma_m$<br>[-] | $N_p = S_p \cdot A_p \cdot q^{(n)} \cdot \gamma_m$<br>[kN] | $S_{si}$<br>[-]                                                 | $h_i$<br>[m] | $t^{(n)}$<br>[kPa] | $\gamma_m$<br>[-] | $N_s = S_{si} \cdot A_{si} \cdot h_i \cdot t^{(n)} \cdot \gamma_m$<br>[kN] | $N_s = \sum N_{si}$<br>[kN] | $N_t = N_p + N_s$<br>[kN] | $m \cdot N_t$<br>[kN] |                          |
| 0.00              | poz. posad.              |                                                      |                    |                   |                                                            |                                                                 |              |                    |                   |                                                                            |                             |                           |                       |                          |
| 3.00              | Gp                       |                                                      |                    |                   |                                                            | 0.9                                                             | 3.00         | -9.9               | 1.1               | -52.93                                                                     | -52.93                      | -52.93                    | -48                   | 3.00                     |
| 7.50              | T                        |                                                      |                    |                   |                                                            | 0.9                                                             | 4.50         | -10.0              | 1.0               | -72.90                                                                     | -125.83                     | -125.83                   | -113                  | 7.50                     |
| 8.00              | Pd                       | 1.1                                                  | 1998               | 0.9               | 400.55                                                     | 1.1                                                             | 0.50         | 60.2               | 0.9               | 53.64                                                                      | -72.19                      | 328.36                    | 296                   | 8.00                     |
| 8.50              | Pd                       | 1.1                                                  | 2123               | 0.9               | 425.61                                                     | 1.1                                                             | 0.50         | 60.2               | 0.9               | 53.64                                                                      | -18.55                      | 407.06                    | 366                   | 8.50                     |
| 9.00              | Pd                       | 1.1                                                  | 2248               | 0.9               | 450.67                                                     | 1.1                                                             | 0.50         | 60.2               | 0.9               | 53.64                                                                      | 35.09                       | 485.76                    | 437                   | 9.00                     |
| 9.50              | Pd                       | 1.1                                                  | 2373               | 0.9               | 475.73                                                     | 1.1                                                             | 0.50         | 60.2               | 0.9               | 53.64                                                                      | 88.73                       | 564.45                    | 508                   | 9.50                     |
| 10.00             | Pd                       | 1.1                                                  | 2498               | 0.9               | 500.79                                                     | 1.1                                                             | 0.50         | 60.2               | 0.9               | 53.64                                                                      | 142.37                      | 643.15                    | 579                   | 10.00                    |
| 10.50             | Pd                       | 1.1                                                  | 2623               | 0.9               | 525.85                                                     | 1.1                                                             | 0.50         | 60.2               | 0.9               | 53.64                                                                      | 196.00                      | 721.85                    | 650                   | 10.50                    |
| 11.00             | Pd                       | 1.1                                                  | 2650               | 0.9               | 531.26                                                     | 1.1                                                             | 0.50         | 60.2               | 0.9               | 53.64                                                                      | 249.64                      | 780.90                    | 703                   | 11.00                    |
| 11.50             | Pd                       | 1.1                                                  | 2650               | 0.9               | 531.26                                                     | 1.1                                                             | 0.50         | 60.2               | 0.9               | 53.64                                                                      | 303.28                      | 834.54                    | 751                   | 11.50                    |
| 12.00             | Pd                       | 1.1                                                  | 2650               | 0.9               | 531.26                                                     | 1.1                                                             | 0.50         | 60.2               | 0.9               | 53.64                                                                      | 356.92                      | 888.18                    | 799                   | 12.00                    |
| 12.50             | Pd                       | 1.1                                                  | 2650               | 0.9               | 531.26                                                     | 1.1                                                             | 0.50         | 60.2               | 0.9               | 53.64                                                                      | 410.56                      | 941.82                    | 848                   | 12.50                    |
| 13.00             | Pd                       | 1.1                                                  | 2650               | 0.9               | 531.26                                                     | 1.1                                                             | 0.50         | 60.2               | 0.9               | 53.64                                                                      | 464.19                      | 995.45                    | 896                   | 13.00                    |
| 13.50             | Pd                       | 1.1                                                  | 2650               | 0.9               | 531.26                                                     | 1.1                                                             | 0.50         | 60.2               | 0.9               | 53.64                                                                      | 517.83                      | 1049.09                   | 944                   | 13.50                    |
| 14.00             | Pd                       | 1.1                                                  | 2650               | 0.9               | 531.26                                                     | 1.1                                                             | 0.50         | 60.2               | 0.9               | 53.64                                                                      | 571.47                      | 1102.73                   | 992                   | 14.00                    |

Zgodnie z powszechnie uznawanym Komentarzem do normy PN-83/B-02482, autorstwa M. Kosseckiego (PZliTB, Szczecin 1985) w przypadku występowania gruntów nienośnych od powierzchni terenu lub w postaci przewarstwień ( $h_i > 0,5$  m) oraz gdy warstwy te wywołują tarcie negatywne (ujemne) gruntu (rys. 5c,e,i) wartości  $q$  i  $t$  należy interpolować liniowo od obliczeniowego poziomu terenu, leżącego w poziomie stropu warstwy zastępczej.



Rys. 5 Interpolacja jednostkowych oporów granicznych pod podstawą ( $q$ ) oraz na poboczniczy pała ( $t$ ) dla gruntów uwarstwionych ([www.pg.gda.pl/~tbrzo](http://www.pg.gda.pl/~tbrzo))

**Mięszczość warstwy zastępczej** leżącej powyżej warstwy nośnej określa się następująco:

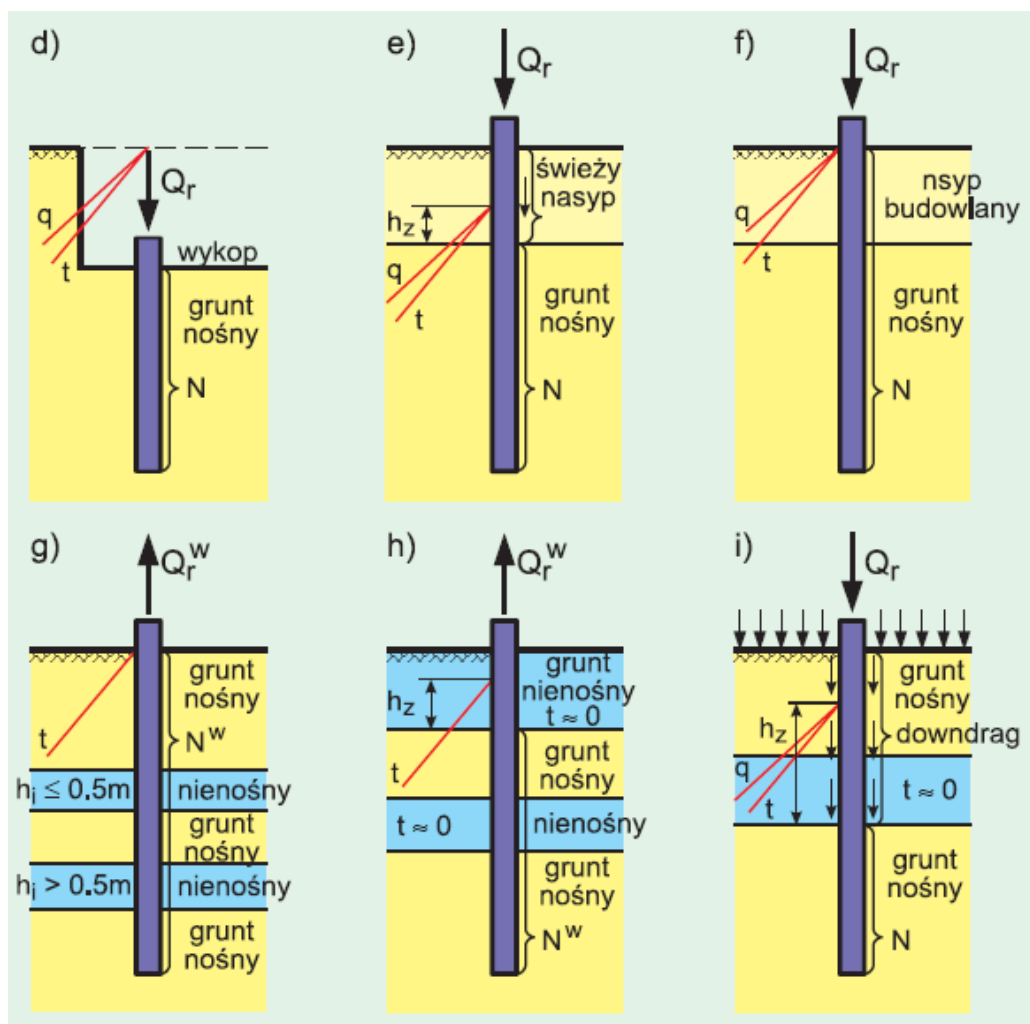
$$h_z = 0,65 \frac{\sum \gamma'_i h_i}{\gamma'}$$

gdzie:

$\gamma'$  – wartość charakterystyczna ciężaru objętościowego gruntu nośnego z uwzględnieniem wyporu wody,

$\gamma'_i$  – wartości charakterystyczne ciężarów objętościowych gruntów z uwzględnieniem wyporu wody w warstwach zalegających powyżej stropu gruntu nośnego,

$h_i$  – mięszczość poszczególnych warstw gruntów zalegających powyżej stropu gruntu nośnego



Rys. 5-c.d. Interpolacja jednostkowych oporów granicznych pod podstawą ( $q$ ) oraz na pobocznicę pała ( $t$ ) dla gruntów uwarstwionych ([www.pg.gda.pl/~tbrzo](http://www.pg.gda.pl/~tbrzo))

Jeżeli powyżej poziomu pierwotnego wykonano nasyp budowlany (NB) zgodnie z PN-86/B-02480, wartości  $q$  i  $t$  należy interpolować od stropu nasypu budowlanego (rys. 5f).

Przy obliczaniu nośności pała wyciąganego należy uwzględnić opór pobocznic również w warstwach leżących powyżej warstw nienośnych (rys. 5g,h).

Wartości  $q$  podane w tablicy 1 dla gruntów luźnych i miękkoplastycznych mają zastosowanie, gdy cały pał jest pograżony w takich gruntach. Jeśli grunty są uwarstwione, należy wykluczyć opieranie podstawy pała o warstwy wymienionych gruntów.