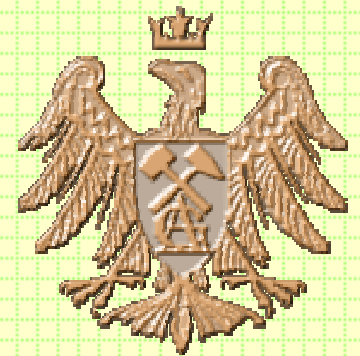


# *Ścianki szczelne*



W prezentacji tej obszernie korzystałem z materiałów dokumentacyjnych zebranych przez **mgra inż. Sebastiana Olesiaka**, za co mu jeszcze raz tą drogą składam podziękowanie.

# Ścianki szczelne

Ścianki szczelne to lekkie konstrukcje oporowe złożone z podłużnych elementów drewnianych, stalowych, żelbetowych lub PVC zagłębianych w grunt ściśle jeden obok drugiego, tak by całość stanowiła szczelną płytę obciążoną siłami poziomymi niekiedy również siłami pionowymi



# Ścianki szczelne

*Ścianki szczelne stanowią zasadniczy element konstrukcyjny w następujących rodzajach budowli:*

- w budowlach oporowych (nabrzeża portowe, umocnienia brzegowe, przyczółki mostowe, ściany oporowe itp.),
- w budowlach piętrzących, w których ścianka szczelna stanowi przepone uniemożliwiającą lub zapobiegającą przenikaniu wody z górnego poziomu do dolnego przez podłoże budowli,
- w fundamentach niższych budowli, w których ścianka szczelna stanowi bardzo często istotny element zapobiegający wypłukiwaniu gruntu spod podstawy fundamentu.

# **Podział i rodzaje ścianek szczelnych**

## **1. Drewniane**

Stosowane bardzo rzadko i tylko jako konstrukcje tymczasowe, dla podrzędnych budowli w przypadkach gdy agresywność środowiska wyklucza stosowanie innych materiałów.

## **2. Stalowe**

Ścianki o najszerszym zastosowaniu, zarówno jako konstrukcje tymczasowe i stałe. Brusy stalowe mogą być wykorzystywane wielokrotnie. Stosowane we wszelkich rodzajach gruntów. Szczelność zależna od konstrukcji zamka.

## **3. Żelbetowe**

Wykonywane jako pale prefabrykowane żelbetowe lub sprężone o przekroju prostokątnym wprowadzane w grunt za pomocą kafarów, szczelność uzyskana poprzez odpowiednią konstrukcję połączenia pala z palem lub wykonywane jako grupy pali wierconych z zachowaniem odpowiedniej szczelności na styku pali sąsiadujących ze sobą



# Podział i rodzaje ścianek szczelnych

## 4. Z tworzyw sztucznych

Ścianki te posiadają dużą odporność na czynniki korozyjne i atmosferyczne, są lekkie, bezpieczne dla środowiska, elastyczne (co zwiększa ich odporność na uderzenia udarowe np. podczas cumowania statków) i estetyczne dzięki dowolnej, trwałej kolorystyce



# Zastosowanie ścianek szczelnych

1. W budowlach oporowych, gdy ścianka utrzymuje grunt naziomu



# Zastosowanie ścianek szczelnych

2. W budowlach piętrzących, w których ścianka szczelna stanowi przeponeę zapobiegającą przenikaniu wody



# Zastosowanie ścianek szczelnych



3. W budowlach miejskich, w których ścianka szczelna stanowi istotny element oporowy zapobiegający wypłukiwaniu gruntu spod fundamentu przeciwstawiając się utracie przez niego stateczności



# Zastosowanie ścianek szczelnych

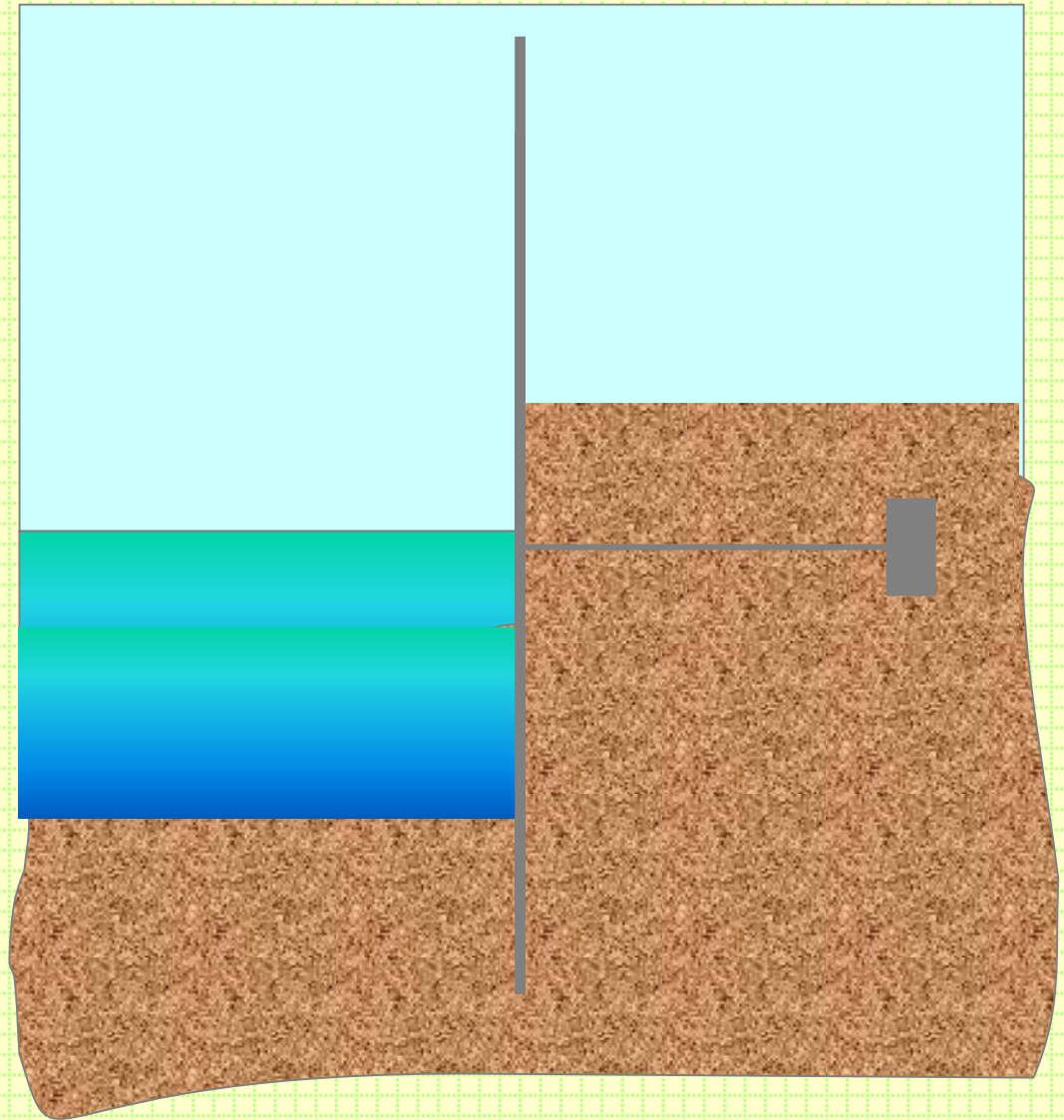
4. W konstrukcjach spełniających funkcje ochronne (np. falochrony)



5. W konstrukcjach przyczółków mostowych

# Wykonywanie ścianek szczelnych

- Wprowadzanie grodzi w grunt
- Zakładanie bloku kotwiącego
- Kotwienie
- Niwelowanie terenu za ścianą oraz wybranie gruntu sprzed ściany



# Elementy ścianek szczelnych



▶ brusy (grodzie) stalowe

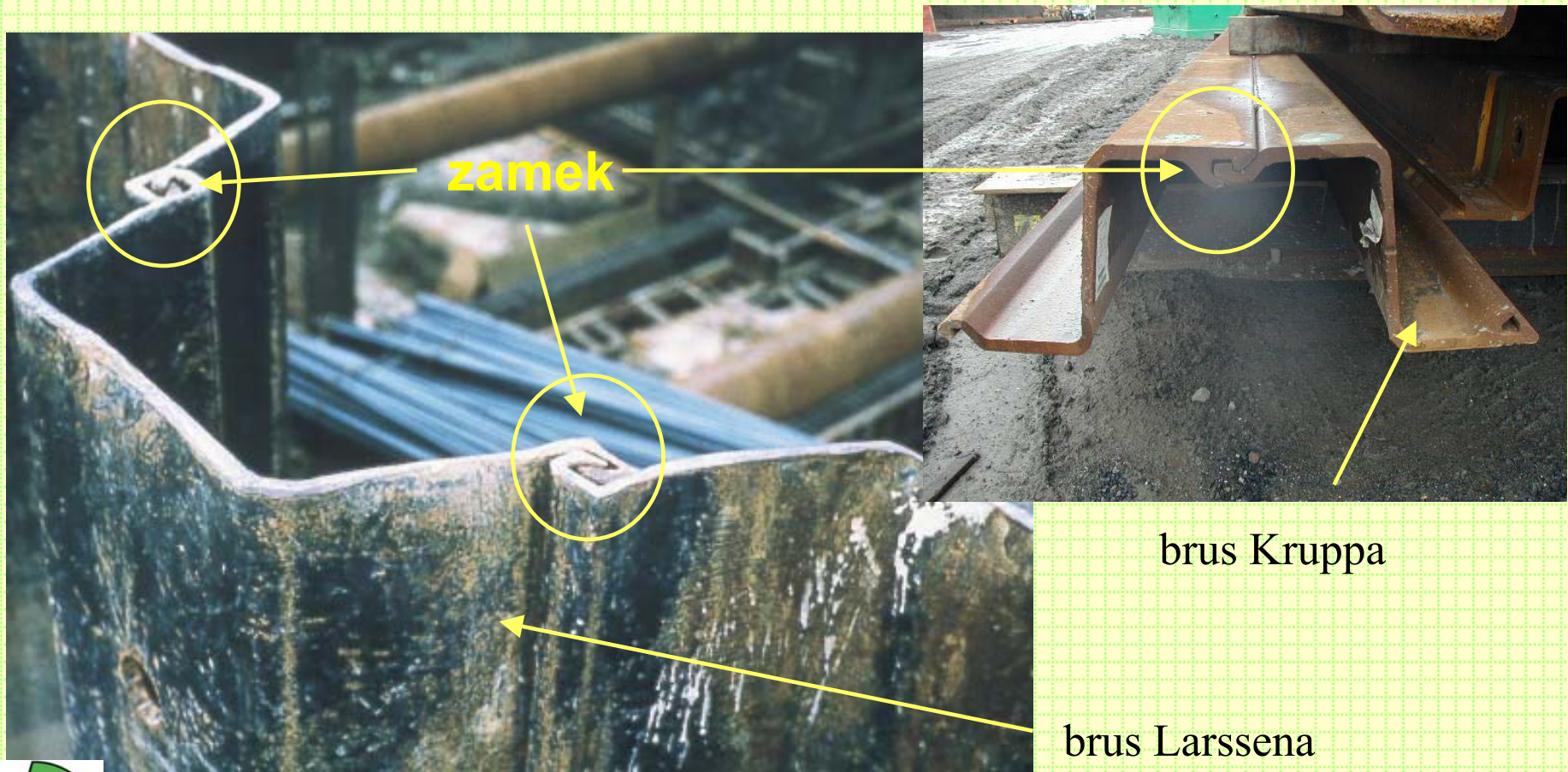
▶ przekładki usztywniające

▶ kleszcze

▶ śruby spinające

# Elementy ścianek szczelnych

Stalowe ścianki szczelne wykonywane są z szerokiej gamy profili stalowych: płaskich, korytkowych, skrzydełkowych i zetowych zakończonych zamkami gwarantującymi odpowiednią szczelność oraz łatwość montażu i demontażu



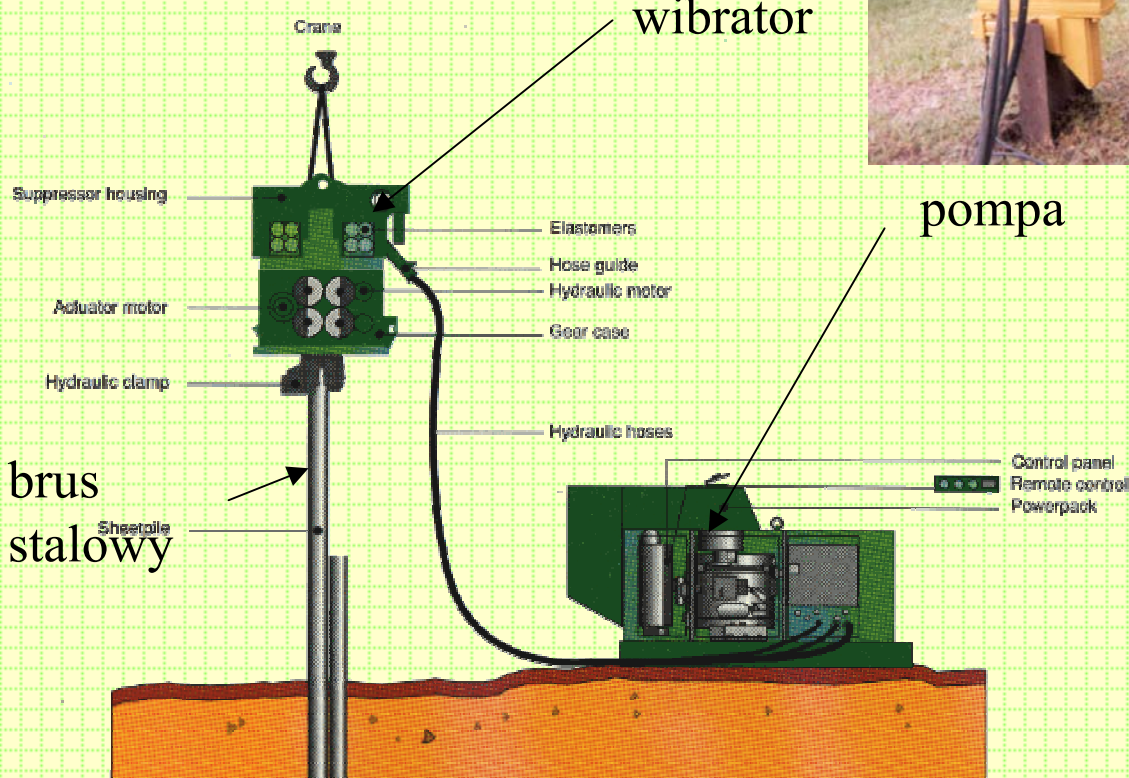
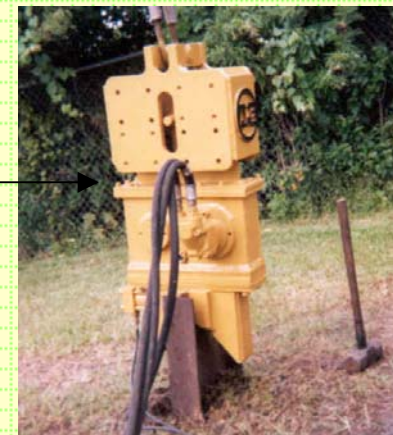
# Sposoby wprowadzania ścianek w grunt

Dynamiczne - poprzez użycie wibratorów hydraulicznych



30 t

250 kg



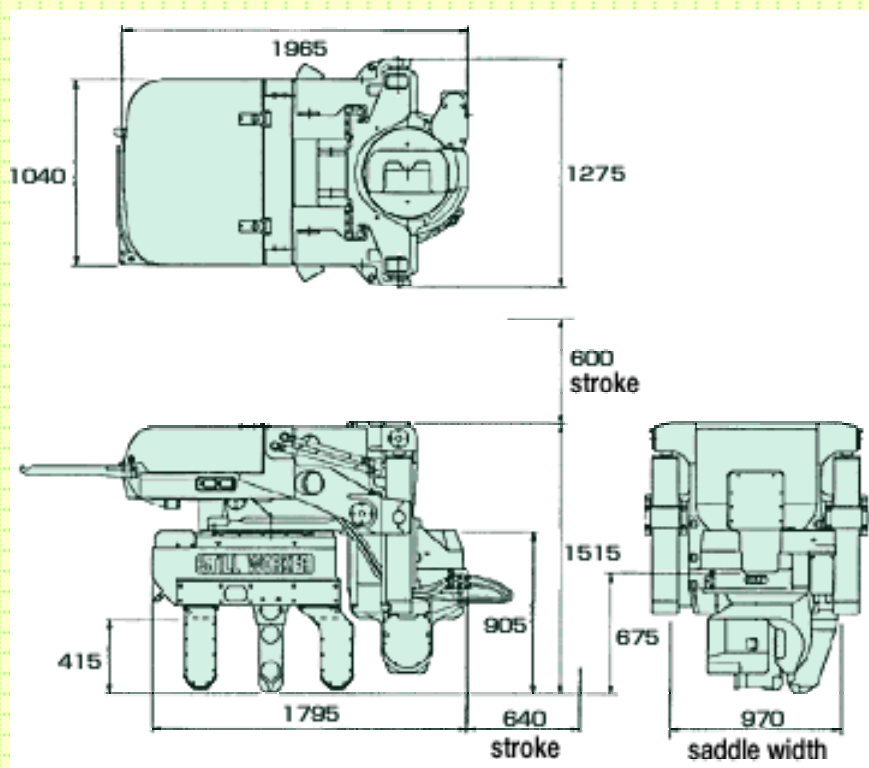
# Sposoby wprowadzania ścianek w grunt

Dynamiczne - z wykorzystaniem młotów hydraulicznych i spalinowych o dużej energii udaru

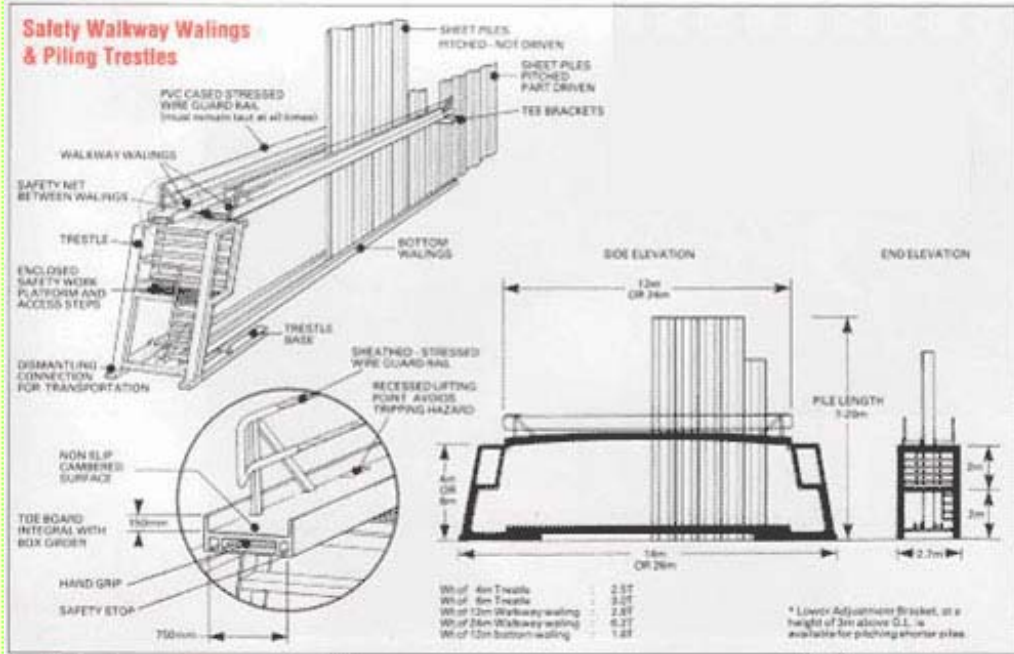


# Sposoby wprowadzania ścianek w grunt

Statyczne - poprzez wciskanie brusów w grunt ograniczając powstawanie szkodliwych drgań i hałasów



# Sposoby wprowadzania ścianek w grunt



Konstrukcje stałe wykonywane ze ścianek szczelnych wymagają bardzo starannego, osiowego prowadzenia w gruncie, dlatego niezbędne jest korzystanie z prowadnic

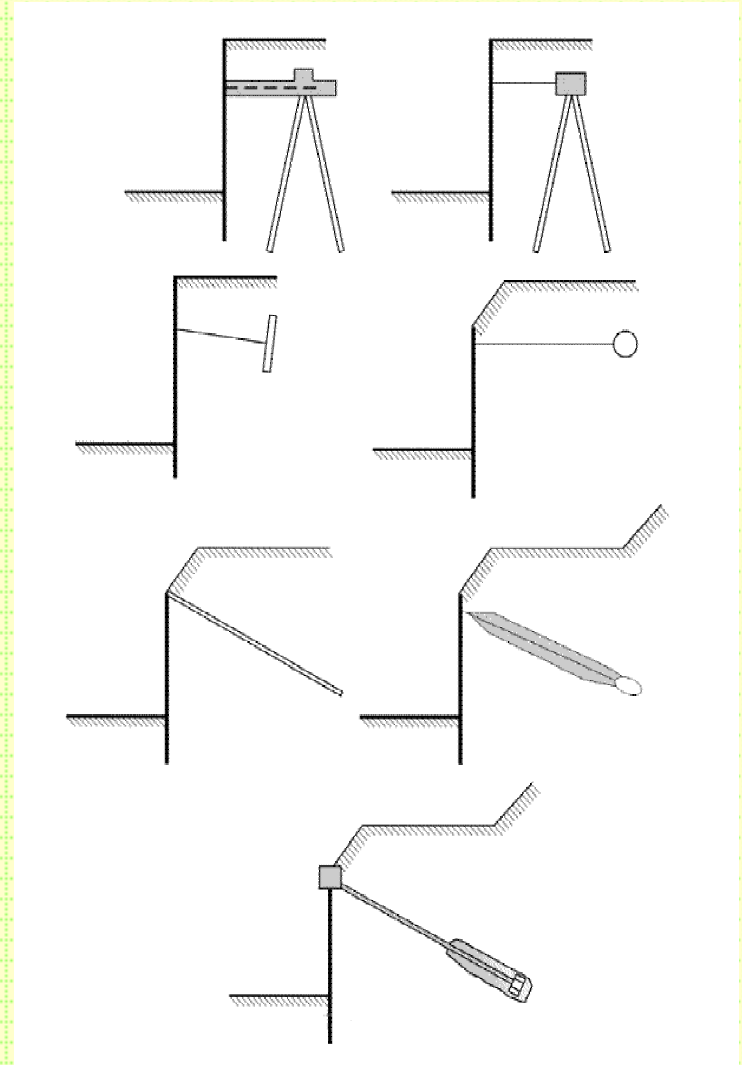


# Kotwienie ścianek szczelnych



Ścianki szczelne kotwione są na ogół na jednym poziomie, przy konstrukcjach wyższych można stosować kilka poziomów kotwienia. Kotwienie odbywa się na poziomie wody gruntowej lub na poziomie wody w basenie.

Zakotwienie ścianki może odbywać się przy pomocy: bloków i cięgien, płyt, pali kozłowych, ścianek szczelnych, kotwi, kotwi iniekcyjnych i kotwi gruntowych.



# Zalety ścianek szczelnych

- łatwe w montażu i demontażu i sprawdzające się w każdych warunkach gruntowych



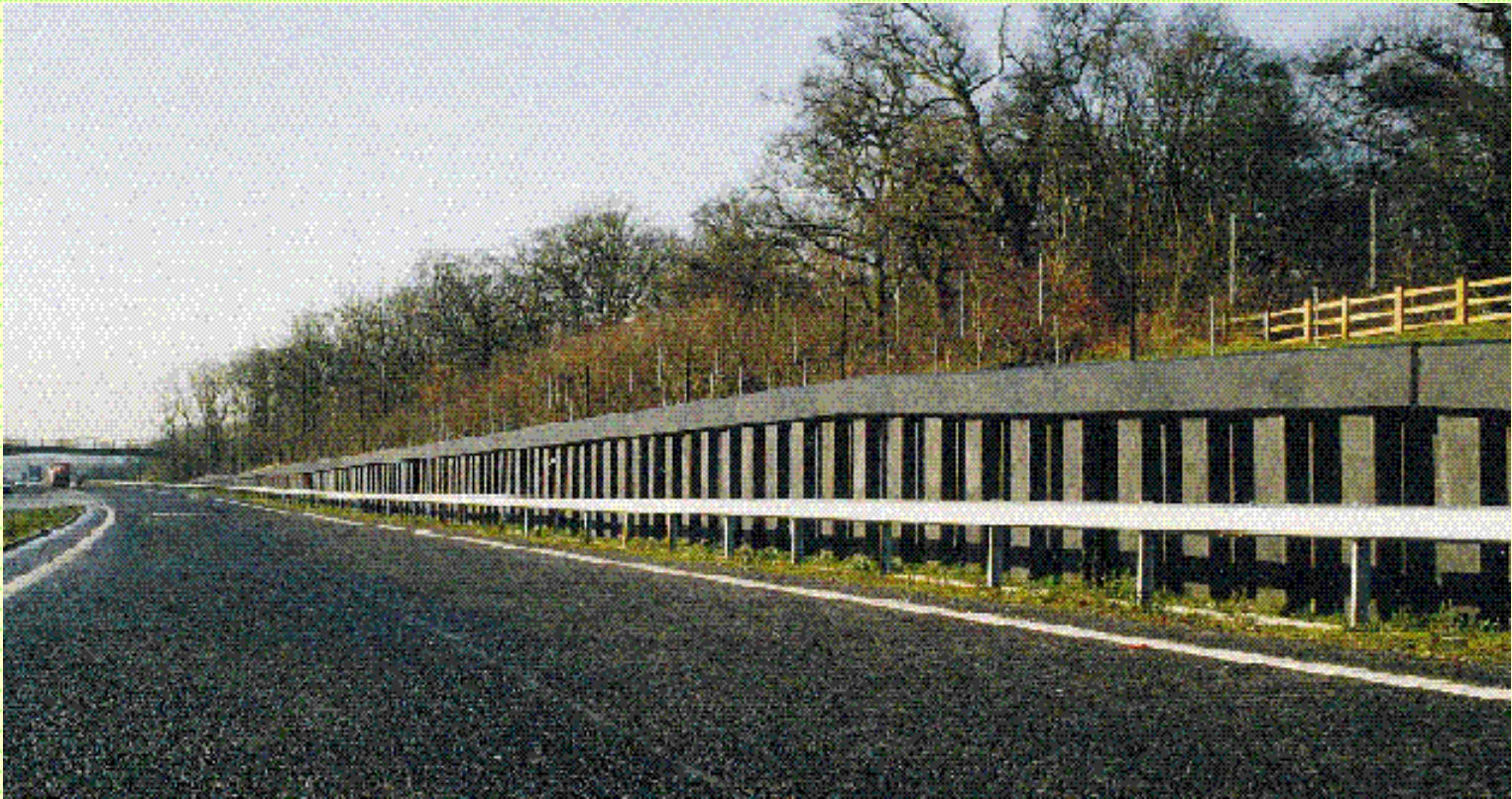
# Zalety ścianek szczelnych

➤ szczelne

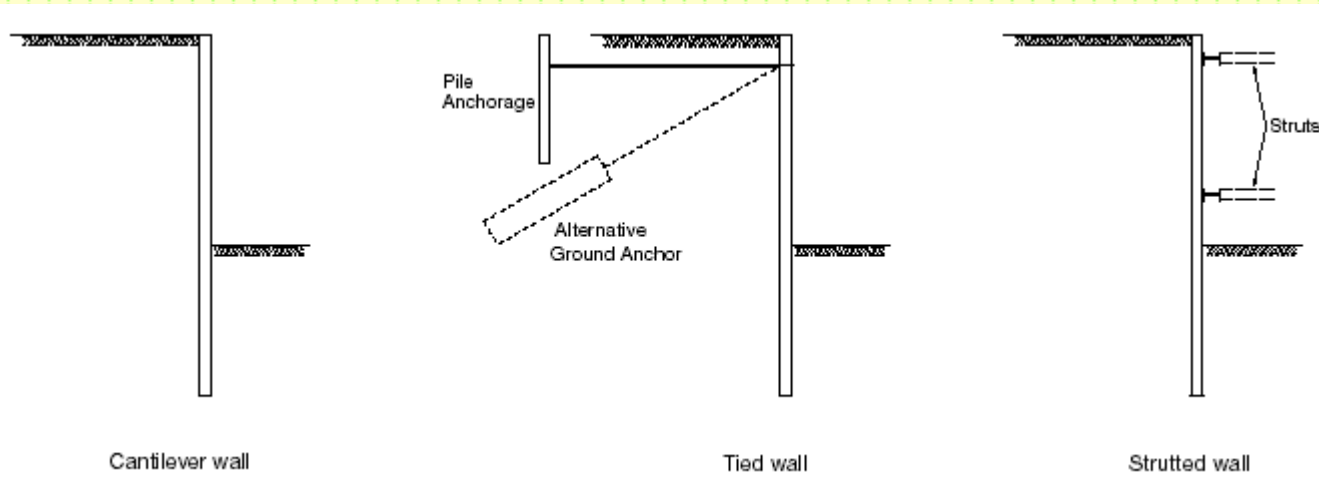


# *Zalety ścianek szczelnych*

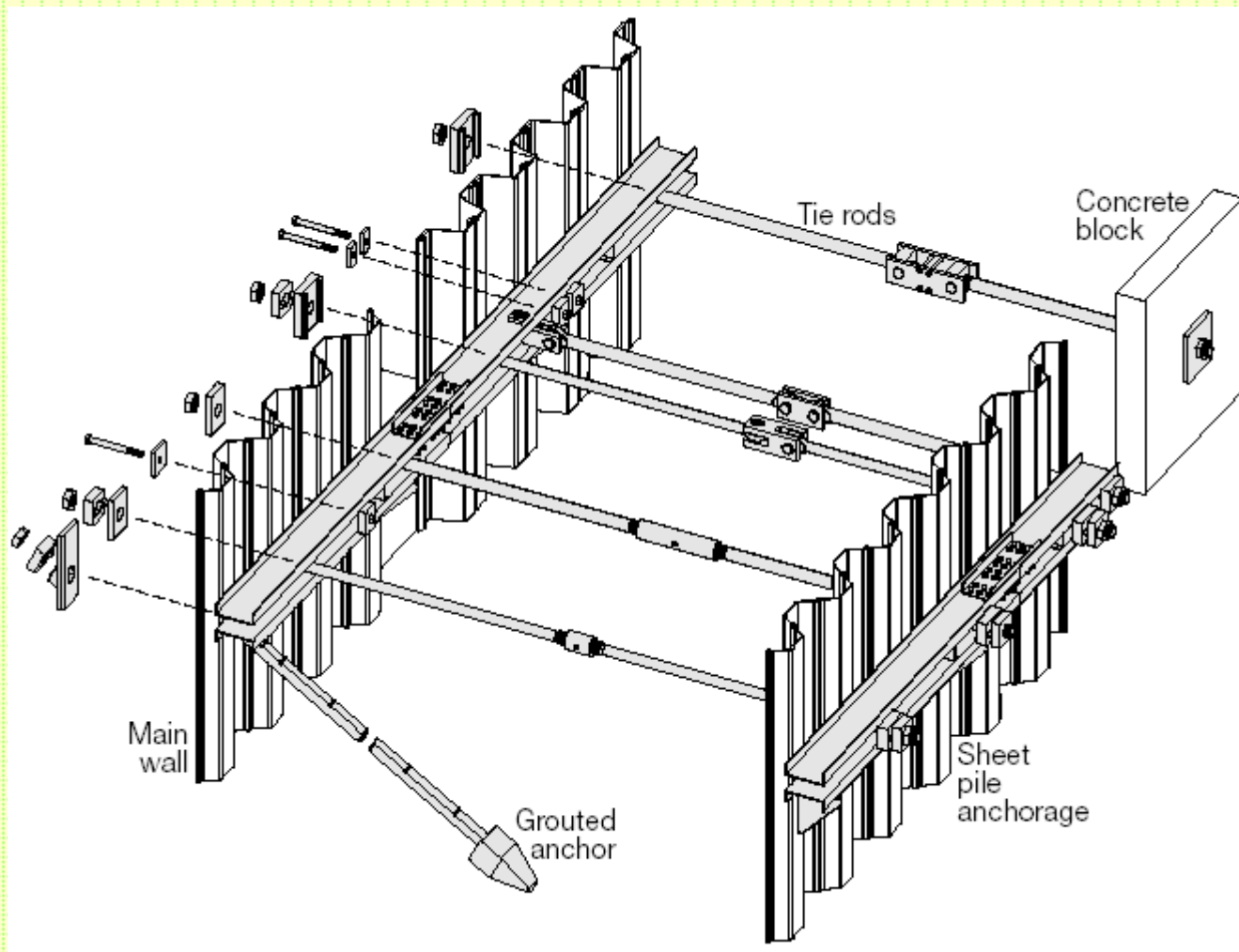
➤ estetyczne



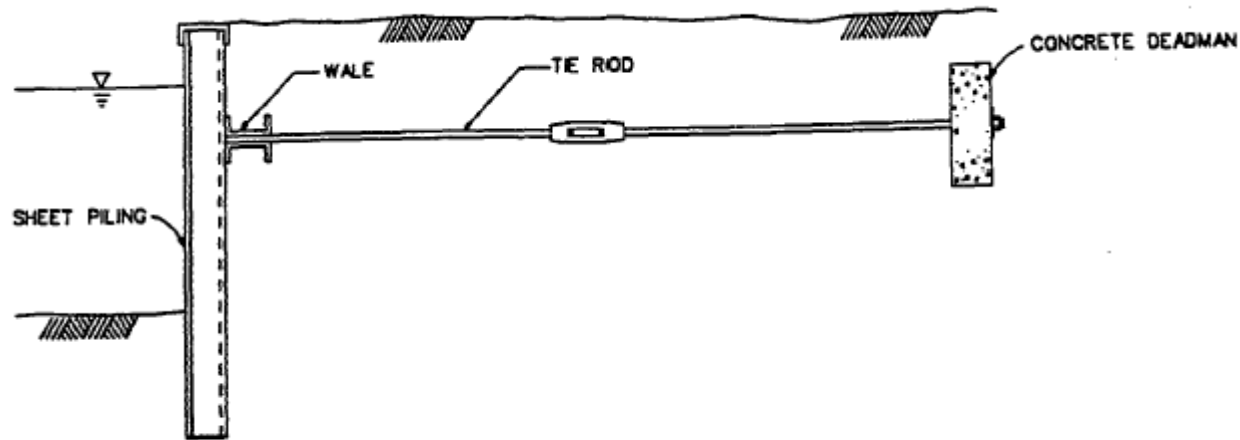
# Ścianki szczelne



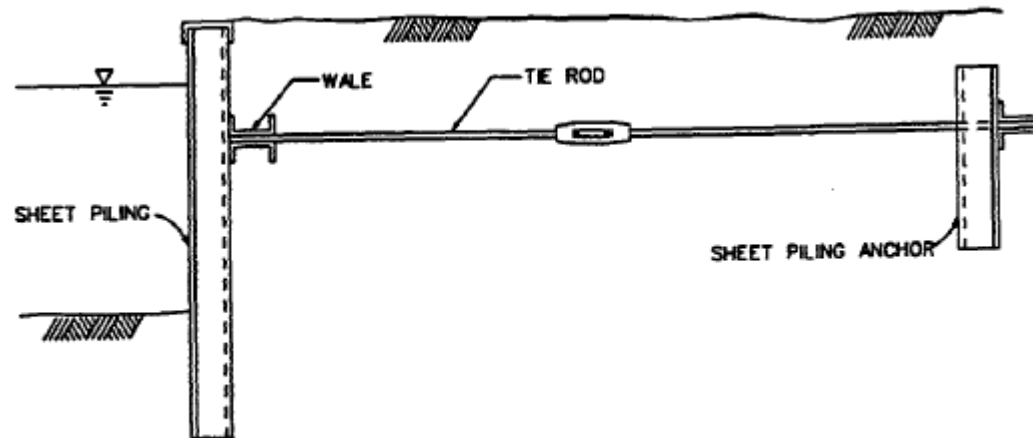
# Ścianki szczelne



# Ścianki szczelne

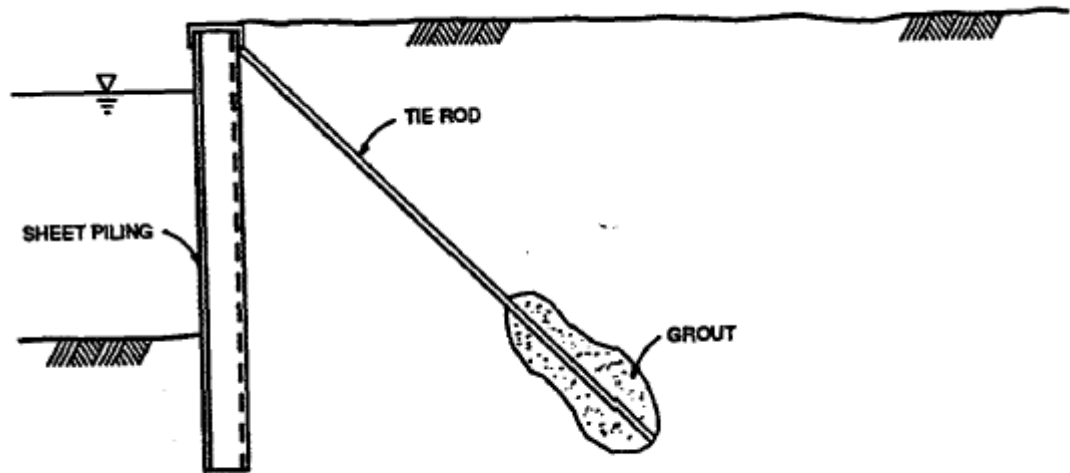


a. Tie rods and dead man

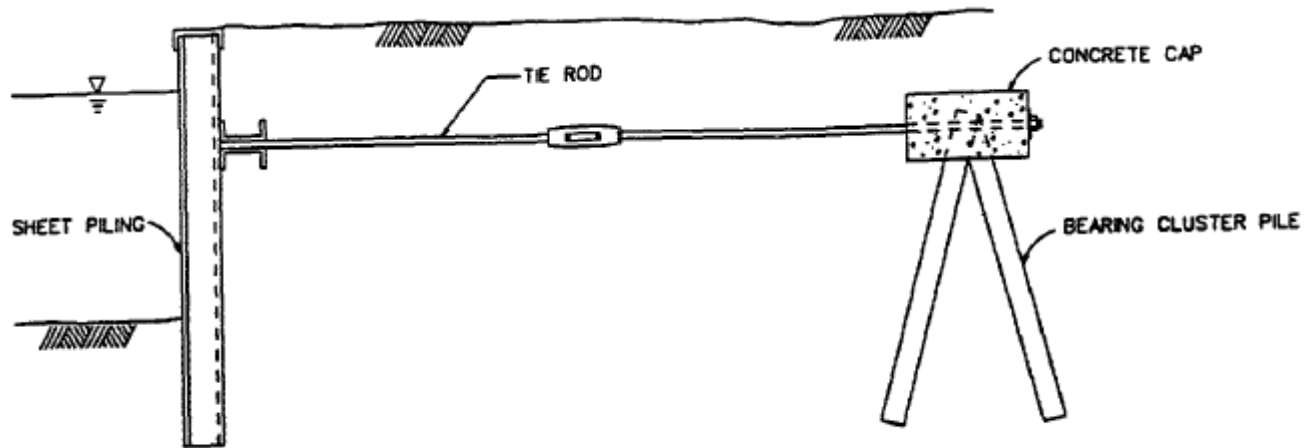


b. Tie rods and anchor wall

# Ścianki szczelne



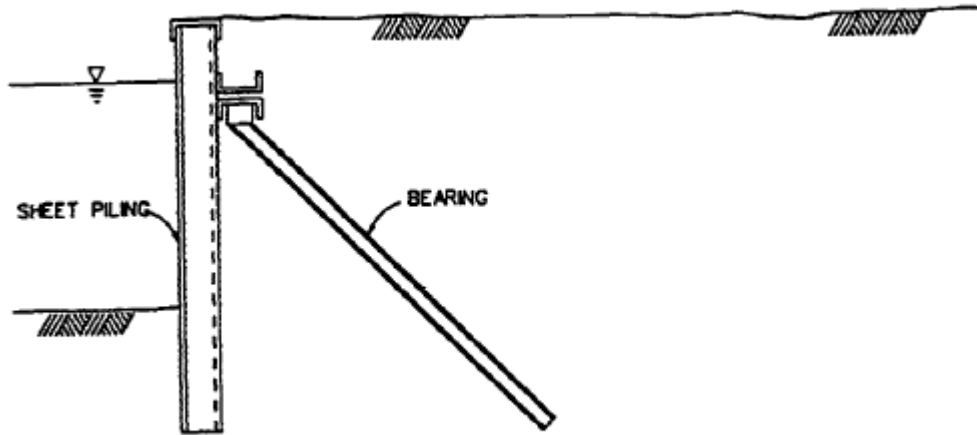
c. Tiebacks with grout anchor



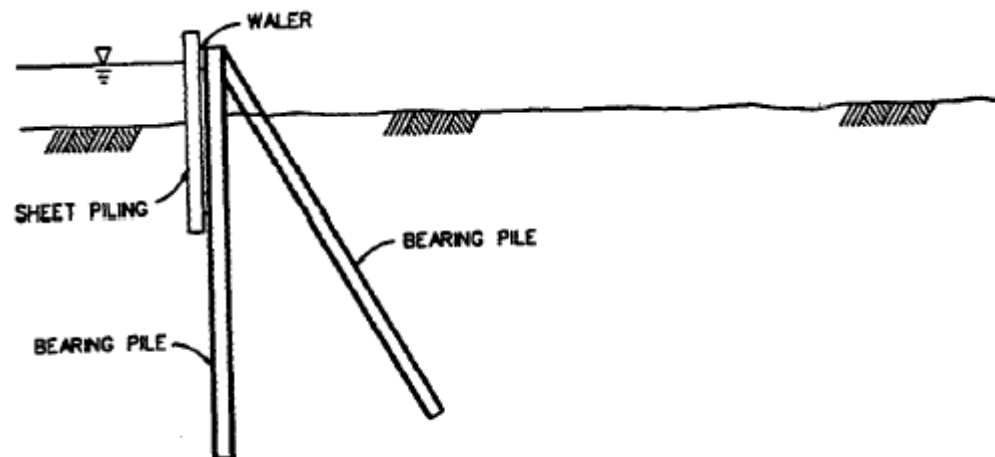
d. Tie rods and A-frame



# Ścianki szczelne

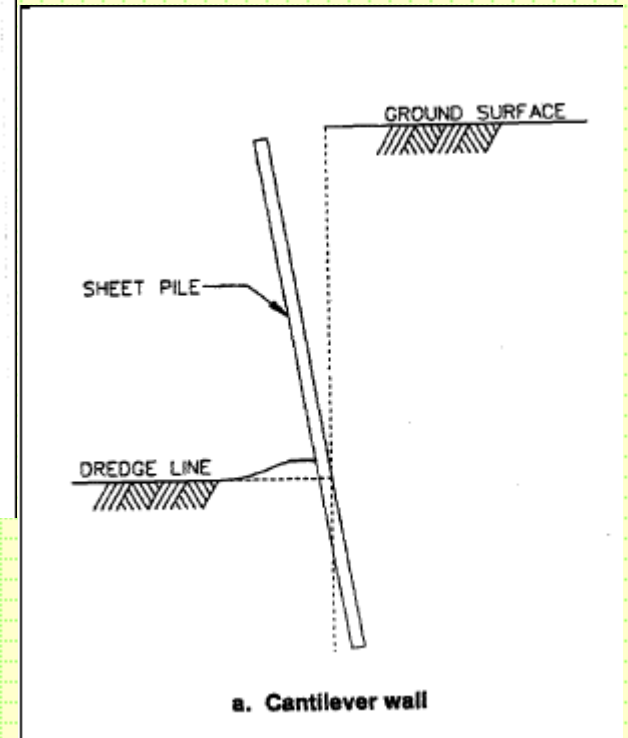
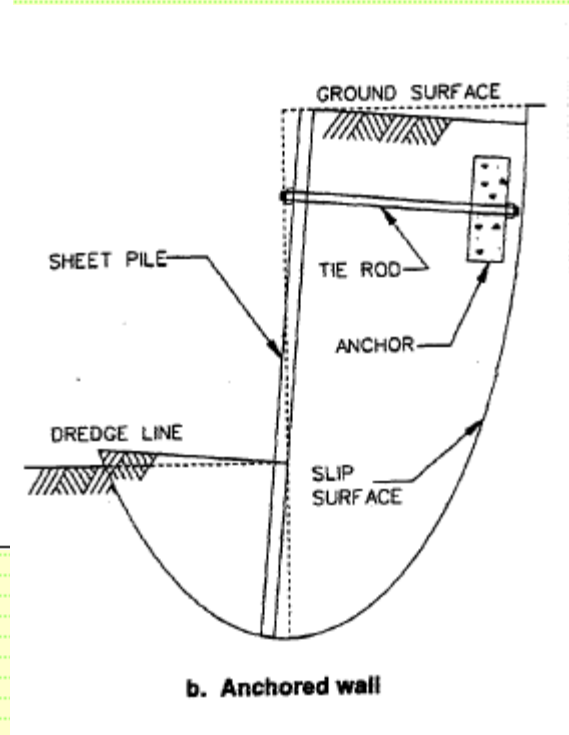
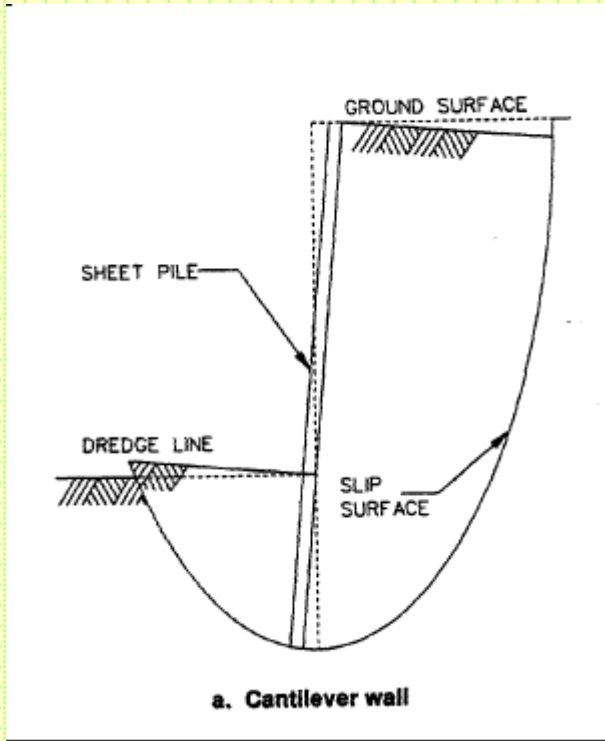


e. Steel H-pile tension anchors

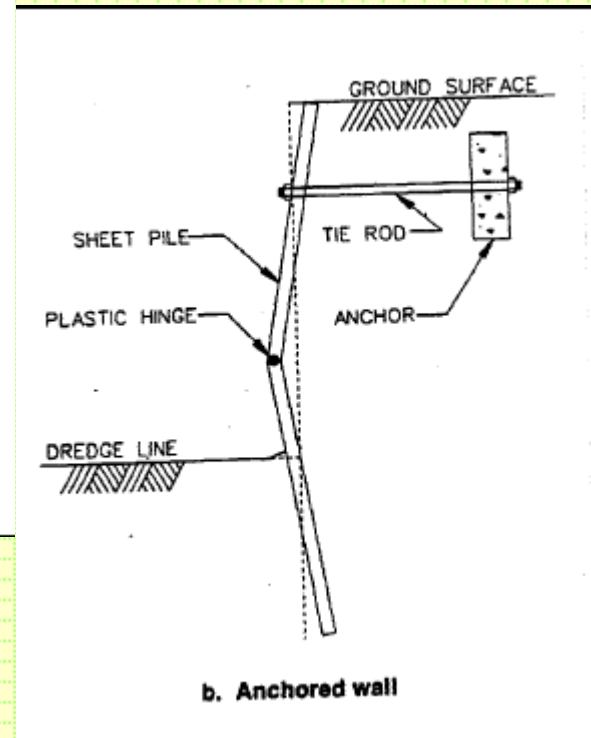
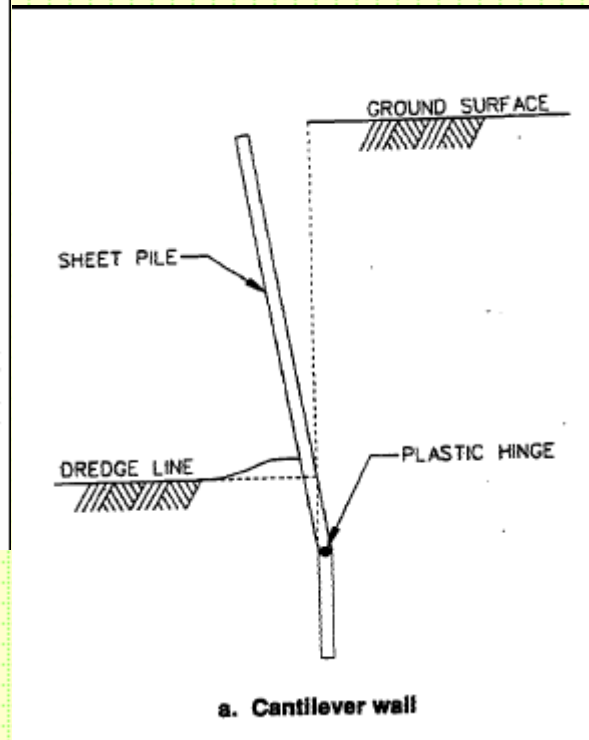
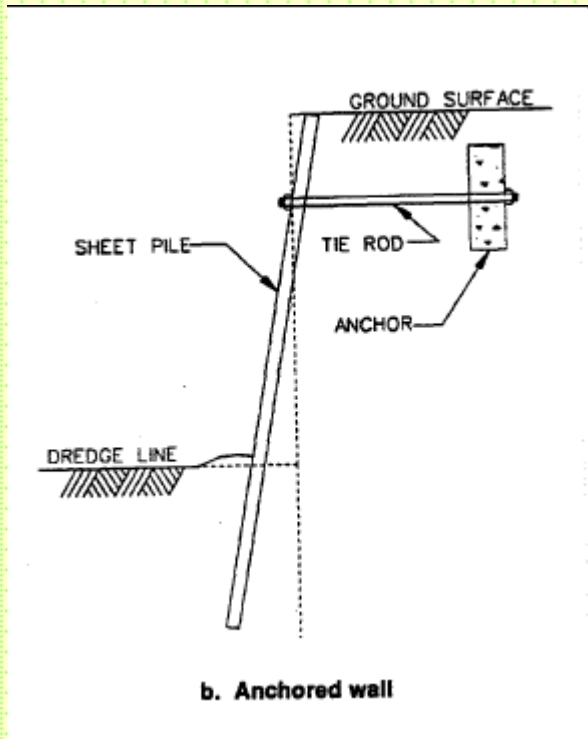


f. Steel H-pile anchors

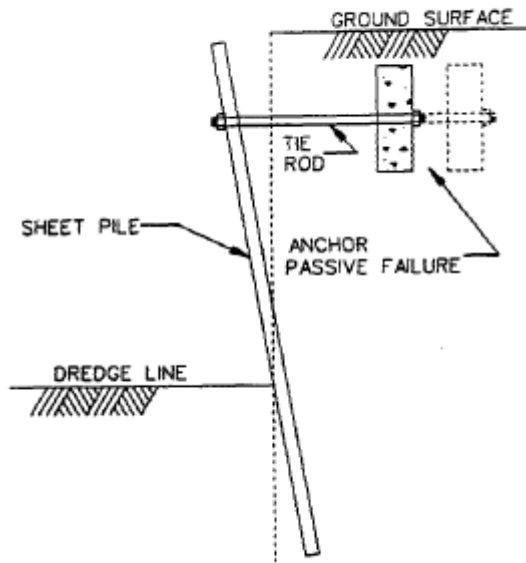
# Ścianki szczelne



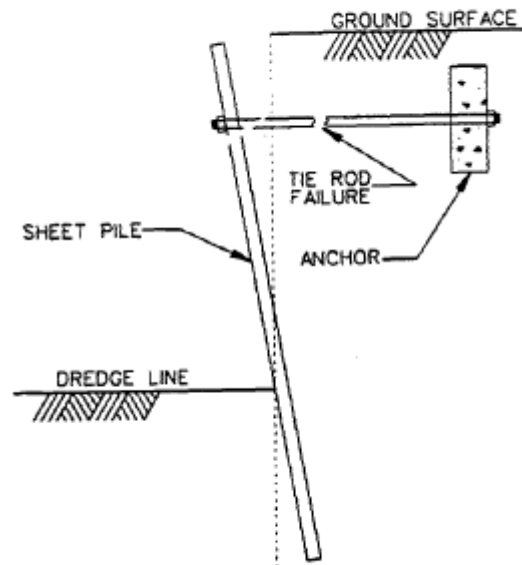
# Ścianki szczelne



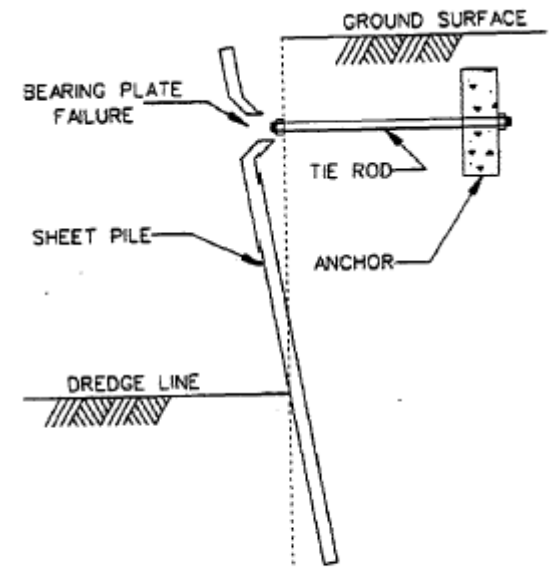
# Ścianki szczelne



a. Anchor passive failure

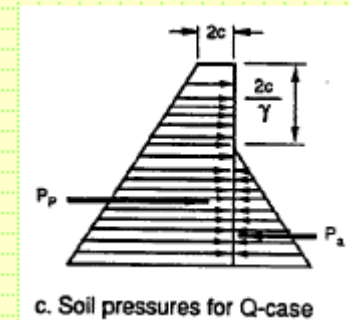
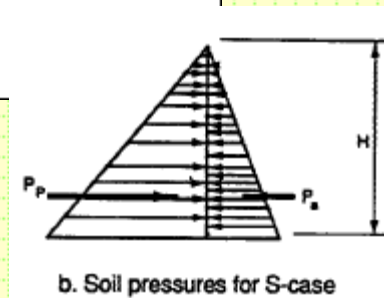
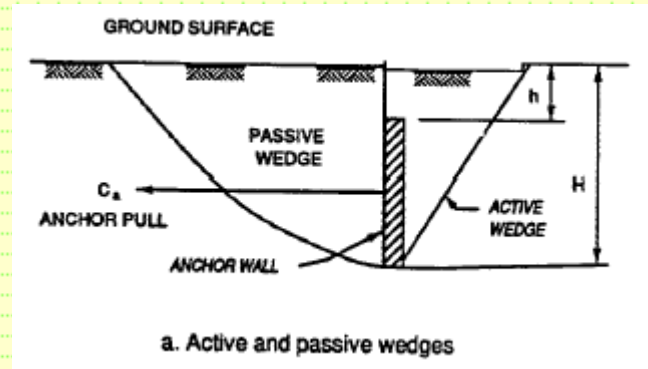
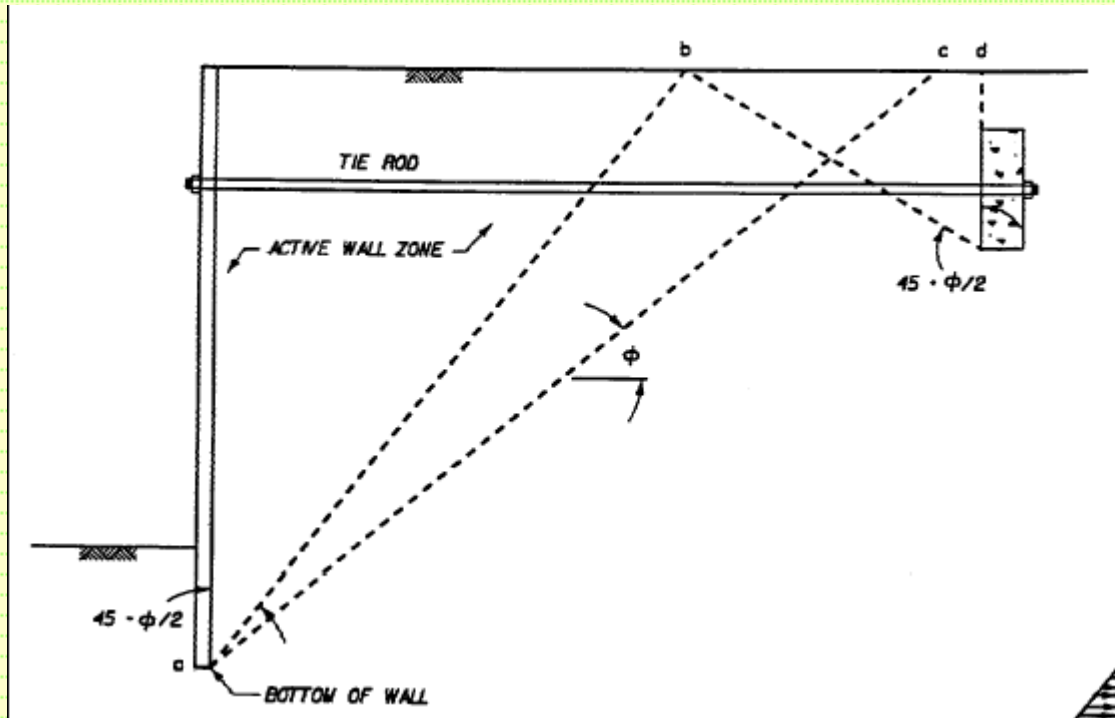


b. Tie rod failure



c. Wale system failure

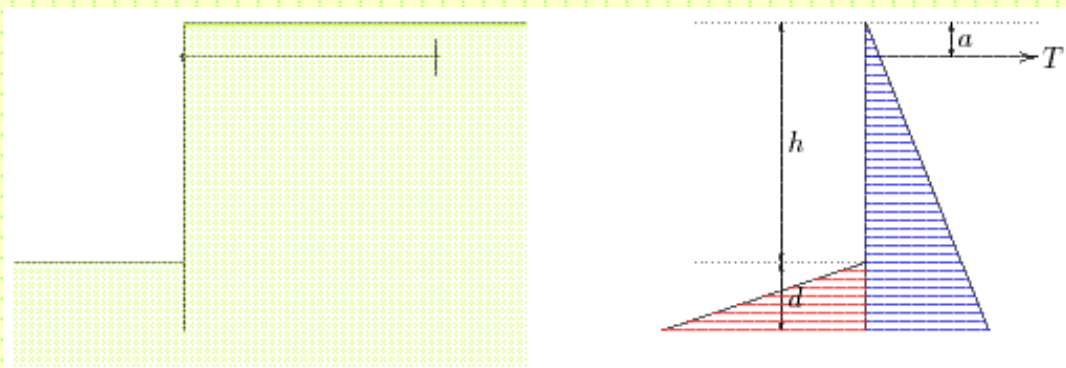
# Ścianki szczelne



Przy obliczaniu płyty kotwiącej w obliczeniach przyjąć współczynnik bezpieczeństwa  $FS_a=1.2$  dla parcia gruntu i  $FS_p=0.85$  dla odporu gruntu

# Ścianka szczelna w jednorodnym gruncie niezawodnionym

Rozpatrzmy siły działające na ściankę szczelną umiejscowioną w jednorodnym, idealnie sypkim, niezawodnionym gruncie. Załóżmy, że dla utrzymania stateczności wykopu o głębokości  $h$  została ona zabita w grunt na głębokość  $d$ .



W odległości  $a$  od naziomu wykopu ścianka została zakotwiona kotwią oddziałującą z siłą  $T$ .

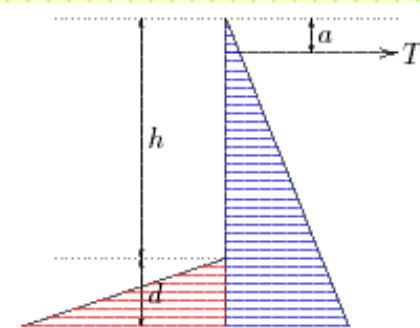
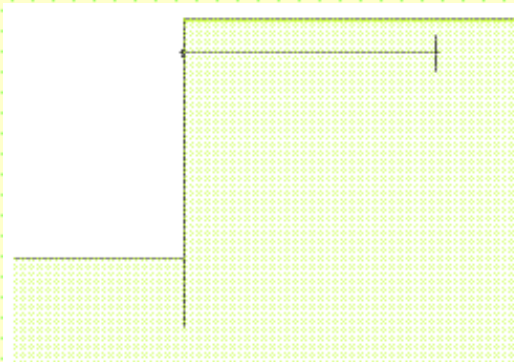
Z rozkładu naprężeń wynika, że równanie równowagi momentów wokół punktu zakotwienia ma postać:

$$\frac{1}{2} K_a \gamma (h + d)^2 \left( \frac{2}{3} h + \frac{2}{3} d - a \right) - \frac{1}{2} K_p \gamma d^2 \left( h + \frac{2}{3} d - a \right) = 0$$

$$(h + d)^2 \left( \frac{2}{3} h + \frac{2}{3} d - a \right) = - \frac{K_p}{K_a} d^2 \left( h + \frac{2}{3} d - a \right)$$

# Ścianka szczelna w jednorodnym gruncie niezawodnionym

Równanie to można zapisać w następującej postaci:



$$\left(\frac{d}{h}\right)^2 = \frac{2K_a}{3K_p} \left(1 + \frac{d}{h}\right)^2 \frac{1 + \left(\frac{d}{h}\right) - \frac{3}{2}\left(\frac{a}{h}\right)}{1 + \frac{2}{3}\left(\frac{d}{h}\right) - \left(\frac{a}{h}\right)}$$

Równanie to można rozwiązać iteracyjnie podstawiając kolejne wartości zagłębienia  $d$ . Znając wartość  $d$  można obliczyć siłę w kotwi z równania równowagi sił na oś poziomą:

$$\sum_{i=1}^n P_{ix} = T + \frac{1}{2} K_p \gamma d^2 - \frac{1}{2} K_a \gamma (h + d)^2$$

# Ścianka szczelna w jednorodnym gruncie niezawodnionym

Stąd otrzymujemy wartość siły  $T$  równą:

$$T = \frac{1}{2} \gamma \left[ K_a (h + d)^2 - K_p d^2 \right]$$

Wartości sił tnących w poszczególnych przedziałach są równe:

*I przedział*  $0 \leq z < a$

$$Q = -\frac{1}{2} K_a \gamma z^2$$

*II przedział*  $a \leq z < h$

$$Q = -\frac{1}{2} K_a \gamma z^2 + T$$

*III przedział*  $h \leq z < h + d$

$$Q = -\frac{1}{2} K_a \gamma z^2 + T + \frac{1}{2} K_p \gamma (z - h)^2$$



# Ścianka szczelna w jednorodnym gruncie niezawodnionym

Wartości momentów zginających w poszczególnych przedziałach są równe:

*I przedział*  $0 \leq z < a$

$$M_g = -\frac{1}{2} K_a \gamma z^2 \frac{z}{3} = -\frac{1}{6} K_a \gamma z^3$$

*II przedział*  $a \leq z < h$

$$M_g = -\frac{1}{6} K_a \gamma z^3 + T(z - a)$$

*III przedział*  $h \leq z < h + d$

$$M_g = -\frac{1}{6} K_a \gamma z^3 + T(z - a) + \frac{1}{6} K_p \gamma (z - h)^3$$

$$M_g = M_{g \max} \Leftrightarrow Q = 0$$

$$Q = T - \frac{1}{2} K_a \gamma z^2 = 0 \Rightarrow z = \sqrt{\frac{2T}{\gamma K_a}}$$

# Ścianka szczelna w jednorodnym gruncie niezawodnionym

$$M_{g \max} \left( z = \sqrt{\frac{2T}{\gamma K_a}} \right) = -\frac{1}{6} K_a \gamma z^3 + T(z - a)$$

$$M_{g \max} = -\frac{1}{6} K_a \gamma \frac{2T}{\gamma K_a} \sqrt{\frac{2T}{\gamma K_a}} + T \left( \sqrt{\frac{2T}{\gamma K_a}} - a \right)$$

$$M_{g \max} = -\frac{T}{3} \sqrt{\frac{2T}{\gamma K_a}} + T \sqrt{\frac{2T}{\gamma K_a}} - Ta$$

$$M_{g \max} = \frac{2}{3} T \sqrt{\frac{2T}{\gamma K_a}} - Ta = T \left( \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2T}{\gamma K_a}} - a \right)$$

# Ścianka szczelna w jednorodnym gruncie niezawodnionym

Rozpatrzmy konstrukcję ścianki szczelnej dla wykopu o wysokości  $h = 5$  m, wykonanego w gruncie o ciężarze objętościowym  $\gamma = 20$  kN/m<sup>3</sup> i kącie tarcia wewnętrznego równym  $\phi = 30^\circ$ . Załóżmy, zakotwienie w odległości  $a = 1$  m od naziomu.

Określić zagłębienie ścianki szczelnej ( $d$ ) i siłę naciągu kotwi ( $T$ ). Narysować wykres sił tnących oraz momentów zginających wzdłuż ścianki. Znaleźć maksymalny moment zginający.

Zagłębienie ścianki określamy stosując procedurę iteracyjną podstawiając kolejno wartości stosunku  $d/h$  aż do uzyskania wymaganej zbieżności obu stron równania. Otrzymujemy:

$$\frac{d}{h} = 0.3805 \Rightarrow d = 1.9025m \quad \text{Przyjęto: } d = 2.0m$$

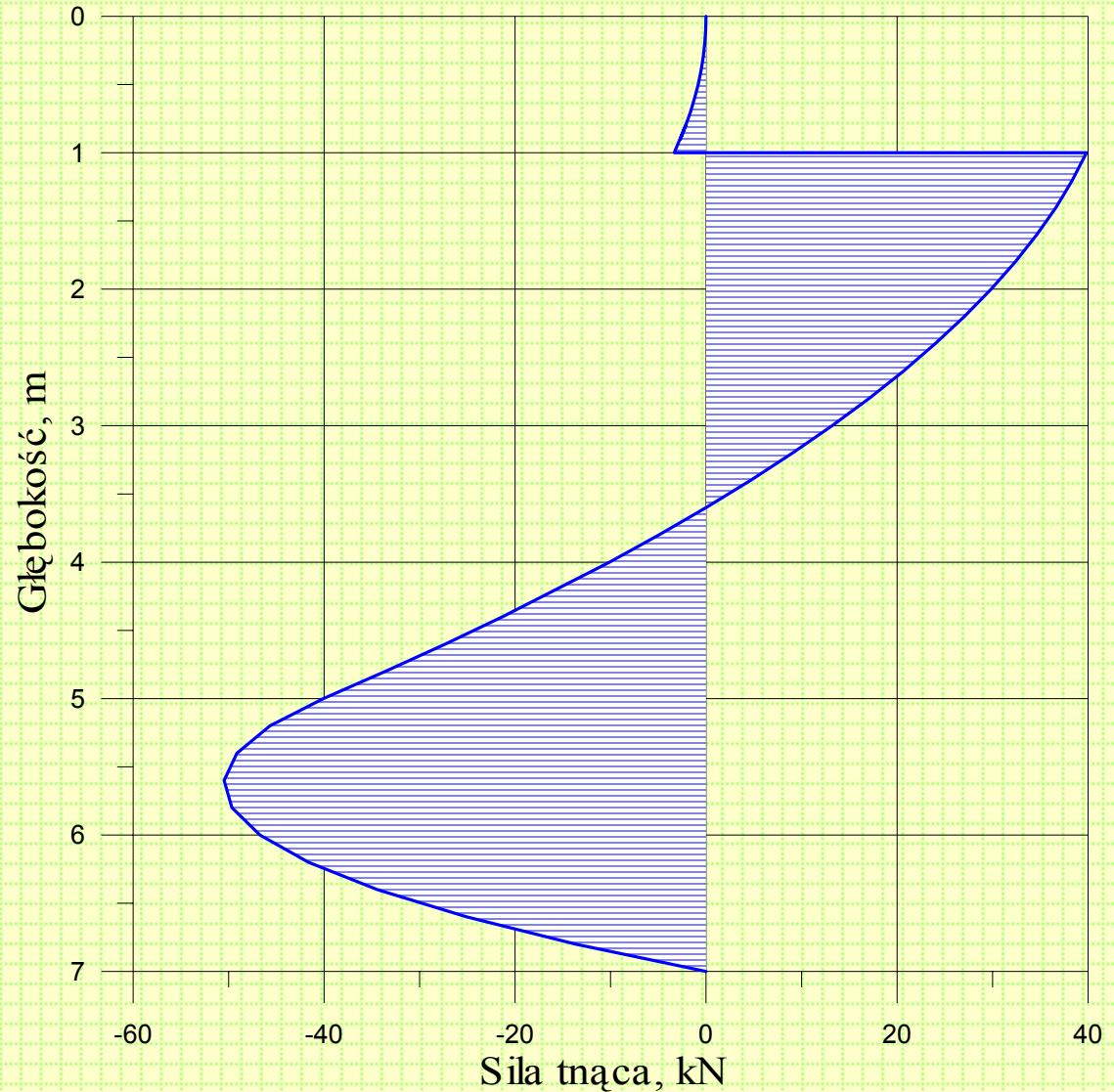
Dla takiej wartości zagłębienie siła w kotwi jest równa

$$T = \frac{1}{2} \gamma \left[ K_a (h + d)^2 - K_p d^2 \right] = 43.17 \text{ kN}$$



# Ścianka szczelna w jednorodnym gruncie niezawodnionym

Wykres sił tnących  
wzdłuż ścianki.



# Ścianka szczelna w jednorodnym gruncie niezawodnionym

Maksymalny moment zginający jest równy:

$$M_{g \max} = T \left( \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2T}{\gamma K_a}} - a \right)$$

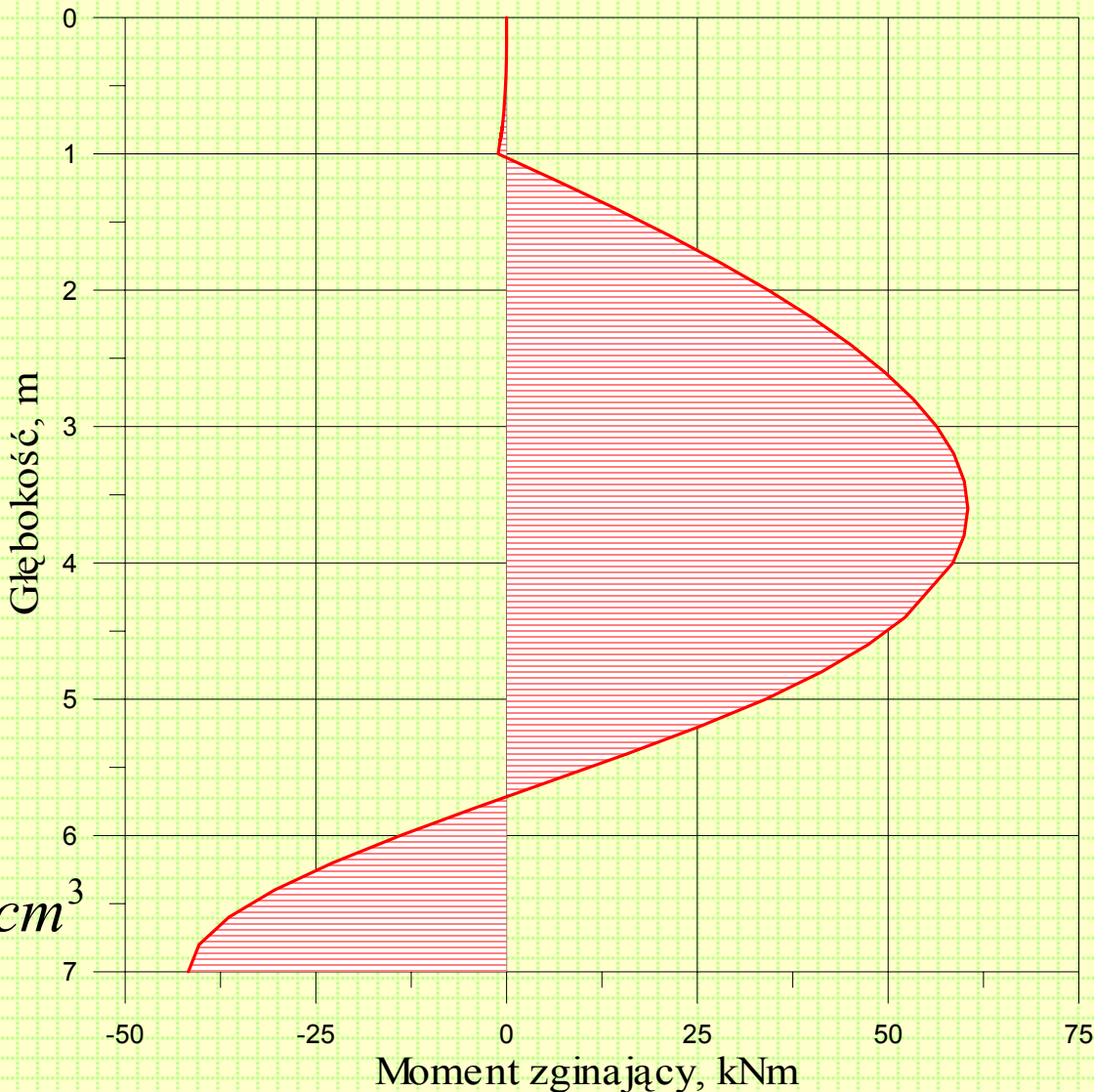
$$M_{g \max} = 60.4 \text{ kNm}$$

Wskaźnik wytrzymałości przekroju:

$$W_{gx} = \frac{M_{g \max}}{k_d}$$

$$W_{gx} = \frac{60.4 \text{ kN}}{150 \text{ MPa}} = 402.67 \text{ cm}^3$$

$k_d$  – naprężenie dopuszczalne dla stali



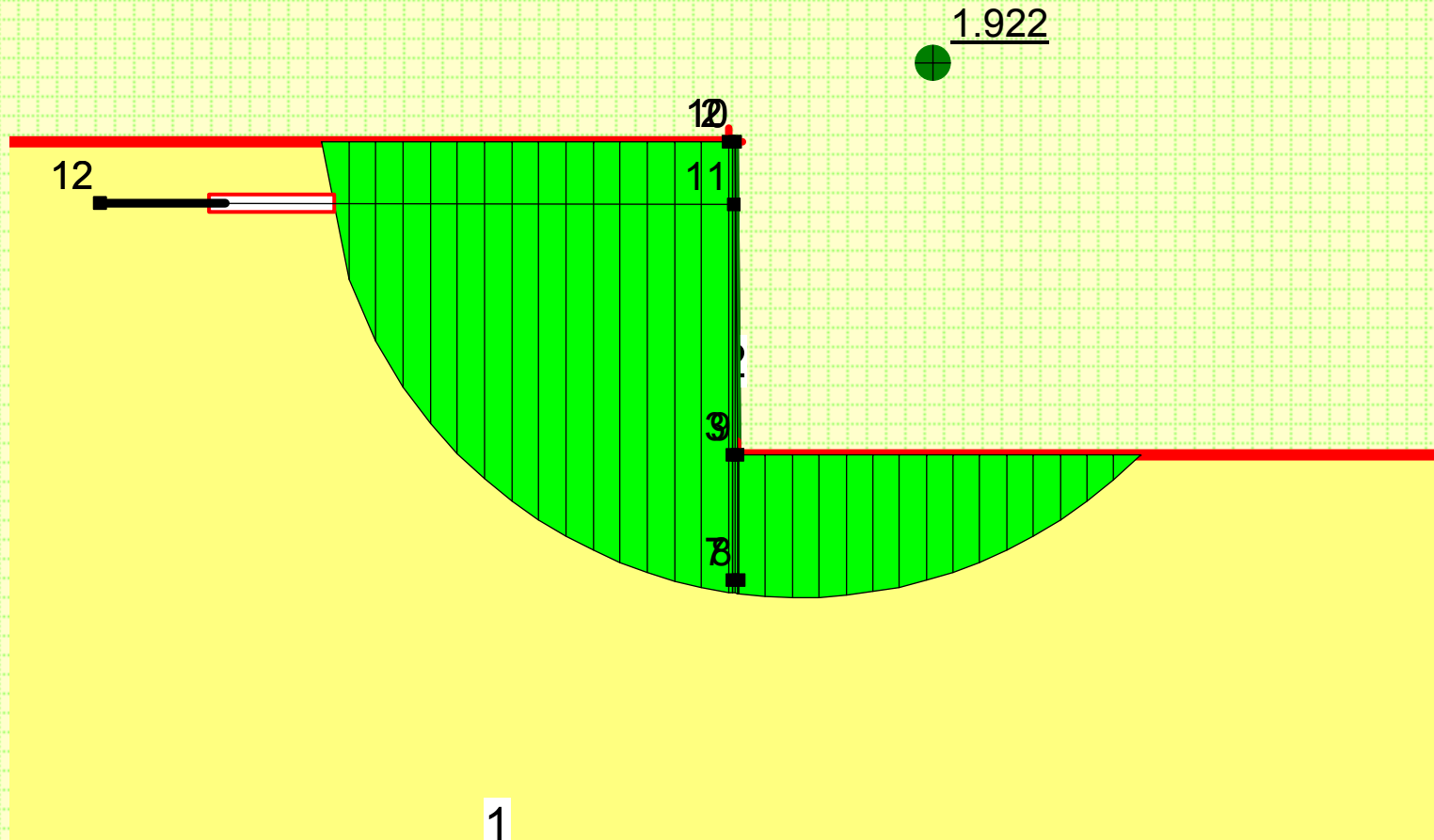
Wykres momentów zginających wzdłuż ścianki.



# Ścianka szczelna w jednorodnym gruncie niezawodnionym

Wartość wskaźnika stateczności wg Bishopa –  $FS=1.922$

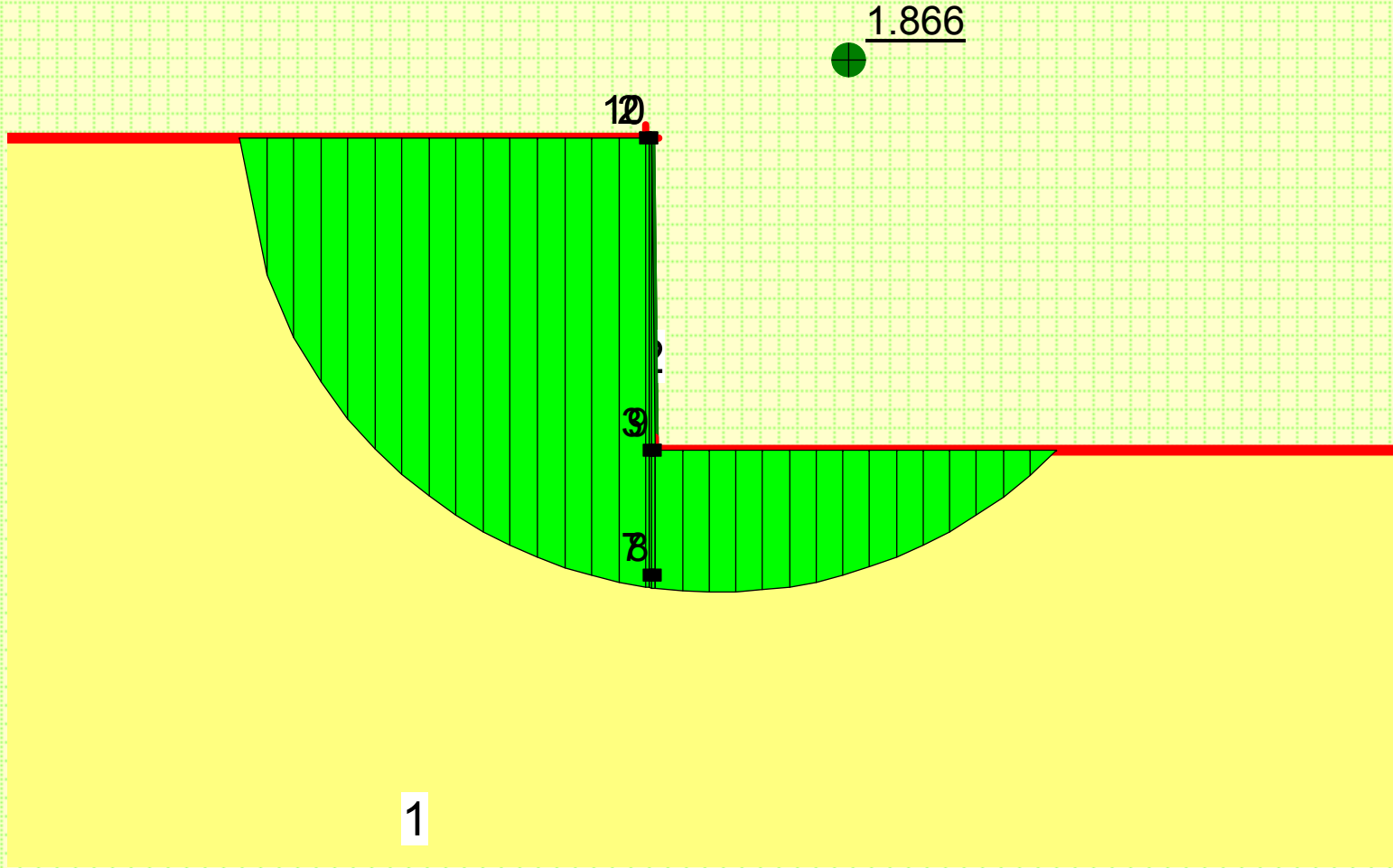
Entry + exit



# Ścianka szczelna w jednorodnym gruncie niezawodnionym

Wartość wskaźnika stateczności wg Bishopa –  $FS=1.866$

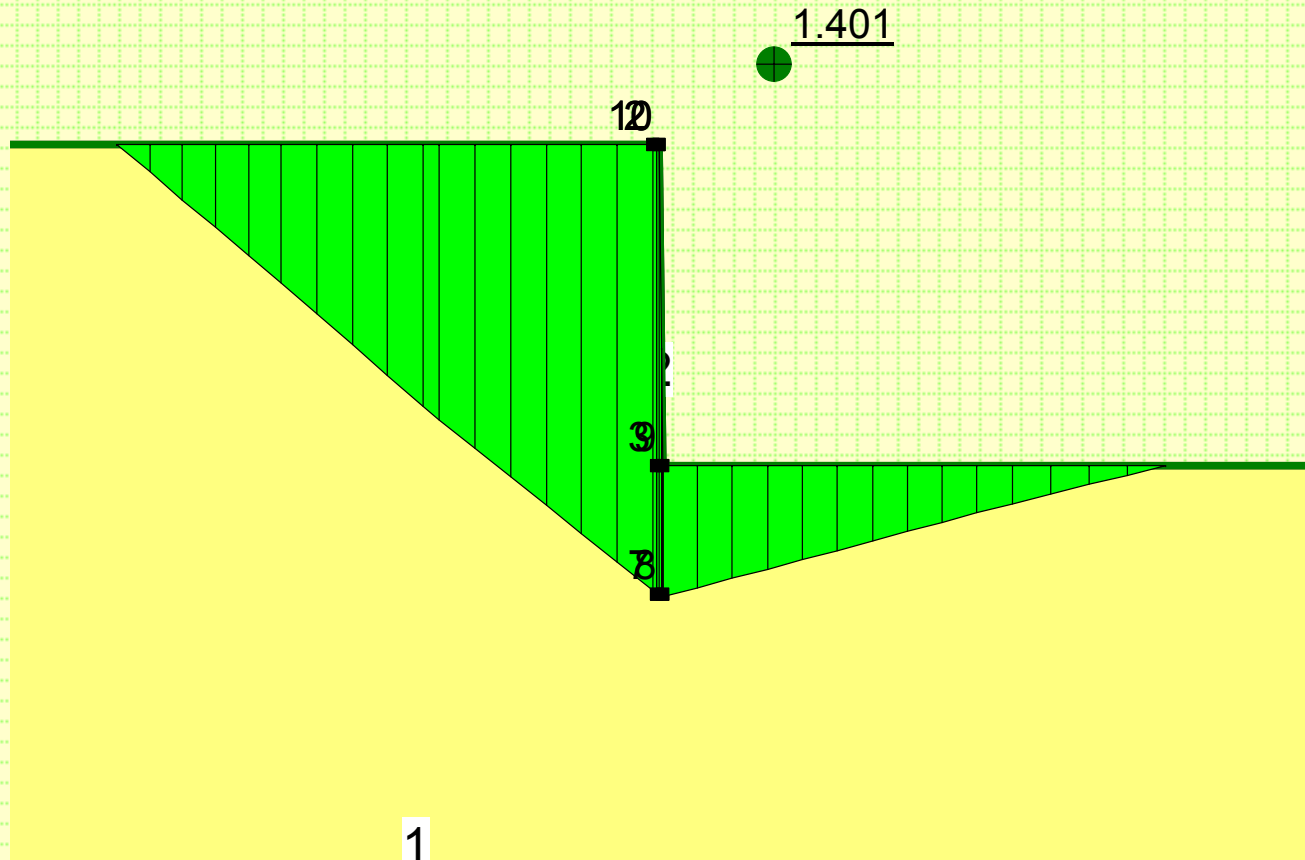
Entry + exit



# Ścianka szczelna w jednorodnym gruncie niezawodnionym

Wartość wskaźnika stateczności wg Bishopa –  $FS=1.401$

Autolocate...!?

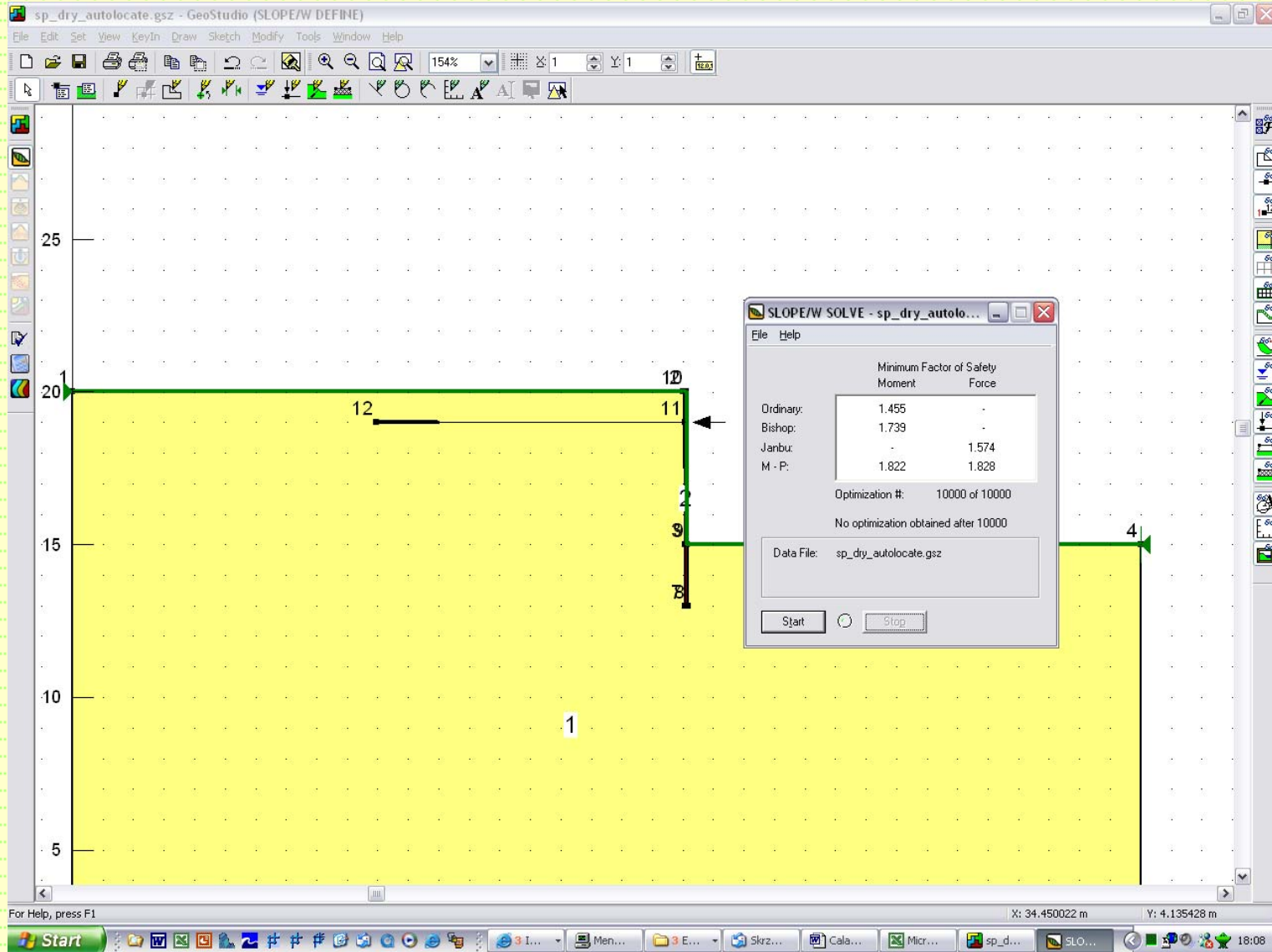




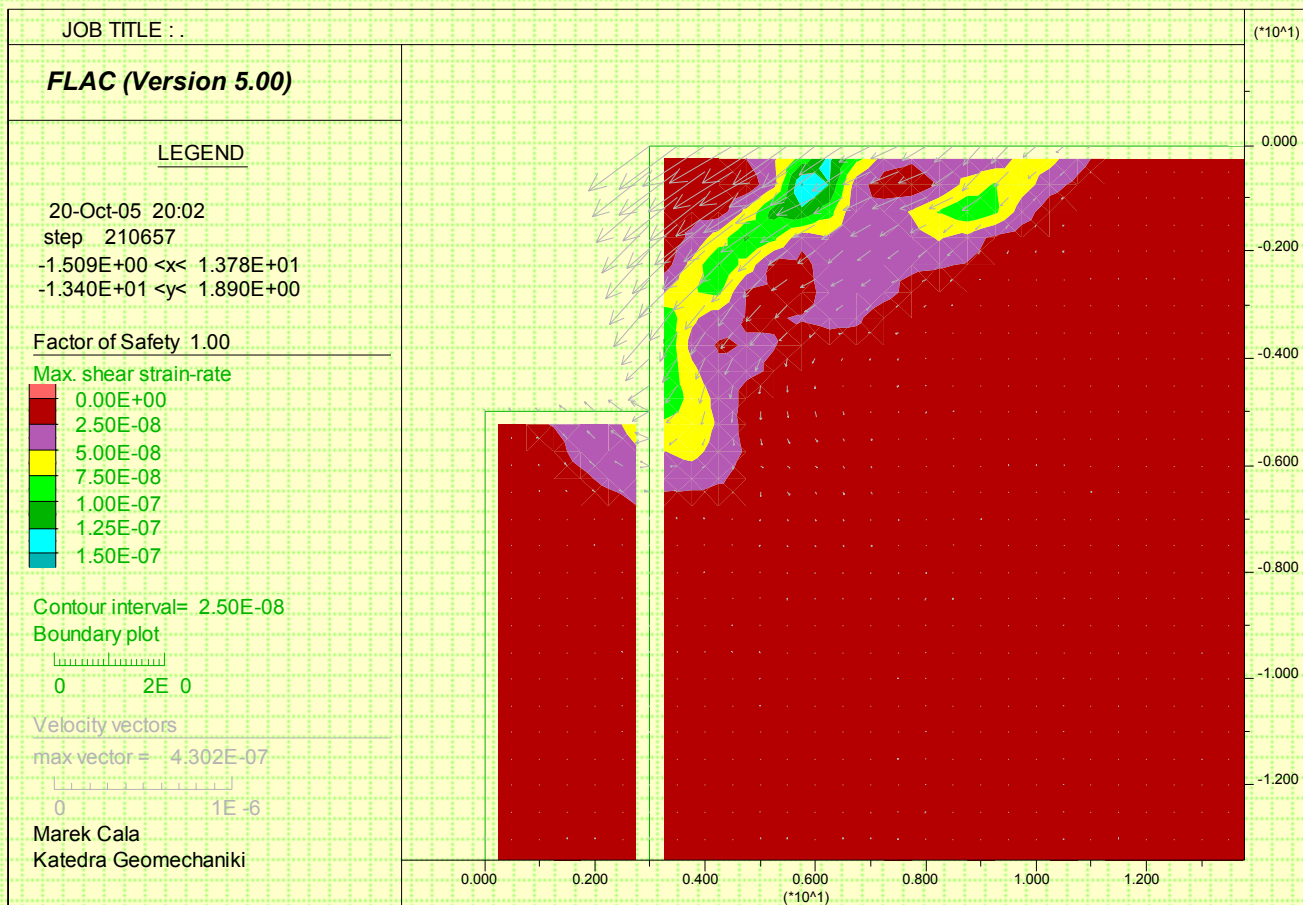
# Ścianka szczelna w jednorodnym gruncie niezawodnionym

Wartość wskaźnika stateczności wg Bishopa – FS=?

Autolocate



# Ścianka szczelna w jednorodnym gruncie niezawodnionym



- Szymański A. – Wykłady z mechaniki gruntów i budownictwa ziemnego
- Wiłun Z. – Zarys geotechniki
- Lambe T. W. Whitman R.V (1976, 1977) Mechanika gruntów, Tom I i II, Arkady, Warszawa
- Verruijt A. 2001. Soil Mechanics
- Coduto D.P. 1999. Geotechnical Engineering.
- Coduto D.P. 2001. Foundation design.
- Jarominiak A. 1999. Lekkie konstrukcje oporowe.
- Myślińska E. 2001. Laboratoryjne badania gruntów.
- Cios I., Garwacka-Piórkowska S. 1990. Projektowanie fundamentów.
- Puła O., Rybak Cz., Sarniak W. 1997. Fundamentowanie.
- Obrycki