Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Πεδίον Άρεως, 38334 Βόλος
τηλ: 24210-74178, fax: 24210-74169, www.uth.gr

Μάθημα: Εδαφομηχανική Ι, 5ο εξάμηνο.

Διδάσκων: Ιωάννης-Ορέστης Σ. Γεωργόπουλος, Π.Δ.407/80, Δρ Πολιτικός Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Θεματική περιοχή: Υδατική ροή διαμέσου του εδάφους.

Ημερομηνία: Δευτέρα 29 Νοεμβρίου 2010.

ΑΣΚΗΣΗ 1: Ένα δοκίμιο μιας μεσόκοκκης πυριτικής άμμου ελέγχεται στη δοκιμή διαπερατότητας σταθερού υδραυλικού φορτίου. Η διάμετρος του δοκιμίου ισούται με 50mm και το μήκος του είναι 120mm. Κάτω από ολικό ύψος $h = 50cm$, μετρήθηκε παροχή ίση με $Q = 113cm^3$ σε χρόνο 5min. Η ξηρά μάζα του δοκιμίου ισούται με $m_s = 385gr$. Υπολογίστε το συντελεστή διαπερατότητας κατά Darcy k, την ταχύτητα ροής v και την ταχύτητα διηθήσεως v_s. Θεωρείστε ότι $\rho_s = 2.65\, {}^{gr}/_{cm^3}$.

ΑΣΚΗΣΗ 2: Δοκιμή διαπερατότητας εκτελείται σε δοκίμιο συμπυκνωμένου αμμοχάλικου. Το μήκος του δοκιμίου είναι 150mm και η διάμετρός του 150mm. Σε 83sec η παροχή που μετρήθηκε σε πείραμα εκτίμησης διαπερατότητας με σταθερό υδραυλικό φορτίο, ήταν $Q = 392cm^3$. Η ξηρά μάζα του δοκιμίου είναι $m_d = 5300gr$ και η πυκνότητα της στερεάς φάσης $\rho_s = 2.68\, {}^{gr}/_{cm^3}$. Υπολογίστε το συντελεστή διαπερατότητας κατά Darcy k, την ταχύτητα ροής v και την ταχύτητα διηθήσεως v_s.

ΑΣΚΗΣΗ 3: Δοκιμή διαπερατότητας μεταβαλλόμενου υδραυλικού φορτίου πρόκειται να πραγματοποιηθεί σε εδαφικό υλικό, του οποίου ο συντελεστής διαπερατότητας k εκτιμάται ίσος με $k = 3 \cdot 10^{-7}\, {}^{m}/_{s}$. Ποιά πρέπει να είναι η διάμετρος του σωλήνα α στο υδροπερατόμετρο, προκειμένου το υδραυλικό φορτίο να μεταβληθεί από 27.5cm σε 20.0cm μέσα σε 5min περίπου. Η διατομή του δοκιμίου είναι $15cm^2$ και το μήκος του είναι $15cm$.

ΑΣΚΗΣΗ 4: Ο συντελεστής διαπερατότητας μιας καθαρής άμμου, με δείκτη πόρων $e = 0.42$, ισούται με $k = 4 \cdot 10^{-2}\, {}^{cm}/_{s}$. Εκτιμήστε τον συντελεστή διαπερατότητας της ίδιας άμμου όταν ο δείκτης πόρων ισούται με $e = 0.58$.

Υπόδειξη: Σύμφωνα με τον Taylor (1948), ο συντελεστής διαπερατότητας k_2 ενός εδαφικού στοιχείου σε μία πυκνότητα (e_2) μπορεί να εκτιμηθεί, εάν είναι γνωστός ο συντελεστής k_1 σε μία άλλη πυκνότητα (e_1), ήτοι:

$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{C_1 e_1^3}{C_2 e_2^3} \cdot \frac{1 + e_2}{1 + e_1}$$

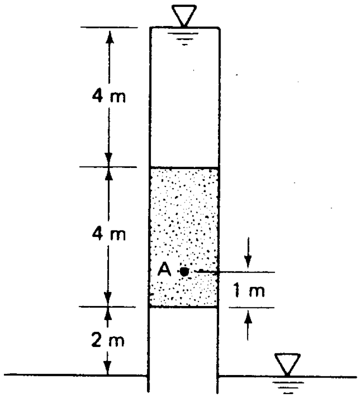
όπου C_1, C_2 συντελεστές οι οποίοι εξαρτώνται από την δομή του εδάφους και προσδιορίζονται εμπειρικά. Για άμμους μία καλή προσέγγιση είναι $C_1 \cong C_2$.

Συχνά για άμμους, χρησιμοποιείται η σχέση

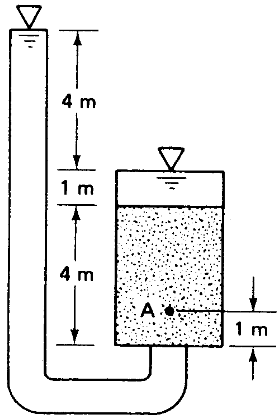
$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{C'_1 e_1^2}{C'_2 e_2^2}$$

όπου $C'_1 \cong C'_2$.

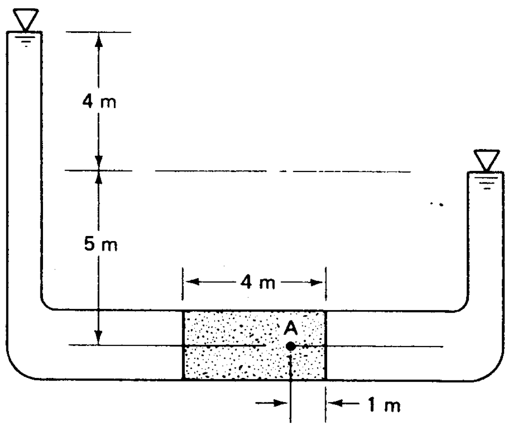
ΑΣΚΗΣΗ 5: Για τις κάτωθι τρείς περιπτώσεις υπολογίστε το πιεζομετρικό ύψος u/γ_w, το γεωμετρικό ύψος z και το ολικό ύψος h στην είσοδο, έξοδο και σημείο Α του εδαφικού δοκιμίου.



Case I



Case II



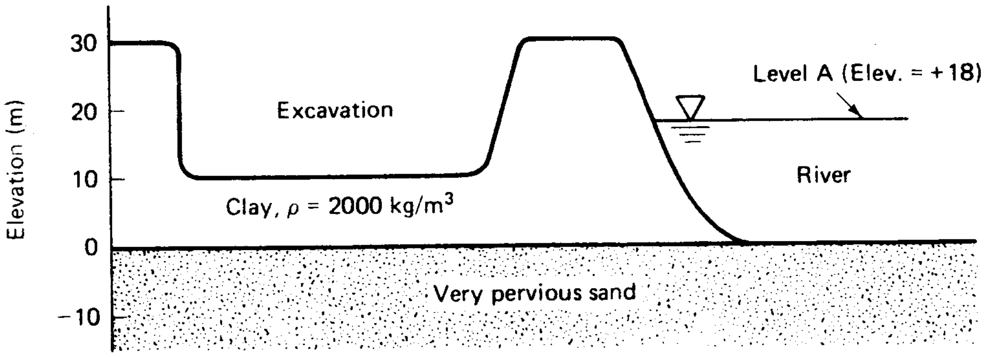
Case III

ΑΣΚΗΣΗ 6: Για τις ανωτέρω τρείς περιπτώσεις υπολογίστε την ταχύτητα ροής v, την ταχύτητα διηθήσεως v_s, και τη δύναμη διηθήσεως $j = \rho_w g i = \gamma_w i$ ανά μονάδα όγκου, στην περίπτωση που (α) η διαπερατότητα είναι $k = 0.1\, {}^{cm}/{}_{s}$ και το πορώδες $n = 0.5$ και (β) η διαπερατότητα $k = 0.001\, {}^{cm}/{}_{s}$ και ο δείκτης πόρων $e = 0.67$.

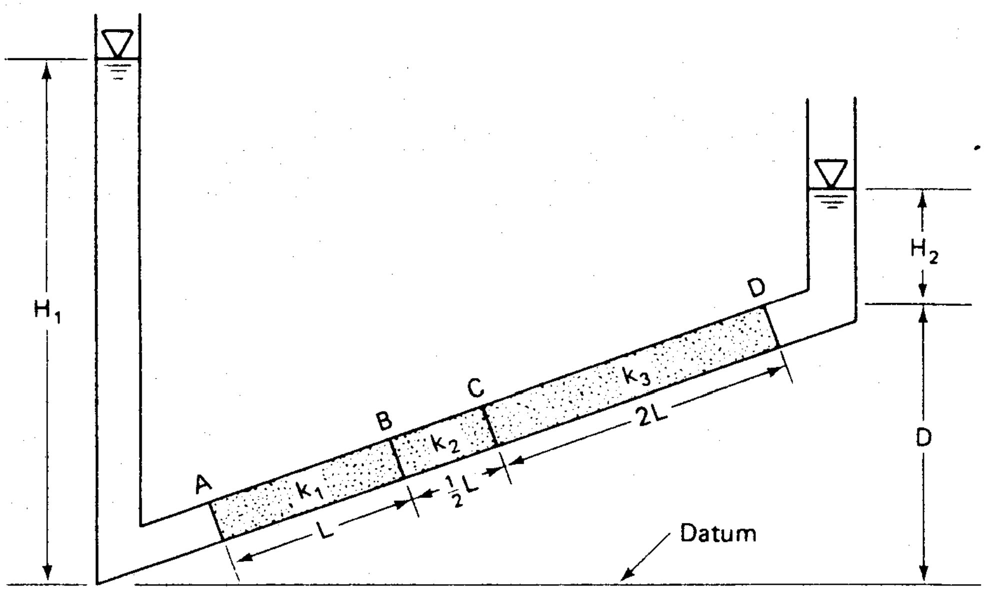
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Πεδίον Άρεως, 38334 Βόλος
τηλ: 24210-74178, fax: 24210-74169, www.uth.gr

ΑΣΚΗΣΗ 7: Μπορεί ένας άνθρωπος να βυθιστεί (πνιγεί) σε ρευστοποιημένη άμμο ("κινούμενη" άμμος), όπως συνήθως παρουσιάζεται στις κινηματογραφικές ταινίες;

ΑΣΚΗΣΗ 8: Μία εκσκαφή πρόκειται να πραγματοποιηθεί όπως στο παρακάτω σχήμα. Εάν η Στάθμη του ποταμού βρίσκεται στο επίπεδο Α, ποιός είναι ο συντελεστής ασφαλείας έναντι ρευστοποιήσεως της άμμου; Αμελείστε οποιεσδήποτε διατμητικές τάσεις. Μέχρι ποια στάθμη μπορεί να ανέλθει η στάθμη του ποταμού προτού δημιουργηθούν συνθήκες ρευστής άμμου;

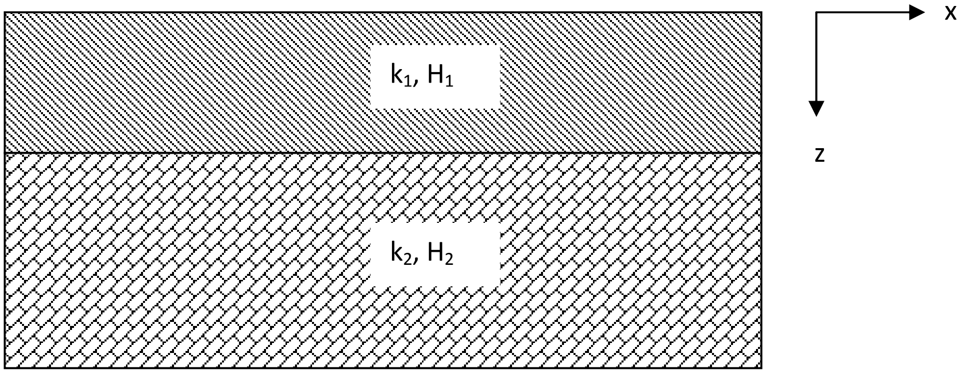


ΑΣΚΗΣΗ 9: Στο κεκλιμένο υδατοπερατόμετρο του κάτωθι σχήματος έχουν τοποθετηθεί τρία εδαφικά δοκίμια με διαφορετικούς συντελεστές διαπερατότητας. Δώστε τις εκφράσεις για τα ολικά ύψη h στα σημεία A, B, C και D συναρτήσει των συντελεστών διαπερατότητας k_1, k_2, k_3 και διαστάσεων H_1, H_2, D, L.



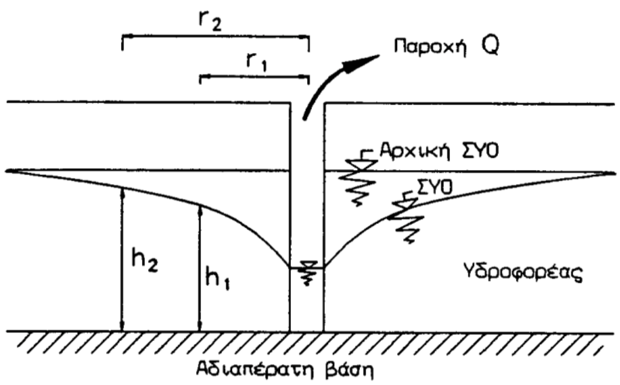
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Πεδίον Άρεως, 38334 Βόλος
τηλ: 24210-74178, fax: 24210-74169, www.uth.gr

ΑΣΚΗΣΗ 10: Υπολογίστε το μέσο συντελεστή διαπερατότητας ενός δίστρωτου εδαφικού σχηματισμού με συντελεστές διαπερατότητας k_1, k_2 και αντίστοιχα πάχη H_1, H_2, για υδατική ροή (α) παράλληλα (κατά x) με τις δύο στρώσεις, (β) κάθετα (κατά z) προς τις στρώσεις.



Υπόδειξη: Στην περίπτωση (α) η ολική παροχή Q ισούται με το άθροισμα των επιμέρους παροχών Q_1, Q_2, ενώ στην περίπτωση (β) η ολική παροχή Q ισούται με τις παροχές στα δύο στρώματα.

ΑΣΚΗΣΗ 11: Δώστε την έκφραση για την παροχή ύδατος Q, αντλούμενο από κατακόρυφο κυλινδρικό φρέαρ ακτίνας R, σε οριζόντιο εδαφικό στρώμα πάχους H και διαπερατότητας k, το οποίο υπέρκειται αδιαπέρατης βάσης, όπως στο κάτωθι σχήμα, (Καββαδάς, Σεπτέμβριος 2006).



Υπόδειξη: Η κατασκευή αντλητικού φρέατος σε έναν υδροφορέα έχει ως αποτέλεσμα τον καταβιβασμό του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα από την αρχική στάθμη στην τελική. Ο καταβιβασμός αυτός διαρκεί ορισμένο χρόνο, ο οποίος εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του υδροφορέα. Η ταπείνωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα μειώνεται με την απόσταση από το φρέαρ, αυξάνει σε όλες τις θέσεις με την πάροδο του χρόνου και προκαλεί μία βαθμίδα επέκτασης της ζώνης γύρω από το φρέαρ. Στην περίπτωση που ο υδροφορέας έχει μεγάλη έκταση, η βαθμιαία ταπείνωση της στάθμης εξελίσσεται (θεωρητικώς για άπειρο χρόνο) με διαρκώς μειούμενο ρυθμό. Συνεπώς, μπορεί να θεωρηθεί ότι μετά από κάποιο χρόνο επιτυγχάνεται πρακτικώς κατάσταση μόνιμης ροής προς το φρέαρ, ήτοι η ταπείνωση της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και η επέκταση της ζώνης επιρροής δεν μεταβάλλονται.

Όταν επιτευχθεί πρακτικώς κατάσταση μόνιμης ροής, η παροχή άντλησης από το φρέαρ είναι ίση με την παροχή που διηθείται διαμέσου οποιασδήποτε κυλινδρικής επιφάνειας σε απόσταση r από τον άξονα του φρέατος, η οποία κατά το νόμο Darcy θα ισούται με,

$$Q = k \cdot i \cdot A$$

όπου k ο συντελεστής διαπερατότητας του εδαφικού σχηματισμού, i η υδραυλική κλίση για ροή στην οριζόντια κατεύθυνση και A το εμβαδόν της κατακόρυφης επιφάνειας διήθησης.

Στην περίπτωση που η ταπείνωση του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα είναι μικρή σε σχέση με το συνολικό πάχος της διαπερατής ζώνης, η διεύθυνση της διήθησης προς το φρέαρ είναι περίπου οριζόντια, δηλαδή η κατακόρυφη συνιστώσα της ταχύτητας ροής v_z είναι μικρή σε σχέση με την οριζόντια v. Η παραδοχή αυτή είναι γνωστή ως παραδοχή Dupuit, και συνεπώς

$$v_z = 0 \rightarrow i_z = \frac{dh}{dz} = 0$$

Επομένως η πιεζομετρική στάθμη του υπόγειου υδροφόρου ορίζοντα h θα εκφράζεται από την ελεύθερη στάθμη του, ήτοι

$$i = \frac{dh}{dr}$$

Το εμβαδόν της κατακόρυφης επιφάνειας διήθησης A σε απόσταση r από τον άξονα του φρέατος είναι

$$A = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h$$

Συνεπώς, συνδυάζοντας τις ανωτέρω σχέσεις έχουμε,

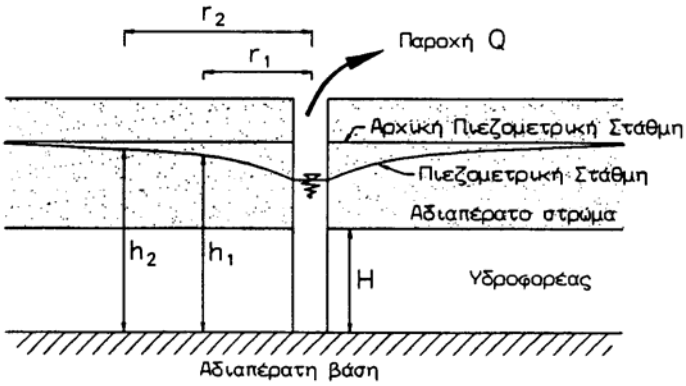
$$Q = k \cdot \frac{dh}{dr} \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h \rightarrow \frac{dr}{r} = \frac{2 \cdot \pi \cdot k}{Q} h \cdot dh \rightarrow \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = \int_{h_1}^{h_2} \frac{2 \cdot \pi \cdot k}{Q} h \cdot dh \rightarrow$$

$$\ln r_2 - \ln r_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot k}{Q} \cdot \frac{h_2^2 - h_1^2}{2} \rightarrow \ln \frac{r_2}{r_1} = \frac{\pi \cdot k \cdot (h_2^2 - h_1^2)}{Q} \rightarrow$$

$$Q = \frac{\pi \cdot k \cdot (h_2^2 - h_1^2)}{\ln \frac{r_2}{r_1}}, (r_2 > r_1 > R)$$

ΑΣΚΗΣΗ 12: Δώστε την έκφραση για την παροχή ύδατος Q, αντλούμενο από κατακόρυφο κυλινδρικό φρέαρ ακτίνας R, σε οριζόντιο εδαφικό στρώμα πάχους H και διαπερατότητας k, το οποίο υπέρκειται και υπόκειται αδιαπέρατου στρώματος, όπως στο κάτωθι σχήμα, (Καββαδάς, Σεπτέμβριος 2006).

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών
Πεδίον Άρεως, 38334 Βόλος
τηλ: 24210-74178, fax: 24210-74169, www.uth.gr

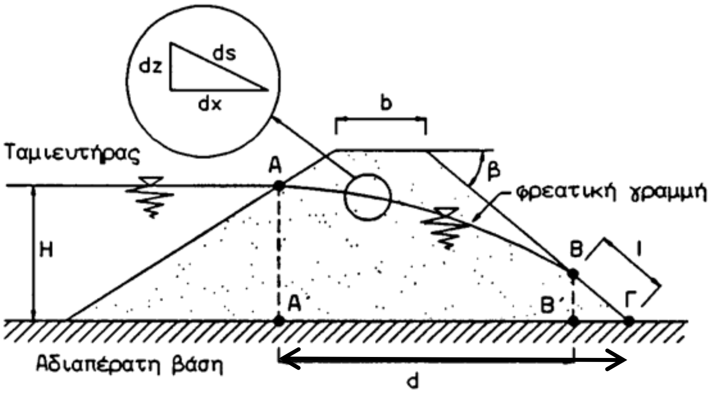


Υπόδειξη: Στην περίπτωση αυτή η επιφάνεια διηθήσεως θα δίνεται από τη σχέση,

$$A = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot H$$

όπου H το πάχος του υδροφορέα.

ΑΣΚΗΣΗ 13: Υπολογίστε την παροχή διηθήσεως Q διαμέσου του χωμάτινου φράγματος, το οποίο έχει συντελεστή διαπερατότητας k και υπέρκειται αδιαπέρατου στρώματος, όπως στο κάτωθι σχήμα, (Καββαδάς, Σεπτέμβριος 2006).



Υπόδειξη: Όμοια με τα προηγούμενα, γίνεται η παραδοχή της μόνιμης ροής και αυτή του Depuit, αναφορικά με την υδραυλική κλίση, η οποία θα δίνεται από την κλίση της φρεατικής γραμμής,

$$i = \frac{dz}{dx}$$

Ο Arthur Casagrande (1932) τροποποιεί την σχέση αυτή για τον υπολογισμό της υδραυλικής κλίσης, προκειμένου να ληφθεί υπ' όψιν η έντονη κλίση της, ήτοι,

$$i = \frac{dz}{ds}$$

δηλαδή γίνεται η σιωπηρή υπόθεση ότι η κίνηση του ύδατος πραγματοποιείται κατά μήκος του κεκλιμένου στοιχείου ds αντί του οριζοντίου dx. Επομένως, η κίνηση διαμέσου του φράγματος δεν θα είναι οριζόντια, όπως θεωρεί ο Depuit, αλλά κεκλιμένη.

Στην περιοχή κατάντη του πόδα του φράγματος (τμήμα ΒΓ) η φρεατική γραμμή ταυτίζεται με την επιφάνεια του πρανούς, σε μήκος $l = (B\Gamma)$. Συνεπώς ισχύει,

$$i = \frac{dz}{ds} = \sin\beta$$

Η παροχή που διηθείται, ισούται με,

$$Q = k \cdot i \cdot (BB') = k \cdot \sin\beta \cdot l \cdot \sin\beta = k \cdot l \cdot (\sin\beta)^2$$

Η παροχή αυτή όμως ισούται με την παροχή σε οποιαδήποτε κατακόρυφη επιφάνεια ύψους z και υδραυλικής κλίσης i , λόγω της μόνιμης ροής, άρα,

$$k \cdot l \cdot (\sin\beta)^2 = k \cdot i \cdot z = k \cdot \frac{dz}{ds} \cdot z \rightarrow z \cdot dz = l \cdot (\sin\beta)^2 \cdot ds \rightarrow$$

$$\int_{l\cdot\sin\beta}^{H} z \cdot dz = \int_{(B\Gamma)}^{(AB\Gamma)} l \cdot (\sin\beta)^2 \cdot ds \rightarrow \frac{H^2 - (l \cdot \sin\beta)^2}{2} = (AB) \cdot l \cdot (\sin\beta)^2$$

Θεωρώντας ότι το μήκος της φρεατικής γραμμής (AB) είναι περίπου ίσο με το μήκος του ευθύγραμμου τμήματος (AB) έχουμε,

$$(AB) \cong \sqrt{H^2 + d^2} - l$$

επομένως,

$$\frac{H^2 - (l \cdot \sin\beta)^2}{2} = \left(\sqrt{H^2 + d^2} - l\right) \cdot l \cdot (\sin\beta)^2 \rightarrow$$

$$(\sin\beta)^2 \cdot l^2 - 2 \cdot (\sin\beta)^2 \cdot \sqrt{H^2 + d^2} \cdot l + H^2 = 0$$

Η επίλυση της ανωτέρω δευτεροβάθμιας εξίσωσης δίνει το μήκος l,

$$l = \sqrt{H^2 + d^2} - \sqrt{d^2 - (H \cdot \cot\beta)^2}$$