

Ασκήσεις Εδαφομηχανικής

(Capper et al., 1978, Salglerat et al., 1985)

Β. Χρηστάρας

ΑΠΘ - Τμήμα Γεωλογίας

Εργαστήριο Τεχνικής Γεωλογίας & Υδρογεωλογίας

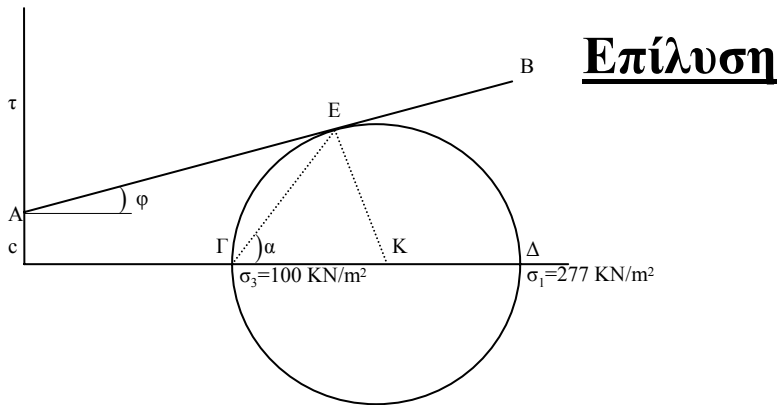
christar@geo.auth.gr

Νόμος του Coulomb

Νόμος Coulomb (1): Τρία δοκίμια, του ίδιου εδαφικού δείγματος αμμώδους αργίλου, μελετήθηκαν εργαστηριακά σε συσκευή διάτμησης, χωρίς αποστράγγιση (επιφάνεια διάτμησης 60*60 mm) και σημειώθηκαν τα παρακάτω ζεύγη τιμών «αξονικής φόρτισης - διατμητικής δύναμης θραύσης):

Δείγμα	A	B	Γ
Φόρτιση (N)	200	400	800
Διατμ. Δύν. (N)	204	360	356

Να υπολογιστεί η συνολική αξονική τάση που θα προκαλέσει θραύση σε δοκίμιο του ίδιου υλικού που θα υποβληθεί σε τριαξονική φόρτιση, με (πλευρική) πίεση κυψέλης 100 KN/m².



Δείγμα	A	B	Γ
Κανονικές (σ_1)	56	111	222
Διατμητικές (σ_3)	57	72	92

Με τα παραπάνω ζεύγη τιμών σχεδιάζουμε το διάγραμμα σ-τα, από το οποίο υπολογίζουμε $c=44 \text{ KN/m}^2$ και $\varphi=14^\circ$. Έχοντας την ευθεία AB, σχεδιάζουμε τον κύκλο Mohr με $\sigma_3=100 \text{ KN/m}^2$. Από το σημείο Γ ορίζεται η ευθεία ΓΕ με κλίση $\alpha=45+\varphi/2=52^\circ$. Έχοντας ορίσει το σημείο το σημείο E (σημείο επαφής), προσδιορίζεται το κέντρο K του κύκλου, ως τομή της ΓΔ με την κάθετη στο σημείο E της AB. Έτσι, αφού σχεδιαστεί ο κύκλος Mohr, υπολογίζεται γραφικά η τιμή του σημείου Δ που αντιστοιχεί σε $\sigma_1 = 277 \text{ KN/m}^2$

Νόμος Coulomb (2): Ένα επίχωμα αποτελείται από άργιλο, για το οποίο υπολογίστηκαν $c'=25\text{KN/m}^2$ και $\phi=26^\circ$ (από εργαστηριακή δοκιμή σε στερεοποιημένα μη αποστραγγισμένα δείγματα, με υπολογισμό της πίεσης των πόρων). Το μέσο φαινόμενο βάρος του υλικού πλήρωσης είναι 1.9 Mg/m^3 . Να υπολογιστεί η διατμητική αντοχή του υλικού σε οριζόντιο επίπεδο, 20 m κάτω από την επιφάνεια του επιχώματος, αν η πίεση των πόρων στο σημείο αυτό υπολογίζεται από τα πιεζόμετρα σε 180KN/m^2 .

Επίλυση:

- Το βάρος του υλικού πλήρωσης ανά μονάδα όγκου είναι
$$1.9 \cdot 9.81 = 18.64 \text{ KN/m}^3$$
- Σε βάθος 20m το βάρος του εδάφους προκαλεί πλευρική πίεση
$$18.64 \cdot 20 = 373 \text{ KN/m}^2$$

Άρα:

- Ενεργός πίεση: $\sigma' = \sigma - u = 373 - 180 = 193 \text{ KN/m}^2$
- Διατμητική αντοχή: $\tau_a = 25 + 193 \tan 26 = 119 \text{ KN/m}^2$

Νόμος Coulomb (2): Μια γεώτρηση συναντά λεπτό στρώμα ιλύος σε βάθος 15 m. Το έδαφος, επάνω από το στρώμα αυτό, έχει ξηρή πυκνότητα 1.55 Mg/m^3 και μέση περιεκτικότητα σε νερό 30 %. Ο υδροφόρος ορίζοντας είναι περίπου στην επιφάνεια. Δοκιμές σε αδιατάρακτα δοκίμια ιλύος έδωσαν τα παρακάτω αποτελέσματα: $c=50 \text{ KN/m}^2$, $\phi=13^\circ$, $c'=40 \text{ KN/m}^2$ και $\phi'=23^\circ$.

Να υπολογιστεί η διατμητική αντοχή της ιλύος σε οριζόντιο επίπεδο,
α) όταν η διατμητική τάση αυξάνει γρήγορα,
β) όταν η διατμητική τάση αυξάνει αργά.

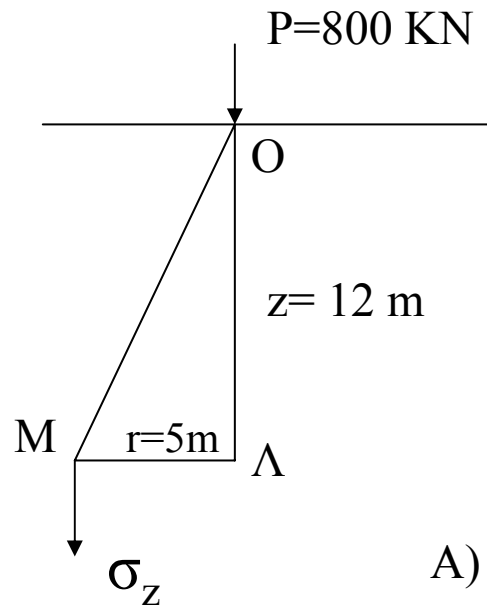
- Φαινόμενο βάρος: $\gamma = d(1+m) = 1.55 \cdot 1.3 = 2.015 \text{ Mg/m}^3$
- Πυκνότητα υδροφόρου στρώματος: $2.015 - 1.0 = 1.015 \text{ Mg/m}^3$
- Ολική πίεση σε βάθος 15 m: $2.015 \cdot 9.81 \cdot 15 = 296 \text{ KN/m}^2$
- Ενεργός πίεση σε βάθος 15 m: $1.015 \cdot 9.81 \cdot 15 = 149 \text{ KN/m}^2$
- Όταν προκαλείται γρήγορη αύξηση της διατμητικής τάσης, θεωρούμε ότι το έδαφος δεν προλαβαίνει να υποστεί αποστράγγιση.
- **Έτσι,**
- σε ολική πίεση 296 KN/m^2 ,
- η διατμητική αντοχή θα είναι $\tau = 50 + 295 \tan 13^\circ = 118 \text{ KN/m}^2$
- Όταν η αύξηση της διατμητικής τάσης γίνεται με αργό ρυθμό, τότε το έδαφος έχει το χρόνο να αποστραγγιστεί.
- **Έτσι,**
- για ενεργό τάση $\sigma' = 149 \text{ KN/m}^2$,
- η Διατμητική αντοχή θα είναι $\tau_a = 40 + 149 \tan 23^\circ = 103 \text{ KN/m}^2$

Κατανομή τάσεων στο υπέδαφος,
λόγω εξωτερικής φόρτισης

Κατανομή τάσεων (1):

Ένας ομογενής εδαφικός σχηματισμός ασκεί σημειακή φόρτιση στην επιφάνεια του με 800 KN. Να υπολογιστεί η κατακόρυφη τάση που ασκείται σε σημείο M, σε βάθος 12 m, και σε οριζόντια απόσταση 5 m από την κατακόρυφο.

Επίλυση



$$\sigma_z = k \frac{P}{z^2}, \quad \sigma_z = \frac{3}{2\pi} * \frac{P \cdot z^3}{R^5} = \frac{3}{2} * \frac{P}{\pi z^2} \cos^5 \vartheta,$$

$$k = \frac{3}{2\pi} \left[\frac{1}{\left[1 + \left(\frac{r}{z} \right)^2 \right]^{5/2}} \right] = \frac{3}{2\pi} * \frac{z^5}{R^5}$$

Άρα:

A) στο σημείο $\Lambda \Rightarrow r=0 \Rightarrow k_{\Lambda} = 0.4775$

$$\sigma_z = 0.4775 \frac{800}{12^2} = 3 \text{ KN} / \text{m}^2$$

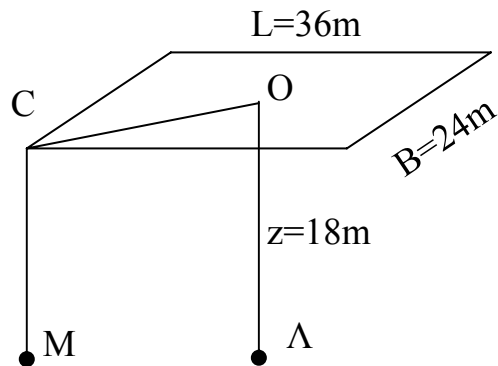
B) στο σημείο $M \Rightarrow r=5, \quad k_M = 0.3294$

$$\sigma_z = 0.3294 \frac{800}{12^2} = 2.31 \text{ KN} / \text{m}^2$$

Κατανομή τάσεων (2):

Ορθογώνιο θεμέλιο διαστάσεων 36*24 m ασκεί στο έδαφος φόρτιση 155 KN/m². Να υπολογιστεί η ασκούμενη κατακόρυφη τάση στο έδαφος, κάτω από το κέντρο και τη γωνία θεμελίου, σε βάθος 18 m.

Επίλυση



Μέθοδος Διαγράμματος Fadum

- Προσδιορίζεται μόνο ο K_c . Ο K_0 υπολογίζεται ως K_c' στην κορυφή του 1/4 του τετραγώνου τμήματος.
- Έτσι, ισχύει $K_0 = 4K_c'$

Άρα:

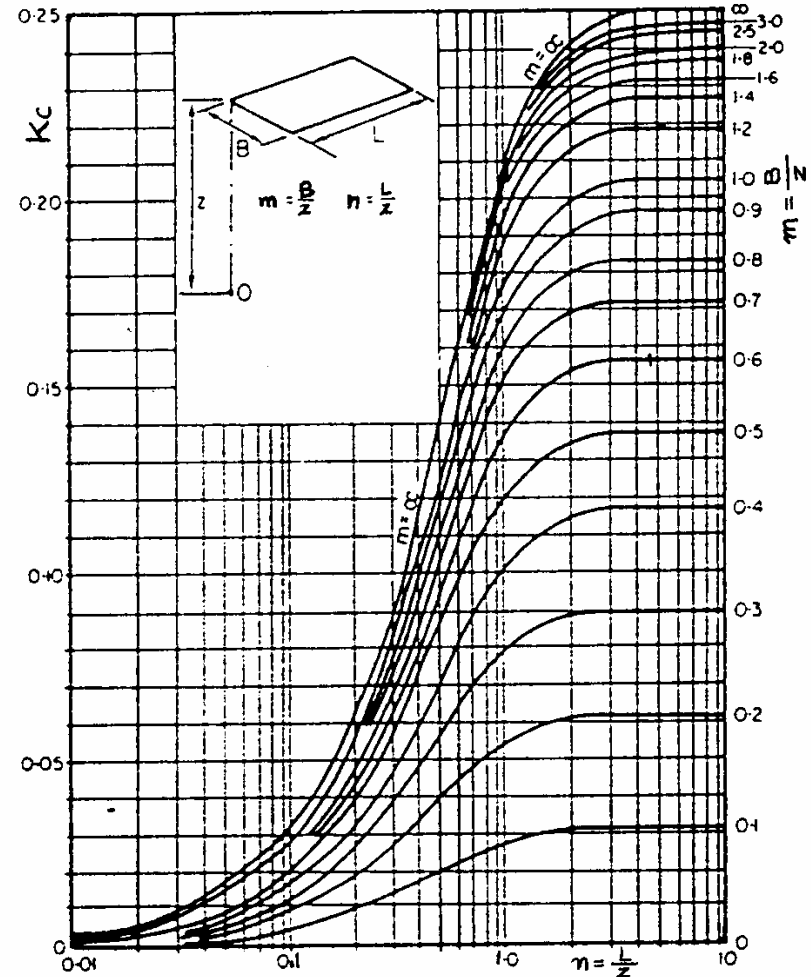
$$n = \frac{L}{z} = 1$$

$$m = \frac{B}{z} = 0.67$$

$$K_c' = 0.146 \Rightarrow$$

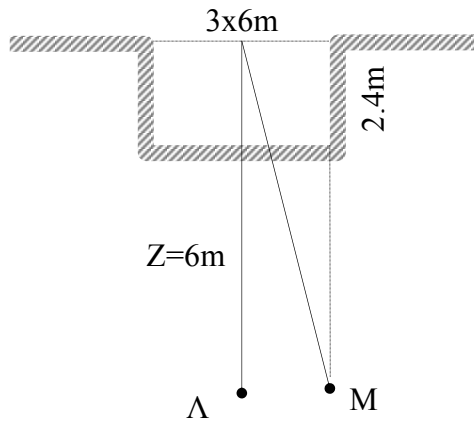
$$K_0 = 4 * 0.155 = 0.619 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \sigma_z = 155 * 0.619 = 96 \text{ KN/m}^2$$



Κατανομή τάσεων (3): Εκσκαφή διαστάσεων 3*6 m και βάθους 2.4 m, κατασκευάστηκε σε ομογενές έδαφος, με ξηρή πυκνότητα 2000 Kg/m³. Να υπολογιστεί η μεταβολή των τάσεων που θα επέλθει στο υπέδαφος μέχρι βάθους 6 m, κάτω από το κέντρο της εκσκαφής.

Επίλυση



A) Πριν από την εκσκαφή η κάθετη πίεση, που ασκείται από το βάρος του εδάφους, είναι:

$$\gamma z = 2000 \cdot 9,81 \cdot z \text{ [N/m}^2\text{]}$$

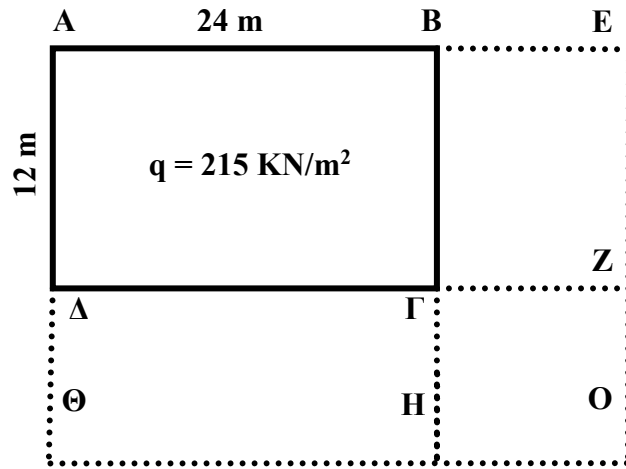
$$\text{για } z = 6\text{m} \Rightarrow \gamma z = 2000 \cdot 9,81 \cdot 6 = 117720 \text{ N/m}^2 = 118 \text{ KN/m}^2$$

B) Επομένως, πριν από την εκσκαφή η κάθετη πίεση σε βάθος 2.4 m ήταν: $2000 \cdot 9,81 \cdot 2,4 = 47088 \text{ N/m}^2 = 47 \text{ KN/m}^2$

Γ) Μετά την εκσκαφή, η πίεση στον πυθμένα του σκάμματος είναι μηδέν (Θεωρούμε ότι, ως προς την επιφάνεια του εδάφους, η μεταβολή πίεσης είναι $-47 \text{ KN/m}^2 \Rightarrow 47 - 47 = 0$)

Βάθος πραγματικό	Βάθος από πυθμένα εκσκαφής	Fadum $n=L/z=3/z$	Fadum $m=B/z=1.5/z$	Kc	Μεταβολή ή πίεσης κέντρο 4.Kc.-47 KN/m ²	Αρχική πίεση προ εκσκαφής	Τελική πίεση μετά εκσκαφή
0	-2.4					0	0
2.4	0			0.25	-47	47	0
3.6	1.2	2.5	1.25	0.218	-41	71	30
4.8	2.4	1.25	0.625	0.147	-28	94	66
6	3.6	0.83	0.417	0.1	-19	118	99

Κατανομή τάσεων (4): Παραλληλόγραμμο θεμέλιο ΑΒΓΔ, διαστάσεων 24x12 m, ασκεί επί του εδάφους, πίεση 215 Κρα. Να υπολογιστεί η κατακόρυφη τάση που ασκείται σε σημείο «Ο» εκτός θεμελίου, σε βάθος 8 m. Το σημείο «Ο» απέχει, οριζόντια, 8 m κάθετα στις προεκτάσεις των δύο πλευρών του θεμελίου



Άρα:

Η κατακόρυφη τάση στο σημείο «Ο» είναι 2.3 ΚΝ/μ² (συμπίεση)

Τμήμα	L (m)	B (m)	n= L/z	m = B/z	I_f	Κάθετη τάση (ΚΝ/μ²)
+ΑΕΟΘ	32	20	4	2.5	0.243	52.2
+ΓΖΟΗ	8	8	1	1	0.176	37.8
-ΔΖΟΘ	32	8	4	1	-0.205	44.1
-ΒΕΟΗ	20	8	2.5	1	-0.203	43.6
Σ = + 2.3						

Κατανομή τάσεων (5α): Ορθογώνιο θεμέλιο, διαστάσεων 12x15m, φορτίζει ομοιόμορφα το έδαφος με 24MN. Το έδαφος θεμελίωσης, από επάνω προς τα κάτω, αποτελείται από ένα στρώμα ομοιόμορφης άμμου, πάχους 6.4m και ένα στρώμα αργίλου πάχους 3.2m. Τα χαρακτηριστικά της άμμου είναι:

Ξηρή πυκνότητα: 1950 Kg/m³

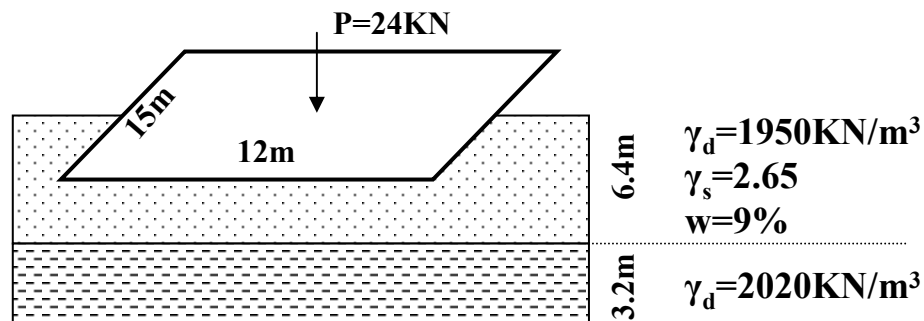
Ειδικό βάρος κόκκων: 2.65

Υπάρχουσα υγρασία: 9%

Βάθος υδροφόρου ορίζοντα: 4.3m

α) Να υπολογιστεί το βάθος θεμελίωσης ώστε η ασκούμενη τάση στο αργιλικό στρώμα να αυξηθεί μέχρι 75KN/m²

β) Με δεδομένο το προηγούμενο αποτέλεσμα, να υπολογιστεί η μέση κατακόρυφη πίεση στη βάση του αργιλικού στρώματος (πυκνότητα αργίλου: 2020 Kg/m³)



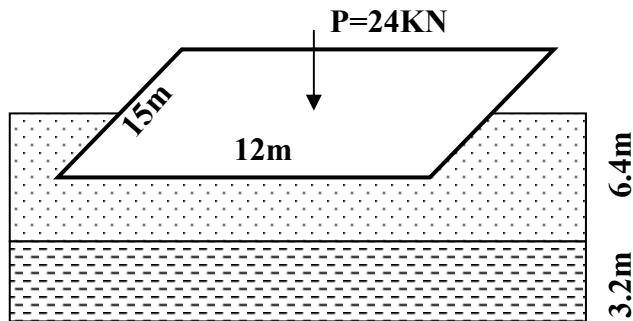
d: βάθος θεμελίωσης

z: βάθος αργίλου από το θεμέλιο

Κατανομή τάσεων (5β): συνέχεια

(α) Η πίεση επαφής θεμελίου-εδάφους είναι: $(24 \cdot 10^3) / (12 \cdot 15) = 133 \text{ KN/m}^2$

- Φαινόμενη πυκνότητα άμμου επάνω από τον υδροφορέα: $1950 \cdot 1.09 = 2126 \text{ Kg/m}^3$
- Η κατακόρυφη πίεση στην άμμο, σε βάθος d , πριν από την κατασκευή του θεμελίου :
 $2126 \cdot 9.81 \cdot d = 20.86 d \text{ KN/m}^2$ (για $d \leq 4.3$)



Σημείωση: Η αύξηση της κατακόρυφης τάσης, στο στρώμα της αργίλου, οφείλεται στο εξωτερικό φορτίο του θεμελίου μείον το φορτίο του βάρους του αφαιρούμενου χώματος, κατά την θεμελίωση.

Επιβαλλόμενη πίεση: $(133 - 20.86d) \text{ KN/m}^2$, για $d \leq 4.3$

Χωρίς την παρουσία υδροφόρου στρώματος, για βάθος θεμελίωσης 6.38 m, η επί πλέον κατακόρυφη πίεση στην άργιλο μηδενίζεται ($6.38 \cong 6.4$).

Έτσι, σύμφωνα με την παραπάνω σχέση,

η επιβαλλόμενη πίεση είναι: 133 KN/m^2 για $d=0.0$

102 KN/m^2 για $d=1.5$

70 KN/m^2 για $d=3.0 \Rightarrow d < 4.3$ (Βάθος υδροφόρου ορίζοντα)

Σημείωση: Η μέγιστη τάση στην άργιλο εμφανίζεται στην επάνω επιφάνεια της, κάτω από το κέντρο του θεμελίου. Για την επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιείται το διάγραμμα του Fadum.

Κατανομή τάσεων (5γ): συνέχεια

Αποτελέσματα τάσεων σε διάφορα βάθη:

Βάθος	Βάθος αργίλου από το θεμέλιο	$n=L/z=7.5/z$	$m=B/z=6/z$	K'_c	$4*K_c$	Επιβαλλόμενη πίεση (KN/m ²)	Αύξηση τάσης στην άργιλο (KN/m ²)
0	6.4	1.17	0.94	0.182	0.728	133	96.8
1.5	4.9	1.53	1.22	0.206	0.824	102	84
3	3.4	2.21	1.76	0.23	0.92	70	64.4
2.3	4.1	1.83	1.46	0.22	0.88	85	74.8

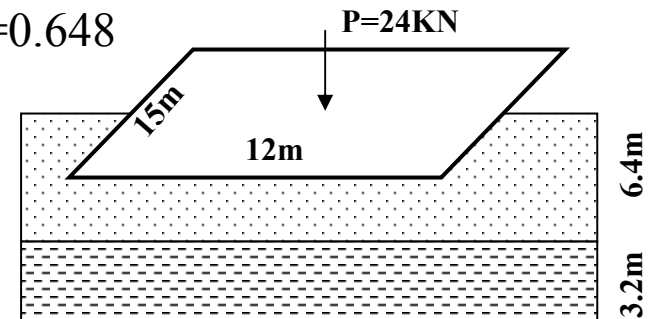
(β) Από το (α) \Rightarrow βάθος θεμελίωσης = 2.3 m

Άρα, η βάση της αργίλου είναι σε βάθος $6.4+3.2-2.3=7.3$ m, από το επίπεδο θεμελίωσης.

Από το νομόγραμμα του Fadum προκύπτει ότι

για $z' = 7.3\text{m} \Rightarrow n=1.03$, $m=0.82$, $K'_c=0.162$, $4K'_c=0.648$

Έτσι, η μέγιστη αύξηση στην κατακόρυφη τάση στη βάση της αργίλου θα είναι $0.648*85=55$ KN/m²



Κατανομή τάσεων (5δ): συνέχεια

Για να υπολογίσουμε τη συνολική ασκούμενη πίεση στη βάση της αργίλου, πρέπει στην παραπάνω τιμή (55 KN/m^2), να προσθέσουμε την προϋπάρχουσα πίεση που ασκεί α) το βάρος της άμμου επάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα, β) το βάρος της άμμου εντός του υδροφορέα (Σημ.: η άργιλος είναι στεγανή) και γ) το βάρος της αργίλου.

Έτσι:

- Πίεση άμμου επάνω από τον υδροφορέα:

$$2126 * 4.3 * 9.81 = 89.68 \text{ KN/m}^2$$

- Πίεση αργιλικού στρώματος:

$$2020 * 3.2 * 9.81 = 63.41 \text{ KN/m}^2$$

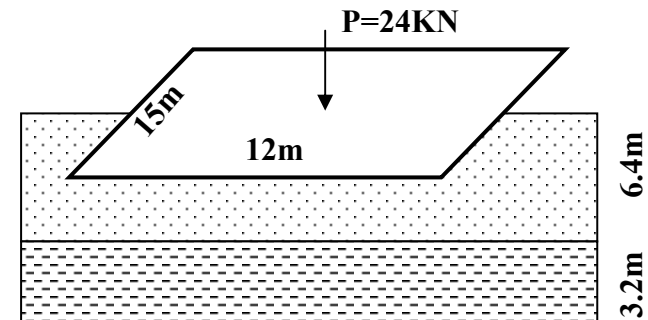
- Πίεση άμμου εντός του υδροφόρου στρώματος (μεταξύ 4.3-6.4 m):

$$V_s = \frac{1950}{2.65 * 1000} = 0.736 \text{ m}^3 \quad e = \frac{1 - 0.736}{0.736} = 0.359$$

Φαινόμενο βάρος κορεσμένης άμμου:

$$\gamma = \frac{\gamma_s + e}{1 + e} * \gamma_w = \frac{2.65 + 0.36}{1.36} * 1000 = 2213 \text{ Kg / m}^3$$

Άρα, Πίεση άμμου: $2213 * 2.1 * 9.81 = 45.59 \text{ KN/m}^2$



Άρα,

- Προϋπάρχουσα Πίεση: $89.68 + 61.43 + 45.59 = 199 \text{ KN/m}^2$
- Ολική Πίεση: $55 + 199 = 254 \text{ KN/m}^2$

Φέρουσα ικανότητα
Bearing capacity

Φέρουσα ικανότητα: Επίμηκες (λουριδωτό) θεμέλιο εδράζεται επί κορεσμένης αργίλου, σε βάθος 2m, από την επιφάνεια του εδάφους. Εργαστηριακές δοκιμές σε αστράγγιστα δείγματα έδωσαν μέση τιμή $c=54\text{KN/m}^2$. Η φαινόμενη πυκνότητα του εδάφους είναι 1.76Mg/m^3 . Να υπολογιστεί η φέρουσα ικανότητα του εδάφους, στο βάθος αυτό.

$$q=c.N_c+\gamma.D_f.N_q+0.5\gamma.B.N_\gamma$$

Επειδή η άργιλος είναι κορεσμένη $\Rightarrow \varphi=0$ άρα $N_\gamma=0$ άρα $0.5\gamma B N_\gamma=0$

Άρα: $q=cN_c+\gamma D_f N_q$

$$N_q=1, N_c=5.7$$

$$\gamma=1.76*9.81=17.3 \text{ KN/m}^3 \text{ (17.3KN/m}^2 \text{ για κάθε μέτρο βάθους ή 17.3KN/m}^2\text{/m)}$$

$$\gamma D_f=17.3*2=34.6 \Rightarrow$$

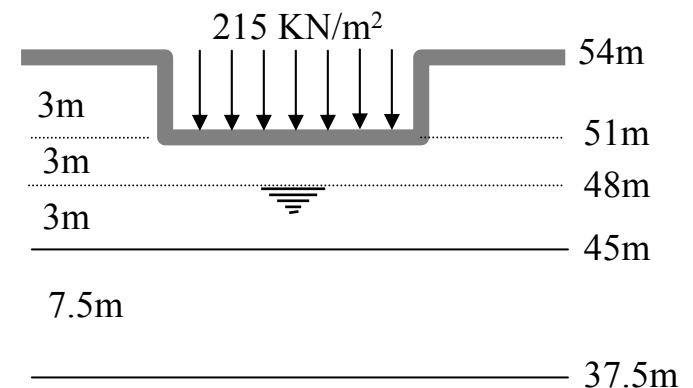
$$q=54*5.7+17.3*2*1=343 \text{ KN/m}^2.$$

Φέρουσα ικανότητα του εδάφους: $q=cN_c=308 \text{ KN/m}^2$

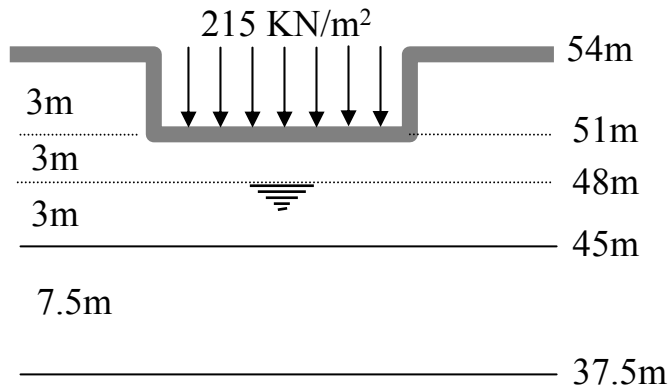
Καθιζήσεις
Consolidation

- **Καθίζηση (1α):** Σύμφωνα με τα δεδομένα του σχήματος, τεχνικό έργο, με επίπεδη βάση, εδράζεται σε έδαφος που αποτελείται, από επάνω προς τα κάτω, από ένα στρώμα άμμου πάχους 9 m, τοποθετημένου επάνω σένα στρώμα αργίλου πάχους 7.5 m, το οποίο είναι τοποθετημένο σε υδροπερατό υπόβαθρο.
- Να υπολογιστεί η τελική καθίζηση που θα υποστεί το έδαφος καθώς και η καθίζηση που θα υποστεί μετά από παρέλευση 10 ετών.

Διαστάσεις έδρασης θεμελίου	27*18m
Πίεση στην διαεφή βάσης με έδαφος	215KN/m²
Ξηρή πυκνότητα εδάφους	1830Kg/m³
Ειδικό βάρος κόκκων άμμου	2.65
Υγρασία άμμου επάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα	8%
Φαινόμενο βαρος αργίλου	1920 Kg/m³
Ειδικό βάρος κόκκων αργίλου	2.7
Υψόμετρο επιφανείας εδάφους	54 m
Υψόμετρο επιφανείας αργίλου	45 m
Υψόμετρο ανώτ. επιφ. υποβάθρου	37.5 m
Υψόμετρο βάσης θεμελίου	51 m
Υψόμετρο υδροφόρου ορίζοντα	48 m



Καθίζηση (1β):



Δίδονται εργαστηριακά δεδομένα:

Ενεργός Πίεση P (kN/m ²)	Συντ. μεταβ. όγκου m _v (m ² /kN)
12	0.000423
24	0.000426
57	0.000433
112	0.000285
224	0.000239
448	0.000144
896	0.000049

Επίλυση

Μέσος συντελεστής στερεοποίησης $C_v = 0.027 \text{ mm}^2/\text{sec}$

Για τον υπολογισμό του προβλήματος προσδιορίζονται:

- Η αρχική κατανομή της ενεργούς πίεσης στο έδαφος, σ' ολόκληρο το βάθος
- Η τελική κατανομή της ενεργού πίεσης
- Η σχέση $p - m_v$ που δίδεται από τη σχέση

$$m_v = \frac{a_v}{1+e} = \frac{1}{H} * \frac{\Delta H}{\Delta p}$$

• Για τον υπολογισμό της καθίζησης στο αργιλικό στρώμα, αυτό χωρίζεται σε 5 ζώνες πάχους $H' = 1.5 \text{ m}$ η κάθε μια, επειδή έχει μεγάλο πάχος. Έτσι η καθίζηση υπολογίζεται για κάθε ζώνη χωριστά από τη σχέση:

$$s' = m_v H' \Delta p$$

Άρα, η συνολική καθίζηση θα είναι: $S = s'_1 + \dots + s'_5$

Καθίζηση (1γ):

- Η αρχική πίεση του εδάφους πριν από τη θεμελίωση αφορά το βάρος των υπερκείμενων στρωμάτων, καθώς και την πίεση των πόρων.
- Το φαινόμενο βάρος της άμμου (με 8 % υγρασία), επάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα, είναι: $\gamma_1 = 1830 * 1.08 = 1976 \text{ Kg/m}^3$
- το φαινόμενο βάρος της άμμου μέσα στο υδροφόρο στρώμα είναι:

$$\gamma_2 = \frac{\gamma_s + e}{1 + e} * \gamma_w = \frac{2.65 + e}{1 + e} * 1000 \left(\text{Kg} / \text{cm}^3 \right)$$

- Η ξηρή πυκνότητα της άμμου ισούται με $d=1830 \text{ Kg/m}^3$.

$$\Rightarrow 1830 = \frac{2.65 * 1000}{1 + e} \Rightarrow e = 0.45$$

$$\underline{\text{Άρα:}} \quad \gamma_2 = \frac{2.65 + 0.45}{1 + 0.45} * 1000 \Rightarrow \gamma_2 = 2138 \text{ Kg} / \text{m}^3$$

- Αρχική πίεση σε βάθος z : $[(6 * 1976) + (3 * 2138) + 1920z] * 9.81 \text{ N/m}^2 = (179 + 18.8z) \text{ KN/m}^2$
- Πίεση πόρων στο υδροφόρο στρώμα: $(3 + z) 1000 * 9.81 \text{ N/m}^2 = 29 + 18.8z \text{ KN/m}^2$
- Έτσι, η αρχική ενεργός πίεση ισούται με $(150 + 9z) \text{ KN/m}^2$ (z σε μέτρα)
- Η ενεργός πίεση στην άργιλο δίδεται στον επόμενο πίνακα

Καθίζηση (1δ):

Ασκούμενη πίεση - συμπίεση σε κάθε υποζώνη της αργίλου

Υποζώνη	Βάθος από άνω επιφ. Αργίλου (m)	Βάθος κέντρου υποζώνης -z (m)	Πάχος υποζώνηςH' (m)	Αρχική ενεργός πίεση p (KN/m ²)	Αύξηση πίεσης Δp (KN/m ²)	Τελ. Ενεργός πίεση p+Δp (KN/m ²)	Μέση ενεργός πίεση p+Δp/2 (KN/m ²)	Συντ. μεταβ. όγκου m _v (m ² /KN)	H'Δp (KN/m)	s'=m _v H'Δp (m)
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
1	0-1.5	0.75	1.5	157	137	294	225	0.000235	206	0.0484
2	1.5-3.0	2.25	1.5	170	126	296	233	0.000229	189	0.0433
3	3.0-4.5	3.75	1.5	184	114	298	241	0.000225	171	0.0385
4	4.5-6.0	5.25	1.5	197	104	301	249	0.00022	156	0.0343
5	6.0-7.5	6.75	1.5	211	97	308	259	0.000215	146	0.0314

$s = \sum m_v H' \Delta p = 196 \text{ mm}$

Στη βάση της θεμελίωσης, η καθαρή (τελική) ασκούμενη εξωτερική φόρτιση, επί του εδάφους ισούται με το βάρος της κατασκευής μείον το αφαιρούμενο έδαφος.

$$\text{Τελική εξωτερική φόρτιση} = 215 - \frac{3 * 1976 * 9.81}{1000} = 157 \text{ KN} / \text{m}^2$$

Η πίεση που ασκείται σε βάθος z λόγω εξωτερικής φόρτισης υπολογίζεται με χρήση του νομογράμματος του Fadum

Καθίζηση (1ε):




• Τελική συνολική καθίζηση οφειλόμενη στη συμπιεστότητα της αργίλου, λόγω εξωτερικής φόρτισης, δίδεται ως άθροισμα των επί μέρους καθιζήσεων $s = \Sigma mnH'\Delta p = 196 \text{ mm}$

• Καθίζηση μετά παρέλευση 10 ετών:

$$T_v = \frac{c_v t}{(H / 2)^2} \Rightarrow T_v = \frac{0.27 * 10 * 365 * 24 * 60^2}{[(7.5 / 2) * 10^3]^2} = 0.605$$

Από σχετικό πίνακα $T_v - U$, εκτιμάται ότι, για $T_v=0.605$, ο βαθμός στερεοποίησης $U=0.81$

Τελική καθίζηση:
 $0,81 * 196 = 159 \text{ mm}$

Κορυφή διαπερατή Βάση στεγανή			
	Παράγοντας χρόνου T_v		
Βαθμός στερεοποίησης	Περίπτωση (1)	Περίπτωση (2)	Περίπτωση (3)
0.1	0.008	0.047	0.003
0.2	0.031	0.1	0.009
0.3	0.071	0.158	0.024
0.4	0.126	0.221	0.048
0.5	0.197	0.294	0.092
0.6	0.287	0.383	0.16
0.7	0.403	0.5	0.271
0.8	0.567	0.665	0.44
0.9	0.848	0.94	0.72

Καθίζηση (2α): Η γεωτεχνική έρευνα που έγινε με σκοπό τη διερεύνηση της μηχανικής συμπεριφοράς του εδάφους θεμελίωσης ενός τεχνικού έργου, περιλαμβάνει και εργαστηριακή δοκιμή στερεοποίησης του εν λόγω εδάφους. Έτσι έγινε συλλογή κορεσμένων δειγμάτων ιλυώδους αργίλου, τα οποία δοκιμάστηκαν εργαστηριακά, με χρήση οιδημέτρου. Το δείγμα που εξετάστηκε και που φορτίστηκε διαδοχικά, σύμφωνα με τις διεθνείς προδιαγραφές, είχε αρχικό πάχος 15 mm και διάμετρο 76.2 mm. Το ειδικό βάρος των κόκκων του εδάφους είναι 2.70. Στο δείγμα ασκήθηκε μέγιστη πίεση 856 KN/m². Μετά το δείγμα αφέθηκε να διογκωθεί επί 48 ώρες, με αφαίρεση του βάρους και η υγρασία που προσέλαβε υπολογίστηκε σε 38,8 %.

Τα δεδομένα τιμών τελικής καθίζησης για κάθε βαθμίδα φόρτισης δίδονται παρακάτω:

Φόρτιση (KN/m²)	0	26.75	53.5	107	214	428
Τελική ένδειξη μικρομέτρου (mm)	5.588	5.232	4.958	4.602	3.962	3.414

Να προσδιοριστούν:

- α) η σχέση « λόγος κενών - log ενεργή πίεση»
- β) ο δείκτης συμπίεσης (C_c)
- γ) οι συντελεστές a_v και m_v
- δ) Να γίνουν διαγράμματα όπου χρειάζεται

Καθίζηση (2β):

- (α)
- Τελικός λόγος κενών κορεσμένου εδάφους (μετά από αποφόρτιση και διόγκωση):
 $e = 0.388 * 2.7 = 1.045$
- Το πάχος του δείγματος σ' αυτή τη φάση είναι: $19.000 - (5.588 - 5.222) = 18.634 \text{ mm}$
- (β)

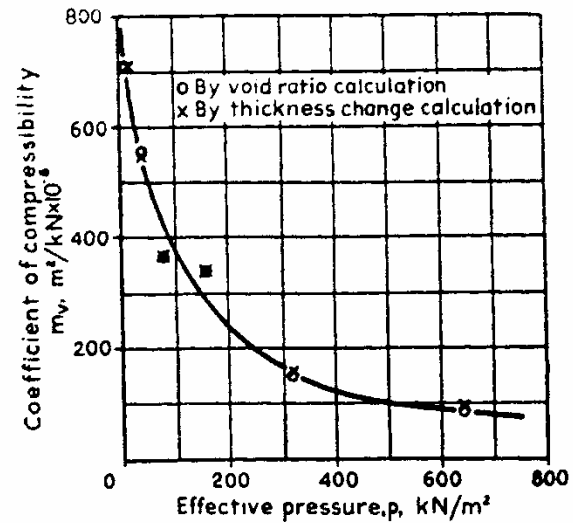
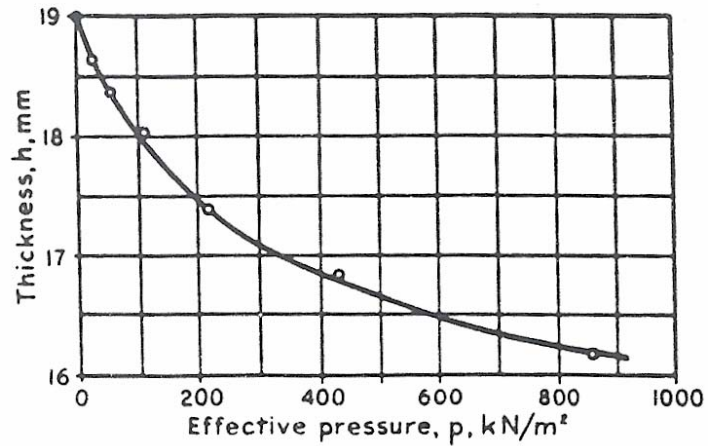
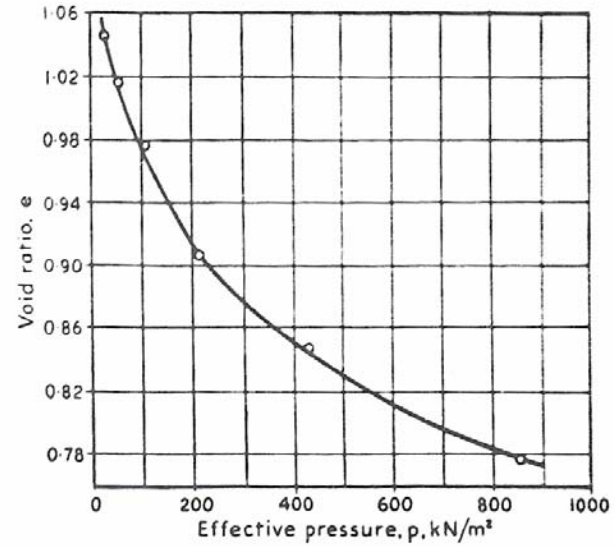
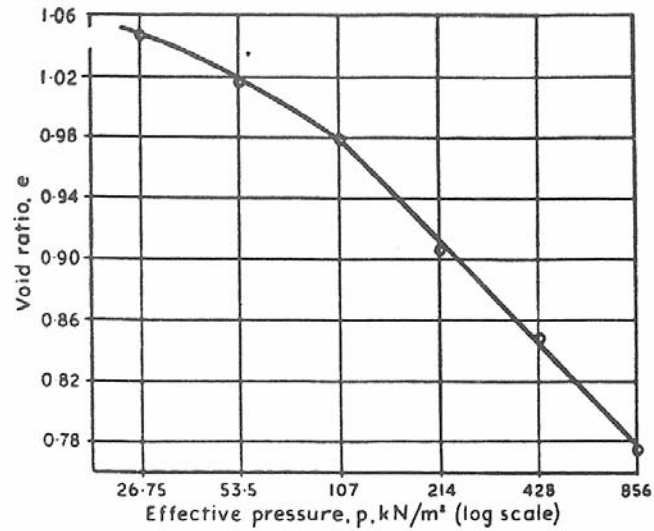
$$\frac{\delta e}{\delta h} = \frac{1+e}{h} \Rightarrow \delta e = (1+e) \frac{\delta h}{h} \Rightarrow \delta e = \frac{2.045}{18.634} * \delta h = 0.1097 \delta h$$

Άρα:

Διάστημα P (KN/m ²)	δp (KN/m ²)	δh (mm)	δe (0.1097 δh)	e (τελικό, βαθμίδας)*	$\alpha_v = \delta e / \delta h$ (m ² /KN)
0 - 26.75	26.75	-0.356	-0.0391	1.046	0.00146
26.75 - 53.5	26.75	-0.274	-0.0301	1.016	0.00113
53.5 - 107	53.5	-0.356	-0.0391	0.977	0.00073
107 - 214	107	-0.64	-0.702	0.907	0.00066
214 - 428	214	-0.548	-0.0601	0.847	0.00028
428 - 856	428	-0.63	-0.0691	0.778	0.00016
856 - 0	-856	2.438	0.2674	1.045	

* Για τον υπολογισμό του "e" αρχίζουμε από την τελευταία βαθμίδα φόρτισης (αποφόρτιση)

Καθίζηση (2δ):



(Πλευρικές) Ωθήσεις Γαιών

Ωθήσεις γαιών (1): Κατακόρυφος τοίχος αντιστήριξης, ύψους 8 m, συγκρατεί χαλαρό σχηματισμό πυκνότητας 1.75 Mg/m^3 και γωνίας εσωτερικής τριβής $\gamma=30^\circ$. Η επιφάνεια του εδάφους είναι οριζόντια. Να υπολογιστεί το μέγεθος και η διεύθυνση της συνισταμένης ενεργητικής ώθησης.

a) με τη μέθοδο Rankine

b) με τη μέθοδο Coulomb, θεωρώντας ότι η γωνία τριβής εδάφους - τοίχου είναι $\delta=20^\circ$ (εμπειρικός συντελεστής $\alpha=0.9-0.8$ για $\delta=15-30^\circ$)

Επίλυση:

a) Rankine:

$$K_a = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = \tan^2 (45 - \varphi/2) = \frac{1 - 1/2}{1 + 1/2} = \frac{1}{3}$$

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma h^2 = \frac{1}{2} \frac{1}{3} (1.75 * 9.81) 8^2 = 183 \text{ KN} / \text{m}$$

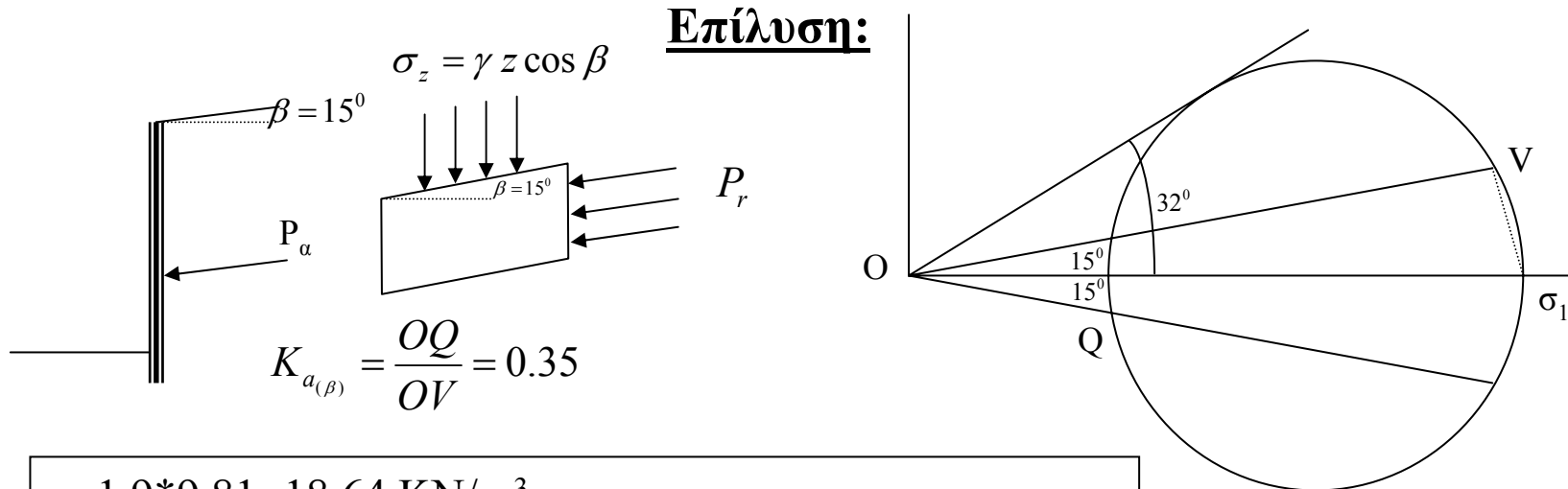
b) Coulomb:

$$P_a = \cos \delta = 183a$$

$$P_a = \frac{183a}{\cos \delta} = \frac{183 * 0.27}{\cos 20} = 169 \text{ KN} / \text{m}$$

Ωθήσεις γαιών (2): Τοίχος αντιστήριξης, ύψους 9.5 m, συγκρατεί χαλαρό εδαφικό σχηματισμό με κλίση της άνω επιφάνειας 15° . Η πυκνότητα του εδάφους είναι 1.9 Mg/m^3 και $\phi=32^\circ$.

- Να υπολογιστεί η συνισταμένη ώθηση του εδάφους με τη μέθοδο Rankine.



$$\gamma = 1.9 \cdot 9.81 = 18.64 \text{ KN/m}^3$$

$$\text{Τάση στη βάση του τοίχου: } OV = \sigma_z = \sigma_1 \cdot \cos \beta = \gamma z \cdot \cos \beta$$

$$OQ = P_r = \text{αντιστοιχεί στο } (P_\alpha)$$

$$\sigma_z = 18.64 \cdot 9.5 \cdot \cos 15 = 171 \text{ KN/m}^2$$

$$p_\alpha = \sigma_z \cdot 0.35 = 60 \text{ KN/m}^2$$

$$P_\alpha = (1/2) \cdot 60 \cdot 9.5 = 285 \text{ KN/m}$$

$$P_\alpha = (1/2) K_\alpha \gamma H^2 (\cos \beta)$$

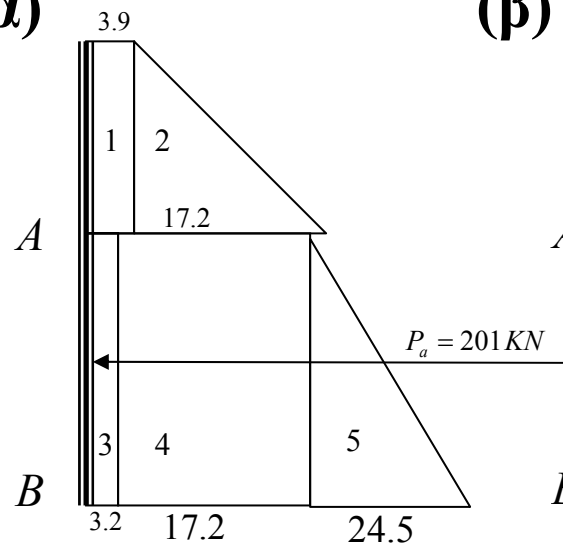
$$P_\alpha = (1/2) \cdot 0.35 \cdot 18.64 \cdot 9.5^2 (\cos 15^\circ) = 285 \text{ KN/m}$$

Ωθήσεις γαιών (3α): Κατακόρυφος τοίχος αντιστήριξης, ύψους 8 m, συγκρατεί χαλαρό εδαφικό σχηματισμό ο οποίος στα ανώτερα 3 m, έχει $d = 1.75 \text{ Mg/m}^3$ και $\varphi=30^\circ$. Στα κατώτερα 5 m, η πυκνότητα $d = 1.85 \text{ Mg/m}^3$ και $\varphi=35^\circ$. Η οριζόντια επιφάνεια του εδάφους φορτίζεται ομοιόμορφα με 1.2 Mg/m^2 . Να υπολογιστεί το μέτρο και το σημείο εφαρμογής της συνισταμένης ώθησης

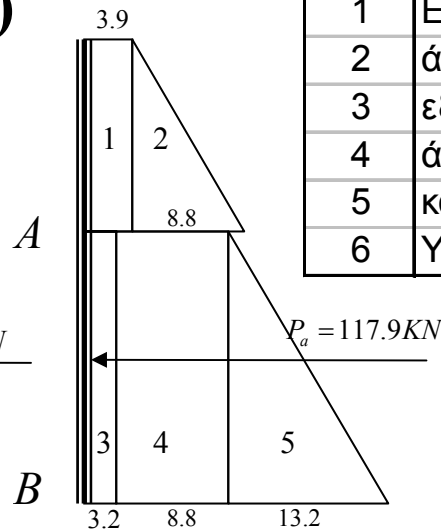
α) όταν ο σχηματισμός έχει υποστεί αποστράγγιση

β) όταν, λόγω παρουσίας υπόγειου νερού, η φαινόμενη πυκνότητα στα δύο στρώματα είναι 1.9 Mg/m^3 και 2.0 Mg/m^3 (κορεσμένο έδαφος).

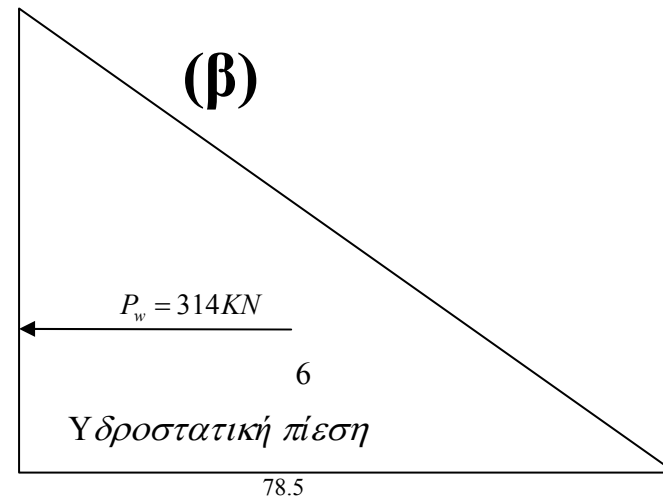
(α)



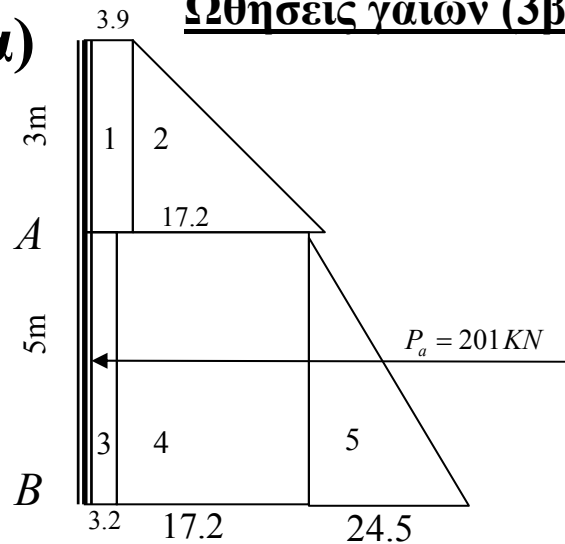
(β)



No	Είδος φορτίου
1	Εξωτερικό φορτίο
2	άνω εδαφικό στρώμα (στα ανώτερα 3m)
3	εξωτερικό φορτίο
4	άνω εδαφικό στρώμα (στα κατώτερα 5m)
5	κάτω εδαφικό στρώμα (στα κατώτρα 5m)
6	Υδροστατική πίεση



(α) Ωθήσεις γαιών (3β):



Στη βάση του άνω στρώματος (πάχους 3 m): $K_a = \frac{1 - \sin 30^\circ}{1 + \sin 30^\circ} = 0.33$

Στη βάση του κάτω στρώματος (πάχους 5 m): $K_a = \frac{1 - \sin 35^\circ}{1 + \sin 35^\circ} = 0.27$

$$\gamma_{\text{άνω}} = 1.75 \cdot 9.81 = 17.15 \text{ KN/m}^3$$

$$\gamma_{\text{κάτω}} = 1.85 \cdot 9.81 = 18.12 \text{ KN/m}^3$$

Ωθηση λόγω εξωτερικού φορτίου: βάση άνω στρώματος (A): $1.2 \cdot 9.81 \cdot K_a = 3,9 \text{ KN/m}^2$
 βάση κάτω στρώμα (B): $1.2 \cdot 9.81 \cdot K_a = 3,2 \text{ KN/m}^2$

(Πλευρική) ώθηση εδάφους: (A): $0,33 \cdot 17,18 \cdot 3 = 17.2 \text{ KN/m}$
 (B): $0.27 \cdot 18.12 \cdot 5 = 24.5 \text{ KN/m}^2$

No	Ωθηση (εμβαδόν διαγραμμάτων πίεσης)	Ύψος κέντρων περιοχών από τη βάση (m)	Ροπή (ως προς τη βάση του τοίχου)
1	$3.9 \cdot 3 =$	11.7	76
2	$0.5 \cdot 17.2 \cdot 3 =$	25.8	155
3	$3.2 \cdot 5$	16	40
4	$17.2 \cdot 5$	86	215
5	$0.5 \cdot 24.5 \cdot 5$	61.3	102
Συνισταμένη ώθηση (KN/m) P=200.8			588

- Συνισταμένη ώθηση $P_a = 200.8 \text{ KN/m}$ τοίχου
- Η P_a εφαρμόζεται σε ύψος $588/201 = 2.9 \text{ m}$ επάνω από τη βάση του τοίχου.

Ωθήσεις γαιών (3γ):

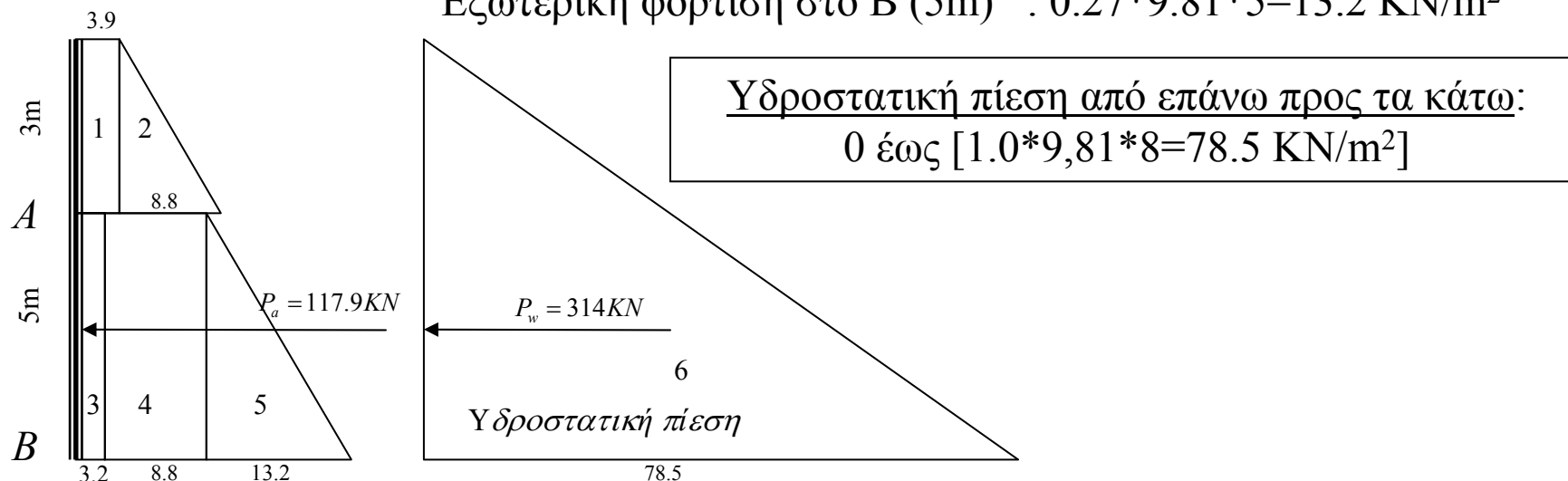
(β) κορεσμένο έδαφος

Φαινόμενο βάρος άνω στρώματος: $\gamma=(1.9-1)*9.81=8.83 \text{ KN/m}^3$

Φαινόμενο βάρος κάτω στρώματος: $\gamma=(2.0-1)*9.81=9.81 \text{ KN/m}^3$

Εξωτερική φόρτιση στο A (3m) : $0.33*8.83*3=8.8 \text{ KN/m}^2$

Εξωτερική φόρτιση στο B (5m) : $0.27*9.81*5=13.2 \text{ KN/m}^2$

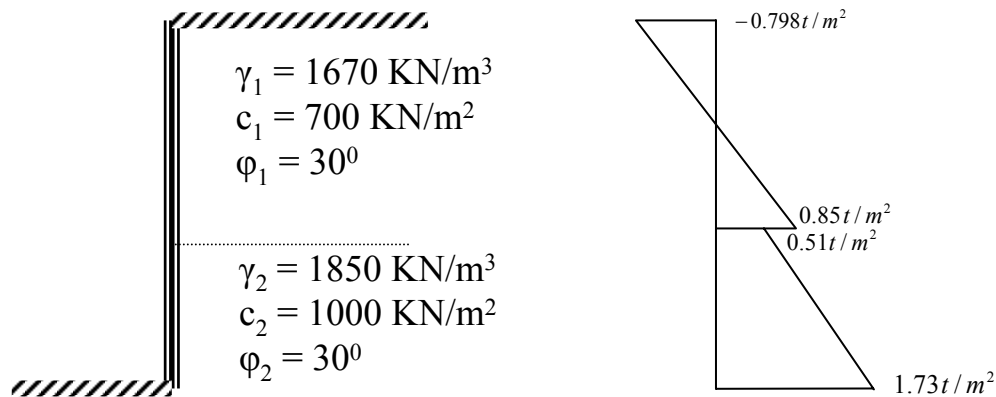


No	Ωθηση (εμβαδόν διαγραμμάτων πίεσης)	
1	$3.9*3=$	11.7
2	$0.5*8.8*3=$	13.2
3	$3.2*5=$	16
4	$8.8*5=$	44
5	$0.5*13.2*5=$	33
		117.9
6 (υδροστατική)	$0.5*78.5*8=$	314
Συνισταμένη ώθηση (KN/m)	$P_{\alpha}=$	431.9

$P_{\alpha} \text{ (συνολικό)} = P_{\alpha} + P_w = 117.9 + 314 = 431.9$

Ωθήσεις γαιών (4): Κατακόρυφος τοίχος αντιστήριξης συγκρατεί οριζόντιο έδαφος του οποίου τα χαρακτηριστικά δίδονται στο παρακείμενο σκαρίφημα. Να υπολογισθούν οι ωθήσεις στην επιφάνεια του τοίχου και να σχεδιαστεί η κατανομή των ωθήσεων.

Μέθοδος Rankine



$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) = \tan^2 (45 - 15) = 0.33, \quad \sqrt{K_a} = 0.57$$

$$z = 0 \Rightarrow p_a = K_a \gamma z - 2c\sqrt{K_a} = 0.33 * 1.67 * 0 - 7 * 0.57 = -0.798 t / m^2$$

$$z = 3 \Rightarrow p_a = 0.33 * 1.67 * 3 - 0.798 = 0.85 t / m^2$$

$$z > 3 \Rightarrow p_a = 0.33 * 1.67 * 3 - 2 * 1 * 0.57 = 0.51 t / m^2$$

$$z = 5 \Rightarrow p_a = 0.33 * (1.67 * 3 + 1.85 * 2) - 2 * 1 * 0.57 = 1.73 t / m^2$$

Ευστάθεια τεχνητών πρηνών

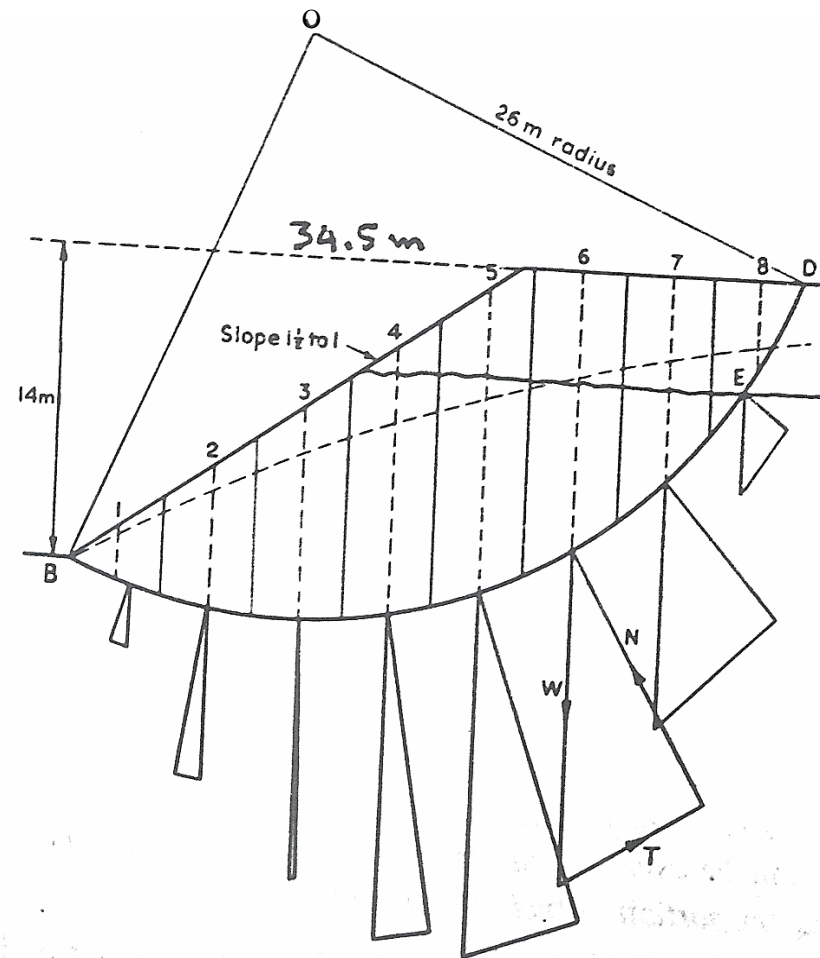
Πρανή (1α): κατά την κατασκευή οδού τεχνητό εδαφικό πρανές ύψους 14 m διαμορφώνεται με κλίση 2/3. Στα ανώτερα 5 m το έδαφος έχει πυκνότητα $d_1=1800 \text{ Kg/m}^3$, $c'_1=25 \text{ KN/m}^2$ και $\phi_1=10^\circ$. Σε μεγαλύτερο βάθος, το έδαφος έχει πυκνότητα $d_2=1900 \text{ Kg/m}^3$, $c'_2=34 \text{ KN/m}^2$ και $\phi=24^\circ$. Η επιφάνεια του υδροφόρου ορίζοντα δίδεται στο σκαρίφημα με διακεκομμένη γραμμή. Να υπολογιστεί ο συντελεστής ασφάλειας για το συγκεκριμένο κύκλο ολίσθησης σε συνθήκες σταθερής ροής νερού.

Οι παράγοντες που επιδρούν είναι:

- Η παρουσία δύο εδαφικών στρωμάτων
- Η παρουσία υπόγειου νερού

Μέθοδος Bishop (1955)

$$F = \frac{1}{W \sin a} \sum \frac{\{c'b + (W - ub) \tan \phi'\} \sec a}{1 + (\tan a \tan \phi') / F}$$



Πρανή (1β):

- Το πρανές χωρίζεται σε οκτώ (8) φέτες πλάτους: $b=34.5/8=4.3$ m.
- Οι φέτες ανήκουν και στα δύο εδάφη. Για παράδειγμα, στη φέτα Νο 6, τμήμα μέσου πάχους 5 m, ανήκει στο ανώτερο στρώμα ενώ τμήμα μέσου πάχους 7.4 m ανήκει στο κατώτερο.
- Έτσι το βάρος της φέτας Νο 6 ισούται με:

$$W=5*4.31*1.8*9.81+7.4*4.31*1.95*9.81=989 \text{ KN}$$

- Από το τρίγωνο ανάλυσης των δυνάμεων οι συνιστώσες του βάρους N, T, ισούνται με $N=855$ KN και $TA=515$ KN.
- Το μέσο ύψος στάθμης, από τη βάση του πρανούς, για τη φέτα Νο 6, είναι 7.65 m. Άρα, η πίεση πόρων είναι: $7.65*1*9.81=75$ KN/m².
- Εάν το μήκος χορδής της φέτας είναι 5.2 m τότε η δύναμη που ασκεί το νερό των πόρων είναι $U=75*5.2=390$ KN.
- Και τελικά $N'=N-U=855-390=465$ KN.

Πρανή (1γ):

Δυνάμεις σε KN					
No	Βάρος φέτας (KN)	Συνιστώσες βάρους		Δύναμη νερού πόρων, U	ενεργός δύναμη N'=N-Θ
		Εφαπτ. T	Κάθετη N		
1	196	-55	180	90	90
2	519	-90	510	225	285
3	781	15	780	310	470
4	965	180	945	365	580
5	1084	370	1020	385	635
6	989	515	855	390	465
7	721	500	535	305	230
					2755
8	302	250	175	75	100

- Το άθροισμα των εφαπτομενικών δυνάμεων κατά μήκος της επιφάνειας ολίσθησης ισούται με $\Sigma T = 1685$ KN. Η μέγιστη δύναμη συγκράτησης ισούται με $c + N' \tan \varphi$.
- Με υπολογισμό των γωνιών κλίσεων, $\Rightarrow \text{arc DE} = 5.43$ m και $\text{arc BE} = 35.6$ m.
- Άρα: $c = 25 * 5.43 + 34 * 33.3 = 1346$ KN
- Για σχεδόν ολόκληρη τη φέτα No 8, η $\varphi = 10^\circ$ ενώ για τις υπόλοιπες η $\varphi = 24^\circ$ και $\varphi = 10^\circ$.
- $\Sigma N' \tan \varphi = 2755 \tan 24 + 100 \tan 10 = 2755 * 0,445 + 100 * 0,175 = 1243$ KN
- Συντελεστής ασφάλειας:

$$F = \frac{c + \sum N' \tan \varphi}{\sum T} = \frac{1346 + 1243}{1685} = 1.54$$

Βιβλιογραφία κεφαλαίου

- Capper, P., L., Cassie, W. F. & Geddes, J. D. (1978). Problems in engineering soils (SI ed.). E & F. N. SPON Ltd (5th Ed.), London, 216 p.
- Sanglerat, G., Olivari, G. & Cambou, B. (1985), Practical problems in soil mechanics and foundation engineering, v. 1, 2. Elsevier Ed., Amsterdam, 253 p.