

Jan Ziaja*, Rafał Wiśniowski**

**ANALIZA ZJAWISK ZACHODZĄCYCH
PODCZAS ZAGĘSZCZANIA STREFY PRZYOTWOROWEJ
W TRAKCIE ROZPYCHANIA GRUNTÓW LUŻNYCH
NARZĘDZIAMI POSZERZAJĄCYMI****

1. WSTĘP

Wiercenie otworów horyzontalnych wymaga korelacji pomiędzy zwiercaniem gruntu a jego zagęszczeniem. Wynika to ze stabilizacji ściany otworu horyzontalnego z jednej strony oraz minimalizacji oddziaływania przewiertu na nadległe warstwy. Zjawiska zachodzące w gruncie są bardzo skomplikowane. Dochodzi tam do oddziaływania płuczki wiertniczej oraz narzędzia wierzącego przenoszącego na grunt zarówno moment obrotowy, jak i siłę posuwu wzdłuż osi otworu. Należy przy tym uwzględnić zjawiska związane z oddziaływaniem wód gruntowych oraz ciśnienia geostatycznego [3–6].

**2. ZJAWISKA ZACHODZĄCE W GRUNCIE
PODCZAS ROZWIERCANIA OTWORU HORYZONTALNEGO**

Na skutek przeciskania narzędzi wierzących podczas wiercenia otworu horyzontalnego następuje zagęszczenie gruntu wokół przewiertu (rys. 1). Część gruntu jest zwiercana, a część wciskana w ścianę otworu.

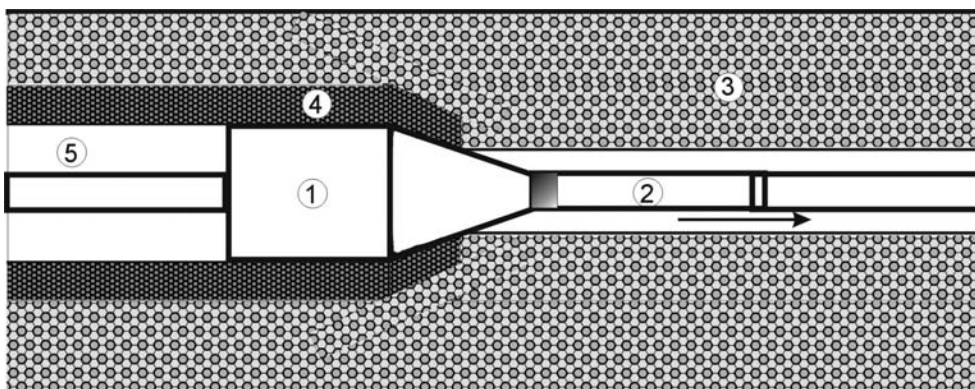
Stopień oraz promień strefy zagęszczenia uzależniony jest od wielu czynników zarówno naturalnych, technologicznych, jak i technicznych. Należą do nich między innymi:

- czynniki naturalne – rodzaj oraz parametry strukturalne przewiercanego gruntu:
 - spoistość gruntu,
 - wielkość i jednorodność ziaren,

* Wydział Wiertnictwa, Nafty i Gazu AGH, Kraków

** Praca powstała w ramach badań statutowych realizowanych w Zakładzie Wiertnictwa i Geoinżynierii WWNiG AGH

- wielkość sił tarcia między ziarnami,
 - wskaźnik porowatości gruntu (wskaźnik porowatości początkowej e_0 i krytyczne e_{kr}),
 - występowanie wód gruntowych,
 - parametry wytrzymałościowe oraz ciśnienie geostatyczne nadkładu,
 - wartość ciśnienia płynów wypełniających grunt;
- czynniki technologiczne – parametry technologiczne wiercenia:
- siła pchania/uciągu w korelacji z prędkością wiercenia,
 - ciśnienie oraz strumień objętości tłoczenia płuczki,
 - właściwości fizyczne i parametry reologiczne płuczki wiertniczej;
- czynniki techniczne – rodzaj i konstrukcja narzędzia wierzącego:
- świder,
 - poszerzacz.

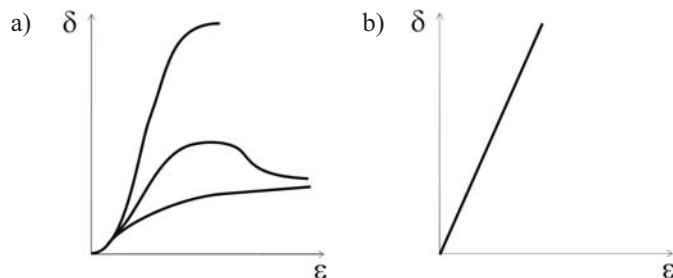


Rys. 1. Schemat zagęszczania gruntu wokół poszerzacza: 1 – poszerzacz, 2 – żerdzie wiertnicze, 3 – przewierczony grunt luźny, 4 – grunt zagęszczony po poszerzaniu, 5 – otwór wiertniczy

3. ZASTOSOWANIE TEORII SPRĘŻYSTOŚCI DO GRUNTÓW

Podstawowe znaczenie przy rozwiązywaniu zagadnień mechaniki gruntów ma związek między stanem naprężenia a stanem odkształcenia. Decyduje on o przyjęciu odpowiedniej teorii obliczeniowej, doborze parametrów wytrzymałościowych oraz kryterium wytrzymałościowego. Zależność między stanem naprężeń a stanem odkształcenia gruntów stanowi bardzo skomplikowane i złożone zagadnienie, które może być rozwiązane jedynie w sposób przybliżony [1, 2].

Wykres zależności między naprężeniem i odkształceniem dla gruntu ma przebieg krzywoliniowy (rys. 2). Kształt tej krzywej zależy od wielu czynników takich, jak: rodzaj gruntu, jego stan, zagęszczenie, wilgotność, czas, a nawet historia poprzedniego odkształcenia czy metoda badań. Odkształcenie gruntów składa się zawsze z odkształceń sprężystych oraz odkształceń trwałych.



Rys. 2. Zależność między naprężeniem i odkształceniem: a) dla gruntów; b) dla ciała doskonale sprężystego [1]

4. OBLICZANIE WARTOŚCI PRZEMIESZCZEŃ W GRUNCIE PRZY ZASTOSOWANIU TEORII SPRĘŻYSTOŚCI

Obliczając naprężenia powstające w gruncie przy stosowaniu teorii sprężystości należy policzyć wartość odkształceń. Według teorii S. Timoshenki i J. Goodiera dla siły skupionej, wartość przemieszczenia pionowego w , dla dowolnego punktu oddalonego o a od punktu zaczepienia siły, wynosi [1]

$$w = \frac{P}{2\pi r} \cdot \frac{(1+\mu)}{E} [2(1-\mu) + \cos^2 \beta] \sin \beta \quad (1)$$

natomiast wartość przemieszczenia poziomego [1]

$$u = \frac{P}{2\pi r} \cdot \frac{(1+\mu)}{E} [-(1-2\mu) + \cos \beta + \cos^2 \beta] \sin \beta \cdot \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \quad (2)$$

Na rysunku 3 przedstawiono analizę rozkładu sił spowodowanych równomiernym obciążeniem półprzestrzeni sprężystej, rozmieszczonej na powierzchni poszerzacza w kształcie stożka ściętego o promieniach R i r .

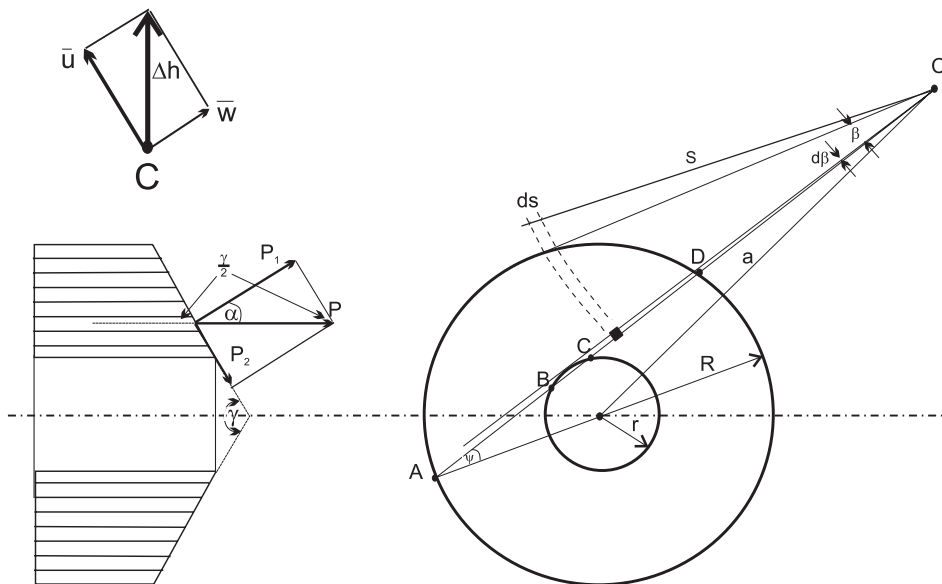
Obciążenia w punkcie C w odległości a od środka pierścienia można obliczyć następująco:

Na powierzchni obciążonego pierścienia wydzielono mały element ograniczony dwoma łukami o środku w punkcie C i o promieniu s i $s+ds$ oraz dwoma promieniami tworzącymi kąt $d\beta$. Obciążenie przypadające na ten punkt jest równe

$$\Delta \delta = p \cdot s \cdot d\beta \cdot ds \quad (3)$$

a jednostkowe elementarne przemieszczenie gruntu w punkcie C wynosi

$$\frac{(1-\mu^2) \cdot p_1}{\pi \cdot E} d\beta ds \quad (4)$$



Rys. 3. Rozkład sił w gruncie podczas poszerzania otworu oraz przemieszczeń w punkcie C

Natomiast całkowite przemieszczenie gruntu, wzdłuż kierunku działania siły P_1 w punkcie C, otrzymamy sumując wpływy pochodzące od elementów powierzchni

$$w = \frac{(1-\mu^2) \cdot p_1}{\pi \cdot E} \iint d\beta ds \quad (5)$$

Całkując względem s i uwzględniając długość cięciw

$$AD = 2\sqrt{R^2 - a^2 \sin^2 \beta} \quad (6)$$

oraz

$$BC = 2\sqrt{r^2 - a^2 \sin^2 \beta} \quad (7)$$

otrzymamy

$$w = \frac{4(1-\mu^2)}{\pi \cdot E} \cdot \frac{P_1}{\pi R^2} \int_0^{\beta_1} \sqrt{R^2 - a^2 \sin^2 \beta} d\beta - \frac{4(1-\mu^2)}{\pi \cdot E} \cdot \frac{P_1}{\pi R^2} \int_0^{\beta_1} \sqrt{r^2 - a^2 \sin^2 \beta} d\beta \quad (8)$$

po przekształceniu

$$w = \frac{4(1-\mu^2)}{\pi \cdot E} \cdot \frac{P_1}{\pi(R^2 - r^2)} \left(\int_0^{\beta_1} \sqrt{R^2 - a^2 \sin^2 \beta} d\beta - \int_0^{\beta_1} \sqrt{r^2 - a^2 \sin^2 \beta} d\beta \right) \quad (9)$$

Wartość składowej P_1 siły ciągu P , z jaką działamy na poszerzacz, można określić w postaci

$$P_1 = P \cdot \sin \frac{\gamma}{2} \quad (10)$$

Wstawiając [10] do równania [9], otrzymujemy

$$w = \frac{4(1-\mu^2)}{\pi^2 \cdot E} \cdot \frac{P \cdot \sin \frac{\gamma}{2}}{(R^2 - r^2)} \cdot \left\{ \int_0^{\beta_1} \left(\sqrt{R^2 - a^2 \sin^2 \beta} - \sqrt{r^2 - a^2 \sin^2 \beta} \right) d\beta \right\} \quad (11)$$

Jeśli uwzględnimy kąt ψ w postaci $R \sin \beta = a \sin \psi$, dla którego łatwiej jest określić granice całkowania (kąt ψ zmienia się od 0 do 90°), równanie (11) będzie można zapisać w postaci

$$w = \frac{4(1-\mu^2)}{\pi^2 \cdot E} \cdot \frac{P \cdot \sin \frac{\gamma}{2}}{(R^2 - r^2)} \cdot \left\{ \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left(\frac{R^2 \cdot \cos^2 \psi}{a \sqrt{1 - \frac{R^2}{a^2} \sin^2 \psi}} - \frac{r^2 \cdot \cos^2 \psi}{a \sqrt{1 - \frac{r^2}{a^2} \sin^2 \psi}} \right) d\psi \right\} \quad (12)$$

Analogicznie wartość przemieszczenia gruntu u , w kierunku prostopadłym do działania siły P_1 , można zapisać w postaci

$$u = \frac{(2\mu^2 + \mu - 1)}{\pi^2 \cdot E} \cdot \frac{P \cdot \sin \frac{\gamma}{2}}{(R^2 - r^2)} \cdot \left\{ \int_0^{\frac{\pi}{2}} \left(\frac{R^2 \cdot \cos^2 \psi}{a \sqrt{1 - \frac{R^2}{a^2} \sin^2 \psi}} - \frac{r^2 \cdot \cos^2 \psi}{a \sqrt{1 - \frac{r^2}{a^2} \sin^2 \psi}} \right) d\psi \right\} \quad (13)$$

Wartość wypadkowego przemieszczenia gruntu Δh w punkcie C można określić w postaci

$$\Delta h = \sqrt{w^2 + u^2} \quad (14)$$

Niestety całek z równań (12) i (13) nie da się dla ogólnego przypadku wyrazić za pomocą funkcji elementarnych. Możliwe jest jedynie rozwiązanie ich w postaci numerycznej.

5. WNIOSKI

Proces zagęszczania gruntu wokół narzędzia wierzącego jest zjawiskiem bardzo skomplikowanym i możliwe jest tylko przybliżone rozwiązanie tego procesu. Wyniki uzyskane zależą bowiem nie tylko od doboru kryterium wytrzymałościowego, ale także od metody badań pobranych próbek gruntu.

Opisana metodyka obliczania przemieszczania się gruntów wokół przewiertu wymaga wykonania obliczeń numerycznych i weryfikacji ich z danymi terenowymi.

SPIS OZNACZEŃ

- μ – liczba Poissona [–]
- E – moduł Younga [Pa]
- P – siła uciągu [N]
- P_1 – składowa siły uciągu P , prostopadła do powierzchni ostrza poszerzacza [N]
- P_2 – składowa siły uciągu P [N]
- p_1 – obciążenie składowej wartość siły P [Pa]
- β – kąt zawarty między styczną do średnicy zewnętrznej poszerzacza a jego osią podłużną [°]
- w – przemieszczenie pionowe w punkcie C [m]
- u – przemieszczenie poziome w punkcie C [m]
- Δh – wartość wypadkowa przemieszczenia w punkcie C [m]
- γ – kąt kształtu czoła narzędzia wierzącego [°]

LITERATURA

- [1] Glazer Z.: *Mechanika gruntów*. Warszawa, Wydawnictwa Geologiczne 1985
- [2] Majcherczyk T.: *Badanie fizycznych właściwości skał*. Kraków, Wyd. AGH 1989
- [3] Wiśniowski R., Stryczek S., Ziaja J.: *Wybrane aspekty projektowania i wykonywania horyzontalnych przewiertów sterowanych HDD*. Zeszyty Naukowe Politechniki Świętokrzyskiej Zeszyt Budownictwo, III Ogólnopolska Konferencja Naukowo-Techniczna „Nowe materiały i urządzenia w wodociągach i kanalizacji”, Kielce 2003
- [4] Ziaja J.: *Wybrane zagadnienia z mechaniki zwiercania skał*. Nowoczesne Techniki i Technologie Bezwykopowe, nr 1, 1999
- [5] Ziaja J.: *Podział oraz wybrane strukturalne właściwości skał i gruntów*. Nowoczesne Techniki i Technologie Bezwykopowe, nr 3, 1999
- [6] Ziaja J., Wiśniowski R.: *Analysis of horizontal directional drilling development in Poland*. Materiały XI Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Technicznej, Podbanské, Słowacja, 29–31 października 2002