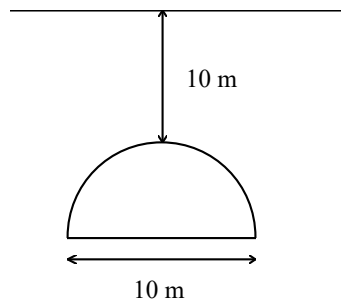


Solution - Exercise TE-04

Loosening load above surface tunnels,
Settlements in soft-ground tunnelling
*Tunnels à faible profondeur : Charge de dislocation,
Tassements au-dessus des tunnels en terrains meubles*

Assistant: A. Guggisberg (EPFL-LEMR)

Ex. TE04.1

Using the solution proposed by Terzaghi and considering:

En utilisant la solution proposée par Terzaghi et en considérant :

$$R = 5 \text{ m}$$

$$\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$$

$$\phi' = 30^\circ, c' = 10 \text{ kN/m}^2$$

$$\lambda = 1.0$$

The load acting on the tunnel is: / *La charge agissant sur le tunnel est*

$$p = \frac{\gamma R - c}{\lambda \tan \phi} \left(1 - e^{-\lambda \tan \phi \frac{h}{R}} \right) = \frac{120 - 10}{\tan 30^\circ} \left(1 - e^{-\tan 30^\circ \cdot 2} \right) = \underline{\underline{130.5 \text{ kN/m}^2}}$$

While using the solution proposed by Caquot:

En utilisant la solution proposée par Caquot :

$$\lambda = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} = \frac{1.5}{0.5} = 3$$

The load is : / *La charge est :*

$$p = \frac{\gamma R}{\lambda - 2} \left[1 - \left(\frac{R}{z} \right)^{\lambda - 2} \right] - c \cdot \cot \phi \left[1 - \left(\frac{R}{z} \right)^{\lambda - 1} \right] = \frac{120}{1} \left[1 - \left(\frac{5}{15} \right)^1 \right] - 10 \frac{1}{\tan 30^\circ} \left[1 - \left(\frac{1}{3} \right)^2 \right] = 80 - 15 = \underline{\underline{65 \text{ kN/m}^2}}$$

Ex. TE04.2a

For determining the settlements caused by a tunnel with
Pour déterminer les tassements causés par l'excavation d'un tunnel de

Diameter / Diamètre $D = 6 \text{ m}$, $A = 28.27 \text{ m}^2 \cdot \text{m}$

Depth / Profondeur $Z = 8 \text{ m}$

First assume the volume loss ratio VL considering the excavation method. For example, $VL = 1\%$ can be considered for an excavation with a Shield TBM.

Il faut d'abord déterminer le taux de perte de volume VL en fonction de la méthode d'excavation. Par exemple, $VL = 1\%$ peut être considéré pour une excavation avec un tunnelier à bouclier.

Then calculate volume of the settlement trough per meter length,
Après il faut calculer le volume de la cuvette de tassements par mètre de longueur,

$$V_s = A \cdot VL = 0.28 \text{ m}^2 \cdot \text{m}$$

The maximum ground surface settlement at the vertical tunnel axis is
Le tassement maximal en surface à l'axe vertical du tunnel est

$$S_{\max} = V_s / (2.5 i),$$

and the settlement trough curve can be drawn with the following formula:

et la courbe de la cuvette des tassements peut être tracée à l'aide de la formule suivante :

$$S = S_{\max} \exp\left(\frac{-x^2}{2i^2}\right)$$

Thus, for drawing the settlements curve, it is necessary to estimate the distance of distance from the tunnel centre line to the point of inflexion of the trough (i) which is depending on the ground type. It results:

Ainsi, pour tracer la courbe des tassements, il est nécessaire d'estimer la distance entre l'axe du tunnel et le point d'inflexion du creux (i) qui dépend du type de terrain. Soit :

		i [m]	Smax [m]
I- Clay (NC) / Argile (NC)	$i = 0.43 Z + 1.1$	4.54	0.025
II- Sand / Sable	$i = 0.28 Z - 0.1$	2.14	0.053

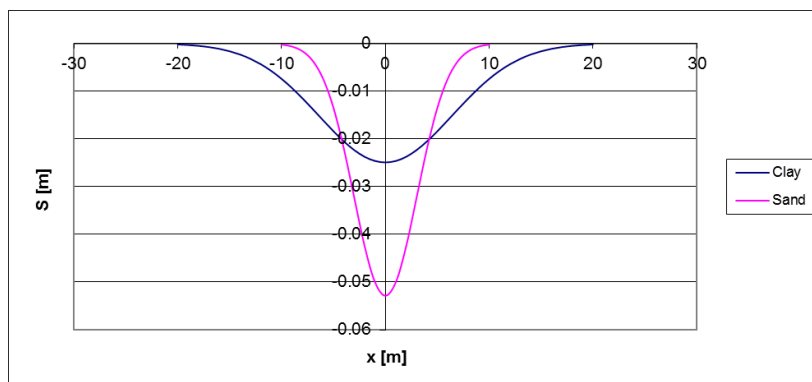
Or, alternatively:

Ou, alternativement:

		i [m]	Smax [m]
I- Clay (NC) / Argile (NC)	$i = KZ; K=0.5$	4	0.028
II- Sand / Sable	$i = KZ; K=0.3$	2.4	0.047

The following curves can be drawn (using values given by the first solution here above)

Les courbes suivantes peuvent être tracées (valeurs selon la première solution ci-dessus)



Ex. TE04.2b

For determining the settlements caused by a tunnel with
Pour déterminer les tassements causés par l'excavation d'un tunnel de

Diameter / Diamètre $D = 8.5 \text{ m}$, $A = 56.75 \text{ m}^2 \cdot \text{m}$

Depth / Profondeur $Z = 15 \text{ m}$

The maximum ground surface settlement at the vertical tunnel axis is $S_{max} = V_s / (2.5 i)$, and the settlement trough curve can be drawn with the following formula :

Le tassement maximal en surface à l'axe vertical du tunnel est $S_{max} = V_s / (2.5 i)$, et la courbe de tassement peut être tracée avec la formule suivante :

$$S = S_{max} \exp\left(\frac{-x^2}{2i^2}\right)$$

Thus, for drawing the settlements curve, it is necessary to
Ainsi, pour dessiner la courbe des tassements il faut

- estimate the distance of distance from the tunnel centre line to the point of inflexion of the trough for a sand:
estimer la distance entre la ligne du centre du tunnel et le point d'inflexion pour la cuvette de tassements d'un terrain sableux:

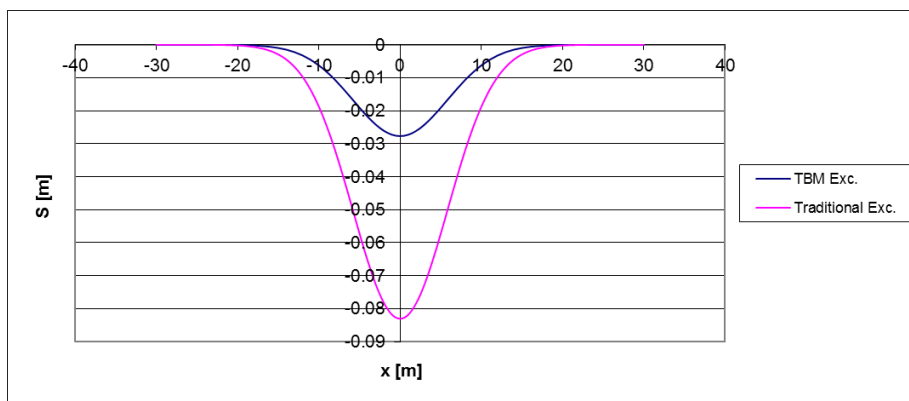
$$i = 0.28 Z - 0.1 = 4.1 \text{ m}$$

- calculate volume of the settlement trough per meter length, $V_s = A V_L$, with V_L depending on the excavation method:
calculer le volume de la cuvette de tassements par mètre de longueur, $V_s = A V_L$, V_L dépendant de la méthode d'excavation :

		Vs [m2·m]	Smax [m]
I- Traditional sequential method / Methode conventionnelle	$V_L=1.5\%$	0.85	0.08
II- Shield-TBM / Tunnelier avec bouclier	$V_L=0.5\%$	0.28	0.03

The following curves can be drawn:

Les courbes suivantes peuvent être tracées :



Ex. TE04.2c

For determining the settlements caused by a tunnel with
Pour déterminer les tassements causés par l'excavation d'un tunnel de

Diameter / Diamètre $D = 8.0$ m, $A = 50.27$ m²·m

The maximum ground surface settlement at the vertical tunnel axis is $S_{max} = V_s / (2.5 i)$, and the settlement trough curve can be drawn with the following formula :

Le tassement maximal en surface à l'axe vertical du tunnel est $S_{max} = V_s / (2,5 i)$, et la courbe de tassement peut être tracée avec la formule suivante :

$$S = S_{max} \exp\left(\frac{-x^2}{2i^2}\right)$$

Thus, for drawing the settlements curve, it is necessary to

Ainsi, pour dessiner la courbe des tassements il faut

- calculate volume of the settlement trough per meter length, $V_s = A VL$, with VL depending on the excavation method, supposing:

calculer le volume de la cuvette de tassements par mètre de longueur, $V_s = A VL$, VL dépendant de la méthode d'excavation, en considérant :

$VL = 0.5\%$ for a Shield TBM / *pour un tunnelier avec bouclier, $V_s = 0.25$ m²·m*

- consider a proper value for the distance of distance from the tunnel centre line to the point of inflexion of the trough for a clay slate:

considérer une valeur appropriée pour la distance entre l'axe du tunnel et le point d'inflexion de la cuvette pour une pour une argillite:

$i = KZ$ with $K=0.7$

	i	Smax [m]
I- Z=12	8.4	0.012
II- Z=24	16.8	0.006

The following curves can be drawn:

Les courbes suivantes peuvent être tracées :

