

Ε. Μ. ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΝ

ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ

ΦΡΑΓΜΑΤΑ

Ἐκ τῶν παραδόσεων τοῦ Καθηγητοῦ

Γ. ΚΑΡΑΚΑΣΣΩΝΗ

ΑΘΗΝΑΙ — 1960

Ε.Μ. ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΝ

ΦΡΑ.013-ΛΑ

ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ

ΦΡΑΓΜΑΤΑ

Ἐκ τῶν παραδόσεων τοῦ καθηγητοῦ

Γ. ΚΑΡΑΚΑΣΙΩΝΗ

ΑΘΗΝΑΙ - 1960

ΛΙΘΟΓΡΑΦΕΙΟΝ Μ.Α. ΠΕΤΡΗ

Χαριλ. Τρικοῦπη 79

ΠΙΝΑΞ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟΝ

ΦΡΑΓΜΑΤΑ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

A. ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- I. Ύδρολογικά στοιχεία
- II. Τοπογραφικά στοιχεία
- III. Γεωλογικά στοιχεία

B. ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

- I. Γενικαί μορφαί και είδη φραγμάτων
- II. Έδαφος, υπέδαφος και θεμελιώσεις. Γεωλογία, πε-
τρογραφία, υδατοπερατότης, έδαφομηχανική.
- III. Στατικοί υπολογισμοί, διάταξεις και κατασκευή των
καθ' έκαστα φραγμάτων.
 1. Βαρύτητος (λίθινα ή σκυρόδεμα)
 2. Τοξωτά
 3. Αντηριδωτά
 4. Λιλόριπτα
 5. Χωμάτινα
- IV. Ειδικά έργα ... (υπερχειλήσεις, υδροληψία, υπε-
ρύψεις, λεκάναι ήρεμίας, βάνναι,
δίοδα ίχθύων, κλεισιάδες κ.λ.π.)

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟΝ

ΡΟΝΦΡΑΚΤΑΙ

- I. Σταθεροί
- II. Κινητοί
- III. Κινητοί επί σταθερών.

ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τὰ ἔργα ἅτινα κατασκευάζονται ἐπὶ τοῦ ροῦ τῶν ἐπιφανειακῶν ὑδάτων, ἢ χρησιμοποιοῦν ταῦτα ἢ καὶ συλλέγουν τὰ ὑπόγεια ὑδάτα πρὸς χρησιμοποίησιν αὐτῶν διὰ διαφόρους σκοποὺς ἐκμεταλλεύσεως αὐτῶν διὰ τὴν οἰκονομίαν ἑνὸς τόπου, καλοῦμεν γενικῶς ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΕΡΓΑ ἢ ΕΡΓΑ ΥΔΑΤΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ.

Τὰ ὑδραυλικά ἔργα χρησιμοποιοῦνται διὰ πλείστους σκοποὺς τῆς οἰκονομίας καὶ ἀναλόγως τοῦ σκοποῦ αὐτῶν κατατάσσονται εἰς τὰς ἀκολουθοῦσας κατηγορίας.

I. Ἐξυγιαντικὰ ἔργα

1. Ἔργα ἀστικῶν ἢ βιομηχανικῶν ὑδρεύσεων. Ὑδρεύσεις πόλεων, συνοικισμῶν ἔργοστασίων.

2. Ἔργα ἐξυγιάνσεων πόλεων.

Ἔργα διὰ νὰ ἐπανεέλθουν χρησιμοποίηθῃτα ὑδάτα πόλεων ἢ βιομηχανικῶν εἰς τὴν ἀρχικὴν αὐτῶν κατάστασιν.

3. Ἔργα ἐξυγιάνσεως τοῦ ἐδάφους.

Ἔργα ἀποξηράσεως τοῦ ἐδάφους διὰ νὰ χρησιμοποιηθῇ ταῦτο εἰς τὴν γεωργίαν.

II. Ἐγχειροβελ- πωτικά ἔργα.

4. Ἀρδευτικά ἔργα. Ἔργα χρησιμοποίησεως τοῦ ὕδατος διὰ ἀρδεύειν ξηρῶν ἐδαφῶν, μὴ ποτίζομένων ἐπαρκῶς ὑπὸ τῆς φυσικῆς βροχῆς.

5. Έργα διευθετήσεως ποταμῶν καὶ χειμάρρων δι' ὧν ρυθμίζεται ὁ ροῦς τῶν φυσικῶν ὑποδοχέων, δι' ἐλάττωσιν διαβρώσεων, ἀποφυγῆν ἐπιλήψεων.
6. Έργα ἀντιπλημμυρικὰ δι' ὧν προσεπιζονται τὰ παρά τοὺς φυσικοὺς ὑποδοχεῖς ἐδάφη ἀπὸ καταστρεπτικῶς πλημμύρας.
7. Έργα ἀνασχεύσεως φερτῶν ὕδων ὧν κρησιμοποιεῖται τὸ ὕδωρ διὰ τὴν βελτίωσιν τῶν συνθηκῶν ροῆς τῶν ὑδατικῶν ὑποδοχέων.

III. Ὑδροδυναμικὰ καὶ ἔργα.

8. Ὑδροδυναμικὰ ἔργα, δι' ὧν κρησιμοποιεῖται τὸ ὕδωρ διὰ τὴν ἀπόκτησιν ἔργου εἴτε ἀμέσως κρησιμοποιουμένου (ὕψ., τροχός, μύλοι κ. λ. π.) εἴτε ἐμμέσως ὡς ἠλεκτρικὴ ἐνέργεια.

IV. Μεταφοραὶ

9. Έργα μεταφορᾶς καὶ συγκοινωνίας δι' ὧν κρησιμοποιεῖται τὸ ὕδωρ διὰ μεταφορὰν καὶ συγκοινωνίαν διὰ πλατῶν μέσων.
10. Έργα ἀφραιοποιήσεως τῆς φύσεως, ἀθλοπαιδιῶν, διατηρήσεως βιολογικῶν εἰδῶν (ἀλιείας καὶ θήρας). Διὰ τῶν ἔργων τούτων προάχονται οἱ κλάδοι οἰκονομίας : τουρισμοῦ, ἀναψυχῆς, ἀλιείας καὶ θήρας.

ΒΑΣΙΚΑ ΚΟΙΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΛΕΤΩΝ

Διά τήν μελέτην τῶν ἔργων αὐτῶν χρειάζονται διάφορα ετοιχεῖα καί ποικίλλαι γνώσεις (βιολογία, μικροβιολογία, χημεία ὕδατος καί ἐδάφους, ἠλεκτρισμός, μηχανολογία, μηχανική κ.λ.π.). Κυρίως ὅμως δι' ὅλα τὰ ἔργα, ἄς εἶναι φυσικόν, καί δι' οἰκονομήποτε ἐξ αὐτῶν, δεόν νά ἔχωμεν πλήρη γνώσιν, εἰς τήν περιοχὴν, τῆς κυκλοφορίας τοῦ ὕδατος καί τῶν τρόπων κινήσεως αὐτῶν, ἥτοι νά γνωρίζωμεν:

• Ὑδρολογίαν (Νόμους τοπικῆς καί χρονικῆς κατανομῆς τοῦ ὕδατος).

• Ὑδραυλικήν (Νόμους κινήσεως τοῦ ὕδατος).

Ἡ ὑδρολογία θά περιλαμβάνη:

- α/. τὰ βασικά ὑδρολογικά ετοιχεῖα (βροχαί : ὕψη, διάρκειαι, συχνότης, χιόν).
- β/. τὰ βασικά ετοιχεῖα ἀπορροῆς (ἐκταεῖς λεκάνης, ἐτηεῖα ὕδρογραφήματα σειρᾶς ἐτῶν).
- γ/. τὰς ἀκραίας καί μέσας τιμάς, τὰς ἀπορροᾶς τήξεως χιόνος.
- δ/. τὰς ἀναμενομένας τιμάς διαφόρων ευχνοτήτων (1% - 5% - 25% - 50% - 75% - 95% - 99%).
- ε/. τὰς ἀπορροᾶς τῶν καταγίδων.
- στ/. τὰ ἄριαῖα ὑδρογραφήματα (unit hydrograph)
- ζ/. τὰς εἰσροᾶς (ἢ ἐκροᾶς) τῶν ὑπογείων ὑδάτων.

Ταῦτα πάντα θά συνδυάζονται εἰς τὰς καμπύλας λειτουργίας ἐνός ἢ περισσοτέρων ἐκ τῶν ὑπό τοῦ ρεύματος ἐξυπηρετουμένων ἔργων, καί δι' αὐτῶν θά δύναται τις νά παρακαλουθήσῃ τὰς δυνατότητας ἐκμεταλλεύσεως τῶν ἔργων διὰ διαφόρους (ξηρᾶς - μέσας ἢ ὑγρᾶς) περιόδους ἢ ρεύματος.

Ἡ ὑδραυλική θά περιλαμβάνη :

- α/. ὅλας τὰς συνήθεις μεθόδους ὑπολογισμῶν ἀγωγῶν, ἐκκλειστῶν, σωλήνων.
- β/. τὰς μορφὰς ροῆς εἰς διάφορα τεχνικά ἔργα
- γ/. τὴν κίνησιν τῶν φερτῶν ὑδάτων
- δ/. εἰδικαί παλμικαί κινήσεις ροῆς (πύργος ἀναπλάσεως)
- ε/. τὰς μεταβολὰς ροῆς (χειμαρ.-ποταμίαν) ὡς διάφορα εἰδικά ἔργα.
- στ/. τὴν κατανομήν πιέσεων εἰς ροὰς διαφόρους μορφῆς (κυκλικά φράγματα, κυκλικοὶ τοῖχοι, ἀγωγοὶ με' ἐτένωσιν κ.λ.π.).
- ζ/. γνῶσιν τῶν νόμων τῆς ὁμοιότητος καὶ ἐγκαταστάσεις ὑδροτεχνικοῦ ἔργατηρίου, ὥστε νά εἶναι δυνατή ἡ μελέτη ὁμοιωμάτων (modeles) τῶν ὑδραυλικῶν ἔργων.

ΒΑΣΙΚΑ ΚΟΙΝΑ ΕΡΓΑ

Δι' οἷονδήποτε ἐκ τῶν ἀνωτέρω 10 σκοπῶν καί ἔάν πρόκειται νά ἐκτελεστοῦν τὰ ὑδραυλικά ἔργα θά χρησιμοποιοῦνται ὡς ἀποφασισθέντα κατασκευαί αἰτίνας εἶναι κοιναί δι' ὅλα σχεδόν τὰ ἔργα ταῦτα, ἀνεξέτως ἂν ἐλακτιστοὶ διαφέρουν εἰς κατασκευαστικὰ λεπτομερείας διαφόρους διὰ τὰ ἐξειδικευμένα ἔργα.

Αἱ κατασκευαί αὗται περιλαμβάνουν κυρίως τὰ ἔργα σταθμωψώσεως — διότι ἔχουν ὡς ἄμεσον ἀποτέλεσμα τῆς κατασκευῆς τῶν τῆν ὑψωσιν τῆς στάθμης τοῦ ὕδατος ἀποβλέπουσιν εἰς δύο σκοπούς :

- α/ τὴν ἀποθήκευσιν τοῦ ὕδατος, διὰ τὴν ἐξίευσιν κυρίως τῶν ἀκανονίστων τιμῶν τῶν ἀπορροῶν (βλ. εὐνήθη ὑδρογραφήματα) καὶ κρη-

ειμοποιήσιν αὐτῶν ὁμαλῶς (ἀντιπλημμυρικά ἔργα) ἢ σκοπιμῶς (ἀρδεύσεις μόνον τόθερος, πτώσεις ἀναλόγων συνδυασμῶν μέθερμικά ἐργοστάσια, ὑδρεύσεις βιομηχανιῶν κατὰ τὴν περίσθον κινήσεως αὐτῶν κ.λ.π.). Συνήθως εἰς τὰ ἔργα ἀποθηκεύσεως περιλαμβάνονται καὶ τὰ ἔργα ὑδροληψίας.

β/. τὴν ὑδροληψίαν, ἣτοι διατάξιν λήψεως τοῦ ὕδατος διὰ τὴν χρησιμοποίησιν του εἰς τοὺς διαφόρους σκοποὺς καὶ

γ/. τὴν μεταφορὰν τοῦ ὕδατος. (Γέφυραι, γέφυραι, εἰραγγες). Ταῖς ἔργα ὅμοις ταῦτα συνήθως ἔχουν διάφορον μορφήν ἀναλόγως τῆς σκοπιμότητος αὐτῶν καὶ διὰ τὸν λόγον τοῦτον δύναται νὰ ἐξετάζονται καὶ εἰς τὸ καθ' ἕκαστα ἔργα (ἀρδεύσεις, πτώσεις, ἐξυγιάνσεις).

α/. Διὰ τὴν ἀποθηκεύσιν χρησιμοποιοῦνται τὰ φράγματα (Dams reservoirs, Talsprenen), ἅτινα διακρίνονται ἐνίοτε εἰς μικρὰ καὶ ὑψηλὰ φράγματα (hoch, dams, Talsprenen). Ταῖς φράγματα περιλαμβάνουν συνήθως καὶ τὰ ἔργα ὑδροληψίας τοῦ ἀποθηκευμένου ὑπ' αὐτῶν ὕδατος.

β/. Διὰ τὴν ὑδροληψίαν χρησιμοποιοῦνται οἱ βουφράκται (weirs, wehren).

Ἐνίοτε οἱ βουφράκται ἐχηματίζουν καὶ λίμνην ἀποθηκεύσεως ὀπίσθεν αὐτῶν (βλ. λ.χ. βουφράκτην

Κερκίνης) όποτε και καλοϋνται, ανακριβώς, και φράγμα-
τα ή κινητά φράγματα. Επίσης συνήθης είναι ή τοποθέ-
τησις ρουφράκτου επί τής κεφαλής φράγματος.

Χαρακτηριστική διαφορά μεταξύ ρουφράκτου και
φράγματος θα ήδύνατο να ληφθῆ τό γεγονός ότι ό ρου-
φράκτης δύναται πλήρως άνοιγόμενος να αφήσει
τήν όδοσόν οίασδήποτε παροχής τού ρεύματος έλευθε-
ρως δι' αύτου, όπερ δέν δύναται να συμβῆ εις τό
φράγματα άνευ σημαντικής διαταράξεως τής λειτουρ-
γίας αύτων διά σημαντικήν χρονικήν περίοδον.

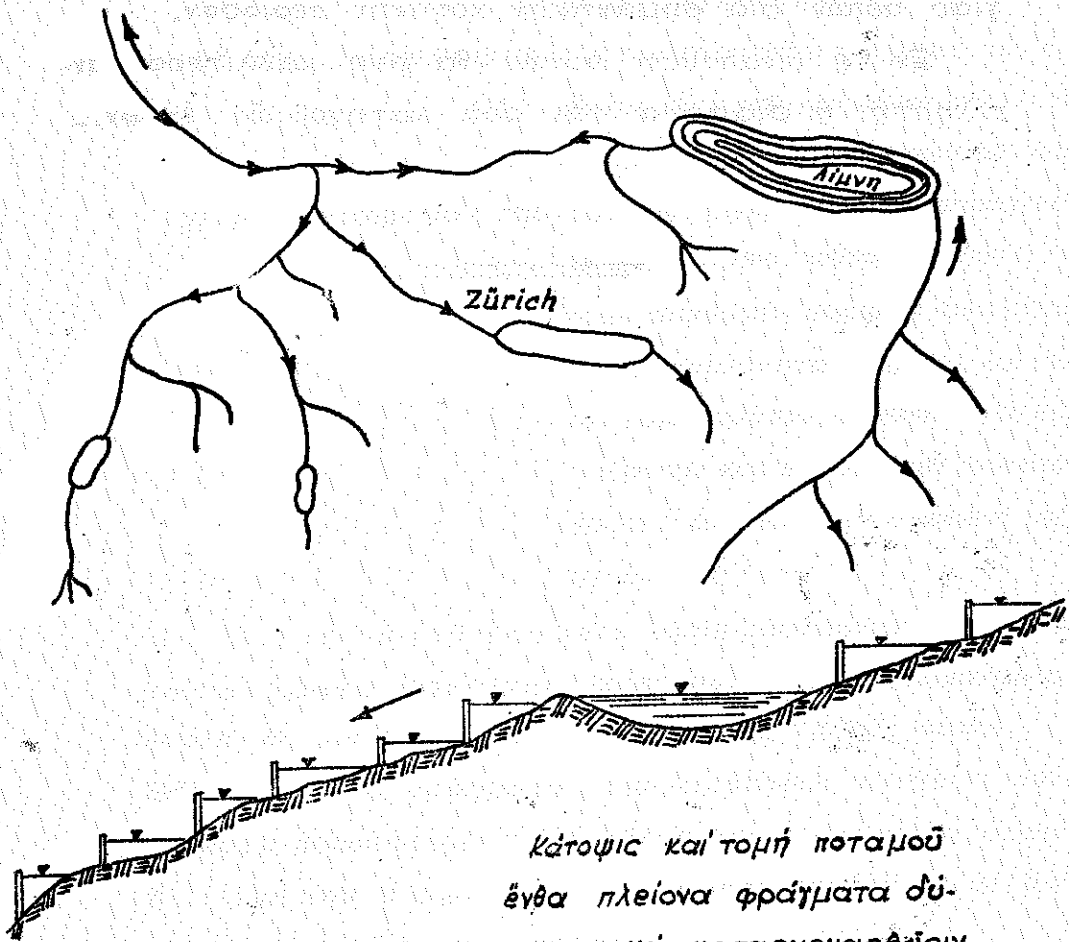
Έν τῇ άναπτύξει αύτων θα γίνη καλλίτερον άν-
τιληπτή ή διαφορά τών δύο κατηγοριών έργων..

Επίσης, όπως και να είναι,
ότι κρουσμός, ο οποίος είναι
πιο δύσκολο να γίνει, γιατί

ΜΕΡΟΣ Α'
ΦΡΑΓΜΑΤΑ

Α' Στοιχεία τῆς μελέτης.

Ἡ πλήρης ἐκμετάλλευσις μιᾶς λεκάνης ὀδηγεῖ σὺν τῷ χρόνῳ εἰς τὴν κατασκευὴν περιεσσοτέρων φραγμάτων εἰς αὐτὴν τόσον εἰς διάφορα ρεύματα ὅσον καὶ εἰς τὸ αὐτὸ ρεῦμα. Τοιοῦτοτρόπως ἐπισδιάκεται ἡ πλήρης ἐκμετάλλευσις τοῦ δυναμικοῦ τῆς λεκάνης.



Κάτωψις καὶ τομὴ ποταμοῦ
ἐνθα πλείονα φράγματα δύ-
γανται γὰ κατασκευασθῶσιν.

Τὰ στοιχεῖα μελέτης τῶν φραγμάτων εἶναι :

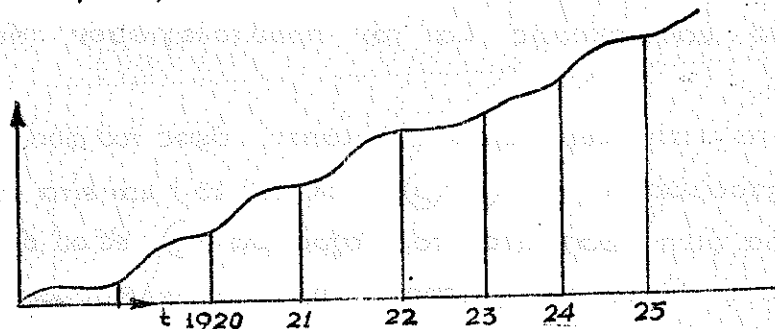
1. Ὑδρολογικὰ στοιχεῖα (ἐν συνδυασμῷ μὲ ἐδαφολογικὰ τῆς λεκάνης ἀπορροῆς καὶ δασικὴν ἐπικάλυψιν αὐτῆς).
2. Τοπογραφικὰ στοιχεῖα.
3. Γεωλογικὰ στοιχεῖα.
4. Στοιχεῖα χρησιμοποίησεως τοῦ ὕδατος (ὑδρευσίς, ἀρδευσίς, πῶσις, προσταεῖα πλημμυρῶν κ.λ.π.).
5. Τεχνικὰ στοιχεῖα (Μελέτη φράγματος, κατασκευὴ, λειτουργία).
6. Οἰκονομικὰ στοιχεῖα.

Ἐπὶ τῇ βᾶσει αὐτῶν θά γίνῃ ἡ οἰκονομικὴ μελέτη καὶ θά ὑπολογισθῇ ἡ δυνατότης κατασκευῆς τοῦ φράγματος καὶ τὰ ἀφέλη εἰς τὴν ὅλην οἰκονομίαν τῆς περιοχῆς.

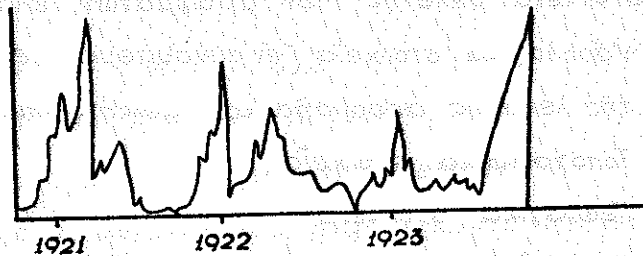
1. Ὑδρολογικὰ στοιχεῖα.

Ὁ τρόπος συλλογῆς, ἐκτιμῆσεως καὶ ὑπολογισμοῦ τῶν στοιχείων (βροχαί, χιόν, ἀπορροαί) ἔχει ἤδη ἐκτεθῆ ἀλλαχοῦ (βλ. εἰσαγωγὴν : ὑδρολογία).

Ἡδη γνωρίζομεν τὴν ποσότητα τοῦ ὕδατος, ἣτις θά διέρχηται διὰ τοῦ φράγματος, τὰς ἀκραίας αὐτῆς τιμὰς (maximum καὶ minimum) καὶ τὴν διανομὴν αὐτῶν ἢ τὴν ἀναμενομένην συχνότητα.



(Διάγραμμα Ripple).



(Συνεχῆ υδρογραφήματα).

Τὸ διάγραμμα *Ripple* ἢτοι ἡ συνεχῆς ἀναπαράστασις τῶν ὁλοκληρωμάτων τῶν ἐτησίων υδρογραφημάτων μᾶς εἶδει τὴν συνεχῆ ἀναμενομένην εἰσροὴν τῶν ὑδατίνων ὄγκων εἰς τὴν θέσιν τοῦ φράγματος.

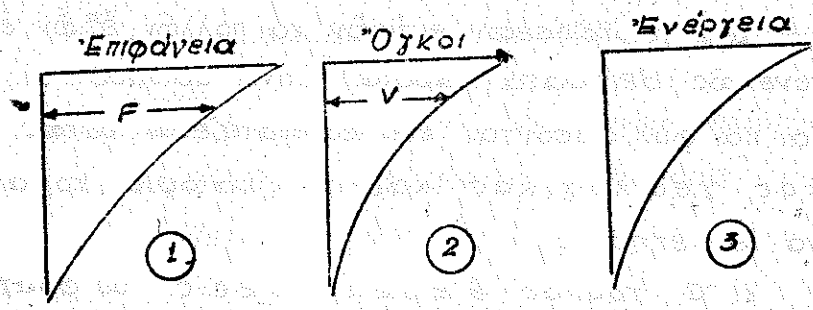
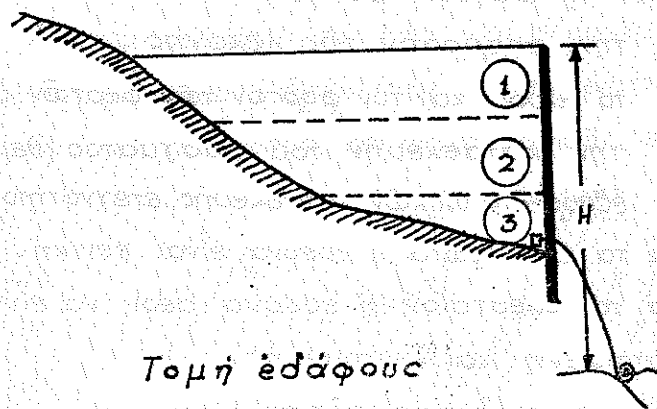
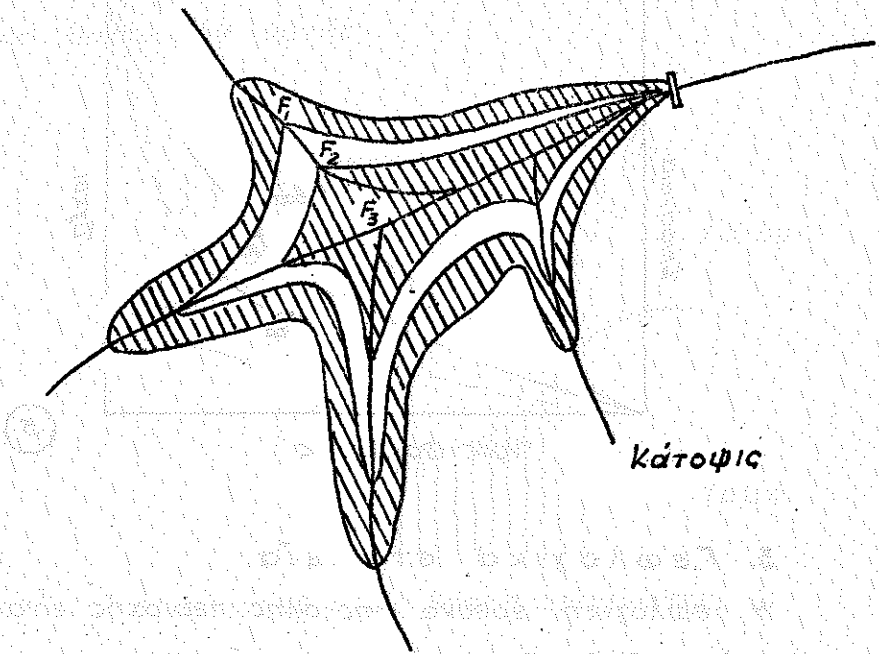
2. Τοπογραφικὰ στοιχεῖα.

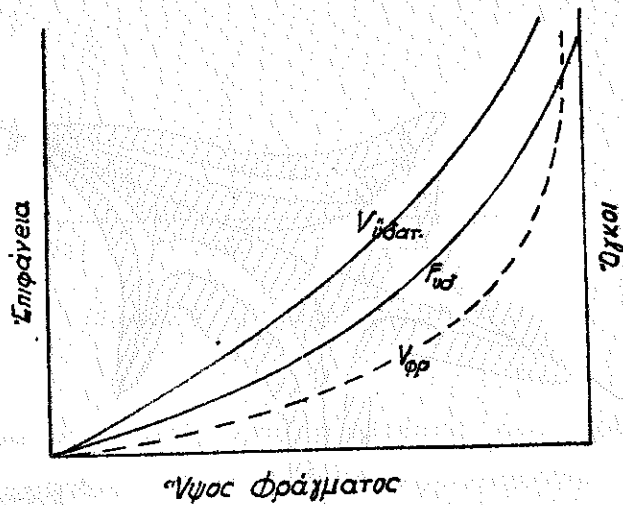
Τὰ στοιχεῖα αὐτὰ εἶναι ἀπαραίτητα νὰ δίδονται λεπτομερῶς εἰς ὅλας τὰς πιθανὰς θέσεις τοῦ φράγματος. Δι' αὐτῶν διὰ διάφορα ὕψη τοῦ φράγματος, δύναμεθα νὰ ὑπολογίσωμεν:

α/. τὴν κωρητικότητα τῆς ἐκηματιζομένης λεκάνης ἀποθηκείσεως διὰ διάφορα ὕψη φράγματος καὶ εἰς τὴν ἑκάστοτε κωρητικότητα μεταξὺ ἀρισμένων ὑψῶν.

β/. τὸν ὄγκον τοῦ φράγματος (διατομὴ, μῆκος) διὰ τὸν ὑπολογισμὸν (κατόπιον τῶν στατικῶν ὑπολογισμῶν) τοῦ ὄγκου τῆς κατασκευῆς καὶ τὸν προὑπολογισμὸν τῆς δαπάνης.

Οὕτω κατασκευάζομεν δι' ἕκαστο. ὕψος τοῦ φράγματος τὰ διαγράμματα ① ② ③ (βλ. σελ. 13) καὶ εἶτα διὰ διάφορα ὕψη φράγματος τὸ διάγραμμα ⑤ ἐξ ὧν βλέπομεν δι' ἕκαστου ὕψος φράγματος πόση τῆ κατακλεισθησόμενη ἐπιφάνεια $F_{\text{ὑδ}}$ ποῖος ὁ ἀποθηκεύομενος ὄγκος ὑδάτος καὶ ποῖος ὁ ἀπαιτηθεῖσόμενος ὄγκος φράγματος.





5

3. Γεωλογικά στοιχεία.

Η γεωλογική έρευνα της όλης περιοχής είναι αναγκαία διότι τη βοήθειά αυτής μελετώμεν :

- α/. την απορροήν της λεκάνης
- β/. τό είδος και τον φόρτον των φερτών υλών.
- γ/. την κατασκευήν του φράγματος (θεμελιώσεις, έξευρέσεις υλικών κατασκευής, στεγνότητος λεκάνης).

Διά τα δύο πρώτα η έρευνα είναι γενική.

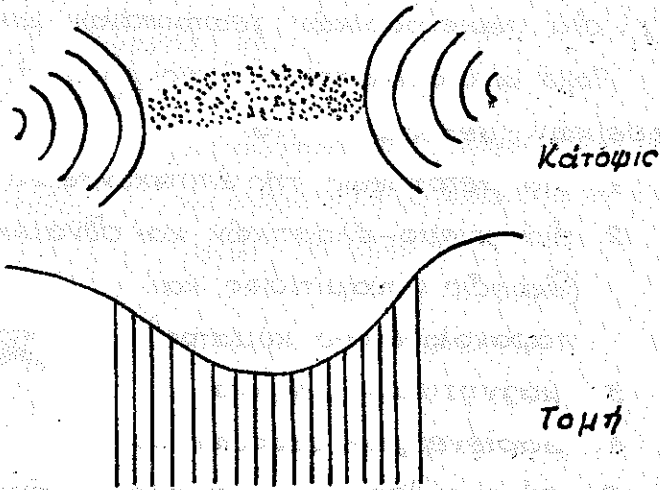
Διά τό τελευταίον η έρευνα δεόν να είναι λίαν έμπεριστατωμένη και λεπτομερής.

Συνήθως έπιτελείται :

Διά γεωτρήσεων ειδικών και πολλών, έξ ών έξάγονται συνεχώς δείγματα (καρότα) άτινα αριθμούνται, αναλύονται και φυλλάσσονται και καταρτίζεται ούτως ειδικός γεωλογικός χάρτης (κάτοψις, τομαί) ώστε να μελετηθῆ :

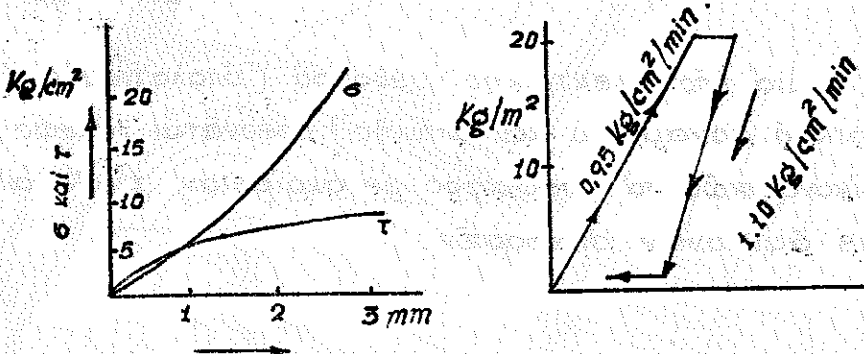
1. Ο τρόπος θεμελιώσεως του φράγματος
2. Η άντοχη έδάφους και ύπεδάφους
3. Η άνωσις έκ του ύδατος.

4. Η πιθανή διαφυγή ύδατος και λήψεις μέτρων προς αποφυγήν αὐτῆς.



6. Γεωτρήσεις εἰς θέσιν φράγματος

Ἡ ἔρευνα δύναται νὰ γίνη καὶ δι' ὀρυγματῶν (ὀρθογωνικῶν ἢ κυκλικῶν) ἐντὸς τῶν ὁποίων ἐπιτελεῖται καὶ ἡ φόρτισις τοῦ ἐδάφους ὡς εἰς τὰ κάτωθι σχήματα (σχ.7).



Μετακινήσεις συνεπεία σ καὶ τ . Μετακινήσεις συναρτήσῃ χρόνου.

Σχ. 7. Φόρτισις καὶ δοκιμὴ ἐδάφους θεμελιώσεως.

Δύναται ἐπίσης νὰ γίνη ἡ ἔρευνα διὰ τῶν :
α/. βάρβδων εἰδηρῶν βυθιζομένων εἰς μαλακά ἐδά-

φη έως ότου συναντηθῆ τὸ σκληρόν ἕδαφος.

β/. διὰ κρουστικῶν γεωτρυπάνων ἀπλῶν ἢ

γ/. διὰ περιστροφικῶν γεωτρυπάνων μικρῶν ἐπίσης.

Πολύ οἰκονομικότερα ὁμῶς εἶναι τῆ ἔρευνα διὰ γεωφυσικῶν μεθόδων, ἧτοι :

1. Διὰ μετρήσεως τῆς ἐπιταχύνσεως

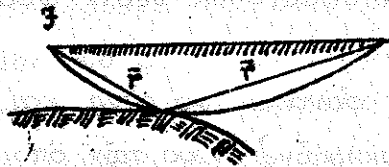
2. διὰ σεισμο-ἐλαστικῶν καὶ δυναμικῶν ἐκτονώσεων

(ἐκρηξίς δυναμίτιδος καὶ παρακολούθησις κύματος)

3. μαγνητικῶν μεθόδων

4. ραδιενεργῶν μεθόδων καὶ

5. τὸ συνηθέστερον : δι' ἠλεκτρικῶν μεθόδων (βλ. Σχ. 8)



Σχ. 8. $\left(\Phi = \frac{q}{2\pi r} - \frac{q}{2\pi \bar{r}} \right)$

Διὰ τῆς ἠλεκτρικῆς μεθόδου (ὑπολογισμὸς ἠλεκτρικοῦ δυναμικοῦ καὶ ὀπτικῆς) ἐρευνᾶται ταχέως καὶ οἰκονομικῶς τὸ ὑπέδαφος με' ἀκρίβειαν $\pm 6\%$ ἀλλὰ με' ἀμβλυνθῆναι διαφορῶν.

Β! ΤΕΧΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

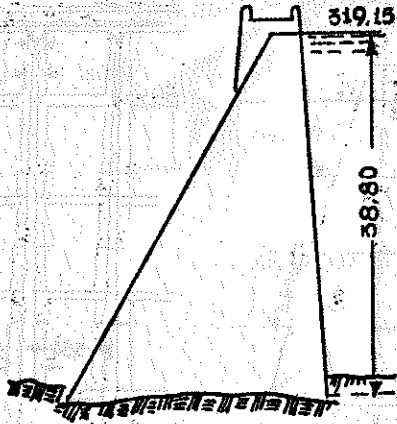
Ι. ΓΕΝΙΚΑΙ ΜΟΡΦΑΙ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

Τα φράγματα διακρίνονται εις :

1. Φράγματα βαρύτητας : Έκ λιθοδομής

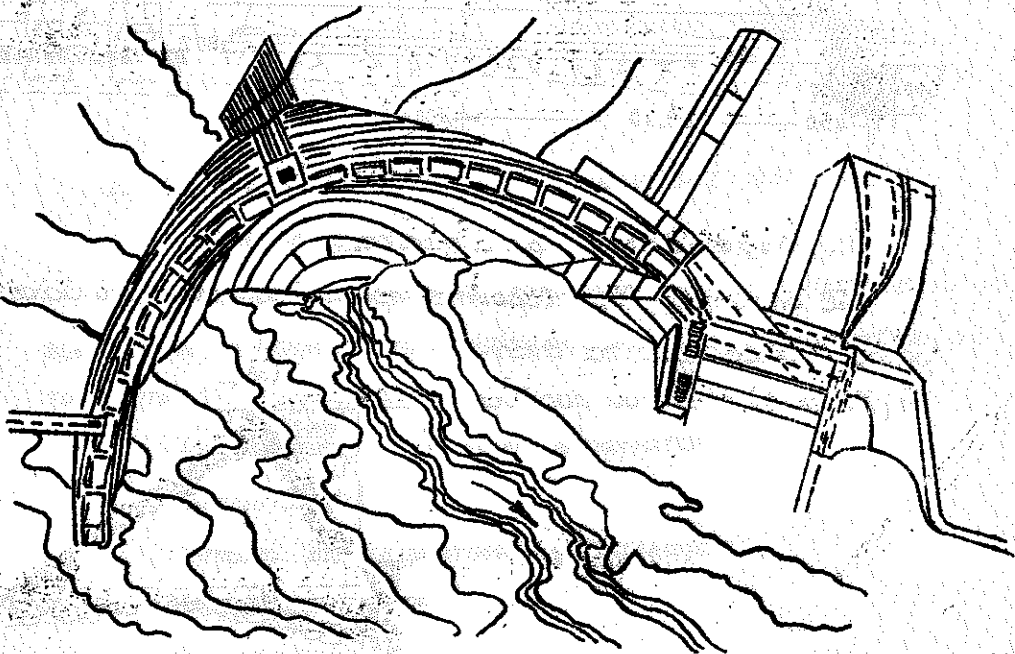
Έκ σκυροδέματος (εὐθύγραμμο)

Έκ σκυροδέματος (καμπύλα ἐν κα-
τόψει. Βλ. τομήν σχ.1).



(Σχ. 1)

2. Τοξωτά φράγματα : Έκ σκυροδέματος. Ἀμφίπλευρα τόξα

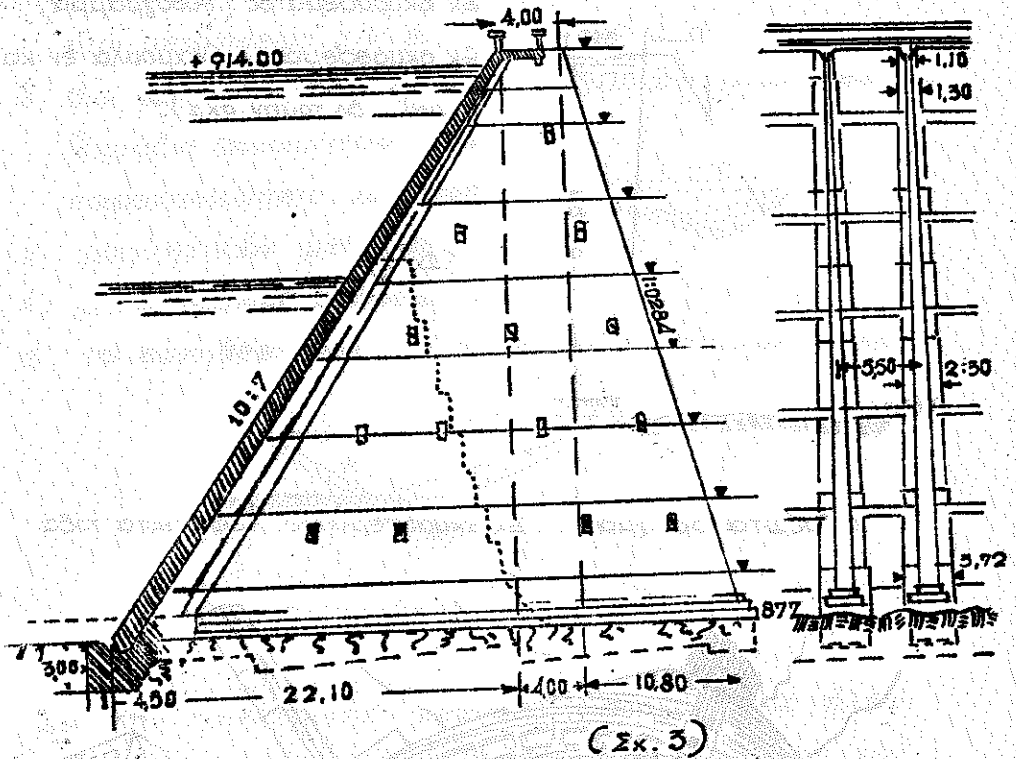


3. Αντιρροστώα φράγματα:

Έπιπεδοι πλάκες

Θόλοι

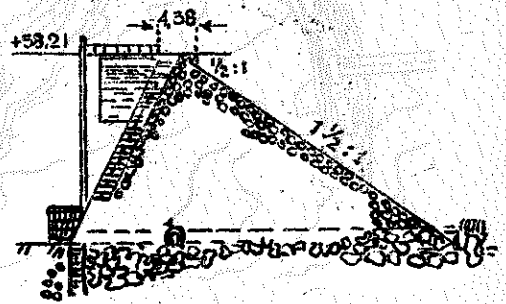
Είδικαι μορφαί (βλ. εχ. 3).



4. Λιθόρριπα φράγματα

Έξ ολοκλήρου εκ λιθορριπής, προστατευομένης υπό άδιαπεράτου πλακός προς τά άνάντη (βλ. εχ. 4) ή εις τόν πυρήνα.

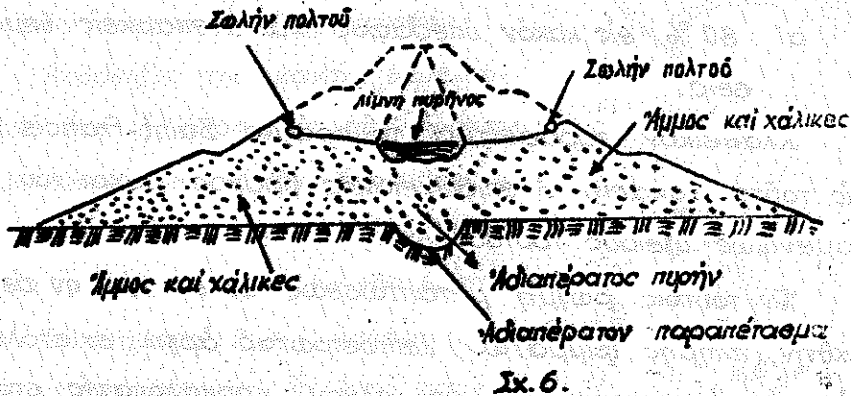
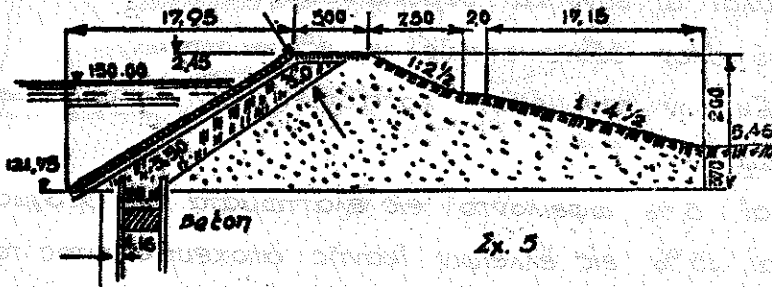
(εχ. 4).



5. Χωμάτινα φράγματα.

α. Κυλινδρωτά ή χωματόρριπτα (βλ. εκ. 5)

β. Ύδατόπλαστα (βλ. εκ. 6).



11. ΕΔΑΦΟΣ, ΥΠΕΔΑΦΟΣ ΚΑΙ ΘΕΜΕΛΙΩΣΕΙΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ (Τολκς σ. 78, 153).

Διά στενής συνεργασίας γεωλόγων και μηχανικών εἶον νά ἐξετάζεται τό ἔδαφος, τό ὑπέδαφος καί ὅλαι αἱ διατείξεις αὐτοῦ ἦτοι :

- Κατευθύνσεις καί πάχη στρωμάτων
- Μεταπτώσεις
- Ἄντοχή εἰς κλιματικές μεταλλαγές
- Ρωγμαί
- Σταλιδώσεις
- Διαπερατότης εἰς ὕδωρ.

Ὁ γεωλόγος ἐνισχυόμενος ἐν ἀνάγκη καὶ ὑπὸ μεταλλειολόγου, θὰ υποβάλλουν εἰς τὸν μηχανικὸν τὰ πορίσματα τῶν. Δὲν παρεμβαίνουν ὁμως οὔτε ἐξετάζουν τὰς τεχνικὰς λύσεις.

Ὅλαι αἱ συνθήκαι θεμελιώσεως, ὑδάτος στατικού ὑπολογισμοῦ δεῶν ἐξονυχιστικῶς νὰ ἐξετάζωνται :

Ἐκ τῶν γεγομένων καταστρεπτικῶν καταρρεύσεων φραγμάτων :

αἱ 5% ἀφείλοντο εἰς ελαττώματα τῶν φραγμάτων.

αἱ 15% εἰς ἄλλειψιν ἰκανῆς ἀποχευτικότητος τῶν ἐκχειλιστῶν .

αἱ 80% εἰς κακὸν ὑπόδαφος καὶ ἀνεπαρκεῖς θεμελιώσεις.

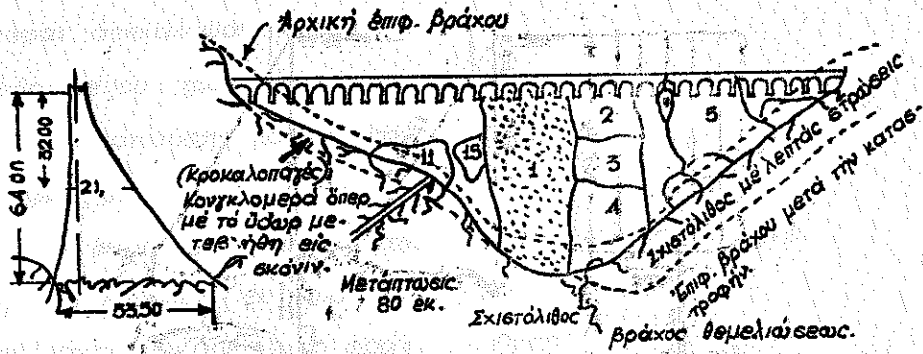
Κλασικὸν παράδειγμα τὸ φράγμα Saint-Francis U.S.A. Εἰς τοῦτο ἐσκάφη ὁ ἐπιφανειακὸς βράχος μέχρι τοῦ φαινομενικῶς ὑγειοῦς τοῦτου (δκ.1).

Ἐν τούτοις ῥωπή μεταπτώσεως 80 ἐκ. εἰς τὴν δεξιάν ὄχθην, (πλήρης τριμμάτων) λεπτόστρωτος ἀργιλ. σχιστόλιθος εἰς τὴν ἀριστεράν καὶ ἐπὶ πλέον κροκαλοπαγῆς στρώμα δεξιά (ὅπερ ἐφαίνετο σταθερὸν καὶ στεγανόν, τὸ ὁποῖον ὁμως κατὰ συνεχῆ ἐπαφήν μὲ νερὸ ἔγινε πολὺς) συντέλεσαν εἰς καταρῦσιν τοῦ φράγματος.

Ὁ σχιστόλιθος τῆς ἀριστερᾶς ὄχθης προφανῶς πρὸ καιροῦ εἶχεν ὑποστῆ καθίζησιν.

Δυστυχῶς δὲν ἐλήφθη πρόνοια διὰ συνάντησιν ὑγειοῦς βράχου, οὐδὲ εἰδικευμένη στεγανοποίησις τῶν ραυμῶν. Ἐπὶ πλέον εἰς τὸν ὑπολογισμὸν δὲν ἐλήφθη ὑπ' ὄψιν ἡ ὑποπίεσις τοῦ ἰσδάφους.

Τὸ ὕδωρ ἤρχισεν νὰ ὑποτρώγη τὴν δεξιάν πλευράν καὶ νὰ αὐξάνη τὰς ὑπὸ τὸ φράγμα ὑποπίεσεις (οἱ ἅς δὲν ὑπολογίσθη) ὅπερ ταχέως ἀπικολλήθη ἀπὸ τὴν θεμελίωσιν καὶ



Φράγμα

διά των διατμητικών τάσεων εις την θεμελίωσιν άπετινάχθη θρυμματισθέν.

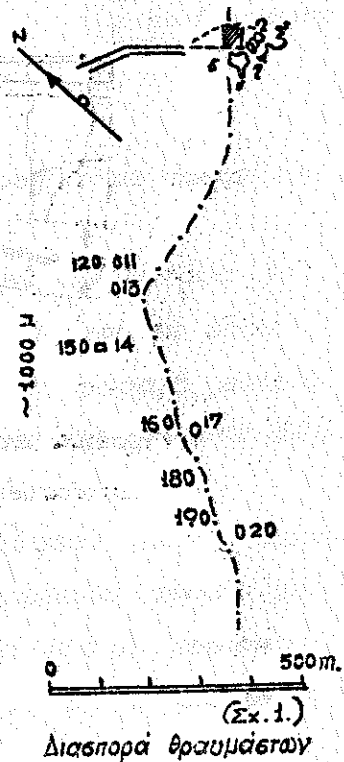
Άποδείξεις τής κακής θεμελιώσεως ήτο ή άπόπλυσις των βράχων θεμελιώσεως εις τα δύο άκρα του φράγματος. Το τμήμα (1) μετεκινήθη 15 εκ. και έπέστρεψεν εις την θέσην του. Τα τμήματα 2,3,4 έπεσαν πλησίον του φράγματος. Τα λοιπά παρέρυθθησαν 600-1200 μ. κατόντη μετό έκτοξευθέν ύδωρ (βλ. τομήν και κάτοψιν).

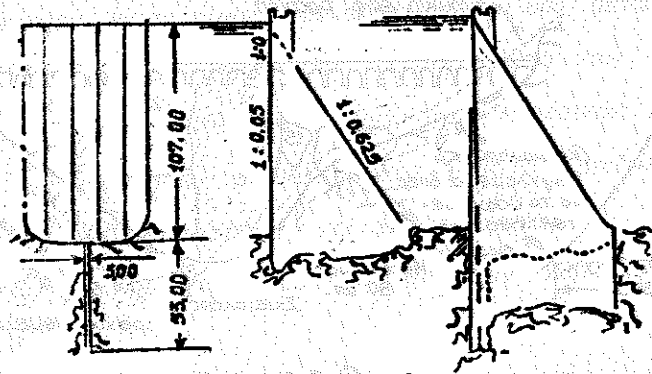
(2). Άλλο παράδειγμα, τό φράγμα Onyhee, δια τό οποίον ή μελέτη του έδάφους έδειξεν κανονικόν βράχον.

Εις τας έκεκαφάς εύρέθη καινούσα διαβρωτική ρωγμή πλάτους 300 μ.

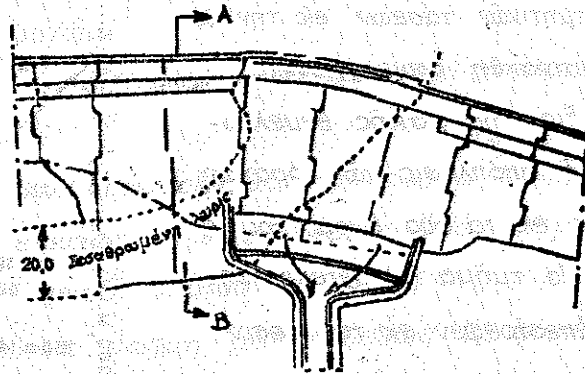
Η ρωγμή αύτη βάθους 53,0 μ. διευρύνθη (διά μεταλλωρύχων) έκκαθαρίσθη και έπληρώθη στεγανοποιηθείσα διά εκυροδέματος (Σκ.2).

(3) Εις τό φράγμα Schluchsee (Μέλας Δρυμός) σί έκ-

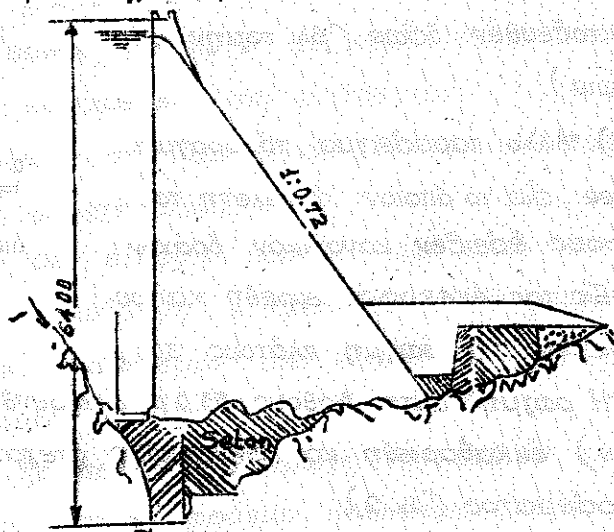




(2x.2)

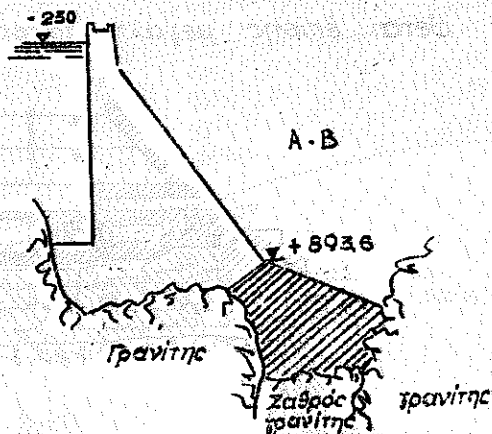


Φράγμα εις τό ύψηός έδαφος και σταθεροποιεία τόν
ευσταθισμένον γρανίτην.



εκαφαι άπεκάλυψαν λαριδα σε-
σαθραμενου τρανιτου πλατους
20.0 μ. βαινουσης λοξως προς
το φραγμα.

Η θεμελιωσις έπροστατεύ-
θη δια σφηνων (έκ εκυροδέμα-
τος) άντηστριζουσων το φραγ-
μα εις το υγιές έδαφος και
σταθεροποιουσα τον σεσα-
θραμενον τρανιτην.

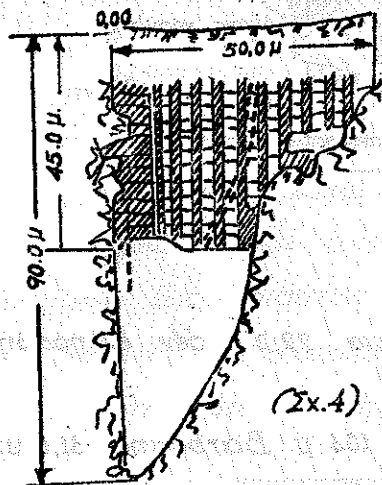


(Σχ. 3).

(4) Το φράγμα Τιμουα

(Mexico) 72,0 μ. ύψος και 670 μ.,

πλάτος, έμελετήθη ως άντηριδωτόν φράγμα με πάσαν έπι-
μέλειαν και λεπτομέρειαν.



(Σχ.4)

Έν τούτοις εις την κοιλάδα επί
πλάτους 50,0 μ. και εις βάθος
90 μ. εύρεθη φάραγγε σαθρού
τρανιτου, με δύο βωγμεις 6,0 μ.
και 1,0 μ.

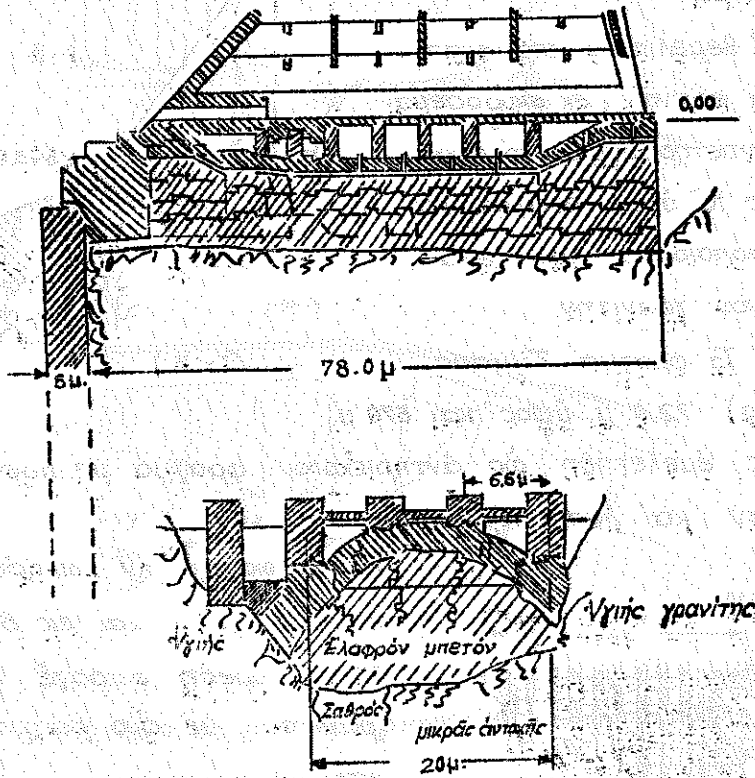
Άπεχρεώθησαν εις την κατα-
σκευήν μεταπαιδου τειχου με-
χρι βάθους 45,0 μ. περιπου
και πλατους 5,0 μ. δια να
άποκλεισθή ή ύπαρξη
του φραγματος.

Ο τοίχος ούτος κατασκευά-
σθη δια υποθεμελιώσεως (ήτοι φρεάτων).

Έκ παραλλήλου μεταξύ των δύο υγειων βράχων κα-
τασκευασθη θόλος έξ ίσχυρου μπετόν (υποβάθρου άσβε-
γέε μπετόν) όστις μεταφέρει τας πιέσεις εις τον υγειά

βράχον.

Εἰς φράγματα εἰς ἀσβεστολιθικά ἑδάφη δεόν να δι-
δεται ἐπίσης μεγάλη προσοχή.



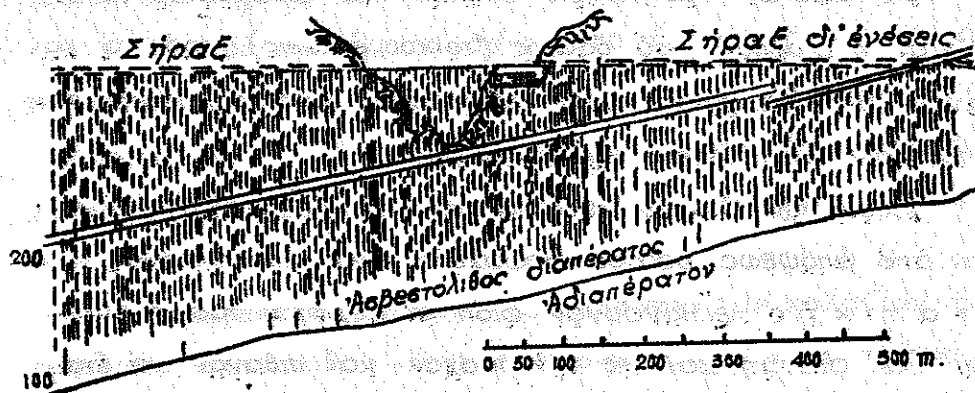
(Σχ. 4).

Ἡ λίμνη Monte-faque (φράγμα 72.0 μ. δὲν ἐπληρώθη
ποτέ ὕδατος (λόγω διαρροῶν).

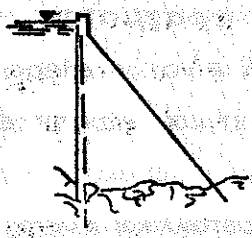
Ἀπεναγτίας εἰς Wärgital, 104 μ. Barberine 81.0 μ.,
Sautel 130 μ. τὸ νερὸ ἐστάθη.

(5) Τὸ φράγμα Cataracta 100 μ. ὑψους ἐλειτούργησεν
χάρις εἰς συνεχεῖς ἐργασίας στεγανοποιήσεως, δι' ἐνέσεων
ἐντός τοῦ ἑδάφους (σχ. 5).

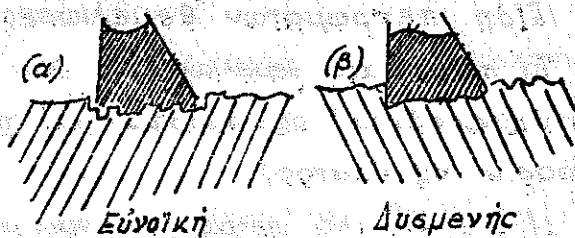
(6) Ἀπὸ ἀπόψεως κατευθύνσεων τῶν ὀρμῶν εἰς κρυ-
σταλλοσχιστώδη ἑδάφη, καλλιτέρα φυσικὰ εἶναι ἡ κα-



(Σχ. 5)



(Σχ. 5)



(Σχ. 6)

τεύθυνσις αὐτῶν πρὸς τὰ ἀνάτη (α) καὶ ὄχι τὰ κατάντη (β).

Ἐπίσης πλεὸν ἐπικίνδυναι εἶναι αἱ μικραὶ κλίσεις πρὸς τὰ κατάντη λόγῳ κινδύνων ὀλισθήσεων (ἐκ διατμητικῶν τάσεων) καὶ ὀπαλειῶν τοῦ ὕδατος (σχ. 7).

Εἰς τοιαύτας περιπτώσεις εἶναι δυνατόν ἢ πιεῖς τῶν ἀνάτη νὰ ἐξακολουθῇ ἐντὸς τῶν ἀρμῶν ἢ αὐτῆ (2) καὶ κατάντη, ὅποτε ἀνασηκῶναι τὰ στρώσεις καὶ στερεῖ πρὸς τὰ



(Σχ. 7)

κατάντη τὸ φράγμα τοῦ φυσικοῦ τοῦ ἀντερίσματος, ὅτε δυνατόν νὰ ὀλισθήσῃ.

Εἰς τοιαύτας περιπτώσεις ὀπισθεν τοῦ φράγματος ἐμπο-
δίζεται ἡ διαρροή τοῦ ὕδατος (τοιχοί, ἐνέσεις), πρὸς τὰ κα-
τάντη δὲ ἀνοίγονται ὁδοὶ ἐλευθέρας ροῆς τοῦ ὕδατος, πρὸς
ἀποφυγὴν ὑποπίεσεων καὶ ἐκκαθαῶν.

Κλίσις τῶν ἀρμῶν πρὸς τὰ κατάντη (βλ. 6.25 β) ἐνῶ εἶ-
ναι ἀπὸ ἀπόψεως ὕδατος ἀσφαλεῖς, εἶναι ἀπὸ ἀπόψεως
ετατικῆς επικίνδυνον διότι αἱ μέγιστα τάσεις γίνου-
νται ἐκεῖ διατμητικαί εἰς τὸν βράχον καὶ πιθανόν νὰ ἐκω-
μεν ἀνομοιομόρφους καθιζήσεις.

Εἶδη πετρωμάτων θεμελιώσεως φραγμάτων.

Τὰ πετρώματα θεμελιώσεως δεῖν γὰ εἶναι στεθερά
(μὴ ὑποχωροῦντα) ὁμοιόμορφα καὶ ἀνθεκτικά εἰς τὴν ἐ-
πίδρασιν τοῦ ὕδατος.

1/. Κατάλληλα πετρώματα εἶναι: οἱ κρυσταλλικοὶ σλίται
(Γνευσίος, κολόσιος - γρανίτ - ἀρχιλλοεχιστολιθικός φυλλίτης), τὰ
ὀρθόκλαστα (Γρανίτης, σπηνίτης, χαλαζοπορφυρίτης - γρανζρο-
ρhyth) καὶ πλαγιόκλαστα (Διορίται καὶ Γάβριοι).

2/. Κατάλληλα ὁμοίως πετρώματα εἶναι τὰ ἐκρηξι-
γενῆ καλύμματα ἐκ τήξεως (Διαβάσεως, Μελαφύρης (Μελαρhyth)
Βαλεάτης, Ἀνδεσίτης, Τραχύτης, Λιπαρίτης) ἐφ' ὅσον δεῖν πα-
ραμορφοῦνται εἰς ἰσχυρὰς δυνάμεις. Εἰς αὐτὰ ἐνίστε ἀπαν-
τῶνται ἄρμοι - κατὰ τὰς διαφόρους τήξεις - οἵτινες δυνατόν
νὰ δεικνύουν ἐναλλαγὰς ἐκ τοῦ καιροῦ καὶ ῥαυμὰς ὕφρα-
φοῦρας, ἅς δεῖν νὰ προσέχωμεν πάντοτε. Εἰς τοὺς βαλ-
βάτας ἰδίως δεῖν νὰ ἀποφεύγηται ἡ διεύθυνσις τῶν φορ-
τίων (κυρίων τάσεων τοῦ φράγματος) πρὸς τὴν κατεύθυνσιν
ταύτην διότι θύναται νὰ ὑποχωρήσουν κατὰ σπράσεις.

3/. Ὀλιγώτερον κατάλληλα εἶναι ὁ μαρμαρυγιακός
σχιετόλιθος μὲ πολὺ μαρμαρυζίαν (Stark glimpenhastige
Glimmerschiefer) καὶ φυλλίται ψαθυροὶ ἢ μὲ ἄρτιλλον.

Ταῦτα ἀποεπιβρῶνται εὐκόλως καὶ ἐξηματίζουσι ρωγμὰς.

4/. Ὅμοια πετραῖματα μὲ πόρους ἢ ρωγμὰς εἶναι καὶ ἀποφεύγονται ἢ καὶ στεγανοποιιοῦνται μὲ μεγάλην προσοχήν, διότι τὸ ὕδωρ ὀπισθεν τοῦ φράγματος θὰ διαρρέῃ εὐκόλως, λόγῳ μεγάλης πίεσεως καὶ θὰ καταστρέψῃ αὐτὰ εὐκόλως.

Ἰζηματογενῆ πετραῖματα, συνδεδεμένα μὲ χαλασίαν ἢ ἄργιλικόν ἐκιστόλιθον - tonnschiefersubstanz - εἶναι ἐξ ἴσου καλά. Ἰδιαίτερος κατάλληλος εἶναι οἱ χαλαζίτης, γραουβάκης καὶ ψαμμιτικός γραουβάκης.

Εἰς τοὺς φυλλίτας (Phylliten) καὶ ἄργιλλοεκιστολίθους εἶναι καὶ μὴ πλησιάζουσι αἱ κύριαί τάξεις τὴν κατεύθυνσιν τῶν ἀρμῶν, λόγῳ κινδύνων ὀλισθήσεως.

Στεγανοποιήσεις καὶ σταθεροποιήσεις τῶν θεμελίων

Ἐφ' ὅσον ἡ ὀριεθείσα διὰ γενικοῦς λόγους θέσις τοῦ φράγματος παρουσιάζει ἐσάφος ὅπερ δὲν εἶναι στεγανόν ἢ σταθερόν διὰ καὶ δεχθῆ τὰς προβλεπομένας πιέσεις, τότε προβαίνομεν εἰς τὴν στεγανοποίησιν αὐτῶν ἢ ὅπου ἀναγκαῖον σταθεροποιήσιν αὐτῶν.

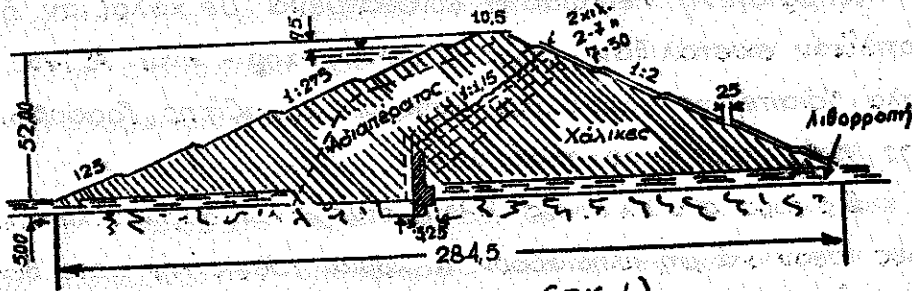
Τοῦτο γίνεται κατ' ἀρχὴν ὅπου εἶναι δυνατόν διὰ καταβιβάσεως τοῦ ἔργου ἕως βάθους μέχρι συναντήσεως καταλλήλου ὑπεδάφους. Εἰς τὰ εἰκ. 8, 9, 10 ἐμφαίνονται τοιαῦτα διατάξεις διὰ βάθη 5, 10 ἢ καὶ 35 μ. ἀπὸ τοῦ ἐσάφους.

Ὅπου ὅμως τοῦτο δὲν εἶναι δυνατόν διὰ λόγους οἰκονομικοῦς προσπαθοῦμεν καὶ στεγανοποιήσωμεν ἄλλως τὴν θέσιν τοῦ φράγματος. Τοῦτο γίνεται συνήθως διὰ κατασκευῆς στεγανοῦ παραπετάματος ὅπερ ἐξικνεῖται μέχρι τοῦ ἀδιαπεράτου στρώματος.

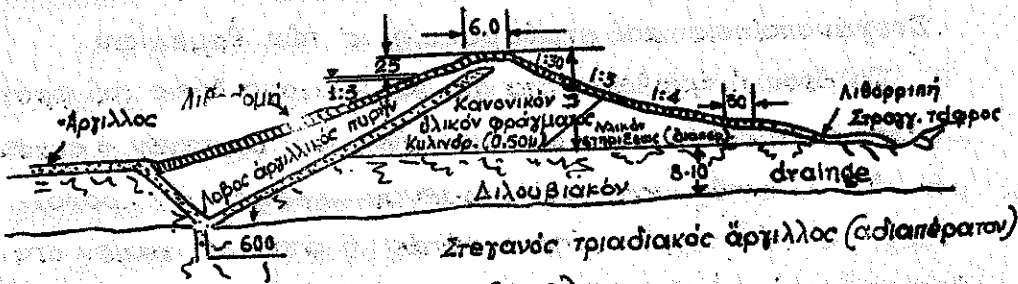
Τὸ παραπέτασμα δύναται καὶ γίνη:

1/. Διὰ πασσάλων.

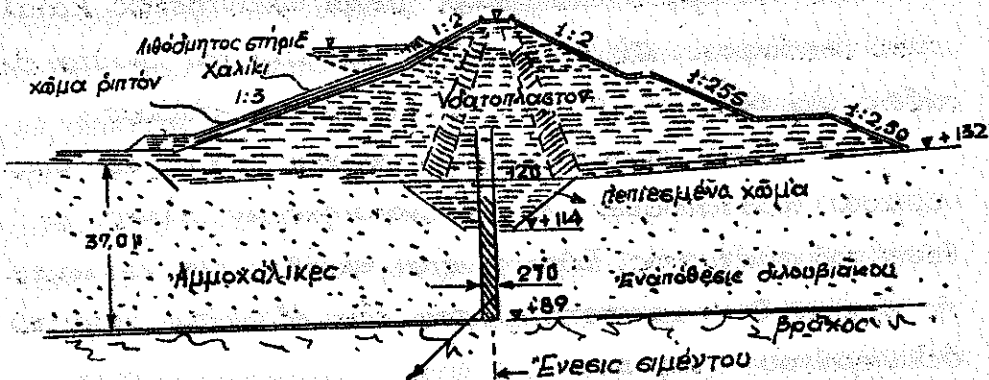
- 2/. Διά μεταπηκτικού τοίχου.
- 3/. Διά πασσαλοσανίδων.
- 4/. Διά καταδυσομένων φρεσάτων, εις πολύ φαθυρά έδαφη δύναται να γίνη.
- 5/. Διά ένέσεων, όποτε προκίπτει και σταθεροποίησης του εδάφους. (προκειμένου φαθυρών υλικών κ.λ.π.).



(Σχ. 8) Ρυρ - Staudamm (Eifel)



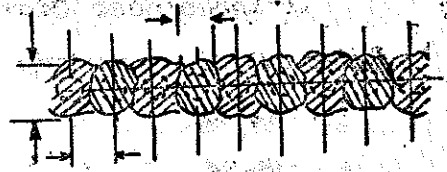
(Σχ. 9).



[Herdtmauer] έγκάρσιος τοίχος με βαλοίμους πιέσεως (caissons)
(Σχ. 10).

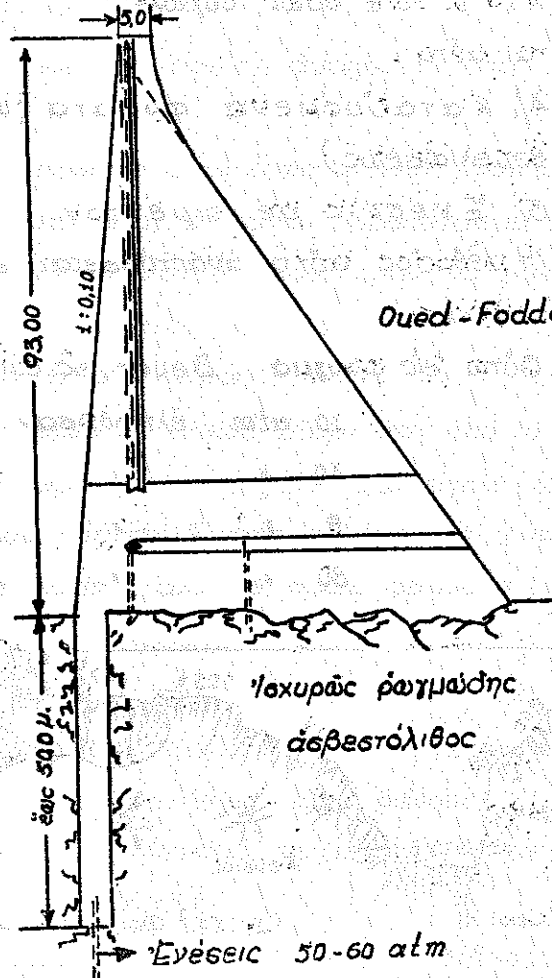
Τοίχοι.

1/ Πάσσαλοι βετοη-αρμε διαμέτρου 30 εκ. με περικυνομενον τσιμέντο υπό πίεσιν.



2/ Μετωπικός τοίχος.

Χρησιμοποιείται ολιγώτερον σήμερον λόγω ανατύξεας των ενέσεων.



3/ Πασσαλοσανίδες.

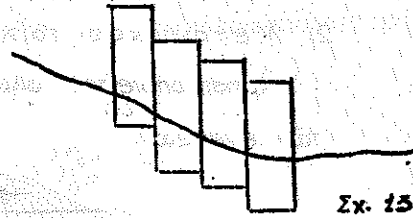
Τοποθετοῦνται βαθμιαίως (καθ' ὕψος) ὡς ἐν τῷ σχήματι

Οι κρουστήρες δέον να έχουν τα ακόλουθα βάρη :

Βάρος : 10-14	κρουστήρ	2,8 τόν.	βάρος	παισαλ.	155 kg/m^2
" : 14-18	"	4,0	"	"	185
" : 18-24	"	6,0	"	"	215

Η κρούεισ είναι ταχυτάτη.

Τό βάθος παισαλοσανίδων έφθασεν εις ειδικάσ περιπτώσεισ έωσ 45,0 μ. τότε όμως συγκολλούνται αυται.



Σχ. 13

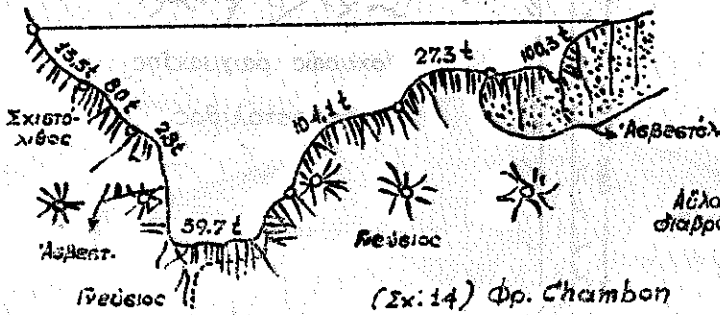
4/. Καταδυόμενα φρέατα (ώσ συνήθωσ εις τά έργα θεμελιώσεισ).

5/. Ένεσεισ μέ σιμέντον.

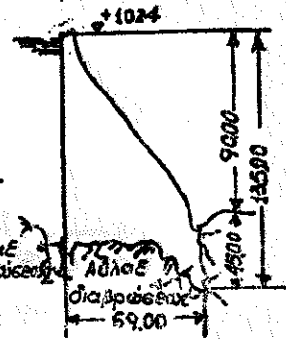
Η μέθοδοσ αυτη αναπτύσεται συνεχώσ, είναι όμως σάπανηρά.

Ούτω εις φράγμα Beuer, εις όπην 10 μ. βάρουσ δια πιέσει :

10 ατμ	έλήφθησαν	525	kg
40 "	"	1650	"
8 "	"	650	"
80 "	"	2650	"



(Σχ. 14) Φρ. Chambon



Η στεγανοποίησισ αυτη εφαρμόζειται εις άββεστολιθικά πετρώματα, άμμάωδη, χαλικώδη. Εις τό φράγμα Chambon, έτετελέσθησαν πολλαι ένέσεισ. Τό σχ. 14 σεικνύει τόννοσ

τσιμέντου χρησιμοποιηθέντος.

Αι ένέσεις διακρίνονται :

1. Είς χαμηλής πίεσεως , ένθα έξ ενός λέβητος πίεσεως περιεχοτος γαλάκτωμα τσιμέντου , έκτοξεύεται τουτο με πιέσεις 5-7 ατμ και

2. Είς ύψηλής πίεσεως , ένθα αναπτύσσονται πιέσεις 100 ατμ. και άνω μέσω άντλιών (τών χρησιμοποιουμένων είς μεταλλεία).

Είς τας πρώτας (χαμηλή πίεσις) άνοήονται όποι 2-8 μ., αίτινες έπαρκούν .

Είς τας ύψηλής πίεσεως δέον όπως αι όποι γίνονται τοιουτοτρόπως ώστε να σχηματίζεται στεγανόν παραπέτασμα ή μία στεγανοποίησις μέχρι στεγανού έδαφους. Δέον να γίνεται πρός τήν άναάντη και συνιεταιται να επιμελούνται ή μία μετά τήν άλλην είς μίαν ή δύο σειράς.

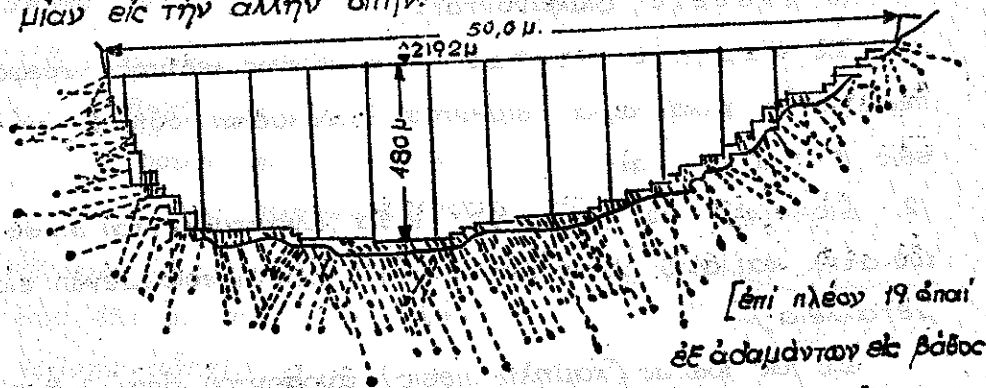
Η άπαιτουμένη ποσότης ύλικού έξαρτάται από τό είδος του πετρώματος και χρειάζεται μεγάλη διαίθεσις και πείρα διά τήν έργασίαν ταύτην. Ένίοτε αι ένέσεις γίνονται είς τό βάθος τής κοιλάδος , άλλοτε όμως φθάνουν μέχρι του ύψους στεψεως του φράγματος.

Η άπόστασις μεταξύ των όπών είναι συνήθως περί τά 4,0 μ. Είς πολύ διαπεράτους ψαμμίτας κατέρχεται είς 1,0 μ. Είς τό φράγμα Τορξία συνήθεις όποι βάθους 20,0 μ. και άπορροφούσαι 0,05 -5,0 τόννους τσιμέντου. Η μέγιστη πίεσις ήτο 80 ατμ (βλ. σκ. 15).

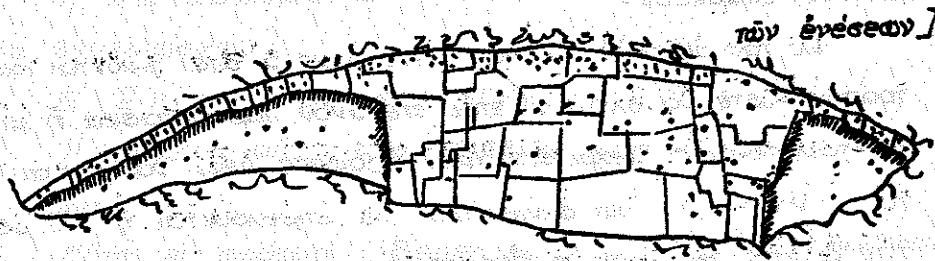
Αι ένέσεις έπιτελούνται με γαλάκτωμα 1:5-1:10 (πίεσ. 20-30 ατμ) και ένίοτε με αναλογίαν 1:1. Αι πιέσεις άνηρχοντο μέχρι 60 ατμ διότι ρωγμάδη έδαφη ένίοτε πουκάνουν με μικράς πιέσεις.

Έκάστη όπή δέον να πληρωται άμέσως μετά τήν

γεωτρήσειν της, ὥστε νά μή πηγαίνη τσιμέντο ἀπό τήν
μίαν εἰς τήν ἄλλην ὀπήν.



[ἐπί πλέον 19 ἀπαι
εἰς ἀσφάντων εἰς βάθος
20-30-40 μ. διά τόν ἔλεγχον
τῶν ἐγέσεων]



(Σχ.15) Φράγμα Τογγία (Ιταλία)

Περαιτέρω πάσα γεωτρήσις καλόν εἶναι νά συναντᾶ
τουλάχιστον μίαν ἄλλην ὥστε νά γίνεταί καλλιτέρα στεχα-
νοποίησις ἀλλά καί ἔλεγχος περί τῆς ἀποτελεσματικό-
τητος τῆς προηγουμένης.

Εἰς βάθειαι ὅσαι ἀρχίζομεν τήν στεχανοποίησιν ἐκ
τῶν ἄνω. Ἀνοίγεταί βάθος ὀπῆς μικρόν καί γίνεταί ἡ
ἐνεσις ὑπό πίεσιν. Ἀνοίχομεν ἐκ νέου τήν αὐτήν ὀπήν
εἰς μεγαλύτερον βάθος, κάνομεν νέαν ἐνεσιν καί ἀ-
νοίχομεν πάλιν εἰς μεγαλύτερον βάθος κ.ο.κ. Τοιουτο-
τρόπως εἴμεθα βέβαιοι ὅτι ἐκάστη ὀπή στεχανοποιεῖ-
ται καλῶς εἰς μέγαν πλάτος.

Καί ἄλλα ὕλικά χρησιμοποιοῦνται ἐνίοτε διά
στεχανοποίησιν ὡς ἀσφαλτόν ἰηπετάλ κ. λ. π.

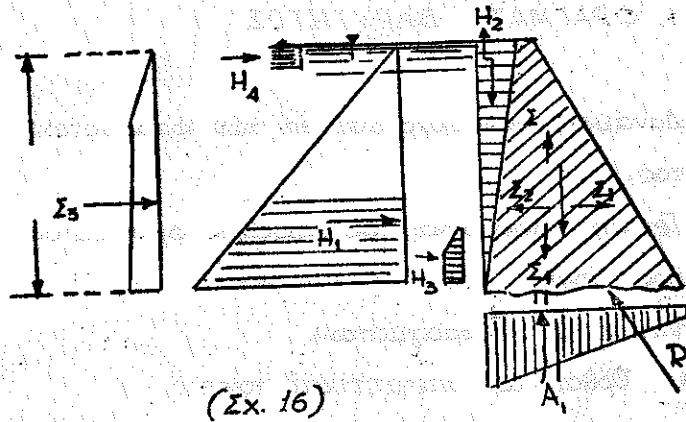
II. ΣΤΑΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ, ΔΙΑΤΑΞΙΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΚΑΘΕΚΑΣΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ.

III. 1. ΦΡΑΓΜΑΤΑ ΒΑΡΥΤΗΤΟΣ

1. Δυνάμεις επενερχοῦσαι ἐπὶ τῶν φραγμάτων βαρύτητος.
2. Γενικὴ ἰσορροπία τοῦ εὐκαταστάτου φράγματος βαρύτητος. Γενικὴ γραφικὴ λύσις.
3. Ὑπολογισμοὶ φραγμάτων.
 - 3.1. Ὅρθαι καὶ διατμητικαὶ τάσεις.
 - 3.2. Κύριαι τάσεις καὶ τροχιαὶ τάσεων.
 - 3.3. Ὑδρ. διηθήσεως καὶ δυνάμεις ὑδατος πόρων (ὑδροπερατότης).
 - 3.4. Ἐντατικὴ κατάστασις καὶ παραμορφώσεις εἰς τὰ φράγματα.
 - 3.5. Ἐντατικὴ κατάστασις εἰς ὀρθὰ τριγωνικὰ φράγματα μὲ ὑδροπερατότητα.
 - 3.6. Τροχιαὶ τάσεων.
 - 3.7. Ἐλαστικὴ μετακίνησις. Παράδειγμα.
 - 3.8. Ἐπίδρασις τῶν παραμορφώσεων τοῦ ἐδάφους ἐπὶ τῶν τάσεων τοῦ φράγματος.
 - 3.9. Πρόσθετοι τάσεις λόγω μεταβολῆς τοῦ ὄγκου.
4. Ἄρμοι διαστολῆς.
5. Ἡ ὑπόπρισις καὶ στεγανότης τῶν φραγμάτων.
6. Ἐνίσχυσις τῶν φραγμάτων [ἔλκυστήρες κ.λ.π. ὑπερύψωσις].

7. Γενικά παραδείγματα (Άσκησης)

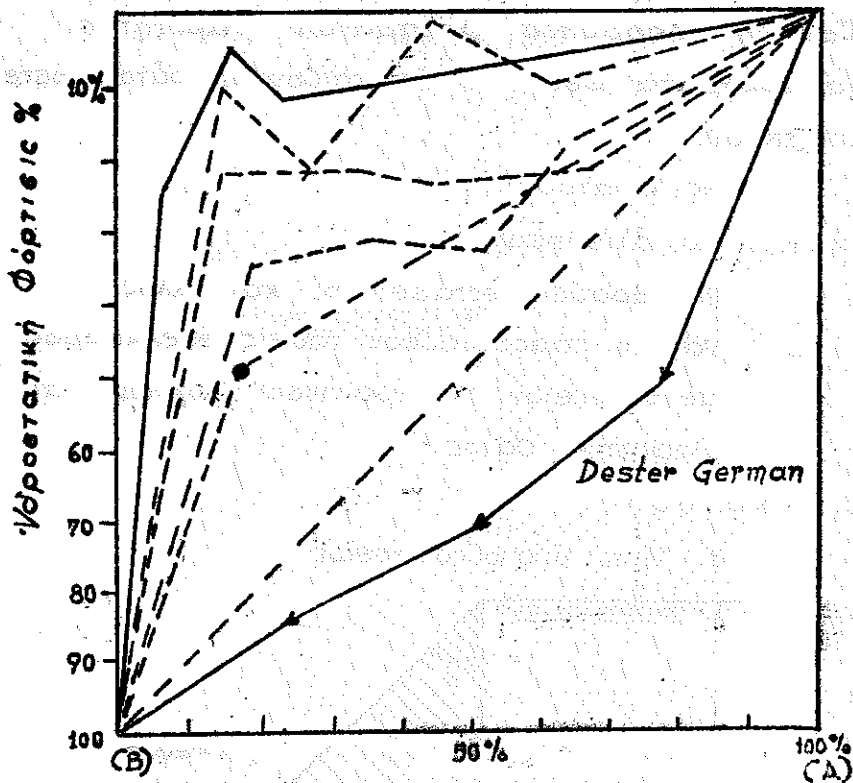
1. Δυνάμεις επενεργούσαι επί των φραγμάτων βαρύτητας.



Σχ. 16. Ενεργούσαι έξωτερικαί δυνάμεις επί των φραγμάτων βαρύτητας.

1. Βάρος φράγματος B_1 . Η μεγαλύτερα δύναμις και η μόνη ήτις δέν προκαλεί πτώσιν.
2. Η πίεσις τοῦ ὕδατος $H_1 = \frac{1}{2} \gamma h^2$ δια κατακόρυφον τοίχωμα $H_1 + H_2$ δια φράγμα μέ κεκλιμένην παρειάν.
3. Άνωσις A_1 .. Υπάρχει πάντοτε ανεξαρτήτως τῶν ληφθεομένων μέτρων καί οφείλεται εἰς κακῶς κατασκευασμένους ἀρμούς, εἰς ὀριζοντίους ἀρμούς, ὑπό τὰς θεμελιώσεις εἰς διεῖσθαι τοῦ ὕδατος ἐντός τοῦ φράγματος ἢ ὑπ' αὐτό ἐντός τοῦ εἰσώρου. Παρατηρήσεις ἀνάσεως δίδονται εἰς τό κάτωθι σχῆμα.

4. Η πίεσις τῶν φερτῶν ὑλῶν. (Μικρᾶς σημασίας H_3).
5. Πίεσις παίγων. H_4 . Αὕτη ὑπολογίζεται ἀπὸ 25-150 kg/m^2 (kg ἀναί m^2 ἐπαφῆς μὲ τὴν κατακόρυφον παρειάν τοῦ φράγματος). Τιμὴ 50 kg/m^2 θεωρεῖται συνήθως ἱκανοποιητική.
6. Σεισμικαὶ δυνάμεις. Σ_1, Σ_2 κατακόρυφοι ἢ ὀριζόντιοι ἀναλόγως διευθύνσεως σεισμῶν. (k_1)
 $k_1 = 0,10 - 0,80 (g)$ συνήθως 0,25g.
7. Σεισμικὴ πίεσις ὑδάτος Σ_3 .
Απὸ B εἰς A. Εἰς τὸ ἐκῆμα δίδονται αἱ παρατηρή-



Μῆκος βάσεως τοῖς %
(Σχ. 17)

Creager εις πραγματικά φράγματα (ικανοποιητική περιβάλλουσα 20% της βάσεως τό 50% της υποπίεσεως και μηδενισμός αυτής εις 100% της βάσεως. Μοναδικήν εξαίρεσιν έδωκεν τό φράγμα Oester έν Γερμανία.

Ο υπολογισμός ανατροπής δύναται τώρα να επαναληφθῆ με τάς πραγματικές υποπίεσεις, ήτοι: είτε την ανωτέρω περιβάλλουσαν ή με ευθείαν έχουσαν εις την άρχήν της βάσεως (B) 60% της υδροστατικής πίεσεως και εις τό τέρμα αυτής (A) υποπίεσιν = 0.

1. Bourgin : Cours de Calcul de Barrages.

2. Tolke : Wasser kraftanlagen.

2. Γενική ισορροπία φραγμάτων βαρύτητος.

Τά φράγματα θέον να υπολογίζονται ούτως ώστε να άντέχουν.

1. εις ανατροπήν

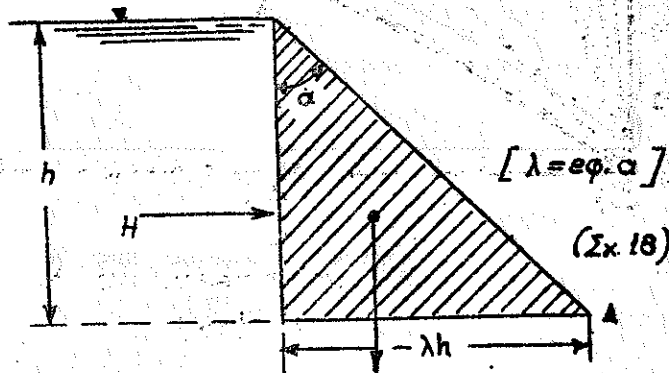
2. εις όλίθησιν

3. εις θραύσιν écrasement και τέλος

4. να μή παρουσιάζουν τάσεις έφελκυσμού με συνέπειαν την εμφάνισιν ρωγμών και διαφυγήν ύδατος.

1. Ανατροπή.

1. Άγευ ύδατοϋποπίεσεως



ρόποι ως προς A : $-H \frac{h}{3} - B \frac{2}{3} \lambda h \geq 0$

$$H = \gamma \frac{h^2}{2}$$

$$B = \frac{\delta_1}{2} \lambda \cdot h^2$$

$$\frac{2}{3} \delta_1 \frac{1}{2} \lambda \cdot h^2 - \frac{\gamma h^2}{2} \frac{h}{3} \geq 0$$

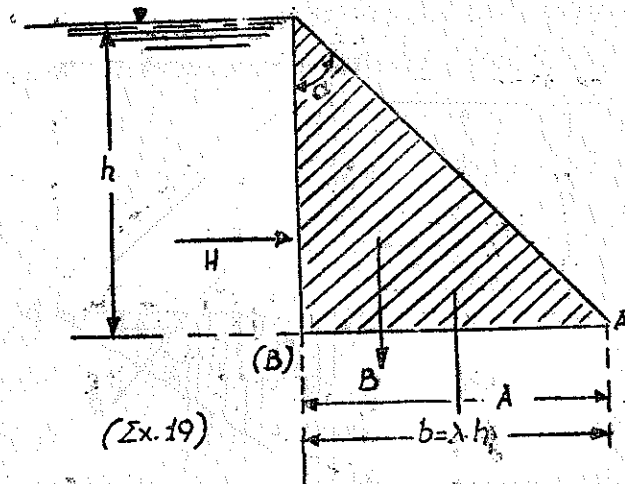
$$2\delta_1 \lambda^2 - \gamma \geq 0$$

$$\lambda \geq \sqrt{\frac{\gamma}{2\delta_1}}$$

$$\text{Διά } \begin{cases} \gamma = 1000 \\ \delta_1 = 2400 \end{cases}$$

$$\lambda \geq 0,450$$

2. Με πλήρη ύδατοϋποπίεση (Ροπαί ως προς A).



Δύναμις

$$H = 1/2 \gamma h^2$$

$$B = 1/2 \delta_1 \lambda h^2$$

Βραχίων

$$h/3$$

$$2/3 \lambda h$$

Ροπή

$$1/6 \gamma h^3$$

$$2/6 \delta_1 \lambda^2 h^3$$

$$A_{\text{νο}} = \gamma \lambda h \cdot h \quad 1/2 \lambda h \quad 1/6 \cdot 3\gamma \lambda^2 h^3$$

$$M_{\mu} = h^3/6 (2\gamma_1 \lambda^2 - \gamma - 3\gamma \lambda^2) > 0$$

$$\lambda > \sqrt{\frac{\gamma}{2\gamma_1 - 3\gamma}}$$

$$\lambda > 0,748$$

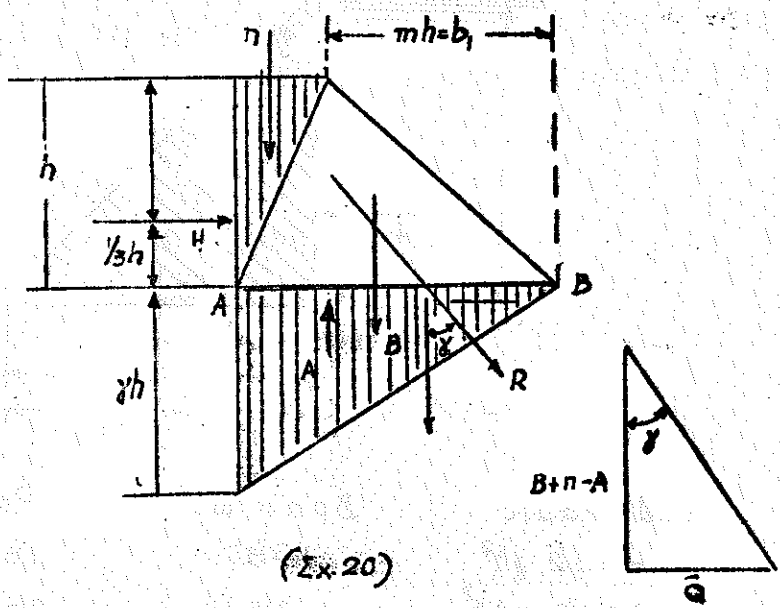
Διά $\begin{cases} \gamma = 1000 \\ \gamma_1 = 2400 \end{cases}$

Διά πλήρη υποπίεσιν ὄθεν:

- α/ι αἱ τάσεις θέον νά εἶναι τοιαῦται ὥστε νά κλείνουν τὰς ὀριζοντίας ραφήσιν (παλαιά ἀρχή γάλλου M.Lern) ἢ
- β/ι νά ληφθοῦν μέτρα ἐκμηδενίσεως τῆς υποπίεσεως.

Πάντως ἡ πράξις ἀπέδειξεν ὅτι αἱ υποπίεσεις ὕδατος οὐδέποτε εἶναι πλήρεις ὡς ἄνω. Ἡ δυσμενεστέρα περιπτώσις εἶναι τριγωνική γραμμική φόρτισις ἀπὸ Β ἕως Α. Βλέπε καί παρατηρήσεις Greaser εἰς πραγματικά παραδείγματα (περί ὧν ἄνωτέρω).

Ὁ λίσθησις.



Έστω φράγμα ως εν τῷ σχήματι τῆς σελίδος 38.

Δι' ἄνωσιν ἴσην μέ γη εἰς τὸ Α καὶ μηδέν εἰς τὸ Β ἔκομεν διὰ τὴν ὀλισθησιν :

$$\vec{R} = \vec{B} + \vec{H} + \vec{\Pi} - \vec{A}$$

Ἡ R ἀναλύεται εἰς δύο συνιστώσας, H (ὀριζοντίαν) καὶ B + Π - Α (κατακόρυφον), σχηματίζει δὲ μετὰ τὴν κατακόρυφον γωνίαν γ

$$\epsilon\phi \gamma = \frac{H}{B + \Pi - A}$$

Ἡ ὀριζοντία συνιστώσα H δεῖν νὰ ἰσοροπηθῇ ἀπὸ τὴν δύναμιν τῶν τριβῶν $f(B + \Pi - A)$ καὶ τὴν ἀντίστασιν εἰς διάτμησιν τῆς τοικοποιίας, τὴν δημιουργουμένην εἰς τὴν ἐπιφανείαν ἐπαφῆς E ἐπὶ τὸν συντελεστὴν r, ἥτοι

$$H \leq f(B + \Pi - A) + r \cdot E$$

Δεχόμεθα τὴν τάσιν r ὡς παραμελητέαν καὶ ἔχοντες διὰ τὴν τοικοποιίαν :

$$f = \epsilon\phi \varphi = 0,75 \quad \varphi = 37^\circ \quad \eta\mu \varphi = 0,60 \quad \sigma\upsilon\mu \varphi = 0,80$$

λαμβάνομεν τὸν ὅρον εὐσταθείας (stabilité) :

$$f > \frac{H}{B + \Pi - A} \quad \epsilon\phi \varphi > \epsilon\phi \gamma \quad \eta$$

$$\varphi > \gamma$$

Ἦτοι διὰ ν' ἀνθέξη εἰς ὀλισθησιν δεῖν ἡ συνιστώσα R νὰ σχηματίζῃ μετὰ τὴν κατακόρυφον γωνίαν γ μικροτέρα τῆς γωνίας τριβῆς λιθοδομῆς ἐπὶ λιθοδομήν.

Ἄρ. παράδειγμα : Διὰ κατακόρυφον τοῖκον :

$$A = \frac{1}{2} \lambda h \cdot \gamma h = \frac{1}{2} \gamma \lambda h^2$$

βραχίων τῆς A = $\frac{2}{3} \lambda \cdot h$, Ροπή ὡς πρὸς (B) = $\frac{2}{3} \gamma \lambda^2 h^3$.

Ἐστω $\lambda = 0,75$.

$$\frac{Q}{B-A} = \frac{1/2 \gamma h}{\gamma_1 \frac{mh^2}{2} - \gamma \frac{mh^2}{2}} = \frac{\gamma}{(\gamma_1 - \gamma)m} = 0,96 > 0,75 \text{ τού συντε-}$$

λεστού τριβής.

Άρα τό φράγμα θα όλισθήση.-

Έξ άλλου αί ροπαί πών δυνάμεων πρός Β είναι:

$$\frac{M+}{M-} = \frac{\frac{\gamma_1 \lambda^2 h^3}{3}}{\gamma \frac{h^3}{6} - \gamma \frac{\lambda^2 \cdot h^3}{3}} = \frac{2\gamma_1 \lambda^2}{\gamma(1+2\lambda^2)} = 1,27 > 1$$

ήτοι τό φράγμα δέν θα ανατραπή.-

Άρα ένψ δέν ύπάρχει κίνδυνος ανατροπής ύπάρχει κίνδυνος όλισθήσεως.

Δέον δθεν (Βουργίη) νά γίνη ένα πυκνόν δίκτυον στραγγίσεως (drainage serré) κατακορύφων άγωγών αί-
τινες νά συνιστώσιν τάς ύδροφόρους όριζοντίους φλέβας.

Συνηθώς έλάχιστα δίδεται προσωχή εις τόν κίνδυνον όλισθήσεως.

Συνηθή φράγματα βαρύτητος έχουν συντελεστήν άσφα-
λείας 1,5 δι' όλισθήσιν, κατερχόμενον εις 1,2 λόγω άνείσεως
καί κατερχόμενον κάτω τής μονάδος δι' έλαφράς σεισμικάς
δονήσεις (κ = 0,1 g). Η άσφάλεια είναι μικροτέρα δια θε-
μελιώσεις κεκλιμένας πρός τά κατόντη.

Ό ως άνω συντελεστής άσφαλείας :

$$\text{Συντελεστής Ασφ Όλ} = \frac{1}{\Sigma H} \frac{(B+\Pi-A)+rE}{\Sigma H} \text{ [Συντελεστής Ασφα-}$$

λείας Όλισθήσεως]

Η αντίσταση εις όλισθήσιν (stiding, glissement) έ-
λαττούται δια κατασκευής βαθμίδων εις τά θεμέλια, δια
μέτρων συνδέσεως Βετοη και έδάφους, ως και δια δια-
κόκικων βαθμίδων κατασκευής του εκυροδέματος. Ούτω έ

τρόπος κατασκευής έχει ίσην σημασίαν με τόν υπολογισμόν τών τάσεων, διά τήν μελέτην ενός φράγματος.

Ἡ ἀντοχή εἰς θλίψιν τοῦ βετον διά φράγματα δεόν νά εἶναι 140 kg/cm^2 (2000 p.s.i) μετά 28 ἡμ. Γενικῶς ἡ διατμητική τάσις εἶναι $\sim \frac{1}{5}$ τῆς θλίψεως, ἤτοι διά συνήθη βετον φραγμάτων $28-56 \text{ kg/cm}^2$. Με συντελεστήν ἀσφαλείας 4 αἱ τάσεις διατμήσεως δεόν νά εἶναι:

$$7-14 \text{ kg/cm}^2 (100-200 \text{ p.s.i})$$

Λοθέντος ὅτι αἱ τάσεις διατμήσεως κυμαίνονται ἀπό 0 εἰς τήν πτέρνην, εἰς παχίτυπιν εἰς τοὺς δακτύλους τοῦ φράγματος, ἡ ἔντασις διατμήσεως εἰς τοὺς δακτύλους εἶναι διπλασία τοῦ μέσου. Ἐξ ἄλλου ἡ σύνδεσις (bond) δεν εἶναι πάντοτε ὁμοιόμορφος μεταξὺ διαδοχικῶν κύσεων βετον.

Οὕτω ἡ ἀντοχή εἰς διατμήσιν κατέρχεται εἰς τό $1/20$ τῆς εἰς θλίψιν. Διά νά ὑπάρξῃ ἰκανότης παραλαβῆς διατμητικῶν τάσεων πρὸς ἀποφυγὴν ὀλισθηῶν δεόν αἱ ἀρμοὶ μεταξὺ κύσεων νά πλύνανται λίαν προσεκτικῶς.

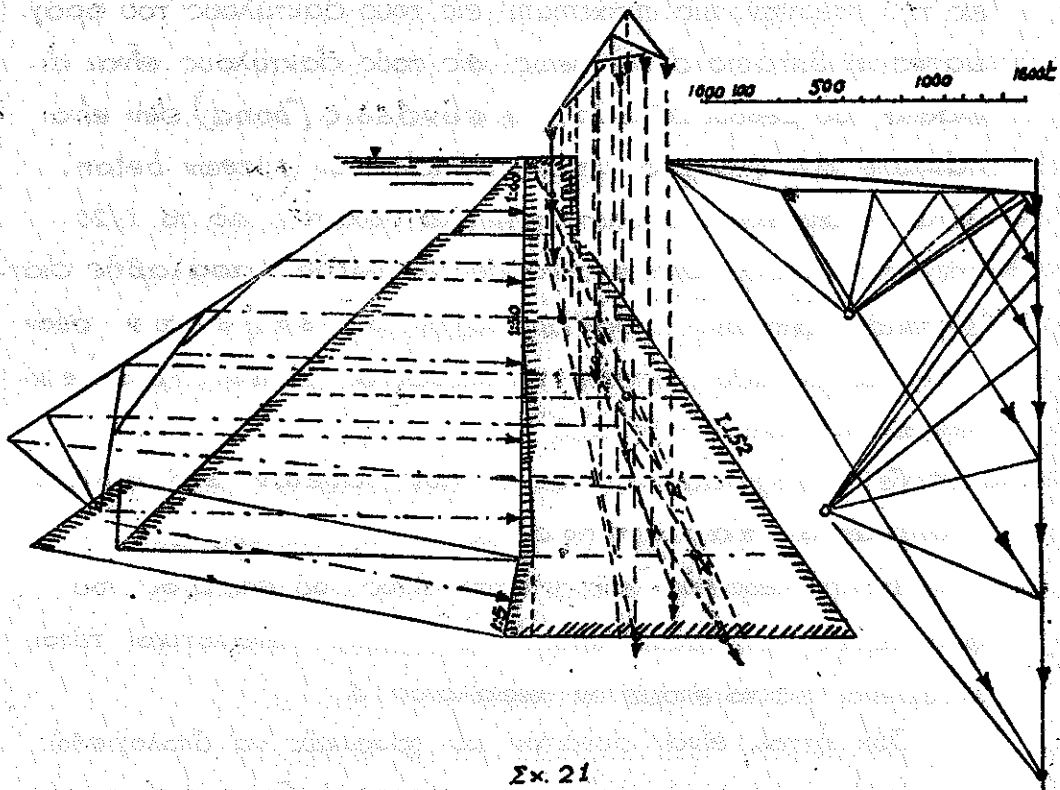
2^α. Γενικὴ γραφικὴ λύσις τῶν τάσεων εἰς φράγματα βαρύτητος.

Διά τήν εὐρέσιν τῶν τάσεων ἐντός τοῦ σώματος τοῦ φράγματος χρησιμοποιοῦνται λεπτομερῶς ἀναλυτικοὶ τύποι, δίδόμενοι εἰς τό ἐπόμενον κεφάλαιον δ.

Ὅχι ἦττον εἶναι δυνατόν καί γραφικῶς νά υπολογισθῶσιν αἱ τάσεις διά εὐρέσεως εἰς ἑκάστην ὀριζοντίαν διατομήν τῆς συνισταμένης τῶν ἐξωτερικῶν φορτίων καί τοῦ σημείου ἐφαρμογῆς αὐτῶν. Δί' ἀναλύσεως τῆς συνισταμένης εἰς κατακόρυφον καί ὀριζοντίαν συνισταῶσαν, σινάμεθα νά προσδιορίσωμεν τὰς κατακορυφούς καί ὀριζοντίας τάσεις (ϵ_z, ϵ_x)

καί τὰς διατηρητικὰς τάσεις εἰς τὰ σημεῖα τῆς διατομῆς.

Ἡ εὐρέσις τῆς συνισταμένης R τῶν ἑξωτερικῶν φορτίσεων (ΣP καὶ ΣH) καὶ τοῦ σημείου ἐφαρμογῆς αὐτῆς γίνεται γραφικῶς τῆ βοήθεια δύο εἰκοινοπολυγώνων ὡς ἐμφαίνεται εἰς τὸ ἐπόμενον σχῆμα 21.



Σχ. 21

5. Λεπτομερείς ύπολογισμοί φραγμάτων βαρύτητας (τάσεις).

5.1. Ορθαί και διατμητικάί τάσεις.

Έστω φράγμα βαρύτητας. Αί κατακόρυφοι δυνάμεις L (ύδατος) και G (τοικού) έκκει συσταίωσαν S .

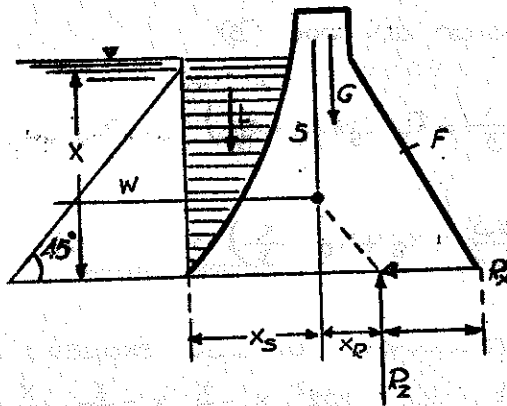
Αί όριζόντια δυνάμεις W (όριζοντ. πίεσις ύδατος) $= \gamma b \frac{z^2}{2}$.

Η άνωσις $A = \frac{1}{2} (\pi) \gamma \cdot z \cdot b$ παραλείπεται έφ' όσον έξετάζονται τμηματικά έσθαι του φράγματος.

Θά έχωμεν την συσταταμένην $\bar{R} = \bar{R}_z + \bar{R}_x$

$$\text{όπου } R_x = W = \frac{1}{2} \gamma b z^2$$

$$R_z = S = L + G$$



Σχ. 22

Αί καθαράς στατικά έξισώσεις δέν λύουν τό πρόβλημα.

Αί αυτό εισάγωμεν τον νόμον του Hooke και τον όρον ότι η διατομή παραμένει επίπεδος, όποτε κατά τά γνωστά έξ άποταχής ύλικών έχομεν τό σήμα 23 δια θλίψιν και κάμψιν :

Τό σημείον έφαρμογής της R_z θά είναι :

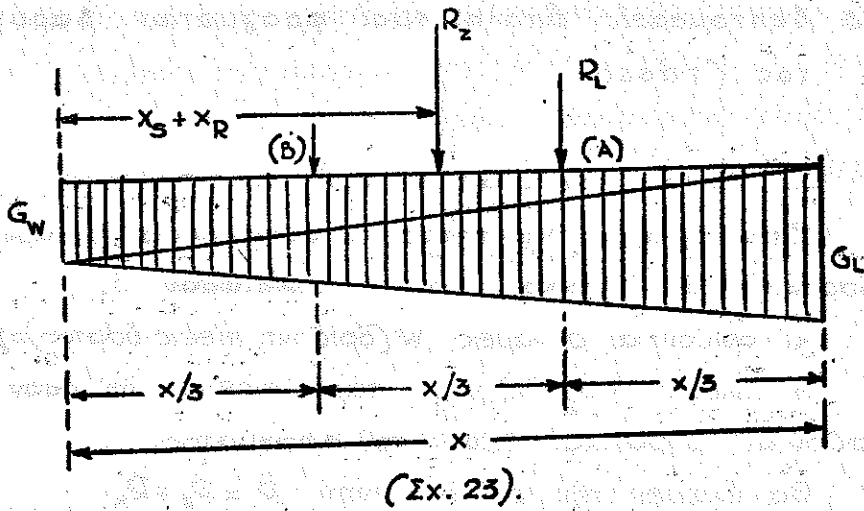
$$x_p = \frac{W}{S} \cdot \frac{Z}{3} \quad (\text{ροπαί άς προς } M)$$

Τό έμβαδόν των τριγώνων εις σχ. 23 δίδει :

$$\text{ε.χ. } \frac{1}{2} (\sigma_w + \sigma_e) = R_z = S$$

και λαμβάνοντες ροπαί προς A

$$\frac{bx}{2} \sigma_w \cdot \frac{x}{3} = R_z \left(\frac{2}{3}x - (x_s + x_p) \right) \quad \eta$$



$$\sigma_w = \frac{6S}{bx^2} \left(\frac{2x}{3} - (x_S + x_R) \right) \quad (1)$$

καί λαμβάνοντας ροπές ως προς (B)

$$\frac{bx}{2} \sigma_l \frac{x}{3} = R_2 \left(x_S + x_R - \frac{x}{3} \right)$$

ήτοι

$$\sigma_l = \frac{6S}{bx^2} \cdot \left(x_S + x_R - \frac{x}{3} \right) \quad (2)$$

Διά φράγμα με κατακόρυφον τοίχωμα έχομεν :

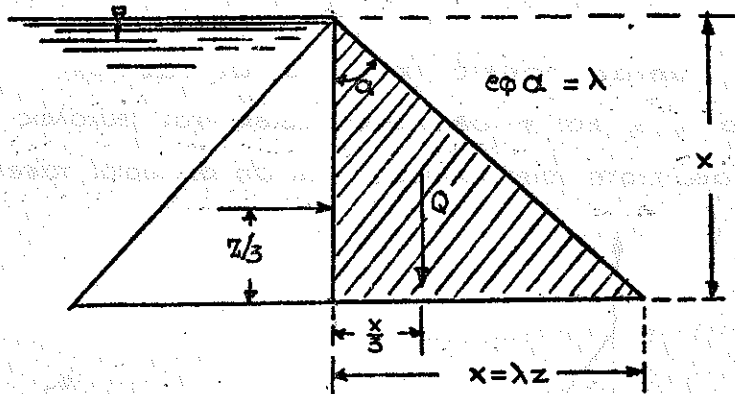
$$x = \lambda z \quad G = S = \gamma_b \cdot \lambda_b z^{3/2} \quad W = 1/2 \gamma_b z^2 \quad x_S = \frac{x}{3} \quad x_R = \frac{\gamma}{\lambda^2 \gamma_b} \cdot \frac{x}{3}$$

$$\sigma_w = \frac{1}{bx^2} \cdot \sigma_{\gamma_b} \lambda \frac{z^2}{2} b \left(\frac{2}{3} x - \frac{x}{3} - \frac{x}{3} \frac{\gamma}{\lambda^2 \gamma_b} \right)$$

$$\ddot{\eta} \quad \left(\gamma_b + \frac{\gamma}{\lambda^2} \right) = \sigma_w \quad (3)$$

$$\sigma_l = \frac{1}{bx^2} \cdot \sigma_{\gamma_b} \lambda \frac{z^2}{2} b \left(\frac{x}{3} + \frac{x}{3} \frac{\gamma}{\lambda^2 \gamma_b} - \frac{x}{3} \right) \ddot{\eta}$$

$$z \cdot \frac{\gamma}{\lambda^2} = \sigma_l$$

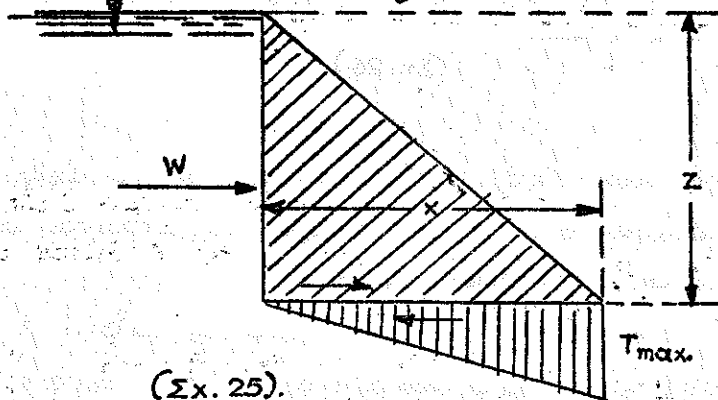


(Σχ. 24)



Αι διατμητικά τάσεις έχουν συνισταμένη την οριζοντία συνισταμένη R_x , ήτοι:

$$\int \tau \cdot dx = \frac{1}{6} R_x = \gamma \cdot z^2 / 2$$



(Σχ. 25).

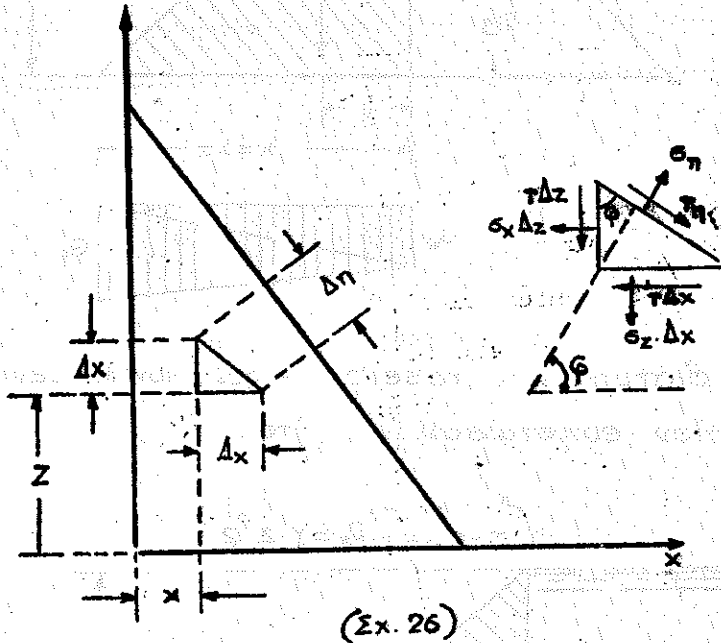
Εάν το φράγμα είναι πλήρες μέχρι άκμης του πριζαίνου, τότε συμφώνως προς νόμον ελαστικής παραμορφώσεως η αλλαγή της τ είναι εὐθύγραμμος ἦτοι:

$$\tau_{max} \frac{b}{2} x = W = \gamma \frac{z^2}{2} b$$

$$\tau_{max} = \gamma \frac{z}{\lambda}$$

3.2: Κύριαι τάσεις και τροχιαί τάσεων

Διά σ_x, σ_z και τ δεδομένα, εύρσκονται εύκόλως αί τάσεις οιασδήποτε διευθύνσεως και δη αί κύριαι τάσεις.



Έστω σημείον (x, z) , και τριγωνικόν πρίσμα $\Delta x, \Delta z, \phi$ ένθα κατ'άρχήν τό ϕ είναι μεταβλητόν. Δίδονται αί $\sigma_x, \sigma_z, \tau_{xz}$ και ζητούνται σ_η, τ_η .

$$(6) \left\{ \begin{array}{l} \sigma_\eta = \sigma_x \epsilon \omega^2 \phi + 2\tau \epsilon \omega \phi \cdot \eta \mu \phi + \sigma_z \eta \mu^2 \phi \\ \tau_\eta = \tau (\eta \mu^2 \phi - \epsilon \omega \nu^2 \phi) + (\sigma_x - \sigma_z) \eta \mu \phi \cdot \epsilon \omega \nu \phi \end{array} \right\}$$

Αί μέγιστα και έλάτιστα τιμαί τών τάσεων τούτων σ_η, τ_η είναι αί κύριαι τάσεις. Αί αντίστοιχοι τιμαί τών ϕ δίδουν τας κατευθύνσεις τών κυρίων τάσεων.

Διά να εὑρεθῶν αἱ κατευθύνσεις αὐταὶ διαφορίζομεν πρὸς ϕ καὶ ἐξισοῦμεν πρὸς μηδέν. Ἔχομεν ὅθεν:

$$(7) \quad \begin{cases} 0 = 2(-\sigma_x + \sigma_z) \eta \mu \phi_6 \sigma \nu \phi_6 + 2\tau \sigma \nu 2\phi_6 \\ 0 = 4\tau \eta \mu \phi_r \sigma \nu \phi_r + (\sigma_x - \sigma_z) \sigma \nu 2\phi_r \end{cases}$$

καὶ λύοντες

$$(8) \quad \phi_6 = \frac{1}{2} \text{τοξεφ} \frac{2\tau}{\sigma_x - \sigma_z}$$

$$\phi_r = \frac{1}{2} \text{τοξεφ} \left(-\frac{\sigma_x - \sigma_z}{2\tau} \right) = \frac{\pi}{4} + \phi_6 = 45^\circ + \phi_6$$

Δοθέντος ὅτι εἰς ἐκάστην ἐραπτομένην τοῦ πρώτου ὀρθογωνίου ἀντιστοιχεῖ καὶ μία εἰς τὸ τρίτον ($\alpha + 180^\circ$) ἢ ἐξίσω. εἰς (8) δίδει πάντα δύο γωνίας διαφερούσας κατὰ 90° ($\frac{1}{2} 180^\circ$) διὰ τὰς κυρίας τάσεις. Ἐπίσης ἡ ϕ_r κεῖται εἰς τὸ μέσον αὐτοῦ με' 45° γωνίαν, ὅπου γίνεται μεγίστη.

Ἐάν εἰσαγάγωμεν τὰς εὑρεθείσας κυρίας τάσεις ἀπὸ τὰς (6) θὰ ἔχωμεν:

$$\sigma_{1,2} = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) \pm \sqrt{(\sigma_x - \sigma_z)^2 + \tau^2}$$

$$(9) \quad \tau_{1/2} = \pm \sqrt{\frac{1}{2}(\sigma_x - \sigma_z)^2 + \tau^2}$$

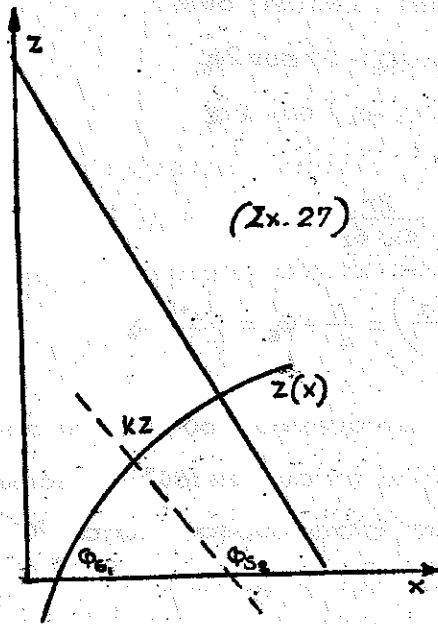
διὰ μεγίστην καὶ ἐλαχίστην τάσιν.

Αἱ ἐξισώσεις (8) δίδουν εἰς ἐκάστον σημεῖον τοῦ δίσκου 4 διευθύνσεις κυρίων τάσεων. Αὐταὶ ὀρίζουν 4 συστήματα καμπύλων τροχιάων, αἵτινες διέρχονται δι' ἐκάστου σημείου τοῦ δίσκου, εἰς προδιαγεγραμμένας κατευθύνσεις, καλούμεναι τροχιαί τῶν τάσεων.

Ἐξ αὐτῶν κατ' ἀρχὴν ἐρευνῶνται αἱ δύο τροχιαὶ δίσκουι τὰς διευθύνσεις διὰ τὰς μεγίστας καὶ ἐλαχίστας τιμὰς τῶν ὀρθῶν τάσεων σ_1 καὶ σ_2 (μεγίστη θλίψις, ἐλαχίστη ἢ ἐφελκυσμός).

Ἔστω μία τροχιά $z = z(x)$ διερχομένη διὰ τοῦ σημείου

(x, z) τότε : $e\phi \cdot \phi_0 = \frac{dz}{dx}$, και λόγω της εξίσωσης (8) και της τριγωνομετρίας θα έχουμε:
 (8) $e\phi 2\phi_0 = \frac{2r}{\sigma_x - \sigma_z}$ και



(2x.27)

$$e\phi 2\phi_0 = \frac{2e\phi \cdot \phi_0}{1 - e\phi^2 \phi_0^2} = \frac{2 \frac{dz}{dx}}{1 - \left(\frac{dz}{dx}\right)^2} = \frac{2r}{\sigma_x - \sigma_z}$$

έξ ου

$$\left(\frac{dz}{dx}\right)^2 + 2 \frac{dz}{dx} \cdot \frac{\sigma_x - \sigma_z}{2r} - 1 = 0$$

Αύτη είναι η διαφορική εξίσωση των τροχιών των κυρίων τάσεων, λυομένη εις ειδικές περιπτώσεις.

3.3 Ύδωρ διηθήσεως και δυνάμεις εκ του ύδατος, των πόρων (φράγμα εκ εκυροδέματος).

Η ροή του ύδατος εντός των πόρων του βετον θα είναι: $U_m = k \cdot \frac{H}{L}$ ή συναρτήσει των πιέσεων (έσωτερ. και έξωτερ).

(11) $U_m = \frac{k}{\gamma} \frac{P_w - P_r}{L}$ όπου συνήθως $P_w = \gamma(H-z)$, $P_r = 0$

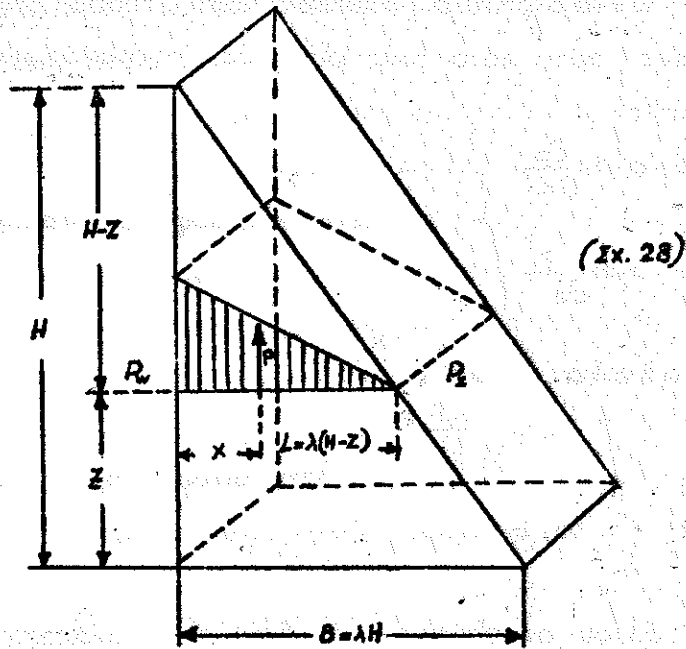
και εις τυχόν σημείον η πίεσις είναι:

(12) $P_{(x,z)} = P_w \left(1 - \frac{x}{L}\right)$ $L = \lambda(H-z)$

(13) $P_{x,z} = \gamma(H-z) \left(1 - \frac{x}{\lambda(H-z)}\right) = \gamma \left(H-z - \frac{x}{\lambda}\right)$

και η ταχύτης

(14) $U_{x,z} = \frac{k}{\lambda} = U_0$ (όλική απώλεια δια διατομήν $F \cdot Q = \frac{k}{\lambda} \cdot F = U_0 \cdot F$)



Τὸ ὕδωρ τοῦτο δύναται ν' ἀποπλύνῃ τὸ τσιμέντο καὶ ἰσὴ πιθανὰς διαλυτὰς προσμίξεις αὐτοῦ εἰς μεγάλην ἀναλογία.

Ὡς γινωστὸν σῶμα ἐμβαπτιζόμενον εἰς ὕδωρ ὑφίσταται ἀνωσειν, κατὰ τὴν διεύθυνσιν τῆς μεγίστης πλάσεως πίεσεως, ἴσην με :

$$(15) \quad A = -V \rho \alpha \delta \rho.$$

Ἐἰς τὸ βετόη, ὅλοι οἱ κόκκοι, ὧν ἡ ἀναλογία ἔστω α εἰς τὸν κῶρον, ὑφίστανται ἀνωσειν καὶ μάλιστα μόνον τὸ μῆμα αὐτῶν, ὅπερ εὐνεπεῖα τοῦ παραδόσου τοῦ τσιμέντου (β) ἐρχεται εἰς ἐπαφήν με τὸ ὕδωρ, ἤτοι τμήμα αὐτοῦ ἴσον με ββ. Ἐχομεν τότε :

ἀνωσειν εἰς μονάδα ὄγκου τοῦ βετόη :

$$\left(\frac{\alpha}{\beta} \cdot \beta F = \alpha \beta \right)$$

(16) $a = -\alpha \cdot \beta \cdot \text{grad } p$. (= άνωσεις κατά μονάδα όγκου βετον)
 Η άνωσεις αΰτη κατά τούς δύο άξονας αναλυομένη έχει προβολάς :

$$\left. \begin{aligned} a_x &= -\alpha \cdot \beta \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \\ a_z &= -\alpha \cdot \beta \cdot \frac{\partial p}{\partial z} \end{aligned} \right\} \text{ και έν συνδυασμῶ με έξίσεωσιν (13)}$$

Προβολαί άνώσεωσ :

$$(17) \quad \left\{ \begin{aligned} a_x &= \frac{\alpha \cdot \beta \cdot \gamma}{\lambda} \\ a_z &= \alpha \beta \cdot \gamma \end{aligned} \right. \text{ δια τοίχους βαρύτητοσ}$$

Έξ' άλλου αί δυνάμεισ τριβῶν εΐναι ανάλογοι τῆσ πῶσεωσ πιεζομετρ. γραμμῆσ και τοῦ πορώδουσ, ἄρα γενικῶσ :

$$(18) \quad r_x = -(1-\alpha) \beta \frac{\partial p}{\partial x} \quad r_z = -(1-\alpha) \beta \left(\frac{\partial p}{\partial z} + \gamma \right)$$

και ειδικῶσ εις τοίχουσ :

$$(19) \quad r = r_x (1-\alpha) \frac{\beta \gamma}{\lambda} \quad r_z = 0$$

Και άθροιστικῶσ (άνωσεισ + τριβαί + βαρύτησ έχουσιν τεταγμένασ :

$$\left\{ \begin{aligned} m_x &= -\alpha \beta \frac{\partial p}{\partial x} - (1-\alpha) \beta \frac{\partial p}{\partial x} = -\beta \frac{\partial p}{\partial x} \\ m_z &= -\alpha \beta \frac{\partial p}{\partial z} - (1-\alpha) \beta \left(\frac{\partial p}{\partial z} + \gamma \right) - \gamma_p \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

η

$$\left\{ \begin{aligned} m_x &= \frac{\alpha \beta \gamma}{\lambda} + (1-\alpha) \frac{\beta \gamma}{\lambda} = \frac{\beta \gamma}{\lambda} \\ m_z &= \frac{\alpha \beta \gamma}{\lambda} - \gamma_p \end{aligned} \right\} \quad (20a).$$

Ἦτοι ἡ μαζικὴ δύναμις διαρρεομένου τοίχου εἶναι ἡ αὐτὴ εἰς πάσαν θέσιν.

(Ἡ τριβὴ ἔχει μόνον ὀριζοντίαν συνιστάσασαν, ἐνῶ ἡ ἀνωγεικὴ ἔχει κλίσειν καὶ εἶναι κάθετος πρὸς τὰς γραμμάς ἴσης πιέσεως τοῦ πορώδους ὕδατος).

Αἱ ὀριζόντιοι συνιστάσασαι τῶν δυνάμεων δὲν εἶναι τίποτε ἄλλα εἰ μὴ τὸ τμήμα τῆς πιέσεως τοῦ ὕδατος, ὅπερ ὀρᾷ ἐπὶ τῶν πέραν τῆς κατακορύφου ἐπιφανείας πιέσεως διότι:

$$\int_0^{\lambda(H-Z)} m_x \cdot dx = \beta \cdot \gamma(H-Z) = \beta \cdot P_w$$

(ὅπου β κυμαίνεται ἀπὸ 0-063 ἀναλόγως τοῦ Wz facton.)

3.3. Ὑπολογισμὸς τῶν μεγεθῶν α , β καὶ $\alpha\beta\gamma$.

(ὁ συνελεστής σιμέντου-ὕδατος τοῦ σκυροδέματος)

Τὸ σκυροδέμα ἀποτελεῖται ἐκ σιμέντου καὶ ἀδρανῶν ὑλικῶν (ἄμμος-χάλικες), ἅτινα συνδέονται μεταξὺ τῶν διὰ ὕδατος εἰς πλαστικὴν κατάστασιν. Ἡ πῆξις τοῦ σιμέντου λαμβάνει καιρὰν με' ἀποτέλεσμα ἐκλυεῖν θερμότητος καὶ βραθυμιαίαν αὐξήσασιν τῆς ἀντοχῆς αὐτοῦ.

Ἡ ἀντοχὴ εἶναι συνάρτησις τῆς περιεκτικότητος εἰς σιμέντον καὶ ὕδωρ.

Οἱ ἀριθμοὶ α καὶ β δύνανται νὰ προσδιορισθῶσιν εὐκόλως ἀναλόγως τῆς συνθέσεως τοῦ σκυροδέματος.

Ἐάν ἓνα κυβ. μ. σκυροδέματος περιέχει Σ τόννους σιμέντο τότε ὁ κῶρος ὃν τοῦτο καταλαμβάνει (δι' εἰδικόν βῆρος 3.1) θά εἶναι $\frac{1}{3.1} \Sigma = 0,3226 \Sigma$ κ. μ. ὄγκου ἄνευ πόρων.

Ἐάν ἤσθη καλέσωμεν τὸν λόγον τοῦ βῆρους τοῦ προ-

επιθεμένου ύδατος. Υ προς το βάρος του σιμέντου Σ δια του συμβόλου ΣΥΣ (ω) θα έχουμε $(ΣΥΣ = \frac{Υ}{Σ})$ αναλογία του όγκου τσιμέντου ύδατος:

$$Υ + Σ = (ΣΥΣ + 0,32) Σ \left[= \frac{Υ}{Σ} Σ + 0,32 Σ = Υ + 0,32 Σ \right]$$

και επομένως ο όγκος των άδρανών υλικών έστω:

$$α = 1 - (Σ + Υ) = 1 - (ΣΥΣ + 0,32) Σ \left[\text{άδραν} \eta \text{ υλικά} \right]$$

Όσον αφορά τους πόρους του μίγματος ύδατος - τσιμέντου (άργιάνη) είναι γνωστόν κατόπιν μακρών πειραμάτων του Wilson ότι συνήθως το υπό του τσιμέντου κατά την πήξιν του βετοη παραλαμβάνομενον ύδωρ ίσοϋται με 20% του βάρους του τσιμέντου. Το υπόλοιπον ποσόν του ύδατος, όπερ δέν χρησιμοποιείται αποτελεεί τα κενά του υδροτσιμέντου και ίσοϋται με:

$$(Υ - 0,02) Σ$$

$$\eta \quad (ΣΥΣ - 0,20) Σ$$

επομένως ο λόγος β θα είναι:

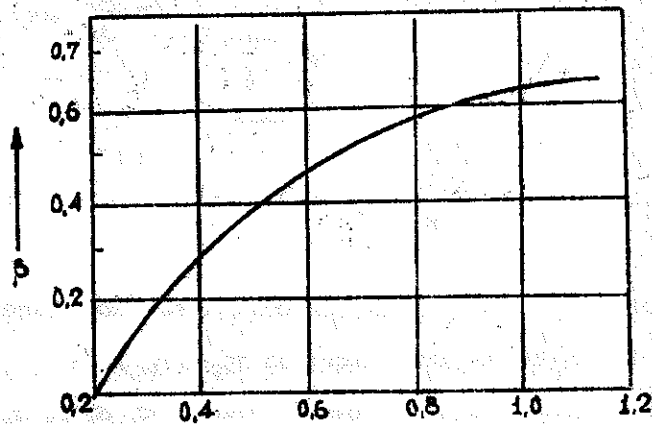
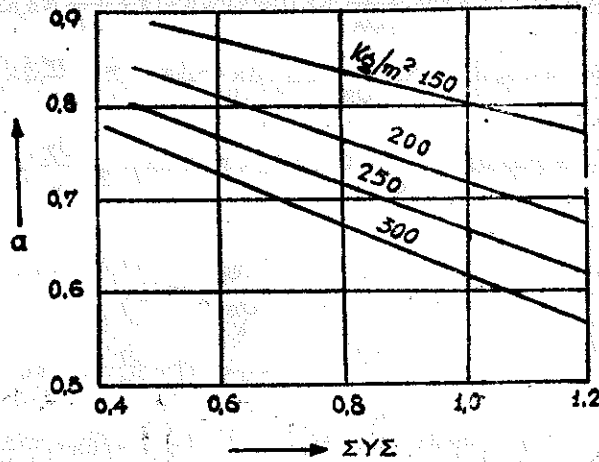
$$β = \frac{ΣΥΣ - 0,20}{ΣΥΣ - 0,20} \quad (\text{πόροι μεταξύ συνδ. υλης}).$$

Οϋτω συναίμεθα τώρα αναλόγως του προστιθεμένου ύδατος (άρα του ΣΥΣ) να υπολογίσωμεν άμέσως το α και β ως και το αβγ, ένθα $γ = 1,0 \text{ t/m}^3$.

Τοϋτο έμφαίνεται εις τα ακόλουθα εκήματα όπου δίδονται τα α και β. Το αβγ εύρίσκεται εύκόλως (Σχ. 29).

3.4. Έντατική και παραμορφωτική κατάστασις εις τα φράγματα.

Η έπίπεδος έντατική κατάστασις έμελετήθη κατ'άρ-



(Σχ. 29)

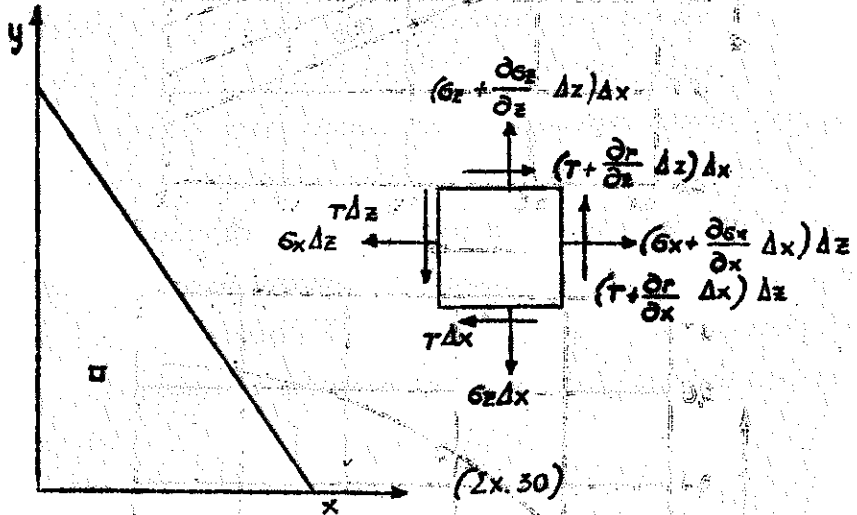
κὴν πρό ἑκατονταετίας ὑπὸ τοῦ N. Lény.

Αὕτη ὀρίζεται ἐκ τῶν τριῶν ἀνεξαρτήτων δυνάμεων τῶν τάσεων, ἤτοι συνήθως τῶν $\sigma_x \cdot \sigma_y$ καὶ Σ_{xy} , αἵτινες εἶναι συνάρτησις τῶν x καὶ y .

Ἡ μεταβολὴ αὐτῶν ὀρίζοντιῶς ἢ καθέτως εἶναι τὰ διαφορικὰ αὐτῶν κλάσματα.

Ἡ ἰσορροπία τοῦ συστήματος (προβολαί, x, y καὶ ῥοπαί ὡς πρὸς τὸ κέντρον θ) δίδει:

$$(21) \begin{cases} R_x = 0 = -\sigma_x \Delta z + \left(\sigma_x + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} \Delta x\right) \Delta z - \tau \Delta x + \left(\tau + \frac{\partial \tau}{\partial z} \Delta z\right) \Delta x + m_x \Delta x \Delta z \\ R_z = 0 = -\sigma_z \Delta x + \left(\sigma_z + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} \Delta z\right) \Delta x - \tau \Delta z + \left(\tau + \frac{\partial \tau}{\partial x} \Delta x\right) \Delta z + m_z \Delta x \Delta z \\ M = 0 = \tau \Delta x \Delta z + \frac{1}{2} \frac{\partial \tau}{\partial z} \Delta x \Delta x \Delta z - \tau \Delta z \Delta x - \frac{1}{2} \frac{\partial \tau}{\partial x} \Delta x \Delta x \Delta z \end{cases}$$



Έξ αυτών η τρίτη είναι ταυτότης $0=0$ (διότι ελήφθη ως γνωστόν ότι οι τ είναι ίσες ανά δύο $\tau_{xy} = \tau_{yx}$)

Άρα έχουμε δια τας τρεις άγνωστους σ_x, σ_z, τ τας δύο εξισώσεις:

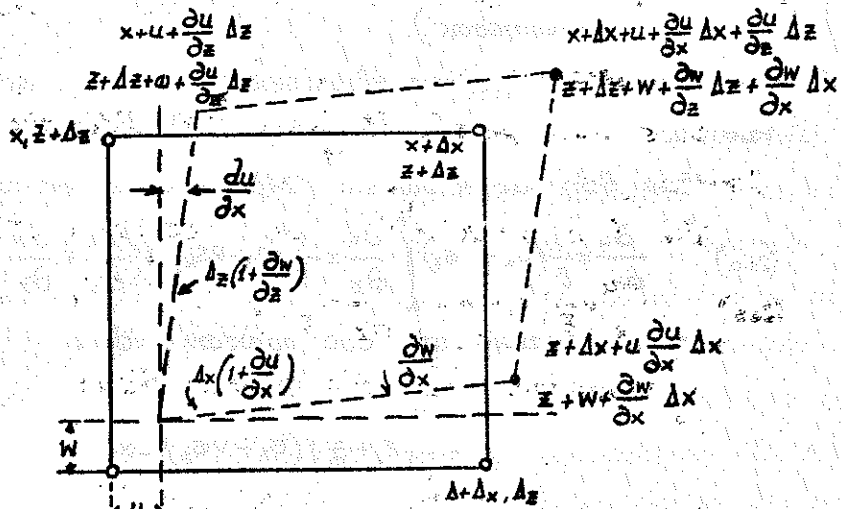
$$(22) \begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial z} = -m_x \\ \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau}{\partial x} = -m_z \end{cases}$$

Ζητείται τρίτη εξίσωση ήν θα μός δώσει η θεωρία της ελαστικότητας.

Έάν ϵ_x και ϵ_z αί άνηχημένοι παραμορφώσεις, ϵ_{xz} ή όλίσθησις και

$$\tau = \frac{1}{m} = \frac{1}{\text{ευν/ηθε Poisson} \cdot \epsilon \text{ έπιμ.}} \cong \frac{1}{6} \text{ (beton)}$$

$$(23) \left\{ \begin{aligned} \epsilon_x &= \frac{1}{E} (\sigma_x + \nu \sigma_z) & \epsilon_z &= \frac{1}{E} (\sigma_z - \nu \sigma_x) & \epsilon_{xz} &= \frac{2(1+\nu)}{E} \tau \\ \sigma_x &= E'(\epsilon_x + \nu \epsilon_z) & \sigma_z &= E'(\epsilon_z + \nu \epsilon_x) & \tau &= E' \left(\frac{1-\nu}{2} \right) \epsilon_{xz} \end{aligned} \right.$$



(Σx. 31)

ένθα :

$$E' = \frac{E}{1-\nu^2} = \sim 1,027 E$$

Έκ του σχήματος προκύπτουν αἱ ἐξισώσεις (ἐπιμήκυνσεις διαφορά θέσεων).

$$(24) \quad \epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} \quad \epsilon_z = \frac{\partial w}{\partial z} \quad \epsilon_{xz} = \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \quad \text{ἐξισώσεις μετακινήσεως + παραμορφώσεως.}$$

Ἐν συνδυασμῷ μὲ τὰς ἀνωτέρω (23) ἔχομεν:

$$(25) \quad \sigma_x = E' \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \nu \frac{\partial w}{\partial z} \right) \quad \sigma_z = E' \left(\frac{\partial w}{\partial z} + \nu \frac{\partial u}{\partial x} \right) \quad \tau = E' \left(\frac{1-\nu}{2} \right) \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)$$

Ἐκ τῶν τριῶν τούτων ἐξισώσεων (25) διὰ τὰς u καὶ w , ἔχομεν δι' ἀπαλειφῆς αὐτῶν μίαν τρίτην ἐξίσωσιν μεταξὺ τῶν σ_x, σ_z καὶ τ ἣτις ἀποτελεῖ τὴν αἰτούμενην τρίτην ἐξίσωσιν, εἰς τὰς ἐξισώσεις (22) πρὸς εὐρέσιν τῶν τάσεων.

Αἱ ἐξισώσεις (25) διὰ διπλοῦ διαφορισμοῦ αὐτῶν

και απλων μετασχηματισμων δίδουν την εξίσωση:

$$(26) \quad \frac{\partial^2}{\partial x^2}(\sigma_x + \sigma_z) + \frac{\partial^2}{\partial z^2}(\sigma_x + \sigma_z) = (1-\nu) \left(\frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial z^2} + 2 \frac{\partial^2 \tau}{\partial x \partial z} \right) \quad (\text{συνθη-}$$

και μετακινήσεως).

ήτιε μαζί με τας εξισώσεις (22) δίδει τας τρεις άγ-
νώστους.

Εάν ήσθ τας εξισώσεις (24) θέσασμεν εις τας (23) έχομεν:

$$(26\alpha) \quad \frac{\partial u}{\partial x} = \frac{1}{E}(\sigma_x - \nu \sigma_z) \left[\frac{\partial w}{\partial z} = \frac{1}{E}(\sigma_z - \nu \sigma_x) \right] \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) = \frac{2(1+\nu)}{E} \tau$$

Η ολοκλήρωσις τών δύο πρώτων δίδει:

$$u = \bar{u}(z) + \frac{1}{E} \int (\sigma_x - \nu \sigma_z) dx$$

(26β)

$$w = \bar{w}(x) + \frac{1}{E} \int (\sigma_z - \nu \sigma_x) dz$$

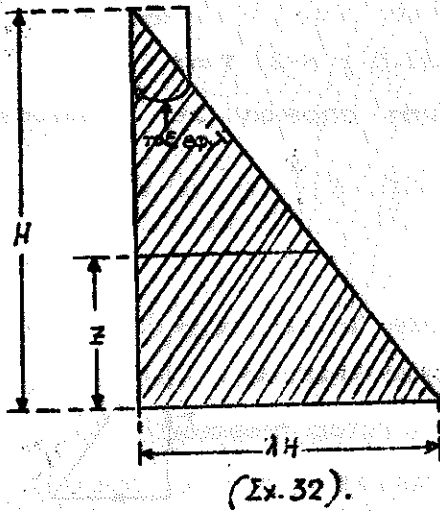
Και διά να επαληθευεται και η τρίτη εξίσωσις
εκ τών 26^α θα πρέπει να υπάρχει η σχέσις:

$$(26\gamma) \quad \frac{d\bar{u}}{dz} + \frac{d\bar{w}}{dx} = \frac{1}{E} \left[2(1+\nu) \tau \frac{\partial}{\partial z} \int (\sigma_x - \nu \sigma_z) dx + \frac{\partial}{\partial x} \int (\sigma_z - \nu \sigma_x) dz \right]$$

Το δεξιόν μέρος της (26γ) αναλύεται εις δύο έκφρά-
σεις τών $u(z)$ και $w(x)$, ήτοι:

$$\bar{u} = a + cz + \int U(z) dz \quad \text{και} \quad \bar{w} = b - cx + \int W(x) dx$$

3.5 Έντατική κατάσταση εις όρθά τριγωνικά φράγματα και με ύδροπρωτότητα (ΰδωρ εις πόρους).



Παραλειπομένης της άνω διατάξεως της όδου το άπόσπόμενον τμήμα είναι καθαρώς τριγωνικόν φράγμα, όπερ διηρέωησεν ο Λεύη. Είς τα άλλα φορτία, προσθέτομεν και την έντατικήν κατάστασην εκ των πιέσεων και τριβών του ΰδατος των πόρων. Ως είδομεν (σελις 50) αι έξισώσεις 20 δίδουν τας δύναμεις του ΰδατος των πόρων.

Εάν ταύτας εισαγάγωμεν εις τας έξισώσεις (22) και (26) (των σελ. 54, 56), θα λάβωμεν :

$$(27) \begin{cases} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial z} = \beta \frac{\partial p}{\partial x} & \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau}{\partial x} = \alpha \beta \frac{\partial p}{\partial z} + (1-\alpha) \beta \left(\frac{\partial p}{\partial z} + \gamma \right) + \gamma_b x \\ \frac{\partial^2 (\sigma_x + \sigma_z)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 (\sigma_x + \sigma_z)}{\partial z^2} = (1+\nu) \left(\frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial z^2} + 2 \frac{\partial^2 \tau}{\partial x \partial z} \right) \end{cases}$$

Οία κατακόρυφον τριγωνικόν φράγμα αι δύναμεις εκ του ΰδατος των πόρων δίδονται εκ των έξισώσεων (13).

$$p = \gamma \left(H - z - \frac{x}{\lambda} \right)$$

$$\frac{\partial p}{\partial x} = - \frac{\gamma}{\lambda}$$

$$\frac{\partial p}{\partial z} = - \gamma$$

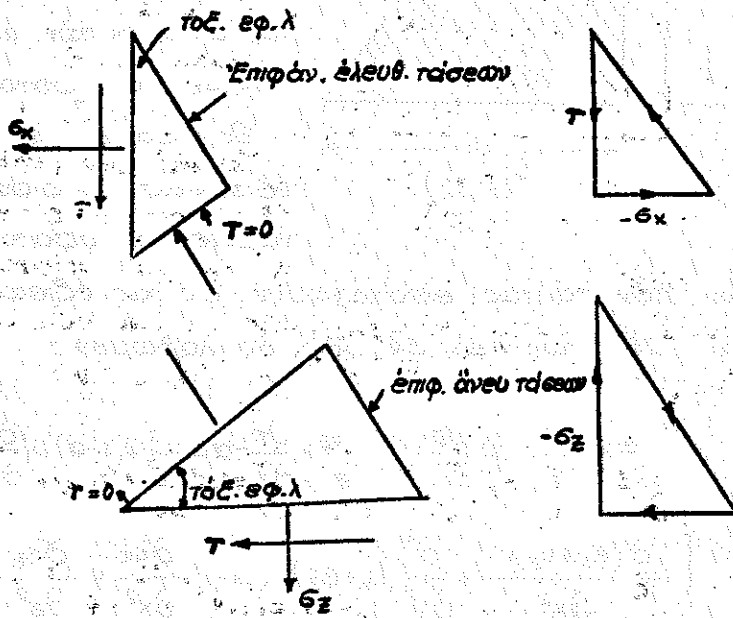
Διά την λύσιν της (27) ζητούμεν τας όριακας συνθήκας. Δοθέντος ότι εις την ύψραν πλευράν ο τοίχος επιχρίεται διά σιμέντου (πόροι β) η πίεσις έσται :

$$(πλευρά υδατος) \quad p = (1-\beta) \cdot \gamma (H-z)$$

και αι τάσεις :

$$(πλευρά υδατος) \quad \sigma_x^{(x=0)} = -(1-\beta) \gamma (H-z) \quad \tau = 0 \quad (28)$$

Εξ άλλου εις την κατάντη παρείαν δέν αναπτύσσονται



(Σχ. 33) Όριακai συνθήκαι εις πλευράν άέρος.

ται ούτε όρθai ούτε έπιφανειακai τάσεις. Αι έδώ ανήκουσαι έξισώσεις ίσορροπίας προκύπτουν εκ των έξισώσεων

(6) εάν θέσωμεν $\sigma_n = \tau_n = 0$ δια $\phi = \arcsin \frac{z}{\lambda}$. Εν τούτοις εκ των εν σελίδι 58 εκημάτων, λαμβάνομεν άμέσως:

$$\sigma_x = -\lambda \tau$$

$$\tau = -\lambda \sigma_z \quad (29) \quad \text{πλευρά κατόντη}$$

Έντεϋθεν η λύσις των εξισώσεων (27) έχει ως εξής:

$$\begin{aligned} \sigma_x &= -\frac{x\gamma}{\lambda} - (1-\beta)\gamma(H-z-\frac{x}{\lambda}) \\ \sigma_z &= -\frac{z\gamma}{\lambda} + \gamma(\beta + \frac{1}{\lambda^2} - \frac{\gamma b}{\gamma})(H-z-\frac{x}{\lambda}) \quad \tau = \frac{x\gamma}{\lambda^2} \end{aligned} \quad (30)$$

ως αποδεικνύεται εύκόλως εάν θέσωμεν τας τιμάς ταύτας εις τας εξισώσεις (27).

Αι εξισώσεις αύται (30) αποτελοϋν γενίκευσις του κα νόμου του τραπεζίου.

Δια τον υπολογισμόν των φραγμάτων βαρύτητος, ζητούμεν νυν την τιμήν εκείνην του λ δια την οποίαν η τάσις θλίψεως εις τον πόδα προς τα άνω κατόντη θα είναι μηδέν. Τοϋτο θα προκύψη αν εις τας εξισώσεις (30) θέσωμεν $\sigma_z = 0$ δια $x=0$. Δοθέντος ότι $(H-z)$ είναι πάντα θετικόν, ο μηδενισμός της σ_z προκύπτει αν:

$$\alpha\beta + \frac{1}{\lambda^2} - \frac{\gamma b}{\gamma} = 0$$

$$\text{ήτοι δια } \lambda = \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma b - \alpha\beta\gamma}} \quad (31)$$

Εάν ηδη καλέσωμεν γ'_b το βάρος του φραγματος ελαττόμενον κατά την κατακόρυφον συνισταμένη της πίεσεως του ύδατος των πόρων (άνωσις) ήτοι:

$$\gamma'_b = \gamma_b - \alpha\beta\gamma$$

τότε έκ των (30) και (31) λαμβάνομεν :

$$\sigma_z = -\frac{\chi \gamma}{\lambda^3} - \left(\gamma b - \frac{\gamma}{\lambda^2} \right) (H-z - \frac{x}{\lambda}) \quad \lambda = \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma b}} = \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma b - a \beta \gamma}}$$

Αι κύριαι τάσεις μᾶς ἐνδιαφέρουν εἰς τὴν πρὸς τὰ κατόντη πλευράν.

Ἐκεῖ διὰ $x = \lambda(H-z)$ ἔχομεν ὀρθὰς τάσεις :

$$(33) \quad \left\{ \begin{array}{l} \sigma_x = -\gamma(H-z) \\ \sigma_z = -\frac{\gamma(H-z)}{\lambda^2} \end{array} \right. \quad \tau = \gamma \left(\frac{H-z}{\lambda} \right)$$

ἦτοι ἀνεξάρτητοι τῆς πίεσεως τῶν πόρων τοῦ ὕδατος, ὅπερ ἀνεμένετο, ἐφ' ὅσον εἰς τὸ ὑπ' ὄψιν σημεῖον, τὸ $\rho w / \gamma$ γίνεται μηδέν.

Αἱ κύριαι τάσεις τᾶρα, θαί εἶναι (συμφάνως πρὸς τὰς ἐξισώσεις φ , σελ. 47):

$$\sigma_{1,2} = -\frac{\gamma(H-z)}{2} \left[\left(1 \pm \frac{1}{\lambda^2} \right) \pm \sqrt{\left(1 - \frac{1}{\lambda^2} \right)^2 + \frac{4}{\lambda^2}} \right] = -\frac{\gamma(H-z)}{2} \left[\left(1 \pm \frac{1}{\lambda^2} \right) \pm \left(1 \pm \frac{1}{\lambda^2} \right) \right]$$

ἦτοι

$$(34) \quad \left\{ \begin{array}{l} \sigma_1 = -\gamma(H-z) \left(1 + \frac{1}{\lambda^2} \right) \\ \sigma_2 = 0 \\ \tau_{1,2} = \pm \frac{1}{2} \sigma_1 \end{array} \right. \quad \left[\begin{array}{l} \text{κατόντη} \\ \text{πλευρά} \end{array} \right]$$

ἦτοι καὶ αἱ κύριαι τάσεις εἶναι ἀνεξάρτητοι τῆς πίεσεως τοῦ ὕδατος τῶν πόρων.

Αἱ μέγιστα τάσεις λαμβάνουν χώραν διὰ $z = 0$ εἰς τὴν κατόντη πλευράν. Αὗται εἶναι :

$$\sigma_x^{\max} = -\gamma H \quad \sigma_z^{\max} = -\frac{\gamma H}{\lambda^2} \quad \tau^{\max} = \frac{\gamma H}{\lambda}$$

$$\sigma_1^{\max} = -\gamma H \left(1 + \frac{1}{\lambda^2} \right) \quad \tau_2^{\max} = \frac{1}{2} \sigma_1^{\max}$$

διὰ $\gamma = 10$ $H = 100 \mu$. $\lambda = 0,707$ ἔχομεν

$$\epsilon_x^{max} = -10 \text{ kg/cm}^2$$

$$-\gamma H = 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 100^m = 100\,000 \text{ kg/m}^2 = 10 \text{ kg/cm}^2$$

3.6. Τροχιαὶ τάσεων εἰς ὀρθογών. τρίγωνον.

Ὡς εἶδομεν ἄνωτέρω (σελ. 10) ἡ διαφορική ἐξίσωσις τῶν τροχιαῶν τῶν κυρίων τάσεων εἶναι :

$$1 - \left(\frac{dx}{dz}\right)^2 + 2 \frac{dx}{dz} \frac{\epsilon_x - \epsilon_z}{2\tau} = 0 \tag{10}$$

συμφώνως πρὸς τὰς ἐξισώσεις (30)

$$(35) \quad \frac{\epsilon_x - \epsilon_z}{2\tau} = \frac{A \cdot z - B(H-z)}{z}$$

ἐνθα διὰ κατακόρυφον τοιοῦτον :

$$(35') \quad A = \frac{1}{\lambda} - \frac{\lambda}{2} \left(\beta + \frac{\delta b}{\gamma} \right)$$

$$B = \frac{1+\lambda^2}{2} - \frac{\lambda^2}{2} \left(\beta + \frac{\delta b}{\gamma} \right)$$

ἐνθα : $\left(\beta + \frac{\delta b}{\gamma} \right)$ εἰς τὴν ἐλάχιστην διαφέρει ἀπὸ γ'_b

ἐξ οὗ συμπεραίνομεν ὅτι ἡ ἐπιρροή τοῦ ὕδατος τῶν πόρων ἐλάχιστην σημασίαν ἔχει ἐπὶ τῶν τροχιαῶν τῶν τάσεων.

Ἐάν θέσωμεν $\frac{dx}{dz} = p$ ὡς παράμετρον καὶ λάβωμεν ὑπ' ὄψιν τὴν ἐξίσωσιν (35) τότε ἡ διαφορική ἐξίσωσις γίνεταί :

$$x(1-p^2) + 2p(Ax - B(H-z)) = 0 \tag{36}$$

$$\eta \quad x = \frac{2Bp(H-z)}{1-p^2 + 2Ap} \tag{37}$$

και διαφορίζοντες την (36) ως προς (z) :

$$p(1-\beta) + 2p(Ap+B) - 2Bp'(H-z) + 2p'x(A-p) = 0 \quad (38)$$

και αντικαθιστώντες το x εκ της (37)

$$p(p^2 - 2Ap - 1 - 2B)(p^2 - 2Ap - 1) = 2Bp'(H-z)(p^2 + 1) \quad (39)$$

ήδη διαχωρίζομεν τας μεταβλητάς, προς ολοκλήρωσιν, έχομεν :

$$\frac{1}{2B(H-z)} = \frac{p'(p^2+1)}{p(p^2-2Ap-1)(p^2-2Ap-1-2B)} \quad (40)$$

και ολοκληροῦντες ως προς (H-z) :

$$\int \frac{d(H-z)}{2B(H-z)} = \int \frac{-(p^2+1) dp}{p(p^2-2Ap-1)(p^2-2Ap-1-2B)} \quad (41)$$

Εάν θέσωμεν μ μίαν σταθεράν ολοκλήρωσεως και

$$\left. \begin{aligned} \mu &= \frac{2}{\lambda} - \left(\beta - 1 - \frac{\delta b}{\gamma} \right) \lambda \\ \frac{\mu^2 + 1}{\mu(\lambda + \mu)} + \frac{\lambda^2 + 1}{\lambda(\lambda + \mu)} &= 1 + \frac{1}{\lambda\mu} \end{aligned} \right\} \quad (42)$$

και

$$\frac{1}{p} = \frac{dz}{dx} = \epsilon\phi \cdot \phi$$

η (41) ολοκληροῦται ως εξής :

Τό ἀριστερόν τμήμα ὀδηγεῖ εἰς λογαριθμόν. Ὁμοίως τό δεξιόν εἰάν εἰς διαχωρίσωμεν τὰ μερικά διαφορικά. Εάν λάβωμεν ὑπ' ὄψιν και τας τιμάς A και B εκ της (35) έχομεν :

$$|H-z| = k \frac{p^2 - p(\mu - \lambda) + 1}{\left(1 - \frac{1}{\lambda\mu}\right) \left(\frac{\mu^2 + 1}{\mu(\lambda + \mu)}\right) \left(\frac{\lambda^2 + 1}{\lambda(\lambda + \mu)}\right)} \quad (43)$$

[p] [p-μ] [p+λ]

$$x = k \frac{[-(\lambda\mu - 1)] \left[\rho \right]^{\frac{1}{\lambda\mu}}}{\left[\rho - \mu \right]^{\frac{\mu^2 + 1}{\mu(\lambda + \mu)}} \cdot \left[\rho + \lambda \right]^{\frac{\lambda^2 + 1}{\lambda(\lambda + \mu)}}} \quad (43)$$

αίτινες αναεξηματίζονται εάν λάβωμεν και τας (42) ως εξής:

$$\left\{ \begin{array}{l} H - z = k \frac{i - (\mu - \lambda) \epsilon\phi\phi - \epsilon\phi^2\phi}{(1 - \mu \epsilon\phi\phi)^{\frac{\mu^2 + 1}{\mu(\lambda + \mu)}} \left[1 + \lambda \epsilon\phi\phi \right]^{\frac{\lambda^2 + 1}{\lambda(\lambda + \mu)}}} \\ \text{και} \\ x = k \frac{[-(\lambda\mu - 1) \epsilon\phi\phi]}{\left[1 - \mu \epsilon\phi\phi \right]^{\frac{\mu^2 + 1}{\mu(\lambda + \mu)}} \left[1 + \lambda \epsilon\phi\phi \right]^{\frac{\lambda^2 + 1}{\lambda(\lambda + \mu)}}} \end{array} \right. \quad (44)$$

Αι εξισώσεις αὐται μᾶς δίδουν ἀπλήν ἐκφρασιν τῶν τροχιῶν τῶν τῶσεων, συναρτήσῃ τῆς παραμέτρου (φ).

(Διὰ καθὲ γωνίαν φ εὐρίσκομεν τὰς συντεταγμένας H-z καὶ x τῆς καμπύλης τῶν τροχιῶν τῶν κυρίων τῶσεων.)

Γενικὴ διερεῦνησις καὶ παράδειγμα..

Αἱ ὡς ἄνω ἐξισώσεις δίδουν 6 καμπυλοδιαγράμματα, ἑξ ἄν ἐπὶ τοῦ προκειμένου ἐνδιαφέρουν τὰ ἐμπίπτοντα ἐντὸς τῆς τριγωνικῆς διατομῆς.

Οὕτω παρατηροῦμεν ἐν πρώτοις ὅτι ἓν τῶν δικτύων τῶν τροχῶν τέμνει καθέτως τὴν κατακόρυφον πλευρὰν τῆς πρὸς τὸ ὕψος πλευρᾶς τοῦ φράγματος καὶ τείνει ἀευμπτῶτως πρὸς τὴν πρὸς τὰ κατάντη πλευρὰν τοῦ φράγματος.

Έξ ἄλλου ἕτερον τῶν δίκτυων τέμνει τὸ πρῶτον καθέτως με ἀνταλλαγὴν τῶν συνθηκῶν εἰς τὰς ἀνάντη καὶ κατάντη πλευραῖς τοῦ φραγματος.

Οὕτω βλέπομεν ὅτι διὰ :

$$\begin{array}{llll} \epsilon\phi\phi = 0 & x = 0 & H-Z = k & z = H-k \\ \epsilon\phi\phi = \infty & x = 0 & H-Z = \infty & z = \infty \\ \epsilon\phi\phi = -\frac{1}{\lambda} & x = \infty & H-Z = \infty & z = \infty \\ \epsilon\phi\phi = \lambda & x = \lambda(H-Z) \leftarrow \text{ἐξίσωσις τῆς κατάντης πλευρᾶς.} \end{array}$$

Ἐστω ἀριθμητικὸν παράδειγμα :

$$\lambda = 0,73 \quad \gamma_b = 2,30 \quad \beta = 0,60 \quad \alpha\beta = 0,50 \quad \gamma_b' = 1,80$$

τότε ἔχομεν :

$$\mu = \frac{2}{0,73} - (0,60 - 1 + 1,80) \cdot 0,73 = 1,72$$

$$\frac{1}{\lambda\mu} = 0,797 \quad \lambda\mu = 1,255$$

$$\mu - \lambda = 0,99 \quad \frac{\mu^2 + 1}{\mu(\mu + \lambda)} = 0,940 \quad \frac{\lambda^2 + 1}{\lambda(\lambda + \mu)} = 0,857$$

ὁπότε αἱ ἐξισώσεις (44) γίνονται :

$$\left. \begin{array}{l} |H-Z| = k \frac{1 - 0,99 \epsilon\phi\phi + \epsilon\phi^2\phi}{(1 - 1,72 \epsilon\phi\phi) \cdot (1 + 0,73 \epsilon\phi\phi)} \\ |x| = k \frac{0,940}{1 - 1,72 \epsilon\phi\phi} \cdot \frac{0,857}{1 + 0,73 \epsilon\phi\phi} \end{array} \right\} \quad (45)$$

Διὰ τὸ δίκτυον τῶν καμπύλων αἰτίνες ἐκπαρεύονται ἐκ τῆς κατακορύφου παρειαῖς τῶν ἀνάντη ἢ εφφ εἶναι πάντοτε ἀρνητικὴ καὶ κυμαίνεται ἀπὸ 0 ἕως $-1,37$ ($\lambda = 0,73$).

Δεχόμενοι διαφόρους τιμὰς αὐτῆς ἀνὰ 0,30 ἔχομεν :

εφ.φ	1.172 εφ.φ	log	0.940 log	(1.172 εφ.φ) ^{0.940}
-0.00	1	0	0.0	1.0
-0.30	1.52	0.1818	0.171	1.48
-0.50	2.03	0.3075	0.290	1.95
-0.90	2.55	0.4065	0.382	2.41
-1.20	3.06	0.4857	0.458	2.86
-1.37	3.36	0.5263	0.495	3.15

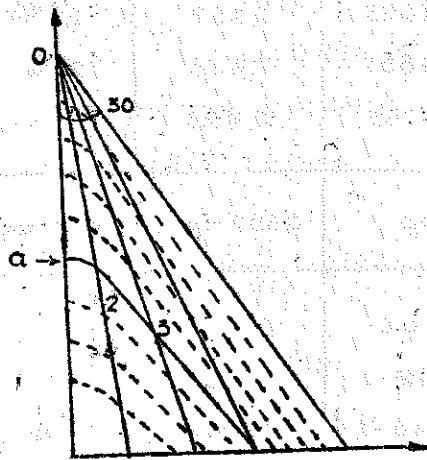
εφ.φ	1+0.73 εφ.φ	log	0.857 log	(1+0.73 εφ.φ) ^{0.857}
± 0.0	1.00	0.000	0.00	1.0
-0.30	0.78	0.892-1	0.908-1	0.81
-0.60	0.56	0.748-1	0.784-1	0.61
-0.90	0.34	0.531-1	0.598-1	0.397
-1.20	0.124	0.043-1	0.223-1	0.168
-1.37	0.00	—	—	0.000

ήτοι, τελικώς λαμβάνομεν :

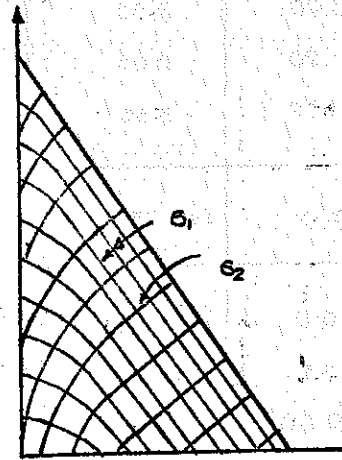
εφ.φ	0.0	0.30	0.60	0.90	1.20	1.37
(H-z):κ	1.00	1.01	1.04	1.13	1.56	∞
z/κ	0.0	0.064	0.129	0.24	0.64	∞

όπου διά κάθε τιμήν τού κ ἀντιστοιχεί μία καμπύλη τού δικτύου. Οὕτω ἐάν θέσωμεν $\kappa = 1/2 H'$ λαμβάνομεν τήν καμπύλην α (βλέπε σκ. 34)

Ἡδὴ παρατηροῦμεν ὅτι διὰ διαφόρους τιμὰς τοῦ κ ὁ λόγος $\frac{(H-z)\gamma\kappa}{x:\kappa}$ εἶναι ἀνεξάρτητος τοῦ κ καὶ εἶναι συνάρτησις τοῦ ϕ μόνον, ἤτοι ὁ γεωμετρικός τόπος τῶν σημείων μέτῃν αὐτὴν τιμὴν τοῦ $(H-z):x$ εἶναι εὐθεῖα συντρέχουσα εἰς τὴν κορυφὴν O τοῦ φράγματος.



(Σκ. 54)



(Σκ. 55)

Ἐάν τῶρα φέρωμεν διαφόρους ἀκτίνας ἐκ τοῦ O , καὶ τὰ προκύπτοντα τμήματα $(0,1-0,2-0,3-0,4)$ διαιρέσωμεν εἰς (η) ἴσα μέρη καὶ συνεχώσωμεν αὐτὰ λαμβάνομεν καὶ τὰς ἄλλας καμπύλας (διότι ἐκάστη νέα καμπύλη θὰ ἀντιστοιχῇ εἰς λόγους κ ἴσους πρὸς $\kappa/\eta, 2\kappa/\eta, 3\kappa/\eta$ κ.ο.κ., οὕτω χαράσσονται αἱ καμπύλαι σ_1 .

Αἱ σ_2 χαράσσονται καθέτως καὶ εἰς ἴσους ἀποστάσεις πρὸς αὐτὰς (βλ. σκ. 55).

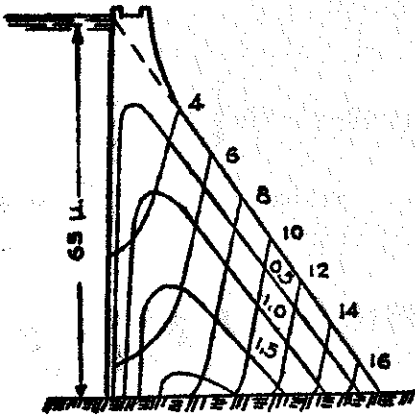
Βλέπομεν ἐκ τοῦ σχήματος ὅτι αἱ προκίαι μεγίστων τάσεων σ_1 παραλαμβάνουν τὰς πιέσεις τοῦ ὕδατος καὶ δι' ἀποκλίσεως λόφου τοῦ ἰδίου βάρους μεταφέρουν αὐτὰς

εις την θεμελίωσιν.

Καθέτως αὶ ἐλάχισται τάσεις σ_2 .

Γραμμαὶ ἴσων κυρίων τάσεων.

Πλὴν τῶν τροχιῶν τῶν κυρίων τάσεων μᾶς ἐνδιαφε-
ρουσιν εἰσέτι αὶ καμπύλαι ἴσων κυρίων τάσεων.



Αὗται εἶναι διὰ σ_1 παράλληλοι πρὸς τὰς δύο πλευράς τοῦ φράγματος, αὐξάνουσαι μετὰ τοῦ βάθους.

Αἱ σ_2 εἶναι κάθετοι πρὸς αὐτάς.

(Σχ. 56).

3.7. Ἡ ἐλαστικὴ παραμόρφωσις εἰς τριγωνικὰ δόξωμα φράγματα.

Αἱ βασικαὶ σχέσεις διὰ τὰς ἐλαστικὰς παραμορφώσεις ἐ-
δόθησαν ἤδη εἰς τὰς ἐξισώσεις 26β καὶ 26γ (βλ. σελ. 56).

Ἐφαρμοζόμεναι αὗται εἰς τριγωνικὴν διατομὴν φράγματος
μὲ κατακόρυφον ποιεῖάν (βλ. ἐξισώσεις 30 καὶ 32, σελ. 59-60)
δίδουν τὴν γενικὴν λύσιν:

$$(16) \quad \begin{cases} u = \bar{u}(z) - \frac{x}{E} \left[\frac{xy}{2\lambda} \left(1 - \frac{y}{\lambda^2}\right) + \left(H - z - \frac{x}{2\lambda}\right) (1 - \beta) \gamma + \nu \left(\frac{y}{\lambda^2} - \gamma_b\right) \right] \\ w = \bar{w}(x) + \frac{z}{E} \left[\frac{xy}{\lambda} \left(\nu - \frac{1}{\lambda^2}\right) + \left(H - \frac{z}{2} - \frac{x}{\lambda^2}\right) \right] \left[(1 - \beta) \gamma + \frac{y}{\lambda^2} - \gamma_b \right] \end{cases}$$

$$\frac{du}{dz} + \frac{dw}{dx} = -\frac{x}{E} \left[\left(1 - \beta - \frac{2}{\lambda^2}\right) \gamma - \nu \left(\frac{y}{\lambda^2} + \gamma_b\right) \right] - \frac{z}{E\lambda} \left[\beta \gamma + \nu \left(\frac{2y}{\lambda^2} - \gamma_b\right) \right]$$

Ἐξ ὧν ἡ τελευταία ἐξίσωσις διασπᾶται ὡς ἀκολούθως:

$$\frac{d\bar{u}}{dz} = -\frac{z}{E\lambda} \left[\beta\gamma\nu - \left(\frac{2\gamma}{\lambda^2} - \gamma'_b \right) \right]$$

$$\frac{d\bar{w}}{dx} = -\frac{x}{E} \left[\left(1 - \beta - \frac{2}{\lambda^2} \right) \gamma - \nu \left(\frac{\gamma}{\lambda^2} + \gamma'_b \right) \right]$$

και η ολοκλήρωσις αὐτῆς δίδει :

$$\bar{u} = \alpha + cz - \frac{z^2}{2E\lambda} \left(\beta\gamma\nu - \frac{2\gamma}{\lambda^2} + \gamma'_b \right)$$

$$\bar{w} = b - cx - \frac{x^2}{2E} \left[\left(1 - \beta \right) \gamma - \frac{\gamma}{\lambda^2} (2 + \nu) - \nu \gamma'_b \right]$$

Ἐάν ἤδη θέσωμεν τὰς ἐξισώσεις ταύτας εἰς τὰς ἀρχικὰς ἀξ ὄνω ἐξισώσεις λαμβάνομεν :

$$(47) \left\{ \begin{aligned} \bar{u} &= \alpha + cz + \frac{x}{E} \left[\frac{x\gamma}{\lambda} \left(1 - \frac{\nu}{\lambda^2} \right) + \left(H - z - \frac{x}{2\lambda} \right) \left[\left(1 - \beta \right) \gamma + \nu \left(\frac{\gamma}{\lambda^2} - \gamma'_b \right) \right] - \frac{z^2}{2E\lambda} \left(\beta\gamma\nu - \frac{2\gamma}{\lambda^2} + \gamma'_b \right) \right] \\ \bar{w} &= b - cx + \frac{z}{E} \left[\frac{x\gamma}{\lambda} \left(\nu - \frac{1}{\lambda^2} \right) + \left(H - \frac{z}{2} - \frac{x}{\lambda} \right) \left[\left(1 - \beta \right) \gamma + \frac{\gamma}{\lambda^2} - \gamma'_b \right] \right] - \frac{x^2}{2E} \left[\left(1 - \beta \right) \gamma - \frac{\gamma}{\lambda^2} (2 + \nu) - \nu \gamma'_b \right] \end{aligned} \right\}$$

Αἱ ἐξισώσεις αὗται τῆς ἐλαστικότητος δίδουν τὰς μετακινήσεις διὰ τῶν συντεταγμένων αὐτῶν u καὶ w εἰς οἰονδήποτε σημείον τοῦ σώματος. Διὰ τὰς τρεῖς ἐλευθερίας κινήσεως ἐν τῷ καιρῷ δίδονται αἱ τρεῖς ἀθάλητοι σταθεραὶ a, b, c , αἵτινες δύνανται νὰ προσδιορισθῶσιν εὐθὺς ἀς δοθῶσιν ὀριζόμεναι συνθήκαι μετακινήσεως.

Ὅταν διὰ τὴν περίπτωσιν κενῆς λίμνης, ὅπου $\gamma = 0$ καὶ γ'_b ἔχομεν :

$$\bar{u}' = \alpha' + cz + \frac{x}{E} \left(H - z - \frac{x}{2\lambda} \right) \nu \gamma'_b - \frac{z^2}{2E} \gamma'_b$$

$$\bar{w}' = b' + c'x - \frac{z}{E} \left(H - \frac{z}{2} - \frac{x}{\lambda} \right) \gamma'_b + \frac{x^2 \nu \gamma'_b}{2E}$$

κενή λίμνη (48).

Εάν θέσωμεν τώρα την πλευράν πυθμένος ως ευθείαν και θεωρήσωμεν τό προς τὰ κατόντη άκρον αύτης σταθερόν ήτοι εάν θέσωμεν περιορισμόν εις τας συνθήκας ελευθερίας κινήσεως ως κάτωθι :

$$\left. \begin{array}{l} u = 0 \\ w = 0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{δία } x = \lambda H \\ \text{και } z = 0 \end{array} \quad \text{και } w = 0 \left\{ \begin{array}{l} \text{δία } x = 0 \\ \text{και } z = 0 \end{array} \right.$$

τότε προκύπτουν αι σταθεραι :

$$\left. \begin{array}{l} a = \frac{\lambda H^2}{2E} \left[\left(3 - \beta - \frac{r}{\lambda^2} \right) \gamma - r \gamma'_b \right] \\ c = - \frac{\lambda H}{2E} \left[(1 - \beta) \gamma - \frac{\delta}{\lambda^2} (2 + r) - r \gamma'_b \right] \end{array} \right\} b = 0 \quad (49) \text{ πλήρης λίμνη.}$$

Δία την περίπτωσιν κενής λίμνης θα έχωμεν αν θέσωμεν παάλιν $\gamma = 0, \gamma'_b = \gamma'_b$.

$$a' = \frac{\lambda H^2 r \gamma'_b}{2E} \quad b = 0 \quad c' = + \frac{\lambda H r \gamma'_b}{2E} \quad (50) \text{ κενή λίμνη.}$$

Ήδη εξετάζομεν τας μετακινήσεις κατά μήκος των δύο καθετών πλευρών του φράγματος:

α / .. Δία $x = 0$ (άρθη κατακόρυφος πλευρά) :

$$\left. \begin{array}{l} u = a + cz - \frac{z^2}{2E\lambda} \left(\beta \gamma r - \frac{2\delta}{\lambda^2} + \delta'_b \right) \\ w = \frac{z}{E} \left(H - \frac{1}{2} z \right) \left[(1 - \beta) \gamma r + \frac{\delta}{\lambda^2} - \gamma'_b \right] \end{array} \right\} (51)$$

$$\left. \begin{array}{l} u = a' + c'z - \frac{z^2 \gamma'_b}{2E\lambda} \\ w = - \frac{z \gamma'_b}{E} \left(H - \frac{1}{2} z \right) \end{array} \right\} (52) \text{ κενή λίμνη.}$$

β / \dots Διά $z=0$ (όριζοντία πλευρά πυθμένος).

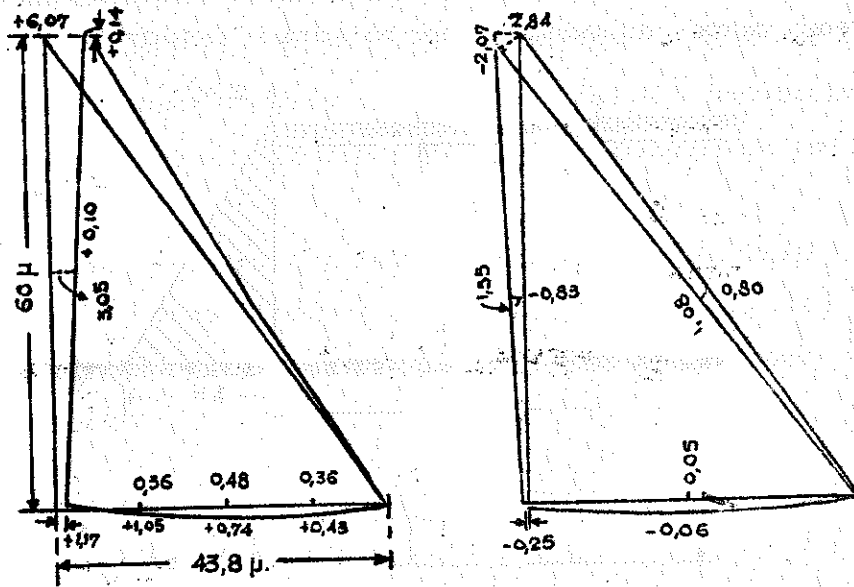
$$\left\{ \begin{aligned} u &= \alpha - \frac{x}{E} \left[\frac{xy}{\lambda} \left(1 - \frac{r}{\lambda^2}\right) + \left(H - \frac{x}{2\lambda}\right) \left[(1-\beta)\gamma + r \left(\frac{\gamma_b}{\lambda^2} - \gamma'_b\right) \right] \right] \text{ πλήρης λίμνη.} \\ u &= \frac{x(\lambda H - x)}{2E} \left[(1-\beta)\gamma - \frac{\gamma}{\lambda^2} (2+r) - r\gamma_b \right] \text{ πλήρης λίμνη.} \\ u' &= \alpha' + \frac{x}{E} \left(H - \frac{x}{2\lambda}\right) r\gamma_b \\ w' &= - \frac{x(\lambda H - x)}{2E} \nu \cdot \gamma_b \end{aligned} \right\} \text{ κενή λίμνη.}$$

Παράδειγμα..

Διά $H = 60,0 \mu$, $\gamma_b = 2,3 \text{ t/m}^3$, $\lambda = 0,73$, $\beta = 0,60$, $\alpha\beta = 0,50$
 $\gamma'_b = 1,8 \text{ t/m}^3$, $r = 1/6$
 $E = 2000000 \text{ t/m}^2$. Έχομεν :

$x=0$	$\begin{aligned} u &= 1,17 + 0,0435 z + 0,000637 z^3 \\ w &= 0,0045 z - 0,0000375 z^2 \end{aligned}$	πλήρης λίμνη
	$\begin{aligned} u' &= -0,252 + 0,0042 z - 0,00079 z^2 \\ w' &= -0,069 z + 0,000575 z^2 \end{aligned}$	κενή λίμνη
$z=0$	$\begin{aligned} u &= 1,17 - 0,0123 x - 0,000323 x^2 \\ w &= -0,0435 x + 0,00099 x^2 \end{aligned}$	πλήρης λίμνη.
	$\begin{aligned} u' &= -0,252 + 0,0115 x - 0,000132 x^2 \\ w' &= -0,0042 x + 0,000096 x^2 \end{aligned}$	κενή λίμνη.

Ένθα : x, z εις μέτρα
 u, w, u', w' εις χιλιοστά



(Σχ. 37)

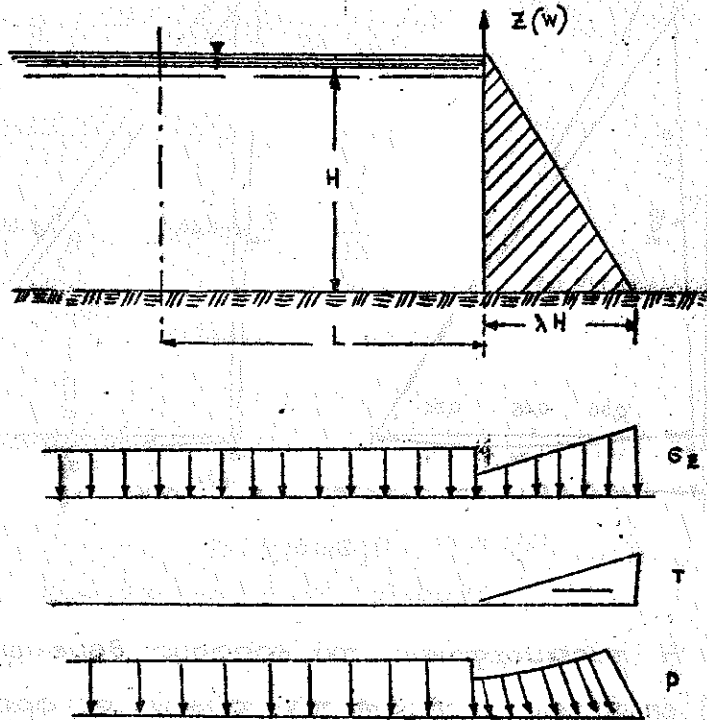
3.8. Ἡ παραμόρφωσις τοῦ ἐδάφους θεμελιώσεως καὶ ἡ ἐπίδρασις αὐτῆς ἐπὶ τῶν τάσεων τοῦ φράγματος.

I. Ἡ παραμόρφωσις τοῦ ἐδάφους.

Ἡ ἀνωτέρω διερεύνησις τῶν τάσεων τῶν φραγμάτων ἐγένετο μετὰ τὴν προϋπόθεσιν ὅτι τὰ φράγματα ἀποτελοῦν ἐλαστικὸν φορέα φορτιζόμενον μετὰ τὰ δοθέντα ἐξωτερικὰ φορτία (βάρος, πίεσις ὕδατος ἐκ τῶν πλαγίων, ἀνωσις κ.τ.λ.).

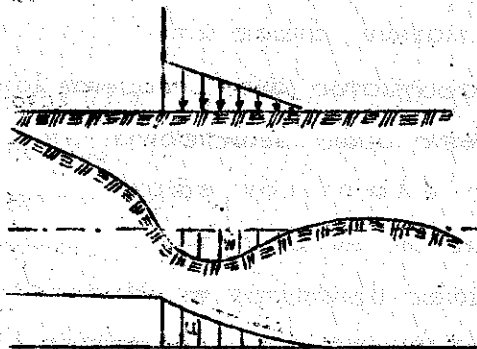
Αἱ ἐπὶ τῆς βάσεως τοῦ φράγματος ἀναπτυσσόμεναι λόγω τῶν ἐξωτερικῶν φορτίων τάσεις ὁμῶς μεταδίδονται ἐπὶ τοῦ ἐδάφους, ὅπερ εἶναι ὁμοίως ἐλαστικὸν σῶμα καὶ ὑπέκειται λόγω τῶν φορτίων αὐτῶν εἰς ἐλαστικὰς παραμορφώσεις. Παραμορφώσεις ὁμοίως ὑφίσταται τὸ ἐδαφος, ὅταν ἡ λίμνη εἶναι πλήρης, ἐκ τῶν πιέσεων τοῦ ὕδατος τῆς λίμνης ἐπὶ τοῦ ἐδάφους.

Οὕτω ἔχομεν παραμορφώσεις τοῦ ἐδάφους ἐκ τῆς φορτίσεως αὐτοῦ, συμφάντως πρὸς τὰ κάτωθι εἰρήματα..



(Σχ. 38)

Ἐάν καλέσωμεν τὴν λοξὴν ὑπὸ γωνίαν $\alpha = \alpha(\xi)$ κάτωθι τοῦ φράγματος φορτίσιν τοῦ ἐδάφους $p = p(\xi)$ καὶ λάβωμεν



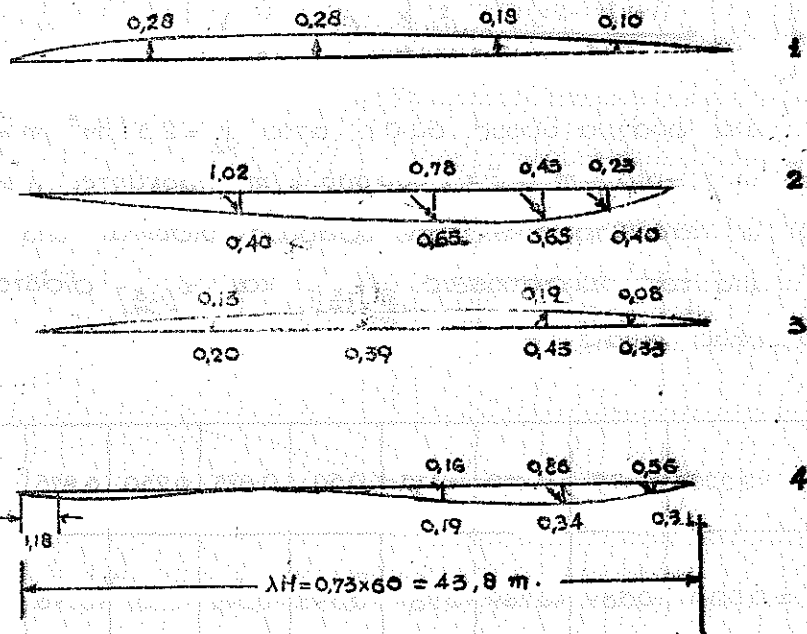
(Σχ. 39)

πάλιν τὰς τρεῖς ἐξισώσεις ἐλαστικότητος (22 καὶ 26, ἐνθα εἰς 22 δὲν εἰσέρχονται αἱ μᾶζαι, ἤτοι $\pi_x = \pi_z = 0$) καταλήγομεν εἰς τὸν ὑπολογισμὸν τῶν παραμορφώσεων (u, w) δι' ἄρκετὰ πολυλόκων τύπων, δι' ἑκάστην ἐκ

τῶν διαφόρων φορτίσεων.

Ἡ φόρτισις ἐκ τῆς πίεσεως τῆς λίμνης προκαλεῖ παραμορφώσεις πρὸς τὰ ἄνω τοῦ ἐδάφους (εἰς. 40) ἀναιρούσα ἐν μέρει τὰς παραμορφώσεις ἐκ τῶν κατακορύφων καὶ πλαγίων πιέσεων.

Ἐπιθεμένου τριγωνικοῦ φράγματος με ἀκριβῆ ὑπολογισμόν αὐτοῦ (τάσεις ἐφελκυσμοῦ εἰς πτέρναν = 0) λαμβάνομεν τὰς ἐν τῷ κάτωθι εἰρηματι (εἰς. 40) γραμμὰς παραμορφώσεως.



Μετακινήσεις (εἰς χιλιοστά.)

1. Ἐκ τῆς πίεσεως τῆς λίμνης
2. Ἐκ τῶν κατακορύφων πιέσεων.
3. Ἐκ ὀριζοντίων πιέσεων
4. Συνολικαί (ἐπαλληλία).

(Σχ. 40).

Αι συντεταγμένοι δίδονται δια πληρη λιμνην υπο των τυ-

πων:

$$\left\{ \begin{aligned}
 u &= \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{2E} \lambda \cdot H^2 \left[m \left(1 - \frac{x}{\lambda y}\right)^2 + \gamma_b \left(1 - \frac{x^2}{\lambda^2 H^2}\right) \right] - \\
 &\quad - \frac{1-\gamma^2}{\eta E} \gamma H^2 f_{[1-x/\lambda H]} \\
 w &= \frac{1-\nu^2}{0,5 \pi E} \gamma H x \left[\pi \left| \frac{x}{\lambda H} \right| + \frac{1-\nu^2}{\pi E} \lambda \cdot H^2 \left[m \cdot f_{[x/\lambda H]} + \gamma_b' \cdot f_{[1-x/\lambda H]} \right] \right] + \\
 &\quad + \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{2E} \gamma H^2 \frac{x}{\lambda H} \left(1 - \frac{x}{\lambda H}\right)
 \end{aligned} \right. \quad (39)$$

Δια φράγμα ύψους 60,0 μ. όπου $\gamma_b = 2,3 \text{ t/m}^3$ $m = 0,42$
 $\nu = 1/6$ $\gamma = 1,0 \text{ t/m}^3$ $E = 2.000.000 \text{ t/m}^2$ προκύπτει $\lambda = 0,73$
 και αι παραμορφώσεις του εδάφους δίδονται υπό του εκ.40.

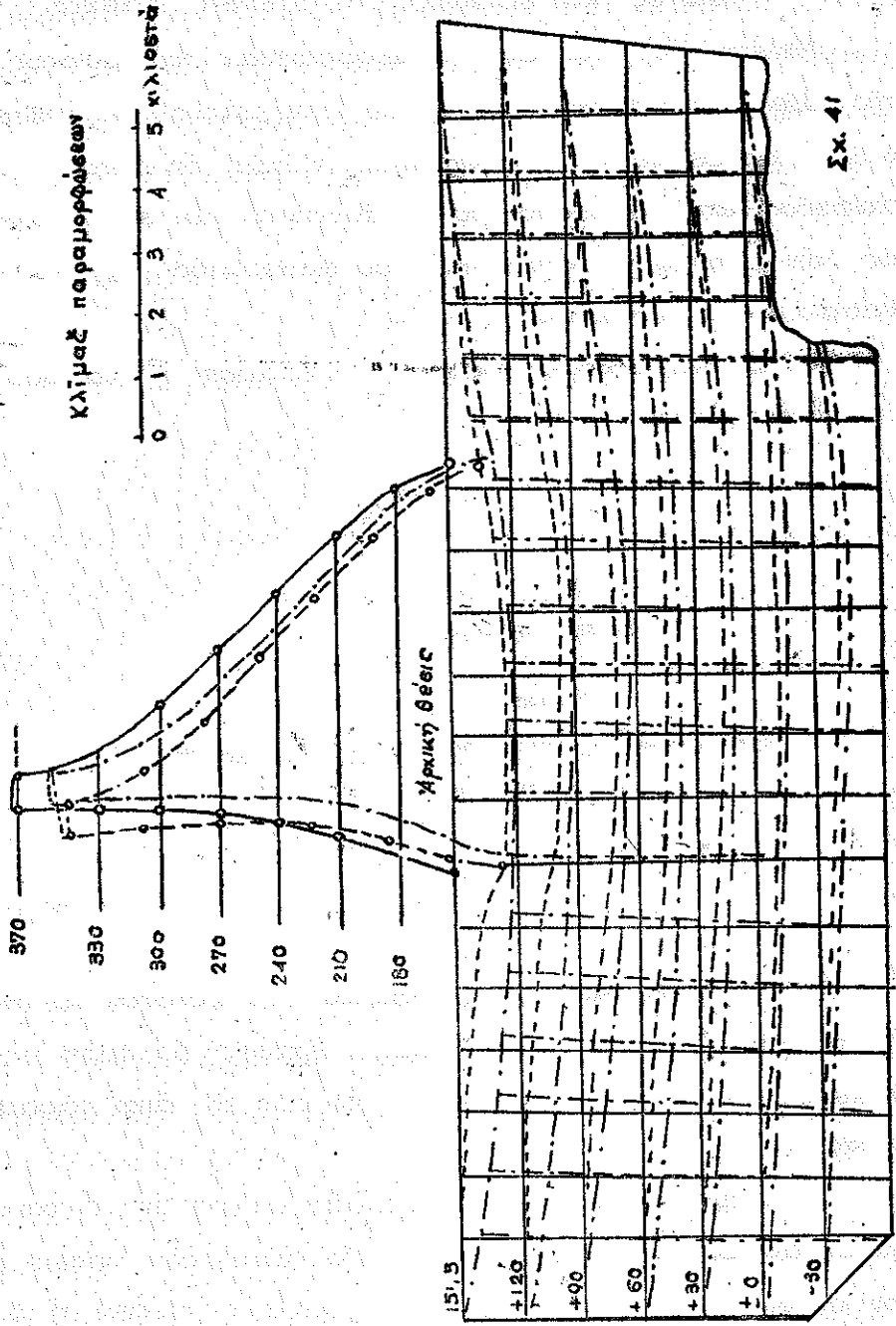
Δια τας συναρτήσεις $f_{[x/\lambda H]}$ και $f_{[1-x/\lambda H]}$ δίδεται ο ακόλουθος πίναξ :

$x/\lambda H = 0,000$	0,125	0,250	0,375	0,50	0,625	0,750	0,875	1,00
$f = 0,000$	-0,589	-0,769	-0,781	-0,698	-0,542	-0,357	-0,196	0,00

Πολλάκις εις σοβαράς σημασίας έργα έρευνώνται αι παραμορφώσεις επί τη βάσει προτύπων (modeles) εκ διαφόρων πλαστικων υλων.

Εις το εκ. 41 δίδονται αι παραμορφώσεις του φράγματος Β ο υ λ d e r και του εδάφους θεμελιώσεως αυτού του τώσον εκ ιδίου βάρους (.....), ὅσον και εκ

του συνδυασμού ίδιου βάρους και πίεσης ύδατος (.....).

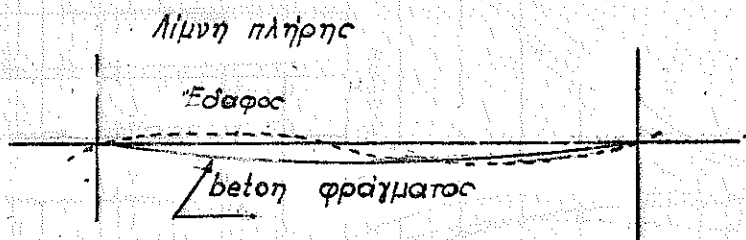


β/. Συσχέτιεις παραμορφώσεων βάσεως φράγματος και έδαφους. Αυτόγενεις τάσεις.

Μελέτη τών άνωτέρω παραμορφώσεων τού έδαφους και τής ευθείας τής βάσεως τού αύτου φράγματος (βλ. άνωτέρω § 3.7) άποδεικνύει δι' ύπερθέσεως αύτάν ότι αύται είναι διάφοροι και ή διαφορά αύτη έξαρτάται και έκ τής σχέσεως τών μέτρων ελαστικότητας τού φράγματος (E_b) και τού έδαφους (E_f) (θέτομεν $\epsilon = \frac{E_b}{E_f}$).

Ούτω εις τό σχ. 42 ρίθεται έν έξάρσει ή διαφορά αύτη διά περίπτωσιν :

$$E_f = \frac{1}{2} E_b$$



$$E_f = \frac{1}{2} E_b \quad (\Sigma\chi. 42)$$

Εις τήν πραγματικότητα βεβαίως δέν δύναται να ύπαρξη τοιαύτη διαφορά, τό δε στρώμα έπαφής θα λάβη μίαν συγκεκριμένην μορφήν, διάφορον τών δύο ως άνω παραμορφώσεων.

Ίνα όμως συμβή τούτο θα ύπαρξη άλλαγή τής έντατικής καταστάσεως τού φράγματος και θα προκύψουν τάσεις έντός αύτου, ως καλούμεν αυτόγενεις τάσεις ή βραχυλεκτικώς αύτοτάσεις.

Ὁ ὑπολογισμὸς τῶν αὐτοτάσεων ἀποτελεῖ ἐν ἀπὸ τὰ δυσχερέστερα προβλήματα τῆς στατικῆς τῶν ἀορίστων κατασκευῶν. Βασικὸν ὄρημητήριον ἀποτελοῦν πάλιν αἱ τρεῖς ἐξισώσεις ἐλαστικότητος (22 καὶ 26), ὅπου πάλιν παραλείπονται αἱ μαζικαὶ δυνάμεις ($m_x = m_z = 0$). Ἡ βασικὴ συνάρτησις F δι' ἣν :

$$(54) \quad \epsilon_x = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} \quad \epsilon_z = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} \quad \tau = -\frac{\partial^2 F}{\partial x \partial z}$$

ἔχει τὴν μορφήν εἰς πολικὰς συντεταγμένας (r, φ):

$$(54) \quad F = r^{t+2} \left[A \sin(t+2)\varphi + B \eta \mu(t+2)\varphi + C \epsilon \omega t \cdot \varphi + D \eta \mu t \cdot \varphi \right]$$

ἐνθα t παράμετρος αὐτῆς. Ὁ προσδιορισμὸς τῶν σταθερῶν A, B, C καὶ D ὁδηγεῖ εἰς τὴν ἐξίσωσιν :

$$(55) \quad \frac{\eta \mu \omega}{\omega} = \pm \frac{\eta \mu(t+1)\omega}{(t+1)\omega}$$

($\omega = \eta$ γωνία κορυφῆς τοῦ φράγματος).

Αἱ τιμαὶ τῆς παραμέτρου t , αἱ ἱκανοποιούσαι τὴν (55) εἶναι γενικῶς μιγαθικοὶ ἀριθμοί :

$$(55) \quad (t+1)\omega = a + b \cdot i$$

προσδιοριζομένου πολυπλόκως καὶ πολυστημάντους δι' ὑπερβολικῶν συναρτήσεων.

Ὁ ὑπολογισμὸς καταλήγει εἰς τὸν προσδιορισμὸν τῶν πολλῶν τιμῶν αὐτογενῶν τάσεων μὲ πλῆθος σταθερῶν συντελεστῶν.

Με βᾶσιν τὰς ἐξισώσεις αὐτὰς τῶν τάσεων ὑπολογίζονται ὁμοίως ἀορίστα αἱ τιμαὶ τῶν παραμορφώσεων :

$$(56) \quad \begin{cases} u = f_1 (\sigma_x, \sigma_z, \tau_{xy}) \\ w = f_2 (\sigma_x, \sigma_z, \tau_{xy}) \end{cases}$$

καί υπολογίζονται αἱ παραμορφώσεις αὐταί ἐκ τῶν αὐτογενῶν τάσεων, τόσον δια τήν ἐπιφάνειαν τοῦ βράχου θεμελιώσεως $u_{F\eta}, w_{F\eta}$, ὅσον καί δια τήν ἐπιφάνειαν τοῦ πυθμένου τοῦ φράγματος $u_{B\eta}, w_{B\eta}$.

Ἐκ παραλλήλου υπολογίζονται αἱ παραμορφώσεις τοῦ ἐδάφους ἐκ τῶν φορτίσεων τοῦ στατικῶς ὀρισμένου φράγματος $(u_{F\sigma}, w_{F\sigma})$, ὡς καί αἱ παραμορφώσεις τῆς βράσεως τοῦ φράγματος ἐκ τῶν φορτίων τῶν ἐπενεργούντων ἐπ' αὐτοῦ $(u_{B\sigma}, w_{B\sigma})$.

Ἐφ' ὅσον τελικῶς τό στρώμα ἐπαφῆς φράγματος καί ἐδάφους θά λάβῃ μίαν μορφήν, θά πρέπει νά ἔκωμεν εἰς τό ἐπίπεδον αὐτό :

$$(57) \quad u_B = u_F \quad w_B = w_F$$

τόσον δια πλήρη λίμνην (δύο ἐξισώσεις), ὅσον καί δια κενήν τοιαύτην.

Ἡ ἐπίλυσις τῶν συστημάτων (57) εἶναι λίαν δυσχερής καί πολύπλοκος, γίνεται δέ δια διάδοχικῶν προσεγγίσεων δια τῆς προσπαθείας δημιουργίας ἑνός ἐλαχίστου εἰς τήν διαφοράν :

$$(58) \quad |u_{B\sigma}| + |u_{F\sigma}| + |u_{F\eta}| + |u_{B\eta}| = \rightarrow \text{ἐλάχιστον}$$

ὅποτε προσδιορίζονται αἱ σταθεραί εἰς τὰς ἄνω ἐξισώσεις (56).

Ἀριθμητικοί υπολογισμοί ἀποδείκνυουσιν ὅτι ἡ ἐπίδρασις τῆς παραμορφώσεως τοῦ ἐδάφους εἰς τὰς τάσεις τοῦ φράγ-

ματος ελαττούται μετά του ύψους, ούτως ώστε εις μικρόν από του εδάφους ύψους ήδη αϊ τάσεις μεταβάλλονται ευθυγράμμως εις τας οριζοντίας τομάς.

Έξ άλλου αποδεικνύεται όμοίως ότι αϊ αυτότάσεις είναι τόσον μεγαλύτεραι όσον τό έδαφος είναι ελαστικώτερον (αυξησης του $\epsilon = \frac{E_b}{E_f}$), όποτε παραμορφούμενον προκαλει ευχερέστερον μεγαλύτερας τάσεις έντός των φραγμάτων διά την αποκατάστασιν ίσορροπίας.

Αϊ λύσεις των πολυπλόκων έξισώσεων (37) ή (38) δύνανται να άπλοποιηθούν κάπως εις ειδικάς περιπτώσεις.

Όττω διά την περίπτωσιν φράγματος εκ λίαν στερεού ύλικού έν εκέσει με τό έδαφος, αϊ μετακινήσεις αυτού εις την γραμμήν του πυθμένος, αϊ μεταδιδόμεναι εκ του ύπεδαίφους θα είναι μηδενικαί. Τότε αϊ γενικαί έξισώσεις δι' (u) και (w) (έξ άν προκύπτουν αϊ (53) διά τριγωνικήν έπιφώρτισιν του εδάφους) έξιςούνται με μηδέν και κατοπιν μαθηματικών μετασχηματισμών μετατρέπονται τελικώς εις άπλως έξισώσεις, αϊτινες δίδουσι τας συνιστάσας (U_x, h_x) της πρέσεως p, ήτις έξασκεΐται κατά μήκος της βάσεως εκ του ύπεδαίφους και αϊτινες έχουσιν ως εξής:

Διά λίμνην κενήν : $U_x = H \cdot \gamma_b \quad 0,345 \cdot \varphi_1(x) + 0,502 \varphi_2(x) - 0,552 \varphi_3(x)$

$h_x = H \cdot \gamma_b \quad 0,345 \varphi_1(x) + 0,345 \varphi_2(x) + 0,552 \varphi_4(x)$

Διά λίμνην πλήρη : $U_x = H \cdot \gamma_b \quad 0,345 \varphi_1(x) - 0,691 \varphi_2(x) + 0,533 \varphi_3(x)$

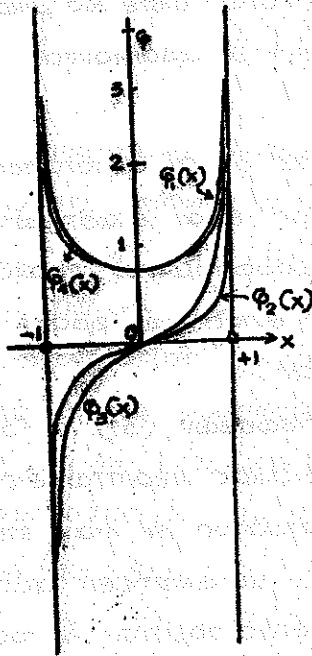
$F_{ix} = H \gamma_b \quad 0,691 \varphi_1(x) + 0,345 \varphi_2(x) - 0,533 \varphi_3(x).$

Αϊ συναρτήσεις $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ και φ_4 του x δίδονται διά αναπτύσεως σειρών του Mac Laurin ή γραφικώς εις τό σχ. 43. Αϊ τιμαί $x = \pm 1$ δίδουν τά δύο άκρα της βάσεως του φράγματος, όποτε $x = 0$ δίδει τό μέσον αυτής.

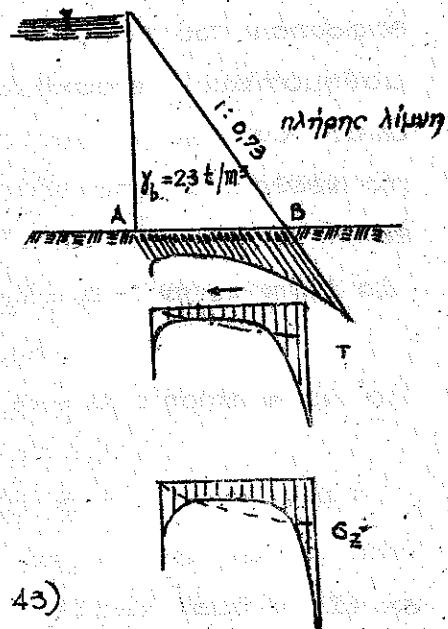
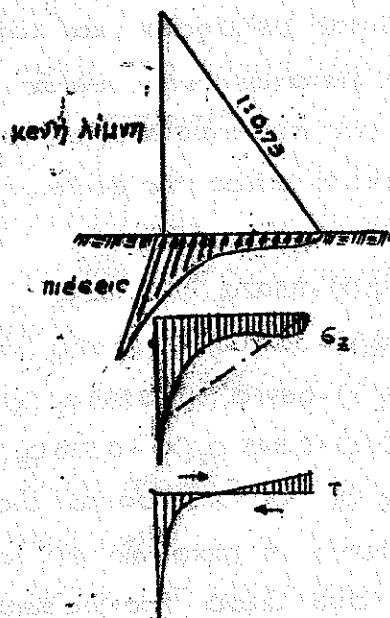
Δι' εφαρμογής τών ας άνω έξι -
 σάσεων προκύπτουν αι φορτίσεις
 κάτωθεν τού φράγματος έκ τής
 αντίδρασεως τού έδάφους και
 αι αντίστοιχοι τάσεις.

Με διακεκομμένη γραμμή
 δίδονται αι τάσεις, όταν σέν λαμ-
 βάνεται ύπ' όψιν η εύστασις τού
 έδάφους.

Έκ τών διανομών τής πιέσεως
 προκύπτει ότι διά κενήν λίμνην
 αι διατμητικοί τάσεις έξασκοϋν
 θλίψιν κατά μήκος τού θεμελίου.
 Είς πλήρη λίμνην αι τάσεις εί-
 ναι μεγάλοι προς τήν άνάντη



(Σχ. 45)



(Σχ. 45)

κάθετοι και διατμητικοί τάσεις διά λίαν στερεόν εκυρόδεμα
 έν σχέσει προς τό υπέδαφος ($\frac{E_F}{E_B} \sim$ πολύ μικρόν : E_B πολύ μεγάλο).

πλευράν τοῦ φράγματος καί δύνανται γὰρ προκαλέσουν κατὰ μῆκος τῆς γραμμῆς θεμελίωσης ΑΒ ῥωγμάς.

Πάντως αἱ αὐξήσεις τῶν τάσεων γενικῶς διὰ τὴν κενὴν λίμνην εἶναι μικρᾶς σημασίας ὡς πρὸς τὴν παραδεδεγμένην τοῦ σκυροδέματος ἄντοχὴν.

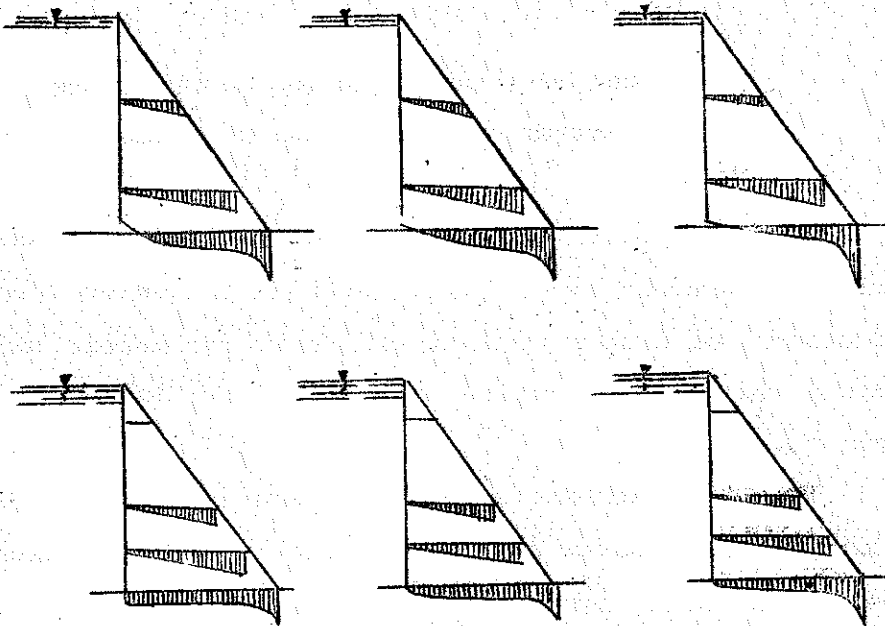
Πολύ δυσκολώτερος εἶναι ὁ ὑπολογισμὸς τῶν πιέσεων καὶ τῶν τάσεων διὰ ἄλλας τιμὰς τῶν E_b καὶ E_f καὶ E .

Εἰς τὸ εἶγμα 44 δίδονται αἱ τομαὶ αὗται :

$$E_f = 2E_b$$

$$E_f = E_b$$

$$E_b = 2E_f$$

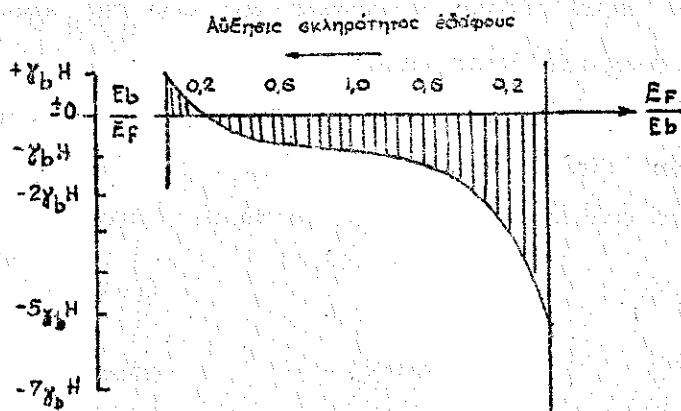


(Σχ. 44)

Εἰς τὸ εἶγμα 44 βλέπομεν ὅτι αἱ παραμορφώσεις τοῦ ὑπε-

όξυς επίδρουν δυσμενώς εις τας μεταβολάς των τάσεων.

Εις τό δχ. 45 αΐδεται ή μεταβολή τής τάσεως σ_z εις τό κα-
 τάντη πέλιμα συναρτήσσει τής μεταβολής του ϵ .



Σχ. 45 : Τάσις εις κατάντη πέλιμα (σ_z) εις πλήρη λίμνην,
 συναρτήσσει τής ελαστικότητας του εδάφους.

Ήτοι, αύξάνει, μειούμενος τής εκληρότητας του υπεράφους μει-
 ούνται αντίστοιχως εις τό ανάντη πέλιμα. Ούτω ύφίσταται κίνδυνος
 άποκοπής του ανάντη πέλιματος, αύξήσεως τής πιέσεως του κα-
 τάντη πέλιματος και ρωγμών κατά μήκος του βάρους (αύξησης
 τής τ).

Μολονότι αι αύξήσεις αύται άποβέβνονται καθ' ύψος του φράγ-
 ματος, έτι δε μειούνται δια τής πλαστικής κύσεως του εκυροδέ-
 ματος, έν τούτοις δέν παύουν να είναι επικίνδυνοι και να
 κηρίζουν τής σεούσης προσοχής, ίδια εις λίαν άνθεκτικά εδά-
 φη.

3.9. Τάσεις λόγω μεταβολής του όγκου Διατάξεις ψύξεως.

Τά έκ εκυροδέματος φράγματα ύφίστανται μεταβολάς
 του όγκου αυτών λόγω διαφόρων φυσικών ή κατασκευά-

ετικῶν αἰτίων, ἅτινα συνοψίζονται ἄς κάτωθι :

1. Ἀλλαγὴ τῆς θερμοκρασίας τοῦ περιβάλλοντος τοῦ ἔργου.
2. Ἀλλαγὴ θερμοκρασίας ὀφειλόμεναι εἰς τὴν ἀνάπτυξιν θερμότητος κατὰ τὴν πῆξιν τοῦ σκυροδέματος ἀκολουθουμένης ἀπὸ βαθμιαίαν ψύξιν.
3. Βαθμιαία ξήρανσις τοῦ φραγματος εἰς τὸν ἀέρα.
4. Διόγκωσις τοῦ σκυροδέματος λόγῳ τοῦ διαποτίζοντος ἀνπιστηριζομένου ὕδατος (Schwellen).
5. Λόγῳ πλαστικῶν παραμορφώσεως τοῦ σκυροδέματος ἐκ τῆς ἀναπτυσσομένης πίεσεως.

Ἡ ἀλλαγὴ τῆς θερμοκρασίας λόγῳ πῆξεως μὲ τὴν ἀκολουθοῦσαν βαθμιαίαν ψύξιν ἄς καὶ ἡ ξήρανσις εἰς τὸν ἀέρα, δέν εἶναι δυνατόν νὰ διακαριεθῶσιν καὶ δι' αὐτὸ συνήθως ὑπολογίζονται μαζὺ μὲ τὸν κοινὸν ὄρον ρίκνωσις (Schwinken)..

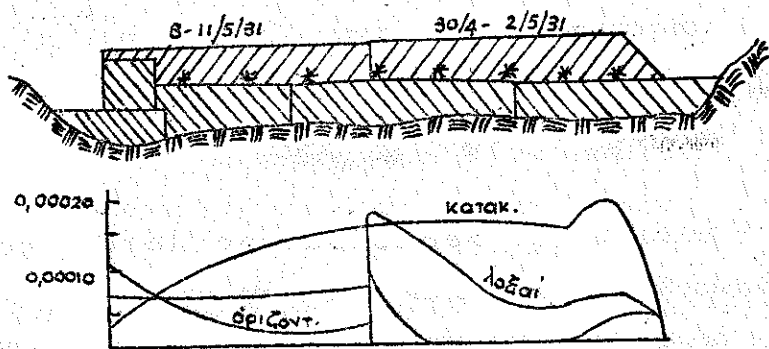
Ἡ διὰ τοῦ ὕδατος τῶν πόρων πίεσις καὶ ἡ διόγκωσις ἀφ' ἑτέρου ἀλληλοσυναίρουνται καὶ διὰ τὸν λόγον αὐτὸν, δέν λαμβάνεται αὕτη ὑπ' ὄψιν. Ἐξ ἄλλου ἡ διόγκωσις ὀφείρει ἐξ ἴσου τὸν κίνδυνον ραγμῶν κατὰ μῆκος τῆς βάσεως, ὥστε ἡ παράλειψις αὐτῆς δίδει μεγαλύτεραν ἀσφάλειαν.

Ἡ πλαστικὴ ροὴ ἐξ ἄλλου μειώνει τὰς τάσεις ἐκ τῆς ἀλλαγῆς τοῦ ὄγκου καὶ συνήθως παραλείπεται ἢ λαμβάνεται ὑπ' ὄψιν δι' ἐλαττώσεως τοῦ μέτρου ἐλαστικότητος.

Παραμένει ὅθεν : $\left\{ \begin{array}{l} \text{ἡ ἀλλαγὴ τῆς θερμοκρασίας καὶ} \\ \text{ἡ ρίκνωσις τοῦ σκυροδέματος.} \end{array} \right.$
ἄς δύο βασικά αἰτία ἀλλαγῆς τοῦ ὄγκου.

Συνέπεια τῶν ὡς ἄνω μεταβολῶν παρουσιάζονται ραγμαί εἰς τὰ φράγματα, αἵτινες συνήθως εἶναι κατακόρυφοι, λόγω τῆς διαστολῆς ἢ συστολῆς κατὰ μήκος τοῦ φράγματος (Assna) 200 ραγμαί εἰς 900 μ. μήκος.

Ἐπίσης ραγμαί ὀφειλόμενοι εἰς ῥίκνωσιν παρουσιάζονται εἰς τοὺς ἀρμούς διακοπῆς τῆς ἐργασίας (κατὰ μπλόκ), ἰδίᾳ ἐάν λόγω τοῦ καιροῦ (χειμῶν) διακόπτεται ἡ ἐργασία χύσεως τοῦ μπετόν ἐπὶ μακρόν.



Σχ. 46

Ἡ θερμοκρασία πήξεως ἀκτινοβολεῖ βαθμιαίως καὶ τὸ ἐκυρόφωμα ψύχεται καὶ συστέλλεται.

Ὁ ὑπολογισμὸς τῶν προκύπτουσῶν τάσεων εἶναι ἀρκετὰ δυσχερῆς.

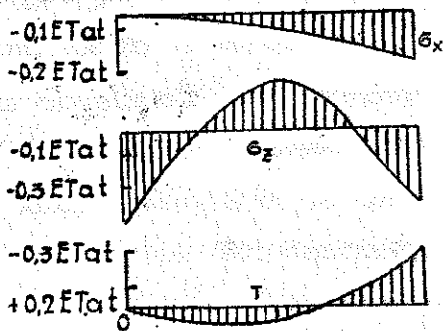
Πάντως ἐάν θεωρήσωμεν τὸ ὅλον φράγμα (ἢ τμῆμα αὐτοῦ) ὡς ἓν σῶμα με' ἀκτινοβολίαν θερμοκρασίας T βαθμῶν, αἱ τάσεις εἰς τὸ κατώτερον στρώμα αὐτοῦ δίδονται ὑπὸ τῶν ἐξισώσεων (δι' ἐλευθέρως παραμορφώσεις τῶν ὀριακῶν ἐπιφανειῶν τοῦ σώματος).

$$\sigma_x = \frac{2ET\kappa\alpha t}{(3+\lambda^2)\lambda^2 H^2} \cdot x^2 l^2$$

$$\sigma_z = \frac{2ET\kappa\alpha t}{(3+\lambda^2)\lambda^2 H^2} \left[\sigma_x^2 - \sigma_x \lambda (H-z) + \lambda^2 (H-z)^2 \right]$$

$$T = \frac{2ET\kappa\alpha t}{(3+\lambda^2)\lambda^2 H} \left[2x\lambda^2 (H-z) - 3x^2\lambda \right]$$

και του σχήματος 47.



Σχ. 47

$$\tau_0 \kappa \sim -\frac{1}{2}$$

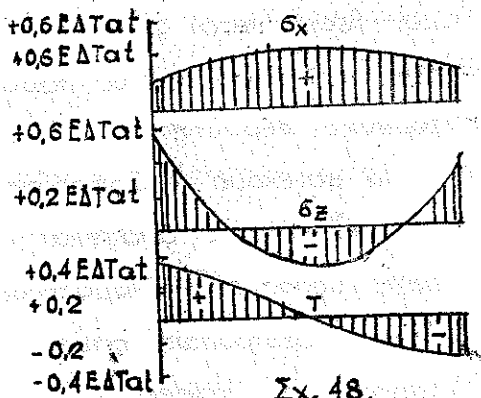
↓ Εκ παραλλήλου εις κάθε τομήν του φράγματος και τους άρμούς διακοπής του φράγματος παρουσιάζονται τάσεις διδόμεναι υπό των τύπων :

$$\sigma_x = +E\Delta T \cdot \alpha_t \left[\frac{T}{4} + \frac{x}{\lambda H} \left(1 - \frac{x}{\lambda H} \right) \right]$$

$$\sigma_z = +\frac{1}{4} \lambda^2 E\Delta T \alpha_t$$

$$\tau = -\frac{1}{4} \lambda E\Delta T \cdot \alpha_t$$

και του σχήματος 48



Σχ. 48.

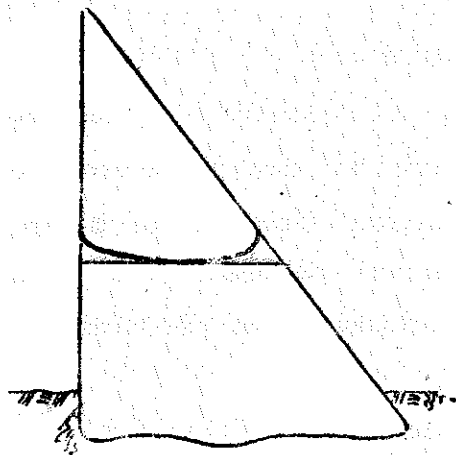
Η επαλληλία των δύο συστημάτων τάσεων μειώνει εις το ελάχιστον τας κατακορύφους τάσεις σ_z και τας διατμητικές τ , αλλά δεν επηρεάζει τας σ_x εκ των επιφανειών διακοπής έργασίας όπου αυτά είναι σημαντικά τάσεις του έφελκυσμού, και

υπάρχει κίνδυνος εμφάνισης ρωγμών.

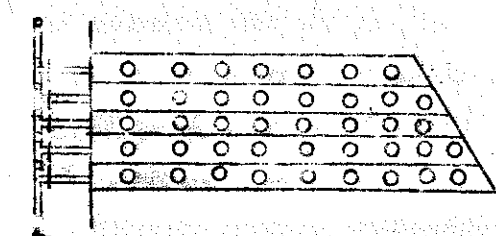
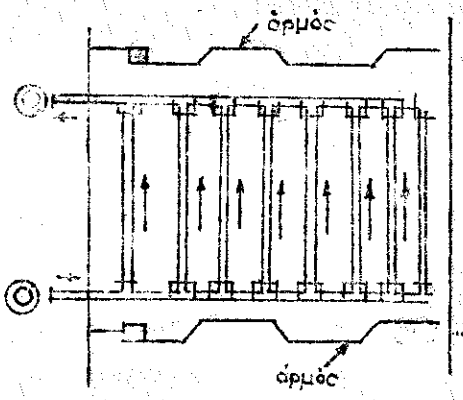
Αι τάσεις αὗται δεόν να υπολογίζονται και να προστίθενται εις τας τάσεις φορτίσεως του φράγματος, ώστε να εύρισκεται η δυσμενεστέρα ένταστική κατάσταση και να υπολογίζεται αυτή εν συγκρίσει με τας άνεκτάς έπιφορτίσεις του υλικού...

Πρός τὸν σκοπὸν μειώσεως τῆς ρικνάσεως καὶ διὰ ἐλατ-

τωσιν ἢ ἐξουδετέρωσιν τῶν ἐξ αὐτῆς τάσεων καὶ ραυγμῶν, διατάσσονται οἱ ἄρμοι διαστολῆς ἀνά ἀριθμῆνας ἀποστάσεις εἰς ὅλα τὰ ἔργα, ἐνῶ εἰς τὰ μεγάλα κυρίως διατάσσονται καὶ συστήματα ψύξεως.



Σκ. 40



Σκ. 50

Τὰ συστήματα ψύξεως συγκεντρῶνται εἰς πλήρη συνεχῆ δίκτυα σωληνῶν, οἷτινες διασχίζουν τὸ εἶμα τοῦ φράγματος, διαχετεύοντες ὕδωρ εἰς καμηλὴν θερμοκρασίαν ὅπου καὶ θερμαίνεται διὰ τῆς πήξεως τοῦ σκυροδέματος παραγομένης θερμότητος.

Διὰ συνεχοῦς κυκλοφορίας ψυχροῦ ὕδατος ἀπάγεται μέγα μέρος τῆς θερμότητος ἥτις τοιοῦτοτρόπως παύει προκαλοῦσα τάσεις εἰς τὸ φράγμα.

Εἰς τὸ εκ. 50 ἐμφαίνεται διάταξις διὰ τὴν ψύξιν φράγματος. Αἱ διατάξεις αὗται εἶναι ἀνεξάρτητοι μεταξύ τῶν διαδοχικῶν ἄρμων διαστολῆς.

καὶ τῶν ἄρμων ἀποστάσεων ἀνά ἀριθμῆνας ἀποστάσεις εἰς ὅλα τὰ ἔργα, ἐνῶ εἰς τὰ μεγάλα κυρίως διατάσσονται καὶ συστήματα ψύξεως.

4. Άρμοι διαστολής.

Οί άρμοι διαστολής κατασκευαζόμενοι πρὸς ἐλάττωσιν πᾶν τάσεων διαστολής, ρικνώσεως, ὑποχωρήσεως τοῦ ἐδάφους, διαιροῦν τὰ φράγματα εἰς τμήματα ἀνεξάρτητα ἀλλήλων καὶ κατασκευάζονται συνήθως καθέτως πρὸς τὴν ἐπιμήκη διάστασιν τοῦ φράγματος. Διὰ τῆς κατασκευῆς αὐτῶν μειοῦνται αἱ ῥωγμαὶ εἰς τὸ ἐλάχιστον.

Οἱ άρμοι διαστολής πρέπει νὰ καταλαμβάνουν ὁλόκληρον διατομὴν τοῦ φράγματος, ἥτις νὰ ἐξικινούνται μέχρι τοῦ ἐδάφους τῆς θεμελιώσεως ἄλλως παρουσιάζονται ῥωγμαὶ μετὰ τὸ καθ' ὕψος πέρασ τῶν ἀρμῶν.

Ἡ ἀπόστασις τῶν ἀρμῶν διαστολής ἦτο ἀρχικῶς μεγάλη ἦτοι 30-40 μ. βαθμιαίως αὕτη ἐλαττοῦται εἰς τὰς συγχρόνους κατασκευάς, τείνει δὲ πρὸς τὸ παρὸν νὰ τροποποιηθῆ εἰς 15,0 μ. ἀπὸ ἀρμόν εἰς ἀρμόν (Η.Π.Α), ἐπικρατεῖ δὲ ἡ τάσις ἐλαττώσεως αὐτῆς εἰσέτι. Οἱ ἀρμοὶ θεὸν νὰ εἶναι πλησιέστερον εἰς μικρότερα ὕψη, ἦτοι ἡ ἀπόστασις αὐτῶν ἐλαττοῦται ἐφ' ὅσον πλησιάζομεν πρὸς τὰς κλιτεῖς τῶν χαραφῶν τῶν θέσεων τῶν φραγματῶν.

Οἱ ἀρμοὶ ἔχουν μικρὸν ἀνοιγμα πληρούμενον συνήθως δι' ἐλαστικοῦ ὑλικοῦ (ἄσφαλτος, ἀσφαλτικὸς κάρτης κ. τ. λ.).

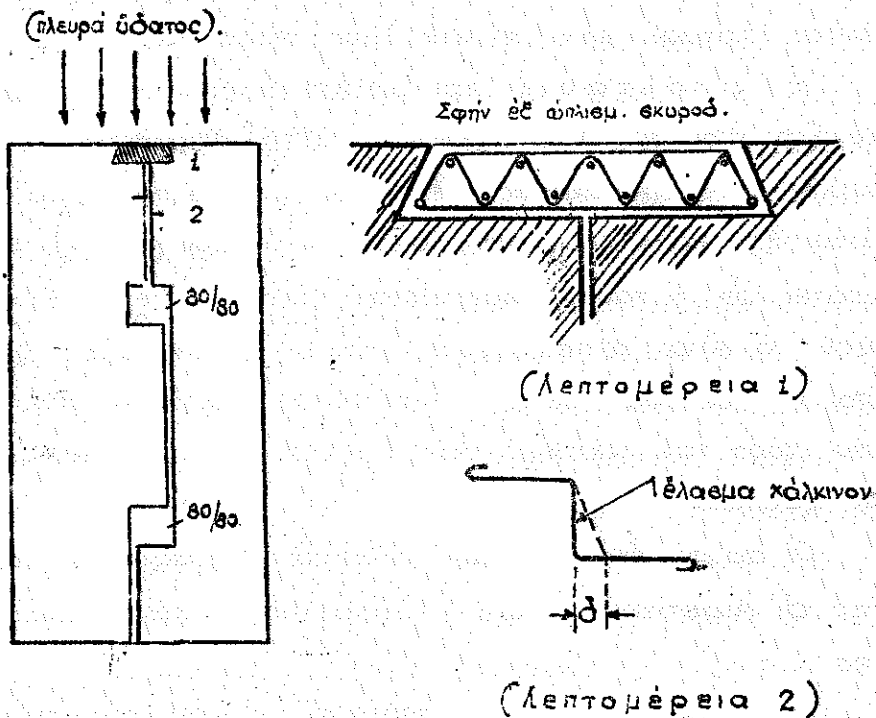
Τὸ βασικώτερον θέμα ἀποτελεῖ ἡ στεγανοποίησις αὐτῶν ἀπὸ τῆς διεισδύσεως τοῦ ὕδατος ἐκ τῆς πλευρᾶς τῆς λίμνης εἰς τὴν ἐλευθέραν πλευρᾶν.

Οἱ ἀρμοὶ συνήθως τοποθετοῦνται εἰς τὰς αὐτὰς θέσεις οἴπου καὶ τὰ κατακόρυφα φρέατα στραγγίσεως ἢ ἐπι-

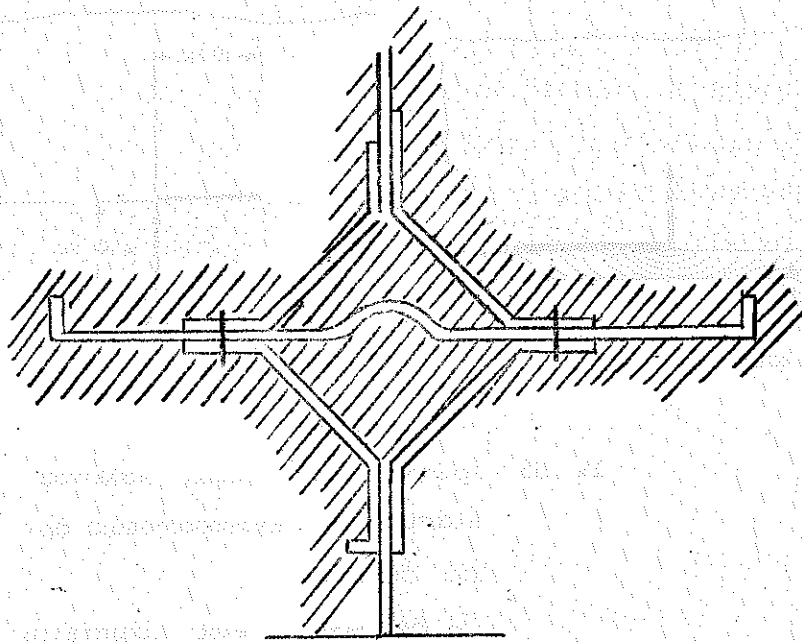
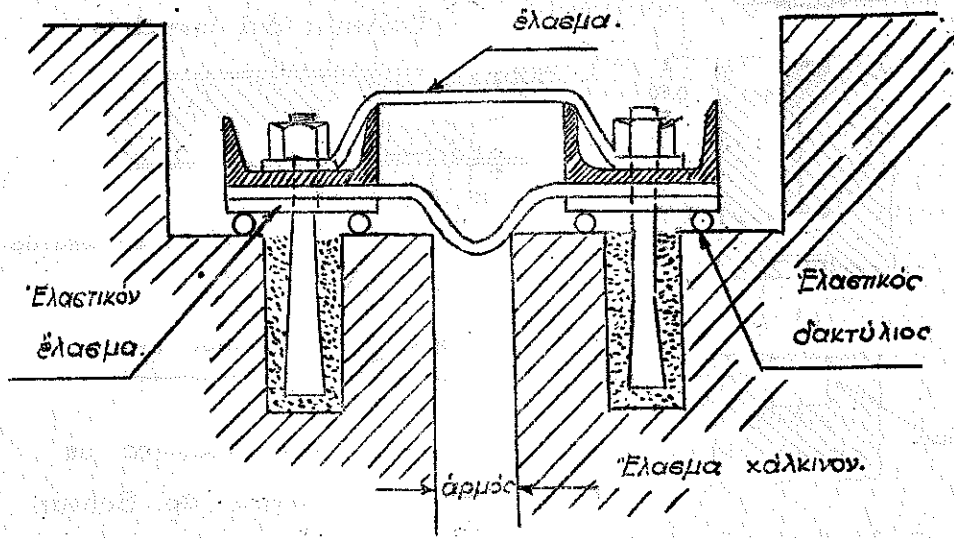
θεωρήσεως τῶν στοῶν στραγγίσεως (βλέπε προεχές κεφάλαιον). Τοιοῦτοτρόπως παρακολουθεῖται τόσον ἡ στεγανότης αὐτῶν ὅσον καὶ ἡ λειτουργία των.

Ἡ στεγανοποίησις τῶν ἀρμῶν ἐπιτυγχάνεται κυρίως διὰ τῆς παρεμβολῆς ἐλασμάτων ἐκ καλκοῦ οἷ ἄν ἐνοῦνται στεγανῶς αἱ ἑκατέρωθεν ἄκραι τοῦ ἐκυροδέματος καὶ ἀποκλείεται ἡ διέλευσις τοῦ ὕδατος.

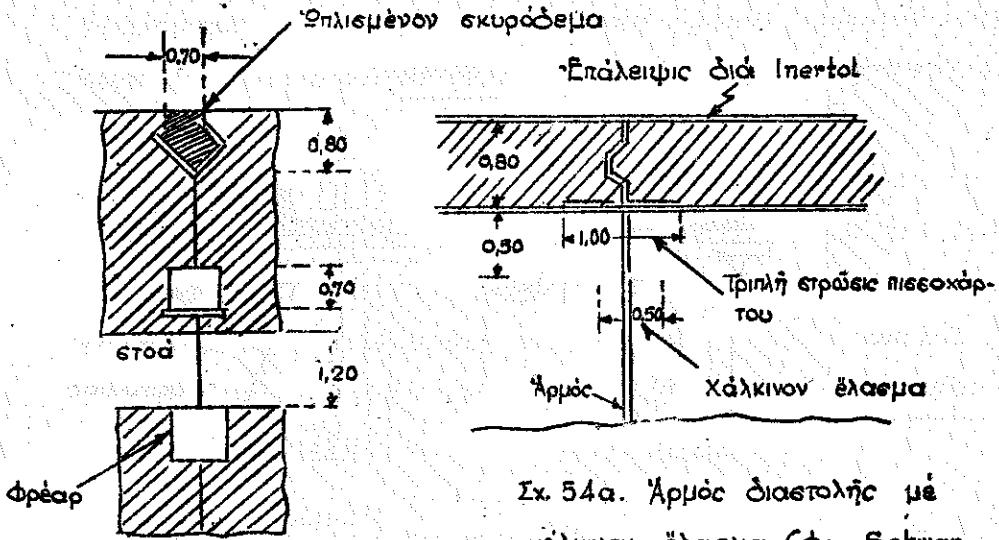
Εἰς τὰ ἀκόλουθα σχήματα 51 ἕως 57 ἐμφαίνονται τοιαῦτα διατάξεις ἀρμῶν.



Σχ. 51. Ἄρμος κατὰ πλάτος φράγματος με λεπτομερείας εἰς (1) καὶ (2).

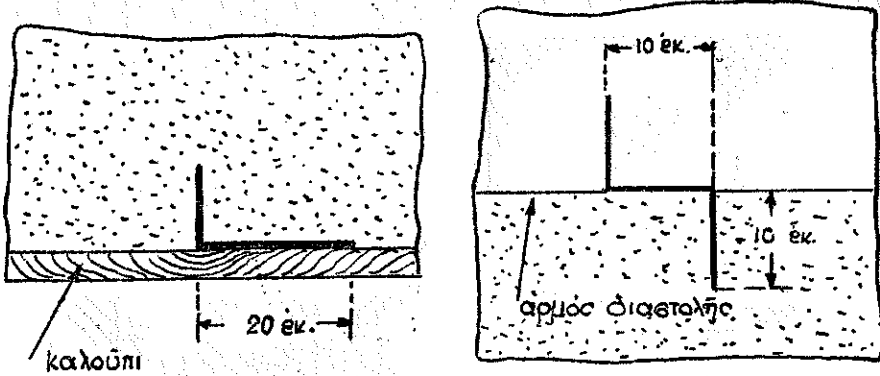


Σχ. 33. Τύπος άρμου



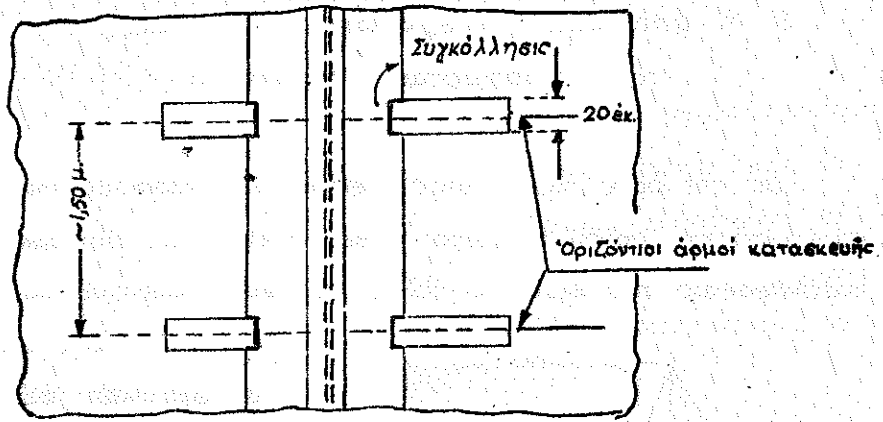
Σχ. 54. Άρμος διαστολής εις φρέαρ Im. Schräg

Σχ. 54α. Άρμος διαστολής με χάλκινον έλασμα (Φρ. Schwarzzenbach).

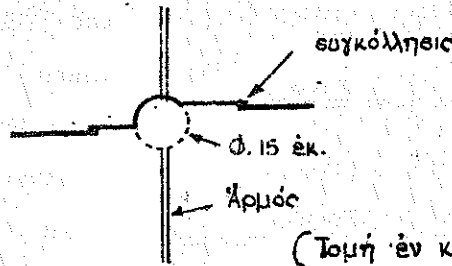


Σχ. 55 : Τρόπος τοποθέτησεως χάλκινου έλασματος στεγανοποίησεως αρ- μου διαστολής .

Τό δευτερον εκέλος κάμπτεται επί τόπου .

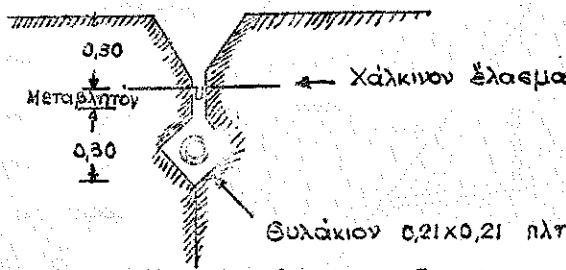


(Τομή ἐν προσώπῳ)



(Τομή ἐν κατόψει)

Σχ. 56. Ἐμφαίνεται χάλκινον ἔλασμα μέ τεταρτοκύκλιον σχῆμα διήκον καθ' ὅλον τὸ ὕψος τοῦ φραγήματος καὶ καλύπτου τὸν ἄρμον. Εἰς τὰ σημεῖα ἐναντήσεως τῶν ὀριζώντιων ἄρμων κατασκευῆς συγκολλάται λωρίς προστατεύουσα τὴν ἀρχὴν τῶν ἄρμων τούτων.



Θυλάκιον 0,21x0,21 πληρῶμενον ἀπὸ ἀσφαλτικῶ μίγματος.

Σχ. 57. Συνήθης διάταξις ἄρμων εἰς ἰταλικὰς κατασκευὰς φραγμάτων

5. Η ύποπίεσις, στεγανότης και στραγγίσεις τών φραγμάτων βαρύτητας.

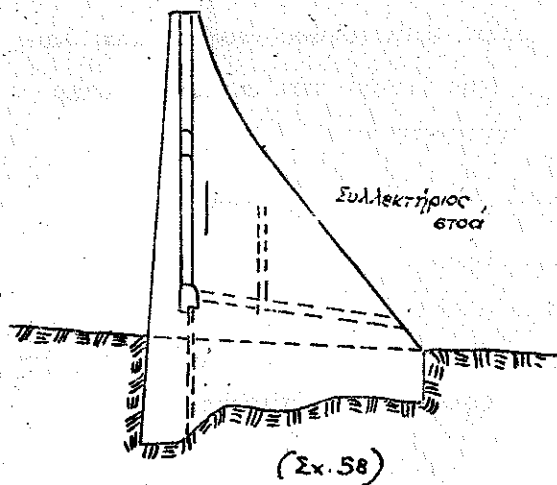
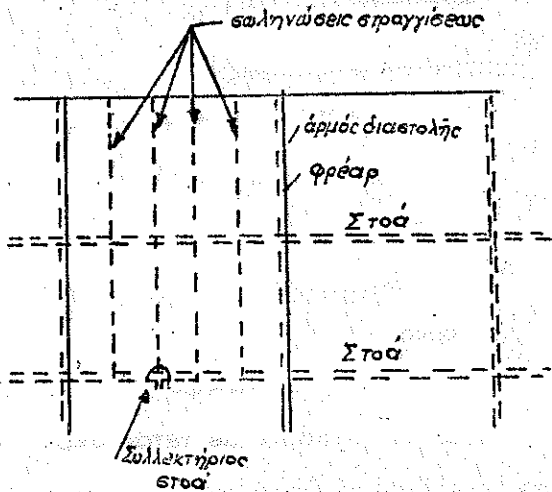
Διά της ροής του ύδατος μέσω του εκυροδέματος δέν προκαλοῦνται μόνον πρόσθετοι τάσεις ἀλλά και φαινόμενα ἀποσυνθέσεως τοῦ εἰμένου ἰδίως δέ τοῦ περιεχομένου ἀεβε-

ετίου διά της ἐπιδράσεως ὀργανικῶν αὐσιῶν ἢ διοξειδίου τοῦ ἀνθράκος (CO_2), ἅτινα εὑρίσκονται εἰς τό ὕδωρ ἔστω καί εἰς ἰκνη.

Οὕτω εἰς πλείστα φράγματα παρατηρήθη μεγάλη ἀπόπλυσις.

Διά τήν ἐλάττωσιν τῶν ὡς ἀνω φαινομένων τοποθετοῦνται ἔργα στραγγίσεως ἐντός τοῦ φράγματος.

Ταῦτα εὐνίστανται εἰς κατακόρυφα φρεάτια τοποθετούμενα πλησίον τῆς πρὸς τό ὕδωρ παρείας. Τό ὑπ' αὐτῶν στραγγιζόμενον ὕδωρ συλλέγεται εἰς κατακόρυφους ἢ ὀριζοντίους



στοάς δι' ἧν ἀπάγεται πρὸς τὰ κατάντη.

Αἱ κατακόρυφοι στοαί ἢ φρεάτα χρησιμοποιοῦνται ἐπίσης διὰ τὴν ἐπιθεώρησιν τοῦ φράγματος καὶ παρακολουθήσιν τῆς λειτουργίας τῶν ἀρμῶν διαστολῆς, δι' αὐτὸ καὶ κατασκευάζονται κατὰ κανόνα οὕτως, ὥστε μία πλευρὰ αὐτῶν εὐρίσκεται ἐπὶ τῆς κατακορύφου πλευρᾶς τῶν ἀρμῶν διαστολῆς.

Ἐξ ἄλλου μεταξὺ τῶν φρεάτων τοποθετεῖται δίκτυον σωληνωτῶν στραγγιστηρίων (συνήθως πηλίνων ἢ ἐκ βετοη) ἀγωγῶν (φ 15-50 ἐκ) δι' ἧν ἀποστραγγίζεται ὁ τοῖκος πρὸς τὰς στοάς.

Ὁμοίως κατακόρυφος ἀγωγὸς τίθεται κατὰ μῆκος τῶν θεμελίων οὕτως ὥστε τὸ ἐξ αὐτῶν ὑπὸ πίεσιν ἀναβλύζον ὕδωρ συλλέγεται ὁμοίως ἐντὸς τῶν στοῶν καὶ ἀπάγεται πρὸς τὰ κατάντη. Οὕτω ἐλαττοῦται ἢ ἀνωγεισὶς διὰ τῆς ἐλαττώσεως τῆς ἐκ τῶν πιέσεως.

Θεωρητικῶς ἡ ἐνέργεια τῶν σωλήνων ἀποστραγγίσεως δίδεται ὑπὸ τῆς ἐξίσωσως:

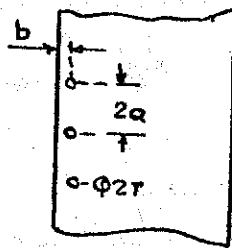
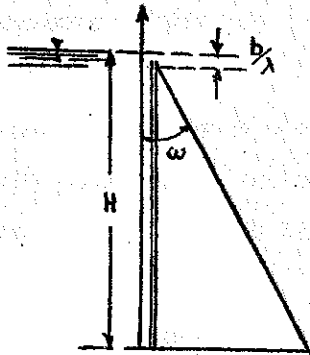
$$v = -k \text{ grad} \left(\frac{p}{\gamma} + z \right) \text{ ὅπου } \left. \begin{array}{l} u_x = -\frac{k}{\gamma} \frac{\partial p}{\partial x} \\ u_y = -\frac{k}{\gamma} \frac{\partial p}{\partial y} \\ u_z = -\frac{k}{\gamma} \frac{\partial p}{\partial z} - k \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{ταχύτης διηθήσεως} \\ \text{καὶ συνηταγμέναι} \\ \text{αὐτῆς.} \end{array}$$

μέ ἐξίσωσιν συνεχείας δίδουσιν:

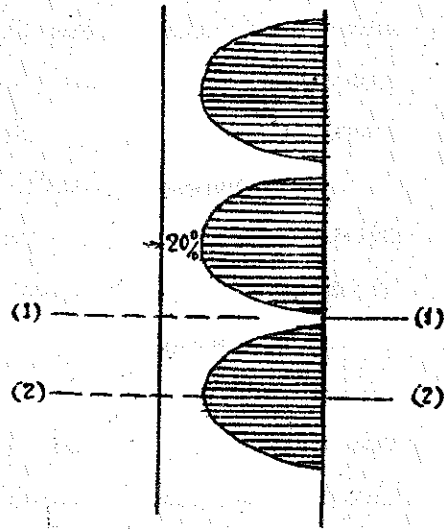
$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = 0$$

Ἐἰς τὸ ἐκ. 59 δίδεται διάταξις σωλήνων ἀποστραγγίσεως εἰς φράγμα.

Τό ὕδωρ ρέει διά τῶν πόρων τοῦ σκυροδέματος συμ-
φώνως πρὸς τὸ Σχ. 60 ὅπου ἐμφαίνεται ἡ ροή πλησίον
τοῦ πυθμένος ($Z=0$).



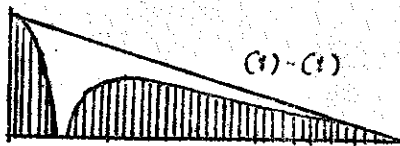
Σχ. 59



Σχ. 60

Ἡ κατά μῆκος τομὴ τῆς ρο-
ῆς δίδεται εἰς τὸ Σχῆμα 61
δι' ὅλον τὸ πλάτος εἰς τὸν
πόδα τοῦ φραγματος καὶ δη-

εἰς θέσιν παρά τὸν σωλήνα καὶ εἰς θέσιν εἰς τὸ ἡμίσει τῆς ἀ-
ποστάσεως μεταξὺ δύο σωλήνων.



Σχ. 61

Ἡ τοποθέτησις τῶν σωλήνων αὐτῶν βεβαίως τὴν παροχὴν
διηθήσεως. Κατὰ τὸν Tölke εἰν καλέσωμεν:

$$\sigma = \frac{n \cdot b}{a \lambda n \frac{\alpha}{\pi r}} \quad \text{καὶ} \quad \xi = \frac{1}{1 + \sigma}$$

Ἡ αὔξησις τῆς παροχῆς ἀτηθήσεως ἔχει λόγον πρὸς τὴν ευνήθη παροχὴν ἀνά μέτρον τοίκου.

$$Q : Q_0 = \epsilon \cdot \sigma \cdot \lambda \cdot H / 2b$$

$$\left(\eta \ Q_0 = F \cdot U_0 = F \cdot \frac{K}{\lambda} \right)$$

Ἴνα μὴ ἐμφανίζεται τὸ ὕδωρ εἰς τὴν πρὸς τὰ καπάντη πλευρὰν τοῦ φράγματος ἀποδεικνύεται, διὰ διεξοδικῶν ὑπολογισμῶν, ὅτι πρέπει νὰ ἰσχύῃ ἡ σχέσις :

$$\frac{b \cdot \pi \cdot \lambda^2}{\alpha \cdot \lambda \cdot n \cdot \frac{\alpha}{\pi r}} = 1$$

(ἔναρξις ἐπιδράσεως) (διάνυσμα ταχύτητος ὕδατος εὐμπίπτει μὲ ἐξωτερ. κλίσιν τοῦ φράγματος).

Ἐνῶ ἐξ ἄλλου ὁ λόγος :

$$n = \frac{b \cdot \pi \cdot \lambda^2}{\alpha \cdot \lambda \cdot n \cdot \frac{\alpha}{\pi r}}$$

καλεῖται βαθμὸς στραγγίσεως (Trockenlegungsgrad)

Τέλος ὁ συντελεστὴς ϵ :

$$\epsilon = \frac{1}{1+\sigma} = \frac{1}{1 + \frac{b \cdot \pi}{\alpha \cdot \lambda \cdot n \cdot \frac{\alpha}{\pi r}}}$$

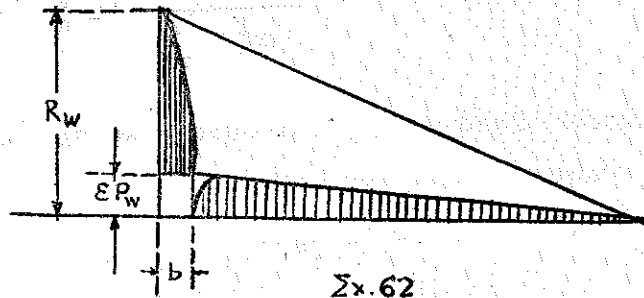
καλεῖται συντελεστὴς μείωσης τῆς ἀνώσεως καὶ ὡς ἐμφαίνεται εἰς τὸ Σχ. 62 παριετᾶ τὸν λόγον εἰς ὃν ἐλαττοῦται ἡ ὑδροστατικὴ πιεσις P_w , ἥτις ἐξασκεῖται ἀνευ στραγγίσεως.

"Για τὸ δεξιὰ τοῦ δικτύου στραγγίσεως τμήμα δὲν ὑφίσταται καμμίαν πίεσιν ἀνάσεως δέον :

$$\varepsilon \rightarrow 0$$

καὶ τοῦτο δύναται νὰ λάβῃ χώραν ὅταν $\ln \frac{\alpha}{\pi r}$ γίνῃ 0, ἤτοι διὰ :

$$\frac{\alpha}{\pi r} = 1 \quad \eta \quad \alpha/r = \pi$$

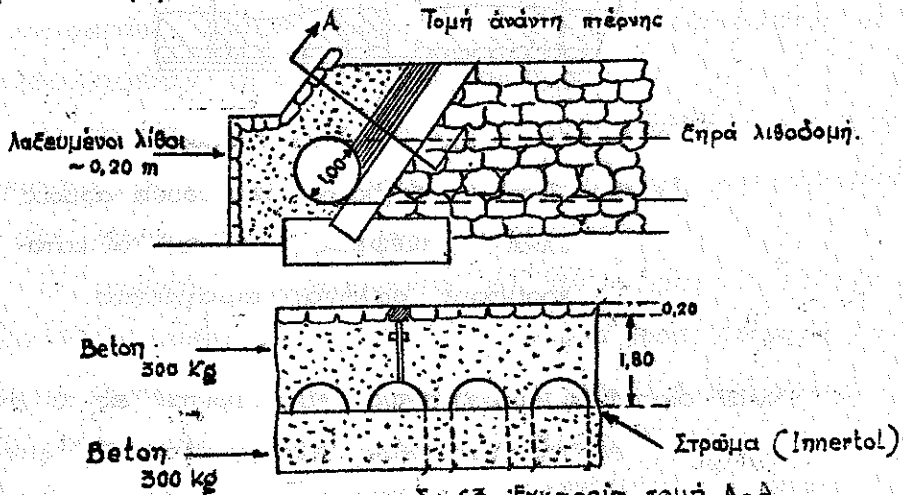


Δι' ἄλλας ἐφαρμογὰς προκύπτει ὅτι διὰ ευνήθη φραγ-
ματα ἢ ἀπόστασις τῶν σωλήνων τότε πρέπει νὰ γίνῃ πολὺ
μικρὰ. Κατωτέρω δίδεται πίναξ τῶν στοιχείων στραγγίσεως
γνωστῶν τινῶν φραγμάτων.

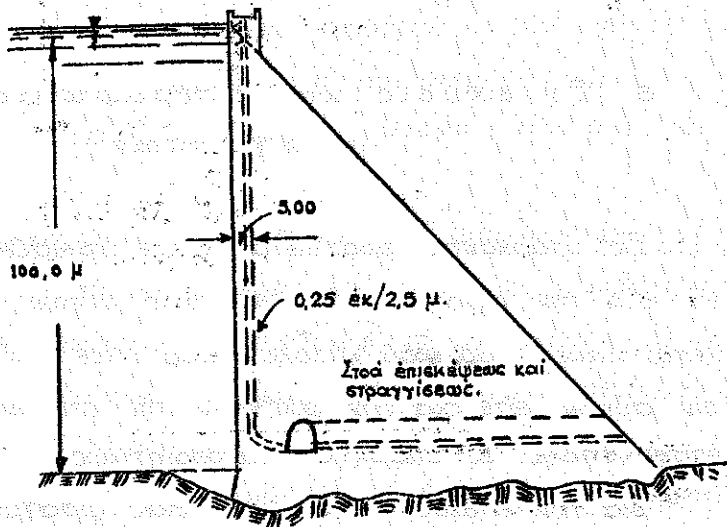
	H	α	b	r	λ	η	ε	q/q ₀
Ennepre	32	1,0	2,0	0,03	0,69	1,26	0,27	5,3
Barbellina	63	2,5	5,0	0,125	0,73	1,80	0,23	4,2
Exchequer	83	1,25	3,0	0,125	0,64	2,58	0,13	9,2
Chambon	120	1,50	8,0	0,15	0,75	8,10	0,06	5,6
Boulder	221	1,50	38,0	0,25	0,89	9,70	0,08	19

Παράδειγμα άποστραγγίσεως τού φράγματος Vanhino Ροητε δίδεται εις τό εκήμα 63.

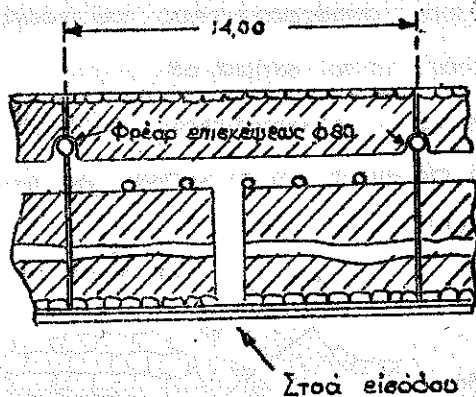
Οι κεκλιμμένοι στραγγικτήρες εύρίσκονται έξαιρετικά πλησίον. άλλήλων, φοβέυτος ότι τό κύριον φράγμα άποτελείται από ξηρολιθοδομήν.



Σχ. 63. Έγκαρσία τομή Α-Α



Σχ.64. Φράγμα Exchequer - Η.Π.Α.



Σχ. 65. Κάτοptic φράγματος δεικνύουσα άρμούς στοάς επίσκεψης, εισόδους καί κατακορύφους σωλήνας στραγγίσεως.

Άλλαι διατάξεις στραγγίσεως έμφαίνονται εις τὰ εκήματα φραγμάτων εις την κατατέρω παράγραφον 7 (Γενικά παραδείγματα φραγμάτων).

6. Ένίσχυσις καί υπερύψωσις τών φραγμάτων.

Εις υπάρχοντα φράγματα ένιοτε χρειάζεται ένίσχυσις, είτε δια' την αύξησιν τής ευσταθείας αυτών, μειονεκτούσης λόγω κακού άρχικου ύπολογισμού είτε δια' την υπερύψωσιν αυτών, είτε δια' την αύξησιν τής στεγανότητός των, μη έπιτευχθησης εξ ύπαρχής ίκανοποιητικώς.

Δια' την ένίσχυσιν τής ευσταθείας φράγματος κλασικόν παράδειγμα άποτελει τó φράγμα Cheufreis (Όράν Άλγερίας επί του O ed Mekerra) ύψους 30,0 μ. (περικτικότητος λίμνης 18 εκατ. κυβ. μ.).

Δια υπερύψωσιν 30 μ. ή γραμμή πίεσεων πλήρους λίμνης έσχηκετο του πυρήνος προκαλουσα εις τό ανάντη πέλμα τάσει εφέλκεσμού. Πρόσ παραλαβήν αυτών κατασκευασθησαν ανά 4,0 μ. μήκουσ φράγματοσ άγκυρώσεισ εκ καλωδίων, περιλαμβανόντων 630 γαλβανισμένα σύρματα διαμέτρου 5 χιλιοστών, προστατεομένων δια λινού ύφάσματοσ και περιβαλλομένων δι' άσφαλτικού τοιούτου.

Τά τοιαύτα καλώδια εισήκοντο εις όπάσ διαμέτρου 250 χιλιοστών, διανοιγομένασ έντοσ του φράγματοσ και ήγκυρούντο δια ειμέντου έντοσ κπρίνου ψαμμίτου.

Τά καλώδια προετεινόντο επί τόπου δια 3 είδικών ύδροολικών πιεστηρίων πρό τήσ άγκυρώσεισ. Έκαετον καλωδίων δύναται να παραλαμβάνη φόρτισιν 1000 τόννων (250 τόννοι ανά τρέχον μέτρον φράγματοσ).

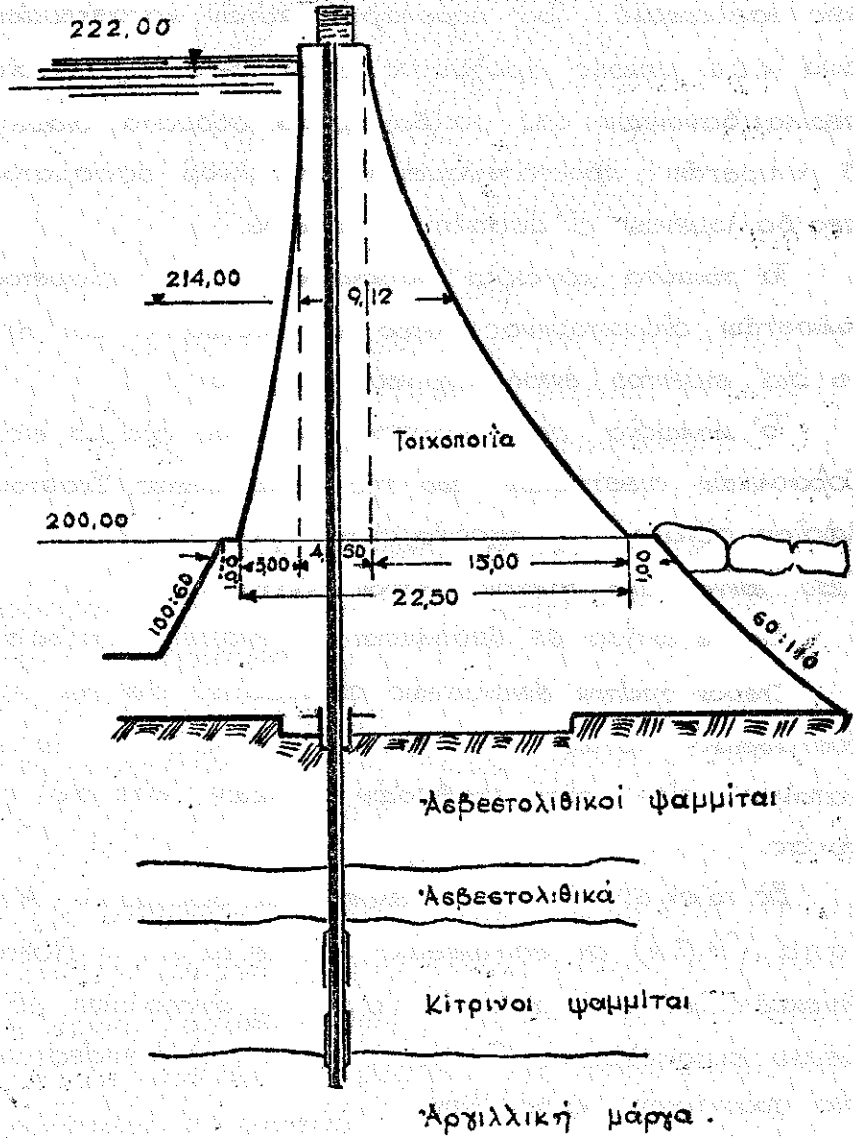
Εις τό σκήμα 66 έμφαίνεται ή γενομένη άγκυρωσισ.

Έτερον τρόπον ένισχύσεισ φραγματών δια την έπιτυχίαν ευσταθείασ αυτών αποτελει ή άντιστήριξισ αυτών εις τά κατόντη είτε δια ψαθυρών υλικών είτε δια τοικοποιίας.

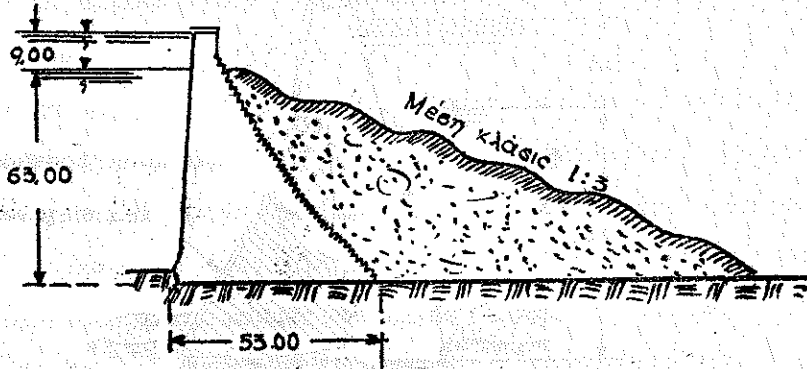
Εις τό εκ. 67 δίδεται ή ένισχυσισ του φράγματοσ Mulholland (Η.Π.Α) δι' επικώσεισ, εις δέ τό εκ. 68 δίδεται ή ένισχυσισ του φράγματοσ Assuar δι' άντηρίσων, έξ απλιεμένου σκυροδέματοσ (όπλισμόσ Φ 57 χιλ.) έπενδεδυμένων δια γρανιτικών κυβολίθων.

Εις τό σκήμα 69 έμφαίνεται ή ένισχυσισ του φράγματοσ O'Shaughnessy (Η.Π.Α)

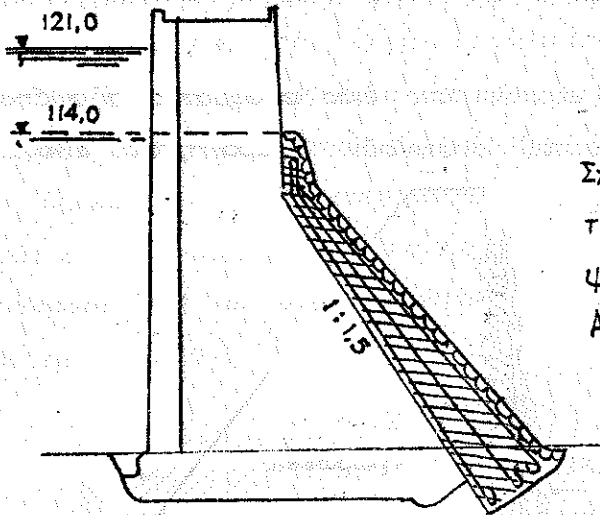
Η ένισχυσισ φραγματών δύναται να γίνη και πρόσ τά ανάντη, ώσ λ.χ. εις τό φράγμα Warse, όπερ έμφαίνεται εις τό εκ. 70.



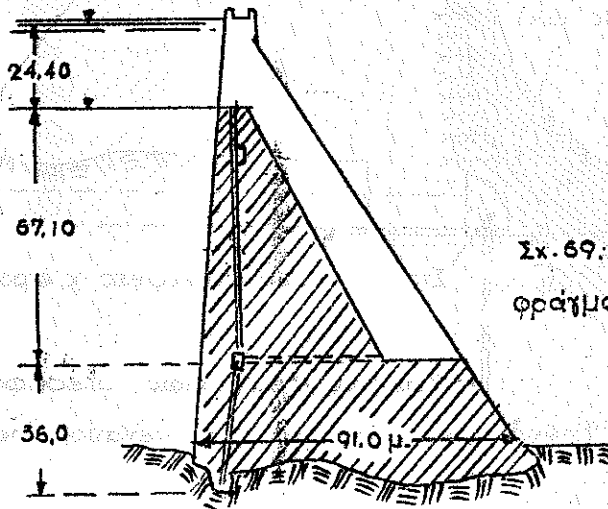
Σχ. 66 : Ενίσχυσις δι' έλκυετήρων του φράγματος Cheufra (Oran).



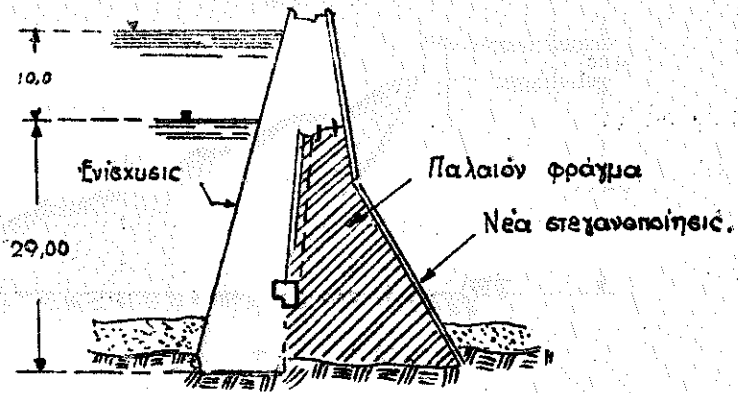
Σχ. 67. Άντιστήριξις διά χωμάτων (φραγ. Mulholland).



Σχ. 68: Ένισχυσις δι' άντηριδων προς ύπερύψωσιν του φράγματος Assuan.

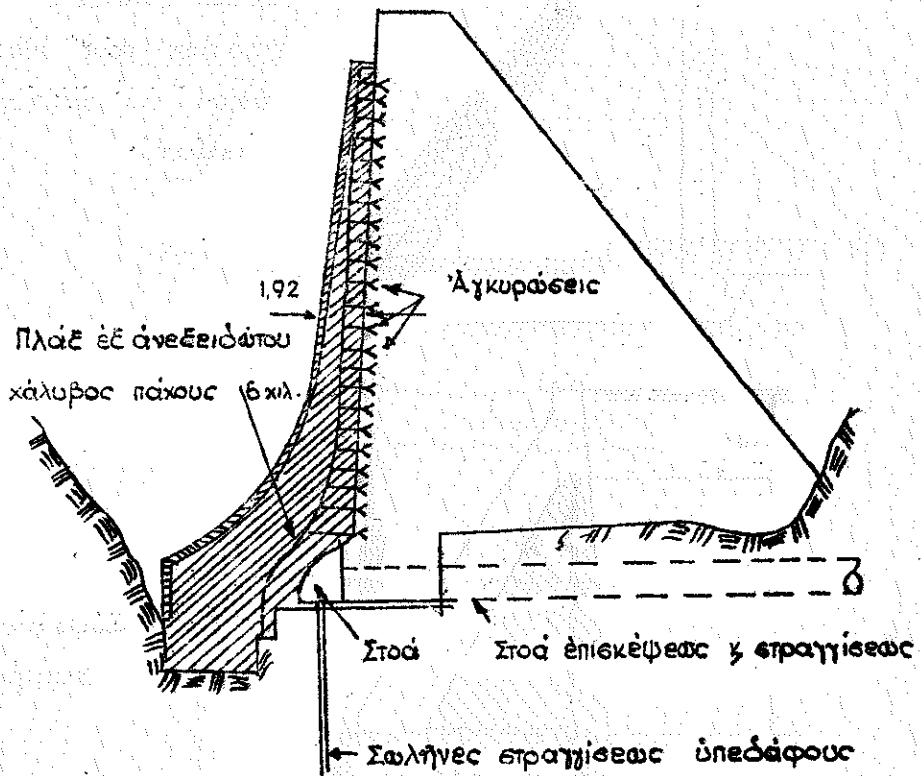


Σχ. 69: Υπερύψωσις φράγματος O'Shaughnessy.



Σχ.70. Υπερύψωσις φράγματος Velse (ΓΕΡΜΑΝΙΑ).

Ἡ ἐπένδυσις, ἡ συμπύκνωσις ἑνός φράγματος δι' αὐξησιν τῆς στεγανότητος αὐτοῦ ἀποτελοῦν ἀπαραίτητος ἐπίσης ἐρ-



Σχ.71: Ἐπένδυσις φράγματος διὰ στεγανοποίησιν.

γασίας δι' ἐξασφάλισιν τῆς σταθερότητος τοῦ φράγματος ἐκ τῶν ὑστέρων.

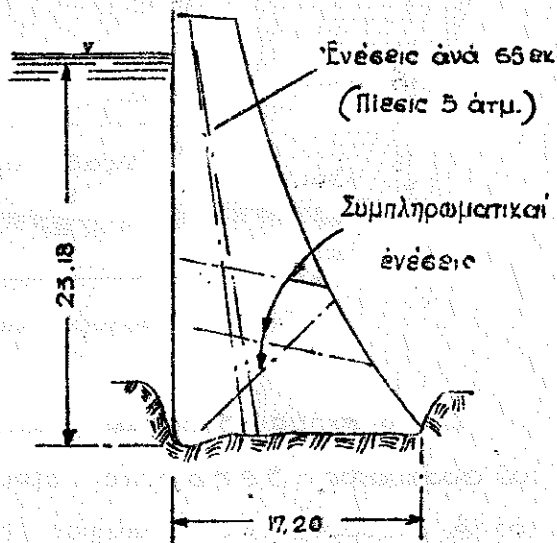
Ἐἰς τὸ ἐκῆμα 71 δίδεται φράγμα οὐκίνοσ ἢ στεγανότησ ἐπετευχῆθῆ διὰ πλακόσ ἐξ ἀνοξειδωτοῦ κάλυφτοσ ἀγκυρωθείσῃσ εἰσ τὸ ὑπάρχον φράγμα καὶ περιβληθείσῃσ διὰ εκυροδέματοσ ἰσχυροῦ μεταβλητοῦ πάκουσ (250 κιλῖρ) προσπατευομένοσ διὰ κονιάσ ἰσχυράσ μετὰ ἰηπερίοι.

Ἐἰσ πολλὰ φράγματα μεγάλης διαπερατότητοσ ἢ στεγανόποίησισ αὐτῶν ἐπιτυχάνετῆ εἴτε δι' ἐπιετραῖσεωσ ἐκ καλήσ κονιάσ εἰσ τὴν ἀνάυτη πλευράν ἢ διὰ ἐπενδύσεωσ αὐτήσ διὰ ἀπλισμένοσ εκυροδέματοσ μορφῆσ κελιδουράσ (εκ. 72) ἢ κατὰ διαφόρουσ ἄλλουσ τρόποουσ.

Ὅμοιάσ ἐνίοτε ἢ στεγανότησ τῶν φραγματῶν ἐπιτυγχάνετῆ διὰ κατασκευῆσ ἐνέσεων ἐκ σιμέντου, ὡσ εἰσ τὴν σταθεροποίησιν καὶ στεγανοποίησιν τοῦ ὑπεδάφουσ (βλ. εκ. 73 καὶ σελ. 30-32).



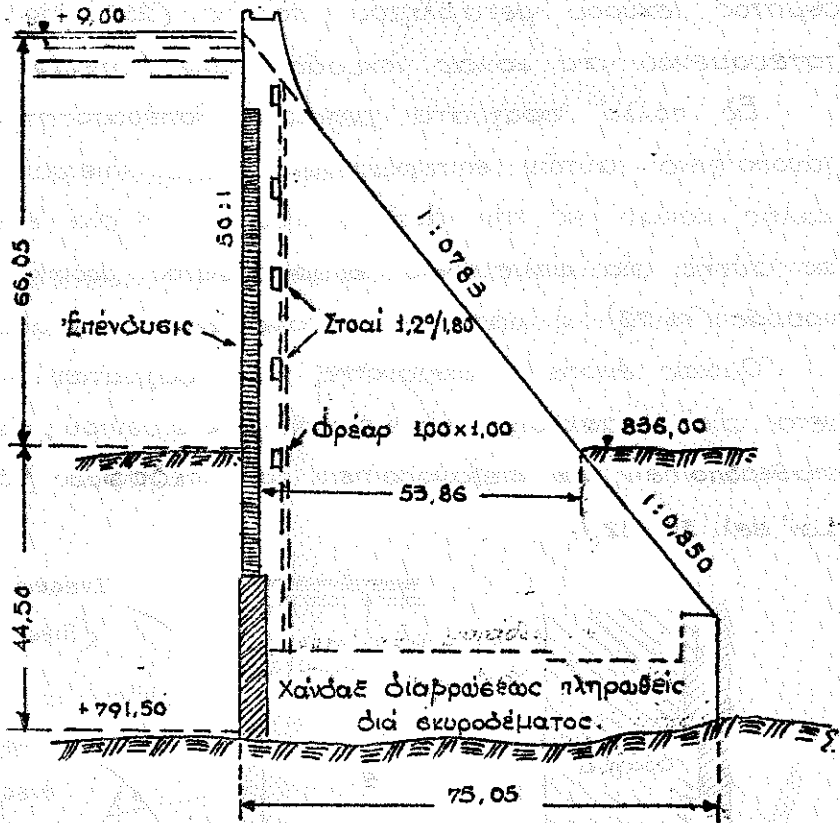
(Σκ. 72)



(Σκ. 72)

7. Γενικά παραδείγματα φραγμάτων βαρύτητας

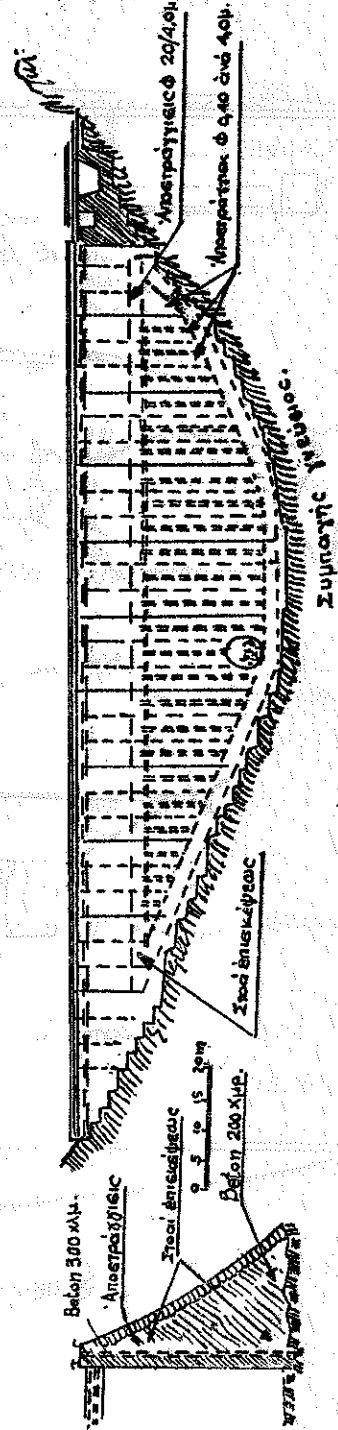
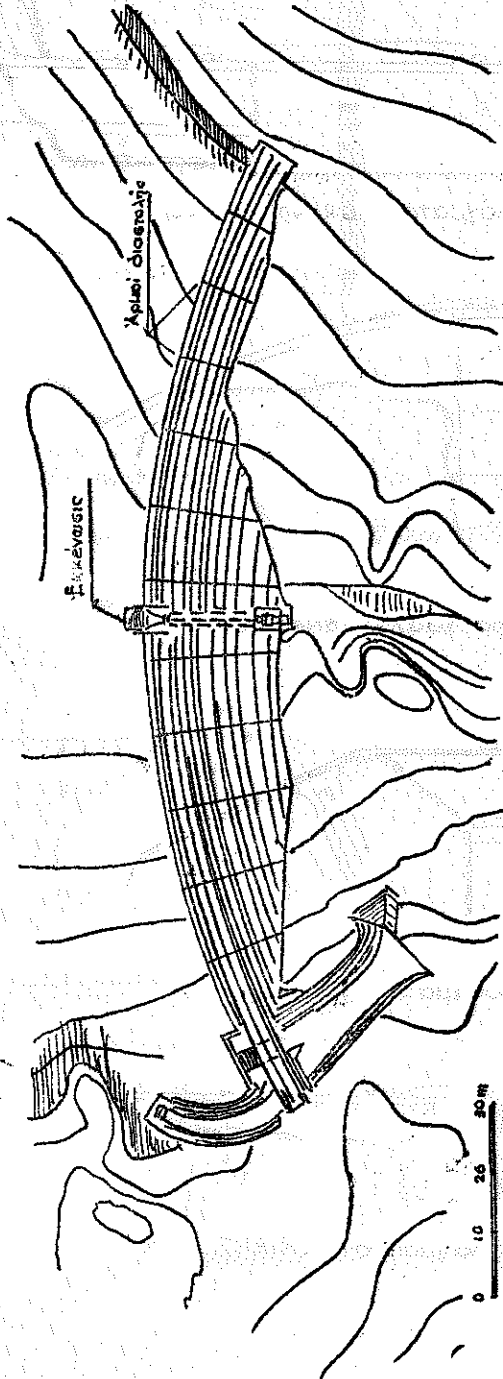
Είς τὸ εχ. 74 δίδεται τὸ φράγμα βαρύτητας Im. Schrah, ἐκ σκυροδέματος, ὅπερ προεξέταθη εἰς βάθος μέχρι συναντήσεως στερεοῦ ἐδάφους.



Σχ. 74. Φράγμα βαρύτητας.

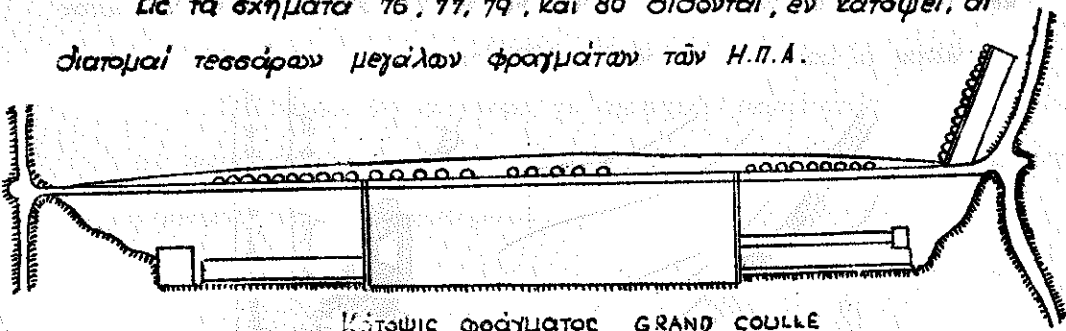
Εἰς τὸ εχῆμα 75 δίδεται ἡ κάτοψις, μηκοτομὴ καὶ διατομὴ τοῦ φράγματος Serbatia, ὕψους 30,0 μ., κατασκευασθέντος ἐκ σκυροδέματος ἀναλογίας 200 κιλ. περιβαλλομένου διὰ σκυροδέματος ἐκ 300 κιλ/μ³. Οἱ ἄρμιοι διαστολῆς τοποθετοῦνται ὄντα 12,0 μ. καὶ ὑπάρχουν δύο στοαὶ ἐπισκέψεως μία

κεκλιμένη παρακολουθούσα την διατομήν του εδάφους. Εις ταύτας
έκβάλλουν οι σωλήνες άποστραγγίσεως.

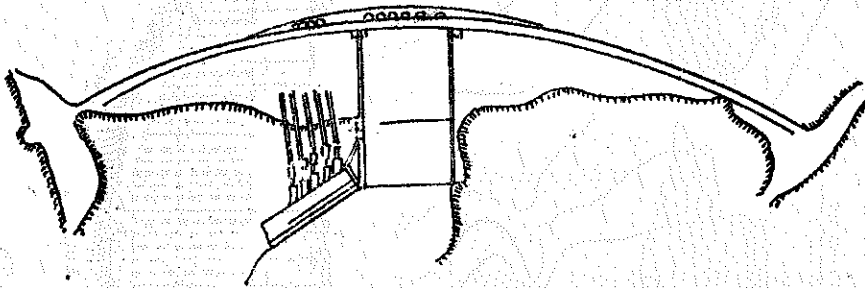


Σ. κ. 75.

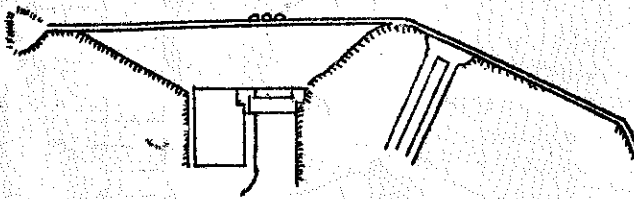
Εἰς τὰ σχήματα 76, 77, 79, καὶ 80 δίδονται, ἐν κατόψει, αἱ
διατομαὶ τεσσάρων μεγάλων φραγμάτων τῶν Η.Π.Α.



Κάτοψις φράγματος GRAND COULLE



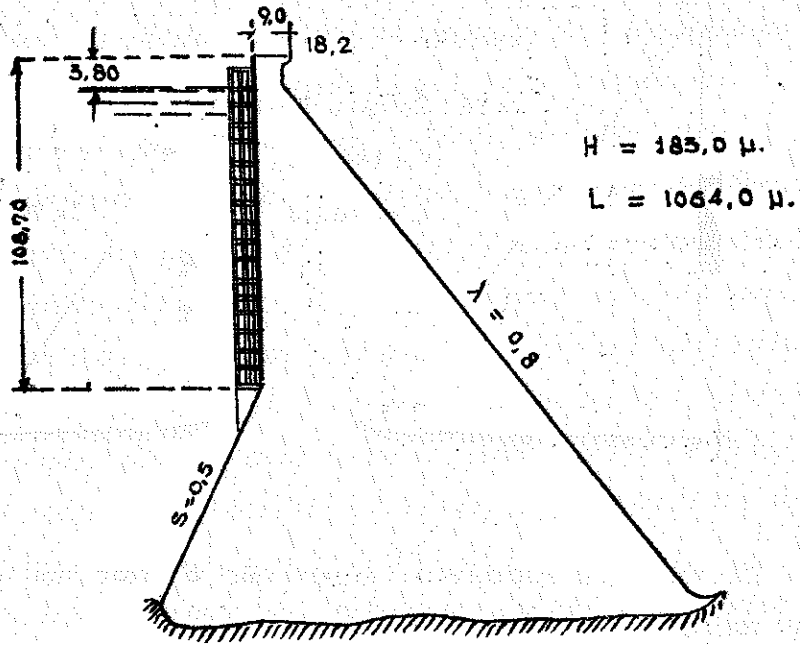
Κάτοψις φράγματος SNASTA



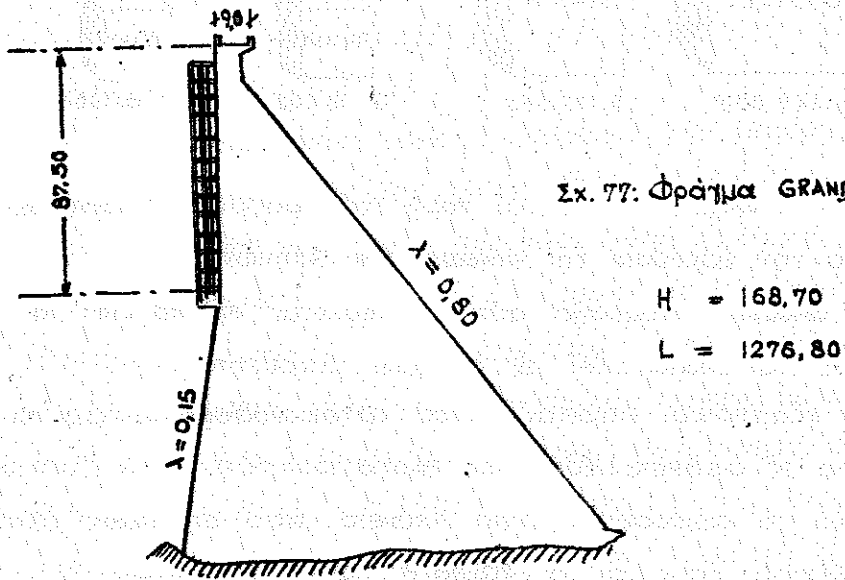
Κάτοψις φράγματος FONTANA



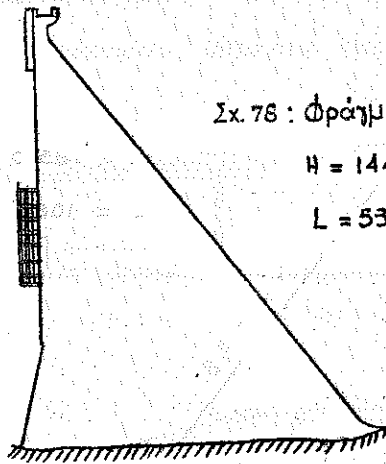
Κάτοψις φράγματος FRIANT.



Σχ. 76. Φράγμα SHASTA



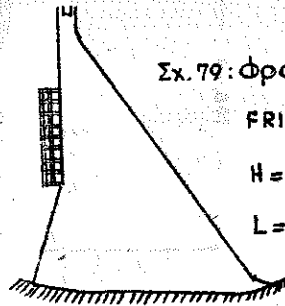
Σχ. 77: Φράγμα GRAND COULLE



Σχ. 78 : Φράγμα FONTANA

H = 144,0 μ

L = 530,0 μ



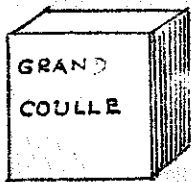
Σχ. 79 : Φράγμα

FRIANT

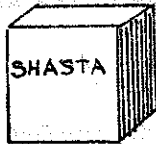
H = 91,20μ.

L = 1040,0μ.

Εἰς τὸ σχ. 80 ἐμφαίνεται εὐκριτικῶς ὁ ὄγκος τῶν φραγμάτων τῶν τούτων εἰς κυβικά μέτρα.



8.447.000



5.172.000



2.138.000



1.573.000

Εἰς τὸ σχῆμα 81 δίδεται τομὴ τοῦ φραγματος Μαραθῶνος διὰ τὴν ὑδρευσιν τῆς πόλεως τῶν Ἀθηνῶν.

Ἡ λεκάνη ἀπορροῆς αὐτοῦ ἀνέρχεται εἰς 110 κμ². Τὸ φράγμα ἔχει ὑπολογισθεῖ ὡς φράγμα βαρύτητας.

Αἱ ἐξωτερικαὶ παρεῖαι αὐτοῦ κατασκευάσθησαν διὰ τοιχοποιίας ἐξ ἀσβεστολίθου, ἥτις ἐχρησιμοποιήθη ἀντὶ ξυλοτύπου διὰ τὸ ἐκυρόδεμα, ὅπερ ἐκύνετο κατὰ στρώσεις ὕψους ἑνὸς μέτρου, ὅσον καὶ τὸ ἐκάστητε ὕψος τοιχοποιίας.

Οὕτω πλὴν τῆς πρακτικῆς σημασίας τῆς λιθοδομῆς

ως κυλοτύπου, θεωρείται και το φράγμα του Μαραθώνος ως το μόνον εν τῷ κόσμῳ ἐπευδεδυμένον διά μαρμάρου.

Τὸ εἰδικόν βάρος κατὰ τὴν μελέτην ἐλήφθη 2,3.

Ἡ ὑποπίεσις τοῦ ὕδατος ἐλήφθη τριγωνικὴ καὶ ἴση πρὸς $\frac{2}{3}$ ἠ ἀνάπτυξιν καὶ μηδὲν εἰς κατάντη. Ὁ τοίχος παραπετάσματος ἐδημιουργήθη διά τοίχου ἐκ σκυροδέματος 300 κιλιογράμμων εἰς βάθος 3,0-5,0 μέτρων καὶ ἐνισχύθη δι' ἐνέσεις βάρους 61,0 μ. εἰς ἀποστάσεις 1-5 μέτρων. Ἡ ὅλη βασις θεμελιώσεως ἐνισχύθη ὁμοίως διά ἐνέσεων (μιάς ἀνά 9μ²) βάρους 5-13μ.

Ὁ πυθμὴν τῆς λίμνης ἐκαλύφθη διά στρώματος ἀργίλου πάχους 13,0 μ. (ὄγκου 21,280 μ³).

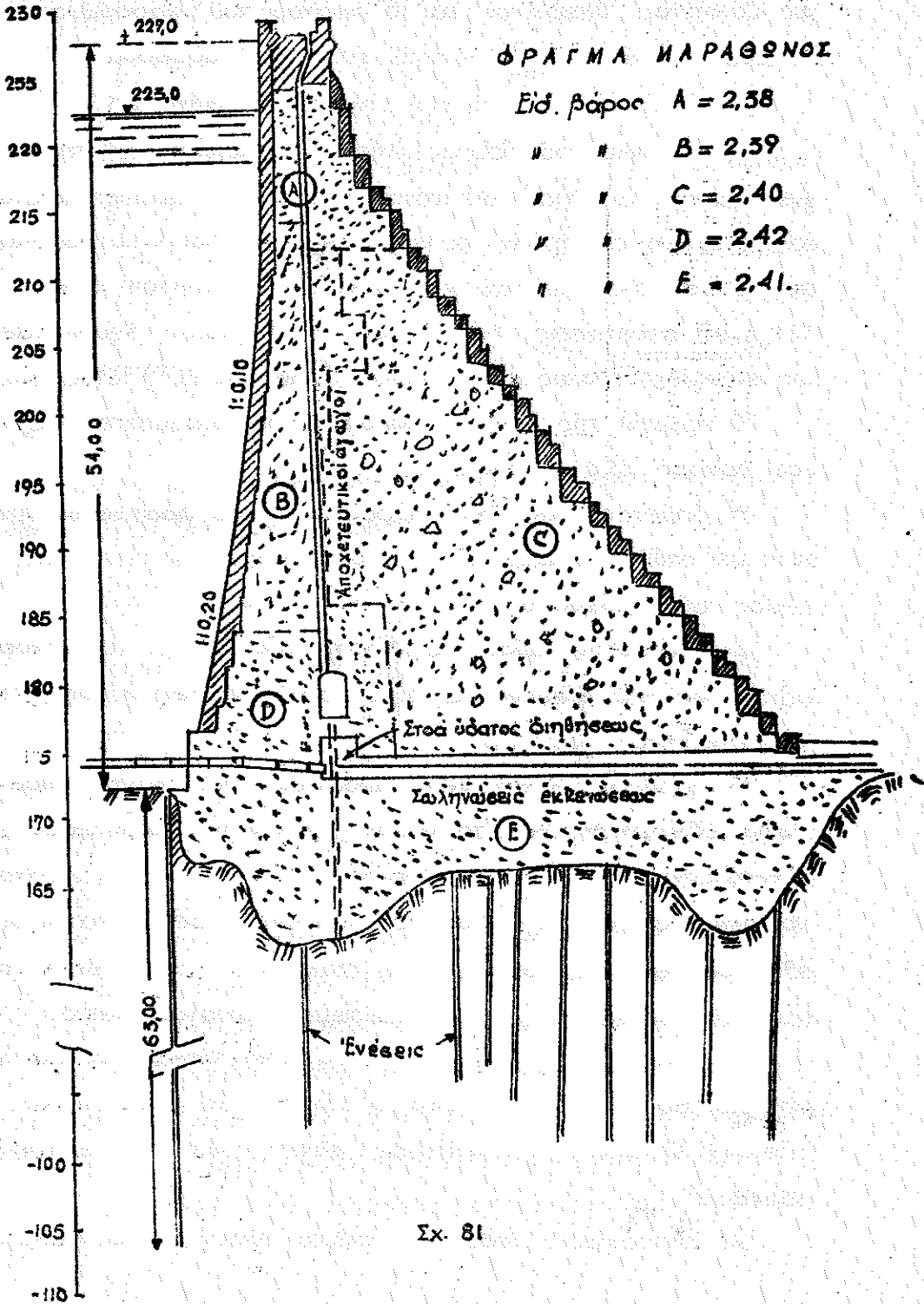
Ἡ ἀποστράγγισις τοῦ ἐδάφους καὶ τοῦ φράγματος ἐγένετο δι' ὀπῶν κατακορύφων ἀποληγούσων εἰς τὴν κατὰ μῆκος τοῦ φράγματος ὀριζοντίαν στοάν.

Διά μέγιστον ὕψος τοῦ φράγματος 54,0 μ. καὶ μῆκος αὐτοῦ εἰς τὴν στέψιν 285,0 μ. ἐδημιουργήθη λίμνη 2,5 κμ² χωρητικότητος 41 × 10⁶ μ³.

Ἡ προσδοκωμένη μέση ἀπόδοσις τῆς λεκάνης ἀπορροῆς ἐξετιμήθη εἰς 500 λ/ὄλιον (15,8 × 10⁶ μ³) ἀργότερον δὲ ὑπελογίσθη εἰς τὸ ἥμισυ περίπου. Οὕτω ἡ λίμνη μέ καταναλῶσιν ὕδατος 70-100.000 μ³ ἡμερησίως δὲν δύναται γὰρ ἐξυπηρετήσῃ τὰς Ἀθήνας καὶ διά τὰς πληρωθῆναι θέλει τρία ἔως ἑξὶ συνεχῆ ἔτη ἄνευ οὐδεμίᾳ καταναλώσεως.

Ὁ ὄγκος τοῦ φράγματος (ἄνευ λιθενδύσεως) ἀνέρχεται εἰς 152,250 μ³ ἐξ ὧν 22000 μ³ ἀρχοὶ λίθοι (κυκλώπειον μπετόν). Ὁ ὄγκος λιθενδύσεως εἶναι 17,140 μ³. Ἐκκαφαὶ 55540 μ³.

Αἱ διατρήσεις 1052 τὸν ἀριθμὸν ἔχουν μῆκος 19850 μ.



Σχ. 81

καί κατανάλωσιν 2506 τόννους σιμιέντου. Τό ἔργον διήρκεσε μίαν τριετίαν μέ μέσον ἡμερησίον ἀριθμόν ἐργαζομένων 900.

Εἰς τό εἰχ. 82 δίδεται τομή τοῦ φράγματος Norris, τῆς Tennessee Valley Authority ὕψους 79.0 μ. τύπου βαρύτητος.

Ἐκ παραλλήλου δίδονται αἱ κατακόρυφοι ($\delta\epsilon$) αἱ παράλληλοι πρὸς τὰς ἑξωτερικάς παρειάς ($\delta\alpha$) καί αἱ διαιμητικάί τάσεις εἰς τὰ δύο ἄκρα τοῦ φράγματος καί εἰς διάφορους τομιάς αὐτοῦ ὑπολογιζόμεναι διὰ τῶν ἀπλῶν μεθόδων τῆς ἀρχῆς τοῦ παρόντος κεφαλαίου.

Εἰς τό αὐτό εἰκῆμα δίδεται δι' ἑκάστον ὀριζόντιον ἐπίπεδον ἀνά 15,80 μ. ὁ συντελεστής ὀλισθήσεως.

$$\epsilon\phi\gamma = \frac{H}{B-A} \quad (\beta\lambda. \text{σελ. } 29)$$

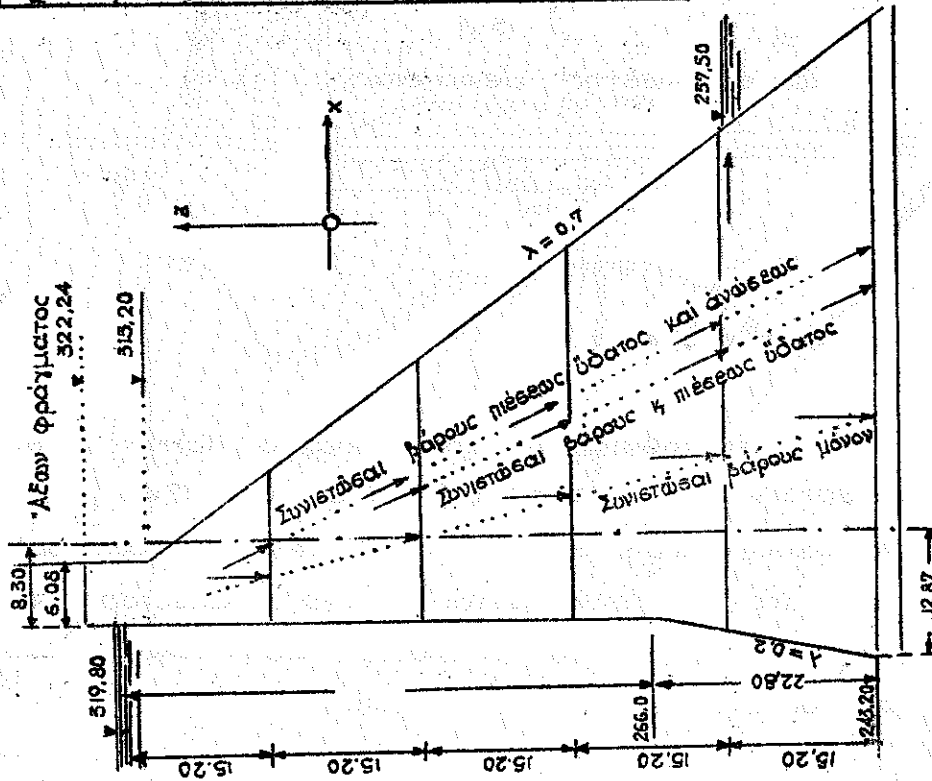
καί συντελεστής ἀφραλείας :

$$\eta = \frac{f(B-A) + F.T}{H}$$

Ἄ σ κ ῆ σ ι ς.

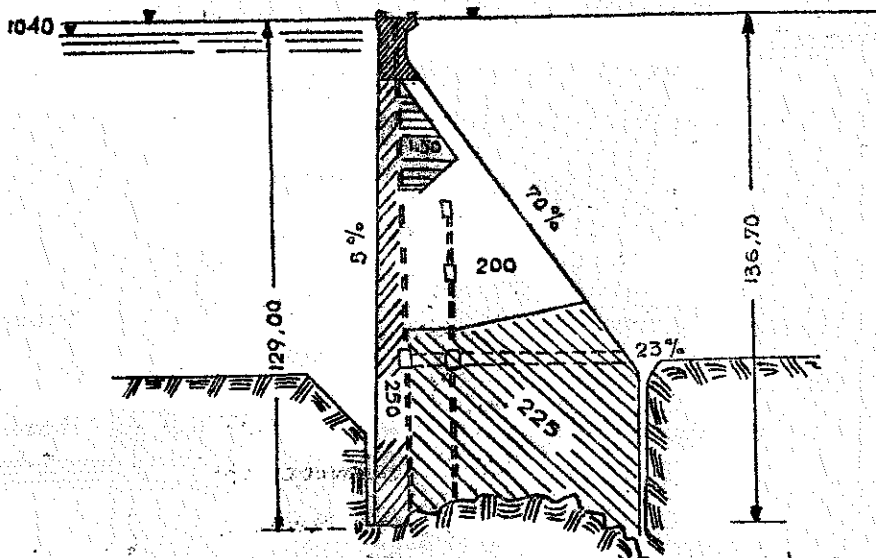
Νά ἐπαληθευθῶσιν διὰ τό φράγμα Norris οἱ συντελεσταί η εἰς βάθη 15,80 - 31,60 καί 47,40 μ. καί νά ὑπολογισθῶσιν εἰς τὰ αὐτά βάθη αἱ τάσεις ευμφανως πρὸς τόν γενικευμένον κανόνα τραπεζίου (εἰδῶς εἰς 30, σελ. 59) καί νά ὑπολογισθῶσιν μέχρι τοῦ αὐτοῦ βάθους αἱ ροπαί τῶν τάσεων.

Μ. f.	Μέσος Συν/σητή Όμιλος	Τάσεις εντός του φράγματος										Συν/σητή Αφραλά η.						
		Ανεπτυγ					Κατόντη					Πλήρης	Κενή	Σ ₂	Σ ₁			
		κενή	Σ ₂	Σ ₁	Σ ₂	Σ ₁	Πλήρης	Σ ₂	Σ ₁	Σ ₂	Σ ₁							
6,08	-																	
14,62	0,398	3,17	3,17	3,33	3,33	0	1,56	1,84	2,72	1,3	0,05	0,75	34,4					
23,26	0,561	8,64	8,64	4,15	4,15	0	2,99	4,49	6,67	3,13	10,06	0,95	15,9					
35,90	0,635	12,16	12,16	4,69	4,69	0	4,49	7,35	10,95	5,17	10,07	10,11	10,4					
48,06	0,660	14,55	14,9	5,31	5,5	0,14	5,99	10,27	15,24	7,14	0,82	1,23	8,1					
61,74	0,666	15,85	16,31	6,67	6,1	0,27	7,42	14,01	19,70	8,3	7,75	3,34	7,1					



Σχ. 81 : Κάθετοι, διατηρητικοί και παράλληλοι προς τας παρειάς τάσεις του φράγματος Norris εις T. V. A.

Εἰς τὸ σκῆμα 83 ἐμφαίνεται τὸ φράγμα βαρύτητος Cham-
bon, Γαλλίας, ὅπερ ἔχει λεκάνην τροφοδοτήσεως 250 κμ², καὶ
ῥον ἀποθηκεύσεως 54 ἑκατομ. μ³ καὶ ἔκτασιν λίμνης 1,4 κμ²
μέ μέσθην παροχὴν 8,8 μ³ καὶ μεγίστην 80 μ³/ὄλον. Τὸ φράγμα
ἔχει ὕψος ὀλικόν 136,70 μ. ἀπὸ τῆς θεμελιώσεως καὶ 80,0 μ.
ἀπὸ τῆς κοίτης καὶ μήκος βτέψεως 293,60 μ. Ὁ ὄγκος σκυρο-
δέματος ἀνέρχεται εἰς 300.000 μ³ μέ πυκνότητα 2,3. Αἱ
ἀναλογίαι σκυροδέματος ἐξελέγησαν ἀναλόγως τῶν τάσεων

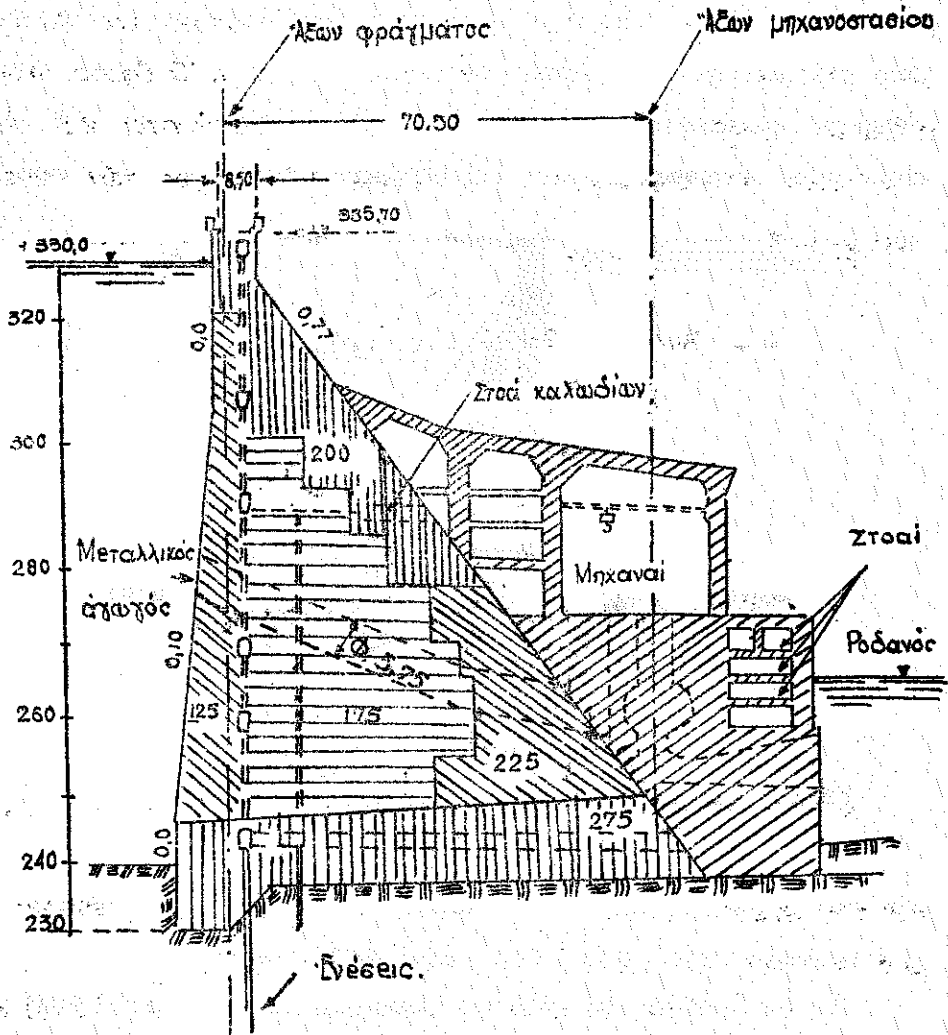


(Σχ.83) Φράγμα Chambron (Normandie, Bassin du Drac).

καὶ τῆς στεφανώσεως καὶ ἔχουσιν ἀναλόγως τῆς θέσεως πε-
ριεκτικότητα 150, 200, 225 καὶ 250 κιλ/μ³.

Εἰς τὸ σκῆμα 84 δίδεται φράγμα Genissiat (1948) ἐν
ἀπὸ τὰ μεγαλύτερα ἔργα τῆς Electricité de France, ὅπερ
ἔχει λεκάνην ἀπορροῆς 10910 κμ², μέσθην παροχὴν 395 καὶ
μεγίστην 2000 μ³/ὄλον. Ἡ ἀποθηκευομένη ποσότης ὕδατος

ἀνέρχεται εἰς 33 ἑκατομ. μ^3 (ἢ χρήσιμος $12 \mu^3$) καὶ ἡ ἐπιφάνεια τῆς λίμνης εἶναι $3,50 \text{ km}^2$. Τὸ μέγιστον ὕψος ἐκ θεμελίων εἶναι $103,70 \mu$. καὶ ἔχει μῆκος 140μ .



Σχ. 84: Φράγμα Genissiot ἐπὶ τοῦ Ροδανοῦ (οἱ ἀριθμοὶ δίδουν τὰς ἀναλογίας εκατοδόμετος).

III-2. ΤΡΙΩΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ.

Γενικότητες.

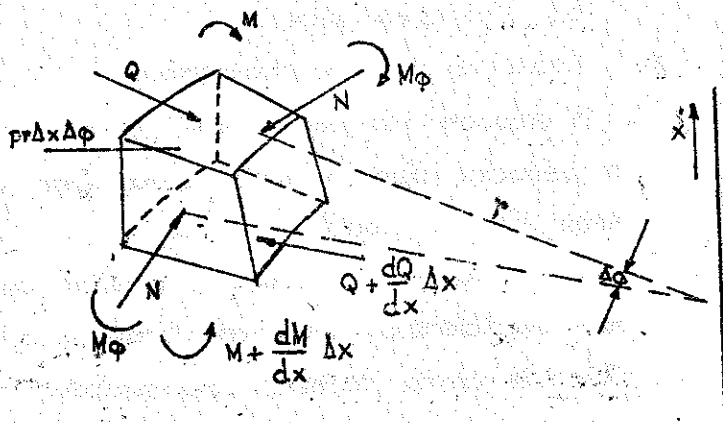
1. Υπολογισμός κυλινδρικών φορέων.
2. Υπολογισμός άμφιπλάκτων τόξων.
 - α - Αί παραμορφώσεις τών φορέων
 - β - Άλλαί μέθοδοι ύπολογισμού τών άμφιπλάκτων τόξων.
 - β.1. Γεωμετρική μέθοδος
 - β.2. Έμπειρικοί μέθοδοι.
 - γ - Άναλυτική μέθοδος ύπολογισμού
 - δ - Ή έπιρροή τών μεταβολών τής θερμοκρασίας
3. Ή μέθοδος άμφιεπιπέδου κατανομής φορτίσεων (Trial - load method).
4. Γενική άναλυτική μέθοδος τοξωτών φραγμάτων (πιοδιδάκτατος έντατική κατάσταση).
5. Παραδείγματα τοξωτών φραγμαμάτων.

III-2. ΤΟΞΩΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ.

Γενικότητες.

Τὰ πλείστα τῶν φραγμάτων βαρύτητες κατασκευάζονται καμπύλα ἐν κατόψει. Διὰ φράγματα μικροῦ μήκου ἢ καμπυλότης αὐτῶν προκαλεῖ μεταδόσιν ἀθήσεων εἰς τὰς κλίσεις, ἰδίᾳ εἰς τὰ καμηλότερα ὄριζόντια τμήματα αὐτῶν, ὥστε τὰ τμήματα αὐτὰ ἐργάζονται ὡς ἀμφίπακτα τόξα...

Ἦτο φυσικὸν ὅθεν οἱ μηχανικοὶ κατὰ τὸν ὑπολογισμὸν ναί



Σχ. 85: Ἐντατική κατάσταση εἰς καμπύλον ἐν κατόψει φράγμα.

λαμβάνουσι ὑπ' ὧν τὰς μεταβιβάσεις τῶν ἀθήσεων αὐτῶν, με' ἄμεσον συνέπειαν τὴν καταπόνησιν τοῦ ὕλικου καθ' ὅλας τὰς διευθύνσεις καὶ τὴν μεταβίβασιν τῶν δυνάμεων.

εις μεγαλύτερας επιφανείας. Προκύπτουν κατά τοιαύτον τρόπον μικρότεροι διαστάσεις τῶν ἔργων καὶ ἐπομένως οἰκονομία ὑλικοῦ.

Ἡ γενικὴ θέσις τῶν συνθεταζομένων μορφῶν τόξου ἐμφαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 85, ὅπου πλὴν τῶν ροπῶν M καὶ M (μὲ ὀριζάντιον ἄξονα στροφῆς) ἐμφανίζονται τὰρα καὶ αἱ ροπαὶ αἱ ὀφειλόμεναι ἐκ τοῦ τόξου $M\phi$ καὶ $M\phi$ (μὲ κατακόρυφον ἄξονα στροφῆς) καὶ αἱ ὀρθαὶ τάσεις N, N δυνάμεων μεταβιβαζομένων εἰς παρακειμέναν - εἰς καθέτων τομῶν καιριζομένων - τμημάτων τοῦ φράγματος.

Ἐκ τῶν φορτίσεων τούτων ἂν λάβωμεν τὰς ἰσορροπίας δυνάμεων καὶ ροπῶν προκύπτουν αἱ ἐξισώσεις:

$$Q = \frac{dM}{dx} \quad (1)$$

$$P = \frac{N}{T} + \frac{dQ}{dx} \quad (2)$$

αἵτινες συνδυάζονται μᾶς εἰς:

$$P = \frac{N}{T} + \frac{d^2M}{dx^2} \quad (3)$$

Ἐὰν ἡδὴ καλέσωμεν w τὸ βέλος κάμψεως κατὰ τὴν κατεύθυνσιν τῶν δυνάμεων καὶ h τὸ μεταβλητὸν πᾶχος τοῦ τοίκου (κατὰ τὴν ἔννοιαν τῆς ἀκτίνος) θὰ λάβωμεν:

$$N = Eh \frac{w}{r} \quad (4)$$

καὶ λόγω τῆς καμπυλότητος τῆς κατασκευῆς :

$$M = + \frac{E\zeta}{1-r^2} \frac{dw}{dx^2} = \frac{Eh^3}{12(1-r^2)} \frac{d^2w}{dx^2} \quad J = \frac{1 \cdot h^3}{12} \quad (3)$$

όπου

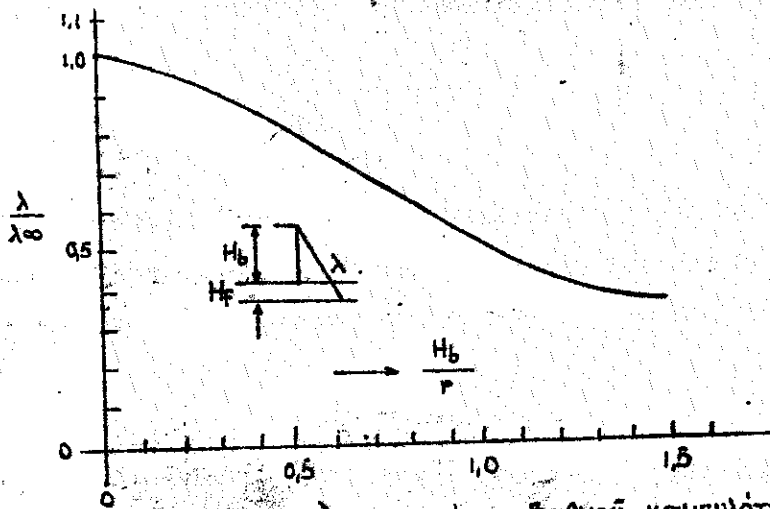
$$M\phi = r M \quad (r \text{ διαί βεση} = \sim \frac{1}{6} \text{ (συν/της Poisson)}) \quad (6)$$

Εκ τών ανωτέρω εξισώσεων προκύπτει η γενική διαφορική εξίσωση :

$$P = Eh \frac{w}{r^2} + \frac{E}{12(1-r^2)} \frac{d^2}{dx^2} \left(h^3 \frac{d^2w}{dx^2} \right)$$

ής, η λύσις δίδει τας μετακινήσεις και εἰς αὐτῶν τὰς τάσεις εἰς τὰ διάφορα τμήματα τῆς κατασκευῆς. Ἡ ἐπίλυσις εἶναι ἀρκετὰ δυσχερῆς ἐπιτεγχανομένη διαί κυλινδρικών συναρτήσεων μιγαδικῶν ἀριθμῶν.

Ἀναλόγως τοῦ βαθμοῦ καμπυλότητος τοῦ φράγματος $\frac{H}{r}$ (H ὕψος ἄνευ τῶν θεμελίων, r ἡ ἀκτίς τοῦ τόξου) ἐλαττοῦται ἀντιστοιχῶς τό πᾶχος τῆς βάσεως τοῦ τοίχου B (B = λH) καί μειοῦται ἡ κλίσις τῆς πρὸς τὰ πλευρᾶς τοῦ φράγματος. Καλοῦντες λ_∞ τὴν κλίσιν φράγματος



Σχ. 86. Ἰσχύς κλίσεων $\frac{\lambda}{\lambda_{\infty}}$ συναρτῆσαι βαθμοῦ καμπυλότητος.

καθαρῶς τύπου βαρύτητας καὶ εὐθυγράμμου (ἀκτίς καμπυλό-
τητος $r = \infty$) καὶ λ τὴν κλίσιν δια' ἀκτίνα τόξου r , λαμβά-
νομεν τὸ κάτωθι ὑπὸ τοῦ Tölke δίδόμενον, διάγραμμα

τοῦ $\frac{\lambda}{\lambda_{\infty}}$ συναρτήσει τοῦ $\frac{H_b}{r}$ (βλ. σκ. 86)*

Ἐάν λαβῶμεν παράδειγμα φράγματος 80,0 μ. ὕψους
μὲ διαφόρους ἀκτίνας καμπυλότητος καὶ ζητήσωμεν τὸ λ
διὰ μεγίστας κατακόρυφους (σ_b) καὶ ὀριζοντίαις τάσεις
(σ_{θ}) εἰς τὸ πέλαμα ἴσας μὲ 25 ατ. λαμβάνομεν τὰς ἀκολου-
θοῦς κλίσεις τῆς πρὸς τὰ κατάντη πλευρᾶς τοῦ φράγματος
(μὲ πλευρὰν πρὸς τὰ ἀνόνηθ θεωρουμένην κατακόρυφον) :

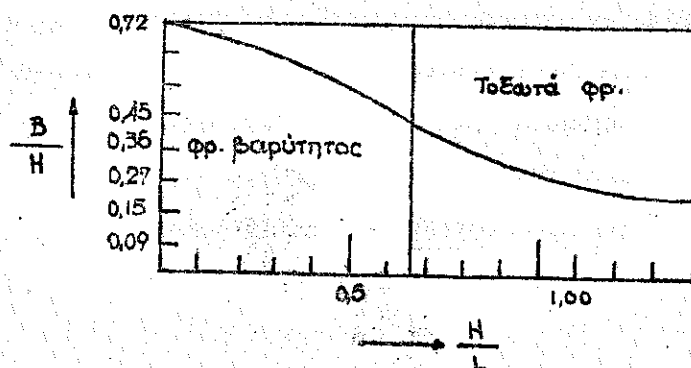
$r = \infty$	$\lambda = 0,72$
$r = 250 \mu.$	0,666
$r = 150$	0,590
$r = 100$	0,465
$r = 60$	0,291

Ἐκ τοῦ πίνακος τούτου παρατηροῦμεν ὅτι μὲ μίαν
ἐλαφρὰν ἀκτίνα καμπυλότητος $r = 250 \mu.$ ἡ οἰκονομία ὑ-
λικοῦ κατέρχεται εἰς 8% καὶ δύναται αὕτη γὰ φθᾶσις
εἰς 60% (1 : 2,5 περίπου) δι' ἀκτίνας καμπυλότητος $r = 60,0$
μέτρα.

Ἦτο εὐνόητον ἔθεν ἢ κατεύθυνεις τῶν μηχανικῶν
πρὸς τὰ φράγματα μορφῆς τόξου. Ἡ ἐφαρμογὴ τῆς μορ-
φῆς ταύτης ἐξαρτᾶται ἐξ ἄλλου ἐκ τῆς ἀναλογίας τοῦ
μήκους τοῦ φράγματος εἰς τὴν ἐπέψιν (ἀνοίγμα κοιλί-
δος) πρὸς τὸ ὕψος καὶ ἐπομένως (ὡς ἀνεπτύκθη ἀνωτέ-
ρα) καὶ πρὸς τὸ ὕψος τοῦ φράγματος.

*. Tölke : Talsperren . Berlin 1938 (σελ. 444).

Ούτω εἰς τὸ σχῆμα 87 δίδεται ἡ εὐσκέτισις ὕψους (H) πλάτους εἰς βάσιν (B) καὶ μήκους (L) τοῦ φραγματος καὶ αἱ περιοκαί, ἔνθα αἱ ἀναλογίαι αὗται καταλήγουν εἰς φραγματα βαρύτητος ἢ τοξωτά.



Σχ. 87. Σχέσις H, B, L εἰς ἐκλογὴν τύπου φραγματος.

Ἡ ἐπιλογή τῶν τοξωτῶν φραγμάτων εἶναι προφανές ὅτι προσέκυψεν κατ' ἀρχὴν εἰς πολὺ στενάς καραίδρας μεγάλου ὕψους ὅπου ἦτο φυσικὸν νὰ σκεφθῶσιν αἱ μελετηταὶ τὸν φραγμὸν τῆς καραίδρας διὰ τοξωτῶν κατασκευῶν μικροῦ πάχους, ἔνθα διὰ φραγμάτων βαρύτητος θαὶ κατέληγον εἰς πλατὴ πυθμένος ὑπερβολικά.

Εἰς τὸ σχῆμα 88 δίδεται ἡ τομὴ τοῦ τοξωτοῦ φραγματος εἰς *Montsaules*.

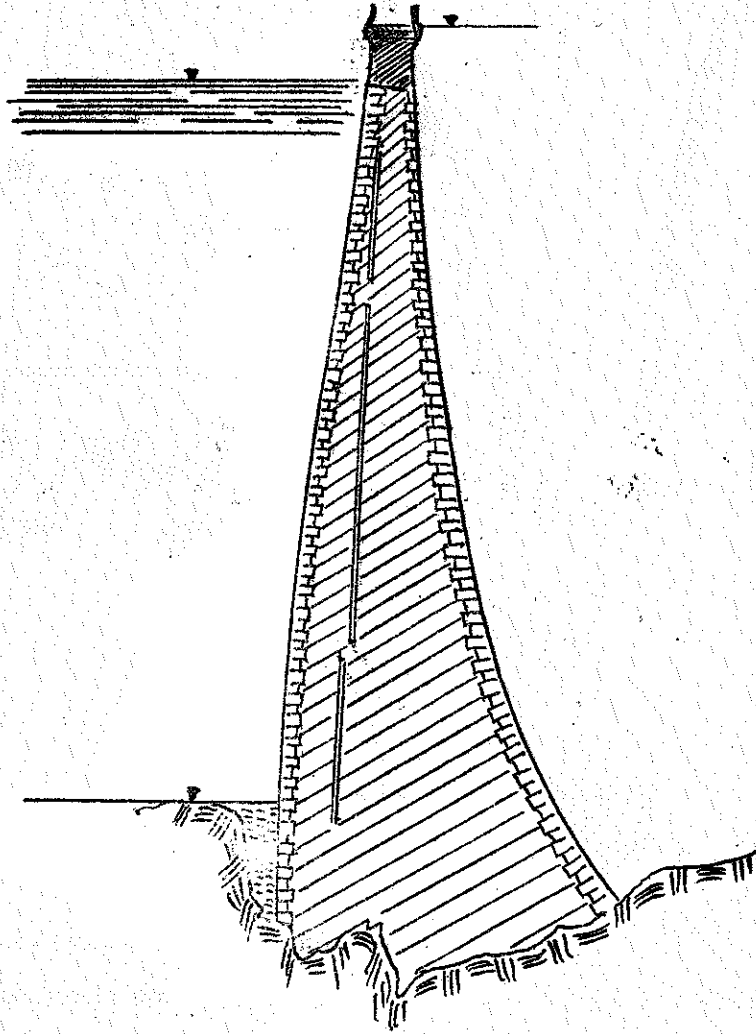
Ἡ διατομὴ τῆς κοιλάδος, ἡ διατομὴ καὶ ἡ κάτοψις τοῦ φραγματος *Shoshone* δίδονται εἰς τὸ σχῆμα 89.

Ἡ διατομὴ τῶν τοξωτῶν φραγματίων λαμβάνει ἰσίορρυθμα σχήματα ἀναλόγως τῶν ἐφαρμοζομένων ἀκτίνων καμπυλότητος εἰς τὰ διάφορα καθ' ὄψος τμήματα τοῦ φραγματος.

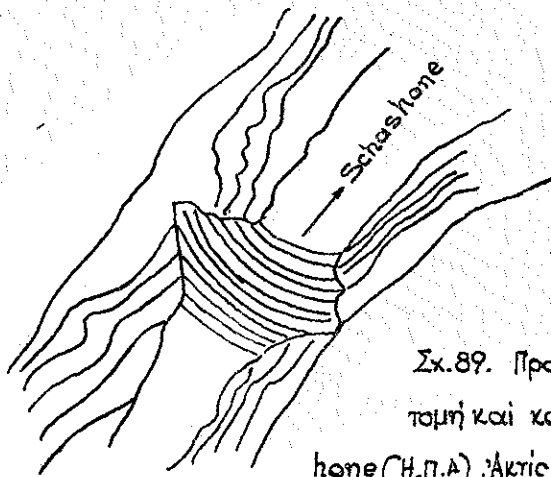
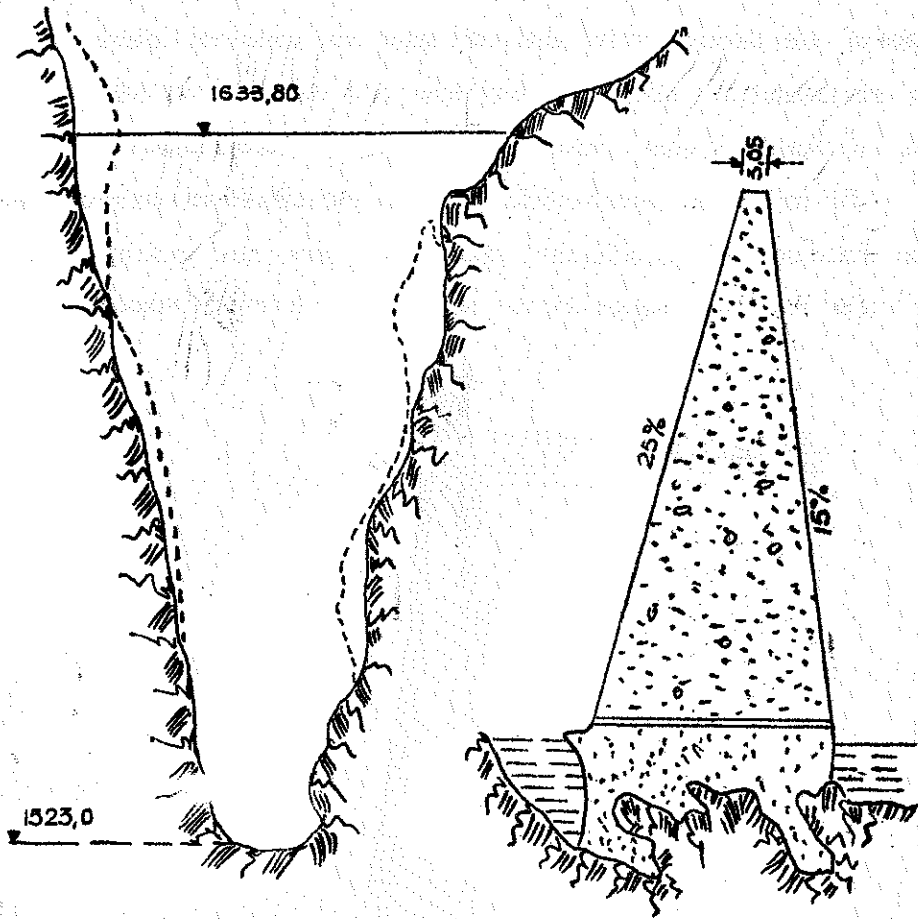
Εἰς τὸ φράγμα *Seminoe* ἐτηρήθη κατακόρυφος ἀνάγνη

παρειά με μεταβλητήν ακτίνα προς τὰ κατόντη ὥστε τὰ τόξα εἰς σφαιρικά ὀριζόντια ἐπιπέδα νά εἶναι ἰσοπακῆ (βλ. σκ. 90) ἐνώ ἡ διατομή ἔχει πρὸς τὰ κατόντη ὁμοιομορφον κλίειν.

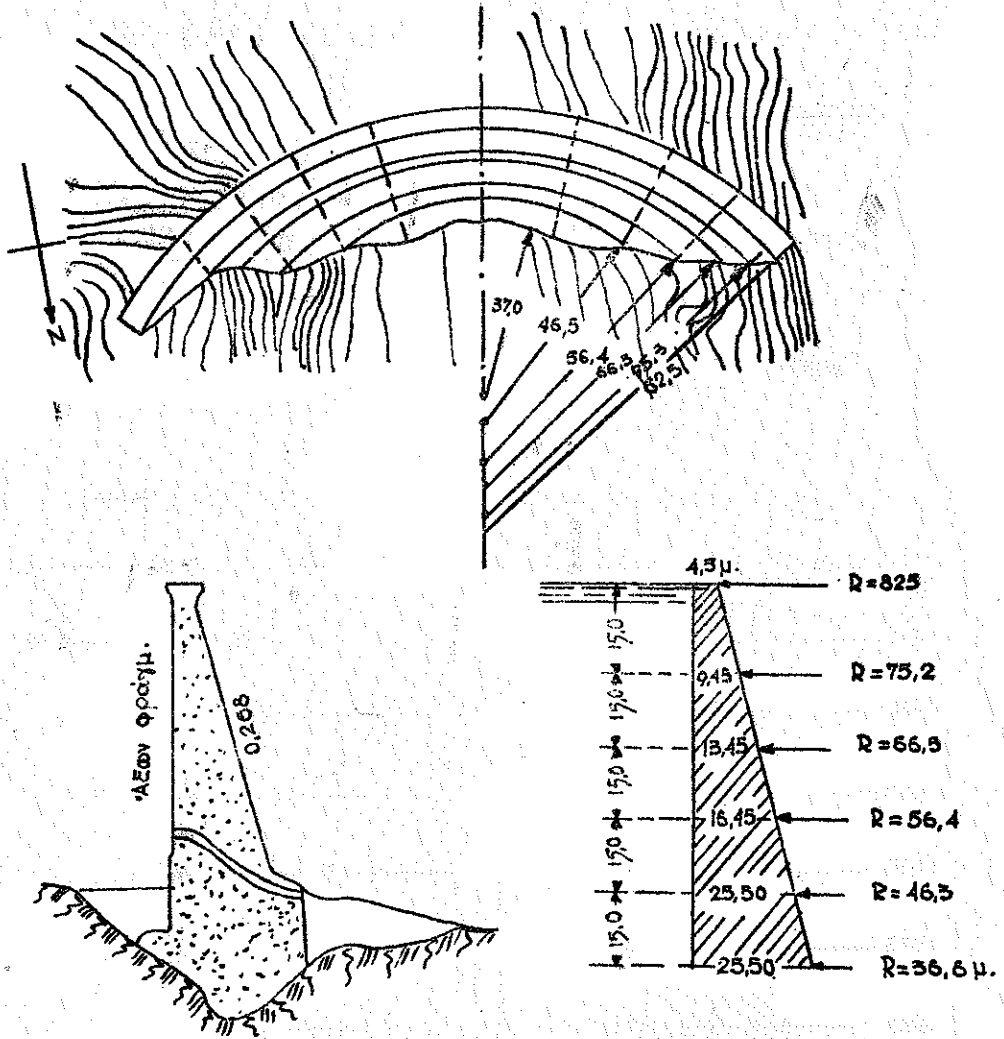
Εἰς τὰ τόξα μεταβλητῆς ακτίνος τὸ μέγεθος αὐτῆς μειοῦται ἐφ' ὅσον πλησιαζόμεν πρὸς τὴν βάειν τοῦ φράγματος. Τὰ τόξα ταῦτα ἐφαρμόζονται κυρίως εἰς στενάς καράσφρας.



Σκ. 88. Διατομή τοξοειδοῦ φράγματος Montsalves.

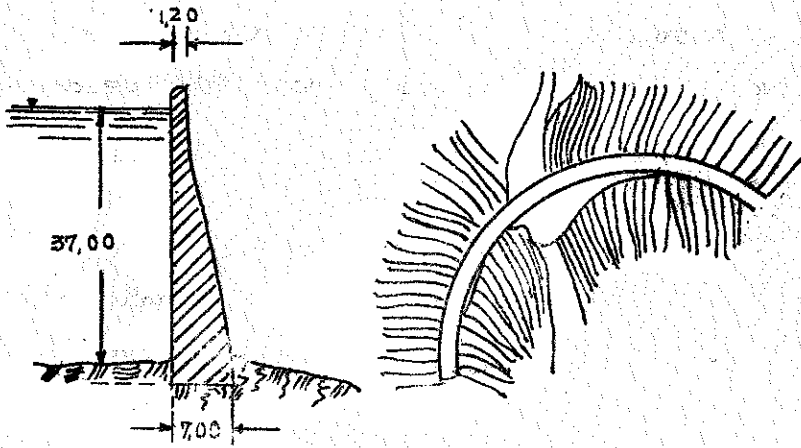


Σχ.89. Πρόσοψις (διατομή κοιλάδος),
τομή και κάτοψις του φράγματος Schas-
hone (Η.Π.Α.) : Άκτις εις τὸν ἄξονα τῆς στέψεως
45,0 μ. Τοικῶματα ἐκ γρανίτου. —

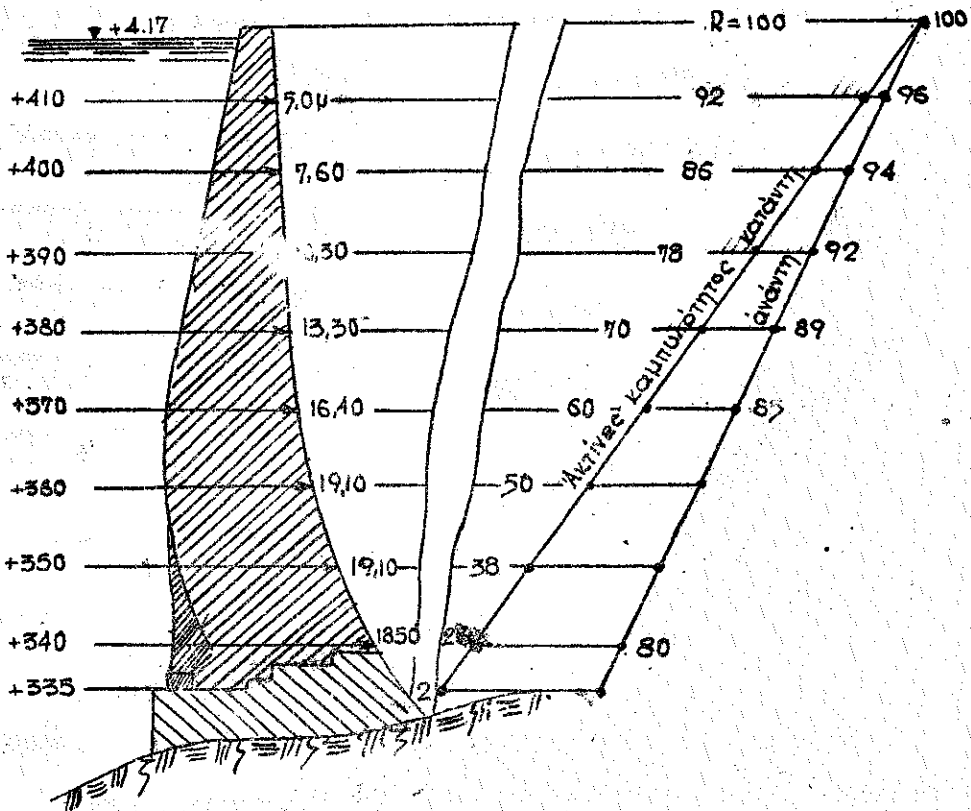


Σχ. 90. Κάτοψις και διατομή φράγματος Σαμίνος (Η.Π.Α) με μεταβαλλομένη ακτίνα και κατακόρυφον ανάντη πλευράν.

Εἰς τὸ σχ. 91 δίδεται ἡ τομή τοῦ φράγματος Κορφίνο, ὅπερ δι' ὄψος 370 μ. κατασκευάσθη με μέγιστον πλάτος βάσεως 20 μ. [$\lambda = 0,19 (1)$] με ἐξαιρετικὴν ἐλαστικότητα ἐπιδείξαν ἀρίστην ἀντοκίην καὶ ἐναντι σεισμῶν.



Σχ. 91: Τομή και κάτοψη φράγματος Corfino (ΙΤΑΛΙΑ).



Σχ. 92. Τομή φράγματος Mareges (ΓΑΛΛΙΑ) (1:1000).

Ακτίνες καμπυλότητας ανάκτηση R κατόψη πάχη. Ύψόμετρα.

Εἰς τό εἶδημα 92 δίδεται ἡ τομή τοῦ γαλλικοῦ τόξου φράγματος *Maréges* μεγίστου ὕψους 90 μ. θεμελιωθέντος ἐπὶ γρανίτου, ὅπερ κατασκευάσθη μὲ μέγιστον πλάτος εἰς τὴν βᾶσιν 19,0 μέτρων.

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω παραδειγμάτων ἐμφαίνεται ἡ προσπάθεια φραγμοῦ τῶν κοιλάδων διὰ ἀμιγῶν τρεῶν φραγμάτων. Ἡ ἐμφάνισις αὐτῶν εἶκον ὡς βᾶσιν ὑπολογισμοῦ τὴν ἀναλυσιν τοῦ πεπακτωμένου εἰς τὰ δύο ἄκρα.

Τὸ φράγμα ἀναλύεται εἰς τμήματα δακτυλίων πεπακτωμένα κατὰ δύο ἄκρα μὲ φόρτισιν τὴν ὑδροστατικὴν πίεσιν μεταβαλλομένην μετὰ τοῦ βᾶθους τοῦ δακτυλίου καίωθεν τῆς στάθμης τοῦ ὕδατος (διὰ πλήρη φόρτισιν τοῦ φράγματος). Οἱ δακτύλιοι οὗτοι ὑπελογίζονται κατ' ἀρκὴν ὡς κυλινδρικοὶ φορεῖς μὲ μόνον ὀρθὰς πίεσεις ὡς ὑπολογίζονται οἱ σωληνες (1 ὑπολογισμὸς κυλινδρικῶν τόξων).

Εὐθύς ἀμέσως ὅμως ἐγένετο ἀντιληπτόν ὅτι ἐλάμβανον παραμορφώσεις ὀφειλόμεναι εἰς ἀνάπτυξιν ῥοπαῶν καὶ κάμψης καί πλάγιαι ἀθήσεις τῶν στηριξέων (αἱ καλούμεναι ὀριζόντιοι ἀθήσεις εἰς τόξα κείμενα καί φορτιζόμενα ἐντὸς κατακορυφῶν ἐπιπέδων). Κατόπιν τούτου ὑπελογίζονται οἱ δακτύλιοι τῶν φραγμάτων ὡς ἀμφίπακτα τόξα (2 ὑπολογισμὸς ἀμφίπακτων τόξων).

Δι' ἀπλῆς ἐξετάσεως ἑμᾶς ἑκάστου ἀμφίπακτου τόξου, τῶν προκυπτουσῶν δυνάμεων διατμήσεως κάμψεως καὶ ὀρθῶν δυνάμεων ἐγένετο ἀντιληπτόν ὅτι ἕκαστον ἀμφίπακτον τόξον μετεβίβαζεν εἰς τὸ ὑποκείμενον φορτίσεις ἐμφανιζόμενας ὡς δυνάμεις, ῥοπαὶς κάμψεως καὶ ῥοπαὶς στρέψεως, φορτίσεις μὴ δυναμείας, ἐνίοτε, νὰ παραλειφθῶσιν εἰς

τῶν ὑπολογισμῶν. Πρὸς κάλυψιν τῶν φαινομένων αὐτῶν ὑπολογίζονται αἱ μεταβιβάσεις τῶν φορτίων ἐκ τοῦ ἑνὸς ὀσφυλίου εἰς τὸν ἄλλον. Ὁ ἄμεσος τρόπος τοῦ ὑπολογισμοῦ τούτου θὰ ἦτο δυσχερὴς καὶ διὰ τὸν λόγον αὐτὸν ἀντὶ τῶν ὑπολογιζαντων αἱ δυνάμεις ὑπολογίζονται αἱ μετακινήσεις τῶν διαφόρων σημείων τοῦ φράγματος.

Αἱ ἑξωτερικαὶ φορτίσεις (κυρίως ἡ πίεσις τοῦ ὕδατος καὶ τὸ βάρος τοῦ φράγματος ἢ ἡ συνισταμένη αὐτοῦ καθέτως πρὸς τὸν ἄξονα τοῦ φορέως) ἀναλύονται εἰς δύο τμήματα ἕξ ἃν τὸ ἓν παραλαμβάνεται ὑπὸ τοῦ φορέως ἐνεργοῦντος ὡς ἀμφίπακτον τόξον, τὸ δὲ ἕτερον ὑπὸ τοῦ φορέως ἐνεργοῦντος ὡς πρόβολος πεπακτωμένος εἰς τὴν βᾶειν τοῦ φράγματος.

Ἡ ἀναλογία τῆς διανομῆς τῆς ἀμφιεπιπέδου ταύτης φορτίσεως τοῦ φορέως (φορτίσις κατὰ ὀριζόντια καὶ κατακόρυφα ἐπίπεδα) θὰ προκύψῃ ὅταν αἱ παραμορφώσεις αἱ προκαλούμεναι ἐκ τῶν δύο τμηματικῶν τούτων φορτίσεων ἔσονται ἴσαι καὶ ὁμόσημοι δι' ἓν ἕκαστον σημεῖον. Εἶναι προφανές ὅτι τοῦτο ἐπιτυγχάνεται διὰ δοκιμῶν, καθ' ἃς λαμβάνεται μία διανομὴ τῶν φορτίων κατὰ τὰ δύο ἐπίπεδα καὶ προσδιορίζονται αἱ παραμορφώσεις καὶ ἂν αὗται δὲν συμπίπτουν μεταβάλλεται ἡ διανομὴ τῶν φορτίσεων μέχρις οὗ αἱ παραμορφώσεις ἐκ τῶν δύο ἐντατικῶν καταστάσεων συμπίπτουν (β. Μέθοδος ἀμφιεπιπέδου κατανομῆς φορτίσεων. Trial-load method).

Τέλος εἶναι δυνατόν γὰρ γίνῃ ὁ ὑπολογισμὸς τῶν παραμορφώσεων καὶ ἕξ αὐτῶν τῶν τάσεων τοῦ φορέως διὰ καταστράσεως τῶν γενικῶν διαφορικῶν ἐλαστικῶν ἐξισώσεων τοῦ φορέως.

Ἡ μαθηματικὴ ἀποκλήρωσις αὐτῶν εἰς γενικὰς διατομὰς εἶναι ἀδύνατος καὶ ἐπιτυγχάνεται μόνον διὰ γραφικῶν μεθόδων

ολοκληρώσεως.

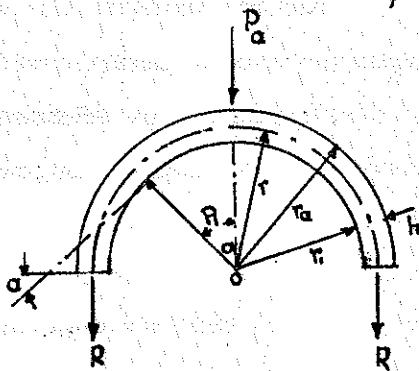
Εις ειδικὰς περιπτώσεις ἔνθα αἱ πρὸς τὰ ἀνάπη καὶ κατάνη κλίσεις τῶν παρειῶν τοῦ φράγματος ἔχουσι μαθηματικὴν ἔκφρασιν, δύναται νὰ ἐπιτευχθῇ ἡ ὀλοκλήρωσις τῶν ἐξεισώσεων αὐτῶν (4. Γενικαὶ ἐξεισώσεις ἐνταπτικῆς καταστάσεως τῶν φορέων διὰ τῶν ἐξεισώσεων ἐλαστικότητος).

Μετὴν ἀνωτέρω ἐκτεθεῖσαν βειράν δίδονται ἐν γενικαῖς γραμμαῖς κατωτέρω αἱ τέσσαρες μέθοδοι διὰ τὴν ἀνάλυσιν τῶν τῶσεων εἰς τὰ τοξωτὰ φράγματα, ὅστε νὰ εἶναι δυνατόν νὰ ὑπολογίζωνται οἱ ἐν λόγω φορεῖς.

Ἐνταῦθα θὰ ἦτο σκόπιμον νὰ γίνῃ γνωστὸν ὅτι συνήθως τὰ τοξωτὰ φράγματα ὑπολογίζονται ὡς ἀμφίπακτα τόξα ὅσα εἶναι μικρὰ, ἐνῶ διὰ τὰ σοβαρώτερα εἰς αὐτῶν γίνεται κρήσις τῆς μεθόδου ἀμφιεπιπέδου κατανομῆς φορτίσεως (trial load method).

Διὰ τῆς μεθόδου ἄλλως τε αὐτῆς κρησιμοποιουμένης κατὰ κανόνα ὑπὸ τοῦ Bureau of Reclamation (Γραφεῖον Παραγωγικῶν Ἔργων, Ὑπουργεῖον Ἑξωτερικῶν τῶν Η.Π.Α.) ὑπολογίζονται εἰς τὰ καμπύλα ἐν κατοψεῖ φράγματα βαρύτητος ὁπότε προκύπτει ἀκονομία ὕλικου, λόγω τοῦ συνεργαζομένου τόξου τοῦ τμήματος, ἰδίως εἰς τὰ καμηλότερα τμήματα (ὅπου καὶ τὸ ἀνοίγμα τῆς καρδίας, ἄρα, καὶ τοῦ τόξου εἶναι μικρὸν καὶ ἡ ἐπίδρασις αὐτοῦ ἐντονωτέρα ἐπομένως).

1. Υπολογισμός δακτυλίων (κυλινδρικοί φορείς).



Σχ. 93

Είς κλειστόν κύλινδρον έσωτερικής διαμέτρου η ή συνισταμένη τών πιέσεων p , μεταδίδεται είς δύο δυνάμεις ένεργούσας είς ήμικυκλικήν τομήν τού φορέως και ίσως με

$$R = p \cdot \eta \quad (1)$$

όποτε αί τάσεις είς τήν έν λόγω τομήν θα είναι: (βλ. σχ. 93).

$$\sigma = \frac{R}{h \cdot 1.0} = \frac{p \cdot \eta}{h} \quad (2)$$

ένθα h τό πάχος τού δακτυλίου.

Προκειμένης έξωτερικής φορτίσεως τού δακτυλίου διά P_a ή φορτίσις είς τόν άξονα ($\eta + \frac{h}{2}$) θα είναι :

$$(3) \quad p = P_a \cdot \frac{r_a}{r}$$

όποτε ή τάσις θα είναι :

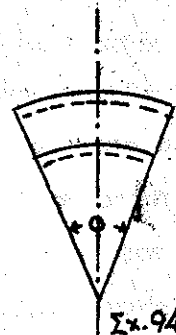
$$\sigma_y - \sigma_\varphi = \frac{P_a \cdot r_a}{h}$$

τάσις άξονική μόνον.

Ή παραμόρφωσις θα είναι τότε συστολή εμβοθητική ως προς τό κέντρον O και ίστι με :

$$(4) \quad w = \frac{P_a \cdot r_a \cdot r}{Eh} = \frac{P_a \cdot r_a}{Eh} \left(r_a - \frac{1}{2} h \right)$$

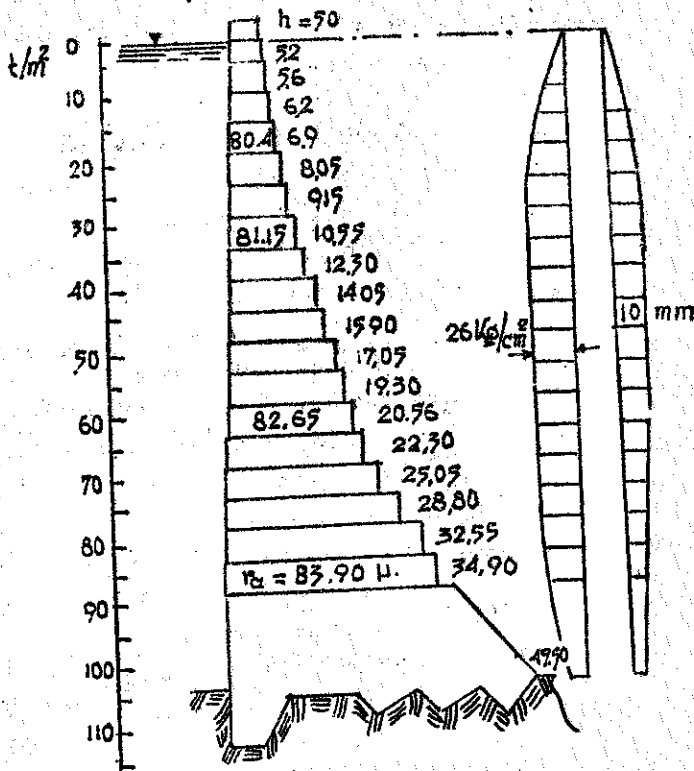
ένω ή γωνιά φ παραμένει σταθερά (σχ. 94).



Σχ. 94

4. Η διατομή φράγματος υπολογιζομένου κατά τοιαύτον τρόπον
 δίδεται εις τὸ κατωτέρω σχῆμα 95 ἔνθα δίδονται αἱ πιέσεις εἰς
 διάφορα βάρη αἱ τάσεις εφ, αἵτινες ἀνέρχονται εἰς 25 ατ
 καὶ αἱ παραμορφώσεις ἀνερχόμενοι εἰς 10 κιλιοετὰ.

Αἱ ἄκτινες τῶν θακτυλίων δίδονται εἰς τὸ σχῆμα αἰς καὶ
 τὰ πάχη αὐτῶν.



Σχ. 95

2. Ὑπολογισμός ἀμφιπέκτων τόξων.

Ἡ πάκτως τῶν τόξων καθιστᾶ στατικῶς ἀόριστον τὸ εὐσθημα, ὅπερ ἐμφανίζει πλέον καθ' ὅλον τὸ μῆκος αὐτοῦ ῥοπᾶς κάμψεως καὶ διατμητικὰς δυνάμεις. Αἱ ἀντιφάσεις εἰς τὰς ετηρίξεις θέν δύνανται πλέον καὶ ὑπολογισθεῶσιν διὰ τῶν ἀπλῶν μεθόδων στατικῆς.

Ὁ προσδιορισμός τῶν τάσεων καὶ τῶν ἐξ αὐτῶν προκυπτουσῶν παραμορφώσεων ἐπιτελεῖται τότε διὰ τῶν ἐξισώσεων ἐλαστικότητος καὶ τῆς ἐρεῦνης τῶν παραμορφώσεων.

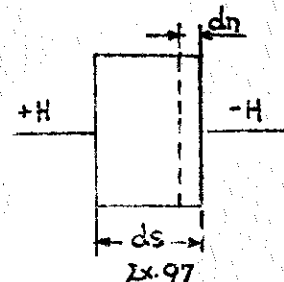
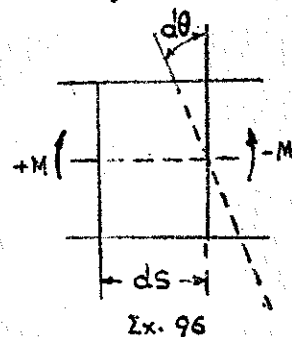
α. Αἱ παραμορφώσεις τῶν φορέων.

Διὰ τὰς περιπτώσεις ἐλαστικῶν φορέων αἱ παραμορφώσεις αὐτῶν εἰς τὰ διάφορα σημεῖα ἐξαρτῶνται ὡς γνωστὸν ἐκ τῆς ἐντατικῆς τοῦ φορέως καταστάσεως. Ὑπενθυμίζομεν ἐνταῦθα βραχυτάτα τὰς ἐκ τῶν διαφόρων μορφῶν τῶν ἐσωτερικῶν δυνάμεων προκαλουμένης παραμορφώσεως.

Οὕτω ἡ ῥοπή κάμψεως προκαλεῖ στροφήν τῶν ἐπιπέδων τῆς διατομῆς (αἷτινες ὑποτίθενται παραμένον ἐπίπεδοι) καὶ ἡ γωνία στροφῆς θαῖ ὑπολογίζεται ὑπὸ τοῦ τύπου:

$$d\theta = \frac{M}{EI} ds \quad (5)$$

Αἱ ὀρθαὶ δυνάμεις προκαλοῦν ἐπιμήκυνσιν ἢ ἐπιβράχυνσιν τοῦ μῆκους τοῦ σώματος, συμφάνως πρὸς τὸν νόμον τοῦ Hook διδομένην ὑπὸ



του τύπου :

$$dl = -\frac{H}{EF} ds = -\frac{\sigma}{E} ds \quad (6)$$

Αί διατμητικάί δυνάμεις έξ άλλου προκαλοῦν μετακινήσεις όλισθήσεως μέ μετακίνηση ίσην μέ dl δίδομένην υπό του τύπου :

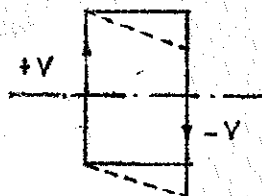
$$df = \frac{V}{GF} ds \quad (7)$$

ένθα σ τό μέτρον όλισθήσεως.

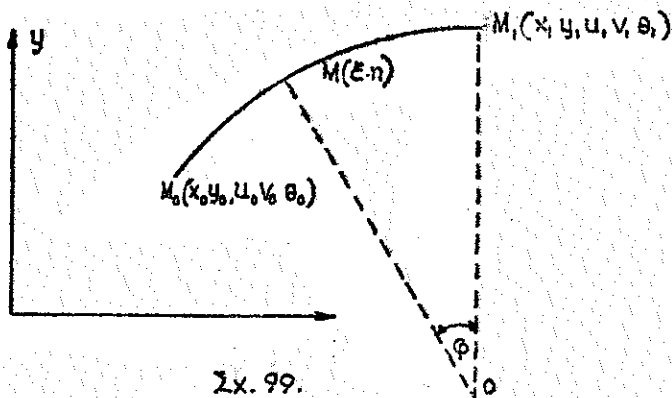
Αί μεταβολαί τής θερμοκρασίας όμοίως προκαλοῦν παραμορφώσεις δίδομένας υπό του τύπου :

$$r = \alpha dt \quad (8)$$

και τέλος εις τας στηρίξεις δυνατόν νά έχωμεν στρόφην δίδομένην υπό του μεγέθους W_0 .



Σχ. 98



Σχ. 99.

Έάν ήδη λάβωμεν ένα σημείον $M(\xi, \eta)$ του τόξου, όπερ διέρχεται διά των σημείων M_0, M_1 , και έκφράσωμεν τά άνωτέρω μεγέθη εις καρτεσιανός συντεταγμένας και λάβωμεν υπ' όψιν

και την γωνία φ , ην σχηματίζει ή εκ τού κέντρου του τόξου ευθεία OM μετά της κατακόρυφου θα έχωμεν (ένθαμούμενοι ότι: $d\xi/ds = \cos\varphi$ και $d\eta/ds = \eta\mu\varphi$).

άθροίζοντες όλας τας άνωτέρα παραμορφώσεις διά την θέσιν M , έχομεν:

$$(BRESSE) \quad (9) \quad \begin{cases} \theta_1 = \theta_0 + \int \frac{M}{JE} ds \\ u_1 = u_0 - \theta(y_1 - y_0) - \int \frac{M}{JE} (y_1 - \eta) ds - \int \frac{H}{EF} d\xi + \int \frac{T}{GF} d\eta + \tau(x_1 - x_0) \\ v_1 = v_0 + \theta_0(x_1 - x_0) + \int \frac{M}{JE} (x_1 - \xi) ds - \int \frac{H}{EF} d\eta - \int \frac{T}{GF} d\xi + \tau(y_1 - y_0) \end{cases}$$

Υπό τας ηνωτάς έξειώσεις του BRESSE όπου $u_0, v_0, \theta_0, -u_1, v_1, \theta_1$ θεωρουγται δεδομένα και συναρτήσεις των συνθηκών στηρίξεως. Τα μεγέθη M, H, V θα είναι συναρτήσεις των άορίστων μεγεθών και των φορτίσεων.

Έν ή περιπτώσει τά στηρίγματα του τόξου δέν υφίστανται υποχώρησιν και είναι καλάς πεπακτωμένα ($u_1 = u_2 = \theta_1 = \theta_2 = -u_2 = \theta_2 = 0$) και δέν υφίσταται μεταβολή θερμοκρασίας αι έξειώσεις άπλοποιούνται ως έξης:

$$(10) \quad \begin{cases} \int \frac{M ds}{JE} = 0 \\ \int \frac{M\eta}{JE} ds - \int \frac{H}{EF} ds \cos\varphi + \int \frac{T}{GF} ds \eta\mu\varphi = 0 \\ \int \frac{M\xi}{JE} ds + \int \frac{H}{EF} ds \eta\mu\varphi + \int \frac{T}{GF} ds \cos\varphi = 0 \end{cases}$$

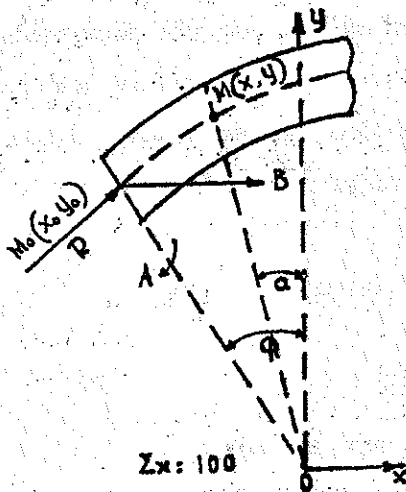
και αποτελούσιν αύται τον βασικόν τρόπον υπολογισμού των στατικάς άορίστων μεγεθών.

β. Άπλαι μέθοδοι υπολογισμού των άμφιβάκτων τόξων.

β.1. Γεωμετρική μέθοδος.

Ἡ μέθοδος υπολογισμού των τόξων απλοποιείται εάν δεχθώ-
μεν ότι τὸ τόξον ἔχει σταθερὰν διατομὴν ($I=c$) καὶ ὅτι αἱ ἐπ' αὐ-
τοῦ ὀρθαὶ δυνάμεις ἐκ των ἑξωτερικῶν φορτίσεων εἶναι σταθεραὶ.

Δεχόμεθα ὅτι αἱ ἀντιδράσεις ἐκ των ἑξωτερικῶν φορτίσεων



εἰς ἰσοστατικὸν φορέα θὰ ἀπο-
τελοῦνται μόνον ἀπὸ ὀρθῆς δυνά-
μεις (ἀντιδράσεις κάθετοι εἰς
τοὺς ἀρμούς στηρίξεως R, R)
καὶ ὅτι αἱ ἀντιδράσεις τοῦ ὑ-
περστατικῆς φορέως θὰ ἀπο-
τελοῦνται ἀπὸ τὰ μεγέθη A, B
καὶ Γ , ἔνθα A ἡ ῥοπή πακ-
τώσεως, B ἡ ὀριζοντία συν-
ιστώσα τῆς ἀθήσεως (συνή-

θως γραφομένη με H) καὶ Γ ἡ κατακόρυφος συνιστώσα
τῆς ἀθήσεως (ἥτις ἰσοῦται με μηδέν).

Τότε ἐνθυμούμενοι ὅτι $dx/ds = \epsilon \nu \alpha$ καὶ $dy/ds = -\eta \mu \phi$ ἔχομεν
διὰ τῆς ἐξισώσεως των ῥοπῶν καὶ των προβολῶν των δυνάμεων:

$$(11) \begin{cases} (\alpha) & M = A - B (y_0 - y) \\ (\beta) & N = R + B \epsilon \nu \alpha \\ (\gamma) & T = B \cdot \eta \mu \alpha \end{cases}$$

καὶ εἰσάγοντες τὰ μεγέθη αὐτὰ εἰς τὰς ἐξισώσεις τοῦ Bresse ἔχομεν:

$$(12) \begin{cases} (\alpha) & \int \frac{M}{JE} ds = 0 \\ (\beta) & \int \frac{M}{JE} ds - \int \frac{N}{EF} dx - \int \frac{T}{GF} = 0 \end{cases}$$

$$(12) \quad \left\{ \begin{array}{l} (\gamma) \int \frac{M_x}{JE} ds + \int \frac{N}{EF} dy + \int \frac{T}{GF} = 0 \end{array} \right.$$

Εισάγοντες τα μεγέθη εκ τῆς (11) εἰς τὴν 12α ἔχομεν ἐκ τῆς πρώτης ἐξίσωσως τοῦ Bresse :

$$(13) \quad \int \frac{A ds}{JE} - \int \frac{B y ds}{JE} + B \int \frac{y_0 ds}{JE} = A \int ds - B \int y ds + B y_0 \int ds = 0$$

$$\eta \quad A + B \cdot y_0 = B \frac{\int y ds}{\int ds} \quad (14)$$

Ὁ λόγος $y = \frac{\int y ds}{\int ds}$ δίδει τὸ κέντρο βάρους τῆς οὐδέτεραις γραμμῆς (μὲς τῆς ἰνός) ἢ ἀποτελεῖ τὸ ἐλαστικόν κέντρον.

Ὁλοκληροῦντες κατὰ μήκος τοῦ τόξου, εὐρισκόμενον εὐκόλως, διὰ φ τὸ ἥμισυ τοῦ ἀνοίγηματος τοῦ τόξου :

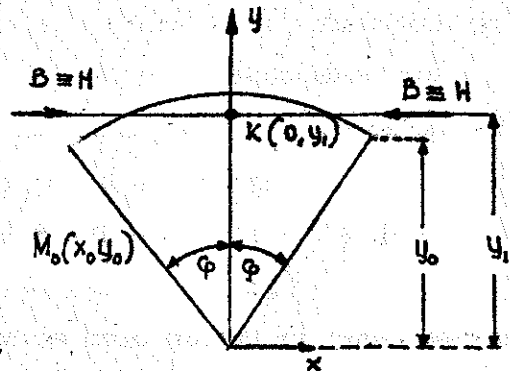
$$y, x \int_{-\phi}^{+\phi} r d\phi = \int_{-\phi}^{+\phi} r d\alpha \cdot r \cdot \sigmaυνα \quad \eta \tau o i$$

$$y_1 = \frac{r \cdot \eta \mu \phi}{\phi}$$

ἡ ἐξίσωσις (14) λαμβάνει τὰρα τὴν μορφήν :

$$A = B (y_1 - y_0) \quad (15)$$

ἥτις μᾶς λέγει ὅτι ἡ ὀριζοντία προβολὴ τῆς ἀντι-στράσεως B (ἢ ἄλλως ἡ ὀριζοντία ἀθήσεις H) ἔχει μοχλοβρακίονα $y_1 - y_0$, ἥτις πραγματικῶς διέρχεται διὰ τοῦ σημείου K με συντεταγμένας $(0, y_1)$.



Έκ της 11α λαμβάνομεν τώρα :

$$(17) \quad M = A - B(y - y_0) = B(y_1 - y_0)$$

Εάν ήδη μεταφέρωμεν την άρχήν τῶν συντεταγμένων εἰς τὸ σημεῖον K τηροῦντες τὰς αὐτὰς κατευθύνσεις τῶν ἀξόνων, θαῖ ἔχωμεν $y_1 = 0$ καί :

$$(18) \quad \begin{aligned} M &= -By \\ A &= -By_0 \end{aligned} \quad \int x ds = 0 \quad \int y ds = 0$$

ἐπίσης δὲ διὰ λόγους συμμετρίας :

$$(19) \quad \int x y ds = 0 \quad \int dy = 0 \quad \int \eta \mu \alpha \cdot ds = 0 \quad \int \eta \mu \alpha \sigma \upsilon \alpha ds = 0$$

ὁπότε ἡ δευτέρα ἐκ τῶν ἐξισώσεων τοῦ Bresse λαμβάνη τὴν μορφήν :

$$(20) \quad -B \int \frac{y^2 ds}{JE} - R \int \frac{dx}{FE} - B \int \frac{\sigma \upsilon \alpha dx}{EF} - B \int \frac{\eta \mu \alpha dy}{GF} = 0$$

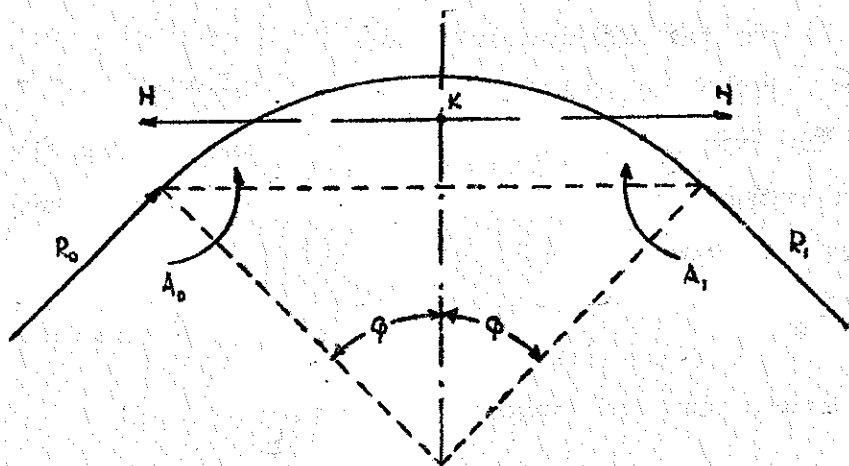
καὶ διὰ : $dx = ds \cdot \sigma \upsilon \alpha$ καὶ $dy = -ds \cdot \eta \mu \alpha$ ἔχομεν :

$$(20') \quad B - \int \frac{y^2 ds}{JE} - \int \frac{\sigma \upsilon \alpha^2 ds}{EF} - \int \frac{\eta \mu \alpha^2 ds}{GF} - R \int \frac{\sigma \upsilon \alpha ds}{EF} = 0$$

ὁπόθεν ἔχομεν τελικῶς ἐκ τῶν 18 καὶ τῆς 20 τὸ σύστημα :

$$(21) \quad \begin{cases} A = -By_0 \\ B = \frac{-R \int \sigma \upsilon \alpha ds}{\int \sigma \upsilon \alpha^2 ds + \frac{E}{G} \int \eta \mu \alpha^2 ds + \int y^2 ds} \end{cases}$$

Ἐφ' ὅσον ἡ R εἶναι θετικὴ εὐρίσκομεν $B < 0$ καὶ ἡ ροπή A ἐπίσης ἀρνητικὴ, ὡς ἐμφαίνεται εἰς τὸ σχῆμα (102). Ἡδὴ ὑπολογίζοντες τὰ ὁλοκληρώματα ἀπὸ $-\varphi$ ἕως $+\varphi$ λαμβάνομεν :



$$\int_{-\varphi}^{+\varphi} \sin \alpha ds = 2r\eta\mu\varphi \int_{-\varphi}^{+\varphi} \eta\mu^2 \alpha ds = \left(\varphi - \frac{\eta\mu 2\varphi}{2}\right)r \int_{-\varphi}^{+\varphi} \sin^2 \alpha ds = r\left(\varphi + \frac{\eta\mu 2\varphi}{2}\right)$$

$$\int_{-\varphi}^{+\varphi} y^2 ds = \int_{-\varphi}^{+\varphi} r^3 \left(\sin \alpha - \frac{\eta\mu\varphi}{\varphi}\right)^2 d\alpha = r^3 \left(\varphi + \frac{\eta\mu 2\varphi}{2} - \frac{2\eta\mu 2\varphi}{\varphi}\right)$$

Ἦσῃ ἔχοντες (-δία πάχος τοῦ τόξου ἴσον μὲ h καὶ ὕψος=1)
 $J = \frac{h^3}{12}$, $F = h$, $\beta = \frac{r}{h}$, $\frac{F}{3} = \frac{12\beta^2}{r^2}$ καὶ θέτοντες δύο σταθεροὺς συντελεστὰς C_1 καὶ C_2 ὡς ἀκολούθως :

$$(22) \quad \left\{ \begin{array}{l} C_1 = \frac{12}{\eta\mu\varphi} \left(\frac{\varphi}{2} + \frac{\eta\mu 2\varphi}{4} - \frac{\eta\mu^2\varphi}{\varphi} \right) \\ C_2 = \frac{1}{\eta\mu\varphi} \left(\frac{\varphi}{2} \left(1 + \frac{F}{G} \right) + \frac{\eta\mu 2\varphi}{4} \left(1 - \frac{F}{G} \right) \right) \end{array} \right.$$

μετασχηματίζομεν τὰς ἐξισώσεις (21) εἰς τὰς τελικὰς ἐξισώσεις :

$$(23) \quad \left\{ \begin{array}{l} A_0 = M_0 = -H_0 y_0 \\ H_0 = \frac{-P}{C_1 \beta^2 + C_2} \end{array} \right.$$

Ός εμφανίζεται εκ των εξισώσεων (22) αι σταθεραι C₁ και C₂ υπολογίζονται ευχερώς εκ της γωνίας του ανοίγματος φ και εκ του λόγου E/G, οστις αις γνωστόν ίσούται με 2(1+μ) όπου (1:μ) ο συντελεστής του Poisson.

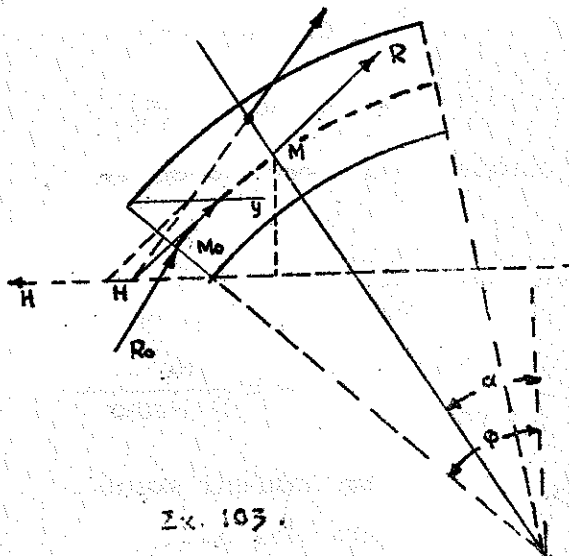
Λεχόμενοι μ=0,25, έχομεν E/G = 2(1+0,25) = 2,50, 1+E/G = 3,5 και 1-E/G = 1,5 οπότε έχομεν τούς συντελεστας C₁ και C₂ εκ του κατωτέρω πίνακος.

φ	2φ	C ₁	C ₂
15°	30°	0,0012	1,0573
30	60	0,0201	1,2284
45	90	0,1031	1,5144
60	120	0,3312	1,9183
75	150	0,8289	2,4514
90	180	1,7853	3,1416

Ο συντελεστής E/G ενίοτε δια λόγους μείζονος ασφαλείας λαμβάνεται ίσος με 3.

Η σχετική μορφή του τόξου δίδεται έναρχέστερον, εάν ζητήσωμεν τον λόγον της αθήσεως H προς την ορθήν δύναμιν R, ήτοι τον λόγον $K = H/2$.

Συνήθως κατασκευάζονται γραφικοί πίνακες με τας τρεις



Σκ. 103.

μεταβλητός K , β και γ εξ' ὧν ἐμφαίνονται τὰ ὄρια εἰς ἃ εὐρίσκονται τὸ ἐκάστοτε ὑπὸ μελέτην τόξον.

Ὁ προσδιορισμὸς τοῦ τόξου εἶναι ἤδη ἀπλοῦς καὶ δύναται νὰ εὐρεθῇ ἀκόμη καὶ γραφικῶς ὡς ἐμφαίνεται εἰς τὸ σχῆμα 103, ὅπου ἡ εἰς τὴν διατομὴν $M(x, y, a)$ δύναμις F θὰ εἶναι ἡ συνισταμένη τῆς P καὶ H .

Τότε αἱ δυνάμεις καὶ ἡ ροπή εἰς M ἔσονται:

$$(24) \quad \begin{aligned} M &= -Hy \\ N &= P + Q \epsilon \nu \alpha \end{aligned}$$

$$T = Q \eta \mu \alpha$$

$$\text{ὅπου } y = r \left(\epsilon \nu \alpha - \frac{\eta \mu \phi}{\phi} \right)$$

Ἡ μεταβολὴ τῶν μεγεθῶν τούτων δίδεται ὑπὸ τοῦ σχ. 104.

Ἐν συνεχείᾳ αἱ τάσεις δίδονται ὑπὸ τῶν τύπων τοῦ τραπεζίου:

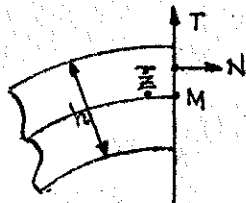
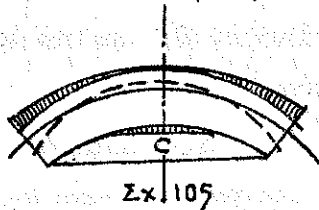
$$(25) \quad \epsilon = \frac{N}{F} \pm \frac{My}{J} = \frac{N}{h} \pm \frac{12My}{h^3}$$

καὶ αἱ ὀριακαὶ τάσεις ἔσονται:

$$(26) \quad \epsilon = \frac{P + H \epsilon \nu \alpha}{h} \pm \frac{6Hy}{h^2} = \frac{P}{h} \pm \frac{H}{h} \left(\epsilon \nu \alpha \pm \epsilon \beta \left(\epsilon \nu \alpha - \frac{\eta \mu \phi}{\phi} \right) \right)$$

Ἄντὶ τῆς μέσης γραμμῆς δυνάμεθα νὰ χρησιμοποιήσωμεν τὴν γραμμὴν πιέσεων.

Ἡ ἐκκεντρότης δίδεται ὑπὸ τοῦ τύπου:



$$Z = \frac{M}{N} = \frac{Hy}{P + H \epsilon \nu \alpha}$$

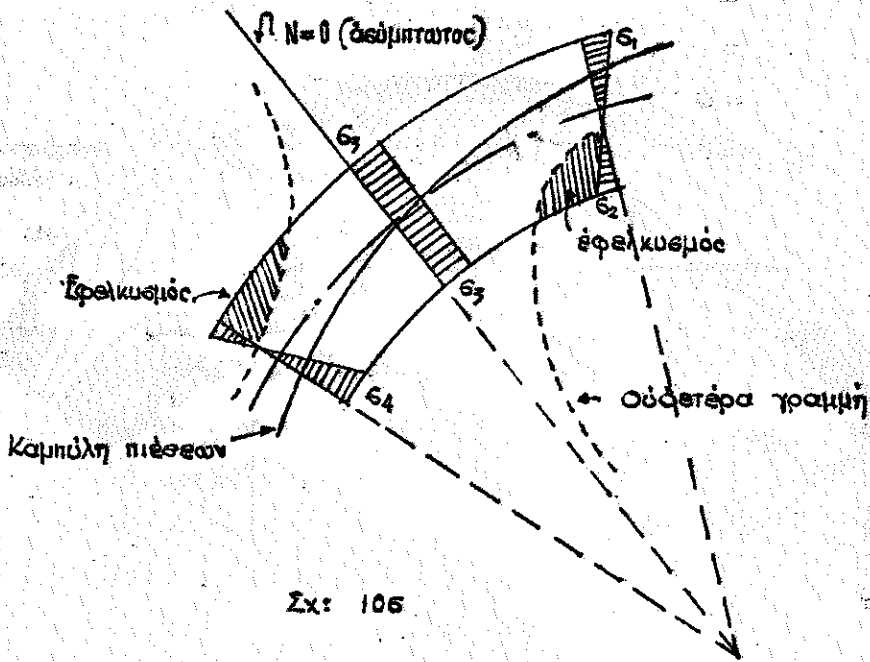
καὶ παριετὰ καμπύλην ὑπερβολῆς.

Και διά να μη έχομεν τάσεις έφελκυσμού άξον $\frac{\xi}{h} < \frac{1}{\epsilon}$. Ζη-
τούμεν έμοίως τας ούδέτερας γραμμάς, ήτοι τα σημεία μη-
δενισμού τών τάσεων:

έκει $\epsilon = 0$ άν θέσωμεν εις τόν τύπον (25) $\nu = \xi$ λαμβάνομεν:

$$\epsilon = \frac{N}{F} + \frac{M\xi}{J} = 0 \quad \text{ήτοι}$$

$$\xi = -\frac{N}{M} \cdot \frac{J}{F} = \frac{J}{F} \cdot \frac{R+H}{Hy} \cdot \frac{y+c}{r} = \frac{J}{F} \cdot \frac{R \cdot r + H(y+c)}{H \cdot r \cdot y} \quad (26)$$



Σχ: 106

ήτοι αι ούδέτεροι γραμμάι όρίζονται από ύπερβολάς με
άσυμπτώτους διερχομένας από τα σημεία μηδενισμού τής
κάμψας. Έκ τών (27) και (26) λαμβάνομεν:

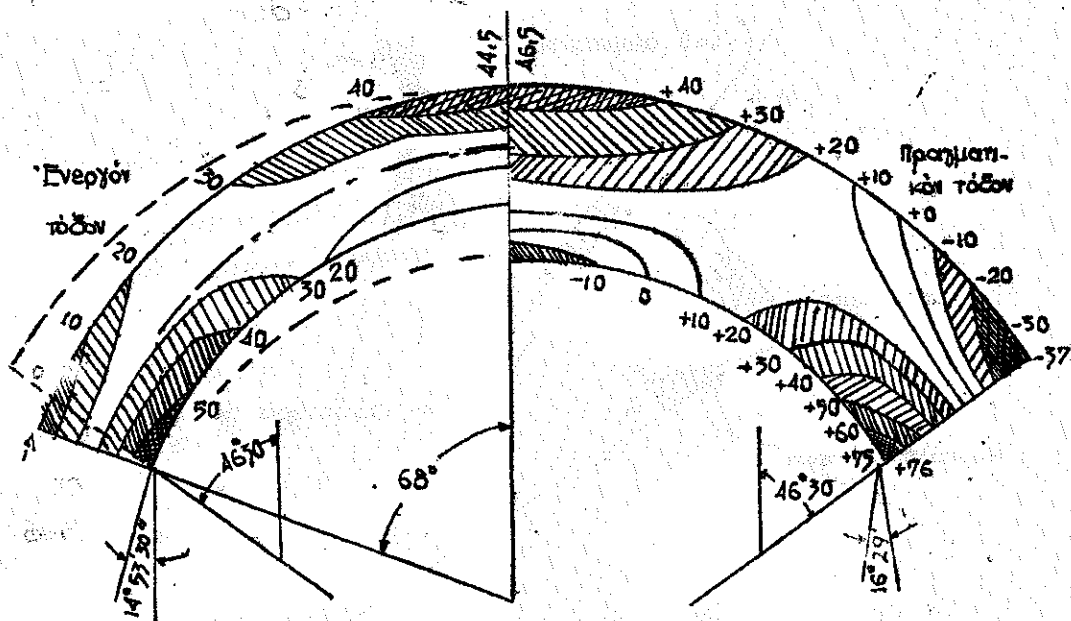
$$\xi \cdot \epsilon = -\frac{J}{F} \quad (29)$$

ήτοι διά σταθερόν τόξον τά ξ και ϵ είναι αντίθετα.

Εις τό σχ. 106 δίδεται ή διάνομή τών τάσεων. Έκ του

επιπέδου τούτου εμφανίζεται ὅτι ὑπάρχει μία ζώνη, ἣν καλοῦμεν « ἐνεργὸν τόξον » ἀντὶ ἐφελκυσμοῦ. Ἐξ ἄλλου τὴν ζώνην με ἐφελκυσμὸν καλοῦμεν « ρηγνυόμενον τμήμα » (cracked portion zone fissurée).

Ἐν τῷ σχῆμα 107 δίδεται τὸ τόξον τοῦ Γαλλικοῦ φράγμα-τος Castillon (ὑψὸς 95,0 μ., ἀκτίνας 70 μ. εἰς ἀνάγτη καὶ με ὕδατος) καὶ αἱ εἰς αὐτὸ ὑπολογισθεῖσαι τάσεις.



Σχ. 107.

β.2. Ἐμπειρικοὶ τύποι.

Ὁ καθορισμὸς τῶν στατικῶς ἀορίστων μεγεθῶν εἰς κυκλικὰ τόξα, σταθεροῦ πάχους, ἐπιδιώκεται δι' ἀπλοποιημένων μεθόδων, ὡς ἡ ἀνωτέρα, με σκοπὸν καταρτίσεως εὐκρήτων τύπων διὰ τὴν πράξιν.

Ἀνάλογος πρὸς τοὺς τύπους (21) κατήρτισεν ὁ Williaη Cαίη (Tr ASCE 1922, σ. 253), οἷτινες ἔχουν ὡς ἀκόλουθως

διὰ ὀρθὰς δυνάμεις εἰς τὴν κλειδα καὶ τὰς πακτώσεις :

$$(30) \quad H_0 = pr - \frac{pr}{D} 2\eta\mu\eta\mu\phi \frac{h^2}{12r^2} \quad \text{καὶ} \quad M_0 = -(pr - H_0)r \left(1 - \frac{\eta\mu\phi}{\phi}\right)$$

$$(31) \quad H_A = pr - (pr - H_0)\epsilon\omega\eta\phi \quad \text{καὶ} \quad M_A = r(pr - H_0) \left(\frac{\eta\mu\phi}{\phi} - \epsilon\omega\eta\phi\right)$$

Ἐν τῷ D εἰς τὸν ἄνω τύπον δίδεται ὡς ἀκολουθεῖ :

α/. Παραλειπομένων τῶν διατμητικῶν δυνάμεων :

$$(32) \quad D = \left(1 + \frac{h^2}{12r^2}\right) \phi \left(\phi + \frac{\eta\mu^2\phi}{2}\right) - 2\eta\mu^2\phi$$

β/. Συνυπολογιζομένων τῶν διατμητικῶν δυνάμεων :

$$(33) \quad D = \left(1 + \frac{h^2}{12r^2}\right) \phi \left(\phi + \frac{\eta\mu^2\phi}{2}\right) - 2\eta\mu^2\phi + 30 \frac{h^2}{12r^2} \left(\phi - \frac{\eta\mu^2\phi}{2}\right)$$

γ. Ἀναλυτικὴ μέθοδος ὑπολογισμοῦ τῶν ἀμφιπέκτων τόξων.

Ἡ ἀνωτέρω ἀπλοποιημένη μέθοδος ὑπολογισμοῦ τῶν ἀμφιπέκτων τόξων (εβ), ἔνθα ἡ ἐξωτερικὴ φόρτισις ἐλήφθη ὡς μεταβιβαζομένη ἄξονικῶς εἰς τὸ τόξον, λαμβάνει τὴν γενικὴν τῆς λύσειν ἀναλυτικῶς διὰ γενικεύσεως τῶν ἐξισώσεων τῶν παραμορφώσεων.

Οὕτω εἶναι λαμβάνομεν δι' ὅψιν τὸ πεπακτωμένον τόξον τοῦ σχήματος 108 φορτιζόμενον μετὰ τὰ ἐξωτερικὰ φορτία P_1, P_2, \dots , δυνάμεθα γὰρ ὑπολογίσωμεν τὰς παραμορφώσεις καὶ τάσεις αὐτοῦ μετὰ τὸν προσδιορισμὸν τῶν στατικῶς ἀόριστων μεγεθῶν H_0, M_0 καὶ V_0 εἰς τὴν κλειδα. Ὁ ὑπολογισμὸς αὐτοῦ γίνεται ὡς ἑξῆς :

θεωροῦνται γνωστὰ τὰ στατικαῖς ἀόριστα ταῦτα μεγέθη καὶ εἰς αὐτῶν ὑπολογίζονται αἱ μετακινήσεις τῆς κλειδῶς καὶ δῆ : ἡ γωνιακὴ (θ_0), ἡ κατὰ τὴν ἐφαπτομένην

νην (Δs) και η κατά την άκτινα (Δr) μετακινήσεις αυτής, ήτοι καταστρώνονται αι εξισώσεις Bresse:

$$(34) \left\{ \begin{array}{l} (\alpha) \quad d\theta_0 = \frac{M ds}{JE} \\ (\beta) \quad d(\Delta r)_0 = \frac{M \times ds}{JE} - \frac{H \eta \mu \cdot \phi ds}{FE} + \frac{K V \epsilon \omega \phi ds}{GE} \\ (\gamma) \quad d(\Delta s)_0 = -\frac{M y ds}{JE} - \frac{H \epsilon \omega \phi ds}{EF} - \frac{K V \eta \mu \phi ds}{GF} \end{array} \right.$$

(Η διαφορά εις τὰ σημεία από τὰ της εξισώσεως (10) της προηγουμένης παραγράφου β , οφείλεται εις τὸ ὅτι ἐσὼ η δύναμις H λαμβάνεται μὲ τὸ ἀντίθετον σημεῖον).

Ἐάν ολοκληρώσωμεν τὰς εξισώσεις (34) ἀπὸ τῆς κλειδός εἰς τὴν ἀριστεράν παίκτην θὰ λάβωμεν τὰς μετακινήσεις τῆς κλειδός ($\theta_0^a, \Delta r_0^a, \Delta s_0^a$)· ἐάν ἐπαναλάβωμεν τὸ αὐτὸ καὶ διὰ τὸ δεξιὸν τμήμα τοῦ τόξου, θὰ προσδιορίσωμεν πάλιν τὰ αὐτὰ μεγέθη ($\theta_0^d, \Delta r_0^d, \Delta s_0^d$) ἐκφραζόμενα καὶ εἰς τὰς δύο περιπτώσεις συναρτήσῃ τῶν ἀγνώστων M_0, H_0 καὶ V_0 καὶ τῶν ἀντιστοίχων μεγεθῶν ροπῶν καὶ δυνάμεων τῶν ἐξωτερικῶν φορτίων (τοῦ στατικῶς ἀριεμένου ευστήματος). Ἐξισοῦντες νῦν τὰ μεγέθη ταῦτα $\theta_0^a = \theta_0^d, \Delta r_0^a$ καὶ Δr_0^d καὶ $\Delta s_0^a = \Delta s_0^d$ ἔχομεν τρεῖς εξισώσεις μὲ 3 ἀγνώστους καὶ οὕτω προσδιορίζομεν τὰ στατικῶς ἀόριστα μεγέθη M_0, V_0, H_0 .

Τὰ σημεία τῶν μετακινήσεων ἔχουν αὖ ἐξῆς:

Θετικαὶ στροφαὶ (θ_0) αἱ ἔχουσαι ἀντίθετον τῶν δεικτῶν τοῦ ἀρολογίου αὐτῶν.

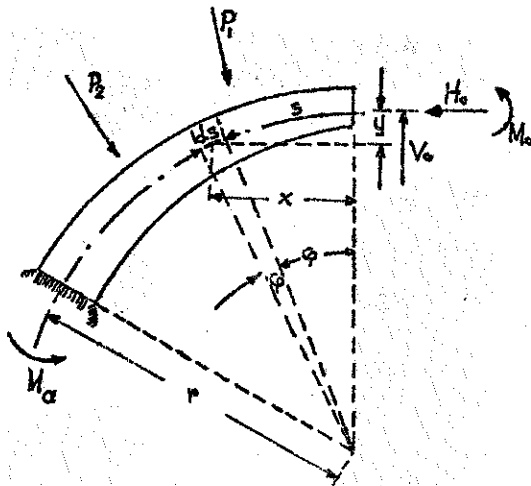
Θετικαὶ ἐφαπτομενικαὶ μετακινήσεις κατευθύνονται πρὸς τὰ δεξιὰ.

Θετικαὶ ἀκτινικαὶ μετακινήσεις κατευθύνονται πρὸς τὴν ἀνάντη τοῦ φράγματος.

Εἰς τὰς ἀνω ἐξισώσεις (10) τὰ μεγέθη M , H καὶ V ἐπιλύονται ὡς ἐξῆς :

$$(33) \quad \begin{cases} M = M_0 + H_0 y + V_0 x - M_a \\ H = H_0 \cos \varphi - V_0 \sin \varphi + H_a \\ V = H_0 \sin \varphi + V_0 \cos \varphi - V_a \end{cases}$$

ἐνθα M_0, H_0, V_0 ἡ ῥοπή, ὠθήσεις καὶ διατμητικὴ τάσις εἰς τὴν κλείδα (βλ. σχ. 108) καὶ M_a, H_a, V_a τὰ ἀντίστοιχα μεγέθη τῶν ἐξωτερικῶν φορτίων τῶν ἐπιπερνούμενων μεταξὺ



τοῦ ὑπ' ὄψιν σημείου (ds) καὶ τῆς κλείδας διὰ τὸ ἀριστερὸν τμήμα τοῦ τόξου (ἐξ οὗ καὶ ὁ δείκτης α).

Εἰς τὰς ἐξισώσεις (33) ὁ συντελεστὴς k (συνήθως ἴσος πρὸς 1,25) τίθεται διὰ νὰ ἐξουδετερώσῃ τὴν ἐπιρροὴν τῆς μὴ ὁμοιομόρφου διανομῆς τῶν διατμητικῶν τάσεων.

Σχ. 108. Πεπακτωμένον τόξον, φορτία καὶ δυνάμεις.

Διὰ $\mu = 0,20$ (Poisson) καὶ $k = 1,25$ ὁ λόγος k/G

τίθεται συνήθως $= 3/E$.

Ἀντικαθιστῶντες εἰς τὰς ἐξισώσεις (33) διὰ τῶν ἀντίστοιχων μεγεθῶν ἐκ τῶν (34) καὶ ὁλοκληροῦντες λαμβάνομεν :

$$\begin{aligned}
 (α) \theta &= M_0 \int_0^s \frac{ds}{JE} + H_0 \int_0^s \frac{y ds}{JE} + V_0 \int_0^s \frac{x ds}{JE} - \int_0^s \frac{M_\alpha ds}{JE} \\
 (β) \Delta r_0 &= M_0 \int_0^s \frac{x ds}{JE} + H_0 \left(\int_0^s \frac{xy ds}{JE} - \int_0^s \frac{\eta \mu \varphi \epsilon \upsilon \nu \varphi ds}{EF} + 3 \int_0^s \frac{\eta \mu \varphi \epsilon \upsilon \nu \varphi ds}{EF} \right) + \\
 &\quad + V_0 \left(\int_0^s \frac{x^2 ds}{JE} + \int_0^s \frac{\eta \mu^2 \varphi ds}{EK} + 3 \int_0^s \frac{\epsilon \upsilon \nu^2 \varphi ds}{EF} \right) - \\
 &\quad - \left(\int_0^s \frac{M_\alpha x ds}{JE} + \int_0^s \frac{H_\alpha \eta \mu \varphi ds}{EF} + 3 \int_0^s \frac{V_\alpha \epsilon \upsilon \nu \varphi ds}{EF} \right) \\
 (γ) \Delta s_0 &= M_0 \frac{y ds}{JE} - H_0 \left(\int_0^s \frac{y^2 ds}{JE} + \int_0^s \frac{\epsilon \upsilon \nu^2 \varphi ds}{EF} + 3 \int_0^s \frac{\eta \mu^2 \varphi ds}{EF} \right) - \\
 &\quad - V_0 \left(\int_0^s \frac{xy ds}{JE} - \int_0^s \frac{\eta \mu \varphi \epsilon \upsilon \nu \varphi ds}{EF} + 3 \int_0^s \frac{\eta \mu \varphi \epsilon \upsilon \nu \varphi ds}{EF} \right) + \\
 &\quad + \left(\int_0^s \frac{M_\alpha y ds}{EJ} - \int_0^s \frac{H_\alpha \epsilon \upsilon \nu \varphi ds}{EF} + 3 \int_0^s \frac{V_\alpha \eta \mu \varphi ds}{EF} \right)
 \end{aligned}
 \tag{36}$$

Διά των έξιωσεων αυτών ήδη δύναμεθα να υπολογίσωμεν τας μετακινήσεις, εάν τα μεγέθη M_0, H_0 και V_0 έχων προσδιορισθή.

Αι έξιώσεις (36) γράφονται βραχύτερον ως εξής :

$$(37) \begin{cases} (α) \theta^\alpha = A_1 M_0 + B_1 H_0 + C_1 V_0 - D_1 \\ (β) \Delta r^\alpha = C_1 M_0 + B_2 H_0 + C_2 V_0 - D_2 \\ (γ) \Delta s^\alpha = -B_1 M_0 - B_3 H_0 - B_2 V_0 + D_3 \end{cases}$$

Ήδη τας αυτές έξιώσεις δύναμεθα να καταστράψωμεν και διά το δεξιόν τμήμα του τόξου (δεξιά της κλειδός)

όποτε αἱ ἀντίστοιχοι ἐξισώσεις πρὸς τὰς (35) θὰ ἔχουν ὡς ἀκολουθῶς :

$$(35) \left\{ \begin{array}{l} \alpha/. \quad M = M_0 + H_0 y - V_0 x - M_3 \\ \beta/. \quad H = H_0 \epsilon \omega \phi + V_0 \eta \mu \phi + H_3 \\ \gamma/. \quad Y = H_0 \eta \mu \phi - V_0 \epsilon \omega \phi - Y_3 \end{array} \right\}$$

καὶ αἱ μετακινήσεις εἰς τὴν κλειδα αἱ προερχόμεναι ἐκ τῆς ἐντατικῆς καταστάσεως τοῦ δεξιᾶ τῆς κλειδός θὰ ἔχωσιν, μὲ ἀναλόγους συμβολισμοὺς ὡς εἰς τὰς (37), ὡς ἑξῆς :

$$(37) \left\{ \begin{array}{l} \alpha/. \quad \theta_0^{\circ} = -A_1 M_0 - B_1' H_0 + C_1' V_0 + D_1' \\ \beta/. \quad D_2^{\circ} = +C_1' M_0 + B_2' H_0 - C_2' V_0 - D_2' \\ \gamma/. \quad D_3^{\circ} = B_1' M_0 + B_3' H_0 - B_2' V_0 - D_3' \end{array} \right\}$$

Ὡς εἶναι εὐνόητον, οἱ ὡς ἄνω χρησιμοποιοῦντες συμβολισμοὶ ἔχουν τὰς ἀκολουθῶς ἐννοίας :

A_1 = γωνιακὴ μετακίνησης ὀφειλομένη εἰς ῥοπήν ἴσην πρὸς τὴν μονάδα.

B_1 = γωνιακὴ μετακίνησης ὀφειλομένη εἰς μονάδα ὀρθῆς δυνάμεως ἢ ἐφαπτομενικῆ μετακίνησης ὀφειλομένη εἰς ῥοπήν ἴσην πρὸς τὴν μονάδα.

C_1 = γωνιακὴ μετακίνησης ὀφειλομένη εἰς μονάδα διατμητικῆς δυνάμεως ἢ ἀκτινικῆ μετακίνησης ὀφειλομένη εἰς ῥοπήν ἴσην πρὸς τὴν μονάδα.

B_2 = ἀκτινικὴ μετακίνησης ὀφειλομένη εἰς μονάδα ὀρθῆς δυνάμεως ἢ ἐφαπτομενικῆ μετακίνησης ὀφειλομένη εἰς μονάδα διατμητικῆς δυνάμεως.

C_2 = ἀκτινικὴ μετακίνησης ὀφειλομένη εἰς μονάδα διατ-

(φ. 10)

μητρικής δύναμεις.

$B_3 =$ έφαπτομενική μετακίνηση όφειλομένη εις μονάδα όρθής δύναμεις.

Αί ως άνω σταθεραί καλούνται σταθεραί του το-
ξου.

Ο προσδιορισμός των στατικώς άορίστων μεγεθών M_0 , H_0 και V_0 είναι ήδη άπλοός και επιτυγχάνεται ως ήδη άνωτέρω έτετέθη δι' έξισώσεως των μετακινήσεων θ , Δr και Δs δεξιά και άριστερά της κλειδός, ήτοι δι' έξισώσεως κατά μέρη των δεξιών μερών των έξισώσεων (37) και (37') οπότε προκύπτουν αι ακόλουθοι έξισώσεις:

$$(38) \begin{cases} (\alpha) & (A_1 + A_1') M_0 + (B_1 + B_1') H_0 + (C_1 + C_1') V_0 = (D_1 + D_1') \\ (\beta) & (C_1 - C_1') M_0 + (B_2 + B_2') H_0 + (C_2 + C_2') V_0 = (D_2 + D_2') \\ (\gamma) & (B_1 + B_1') M_0 + (B_2 + B_2') H_0 + (B_2 - B_2') V_0 = (D_3 + D_3') \end{cases}$$

Ηδη βραχυγραφούντες εκ νέου τά έν παρενθέσει των έξι-
ώσεων (38) μεγέθη λαμβάνομεν τας έξισώσεις:

$$(39) \begin{cases} (\alpha) & a_1 M_0 + b_1 H_0 + c_1 V_0 = d_1 \\ (\beta) & c_1 M_0 + b_2 H_0 + c_2 V_0 = d_2 \\ (\gamma) & b_1 M_0 + b_3 H_0 + b_2 V_0 = d_3 \end{cases}$$

έξ των υπολογίζονται δι' έπιλύσεως τά στατικώς άόριστα
μεγέθη:

$$(40) \begin{cases} (\alpha) & M_0 = \frac{1}{K} \left[d_1 (b_3 c_2 - b_2^2) - d_3 (b_1 c_2 - c_1 b_2) - d_2 (b_3 c_1 - b_1 b_2) \right] \\ (\beta) & H_0 = \frac{1}{K} \left[-d_1 (b_1 c_2 - b_2 c_1) + d_3 (a_1 c_2 - c_1^2) + d_2 (b_1 c_1 - a_1 b_2) \right] \\ (\gamma) & V_0 = \frac{1}{K} \left[-d_1 (b_3 c_1 - b_1 b_2) + d_3 (b_1 c_1 - a_1 b_2) + d_2 (a_1 b_3 - b_1^2) \right] \end{cases}$$

ένθα $K = a_1 (b_3 c_2 - b_2^2) - b_1 (b_1 c_2 - c_1 b_2) - c_1 (b_3 c_1 - b_1 b_2)$.

Εἰς περιπτώσιν συμμετρικοῦ τόξου ὁ συντελεστής k' γίνεται $k' = a, b_3 - b_1^2$ καὶ τὰ ἀόριστα μεγέθη :

$$(4d) \left\{ \begin{array}{l} (\alpha) \quad M_0 = \frac{1}{k'} (d_1 b_3 - d_3 b_1) \\ (\beta) \quad H_0 = \frac{1}{k'} (-d_1 b_1 + d_3 a_1) \\ (\gamma) \quad V_0 = \frac{1}{k'} \frac{d_2}{C_2} \end{array} \right.$$

Αἱ συναρτήσεις τῶν τύπων (40) καὶ (4d) αἱ συμβολιζόμεναι διὰ τῶν γραμμάτων a, b, c , αἵτινες ἀπαιτοῦνται διὰ τὸν ὑπολογισμόν τῶν M_0, H_0 καὶ V_0 εἰς τὴν κλείδα δίδονται ὑπὸ τοῦ κατωτέρω πίνακος (1) καὶ ὅτῃ μετὰ τῶν ἀντιστοίχων σημείων δι' ἃν εἰσέρχονται εἰς τὰς ἐξισώσεις (39), (40) καὶ (4d).

Πρὸς ὑπολογισμόν τῶν μετακινήσεων εἰς τυχόν σημεῖον x τοῦ ἀριστεροῦ τμήματος τοῦ τόξου, ὑπολογίζομεν κατ' ἀρχὴν ὡς ἀνωτέρω τὰ μεγέθη M_0, V_0, H_0 εἰς τὴν κλείδα καὶ ἐξ αὐτῶν τὰ μεγέθη M_x, V_x, H_x εἰς τὸ σημεῖον x , συναρτήσει καὶ τῶν παρεμβλλομένων, μεταξὺ κλειδῶς καὶ θέσεως x , ἑξωτερικῶν φορτίων.

Ἡδὴ θεωροῦμεν τὴν θέσιν x ὡς κλείδα τοῦ τόξου καὶ εὐρίσκομεν τὴν μετακίνησιν αὐτοῦ ἐκ τῶν τύπων (36), ὅπου ἀντὶ M_0, V_0, H_0 θέτομεν τὰ ὡς ἀνωτέρω ὑπολογισθέντα μεγέθη M_x, V_x, H_x .

Ἀναλόγως ὑπολογίζομεν δι' οἰονδήποτε σημεῖον τοῦ δεξι-οῦ τμήματος τοῦ τόξου.

Αἱ ἀνωτέρω καθορισθεῖσαι $\epsilon, \tau, \alpha, \theta, \rho, \alpha_1$ τοῦ τόξου $A_1, B_1, C_1, B_2, C_2, B_3$ — ἀποδίδουσαι, ὡς ἤδη ἐλέχθη, γωνιακὰς ἢ γραμμικὰς μετακινήσεις ὀφειλομένας εἰς μονά-

Συμβολόν	Συναρτήσεις		Νομοίος	Συναρτήσεις	
	Αριστερά	Δεξιά		Αριστερά	Δεξιά
a ₁	$\int_0^s \frac{ds}{EI}$	$\int_0^s \frac{ds}{EI}$	b ₃	$\int_0^s \frac{y^2 ds}{EI}$	$\int_0^s \frac{y^2 ds}{EI}$
b ₁	$\int_0^s \frac{y ds}{EI}$	$\int_0^s \frac{y ds}{EI}$		$\int_0^s \frac{\cos^2 \phi ds}{EA}$	$\int_0^s \frac{\cos^2 \phi ds}{EA}$
c ₁	$\int_0^s \frac{x ds}{EI}$	$-\int_0^s \frac{x ds}{EI}$	d ₁	$\int_0^s \frac{\sin^2 \phi ds}{EA}$	$\int_0^s \frac{\sin^2 \phi ds}{EA}$
	$\int_0^s \frac{xy ds}{EI}$	$-\int_0^s \frac{xy ds}{EI}$		$\int_0^s \frac{M_L ds}{EI}$	$\int_0^s \frac{M_R ds}{EI}$
b ₂	$-\int_0^s \frac{\sin \phi \cos \phi ds}{EA}$	$\int_0^s \frac{\sin \phi \cos \phi ds}{EA}$	d ₂	$\int_0^s \frac{M_{ix} ds}{EI}$	$-\int_0^s \frac{M_{ix} ds}{EI}$
	$\int_0^s \frac{\sin \phi \cos \phi ds}{EA}$	$-\int_0^s \frac{\sin \phi \cos \phi ds}{EA}$		$\int_0^s \frac{H_L \sin \phi ds}{EA}$	$-\int_0^s \frac{H_R \sin \phi ds}{EA}$
	$-\int_0^s \frac{\sin \phi \cos \phi ds}{EA}$	$-\int_0^s \frac{\sin \phi \cos \phi ds}{EA}$		$\int_0^s \frac{V_L \cos \phi ds}{EA}$	$-\int_0^s \frac{V_R \cos \phi ds}{EA}$
c ₂	$\int_0^s \frac{x^2 ds}{EI}$	$\int_0^s \frac{x^2 ds}{EI}$	d ₃	$\int_0^s \frac{M_{iy} ds}{EI}$	$\int_0^s \frac{M_{iy} ds}{EI}$
	$\int_0^s \frac{\sin^2 \phi ds}{EA}$	$\int_0^s \frac{\sin^2 \phi ds}{EA}$		$-\int_0^s \frac{H_L \cos \phi ds}{EA}$	$-\int_0^s \frac{H_R \cos \phi ds}{EA}$
	$\int_0^s \frac{\cos^2 \phi ds}{EA}$	$\int_0^s \frac{\cos^2 \phi ds}{EA}$		$-\int_0^s \frac{V_L \sin \phi ds}{EA}$	$\int_0^s \frac{V_R \sin \phi ds}{EA}$

σας φορτίσεων - δύνανται να υπολογισθῶσιν διὰ τῶν κατατέρω τύπων δι' ἄλλων τινῶν παραδοχῶν. Οὕτω π.χ. ἂν δεχθῶμεν σταθερὸν πάχος τοῦ φραγήματος (h) καὶ τὸ κέντρον βάρους τοῦ τόξου ὡς οὐδέτερον ἄξονα, προκύπτουν αἱ ἀκόλουθοι ἐκθεσεις:

$$I = \frac{h^2}{12}, \quad s = r \cdot \phi, \quad ds = r \cdot d\phi, \quad F = h$$

καὶ ἂν καλέσωμεν ϕ_α τὴν γωνίαν μεταξὺ τοῦ σημείου οὐπίνος ζητοῦνται αἱ μετακινήσεις καὶ τῶν πακτώσεων, θὰ λάβωμεν τὰς ἀκόλουθους ἀπλοποιημέναις μορφαῖς τῶν σταθερῶν τοῦ τόξου.

$$(41) \left\{ \begin{array}{l} (\alpha) \quad A_1 = \frac{12}{Eh^3} \cdot r [\phi_\alpha] \quad B_1 = \frac{12r^2}{Eh^3} [\phi_\alpha - \eta\mu\phi_\alpha] \\ (\beta) \quad C_1 = \frac{12r^2}{Eh^3} [1 \cdot \sigma\upsilon\nu\phi_\alpha] \\ (\gamma) \quad B_2 = \frac{12r^2}{Eh^3} \left[1 \cdot \sigma\upsilon\nu\phi_\alpha - \frac{\eta\mu^2\phi_\alpha}{2} \right] + \frac{r}{Eh} [\eta\mu^2\phi_\alpha] \\ (\delta) \quad C_2 = \frac{12r^3}{Eh} \left[\frac{\phi_\alpha - \eta\mu\phi_\alpha - \sigma\upsilon\nu\phi_\alpha}{2} \right] + \frac{r}{Eh} \left[\frac{\phi_\alpha - \eta\mu\phi_\alpha \sigma\upsilon\nu\phi_\alpha}{2} + \frac{\phi_\alpha + \eta\mu\phi_\alpha \sigma\upsilon\nu\phi_\alpha}{2} \right] \\ (\epsilon) \quad B_2 = \frac{12r}{Eh} \left[-2\eta\mu\phi_\alpha + \frac{(\phi_\alpha + \eta\mu\phi_\alpha \sigma\upsilon\nu\phi_\alpha)}{2} \right] + \frac{r}{Eh} \left[\frac{\phi_\alpha + \eta\mu\phi_\alpha \sigma\upsilon\nu\phi_\alpha}{2} + 3 \frac{(\phi_\alpha - \eta\mu\phi_\alpha \sigma\upsilon\nu\phi_\alpha)}{2} \right] \end{array} \right.$$

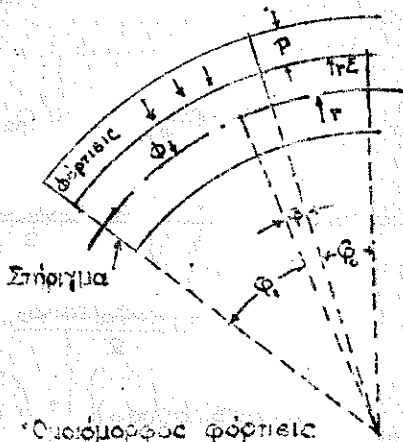
Οἱ ἐντὸς τῶν παρενθέσεων ἀριθμοὶ εἶναι συναρτήσεις ἐκάστης γωνίας ϕ_α μόνον.

Δυνάμεθα ὅθεν νὰ καταρτίσωμεν πίνακας ἢ διαγράμματα δόξου καὶ μῆκας τῶν παρενθέσεων διὰ τὰς δυνατὰς

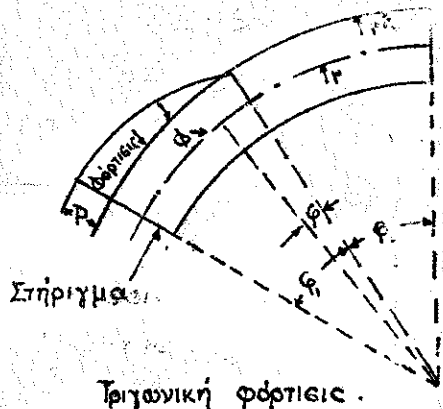
γωνίας φ_α .

Ἐκ παραλλήλου πρὸς τὰς ὡς ἀνω σταθερὰς τοῦ τόξου δεῖν νὰ προσδιορίζωμεν ἐκάστοτε καὶ τὰς ροπὰς τῶν ἑξωτερικῶν φορτίων (M_α) ὡς καὶ τὰς ἀναλόγους δυνάμεις (H_α, V_α) (τύπου 35 καὶ 36).

Αὗται συνήθως τυποποιοῦνται καὶ δὴ δὲ ὁμοιομορφον φορτίειν p (ὑπεινομένην λ.χ. ἐπὶ τμήματος τόξου s), ὡς καὶ διὰ τριγωνικὴν τοιαύτην, εἴτε ἡ φόρτισις αὕτη εἶναι κάθετος εἰς τὸ τόξον ἢ ἐφαπτομενικὴ ἢ, τέλος, καὶ ἂν προέρχεται ἀπὸ δυνάμεις στρέψεως, ὡς ἐμφαίνεται εἰς τὰ ἀκόλουθα εἰρήματα (109, 110, 111).

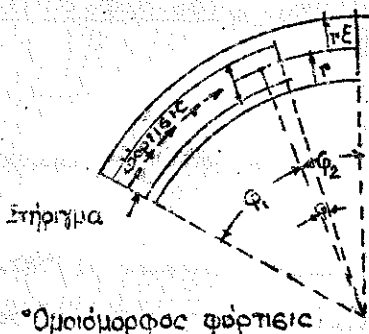


Ὅμοιομορφος φόρτισις

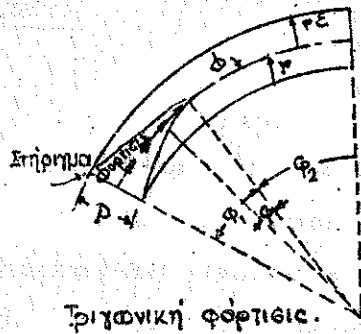


Τριγωνικὴ φόρτισις.

Σχ. 109: Ὅμοιομορφος ἢ τριγωνικὴ φόρτισις ἐκ τῶν καθέτων φορτίων

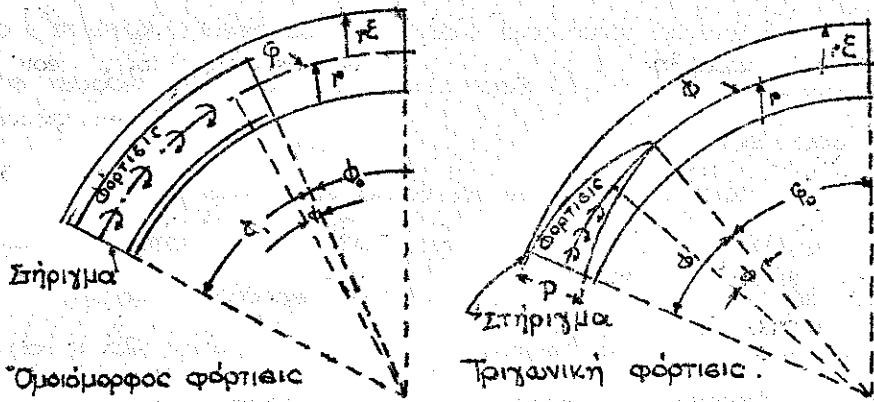


Ὅμοιομορφος φόρτισις



Τριγωνικὴ φόρτισις.

Σχ. 110: Ὅμοιομορφος καὶ τριγωνικὴ φόρτισις ἐκ τριγωνικῶν φορτίων.



Σχ. ΙΙΙ : Ομοιόμορφος και τριγωνική φόρτιση εκ δυνάμεων στρέψεως .

Ο προεδιορισμός γών των M_a , V_a , H_a δύναται να γίνη εύχεραως δια τοῦ κατωτέρω πίνακος :

Π Ι Ν Α Κ Σ 2

Φ ο ρ τ ί α	Μεγεθός	Φόρτιση ως εἰς σχήματα 109 , 110 , 111 .	
		Ομοιόμορφος	Τριγωνική
Ἀκτινωταί φορτίσεις (εχ. 109)	M_a H_a V_a	$p \cdot r_E \cdot r (1 - \sigma \nu \varphi)$ $p \cdot r_E (1 - \sigma \nu \varphi)$ $p \cdot r_E (\eta \mu \varphi)$	$p \cdot r_E \cdot r (\varphi - \eta \mu \varphi) / \varphi_1$ $p \cdot r_E (\varphi - \eta \mu \varphi) / \varphi_1$ $p \cdot r_E (\varphi - \sigma \nu \varphi) / \varphi_1$
Ἐφαπτομενικάι φορτίσεις (εχ. 110)	M_A H_A V_A	$p r^2 (\varphi - \eta \mu \varphi)$ $-p r \eta \mu \varphi$ $p r (1 - \sigma \nu \varphi)$	$p r^2 (\varphi^2 / 2 - (1 - \sigma \nu \varphi)) / \varphi_1$ $-p \cdot r (1 - \sigma \nu \varphi) / \varphi_1$ $p \cdot r (1 - \eta \mu \varphi) / \varphi_1$
Φόρτιση στρέψεως (εχ. 111)	M_a	$p r \varphi$	$p r \cdot \varphi^2 / 2 \varphi_1$

Το r εκφράζεται εις διαστάσεις τάσεως (kg/m^2) δι' ακτινωτάς ή εφαπτομενικάς φορτίσεις και εις διαστάσεις ($\text{kg}\pi/\text{m}^2$) δια φορτίσεις στρέψεως. Αι φορτίσεις στρέψεως δέν δίδουσι συνιστώσας εις H_A και V_A .

Έκ παραλλήλου δέον γα υπολογισθῶσιν αι τιμί τῶν D_1, D_2, D_3 εις τας ἐξισώσεις (37) και (37'). Ὡς γνωστα' αι σταθεραὶ αὗται εἶναι συνάρτησις τῆς ἑξωτερικῆς φορτίσεως δι' ὃ και καλοῦνται σταθεραὶ φορτίσεως. Ὡς συνάγεται ἐκ τῶν ἐξισώσεων (37) και (37') αι παραστάσεις αὐτῶν εις τὸν ολοκληρωτικὸν λογισμόν, ἐκφράζουσι τὴν μετακίνησιν (ἀπόκλισιν) ἐπημείου τοῦ τόξου, ὄφειλομένην ἐκ τῶν ἑξωτερικῶν φορτίων, ἅτινα ἐφαρμόζονται μεταξὺ τοῦ ὑπ' ὄψιν σημείου και τῆς πακτώσεως. Ἡ παράστασις D_1 δίδει τὴν γωνιακὴν μετακίνησιν, ἡ D_2 τὴν ἀκτινωτὴν και ἡ D_3 τὴν εφαπτομενικὴν μετακίνησιν.

Διὰ τόξου σταθεροῦ πάκτου h [$\mathcal{J} = \frac{h^3}{12}$] φορτιζόμενον δι' ἐπίκεντρον γωνίαν φ_1 , μετρομένην ἀπὸ τοῦ στηρίγματος, εὐφράνας πρὸς τὰ σχ. (109) (110) (111) (βλέπε σελ. 150-151) αι σταθεραὶ αὗται λαμβάνουσι τὴν μορφήν:

$$(12) \left\{ \begin{array}{l} (\alpha) \quad D_1 = \frac{12}{Eh^3} \int_0^s M_\alpha \cdot r \cdot d\varphi \\ (\beta) \quad D_2 = \frac{12}{Eh^3} \int_0^{\varphi_1} M_\alpha \cdot r^2 \cdot \eta \mu\varphi \cdot d\varphi + \frac{1}{Eh} \int_0^{\varphi_1} H_\alpha r \eta \mu\varphi \cdot d\varphi + \frac{3}{Eh} \int_0^{\varphi_1} V_\alpha r \sigma \omega \nu \varphi \cdot d\varphi \\ (\gamma) \quad D_3 = \frac{12}{Eh^3} \int_0^s M_\alpha \cdot r^2 (1 - \sigma \omega \nu \varphi) d\varphi - \frac{1}{Eh} \int_0^{\varphi_1} H_\alpha \cdot r \cdot \sigma \omega \nu \varphi d\varphi + \frac{3}{Eh} \int_0^{\varphi_1} V_\alpha r \eta \mu \varphi \cdot d\varphi \end{array} \right.$$

Αι τιμαί τῶν M_α , H_α καί V_α ἐδόθησαν εἰς τὸν πίνακα 2. Ἐάν τὸ φορτίον ἐκτείνεται εἰς τμήμα μόνον τοῦ τόξου ($\varphi = 0 \div \varphi_1$) αἱ τιμαί τῶν D_1 , D_2 , D_3 λαμβάνονται μέχρι τοῦ σημείου $\varphi = \varphi_1$ δι' ὀλοκληρώσεως τῶν ἐξισώσεων ἀπὸ 0 ἕως φ_1 .

Πέραν τοῦ σημείου αὐτοῦ ἀντικαθιστῶμεν διὰ καταλλήλων συναρτήσεων τοῦ φ_0 (τῆς γωνίας πέραν τοῦ φορτιζομένου τμήματος) καί οὕτω ἐπεκτείνονται αἱ ἐξισώσεις (42) πρὸς τὸ ἀφῄριστον τμήμα τοῦ τόξου. (βλ. βλ. 109, 110, 111).

Τὰ ὀλοκληρώματα τῶν τύπων (42) δίδονται κατωτέρω εἰς τὸν πίνακα 3, ἔνθα εἰς τὴν πρώτην στήλην δίδονται, αἱ λογαριθμικαὶ συναρτήσεις τῶν τύπων (42) εἰς τὴν δευτέραν στήλην εἰς ποῖον τμήμα τῶν τύπων (42) ἀναφέρονται αὐταί, εἰς τὴν τρίτην δὲ στήλην εἰς ποῖαν ποσότητα πολλαπλασιάζονται αὐταί πρὸς προσδιορισμὸν τῶν μεγεθῶν D_1 , D_2 καί D_3 . Ὁ πίναξ οὗτος ἀναφέρεται μόνον εἰς ὁμοίμορφον ἀκτινωτὴν φόρτισιν τῶν δακτυλίων τοῦ τόξου.

Ἀνάλογοι πίνακες ὑπάρχουν δι' ἐφαπτομενικὰς φορτίσεις ὡς καὶ φορτίσεις στρέψεως τόσον ὁμοιομόρφους ὅσον καὶ τριγωνικῆς διατομῆς (βλ. Davis, Handbook, 1942 σελ. 177-178).

Εἰς τὸν πίνακα 3 αἱ γωνίαι $\varphi_1 + \varphi_0 = \varphi$ κατὰ τὰ ἐκτμήματα 109, 110, 111 τῆς σελ. 150-151. -

Ἡ στήλη 2 τοῦ πίνακος ἀναφέρεται εἰς τὸ 1^{ον} καὶ 2^{ον} μέρος τῶν ἐξισώσεων (42). Τῶν ἐξισώσεων 42β καὶ 42γ τὸ πρῶτον μέρος (πρῶτος ὅρος τοῦ δεξιοῦ τμήματος τῆς ἐξισώσεως) δίδει τὰς ἐπιδράσεις τῆς ροπῆς κάμψεως τῶν ἑξωτερικῶν φορτίων εἰς τὰς μετακινήσεις καὶ διαιρεῖται ἐνίοτε διὰ λόγους εὐκολίας εἰς δύο τμήματα (3 καὶ 5 σειραὶ τοῦ πίνακος). -

Το δεύτερον μέρος των έξειώσεων 42β και 42γ αποτελείται από δύο τμήματα εἴς ἄν τὸ πρῶτον παριστᾷ τὴν παραμόρφωσιν τὴν ὀφειλομένην εἰς τὰς κυρίας δυνάμεις (H) τὸ δὲ δεύτερον εἰς τὰς δυνάμεις διατμήσεως.

Π Ι Ν Α Ξ 3.

Σταθεραὶ φορτίσεως δι' ὁμοιόμορφον ἄκτινωτὴν φόρτισιν (ex. 109 ἀριστερά)

Τριγωνικὴ συνάρτησις	Τμήμα έξειώσεως	Πολλαπλασιαστικὸν
$\eta\mu\phi_0 \left(\frac{\eta\mu^2\phi_1}{2} \right) + \epsilon\omega\nu\phi_0 \left(\frac{\phi_1 - \eta\mu\phi_1 \epsilon\omega\nu\phi_1}{2} \right)$	2 ^ο μέρος D ₃ 2 ^ο τμήμα	$\frac{p \cdot R_a \cdot r}{E \cdot h}$
$\epsilon\omega\nu\phi_0 \left(\frac{\eta\mu^2\phi_1}{2} \right) + \eta\mu\phi_0 \left(\frac{\phi_1 - \eta\mu\phi_1 \epsilon\omega\nu\phi_1}{2} \right)$	2 ^ο μέρος D ₂ 2 ^ο τμήμα	$\frac{p \cdot R_a \cdot r}{E \cdot h}$
$\phi_1 - \eta\mu\phi_1$	D ₁	$p R_a r^2 / I E$
	1 ^ο μέρος D ₃ 1 ^ο τμήμα	$p R_a r^3 / I E$
$\eta\mu\phi_0 \left(\eta\mu\phi_1 - \frac{\phi_1 + \eta\mu\phi_1 \epsilon\omega\nu\phi_1}{2} \right) + \epsilon\omega\nu\phi_0 \left((1 - \epsilon\omega\nu\phi_1) - \frac{\eta\mu^2\phi_1}{2} \right)$	D ₂ 1 ^ο μέρος	$p R_a r^3 / I E$
	2 ^ο μέρος D ₃ 1 ^ο τμήμα	$p R_a r / h E$
$\epsilon\omega\nu\phi_0 \left(\eta\mu\phi_1 - \frac{\phi_1 + \eta\mu\phi_1 \epsilon\omega\nu\phi_1}{2} \right) - \eta\mu\phi_0 \left(1 - \epsilon\omega\nu\phi_1 - \frac{\eta\mu^2\phi_1}{2} \right)$	1 ^ο μέρος D ₂ 2 ^ο τμήμα	$-p R_a r^3 / E I$
	2 ^ο μέρος D ₃ 1 ^ο τμήμα	$-p R_a r / E h$

Παράδειγμα.

Ἡ ἀνωτέρω ἀναλυτικὴ μέθοδος δύναται νὰ γίνη καὶ τμηματικῶς ἰδίᾳ ὅταν αἱ ἀκτίνες (καὶ τὸ πάχος τοῦ τόξου) εἶναι μεταβλητὰ μεγέθη.

Ἐν τοιαύτῃ περιπτώσει τὸ τόξον διαιρεῖται εἰς θολί-
τας καὶ ἐπ' αὐτῶν ἐφαρμόζονται αἱ ἐξισώσεις ἐλαστικώ-
τητος (Bresse) ὡς ἑξῆς :

$$(43\alpha) \quad \Sigma_M \partial \omega = \Sigma \frac{M_E \Delta s}{EJ} + \Sigma \frac{M \Delta s}{EJ} + \Sigma \frac{H_{cy} \cdot \Delta s}{EJ} + \Sigma \frac{V_{cx} \Delta s}{EJ}$$

καὶ ἀναλόγως διὰ τὰς μετακινήσεις :

$$\Sigma_M \partial x \quad \text{καὶ} \quad \Sigma_M \partial y \quad (\text{ἔξ. 43β καὶ 43γ}) \dots$$

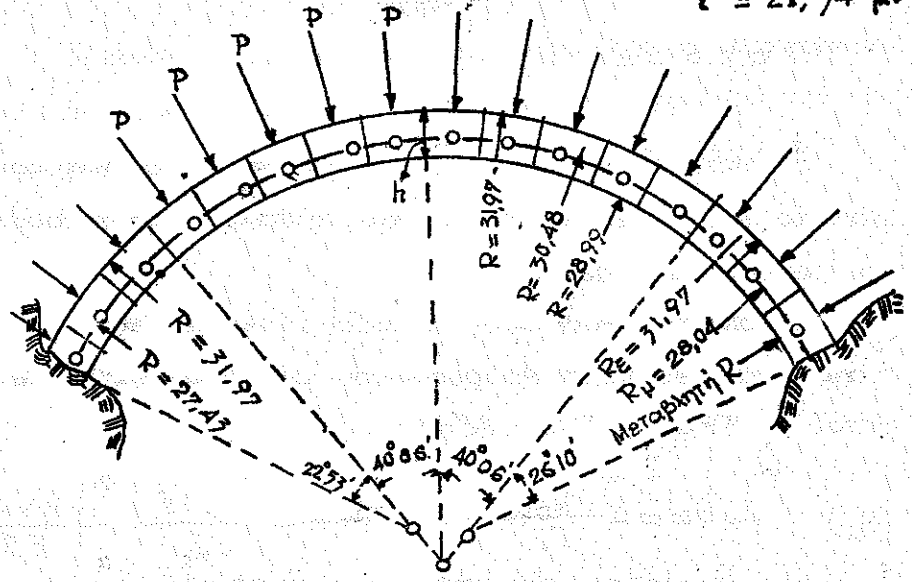
εἰς ταύτας προσθέτομεν καὶ τὰς μετακινήσεις λόγῳ ἀλλαγῆς θερμοκρασίας καὶ ὑποκαρῆσεως θεμελίων (ὡς ταῦτα ἀναπτύσσονται εἰς τὴν ἐπομένην παράγραφον). Συνήθως συντάσσονται εἰδικοὶ πίνακες εἰς οὓς ὑπολογίζον-
ται τὰ μεγέθη τὰ εἰσερχόμενα εἰς τὰς ἐξισώσεις 43α, 43β καὶ 43γ). -

Ἀριθμητικὸν παράδειγμα τῆς μεθόδου ταύτης δίδεται ὑπὸ τῶν Hinds, Creager, Justin ὡς κατωτέρω (βλ. σκ. 112 καὶ πίναξ 4).

Εἰς τὸ σχῆμα δίδεται τομὴ τοῦ τόξου τοῦ φραγματος εἰς βάθος 21.34 μ. ἐπὶ τῆς ἐπιφανείας τοῦ ὕδατος.

Τὰ ἀποτελέσματα τοῦ ὑπολογισμοῦ τοῦ τόξου (ὑπο-
διαιρουμένου εἰς 16 τμήματα) ἔχουσιν ὡς ἑκολούθως :

$l = 21,34 \mu.$



Σχ. 112 = Κάτοψις τόξου εις βάθος 21,34μ. κλίμαξ : 1cm = 5,60μ.

ΠΙΝΑΞ Α

	Αριστερά	κλεις	Δεξιά
h , πάχος θόλου, μ.	3.423	2,987	3.47
M , ροπή κάμψως τόν -μ	72,66	86,95	73,80
H_0 (θριζ. ώθησις) τόν.	-2,59	-2,59	-2,59
T , διατμήσις ολική τόν.	201,73	196,3	202,2
Τάσεις : έξωρραχίου (kg/cm^2)	6,46	37,5	6,1
έσωρραχίου (kg/cm^2)	32,60	,39	32,40

$e = \frac{M}{T} =$ απόστασις της γραμμής των πιέσεων από τού άξονος τού φράγματος.

Διά εκυρόδεμα $E = 254\ 100\ \text{ατ}$

• θεμελιώσεις $Z = 272\ 600\ \text{ατ}$

Poisson : εκυρόδέματος $1/6$

• εδάφους $1/5$

Πτώσις θερμοκρασίας $11,1^\circ\text{C}$

Διαφορά έξω-έσω $4,44^\circ\text{C}$

δ/. Η έπιρροή τών μεταβολών τής θερμοκρασίας και τών ύποκαρήσεων τής στηρίξεως. —

Μεταβολαί τής θερμοκρασίας όλου τού φράγματος προκαλούν μετακινήσεις αούτου και όπου αούται δέν είναι δυνατόν προκαλούνται παραμορφώσεις και τάσεις, μέ τήν εμφάνισιν τών άορίστων στατικών μεγεθών H, V, M .

Διά τόξον σταθεροϋ πάχους και διά μεταβολήν θερμοκρασίας κατά T βαθμούς τά αντίστοιχα στατικά άορίστα μεγέθη εις τήν κλειδα και τά στηρίγματα έχουσι ώς έξής :

Εις τήν κλειδα : (H_k)

$$\alpha_t \cdot T \cdot r \cdot \eta \mu \phi / H_k = \frac{12 r^3}{E h^3} \left[(\phi - 2 \eta \mu \phi) + \frac{\phi + \eta \mu \phi \cdot \epsilon \nu \phi}{2} \right] + \frac{1}{E h}$$

$$\left. \begin{aligned} & \left[\frac{\phi + \eta \mu \phi \cdot \epsilon \nu \phi}{2} + \frac{3(\phi - \eta \mu \phi \cdot \epsilon \nu \phi)}{2} \right] - \frac{12 r^3}{\phi E h^3} (\phi - \eta \mu \phi)^3 \\ (2) \quad M_k &= - \frac{r(\phi - \eta \mu \phi) M_k}{\phi} \end{aligned} \right\}$$

$$V_k = 0$$

Εις δέ τά στηρίγματα :

$$(44) \quad \begin{cases} H_0 = H_k \cdot \epsilon \omega \varphi \\ M_0 = - \frac{r(\varphi - \eta \mu \varphi) H_k}{\varphi} + r H_k (1 - \epsilon \omega \varphi) \varphi \\ V_0 = H_k \cdot \eta \mu \varphi \end{cases}$$

Κατά τόν ὑπολογισμὸν τῶν μετακινήσεων αἱ ἐκ τῆς ὡς ἄνω μεταβολῆς τῆς θερμοκρασίας προερχόμεναι μετακινήσεις προστίθενται εἰς τὰς λοιπὰς τὰς δεδομένας ὑπὸ τῶν ἐξισώσεων (34β) καὶ (34γ) ὑπὸ τὴν ἀκόλουθον μορφήν :

$$(45) \quad \begin{cases} d(\Delta r)_0 = \int_0^s \alpha_t T \cdot \eta \mu \varphi \cdot ds \\ d(\Delta s)_0 = \int_0^s \alpha_t T \cdot \epsilon \omega \varphi \cdot ds \end{cases}$$

ἐνθα α_t ὁ συντελεστὴς θερμικῆς διαστολῆς, T ἡ μεταβολὴ τῆς θερμοκρασίας.

Διὰ τῶν ἐξισώσεων (45) τὰ μεγέθη D_2 καὶ D_3 εἰς τὰς ἐξισώσεις (37β) καὶ (37γ) προσαυξάνονται διὰ τῶν ὄρων :

$$(46) \quad \begin{aligned} D_2 &= -\alpha_t T r (1 - \epsilon \omega \varphi) \\ D_3 &= \alpha_t T r \eta \mu \varphi \end{aligned}$$

Πολυπλοκώτερον εἶναι τὸ θέμα τῶν παραμορφώσεων ὅταν ἡ θερμοκρασία διαφέρει εἰς τὰς δύο ὀψεις τοῦ φράγματος, ὁπότε προκαλεῖται καὶ περιστροφή.

Εἰς, κατὰ προσέγγισιν τύπος τῆς προκαλουμένης γωνιακῆς παραμορφώσεως ἐκάστης διατομῆς (θολίου π.χ.) εἶναι ὁ ἀκόλουθος :

$$(47) \quad \Delta \theta_0 = \alpha_t \cdot \Delta T \left(1 - 0,5 \frac{h}{r} \right) \frac{\Delta}{h}$$

όπου ΔT η μεταβολή της θερμοκρασίας από την άκρην προς την κατάντη πλευράν εκάστου θολίτου. Η ολική μετακίνηση, η δίδομένη υπό όλου του τόξου (διαιρουμένου εις θολίτους) θα είναι εις την κλείδα :

$$(48) \quad \left\{ \begin{array}{l} \Sigma_{\Delta F} \cdot \partial x = \Sigma \cdot y \cdot \alpha_t \cdot \Delta T (1 - 0,5 \frac{h}{r}) \cdot \Delta s / h \\ \Sigma_{\Delta F} \cdot \partial y = \Sigma \cdot x \cdot \alpha_t \cdot \Delta T (1 - 0,5 \frac{h}{r}) \cdot \Delta s / h \end{array} \right.$$

Αι παραμορφώσεις του εδάφους εξ άλλου συνεπεία των φορτίσεων αυτού τόξου εις τὰ στηρίγματα των τόξων οσον και εις την θεμελίωσιν των προβολικών τμημάτων των φραγμάτων βαρύτητας αποτελούν πολύπλοκον πρόβλημα προς αντιμετώπισιν.

Συνήθως χρησιμοποιούνται κατά προσέγγισιν τύποι ως οί του F. Vogt και οίτινες βασίζονται εις τας ακόλουθους παραδοχάς.

Τα άκρα των τμημάτων των τόξων θεωρούνται κατακόρυφα, τα δε των προβολων των φραγμάτων βαρύτητας έριζόντια. Αί μετακινήσεις εις τα άκρα ταυτα δίδονται υπό των τύπων :

$$(49) \quad \text{Περιστροφή εκ ροπής} : \alpha' = M K_1 / E_e h^2$$

$$(50) \quad \text{Μετακίνησης εκ διατμήσεως} : \gamma' = V K_3 / E_e$$

$$(51) \quad \text{Στροφή εκ διατμήσεως} : \alpha'' = V K_5 / E_e h$$

$$(52) \quad \text{Μετακίνησης εκ ροπής} : \gamma'' = M K_5 / E_e h^2$$

όπου M και γ παριστοιούν ροπές και διατμητικές δυνάμεις εις τὰ τόξα ή τούς προβόλους, E_e είναι τό μέτρον ελαστικότητος τού έδάφους και h τό πάχος τού στοιχείου κατά τήν άκτίνα τού τόξου.

Τά μεγέθη α' και γ'' είναι συνηθως άμελητέα.

Έκ παραλλήλου αι όριζόντιαι μετακινήσεις αι προερχόμεναι έκ τών όρθων πιέσεων H τού τόξου δίδονται υπό τού τύπου :

$$(53) \quad \beta' = H k_2 / E_e$$

Τέλος αι μετακινήσεις αι όφειλόμεναι εις τήν ροπήν στρέψεως M_t , στρέψιν, τήν μεταδιδομένην εις τήν θεμελίωσιν τών προβόλων δίδεται υπό τού τύπου :

$$(54) \quad \delta' = M_t \cdot k_4 / E_e \cdot h^2$$

Οί συντελεσται k_1, k_2, k_3, k_4 και k_5 δίδονται συναρτήσει τού συντελεστού τού Poisson και τού λόγου b/a , ένθα b τό μήκος τού φράγματος και a τό μέσον πλάτος αυτού κατά τόν κάτωθι πίνακα (διά συντελεστήν Poisson : $1/5$).

Π Ι Ν Α Κ Σ 5

b/a	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5
1.00	4.32	0.62	1.02	4.65	0.345
2.00	4.84	0.91	1.39	5.18	0.458
5.00	5.22	1.36	1.89	6.08	0.574
10.00	5.36	1.75	2.31	6.46	0.630
15.00	5.41	1.98	2.55	6.59	0.653
20.00	5.43	2.16	2.72	6.66	0.668

3. Ἡ μέθοδος ἀμφιεπιπέδου κατανομῆς τῶν φορτίσεων (Trial-load method).

Εἰς τοιαῦτά φράγματα μεγάλου μήκους εἰς τὴν στέψιν καὶ μικροῦ εἰς τὸν πυθμένα τῆς κοιλάδος εἶναι προφανές ὅτι εἰς τὸ μέσον αὐτῶν, ἢ ἐπίσφαισι τοῦ τόξου εἶναι πολὺ ἰσχυρότερα εἰς τὸν πυθμένα ἐλαττωμένην βραθμιαίως εἰς τὴν στέψιν.

Τὸ ὅλον φράγμα — καὶ ἰδιαίτερα εἰς τὸ μέσον αὐτοῦ — ἀντιφρά εἰς τὴν ἐξωτερικὴν τοῦ ὑδάτος φορτίσιν ἀφ' ἑνὸς μὲν ὡς πρόβολου πεπακτωμένος εἰς τὴν βῆσιν, ἀφ' ἑτέρου δὲ ὡς ἀμφίπακτον τόξον. Ἐκείστη στατικὴ ἔννοια ἐξ αὐτῶν περιλαμβάνει μέρος τῆς φορτίσεως. Ἡ ἀναλογία τῶν φορτίσεων (προβόλου καὶ τόξου) θὰ εἶναι τοιαύτη ὥστε δι' ἑκατέραν τῶν φορτίσεων ἕκαστον σημεῖον τοῦ φράγματος θὰ ἔχη τὴν αὐτὴν μετακίνησιν, ἐφ' ἧσον τελικῶς ἢ μετακινήσει εἰς ἕκαστον σημεῖον εἶναι μονοσημάντος.

Τὸ πρόβλημα ὑπολογισμοῦ ἀνάγεται ὅθεν εἰς τὴν εὐρείαν τοῦ φροντιστοῦ κατανομῆς τῶν φορτίσεων κατὰ τὰ δύο ἐπίπεδα (προβόλου καὶ τόξου) καὶ τὸν ἀπλοῦν ὑπολογισμὸν τότε τοῦ φράγματος ὡς προβόλου καὶ ὡς τόξου μετὰ ἀντίστοιχα τμήματα τῆς φορτίσεως.

Κατ' ἀρχὴν, ἐκ διαιεθήσεως, ἢ ἐκ πείρας ἐν συγκρίσει μετ' ἐκτελεσθέντος ὑπολογισμοῦ, γίνεται ἡ τοιαύτη κατανομή τῶν φορτίσεων εἰς διάφορα ἐπίπεδα κάθετα εἰς τὸν κατὰ μῆκος ἄξονα τοῦ φράγματος καὶ ὑπολογίζονται οἱ μετακινήσεις τῶν αὐτῶν σημείων (ἀνηκόντων εἰς τὸν πρόβολου καὶ τὸ τόξον).

Ἐάν αἱ μετακινήσεις δὲν συμπίδουν, τροποποιεῖται ἡ κατανομή τῶν φορτίσεων, μίαν ἢ περισσότερας φορές, μέχρι τελικῆς ἱκανοποιητικῆς συμπτώσεως τῶν μετακινήσεων, ὁπότε καὶ σταματᾷ ὁ ὑπολογισμός.

Ἀνάγεται ὅθεν οὐσιαστικῶς τὸ πρόβλημα εἰς τὸν ὑπολογισμόν τῶν μετακινήσεων σημείων τοῦ τόξου ἢ τοῦ προβόλου συναρτήσεϊ τῶν διὰ διαδοχικῶν προσεγγίσεων λαμβανομένων ποσοστῶν τῆς φορτίσεως ἑκάστου.

Εἶναι προφανές ὅτι ἐφ' ὅσον τοῦτο γίνεται εἰς διαφόρους τομῆς (καθῆτως καὶ κατὰ μήκος τοῦ μεγάλου ἄξονος τοῦ φράγματος) αἱ φορτίσεις τῶν τόξων θὰ εἶναι ταῖρα μεταβληταί καὶ θὰ λαμβάνουν τὰς μορφὰς τὰς ὁδοῦσας διὰ τῶν σχημάτων 109, 110 καὶ 111 τῆς σελίδος 150.

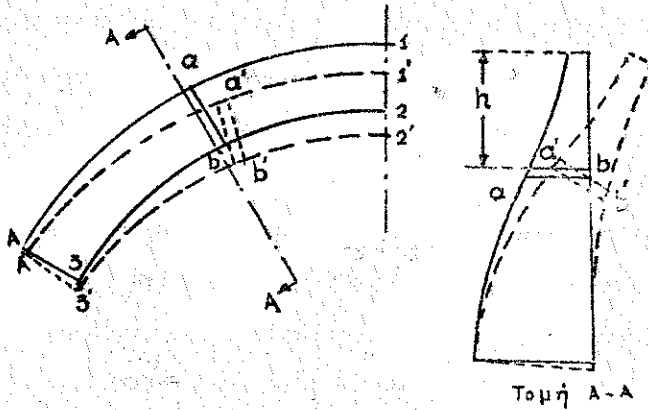
Ὁ ὑπολογισμός τῶν μετακινήσεων τῶν διαφόρων σημείων τοῦ τόξου, ἐδόθη ἤδη λεπτομερῶς εἰς τὴν προηγουμένην παράγραφον (27) τοῦ παρόντος κεφαλαίου. Συνήθως εἰς τὴν παρούσαν μέθοδον κρησιμοποιεῖται ἡ ἐν τῷ παραδείγματι τοῦ σχήματος 112, σελ. 156, ἀναφερομένη ἀναλυτικῆ μέθοδος κατὰ τμήματα.

Παραμένει ὅθεν προσέτι ὁ ὑπολογισμός τῶν μετακινήσεων κατὰ τὴν ἐννοιαν τοῦ προβόλου.

Εἰς τὸ σχῆμα 113 δίδεται ἐν κατόψει καὶ τομῆ (A-A) τμήμα α-α τοῦ τόξου φράγματος καὶ δὴ πρό τῆς φορτίσεως αὐτοῦ, καὶ μετὰ ταύτην ὁπότε τὸ ἀντίστοιχον τμήμα αβ λαμβάνει τὴν νέαν θέσιν αὐτοῦ αβ'.

Κατὰ τὸν ὑπολογισμόν, ἡ νέα θέσις αβ' εἰς τὸν παραμορφούμενον πρόβolon πρέπει νὰ συμπίπτῃ μετὴν νέαν θέσιν αβ' εἰς τὸ τόξον.

Είναι προφανές ότι εάν ο πρόβολος φορτίζεται μόνον με πιέσεις κατά την άκτινα του τόξου, αί παραμορφώσεις αὐτῶν α'β' δὲν δύνανται νά λάβωσιν τήν ἐν κατόψει τοῦ σχήματος



Σχ. 113 : Μετακινήσεις τοῦ αὐτοῦ τμήματος α-β εἰς τόξον καί εἰς πρόβolon.

δεικνυομένην νέαν θέσιν αὐτῶν ἢ νά δώσωσιν ἐφαπτομενικάς καί γωνιακάς μετακινήσεις ($d (\Delta s_0)$ καί $d \theta_0$ τῶν ἐξισώσεων 34).

Οἱ μετακινήσεις αὐταὶ προκαλοῦνται γενικῶς ἀπὸ δυνάμεις ἐσωτερικάς ἐντὸς τοῦ φροήματος, ὡς ὅμως χειριζόμεθα ὡς ἐξωτερικά φορτία φράνται τῶσιν ἐπὶ τῶν διαφόρων τομῶν τοῦ τόξου ὅσον καὶ τῶν ἀντιστοίχων τομῶν τῶν προβόλων. Αἱ δυνάμεις αὐταὶ καθορίζονται δοκιμαστικῶς.

Ἐνα σύστημα δυνάμεων ἐγκαρσίων πρὸς τὸν πρόβolon, ἐφαρμόζεται ἐπ' αὐτοῦ ὥστε νά προκαλῆ ἐγκαρσίου μετακινήσεις ἐκ διαμήσεως, αἵτινες εἰς ἕκαστον ὑψόμετρον αὐτοῦ θά συμπίπτουν μὲ τὰς ἐφαπτομενικάς μετακινήσεις τοῦ τόξου τοῦ αὐτοῦ σημείου. Δοθέντος ὅτι ἡ ὅλη συνέχεια τῆς κατασκευῆς ἐμποδίζει ἐμφανῆ ἐγκαρσίων κάτοψιν τοῦ προβόλου, ἐπὶ

τοῦ προκειμένου λαμβάνονται ὑπ' ὄψιν μόνον παραμορφώσεις ἐκ διατμητικῶν δυνάμεων.

Ἐκ παραλλήλου ἔνα σύστημα ἐφαπτομενικῶν δυνάμεων, ἴσων καὶ ἀντίθετον πρὸς τὰς ὡς ἄνω ἐφαρμοζομένους ἐπὶ τοῦ προβόλου δυνάμεις, συμπεριλαμβάνεται εἰς τὰς δυνάμεις ἐπὶ τῇ βίψει τῶν ὑποίων ὑπολογίζονται αἱ μετακινήσεις τοῦ τόξου.

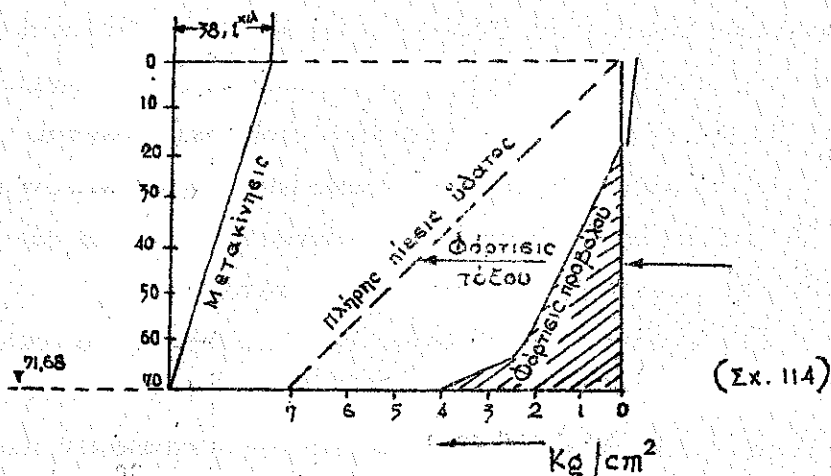
Ἐξ ἄλλου ἡ μετάβασις τοῦ πρίσματος ἐκ τῆς θέσεως αβ εἰς τὴν θέσιν αβ' (βλ. σκ. 115), ἐξυπακούει καὶ γωνιακὰς μετακινήσεις τοῦ πρίσματος εἰς τὸν πρόβολου. Ἴνα λάβουν χώραν αὐταὶ εἰς τὸν πρόβολου δέον νὰ φορτίσωμεν αὐτὸν διὰ ευστήματος ῥοπῶν στρέψεως ἐφαρμοζομένων εἰς ὀριζόντια ἐπίπεδα. Ἐν τῇ αὐτῇ περιπτώσει ἴσαι καὶ ἀντίθετοι ροπαὶ στρέψεως κείμεναι ἐπὶ τοῦ αὐτοῦ ἐπιπέδου, διὰ νὰ προστεθῶσιν εἰς τὰς λοιπὰς φορτίσεις τοῦ τόξου κατὰ τὸν ὑπολογισμὸν τῶν παραμορφώσεων αὐτοῦ.

Τέλος αἱ καθαρῶς ἀκτινωταὶ μετακινήσεις τοῦ προβόλου ἔκρουσιν γωνιακὰς συνιστώσας ἐπὶ κατακορύφων ἐπιπέδων· ἵνα αἱ γωνιακαὶ αὐταὶ μετακινήσεις παρουσιασθῶσιν καὶ εἰς τὰ τόξα δέον νὰ φορτίσωμεν αὐτὰ μὲ ροπὰς κάμψεως (ἐπὶ κατακορύφων ἐπιπέδων διαρχομένων διὰ τοῦ κέντρου καμπυλότητος τοῦ τόξου). Συγκρόνως ἴσαι καὶ ἀντίθετοι ροπαὶ στρέψεως δέον νὰ προστεθῶσιν εἰς τὰς λοιπὰς φορτίσεις δι' ἧν ὑπολογίζονται οἱ πρόβουλοι.

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω γενικῶν ἀρχῶν καταφαίνεται πᾶσον πολυπλοκὸς καὶ κοπιώδης εἶναι ἡ μέθοδος αὕτη, αἵστε νὰ ἄλλαι τῆ πίνακας καὶ τεύχη διλόκληρα διὰ τὸν ὑπολογισμὸν ἐνός φραγήματος. Ἐξοικειούται τις ὁμοίως εὐκόλως ἐφ' ὅσον ἀεχο-

λείται με τὸ θέμα, ἡ πείρα δὲ καὶ ἡ ἐξάσκησης καταδεικνύουν ὀψιουστεύσεις, αἰτίνας εἶναι δυνατόν νὰ ἐπιφέρωνται εἰς εἰδικὰς περιπτώσεις.

Ὁ ὑπολογισμὸς ἀρχεται διὰ μιᾶς πρώτης κατανομῆς τῶν πιέσεων τοῦ ὕδατος μεταδύ τόξου καὶ προβολῆς. Εἰς τὸ σχ. 114 θίδεται ἡ κατανομή τῶν φορτίσεων τούτων διὰ τὸ φράγμα ὕψους 71,60 μέτρων.



Εἰς τὸ αὐτὸ ἐκῆμα θίδονται αἱ πρώται ὑπολογιζόμεναι μετακινήσεις εἰς πρόβολον ἔχοντα τὸ μέγιστον ὕψος τοῦ φράγματος.

Εἰς τὰ ἐκῆματα (115, 116, 117) θίδονται οἱ ὑπολογισμοὶ (τρίτη καὶ τελικὴ δοκιμὴ διανομῆ φορτίσεως) τοῦ φράγματος Semihoe (βλ. σχ. 90 σελ. 123) διὰ διάφορα βάρη.

Εἰς τὸ ἐκῆμα 115 θίδονται αἱ μετακινήσεις κατὰ τὴν ἀκτίνα, κατὰ τὴν ἐφαπτομένην ὡς καὶ αἱ γωνιακαὶ μετακινήσεις εἰς ἀκτίνας. Εἰς τὸ αὐτὸ ἐκῆμα θίδονται αἱ ἀναλογίαι τῆς φορτίσεως ἐκ τῆς πιέσεως τοῦ ὕδατος (εἰς τὴν πρώτην σειράν) ὡς καὶ αἱ ἐφαρμοζόμεναι ἐφαπτομενικαὶ φορτίσεις (δευτέρα σειρά) εἰς kg/m^2 καὶ τέλος αἱ ἐφαρμοζόμεναι

φορτίσεις στρέψεως (πρώτη σειρά) εις $Kg\ m/cm^2$.

Τα γραμμата $\lambda, B, C, D, E, F, H$, αντιστοιχοῦν εις τὰς τομαίς του σχήματος 90, ένθα A ή πρώτη εἶ ἀριστερῶν και E ή τομή εις τήν κλειδα.

Οἱ φορτίσεις (1^η σειρά σχήματος 115) περιλαμβάνουν τήν πίεσιν του ὕδατος αυξανομένην ἀπό τήν φόρτισιν ἐκ σειρωῶν, αποτελουμένης ἐκ δύο λαρίδων, ὡν ή ἐσωτερική ἀφείλεται εις τήν σεισμικήν φόρτισιν του ὕδατος ή δέ ἐξωτερική (ή και τελευταία) εις τήν σεισμικήν δύνησιν του εκυροδέματος. Η σεισμική δύνησις λαμβράνεται με $0,1g$ περιόδου ενός δευτερολέπτου.

Ὡς ἐμφανίεται και εις τὰς τρεῖς σειράς αἱ μετακινήσεις του $K.B.$ του τόξου (χ) και αἱ μετακινήσεις του $K.B.$ των προβόλων (δ) συμπίπτουν εις τὰς αὐτάς καμπύλας.

Εἰς τό σχήμα 116 δίδονται αἱ κατά τήν ὀκτίνα (ὀκτινικαί) μετακινήσεις του φράγματος ὑπό τήν ἐπίηρειαν των ἐξωτερικῶν φορτίων διὰ τόξα εὐρισκόμενα εις τήν ἐπιφάνειαν του ὕδατος και εις διάφορα βαθη ὑπ' αὐτήν. Η μεγίστη μετακίνησης παρουσιάζεται εις τήν κλειδα του τόξου ποῦρά τήν ἐπιφάνειαν του ὕδατος και εἶναι περίπου 12 κιλιοστ. Οὐσιαστικῶς τό σχήμα τουτο ἐμφανίζει τ ο μ ά ς τῆς πρώτης σειράς του σχ. 115 εις τὰ διάφορα βαθη ($\pm 0, -18, 15, -33, 15, -48, 15, -63, 15$).

Εἰς τό σχήμα 117 δίδονται αἱ ἐφαρμοζόμενοι ἐφαπτομενικαί δύναμεις εὗς και αἱ ἐφαπτομενικαί μετακινήσεις των διαφόρων τμημάτων των προβόλων και των τόξων εις τὰ ἀντιστοιχα ὑψόμετρα.

Και εἰδῶ ἔχομεν ἀντιστοιχοῦς τομαίς τῆς δευτέρας σειράς του σχήματος 115. Η μεγίστη ἐφαπτομενική μετακίνησης παρουσιάζεται εις τό μέσον του ἐξωτερικοῦ τόξου εις τήν ἐπιφά-

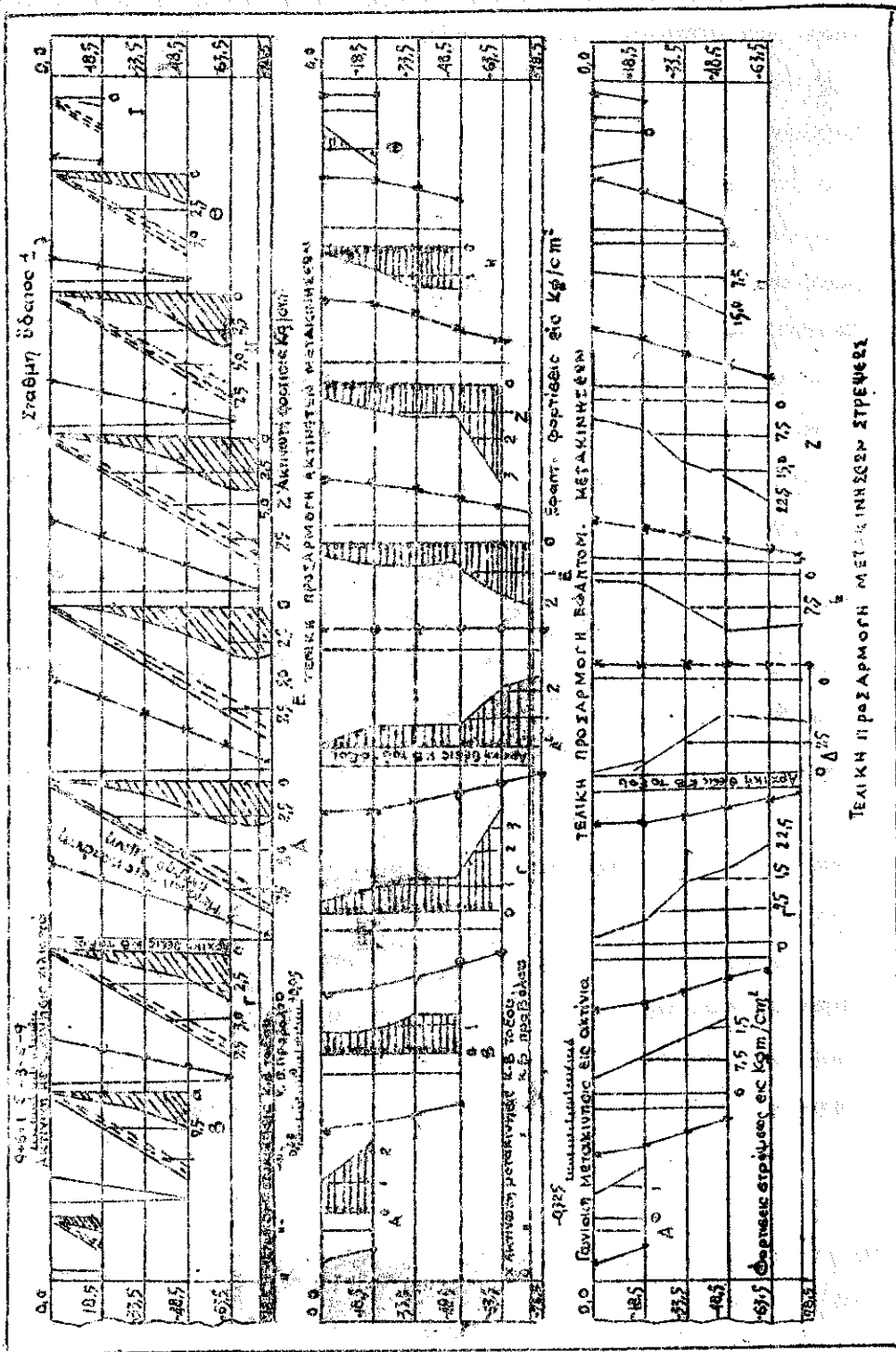
νειαν του ύδατος και ανέρχεται εις 1,5 χιλιοστά περίπου.

Παρόμοιαι διατάξεις κατασκευάζονται και δια τας φορτίσεις εκ ροπών στρέψεως και θα εἶναι τομαί της τρίτης σειράς τοῦ σχήματος 115.

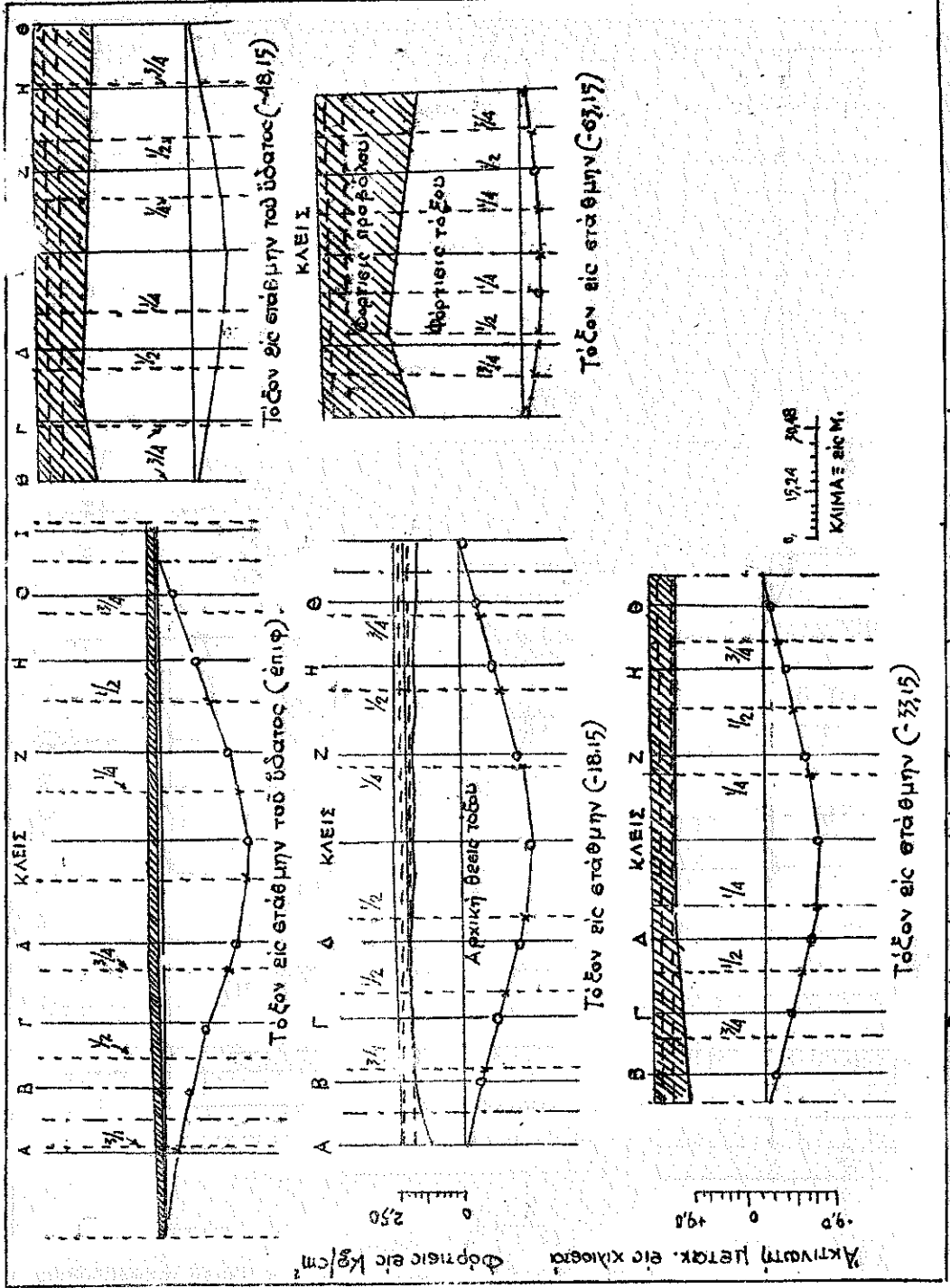
Δια τὴν κατασκευὴν τῶν ἐν λόγω σχημάτων κατασκευάζονται πίνακες ὑπολογισμοῦ, εἰς οὓς ὑποδιαιροῦνται τὰ τόξα εἰς θαλίτας καὶ οἱ πρόβολοι εἰς τμήματα καὶ ἐπαναλαμβάνεται ὁ ὑπολογισμὸς μεχρι συμπάσεως τῶν μετακινήσεων κατὰ τας δύο ἐννοίας (βλ. ἀναλυτικόν τρόπον ὑπολογισμοῦ εἰς τὸ βιβλίον *Engineering for dams*, τῶν *Hinds, Greager Justin*. τόμος II).

Ἐκ τῆς εὐρέσεως τῶν μετακινήσεων καὶ τῶν φορτίσεων ὑπολογίζονται ἤδη αἱ τάσεις τοῦ φράγματος εἰς τὸ ἐσωτερικόν αὐτοῦ καὶ δὴ αἱ τρεῖς κύριαι τάσεις εἰς τρία κάθετα ἐπίπεδα, εἰς ἃ ἐφαρμόζονται αἱ ἑξ κύριαι μονάδες φορτίσεων, ἤτοι αἱ τρεῖς κάθετοι μονάδες (κατακόρυφα ἐφαπτομενικαὶ, ἀκτινωταί) καὶ τρεῖς διαμηθικαὶ δυνάμεις (ἀκτινωταί εἰς ὀριζόντιον ἐπίπεδον, ἀκτινωταί εἰς κατακόρυφον ἐπίπεδον καὶ ὀριζόντιαι ἐφαπτομενικαὶ δυνάμεις).

Ὅμοίως προσδιορίζονται αἱ τάσεις εἰς τὰ ἐπιφανειακά ἐπίπεδα τοῦ φράγματος. Εἰς τὸ σχῆμα 118 δίδονται αἱ τάσεις τοῦ ἐσωραχίου καὶ ἐξωραχίου τοῦ αὐτοῦ φράγματος *Semihoe*, δι' ὃ ὑπελογίσθησαν αἱ μετακινήσεις.

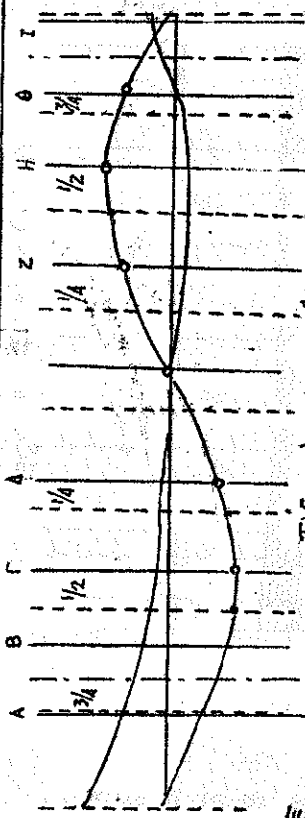


Σχ. 115. Τελική προσαρμογή ακινητών μετακινήσεων σε φερμάδες στρώσεως

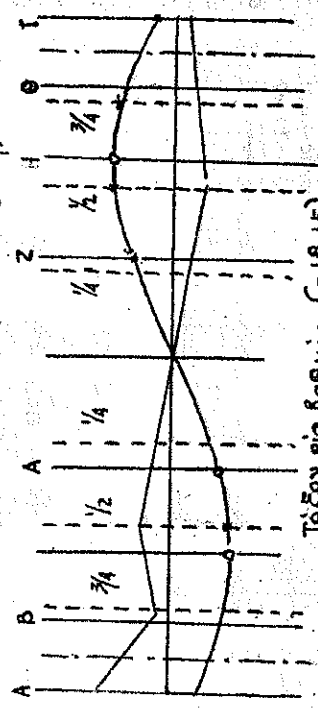


Σχ. 116. Διάνομή φορτίσεων και ακτινικοί μετακινήσεις

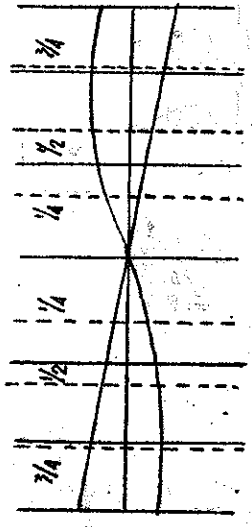
ΑΝΤΙΣΤ.



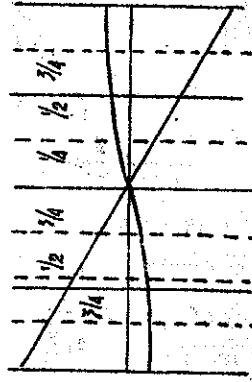
Τόξον εις σταθμην ύδατος (-18,15)



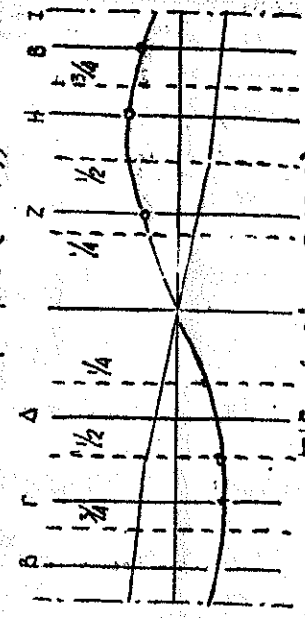
Τόξον εις βαθμύς (-18,15)



Τόξον εις βαθύς (-48,15)



Τόξον εις βάθος (-67,15)



Τόξον εις βαθύς (-33,15)

1524 30,48
ΚΛΗΜΑΣ ΕΙΣ Μ

Εφαρμογών μετακ. εις χιλιόρδ. Εφαρμογών φορτίων Κελσίου

117. Διανομή φορτίων και εφαρμογών μετακινήσεως

4. Γενική αναλυτική μέθοδος τε- ξωτών φραγμάτων (Τριδιάστατος έντατική κατάσταση).

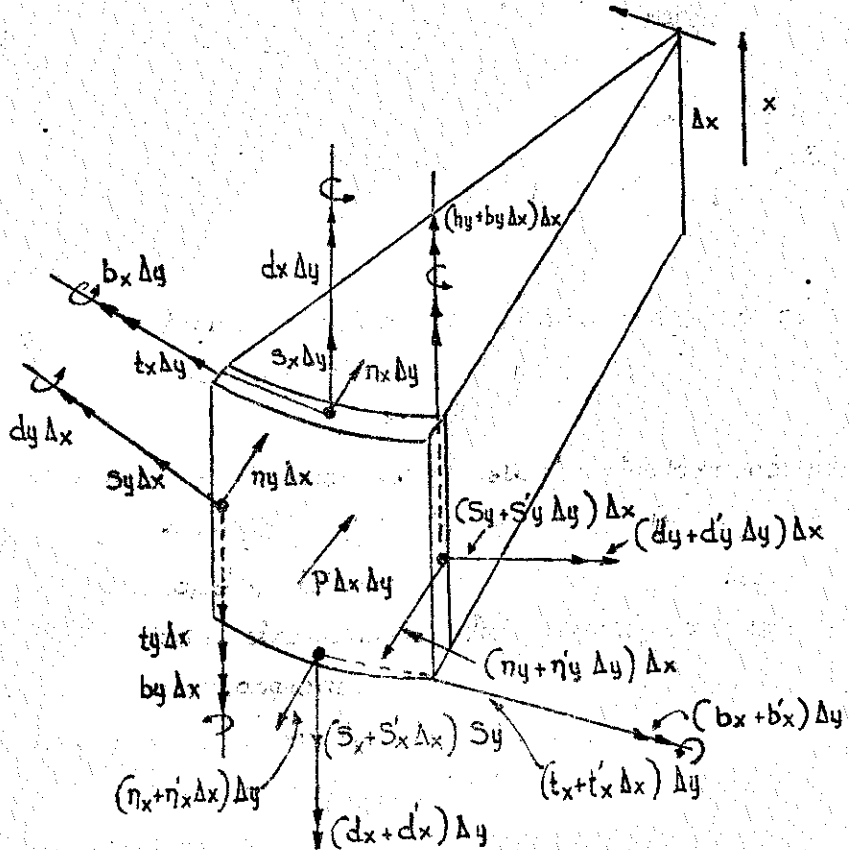
Ἡ προηγουμένη μέθοδος τῆς ἀμφιεπιπέδου κατανομῆς τῶν φορτίσεων, ἀπολήγει τελικῶς εἰς τριδιάστατον ἐν τῷ καιρῷ ἀνόλυσιν τῶν φορτίσεων καὶ παραμορφώσεων διὰ τῆς συνθέσεως αὐτῶν προκυπτουσῶν ἀπὸ δύο ἐπιπέδους καταστάσεις φορτίσεων καὶ παραμορφώσεων (τῆς τοῦ ἐπιπέδου τοῦ τόξου καὶ τοῦ προβόλου).

Εἶναι δυνατόν ὅμως (μολονότι ἐξ ἴσου ἂν μὴ καὶ περιο-
σώτερον πολὺπλοκον) νὰ ἐξετάσωμεν τὴν ὅλην ἐντατικὴν
κατάστασιν ὡς πρόβλημα τοῦ καιροῦ καὶ δὴ ὅταν ἔχωμεν
εσχετικῶς συμμετρικὰς διατομὰς τῆς κοιλάδος (ἄρα καὶ τοῦ
φραγματος ἐν προέψει). Τὴν θεωρίαν ταύτην ἀναπτύσσει
ὁ Tölke (βλ. Wa serkraftanlaggen σ. 487) καὶ ἐκτίθεται
αὕτη ἐνταῦθα ἐν περιλήψει.

Εἰς τὸ σχῆμα 119 δίδεται τμήμα φραγματος ἐποκο-
πόμενον διὰ δύο κατακορύφων ἐπιπέδων καὶ δύο ὀριζοντιῶν
καὶ εἰς τὸ τμήμα αὐτὸ Δx, Δy ἐφαρμόζονται τόσον αἱ ἐξω-
τερικαὶ δυνάμεις (P, Δx, Δy) ὅσον καὶ αἱ ἐσωτερικαὶ δυνά-
μεις, αἵτινες εἶναι αἱ ὀρθαί (s) διατμητικαὶ (t) καὶ ἐγκάρ-
σαι (d), φέρουσαι τὸν δείκτην x διὰ τὰς κατακορύφους
προβολὰς αὐτῶν καὶ τὸν δείκτην y κατὰ τὴν ὀριζοντιῶν
ἐννοίαν τοῦ δακτυλίου. Διὰ πᾶν κοίτος τοῦ δακτυλίου h αἱ τά-
σεις θὰ ἔχουν τὰς τιμὰς :

$$\sigma = \frac{s}{h} \pm \frac{\sigma b}{h^2} \quad \text{καὶ} \quad \tau = \frac{t}{h} \pm \frac{\tau d}{h^2}$$

Ἐάν ἤδη λάβωμεν τὴν ἰσορροπίαν τῶν δυνάμεων ἐπὶ τοῦ διαφορικοῦ δακτυλίου τοῦ σχήματος 119 καὶ καταστράψωμεν τὰς ἐξισώσεις ἰσορροπίας - διαιροῦντές διὰ τοῦ γινομένου $\Delta x \Delta y$ - θὰ λάβωμεν τὰς ἐξισώσεις :



Σχ. 119 : Φόρτισις δακτυλίου τοῦ φράγματος .

$$\left. \begin{aligned}
 (a) \quad & s'_x - t'_y = 0 \\
 (b) \quad & \dot{s}'_y + t'_x + \frac{\eta y}{r} = 0 \\
 (γ) \quad & \eta'_x + \eta'_y - \frac{S\eta}{r} = p \\
 (d) \quad & d'_x - b'_y + \eta_y = 0 \\
 (e) \quad & d'_y + b'_x - \eta_x = 0 \\
 (στ) \quad & -d_y + r t_x + r t_y = 0
 \end{aligned} \right\} (55)$$

ένθα ή στιγμή παριστά την παραγωγήσιν ως προς x και δ τόνος την παραγωγήσιν ως προς y.

Ενταύθα διά κατακόρυφοι τοιχώματα ή τοιαύτα με μικράν κλίσιν, οι όροι s_x και t_y είναι παραμελητέοι

Οι όροι η_y , η_x και t_x διά

$$s_x = t_y = 0 \quad (55a).$$

γράφονται τώρα συναρτήσει των ροπών ως εξής :

$$\left. \begin{aligned}
 \eta_y &= b_y - d'_x \\
 \eta_x &= b'_x + d'_y \\
 t_x &= \frac{d_y}{r}
 \end{aligned} \right\} (56)$$

και άν αντικαταστήσωμεν εις τας εξισώσεις 55β και 55γ θα έχωμεν :

$$\dot{s}'_y = -\frac{b_y}{r} - \frac{d'_y - d'_x}{r} \quad (57)$$

$$S_y = r b'_x + r \cdot b_y + r (d'_y - d'_x) = r p \quad (58)$$

Εάν ήδη ολοκληρώσωμεν την (57) ως προς y και την

ἐξ αὐτῆς προκύπτουσαν αὐθαίρετον συνάρτησιν - ἀνεξάρτητον τῆς y - παραστήσωμεν διὰ τῆς $S_{y_0}(E)$, τότε ἐν συνδυασμῷ μετὰ τὴν ἐξίσωσιν (58) ἀπαλείφεται ἡ S_y καὶ λαμβάνομεν :

$$b''_x + b''_y + \frac{b_y}{r^2} + d''_y - d''_x + \int \frac{d''_y - d''_x}{r^2} dy = p + \frac{S_{y_0}(E)}{r} \quad (59)$$

Διὰ τῶν ἐξισώσεων (56) καὶ (58) δίδονται τὰρα αἱ ὀρθαὶ (s) διατμητικαὶ (t) καὶ ἐγκάρσιαι (η) δυνάμεις διὰ τῶν ροπῶν κάμψεως καὶ στρέψεως αἵτινες συνδέονται μεταξὺ τῶν διὰ τῆς ἐξισώσεως (59).

Διὰ τὸν προσδιορισμὸν ὅμως τῆς ἐντατικῆς καταστάσεως χρειαζόμεθα ἀκόμη πέντε ἐξισώσεις, ὡς ἀντλοῦμεν ἐκ τῶν ἐξισώσεων παραμορφώσεων καὶ μετακινήσεων.

Ἐκ τῶν παραμορφώσεων ἀναγκαίουσιν αἱ γραμμικαὶ διαστολαὶ ϵ_x καὶ ϵ_y , αἱ καμπύλαι χ_x, χ_y καὶ ἡ συστροφή χ_{xy} , ἐκ δὲ τῶν μετακινήσεων ἡ ὀριζόντιος ἐφαπτομενικὴ συνιστώσα u καὶ ἡ ὀκτινικὴ w κάθετος εἰς τὸ ἐπίπεδον τοῦ ἀξονος τοῦ θόλου (ἡ τελευταία εἶναι θετικὴ ἐκ τῶν κατάντη πρὸς τὰ ἀνάντη). Ἐξ ἄλλου εἰσάγονται συγχρόνως αἱ μεταβολαὶ τῆς ρικνώσεως εἰ καὶ θερμοκρασίας Δt_f .

Ἐφαρμόζοντες τὰρα τὸν γενικὸν νόμον τοῦ Hooke λαμβάνομεν τὰς σχέσεις :

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_x - \epsilon_t &= \frac{S_x}{Eh} - r \frac{S_y}{Eh} & \chi_x - \frac{\Delta t_f}{h/2} &= \frac{b_x}{EJ} - r \frac{b_y}{EJ} \\ \epsilon_y - \epsilon_t &= \frac{S_y}{Eh} - r \frac{S_x}{Eh} & \chi_y - \frac{\Delta t_f}{h/2} &= \frac{b_y}{EJ} - r \frac{b_x}{EJ} \\ \left(J = \frac{h^3}{12} \right) & & \chi_{xy} &= - \frac{d_x(1+r)}{EJ} = + \frac{d_y(1+r)}{EJ} \end{aligned} \right\} (60)$$

Δι' ἐπιλύσεως τῶν (60) καὶ δι' εἰσαγωγῆς τῆς 55α λαμβάνομεν :

βάνομεν ἀντιστοιχῶς :

$$\left. \begin{aligned} S_y &= Eh (\epsilon_y - \epsilon_t) & b_x &= \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \left[x_x + \nu x_y - (1+\nu) \frac{\Delta \epsilon_t}{h/2} \right] \\ d_y = -d_x &= \frac{Eh^3}{12(1+\nu)} x_{xy} & b_y &= \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \left[x_y - \nu x_x - (1+\nu) \frac{\Delta \epsilon_t}{h/2} \right] \end{aligned} \right\} (61)$$

ἐνῶ ἐξ ἄλλου αἱ μετακινήσεις συνδέονται πρὸς τὰς παραμορφώσεις μετὰ τὰς ἀκολουθοῦσας σχέσεις :

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_y &= \dot{u} + \frac{\dot{\omega}}{r} \\ x_x &= -\ddot{\omega}'' , \quad x_y = -\ddot{\omega} , \quad x_{xy} = -\dot{\omega}' \end{aligned} \right\} (62)$$

Ἐάν ἡδὴ εἰσαγάγωμεν τὰς (62) εἰς τὰς (61) λαμβάνομεν τὰς ἐξισώσεις :

$$\left. \begin{aligned} (\alpha) \quad S_y &= Eh \left(\dot{u} + \frac{\dot{\omega}}{r} - \epsilon_t \right) & (\gamma) \quad b_x &= \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \left[\dot{\omega} + r\ddot{\omega} + (1+\nu) \frac{\Delta \epsilon_t}{h/2} \right] \\ (\beta) \quad d_y = -d_x &= \frac{Eh^3(1-\nu)}{12(1-\nu^2)} \dot{\omega}' & (\delta) \quad b_y &= \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \left[\ddot{\omega} + r\dot{\omega} + (1+\nu) \frac{\Delta \epsilon_t}{h/2} \right] \end{aligned} \right\} (63)$$

ἦτοι, πέντε ἐξισώσεις αἰτινες εἶναι αἱ ζητούμεναι διὰ τὸν προσδιορισμὸν τῆς ἐπιπικτῆς καταστάσεως εἰς τὸν δακτύλιον.

Ἐάν ἡδὴ εἰσαγάγωμεν τὰς τιμὰς τῶν S_y, d_x, d_y, b_x καὶ b_y εἰς τὴν ἐξίσωσιν (59) παραλείποντες τὸ γινόμενον τοῦ ν ἐπὶ τὰς παραγωγὰς ἀνατέρας τάξεως (ὡς μικρὰν ποσότητα) λαμβάνομεν τὴν ἐξίσωσιν :

$$\left. \begin{aligned} (h^3 \ddot{\omega})'' + 2(h^3 \dot{\omega})'' + h^3 \ddot{\omega} + \frac{1}{r^2} \left[2(h^3 \dot{\omega})' + h^3 \ddot{\omega} \right] &= \\ = -\frac{12(1-\nu^2)}{E} \left(p + \frac{S_{y_0}}{r} \right) - 2(1+\nu) \left[\frac{12}{r^2} \Delta \epsilon_t + (h^2 \Delta \epsilon_t)'' \right] \end{aligned} \right\} (64)$$

Ἡ διαφορική αὕτη ἐξίσωσις περιλαμβάνει ἤδη μίαν μό-
νον ἀνεξάρτητον μεταβλητὴν (ω) καὶ δύναται νὰ προσδιορίσῃ
αὐτὴν πλέον.

Ἡ ἐξίσωσις (64) δύναται τώρα νὰ γίνη ὁμογενής [ἦ-
τοι: $f(a\ddot{\omega} + b\dot{\omega} + \gamma\omega + \delta\omega + \omega) = 0$] διὰ τῆς εἰσαγωγῆς μιᾶς
ἰδιαζούσης λύσεως, συμμετρικῆς ὡς πρὸς ἄξονα, ἦτοι
δι' εἰσαγωγῆς τῆς ἐξισώσεως:

$$\omega = \omega_0(\xi) + \bar{\omega} \quad (57)$$

ἐνθα τὸ δεξιὸν μέλος τῆς ἐξισώσεως (64) εἶναι συνάρτησις
μόνον τοῦ ξ .

Ἡ ἰδιάζουσα ἄξονοσυμμετρικὴ λύσις $\omega_0(\xi)$ δίδει τὴν
ἐντατικὴν κατάστασιν ὀλοκληρουμένου τμήματος τοῦ δακ-
τυλιδωτοῦ φράγματος. Ἐκ παραλλήλου ἡ ὀλοκλήρωσις τῆς
ἐξισώσεως (57) δίδει τὴν σημασίαν τῆς συναρτήσεως $Sy_0(\xi)$
ἣτις παριετᾶ τὴν κατὰ τὸ δακτύλιον δύναμιν $Sy_0(\xi)$ τὴν ἀν-
τιστοιχοῦσαν εἰς τὴν συνάρτησιν $\omega_0(\xi)$.

Ἡ $\bar{\omega}$ τώρα μηδενίζεται ὁθέντος ὅτι πρόκειται περὶ
συμμετρικῆς περὶ τὸν ἄξονα καταστάσεως (καὶ ἡ U εἶναι στα-
θερά) ὁπότε συμφώνως πρὸς τὴν ἐξίσωσιν (53^ε):

$$Sy_0(\xi) = E \cdot h \left(\frac{\omega_0(\xi)}{r} \cdot \epsilon_t \right) \quad (66)$$

Ἐάν ἤδη εἰσαγάγωμεν τὴν ἐξίσωσιν (66) εἰς τὴν (64)
καὶ ἀντικαταστήσωμεν τὴν ω διὰ τῆς συναρτήσεως W_0 , ἀ-
παλείψωμεν δὲ τὰ μέλη τὰ διαφοριζόμενα μὲ τὸν συντελε-
στὴν $\frac{1}{r^2}$ (ὁθέντος ὅτι ἡ ἀκτίς r εἶναι ἤδη μεγάλη) λαμ-
βάνομεν τελικῶς:

$$(h^3 W_0'') + 12(1-v^2) \frac{h W_0}{r^2} = -(1-v^2) 12 \left(\frac{p}{E} - \frac{h}{r} \epsilon_t \right) - 2(1+v) (h^2 \Delta_{zt})^2 \quad (67)$$

ήτοι, τήν τελικήν διαφορικήν εξίσωσιν ἐξ ἧς δύναμεθα νά υπολογίσωμεν δι' ολοκληρώσεως (γνωστῶν ὄντων τῶν $h, p, r, v, \Delta_{zt}, E$) τὰς παραμορφώσεις W_0 καί ἐξ αὐτῶν τὰ λοιπὰ μεγέθη τῆς ἐντατικῆς καταστάσεως τοῦ φράγματος.

Δοθέντος ὅτι ἡ συνάρτησις $W_0(\xi)$ ἱκανοποιεῖ ἐκ ταυτότητος τό δεξιόν μέλος τῆς εξίσωσεως (64) προκύπτει ἡ ἀκόλουθος ὁμογενής εξίσωσις :

$$(h^3 \bar{w}''')^2 + 2(h^3 \bar{w}'')' + h^3 \bar{w}'' + \frac{1}{r^2} \left[2(h^3 \bar{w}')' + h^3 \bar{w} \right] = 0 \quad (68)$$

ἥτοι, ἔχει τετράκις ἀπείρους λύσεις ἐκ τῶν ὁποίων ἀναζητούμεν ἐκαίνας, αἵτινας, μετὰ τῆς $W_0(\xi)$ ἱκανοποιοῦσιν τὰς ὁριακάς συνθήκας.

Παράδειγμα.

Ἦδη αἱ ἀντιστοιχοῦσαι εἰς τόν σκεῦλιον συμμετρικαί ὡς πρὸς τὸν ἄξονα τάσεις καί παραμορφώσεις συμπίπτουν μετὰ τὴν ἄξονοσυμμετρικὴν ἰδιόσυσταν λύσιν, ἥτις προκύπτει ἐκ τῆς ολοκληρώσεως τῆς εξίσωσεως (67).

Ἐάν τὴν μεταβλητὴν χ ἀντικαταστήσωμεν διὰ τῆς ἀδιαστάτου μεταβλητῆς :

$$\zeta = \frac{\chi}{h}$$

καί τὴν πίεσιν p ἀντικαταστήσωμεν διὰ τῆς πιέσεως P_w τοῦ ἐξωραχίου τοῦ τόξου συμφώνως πρὸς τὴν εξίσωσιν :

$$p = \frac{\nu \alpha}{r} P_w \quad (69)$$

τότε ἡ εξίσωσις (67) λαμβάνει τὴν ἀκόλουθον μορφήν (ὅπου τώρα ἡ W_0 ἀντικαθίστάται ὑπὸ τῆς W_ζ) :

$$(h^3 W_C''') + \frac{12(1-\nu^2)hH^4}{r^2} W'' = - \frac{12(1-\nu^2)H^4 \gamma_a}{Er} P_W + \frac{12(1-\nu^2)H^4 h}{r} E_t - 2(1+\nu)H^2 (h^2 \Delta_{Et})'_C \quad (70)$$

Διά διαφορίσεως τῶν εἰς τὰς παρενθέσεις μελῶν λαμβάνομεν :

$$W_C'' + \frac{6h}{h} W_C'' + 3 \left(\frac{h''}{h} + \frac{2h''^2}{h^2} \right) W_C'' + \frac{12(1-\nu^2)H^4}{h^2 + r^2} \cdot W + \frac{12(1-\nu^2)H^4 \gamma_a}{Eh^3 r} P_W - 12(1-\nu^2) \frac{H^4}{hr} E_t +$$

$$+ \frac{2(1+\nu)}{h} H^2 \left[\Delta_{Et}'' + \frac{4h'}{h} \Delta_{Et}' + 2 \left(\frac{h''}{h} + \frac{h'^2}{h^2} \right) \Delta_{Et} \right] = 0 \quad (71)$$

Ἐκ παραλλήλου διὰ $S_y = S_\phi$, b_x καὶ $b_y = b_\phi$ καὶ διὰ παραλείψεως τῶν μὴ συμμετρικῶν μελῶν ὡς καὶ διὰ εἰσαγωγῆς τῶν ἀντιστοιχῶν παραγώγων ὡς πρὸς ζ , λαμβάνομεν τῇ βοήθειᾳ τῶν ἐξισώσεων (σι) τοὺς ἀκολουθοῦντος τύπους :

$$\left. \begin{aligned} S_\phi &= \frac{Eh}{r} W - Eh\epsilon_t & b_x &= \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)H^2} W_C'' - \frac{Eh^2 \cdot \Delta_{Et}}{6(1-\nu)} \\ & & b_\phi &= \frac{Eh^3 \nu}{12(1-\nu^2)H^2} W_C'' - \frac{Eh^2 \Delta_{Et}}{6(1-\nu)} \end{aligned} \right\} (72)$$

Ἡ δὴ δοθέν φράγμα διαιρεῖται εἰς n ὀριζόντια τμήματα καθ' ὄψος μὲ ἀπόστασιν $\Delta\zeta$ ἀνά τμήμα.

Ἡ ὁλοκλήρωσις τῆς ἐξισώσεως (71) δύναται νὰ λαβῇ χώραν διὰ διαφορῶν ($\Delta\zeta$), (Δh) ἀντὶ διὰ διαφορικῶν ($d\zeta, dh$) αἱ δὲ παράγωγοι τῶν W σχηματίζονται διὰ τῶν γνωστῶν τύπων τῶν διαφορῶν :

$$\left. \begin{aligned} W_m' &= \left(\frac{1}{2} W_{m+1} - \frac{1}{2} W_{m-1} \right) : \Delta\zeta \\ W_m'' &= (W_{m+1} - 2W_m + W_{m-1}) : \Delta\zeta^2 \\ W_m''' &= \left(\frac{1}{2} W_{m+2} - W_{m+1} + W_{m-1} - \frac{1}{2} W_{m-2} \right) : \Delta\zeta^3 \\ W_m'''' &= (W_{m+2} - 4W_m + 6W_{m-1} - 4W_{m-2} + W_{m-3}) : \Delta\zeta^4 \end{aligned} \right\} (73)$$

Δι' εισαγωγῆς τῶν τύπων τούτων (73) εἰς τὴν ἔξισωσιν (71) λαμβάνομεν μίαν ἔξισωσιν διαφορῶν. Ἐάν ἤδη εἰσαγάγωμεν τὴν βραχυγραφίαν :

$$\alpha = 6 \frac{h'}{h} \Delta \zeta \quad \beta = 3 \left(\frac{h''}{h} + \frac{2h'^2}{h^2} \right) \Delta \zeta^2 \quad \gamma = \frac{12(1-\nu^2)H^4}{h^2 r^2} \Delta \zeta^4 \quad (74)$$

$$\delta = \left[\frac{12(1-\nu^2)H^4}{Eh^3 r} P_W - 12(1-\nu^2) \frac{H^4 \epsilon t}{h^2 r} + \frac{2(1-\nu)H^2}{h} \left[\Delta \epsilon t + 4 \frac{h'}{h} \Delta \epsilon t + 2 \left(\frac{h''}{h} + \frac{h'^2}{h^2} \right) \Delta \epsilon t \right] \right] \Delta \zeta^4$$

λαμβάνομεν δια τὸ σημεῖον m τὴν ἔξισωσιν διαφορῶν :

$$W_{m+2} (1+0,5\alpha_m) - W_{m+1} (4+\alpha_m - \beta_m) + W_m (6-2\beta_m + \gamma_m) - W_{m-1} (4-\alpha_m - \beta_m) + W_{m-2} (1-0,5\alpha_m) + \delta_m = 0 \quad (75)$$

Ἡδη αἱ ἔξισώσεις (75) γραφόμεναι δι' ἕκαστον τῶν σημείων n δὲν ἐπαρκοῦν διὰ τὴν λύσιν τοῦ προβλήματος καὶ δι' αὐτὸ θὰ εἰσαγάγωμεν τὰς ὁριακὰς συνθήκας καθ' ἃς :

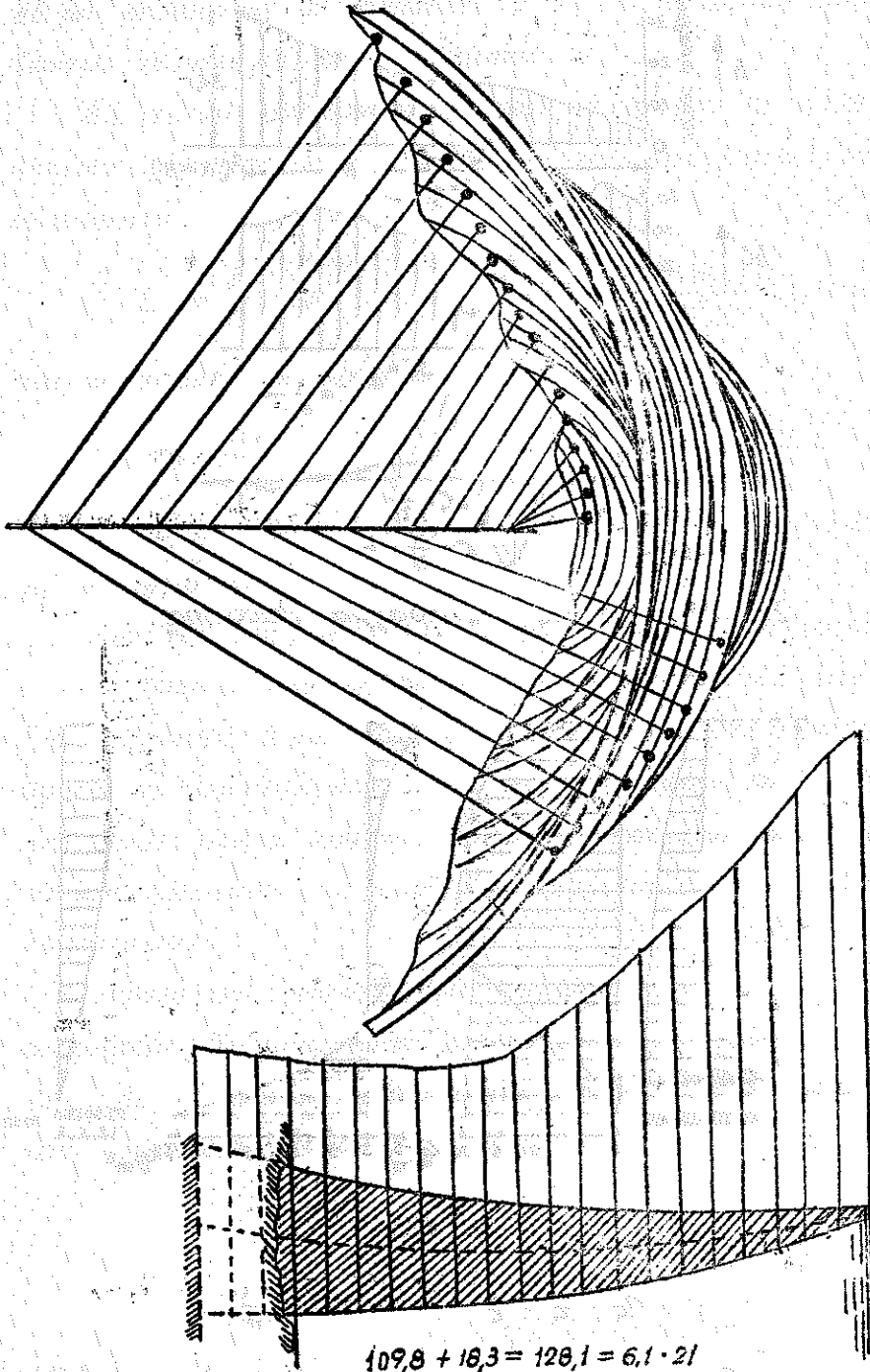
$$b_x = b'_x = 0 \quad \text{εἰς τὸ ἀνώτατον ἄκρον τοῦ φράγματος (} n=0 \text{)}$$

$$W = W_c = 0 \quad \text{εἰς τὸ κατώτατον ἄκρον τοῦ φράγματος (} n=n \text{)}$$

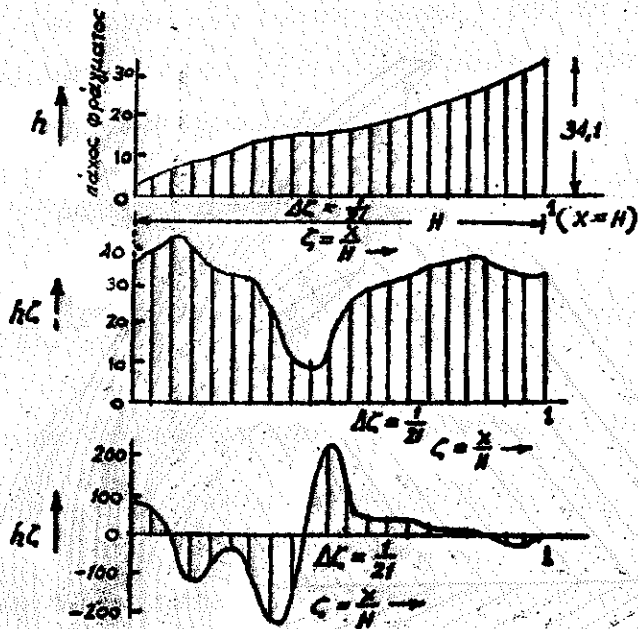
Οὕτως προκύπτουν αἱ ἔξισώσεις διὰ τὰ ἄκραία τμήματα τοῦ φράγματος :

$$\left. \begin{aligned} W_1 - 2W_0 + W_{-1} &= \frac{2(1+\nu)H^2 \Delta \epsilon t_0}{h_0} \Delta \zeta^2 \\ \frac{1}{2} W_2 - W_1 + W_{-1} - \frac{1}{2} W_2 &= - \frac{2(1+\nu)H^2}{h_0} \left(\Delta \epsilon t_0 - \frac{h'_0}{h_0} \Delta \epsilon t_0 \right) \Delta \zeta^3 \\ W_n &= 0 \\ W_{n+1} &= W_{n-1} \end{aligned} \right\} (76)$$

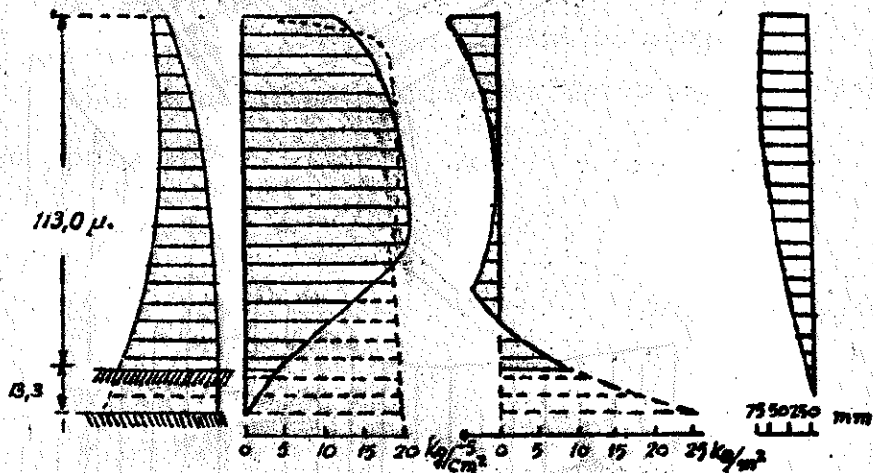
Εἰς τὸ εἰκῆμα 120 δίδεται ἡ κάτοψις καὶ τομὴ τοῦ φράγματος Ρασοῖτα ὕψους 113,0 μ. ἐνός τῶν μεγαλυτέρων τοξωτῶν φραγμάτων. Τοῦτο ὑποδιαιρεῖται εἰς 21 τμήματα $\Delta \zeta = 6,1$ μ. ὕψους ἕκαστον ($\Delta \zeta = \frac{1}{21}$). Αἱ παράγωγοι h' καὶ h'' προσδιορίζονται γραφικῶς, ἀφοῦ κατακθῆ εἰς μεγάλην κλίμακα ἡ συνάρτησις $h(\zeta)$. (Βλέπε εἰκῆμα).



Σχ. 120: Κάτοψις και τομή φράγματος Ρασοίτα (Η.Π.Α.)



Σχ. 122 : Τάσεις για φράγμα Ρασοίτα.



Σχ. 123

h_c, h'_c, h''_c συναρτήσεις $(\frac{x}{H})$

Γραφική διαφάνεια της παραστάσεως $h(\zeta)$

Ἐπί τῆ βάσει τῶν m τμημάτων καταστρώνονται πίνακες ἐξ ὧν ἐπιλύονται αἱ ἐξισώσεις 71, 74 καὶ ἐξ αὐτῶν ὑπολογίζονται τελικῶς αἱ παραμορφώσεις W .

Ἐξ αὐτῶν καὶ συναρτήσῃ τῶν ἐξισώσεων 72 καὶ 73 εὐρίσκομεν τὴν ἐνταστικὴν κατάστασιν τοῦ φράγματος διὰ τῶν ἐξισώσεων :

$$S_{\varphi} = \frac{h}{r} \cdot Ew \quad b_x = - \frac{Eh^3 (W_{m+1} - 2W_m + W_{m-1})}{12(1-\nu^2) H^2 \Delta c^2} \quad b_{\varphi} = r d_x \quad (7)$$

καὶ τὰς τάσεις ἐκ τῶν γνωστῶν ἐξισώσεων :

$$\sigma_{\varphi} = \frac{Ew}{r} \quad \sigma_{b_x} = - \frac{h (E W_{m+1} - 2E W_m + E W_{m-1})}{2(1-\nu^2) H^2 \Delta c^2}$$

Ἐκ τῶ Σχ. 172 δίδονται αἱ εὐρεθεῖσαι τάσεις τοῦ ἐν λόγῳ φράγματος.

Διὰ τῆς ἐστιγμένης γραμμῆς τοῦ αὐτοῦ σχήματος δίδονται αἱ τάσεις ὑπολογιζόμεναι διὰ τοῦ τύπου τοῦ δακτυλίου (βλ. ἐξίσωσις 2 σελ. 128) ἐξ οὗ βλέπομεν ὅτι ἡ μεγίστη διαφορά ἢ ἐμφανιζομένη εἰς τὰ $2/3$ τοῦ ὕψους ἀπὸ τῆς βάσεως εἶναι μικρὰ καὶ ὅτι αἱ τάσεις τοῦ δακτυλίου δύναται νὰ χρησιμεύσωσιν ὡς πρώτη προσέγγισις διὰ τὸν γενικὸν ὑπολογισμόν.

Ἀναλόγως ὑπολογίζονται κεχωρισμένως αἱ τάσεις ἐκτῶν διαφορῶν θερμοκρασίας καὶ ἐπιτάσσονται ἀνάλογοι πίνακες. Αἱ ἐξ αὐτῶν προκύπτουσαι τάσεις προετίθενται εἰς τὰς ἐκ τῆς φορτίσεως.

5. Παραδείγματα τοξωτῶν φραγμάτων.

Ἡ χάραξις τῶν τοξωτῶν φραγμάτων ἐπὶ τοῦ ἐδάφους τῶν καρσιδῶν ἀποτελεῖ ἄρκετά δύσχερὲς θέμα, ὅπερ ἀπαιτεῖ ἐμπειρίαν καὶ δεξιότηκνίαν τοῦ μελετῶντος μηχανικοῦ.

Ἐκ τῶν στοικείων τῶν φραγμάτων ἡ ἄκτις καὶ ἡ γωνία τοῦ τόξου δύνανται νὰ μεταβάλλωνται ἢ νὰ εἶναι σταθερὰ μεγέθη ὁπότε ἀντιτοίχως λαμβάνει διάφορον μορφήν τὰ φράγματα ἐν κατόψει καὶ ἐν τομῇ. Οὕτω εἰς τὸ Σχ. 124 δίδονται ἡ κάτοψις καὶ ἡ τομὴ φράγματος μὲ σταθερὰν ἄκτινα, εἰς δὲ τὸ Σχ. 125 δίδονται ἡ κάτοψις καὶ αἱ τομαὶ φράγματος ἀποτελουμένων ἐκ τόξων μὲ μεταβλητὴν ἄκτινα ἀλλὰ σταθερὰν γωνίαν.

Εἰς τὸ Σχ. 124 ἡ γωνία μεταβάλλεται δι' ἕκαστον ὀριζόντιον δακτύλιον καὶ ἐπομένως εἰάν δεχθῶμεν ὅτι ἡ οἰκονομικωτέρα διάταξις λαμβάνει κῶραν διὰ $2\alpha = 135^\circ 34'$ καὶ $r = 0,544 l$ (ὅπερ ἐξάγεται θεωρητικῶς ἀπὸ τὴν ἀπλὴν κυλινδρικήν θεωρίαν τῶν φραγμάτων) ἡ γωνία αὕτη δὲ ἰσχύη μόνον δι' ἓν ὀριζόντιον τμήμα.

Ἡ τομὴ τῶν φραγμάτων μὲ σταθερὰν γωνίαν λαμβάνει περίεργους μορφὰς ἐνίοτε δὲ ἢ αἰετὴν τὴν τομὴν 3-4 (Σχ. 126) ἐμφανιζομένη κρέμασις τῆς ἐπέψεως ἔξω τῆς ἐκ τῆς βάσεως κατακορύφου λαμβάνει μεγάλας τιμὰς. Διὰ τῆς διατάξεως τοῦ σχήματος 125 ἡ παρεμφερῶν διατάξεων ὁ ὄγκος τοῦ φράγματος (ἐν ευχερίσει μὲ τὸν ὄγκον φράγματος κARRASSOMÉNOU μὲ σταθερὰν ἄκτινα) δύναται νὰ ἀνέλθῃ εἰς 70% τοῦ προηγουμένου.

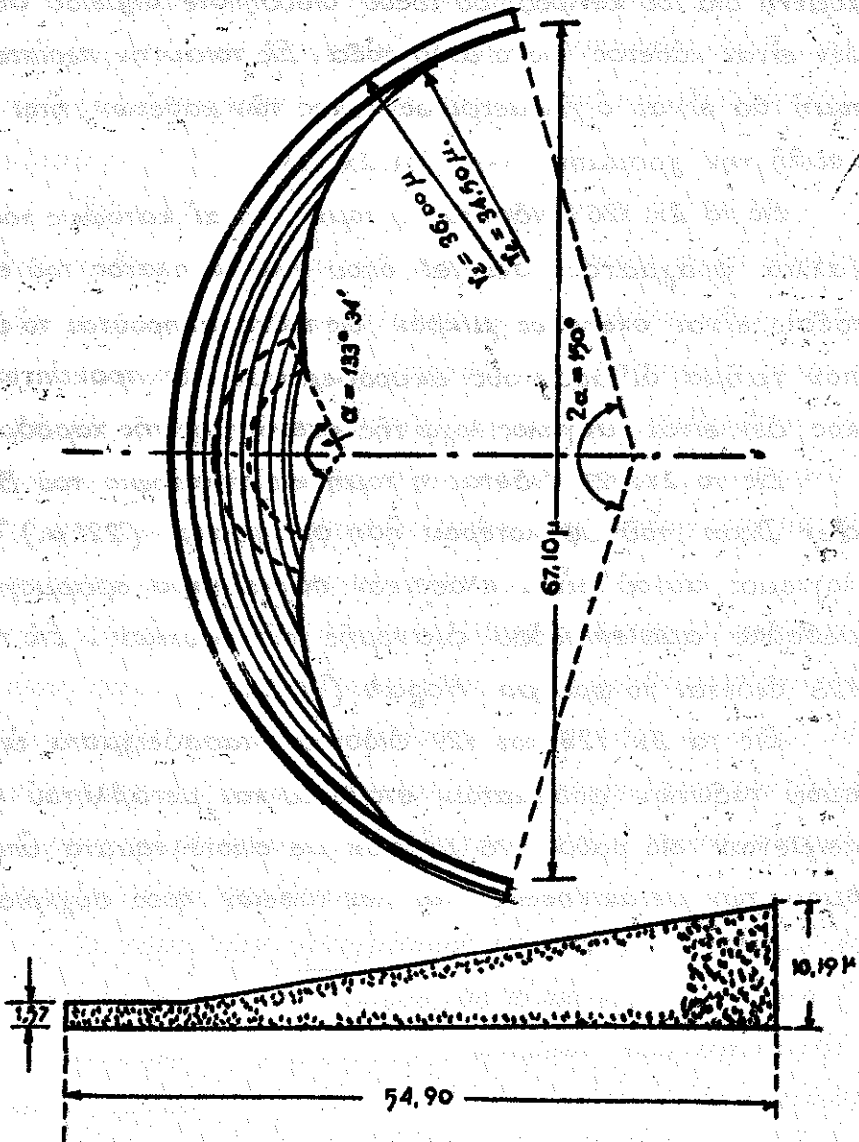
Ἡ μορφή τῶν φραγμάτων τοῦ σχήματος 125 παρουσιάζ-

Σει δυσκολίας διά τόν ὑπολογισμόν αὐτῶν κατά τήν μέθοδον τῆς ἀμφιεπιπέδου διανομῆς τῶν φορτίσεων, διότι μία τομή διαφορομένη διά τοῦ κέντρου τοῦ τόξου οἴσουδῆποτε σημείου αὐτοῦ δέν εἶναι κάθετος εἰς τὰ ἄλλα τόξα. Εἰς τιαύτην περίπτωσιν ἡ τομή θά εἶναι ὁ γεωμετρικός τόπος τῶν καθέτων, ἧτοι θά ἀκολουθῇ τήν γραμμὴν 5-6 (βλ. Σχ. 125).

Εἰς τό Σχ. 126 δίδονται ἡ τομή καί αἱ κατόψεις τοῦ ἐν Γαλλίᾳ φράγματος *Sautel* ὅπου ἐνῶ τό πλάτος τοῦ ἐνεργοῦ τόξου εἶναι σχετικῶς μικρόν, εἰς τοῦτο πληροῦται τό ὑπόλοιπον τμήμα δι' ἀδρανούς εκυροδέματος. Ὁ προκύπτων ὄγκος δέν εἶναι μέγας λόγῳ τῆς στενότητος τῆς καράδρας.

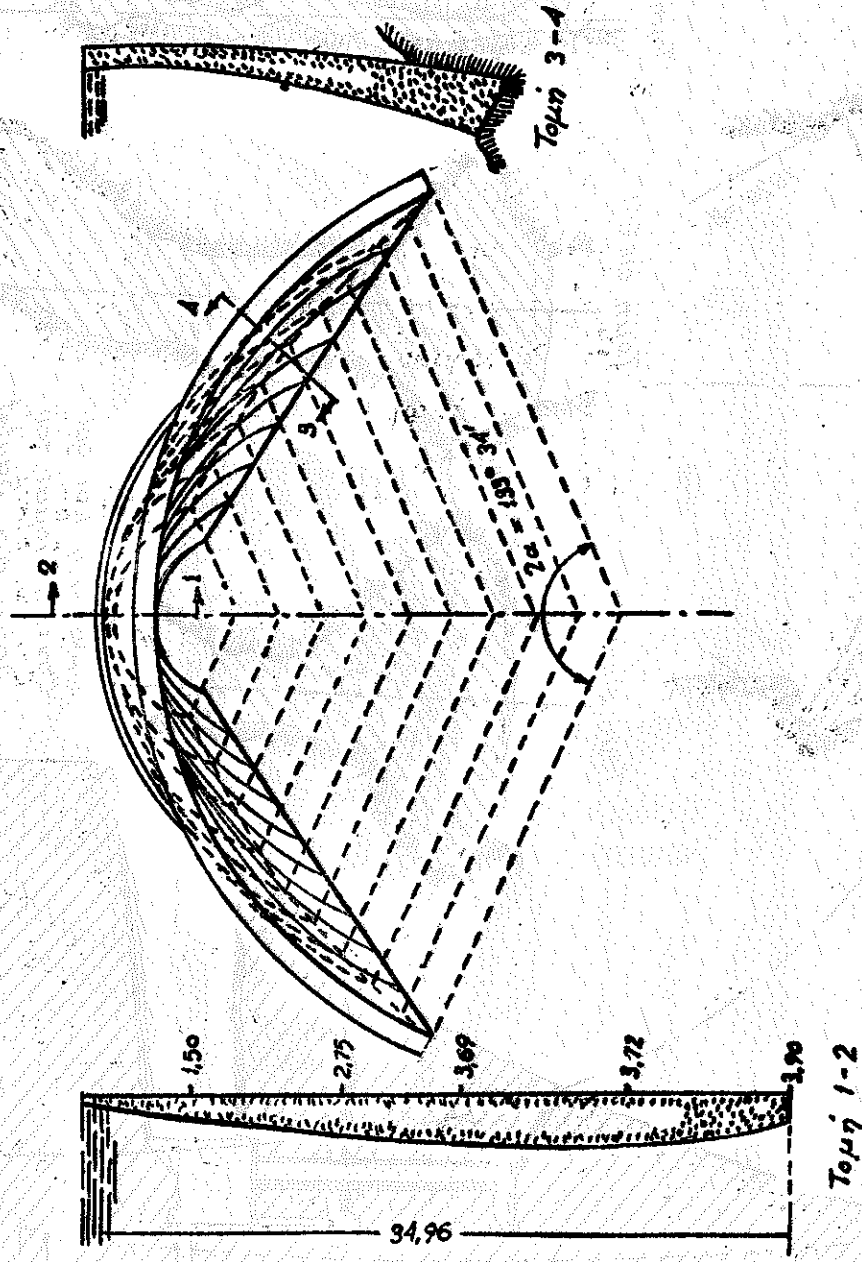
Εἰς τό Σχ. 127 δίδεται ἡ τομή καί ἡ κάτοψις τοῦ *Boulevard Dam*, τοῦ ὑψηλοτέρου ἤδη φράγματος (221 μ.). Ὁ υπολογισμός αὐτοῦ εἶναι κλασικόν παράδειγμα ἐφαρμογῆς τῆς μεθόδου ἀμφιεπιπέδου διανομῆς τῶν φορτίων. Εἰς τό Σχ. 128 δίδεται τό φράγμα *Hogap* (Η.Π.Α.).

Εἰς τό Σχ. 128 καί 129 δίδονται παραδείγματα ὑπολογισμοῦ τοξωτῶν φραγμάτων σταθεροῦ καί μεταβλητοῦ πάκους, κειμένων εἰς βάθος 176 μέτρων μέ ἀποτελέσματα ὑπολογισμοῦ τῶν μετακινήσεων καί τῶν τάσεων πρὸς σύγκρισιν.



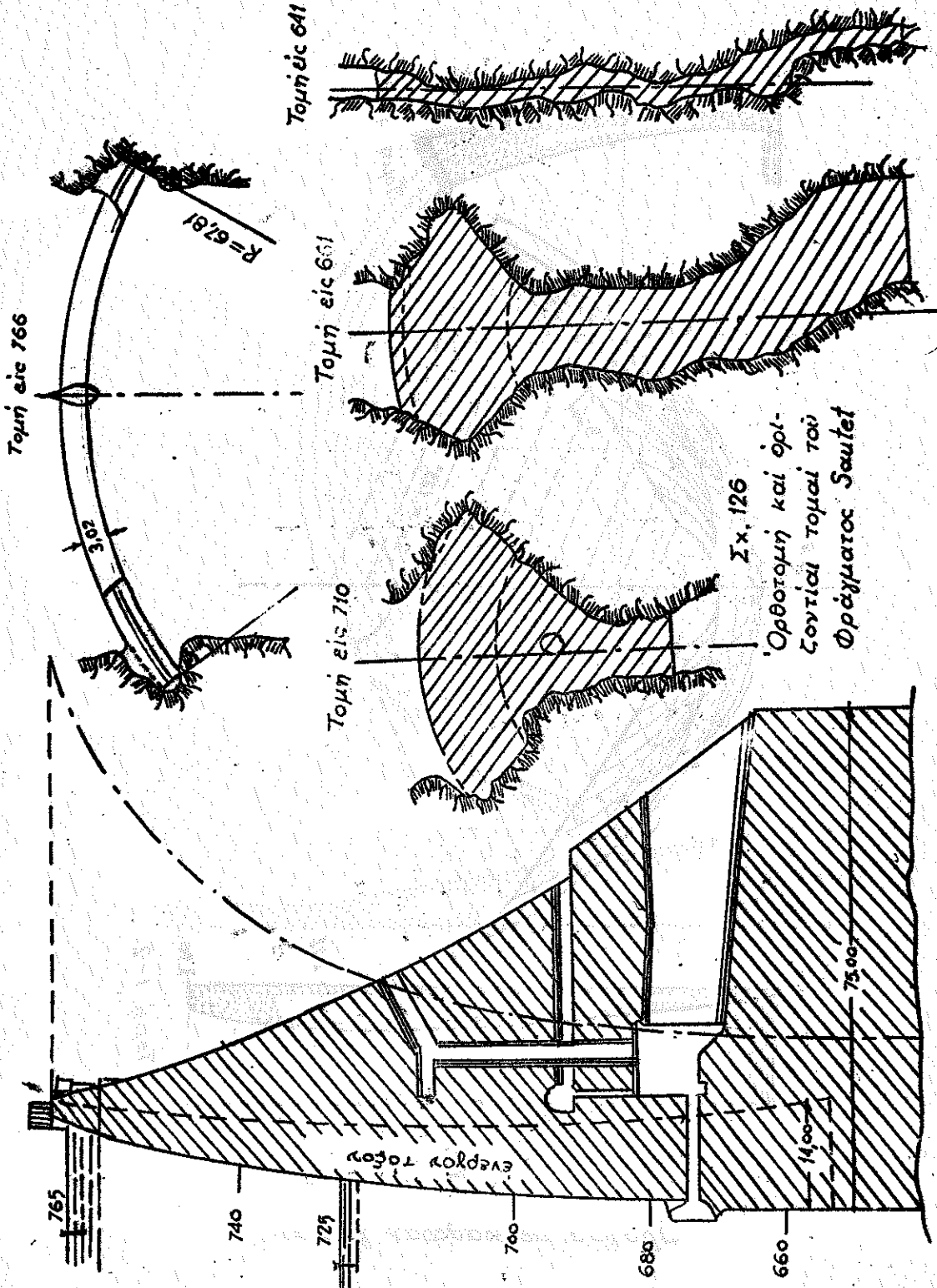
Σχ. 124.

Φράγμα με σταθεράν άκτινα.

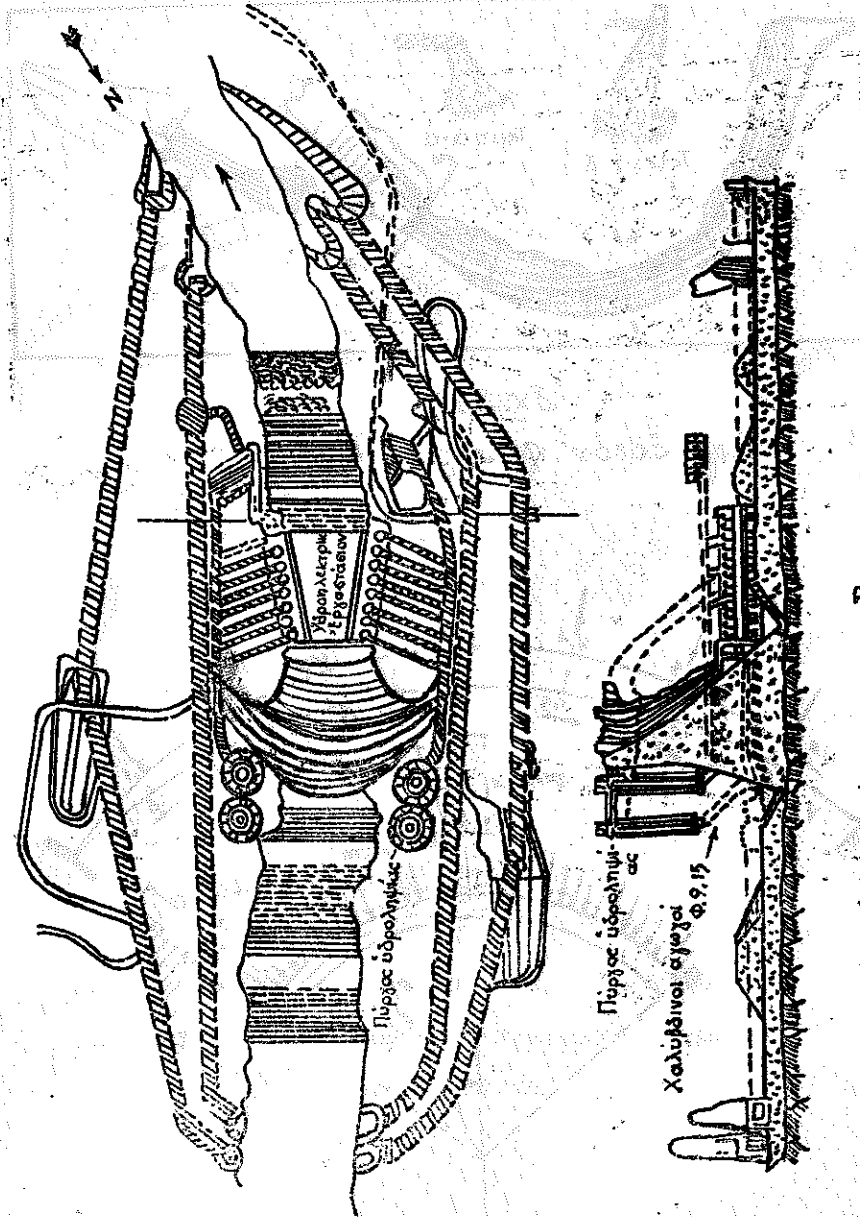


Σχ. 25

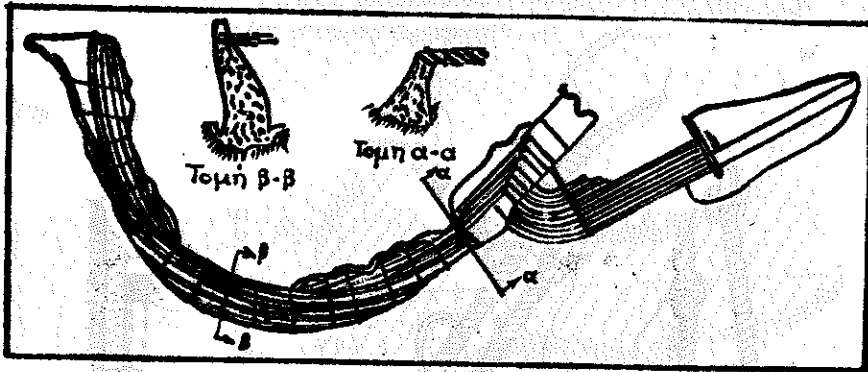
Φράγμα με σταθεράν γωνίαν.



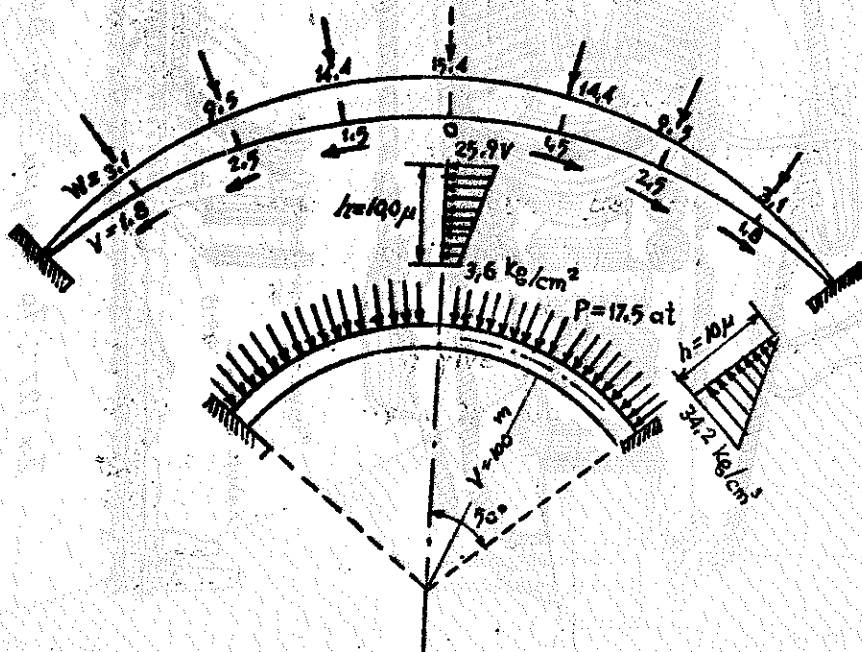
Σχ. 126
 Ορθοτομή και όριζοντιαι τομαι του
 Φράγματος Sautet



Σχ 127 : Το φράγμα του Boulder

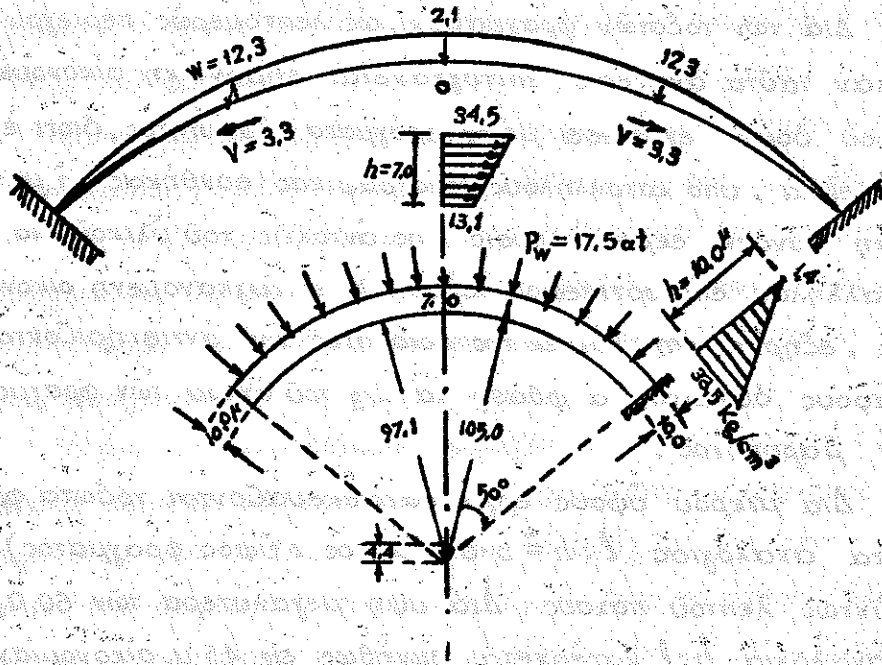


Σχ. 128
Τὸ τοξοτὸν Φράγμα Ηοράη



Σχ. 129

Μετακινήσεις καὶ τάσεις ἰσοπαχοῦς τόξου
πάχους 100 m ἀκτίως 100 m .



Σχ. 130

Μετακινήσεις και τάσεις τόξου μεταβλητού πάχους του αυτού ως άνω φράγματος και αναλόγου ακτίνας.

III · 3 · ΑΝΤΗΡΙΔΩΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

1. Γενικότητες.

Διά τῶν τοξωτῶν φραγμάτων, ὡς λεπτομερῶς περιεγράφησαν ταῦτα ἀνωτέρω, ἐπιτυγχάνεται εἰσημαντικὴ οἰκονομία ὑλικοῦ δομῆς ἐν σχέσει μετὰ τὰ φράγματα βαρύτητος, διότι ἐπιτελεῖται, ὑπὸ καταλλήλους τοπογραφικὰς συνθήκας, ἡ μεγίστη δυνατὴ ἐκμετάλλευσις τῆς ἀντοχῆς τοῦ ὑλικοῦ διὰ καταλλήλου ἐπιφορτίσεως αὐτοῦ. Ἡ ἐπιτυχανομένη οἰκονομία, ἐξερτημένη καὶ ἐκ τῆς ποιότητος τοῦ ἀντιστηρίζοντος ἐδάφους δύναται νὰ φθάσῃ τὰ $2/3$ τοῦ ὄγκου τῶν φραγμάτων βαρύτητος.

Διὰ μικροῦ ὕψους ἔργα κατασκευάζονται τοξωτὰ φράγματα ἀναλογίας $l : h = 5 \cdot 6$ (μῆκος : ὕψος φράγματος) ἀρκούντως λεπτοῦ πάχους. Διὰ ὕψη μεγαλύτερα τῶν 60,0 μ. ἡ ἀναλογία $h : l$ κατέρχεται συνήθως εἰς 4,5 μ. οἰκονομίαν ὑλικοῦ $1/3$ ἐν σχέσει πρὸς τὰ φράγματα βαρύτητος.

Ἐφ' ὅσον ὁ λόγος $l : h$ γίνῃ μεγαλύτερος τοῦ 5 τότε ἡ μεταβίβασις τῶν πλαγίων ὠθήσεων, εἰς τὰς ἀντιστηρίξεις τῶν τόξων εἶναι προβληματικὴ καὶ τὰ φράγματα τείνουν πλέον νὰ ἐργάζωνται ὡς φράγματα τύπου βαρύτητος. Εἰς τοιαύτας περιπτώσεις καὶ εἰς λίαν ἐπιμήκη φράγματα κατασκευαζόμενα εἰς θέσεις ἐνθα ὑπάρχει ἐπίαντι καταλλήλου ὑλικοῦ γεννᾶται ἡ ἐκέψις μειώσεως τοῦ ὄγκου τῶν φραγμάτων βαρύτητος δι' ἀφαιρέσεως ὑλικοῦ ἐκ τοῦ κέντρου αὐτοῦ καὶ δι' ὁμοιομόρφου κατανομῆς καταπονήσεως τοῦ ὑλικοῦ εἰς ὅλα τὰ σημεῖα τῆς διατομῆς αὐτοῦ.

Τοιουτοτρόπως ἐδημιουργήθησαν τὰ κοίλα φράγματα βαρύτητας, ἅτινα βαθμιαίως ἀδήχησαν εἰς τὴν κατασκευὴν μιᾶς ἀπλῆς φερσύσης τὴν πίεσιν τοῦ ὕδατος κατασκευῆς (κατακόρυφον καὶ συνηθῶς κεκλιμμένον κατάστρωμα) ὑποστηριζομένης δι' ἀντηρίδων ἐξ ἀπλοῦ ἢ ἐπαινώτερον ἐξ οὐλισμένου σκυροδέματος. Κατ' αὐτὸν τὸν τρόπον δύναται νὰ κατέλθῃ ὁ ὄγκος τοῦ ὑλικοῦ τοῦ φράγματος εἰς τὸ $\frac{1}{6}$ ἢ καὶ τὸ $\frac{1}{10}$ τοῦ φράγματος βαρύτητας ἀντιστοίχου ὕψους.

Οὕτω ἐδημιουργήθησαν τὰ ἀντηριδωτὰ φράγματα (Buttress dams, Pfeilerstaumauern, Barrages καὶ Contreforts).

Εἰς τὸ Σχ. 131 δίδονται αἱ τομαὶ τυπικοῦ ἀντηριδωτοῦ φράγματος ὕψους 21.35 μ. Εἰς τὸ Σχ. 132 δίδονται αἱ συνηθέστεραι διατάξεις τοῦ καταστρώματος τοῦ τύπου τούτου φραγμάτων.

Ἡ διὰ τῶν ἀντηριδωτῶν φραγμάτων προερχομένη οἰκονομία ὑλικοῦ ἐν ἔχει πρὸς τὰ φράγματα βαρύτητας ἐμφαίνεται εἰς τὸ Σχ. 133 ἐνῶ εἰς τὸ φράγμα βαρύτητας ἡ πίεσις τοῦ ὕδατος H ἀντισταθμίζεται ἀπὸ τὸ βᾶρος $ABΓΔΕ$, εἰς τὸ ἀντηριδωτὸν φράγμα ἡ πίεσις τοῦ ὕδατος P_2 ἀντισταθμίζεται ἀπὸ τὸ βᾶρος $A_2 B_2 Γ_2 Δ_2 Ε_2$.

Ζυγκρῖσιν τοῦ ἀνά μέτρον ὕψους ὕδατος, ὄγκου τῶν φραγμάτων βαρύτητας καὶ ἀντηριδωτῶν δίδει ὁ Βιτρούχης εἰς τὸ Σχ. 134 ἐνθα ἡ καμπύλη B δίδει ἀντηριδωτὸν φράγμα μὲ κατάστρωμα ἐξ ἀμφιερείστου ὀκοῦ ὡς εἰς τὸ Σχῆμα 132^α (Φράγμα Stony Gorge) ἡ καμπύλη C δίδει φράγμα τοῦ τύπου τοῦ σχήματος 132^δ, καὶ ἡ καμπύλη D τυπικὸν φράγμα βαρύτητας.

Ὡς εἶναι εὐνόητον πλὴν τῆς οἰκονομίας τὰ ἀντηριδω-

τά φράγματα παρουσιάζουν και αύξησιν ευσταθείας λόγω της διατάξεως αὐτῶν.

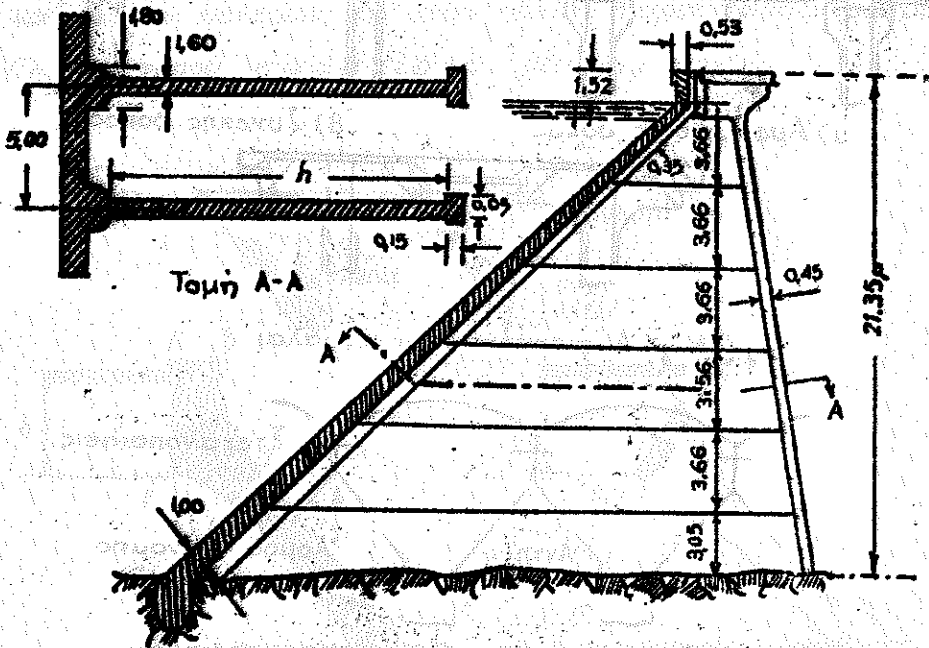
Ὁ προεδιορισμός της μεταξύ τῶν ἀντηρίδων ἀποστάσεως διέπεται ἐκ της οικονομίας τοῦ ἔργου. Μικραὶ ἀποστάσεις δίδουν μικρὰ πάχη καταστρώματος καὶ περίπου τὸ αὐτὸ ὕψος ἀντηρίδων ἀλλὰ μεγαλύτερον ἀριθμὸν αὐτῶν ἄρα μεγαλύτεραν ἐπιφάνειαν ἔυλοτύπων καὶ μεγαλύτεραν δυσκέρειαν θεμελιώσεως αὐτῶν.

Αἱ ἀντηρίδες ἀποτελοῦν πλεόν φράγματα βαρύτητας μικροῦ πλάτους καὶ εἶναι ἐπομένως πρόβολοι μεταβλητῆς διατομῆς καθ' ὕψος (ἐκ τῶν θεμελίων πρὸς τὴν ἐπέψιν) ἀλλὰ καὶ κατὰ πλάτος (λόγῳ ἐλαττώσεως της πίεσεως τοῦ ὕδατος καθ' ὕψος).

Αἱ τάσεις κάμψεως ἐλαττοῦνται ὅσον μεγαλύτερον τὸ ὕψος της διατομῆς (πλάτος της ἀντηρίδος h) ἔστω καὶ ἂν τὸ πάχος αὐτῆς (b) εἶναι μικρὸν (βλέπε σκ. 131). Ἡ ἐξαιρετικὴ ὁμως μείωσις τοῦ πάχους δύναται νὰ ὀδηγησῆ εἰς στρέβλωσιν της διατομῆς· τοῦτο συνήθως προλαμβάνεται διὰ της κατασκευῆς ἐγκαρσίων δοκῶν συνδεουσῶν τὰς ἀντηρίδας μεταξύ των (βλ. Σκ. 131 ἐγκαρσίαν τομῆν). Τελικῶς ἐκ της πείρας ἢ ἀπόστασις τῶν ἀντηρίδων συναρτῆσθαι τοῦ ὕψους τοῦ φράγματος δίδεται ὡς ἀκολουθῶς :

Ὑψος φράγματος 15-30 μ.	Οἰκονομικὴ ἀπόστασις ἀντηρίδων :	4,5 - 6,0 μ.
" " 30-45 μ.	" " " " "	9,0 - 12,0 μ.
" " ἄνω τῶν 45 μ.	" " " " "	12,0 - 15,0 μ.

Εἰς τὸ Σκ. 135 δίδεται τομὴ καὶ πρόσοψις τοῦ μεγάλου ἀντηριδωτοῦ φράγματος *Stony Gorge* (Η.Π.Α.) ἔνθα τὸ κατὰστρωμα ἀποτελεῖται ἀπὸ ἀπλῶς ἀμιερειέτους πλάκας ἐπιρριζομένους εἰς μικροὺς πρόβολους τῶν ἀντηρίδων. Τὸ πάχος



Σχ. 131

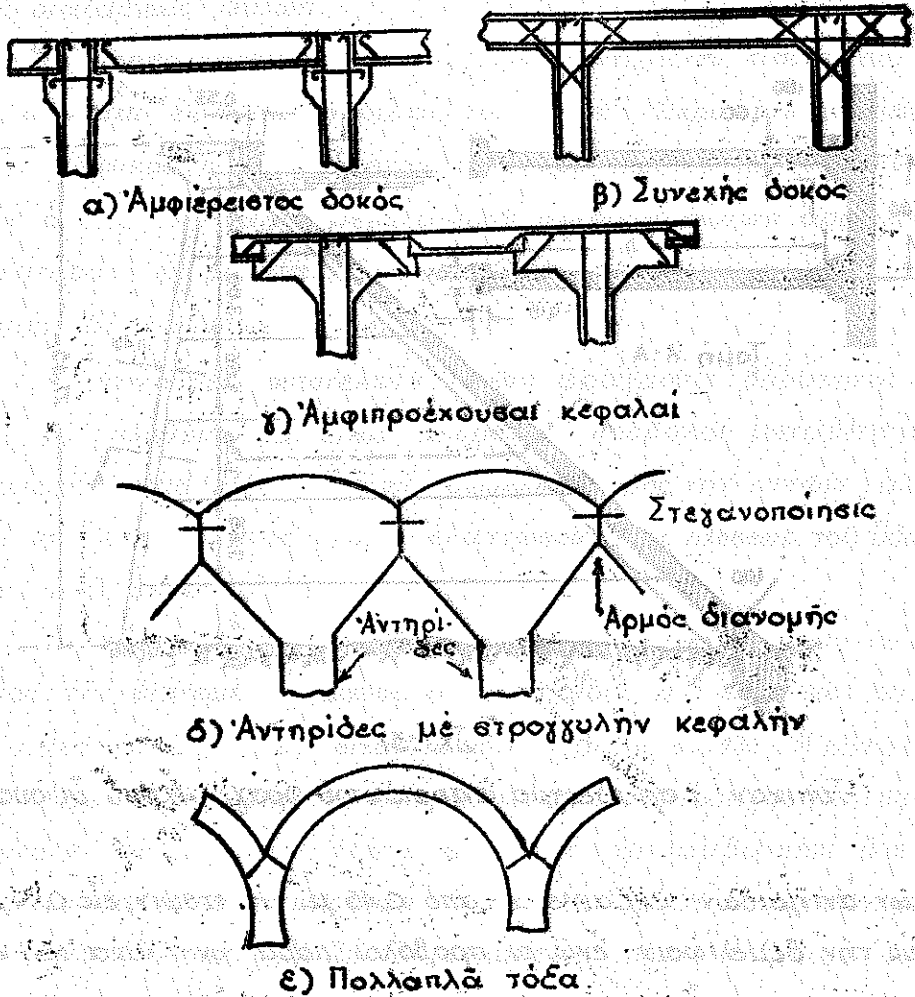
Τυπικόν παράδειγμα ἀντηριδωτοῦ φραγ. μικροῦ ὕψους.

τῶν ἀντηρίδων κυμαίνεται ἀπὸ 0,45 μ. εἰς στέψιν, εἰς 0,94 μ. εἰς τὴν θεμελίωσιν ἐνῶ οἱ πρόβολοι παρὰ τὴν πλάκα τοῦ καταστρώματος ἔχουσιν συνεχῶς πᾶχος 0,61 ἐκ.

Τὸ πᾶχος τῆς πλακῆς τοῦ καταστρώματος κυμαίνεται ἀπὸ 0,561 μ. εἰς τὴν στέψιν, εἰς 1,28 μ. εἰς τὴν κοίτην.

Ἡ κλίσις τοῦ ἐσωτερικοῦ τῆς πλακῆς εἶναι 1:1 καὶ τοῦ ἐξωτερικοῦ τῶν ἀντηρίδων 1:4. Οἱ ἄρμοι κατασκευῆς ἦσαν ὀριζῶντιοι ἀνά 3,66 μ. βάθος. Αἱ ἀντηρίδες συνδέονται μεταξὺ τῶν διὰ δοκῶν ἐξ ὀπλισμένου ἐκυροδέματος, ἡ ἀπόστασις αὐτῶν ἀνέρχεται εἰς 5,40 μ. ἀπὸ ἄξονος εἰς ἄξονα.

Εἰς τὸ Σχ. 136 δίδεται τὸ φράγμα Barlett (Η.Π.Α.) ὁ

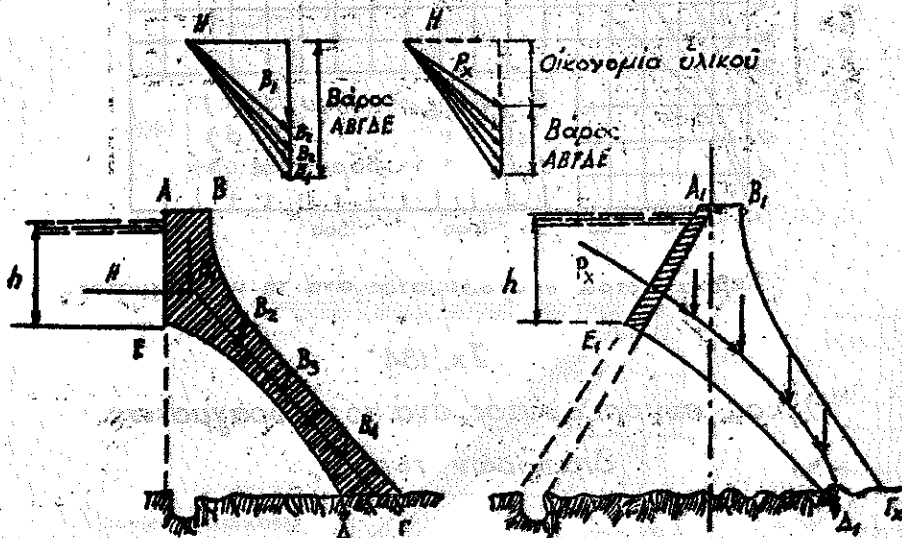


Σχ. 132

Συνήθεις διατάξεις τοῦ καταστρώματος
συγκρατήσεως τοῦ ὕδατος.

που τὸ κατάστρωμα εἶναι κατασκευασμένον ἐκ θόλων σταθερᾶς ἀκτίνας 7,31 μ. καὶ μεταβλητοῦ πάχους κυμαινομένου ἀπὸ 0,90 μ. εἰς τὴν στέψιν μέχρι 2,10 μ. εἰς τὴν κοίτην. Αἱ ἀντηρίδες ἐδῶ ἀποτελοῦνται ἀπὸ κυψελωτῆν κατασκευὴν ἐξ ὀπλισμένου σκυροδέματος. Οἱ ὀριζῶντιοι ἄρμοι κατασκευῆς

έχουν **μεγίστην** κατακόρυφον απόστασιν 3,05 μ. κατασκευάσθησαν δέ και κατακόρυφοι αρμοί διά 1,5 περίπου μέτρα, ελακίστου πλάτους 45 εκ. πληρούμενοι διά υλικού κατ'άρκην και εκ των υστέρων εφ' όσον ήθελεν παρουσιασθαι ρωγμαί. (Αρμοί τύπου σφραγίδος ριγ-τύρε).



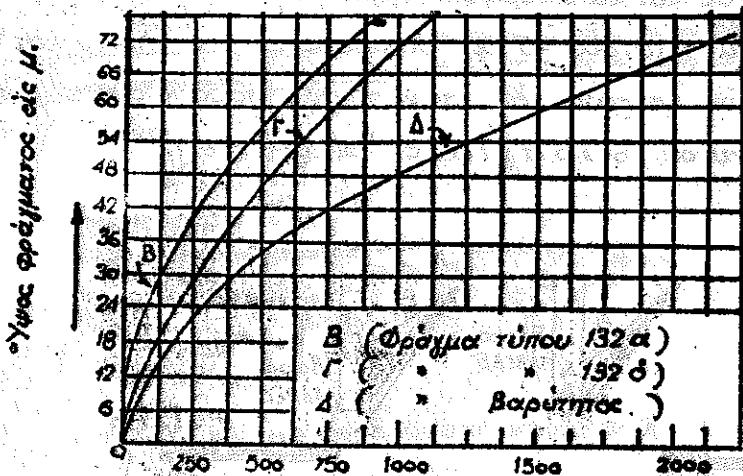
Σχ. 135

Διαφορέ ίδιου βάρους εις φράγματα βαρύτητας και άντηριδωτά

Η απόστασις μεταξύ των άξόνων άντηριδών εις τό φράγμα **Barlett** ανέρχεται εις 19,30 μ. Αί κύριαι τάσεις ανέρχονται εις 40,8 Kg/cm^2 αι δέ μέγιστα διατμητικαί τάσεις εις 20,4 Kg/cm^2 .

Εις άλλας συντηρητικώτερας κατασκευάς ή κύρια τάσις έχει **μεγίστην** τιμήν 34,02 Kg/cm^2 .

Εις τό σχ. 137 δίδεται τό φράγμα **Big Dalton** (Η.Π.Α.) μετά καταστρώματος όμοιως εκ θόλου και άντηρίδας κυψελωτού συστήματος. Οι αρμοί διαστολής ένταυθα κατασκευ.



Κυβικά μέτρα εκυροδέματος ανά τρ. μ. φράγματος.

Σχ. 194

Όγκος εκυροδέματος ανά τρ. μ. φραγμάτων
διαφόρων τύπων.

άξονται κατά την έννοιαν της διευθύνσεως της συνισταμένης του βάρους και της ώθησεως του ύδατος.

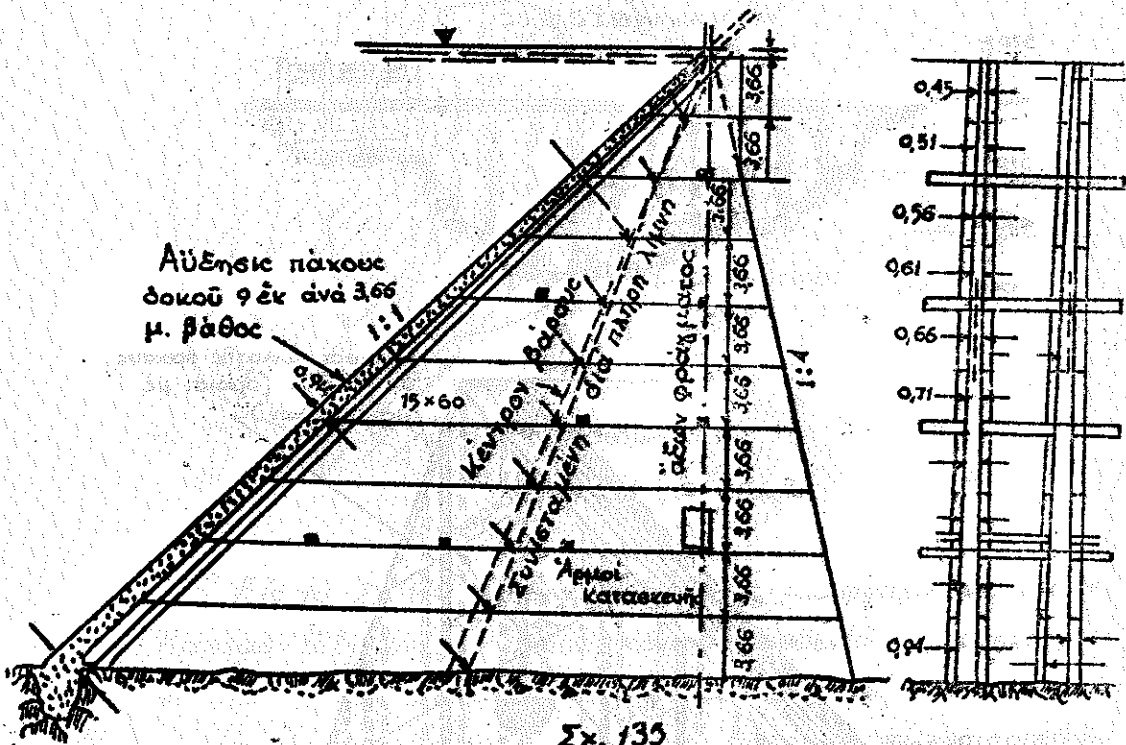
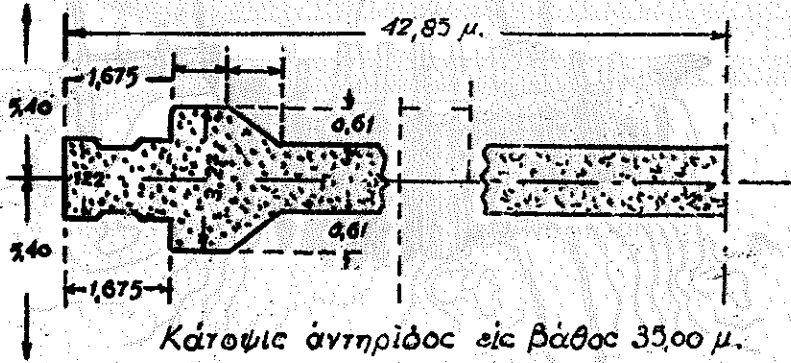
Αί λοιπαί λεπτομέρειαι εμφαίνονται εις τό Σχ. 137.

Εις τό Σχ. 138 δίδεται ή κάτοψις και ή τομή του φράγματος εις Rio Salado του Μεξικου κατασκευασθέντος με κατάστρωμα εκ τροχχύλων κεφαλών των άντηρίδων (Σχ. 132 δ). Τό φράγμα τουτο φέρει την διάταξιν υπερχειλίσεως απ' ευθείας εις την στεψιν αυτού.

Εις τό Σχ. 139 δίδεται φράγμα με κατάστρωμα εκ θόλων έχόντων κατακόρυφον τόν άξονα και την γενέτειρα αυτών. Αί άντηρίδες απέχουσιν 12,0 μ. από άξονος εις άξονα και συνδέονται μεταξύ των δια δοκών έξοπλισμέ-

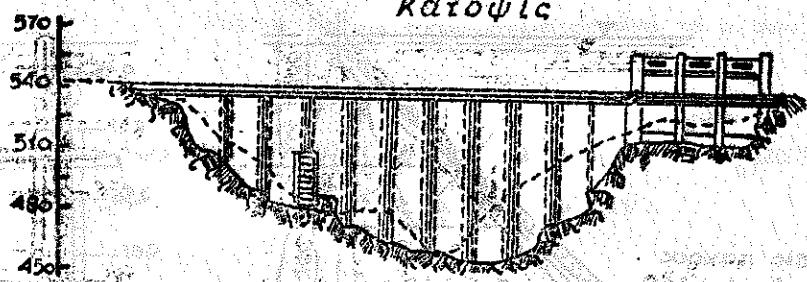
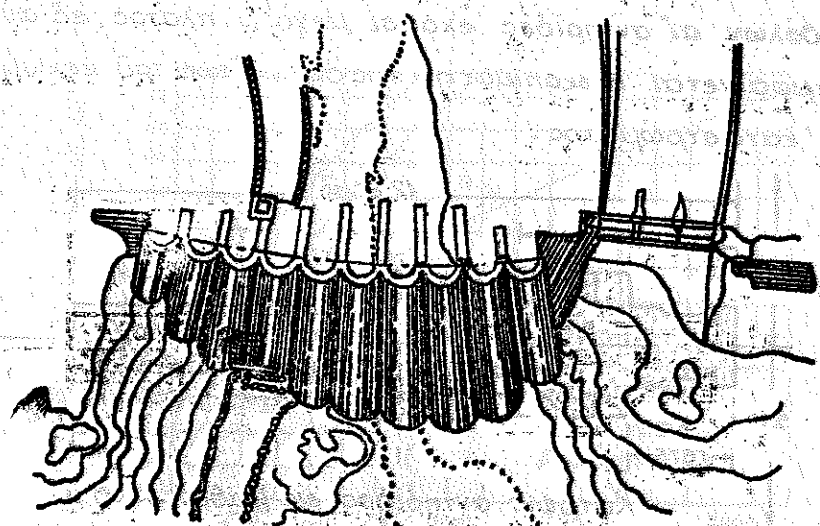
-εψικ

νου εκυροδέματος . Λόγω τής κατακόρυφου διατάξεως τών θάλων αι άντηρίδες έχουν μεγάλο πλάτος , έξ αυτών δέ έμφαίνεται ή σκοπιμότης τής διατάξεως του κεκλιμένου καταστρώματος .

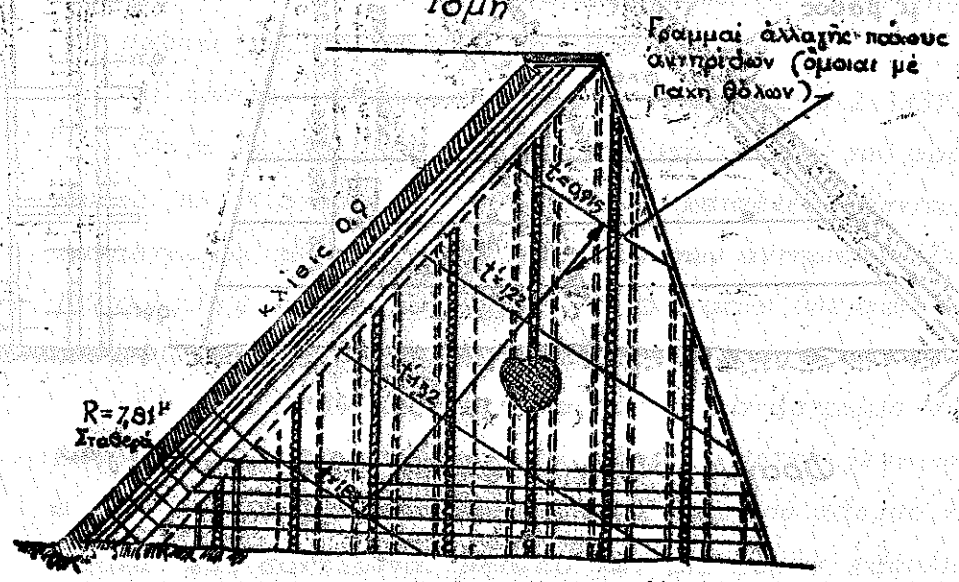


Σχ. 135

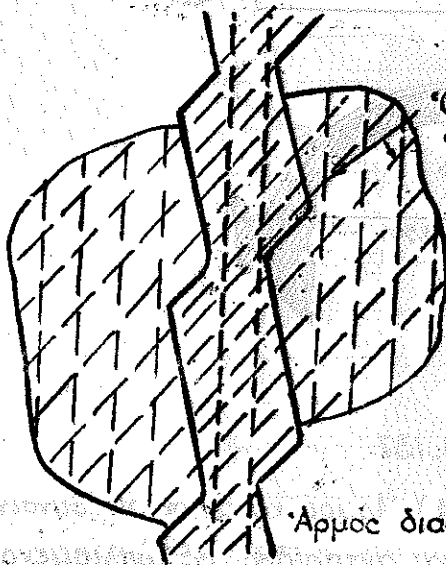
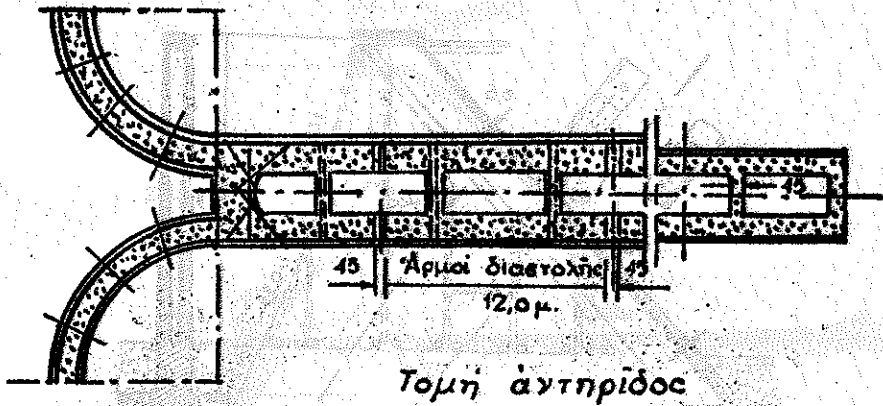
Φράγμα Stony Corge . Άντηριδιών φράγμα με άμφιέρειστον δοκόν .



Τομή



Σχ. 136



Όπλισμος $\phi \frac{3}{4}$ "
ανά 30 εκ.

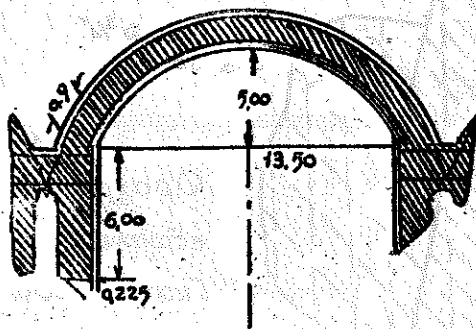
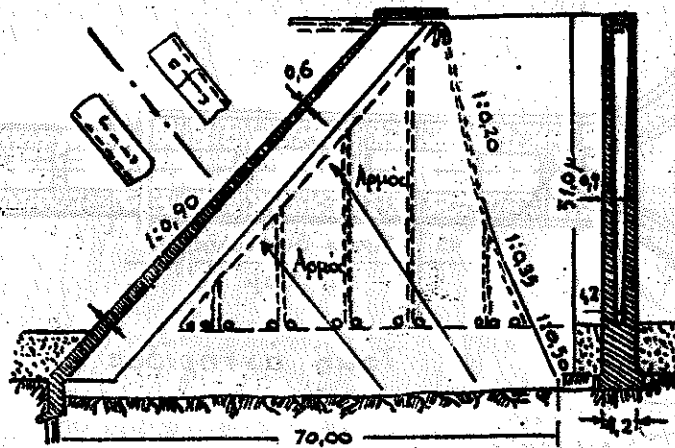
Σχ. 136

Φράγμα Barlett-θολωτόν
έξωπλισμ. εκυροδέματος
(κατακόρυφοι άρμολ).

Άρμολ διαστολής.

Είς τό Σχ. 140 δίδεται ή διάταξις του φράγματος εις Kansas-Sity μικρού ύψους, κατασκευασθέντος εξ ολοκλήρου εκ πλακόσ και σκελετού ειδήροπαχούσ εκυροδέματος. Είνα εύνοητον ότι τοιαύται κατασκευαί δύνανται γά περιορισθούν οικονομικώσ μόνον εις μικρά ύψη.

Είς τό Σχ. 141 δίδεται ή τομή του φράγματος Dixence εις Έλβετιαν αποτελούμενον από όμοιογενείσ κυφελωτάσ

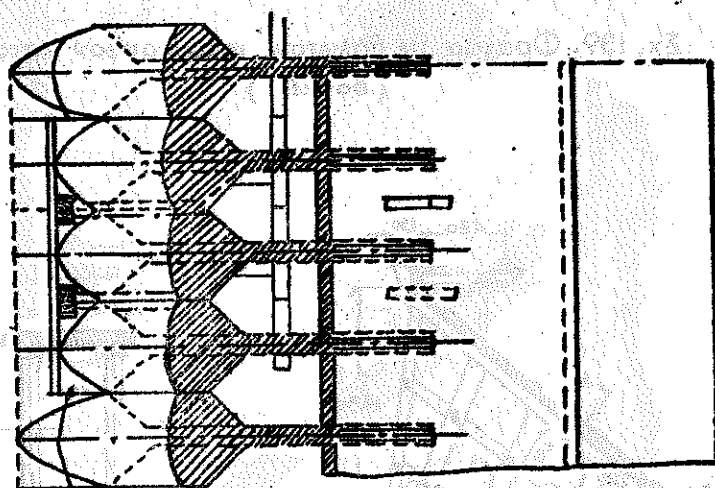
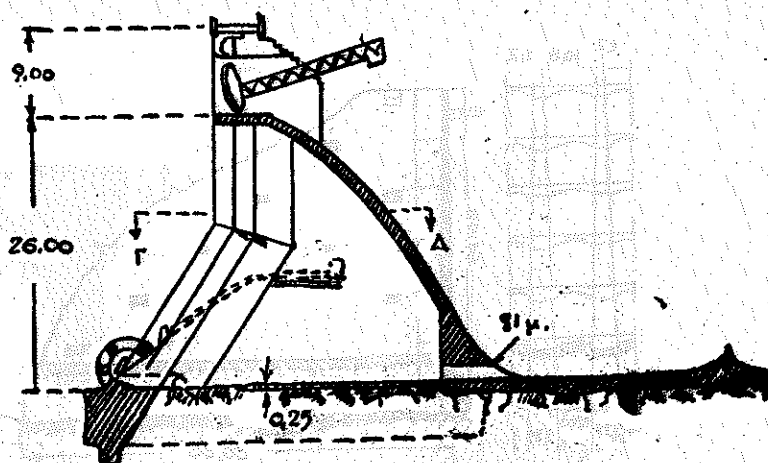


Σχ. 137

Φραγμο Big Dalton (Η.Π.Α). Άρμοι κατά την διεύθυνσιν των δυνάμεων. Τόξον και άντηρίδες ἐξ ὠπλισμένου σκυροδέματος.

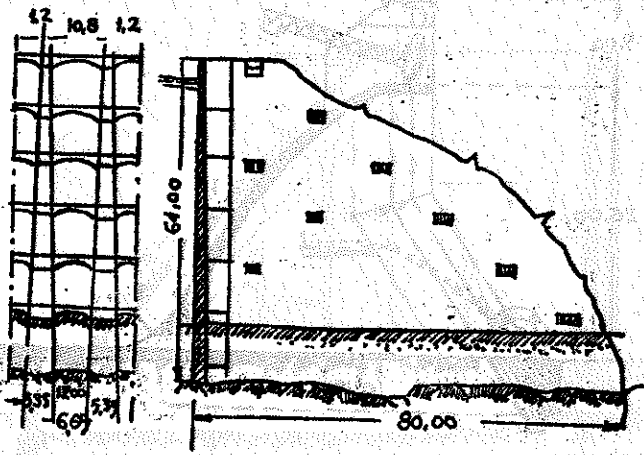
μονάδας κατασκευαζομένης ἐν παραλλήλω ἀνεξαρτήτως ἀλλήλων και συνδεομένης διά καταλλήλων ἄρμων διαστολῆς. Διά ττοιούτου τύπου ἔργων βαίνομεν πλεον εἰς τὴν διαμόρφωσιν τῶν κυρίως κοίλων φραγμάτων, ὧν ἡ κατασκευὴ εἶναι δυνατή εἰς ἐδάφη ἰσχυρᾶς ἀντοχῆς.

Εἰς τὸ Σχ. 142 δίδεται ἡ κάτοψις και ἡ τομή παρομοίου τύ-

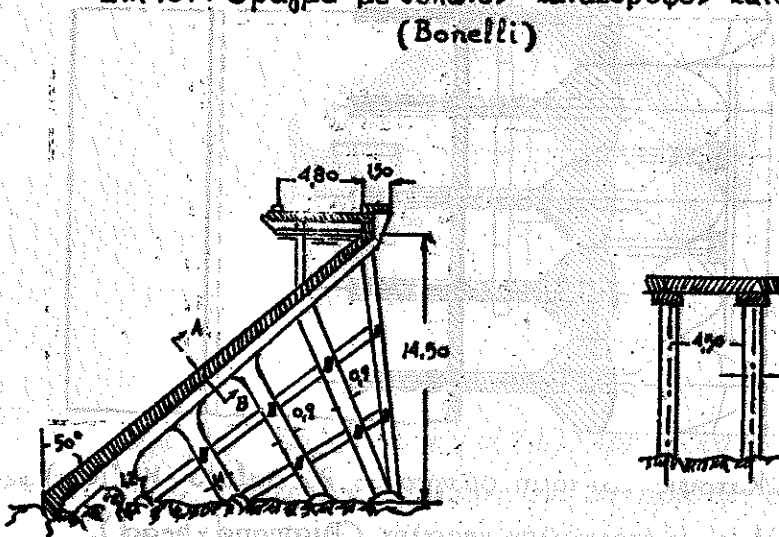


Σχ. 138: Κάτοψις και τομή φράγματος Rio Salato (Μεξίκον) φέρον άντηρίδας με στρογγύλην κεφαλήν (Diamond-bead).

που φράγματος κατασκευασθέντος εϊς τόν κείμαρον Βίττο της Ιταλίας. Αϊ λεπτομέρειαι της κατασκευής έμφαίνονται εϊς τό εκήμα. Δεδόν νά εκη τις υπ' όψιν ότι μέγα μέρος της έπιτυχανομένης οίκονομίας διά της έλαττώσεως του ύλικού δομής άντιισταθμίζεται από την αύξησιν του κόστους των ευλοτύπων, ίδια εϊς τό έσωτερικόν της κυπέλης...



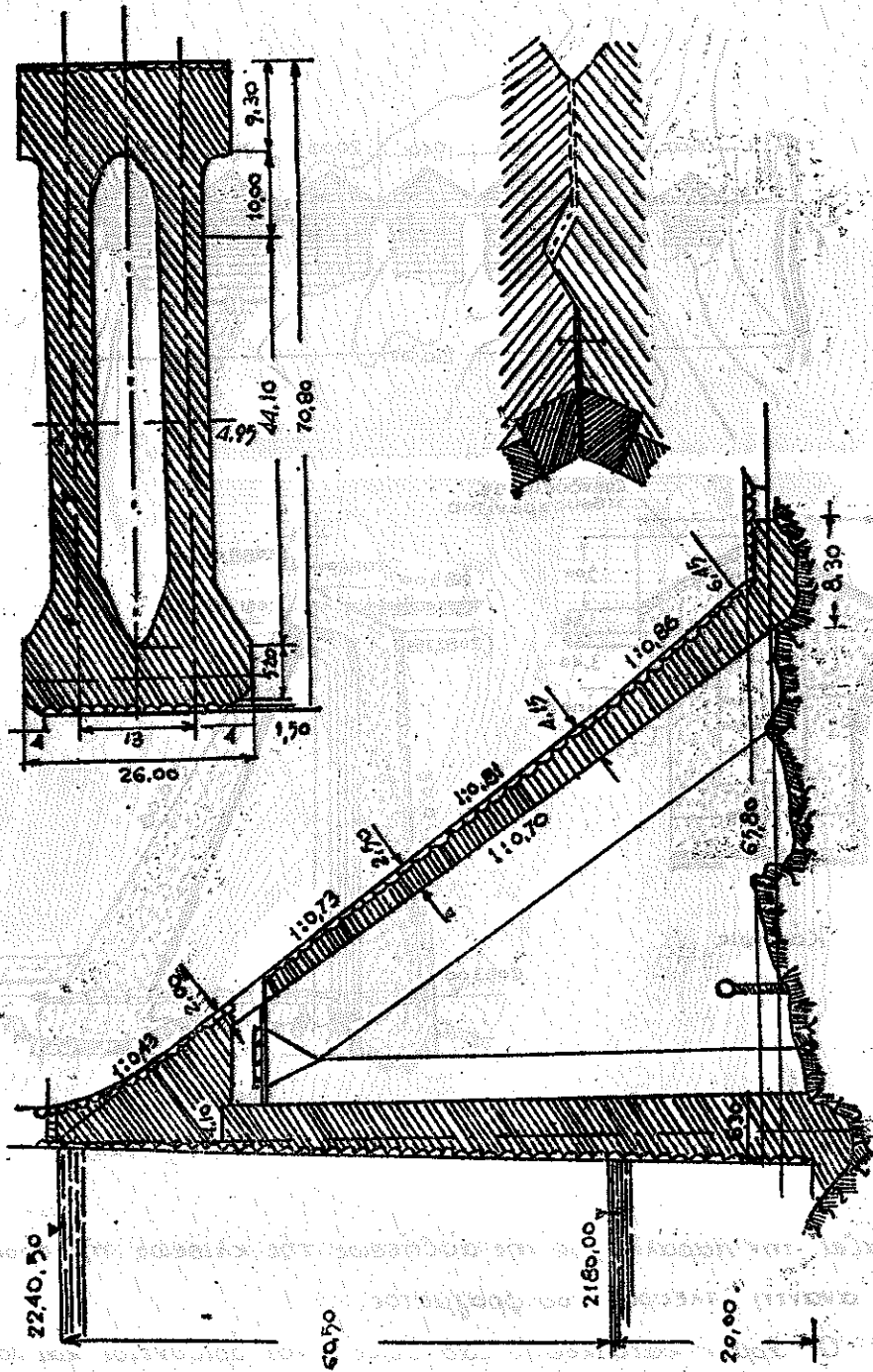
Σχ. 139. Φράγμα με θολωτόν κατακόρυφον κατάστρωμα (Bonelli)



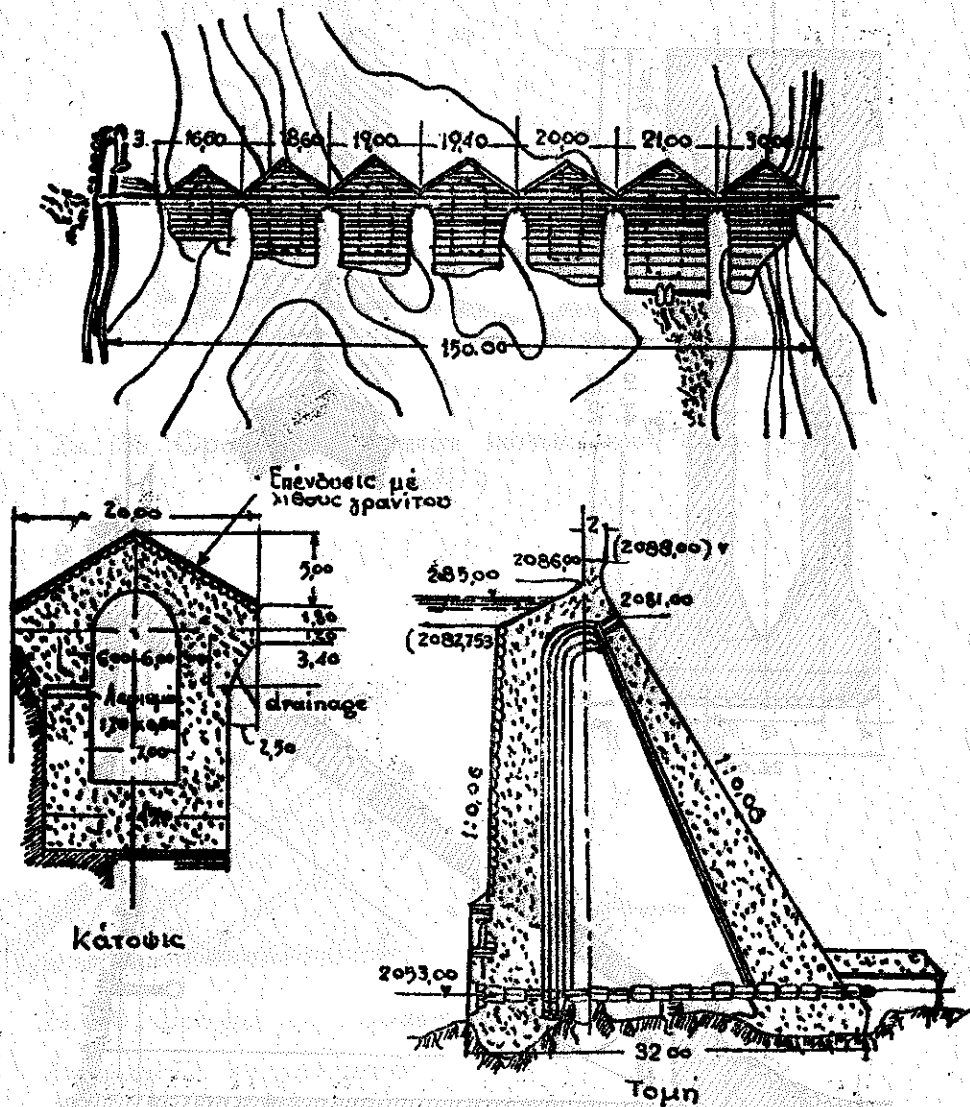
Σχ. 140. Φράγμα εις Kansas-City ἐξ ὁλοκλήρου ἐκ σκελετοῦ εὐδροπαγοῦς σκυροδέματος.

Εἰς τὰ Σχ. 143 καὶ 144 οἰδονται ἡ κάτοψις καὶ αἱ τομαὶ τοῦ προταθέντος φράγματος λαδωνός εἰς τὸν ὁμώνυμον ποταμὸν τῆς Πελοποννήσου.

Ὁ τύπος οὗτος εὐναφῆς πρὸς τὸν τοῦ ἐκλήματος 142 παρῶν.



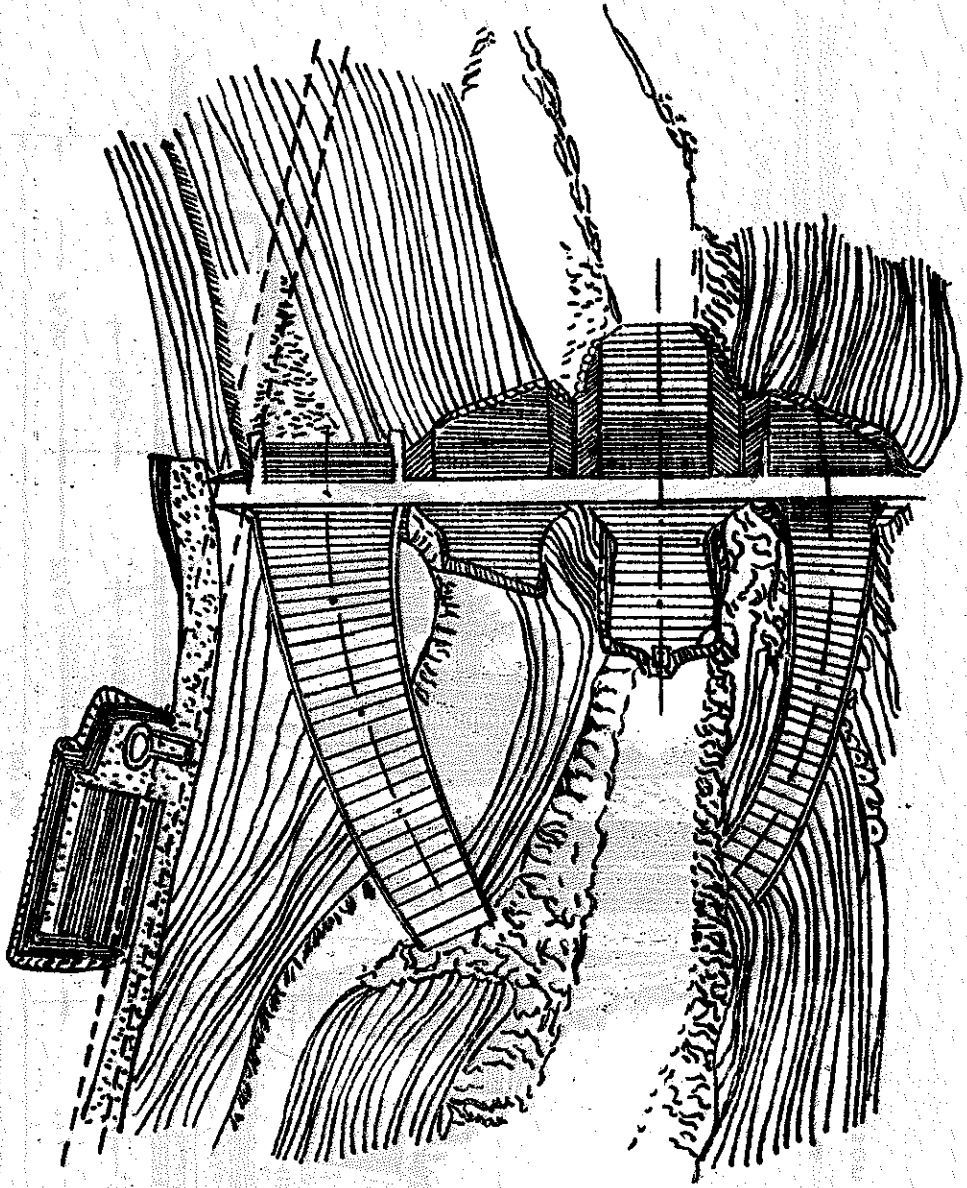
Σχ. 141: Καίλον φράγμα εις Dixence (Ελβετίας) κατασκευασθέν από άραια ορεινεία μονάδα (ώς εν τομή).



Σχ.142 - Φράγμα εις χείμαρρον Bitto (1^{ον} άλμα) Ἰταλίας.

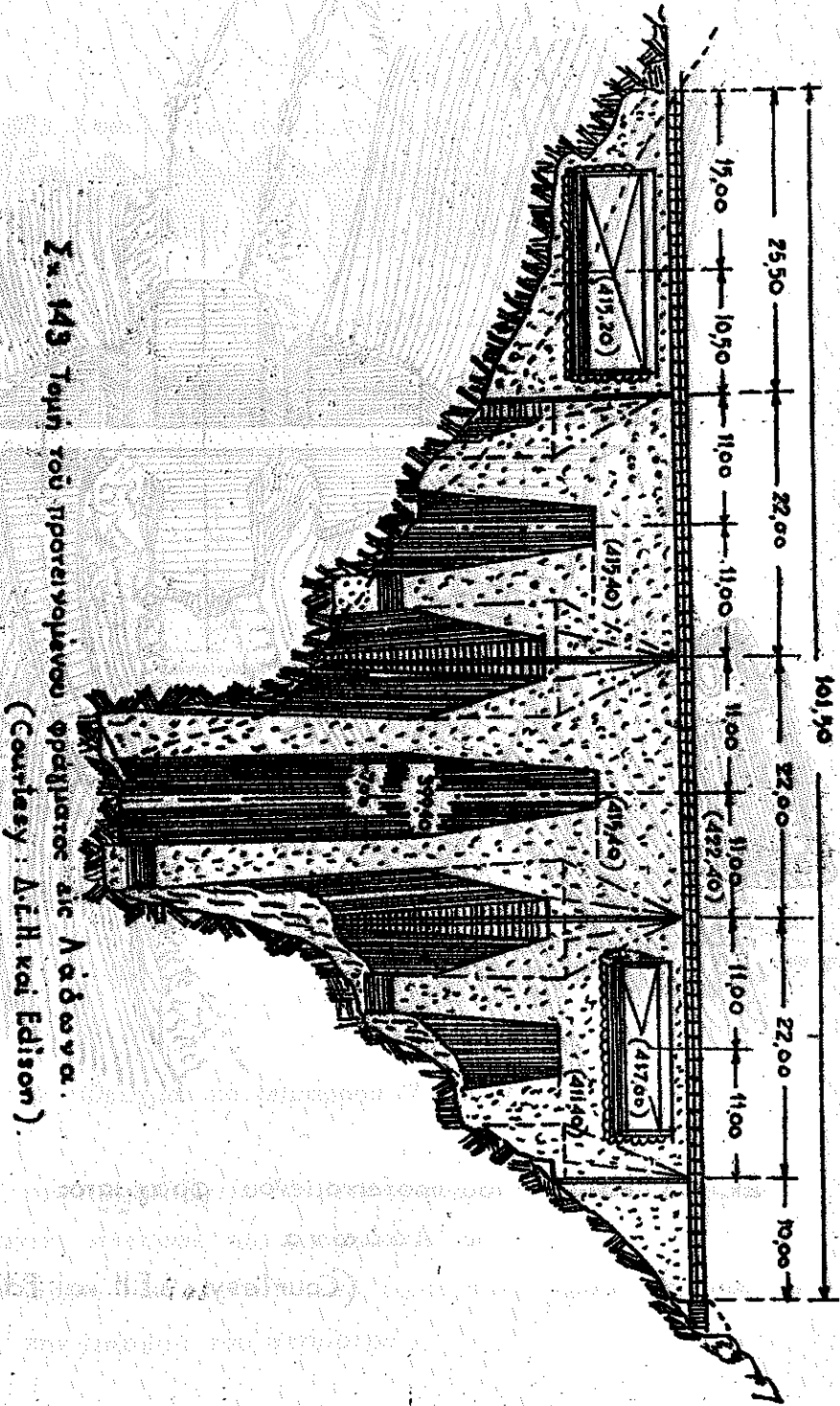
εἰαίει τὴν παραλλαγὴν τῆς αὐθίσεως τῆς κλίσεως τῆς πρὸς τὰ ἀναίτη πλευρᾶς τοῦ φράγματος.

Οἱ ἄρμοι κατασκευῆς καθ' ὕψος εἶναι ὀριζόντιοι καὶ λαμβάνουν τὴν μορφήν τοῦ σχήματος .

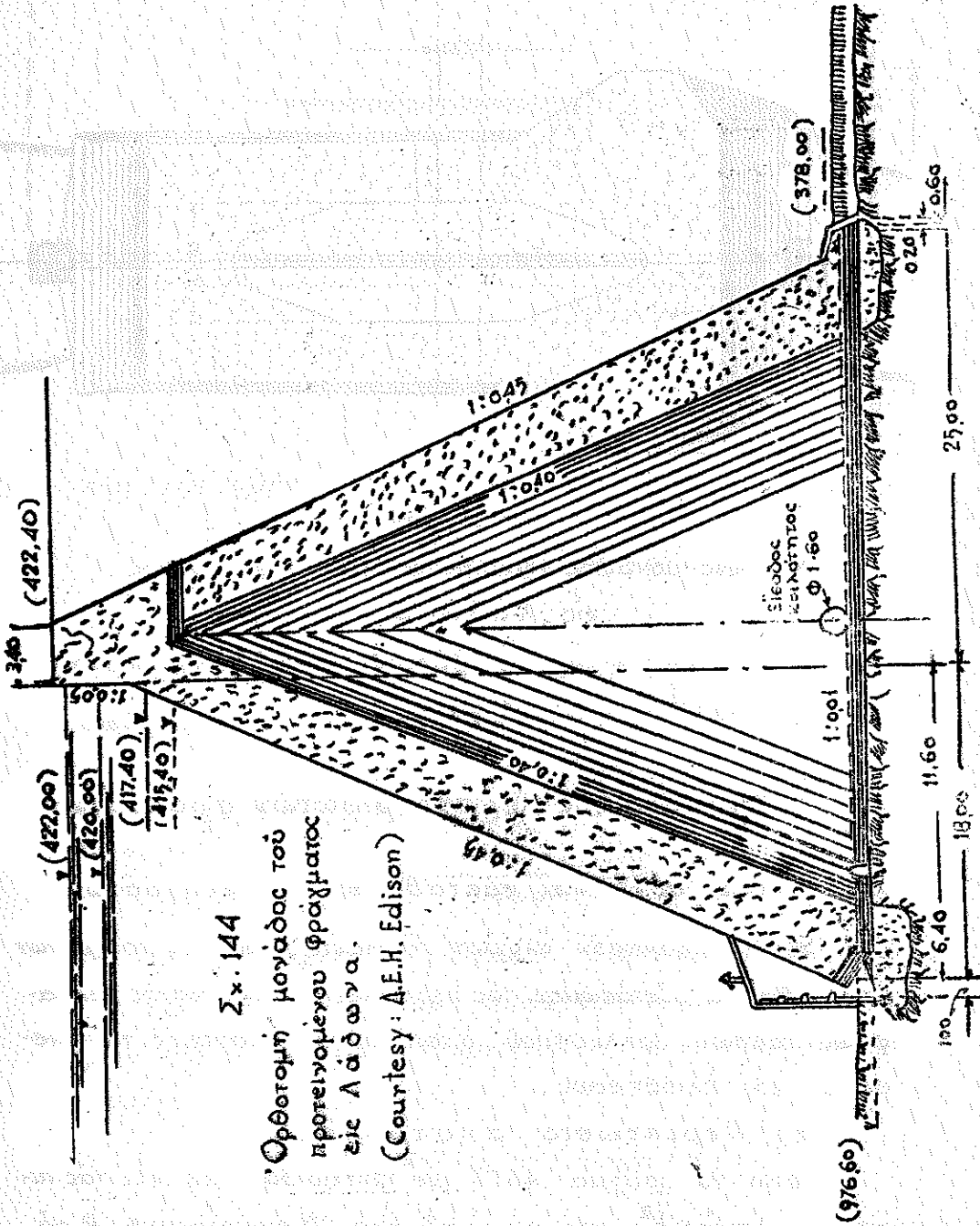


Σχ. 143 Κάτοψις τοῦ προτεινομένου φράγματος
εἰς Λάδωνα.

(Courtesy - Δ.Ε.Η. καὶ Edison)



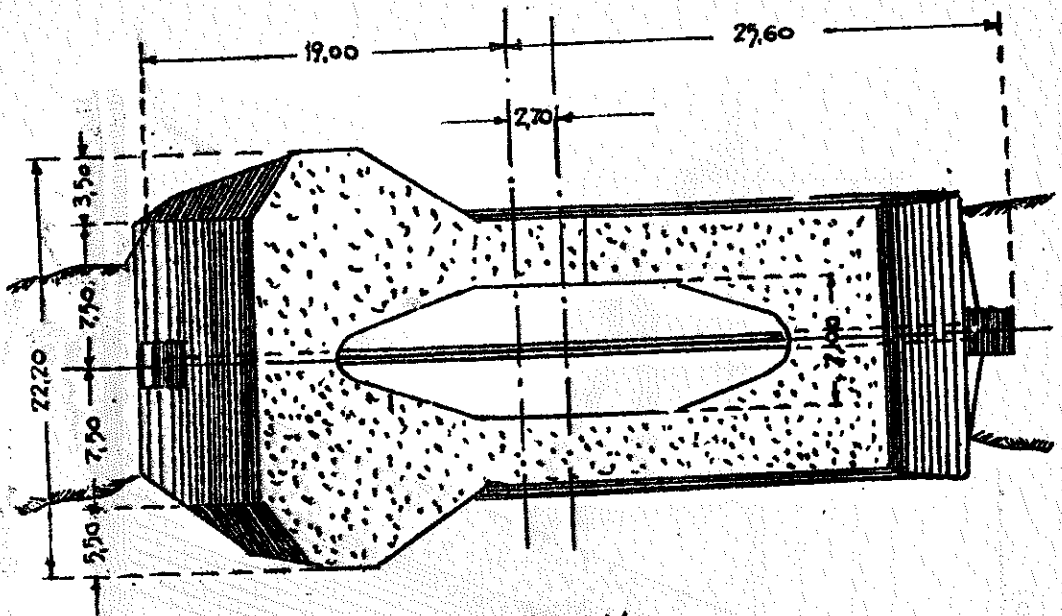
Σ. 143 Τμήν τῶν πρῶτωνομήων ὀφειλῶν αἰ. Αἰδῶν α.
(Courtesy : Δι.Η. καὶ Edison).



Σχ. 144

Ορθογωνή μογάδος του
προτεινομένου φράχματος
εις Λάδωνα.

(Courtesy: Δ.Ε.Η. Edison)



Σχ. 144.

Κάτοψις μονάδος τοῦ προτεινομένου φράγματος
εἰς Λάδωνα.

(Courtesy - Δ.Ε.Η. καὶ Edison)

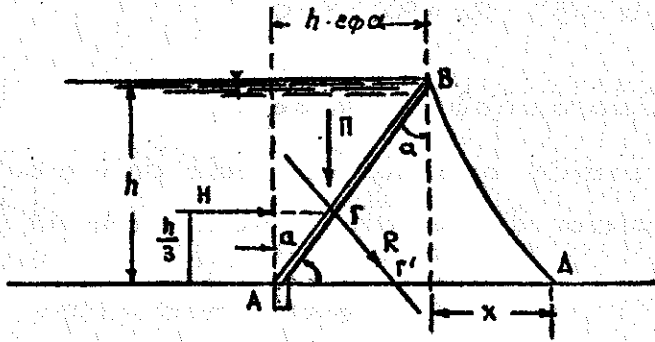
2. Ὑπολογισμὸς τῶν ἀντηριδωτῶν φραγμάτων.

2.1: Γενικαὶ συνθήκαι εὐσταθείας τῶν φραγμάτων.

Ὡς ἕνα πρόκειρον ἔλεγχον τῆς εὐσταθείας τῶν φραγμάτων
δυναμέθα νὰ ἐξετάσωμεν τὰς περιπτώσεις : ἀνατροπῆς, ἑλλα-
φως τάσεων ἐφελκυσμοῦ, ὁμοιομόρφου διανομῆς τῶν πιέ-
σεων καὶ ὀλισθήσεως.

α) Περιπτώσεις ἀνατροπῆς.

Ἐστὼ τὸ φράγμα ΑΒΓΔ με' ἀντηρίδα ΑΒΔ καὶ τὰς πιέ-
σεις $H = \frac{1}{2} \gamma h^2$ καὶ $\pi = \frac{1}{2} \gamma h^2 \epsilon \phi \alpha$. Ἡ συνισταμένη R εὐρῆ



Σκ. 145

ἔχη τὴν τιμὴν :

$$R = \sqrt{H^2 + \Pi^2} = \frac{1}{2} \gamma h^2 (\sqrt{1 + \epsilon \phi^2 \alpha}) = \frac{\gamma h^2}{2 \sin \alpha}$$

Λαμβάνοντας τὰς ροπὰς αἰς πρὸς Δ (παραλείποντες τὸ ἴδιον βάρος τῶν ἀντηριδῶν) ἔχομεν :

$$H \cdot \frac{h}{3} < \Pi (x + \frac{2}{3} h \epsilon \phi \alpha) \quad \text{ἥτοι :$$

$$\frac{x}{h} \gg \frac{1 - 2 \epsilon \phi^2 \alpha}{3 \epsilon \phi \alpha}$$

β') "Ἐλλειψία τάσεων ἐφελκυσμοῦ.

Διὰ νὰ μὴ ὑπάρξουν τάσεις ἐφελκυσμοῦ εἰς τὴν διατομὴν τῆς κοίτης, δεόν ἡ συνισταμένη R νὰ διέρχεται διὰ τοῦ πυρῆνος τῆς βάσεως ἥτοι :

$$A\Gamma' \leq \frac{2}{3} (h \epsilon \phi \alpha + x)$$

ἀλλὰ ἐπειδὴ : $A\Gamma = \frac{1}{3} \cdot \frac{h}{\sin \alpha}$ καὶ $A\Gamma' = \frac{A\Gamma}{\eta \mu \alpha} = \frac{h}{3 \eta \mu \alpha \sin \alpha}$, ἔπεται

$$\frac{h}{3 \eta \mu \alpha \sin \alpha} \leq \frac{2}{3} (h \cdot \epsilon \phi \alpha + x) \quad \text{ἥτοι :$$

$$\frac{x}{h} \geq \frac{1 - \epsilon \phi^2 \alpha}{2 \epsilon \phi \alpha} = \frac{1}{\epsilon \phi^2 \alpha}$$

ήτοι διά $\alpha = 45^\circ$, $2\alpha = 90^\circ$ $x = 0$

γ) Ομοιόμορφος πίεσις.

“Ινα υπάρξη ομοιόμορφος πίεσις δέον ή συνισταμένη R να διέρχεται διά τού μέσου της διατομής AD ήτοι :

$$AG' = \frac{1}{2} (h \epsilon \phi \alpha + x) \text{ ήτοι:}$$

$$\frac{x}{h} = \frac{2 - \epsilon \phi^2 \alpha}{3 \epsilon \phi \alpha} \text{ διά } \alpha = 45^\circ \frac{x}{h} = \frac{1}{3} \quad x = \frac{b}{4} \quad b = \frac{4}{3} h$$

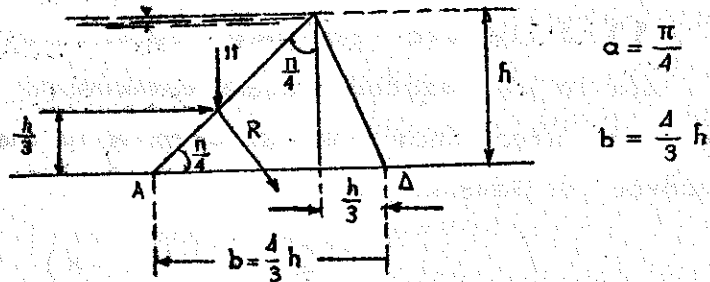
δ) Συνθήκη ολισθήσεως.

Πρός αποφυγήν ολισθήσεως δέον $\frac{H}{\Pi} \leq \epsilon \phi \cdot \phi$ ή $\epsilon \phi \cdot \alpha \leq \epsilon \phi \cdot \phi$

Έάν ήδη εισαγάγωμεν και τó βάρος της άντηρίδος ΐσον μέ τó $\frac{1}{3}$ της κατακορύφου πιέσεως Π, θα έχωμεν :

$$\epsilon \phi \cdot \phi = 0,75 \quad \epsilon \phi \cdot \alpha \leq 1 \quad \text{άρα } \alpha = 45^\circ$$

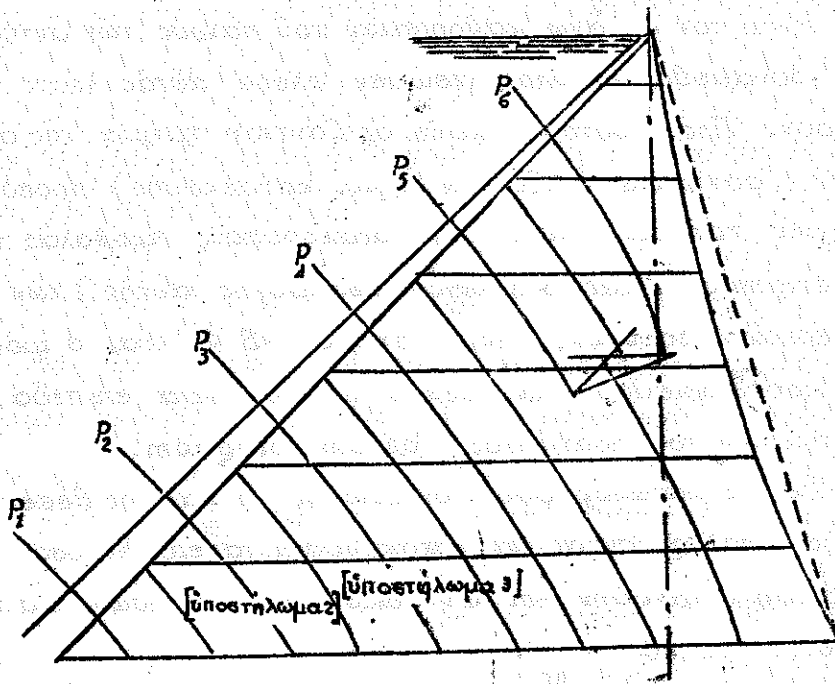
Τελικώς προς ικανοποίησιν τών άνω τεσσάρων συνθηκών εύεταθείας τών άντηρίδων, δέχεται ο Βουργίη τήν κάτωθι ιδεώδη διατομήν αυτών, ένθα :



Σχ. 146. Εύεταθεία άντηρίδατου φράγματος.

2.2 Γραφικοαναλυτικός ὑπολογισμός τῶν τάσεων τῶν ἀντηρίδων.

Διὰ τὸν πρῶτον, κατὰ προσέγγισιν, καθορισμὸν τῶν διατάσεων τῶν ἀντηρίδων, ἐκκινουῦμεν ἐκ τῆς παραδοχῆς ὅτι αἱ πιέσεις τοῦ ὕδατος παραλαμβάνονται ὑπὸ διαδοχικῶν καμπύλων ὑποστηλωμάτων ὅτινα ἐφάπτονται ἀλλήλων καὶ ἔχουσιν εἰς ἐκεῖνον ἀποκλειστικῶς, εἰς τὴν διατομὴν αὐτῶν, κυρίας τάσεις κατὰ τὴν τροχίαν τῶν δυνάμεων καὶ καθέ-



Σχ. 147 Διάταξις ἀντηρίδος εἰς ὑποστηλώματα

τουσε τάσεις ἴσας πρὸς τὸ μηδέν. Εἰς τὸ Σχ. 147 δίδεται ἡ διάταξις αὐτῆ ἀντηρίδος κατὰ ὑποστηλώματα καὶ ὁ τρόπος μεταβίβασεως τῶν δυνάμεων.

Ἔνα ἡ βασικὴ αὕτη θεωρία ἰσχύει καὶ εἰς τὴν πρᾶξιν,

εἰς τὰς θεωρητικὰς θέσεις τῶν ὑποστηλωμάτων κατασκευάζομεν ἐνίοτε ἄρμους διαστολῆς, ὥστε νὰ μὴ μεταδίδονται τὰς εἰς ἐγκαρτίως πρὸς αὐτοὺς.

Οἱ ἄρμοι οὗτοι διευκολύνουν ἐπὶ πλεόν τὴν ἐλάττωσιν τῶν τάσεων ἐξ ὑποκωρήσεως τοῦ ἐδάφους ἢ ἀλλαγῆς θερμοκρασίας καὶ διευκολύνουν τὴν κατασκευὴν. Εἰς τὸ Σχ. 136 ἐμφαίνονται αἱ γραμμαὶ ἀλλαγῆς τοῦ πάχους τῆς ἀντηρίδος βαίνουσα καθέτως εἰς τὸ κατάστρωμα, εἰς δὲ τὸ Σχ. 137 ἐμφαίνονται οἱ ἄρμοι διαστολῆς βαίνοντες κατὰ τὰς διευθύνσεις ταύτας.

Μετὰ τὸν ὡς ἄνω καθορισμὸν τοῦ πάχους τῶν ἀντηρίδων δυνάμεθα νὰ ὑπολογίσωμεν πλεόν αὐτὰς λεπτομερέστερον. Πρὸς τοῦτο εἰς κάθε ὀριζόντιον τμήμα τῆς ἀντηρίδος (συνήθως ὀριζόντιοι ἄρμοι κατασκευῆς) προσδιορίζομεν τὰς ὀριζοντίας καὶ κατακορυφους προβολὰς τῆς συνισταμένης (καὶ τὸ σημεῖον ἐφαρμογῆς αὐτῆς) τῶν ἐξωτερικῶν φορτίων. Εἰς τὸ σχῆμα 148 δίδεται ὁ τρόπος τοῦ προσδιορισμοῦ τῶν τάσεων εἰς ὀριζόντια ἐπιπέδα τῶν ἀντηρίδων τοῦ φράγματος *Passum Bingsdom*.

Ἐκ τῆς κατακορυφους συνιστώσης N καὶ τῆς θέσεως αὐτῆς ὑπολογίζονται αἱ κατακόρυφαι τάσεις ἔχουσαι τραπεζοειδῆ διανομὴν ἐπὶ τῶν ὀριζοντίων ἐπιπέδων διὰ τοῦ γνωστοῦ τύπου:

$$\sigma_z = \frac{N}{F} \pm \frac{M}{J} h \quad \text{ἔνθα } M = N \cdot e \text{ καὶ } e \text{ ἡ ἐκκεντρότης}$$

Ἐκ παραλλήλου δυνάμεθα νὰ ὑπολογίσωμεν τὰς ὀριζοντίας κυρίαις τάσεις σ_x ὡς καὶ τὰς ὀριζοντίας διατμητικὰς δυνάμεις τ .

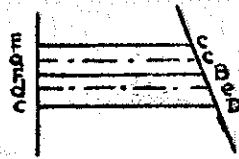
Οὕτω μεταξὺ δύο ὀριζοντίων ἐπιπέδων EC καὶ FB ἔχοντων πλάτος ἀντηρίδος b_1 καὶ b_2 καὶ βάρος ἐκέρσε-

ματος W_m ή ολική διατμητική τάσις θα είναι :

$$V = \sum \frac{E}{\xi} b_1 \cdot \sigma_2 \cdot \Delta x \cdot W_m - \sum \frac{F}{\xi} b_2 \cdot \sigma_2 \cdot \Delta x \quad (78)$$

η τάσις T_{xy} θα ισούται με τον μέσον όρον των τάσεων δύο δι-
αδοχικών πριεμάτων ECFB και FB DG.

Έκ παραλλήλου το πρίσμα acde ευ-
ρίσκεται υπό την επήρρειαν των όριζον-
τιών διατμητικών τάσεων (ίσην προς
τάς ως άνω κατακορύφους διατμητικές
τάσεις) η διαφορά των οποίων δίδει την όριζοντία δύναμιν:



$$N_x = \sum \frac{a}{\xi} b_3 T_{xy} \cdot \Delta x - \sum \frac{d}{\xi} b_4 T_{xy} \Delta x \quad (79)$$

ένθα b_3 και b_4 πλάτος της άντηρίδος και ac και de. Η μέση
τιμή της σ_x έσται τώρα

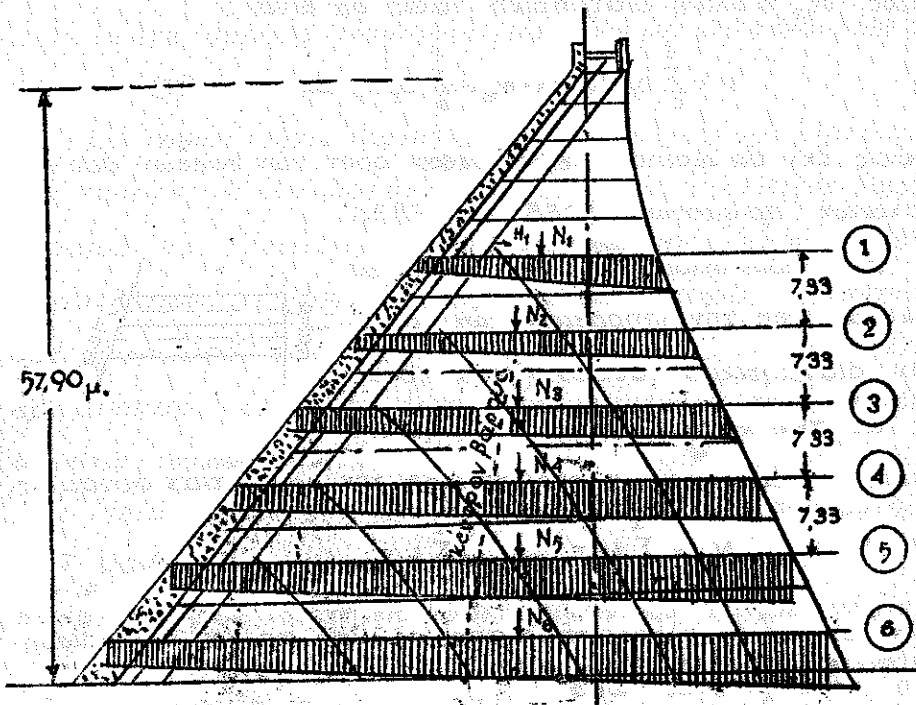
$$\sigma_x = \frac{N_x}{a d} \quad (80)$$

Ηδη υπολογίζονται αι κύριαι τάσεις σ_1 και σ_2 έκ των
κύκλων του Mohr η αναλυτικώς τη βοηθεία των ως άνω τά-
σεων $\sigma_2, \sigma_x, T_{xy}$, δια των εξισώσεων :

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_2 + \sigma_x}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_2 - \sigma_x)^2 + 4T_{xy}^2}$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_2 + \sigma_x}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma_2 - \sigma_x)^2 + 4T_{xy}^2} \quad \text{εφ} 2\alpha = \frac{2T_{xy}}{\sigma_y - \sigma_z} \quad (9)$$

Είς τό Σχ. 148 δίδονται αι κάθετοι τάσεις εις τά όριζόν-
τια επίπεδα, αι όρθαι (N) και όριζόντιοι δυνάμεις (H)
εις ένα έκαστον έξ αυτών ως και ο συντελεστής όλισθήσε-
ως f δι' έκαστον επίπεδον. Έν συνεχεία υπολογίζεται η
διατμητική τάσις εις τό επίπεδον τ.



Σχ. 148 : Τάσεις εις άντηρίδας του φράγματος
Poussom Ringdom

Θέσεις	1	2	3	4	5	6	
Τάσεις σ_z : ανάντη κατόντη	3,52	4,55	8,55	6,30	6,40	6,45	Kg/cm^2
Ορθάι δυνάμεις N	3,12	6,20	10,05	15,28	20,30	26,19	10^3 ton
Όριζόντιαι ώθήσεις H	1,80	3,65	6,15	9,15	12,19	15,2	10^3 ton
Έκκεντρότης e	19,0	17,0	18,0	20,15	34,15	45,0	cm
Διατμητική τάσις	-	-	4,34	-	-	-	Kg/cm^2

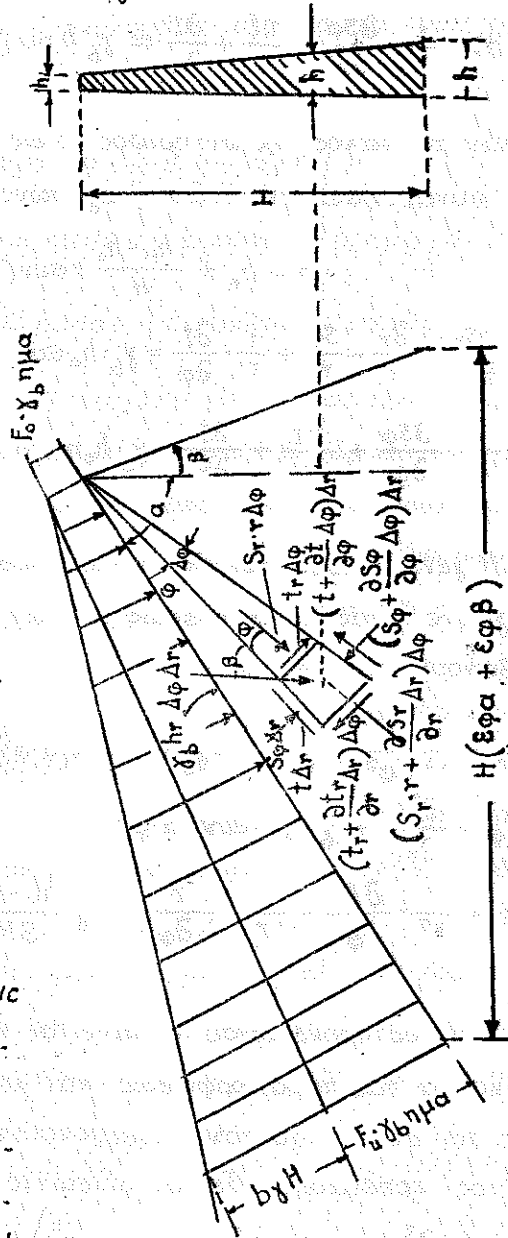
Στατικά στοιχεία του φράγματος του Σχ. 148

2.3 Αναλυτικός υπολογισμός των άντηρίδων.

Ο προσδιορισμός των τάσεων εις τὰς άντηρίδας δύναται να γίνει και άπ' ευθείας αναλυτικώς, είναι όμως ή μέθοδος αϋτη επίπονος και πολυπλοκος πλην χρήσιμος εφ' όσον εφαρμόζεται ευνα. Ακολουθως δίδεται έν συντομία ή μέθοδος αϋτη.

Εις τό βώμα της άντηρίδος λαμβάνομεν ένα διαφορικόν πρίσμα διαστάσεων $(\Delta r)(r \Delta \varphi)$ ως έν τώ σχήματι 149, και ζητούμεν τὰς εις αυτό ενεργούσας τάσεις και έξωτερικάς δυνάμεις.

Αι έξι δώσεις ίσοροπίας διά τό διαφορικόν τούτο πρίσμα θα έχουσι ως ακόλουθος, εάν αντί των τάσεων σ και τ εισαγάγωμεν τὰς επί τό πάχος του πρίσματος πολλαπλασιασθείσας δυνάμεις S και t :



Σχ. 149 Αναλυτικός υπολογισμός των τάσεων εις άντηρίδας

$$\left. \begin{aligned} (\alpha) \quad \frac{\partial s_r}{\partial r} + \frac{s_r}{r} - \frac{s_\varphi}{r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial t}{\partial \varphi} &= \gamma_b \cdot h \sin(\alpha - \varphi) \\ (\beta) \quad \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial s_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{2t}{r} + \frac{\partial t}{\partial r} &= \gamma_b h \eta \mu(\alpha - \varphi) \end{aligned} \right\} (81)$$

καί ἐάν τὸ πάχος τῆς ἀντηρίδος ἡ εἰς τὴν ὑπ' ὄψιν θέσειν ἔκφρα-
σθῆι συναρτήσει γνωστῶν μεγεθῶν:

$$h = h_0 + \frac{h_u - h_0}{H} r \sin(\alpha - \varphi) \quad \text{θὰ ἔχωμεν}$$

$$\left\{ \begin{aligned} (\alpha) \quad \frac{\partial s_r}{\partial r} + \frac{\partial r}{r} - \frac{s_\varphi}{r} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial t}{\partial \varphi} &= \gamma_b \cdot h_0 \sin(\alpha - \varphi) + \gamma_b \frac{h_u - h_0}{2H} r (1 + \sin 2(\alpha - \varphi)) \\ (\beta) \quad \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial s_\varphi}{\partial \varphi} + \frac{2t}{r} + \frac{\partial t}{\partial r} &= \gamma_b \cdot h_0 \eta \mu(\alpha - \varphi) + \gamma_b \frac{h_u - h_0}{2H} r \cdot \eta \mu 2(\alpha - \varphi) \end{aligned} \right.$$

Ἡ γενικὴ λύσις τῶν ὡς ἄνω ἐξισώσεων ἐπιτυγχάνεται διὰ τῆς
εἰσαγωγῆς μιᾶς συναρτήσεως $F(r, \varphi)$, ὅποτε αἱ ὡς ἄνω τάσεις
λαμβάνουν τὴν ἔκφρασιν:

$$(82) \quad \left\{ \begin{aligned} S_r &= \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 F}{\partial \varphi^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial F}{\partial r} + \gamma_b h_0 \cdot r \cdot \sin(\alpha - \varphi) + \gamma_b \frac{h_u - h_0}{12H} r^2 (2 + 3 \sin 2(\alpha - \varphi)) \\ S_\varphi &= \frac{\partial^2 F}{\partial r^2} + \gamma_b h_0 r \cdot \sin(\alpha - \varphi) \\ t &= \frac{1}{r^2} \frac{\partial F}{\partial \varphi} - \frac{1}{r} \frac{\partial^2 F}{\partial r \partial \varphi} + \gamma_b \frac{h_u - h_0}{5H} r \eta \mu 2(\alpha - \varphi) \end{aligned} \right.$$

Ἐπὶ τοῦ προκειμένου ἀπαιτεῖται ἤδη ἡ διαφορικὴ ἐξίσωσις
συνδέουσα τὰς παραμορφώσεις καὶ μετακινήσεις τοῦ δίσκου.
Πρὸς τὸν σκοπὸν τοῦτον κρησιμοποιεῖται ἡ διὰ τὰ φράγματα βα-
ρύτητος κρησιμοποιηθεῖσα ἐξίσωσις:

$$(83) \quad \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \right) \left(\frac{\partial^3 F}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial F}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 F}{\partial \varphi^2} \right) = 0$$

Εἰς τὴν περίπτωσιν ταύτην τὸ πλάτος τῶν δίσκων (τῶν ἀντηρί-
δων) θεωρεῖται σταθερὸν, ὅπερ, ὡς ἐλέχθη δὲν ἀνταποκρίνεται συνήθως

εἰς τὴν πραγματικότητα. Ἡ οὕτω προκύπτουσα διαφορὰ δὲν εἶναι μεγάλη. Διὰ τὴν ὁλοκληρωτικὴν λύσιν τῆς ἐντάτικῆς καταστάσεως χρησιμοποιεῖται ἐπαρκῶς ἡ ἀκόλουθσά ἰδιάζουσα λύσις τῆς ἐξίσωσως (83) ἔχουσα 12 αυβαιρεῖτους σταθεράς :

$$F = r^2 \left[\frac{1}{2} \alpha_1 \sin 2\varphi + \frac{1}{2} \alpha_2 \eta \mu 2\varphi + \frac{1}{2} \alpha_3 + \frac{1}{2} \alpha_4 \cdot \varphi \right] + \\ + r^3 \left[\frac{1}{6} b_1 \sin 3\varphi + \frac{1}{2} b_2 \eta \mu 3\varphi + \frac{1}{2} b_3 \sin \varphi + \frac{1}{2} b_4 \eta \mu \varphi \right] + \\ + r^4 \left[\frac{1}{12} c_1 \sin 4\varphi + \frac{1}{12} c_2 \eta \mu 4\varphi + \frac{1}{3} c_3 \sin 2\varphi + \frac{1}{3} c_4 \eta \mu 2\varphi \right]$$

Ἡ ὡς ἄνω συνάρτησις (84) εἰσάγεται ἥδη εἰς τὰς ἐξισώσεις (82) καὶ τοιοῦτοτρόπως ἐκφράζονται αἱ δυνάμεις S_r , S_φ καὶ ἡ συναρτήσει τῶν 12 σταθερῶν καὶ τῶν λοιπῶν δεδομένων στοιχείων τοῦ φράγματος. Ὁ προσδιορισμὸς τῶν σταθερῶν ἐπιτυγχάνεται διὰ τοῦ ὑπολογισμοῦ τῶν ὀριακῶν συνθηκῶν προκύπτουν δὲ αὐταὶ ὡς συναρτήσεις τῶν δεδομένων α , β , F_0 , γ_b , h_u , h_0 καὶ H . Δι' εἰσαγωγῆς αὐτῶν εἰς τὰς ἐξισώσεις (82) εὐρίσκομεν τὰς τάσεις εἰς οἰονδήποτε σημεῖον τοῦ σώματος τῆς ἀντηρίδος.

(Λεπτομερῆς ἀνάλυσις τῶν λίαν ἐκτεταμένων τύπων δίδεται ὑπὸ τοῦ Tölke εἰς τὸ βιβλίον αὐτοῦ *Talsperren*, Berlin 1938 σελ. 565 κ.ε.ε.).

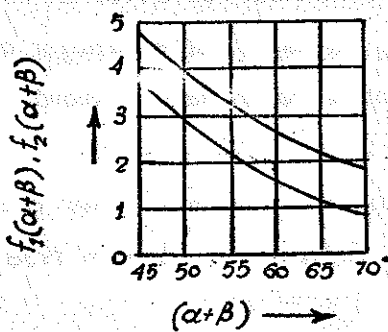
Εἰδιωκῶς διὰ τὰς ἀκραίας τιμὰς τῶν τάσεων εἰς τοὺς πόδας τοῦ φράγματος (πρὸς τὰ ἀνάγνη καὶ κατάντη τῆς ἀντηρίδος) καταλήγει ὁ Tölke, διὰ πεπληρωμένην δι' ὕδατος λίμνην εἰς τοὺς τύπους :

$$\text{mm } \Theta_r = \left. \begin{aligned} & - \frac{F_0}{h_u} \gamma_b \cdot f_1(\alpha+\beta) \eta \mu \alpha - \left(\frac{H_u \cdot F_0}{h_u} \gamma_b \cdot \eta \mu \alpha + \frac{HL}{h_u} \gamma \right) f_3(\alpha+\beta) + \\ & + 2H \frac{h_0}{h_u} \cdot \frac{\gamma_b}{\sin \alpha} \left[f_3(\alpha+\beta) \sin \alpha - f_4(\alpha+\beta) \sin \beta \right] + \\ & + \frac{H}{4} \left(1 - \frac{h_0}{h_u} \right) \frac{\gamma_b}{\sin^2 \alpha} \left[\frac{2}{3} + \sin 2\alpha - f_6(\alpha+\beta) \eta \mu 2\alpha + f_7(\alpha+\beta) \eta \mu 2\beta \right] \end{aligned} \right\} (85)$$

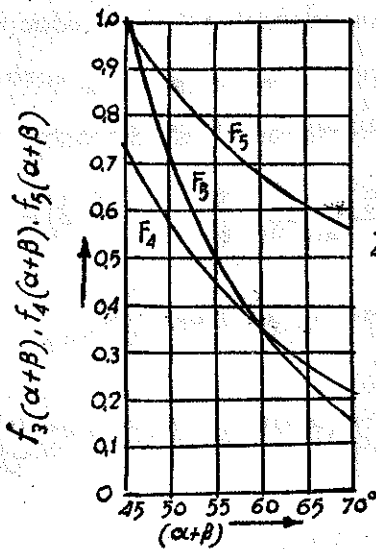
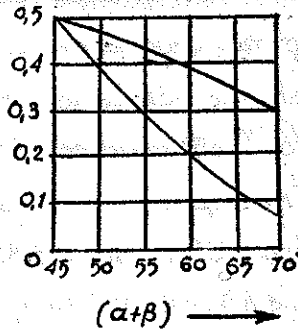
$$(86) \left\{ \begin{aligned} \text{κατάντη} \\ \text{πασχ. } \sigma_r &= + \frac{F_0}{h_u} \gamma_b f_2(\alpha+\beta) \eta \mu \alpha + \frac{2\epsilon \nu \alpha}{\epsilon \nu \beta} \left(\frac{F_u - F}{h_u} \gamma_b \eta \mu \alpha + \frac{H L}{h_u} \gamma \right) f_4(\alpha+\beta) + \\ &+ 2H \frac{h_0}{h_u} \cdot \frac{\gamma_b}{\epsilon \nu \beta} \left[f_3(\alpha+\beta) \epsilon \nu \beta - f_4(\alpha+\beta) \epsilon \nu \alpha \right] + \\ &+ \frac{H}{4} \left(1 - \frac{h_0}{h_u} \right) \frac{\gamma_b}{\epsilon \nu^2 \beta} \left[\frac{2}{3} + \epsilon \nu 2\beta - f_5(\alpha+\beta) \eta \mu 2\beta + f_7(\alpha+\beta) \eta \mu 2\alpha \right] \end{aligned} \right.$$

Είς τας ἐξισώσεις ταύτας οἱ ὄροι F_u καὶ F_0 παριστάνουν τὴν διατομὴν τοῦ εἰς τὰς ἀντηρίδας στηριζομένου καταστρώματος (F_u εἰς τὸ κάτω ἄκρον F_0 εἰς τὸ ἄνω).

Αἱ παραστάσεις $f_1(\alpha+\beta), f_2(\alpha+\beta), f_3(\alpha+\beta), f_4(\alpha+\beta), f_5(\alpha+\beta), f_6(\alpha+\beta), f_7(\alpha+\beta)$ εἶναι συναρτήσεις τῶν γωνιῶν α καὶ β (βλέπε Σχ. 150) καὶ δίδονται γραφικῶς εἰς τὸ Σχ. 151. Τὸ μέγεθος L δίδει τὴν μεταξὺ τῶν ἀντηρίδων ἀπόστασιν.



Σχ. 150



Σχ. 151

Ἐστω παράδειγμα ἀντηριδωτοῦ φράγματος ὕψους $H = 60 \mu.$ με ἀποστάσεις ἀντηριδῶν $L = 20,0 \mu.$, πάχος ἀντηριδῶν $h_0 = 1,0, h_u = 4,0 \mu.$ γωνίαν $\alpha = 40^\circ$ καὶ βάρη $\gamma_b = 2,4 t/m^3$ καὶ $\gamma = 1,0 t/m^3$.

Ἐκτὸ καταστρώμα ἀποτελεῖται ἀπὸ θόλους πάχους

$d_o = 0,6 \mu$, εις την στέψιν και $d_u = 1,5 \mu$, εις την βάσιν έχοντας ακτίνα $8,75 \mu$, και γωνίαν 180° τότε :

$$F_o = 0,6 \cdot 8,75 \pi = 16,5 \mu^2$$

$$F_u = 1,5 \cdot 8,75 \pi = 41,2 \mu^2$$

Ήδη αι' ως άνω έξειδώσεις

(85) και (86) λαμβάνουν τα τιμάς:

$$(87) \quad \min \epsilon_r^{\text{ανάντη}} = -6,37 f_1 - 309,5 f_2 + 72,0 \left(f_3 - \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} f_4 \right) +$$

$$+ 46,1 \left(\frac{2}{3} + \sin 2\alpha - f_6 \eta \mu 2\alpha + f_7 \eta \mu 2\beta \right)$$

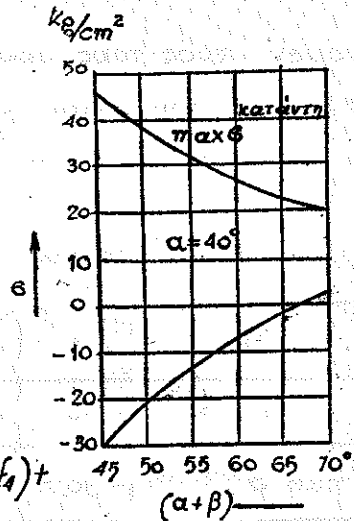
$$(88) \quad \max \epsilon_r^{\text{κατάντη}} = +6,37 f_2 + 619 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} f_4 + 72 \left(f_3 - \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} f_4 \right) +$$

$$+ 461 \left(\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \right)^2 \left(\frac{2}{3} + \sin 2\beta - f_6 \eta \mu 2\beta + f_7 \eta \mu 2\alpha \right)$$

Τοιουτοτρόπως διά διαφόρους τιμάς της γωνίας β , ευρίσκομεν (δοθείσης ήδη της $\alpha = 40^\circ$) τάς τιμάς των $f_1 \dots f_7$, εκ του σχήματος 151 και υπολογίζομεν τάς τάσεις εις τούς πόδας (ανάντη και κατάντη). Εις τό Σχ. 152 δίδονται αι μέγιστα και ελάχιστοι τιμαί των τάσεων (έξειδώσεις (87) και (88)), συναρτήσει του άθροίσματος $(\alpha + \beta)$.

Εις τόν επόμενον πίνακα δίδονται αναλυτικώς αι τάσεις εις τούς πόδας των άντηρίδων (ανάντη και κατάντη) διά $\alpha = 40^\circ$ και διαφόρους τιμάς του β .

Έκ του πίνακος τούτου δι' αύξησεωσ της γωνίας β βαί-



Σχ. 152 Μέγιστα και ελάχιστοι ϵ διά $\alpha = 40^\circ$ και διαφόρους τιμάς του β του παραδείγματος.

νομεν προς τούς ὄρους τούς τεθέντας διὰ τοῦ σχήματος 146, εἰς τὴν ἄρχὴν τοῦ παρόντος κεφαλαίου.

Πίναξ τάσεων ποδῶν ἀντηρίδος (kg/cm^2).

β	5	10	15	20	25	30
$\alpha + \beta$	45	50	55	60	65	70
μῖν σ ἀνάντη	-30,7	-19,7	-11,5	-5,3	-0,7	+2,6
μᾶξ σ κατόντη	+45,5	+37,0	+31,0	+26,4	+22,8	+19,5

III - 4 · ΛΙΘΟΡΡΙΠΤΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

Τὰ λιθόρριπτα φράγματα κατασκευάζονται ἐκ λίθων κανονικῶς τοποθετουμένων (Ἐηρολιθοδομή) ἢ ἐκ λίθων ἀτάκτως ἐρριμένων ἢ καὶ εἶναι μικτὰ ἐκ τῶν δύο τούτων μεθόδων.

Τὰ σῶματα ταῦτα δὲν εἶναι στεγανὰ καὶ , πλὴν ἐπαισίων περιπτώσεων ὅπου δὲν ἀπαιτεῖται στεγανότης , στεγανοποιῦνται δι' ὑδατοστεγῶν ἐτρώσεων ἐκ σκυροδέματος , τοικοποιίας ἢ ἀργίλλου καὶ ἐπαισώτερον διὰ ξυλίνων ἢ εἰδηρῶν κατασκευῶν.

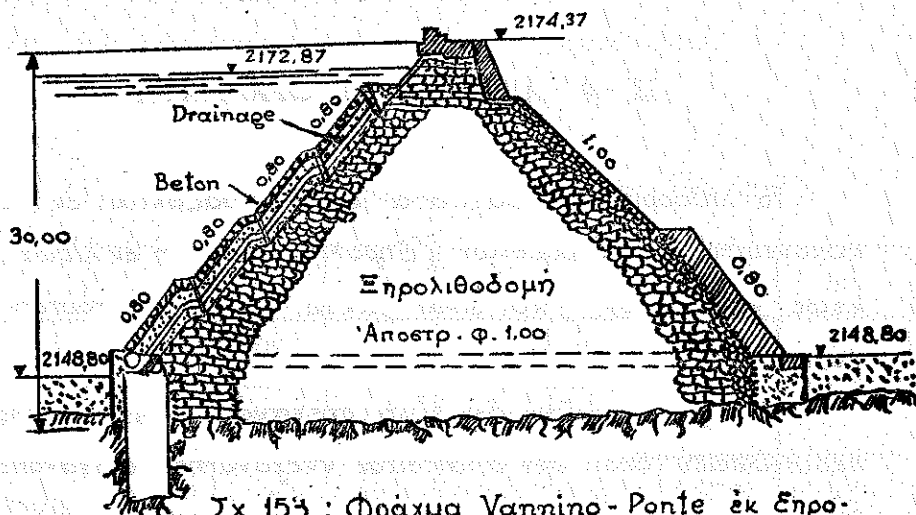
Αἱ ὑδατοστεχεῖς διατάξεις κατασκευάζονται εἴτε εἰς τὴν πρὸς τὰ ἀνάγνη τῶν φραγμάτων πορείαν ἢ εἰς τὸ κέντρον αὐτῆς , ὅταν δὲ εἶναι ἐξ ἀργίλλου δύνανται νὰ λαμβάνουν καὶ λοξὴν διάταξιν .

Ἡ κατασκευὴ τῶν φραγμάτων τούτων ἐκ Ἐηρολιθοδομῆς ἤρκειεν καὶ ἐξακολουθεῖ χρησιμοποιουμένη κυρίως εἰς τὴν Ἰταλίαν καὶ τὸ Μεξικόν .

Εἰς τὰ ἐκτῆματα 153 καὶ 154 δίδονται τὰ φράγματα Vapino - Ponte καὶ Codello - Derero εἰς Ἰταλίαν , ἀμφότερα ἐκ Ἐηρολιθοδομῆς με ἐπέγδυσιν ἐκ σκυροδέματος ἢ τοικοποιίας . Τὸ δεῦτερον ἔχει καὶ ἀσφαλτικὴν ἀπομόνωσιν καλυπτομένη ἐκ λιθοδομῆς διὰ κυβολίθων .

Εἰς τὸ Σχ. 155 δίδεται τὸ ἐπίσης Ἰταλικόν φράγμα Cigno με ἀσφαλτικὴν ἀπομόνωσιν ἐπὶ ἐτρώσεως ἐκ σκυροδέματος .

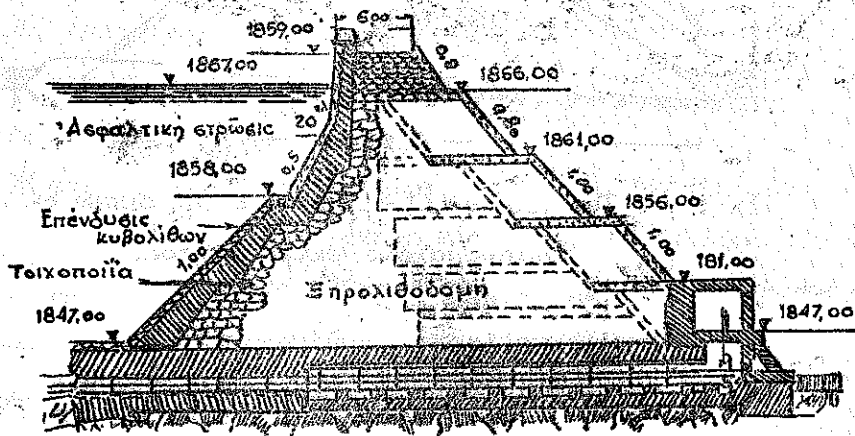
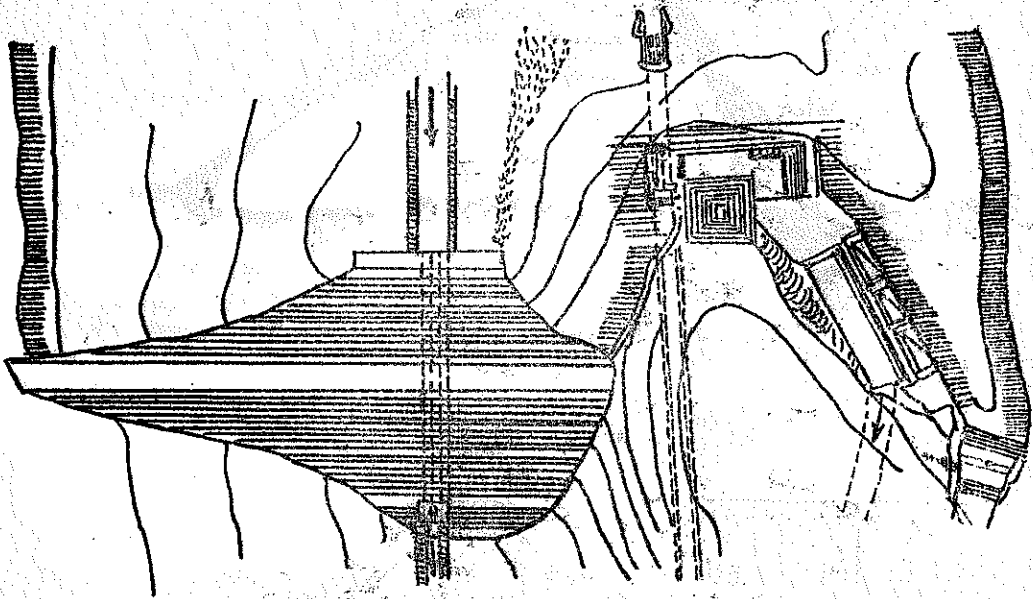
Πλὴν τῆς Ἐηρολιθοδομῆς , τὸ σῶμα τοῦ φράγματος δύνα-



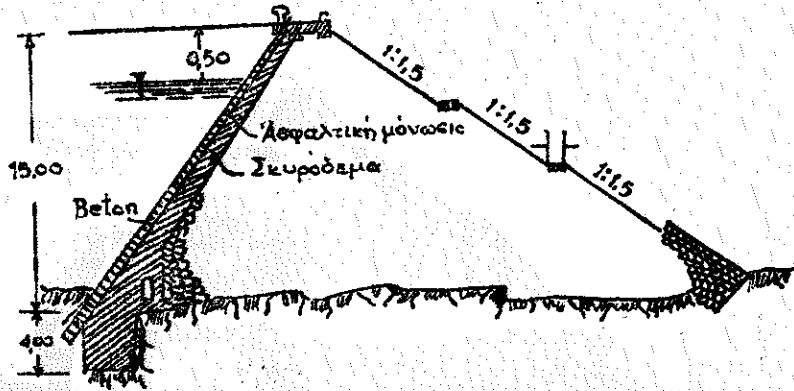
Σχ. 153 : Φράγμα Vanpino - Ponte εκ Ξηρολιθοδομής. Παραπέτασμα εκ σκυροδέματος μετά αποστραγγιστικού δικτύου, ώς εις Σχ. 63 (σελ. 97).

ται να κατασκευάζεται και εκ απλής λιθορριπής ριπτομένης μίγδην. Ούτω εις το Σχ. 156 δίδεται το φράγμα *Salt-Lake* (Η.Π.Α.), ὅπερ ἔχει ὕψος 100 μ., ὄγκον ὀλίγον 2,3 hm³ (2,300 κ.μ.). Τοῦτο ἔχει κλίσιν 1:14 πρὸς τὰ κατάντη καὶ 1:13 εἰς τὰ ἀνάντη ὅπου ἐπικάθηται Ξηρολιθοδομή πάχους 4,5 μ. καὶ ἐπὶ ταύτης ὀπλισμένον σκυρόδεμα πάχους 0,3 εἰς τὴν στέψιν καὶ 0,86 εἰς τὴν βᾶσιν με ἀπλοῦν ὀπλισμόν (ἀνά 33 ἕως 20 ἐκ.) εἰς τὰ ἄνω 2/3 τοῦ ὕψους καὶ διπλοῦν ὀπλισμόν (ἀνά 38 ἕως 22 ἐκ.) εἰς τὸ κάτω 1/3 τοῦ ὕψους.

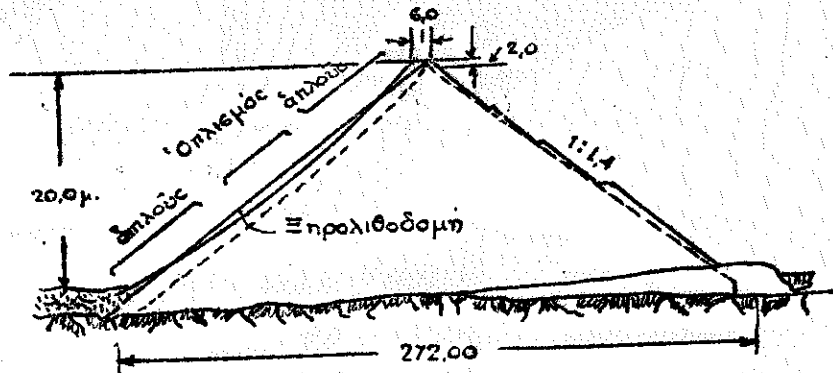
Εἰς τὸ Σχ. 157 δίδεται τὸ φράγμα *Ghrīb* (Ἀλγερίον) ὕψους 72,0 μ. εκ λιθορριπής με στρώσιν εκ Ξηρολιθοδομής ἐπικαλυπτομένης με κυκλώπειον σκυρόδεμα καλυπόμενον εκ στρώσεως ὀπλισμένου σκυροδέματος.



Σχ.154 : Διατομή και κάτοψις φράγματος
Codelago Alpe Dazero (Ιταλία)

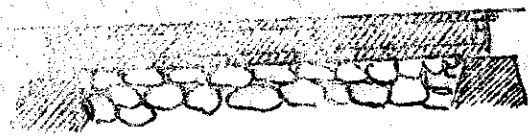


Σχ.155 : Φράγμα Cigano

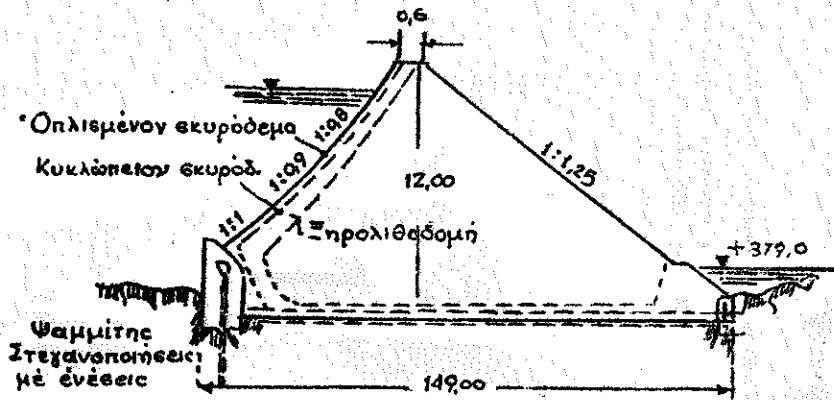


Σχ.156: Φράγμα Salt-Lake με επένδυση ἐκ σιδηροπαχοῦς σκυροδέματος.

Αἱ ἐξ ὀπλισμένου ἢ ἀπλοῦ σκυροδέματος στεγανὰ ἐπενδύσεις κατασκευάζονται μὲ ἀρμοὺς συνήθως ἀνὰ 12-18μ.



σταυροειδῶς, ἥτοι ἀποτελοῦνται αἱ ἐπενδύσεις ἐκ τετραγωνικῶν πλοκῶν 12,0 · 12,0 μ. ἕως 18,0 · 18,0 μ.



Σχ. 157 Φράγμα Ghrib (Άλγεριον).

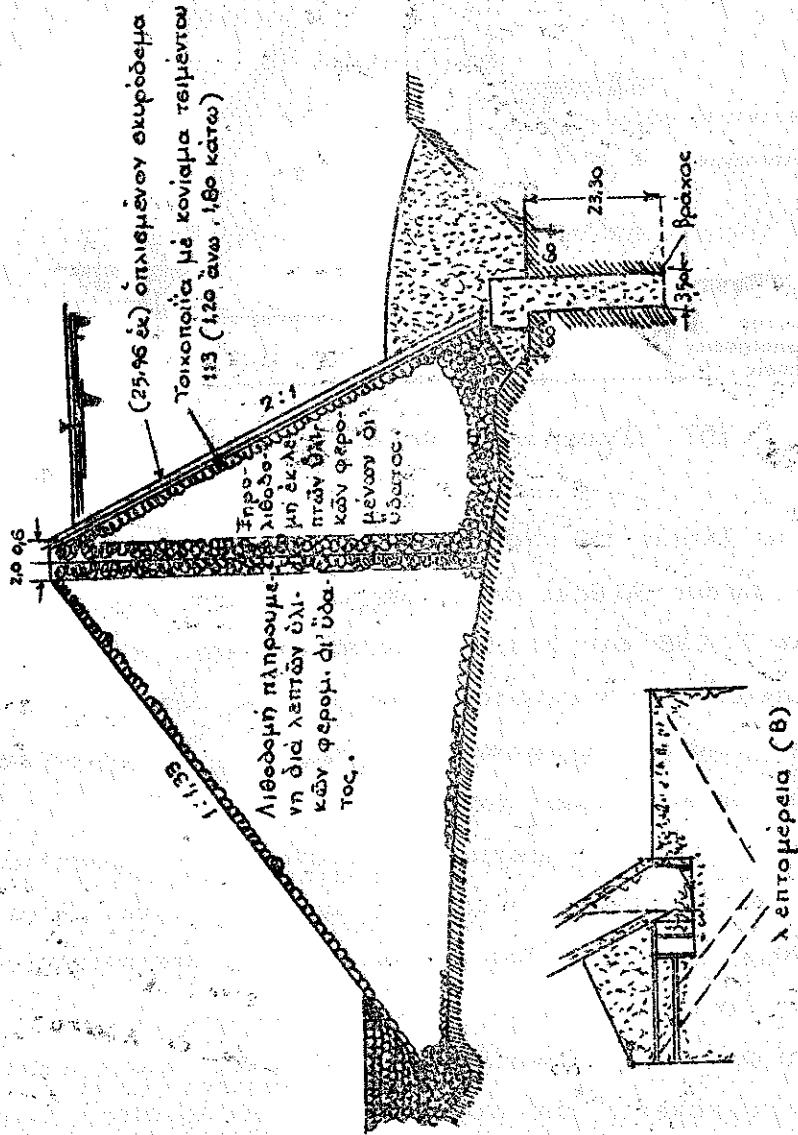
Εἰς τὸ Σχῆμα 158 δίδεται τὸ φράγμα Μαλρασο εἰς τὸ Περού, ὕψους 30,80μ. ὅπερ ἔχει κλίειν 2:1 πρὸς τὴν ἀνάγντη καὶ 1:1,38 ἕως 1:1,50 πρὸς τὰ κατάντη.

Αἱ ἐπενδύσεις ἐκ εκυροδέματος γενικῶς δεῖον νὰ ἔχουν πάχος τουλάχιστον 30 ἐκ. εἰς τὴν θέψιν καὶ εἰ δυνατόν μεγαλύτερον ὅπου ὑπάρχει παχυνιά.

Ἡ στεγανότης τοῦ φράγματος δύναται νὰ λαμβάνη χώραν καὶ διὰ διατάξεων ἐντὸς τοῦ ἐώματος αὐτοῦ. Οὕτω εἰς τὸ φράγμα Lower Otay (σχῆμ. 159) ἡ στεγανότης ἐπιτελεῖται διὰ εἰδοπροφύλλων ἐγκιβωτισμένων.

Εἰς τὸ φράγμα Cranvalley (Η.Π.Α.) ὕψους 46,0 ἡ στεγανότης ἐπιτυγχάνεται διὰ πυρήνος ἐκ εκυροδέματος (βλ. Σχ. 150).

Εἰς τὸ φράγμα L'Oued-kebir (βλ. Σχ. 161) ὁ πυρῆν εἰς τὸ μέσον ἀποτελεῖται ἀπὸ κυψέλωτῆν τοικοποιίαν ἣτις εἰς τὴν πρὸς ὕδωρ πλευρὰν αὐτῆς ἀποτελεῖται ἀπὸ θολίσκου εἰς δὲ τὴν πρὸς τὰ κατάντη πλευρὰν ἐκ πλακόσ

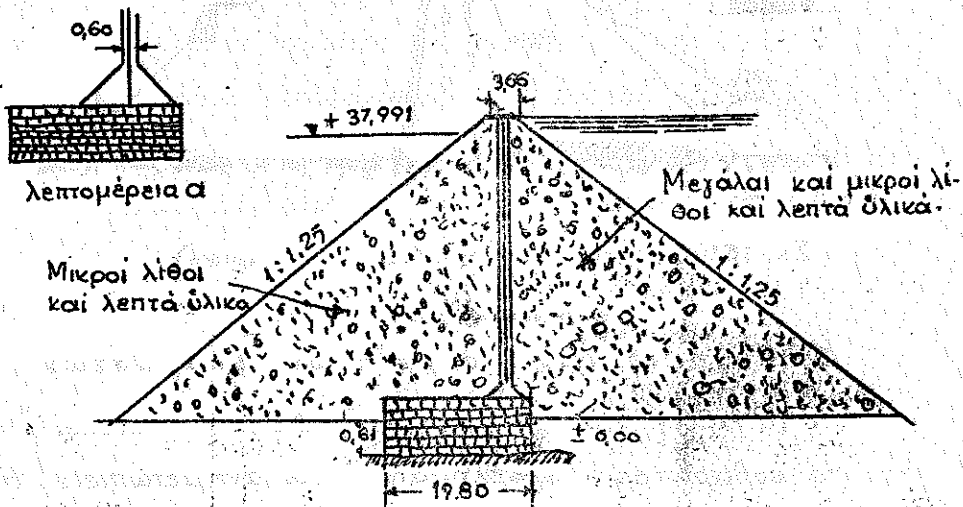


Σχ. 158. Φράγμα Μαίρσο (Μεξικόν)

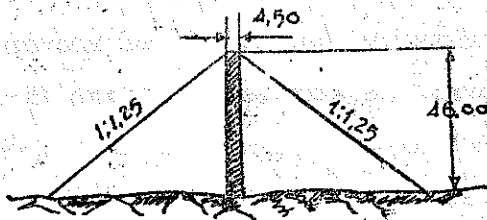
έξωπλισμένου σκυροδέματος. Η υποχώρησις διά πλήρες φράγμα (όριζοντία μετατόπισις) ανήλθεν εις 90 εκ.

Πάντως εις τὰ λιθοόρριπτα φράγματα είναι προτιμώ-

τερον ή στεγανή επένδυσις νά γίνεται εις τὰ άνάντη και όχι εις τό μέσον του φράγματος και τούτο ίνα είναι εύκολος ό έλεγχος και επί πλέον έργάζεται όλο τό πλάτος του φράγματος εναντίον της άλιθθήσεως και όχι μόνον τό ήμισυ της βάσεως αυτού.

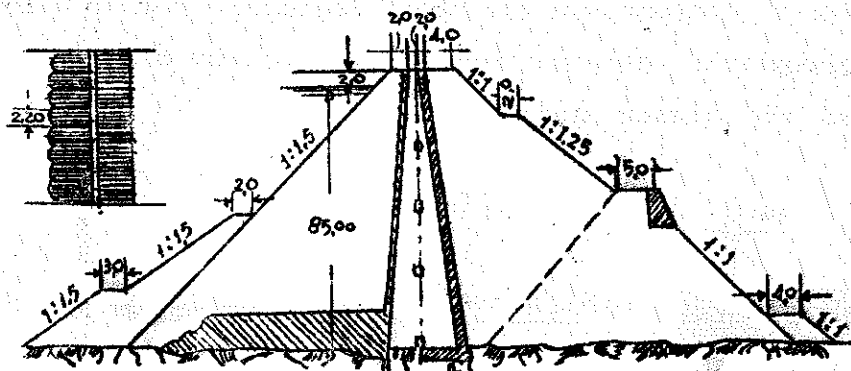


Σχ.159 Φράγμα Lower Otay (Καλιφόρνια)



Σχ.160 Φράγμα Cranialley με πυρήνα εκ σκυροδέματος.

Τέλος τόσον ό κεντρικός πυρήν όσον και ή προς τὰ άνάντη ύδατοστεγής επένδυσις δύναται νά κατασκευάζονται από λοξόν ή παράλληλον προς την κλίσειν άρχιλλικόν στρώμα,



Σχ. 161 Φράγμα Loued-kebir (Αλγέριον).

Καθίξεις τῶν λιθορρίπτων φραγμάτων

Εἰς τὰ λιθορρίπτα φράγματα ἡ καθίξις ἀποτελεῖ ἓνα ἀπὸ τὰ σοβαρώτερα προβλήματα πρὸς ἀντιμετώπισιν. Ἡ καθίξις αὕτη ἀναλύεται εἰς κατακόρυφον καὶ ὀριζόντιαν μετακίνησιν ἐκάστου σημείου καὶ δὴ τῆς πρὸς τὰ κατάντη πλευρᾶς τοῦ φράγματος ὅπου αἱ μετρήσεις εἶναι δυναταί. Αἱ μετρήσεις αὐξάνουν προΐόντος τοῦ χρόνου ἀπὸ τῆς κατασκευῆς κυμαίνονται δὲ κατακόρυφοι ἀπὸ 15-30 ἐκ. διὰ χαμηλά φράγματα (30-40 μ. ὕψος) καὶ ἀπὸ 10-90 ἐκ. διὰ ὑψηλά φράγματα (80-90 μ. ὕψος). Αἱ ὀριζόντιοι μετακινήσεις εἶναι συνήθως μικρότεροι ἢ ἴσαι.

Αἱ καθίξεις ὀφείλονται εἰς τὸ βάρος ἢ τὴν πλαγίαν ὕψην τοῦ ὕδατος εἰς τὸ βάρος τοῦ φράγματος, εἰς τὴν θραύσιν τῶν χαμηλὰ κειμένων λίθων, εἰς τὴν ὑποκώρησιν τοῦ ἐδάφους, εἰς τὸν τρόπον κατασκευῆς τῶν φραγμάτων.

Ἡ καθίζησις ἀντιμετωπίζεται ἐξ ὑπαρχῆς τῆς κατασκευῆς τοῦ φραγματος, ὅπερ κατασκευάζεται κυρτόν πρὸς τὰ ἀνάγτη ὥστε γὰ ἔλθῃ εἰς κανονικὴν θέσιν ὅταν ὑποχωρήσῃ. Ὁμοίως πρὸς ἀποφυγὴν ρωγμῶν εἰς τὰς ὑδατοστεγῆς ἐπενδύσεις, ἴδια ἐξ ὀπλισμένου ἐκυροδέματος, κατασκευάζομεν ἄρμους εἰς αὐτοὺς.

Ὁ τρόπος ὑπολογισμῶν θὰ ἐκτεθῇ κατωτέρω ὁμοῦ μὲ τὸν τρόπον ὑπολογισμοῦ τῶν κωματίνων φραγμάτων, ὅστις ἰσχύει δι' ὅλας τὰς κατασκευὰς ἐκ ψαθυρῶν ὑλικῶν.

III-5 ΧΩΜΑΤΙΝΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

- 1- Γενικότητες
- 2- Κίνδυνοι εἰς τὰ χωματινα φράγματα καὶ ἀντικείμενον τῶν ὑπολογισμῶν.
- 3- Συστάεις καὶ ἀνοχή τοῦ ὕλικου τῶν χωματινῶν φραγμάτων. Φυσικαὶ καὶ ἐργαστηριακαὶ ἐρευναι. (Στοιχεῖα ἐδαφομηχανικῆς).
 - 3.1 Μηχανικὴ ἀνάλυσις τῶν συστατικῶν στοιχείων τῶν φραγμάτων.
 - 3.2 Ἡ πυκνότης, τὸ πορῶδες καὶ ἡ ὑγρασία τῶν ἐδαφῶν.
 - 3.3 Ἡ ὑφὴ τῶν ἐδαφῶν καὶ ἰδίᾳ τῶν ἀργιλικῶν ἐδαφῶν.
 - 3.4 Ἡ πυκνοποίησις καὶ συμπίκνωσις τῶν ἐδαφῶν.
 - 3.5 Ἡ διαπερατότης τῶν ἐδαφῶν καὶ ἡ ροὴ τοῦ ὕδατος δι' αὐτῶν.
 - 3.6 Καθίζησις χωματινῶν ἔργων.
 - 3.7 Αἱ ὑπὸ τῶν ἐδαφῶν παραλαμβανόμεναι κύριαί καὶ διατμητικαὶ τάσεις.
- 4- Ὑδραυλικὴ μελέτη τῶν φραγμάτων. Ἀποστράγγις.
- 5- Ἡ εὐστάθεια τῶν φραγμάτων.
- 6- Τεχνικαὶ λεπτομέρειαι, ἐφαρμοχαί, παραδείγματα.

ΧΩΜΑΤΙΝΑ ΦΡΑΓΜΑΤΑ

Γενικότητες

Ἡ συνεχής προϊούσα κατασκευὴ τῶν φραγμάτων διὰ τὴν ρύθμισιν τῶν παροχῶν τῶν ὑδατικῶν ὑποδοκῶν καὶ τὴν καλλιτέραν κρησιμοποίησιν αὐτῶν εἰς τὴν ὑδατικὴν οἰκονομίαν, ἢ βαθμιαία ἐξάντλησις τῶν ὀλίγων βαθειῶν παραδρῶν διὰ τὴν τοπόθεσιν οἰκονομικῶν φραγμάτων, ἢ ἐπίδιώξις δημιουργίας ἐκτεταμένων τεχνιτῶν λιμνῶν μὲ μικρὰ ἀναλόγως ὕψη φράγματος, ἣτις εἶναι ἐπιτευκτὴ μόνον εἰς σχετικῶς πεδινὰ ἐδάφη καὶ τέλος ἢ ἀνάπτυξις συγχρόνων μεθόδων διὰ τὴν οἰκονομικὴν μεταφορὰν μεγάλων ὄγκων ψαθυρῶν ὑλικῶν, ἐδῆγησαν εἰς τὴν κρησιμοποίησιν εἰς εὐρείαν κλίμακα τῶν χωματίνων φραγμάτων (*Earth dams barrages en terre, Erd-dämme*). Κατὰ πολὺ συνέτεινεν πρὸς τοῦτο ἡ συνεχὴς ἀνάπτυξις τῶν ἐρευνῶν τῶν τύπων τῶν διαφόρων ἐδαφῶν, τῶν τεχνητῶν ἰδιοτήτων αὐτῶν καὶ τῆς συμπεριφορᾶς αὐτῶν εἰς τὰ ὑδραυλικά καὶ στατικά φορτία.

Αἱ πρόοδοι τῆς Ἐδαφομηχανικῆς καὶ ἡ ἀνάπτυξις τῶν ἐργαστηρίων ἐρεύνης αὐτῆς μὲς ἐπιτρέπουσι σήμερον νὰ μεταχειρίζομεθα τὰ διάφορα χωμάτινα ὑλικά μετὰ τῆς αὐτῆς εὐκρείας καὶ ἀσφαλείας μεθ' ἧς μεταχειρίζομεθα μέχρι τοῦδε τὰ λοιπὰ ὁμοιόμορφα ὑλικά δομῆς (σίδηρος, σκυρόδεμα, λίθοι, ἔυλα).

Τὸ πρῶτον χαρακτηριστικὸν τῶν χωματίνων φραγμάτων ἀποτελεῖ ἡ ἐλαφρά κλίσις τῶν ἐκατέρωθεν παρείων αὐτῶν ἐν ἀντιθέσει πρὸς ὅλους τοὺς ἄλλους τύπους φραγμάτων. Ἄμεσον συνέπειαν τούτου ἀποτελεῖ ὁ μέγας ὄγκος ὑλικοῦ

κατασκευῆς αὐτῶν καλυπτόμενος οἰκονομικῶς ἀφ' ἑνός μὲν ἐκ τῆς ἀδαπάνου σκετικῶς προμηθείας αὐτοῦ (ὅταν τὰ ὑλικά εὐρίσκονται *in situ*, ὅποτε καὶ συνήθως προτιμᾶται ἢ κατασκευὴ αὐτῶν) ἀφ' ἑτέρου δέ, ὡς ἐλέχθη, ἐκ τῆς ἀναπτύξεως οἰκονομικῶν μεθόδων κατασκευῆς.

Τὰ ὑλικά κατασκευῆς χωματινοῦ φράγματος ἐσκάπτονται συνήθως εἰς πληθισχώρους θαλάμους δανείων χωμάτων μεταφέρονται εἰς τὴν θέσιν τοῦ φράγματος, διανέμονται δὲ καὶ συμπυκνοῦνται εἰς τὴν τελικὴν αὐτῶν μορφήν τοῦ ἀναχώματος.

Ἀναλόγως τῶν τρόπων κατασκευῆς αὐτῶν, ἤτοι τῆς ἐκτελέσεως τῶν ὡς ἄνω ἐργασιῶν διακρίνονται τὰ χωματινα φράγματα εἰς :

- α/ Κυλινδρούμενα (*rolled fill dams*)
- β/ Ὑδατόπλαστα (*hydraulic fill*)
- γ/ Ἡμιυδατόπλαστα (*semi-hydraulic fill dams*)

α)- Κυλινδρωτὰ φράγματα.

Τὰ κυλινδρωτὰ φράγματα κατασκευάζονται δι' ἐσκαφῆς τῶν χωμάτων δι' ἀτμοκινήτων πτύων ἢ πετρελαιοκινήτων ἐσκαφῶν μετὰ κάδου (*dragline*) μεταφέρονται εἰς τὴν θέσιν τοῦ φράγματος ἔνθα ἀπλοῦνται, διαβρέχονται, ἐὰν εἶναι ἀναγκαῖον, καὶ κυλινδροῦνται. Ἡ μεταφορὰ σήμερον γίνεται δι' εἰδικῶν, ὑπὸ ἐρπυστριῶν ρυμουλκουμένων ὀχημάτων, ἐπὶ ἐλαστικῶν τροχῶν, ὧν ἡ χωρητικότης φθάνει τὰ 15 κ.μ. (-20 κυβ. γιάρδοι).

Ἡ κυλινδρωσις γίνεται δι' ὀδοστρωτήρων, οἷτινες φέρουσι καθ' ὅλον τὸ ἀνάπτυγμα τοῦ κυλίνδρου αὐτῶν ὀδόντας, ὁμοιάζοντας πρὸς πόδας προβάτων (κατσεικοπόδαρα)

(sheeps-foot) οἷτινες ἔχουσι 18 ἐκ. μῆκος ὀδόντος καὶ 44 τετρ. ἐκ. διατομὴν καὶ προκαλοῦν καλλιτέραν συμπίκνωσιν τοῦ ἐδάφους. Τὰ ἐκάστοτε κυλινδρούμενα στρώματα τοῦ φράγματος ἀνέρχονται εἰς 25 ἕως 30 ἐκ. διὰ διαπερατά ὑλικά καὶ 10-15 ἐκ. διὰ σχετικῶς ἀδιαπεράτα ἐδάφη. Ἡ διανομὴ τῶν χωμάτων ἐπὶ τοῦ ἀναχώματος (διὰ τῶν ὀκημάτων ἢ θυρμῶν βαγονέτων στενοῦ πλάτους) γίνεται εἰς ἀποστάσεις ἀναλόγους πρὸς δημιουργίαν τῶν ὡς εἰρηπακῶν, τὸ δὲ ἄπλωμα γίνεται μὲ bulldozers ἢ graders (προωθητής, ἰσοπεδητής). Οἱ ὁδοὶ μεταφορᾶς τῶν χωμάτων ἐπὶ τῶν φραγμάτων δεόν να ἀλλάζουσι συνεχῶς πρὸς ἀποφυγὴν ὑπερβολικῆς συμπακνώσεως τῶν ἐδαφῶν.

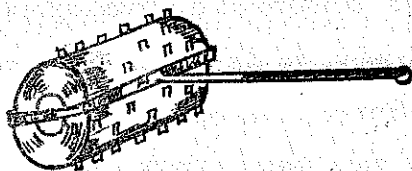
Κατὰ τὴν κυλινδρῶσιν ἀδιαπεράτων συνεκτικῶν ὑλικῶν (ἀργίλλος ἢ μεγάλη ἀναλογία αὐτῆς) ἡ περιεχομένη ἐργασία δεόν να ἔχη τὴν optimum αὐτῆς τιμὴν (λεπτομέρειαι δίδονται κατωτέρω ὡς πρὸς τὰ εἶδη τῶν ὑλικῶν καὶ τὴν περιεχομένην ὑγρασίαν).

Ἐάν ἡ ποσότης αὕτη τῆς ὑγρασίας δὲν ὑπάρχει προτιθεται αὕτη διὰ ραντίσεως τοῦ ἐδάφους, δι' εἰδικῶν συσκευῶν. Ἡ ράντισις γίνεται μετὰ τὴν κυλινδρῶσιν καὶ πρὸ τῆς διαστρώσεως τῆς ἀνωτέρω στρώσεως. Ἐάν ἡ περιεκτικότης τῆς ὑγρασίας τοῦ προσκομιζομένου ἐδάφους εἶναι μεγαλυτέρα τῆς καταλληλοτέρας (optimum) τότε, ἢ ἀφίνομεν τὸ λῶμα να ἐξατμισθῇ μέχρι τῆς δημιουργίας τῆς ἐπιθυμητῆς ὑγρασίας ἢ ἐπιτελοῦμεν ἀποστράγγισιν αὐτοῦ πρὸ τῆς κυλινδρῶσεως. Ἐνίοτε εἶναι ἐκόπιμον ἢ ἀποστράγγισις τῆς ἀργίλλου να γίνη εἰς τὸ ὄρυκεῖον αὐτῆς ἢ τέλος να γίνη χωματοληψία ἀπὸ ἄλλουσι θαλάμοσι δανεισμοῦ ἐγκαταλειπομένων τῶν πολὺ ὑγρῶν τοιούτων.

Ἡ πίεσις συμπακνώσεως τῶν ὀδοντωτῶν ὀδοστρωτήρων κυμαίνεται μεγάλως καὶ φθάνει τὰ 35 kg/cm^2 (λόγῳ ευχεν-
τρώσεως τοῦ βάρους εἰς μίαν σειρὰν ὀδόντων) μεταβάλλεται
δὲ δι' αὐτομειώσεως τοῦ ἀριθμοῦ τῶν ὀδόντων καὶ προσθαφαι-
ρεσεως βαρῶν ἐντός του κυλίνδρου.

Ἐξ ἕως ὀκτῶ διαδρομαί τοῦ κυλίνδρου ἀποτελοῦν τὸν
ευνήθη βαθμὸν κλινδρώσεως.

Ὁ ἀκριβὴς ἀριθμὸς διὰ τὴν ἐπι-
τευξιν τῆς ἀπαιτουμένης ποσό-
τητος ὑγρασίας καὶ τοῦ ἐπιθυ-
μητοῦ βάρους ἀνά ὄγκον πιπτο-
ποιεῖται πειραματικῶς πρὸς



συμμόρφωσιν πρὸς τὰς προδιαγραφάς (περὶ ὧν θὰ ἴδωμεν κα-
τωτέρω).

Κατὰ τὴν κατασκευὴν δι' ἀρχιλλικῶν καμάτων δέον γ' ἀ-
ποφεύχεται ἡ ὑπερβολικὴ κυλινδρώσις ἢ ἡ μεγάλη ὑγρα-
σία διότι τότε ἐκφυλάσσονται ρωγμαὶ ἐκ διατμητικῶν τάσε-
ων (διαμόρφωσις πλακῶν ἀργίλλου με σαφεῖς ἀρμούς) αἱ-
τινες δυνατόν γὰ προκαλέσουν τὴν καταστράφην τοῦ φραγ-
ματος.

Πρὸς ὑπαρξιν ἀσφαλείας δέον κατὰ τὴν κατασκευὴν γὰ τη-
ρεῖται τὸ ἐπίκωμα κάτω τοῦ ὄριου πλαστικότητος τοῦ Atter-
berg, τὸ δὲ ἔτηρόν βάρος τῆς μονάδος ὄγκου (φαινομενικὸν εἰδι-
κὸν βάρος dry unit weight) δέον γὰ ἐλέγχηται συνεχῶς καὶ
γὰ εὐρίσκεται ἐντός τῶν ὁρίων δι' ὧν ὑπελογίσθη τὸ φράγμα.

Ἡ ἐπίδρασις τῶν στρωτήρων δέον γὰ παρακολουθεῖται συ-
νεχῶς ὅταν ἐξοχκοῦνται τὰ πέραν τοῦ στρωτήρος ἄκρα, πιπτο-
ποιεῖται ὑπαρξίς μεγαλυτέρας τῆς ἐπιτρεπομένης ὑγρασίας.

Εἰς τὴν κατασκευὴν δι' ὑλικῶν μεγάλης διαπερατότητος

(ἄμμος, κάλικες) ἄνευ συνεκτικότητος δὲν ὑπάρχουν οἱ ἀνωτέρω κίνδυνοι, ὑπερσυμπυκνώσεως. Ἀπεναντίας ἐδῶ ἡ αὔξησις τῆς συμπακνώσεως ὀδηγεῖ τὰ ὑλικά εἰς τὴν ἱκανότητα παραλαβῆς μεγαλύτερων διατμητικῶν δυνάμεων (οἰκονομία ὑλικοῦ ἐκ τῆς μελέτης) καὶ τὸν περιορισμὸν τῆς καθίψεως τοῦ φράγματος.

Καί τὰ ὀλιγώτερον συνεκτικά ὑλικά ὅμως (ὁμοιόμορφος ἄμμος λ.χ.) διὰ τὰ κυλινδρωθῶσιν καὶ τὰ συμπακνωθῶσιν οὐσιαστικῶς δέον νὰ περιβρέχωνται ἐκδὸν μέχρι κορεσμοῦ. Ἰδιαίτατα τοῦτο εἶναι ἀναγκαῖον εἰς ὁμοιόμορφον λεπτόκοκκον ἄμμον.

Ἡ καθίψις τοῦ σώματος τοῦ φράγματος εἰς τὴν δέον νὰ προστεθῇ ἢ καθίψις τοῦ ἐδάφους ὑπ' αὐτό, δέον ὁμοίως νὰ λαμβάνωνται ὑπ' ὄψιν καὶ τὸ προβλεπόμενον μέγεθος αὐτῶν νὰ προστίθεται εἰς τὸ ἀρχικὸν κατασκευαστικὸν ὕψος τοῦ φράγματος. Συνήθως ἡ καθίψις τοῦ φράγματος ἐπὶ στερεοῦ ἐδάφους διὰ καλὴν κατασκευὴν τοῦ ἐπικώματος δὲν ὑπερβαίνει τὸ 1%. Ἡ καθίψις τοῦ ἐδάφους ἐξ ἄλλου κυμαίνεται ἀπὸ μηδὲν ἕως 3%. Τὸ μεγαλύτερον τμῆμα αὐτῆς λαμβάνει χώραν κατὰ τὴν διάρκειαν τῆς κατασκευῆς καὶ ἔχει τὰς μεγαλύτερας τιμὰς εἰς πλαστικά ἀργιλλικά ἐδάφη.

Ἡ διαμόρφωσις τῶν πρανῶν τῶν φραγμάτων εἶναι ἀναγκαῖα μετὰ τὴν κατασκευὴν αὐτῶν. Ἡ δημιουργία ἐσοχωμάτων ἐπ' αὐτῶν καὶ ἰσχυροτέρων κλίσεων ἐπομένως δέον νὰ ἀποφεύγηται καὶ νὰ διαμορφοῦνται τὰ πρανή εἰς τὴν ἐν τῇ μελέτῃ προβλεπομένην κλίσειν.

Αὔξεισις κλίσεως καὶ βάρους ἐπὶ τῶν πρανῶν πιθανῶς νὰ προκαλέσουν ὀλισθήσεις μεγάλων τμημάτων τῶν φραγμάτων.

Ἡ προστασία ἀπὸ τῆς διεξόδου τοῦ ὕδατος διὰ τοῦ

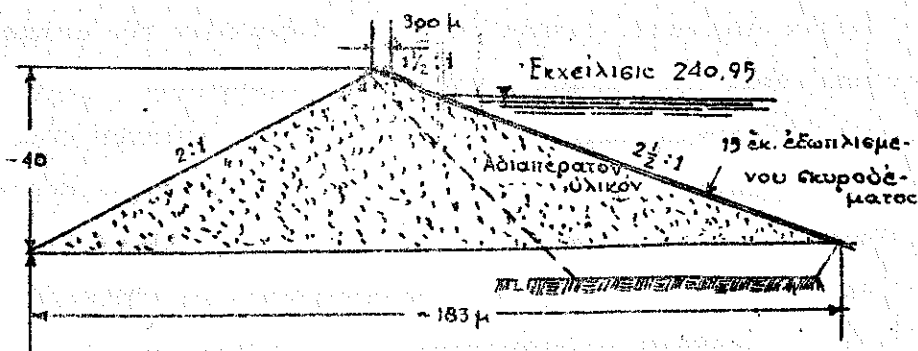
φράγματος επιδιώκεται είτε δι' επίστρωση του ανάντη πρα-
νοῦς , είτε διὰ τῆς δημιουργίας ὑδατοστεγῶς κεντρικοῦ σώμα-
τος , καταλλήλως συνδεομένου μετὰ τοῦ ὑπεδάφους .

Ἡ ἐπίστρωσις ὁμοίως , ἰδία προκειμένων ὑδρεύσεων , ἀ-
ποκλείει τὴν θόλωσιν τοῦ ὕδατος ἐκ τῶν κωμάτων τοῦ φράγ-
ματος , προστατεύει δὲ καὶ τὸ ἀνάχωμα ἐκ τῶν κυματισμῶν .

Ἡ προστατευτικὴ ἐπίστρωσις κατασκευάζεται ἐκ ξη-
ρολιθοδομῆς , ἢ ἐκ πλακῶν σκυροδέματος (συνήθως 1,00 ·
1,50 μ. πάκους 15 ἐκ.) κυνομένων ἐπὶ τόπου ἢ προπαρασκευ-
αζομένων . Οἱ ἄρμοι καλύπτονται διὰ πιεθοκάρτου καὶ ὀ-
πισθεν τῆς πλακῆς φέρουσιν μικρὸν στρώμα καλίκων διὰ τὴν
εὐχερῆ ἀποχέτευσιν τοῦ ὕδατος ὅταν πίπτει ἡ στάθμη τῆς
λίμνης .

Ἡ στεγανωτικὴ ἐπίστρωσις γίγεται διὰ ὑδατοστεγῶν
ὕλικῶν συνήθως διὰ κωμάτων μεγάλης περιεκτικότητος ἀρ-
γίλλου ἢ καὶ διὰ ὀπλισμένου σκυροδέματος .

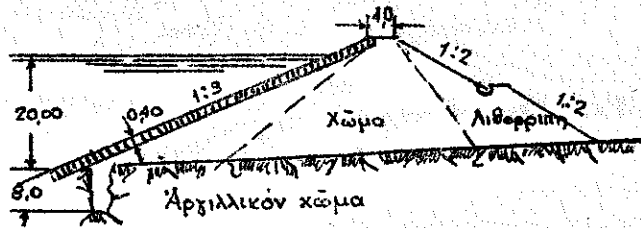
Εἰς τὸ Σχ. 162 δίδεται τὸ κυλινδρωτὸν φράγμα Santiago
(Καλιφόρνια) ἔνθα ἡ πρὸς τὰ ἀνάντη πλευρὰ κατασκευά-
σθη ἐξ ἀδιαπεράτων κωμάτων ἐπικαλυφθέντων προὔξει διὰ



Σχ. 162. Κυλινδρωτὸν φράγμα Santiago .

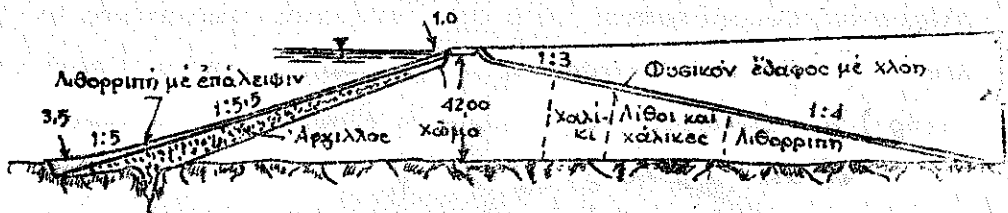
πλακός 15 εκ. έξωπλισμένου ευροδέματος.

Είς τό Σχ. 163 δίδεται τό κυλινδρωτόν φράγμα Seros (Ισπανία) όπου ή ανάντη πλευρά έχει κατασκευασθή μέ πλούσιον εις άργιλλον κώμα, καλυπτόμενον από έηρολιθοδομήν πάκους 40 εκ.



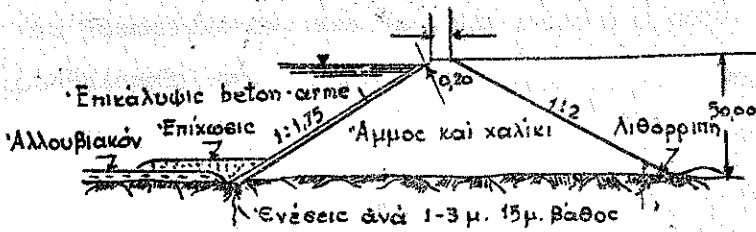
Σχ. 163 Φράγμα Seros (Ισπανία)

Είς τό Σχ. 164 δίδεται τό φράγμα Niederwartha όπου ή ανάντη πλευρά φέρει κεκλιμένον στρώμα εκ πηλοϋ, επικαλυπτομένου υπό λιθορριπής μετά έπαλείψεως εκ κονιάματος. Η κατόντη πλευρά, μέ μικράν κλίειν (1:4) καλύπτεται υπό στρώματος φυσικου έδάφους μέ κλόην διά την προετασίαν από τά απορρέοντα ύδατα της βροχής.



Σχ. 164 Φράγμα εις Niederwartha.

Έπικάλυφιν έξωπλισμένου ευροδέματος φέρει τό φράγμα Taf. Fechan εις Νότιον Άγγλίαν (βλ. σχ. 165). Η πλάξ.



Σχ. 165 Φράγμα Taf-Fechan

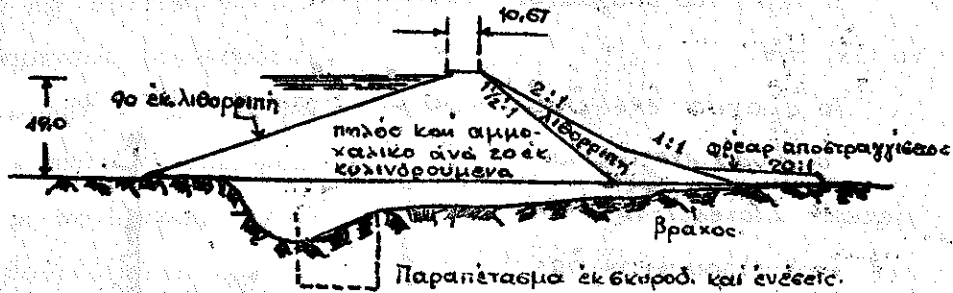
ἔχει πάχος 20-30 ἑκατοστίων καὶ στηρίζεται ἐπὶ κυλινδρωτοῦ φράγματος ἐξ ἄμμου καὶ χαλίκων κυλινδρωθέντος ἀνά 20 βλ. εἰς ὑγρὰν κατάστασιν.

Σπανιωτάτη εἶναι ἡ περίπτωση εἰς ἣν κατάντη πλευρὰ τοῦ φράγματος ἐπενδύεται διὰ καλυβδοφύλλων στηριζομένων ἐπὶ γωνιακῶν ἐλασμάτων, ὅπως εἰς τὸ φράγμα Catahouche Creek (Η.Π.Α.) ὅπου τὸ ἔλασμα ἔχει πάχος 6 χιλιοστίων.

Ἐξ ἄλλου συνηθετέρα εἶναι ἡ στεγανοποίησις τῶν κυλινδρωτῶν φραγμάτων εἰς τὸ κέντρον τῆς κατασκευῆς. Ἡ στεγανοποίησις αὕτη ἐπιτυγχάνεται εἴτε διὰ τοίχων ἐξ ἀπλοῦ ἢ ὀπλισμένου θκυροδέματος· εἴτε δι' ἀδιαπεράτου κωματίνου ὑλικοῦ (ἀργίλλος) κυλινδρουμένου ἢ ἐμβαπτιζομένου (puddling) ἢ σπανιωτάτα ἐκ μεταλλικῶν ἐλασμάτων (καλυβδοφύλλα ἢ πασσαλοσανίδες). Βεβαίως ἡ στεγανοποίησις δέν εἶναι ἀναγκαία ὅταν τὸ ὅλον σῶμα ἀπαρτίσεται ἐξ ἀδιαπεράτου ὑλικοῦ (ἀργιλλώδους ἄμμου) ὁπότε ἀπλῶς προστατεύεται ἡ πρὸς τὰ ἀνάτη παρεῖα διὰ ἑπυρολιθοδομῆς ἢ λιθοδομῆς διὰ τὴν προστασίαν ἐκ τῶν κυμάτων.

Οὕτω εἰς τὸ Σχ. 166 δίδεται τὸ φράγμα Taylor-Park εἰς Κολοράντο (Η.Π.Α.) ἐνθα ὁ κύριος ὄγκος ἀποτελεῖται

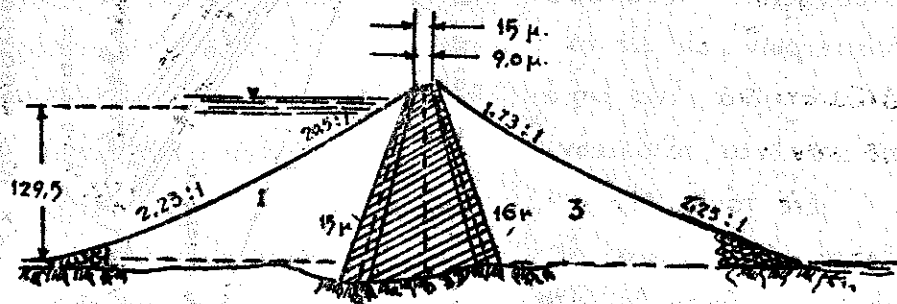
ἀπό στεγανόν ὑλικόν μίγματος πηλοῦ καὶ ἀμμοχαλίκων, ἐπενδύεται δὲ εἰς τὴν ἀνάντη πλευρὰν διὰ λιθορριπῆς. Εἰς τὴν κατάντην πλευρὰν φέρει ὁμοίως λιθορριπὴν ἢ βᾶσις τῆς ὁποίας χρησιμεύει εὐχρῶνως διὰ τὴν ἀποστράγγισιν τοῦ φράγματος.



Σχ. 166. Φράγμα Taylor-Park (κολοραντό)

Εἰς τὸ Σχ. 167 δίδεται τὸ φράγμα Mud-Mountain ἔχον ὕψος 129.60 μ. ὅπερ ἔχει πυρῆνα ἐξ ἀργιλλικοῦ κώματος (ζώνη 1) περιβαλλομένου ὑπὸ λιθορριπῆς (ζώναι 2 καὶ 3). Τὸ ἀργιλικόν κῶμα ὑπερκειμένου ὄρυχειοῦ ἄμμου καὶ χαλίκων, εἶχεν ὑγρασίαν ἀνωτέραν τῆς ἐπιτρεπομένης διὰ κυλινδρωσίν.

Πρὸς διορθώσιν τούτου κατασκευάσθη ἐγκατάστασις



Σχ. 167. Φράγμα Mud Mountain

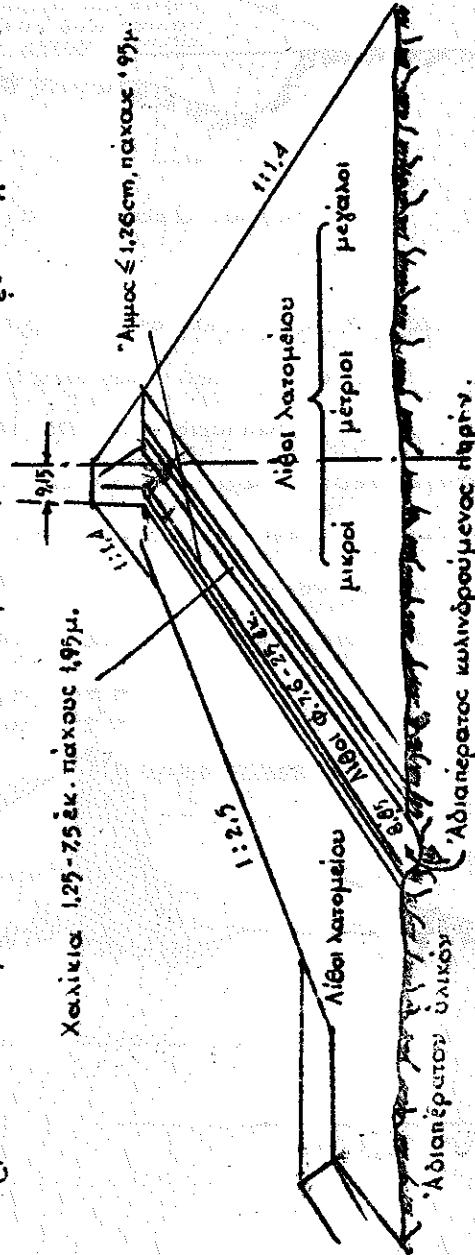
Επράνσεως και ανάμιξεως όπου η άργιλλος ανάμιχνομένη με τα άμμου και χαλικών ελάμβανον την πρέπουσαν ύγρασίαν προς κυλινδρωσιν.

Η τομή του φράγματος Μονταχάλα (N.C.) εμφαιίνεται εις τό Σχ. 168.

Τό φράγμα έχει ύψος 79,30 μ. και πλάτος 366,0 μ.

Τό βῶμα στεγανοποιήσεως αποτελείται από τόν κυλινδρούμενον άργιλικόν πυρήνα πάχους 8,85 μ. και κλίσεως 1:1,97 περιβαλλόμενον από στρώματα ψαθόρα με βαθμιαίως αύξουσαν διάμετρον κόκκων (άμμος διαμέτρου $\leq 12,5$ χιλ. χαλικες 12,5-75 χιλ. λίθοι λατομείου) ὥστε να δημιουργείται μετάβασις διαμέτρων, ὡς εις τά διύλιετήρια, ἵνα μή αποπλύνεται τό ὑλικόν.

Εις τό Σχ. 169 διόδεται τό φράγμα Αρνο και Μοσελλε (Ιταλία) ἔνθα τό ὕδατο - στεγές ὑλικόν εὐρίσκεται εις τό κέντρον και τό ὅλον βῶμα τοῦ

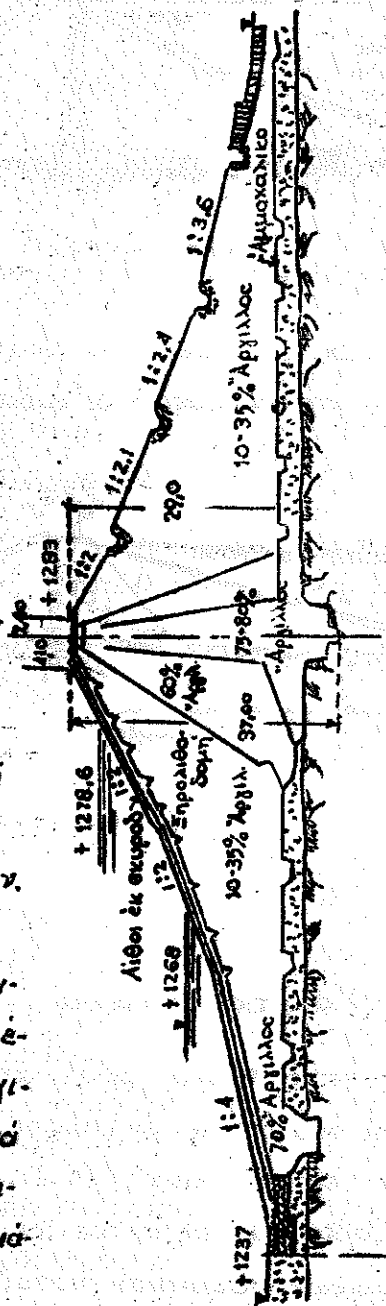


Σχ. 168 Φράγμα Montachala, North Carolina

φράγματος χαρακτηρίζεται αναλόγως της περιεκτικότητος άργίλλου εις τὰ διάφορα τμήματα αὐτοῦ. Χαρακτηριστικὴ εἶναι ἡ πρὸς τὰ ἀνάντη ἐπένδυσαι αὐτοῦ με λίθους βάρους 180 kg ἑκάστου τοποθετημένους κανονικῶς ὑπὸ μορφήν πλακοστρώτου ἐπὶ κοπανισομένης λιθορριπῆς ὡς ὑποβάθρου.

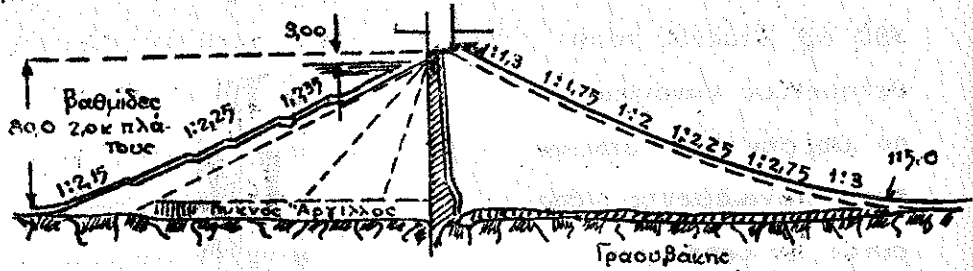
Αἱ βαθμιῶδες τοῦ πρενοῦς πρὸς τὰ κατάντη ἔχουσιν κοιτόστρωσιν ἐκ λίθων ὡς τε οἱ ἐκηματιζόμενοι ρύσασκε τῶν ὑετίων ὑδάτων γὰ μὴ προεβάλλωσιν τὸ ἐπίκωμα. Τὸ φράγμα βασιζεται ἐπὶ γρανίτου (καολινοποιημένου) καὶ φέρεται ἐπὶ στρώματος ἀμμοκαλίκου (ἐνισχυομένου καὶ διὰ σωλήνων $\phi. 20$ ἐκ.) ὅπερ ἐνεργεῖ ὡς στραχιστήριον.

Εἰς τὸ Σχ. 170 δίδεται τὸ φράγμα Sorpe με κεντρικὸν πυρῆνα ἐκ σκυροδέματος (φέροντα καὶ στραχιστικὸν δίκτυον). Ἡ πρὸς τὰ ἀνάντη πλευρὰ κατασκευάσθη ἐκ πυκνοτέρων στρωμάτων άργίλλου, ἡ δὲ πρὸς τὰ



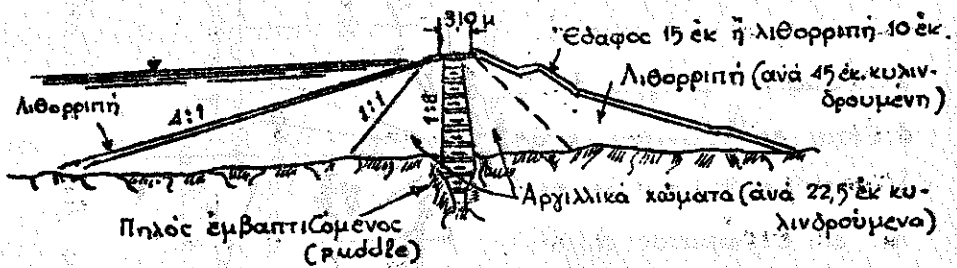
Σχ. 169. Φράγμα Arvo a Nicelle (Καλαβρία)

κατόντη ἐκ μίγματος καλίκων καὶ λίθων ἰσχυρῶς κυλινδρου-
μένων. Τὸ μεισθέντημα τῶν κατασκευῶν τούτων ἐξετάθη ἤ-
δη εἰς τὰ λιθόρριπτα φράγματα.



Σχ. 170 Φράγμα Sorpe (Γερμανία)

Εἰς τὸ Σχ. 171 δίδεται τὸ φράγμα Talla ἔνθα ὁ στεγα-
γός πυρὴν κατασκευάσθη δι' ἐμβαπτιζομένου πηλοῦ (puddle).



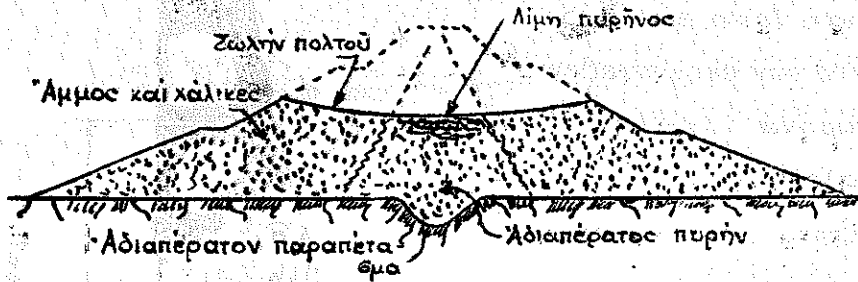
Σχ. 171 Φράγμα Talla

β) Ὑδατόπλαστα φράγματα

Τὰ ὑδατόπλαστα φράγματα κατασκευάζονται δια προ-
σκομισθεως τοῦ ὑλικού ἐν αἰωρήσει μέσῳ σωλήνων εἰς τὴν
ὀριετικὴν αὐτοῦ θέσιν (βλ. Σχ. 172).

Ἡ ἔξοδος τοῦ μίγματος ἐκ τῶν σωλήνων δημιουργεῖ τὴν
κοκκομετρικῶς βαθμιαίαν διάταξιν τοῦ ὑλικού ὡστε εἰς τὸ μέσον

ἐνθα καὶ λιμνάζει τὸ μίγμα καθιζάνουον τὰ λεπτότατα ὑ-
λικά καὶ ἐκηματίζουον τὸν ὑδατοστεγῆ πύρην.



Σχ. 172 · Κατασκευὴ ὑδατοπλάστου φράγματος

Ἡ ἐργασία ἐπιτελεῖται δι' ἰσχυρῶν ἀκτίνων ὑδάτος ὑπὸ πίεσιν, αἵτινες διαλύουον τὸ φυσικὸν κῶμα εἰς τὸ ὄρυκεῖον καὶ τὸ μεταφέρουον εἰς αὐλακὰς δι' ἧν ῥεεῖ τὸ μίγμα εἰς τὴν θέσιν του εἰς τὸ φράγμα. Ἡ ταχύτης εἰς τοὺς σωλήνας διὰ τὴν μὴ καθιζάνη μίγμα 85% ὑδάτος ἔχει ὡς ἀκολουθῶς:

Φ. 40	ἐκ.	4,5	m/θλόν
Φ. 45	»	4,8	»
Φ. 50	»	5,4	»
Φ. 60	»	6,6	»
Φ. 75	»	7,2	»

ἤτοι πρέπει νὰ δημιουργοῦνται μεγάλαι ταχύτητες.

Τὸ ὕψος στρώσεως (δημιουργουμένων διὰ τῆς ὑπεριψώσεως τῶν σωλήνων) ἀνέρχεται εἰς 1,50 μ. συνήθως, αἱ δὲ κλίσεις τῶν πρηνῶν κατασκευῆς 5%.

Εἰς τὸ Σχ. 173 δίδεται ἡ κατασκευὴ τοῦ φράγματος Coble Μουπίαι.

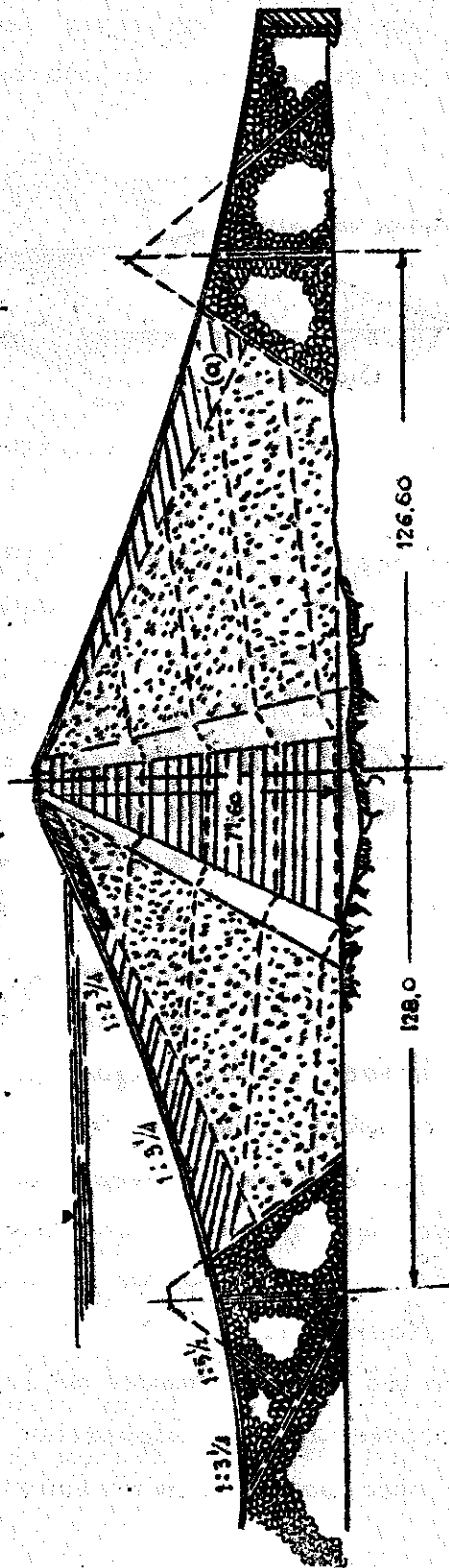
Τὰ δύο τμήματα ἄνωθεν τοῦ ὑδατοπλάστου φράγματος (α.α) δὲν κατασκευάζονται ὑδραυλικῶς ἐπικαλύπτονται δὲ διὰ λιθορριπῆς πρὸς προστασίαν ἐκ τῶν κυμοτισμῶν καὶ τῶν ὑδάτων τῆς βροχῆς.

Εἰς τὸ Σχ. 174 δίδεται ἡ τομή τοῦ φράγματος Cerriman town εἰς Ὀχιο.

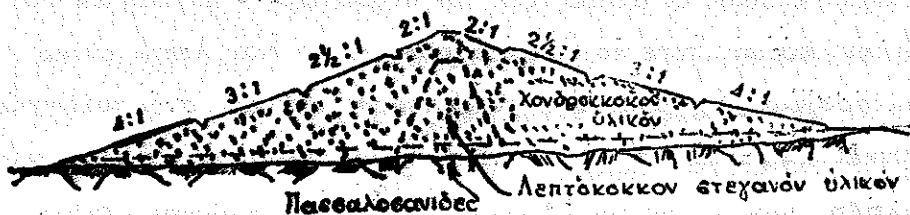
ὑπὸ τὸν ἐκηματισθέντα πυρῆνα ἐκτείνονται πασσαλοσανίδες διὰ τὴν στεγανότητα τῆς εὐνδέσεως μετὰ τὸ ὑπέδαφος.

γ) Ἡμι-υδατόπλαστα φράγματα

Ὁ τύπος τούτων τῶν φραγμάτων κατασκευάζεται διὰ τῆς ἐν ἑρῶ μεταφορᾶς τῶν ὑλικῶν εἰς τὰ δύο ἄκρα τῆς διατομῆς τοῦ φράγματος καὶ τῆς ἐμπλουτίσεως αὐτῶν εἴτα δι' ὕδατος, ὥστε γὰ ἐκηματισθῆ ἢ ὑδατόπλαστος, ὡς ἀνωτέρω διαμόρφωσις αὐτῶν.



Σχ. 173 Φράγμα Cobble Mountain Massachusetts



Σχ. 174 Φράγμα εις Cermantown (Οηίο)

2. Κίνδυνοι εις τὰ χωμάτινα φράγματα και ἀντικείμενον τῶν ὑπολογισμῶν.

Ἴνα ἀντιληφθῶμεν τὰ σημεῖα, ἅτινα δεόν να λάβωμεν ὑπ' ὄψιν πρό τῆς μελέτης τῶν χωματινῶν φραγμάτων, πρέπει να γνωρίζωμεν τοὺς κινδύνους οὓς ταῦτα διατρέχουν και τὰς σημειωθείσας καταστροφὰς αὐτῶν.

Οὕτω ἐκ στατιστικῆς ἐπὶ 82 πρό τοῦ 1998 καιῶς κατασκευασθέντων φραγμάτων προκύπτει ὅτι :

32 ἐξ αὐτῶν (39%) κατεστράφησαν λόγω ἀνεπαρκοῦς ὑπερχειλίσεως.

15 " " (18%) κατεστραφ. λόγω ἐκρηκτικῶν πόρων ὑδατος ἐντός αὐτῶν (ripping).

14 " " (17%) κατεστρ. λόγω διηθήσεως τοῦ ὑδατος κατὰ μῆκος τῶν ἀγωγῶν ὑδροληψίας ἢ ἐκκενώσεως.

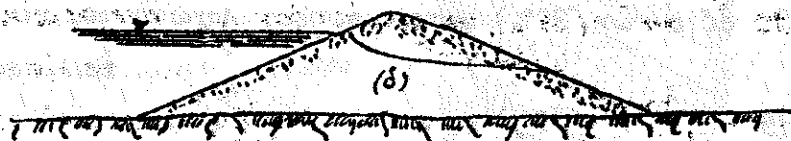
21 " " (26%) κατεστρ. ἐκ διαφορῶν ἄλλων αἰτιῶν.

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω προκύπτει ὅτι κατὰ τοὺς ὑδρολογικοὺς ὑπολογισμοὺς δεόν να ἐξασυκίηται ἡ μεγίστη δυνατὴ παροχὴ και να κατασκευάζονται ἀντιστοίχως ἄπλετοι ὑπερχειλισταί. Ἐφ' ὅσον τὸ ὕδωρ ὑπερχειλίση ἀνωθεν τοῦ φραγματος εἶναι τοῦτο ὀριετικῶς καταδικασμένον εἰς καταστροφὴν.

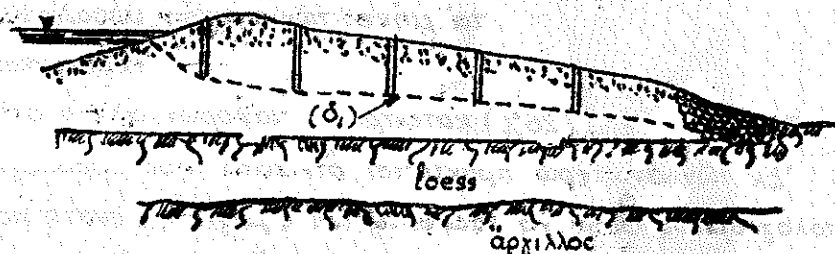
Ἐκ παραλλήλου εἶν τὸ ὑλικὸν τοῦ φράγματος ἐπιτρέπει τὴν εὐχερῆ διόδον δι' αὐτοῦ καὶ τὸν σχηματισμὸν τριχοειδῶν κατ' ἀρχὴν πόρων, τότε τὸ ὕδωρ παρασύρει τὰ λιαν λεπτὰ ὑλικά τοῦ φράγματος, μεγαθυίνει τοὺς πόρους καὶ λαμβάνει ταχύτητας αἰτίνες δυνατόν νὰ παρασύρουν κοινότερα ὑλικά καὶ νὰ καταλήξῃ ὁμοίως εἰς τὴν καταστροφὴν τοῦ φράγματος (*ρίρη danger de romarde*).

Ἐνδιαφέρει ὅθεν ὁ προδιορισμὸς τῶν συνθηκῶν ροῆς τοῦ ὕδατος ἐντὸς τοῦ φράγματος, ἥτοι ὁ προδιορισμὸς τοῦ δικτύου ροῆς (*Flow net*), ἥτοι τῶν γραμμῶν ροῆς καὶ δυναμικοῦ, ἰδιαίτερος δὲ τῆς ἐπιφανειακῆς γραμμῆς ροῆς, ἥτις ἀποτελεῖ καὶ τὸν φρεάτιον ὀρίζοντα τοῦ ὕδατος ἐντὸς τοῦ φράγματος καὶ ἥτις καλεῖται γραμμὴ διηθήσεως ἢ γραμμὴ κορεσμοῦ (*seepage line, ligne de saturation*).

Εἰς τὸ Σχ. 175 δίδεται ἡ ὑποθετικὴ γραμμὴ διηθήσεως (δ) εἰς φράγμα ἐξ ὁμοιογενούς ὑλικοῦ, εἰς δὲ τὸ Σχ. 176 ἡ πραγματικῶς παρατηρηθεῖσα γραμμὴ (δ₁) εἰς τὸ κατασκευασθὲν φράγμα Βοσ-



Σχ. 175 Ἰδεατὴ γραμμὴ διηθήσεως εἰς ὁμοιογενές φράγμα

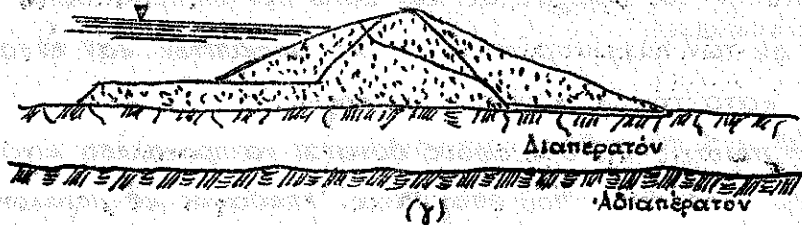
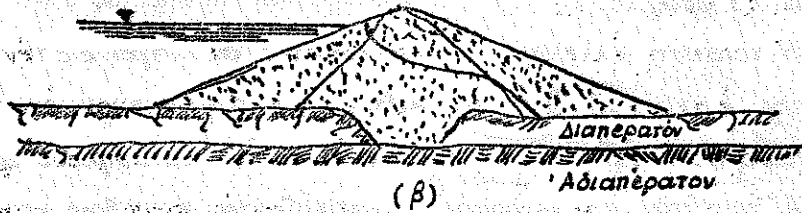
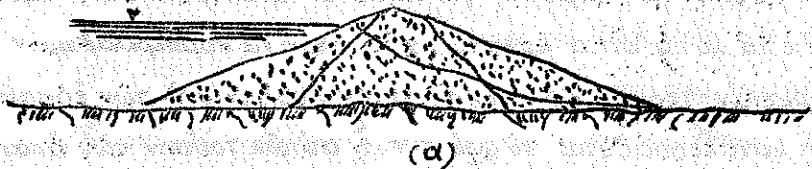


Σχ. 176 Παρατηρηθεῖσα γραμμὴ διηθήσεως εἰς ὁμοιογενές φράγμα Ζυ (Ε.Σ.Σ.Δ. Ρωσία).

Εἰς τὸ Σχ. 176 ἡ γραμμὴ διηθήσεως κατῆλθεν σημαντικῶς ἀπὸ τὴν θεωρητικὴν διὰ τῆς τοποθετήσεως διϋλιετηρίου εἰς τὸν πόδα τοῦ κατάντη πρανοῦς. Τὰ διϋλιετήρια ταῦτα ἀπλοῦνται ἐνίοτε ἐπὶ μεγάλου μήκουσ (ὀθηθητικὸς τάπησ) ὑπὸ τὸ ἐπίκωμα, ὥστε νὰ κατέρχεται ἡ γραμμὴ διηθήσεως ἔτι ταχύτερον καὶ νὰ στραγγίζονται τὰ ὕδατα χαμηλά.

Εἰς τὸ Σχ. 177 δίδεται ἡ γραμμὴ διηθήσεως εἰς ἀνομοιογενῆ φράγματα καὶ δὴ ἐπικείμενα α) εἰς ἀδιαπέρατον ἔδαφος ἢ β) καὶ γ) εἰς διαπερατὰ ἔδαφη.

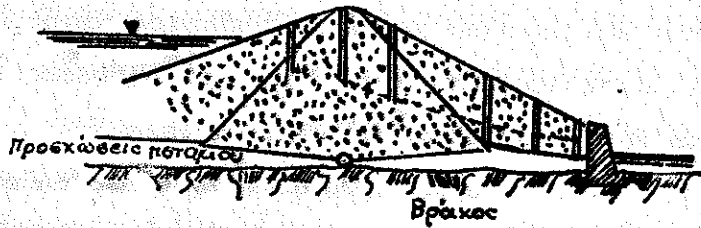
Εἰς τὸ Σχ. 177 τὸ ἀδιαπέρατον ὑλικὸν τοῦ πυρῆνος ἐπεκτείνεται εἰς τὰ ἀνάτη πρὸς αἰηματισμὸν ἀδιαπεράτου (ἀρχιλλικὸν



Σχ. 177. Ἀνομοιογενῆ φράγματα (Ἀδιαπέρατος πυρῆν).

τάπητος, ὅστις συντελεῖ εἰς τὴν ἐλάττωσιν τῆς ροῆς διὰ μέσου τοῦ διαπερατοῦ (ὑπὸ τὸ φράγμα) στρώματος τοῦ ὑπεδάφους. Εἰς τὰ Σχήματα 177 α, β, γ ἐμφαίνεται ἡ πῶσις τῆς γραμμῆς ροῆς εἰς τὰ

ἀδιαπέρατα τμήματα τοῦ φράγματος, οὕσα ἰσχυρότερα ἢ εἰς τὰ διαπερατά. Εἰς τὸ Σκ. 178 ἐμφαίνεται ἡ γραμμὴ ροῆς εἰς τὸ ἀνομοιογενές φράγμα Unkal εἰς Ἰνδίας.



Σκ. 178 Φράγμα Unkal (Ἰνδία)

Ἡ ἐλευθερία διόδου τοῦ ὕδατος, κέοντος κατὰ μῆκος τῶν ἀγωγῶν ὑδροληψίας, δημιουργεῖ τὰς αὐτάς, ὡς ἀνωτέρω συνθήκας κινήσεως τῶν κυμάτων μετὰ τὰ αὐτὰ καταστρεπτικὰ ἀποτελέσματα.

Εἰς τὰ λοιπὰ αἷτια καταστροφῆς δεόν νὰ συμπεριλάβωμεν τὴν ἀνεπάρκειαν τῆς συνεκτικότητος (cohesion) τῶν ἐδαφῶν ἐφ' ὧν κατασκευάζεται τὸ φράγμα ἢ αὐτῶν τούτων τῶν ἀπαρτιζόντων τὸ φράγμα.

Ἡ τοιαύτη ἄλλειψις συνεκτικότητος ἀπολήγει εἰς τὴν ἐμφάνισιν ἐπιφανειῶν ὀλισθήσεως, δημιουργουμένων κατὰ διαφόρους τρόπους καὶ προκαλούντων τὴν καταστρ. τοῦ ἔργου.

Αἱ τοιαῦται καταστροφαί, ἐμφανίζονται συνήθως κατὰ τὴν κατασκευὴν τοῦ φράγματος καὶ οὕτω δὲν ἐπιπροστίθεται ὁ κίνδυνος ἐκ τῶν πλημμυρῶν, ὅστις θὰ προέκυπτεν εἰάν ἐνεφανίζοντο κατὰ τὴν λειτουργίαν τοῦ ἔργου.

Ἡ ποιότης τοῦ ὑπεδάφους δύναται νὰ προκαλέσῃ κινδύνους εἰς τὴν ἰσορροπίαν τοῦ φράγματος. Ὑπέδαφος μὲ μεγάλην συντελεστὴν ὁμοιομορφίας, εἰάν κορεσθῇ ὕδατος καὶ ἔχῃ πυκνότητα (densité) μικροτέραν τῆς κρίσιμου τοῦ ὑλικοῦ τοῦ φράγματος εἶναι δυνατόν νὰ συμπεριφερθῇ ὡς ὑγρὸν καὶ νὰ ρεῖσῃ ὑπὸ τὸ βάρος τοῦ ἔργου, ὅπερ οὕτως θὰ καταρρεῖσῃ.

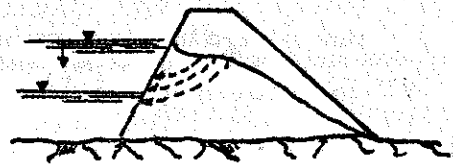
Ἐκ τῶν ἀνωτέρω λεχθέντων περί τῶν κινδύνων κατατρο-
φῆς τῶν φραγμάτων συνεπάγεται ὅτι αἱ ἀκόλουθοι συνθήκαι πρέ-
πει νά ἀποτελέσωσιν ἀντικείμενον μελέτης, πρό τῆς κατασκευῆς χω-
ματίνου φράγματος καί νά ὑπαχθῶσιν εἰς τήν βάσανον ὑπολογισμῶν,
δοκιμῶν ἤ καί ἀμφοτέρων.

1^η Ὁ κίνδυνος ὑπερχειλίσεως τῶν ὑδάτων ὑπεράνω τοῦ φράγ-
ματος δεόν νά ἀποκλεισθῇ τελείως (Μελέτη ὑδρολογικῶν
στοιχείων, ἐπαρκῆς ὑπολογισμός καί ἀναπλήρτος κατα-
σκευῆ ἐκχειλιστοῦ).

2^η Ἡ γραμμὴ διηθήσεως (γραμμὴ κορεσμοῦ) τῶν διαί τοῦ φράγ-
ματος διηθουμένων ὑδάτων δεόν νά μὴ ἐμφανίζηται ἐπί
τῆς κατάντης παρειᾶς τοῦ φράγματος.

3^η Ἡ ἀνάντη παρειὰ δεόν νά μὴ κινδυνεύῃ εἰς ὀλίθησθαι
εἰς περίπτωσιν ἀποτόμου ἐκκένωσης τῆς λίμνης (βλ. ὡς Σχ.
179 τὰς γραμμάς ροῆς δι' ἀποτόμου ἐκκένωσιν).

4^η Αἱ κλίσεις τῶν ἀνάντη
πρανῶν δεόν νά ἐξασ-
φαλίζου τὴν εὐσταθει-
αν τοῦ φράγματος συν-
αρτήσῃ τῶν χρησιμο-
ποιουμένων ὑλικῶν καί
(λαμβάνομένων ὑπ' ὄψιν
τῆς μεθόδου ὑπολογισ-



Σχ. 179 Γραμμαὶ ροῆς δι' ἀποτόμου
ἐκκένωσης

μοῦ καί τῶν παραδεχθειῶν ὑποθέσεων) νά ἐξασφαλίζου
ἱκανοποιητικούς συντελεστὰς ἀσφαλείας. Ἐνταῦθα δεόν νά
ὑπολογίζωνται κυρίως αἱ διατμητικαὶ τάσεις, αἵτινες πιθα-
νον νά ἐμφανισθῶσιν εἰς διάφορα σημεῖα τοῦ φράγματος
(ἐκ τοῦ στατικῆς ὑπολογισμοῦ) καί νά ἐξετάζεται ἐάν αὐταὶ
δύνανται νά παραληφθῶσιν ὑπὸ τοῦ ὑλικῆς δοκιμαζομένου

εργαστηριακῶς καὶ ἐπὶ τόπου πρὸς προσδιορισμὸν τῶν ὑπὲρ αὐτῶν δυνάμενων νὰ παραληφθῶσιν διατηρητικῶν τάσεων.

5^{ον} Αἰ ὑπὸ τοῦ ἔργου μεταδιδόμεναι εἰς τὸ ἔδαφος τάσεις νὰ δύνανται νὰ παραληφθῶσιν ὑπὸ τοῦ τελευταίου τούτου ἄνευ κινδύνου καθιζήσεων (πέραν τῶν ἐπιτρεπομένων) ὀλισθήσεως ἢ διαρροῆς.

6^{ον} Ἐντὸς τοῦ φράγματος ἢ τοῦ ὑπεδάφους δεόν νὰ ἀποκλείεται ἡ δημιουργία διόδων προτιμήσεως τοῦ ὕδατος, ἐπιτρεπόντων τὴν διοχέτευσιν αὐτοῦ ἐκ τῶν ἀνάτη πρὸς τὰ κατάντη.

7^{ον} Τὸ διὰ τοῦ φράγματος ἢ τοῦ ὑπεδάφους διηθούμενον ὕδωρ δεόν ν' ἀναδύεται εἰς τὴν κατάντη παρεΐαν μὲ τὴν μικροτέραν δυνατὴν ταχύτητα καὶ τὸν δυνατὸν τεχνικώτερον τρόπον ὥστε ἐν οὐδεμίᾳ περιπτώσει νὰ εἶναι δυνατὴ ἡ παράβυσσις καὶ τῶν λεπτοτέρων κόκκων τοῦ ὑλικῆ.

8^{ον} Τὰ ἀντικείμενα ἢ ποανῆ δεόν νὰ ἐξασφαλίζωνται ἀπὸ πάσης δυνατῆς βλαπτικῆς ἐπιρροῆς τῶν κυμάτων ἢ ἐπιπλεόντων ἀντικειμένων ἢ μεγάλων ταχυτήτων ὕδατος (λ.χ. πλησίον τῶν ἐκχειλιστῶν).

9^{ον} Τὰ κατάντη πρανή δεόν νὰ προστατεύωνται ἐπιμελῶς ἀπὸ πάσης ἐπιρροῆς τῶν ἀτμοσφαιρικῶν συνθηκῶν (βροχή, χιόνι, ἰσχυροὶ ἄνεμοι κ.λ.π.).

Με βάσειν τῶν ἀνωτέρω συνθηκῶν δυνάμεθα ἤδη νὰ προσεγγίσωμεν τοὺς τρόπους ὑπολογισμοῦ τῶν φραγμάτων.

3. Σύνταξις καὶ ἀντοχή (συμπεριφορά) τοῦ ὑλικῆ τῶν χωματίνων φραγμάτων. Φυσικαὶ καὶ ἐργαστηριακαὶ ἔρευναι (στοιχεῖα ἔδαφομηχανικῆς).

Διὰ τὴν ἐκλογὴν τοῦ ὑλικῆ, τὸν ὑπολογισμὸν καὶ τὴν κατασκευὴν τῶν χωματίνων φραγμάτων δεόν ὅπως ἔχομεν ὑπ' ὄψιν λεπτομερῶς τὴν φύσιν καὶ τὰς ιδιότητες τοῦ ὑλικῆ ἐξ' οὗ ταῦτα κα-

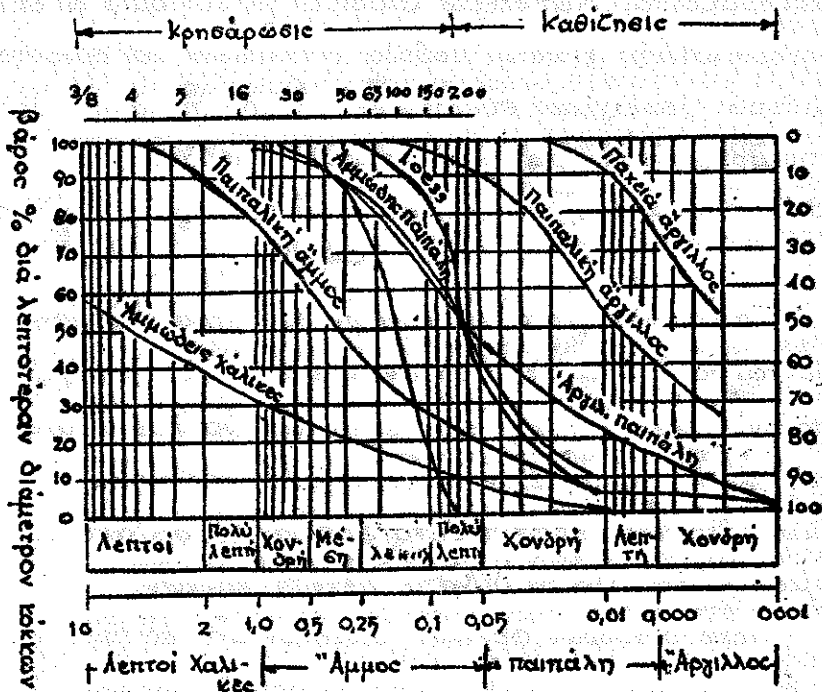
τασκευάζονται. Κοιτώτερω δίδονται ἐν συντομίᾳ εἰς ἐκτὴς ἐ-
δαφομηχανικῆς γνωσταὶ μέθοδοι ἀναλύσεως καὶ ἐρεῦνης τῶν
ψαθυρῶν γεωλογικῶν ευστατικῶν (ἄμμος, παιπάλη, ἰλύς), ἅτινα
κρησιμοποιοῦνται διὰ τὰς ἐν λόγῳ κατασκευάς.

3-1 Μηχανικὴ ἀνάλυσις τοῦ ἐδάφους. Κοκκομε- τρικὴ εὐνθεσις.

Τὰ ἀπηλλαχμένα ὀργανικῶν ευστατικῶν ἐδάφη, ἀποτε-
λοῦνται ἀπὸ κόκκους ἀνορχάνων ευστατικῶν τὸ μέγεθος τῶν
ὁποίων συνίσταται ἀπὸ ἐλαχιστοτάτας διαστάσεις μικρῶν τινῶν
(κολλοειδῆ) μέχρι τῶν γνωστῶν μεγεθῶν τῆς ἄμμου καὶ τῶν κα-
λίκων. Συνήθως εἰς τὰ πλεῖστα φυσικά ἐδάφη ἀπαντῶνται ἀ-
ναμεμιγμένα ὅλα τὰ δυνατὰ μεγέθη κόκκων.

Λόγῳ διαφόρων φυσικῶν ἰδιοτήτων αἰτίνας παρουσιάζονται
εἰς ἐδάφη ἔχοντα μικρὸν εὖρος μεταβολῆς τῶν κόκκων αὐτῶν
(ὄχρητικῶς μεγάλην ὁμοιομορφίαν) κατατάσσονται ἀναλόγως τοῦ εὖ-
ρους τούτου τὰ ἐδάφη εἰς τέσσαρας διακεκριμένας κατηγορίας
ἤτοι κάλικας, ἄμμον (sand), παιπάλην (silt) καὶ ἄρχιλλον (clay).
Εἰς τὸ Σχ. 180 ἐμφαίνεται ἡ μηχανικὴ ἀνάλυσις διαφόρων κατηγορικῶν
ἐδαφῶν, ὡς καὶ τὰ ὅρια τῆς διαμέτρου τῶν κόκκων (ἰσοδύναμος διά-
μετρος ποικιλομόρφων ἀνωμαλῶν κόκκων) διὰ τὰς ὡς ἄνω κατι-
γορίας. (Εἰς τὰ λεπτὰ ὑλικά κανονισμὸς διαφόρων ὀργανισμῶν ἔ-
χουν ἐνίοτε διάφορα ὅρια ἀπὸ τὰ ὡς ἄνω τοῦ Ἄμερ. Γραφεῖου τα-
ξινομήσεως τῶν ἐδαφῶν).

Προκειμένων μιγμάτων ἐδαφῶν ἡ ὀνομασία λαμβάνεται ἐκ
τοῦ ὑπεριεχῶν ὑλικόν καὶ τὸ ἐπικρατέστερον τῶν δευτερευόντων
(βλ. Σχ. 180. πακέτια ἄρχιλλος, παιπαλικὴ ἄρχ. ἀρχιλλικὴ παιπάλη, ἄμ-
μῶδης παιπάλη, παιπαλικὴ ἄμμος, ἄμμῶδεις κάλικες. Ἡ ἄμμος τῶν
αἰολικῶν θινῶν, loess, ἔχει γνωστὸν, μεγάλην ὁμοιομορφίαν λεπτῶν
κόκκων ὡς ἐμφαίνεται εἰς τὸ αὐτὸ σχῆμα). Λεπτομερεστερον, ἀ-



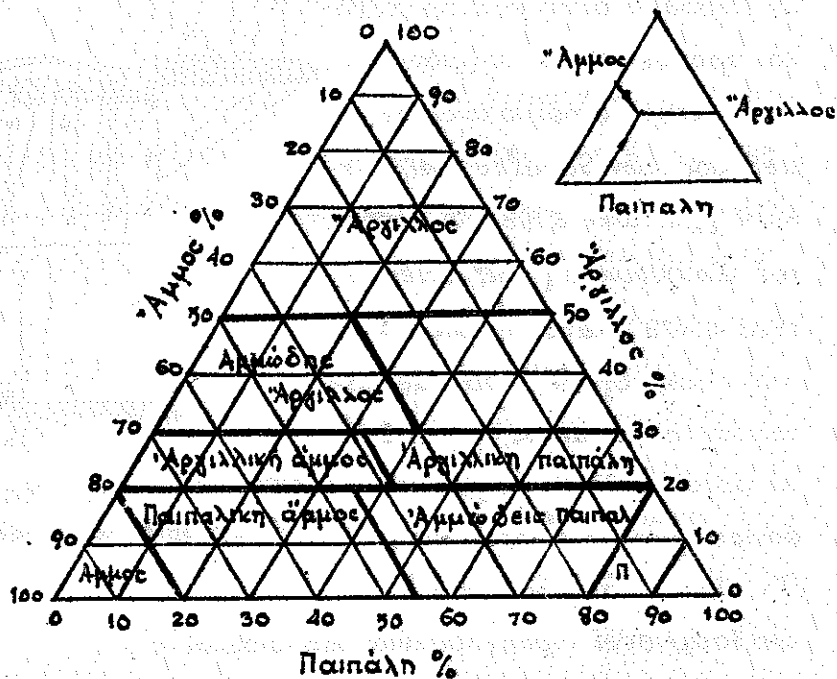
Σχ. 180 Μηχανική ανάλυσις διαφόρων εδαφών

ναλόγως της εκ βάρους εκατοστιαία αναλογίας άμμου, παιπαλίτις και άργιλλου οίδονται αϊ ως άνω μεταί ονομασία εις τα εδαφη συμφώνως προς τό Σχ. 181 όπερ αποδίδει την "Τριγωνικήν ταξινόμειν των εδαφών."

"Εκαστον δείγμα εδαφους αναλόγως των 3 ως άνω συστατικών οίδει εν σημείον επί του τριγώνου (βλ. τρόπον αναγραφής άνω δεξιά του Σχ. 181) και αναχιγνώσκεται ταυτοχρονως τό είδος του εδάφ.

Η κοκκομετρική ανάλυσις των εδαφών διά σχετικώς μεγάλας διαμέτρους χίνονται διά της κρησαρώσεως εηρού εδαφους διά σειράς κρησαρών διαφόρου διαμετρήματος και Συχίσεως του βάρους του μεταξύ δύο κρησαρών διαδοχικού διαμετρήματος.

Η κρησαρώσις χίνεται μέχρι κόκκων διαμέτρου 0,074 χιλ. (αριθ. 200 των προτύπων κρησαρών των Η.Π.Α.) ήτοι 200 όποι άνα τρέχουσαν ίντσαν κρησαρώσις.



Σχ. 181. Τριγωνική ταξινόμησης εδαφών (Mississippi River Com.)

Διά λεπτοτέρους κόκκους ή άναλυσις γίνεται υδραυλικώς του δείγματος διαρροομένου υπό ύδατος της αύτης παροχής εντός κυλίνδρων διαφόρου διαμέτρου άρα με διάφορον ταχύτητα (βλ. Σχ. 182). Τοιουτοτρόπως εις έκαστον κύλινδρον παραμένουν κόκκοι διαφόρου διαμέτρου οτινες εηραίνονται και ζυγίζονται και ούτω προκωρεί ή άνάλυσις εις τό Σχ. 180 διά τούς λεπτοτέρους κόκκους.

Η διάμετρος των κόκκων νυν υπολογίζεται εκ της ταχύτητος άνόδου εις τούς κυλίνδρους διά του τύπου του Stokes:

$$(89) \quad d_{mm} = \sqrt{\frac{18\nu}{(\gamma_s - \gamma)} \cdot \frac{U}{g}} \quad \text{ένθα} \quad U = \frac{Q}{F} \quad (F \text{ επιφάνεια κυλίνδρου}).$$

και $\gamma = \frac{0,0175}{1+0,04t_0}$ cm³/sec.

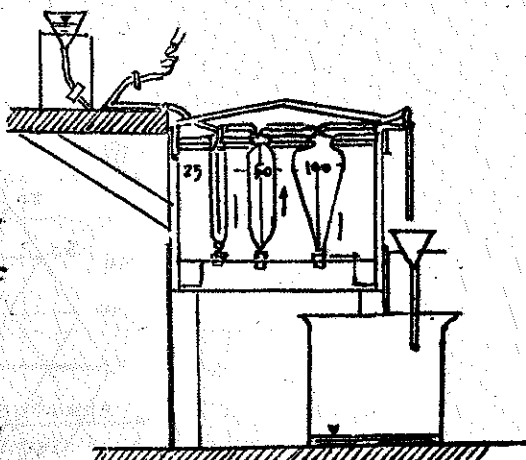
Ἡ μέθοδος αὕτη ἀπαιτεῖ μεγά-
 λον χρόνον διὰ τὰς δοκιμὰς και
 ἀντ' αὐτῆς χρησιμοποιεῖται ἡ
 μέθοδος τῶν Schulze και Κατ-
 kort (βλ. Tölke σ.199) ἢ ἡ μέθοδος
 τοῦ Βουγιούκου (Soil Science
 1929 σ.473) κατὰ τὴν ὁποῖαν ἐν
 λίαν εὐαίσθητον ἀραιόμετρον
 τοποθετεῖται ἐντὸς ὑαλίνου κυ-
 λίνδρου ἐνθα τὸ δείγμα τοῦ ἔ-
 δάφους καλῶς ἀναταραχθέν
 (Σχ.183) τὸ ἀραιόμετρον ἔχει
 διαβαθμισθεῖ προηγουμένως και
 δίδεται ἡ
 σχετικὴ καμπύλη αὐτοῦ (πυκνώτης αἰωρή-
 ματος συναρτῆσει βυθίσεως).

Ἡδὴ ὅμα τῇ τοποθετήσει τοῦ ἀραιομέ-
 τρου ἐντὸς τοῦ ἀναταραχθέντος ἀναχωρή-
 ματος ἀναχιγνῶσκονται εἰς χρόνους t (1,2,5,
 10,30,60 λεπτά) και οἱ ἀντίστοιχοι βυθίσε-
 ως α τοῦ ἀραιομέτρου.

Ἔχοντες ὑπ' ὄψιν ὅτι $v = \frac{\alpha}{2}$ εὐρίσκομεν
 τὰς ἐκάστοτε διαμέτρους ἐκτοῦ ὡς ἄνω τυ-
 που:

$$(90) \quad d = \sqrt{\frac{\alpha}{gt} \cdot \frac{18\gamma}{\gamma_1 - \gamma}}$$

ἐνῶ τὸ ποσοστὸν τοῦ βάρους τῆς ἀντιτοίχου διαμέτρου εὐρίσ-
 κεται ἐκ τῆς ἀντιτοίχουσης πυκνότητος ἐκ τῆς καμπύλης πυκνό-
 τητος αἰωρήματος βυθίσεως.



Υλικά $d < 0,01$

Μηχανικὴ ὑδραυλικὴ ἀνα-
 λυσις λεπτοκόκκων ἔδα-
 φων.



Σχ. 183

Ἀραιόμετρον

3-2 Τό πορώδες ἢ ὑγρασία καί ἡ πυκνότης τῶν ἐδάφῶν

Τὰ ἐδάφη ἀποτελοῦνται ἀπό στοιχεῖα, ἅτινα ἔχουν μορφήν κόκκων ἢ ἰζηματικῶν οὐσιῶν (*flocules*). Οἱ κόκκοι εἶναι σφαιροειδῆ ἢ χωνιακά ἀνεξάρτητα σωματίδια ὡς λ.χ. ἡ ἄμμος. Ὁ ὄγκος τῶν διακενῶν (τό πορώδες) αὐτῶν εἶναι μικρὸς καί μεταβάλλεται ἐντὸς περιορισμένων ὁρίων.

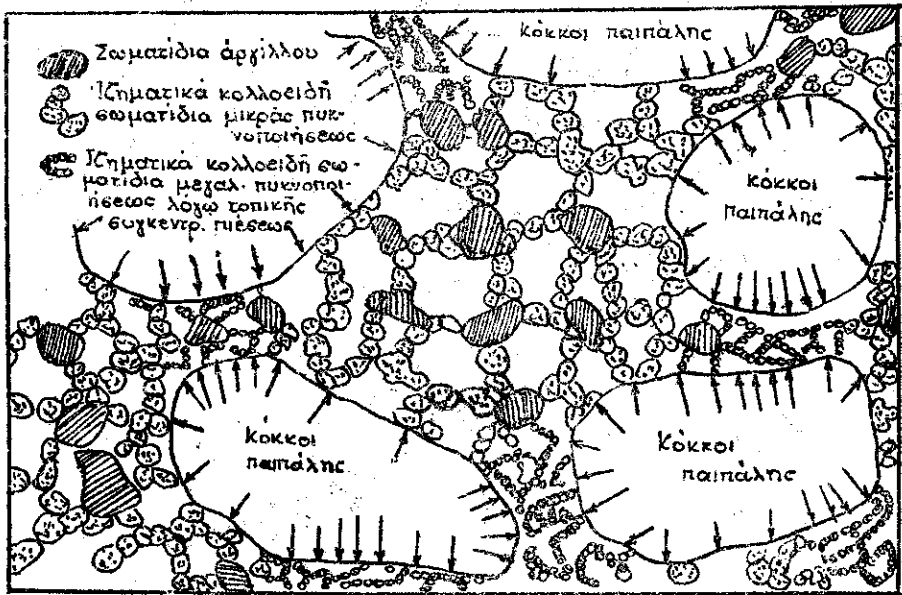
Εἰς ἐδάφη μὲ πολὺ λεπτά σωματίδια, ὡς εἶναι ἡ ἄρχιλλος λ.χ. ὁμοία συμπαγῆς εὐστασις αὐτῶν παρεμποδίζεται λόγῳ ἠλεκτροχημικῶν δυνάμεων ἕξεως (Ca^{++} , Al^{+++} , K^{+} , Fe^{+++} , Na^{+} , Li^{+}) μεταξὺ τῶν μικροσκοπικῶν μορίων. Κατὰ τὴν καθίστησιν αἱ δυνάμεις αὐταὶ προκαλοῦν ἐνδεχομένως συσῶρευσιν τῶν μορίων εἰς ἀμόρφους ἰζηματικές οὐσίας (*flocules*) διὰ τοῦ φαινομένου τῆς ἰζηματοποιήσεως (*coagulation*). Ἡ οὕτω προκύπτουσα κυψελοειδῆς ἢ ἰζηματικὴ μορφή ἔχει διακενα πολὺ μεγαλύτερα ἢ ἡ κοκκώδης μορφή τοῦ ἐδάφους, καί παρουσιάζει, ἐπομένως, δυνατότητα μεγάλης συμπίεσεως διὰ τῆς θλάσεως τῆς ἀρχικῆς κυψελοειδοῦς μορφῆς. Διὰ τοὺς ὡς ἄνω λόγους τὰ ἀρχιλλικά ἐδάφη παρουσιάζουσι μεγάλα διακενα, μεγάλην περιεκτικότητα εἰς ὕδωρ καί ἐπὶ πλέον μεγάλας μεταβολὰς πυκνότητος, ἐν συγκρίσει πρὸς τὰ κοκκώδη ἐδάφη.

Ἡ ἀνάπλασις (*remoulding*) ἐδαφῶν μὲ λεπτά συστατικά διὰ τῆς διαταράξεως τῆς δομῆς αὐτῶν (ἴδια εἰς ἀρχιλλοὺς) προκαλεῖ ἐνίοτε σοβαρὰς κατασκευαστικὰς δυσχερεῖας εἰς τὰς θεμελιώσεις, διότι δι' αὐτῆς ἐλατταῦται ἀφ' ἑνός ἢ εἰς διάτμησιν ἀποκῆ τοῦ ἐδάφους ἐνῶ ἐξ ἄλλου αὐξάνει τὸ συμπίεστον αὐτοῦ (*compres*).

Διὰ τὸν λόγον αὐτόν δεόν τὰ ἐδάφη αὐτὰ νὰ δοκιμάζωνται

ἐργατηριακῶς πρότης ἐκτελέσεως οἰωνδήποτε ἔργων (πασσαλώσεις) ὀρύγματα κ.τ.λ.) ἄτινα ἐνδεχομένως θὰ διαταράξουν τὴν εὐσταθίαν αὐτῶν.

Ἐπικρατεστέρα ἐκ τῶν θεωριῶν συμμίκτου δομῆς τῶν ἐδαφῶν εἶναι ἡ τοῦ Casagrande ἡ δίδομένη εἰς τὸ Σχ. 184 ἐξ ἧς καταφαίνεται ὁ λόγος διὰ τὸν ὁποῖον ὁ ἀργιλλος δύναται νὰ βαστάξῃ μεγάλα φορτία ἐάν δὲν διαταραχθῇ ἡ δομὴ αὐτῆς, ἐνῶ ἐξ ἄλλου γίνεται μαλακὴ ἐάν τύχῃ ἀναπλάσεως, ὅποτε καταστρέφεται ὁ ἀντιτηριζῶν σκελετὸς δομῆς, ἀναμιγνύεται μὲ τὰ μὴ συμπυκνωμένα τμήματα καὶ αὐξάνεται τὸ συμπίεστὸν τῆς ὅλης δομῆς.



Σχ. 184 Ὑπόθεσις τοῦ Casagrande περὶ δομῆς τῆς ναυτικῆς ἀργίλλου

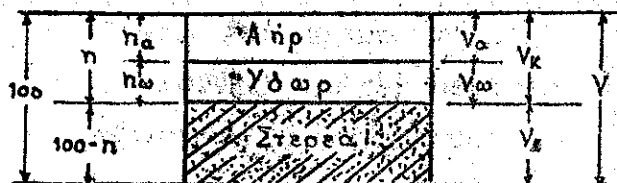
Ἐκ τῶν ἀνωτέρω προκύπτει ὅτι τὸ πορῶδες κωμαίνεται εἰς τὰ διάφορα ἐδάφη μεγάλως ἀναλόγως τῆς εὐστάσεως αὐτοῦ ἀλλὰ δύναται νὰ μεταβάλλεται εἰς τὸ αὐτὸ ἔδαφος ἀναλόγως τῶν ἐπ' αὐτοῦ ἐξασκουμένων πιέσεων.

Τὸ πορῶδες τοῦ ἐδάφους εἰς ἐκάστην κατάστασιν αὐτοῦ

εκφράζεται ως εκατοστιαία αναλογία (n) του όγκου των κενών (V_k) ως προς το όλον όγκον (V) του εδάφους, ήτοι :

$$n = \frac{V_k}{V} \cdot 100 \quad (91)$$

Το πορώδες της άμμου κυμαίνεται από 30-50%, ένθα αι χαμηλότεραι τιμαί παρουσιάζονται εις έναποθέσεις σχηματιζόμενας εκ βραδέως ρεόντων υδάτων φυσικά στρώματα αρχίλλου παρουσιάζουν πορώδες δυνάμενον να φθάση 99%. Το πορώδες πληροῦται δι' ὕδατος ἢ δι' αἰέρος (βλ. Σχ. 185).



Σχ. 185 : Πορώδες (n) και αναλογία κενών (e)

Συνήθως προκειμένης πυκνοποίησης του εδάφους χρησιμοποιείται διά την μέτρησιν του πορώδους αυτού ο όρος αναλογία κενών (e) ὅστις εκφράζει τόν λόγον του όγκου των κενών (V_k) προς τόν όγκον των στερεών (V_s), ήτοι :

$$e = \frac{V_k}{V_s} = \frac{n}{100-n} \quad (92)$$

ὁπότε :

$$n = \frac{e}{1+e} \cdot 100 \quad (93)$$

Ὁ λόγος e δίδει τήν αναλογίαν του πορώδους ως προς τό σταθερόν μέγεθος V_s ενώ ο λόγος n αναφέρεται προς τόν όλον όγκον V , ὅστις μεταβάλλεται εις πυκνοποιούμενα εδάφη.

Ὁ ὅλικός όγκος V μετράται δι' ἐμβαπίσεως εις ὑφάρχουρον ἢ γεωμετρικῶς ἐπί κανονικῶν σχημάτων ἢ διά μετρήσεως του όγκου

της όπης ήν εγκαταλείπει τό δοκίμιον

Ό όγκος τών στερεών V_2 υπολογίζεται εκ του βάρους B_2 διαιρουμένου διά του ειδ. βάρους τών γ_1 .

Η περιεκτικότητα εις ύδωρ ή ύγρασία (wassergehalt, water content, teneur en eau) εκφράζεται συνήθως ως ή εκατοστιαία αναλογία του βάρους του περιεχομένου ύδατος (B_y) ως προς τό βάρος τών στερεών B_x (και όχι του όλικου βάρους του έδαφους, όπερ δέν είναι σταθερόν εις διάφορους συνθήκας) διά της εξίσωσης :

$$W = \frac{B_y}{B_x} \cdot 100 \quad (94)$$

Τό B_y και B_x υπολογίζεται διά ζυγίσεως του δείγματος πρό και μετά την έήρανσιν εις κλίβανον $105-110^\circ C$, περιλαμβάνει όθεν ή περιεκτικότητα εις ύδωρ, τό ύδωρ βαρύτητας, τό ύδωρ του τριχοειδούς κατά την ύγροσκοπικήν άκόμη ύγρασίαν, άλλ' όχι την στερεώς περιβάλλουσα τά μόρια τών στερεών και ύπ' αύτών προσφυσμένην στιβάδα ύδατος (adsorbed water film)

Εις περίπτωσιν καθ' ήν τό έδαφος είναι πλήρως κεκορεσμένον, δι' ύδατος έκομεν την αύταπόδεικτον σχέσιν :

$$e = \frac{W}{100} \gamma_1 \quad (95)$$

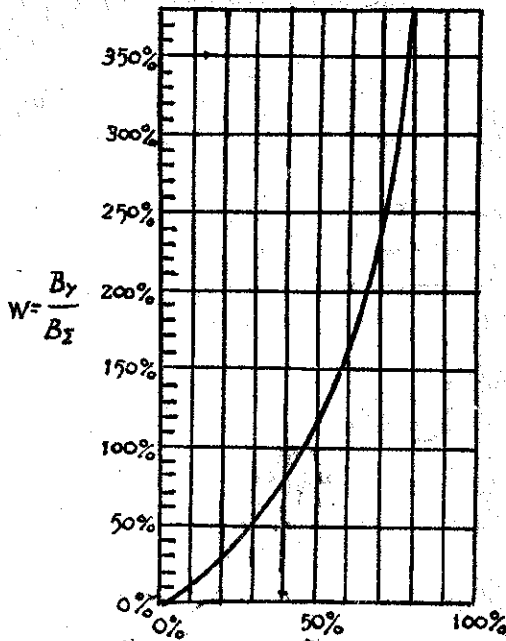
ένθα γ_1 τό είδικόν βάρος τών στερεών ($e = \frac{V_k}{V_2} = \frac{B_y}{B_x \cdot \gamma_1} = \frac{W}{100} \gamma_1$)

Εις τό Σχ 186 δίδεται ή σχέση της ύδροχωρητικότητας W του έδαφους εκπεφρασμένη εις βάρος ύδατος προς βάρος στερεών άν σχέσηει μέ την ύδροχωρητικότητα W' εκφραζομένην εις βάρος ύδατος προς τό όλικόν βάρος.

Εις τό Σχ. 187 δίδεται ό λόγος τών κενών (e) συναρτήσει της ύδροχωρητικότητας W διά πλήρη κορεσμόν τών χωμάτων και διά

διαφόρους τιμὰς τοῦ πραγμα-
 τικοῦ εἰδικοῦ βάρους τῶν κω-
 μάτων.

Εἰς τὸ Σχ. 186 δίδεται ἡ
 ἐσχέσις μεταξὺ τοῦ λόγου τῶν
 κενῶν (e) καὶ τοῦ φαινομενι-
 κοῦ ἔηρου βάρους γ_0 διὰ δι-
 αφόρους τιμὰς τοῦ πραγμα-
 τικοῦ εἰδικοῦ βάρους τῶν κω-
 μάτων.



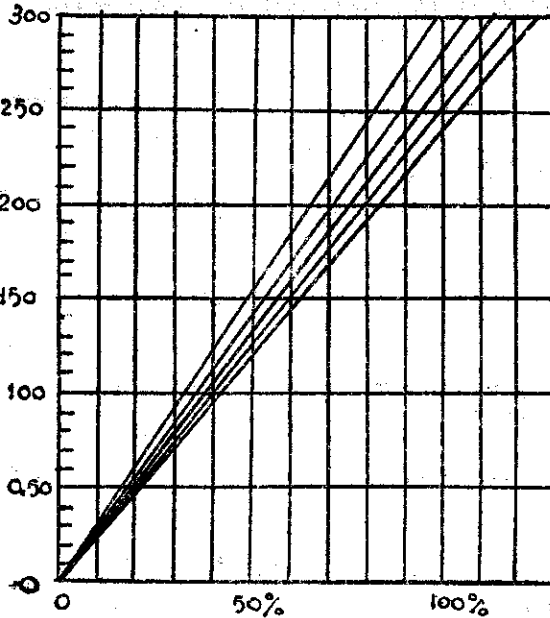
Σχ. 186

$$W = \frac{B_\gamma}{B_\alpha} 100$$

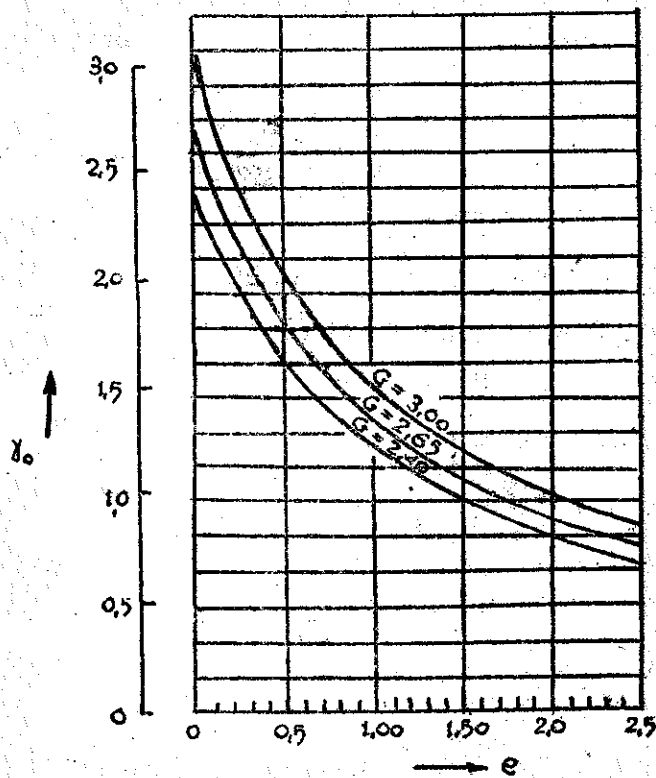
$$e = \frac{V_k}{V_z}$$

$$w = \frac{B_\gamma}{B_\zeta} 100$$

Σχ. 187



Τὸ φαινομενικὸν εἰδικὸν βᾶρος γ_0 τῶν κωμάτων (bulk
 specific gravity, Raumgewicht) εἶναι τὸ εἰδικὸν βᾶρος τῆς μο-
 νάδος τοῦ ὄγκου τῶν κωμάτων (ἄνω τῆς στάθμης τῶν ὑπογείων ὑ-



Σχ. 188

e συνάρτησει γ_s

δάτων) ήτοι ο λόγος του όλικου βάρους του εδάφους εις τόν αέρα προς τόν όλικόν όγκον αυτού εις όν περιλαμβάνονται όλα τά διόκενα, ήτοι:

$$\gamma_s = \frac{B}{V} \quad (96)$$

Τό φαινμενικόν ειδικόν βάρος εξαρτάται εκάστοτε εκ του ποσοϋ ύδατος εντός του εδάφους.

Διά ξηρόν εδάφος:

$$\gamma_{oz} = \frac{B_z}{V} = \frac{\delta_1}{1+e} \quad (97)$$

Τό βάρος τούτο καλεϊται και ξηρά πυκνότης (dry density)

Διά κενά πεπληρωμένα με τριχοειδές ύδωρ:

$$\gamma_{ak} = \frac{\gamma_1}{1+e} + \gamma \cdot \frac{e}{1+e} = \frac{\gamma_1 + e\gamma}{1+e} \quad (98)$$

Διά κενά μερικώς πεπληρωμένα με ύδωρ :

$$\gamma_0 = \frac{B}{V} = \frac{\gamma_1}{1+e} (1+W/100) \quad (99)$$

Είς τήν περίπτωσιν τό έδαφος εύρίσκεται υπό τό ύδωρ τότε τό βάρος αυτού είναι όλιγώτερον λόγω τής ανώσεως και θά είναι :

$$\gamma' = \frac{B_s - (V_s \cdot \gamma)}{V} = \frac{\gamma_1 - 1}{1+e} \quad (100)$$

Τό φαινομενικόν ειδικόν βάρος έδαφών τινών δίδεται υπό του Schoccklisch ως ακολούθως :

Χάλικες	Ξηροί	1700	kg/m ³	Άρχιλλος	Ύγρα	1800-2000	kg/m ³
"	Ύγρα	2000	"	Γαΐαι	Ξηραί	1600	"
"	Άμμος	Ξηρά	1600	"	Ύγρα	2100	"
"	"	Ύγρα	2100	"	"	"	"

Η πυκνότης (density, dichte) του έδαφους έξαρτάται από τό μέγεθος και τήν μορφήν των κόκκων, τήν κοκκομετρικήν σύνθεσιν αυτών, και εκ των επί του έδαφους φορτίων.

Η δυνατότης πυκνοποίησης (Verdichtungsfähigkeit) F, ενός έδαφους δίδεται από τήν σχετικήν κατάστασιν των κενών εις τήν ψαθυροτέραν δυνατήν κατάστασιν των (e_{max}) προς τήν έλακίστην δυνατήν τιμήν αυτών (e_{min}), ήτοι :

$$F = \frac{e_{max} - e_{min}}{e_{min}} = \frac{n_{max} - n_{min}}{n_{min}(1 - n_{max})} \quad (101)$$

άντιετοιχως δέ η σχετική πυκνότης (D_d) άμμοειδών έδαφών με αναλογία κενών (e) δίδεται υπό του τύπου :

$$D_d = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}} \quad (\text{σχετική πυκνότης}) \quad (102)$$

ήτοι δίδει τήν σχέσιν ελαττώσεως των κενών από τήν ψαθυροτέραν δυνατήν κατάστασιν (e_{max}) εις τήν πραγματικήν (e) εν σχέσει προς τήν μεγίστην δυνατήν πυκνοποίησιν εκ τής μεγίστης τι-

μής των κενών (e_m) προς την ελακίστην δυνατήν (e_{min}). Ο λόγος ούτος D_d δίδεται ευνήθως εις εκατοστιαίαν αναλογίαν και έχει δι' ἄμμον ὡς ἔξής :

Ψαθυρά ἄμμος $D_d : 0 \sim 33\%$

Μέση " $D_d : 33 \sim 66\%$

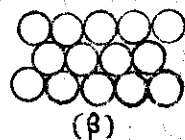
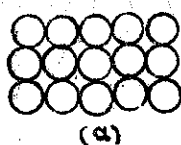
Συμπαχής " $D_d : 66 \sim 100\%$

Αἱ τιμαὶ τῶν e_{max} καὶ e_{min} θύναται γὰ ἔχωσιν διαφορὸν τιμὰς διὰ διαφορὸν κοκκομετρικὰς συνθέσεις. Αἱ ὁμοιομορφοὺς σφαιρικοὺς κόκκους αἱ ἀντιστοιχοὶ τιμαὶ εἶναι : (βλ. Σχ. 189)

$$\left. \begin{array}{l} e_{max} = 0,91 \\ e_{min} = 0,35 \end{array} \right\} \text{καὶ ἀντιστοιχῶς:} \left\{ \begin{array}{l} n_{max} = 48\% \\ n_{min} = 26\% \end{array} \right.$$

Οὕτω διὰ φυσικὰ ἑδά-

φη ὅσον ἡ κοκκομετρικὴ συνθέσις αὐτῶν εἶναι πλέον ὁμοιομορφος αἱ τιμαὶ τῶν e_{max} καὶ e_{min} πλησιάζουν τὰ ὡς ἄνω ὅρια. Ἀντιθέτως δι' ἑ-



Σχ. 189

Ὁμοιομορφος σφαιρικός κόκκος

δάφη ἀνομοιομορφου κοκκομετρικῆς ἀναλύσεως αἱ τιμαὶ e_{max} καὶ e_{min} θὰ εἶναι μικρότεροι, διότι οἱ μικρότεροι κόκκοι συμπληρώνουν τὰ κενὰ τῶν μεγαλύτερων. Εἰς τὴν πραγματικότητα ὁμοίως ἡ ἄμμος ἔχει τὰς ὡς ἄνω τιμὰς περίπου ποσῶδες ($n_{max} \sim 50\%$, $n_{min} \sim 30\%$) λόγω χωνιάδου καὶ μὴ σφαιρικῆς μορφῆς τῶν κόκκων.

Ὁ προσδιορισμὸς τῶν e_{max} καὶ e_{min} εἶναι δυσχερὴς καὶ δὲν ἔχει εἰσέτι προτυποποιηθῆ. Τὸ e_{min} προσδιορίζεται διὰ τῶν δοκιμῶν συμπυκνώσεως διὰ τῆς μεθόδου τοῦ Proctor (βλ. κατωτέρω § 4). Τὸ e_{max} προσδιορίζεται διὰ πληρώσεως δι' ὕδατος (οὗ ὁ ὄγκος μετράται) τῆς ἄμμου εὐρικομένης εἰς τὴν ψαθυρωτέραν κατάστασιν.

Οἱ ὡς ἄνω ὅροι σχετικῆς πυκνότητος (n_d) καὶ σχετικῆς ὕ-

γρασίας κρημιμοποιούντα κυρίως δι' αμμώδη έδαφη. Είς λίαν λεπτόκοκκα έδαφη (άρχιλλος κυρίως) κρημιμοποιούμεν τους κατωτέρω εκτιθεμένους όρους και μεθόδους έρεύνης (§ 3.3).

3.3. Η ύφή των άρχιλλικων έδαφων (*Consistency of clays*)

Η άρχιλλος αναλόγως της ύδροπυερεκτικότητος της φυσικής καταστάσεως αυτής λαμβάνει διάφορον ύφήν δυνάμεθα δέ να προσδιορίσωμεν τά όρια ένθα έναλλάσσεται η ύφή αυτής. Ούτως έναπόθεσις άρχιλλου κατά τόν πρώτον σχηματισμόν αυτής (καθίζησις λ. κ. έντός στασίμων υδάτων) έκκει κατα' άρχήν ύφήν ρευστής (ύγρας) ήλύος μετακινούμεναι δέ εις τήν κατάστασιν αυτής ρέουσι εύχερώς.

Έάν εκ της καταστάσεως αυτής αφαιρεθῆ ποσότης ύδατος (είτε δι' εξατμίσεως εις τόν άτμοσφαιρικόν άέρα είτε διά συμπίεσεως υπό νέων έδαφων έπιτιθεμένων εις τά πρώτα) η άρχιλλος χάνει τήν ρευστότητα αυτής είναι όμως ακόμη μαλακή και πλαστική, ήτοι μεταβάλλει σχήμα υπό τήν επίδρασιν έξωτερικών δυνάμεων άνευ σημαντικής μεταβολής του όγκου αυτής (όριον ρευστότητος *Liquid Limit LL*).

Έφ' όσον η έλάττωσις του ύδατος της άρχιλλου εξακολουθήσει αυτή παύει πλέον να είναι πλαστική και άνταπλασσομένη θρυμματίζεται (τρίβεται) εύκόλως. Το όριον μεταβολής καλεϊται πλαστικό όριον (*Plastic Limit PL*). Πέραν του όριου τούτου η άρχιλλος αποκτά τήν ήμιστερεάν κατάστασιν (*semisolid state*) και έμφανίζει ρικνώσεις (*shrinkage*) εις τήν επιφάνειαν αυτής. Πραιτέρω αφυδάτωσις φέρει τήν άρχιλλον εις σταθερόν όγκον και λήξιν της ρικνώσεως όποτε η άρχιλλος λαμβάνει στερεάν μορφήν και ανοικτότερον χρώμα. Το όριον μεταξύ των δύο οίς άνω καταστάσεων καλεϊται όριον ρικνώσεως (*shrinkage limit S.L*).

Τά ως ἄνω ὅρια καλούμενα συνήθως καί ὅρια τοῦ Atterberg καλοῦνται ὅρια τῆς ὑφῆς τῆς ἀρχίλλου, ἐκφράζονται δέ συνήθως συναρτήσει τῆς περιεκτικότητος τοῦ ἐδάφους εἰς ὕδωρ εἰς τὰ ὅρια αὐτά. Οὕτω ἔχομεν :

<u>ῤφῆ ἐδάφους</u>	<u>Ὅρια ὑφῆς</u>	<u>Περιεκτικότης εἰς ὕδωρ</u>
ῤδαρής	Ὅριον ρευτότητας (LL)	W_L (ἐκαταία ἀναλ. $\frac{B_y}{B_x}$)
Πλαστική	Ὅριον πλαστικότητος (PL)	W_p (" " ")
Ἡμιστερεά	Ὅριον ρικνώσεως (SL)	W_s (" " ")
Στερεά		

Διά τοῦ ὅρου ὑφῆ (consistency) ἀποδίδεται ὁ βαθμός ἀντιτάσεως τῶν λεπτοκόκκων ἐδαφῶν εἰς ροήν ἢ παραμορφώσεως γενικῶς.

Τό εὖρος μεταξύ τῶν ὀρίων ρευτότητας καί πλαστικότητος ($W_L - W_p$) καλεῖται συνήθως δείκτης πλαστικότητος I_p , ἥτοι :

$$I_p = W_L - W_p$$

ἥτοι εἰάν δι' ἀρχίλλου ἐδαφος ἢ ὕγρασία $W_L = 63\%$ καί $W_p = 22\%$ ὁ δείκτης πλαστικότητος εἶναι 41% .

[Τό ὅριον ρευτότητας ὀρίζεται διά τῶν (ἐξ ὕψους ἐκ.) κρούσεων δοχείου περιέχοντος δείγμα αἵτινες ἀπαιτοῦνται ἵνα ἀνοιχμα γενόμενον διά μακαίρας εἰς τὸ δείγμα κλεισθῆ ἐπί μήκους 12,5 χιλιοστῶν. Τό ὅριον πλαστικότητος ὀρίζεται ὅταν δείγμα ἐδάφους πλασσομένον εἰς κυλίνδρους διαμέτρου 3 χιλιοστῶν δέν θρυμματίζεται ἀκόμη]

Ὁ δείκτης ὑφῆς (consistency index) I_c δίδει τήν κατάστασιν εἰς ἣν εὐρίσκεται δείγμα ἐδάφους (περιεκτικότης ὕγρασίας W) ἐν σχέσει πρὸς τὰ δύο ως ἄνω ὅρια τῆς καταστάσεως πλαστικότητος ($W_L - W_p$) ἥτοι :

$$I_c = \frac{W_L - W}{W_L - W_p} \cdot 100 = \frac{W_L - W}{I_p} \cdot 100 \quad (103)$$

Ὁ δείκτης ὑφῆς εἶναι διά τήν ἀρχίλλου ἀπό φυσικῆς πλευρᾶς

ανάλογος προς την σχετική πυκνότητα διά την άμμον (βλ. εἰ-
σωσιν 102). Εἰς σχετικούς πίνακας δίδονται ἡ σχετική πυκνό-
της καὶ ἡ ἔδα ἔδαφῶν ἐξ άμμου καὶ ἀργίλλου.

3-4· Η πυκνοποίηση καὶ συμπίκνωσις τῶν ἔδαφῶν (consolidation καὶ compaction)

Ἡ συμπίεσις τοῦ ἔδαφους ὀφείλεται κυρίως εἰς μείωσιν
τοῦ ὄγκου τῶν κενῶν (ἡ συμπίεσις τῶν στερεῶν καὶ ἡ ἐξ αὐτῆς
μείωσις τοῦ ὄγκου θεωρεῖται καὶ εἶναι μηδαμινή). Ἐάν τὰ κενά
περιέχουσιν ὕδωρ ἡ μείωσις τοῦ ὄγκου δύναται νὰ ἐπέλθῃ μόνον
διὰ τῆς διαφυγῆς τοῦ ὕδατος. Βαθμιαία συμπίεσις τρωμάτων ἐξ
ἰδίου βάρους ἡ τεχνικῶν ἔργων καλεῖται πυκνοποίησης (con-
solidation) ἐνῶ συμπίεσις ἐπιτελουμένη διὰ τεχνητῶν μέσων
(ὡς ἡ κυλίνδρωσις τῶν φραγμάτων) καλεῖται συμπίκνωσις
τῶν ἔδαφῶν (compaction).

α) Πυκνοποίησης.

Ἐφ' ὅσον φορτίον P ἐξασκεῖται εἰς κεκορησμένον ἔδα-
φος αἱ τάσεις τοῦ ὕδατος u παραλαμβάνουν τὰς τάσεις τοῦ
φορτίου καὶ ἔχομεν :

$$P = u$$

ὅπου ἡ u καλεῖται οὐδετέρα τάσις ἢ καθ' ὑπέρβασιν πίεσις
τῶν πόρων. Ἐφ' ὅσον κατὰ τὴν συμπίεσιν τοῦ ἔδαφους (ἰδίᾳ τῆς
συνεκτικῆς ἀργίλλου) τὸ ὕδωρ τῶν πόρων εὐρίσκει διέξοδον, τό-
τε τὸ ἔδαφος πυκτοποιεῖται ἐκ τῆς ἐξόδου ταύτης καὶ μέρος
τοῦ φορτίου ἀρκίζει νὰ παραλαμβάνεται ὑπὸ τοῦ σκελετοῦ τοῦ
ἔδαφους διὰ τῆς ἐνεργοῦς τάσεως αὐτοῦ (effective stress)
 f_e . Τότε ἡ ἀρκική πίεσις συντίθεται ἐκ δύο μεγεθῶν, ἦτοι :

$$P = u + f_e$$

Διὰ τῆς συνεχοῦς ἐφαρμογῆς τῆς πίεσεως καὶ τῆς πυκνοποι-
ήσεως τοῦ ἔδαφους, μετατίθεται, βαθμιαίως ὅλον τὸ φορτίον

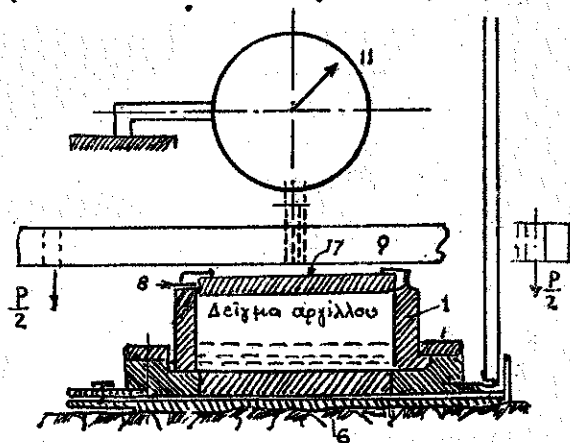
ἐπί τοῦ ἐδάφους, ὅποτε παύει ἡ ἔκρροή τοῦ ὕδατος καὶ παραλαμβάνεται ὅλον τὸ φορτίον P ὑπὸ τοῦ ἐδάφους ($p = fe$). Ἡ εἰς ἐκάστην στιχμὴν παρατηρουμένη καθίζησις S θὰ εἶναι ποσοστὸν τῆς τελικῆς καθιζήσεως S_2 , ἤτοι ἡ ἑκατοστιαία καθίζησις U δίδεται ὑπὸ τοῦ τύπου :

$$U = \frac{S}{S_2} \cdot 100$$

Ἀποτέλεσμα τῆς πυκνοποιήσεως τοῦ ἐδάφους εἶναι ἡ παραλαβὴ μεγαλύτερων διατμητικῶν τάσεων ὑπὸ τοῦ ἐδάφους, ὁθεντος ὅτι αἱ ὑπὸ ὕδατος παραλαμβανόμεναι τάσεις δὲν εὐμβάλουν εἰς τὴν ὑπὸ τοῦ ἐδάφους παραλαβὴν διατμητικῶν τάσεων.

Διὰ τὸν προδιορισμὸν τῆς πυκνοποιήσεως καὶ συμπυκνώσεως τῶν ἐδαφῶν χρησιμοποιεῖται τὸ συμπυκνωσιόμετρον τοῦ A. Casagrande (Σχ. 190). Εἰς αὐτὸ ἡ μεταλλικὴ πλάξ (9) μεταφέρει τὰ φορτία $2 \frac{P}{2}$ εἰς τὴν πορώδη πλάκα (7), ἥτις πιέζει τὸ δαίγμα, ὅπερ περιφύσσεται ὑπὸ τοῦ δακτυλίου (1) καὶ τῆς πρῶτους πλακῶς τοῦ πυθμένος (6).

Τὸ δαίγμα ἐξάγεται ἐκ τοῦ ἐδάφους καὶ τοποθετεῖται ἀδιατάρακτον ἐντὸς τοῦ δακτυλίου 1 (θεξιῶς στρογγυλευόμενον πρὸς τούτο).



Σχ. 190 Συμπυκνωσιόμετρον Casagrande

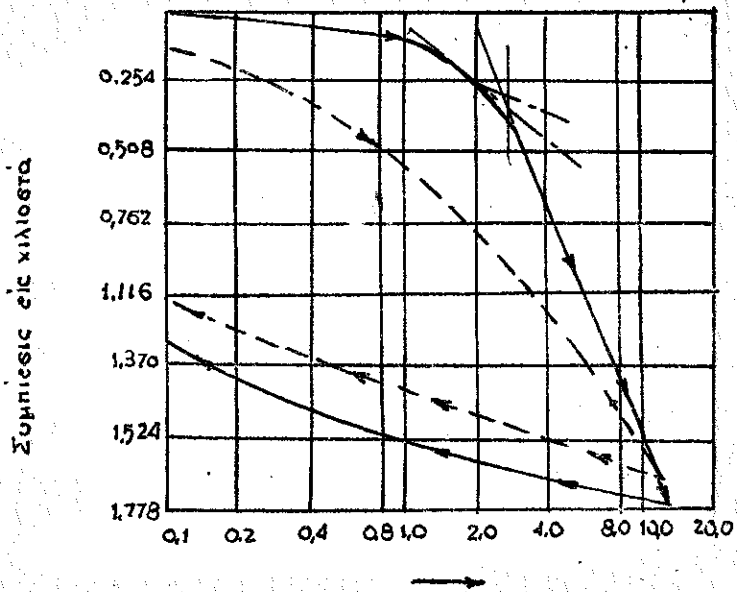
Ἡ διάταξις τοῦ σωλῆνος τοποθετεῖται διὰ τὴν βύχ- χρονον μέτρησιν τῆς διαπερατότητος τοῦ δαίγματος. Ἡ διάμετρος τοῦ δακτυλίου 1 εἶναι συνήθως 76 χιλιοστά δὲν εὐναντᾶται δὲ μικροτέρα διάμετρος ὡς προκαλοῦσα ἐλάττωσιν τῆς ἀκριβείας τῶν ἀποτελεσμάτων. Τὸ ὕψος τοῦ δοκιμίου εἶναι 19 ἢ 25,4 χιλιοστά ($3/4$ ἕως 1).

Ἡ μέτρησις τῶν μετακινήσεων μετράται διὰ τοῦ ἐπιμηκυν-
σιομέτρου 11, ὅπερ δίδει ἀναγνώσεις μέχρι 2,54 μ. (μικρά).

Ἡ πυκνοποίησις ἤδη ἐπιτελεῖται διὰ βαθμιαίας ἐφαρμογῆς
φορτίων συνήθως τῆς τάξεως 0,20, 0,40, 0,8, 1,60, 3,20, 6,40 τόνους
ἀνά τετραγωνικόν πόδα (1 τόν./τετρ. πόδα $\cong 1,076 \text{ kg/cm}^2$).

Ἐκάστη διαβάθμισις φορτίου ἐπιδρᾷ ἐπὶ τοῦ δείγματος ἐ-
πί ἓνα εἰκοσιτετράωρον πρὸ τῆς ἐφαρμογῆς τοῦ ἀμέσως ἀνω-
τέρω φορτίου. Μετὰ τὴν συμπίεσιν ἀφαιρεῖται - ἐπίσης τμημα-
τικῶς ἀλλὰ μὲ μεγαλύτερας διαβαθμίσεις φορτίων - ἡ φόρτι-
σις καὶ ἀφίεται ἡ ἄρχιλλος νὰ διογκοῦται.

Εἰς τὸ Σχ. 191. δίδεται τὸ ἀποτέλεσμα δομικῆς ἀρχιλλοῦ
εἰς συμπίεσιν καὶ δὴ δίδεται ἡ συμπίεσις εἰς χιλιοστὰ συναρ-
τῆσει τῆς πίεσεως μεθ' ἧς φορτίζεται τὸ δεῖγμα (ἐκάστη ἐπιφορ-
τικῆς 0,2 0,4 0,8 1,6 3,2 6,40 12,80 τόν./τετρ. πόδα διαρκεῖ 24 ὥ-
ρας). Ὁμοίως δίδεται ἡ καμπύλη ἀποφορτίσεως ἐν συνεχείᾳ.



Σχ. 191 Πίεσις τόν./τετρ. πόδα ($\sim \text{kg/cm}^2$)

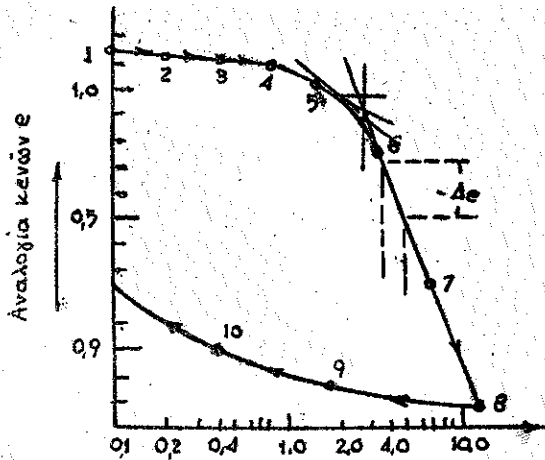
Εἰς τό αὐτό εἰκῆμο δίδεται ἡ καμπύλη φορτίσεως καί ἀποφορτίσεως εἰς ἀναπλασθέν δείγμα ἀρχίλλου.

Τό ἀρχικόν ὕψος τοῦ δοκιμίου ἦτο 25,4 χιλ.(1").

Εἰς τό Σχ. 192 δίδεται ἡ δοκιμή τῆς αὐτῆς ἀρχίλλου, ἀλλά ἡ πυκνοποίησις δέν δίδεται εἰς χιλιοστά ἀλλ' εἰς ἀναλογίαν κενῶν e . Μετά τήν συμπίεσιν τό δείγμα ἐδάχεται,

συγχίζεται, ἐξηραίνεται καί συγχίζεται ἐκ νέου.

Ἐάν τό ἐξηρὸν βάρος εἶναι B_z , γ_1 τό εἰδ. βάρος αὐτοῦ καί A ἡ ἐπιφάνεια τοῦ κυλίνδρου τότε τό ἀναλογοῦν ὕψος τῶν στερεῶν εἶναι:



Σχ. 192. λογαρ. κλίμαε πιέσεων ($\sim \text{kg/cm}^2$)

$$h_z = \frac{B_z}{A \cdot \gamma_1}$$

Ἐνῶ ἐκ παραλλήλου εἰάν τό βάρος τοῦ ὕδατος αὐτοῦ εἶναι B_y τό ἀντίστοιχον ὕψος ὕδατος θά εἶναι:

$$h_{y,z} = \frac{B_y}{A}$$

Διά πλήρως κεκορεσμένον δείγμα ἀρχικοῦ ὕψους H_1 ἐλαιτομένου κατά Δh μετά τήν πυκνοποίησιν ἔχομεν:

(104) $H_1 = h_z + h_y + \Delta h$ ὁπότε ἡ ἀρχική ἀναλογία κενῶν θά εἶναι:

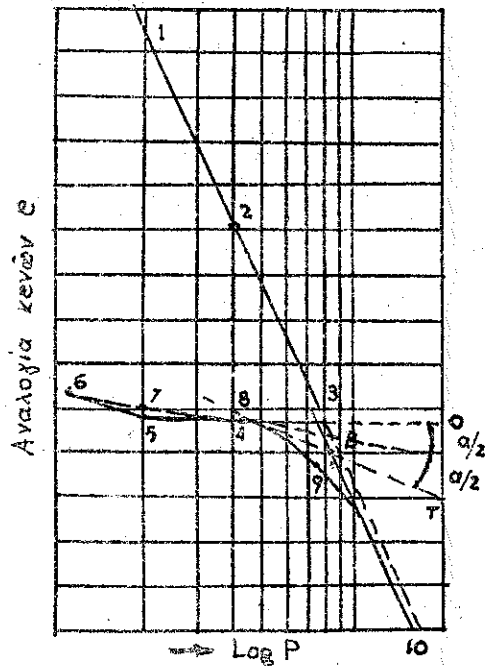
(105) $e = \frac{O_y}{O_z} = \frac{h_y}{h_z}$ μετά δέ τήν συμπίεσιν θά εἶναι:

(106) $e_2 = \frac{h_{y,2}}{h_z}$

Εἰς τὸ Σχ. 192 ἡ ὡς ἄνω τιμὴ e_2 ἀντιστοιχεῖ εἰς τὸ σημεῖον 11. Τὰ ὑπόλοιπα σημεῖα 10,9...1 ἄγονται εἰς τῆς καμπύλης μετὰ τὸν ὑπολογισμὸν τῆς ἀλλαγῆς Δe τῆς ἀναλογίας τῶν κενῶν δι' ἑκάστην αὔξησιν ἢ ἐλάττωσιν τοῦ φορτίου, διὰ τοῦ τύπου $\Delta e = \frac{\Delta h}{h_2}$ ὅπου Δh εἶναι ἡ ὀλική ευστολή ἢ διαστολή τῆς ἀρχίλλου ἢ διδομένη ὑπὸ τοῦ ἐπιμηκυνομέτρου. (Ἀφαιροῦνται αἱ τιμαὶ διὰ τὰ σημεῖα 10,8,9 καὶ προστίθενται διὰ τὰ ὑπόλοιπα).

Αἱ καμπύλαι τῶν Σχημάτων 191 καὶ 192 οἰδοὺν τὴν πυκνοποίησιν ἀρχιλλώδους δείγματος ληφθέντος εἰς μίαν δεδομένην στιγμαθὴν ἐκ τοῦ ἐδάφους, ὅπου ὁμως ἐνδεχομένως εἶχεν ὑποστῆ πυκνοποίησιν ἂν μὴ ἐξ ἄλλου γινος αἰτίου πάντως ἐκ τοῦ ἰδίου βάρους. Εἶναι ἐνδεχόμενον ὅθεν νὰ εὑρίσκεται εἰς μίαν κατάστασιν μερικῶς πυκνοποιήσεως.

Πράγματι εἰάν λάβωμεν δείγμα ἐδάφους ἀναπλάσσομεν αὐτὸ ἐκ νέου κορέννοντες δι' ὕδατος πέραν τοῦ ὁρίου ρευστότητος καὶ φέρομεν τοῦτο εἰς τὸ συμπτυκνοσιόμετρον τοῦ Casagrande (Σχ. 190) θὰ λάβωμεν τότε, εἰς ἡμιλογαριθμηκὸν χάρτην μίαν εὐθείαν γραμμὴν 1,2,3 (Σχ. 193) ἣτις καὶ συνήθως καλεῖται παρθένης καμπύλη συμπίεσεως, διότι οἰδεὶ τὰ ἀποτελέσματα συμπίεσεως παρθένου ἐδάφους, ὡς τοῦτο ἐμφανίζεται εἰς τὴν πρωτόμορφον αὐτοῦ κατάστασιν μὲ μόνην φόρτισιν τοῦ ἰδίου βάρους. Ἄν εἶναι ἡ



Σχ. 193 Διαγρ. προπυκνοποιήσεως

πίεσις αφαιρεθῆ εἰς ὠριζόμενας βαθμίδας, ἢ διόγκωσις λαμβάνει χώραν κατὰ τὴν καμπύλην 4,5,6.

Ἐκ νέου ἐφαρμογὴ τῶν φορτίων προκαλεῖ τὴν νέαν καμπύλην 6,7,8,9 καὶ ἡ περαιτέρω ἐπανάληψις τῶν φορτίσεων αἰτινες ἀρχικῶς ἐφηρμόσθησαν, δίδει τὴν καμπύλην 9-10 παράλληλον εἰς τὴν ἀρχικὴν 1-3 καμπύλην. Ἡ καμπύλη ἀπὸ 6-10 προσομοιάζει μετὰ τὴν καμπύλην τοῦ ἀδιατάρακτου ἀρχικῶς ληφθέντος δείγματος τοῦ ἐδάφους (Σχ. 192). Ἐπὶ τῆ βάσει τῶν ὡς ἄνω παρατηρήσεων δυνάμεθα ἤδη νὰ ἐκτιμήσωμεν τὴν πιθανὴν προπυκνοποίησιν (precon solidation) ἑνὸς ἐδάφους ἐξ ὧσ' λαμβάνομεν ἀδιατάρακτον δείγμα.

Τοῦ ἐδάφους τούτου προσδιορίζομεν τὴν καμπύλην πυκνοποίησεως (Σχ. 192) λ.χ. εἰς Σχ. 193 καμπύλη 6,7,8,9,10. Εἰς τὸ σημεῖον μικροτέρας καμπυλώσεως A (Σχ. 193) φέρομεν ἐφαπτομένην τῆς καμπύλης AT, ὡς καὶ ὀριζοντίαν εὐθείαν (AO) τὴν γωνίαν TAO δικοτομοῦμεν καὶ προσδιορίζομεν τὸ σημεῖον τοῦ B τῆς δικοτομοῦ μετὰ τῆς προεκτάσεως τῆς 9, 10. Ἡ τετμημένη τοῦ σημείου B περιετὰ τὴν πίεσιν τῆς προπυκνοποίησης τοῦ δείγματος 6,7,8,9,10.

Ἡ ὡς ἄνω ἀρχὴ ἐπαληθεύεται συνήθως. Ἐνίοτε ὅμως ἡ ἐκτιμωμένη προπυκνοποίησις εἶναι πολὺ ἀνωτέρα τοῦ ἐκ τοῦ πιθανοῦ προϋπάρχοντος φορτίου, ἀποδίδεται δὲ ἡ διαφορὰ αὕτη εἰς χημικὰς ἐπιδράσεις προκαλέσασα τὴν πυκνοποίησιν.

Ὁ βαθμὸς τοῦ συμπιεστοῦ τοῦ ἐδάφους δίδεται ἐνίοτε διὰ τοῦ συντελεστοῦ τοῦ πιεστοῦ α_v ὅπου :

$$\alpha_v = \frac{-\Delta e}{\Delta p} \cdot 10^{-3} \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{cm}^3} \right] \quad (107)$$

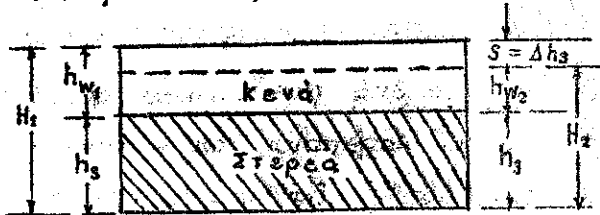
ὁ συντελεστὴς οὗτος περιετὰ τὴν κλίσιν τῆς καμπύλης ἀναλογίας κενῶν πιέσεων τοῦ Σχ. 193.

Εἰς τὸ Σχ. 194 δίδεται ἐκρηματικῶς ἡ ὅλική πίεσις ἢ

καθίστησις S ενός εδάφους, έχουσα ως ἔδειξεν :

$$S = h_{w_1} - h_{w_2} = \frac{h_{w_1} - h_{w_2}}{h_s + h_{w_1}} \cdot H_1 = \frac{\frac{h_{w_1}}{h_s} - \frac{h_{w_2}}{h_s}}{1 + \frac{h_{w_1}}{h_s}} \cdot H_1 =$$

$$S = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} \cdot H_1 = \frac{\Delta e}{1 + e_1} \cdot H_1 = \frac{\alpha_v}{1 + e} \Delta p H_1 \cdot 10^3$$



Σχ. 194

Ἐνίοτε ἀντὶ τοῦ συντελεστοῦ τοῦ πλεστοῦ (α_v) χρησιμοποιοῦμεν τὸν συντελεστὴν ἀλλαγῆς ὄγκου m_v , ἥτοι :

$$m_v = \frac{\alpha_v}{1 + e_1} \quad [cm^2/gr] \quad (108)$$

$$m_v' = \frac{\alpha_v}{1 + e} \cdot 10^3 = \frac{S}{\Delta p H_1} \quad [cm^2/kg] \quad (109)$$

Ὁ συντελεστὴς m_v' ἐμφανίζεται ὡς ἀντίθετος πρὸς τὸ μέτρον ἐλαστικότητος E καὶ ἐνίοτε ἀνταλλάσσεται μετ' αὐτοῦ. Δέον νὰ ἔχωμεν ὅμως ὑπ' ὄψιν ὅτι ἐνῶ ὁ συντελεστὴς τοῦ γαιῆς ἰσχύει μόνον εἰς ἐλαστικὰς περιοχὰς ὁ m_v' ἰσχύει καὶ εἰς πλαστικὰς τοιαύτας.

Ἡ πυκνοποίησις ἐξ ἄλλου εἶναι συνάρτησις καὶ τοῦ χρόνου.

Ὁ Terzaghi εἰς τὴν διεξοδικὴν αὐτοῦ μελέτην ἐπὶ τῆς διαπερατότητος τῆς ἀργίλλου ἐκ τῆς διαίτησιν τῶν ὑδροδυναμικῶν φαινομένων τῶν τάσεων (1923) ἐθεμελίωσεν τὴν θεωρίαν τῆς πυκνοποίησεως καὶ ἀπέδειξεν τὴν ἐπίδρασιν τοῦ χρόνου.

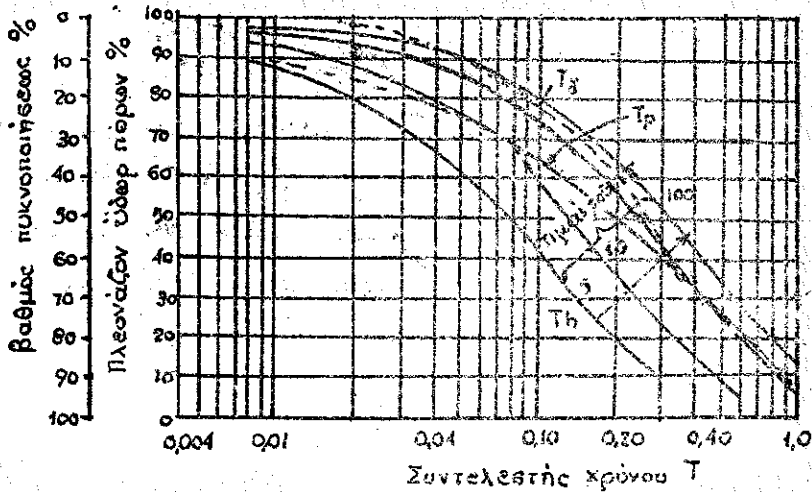
Ὁ χρόνος πυκνοποίησεως ἀπέδειξεν τὴν ἐπίδρασιν τοῦ χρόνου. Ὁ χρόνος πυκνοποίησεως ὑπολογίζεται διὰ τοῦ τύπου :

$$t = \frac{m\gamma}{k} H^2 T \quad (110)$$

ένθα m , ὁ ἀνωτέρω δοθεὶς συντελεστὴς ἀλλαγῆς ὄγκου, k ὁ συντελεστὴς ὑδροπερατότητος τοῦ $Darcy$, H τὸ πάχος τοῦ στρώματος τοῦ ἀργίλλου καὶ T ὁ διάστατος ἀριθμὸς διδόμενος ὑπὸ διαγραμμάτων ὡς συναρτήσεις τοῦ αἰτουμένου βαθμοῦ πυκνοποίησης (%) τοῦ εἶδους ἀποστραγγίσεως τοῦ ἀργιλικκοῦ στρώματος καὶ τοῦ πορώδους αὐτοῦ.

Εἰς τὸ Σχ. 195 δίδεται ἡ σχέσις μεταξὺ τῆς ἑκατοστιαίας ἀναλογίας πυκνοποίησης καὶ τοῦ συντελεστοῦ T διὰ διάφορα εἶδη στραγγίσεως. Οὕτω ἡ καμπύλη T_h ἀνάγεται εἰς ἀργίλλον φέρουσα εἰς ἴσας ἀποστάσεις φρέατα πεπληρωμένα δι' αἴμμου δι' ὧν στραγγίζεται τὸ ὕδωρ.

Ἡ καμπύλη T_p ἰσχύει διὰ στρώμα ἀργίλλου πάχους $2H$ κειμένου μεταξὺ δύο στρωμάτων αἴμμου.



Σχ. 195 Σχέσις πυκνοποίησης καὶ χρόνου

Ἡ καμπύλη T_s ἰσχύει διὰ στρώμα ἐλευθέρως ἀργίλλου ὑπερκειμένου ἀραιώδους ἐδάφους στραγγιζομένης εἰς πᾶσι ἄρτια αὐτῆς

άνευ ενδιαμέσων στραγγιστήρων.

Ήδη ζητείται ο χρόνος t διά την πυκνοποίησην $U\%$ και διά συνθήκας ως η T_p . Διά θεθέν $U\%$ εύρίσκεται ο συντελεστής $T_{ék}$ της καμπύλης T_p και εἰσάγεται εἰς τὴν ἐξίσωσιν (110) ἐφ' ἧς δίδεται ὁ ζητούμενος χρόνος t διά τὴν δοθεῖσαν πυκνοποίησην. Ἀντιστοίχως θεθέντος τοῦ χρόνου t , ὑπολογίζεται ὁ συντελεστής $T_{ék}$ τῆς (110) καὶ ἐξ αὐτοῦ ἡ πυκνοποίησις.

β) Συμπύκνωσις τῶν ἑδαφῶν.

Ήδη δυνάμεθα νὰ ἀξετάσωμεν τὰς ἐπενεργείας ἐπὶ τῆς πυκνότητος ἐπιχωμάτων αἷτινες δύνανται νὰ προέρχωνται εἴτε ἀπὸ συμπύκνωσιν (contraction, μηχανικὴν τεχνικὴν πυκνοποίησην) εἴτε ἀπὸ τὴν μεταβολὴν τῆς ὑγρασίας εἴτε καὶ ἀπὸ τὰ δύο αἷτινα εἶναι καὶ ἀλληλένδετα.

Ἡ συμπύκνωσις εἰς τὸ ἐργαστήριον, ὡς εἶδομεν, γίνεται διὰ τῶν ὀδοντωτῶν ὀδοστρωτήρων ἢ ἐνίοτε δι' ἐλαστικῶν τροχῶν (διαμέτρου μέχρι 2,0 μ. καὶ βάρους 60-200 τόννων).

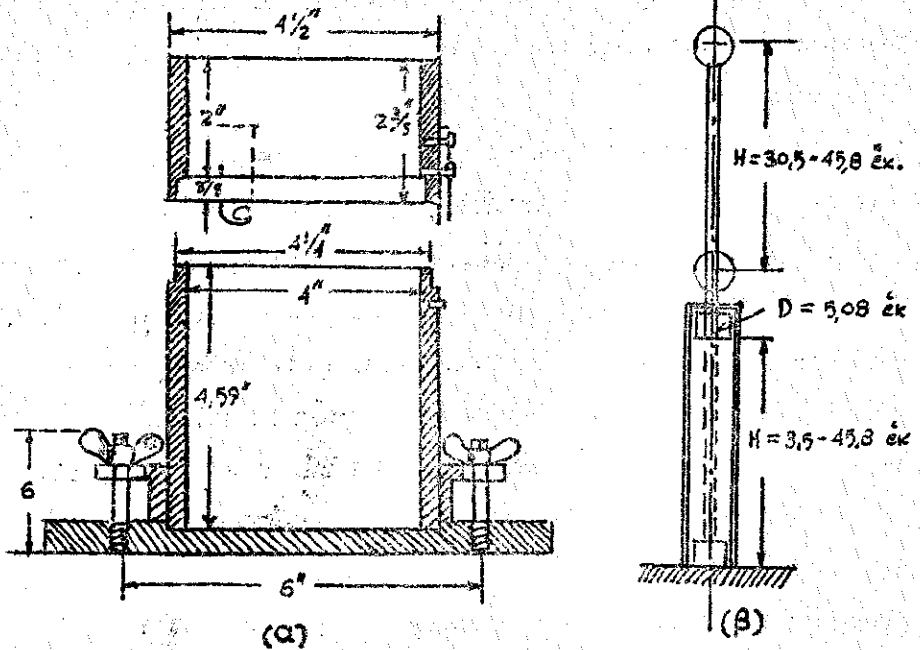
Εἰς τὸ ἐργαστήριον ἡ συμπύκνωσις τῶν δοκιμίων γίνεται διὰ τῆς ἀπλῆς συσκευῆς τοῦ Proctor, ἀπαρτιζομένης ἐκ κυλίνδρου διαμέτρου 4" καὶ ὕψους 4,59" ὑπερθεῖν τοῦ ὁποίου τίθεται πρόσθετον τεμάχιον (βλ. Σχ. 196 α).

Τὸ δείγμα τοποθετεῖται ἐντός τοῦ δοχείου (α) εἰς 3 καὶ 5 στρώσεις καὶ κοπανίζεται διὰ συσκευῆς κριοῦ πίπτοντος ἐξ ὕψους 30,5-45,8 ἑκατοστῶν (β) καὶ βάρους 2,50 ἢ 4,54 kg.

Ἡ δοκιμὴ γίνεται διὰ 15 ἢ 25 κρούσεων ἀνὰ στρῶμα δείγματος καὶ εἶναι πάντοτε ἡ αὐτή.

Εἰς τὸν πίνακα I δίδονται αἱ συνήθεις πρότυποι (standar συνδιασμοί βάρους κριοῦ, ὕψους πτώσεως, ἀριθμῶν κρούσεων καὶ στραγγισμάτων καὶ καταβαλλομένης ἐνεργείας.

Τό δείγμα τίθεται εἰς τόν κύλινδρον ἀνά στρώσεις, κοπι-
νίζεται καλῶς καί εἶτα ἀφαιρεῖται τό τεμάχιον ἐπεκτάσεως
καί ἰσοῦται τό δείγμα διά κοπτικῶ ὄργανου. Συζητεῖται καί
προσδιορίζεται καί ἡ ὕφρασις αὐτοῦ.



Σχ. 196 Δοχεῖον δοκιμῆς χωμάτων (α) καί κριός διά τήν συμ-
πύκνωσιν αὐτῶν (β).

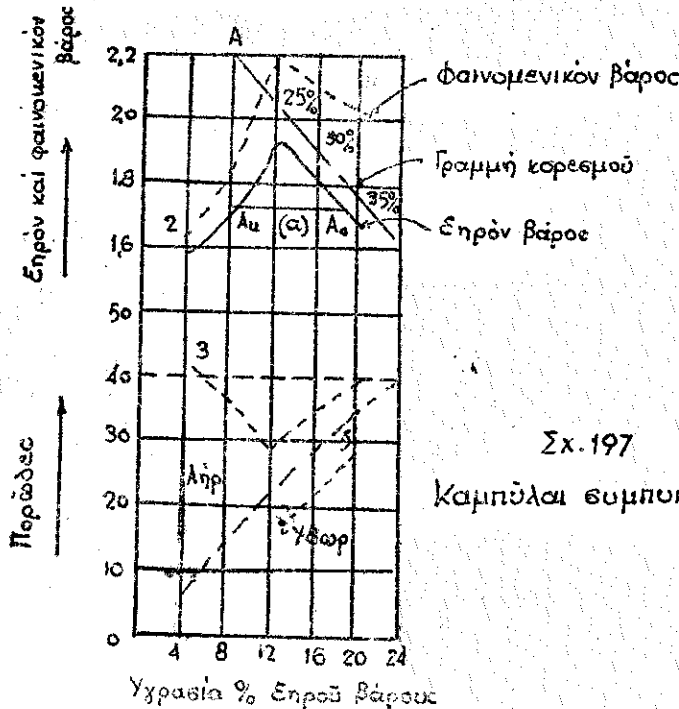
Πίναξ I: Στοιχεῖα ἐργαστηριακῶν μεθόδων συμπίκνωσεως
ἔδαφῶν.

Μέθοδος ἐρεύνης.	Βάρος κριοῦ kg	Ύψος πτώσεως cm	Αρ. κρού- σεων ἀνά στρώμα	Αριθ. στρωμά- των	Ἐνέργεια συμπύκνωσε- ως kgm/m ³
Τροποποιησις μεθόδου Proctor	4,54	45,8	25	5	271,400
Μέθοδος Proctor.	2,50	30,5	25	3	60,070
Μέθ. Proct. (15 κρούσεων)	2,50	30,5	15	3	36,100

Έάν ήδη ή ως άνω δοκιμή γίνη επί διαφόρων δειγμάτων του αυτού εδάφους αλλά μέ διάφορον περιεκτικότητα εις ύγρασίαν (κυμαινομένην λ.χ. από 0% έως 24% του Ξηρού βάρους του εδάφους) προσδιορισθῶσιν δέ τό Ξηρόν βάρος, τό φαινομενικόν βάρος καί τό πορώδες τῶν δειγμάτων θά λάβωμεν (διά πῶμα λ.χ. μέ ἀπόλυτον εἰδικόν βάρος $\gamma_s = 2.72 \text{ t/m}^3$) τάς καμπύλας τοῦ Σχ. 197.

Ἐκ τῆς καμπύλης τοῦ Ξηροῦ βάρους τοῦ χώματος μετά τήν συμπίεσιν αὐτοῦ ὑπό διάφορον περιεκτικότητα ὑγρασίας παρατηροῦμεν ὅτι ἀρχικῶς ἡ πυκνότης (density) αὐτοῦ αὐξάνει (αὐξησις Ξηροῦ βάρους) μέχρι ἐνός σημείου (φερ' εἰπεῖν δι' ὑγρασίαν 13% εἰς τό ὑπόψιν δείγμα) ὁπότε τό πορώδες γίνεται ελάχιστον.

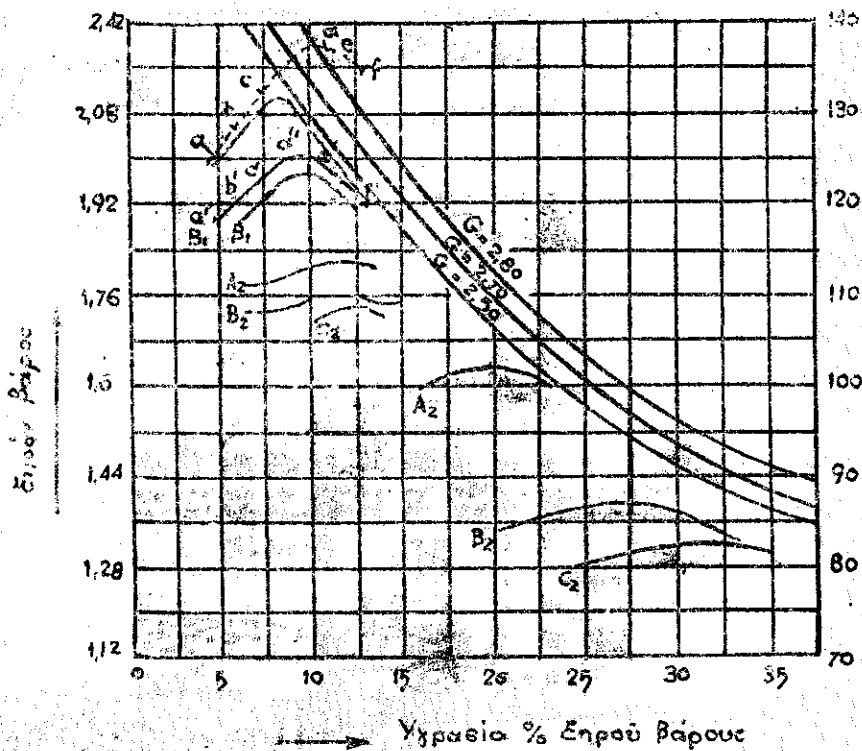
Διά περαιτέρω προσθήκης ὕδατος αὐξάνει πάλιν ἡ περιεκτικότης τῶν πόρων ἐνώ δέ θά ἐδέχετό τις ὅτι τό ὕδωρ θά ἐξήρχετο τῶν πόρων τοῦτο δέν συμβαίνει, ὡς παρατηρεῖ ὁ Proctor, ἐπί σειράς 200 δειγμάτων.



Σχ. 197

Καμπύλαι συμπίεσεως

Ἡ ἐξήγησις τοῦ φαινομένου ἀποδίδεται εἰς τὸ γεγονός ὅτι συνήθη συνεκτικὰ ἐδάφη εἰς καμηλὴν ὑγρασίαν ἐκδηματίζουσι θρόμβους (σβόλους) δυσχερῶς ἀποσυντεθιμένους καὶ ἐμποδίζοντας τὴν πυκνοποίησιν. Ἡ αὔξησις τῆς ὑγρασίας προκαλεῖ τὴν ποκτοποίησιν τῶν θρόμβων καὶ τοιοῦτοτρόπως ἐπιτυγχάνεται μεγαλύτερα πυκνότης μετὰ τὴν αὐτὴν προσπάθειαν συμπυκνώσεως. Τὰ ἀγαθὰ αὐτὰ ἐπιτελέσματα τῆς προσθήκης ὑγρασίας ὅμως παύουν ὅταν τὸ ὕδωρ πληρώσῃ τοὺς πόρους τοῦ ἐδάφους (μετὰ τὴν ἐπέκτασιν τῶν καθέκαστα κόκκων) ὁπότε πᾶσι περαιτέρω προσθήκη ὕδατος θέτει τοὺς κόκκους εἰς ἀπόστασιν καὶ ἐλαττώνει ἐπομένως τὴν πυκνότητα (ἔφρὸν βάρος τοῦ ἐδ.).



2x 198 καμπύλαι συμπυκνώσεως διαφόρων δειγμάτων.

(ἡ ἐξίσωσις τῆς καμπύλης A εἶναι: $\gamma = \frac{G}{1+e} = \frac{G}{1 + \frac{W}{100-W}}$)

Τό ποσόν τῆς ὑγρασίας, διά τό ὁποῖον δίδεται ἡ μεγαλύτε-
ρα πυκνότης τοῦ ἐδάφους (μέγιστον ἔηρον βάρος) καλεῖται
Ἄριστη τιμή ὑγρασίας (*optimum moisture, Bestwert
des Wassergehaltes*).

Κατά τήν κατασκευήν τῶν κυλίνδρῶν φραγμάτων
δυναμέθα δι' ἐκλογῆς τῶν κυλίνδρων, τοῦ ἀριθμοῦ τῶν κυλι-
νδρώσεων καί τῆς ρυθμίσεως τῆς ὑγρασίας (ἐπιδιώκοντας τήν
ἀριστη αὐτῆς τιμήν) νά ἐπιτύχωμεν τήν προφορωτέραν στεχα-
νότητα καί ἀντοχήν τοῦ ἐπικώματος ὡς καί τήν καλλιτέραν
ἀντοχήν εἰς διάτμησιν.

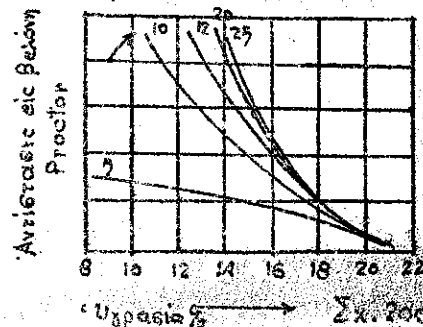
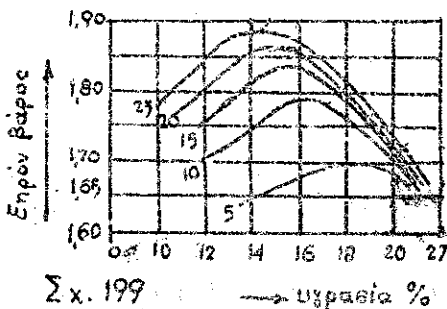
Εἰς τό Σχ 198 δίδεται ὁ προσδιορισμός τοῦ ἔηρου βάρους
τριῶν διαφορετικῶν δειγμάτων κώματος καί δῆ ευμπυκνω-
θέντων καί διά τῶν τριῶν μεθόδων τοῦ πίνακος.

Ἡ καμπύλη *abcdef* δίδει τό φαινομενικόν βάρος τοῦ
δειγματος 1.

Εἰς τόν πίνακα II δίδονται ὅλα τά στοιχεῖα τῶν τριῶν τού-
των δειγμάτων (1,2,3).

Ἡ μελέτη τοῦ πίνακος τούτου καί τοῦ ἐκλήματος 198 ἐπι-
τρέπουν τήν διαφοροποίησιν τῶν διαφορῶν τύπων κωμάτων.

Εἰς τό Σχ. 198 ἐμφαίνεται ἡ διαφορά πυκνοποίησεως ἀ-
ναλόγως τοῦ μεγαλύτερου βάρους ἢ τοῦ ὕψους πτώσεως τοῦ κρι-
οῦ. Εἰς τό Σχ. 199 δίδεται ἐμφανέστερον τούτο διά πυκνοποί-
ησιν μέ βαθμιαίως αὔδοντα ἀριθμόν κρούσεων.



γ) Έλεγχος συμ-
κνώσεως τών έδαφών.

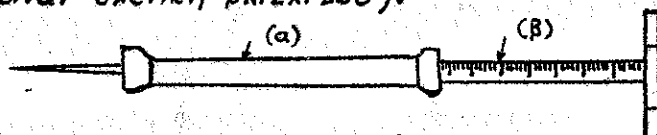
Ο έλεγχος τής συμ-
κνώσεως τών έδαφών γίνε-
ται δι' εξαγωγής δείγματος
έκ τού έδαφους και προσ-
διορισμού τής ύγρασίας αυ-
τού (ξήχαις, ξήρανσις, έπα-
ναξήχαις). Ο όγκος τού δείγ-
ματος προσδιορίζεται διά
πληρώσεως τής όπης: α/
διά πυκνορρέυτου ελαίου
ματρουμένου όγκου (δι' α-
διαπέρατα έδάφη) ή β/
διά λεπτού ελαστικού εάκ-
κου πληρουμένου ύδατος
έντός τής όπης ή γ) διά πλη-
ρώσεως διά λεπτής ξηραΐς
όμμου ριπτομένη από ώρι-
μένον σταθερόν ύψος.

Δι' έτι ταχύτερον προσ-
διορισμέν χρησιμοποιείται ή
ύπό τού Proctor επινωθηθείσα
βελόνη ή έμφαινομένη εις τό
Σχ. (201). Η συσκευή φέρει
εις τά άκρα βελόνην (μέ αν-
ταλλακτικώς τοιαύτας κυ-
μαινομένας εις επιφάνειαν
άκίδος από 30-150 τετρ. κιλ.)

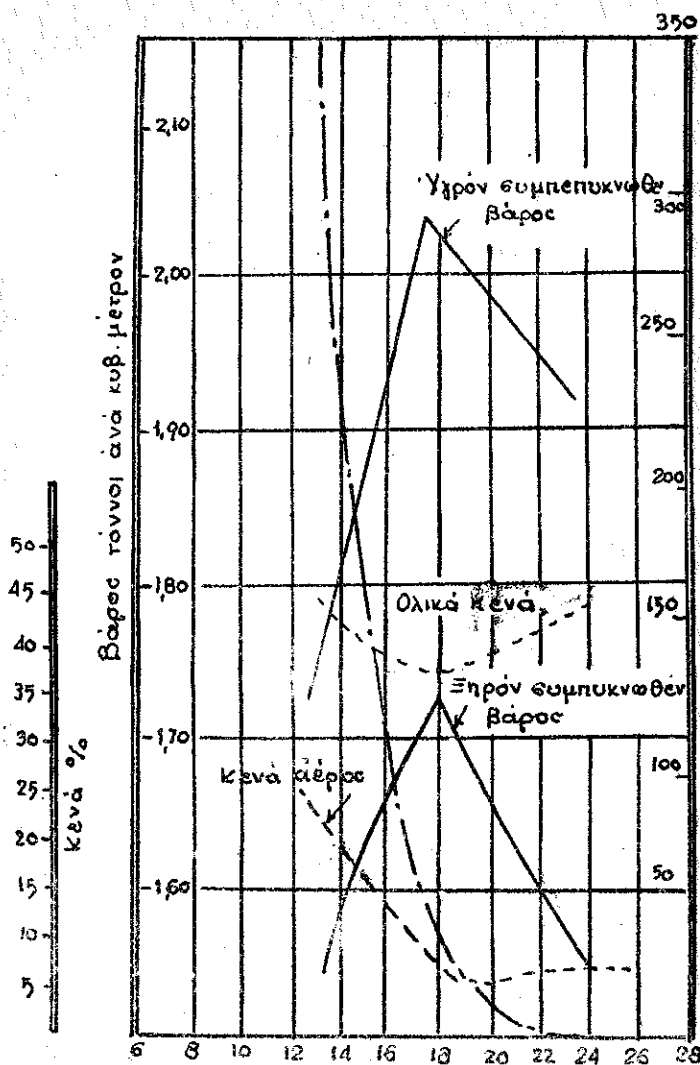
Πίναξ II : Στοιχεία τών τριών δειγμάτων τού ετήματος 195

Τύπος έδαφους	Ειδικ. βάρος	Όρια Ύφης %			Έξος κόκκων %			Άριστη ύγρασία %			Μεγίστη ξηρά πυκνότης $\frac{t}{m^3}$		
		W _L	W _p	Ip	Άμμος	Παιμα- λη	Άργιλ. λοσ	A	B	C	A	B	C
1 Παιπαλική όμμος	2,67	17	16	1	80	15	5	8	10	10	2,12	2,0	1,978
2 Άμμος	2,67	Μη πλαστικός	0	92	5	3	άόριστος	808	1,76	1,728	1,632	1,408	1,328
3 Άργιλλος	2,73	68	21	47	10	28	62	20	28	31	1,632	1,408	1,328

ἥτις ὠθεῖται διὰ πίεσεως ἐντός τοῦ ἐδάφους. Ἐλατήριο ἐν-
τός τοῦ κυλίνδρου (α) μετρά δι' ἀπ' εὐθείας ἀναγκάσεως εἰς τὸ
ετέλεχος (β) τὴν ἀσκουμένην δύναμιν, ἐνῶ ἐκ παραλλήλου μετρά-
ται τὸ βάθος τῆς διεισδύσεως καὶ ὁ χρόνος αὐτῆς. (Ἡ μέθοδος ἐ-
ναπόκειται εἰς τὴν προσωπικὴν ἀντίληψιν τοῦ παρατηρητοῦ
καὶ εἶναι σχετικὴ βλ. Σχ. 200).



Σχ. 201 Βελὸν Proctor



Εἰς τὸ Σχ. 202 δίδεται μία εἰσέτι ἀνάλυσις ἑνὸς δείγματος ἀρχιλλικῆς παιπάλης καὶ δίδονται αἱ καμπῦλαι τοῦ φαινομενικοῦ βάρους τοῦ ξηροῦ βάρους τῶν συνολικῶν κενῶν καὶ τῶν κενῶν τοῦ ἀέρος. Ἐπὶ πλέον εἰς τὸ σχῆμα δίδεται ἡ ἀντοχή τοῦ ἐδάφους kg/cm^2 εἰς τὴν βελόνην τοῦ Proctor διὰ διαφόρους περιεκτικότητας εἰς ὕδωρ. Τὸ σχῆμα δεῖκνυεὶ τὴν ταχείαν πτώσιν τῆς ἀντοχῆς εἰς διαίθουσειν τοῦ ἐδάφους με ἀύθειν τῆς ὑγρασίας. Ὁμοίως ἐμφαίνεται ἐκ τοῦ σχήματος ὅτι εἶναι πρόσφορον νὰ σταματῶμεν τὴν ὑγρασίαν ὀλίγον καμπλότερον ἀπὸ τὴν ἀρίστην τιμὴν τῆς.

3-5·Η διαπερατότης τῶν ἐδαφῶν καὶ ἡ ροὴ τοῦ ὕδατος δι' αὐτῶν.

α/ Ὁ συντελεστὴς διαπερατότητος.

Ὅλα τὰ ἐδάφη εἶναι διαπερατὰ ἐφ' ὅσον, ὡς εἶδομεν, παρουσιάζουν πάντοτε κενά, μέσω τῶν ὁποίων διηθεῖται τὸ ὕδωρ. Ἡ πραγματικὴ ταχύτης τοῦ ὕδατος ἐντὸς τῶν πόρων εἶναι ἡ ταχύτης διηθήσεως (percolation) U_s συνήθως ὅμως λαμβάνετα. ἡ θεωρητικὴ ταύτης $U = \frac{Q}{F}$ (ἐνθα F ἡ διαρροεμένη διατομὴ ἐκ στερεῶν ὑλικῶν καὶ κενῶν) εἰς τοὺς ὑπολογισμοὺς, ἧτις εἶναι ἡ ταχύτης διαπερατότητος (permeability). Ἡ ροὴ τοῦ ὕδατος διὰ μέσου τῶν ἐδαφῶν ἀπαιτεῖ, ὡς πάσα ροή, ἀπώλειαν ὑδραυλικοῦ φορτίου διὰ τῆς δημιουργίας τῆς πιεζομετρικῆς γραμμῆς.

Εἰς τὸ Σχ. 203 δίδεται ἡ ροὴ ὕδατος διὰ μέσου ἰσοπαχοῦς δείγματος μήκους l με ἀπώλειαν ὑδραυλικοῦ φορτίου h . Ἡ ροὴ λαμβάνει κώραν ἐδῶ κατὰ παραλλήλους εὐθείας γραμμάς ροῆς καὶ εἶναι στρωτὴ (Laminae)

Σχεδὸν κατὰ κανόνα ἡ ροὴ εἶναι στρωτὴ εἰς τὰ ὑπόγεια ὕδατα πλην τῆς περιπτώσεως ἐδαφῶν με κάλικας μεγάλ. διαμέτρων.

Αί γραμμαί ροής εἰς ἄλλας περιπτώσεις εἶναι καμπύλαι, συνήθως μεγάλης καμπυλότητος

Εἰς τὸ Σχ. 203 ἡ διαφορά πίεσεως $\gamma h = u$ ἀναχομένη εἰς τὴν μονάδα μήκους καλεῖται κλίσις τῆς πίεσεως:

$$J_p = \frac{\gamma h}{l} = \frac{u}{l} \text{ (gr/cm}^2 \text{)} \quad (111)$$

ὁ δὲ λόγος :

$$J = \frac{J_p}{\gamma} = \frac{h}{l} \quad (112)$$

καλεῖται κλίσις τῆς πιεζομετρικῆς γραμμῆς.

Ἡ ἰσοαθῆ ταχύτης u καλουμένη ἀπλῶς ταχύτης ὑπογείων ὑδάτων u , ἴσούται μὲ τὴν ποσότητα ὕδατος, ἥτις διέρχεται καθέτως πρὸς τὴν μονάδα ἐπιφανείας τοῦ εἰσώρου εἰς τὴν μονάδα τοῦ χρόνου. Ἐφ' ὅσον τὸ ὕδωρ διέρχεται διὰ λεπτοκόκκων ὑλικῶν, ἡ ταχύτης u δίδεται ἑπακριβῶς διὰ τοῦ τύπου τοῦ Darcy.

$$u = \frac{k}{n} i_p = \frac{k}{n} \gamma \cdot i \quad (113)$$

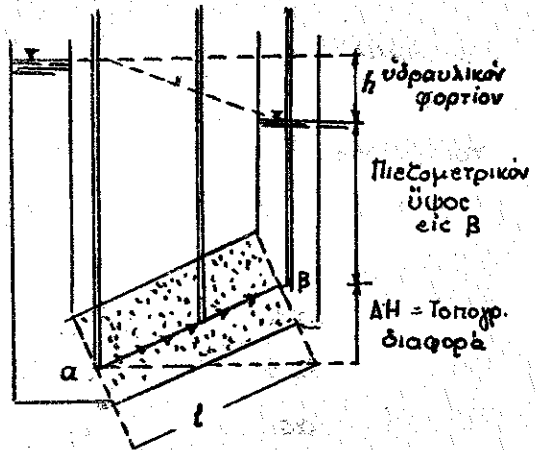
ὅπου $n \left(\frac{\text{gr} \cdot \text{sec}}{\text{cm}^2} \right)$ εἶναι ἡ συνεκτικότητα τοῦ ὕδατος καὶ k σταθερά τῆς διαπερατότητος.

Εἰς τὰς συνήθει περιπτώσεις χρησιμοποιοῦμεν τὸν συντελεστὴν τῆς διαπερατότητος.

Εἰς τὰς συνήθει περιπτώσεις χρησιμοποιοῦμεν τὸν συντελεστὴν διαπερατότητος k (coefficient of permeability) ὅστις εἶναι:

$$k = \frac{k_u}{n} \quad (114)$$

καὶ ὅν λαβωμεν τὴν γνωστὴν εἰσώσειν τοῦ Darcy :



Σχ. 203

Διαπερατότης τοῦ εἰσώρου.

$$v = k \cdot f \quad (115)$$

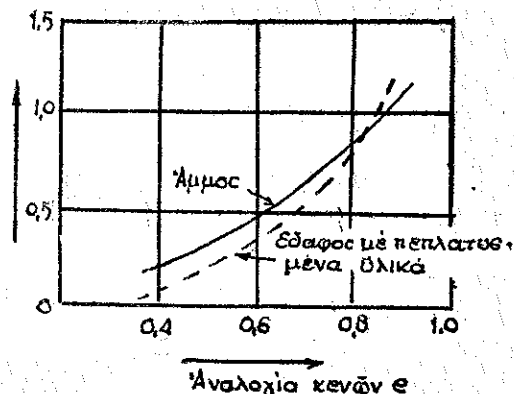
Ο συντελεστής K είναι συνάρτηση των ανοιχμάτων των κενών του εδάφους άρα του τετραγώνου της διαμέτρου (νόμος Poiseuille-Hazen) και της ομοιομορφίας των κόκκων.

Ούτω ο Allen-Hazen εὔρεν τὴν σχέσιν

$$K \text{ (cm/sec)} = C_k d_{10}^2 \quad (116)$$

ἐνθα d_{10} ἡ 10% διάμετρος (βαρύνουσα διάμετρος) καὶ $C_k = 100 - 150$ [cm² sec]. Οὗτος ἰσχύει διὰ ὁμοιομορφον ἄμμον ἐν ψαθυρᾷ καταστάσει.

Ο συντελεστής διαπερατότητας k ἐξαρτᾶται ὁμοίως ἐκ τῶν κενῶν τοῦ εδάφους. Εἰς τὸ Σχ. 204 δίδεται καμπύλη τοῦ Casagrande ἐξ ἧς προκύπτει τὸ δῖ' ὅταν δῆποτε τιμὴν τῶν κενῶν ὅταν εἶναι γνωστὴ ἡ τιμὴ αὐτοῦ $k_{0,85}$ διὰ κενὰ $e = 0,85$ δι' ἄμμον. Δι' ἄλλα μίγματα, ἴδια μὲ μαρμαρυγιᾶν δεὸν νὰ προσδιορίζηται πειραματικῶς ὅλη ἡ καμπύλη (ἐστιγμένη γραμμὴ).



Σχ.204 Συνάρτησις k καὶ e

Εἰς τὸν πίνακα III δίδονται ἐξ ἄλλου εἰς λογαριθμικὴν κλίμακα αἱ τιμαὶ τοῦ συντελεστοῦ διαπερατότητος k διὰ διαφόρους τύπους ἐδαφῶν, ἢ εἰς ἐκάστην ἐξ αὐτῶν ἀντιστοιχοῦσα ἰκανότητα στραγγίσεως καὶ τέλος ὁ τρόπος προσδιορισμοῦ τοῦ συντελεστοῦ.

Διὰ τὸν προσδιορισμὸν τοῦ συντελεστοῦ τοῦ k διακρίνομεν, εἰς τῶν κατωτέρω πίνακα, τὴν ἄμεσον μέθοδον δι' ἀντλήσεως γνωστὴν ἐκ τῆς ὑδραυλικῆς. Κατ' αὐτὴν ἀντλεῖται ὕδωρ ἐξ ἑνός φρέατος καὶ δημιουργεῖται ἡ καμπύλη καταπτώσεως ἐκ τῆς μελέτης τῆς ἐξιδεύσεως τῆς ὁποίας ὑπολογίζεται ἄμεσως ὁ συντελεστής K ,

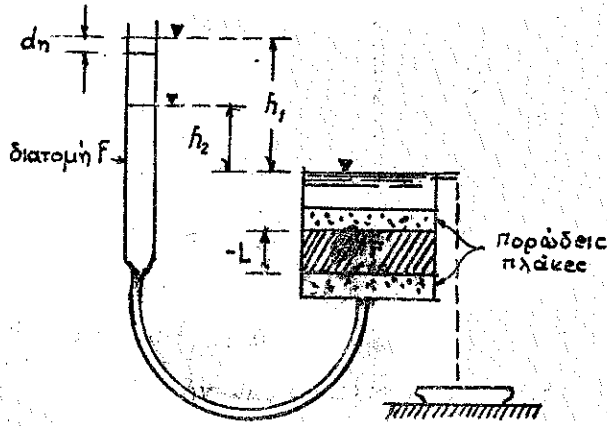
Πίναξ III : Συντελεστές διαπερατότητας (κατά Casagrande και Fadum)
(Συντελεστής k [cm sec⁻¹])

$k =$	10^2	10^1	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}		
Στρέγγις	Καλή x													
Τύποι έδαφών	Καθαρά χάλικες	Καθαρά άμμος, καθαροί άμμοκάλικες	Μικρά						Πρακτικώς άδιαπέρατος					
			Πολύ λεπτή άμμος, οργων, και άνοργων πεπταλαί, μίγματα άμμου παιπάλης και πρχίλλου, διαστρωσεις άναποθεσεων άρχίλλου.						Άρχίλλοι όμοιοι γενείς κάτω της ζωής επίρροής καιρικών μεταβολών					
Άμεσος προσδιορισμός του k	Επί τύπου S1' άνταίσεως. Εμπειρία άπαραίτητος. Ίκανοποιητικά αποτελέσματα διά προσεκτικόν έπέλεσιν													
	Διαπερατόμετρον σταθερού φορτίου. Μικρά πείρα αναγκαία.													
Έμμεσος προσδιορισμός του k	Διαπερατόμετρον μεταβατικού φορτίου. Μικρά πείρα αναγκαία. Άκριβής						Διαπερατόμετρον μεταβατικού φορτίου. Μεγάλη πείρα αναγκαία. Όχι άκριβής							
	Υπολογισμός εκ διαστολής των κόκκων. Εφαρμοστέα μόνον εις καθαράν άμμον και χάλικας άνευ συνοχής.													
Υπολογισμός εκ των αποτελεσμάτων πυκνοποιήσεως. Άκριβής. Ζεβράρα παρα αναγκαία														

καὶ δὴ δι' ἀδιατάρακτον ὑδατοπερατὸν στρῶμα.

Ὁ ὑπολογισμὸς τοῦ K γίνεται ἐργαστηριακῶς διὰ διαπερατομέτρων καὶ δὴ δύο τύπων.

Εἰς τὸ διαπερατόμετρον μεταβλητοῦ φορτίου ὕδωρ σταθερᾶς θερμοκρασίας διέρχεται διὰ τοῦ δείγματος πάχους L (τοποθετουμένου μεταξὺ δύο πορωδῶν πλακῶν) καὶ ἔχει ἀπώλειαν διὰ χρόνον dt ἴσην μετὰ dh (βλ. Σχ. 205).



Σχ. 205: Διαπερατόμετρον μεταβλητοῦ φορτίου

Ἐάν F ἡ διατομή τοῦ τροφοδοτοῦντος κατακορύφου σωλήνος καὶ f ἡ διατομή τοῦ δείγματος (καθέτως πρὸς τὴν ροήν) τότε ἡ παροχὴ, διὰ χρόνον t , θὰ εἶναι:

$$Q = vF = K \cdot F \cdot t \quad (117)$$

ἢ δὲ διαφορική παροχὴ:

$$dQ = dh \cdot f = k \cdot \frac{h}{L} F dt \quad (118)$$

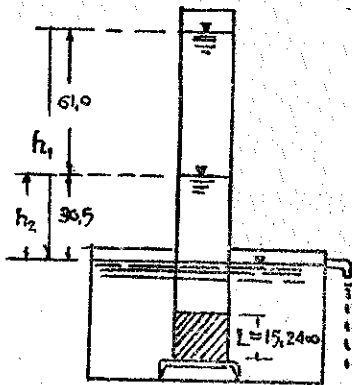
ἤτοι:

$$-\frac{dh}{h} = k \cdot \frac{F}{fL} dt \quad (119)$$

Εἰς χρόνον $t_2 - t_1 = t$ ἡ ἐτάθμη κατέρχεται ἀπὸ h_1 εἰς h_2 καὶ ἡ ὡς ἄνω ἐξίσωσις (119) ὁλοκληρῶνται ὡς κάτωθι:

$$\left[-\log_e \cdot h \right]_{h_1}^{h_2} = k \cdot \frac{F}{fL} \left[t \right]_{t_1}^{t_2} \cdot \text{ὀπόθεν}$$

$$k = \frac{f \cdot L}{F(t_2 - t_1)} \log_e \frac{h_1}{h_2} = 2,5 \frac{fL}{Ft} \log \frac{h_1}{h_2} \quad (120)$$

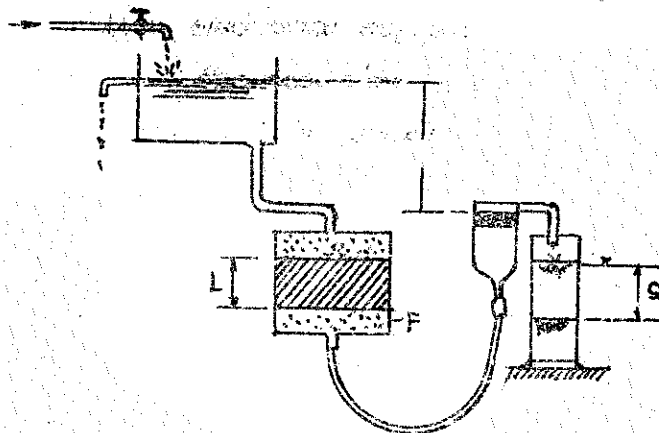


Σχ. 206 Άπλοποίησης συσκευής του Σχηματος 205

είναι σταθερά και ίση με 61.0 εκ. (24") ως κάτωθι :

$$k = \frac{16,7}{t} \quad (121)$$

Ἡ ἀπλοποίησης αὕτη ἐφαρμόζεται κυρίως εἰς διαπερατά ἀμμώδη ἐδάφη. Τό διαπερατόμετρον σταθεροῦ φορτίου δίδεται εἰς τό Σχ. 207 ἔνθα ἐμφαίνεται ἡ ὅλη διάταξις λειτουργίας του.



Σχ. 207. Διαπερατόμετρον σταθεροῦ φορτίου h.

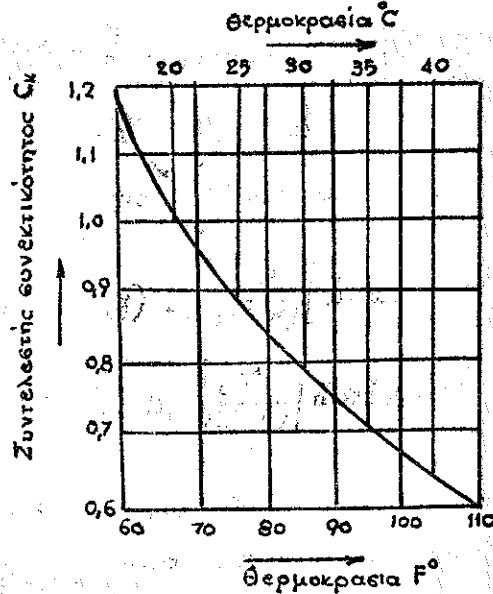
Ἡ διὰ τοῦ δείγματος διερχομένη παροχή (Q) εἶναι σταθερά

λόγω του σταθερού ύψους h και μετράται εις τον κύλινδρον ἐξόδου. Ὁ συντελεστής διαπερατότητος δίδεται ἐκ τῆς ὡς ἄνω ἐξισώσεως (117):

$$K = \frac{Q}{F \Delta t} = \frac{\Omega}{F} = \frac{\Omega \cdot L}{F \cdot h} \quad (122)$$

Ἡ ἐπιρροή τῆς θερμοκρασίας δίδεται διὰ τῆς ἐξέσεως τοῦ συντελεστοῦ συνεκτικότητος εις διαφορὰς θερμοκρασίας (Σχ. 208).

Εἰς τὰ φυσικὰ ἐδάφη διατεταγμένα κατὰ στρώσεις συμφώνως πρὸς τὴν φυσικὴν ἐναπόθεσιν αὐτῆς, ὁ συντελεστής k εἶναι διάφορος κατὰ τὴν μίαν ἔννοιαν ροῆς (συνήθως ὀριζοντιαν δι' ὀριζοντίας περίπου ἐναποθέσεις) καὶ διάφορος κατὰ τὴν ἄλλην ἔννοιαν ροῆς (κατακόρυφον). Ὁμοίως ὁ συντελ. K δύναται νὰ εἶναι διάφορος εἰς



Σχ. 208 Ἐπιρροή θερμοκρασίας εἰς διαπερατότητα

ἐκάστην τῶν ἀλληπαλλήλων στρώσεων, αἵτινες συνήθως ἔχουσι διάφορον κοκκομετρικὴν σύνθεσιν καὶ διαφορὰ κενὰ ἀναλόγως τῆς πυκνοποιήσεως αὐτῶν.

Τοιοιουτρόπως εἰς στρώμα ἐδάφους πάχους H ἀπαρτίζεται ἀπὸ διαφορὰ στρώματα μέ πάχη:

$$H_1 + H_2 + H_3 + \dots + H_n = H$$

μέ συντελεστὰς διαπερατότητος $K_1, K_2, K_3, \dots, K_n$ καὶ μέ μέσους συντελεστὰς διαπερατότητος.

K_1 κατά την οριζοντία ενφυσίαν ροής (παράλληλον πρὸς τὰ στρώματα)

K_H κατά ροὴν κάθετον πρὸς τὰ στρώματα (κατακόρυφον) τότε διὰ ροὴν παράλληλον πρὸς τὰ στρώματα.

$$u = K_1 \cdot i = \frac{1}{H} [u_1 H_1 + u_2 H_2 + \dots + u_v H_v] = \frac{i}{H} [K_1 H_1 + K_2 H_2 + \dots + K_v H_v] \quad (123)$$

ἤτοι :

$$K_H = \frac{1}{H} (K_1 H_1 + K_2 H_2 + \dots + K_v H_v) \quad (124)$$

Ἐξ ἄλλου διὰ ροὴν καθέτως εἰς τὰ ἐναλλασσόμενα στρώματα θὰ ἔχωμεν διὰ συνολικὴν ἀπώλειαν h :

$$u = \frac{h}{H} K_H = K_1 i_1 = K_2 i_2 = \dots = K_v i_v \quad (125)$$

$$\text{καὶ } h = H_1 i_1 + H_2 i_2 + \dots + H_v i_v \quad (126)$$

ἔξ ὧν προκύπτει :

$$K_H = \frac{H}{\frac{H_1}{K_1} + \frac{H_2}{K_2} + \dots + \frac{H_v}{K_v}}$$

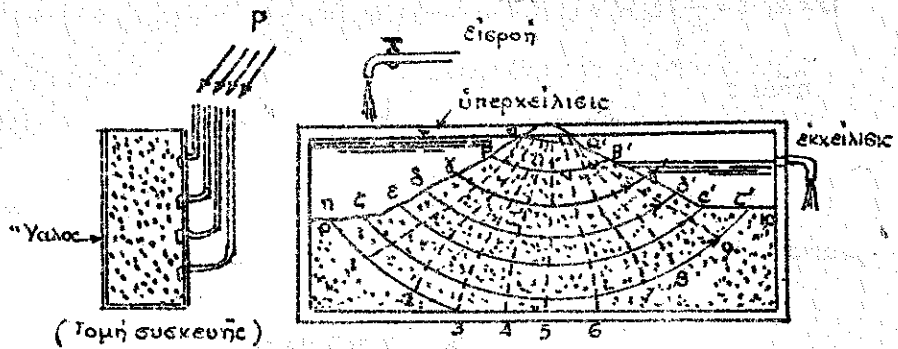
Ἀποδεικνύεται νῦν θεωρητικῶς ὅτι διὰ ἐδάφη κατὰ στρώσεις ὁ συντελεστὴς K_H εἶναι μικρότερος ἀπὸ τὸν K_T καὶ δι' αὐτό συνήθως τίθεται :

$$K_1 = K_{\max} \quad \text{καὶ} \quad K_2 = K_{\min}$$

β) Ἐπίπεδος ροὴ τοῦ ὕδατος ἐντὸς τοῦ ἐδάφους

Ἐάν παρακολουθήσωμεν ἐντὸς ὁμοιογενοῦς διαπερατοῦ ὑλικοῦ τὴν ροὴν τοῦ ὕδατος ὑπὸ τὴν ἐπίδρασιν ὑδραυλικοῦ φερτίου h μέσω πιεζομετρικῶν δεικτῶν (βλ. Σχ. 209) θὰ ἴδωμεν ὅτι οἱ δεικται

αὐτοὶ ἀποδεικνύουν ὅτι ἡ πίεσις τοῦ ὕδατος ἐντὸς τοῦ διαπερατοῦ ὑλικοῦ ἔχει ἴσας τιμὰς κατὰ ὄριθιμῆνας γραμμὰς (διακεκομμένα ἰσοβαρῆ γραμμὰ εἰς τὸ Σχ. 209). Ὅτι εἶναι γνωστὸν καὶ ἐκ τῆς ὑ-



Σχ. 209

δραυλικῆς αἱ γραμμὰὶ αὐταὶ (1, 2, 3, ..., 6) καλοῦνται γραμμὰὶ ἴσου δυναμικοῦ (ἕκαστον σημεῖον εἰς ἐκάστην γραμμὴν δεικνυεὶ τὴν αὐτὴν πίεσιν, ἥτοι ὕψος εἰς τὸν πιεζομετρικὸν σωλῆνα P). Ἡ πῶσις τοῦ ὑδραυλικοῦ φορτίου ἀξιοῦδήποτε σημεῖου τῆς γραμμῆς 1 ὡς πρὸς ἀιονδήποτε σημεῖον τῆς γραμμῆς 2 εἶναι ἡ αὐτὴ ὁμοίως μεταξὺ 2 καὶ 3, 3 καὶ 4 καὶ οὕτως καθ' ἑξῆς:

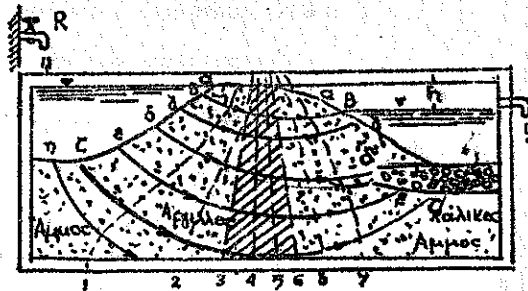
Αἱ ὄριαι καὶ γραμμὰὶ ἴσου δυναμικοῦ εἶναι αἱ αζ καὶ αζ', ἥτοι ἀντιπαραπληθεῖαι τοῦ ἐδάφους. (Ἐκεῖ ὅλα τὰ πιεζόμετρα δεικνύουσι σταθμὴν εἰς α) πρὸς τὰ ἀνάντη καὶ α' πρὸς τὰ κατάντη).

Ἐάν ἤδη εἰς τὴν παρεῖαν αζ φέρομεν δι' ὑδατίνων βελουῶν κρῶμα (συνήθως φθοροεῖνιν, fluorescine) εἰς διάφορα σημεῖα (α, β, γ, ..., η) θὰ παρατηρήσωμεν ὅτι ἡ ροὴ τοῦ ὕδατος διὰ μέσων τοῦ ὁμοιογενοῦς ὑλικοῦ λαμβάνει κῶρον κατὰ τὰς καρπύλας γραμμὰς αα', ββ', γγ', ..., ζζ'. Αἱ γραμμὰὶ αὐταὶ καλοῦνται γραμμὰὶ ροῆς

και τέμνονται καθέτως πρὸς τὰς γραμμὰς ἴσου δυναμικοῦ. Ἐφ' ὅσον ἑκάστη γραμμὴ ροῆς ἔχει διαφορετικὸν μῆκος, τὴν αὐτὴν δὲ ὑψομετρικὴν διαφορὰν εἰς τὰ ἄκρα αὐτῆς ($=h$) εἶναι φυσικὸν ἢ ταχύτης τοῦ ὕδατος νὰ εἶναι διάφορος (ἐφ' ὅσον καὶ τὸ K εἶναι τὸ αὐτὸ διὰ τὸ ὁμοιογενὲς ὕλικόν) εἰς ἑκάστην ἐξ αὐτῶν.

Διὰ ὁμοιόμορφον ὕλικόν τὸ τμήμα ἑκάστης γραμμῆς ροῆς μεταξὺ τῶν γραμμῶν ἴσου δυναμικοῦ εἶναι σχεδὸν σταθερόν. (Ἄρα διὰ σταθερόν K καὶ ἡ ταχύτης κατὰ μῆκος μίας γραμμῆς ροῆς θὰ εἶναι σταθερά.)

Ἐάν ἡ διατομὴ τοῦ φράγματος ἀποτελεῖται ἀπὸ διαφορετικὰ ὕλικα (Σχ. 210) τότε εἰς τὸ πλεόν λεπτόκοκκον ὕλικόν ἢ ἀπέωλεια ὑδραυλικοῦ φορτίου εἶναι μεγαλύτερα καὶ ἐπομένως αἱ γραμμαὶ ἴσου δυναμικοῦ εἶναι πλησιέστερον ἀλλήλων.



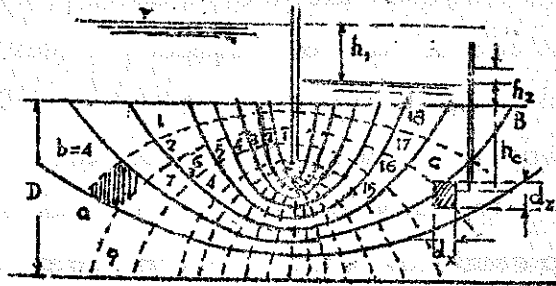
Σχ. 210: Φράγμα ἐκ διαπερατοῦ ὕλικου μέ ἀρχιλικὸν πυρῆνα καὶ καλικῶδες ἀντέρεισμα.

Τὸ ἀντίθετον συμβαίνει εἰάν τὸ ὕλικόν εἶναι πλεόν διαπερατόν, ὡς λ.χ. ἡ δεξιὰ πλευρὰ τοῦ σχήμ. 210 ἔνθα ὑπάρκει στρῶμα καλικῶν.

Εἰς περίπτωσιν καθ' ἣν ἐντὸς τοῦ ὁμοιογενοῦς ὕλικου ἤθελεν τοποθετηθεῖ λεπτόν ἀδιαπερατόν στρῶμα (πασσαλοδανίδων γραμμὴ ἢ τι παρόμοιον) λαμβάνουν κῶραν γραμμαὶ δυναμικοῦ καὶ ροῆς ἀνάλογαι πρὸς τὰς δημιουργουμένας συνθήκας.

Εἰς τὸ Σχ. 211 δίδεται μία τοιαύτη περίπτωσις. Ἐνταῦθα

καρπύσσονται όμοίως αί γραμμαί ροής υποδιαιρούσαι τό διαρ-
 ρεόμενον όμοιογενές υλικόν εις 9 τμήματα ($N_9 = 9$) και 18 γραμμαι



Σχ. 211. Ροή ύπερείου ύδατος εις όμοιογενές υλικόν διακοπτό-
 μενον υπό στεφανού τοίκου.

Ίσου δυναμικού υποδιαιρούσαι τήν διαφοράν δυναμικού h εις 18
 τμήματα ($N_8 = 18$) ήτοι ύψους $\Delta h = \frac{h_1}{18}$ έκαστον.

Εάν ήδη λάβωμεν έν άπειροστόν τμήμα $dx dz$ επί της δια-

σταυρώσεως των γραμμών ροής και

δυναμικού εις σημείον C και κα-

λέσωμεν U_x και U_z τάς προβολάς

εις τούς άξονας της ταχύτητος U ,

ή τό υδροστατικόν φορτίον τοῦ

σημείου και $i_x = \frac{\partial h}{\partial x}$ και $i_z = \frac{\partial h}{\partial z}$

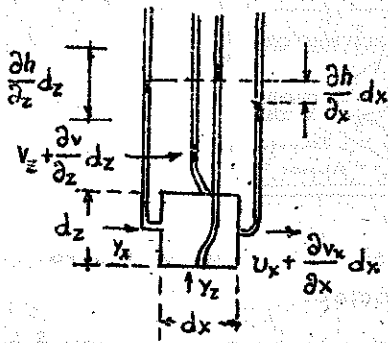
τήν πιώειν τοῦ φορτίου κατά τάς

όριζοντίους και κατακερτίφους

κατευθύνσεις θα έχωμεν τήν εί-

σερχομένην εις τό άπειροστόν

τμήμα $dx dy dz$ παροχήν (Σχ. 212).



Σχ. 212

Πίεσις εις σημείον G

$$U_x dz dx + U_z dx dy \quad (128)$$

και τήν έξερχομένην :

$$U_x dz dx + \frac{\partial v_x}{\partial x} dx dz dy + U_z dx dy + \frac{\partial v_z}{\partial z} dz dx dy \quad (129)$$

Ἡ δὴ δι' ἀσυμπίεστον ὑγρὸν καὶ διὰ σταθερὸν ὄγκον κενῶν, ἡ ποσότης τοῦ εἰσερχομένου καὶ ἐξερχομένου ὕδατος εἶναι σταθερά καὶ ἀπομένως ἴσχυει ἡ εὐκολοαπόδεικτος ἐκείσις :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u_z}{\partial z} = 0 \quad (130)$$

ἡ γνωστὴ ἐξίσωσις συνεχείας τῆς ὑδραυλικῆς (βλ. μαθήματα ὑδραυλικῆς).

Ἐκ παραλλήλου, ἐκ τῆς ἐξίσωσις τοῦ Darcy (ἐξ. 5 σελ. 32) προκύπτει :

$$u_x = K i_x = K \frac{\partial h}{\partial x} \quad \text{καὶ} \quad u_z = K i_z = K \frac{\partial h}{\partial z} \quad (131)$$

Ἐάν ἤδη λάβωμεν τὴν παράστασιν $\Phi = Kh$ δι' ἣν :

$$u_x = \frac{\partial \Phi}{\partial x} \quad \text{καὶ} \quad u_z = \frac{\partial \Phi}{\partial z}$$

καὶ εἰσαγάγωμεν τὰς τιμὰς εἰς τὴν ἐξίσωσιν (130) ἔχομεν :

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} = 0 \quad (132)$$

τὴν γνωστὴν ἐξίσωσιν τοῦ Laplace, ἣτις γραφικῶς παριστάνει τὸ δίκτυον τῶν ὀρθῶς ἀλληλοτεταραμένων γραμμῶν ροῆς καὶ δυναμικοῦ. Ἡ παράστασις $\Phi = Kh$ καλεῖται δυναμικὸν τῆς ταχύτητος.

Εἶναι εὐκόλον γὰ εὐρωμεν ἤδη τὴν πίεσιν εἰς οἰονδήποτε σημεῖον A ἐλαττωμένη κατὰ $1/19 h$, ἢ ὡς εἰς τὸ σημεῖον β αὐδανομένη κατὰ $2/19 h$, (βλ. Σχ. 211).

Ἡ παροχὴ τοῦ διηθουμένου ὕδατος δύναται γὰ ὑπολογισθῆ ἤδη εὐχερῶς.

Ἡ ὑδραυλικὴ κλίσις μεταξὺ δύο διαδοχικῶν καμπύλων ἴσου δυναμικοῦ εἰς σημεῖον ἐνθα αὐτὰ ἀπέχουν κατὰ a θὰ εἶναι (βλ. διαχρωμιζόμενον τετράγωνον τοῦ Σχ. 211).

$$i = \frac{\Delta h}{\alpha} \quad (133)$$

όποτε η ταχύτης θα είναι :

$$v = K_1 = K \frac{\Delta h}{\alpha} = \frac{K}{\alpha} \cdot \frac{h_1}{Nd}$$

και η διά του τετραγώνου παροχή :

$$\Delta Q = b v = K \cdot \frac{b}{\alpha} \cdot \frac{h_1}{Nd}$$

Συνήθως κατά την κατασκευήν του δικτύου επιδιώκομεν και επιτυγχάνομεν $\alpha = \beta$ όποτε η όλική παροχή του διαρρεομένου στρώματος θα είναι ανά μονάδα πλάτους του φράγματος :

$$Q = N_p \cdot \Delta Q = K h_1 \frac{NF}{Nd} \quad (134)$$

Υπολογιζομένη εύκερως εύθως ως κατασκευασθῆ τὸ δίκτυον ροῆς.

Ἐάν ἐκ παραλλήλου ἐξετάσωμεν τὸν κῦβον α^3 (διαγραμμισμένον τμήμα τοῦ Σχ. 211) βλέπομεν ὅτι αἱ δύο ἄκμαι αὐτοῦ αἱ κάθετοι πρὸς τὴν διεύθυνσιν τῆς ροῆς ὑφίστανται πιέσεις αἵτινες παρουσιάζουν διαφορὰν :

$$P_5 = \alpha^2 (15 \Delta h \cdot \gamma - 14 \Delta h \cdot \gamma) = \alpha^3 \frac{\Delta h}{\alpha} \gamma = \alpha^2 i \gamma \quad (135)$$

ἢ εἰς τὴν μονάδα ὄγκου πιέσις :

$$P_5 = i \gamma \quad (136)$$

ἀσκεῖται ὑπὸ τοῦ ρέοντος ὕδατος ἐπὶ τοῦ ἐδάφους καλεῖται πίεσις διηθήσεως (seepage pressure) καὶ ἔχει διαστάσεις μονάδος βάρους $[kg/cm^2]$ (κλίσις τῆς πιεζομετρικῆς γραμμῆς τῆς ὑπ' ὄψιν εὐθείας ροῆς).

γ) Σωληνοειδέεις διαφυγαί .

Ὡς ἐλέχθη ἀνωτέρω τὸ διηθούμενον ὕδωρ παρασύρον ευστατικά τοῦ ἐδάφους δι' οὗ ρέει δύναται νὰ δημιουργήσῃ σωληνοειδῆ κενὰ (piping, phenomenon de renard) ἐντὸς αὐτοῦ καὶ νὰ προκαλέσῃ τὴν καταστροφὴν τοῦ φράγματος .

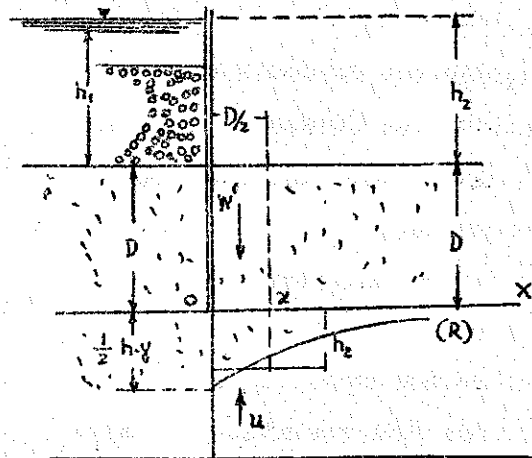
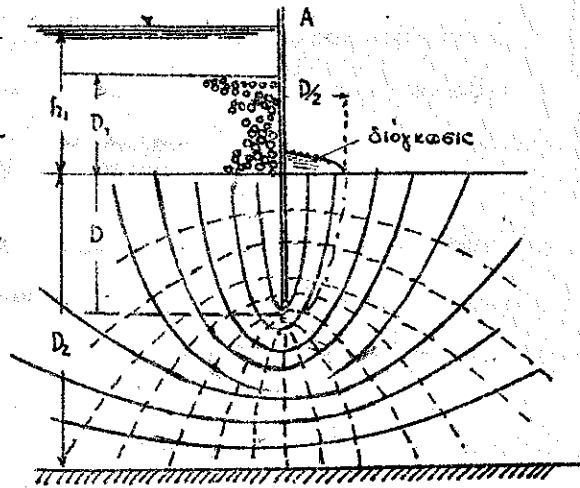
Τὰ κενὰ ταῦτα δημιουργοῦνται εἴτε διὰ βαθμιαίας φθορᾶς τοῦ ἐδάφους (ὅποτε δὲν εἶναι δυνατόν νὰ ὑπολογισθῶσιν) ἢ δύναται νὰ δημιουργηθῶσι διὰ

τῆς διογκώσεως τοῦ ἐδάφους μετὰ τοῦ κάτωθεν ρέοντος ὕδατος ὅποτε τίθεται τὸ ἔδαφος ἐν ροῇ μετακινούμενον δὲ δημιουργεῖ κενὰ, καταπτώσεις καὶ καταστροφὴν τοῦ φράγματος .

Εἰς περιπτώσιν ἀμμιώδους ἐδάφους ἢ οὕτω μετακινουμένη διὰ διογκώσεως τῶν κενῶν αὐτῆς ἄμμος καλεῖται ὑδαρῆς ἄμμος (quick-sand) δυναμένη νὰ ἀπορροφήσῃ τυχόν βάρη ἀντικείμενα ἐντὸς αὐτῆς .

Εἰς τὸ Σχ. 213 ἐκαράχθη διὰ τὸ ἐπίπεδον OX ἡ καμπύλη π τῶν πιέσεων διηθήσεως (ὡς ἀνωτέρω) .

Ἐάν λαβωμεν ὑπ' ὄψιν



Σχ. 213 Δημιουργία σωληνοειδοῦς διὰ διογκώσεως

ὅτι πειραματικῶς εὐρίσκεται συνήθως ἡ θαλασσοειδῆς διογκωσις ἔκρουσα πλάτος $D/2$ (τὸ ἥμισυ τοῦ βάρους D) τότε ἡ ἰσορροπία τοῦ πριέματος $O\alpha\beta\gamma$ θὰ ἐξαρτᾶται ἐκ τοῦ συντελεστοῦ ἀσφαλείας δι-
 δομένου ἐκ τοῦ λόγου :

$$\Sigma = \frac{\text{βᾶρος ἄμμου } W'}{\text{ὑδροστατ. πιεσις } M} = \frac{\frac{1}{2} D^2 \cdot \gamma'}{\frac{1}{2} D\gamma \cdot h} = \frac{D\gamma'}{\gamma h \alpha} \quad (197)$$

τὸ ἢα γραφικῶς μέση τιμὴ ὑπὸ τὸ πλάτος $\frac{D}{2} \cdot \gamma' = \gamma_i - \gamma$.

Ἐξ ἄλλου ὁ Harza δίδει τὴν κρίσιμον κλίσην τῆς πνεσο-
 μετρικῆς γραμμῆς, διὰ τὴν ὁποίαν δύναται νὰ ἀρχίσῃ ἡ ἄμμος νὰ
 τίθεται εἰς κίνησιν διὰ τοῦ τύπου :

$$i_F = \frac{h}{L} = (1-p)(\gamma_i - 1) \quad (198)$$

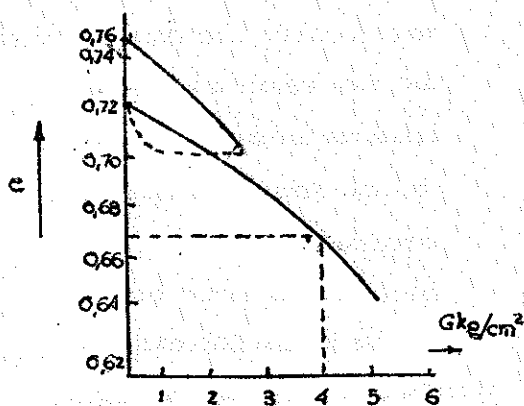
ἐνθα p τὸ πορῶδες τοῦ ἐδάφους καὶ γ_i τὸ εἰδικὸν βᾶρος αὐτοῦ.
 (Ἦτοι ὁ πραγματικὸς ὄγκος ὑλικοῦ $(1-p)$ πολῦμένος ἐπὶ τὸ ἐν τῇ
 ὕδατι βᾶρος $(\gamma_i - 1)$).

3-6: Ἡ καθίζησις τῶν κωματίνων ἔργων.

Ἡ καθίζησις τῶν κωματί-
 νων φραγμάτων θὰ ἐξαρτᾶται
 ἀπὸ τὴν σύνθεσιν τοῦ ὑλικοῦ
 καὶ τὰς δυνάμεις πυκνοποιήσε-
 ως, αἵτινες ἐφαρμόζονται ἐπ'
 αὐτοῦ.

Ἡ ἑκατοστιαία ἀναλογία
 ἀλλαγῆς ὄγκου ἢ ὀφειλομέ-
 νη εἰς πυκνοποίησιν θὰ εἶ-
 ναι (βλ. τὴν ἐξίσωσιν 93):

$$\frac{e_1 - e_2}{1 + e_1}$$



Σχ. 213^α Πυκνοποιήσις δείγμα-
 τος παιπαλικῆς ἀργίλλου

καί διά τό πάχος κώματος h ἡ ὀλική καθίζησις S θά εἶναι :

$$S = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_1} \cdot h$$

Οὕτω ἄς λάβωμεν ὡς παράδειγμα φράγμα ὕψους 21,30 μ. (κατακόρυφος πίεσις εἰς τό μέσον αὐτοῦ 4 kg/cm^2) καί ἄς ὑποθέσωμεν ὅτι τό πλαστικόν ὑπεδάφους πάχους 15,25 μ. σύχκεται ἐκ παικτικῆ ἀργίλλου, τῆς ὁποίας ἡ καμπύλη πυκνοποιήσεως δίδεται εἰς τό Σκ. 213^α. Τότε ἡ καθίζησις τοῦ ὑπεδάφους θά εἶναι :

$$S = \frac{0,75 - 0,67}{1,75} \cdot 15,25 = 0,70 \text{ m}$$

ἥτοι τό φράγμα δεόν νά κατασκευασθῆ κατά 0,70 m ὑψηλότερον διά νά ἔλθῃ τελικῶς εἰς τήν θέσιν του.

Ἡ ὡς ἄνω μέθοδος προϋποθέτει ὅτι ἡ πίεσις 4 at θά εἶναι ὁμοιόμορφος ἐπὶ τοῦ πλαστικοῦ ὑπεδάφους, ὅπερ δέν θά συμβῆ εἰς τήν πραγματικότητα καί ἡ ὡς ἄνω ἐκτίμησις περιέχει συντελεστήν ἀσφαλείας οὐσιώδους μεγέθους.

3-7 Αἱ ὑπὸ τῶν ἐδαφῶν παραλαμβανόμεναι τάσεις

Ἡ ἔρευνα τῆς μεταβιβάσεως καί τῆς διανομῆς τῶν φορτίσεων ἐντός τῶν ἐδαφῶν τῶν δημιουργουμένων τάσεων ὡς καί τῶν ὑπὸ τῶν ἐδαφῶν δυναμένων νά παραληφθῶσι τάσεων, ἄνευ κινδύνου τῶν ἔργων ἀποτελεῖ τό κεντρικόν μέλημα ἡμῶν προκειμένων κωματίνων φραγμάτων διά τήν μελέτην τόσον τοῦ κωματουρχικοῦ ἔργου ὅσον καί τοῦ βασιτάζοντος ὑπεδάφους.

Δεόν ὅθεν διά τήν σύνταξιν τῆς μελέτης νά ἐρευνήσωμεν τὰς ἰδιότητες τοῦ φέροντος ἐδάφους ὡς καί τοῦ ὑλικοῦ ἐξ οὗ θά κατασκευασθῆ τό φράγμα, ἰδίᾳ διά τὰς ἰδιότητας ἐκείνας αἰ-

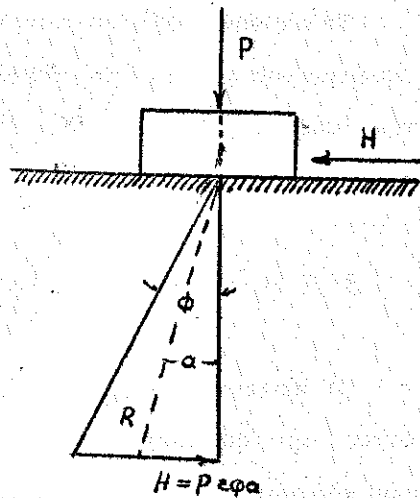
τινες θα προκύψουν διά τας συνθήκας υπό τας οποίας θα κατασκευασθῇ τὸ φράγμα.

Πλὴν τῆς επουδῆς διανομῆς τῶν τάσεων προβάλλει ὁμοίως τὸ θέμα τῶν τρόπων ἐρχοστηριακῆς δοκιμῆς τῶν διαφορῶν ὑλικῶν δομῆς τῶν φραγμάτων, ὑπό τας συνθήκας κατασκευῆς αὐτῶν, διὰ τὸν προεδιορισμὸν τοῦ τρόκου συμπεριφορᾶς αὐτῶν καὶ τὸν προεδιορισμὸν τῆς ἀσφαλείας τοῦ ἔργου. Ἡ ἐρευνα αὕτη ἀφορᾷ τέσον τὰς τάσεις διατμήσεως ὅσον καὶ τὰς κυρίας τάσεις.

α. Αἱ τάσεις διατμήσεως τῶν ἐδαφῶν.

α.α. Γενικαὶ ἐννοιαί, συσκευαί, τύποι δοκιμῶν.

Ὡς εἶναι γνωστὸν, εἰν σῶμα ὑπό κατακόρυφον φόρτισιν P , εὐρίσκεται ὑπό τὴν ἐπίρροήν ὀριζοντίας ἀθήσεως H ἢ συνισταμένη τῶν δύο δυνάμεων R σχηματίζει γωνίαν α , ἣτις ἀεξινομένης τῆς ὀριζοντίας ἀθήσεως θα λάβῃ τελικῶς μίαν τιμὴν ϕ δι' ἣν θα ἀρχίσῃ ἢ ὀλίθησις, ἐπὶ τῆς ἐπιφανείας τῆς βάσεως τοῦ F , ὁπότε :



Σχ. 214

ὀλίθησις

$$H = P \epsilon \phi \phi \text{ καὶ ἐπειδὴ } \begin{cases} P = \sigma \cdot F \\ H = \tau \cdot F \end{cases}$$

θα ἔχωμεν :

$$\tau = \sigma \cdot \epsilon \phi \phi \quad (139)$$

ἢτοι ἡ μεγίστη διατμητικὴ δύναμις εἶναι συνάρτησις τῆς κατακόρυφου πιέσεως.

Τό φαινόμενον τῆς ὀλισθήσεως εἶναι ἀρκετά πολυπλοκόν γενικῶς, γίνεται ὅμως ἐπί πολυπλοκώτερον προκειμένου περί ψαθυρῶν ὑλικῶν ὅπου ἡ ἀλληλοκλειδώσις (interlocking) τῶν κόκκων ἐπηρεάζει τὰς τριβὰς μεχάλας.

Ἄλλο ἐπιπλέον ἐπιρροῆς εἶναι ἡ παρουσία ὕδατος περιλαμβάνοντος τοὺς κόκκους τοῦ ἐδάφους, ἥτις μεταβάλλει μεχάλας τὴν τριβὴν. Τό ὕδωρ εἶναι γνωστόν ἀντιλιπαντικόν καί αὐθαίνει μεχάλας τὰς τριβὰς εἰς ὠριθμένα ὑλικά (ὑδροφιλά ως λ.χ. ἡ ἄμμος) ἢ ἐλαττώνει ταῦτα εἰς ἄλλα (ὑδροφόβα ἢ ὕδατοπαυστικά ως ὁ τάλκης) οὕτω ὁ λόγος $\frac{\tau}{\sigma}$ εἶναι 4,5 φορές μεγαλύτερος εἰς ὑγρὰν (ἢ ἐμβαπτισμένην ἄμμον) παρά εἰς ξηράν. Ἀπεναντίας ὁ λόγος $\frac{\tau}{\sigma}$ εἶναι 20-30% μεγαλύτερος εἰς ξηρόν πυροφυλλίτην ἢ εἰς ἐμβαπτισμένον ἐν ὕδατι.

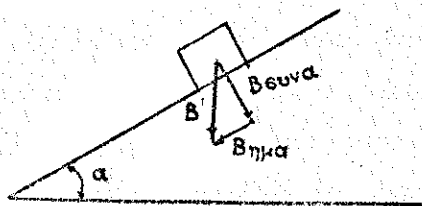
Πλὴν ὅμως τῆς διατμητικῆς τάσεως, ἥτις ἀναπτύσσεται εἰς τὰ κόμματα ἐκ τῆς κατακορύφου φορτίσεως ἔχουσιν τὰ πλείστα τῶν ἐδαφῶν τὴν ἰκανότητα ἀντοχῆς εἰς διάτμησις λόγφ τῆς συνεκτικότητος αὐτῶν (cohesion) καί ἡ τιμὴ αὐτῆς ἐξαρτᾶται ἐκ τοῦ εἴδους τοῦ ἐδάφους τῆς καταστάσεως αὐτοῦ (σχετικὴ πυκνότης, περιεκτικότης εἰς ὑγρασίαν, ἠλεκτροχημικαὶ δυνάμεις κ.λ.π.).

Ἐν τοιαύτῃ περιπτώσει ἡ ἐξίσωσις 139 λαμβάνει τὴν γενικὴν μορφήν :

$$\tau = c + \sigma \epsilon \phi \quad (140)$$

ἥτις εἶναι ἡ ἐξίσωσις τοῦ Coulomb δοθεῖσα ὑπ' αὐτοῦ τὸ 1776.

Ἐάν ἤδη τὸ ἀνωτέρω ὀλισθαῖνον σῶμα κεῖται ἐπὶ ὑπογωνίαν α κεκλιμένης ἐπιφανείας τότε ἡ ἐφαπτομενικὴ συνιστώσα βάρους τείνει νὰ προκαλέσῃ ὀλισθήσιν εἰς τὴν ὀ-



Σκ. 215 Γωνία ὀλισθήσεως

μωσ αντιδρά η τριβή της καθέτου συνιστώσης επί της επιφανείας, ήτοι η Β συν α. εφ Φ.

Εάν αυξησθ η γωνία α τότε διά μιάν μεγίστην τιμήν αυτής α_m θα λαβη κώραν η ολισθήσει και τότε θα έχωμεν τήν ισότητα :

$$B\eta\mu\alpha_m = B\theta\upsilon\alpha_m \epsilon\phi\Phi \quad (141)$$

$$\eta \quad \epsilon\phi\alpha_m = \epsilon\phi\Phi \quad \eta \quad \alpha_m = \Phi \quad (142)$$

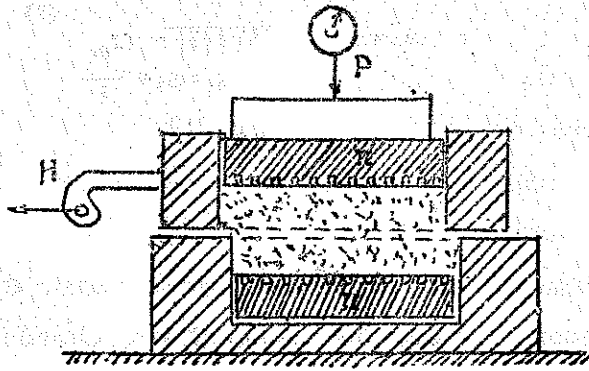
Διά σφαιρικόν σώμα β η γωνία θα είναι μικροτέρα λόγω κυλίσεως. Είς τά κοκκώδη έδαφη λαμβάνουν κώραν φαινόμενα ολισθήσεως, κυλίσεως και αλληλοκλειδώσεως ότινα καθιστούν τό φαινόμενον πολυπλοκώτατον. Η γωνία α_m = Φ είναι γνωστή γωνία του φυσικού πρανούς. Υπάρχουν όθεν καθαρώσ διαγραφόμενα περιπτώσεις (καθαρά όμοιόμορφος άμμος) όπου η γωνία Φ της έξιείσεως (140) θα ή δύνατο να προσδιοριθῆ διά της εύρέσεως της γωνίας του φυσικού πρανούς.

Είς τάς πλείστας όμως των περιπτώσεων φυσικων έδαφών διαφόρων ιδιοτήτων (κοκκομετρικής συνθέσεως, πυκνότητος, υγρασίας ιόντων, έναλλαγῆς βάσεως κ.λ.π.) δεόν να ει εε. είς θέειν να προσδιορίσωμεν τήν γωνίαν Φ πειραματικώς και τουτο γίνεται διά δύο τύπων κυρίως συσκευών και διά της συσκευῆς άμέσων διατμητικων δοκιμών (tri axial shear test) διά των οποίων επιτυγχάνονται διαφόρων κατηγοριών δοκιμαί των έδαφών.

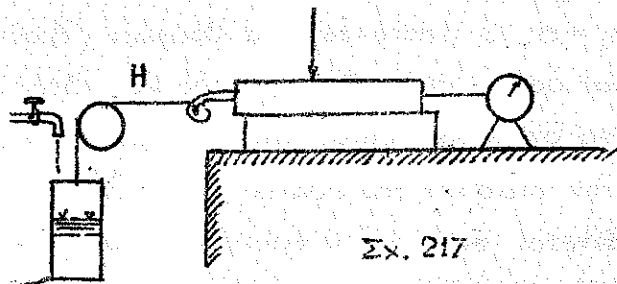
Η γενική διάταξις της συσκευῆς άμέσων διατμητικων δοκιμών έμφαίνεται εις τό Σχ. 218. Τό δείγμα του έδαφους τίθεται μεταξύ δύο όριζοντίων μεταλλικων δακτυλίων εκ των οποίων ο κατώτερος είναι συνήθως σταθερός και ο ανώτερος κινητός υπό τήν επήρειαν όριζοντίου δυνάμεως. Κατά τήν κίνησιν τό δείγμα υφίσταται καθαράν διάτμησιν. Τό δείγμα

συμπιέζεται μεταξύ δύο πλακών Π, Π αΐτινες φέρουσιν έντομάς (ή προεδέκουσας λεπίδας) δια τήν πλήρη πάκτωσιν του δείγματος ή άνω δέ πλάε μεταβιβάζει κατακόρυφα φορτία επί του δείγματος . Οι πλάκες δύνανται να είναι εκ πορώδους υλικού δια τήν σύγχρονον άποστράγγισιν του δείγματος κατά τήν πυκνοποίησιν αυτού λόγω των κατακορύφων φορτίων.

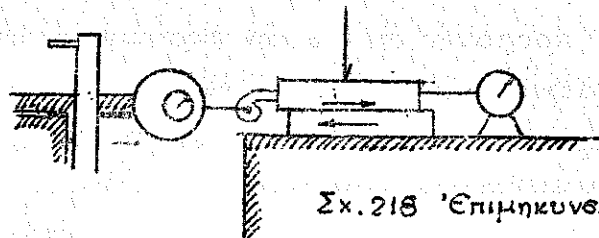
Η εφαρμογή της όριζοντίας δυνάμεως Η γίνεται ή διά συνεχούς αύξήσεως αυτής (ώς εις τό Σχ. 217) ή δι' έλεγχομένης κατά διακεκριμένα ποσά κλιμακωτής αύξήσεως αυτής (βλ. Σχ. 218).



Σχ. 216 Συσκευή άμέσων διατμητικών δοκιμών



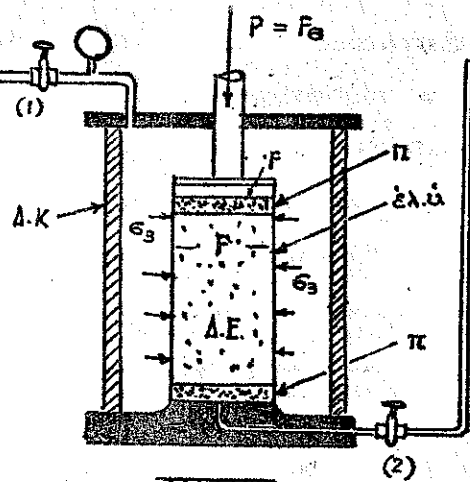
Σχ. 217



Σχ. 218 Έπιμηκυνσίόμετρον

Ἐξ ἄλλου ἡ εὐσκευὴ τριαξονικῶν διατμητικῶν δοκιμῶν δίδεται εἰς τὸ Σχ. 219.

Τὸ δείγμα τοῦ ἐδάφους (Δ.Ε.) περιβαλλόμενον ὑπὸ λεπτοῦ ἐλαστικοῦ ὑμένους (ἐλ.ὑ.) τοποθετεῖται ἐντὸς τῆς εὐσκευῆς ἀποτετιζομένης ἀπὸ διαφανῆ πλαστικὸν κυλινδρὸν (Δ.Κ.) καλυπτόμενον ὑπὸ δύο πορωδῶν πλακῶν π.



$$\sigma_1 = \sigma_3 + \frac{P}{F}$$

Σχ. 219

Τὸ Δ.Ε. ὑπόκειται νῦν εἰς τάσεις $\sigma_2 = \sigma_3$ (κατὰ τὴν ὀριζοντίαν ἔννοϊαν) ρυθμιζομένης διὰ τοῦ σωλήνος (1)

Ἐξοπλισμὸς τριαξονικῶν δοκιμῶν.

φέροντος δείκτην πίεσεως καὶ εἰς κατακορυφούς τάσεις σ_1 , ρυθμιζομένης ὑπὸ τοῦ φορτίου P καὶ τῶν τάσεων $\sigma_2 = \sigma_3$. Οἷοςδήποτε συνδιασμός $\frac{\sigma_3}{\sigma_1}$ εἶναι δυνατός. Ἐπιπέως εἶναι δυνατόν νὰ θέσωμεν $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma$. Τὰ ἀποτελέσματα δοκιμῶν (θραῦσις εἰς διατμήσειν) εἶναι ὀρατὰ διὰ τοῦ διαφανοῦς κυλινδρῶν. Τὸ δείγμα δύναται νὰ ἀποστραγγίζετα διὰ τοῦ διακόπτου (2) (φέροντος καὶ δείκτην στάθμης τοῦ ὕδατος) ἢ καὶ ὄχι.

Ὡς ἐμφαίνεται ἐκ τῶν ἄνω εὐσκευῶν κατὰ τὴν ἐκτέλεσιν τῶν δοκιμῶν ἐφαρμόζεται κατ' ἀρχὴν ἓνα κατακορυφόν φορτίον $P = \sigma \cdot F$, εἶναι δὲ ἡ διατμητικὴ φόρτισις $H = T \cdot F$.

Εἶναι προφανές ὅτι διὰ τῶν φορτίων τούτων μεταβάλλεται ἡ ἀναλογία τῶν κενῶν ἐνῶ ἐκ παραλλήλου αἰτρίβαί τοῦ τυχόν ὑπάρχοντος ὕδατος διὰ τῶν κενῶν ἐπιβραδύνει τὰ φαινόμενα.

μενα , καί δὴ κατ'ἀναλογίαν πρὸς τὴν πυκνοποίησιν τοῦ ἑδάφους τὴν διαπερατότητα αὐτοῦ, τὴν ἐστράγγισιν τοῦ δείγματος καὶ τοῦ τρόπου ἐφαρμογῆς τῶν δυνάμεων . Οἱ συντελεστοὶ οὗτοι λαμβάνονται ὑπ'ὄψιν κατὰ τὰς δοκιμὰς, αἵτινες καὶ χαρακτηρίζονται ἀναλόγως τῶν ἰσχυρῶν ἐκάστοτε εὐθηκῶν κατὰ τὴν ἐκτέλεσίν των.

Οὕτω ὁ A.Casagrande συνιστᾷ τὴν ἀκόλουθον ταξινομήσιν τῶν δοκιμῶν διατμήσεως .

1- Ταχ εἶα δοκιμὴ (Quick-test Q). Κατ'αὐτὴν δὲν ἐστράγγιζε-ται τὸ ὕδωρ κατὰ τὴν ἐφαρμογὴν τῶν P καὶ H, ἐπιτελεῖται δ' αὐτὴ ἐντὸς ἐλαχίστου χρόνου . Ἡ δοκιμὴ ἐκτελεῖται καλλίτερον διὰ τῆς συσκευῆς τοῦ Σχ. 219 (τριαξονικὴ συσκευή) κλειομένου τοῦ διακόπτου 2 .

Ἡ μέθοδος αὕτη χρησιμοποιοῦνται πρὸς ἐρευναν τῆς ἐντατικῆς καταστάσεως εἰς φυσικὰ κώματα φραγμάτων εὐθύς ἀμέσως κατὰ τὴν κατασκευὴν αὐτῶν καὶ μετὰ τὴν κατασκευὴν αὐτῶν καὶ μετὰ τὴν φυσικὴν κατάστασιν περιεχομένης ὑγρασίας . Ἡ δοκιμὴ διαρκεῖ 3-5 πρῶτα λεπτά .

2- Πυκνοποιηθεῖα ταχεῖα δοκιμὴ (Consolidated quick test Qc). καθ' ἣν τὸ δείγμα πυκνοποιεῖται τελείως, ὑπὸ κατακόρυφον φόρτισιν καὶ ὑποβάλλεται ἐν συνεχείᾳ εἰς διάτμησιν μετὰ τὸ αὐτὸ περιεχόμενον ὕδατος (ἀνευ ἐστράγγισεως) . Ἡ δοκιμὴ ἐπιτελεῖται καὶ διὰ τῶν ὀψὲς ὡς ἄνω συσκευῶν (Σχ. 218 καὶ 219) καὶ χρησιμοποιοῦνται πρὸς διαπίστωσιν τῆς ἐντατικῆς καταστάσεως ἧτοι θὰ προκύψῃ εἰς μίαν κατασκευὴν πυκνοποιημένην ὑπὸ τὸ ἴδιον βάρος ἢ τεχνητῶς, καθ' ἣν δὲν προλαμβάνει νὰ ἀπομακρυνθῇ τὸ ὕδωρ (ἀρχιλλικαὶ ἐπικώσεις) . Ἡ πυκνοποίησις τοῦ δείγματος δεόν νὰ εἶναι ἀνάλογος πρὸς τὴν εἰς φυσικὸν μέγεθος ἀναμενομένην.

3- Βραδεῖα δοκιμὴ (Slow test, S) κατὰ τὴν ὁποίαν μετὰ τὴν πλήρη πυκνοποίησιν τοῦ δείγματος ὑπὸ κατακόρυφον φόρτισιν (ὡς εἰς προηγουμένην δοκιμὴν) ἐφαρμόζεται βραδέως

ἡ ὀριζοντία ᾗθησις Η εἰς μικράς προσαυθήσεις καὶ κατὰ περιόδους ἀρκετὰ μακράς ὥστε νὰ ἀποκαθίσταται ἰσορροπία τοῦ ἐδάφους μεταξὺ αὐτῶν καὶ νὰ δημιουργεῖται ἡ εὐκαιρία ὥστε νὰ σφραχίζεται τὸ ὕδωρ καὶ εἰς τὰ πλέον ἀδιαπέρατα ὑλικά.

Βραδεῖαι δοκιμαὶ διαρκοῦν ἐνίοτε ἕνα μῆνα καὶ πλέον. Ἡ δοκιμὴ αὕτη εἶναι ἐνδεικτικὴ τῆς συμπεριφορᾶς τοῦ ὑλικοῦ μετὰ πλήρη πυκνοποίησην αὐτοῦ ἐπὶ τόπου τοῦ ἔργου.

4 - Ἐλευθέρα δοκιμὴ συμπίεσεως (Unconfined compression test, u). Αὕτη ἐφαρμόζεται κυρίως εἰς ἀρχιλλικά ἐδάφη, καὶ τὸ δείγμα ἐπιφορτίζεται μὲ μίαν μόνον τάσιν σ_1 , ἐνῶ $\sigma_2 = \sigma_3$ (βλ. συσκευὴν τριαξονικῆς φορτίσεως, ἥτις καὶ μόνη ἐφαρμόζεται διὰ τὴν δοκιμὴν ταύτην Σχ. 219) μέχρι θραύσεώς εἰς διάτμησιν. Εἰς κεκορεσμένα δείγματα ἀρχίλλου τὰ ἀποτελέσματα εἶναι παραπλήσια πρὸς τὰ τῆς δοκιμῆς Q (βλ. πρώτην δοκιμὴν ἀνωτέρω) ἐφ' ὅσον διαρκοῦν 10 ἕως 20 λεπτά.

Σύγκρισις τῶν ἀνωτέρω δοκιμῶν καταδεικνύει ὅτι διὰ κεκορεσμένα συνεκτικὰ ἐδάφη αἱ βραδεῖαι δοκιμαὶ δίδουν τὴν μεγαλύτεραν ἀντοκίην εἰς διάτμησιν, αἱ ταχεῖαι τὴν μικροτέραν αἱ δὲ πυκνοποιηθεῖσαι ταχεῖαι μέσας τιμὰς.

Εἰς στραγγιζόμενα δοκίμια ἡ ἀντοκίη εἰς διάτμησιν αὐθαίνει ἐφ' ὅσον ἐλαττοῦνται ὁ ρυθμὸς μεθ' οὗ ἐφαρμόζεται ἡ δύναμις διατμήσεως.

α. β. Ἀποτελέσματα δοκιμῶν καὶ σπουδὴ αὐτῶν.

Ὡς προκύπτει ἐκ τῆς ἐξισώσεως Coulomb:

$$\tau = c + \sigma \cdot \epsilon \phi \quad (140)$$

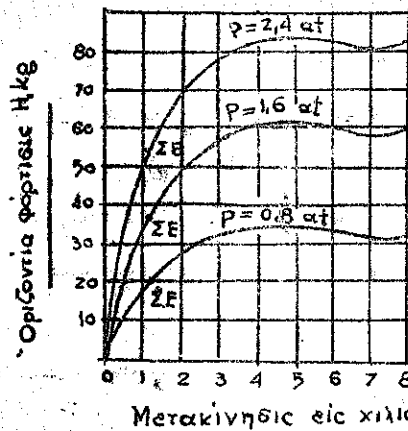
ὁ ὑπολογισμὸς τῶν τάσεων εἰς χωμάτινα ἔργα δύναται νὰ ἐπιτευχθῇ ἐφ' ὅσον προσδιορισθοῦν τὰ μεγέθη c καὶ ϕ διὰ τὸ ὑλικόν ὡς καὶ ἡ μεταβολὴ αὐτῶν λόγῳ πυκνοποιήσεως ἢ συμπυκνώσεως ὡς καὶ δι' αὐξομειώσεως ὑδατοπεριεκτικότητος.

Ἡ εὐθεῖα τῆς ἐξίσωσης (140) προκειμένων ἀρχιλλικῶν παιπαλικῶν ἢ ἀναμικτῶν κομμάτων περιεχόντων τὰ δύο ταῦτα συστατικά, τέμνει τὸν ἄξονα τεταχμένον εἰς σημεῖον καθορίζον τὸ μέγεθος C ἔχει δὲ κλίειν πρὸς τὸν ἄξονα τεταχμένον δίδουσαν τὴν γωνίαν ϕ . Εἰς περιπτώσειν καθαρῶς ἀμμωδῶν ἐδαφῶν ἡ εὐθεῖα αὐτὴ διέρχεται διὰ τῆς ἀρχῆς τῶν συντεταχμένων, ἥτοι $C = 0$, ἡ δὲ κλίσις αὐτῆς (ἂν δὲν ληφθῇ ἡ φαινομενικὴ παρουσιαζομένη ἐνίστη συνεκτικότης) ἰσοῦται μὲ τὴν γωνίαν φυσικοῦ πρηνούς.

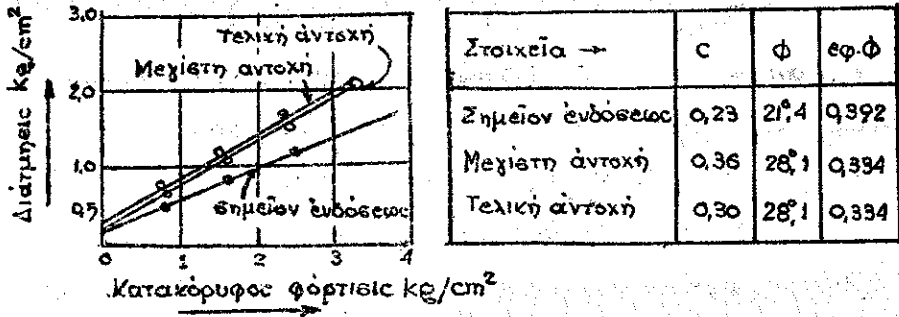
Εἰς τὸ Σχ. 220 δίδονται τὰ ἀποτελέσματα δοκιμῆς δείγματος ἀρχιλλικῆς ἀμμωδούς παιπάλης εἰς ὃ ἐφηρμόζετο διάφορος κατακόρυφος φόρτισις P καὶ ἐμετράτο ἡ ὀριζοντία μετακίνησις εἰς χιλιοστά διὰ διαφόρους ὀριζοντίας φορτίσεις H .

Ἡ μετακίνησις αὐξάνει βαθμιαίως μέχρι τοῦ σημείου ἐνδόσεως $\Sigma.Ε.$ (Yield Point) καὶ ἐσακόλουθεῖ μέχρι ἐνός μεγίστου πέραν τοῦ ὁποίου ἐλαττοῦται ὀλίγον καὶ μεταβάλλεται ἀσυμπτωτικῶς. Τὰ αὐτὰ σημεία (ἐνδόσεως, μέγιστον καὶ ἀσυμπτωτικῶς) μεταφερόμενα εἰς τὸ ἐκῆμα 221 δίδουν τὰς ἐξισώσεις (140) τοῦ δείγματος διὰ τὰς τρεῖς αὐτὰς καταστάσεις. Ἐξ αὐτῶν προκύπτουν αἱ σταθεραὶ c καὶ ϕ τοῦ δείγματος.

Εἰς τὰς δοκιμὰς διατμήσεως διὰ τῆς συσκευῆς ἀμέσων δοκιμῶν ἡ τάσις I προσδιορίζεται ἀμέσως δι' ἕκαστον σημεῖον θραύσεως τοῦ δοκιμίου εἰς τὰς ἀντιστοιχοῦς σ . Ἄλλως



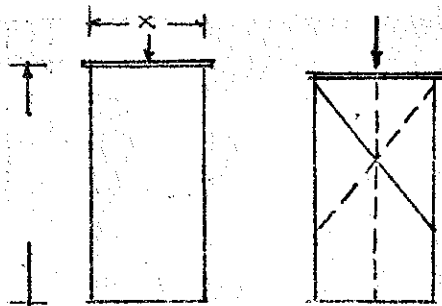
Σχ. 220. Συσχέτισις φορτίων μετακινήσεως ἀρχιλλικῆς ἀμμωδούς παιπάλης.



Σχ. 221 Συσκέτισις γ, σ και προεδιορισμός c και φ.

έξετάζονται όμως τα δοκίμια εις την συσκευήν τριαξονικών τάσεων όπου το περιβαλλόμενον υπό του ελαστικού έμμενος δείγμα υπέκειται εις τας τάσεις $\sigma_2 = \sigma_3$ και εϊτα εις τήν φόρτισιν σ_1 , μέχρι έπελεύσεως της θραύσεως εις διάτμησιν κατά μίαν κεκλιμμένην γραμμήν (Σχ. 222). Ο καθορισμός των τάσεως σ_1 και $\sigma_2 = \sigma_3$ κατά την θραύσιν προεδιορίζει νυν τήν κλίσιν της γραμμής θραύσεως, τας διατμητικάς τάσεις τ και τήν γωνίαν φ και τόν συντελεστήν συνεκτικότητας έμμεως.

Πράγματι θεωρήσωμεν ένα δοκίμιον υποβαλλόμενον εις τας όριζοντιούς πιέσεις $\sigma_2 = \sigma_3$, και τήν κατακόρυφον σ_1 , θραυόμενον κατά τήν γωνίαν α και λάβωμεν ένα διαφορικόν πρίσμα ούτινος ζητήσωμεν τήν ίσορροπίαν (Σχ. 223).



Σχ. 222. Θραύσις δοκιμίων εις τριαξονικήν συσκευήν διατμήσεως

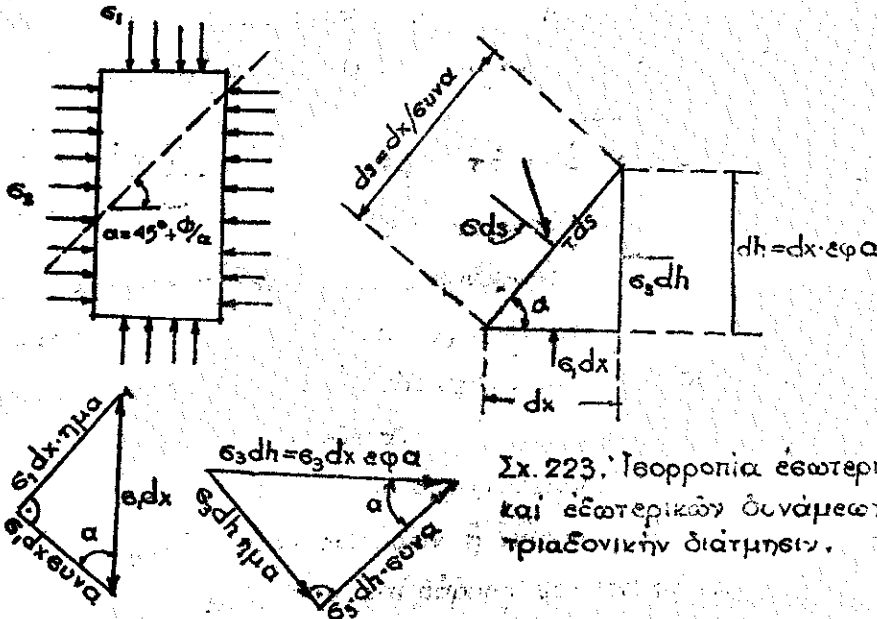
Η κάθετος δύναμις εις τήν υποτεινούσαν της τομής τού πρίσματος θα έχη τήν τιμήν :

$$\sigma \cdot ds = \sigma \cdot \frac{dx}{\sin \alpha} = \sigma_2 dx \cdot \epsilon \phi \alpha \cdot \eta \mu \alpha + \sigma_1 dx \epsilon \upsilon \alpha \quad \text{ήτοι:}$$

$$\sigma = \sigma_3 \cdot \eta \mu^2 \alpha + \sigma_1 \cdot \sigma \nu \gamma^2 \alpha = \sigma_3 + \sigma \nu \gamma^2 \alpha (\sigma_1 - \sigma_3) \quad (143)$$

Ἡ ἐφαπτομενικὴ δύναμις εἰς τὴν ὑποτείνουσαν τοῦ πρίσματος ἐξ ἄλλου θὰ εἶναι :

$$\tau \cdot ds = \tau \cdot \frac{dx}{\sigma \nu \alpha} = \sigma_1 \cdot dx \eta \mu \alpha + \sigma_3 \cdot dx \epsilon \varphi \alpha \quad \text{ἦτοι :$$



Σχ. 223. Ἱσοροπία ἐσωτερικῶν καὶ ἐξωτερικῶν ὀνάνεων εἰς τριαξονικὴν διάτμησιν.

$$\tau = \sigma_1 \eta \mu \alpha - \sigma \nu \alpha + \sigma_3 \eta \mu \alpha \cdot \sigma \nu \alpha = \frac{1}{2} (\sigma_2 - \sigma_3) \cdot \eta \mu 2 \alpha \quad (144)$$

Ὡς γνωστὸν εἰς συνεκτικὰ ἔδαφη ἄνευ ἐσωτερικῶν τριβῶν (ὡς καὶ εἰς περίπτωσιν ἐλαστικῶν σωμάτων) ἡ μεγίστη τιμὴ τῆς διατμητικῆς τάσεως λαμβάνει κῶραν διὰ γωνίαν 45° ὁπότε :

$$\tau_{max} = \frac{1}{2} (\sigma_2 - \sigma_3) \quad (145)$$

Διὰ τὰ ἔδαφη ὁμως μὲ ἐσωτερικὴν τριβὴν θὰ ἰακύη ἡ ἐξίσωσις τοῦ Coulomb (140).

Ἀντικαθιστῶντες εἰς αὐτὴν τὰς τιμὰς σ ἐκ τῆς (143) καὶ τ ἐκ τῆς (144) ἔχομεν :

$$\sigma_1 \eta \mu \alpha \cdot \sigma \nu \alpha + \sigma_3 \eta \mu \alpha \cdot \sigma \nu \alpha = c + \sigma_3 \epsilon \varphi \phi + \sigma_1 \sigma \nu \gamma^2 \alpha \cdot \epsilon \varphi \phi - \sigma_3 \sigma \nu \gamma^2 \alpha \cdot \epsilon \varphi \phi$$

ή :

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \frac{c + \sigma_3 \cdot \epsilon\phi\Phi}{\eta\mu\alpha \cdot \sigma\upsilon\nu\alpha - \sigma\upsilon\nu^2\alpha \cdot \epsilon\phi\Phi} \quad (146)$$

Μεταβαλλομένου ήδη του σ_3 , θα έλθη στιγμή καθ'ήν εις το δοκίμιον του Σχ. 223 θα επέλθη ή θραύσις εις διάτμησιν και ζητούμεν την ελαχίστην αυτήν τιμήν της σ_1 . Αύτη θα λάβη χώραν όταν ή παράστασις του παρανομαστού του δευτέρου μέλους του δεξιού μέρους της εξισώσεως (146) λάβη την μεγίστην αυτής τιμήν ήτοι διά :

$$\frac{d}{dx} (\eta\mu\alpha \cdot \sigma\upsilon\nu\alpha - \sigma\upsilon\nu^2\alpha \cdot \epsilon\phi\Phi) = 0 \quad \text{τούτο προκύπτει όταν :$$

$$\alpha_{κρ} = 45^\circ + \frac{\Phi}{2} \quad (147)$$

ήτοι ή θραύσις εις διάτμησιν θα παρουσιασθῆ διά την κρίσιμον τιμήν αυτής της γωνίας α .

Αντικαθιστώντες ήδη τό α εις την εξίσωσιν (146) διά του εύρεθέντος (εξ. 147) έχομεν :

$$\eta\mu\alpha_{κρ} \cdot \sigma\upsilon\nu\alpha_{κρ} - \sigma\upsilon\nu^2\alpha_{κρ} \epsilon\phi\Phi = \frac{1}{2\epsilon\phi\alpha_{κρ}} \quad (148)$$

και αντικαθιστώντες εις την (146) λαμβάνομεν :

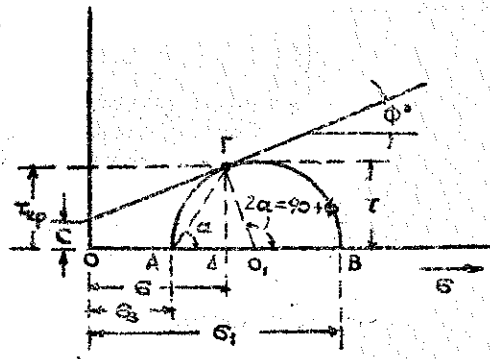
$$\sigma_1 = \sigma_3 \cdot \epsilon\phi^2\left(45^\circ + \frac{\Phi}{2}\right) + 2c \epsilon\phi\left(45^\circ + \frac{\Phi}{2}\right) \quad (149)$$

$$\text{όπόθεν : διά } c=0 : \quad \sigma_1 = \sigma_3 \epsilon\phi^2\left(45^\circ + \frac{\Phi}{2}\right) \quad (150)$$

$$\text{και διά } \Phi=0 : \quad \sigma_1 = \sigma_3 + 2c \quad (151)$$

“Ηδη δυνάμεθα και γραφικώς να προσδιορίσωμεν την έντατικήν κατάστασιν, τῆ βοηθεία του γνωστού εκ της άντοχής κύκλου του Mohr. Ούτω εις άξονα τριμημένων φέρομεν τάς τάσεις σ_1 και σ_3 και γράφομεν μέ κέντρον τό O_1 τόν κύκλον του Mohr. Τότε ή κρίσιμος διατμητική τάσις $\tau_{κρ}$ λαμβανεται διά την γωνίαν $2\alpha_{κρ}$ εκ του O_1 , $\alpha_{κρ}$ εκ του A , είναι δέ αύτη (λόγω της φύσεως

της έειβ. (146) μικρότερα από την μέγιστη τ_{max} είνε έλαστικά ύλικά όπου $\alpha = 45^\circ$. Ως προκύπτει εκ του διαγράμματος ή κλίσις της έφαπτομένης του κύκλου είνε τό σημείον Γ ίδουται μέ την γωνίαν Φ , τό δέ μήκος OA δίδει την όρθήν τάειν σ είνε τό επίπεδον διατμήσεως (σκηματίζον γωνίαν σ_{kr} μέ την όριζοντίαν).



Σχ. 224 · Κύκλος του Mohr (διά S)

Κατά την έρευναν των δοκιμιών διά της συσκευής τριαξονικών δοκιμών, έπαναλαμβάνομεν συνήθως τό πείραμα είνε 3 δοκιμια (μέ διαφόρους τιμάς σ_3 και αντίστοίχους τιμάς θραύσεως σ_1).

Μέ τά τρία ζεύγη των σ_1, σ_3 καράσσομεν τούς τρεις κύκλους και φέροντες την περιβάλλουσαν αυτών προσδιορίζομεν τόσον τό Φ όσον και τό c του έδάφους (βλ. Σχ. 224).

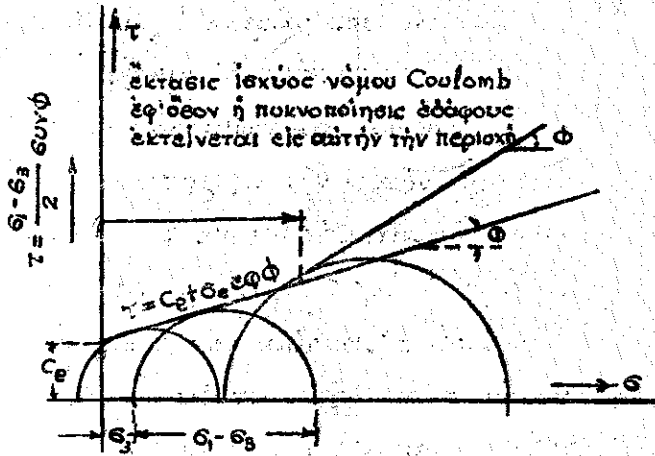
Η έρευνα αυτη γίνεταί κυρίως διά της βραδέιας δοκιμής (S) και εφαρμόζεται είτε διά κεκορημένα έδάφη, ότινα στραγγίζονται έλευθέρως έν τη φύσει, είτε διά έρηρά ή μερικώς κεκορημένα έδάφη είνε τά όποια δέν αναπτύσσεται πίεσις είνε τούς πόρους.

Είνε ήν περίπτωσιν ή έρευνα ήθελεν γίνει διά της πυκνοποιηθείσης ταχείας δοκιμής (consolidated quick test) τότε ή διατμητική τάεις ύπολογίζεται εκ του τύπου 144 ένθω $\alpha = 45^\circ + \frac{\Phi}{2}$ ήτοι διά του τύπου:

$$\tau = \frac{1}{2} (\sigma_1 - \sigma_3) \epsilonυν \Phi \quad (152)$$

ένθω ή γωνία Φ προσδιορίζεταί διά της προηγουμένης μεθόδου ή ακόμη και ελέγχεταί εκ πείρας ($28^\circ - 30^\circ$ διά παιπαλιην ή άρχιλ).

λον). Τα αποτελέσματα τῶν πειραμάτων ἔχουν τότε τὴν μορφήν τοῦ Σχ. 225'.



Σχ. 225. Κύκλος Mohr (διὰ Q_c)

Εἰς τὴν περίπτωσιν ταύτην ἡ μέση τιμὴ $\bar{\sigma}$ εἰς τὸ ἐπίπεδον θραύσεως ἰσοῦται μὲ τὸν μέσον ὄραν τῶν τριῶν κυρίων τάσεων $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ἥτοι ἰσοῦται μὲ τὴν μέσην πίεσιν τὴν προκαλοῦσαν ποκνοποίησην.

Ἐνταῦθα δυνάμεθα ἀκόμη διὰ τῆς τριαξονικῆς συσκευῆς νὰ ἐπιτελέσωμεν τὴν ἐλευθέραν δοκιμὴν συμπίεσεως (u , ὡς ἀνωτέρω). Τότε ἡ γενικὴ ἐξίσωσις (149) ἀπλοποιεῖται ἐφ' ὅσον $\sigma_3 = 0$ εἰς τὴν μορφήν:

$$\sigma_1 = q_u = 2c \tan \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \quad (153)$$

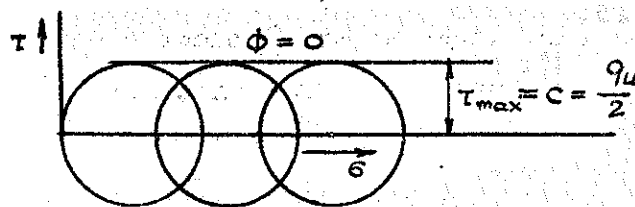
καὶ ἐξ αὐτῆς προεδιορίζεται ἡ c :

$$c = \frac{q_u}{2 \tan \left(45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)} \quad (154)$$

διὰ δὲ τὴν εἰδικὴν περίπτωσιν $\phi = 0$ (ἄργιλλος π.κ.) ἔχομεν:

$$c = \frac{q_u}{2} \quad (155)$$

Έν τοιαύτη περιπτώσει ὅλοι οἱ κύκλοι τοῦ Mohr ἔχουν τὴν αὐ-



Σχ. 226. Διάτμησις διὰ $\Phi = 0$

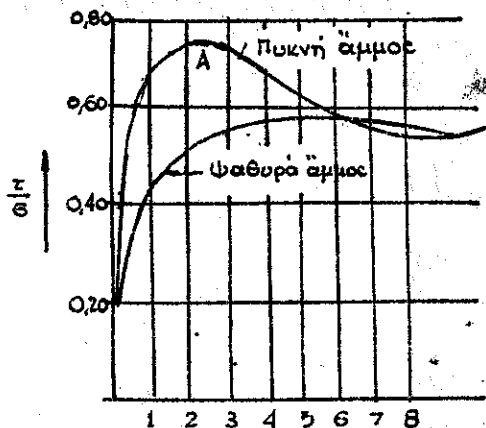
τὴν ἀκτίνα, ἡ διατμητικὴ τάσις εἶναι σταθερὰ ἴση μὲ τὸν συν/στὴν συνεκτικότητος C καὶ μὲ τὸ ἥμισυ τῆς ἐλευθέρως συμπιέσεως q_μ . Ἡ εὐθεῖα $\tau = c$ δίδει τὰς τάσεις δι' οἷονδήποτε σ καὶ διὰ $\Phi = c$ (κατὰ τὴν δοκιμὴν δὲν μεταβάλλεται ἡ ὑδατοπεριεκτικότητα).

Κατωτέρω δίδονται γενικαὶ ἐφαρμοχαὶ τῶν ἀνωτέρω εἰς ἀμμόδη ἐδάφη καὶ εἰς ἀργιλλικὰ τοιαῦτα.

α.γ. Ἀντοχὴ ἀμμοδῶν ἐδαφῶν εἰς διάτμησιν.

Ἡ κατάσταση πυκνότητος τῆς ἐπὶ τῆς ἀμμοῦ μεταβάλλεται ὅταν αὕτη ὑπόκειται εἰς διάτμησιν καὶ δὴ ἡ μὲν πυκνὴ ἀμμος αὐξάνει εἰς ὄγκον, ἢτοι διογκοῦται (expands) ἐνῶ ἡ ψαθυρὰ ἀμμος (loose) συμπυκνοῦται. Οὕτω εἰς τὸ Σχ. 227 δίδεται ἡ συσχέτισις τῶν μετα-

κινήσεων ϵ (Σχ. 218) συναρτήσεως τῆς διατμητικῆς τάσεως διὰ κατακόρυφον φόρτισιν $\sigma = 1 \text{ at}$.



Οὕτω ἡ πυκνὴ ἀμμος ἀπαιτεῖ μεγαλύτεραν τ διὰ νὰ μετακινηθῇ μέχρι τοῦ σημείου A , ὅποτε προφανῶς ἀρκίζει ἡ διάσπασις κόκκων τῆς ἀμμοῦ.

Ἡ σχέσις μεταξὺ ὀρθῆς πίεσεως σ καὶ τῆς διατμητικῆς τάσεως εἶ-

Σχ. 227. Ἐσυναρτήσεως $\frac{\tau}{\sigma}$ (διὰ $\sigma = 1 \text{ at}$)

τὴν περίπτωσιν τοῦ μεγίστου A τῆς καμπύλης δίδεται ὑπὸ τῆς εὐθείας (1) τοῦ Σχ. 228, ἥτις θὰ ἔχη τὴν ἐξίσωσιν :

$$\tau = \sigma \epsilon \phi \Phi \quad \text{ὅτι} \quad \epsilon \delta \omega \quad c = 0$$

Ἐάν ἤδη λάβωμεν ψαθυροτέραν ἄμμον θὰ ἔχωμεν τὴν εὐθείαν 2 κ.ο.κ. Εἰς τὸν πίνακα

τοῦ Σχ. 228 δίδονται ἡ γωνία Φ , τὸ περῶδες, ἡ ἀναλογία κενῶν καὶ ἡ σχετικὴ πυκνότης διὰ Ἐηράν ἢ ἐλαφρῶς ὑγρὴν ἄμμον.

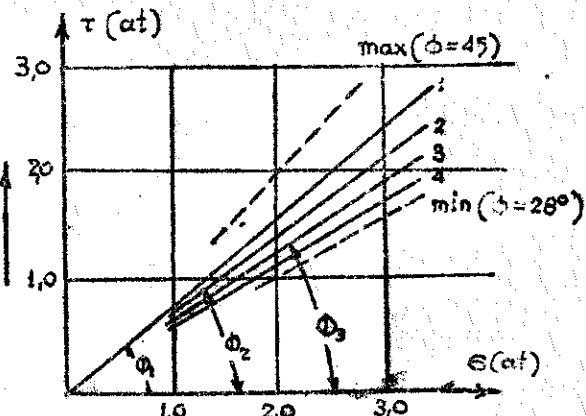
Εἰς τὸ ἐκῆμα εἶδονται ὁμοίως εἰπιθαναὶ ἀκραῖαι τιμαὶ τοῦ Φ διὰ τὴν μεγίστην καὶ ἐλακίστην πιθανὴν πυκνότητα τῆς ἄμμου τοῦ παραδείγματος.

Αἱ τιμαὶ τῶν Φ εἶναι κατὰ τι μικρότεροι ἂν οἱ κόκκοι τῆς ἄμμου εἶναι ἐτροχχυλευμένοι (ὄρια $\Phi = 28,5^\circ$ καὶ 95°) καὶ κατὰ τι μεγαλύτεροι διὰ γωνιακοὺς κόκκοις (ὄρια $\Phi = 34^\circ$ καὶ 46°).

Ἐνίοτε ἡ ἄμμος λόγῳ παρουσίας ἀνθρακικοῦ ἀββεστίου ἔχει μικρὰ τινα συνεκτικότητα, c , ὁπότε ἡ ἐξίς γίνεται πάλιν :

$$\tau = c + \sigma \epsilon \phi \Phi \quad (140)$$

ἡ γωνία Φ ὁμοῦς ἰσοῦται μὲ τὴν τῆς Ἐηρᾶς ἄμμου ὁμοῦς ἀναλογίας κενῶν.



	Φ	η	e	D_d	w
1	39°	31%	0,45	100%	Ἐηρά
2	35°	35%	0,54	62%	6%
3	33°	41%	0,69	0%	Ἐηρά
4	30°	47%	0,89	- 83%	6%

Σχ. 228 Ἄντοχή εἰς διαίτησιν ἄμμων ἐδαφῶν μὲ διαφόρους πυκνότητας

Εἰς τὴν περίπτωσιν κεκορεσμένης ἄμμου ἡ ἀντίστασις εἰς διάτμησιν ἐξαρτᾶται ἀπὸ τὴν πίεσιν τοῦ ὕδατος καὶ τὴν ἀναλοχίαν τῶν κενῶν, ὡς εἶδωμεν. Ὅσον μεγαλύτερα εἶναι ἡ τιμὴ εὐτόσον μικρότερα ἡ ἀντοχὴ εἰς διάτμησιν, αἱ δὲ διαφοραὶ εἶναι μεγαλύτεραι παρῶσι εἰς ὕδατος. Δι' ὄρισημένην τιμὴν τοῦ ε (εὐρίσμον) ἡ ἀντοχὴ εἰς διάτμησιν εἶναι ἡ αὐτὴ ἐν ἑρῶ ἢ ἐν ὕδατι.

Ὅσον ὅμως τὸ ε αὐξάνει πέραν τοῦ κρισίμου ἡ ἀντοχὴ τῆς ὑγρᾶς ἄμμου ἐλαττοῦται ταχέως, ἡ δὲ παρουσία κρούσεων δύναται νὰ κάμῃ τὴν ἄμμον νὰ ρεῦσῃ ὡς ὑγρὰ. Διὰ τὸν λόγον αὐτὸν τὰ ἄμμωδη ἀνακώματα δεόν νὰ πυκνοποιοῦνται καλῶς καὶ νὰ στραγγίζονται ἐπιμελῶς.

α.δ. Διάτμησις ἀρχιλλωδῶν ἐδαφῶν.

Ἡ συμπεριφορὰ τῶν ἀρχιλλωδῶν ἐδαφῶν εἰς τὴν φυσικὴν αὐτῶν κατάστασιν καὶ θέσιν ἀποτελεῖ θέμα πολὺπλοκον, μὴ διασαφηνισθὲν μέχρι σήμερον ἐν πολλοῖς, καὶ τοῦτο διότι εἶναι τόσον πολλοὶ οἱ συντελεσταί, οἵτινες ἐξαρτῶνται ἐκ τοῦ τρόπου δομῆς τῆς ἀρχίλλου ὥστε νὰ μὴν εἶναι δυνατὴ πλήρης διερεῦνησις αὐτῶν. Συνήθως ἡ φόρτισις φυσικῆς ἀρχίλλου παραλαμβάνεται ἀπὸ τὸν σκελετὸν τῶν πλεον κονδροκόκκων ὑλικῶν, ἐφ' ὅσον ταῦτα περιορίζονται πλευρικῶς. Διὰ μικρᾶς ὅμως διαταράξεως τοῦ σκελετοῦ τούτου τὸ φορτίον παραλαμβάνεται ἀπὸ τὴν περιβάλλουσα τοὺς κόκκους τοῦ σκελετοῦ μάζαν τῆς ἀρχίλλου, ἧς ἡ ἀντοχὴ εἰς διάτμησιν εἶναι ἀνεξάρτητος τῆς πίεσεως τοῦ ὑπερκειμένου φορτίου καὶ ἐξαρτᾶται κυρίως ἀπὸ τὴν *θιξοτροπίαν**.

* *Thixotropy*: ἰδιότης τῆς ἀρχίλλου καθ' ἣν αὕτη σχηματομένη (ἀνευ μεταβολῆς τῆς ὕδατοχωρητικότητος) κάνει τὴν στερεότητα αὐτῆς ἐπὶ τινα χρόνον καὶ ἐπὶ ταῦτα ταύτην βαθμιαίως. (Διατάραξις καὶ βαθμιαία ἀποκατάστασις τῆς μοριακῆς αὐτῆς δομῆς.).

ἀρχίλλου (βλ. λεπτ. Terzaghi and Peck, *Soil Mechanics*, Wiley 1948)

Συνήθως δεχόμεθα ότι η ἀρχίλλος εις τήν φυσικήν αὐτῆς κατάστασιν καί θέσιν ἔχει γωνίαν $\Phi = 0$.

Ὁ ὑπολογισμός τῆς ἀντοχῆς εις διάτμησιν εις αὐτήν τήν κατάστασιν γίνεται ἀσφαλέστερον διὰ τῆς θεωρίας τῆς πλαστικότητος.

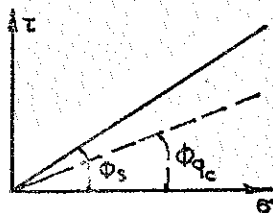
Κατ' αὐτήν " ἡ μέση διατμητική τάσις εις τὰς ἐπιφανείας ὀλισθήσεως εις φυσικά στρώματα μαλακῆς ἀρχίλλου, ἰσοῦται, κατὰ τήν ἐπιγμῆν τῆς ὀλισθήσεως, κατὰ κανόνα, μέ τάσιν κατὰ τι μικροτέραν τοῦ ἡμίσεως τῆς μέσης ἐλευθέρως τάσεως συμπίεσεως (q_u βλ. σελ. 304) ἤτοι $\tau = c = \frac{q_u}{2}$ συμφώνως καί πρὸς τήν ἐξίσωσιν 155.

Ἄλλως ὅμως ἔχει ἡ κατάσταση τῆς ἀρχίλλου ἐξεταζομένης εἰς τὸ ἐργαστήριον ἢ χρησιμοποιουμένης εἰς χωματουργικά ἔργα ὅποτε αὕτη ἀναπλασθεταί. Εἰς τὰς περιπτώσεις αὐτάς ἡ ἀρχίλλος παρουσιάζει ἐργαστηριακῶς (εὐσκευαί διατμήσεως) γωνίας Φ ἀνευνομένης ἀπὸ 20° (διὰ πυκ-

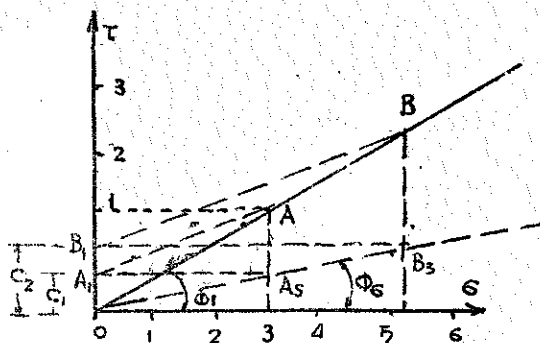
νοποιηθείσας ταχεῖς δοκιμασίαι Q_c) μέχρι $28^\circ - 30^\circ$ (διὰ βραδείας δοκιμασίαι S).

Πράγματι ἄρτι ἀναπλασθεῖσα ἀρχίλλος παρουσιάζει τὸ διάγραμμα τάσεων τ τοῦ Σχ. 229 εἰς πρώτην αὐτῆς φέρτισιν διὰ φορτίων σ .

Ἐάν τῶρα μετὰ τήν φέρτισιν σ τοῦ δείγματος, ἀφαιρέσωμεν βαθμιαίως ταύτην, τότε ἡ ἐλάττωσις τῆς ἀντοχῆς εἰς διάτμησιν ἐλαττοῦται μέ



Σχ. 229



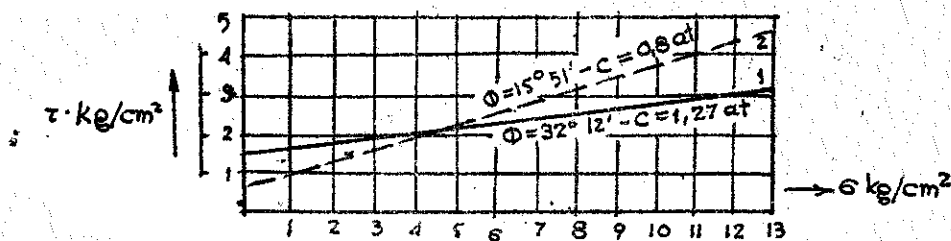
Σχ. 230

βραδύτερον ρυθμόν και διά πλήρη ἀφαίρεσιν τῶν κατακορύφων φορτίων ε παραμένει πλέον ἀρκικὴ ἀντοχὴ εἰς διάτμησιν ἢ συνεκτικότης C (εἰς τὸ δείγμα). Οὕτω διά τὸ δείγμα τοῦ Σχ. 230 διά φόρτισιν ε, λαμβάνομεν τὸ σημεῖον A, δι' ἐκφόρτισιν τὸ σημεῖον B. Διά φόρτισιν ε₂ λαμβάνομεν τὸ σημεῖον B₁ και δι' ἐκφόρτισιν τὸ σημεῖον B₁. Αἱ γραμμαὶ AA₁ και BB₁ εἶναι παράλληλοι και σχηματίζουν γωνίας φ μετὴν ὀριζοντίαν ἴσας μεταξὺ τῶν.

Κατὰ τοὺς Krey-Tieteman τότε ἡ εἰσώσις τοῦ Coulomb λαμβάνει τὴν μορφήν :

$$\tau = \rho_c \cdot \epsilon \phi - \Phi_c + \epsilon \epsilon \phi \quad (156)$$

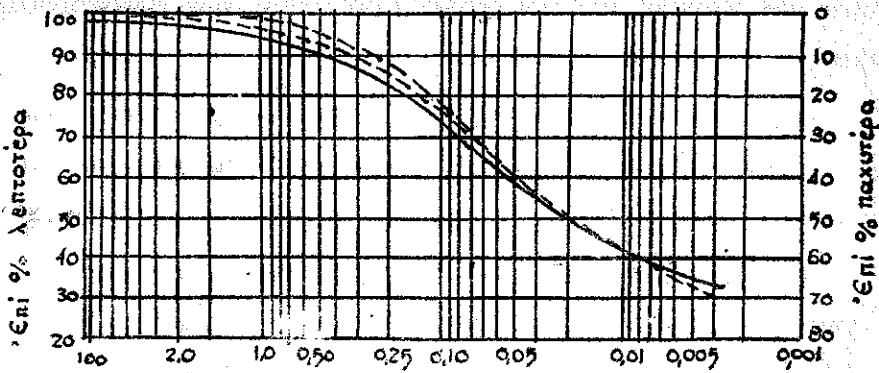
ἐνθα ρ_c θα εἶναι ἡ δύναμις προπυκνοποιήσεως, ἣτις προεκάλεσεν τὴν συνεκτικότητα $C_c = \rho_c \epsilon \phi_c$. Μολονότι ἡ ἔκφρασις αὕτη δὲν εἶναι ἀκριβὴς (διότι ἡ γωνία φ μεταβάλλεται μετὸ μέγεθος τῆς ρ_c) εἶναι ἐν τούτοις ἱκανοποιητικὴ.



Σχ. 231. Ταχεῖα (1) και πυκνοποιηθεῖσα (2) ταχεῖα δοκιμῆ

Εἰς τὸ Σχ. 231 δίδονται τὰ ἀποτελέσματα δοκιμῶν δείγματος μικτοῦ χώματος, εἰς ταχεῖαν (Q) και πυκνοποιηθεῖσαν ταχεῖαν δοκιμῆν (Q_c) πρὸς εὐγκρισιν.

Εἰς τὸ Σχ. 232 δίδεται ἡ μηχανικὴ ἀνάλυσις τοῦ αὐτοῦ δείγματος.

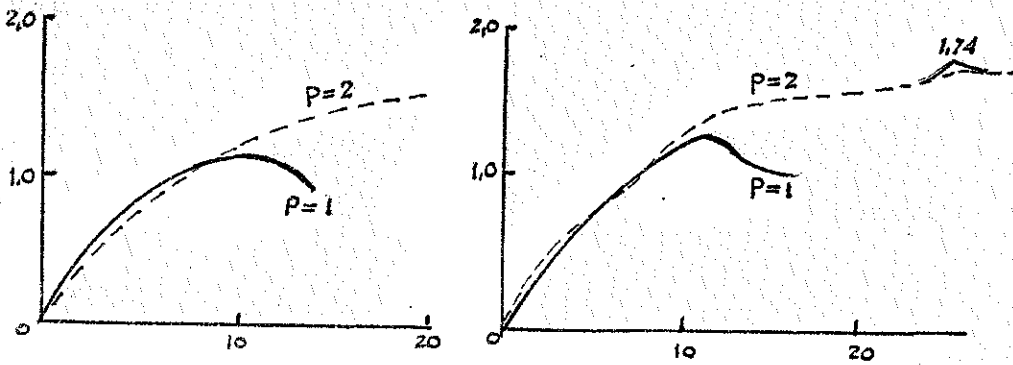


Σχ. 232. Μηχανική ανάλυση του δείγματος του Σχ. 231

α.ε. Παραδείγματα αναλύσεως.

Είς κατωτέρω πίνακα δίδονται στοιχεία αναλύσεων δειγμάτων τινών έδαφών πλησιοκώρων εις το μελλοντικόν χωμ. φράγμα "Άγρας.

Είς τό Σχ. 233 δίδονται αι δοκιμαί εις διάτρησιν και ο ύπολογισμός των γωνιών Φ και του σημείου C.



Μετακινήσεις

Μετακινήσεις

$$\sigma=2 \quad \tau = 1,56 = C + 2 \epsilon \phi \Phi$$

$$\sigma=2 \quad \tau = 1,74 = C + 2 \epsilon \phi \Phi$$

$$\sigma=1 \quad \tau = 1,15 = C + \epsilon \phi \Phi$$

$$\sigma=1 \quad \tau = 1,29 = C + \epsilon \phi \Phi$$

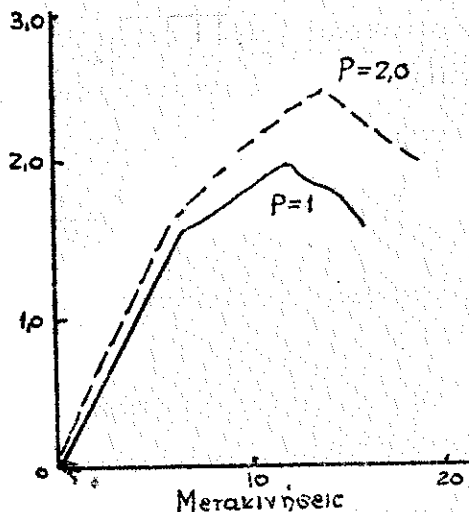
$$\Phi = 22^{\circ} 15' \quad q_u = 2C \epsilon \phi \left(45 + \frac{\Phi}{2}\right) = 2,78 \text{ at}$$

$$\Phi = 24^{\circ} 30' \quad q_u = 2C \epsilon \phi \left(45 + \frac{\Phi}{2}\right) = 2,62$$

$$C = 0,74 \quad q_u = 2,75 \text{ (πειραμ.)}$$

$$C = 0,84 \quad q_u = 2,88 \text{ (πειραμ.)}$$

Σχ. 233 Αναλύσεις δειγμάτων δια χωμ. φράγμα "Άγρας



$$\sigma = 2 \quad \tau = 2,37 = C + 2 \epsilon \phi$$

$$\sigma = 1 \quad \tau = 2,01 = C + \epsilon \phi$$

$$\phi = 19^\circ 45' \quad q_u = 2c \epsilon \phi (45 + \frac{\phi}{2}) = 4,75$$

$$c = 1,65 \quad q_u = 4,86 \text{ (πειραμ.)}$$

Σχ. 233. Αναλύσεις δειγμάτων
διὰ κωμ. φράγμα "Άγρας.

ΠΙΝΑΞ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ
(Διατεταραχμένα δείγματα)

	Nº 1	Nº 3	Nº 7	Nº 8	Nº 9
Μεγίστη πυκνότης t/m^3	1,71	1,71	1,44	1,51	1,53
Άριστη υγρασία %	19,3	18,2	27,4	23,2	22,6
Άπόλυτον ειδ. βάρος t/m^3	2,62	2,67	2,78	2,71	2,69
Γωνία ϕ	22° 15'	24° 30'	28° 50'	17° 45'	19° 45'
Συνεκτικότητα $C \text{ kg/cm}^2$	0,74	0,84	1,14	1,74	1,0
Υφή τών έδαφών: LL %	34,5	36,75	62,50	65,40	43,40
PL %	23,20	26,10	32,70	33,90	26,70
Δείκτης πλαστικότητας PI	11,30	10,65	29,80	29,50	16,80
Έλευθ. δοκιμή συμπ. $u(u_u) \text{ kg/cm}^2$	2,75	2,83	3,80	5,10	4,86
Μηχαν. Αναλύσεις "Άμμος ($<0,06mm$) %	24	15	3	3	3
Παιρ. ($0,002-0,060$) %	61	73	70	59	62
"Άργιλλα ($<0,002$) %	15	12	25	38	28
Υγρασία (% Ξηρού βάρους)	22,2	29,6	45,0	40,70	31,6
Δείκτης συμπίετου $[C_s = 0,007(LL-10\%)$ $C = C_0 - C_s \log_{10} \frac{P_0 + \Delta P}{P_1}]$	0,171	0,187	0,367	0,887	0,233

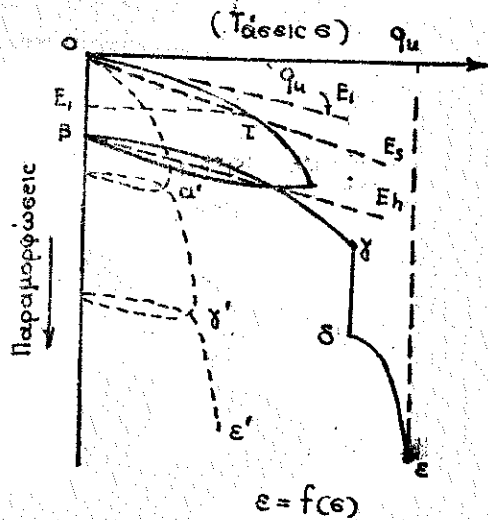
α. στ. Η καμπύλη παραμορφώσεως του ἔδαφους.

Εἰς τὰ τελείως ἐλαστικά σώματα, ὅπου ἰσχύει ὁ νόμος τοῦ Hooke ἔχομεν τὰς γνωστὰς σχέσεις:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \text{ καὶ } \mu = \frac{\epsilon}{\epsilon_2} \text{ (συντελεστὴς Poisson } \frac{1}{5} \sim \frac{1}{4} \text{)}$$

ἔνθα μ, E εἶναι ἀνεξάρτητα τῶν τάσεων καὶ χαρακτηρίζουσι τὴν σχέσιν τάσεων καὶ παραμορφώσεων.

Διὰ τὸ ἔδαφος ὅμως τὸ ἀντίστοιχον μέτρον πρὸς τὸ μέτρον ἐλαστικότητος εἶναι μεταβλητόν. Ἐστὼ δείγμα ἀσυμπίεστου ἀργίλου. Εἰς τὸ Σχ. 234 ἐμφαίνεται ἡ σχέση τάσεων παραμορφώσεων διὰ τὸ ἔδαφος τοῦτο ὅταν ἡ τάσις σ μεταβάλλεται ὁμοιόμορφως. Ἐὰν τὸ φορτίον ἀραιρωθῇ κατὰ τὴν αὐτὴν πρόοδον καθ' ἣν καὶ προσετέθη λαμβάνομεν τὴν καμπύλην αβ, εἰς ἣν δὲ φορτισθῇ τὸ δοκίμιον ἐκ νέου αἱ παραμορφώσεις τείνουσι πάλιν πρὸς τὴν ἀρχικὴν καμπύλην στ αν. Ὅταν ἡ τάσις σ λάβῃ τὴν τιμὴν q_u (ἐλευθέρου δοκιμῆ συμπίεσε-



Σχ. 234

ως ν) τότε τὸ δοκίμιον θραύεται λόγῳ διατμήσεως.

Τὸ μέτρον ἐλαστικότητος ἐδῶ εἶναι μεταβλητόν καὶ συνήθως μετράται διὰ τῆς ἐφαπτομένης εἰς τὴν ἀρχὴν τῆς καμπύλης E_2 ἢ διὰ τῆς χορδῆς OT (ἔνθα q_u = κλάσμα τῆς q_u συνήθως $\frac{1}{3} q_u$) ἢ διὰ τῆς κλίσεως τῆς γραμμῆς E_h . (ὕστερησις δι' ὠριεμένην τιμὴν τῆς σ).

Ἐάν τό δείγμα τῆς ἀρχίλλου ἤθελεν ἀναπλασθῆ καί δοκιμασθῆ ἐκ νέου λαμβάνομεν νέας τιμές παραμορφώσεων καί τήν καμπύλην $Oa'g'e'$, ἔνθα q_u, E_2, E_3 εἶναι πολύ μικρότερα.

Εἰς ἤν περίπτωσιν τό δείγμα ὑποστῆ καί πλευρικός τάσεις (σ_3, σ_2) , τότε ἡ κλίσις τῆς ἐφαπτομένης εἰς τήν ἀρχήν τῆς καμπύλης E_2 αὐξάνει καί δὴ εὐρίσκεται ὅτι :

$$E_i = C(\sigma_1 - \sigma_3) \quad (157)$$

ἔνθα ἡ τιμή τοῦ C ἐξαρτᾶται ἀπό τό εἶδος τῶν κωμάτων καί τόν τρόπον στραγγίσεως τοῦ δείγματος. Διά ταχεῖαν προπυκνοποιηθεῖσαν δοκιμὴν (Q_c) ἡ τιμή τοῦ C κυμαίνεται ἀπό 100 διὰ κολλοειδῆ ἀρχίλλον μέχρι 100 διὰ παιπαλικὰς ἢ ἐλαφρῶς ἀμμώδεις ἀρχίλλου.

α. C - Ἐκτίμησις τῆς ἀντιστάσεως διατμήσεως τοῦ ἐδάφους εἰς τὰς κατασκευάς.

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω ἐκτεθέντων προκύπτει ὅτι ὁ ἀκριβὴς ὑπολογισμός τῆς ἀντοχῆς εἰς διάτμησιν τῶν ἐδαφῶν εἶναι δυσχερής.

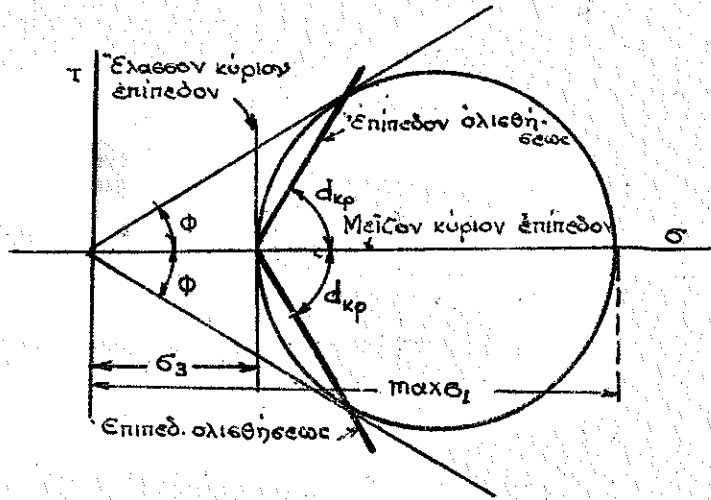
Κατά τὸν Terzaghi δεόν νά ἔχωμεν ὑπ' ὄψιν τὰ ἑξῆς :

1) - Δι' ἀμμώδη ἐδάφη, ἡ γωνία φυσικοῦς πρηνοῦς μᾶς δίδει ἱκανοποιητικῶς τήν γωνίαν τριβῆς Φ . Διὰ καλήν συμπίκνωσιν δεχόμεθα τιμές τῆς Φ κατὰ $5^\circ - 10^\circ$ ἀνωτέρας τῆς τοῦ φυσικοῦ πρηνοῦς. Διὰ ἄμμον ὑπό τό ὕδωρ ἡ γωνία τοῦ φυσικοῦ πρηνοῦς ἐλαττοῦται κατὰ $1^\circ - 2^\circ$.

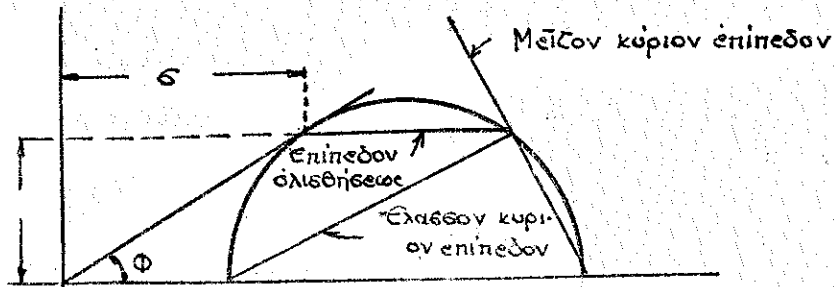
2) Διὰ παιπαλὴν καί παιπαλικὴν ἄμμον $\Phi = 20^\circ - 22^\circ$ καί ἐξαιρετικῶς δύναται νά κατελθῆ εἰς $\Phi = 17^\circ$.

3) Δι' ἀρχίλλον τό θέμα εἶναι πολύπλοκον. Ἡ μέθοδος τῆς πλαστικότητος ($\tau = c = \frac{q_u}{2}$) σήμερον ἀποτελεῖ ἀκόμη τὸν καλύτερον τρόπον ὑπολογισμοῦ τῶν διατμητικῶν τάσεων, ὁ δὲ προσδιορισμός τῆς $\frac{q_u}{2}$ (δοκιμὴ u) εἶναι ταχύς καί ἀπλοῦς.

Εἰς τὸ Σχ. 234 α δίδονται γραφικῶς διὰ τοῦ κύκλου τοῦ Μοήρ, αἱ κατευθύνσεις τῶν κυρίων ἐπιπέδων καὶ τῶν ἐπιπέδων ὀλισθήσεως, ὡς αὐτὰ προσδιορίζονται διὰ τῶν δύο κυρίων συσκευῶν διατμήσεως, αἵτινες περιεγράφησαν ἀνωτέρω.



(α) Ὀλισθήσεις εἰς τριαξονικὴν συσκευὴν



(β) Ὀλισθήσεις εἰς συσκ. ἀμέσου δοκιμῆς εἰς διάτμησιν.

Σχ. 234 α Ἐπίπεδα κυρίων τάσεων καὶ κρισίμων διατμητικῶν τάσεων (ὀλισθήσεως) ὡς αὐτὰ προκύπτουν ἐκ τῶν δύο συσκευῶν δοκιμῆς.

β) Αϊ όρθαί τάσεις

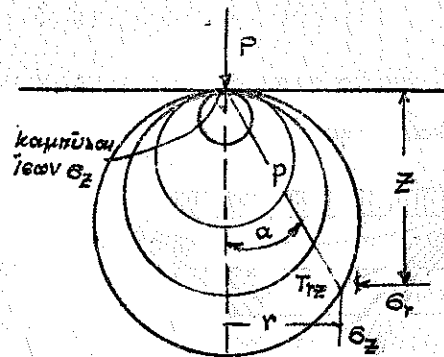
β-α Διανομή τών τάσεων.

Η διανομή τών τάσεων εντός εδάφους φορτιζομένου υπό ευγ-
κεντρωμένου φορτίου, λαμβάνεται, ως γνωστόν, συμφώνως προς
την θεωρητικήν ανάλυσιν του Boussinesq (1885) διά ελαστικών κώ-
ρον υπό τών εξισώσεων :

$$(158) \begin{cases} (\alpha) & \sigma_z = -\frac{3P}{2\pi} z^3 (r^2 + z^2)^{-\frac{5}{2}} \\ (\beta) & \tau_{rz} = -\frac{3}{2} \cdot \frac{P}{\pi} r z^2 (r^2 + z^2)^{-5/2} \\ (\gamma) & \sigma_r = \frac{P}{2\pi} \left[(1-2\nu) \left[\frac{1}{r^2} - \frac{z}{r^2} (r^2 + z^2)^{-1/2} \right] - 3r^2 z (r^2 + z^2)^{-3/2} \right] \end{cases}$$

αΐτινες αναφέρονται εις τό Σχ.

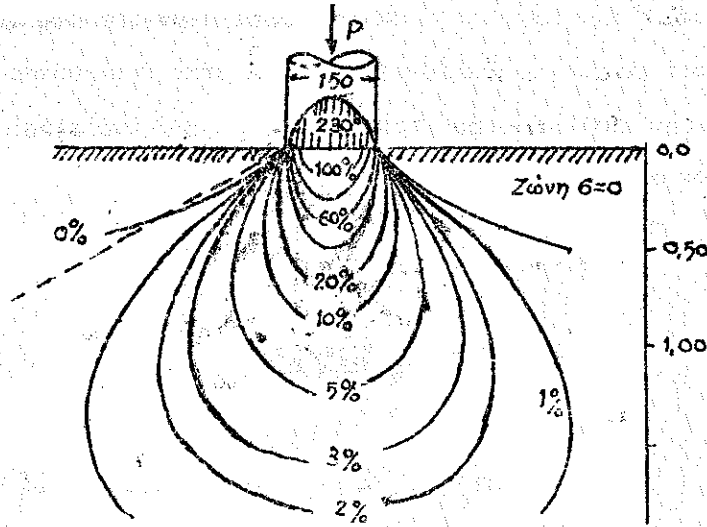
235. Έκ παραλλήλου αϊ γινώ-
σται πειραματικά έργασια
εις Freiberg έδωσαν τό εις
τό Σχ. 235 διάγραμμα δια-
νομήσ τών κατακορύφων τά-
σεων εδάφους φορτιζομένου
ώσ εν τῷ σχήματι.



Σχ. 235 Άνάλυσις τάσεων
(Boussinesq)

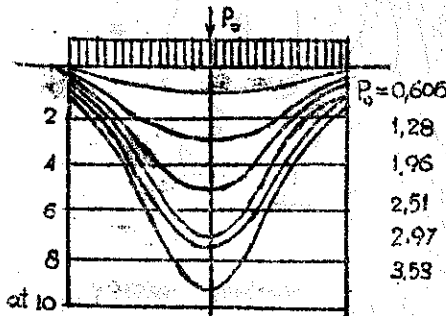
Αΐται ώδήγησαν εις την έκφρασιν του "βολβού τών πι-
έσεων" την αναπτυχθείσαν υπό του Jurgenson (Pressure
bulb). Λιάν αξιόλογα είναι επί του προκειμένου τά πειράματα
του O. Faber γεγόμενα υπό της υπό αυτού έπινοηθείσης προσφυ-
σως συσκευής δι' αν μελετούνται αϊ κατακορύφοι τάσεις και ή δι-

ανομή αὐτῶν διὰ διαφορετικὴν ἔντασιν φορτίων, δι' ὑπερφόρτι-
 σιν διὰ πωμάτων τῶν παραπλευρῶς πρὸς τὴν φόρτισιν κωμάτων
 αἰς καὶ διὰ διάφορα εἶδη πωμάτων.

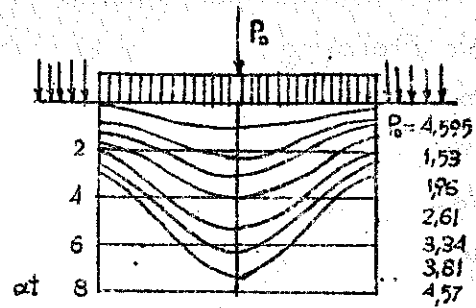


Σχ.236 : Διανομή κατακόρυφων τάσεων εἰς ἄμμο

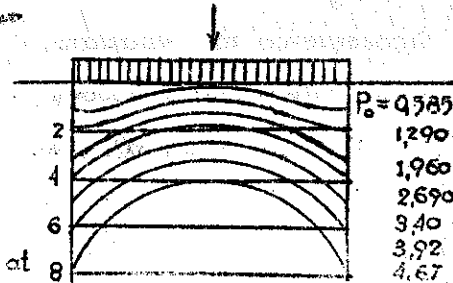
Εἰς τὰ εικημ. 237 α, β, καὶ γ δίδονται αἱ κυριώτεραι ἐρευνη-
 θῆσαι περιπτώσεις.



(α) Καθαρὰ ἄμμος ἀνευ περιφε-
 ρειακῆς ἐπιφορτίσεως



(β) Καθαρὰ ἄμμος μὲ περιφερειακὴν
 ἐπιφορτίσιν 1,50 ατ.

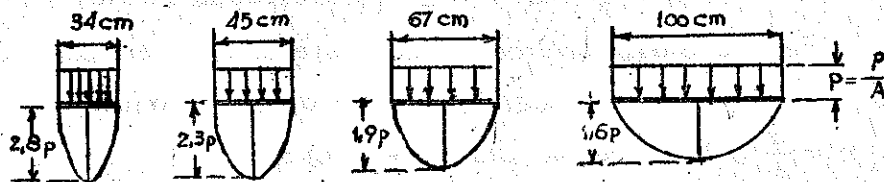


(γ) Συμπαγῆς ἄρχιλλος ἀνευ ἐπιφορτι-
 σεως.

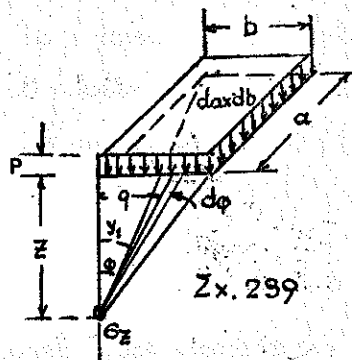
Σχ. 237 α, β, γ.

Ὅς ἐμφαίνεται ἐκ τῶν ἀποτελεσμάτων τούτων ἡ μέγιστη τοῦ ἐδάφους ἐπιφόρτισις (μέγιστη τεταγμένη εἰς τὰ διαγράμματα) ἐξαρτᾶται ἐκ τοῦ εἴδους τοῦ ἐδάφους, τοῦ πλάτους καὶ τῆς ἐντάσεως ἐπιφορτίσεως κλπ. Διὰ τὴν ἀρχιλλοῦν (Σχ. 297 γ) ἡ διανομὴ εἶναι τελείως ἀντίθετος ἢ διὰ τὴν ἀμμον.

Εἰς τὸ Σχ. 298 ἐμφαίνεται ἡ ἐπίδρασις τοῦ πλάτους ἐπιφορτίσεως εἰς τὴν διανομὴν τῶν τάσεων ἐπὶ τοῦ ὑπεδάφους.



Σχ. 298 Μέγιστη τάσις ἐδάφους συνάρτησις τοῦ πλάτους φορτίσεως.



Σχ. 299

Ὁ θεωρητικὸς ὑπολογισμὸς τῶν τάσεων ἐπὶ τῇ βάσει τῶν εἰσιώσεων (158) εἶναι κοπιώδης, καὶ πρὸς ἀπλούστευσιν τῶν ὑπολογισμῶν καταρτίζονται διαγράμματα συντασσόμενα ἐπὶ τῆς κατωτέρω βάσεως.

Τὸ φορτίον ἐπὶ τοῦ διαφορικοῦ ἐπιπέδου $da \times db$ (Σχ. 299) εἶναι:

$$d_o = p \cdot da \times db$$

καὶ ἡ ἐξ αὐτῶν αὔξησις τῆς τάσεως σ_z ὑπὸ τὸ σημ. A θὰ εἶναι

$$d\sigma_z = -dp \frac{3r^3}{2\pi} (r^2 + z^2)^{-5/2}$$

συμφώνως πρὸς τὴν (158α). Διὰ συνδυασμοῦ τῶν (159) καὶ (160) λαμβάνομεν κατόπιν ὁλοκληρώσεως (Stembremet 1936) τὴν εἰσῆσιν:

$$\sigma_z = -\frac{p}{zn} \left[\text{τοξ.εφ} \left(\frac{h}{z} \cdot \frac{\alpha(\alpha^2 + \beta^2) - 2\alpha z(R-z)}{z(\alpha^2 + \beta^2)(R-z) - z(R-z)^2} \right) + \frac{bz}{b^2 + z^2} \cdot \frac{\alpha(R^2 + z^2)}{z^2(\alpha^2 + z^2)R} \right] \quad (161)$$

ἀπλοποιουμένην εἰς

$$\sigma_z = q \cdot I_0 \quad (162)$$

ἡ τιμὴ τῆς παραστάσεως I_0 δίδεται ὑπὸ πινάκων (Terzaghi καὶ Fodum) συναρτήσεως τῶν λόγων :

$$\eta = \frac{\alpha}{z} \quad \text{καὶ} \quad \pi = \frac{\beta}{z} \quad (\beta\lambda. \text{διάγραμμα Σχ. 240})$$

Ἐκ τοῦ διαγράμματος αὐτοῦ φαίνεται ὅτι ἡ ἐπιρροή τοῦ συντελεστοῦ η εἶναι ἐλαχίστη διὰ τιμὰς αὐτοῦ μεγαλύτερας τοῦ 3 ($\eta = \frac{\alpha}{z} \geq 3,0$). Ὁμοίως διὰ $\pi = \frac{\beta}{z} \geq 3,0$ ἡ ἐπιρροή τοῦ πλάτους εἶναι μηδαμινή.

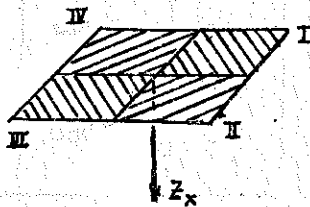
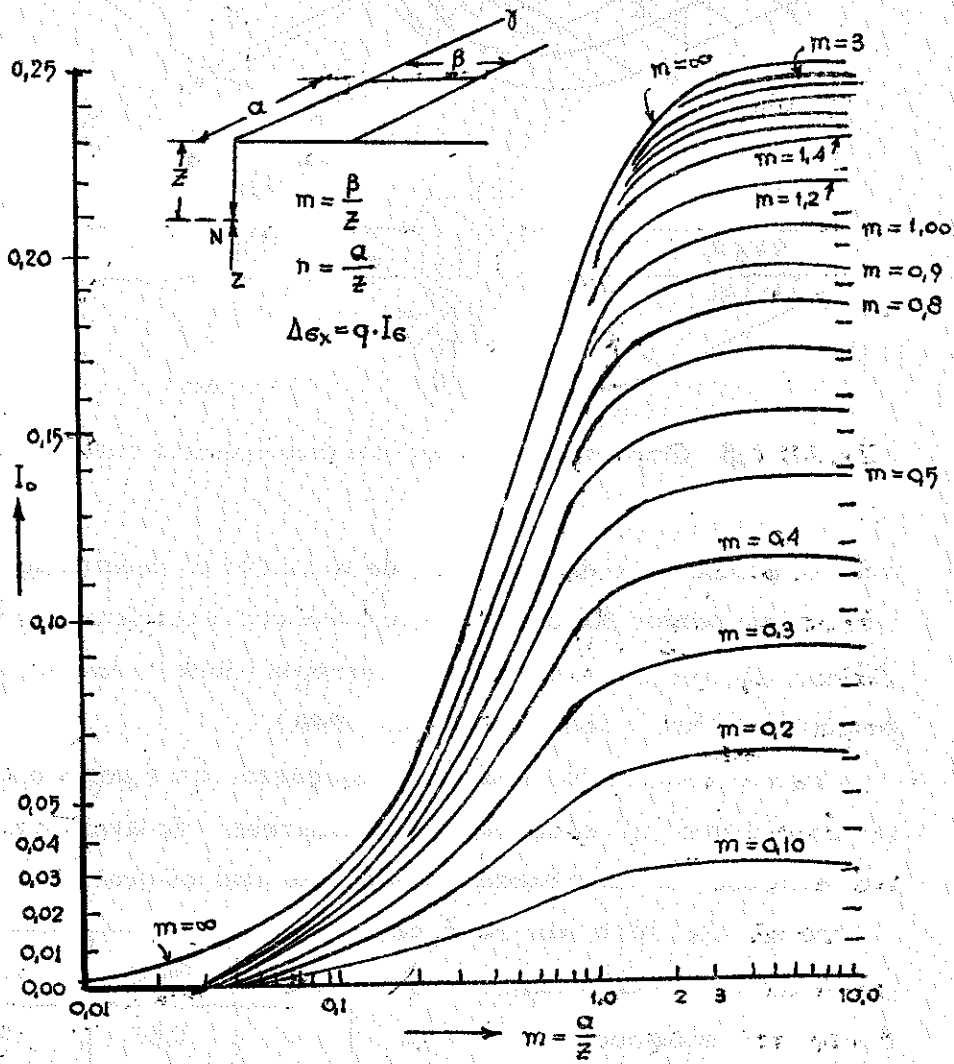
Ἡ ἀνωτέρω ἐξίσωσις (162) δίδει τὰς τιμὰς κάτω τῆς γωνίας τοῦ πεδίου τῆς φορτίσεως $\alpha \cdot \beta$. Διὰ ἐνδιάμεσον σημεῖον z αἱ τάσεις ὑπολογίζονται ὡς τάσεις προερχόμεναι ἀπὸ τέσσαρα διαφορετικὰ πεδία φορτίσεως (I, II, III, IV) (βλ. Σχ. 240 α) διὰ τῆς ἀρκῆς τῆς ἐπαλληλίας.

β. β. Ἀντοχή τοῦ ἐδάφους.

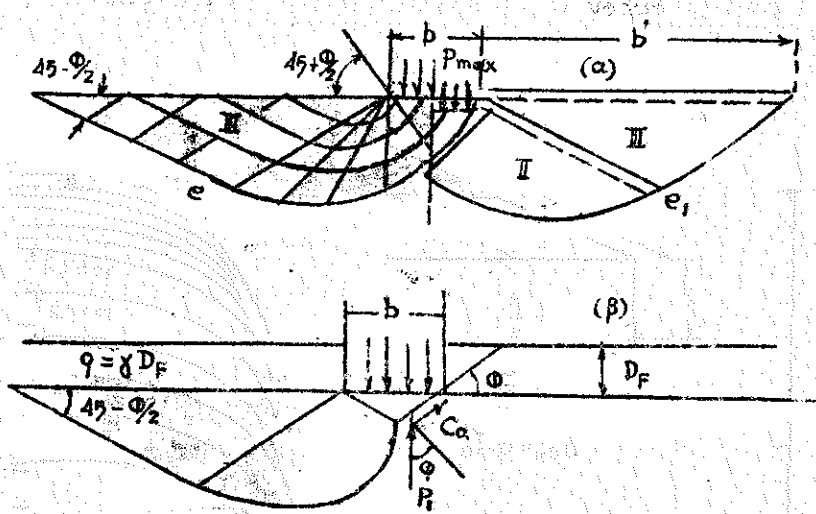
Ἀντοχή τοῦ ἐδάφους (ἡ ἱκανότης εἰς φόρτισιν τοῦ ἐδάφους) καλεῖται ἡ κατακόρυφος φόρτισις ἣν δύναται νὰ παραλάβῃ δεδομένον ἔδαφος χωρὶς νὰ παρουσιάσῃ ὑποκώρησιν εἰς τὴν φόρτισιν.

Ὅς εἶναι εὐνόητον ἡ ὑποκώρησις θὰ ἐμφανισθῇ κυρίως λόγῳ τῶν διατμητικῶν τάσεων αἵτινες θὰ παρουσιασθῶσιν συνεπείᾳ τῶν ὀρθῶν τάσεων τῆς φορτίσεως. (βλ. Σχ. 235 καὶ ἐξίς. 158 β).

Ἡ μελέτη τοῦ θέματος ἤρκειν εἰς ἐλαστικά σώματα διὰ τῆς θεωρίας τοῦ Prandtl (1921) δίδεται δὲ εἰς τὸ Σχ. 241 α ἡ ἐντατικὴ κατάσταση διὰ τὴν περιπτῶσιν φορτίου ἐνεργοῦτος εἰς



Σχ. 240. Γραφική λύση εξισώσεων 161 και 162 (Terzaghi και Fadum)



Σχ. 241 α, β. Φόρτισις εδάφους και διαμόρφωσις τάσεων

την επιφάνειαν του εδάφους εις δέ το Σχ. 241 β, περιπτώσις φορτίσεως εις ικανόν βάθος, οπότε το υπέδαφος φορτίζεται διά του βάθους D_F της θεμελίωσης (βλ. Terzaghi - Peck : πλαστική θεωροπία εις εδάφη : Soil mechanics 1948).

Έκ της θεωρίας του Prandtl εύρίσκεται ότι η μέγιστη εφ' η τή επιφόρτισις του εδάφους P_{max} συναρτήσεται της άντοχής του αέτου εδάφους, ως και η σχέσις $b : b'$ δίδεται υπό του ακόλουθου πίνακος :

Έκ των Σχ. 241 α και 241 β εμφανίζεται ότι θα λάβη χώραν όλυθησις του εδάφους κατά την κρίσιμον γωνίαν $45^\circ + \frac{\Phi}{2}$.

Διά την περίπτωσιν πλαστικής αργίλλου καθ' ην ως είδομεν ηδη ή $\frac{1}{2} q_u = c$ και όπου $\Phi = 0$ θα έχωμεν διά τάρων θεμελίωσης άπειρου μήκους :

Φ	P_{max}/q	$b : b'$
0°	2,57	1,00
10°	3,499	1,57
20°	5,194	2,53
30°	8,701	4,29
40°	7,560	8,46

$$P_{max} = 2,57 q_u = 5,14 c \quad (168)$$

ὁ *Fellenius* εὕρεν δι' ἄμεσον ἐπήρειν ἐπὶ τοῦ ἐδάφους :

$$P_{max} = 5,52 c \quad (164)$$

Διὰ θεμελιώσεις εἰς βάθος D_F (Σχ. 241 β) ἔχομεν :

$$P_{max} = 6,28c \left(1 + 0,32 \frac{D_F}{b} + 0,16 \frac{\gamma_c}{c} h \right)$$

Ὁ *Terzaghi* δίδει διὰ $\phi = 0$ καὶ ἐπιφάνειαν ὀλισθήσεως τόξον κύκλου :

$$P_{max} = 2,85 q_u = 5,70 c \quad (165)$$

ἐνθα c καὶ q_u τὰ γνωστά μεγέθη ἐκ τῶν τριαξονικῶν δοκιμῶν.

Διὰ θεμελιώσεις πεπερασμένου μήκους καὶ δὴ διὰ τετραγωνικά πέλατα θεμελιώσεως, εὐρίσκει ὁ *Terzaghi* :

$$P_{max} = 3,7 q_u = 7,4 c \quad (166)$$

(βλ. *Terzaghi* καὶ *Peck* : *Soil Mechanics*, ἐνθα καὶ ἀναλυτικώτερα μελέτη τοῦ ζητήματος).

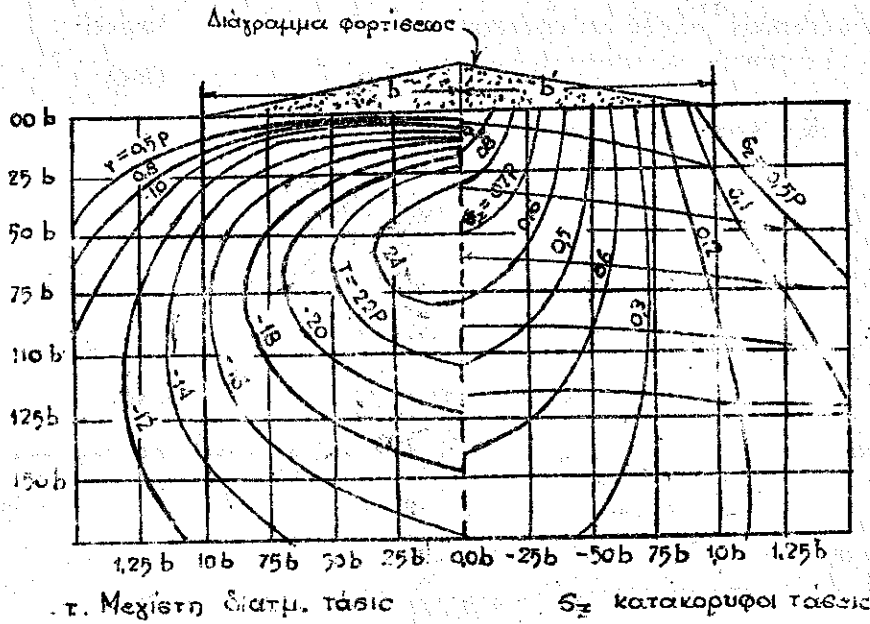
β. γ. Φορτίσεις μεταβλητῆς ἐντάσεως.

Προκειμένης τῆς ἐρεῦνης τῆς ἐπιφορτίσεως τοῦ ἐδάφους ὑπὸ κωματίνων φραγματίων ἢ ἐκ τοῦ βάρους τῶν τελευταίων τούτων διανομὴ τῶν φορτίων εἶναι τριγωνικὴ καὶ ἐπομένως ἡ διανομὴ τῶν τάσεων θὰ εἶναι διάφορος.

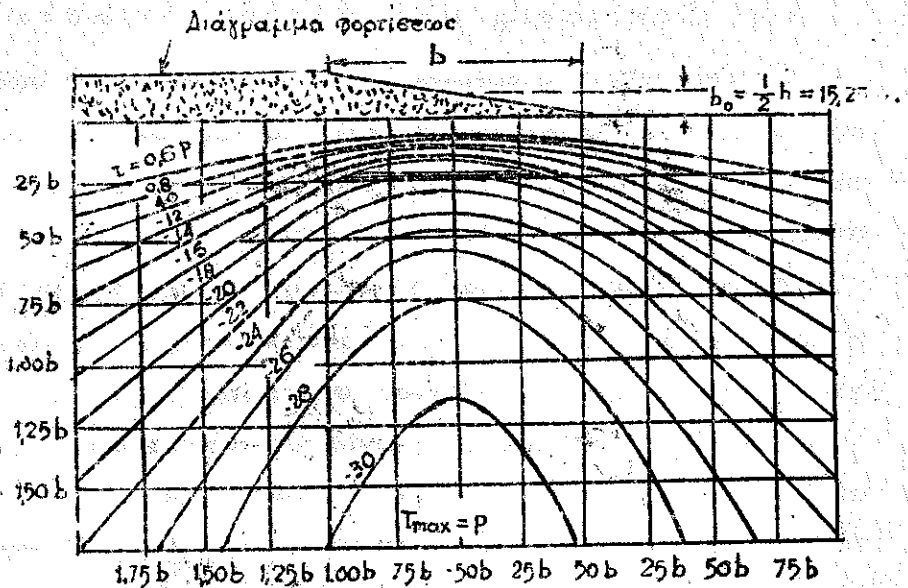
Εἰς τὸ Σχ. 242 δίδονται ἡ μεγίστη διατμητικὴ τάσις τ καὶ ἡ κατακόρυφος τάσις σ_z εἰς διάφορα βάρη $[z = f(b)]$ διὰ τριγωνικὴν φόρτισιν ἐκ κωματίνου φράγματος.

Εἰς τὸ Σχ. 243 δίδεται ἡ μεγίστη διατμητικὴ ἐντασὶς τ_{max} συναρτήσεσι τοῦ βάρους κατωθεν πρᾶνους. Ἀμφότερα τὰ διαγράμματα ἀναφέρονται εἰς ὁμοιογενές ἰσότροπον ὑλικόν καὶ μόνον.

Παράδειγμα χρησιμοποίησεως τῶν πινάκων τούτων εἰς ὁμοιογενές ἰσότροπον ὑλικόν δίδεται κατωτέρω :



Σχ. 242. Διάγραμμα διατμητικών και κυρίων τάσεων δια τριγωνικήν φόρτισιν (L. Jürgenson Elasticit, και Elasticity σ. 169)



Σχ. 243 Διάγραμμα διατμητικών τάσεων δια τραπεζοειδή φόρτισιν (L. Jürgenson)

Έστω φράγμα έξ ίσοτρόπου λεπτής παιπάλης άνευ συνεκτικότητας, όπερ έχει $\epsilon\phi\Phi = 0,40$ ($\Phi \approx 21^\circ 45'$), $\gamma_0 = 1,9224$ (120 lb/cf)
 $H = 50,48 \mu$, $b = 60,96 \mu$.

Είς βάθος του έδάφους $0,5b$ ($30,48 \text{ m}$) η διάτμ. τάσις είς τό μέσον του πρηνούς έσται: $\tau = 0,25$ (Σχ. 243) και η διάτμητική τάσις θα είναι:

$$\tau = 0,25 p = 0,25 \cdot 30,48 = 1,924 = 1,46 \text{ Kg/cm}^2.$$

Η αντίστασις είς διάτμησην είς τό αυτό σημείον θα ίσούται $\gamma_0 \cdot h_1 \cdot \epsilon\phi\Phi$:

$\gamma_0 \cdot h_1 \cdot \epsilon\phi\Phi = 1,924 (0,5b + 0,5h) \cdot 0,4 = 1,924 \cdot 1,5h \cdot 0,4 = 1,1544h = 35 \text{ kg/cm}^2$
 ήτοι ό συντελεστής άσφαλείας του φράγματος έσται:

$$F_1 = \frac{3,50}{1,46} = 2,40$$

Αντιστοίχως είς βάθος του έδάφους $0,25b$ η διάτμησης έσται:

$$\tau = 0,18 \cdot 30,48 \cdot 1,924 = 1,05 \text{ kg/cm}^2$$

και η αντίστοιχος άντοχή είς διάτμ. είς τό μέσον του πρηνούς:

$$\gamma_0 h_2 \epsilon\phi\Phi = 1,924 (0,5h + 0,25b) \cdot 0,4 = 0,7696 \cdot h = 2,34 \text{ kg/cm}^2$$

και ό συντελεστής άσφαλείας:

$$F_2 = \frac{2,34}{1,05} = 2,20$$

Τοιουτοτρόπως έλέχοντες είς διάφορα σημεία του ύπεδάφους ύπολογίζομεν τόν συντελεστήν άσφαλείας είς διάτμησην αυτού (δι' όμοιογενή ίσοτροπα ύλικά μόνον) κατά τόν Jürgenson.

4- Υδραυλική μελέτη τῶν φραγμάτων.

4-1 Γενικότητες.

Διὰ τῶν ψαθυρῶν ὑλικῶν τῶν κωματίνων φραγμάτων παρουσιάζεται ροή τοῦ ὕδατος καί φυσικά πολύ μεγαλύτερα ἢ εἰς τὰ ἐκ λιθοδομῆς ἢ σκυροδέματος. Ἡ μελέτη τῆς ροῆς ἐπιβάλλεται τόσον διὰ τὴν εὐστάθειαν τῶν φραγμάτων καί τὴν πρόληψιν κατατροφῆς αὐτῶν (ἐκροή ἐπὶ τῶν κατάντη κωματίνων πρᾶνῶν, δημιουργία σωληνοειδοῦς, ὀλίθησις τῶν πρᾶνῶν), ὅσον καί διὰ τὸν ὑπολογισμὸν τῆς ἐκ τοῦ ἀποθηκευομένου ὄγκου ἀπολυομένης ποσότητος ὕδατος.

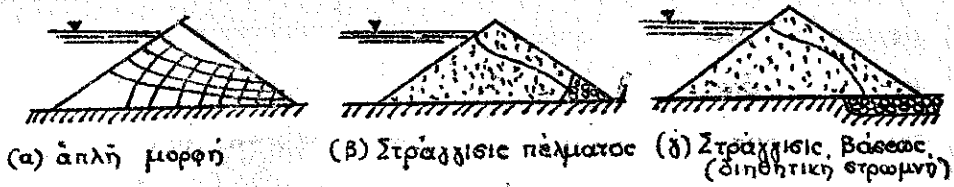
Διὰ τὸν ἔλεγχον ὅλων τῶν ἀνωτέρω συνθηκῶν δεόν νὰ ὑπολογίσωμεν τὰς συνθήκας ροῆς ἐντός τοῦ φράγματος, ἥτοι νὰ προσδιορίσωμεν τὰς γραμμὰς ροῆς καί ἴσου δυναμικοῦ, ὡς αὐταὶ ἐξέτεθησαν ἤδη ἐν ταῖς γενικαῖς αὐτῶν γραμμαῖς. (Παρόν κεφάλαιον § 3·5, σελ. 282-296)

Ὡς δεδομένα στοιχεῖα ἔχομεν τὴν μορφήν τοῦ φράγματος καί τὸ εἶδος τοῦ ὑλικοῦ αὐτοῦ, ἰδίᾳ διὰ τὴν ποιότητα τοῦ τελειοταίου, ὅσον ἀφορᾷ τὴν διαπερατότητα (συντελεστὰς διαπερατότητος κατὰ τὰς δύο τοῦλάχιστον κατευθύνσεις) ὡς καί τὴν διαμόρφωσιν καί τὴν εὐστάειν τοῦ ὑπεδάφους. (Γεωλογία, ὑδατοπερατότης κ.τ.λ.).

Κατὰ τὴν μελέτην τῆς τελικῆς μορφῆς τοῦ φράγματος δυνάμεθα νὰ εἰσαγάγωμεν τοιαύτας διατάξεις ὥστε ἡ παρουσιαζομένη ροή τοῦ ὕδατος νὰ ἐλέγχεται καί νὰ αἴρωνται τὰ πιθανὰ αἰτία κατατροφῆς τοῦ φράγματος.

Οὕτω εἰς τὸ Σχ. 244 δίδεται ἡ ροή τοῦ ὕδατος, εἰς ἀπλοῦν πρᾶνές (244 α) ὅπου τὸ ὕδωρ δυνατόν νὰ ρεῖσῃ ἐπὶ τῆς

ἐπιφανείας τοῦ πρανοῦς μέ τελικὴν κατατροφὴν αὐτοῦ. Εἰς τὸ Σχ. 244 β ἡ ἐτράχχισις τοῦ πέλματος καταβιβάζει τὴν γραμμὴν ροῆς ἐντὸς τοῦ ὄγκου τοῦ φράγματος. Ὅμοίως εἰς τὸ Σχ. 244 γ ἡ ἐτράχχισις τοῦ πέλματος ὀδηγεῖ εἰς τὸ αὐτὸ ἀποτέλεσμα.



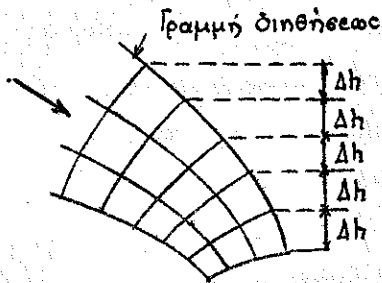
Σχ. 244 Ροὴ ὕδατος διὰ μέσου φραγμάτων

Διὰ τὰς ἐκάστοτε ὅθεν παρουσιασθησόμενας περιπτώσεις δεόν νὰ ὑπολογίζωμεν τὴν ροὴν τοῦ ὕδατος διὰ τῆς ὑδραυλικῆς μελέτης τοῦ φράγματος.

4.2. Διήθησις διὰ μέσου ὁμοιογενούς φράγματος Προσδιορισμός τῆς γραμμῆς διηθήσεως.

Ὁ προσδιορισμός τοῦ δικτύου ροῆς (ἰσορραϊκαὶ καὶ ἰσοδυναμικαὶ γραμμαὶ) δύναται νὰ γινῇ κατὰ τὰ ἐκτεθέντα ἤδη (σελ. 289 κ.έ.ε.) περὶ τῆς ἐπιπέδου ροῆς τοῦ ὕδατος ἐντὸς τοῦ ἐδάφους. Δοθέντος ὅτι ἡ ἐλευθέρη γραμμὴ ὀλισθήσεως (βλ. ὁρισμὸν αὐτῆς Σχ. 209 σελ. 290) ὑπόκειται εἰς μόνην τὴν ἀτμοσφαιρικὴν πίεσιν ἔπεται ὅτι τὰ σημεία ὅπου αἱ ἰσοδυναμικαὶ γραμμαὶ τέμνουσιν αὐτὴν ἔχουσιν σταθερὰν ὑψομετρικὴν διαφορὰν Δh (Σχ. 245).

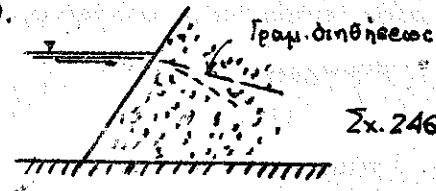
Εἰς τὸ σημεῖον εἰσερσῆς τοῦ ὕδατος ἐντὸς τοῦ φράγματος



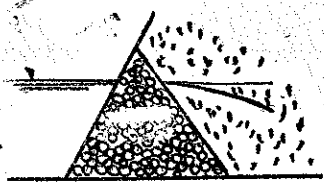
Σχ. 245 Γραμμὴ διηθήσεως

τος δοθέντος ὅτι τὸ ἀνάντη πρηνές, ὡς εἶδομεν, ἀποτελεῖ ἰσοδυναμικὴν γραμμὴν, ἢ γραμμὴ ροῆς εἶναι κάθετος εἰς τὴν γραμμὴν τοῦ πρηνοῦς (Σχ. 245).

Εἰς εἰδικὰς τινὰς περιπτώσεις, μόνον ὡς λ.χ. κατὰ τὴν παρεμβολὴν λιάν διαπερατοῦ ὑλικοῦ εἰς τὰ ἀνάντη, ἵνα δύνατον νὰ ἔκωμεν ὀριζοντίαν ἐφαπτομένην εἰς τὴν ἀρχὴν τῆς γραμμῆς διηθήσεως (βλ. Σχ. 247).



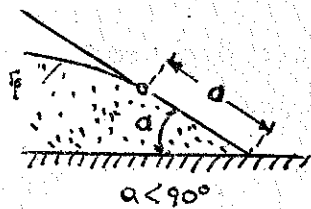
Σχ. 246



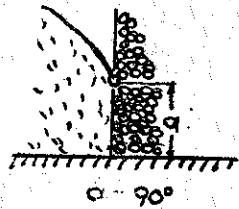
Σχ. 247

Ἐξ ἄλλου εἰς τὸ σημεῖον ἐκροῆς τοῦ ὕδατος ἐκ τοῦ σώματος τοῦ φράγματος θὰ ἐξαρτηθῇ ἡ ροὴ ἐκ τῶν ὀριακῶν συνθηκῶν τῆς ἐκροῆς.

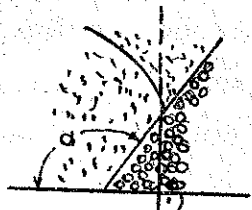
Δοθέντος ὅτι κατὰ τὴν ἐκροὴν μόνη ἐνεργουσα δύναμις εἶναι ἡ βαρύτης, τείνει ἡ γραμμὴ ροῆς νὰ λάβῃ κατακόρυφον διεύθυνσιν. Ἡ ὀριετικὴ ὅμως μορφή αὐτῆς θὰ ἐξαρτᾶται καὶ ἐκ τῆς γωνίας κλίσεως α τοῦ κατάντη πρηνοῦς τοῦ ὑλικοῦ ἐντός τοῦ ὁποίου μελετᾶται ἡ ροή.



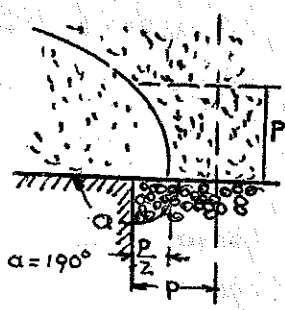
$\alpha < 90^\circ$



$\alpha = 90^\circ$



$90^\circ < \alpha < 180^\circ$



$\alpha = 190^\circ$

Σχ. 248. Διαμορφώσεις γραμμῆς ροῆς εἰς τὸ σημεῖον ἐκροῆς ἀναλόγως τῆς γωνίας α

Οὕτω εἰς τὸ Σχ. 248 δίδεται ἡ μορφή τῆς γραμμῆς διηθήσεως κατὰ τὴν ἐκροὴν, ἀναλόγως τῆς γωνίας κλίσεως (α), ευ-

μαινομένης από βαθμούς τινάς μέχρι 180° διά τήν περίπτωσιν του Σχ. 244 γ.

Ἡ ὀριακή περίπτωσις δι' $\alpha = 180^\circ$ εἶναι ἡ ἀπλουστερά διά μαθηματικὴν ἀνάλυσιν καὶ ἡ ευνηθεστερά εἰς τὰς ἐφαρμογὰς (διηθητικὴ στρωμνὴ, drainare blanket). Οὕτω δι' αὐτὴν ἀποδεικνύει ὁ Kozery (*Grundwasser bewegung e.t.c. Wasserkraft und wirtschafft*, 1931) ὅτι ἡ γραμμὴ διηθήσεως εἶναι παραβολὴ ἔχουσα τὴν ἐστίαν αὐτῆς εἰς τὸ ἀνάντη ἄκρον τῆς διηθητικῆς στρωμνῆς E (βλ. Σχ. 249 δ).

Ἐξ ἄλλου ὁ Casagrande (*Seepage through dams. N.E.W. W.A. 1937*) ἀποδεικνύει ὅτι ἡ εἰσροὴ τοῦ ὕδατος εἰς τὸ φράγμα γίνεταί ἀπὸ τὸ σημεῖον B (βλ. Σχ. 250) ἀλλ' ἡ παραβολὴ προεκτεινομένη τέμνει τὴν ἐπιφάνειαν τοῦ ὕδατος εἰς τὸ σημεῖον A ἐνθα $AB = 0,3$ (ΒΓ). (Διὰ ἀπότομον κλίσιν τοῦ ἀνάντη πρανοῦς ἡ ἀπόστασις AB δύναται νὰ κατέλθῃ εἰς $0,25$ (ΒΓ) ἢ καὶ ἔλαττον δι' ἔτι ἀποτομωτέραν κλίσιν).

Οὕτω διά τῆς ἐστίας E καὶ τοῦ σημείου A (Σχ. 250) δύναται νὰ κατασκευασθῇ ἡ παραβολὴ, ἥτις δίδει τὴν γραμμὴν διηθήσεως δι' $\alpha = 180^\circ$. Με' κέντρον τὸ A καὶ ἀκτίνα AE εὐρίσκεται τὸ σημεῖον I δι' οὗ διέρχεται ἡ διευθετούσα τῆς παραβολῆς, καὶ καθορίζεται καὶ ἡ παράμετρος αὐτῆς $EI = KI = p$. Ἐξ ἄλλου τὸ τμήμα BB' καράσεται, δι' ἐλευθέρου χειρὸς, διερχόμενον διὰ τοῦ B καὶ ἐφαπτόμενον τῆς παραβολῆς.

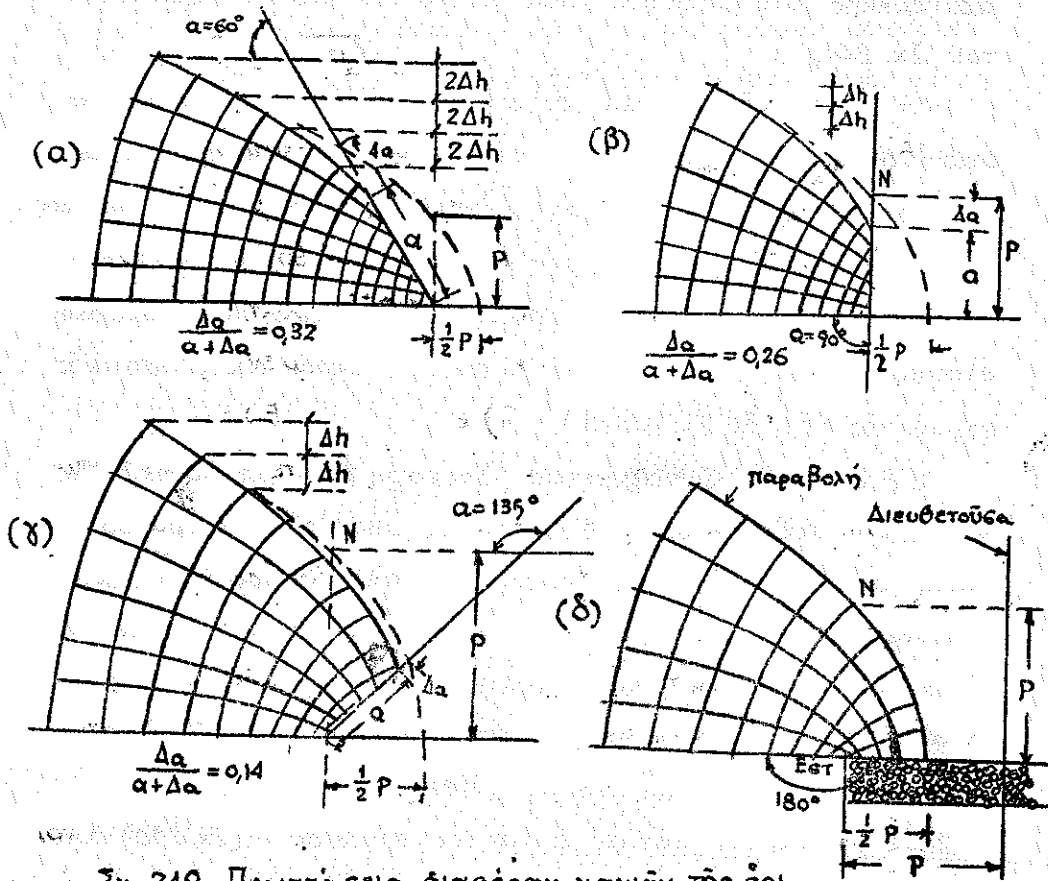
Δυνάμεθα ἔτι καὶ ἀναλυτικῶς νὰ ὑπολογίσωμεν τὴν παραβολὴν, δοθέντος ὅτι ἐξ ὀρισμοῦ αὐτῆς ἰσχύει ἡ ἐξέσις: (βλ. Σχ. 250)

$$\sqrt{x^2 + z^2} = x + p \quad (167)$$

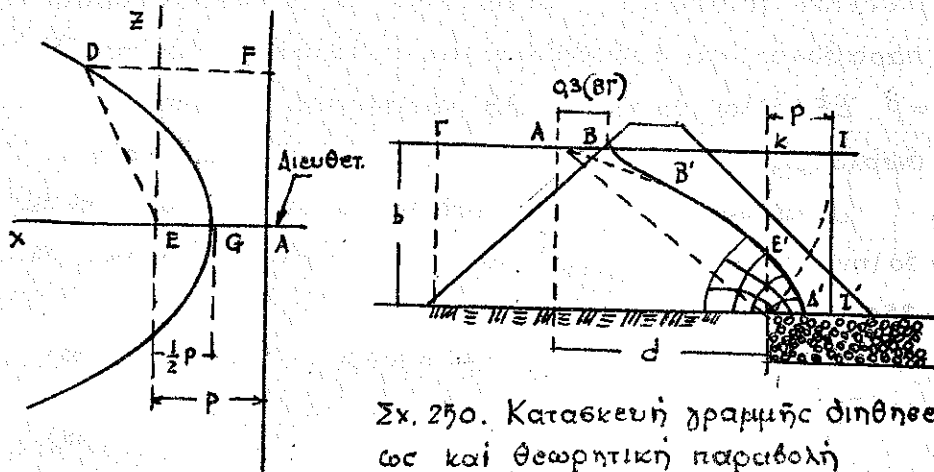
ἐξ ἧς :

$$x = \frac{z^2 - p^2}{2p} \quad (168)$$

Ἐξ ἄλλου ἐκ τῶν συντεταγμένων τοῦ $A(d, h)$ καὶ ἐκ τῆς



Σχ. 249 Περίπτωσης διαφόρων γωνιών της όρι-
 ζοντίας πρὸς τὴν ὀριακὴν γραμμὴν τοῦ καματινοῦ ὑλικοῦ
 (α): $\alpha = 60^\circ$, (β): $\alpha = 90^\circ$, (γ): $\alpha = 135^\circ$, (δ): $\alpha = 180^\circ$)



Σχ. 250. Κατασκευὴ γραμμῆς διηθησε-
 ως καὶ θεωρητικὴ παραβολή

(167) εὐρίσκομεν :

$$\sqrt{d^2 + h^2} = d + p \quad \eta \quad p = \sqrt{d^2 + h^2} - d \quad (169)$$

Ἐπί πλέον ἐξ ὀρισμοῦ τῆς καμπύλης ἔχομεν :

$$E\Delta = \frac{1}{2} p \quad \text{καί} \quad EE' = p$$

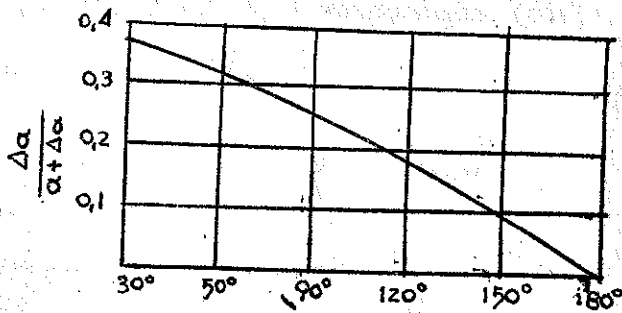
Διὰ τὴν ἐξεταζομένην περίπτωσιν ($\alpha = 180^\circ$) δυνάμεθα τώρα εὐκόλως νὰ προσδιορίσωμεν καὶ τὴν παροκὴν τοῦ διηθημένου ὕδατος. Οὕτως εἰς τὸ Σχ. 250 χαράσσομεν ἐπὶ τῆς ΔΕ τρεῖς γραμμὰς ἴσου δυναμικοῦ ($N_\gamma = 3$) καὶ ἐπὶ τῆς ΔΕ χαράσσομεν τὰς ἀντιστοίχους τρεῖς γραμμὰς ροῆς ($N_\rho = 3$) ὅποτε συμφῶνως πρὸς τὴν ἐξίς. 134 (σελ. 294) ἔχομεν :

$$q = k \cdot \frac{N_\rho}{N_\gamma} \cdot h_1 = K \cdot P \quad (170)$$

Φράγματα με ἀποστράγγισιν διηθητικῆς στρωμνῆς (Σχ. 244 γ καὶ 250) εἶναι λίαν πρόσφορα ἀπὸ ἀπόψεως εὐεταθείας καὶ οὐνανταὶ νὰ κατασκευασθῶσιν με ἀποτομώτερα πρηνῆ ἀπὸ τὰ φραγμ. τῶν Σχ. 244 α καὶ 244 β. Τὸ μειονέκτημα τῶν πρώτων εἶναι ὅτι ἡ παροκὴ διηθήσεως αὐτῶν εἶναι πολὺ μεγαλύτερα ἢ εἰς τὰ δεύτερα ὅπου τὸ πρηνές ἐκροῆς ἔχει ὀξείαν γωνίαν α .

Εἰς περίπτωσιν φραγμάτων με κελκλιμμένον τὸ πρηνές εἰς ἡττοι διὰ γωνίαν $\alpha < 180^\circ$, ἡ γραμμὴ διηθήσεως θὰ διαφέρει ἀπὸ τὴν εὐρεθεῖσαν παραβολὴν. Ὡς ἐμφαίνεται εἰς τὰ Σχ. 249 α, β, καὶ γ ἡ διαφορὰ αὕτη μετράται διὰ τοῦ μήκους $\Delta\alpha$ μετρουμένου ἐπὶ τοῦ πρηνούς ὑπὸ τὴν ἐκάστοτε γωνίαν α τῆς τρήσεως τοῦ ἀρκομένης ἐπὶ ἀποστάσεως α ἀπὸ τοῦ πέλματος τοῦ πρηνούς, ἡτοι τῆς ἐστίας τῆς ὀρθοδόξου παραβολῆς. Κατόπιν μελέτης ὁ Casagrande προσδιορίζει τὸν λόγον $\frac{\Delta\alpha}{\alpha + \Delta\alpha}$ διὰ διαγράμματος συναρτήσεως τῆς γωνίας α (βλ. Σχ. 251). Τοιοῦτοτρόπως σχεδιάζεται δι' οἰανδήποτε γωνίαν α ἡ θεωρητικὴ

παραβολή ὅποτε προσ-
διορίζεται αὐτομάτως
ἐπ' αὐτῆς γραφικῶς
τό σημεῖον (N) τό ἄ-
πέχον ἐκ τοῦ πέλματος
($\alpha + \Delta\alpha$).



Ἐκ τοῦ Σχ.251 διά
τὴν δεδομένην γωνίαν Σχ.251 Προσδιορ. $\frac{\Delta\alpha}{\alpha + \Delta\alpha}$ συναρτήσῃ α
 α εὐρίσκομεν τὸν λόγον $\frac{\Delta\alpha}{\alpha + \Delta\alpha}$ καὶ τοιοῦτοτρόπως γνωστοῦ ὄν-
τος ἤδη τοῦ $\alpha \cdot \Delta\alpha$ εὐρίσκεται τό $\Delta\alpha$, ὅπερ καροῖσεται ἐπί
τοῦ πρηνοῦς (βλ. Σχ. 249 α, β, γ) καὶ προσδιορίζεται ἡ πραγ-
ματικὴ γραμμὴ διηθήσεως.

4-β-Διήθησις εἰς ἀνιεότροπα ὑλικά τῶν φραγμάτων.

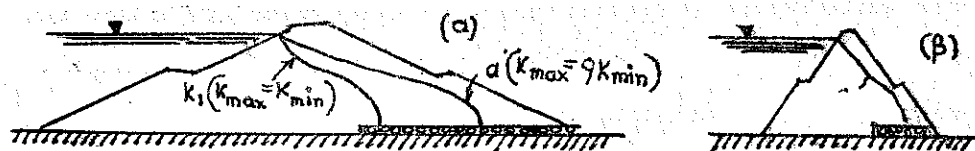
Ὁ συν/ετής διαπερατότητος τῶν προσκώσεων ἐν τῇ φύσει
διαφέρει τόσον κατὰ τὰ στρώματα τῶν εἰς διαφόρους ἐποχὰς
ἀποθέσεων ὅσον καὶ εἰς τό αὐτό στρώμα κατὰ τὰς δύο κυρίως
κατευθύνσεις αὐτοῦ, ἤτοι παραλλήλως καὶ καθέτως πρὸς τὴν φυ-
σικὴν ἐναπόθεσιν (βλ. σχετικῶς τὰ ἐκτεθέντα εἰς θελ. 253 καὶ 289).
Οὕτω ἐντός ἐνός καὶ τοῦ αὐτοῦ φυσικοῦ στρώματος εἶναι δυ-
νατὸν νὰ ἔχωμεν K_{max} (παράλληλος πρὸς τὴν στρωθὴν κατεύ-
θυνσις) δεκαπλασίαν ἀπὸ τό K_{min} (κάθετος πρὸς τὴν στρωματο-
ποίησιν κατεύθυνσις).

Τό αὐτό φαινόμενον παρουσιάζεται καὶ εἰς τὰς τεχνικάς ἐπι-
κώσεις, ἤτοι κατὰ τὴν κατασκευὴν τῶν φραγμ. ἢ ἀναχωμάτων, εἴτε
ταῦτα εἶναι ὑδατόπλαστα (στρώσεις μείζονος διαπερατότη-
τος κατὰ τὴν ὑδραυλικὴν διάστροφωσιν ἢ καθέτως) εἴτε κυλινδρό-
μενα. Διὰ τὸν λόγον αὐτὸν εὐχρὰ κατὰ τὴν ὑδραυλικὴν διάστροφω-

ειν αναταράσσεται ή ήλύς διά μακρών ράβδων ένώ κατά τήν κυλίνδρωσιν κρησιμοποιοῦνται αἱ προεξοχαί τῶν κυλίνδρων (κατεικοπόδαρα). Ἐτέρος συντελεστής τῆς ανισοφορίας εἰς τὰς ἐπίκωσεις εἶναι ἡ διαφορά τοῦ k εἰς αὐτήν τήν πηγὴν τῶν κομμάτων (ὄρυκείον) ὧν ἡ ἐκμετάλλευσις γίνεται κατά στρώσεις διαφόρου ὑδατοπερατότητος καὶ ἡ ἐπίκωσις ἐπομένως ἐπιτελεῖται καὶ ἀντιετοίκους διαστρώσεις διαφόρου διαπερατότητος k .

Ὁ Shaffernak ἀποδεικνύει (Wasserwirtschaft 1939) ὅτι ἐάν ἀλλάζωμεν τήν κλίμακα μηκῶν κατά τήν διεύθυνσιν καθ' ἣν παρουσιάζεται τό k_{max} (συνήθως τήν ὀριζοντίαν ἐννοιαν) διά τοῦ λόγου $\sqrt{\frac{k_{max}}{k_{min}}}$ τότε μετασκηματίζεται ἡ ἀρχική διατομή εἰς ἄλλην μέ ἀποτομωτέρα πρᾶνῃ εἰς τήν στρεβλήν ταύτην κλίμακα. Τήν οὕτω προκύπτουσαν διατομήν μελετῶμεν κατά τὰ λεκθέντα εἰς τήν προηγουμένην παράγραφον δι' ἰσότροπα ὑλικά καὶ καράεσομεν τήν γραμμὴν διηθήσεως καὶ τὸ δίκτυον ροῆς.

Τήν οὕτω προκύπτουσαν ροὴν μεταφέρομεν νῦν εἰς τήν ἀρχικὴν κλίμακα καὶ λαμβάνομεν τήν πραγματικὴν ροὴν εἰς τὸ ανισότροπον ἐπίκωμα. Ἡ μέθοδος αὕτη ἐμφαίνεται εἰς τὸ ἀκόλουθον Σκῆμα 252, ὅπου εἰς τὸ ἐκῆμα (α) δίδεται ἡ ἀρχική διατομή



Σκ. 252. Γραμμὴ διηθήσεως δι' ανισότροπα ὑλικά

εἰς δὲ τὸ Σκ.(β) ἡ στρεβλὴ τοιαύτη ἐνθα ἡ κλίμαξ ὀριζοντίων μηκῶν ἔχει ἀναχθῆ εἰς τὸ ἔν τρίτον (ὑποτίθεται $k_{max} = 9k_{min}$ καὶ ὅπου

προσδιορίζεται ἡ παραβολὴ διηθήσεως δι' ἰσότροπον ὑλικὸν (π).

Ἐκ τὸ Σχ. 252 α, μεταφέρεται ἡ καμπύλη π εἰς τὴν καμπύλην π' ἣτις θὰ εἶναι ἡ πραγματικὴ γραμμὴ διηθήσεως, ὡς τὸ ἀνιέτροπον φράγμα.

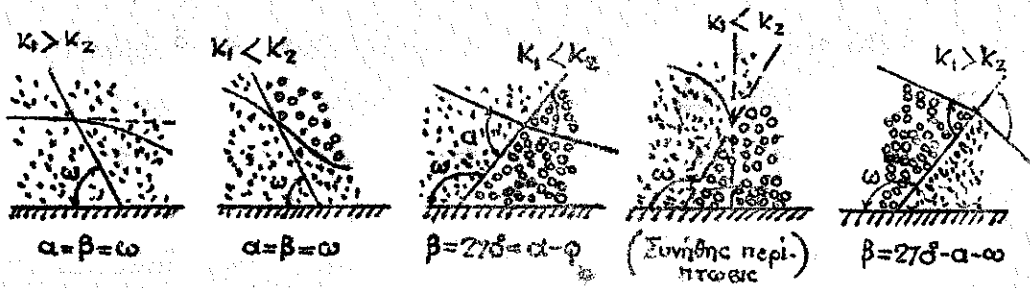
Ἡ καμπύλη π, τοῦ Σχ. 252 α δίδει τὴν γραμμὴν διηθήσεως τοῦ φράγματος εἰάν τοῦτο ἦτο ἰσότροπον,

Ἐἶναι προφανές ὅτι εἰάν μεταφέρωμεν τὸ ὅλον δίκτυον ροῆς ἐκ τῆς στρεβλῆς κλίμακος εἰς τὴν πραγματικὴν ἢ τομὴ τῶν ἰσορραϊκῶν καὶ ἰσοδυναμικῶν γραμμῶν δὲν θὰ γίνεταί πλέον κατ' ὀρθὰς γωνίας. Ἡ ὑδραυλικὴ κλίσις καὶ τὰ μεγέθη τῶν πιέσεων διηθήσεως θὰ εἶναι πραγματικά μόνον εἰς τὴν φυσικὴν κλίμακα, ἐνῶ αἱ πιέσεις τῶν πόρων καὶ ἡ ὑδροστατικὴ ἀνωσις θὰ δύνανται νὰ ὑπολογίζωνται ἐξ ὁσέδηποτε κλίμακος.

4-4 Διήθησις εἰς μικτὰ φράγματα.

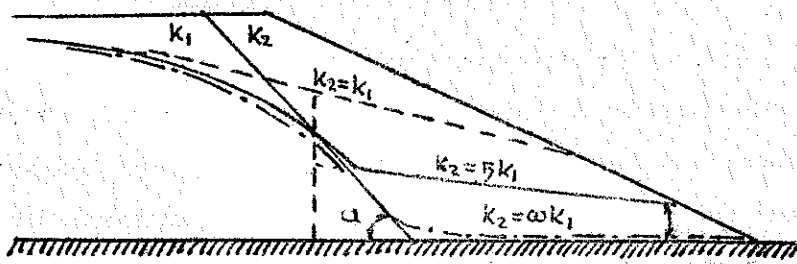
Πολλὰ ἐκ τῶν κοματίνων φραγμάτων ἀποτελοῦνται ἐκ μικτῶν διατομῶν ἐνθα τὰ πλέον ἀδιαπεράτα ὑλικά χρησιμοποιοῦνται εἰς τὸ μέσον (ἀρχιλλικοὶ πυρῆνες) βλ. Σχ. 167, 169, 171, 173, 174 εἴτε εἰς τὴν ἀνάντη πλευράν. (βλ. Σχ. 162, 163, 168) διὰ τὴν καλλιτέραν στεγανοποίησιν τοῦ φράγματος. Ἐξ ἄλλου εἰς τινὰ φράγματα ἔχομεν βαθμιαίαν διάστρωσιν ἐξ ἀδιαπεράτων ὑλικῶν πρὸς διαπεράτᾳ (Σχ. 164).

Ἐἰς τὰς περιπτώσεις αὐτὰς θὰ ἔχωμεν μεταβολὴν τῶν ὑδραυλικῶν φαινομένων δι' ἕκαστον ὑλικόν. Εἰς τὰς ἐπιφανείας μεταβολῆς τοῦ ὑλικοῦ ἡ γραμμὴ διηθήσεως θὰ ἀλλάσῃ κατεύθυνσιν. Εἰς τὸ Σχ. 253 δίδονται αἱ μεταβολαὶ τῶν γραμμῶν εἰς τὰς συνήθεις περιπτώσεις ἀλλαγῆς τῶν ἐπιπέδων ἐπαφῆς διαφόρων ὑλικῶν ἀναλόγως τοῦ συντελεστοῦ διαπερατότητος αὐτῶν.



Σχ. 253. Γραμμή διηθήσεως εις σημεία αλλαγής διαπερατότητας K .

Εις τό Σχ. 254 δίδεται ή ὅλη γραμμή διηθήσεως εις μικτήν διατομήν φράχματος ἀποτελουμένην ἀπό δύο ὑλικά ἔνθα $K_1 < K_2$, ὡς ευνήθως συμβαίνει εις φράγματα μέ ἀρχιλικόν πυρήνα καί ἀμμοαρχιλλῶδες κέλυφος. Εις τό σχῆμα δίδεται μέ διακεκομμένην γραμμὴν ή γραμμή διηθήσεως εις περιπτώσιν καθ' ἣν $K_2 = K_1$. Ὁμοίως δίδεται μέ πλήρη γραμμὴν ή γραμμή διηθήσεως διά $K_2 = 5K_1$. Τέλος μέ μικτήν γραμμὴν δίδεται ή γραμμή διηθήσεως διά $K_2 = \infty K_1$ ἥτοι διά κέλυφος ἀπό κονδροκόκκους χάλικας.



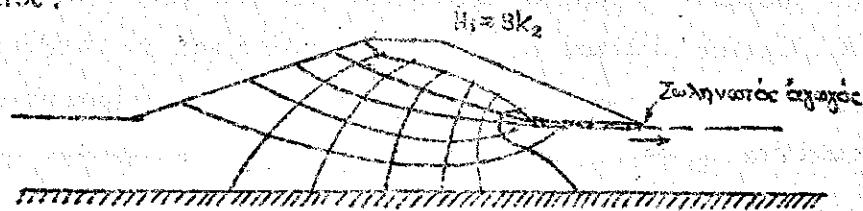
Σχ. 254. Γραμμή διηθήσεως εις μικτάς κατασκευάς

Εις τήν περιπτώσιν διαφορετικῶν K ή γραμμή διηθήσεως κατασκευάζεται ἀναζητητικῶς τοιοῦτοτρόπως ὥστε ή παροχή διηθήσεως εις τά δύο τμήματα νά εἶναι ἴση.

4.5 Ροή εις φράγματα επί διαπερατού υπεδάφους.

Είς τας άνωτέρω περιπτώσεις ύπολογισμού τών γραμμών ροής δέν ελήφθη σνδóλιος ύπ' όψιν τό έδαφος έφ' ού έδράζεται τό φράγμα , ήτοι έθεωρήθη τό υπεδάφος ως άδιαπέρατον . Τούτο όμως δέν άποτελεί ευνήθη περίπτωση . Ούτω εις τό Σχ. 255 δίδεται φράγμα κατασκευασθέν επί διαπερατού έδαφους , όπερ , όπως και τό φράγμα , έχει $K_{max} = 3K_{min}$ (K_{max} δι' όριζοντιαν ροήν , K_{min} διά κατακόρυφον τοιαύτην) .

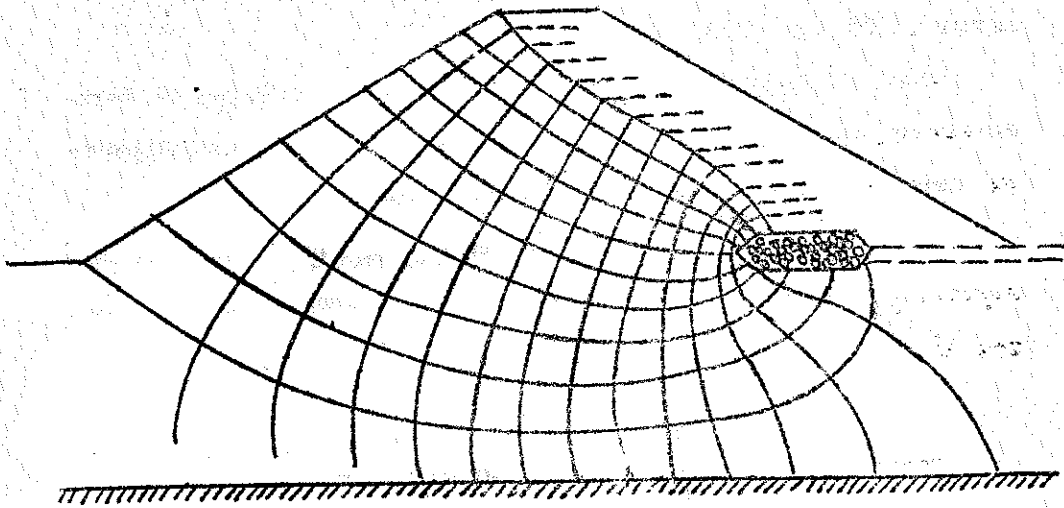
Η στραγγισις του φράγματος γίνεται διά στραγγιστικής στρωμνής μικρού πλάτους διαπόυσης όμως καθ' όσον τό μήκος του φράγματος (καθέτως εις τό σχέδιον) και άποκετενομένης διά βωληνωτού άγωγού διήκοντος κατά μήκος της βάσεως της διατομής του φράγματος .



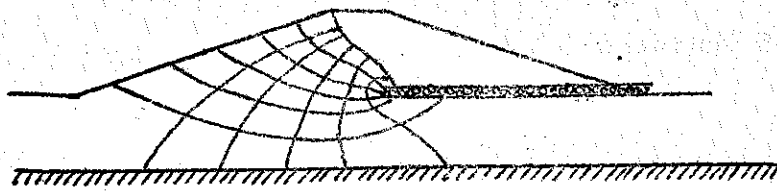
Σχ. 255 . Ροή εις φράγμα και υπεδάφος

Τό Σχ. 255 μετασχηματίζεται εις τήν στρεβλήν διατομήν μέ συντελεστήν μετατροπής $\sqrt{3}$ (διπλασιασμένης της όλης κλίμακος) και κατασκευάζεται τό διάγραμμα ροής (γραμμή διηθήσεως παραβολή) δι' όμοιογενές ύλικόν μεταφέρεται δέ τό δίκτυον έκ της στρεβλής κλίμακος του Σχ. 256 εις τό Σχ. 257 .

Τοιοιουτρόπως εύρίσκειται και ή ροή έντός του υπεδάφους . Είς τό αύτό ως άνω φράγμα είναι δυνατόν να έκταθη ή στραγγιστική στρωμνή επί της ήμισείας βάσεως του πλάτους του φράγματος ως έμφαίνεται εις τό Σχ. 257 . Τότε κατασκευάζεται



Σχ. 256 Τό φράγμα του σχ. 255 εἰς διπλασίαν κλίμακα καί μέ κλίμακα ὕψων $\chi\sqrt{3}$ τῆς τῶν μηκῶν



Σχ. 257 Στραχιετική στρωμνή μεγάλου μήκους

πάλιν τό δίκτυον ροῆς εἰς στρεβλήν κλίμακα τοῦ φράγματος δι' ἰσοτροπὸν δομὴν ($K_1 = K_2 = K_{max}$) καί μεταφέρεται ἡ γραμμὴ ροῆς εἰς τό Σχ. 237.

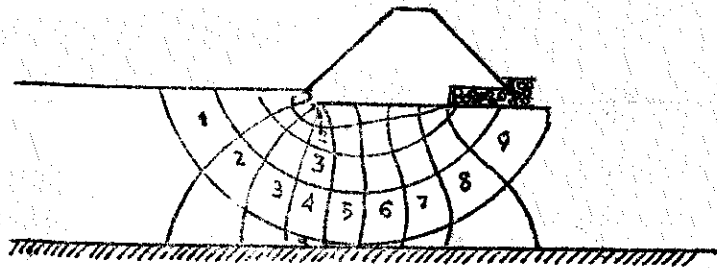
Εἰς τὴν δευτέραν περίπτωσιν ἡ διαρροεμένη ἐπιφάνεια εἶναι πολὺ μικροτέρα ἢ εἰς τό Σχ. 255.

Οὕτω κατὰ τὸν Casagrande : " ἀνάχωμα μέ κλίσιν πραινῶν 5:1 εἶναι δυνατόν νά ἔχη εὐσθάθειαν πολὺ μικροτέραν ἀπὸ καλῶς συμπενοκνωμένον ἀνάχωμα μέ κλίσιν 2:1 εἰς τό ὅποιον ὁμως προβλέπεται στραχιετικὴ στρωμνὴ ἐκτεινομένη εἰς τό ἥμισυ τοῦ πλάτους τῆς διατομῆς ὡς εἰς τό Σχ. 257 ". Ἡ εἴπωσις αὕτη κατα-

είκνυει τὴν σημασίαν τῆς στραχίσεως τοῦ φράγματος, ἐπὶ τῆς εὐσταθείας αὐτοῦ, ὡς ἐμφαίνεται καὶ διὰ συγκρίσεως τῶν σχημάτων 255 καὶ 257.

Εἶναι ἐξ ἄλλου προφανές ὅτι ἡ στραχιστικὴ στρωμνὴ ἐκτεινομένη εἰς μεγάλο μῆκος διευκολύνει τὴν ταχείαν ἐστράχισιν καὶ συνεπῶς ταχυτέραν πυκνοποίησιν αὐτοῦ.

Εἰς τὸ Σχ. 258 εἴδεται τὸ δίκτυον ῥοῆς εἰς τὸ ὑπέδαφος διὰ περίπτωσιν καθ' ἣν τὸ φράγμα εἶναι ἀδιαπέρατον, κατασκευάζεται δὲ εἰς τὸ κατάντη πέλας.

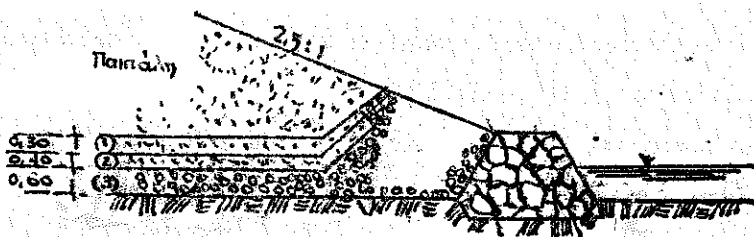


Σχ. 258 Ἀδιαπέρατον ἀνάκωμα ἐπὶ διαπερατοῦ ὑπεδάφους

4.6. Κατασκευὴ καὶ εὐστασις τῶν στραχιστῆρων.

Ἡ κατασκευὴ τῶν στραχιστῆρων δεόν γὰρ γίνηται κατὰ τρόπον αποκλείοντα τὴν δημιουργίαν τοῦ σωληνοειδοῦς, ἐπομένως πρέπει γὰρ κατασκευάζωνται οὗτοι μὲ διαβάθμισιν τῶν κόκκων τῶν ὑλικῶν.

Εἰς τὸ Σχ. 259 δεῖκνυται ἡ διαβάθμισις στραχιστῆρος πέλ.



Σχ. 259 Διάταξις στραχιστῆρος

ματος, ἔνθα αἱ διάφοροι στρώσεις ἔχουν βαθμιαίως αὐξάνουσαν διάμετρον κόκκων κατ'ὁμοίως αὐξάνοντα συντελεστήν διαπερατότητος K .

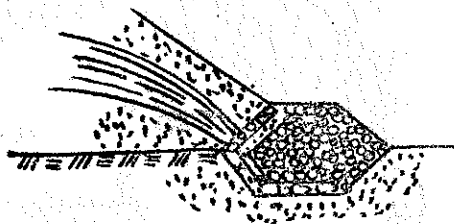
Οὕτω διά στρώσιν 1 $K_1 = 750 \cdot 10^4$ cm/sec.

» » » 2 $K_2 = 1250 \cdot 10^3$ » »

» » » 3 $K_3 =$ πολὺ μεγάλο.

Εἰς περίπτωσιν καθ' ἣν ἐπιδιώκεται καὶ ἡ στράγγισις τοῦ ἔ-

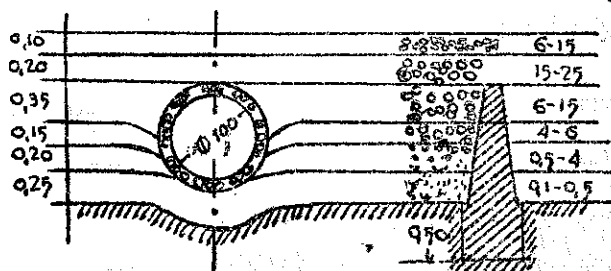
δάφους τότε ἡ διάταξις στραγγίσεως λαμβάνει τὴν ἐν τῷ εἰρηματι 260 δεδομένην μορφήν, ἔνθα πᾶσα πλευρὰ αὐτῆς ἐφαπτομένη μετὰ τὸ ἔδαφος ἔχει βαθμιαίαν διάταξιν τῶν κόκκων.



Σχ. 260. Στράγγισις εἰς διαπερατὸν ὑπέδαφος.

Εἰς ἡν περίπτωσιν τὸ ὑπέ-

δαφος ἀποτελερούμενον ἐξ ὁμοιογενοῦς ὑλικοῦ εἶναι διαπερατὸν συνιστᾶται ἡ κατασκευὴ ἀντεστραμμένων διύλισηθρίων εἰς τὴν βάσιν τοῦ φράγματος δι' ὧν γὰρ στραγγίζεται τὸ ἔδαφος τοῦ



Σχ 261 Στραγγιστὴρ ὑπέδαφους

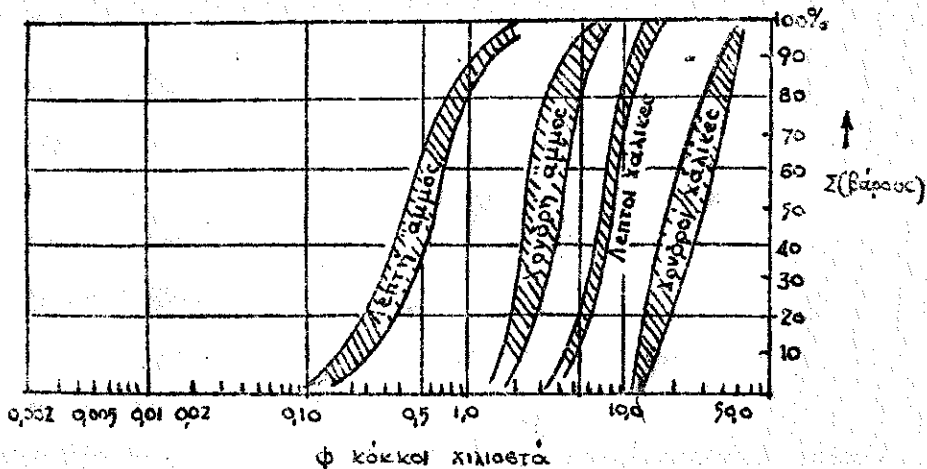
ὑπέδαφους καὶ γὰρ ἀποφεύχεται τὸ εὐληθοεῖδες.

Εἰς τὸ Σχ. 261 δίδεται τοιαύτη διάταξις στραγγιστῆρος συνιστωμένη ὑπὸ τοῦ Mahel.

Ἡ στράγγισις δύναται γὰρ γίνῃ ἐνίοτε διὰ διηθητικῶν φρεά-

των ἦτοι κατακορύφωφιν στραχχιστήρων διαμέτρου 1,0-1,5 μ. πληρουμένων κατὰ ἐξωτερικῶν δακτύλιον διὰ λεπτοκόκκων ὑλικῶν εἰς δὲ τὸ κέντρον διὰ κονδροκόκκων τοιοῦτων.

Εἰς τὸ Σχ. 262 ἐμφαίνεται ἡ κοκκομετρικὴ ἀνάλυσις τεσσάρων διαδοχικῶν στρωμάτων στραχχιστήρων καὶ τὰ ὅρια ἐντὸς τῶν ὁποίων θεῶν νὰ εὑρίσκεται ἡ ἀνάλυσις ἐκάστου τύπου ἐξ αὐτῶν.



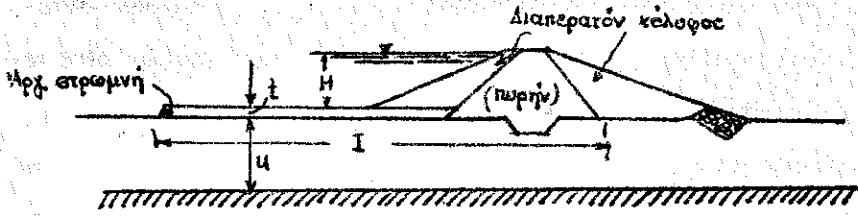
Σχ 262 Κοκκομετρικὴ ἀνάλυσις στρωμάτων στραχχιστήρων.

4.7 Ἀδιαπέρατοι στρωμνὰι

Πλὴν τῆς δι' ἀποστραχχίσεως συλλογῆς καὶ ἀπορροῆς τῶν ὑδάτων δυνάμεθα νὰ ἀπομακρύνωμεν ταῦτα δι' ἀποκλεισμοῦ προσεσχίσεως αὐτῶν καὶ τοῦτο γίνεται ἢ διὰ τῶν παραπετασμάτων (ὡς ταῦτα ἐκτενῶς ἀνεπτύχθησαν ἀλλαχοῦ) ἢ διὰ στρώσεων ἐξ ἀρχιλλικοῦ ὑλικοῦ σχηματίζοντος ἀδιαπέρατον στρωμνὴν (Clay blanket).

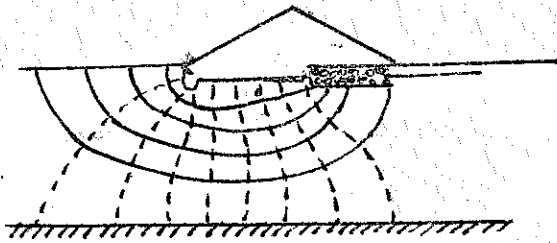
Εἰς τὸ Σχ. 263 ἐμφαίνεται ἡ κατασκευὴ ἀδιαπεράτου ἀρχιλλικῆς στρωμνῆς ἐκτεινομένης μέχρι τοῦ ἀρχιλλικοῦ πυρῆνος τοῦ φράγματος. Ἡ στρωμνὴ θεῶν νὰ ἐκτείνεται εἰς μεγάλο μῆ-

κος, διότι τοιουτοτρόπως ελαττούται ή υδροστατική πίεσις υπ' αυτήν του ύδατος διαρρέοντος μεγαλύτερον μήκος διά τήν αυτήν διαφοράν δυναμικού ή.

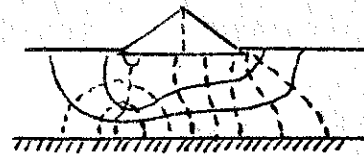


Σχ. 263 Αρχιλική στρωμνή

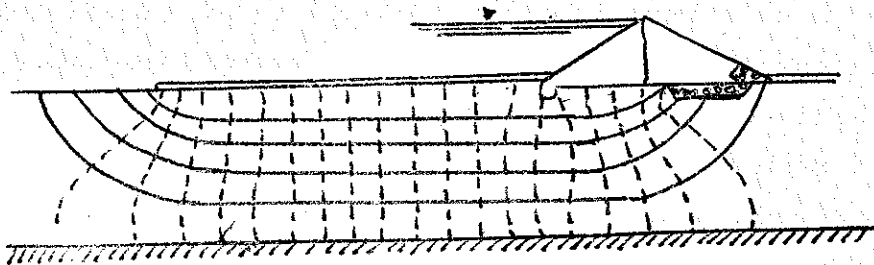
Είς τὰ ακόλουθα σκήματα δίδονται πρὸς σύγκρισιν αἱ τρεῖς ευνήθειαι περιπτώσεις διηθήσεως εἰς διαπερατόν ὑπέδαφος κατὰ τὰς ὁποίας ἐπιδιώκομεν τὴν ἐλάττωσιν τῶν πιέσεων καὶ τῶν ταχυτήτων τοῦ ὑπογείου ὕδατος διὰ στραγγιστήρων (Σχ. 264) διὰ κατακέρυφου τοίκου (Σχ. 265) καὶ διὰ ἀδιαπεράτων στρωμνῆς (Σχ. 265)



Σχ. 264



Σχ. 265



Σχ. 266

5. Η ευστάθεια τῶν κωματινῶν φραγμάτων

Ὁ κίνδυνος καταστροφῆς τῶν κωματινῶν φραγμάτων παρουσιάζεται εἴτε λόγῳ τοῦ σωληνοειδοῦς, εἴτε λόγῳ ἑλλείψεως ἀνοχῆς εἰς διάτμησιν εἰς τὴν ἐπιφάνειαν ἐδράσεως αὐτῶν εἴτε τέλος λόγῳ μικρῶν δυνάμεων ευναφείας (μικρὸς συν/επίσης C) ἢ μικρᾶς γωνίας τοῦ φυσικοῦ πρανοῦς τοῦ ὑλικοῦ (γωνίας Φ). Ἡ ἐκ τῶν ἄνω συνθηκῶν ἀεψάλεια μειοῦται εἰσέτι ἐκ τῆς παρουσίας ὕδατος καὶ τῆς ἐξ αὐτοῦ πίεσεως τῶν πόρων.

Μετά τὴν διὰ καταλλήλου στραγγίσεως ἀποτροπὴν ἐκ τῶν κινδύνων τοῦ σωληνοειδοῦς μεγαλύτερος κίνδυνος παραμένει ἢ ὀλισθήσει τῶν πρανῶν τοῦ φράγματος.

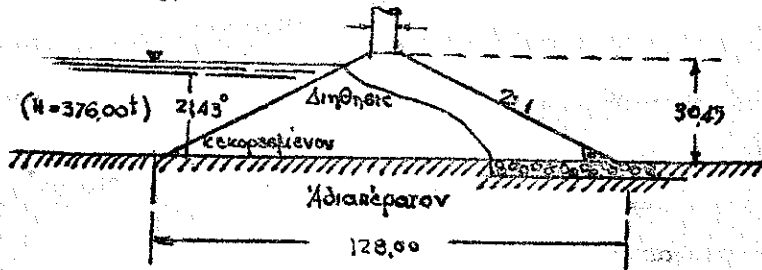
Κατωτέρω δίδονται αἱ μέθοδοι ὑπολογισμοῦ δι' ἃν ἐλέγχεται ἡ ὑπαρξίς μεγάλων τάσεων διατμήσεως εἰς τὸν πυθμένα (§ 5.1) καὶ ἐν συνεχείᾳ ἐξετάζεται ἡ ευστάθεια τῶν πρανῶν, ἥτις ἀποτελεῖ καὶ τὸ κυριώτερον σημεῖον ὑπολογισμοῦ τῶν κωματινῶν φραγμάτων.

5.1: Ἐλεγχος κωματινῶν φραγμάτων εἰς διάτμησιν τῆς βάσεως.

Ὁ ἔλεγχος τῆς βάσεως εἰς διάτμησιν καὶ ἡ πρόληψις ἐπομένως ὀλισθήσεως τοῦ ὅλου φράγματος ἐπὶ τῆς βάσεως αὐτοῦ, ἀποτελεῖ παλαιάν μέθοδον προφανῶς δὲ οὐκ ἀκριβῆ μηδὲ ἀπολύτως ἀντέχουσαν εἰς λεπτομερῆ ἐπιστημονικὸν ἀναλυτικὸν ἔλεγχον. Οὐκ ἦντιν χρησιμοποιεῖται εἰσέτι σήμερον καὶ ἀποτελεῖ ἔστω ἓνα πρόχειρον ἔλεγχον τῶν ἔργων τούτων. Κατωτέρω ἀποδίδονται εἰ τρεῖς τρόποι τοιοῦτου ἔλεγχου μετὰ σχετικῶν παραδειγμάτων :

α/ Έλεγχος της όλης βάσεως.

Έστω φράγμα του Σχ. 267. Δεχόμεθα ότι κατόπιν ύπο-



Σχ. 267 Έλεγχος βάσεως φράγματος λογιισμού, το υπό του ύδατος διαρρέομενον και κεκορημένον τμήμα της διατομής ανέρχεται εις 65% της όλης επιφανείας αυτής.

Έξ άλλου έστω ότι εύρέθησαν αι ακόλουθοι τιμαί των χρησιμοποιηθέντων κομμάτων :

Ξηρόν βάρος : $1,89 \text{ t/m}^3$ βυθισμένον βάρος : $1,20 \text{ t/m}^3$
 κεκορημένον " : $2,20 \text{ "}$ γυρόν έδαφος : $1,96 \text{ "}$

Τό βάρος του φράγματος είναι :

$$65\% \cdot 1,20 = 0,780$$

$$35\% \cdot 1,96 = \underline{0,687}$$

$$\text{Μέσον βάρος διατομής} = 1,465 \text{ t/m}^3$$

Έξ άλλου ή διατομή είναι $0,5(6,10 + 128,0) \cdot 50,48 = 2043,70 \text{ m}^2$ και τό βάρος Β έσται : $2043,7 \cdot 1,465 \approx 3,000 \text{ t/m}$ και ή εις τόν πυθμένα πίεσις έσται :

$$P = \frac{3000}{128,00 \text{ μ.}} = 23,5 \text{ t/m}^2 = 2,35 \text{ kg/cm}^2$$

Έάν υποθέσωμεν ήδη ότι τό υλικόν του φράγματος έχει γωνίαν έσωτερικής τριβής $\phi = 16^\circ 45'$ όποτε $\epsilon\phi\phi = 0,3$ τότε ή τριβή του φράγματος επί της βάσεως αυτού θα είναι :

$$3000 \cdot 0,3 = 900,0 \text{ τόν.}$$

Έξ άλλου ή όριζοντία ευνιτωώς της πρός τά αντίονη πλευ-

ρᾶς τοῦ φράγματος εἶναι :

$$H = 1,0 \cdot \frac{(27,43)^2}{2} = 376,0 \text{ τόν}$$

Τότε ἡ μέση διατμητική τάσις εἰς τὴν βᾶσιν θα εἶναι :

$$\frac{376,00}{128,0} = 2,94 \text{ } \frac{\text{t}}{\text{m}^2} = 0,294 \text{ kg/cm}^2$$

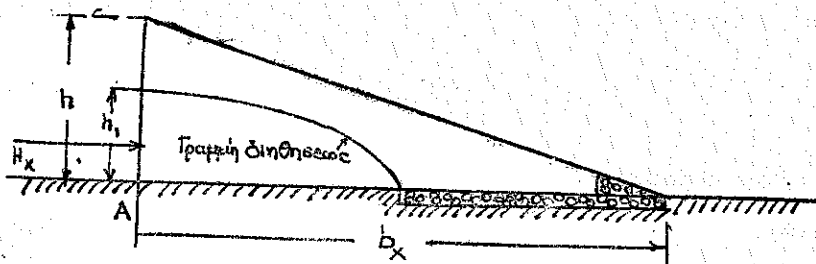
ὁ δὲ συντελεστὴς ἀφραλείας :

$$F = \frac{P_f}{H} = \frac{900}{376} = 2,41$$

Ὡς ἤδη ἐν ἀρκῇ ἐξετέθη ἡ μέθοδος αὕτη εἶναι ἐμπειρικὴ δόθέντος ὅτι ἡ ὀριζοντία ευνιενῶσα τῆς πίεσεως τοῦ ὕδατος δὲν ἐφαρμόζεται εἰς τὸ ἀνάντη πρᾶνές ὡς πίεσις, ἀλλὰ διακίεται ὑπὸ μορφὴν τριβῶν καθ' ὅλην τὴν διαδρομὴν τοῦ ὕδατος μέσφτου ψαθεροῦ ὑλικοῦ.

β/ Ὅριζοντία διάμησις εἰς τὸ κατάντη ἡμισυ τοῦ φράγμ.

Ἔστω ἐδῶ τὸ ἐν τῷ εχῆματι 268 κατάντη ἡμισυ φράγματος. Καλέσωμεν τ_x τὴν μέσην διατμητικὴν τάσιν εἰς τὸν βᾶσιν καὶ $\mu\alpha\chi\tau_x$ τὴν ἀντίστοιχον μεγίστην (ἥτις λαμβάνεται ευνήθως



Σχ. 268 Ἐλεγχος κατάντη ἡμίσεως φράγματος

διπλασία τῆς μέσης) καὶ H_x τὴν ὀριζοντίαν δύναμιν πίεσεως πᾶν χωμάτων (κεκορευμένων καὶ μῆ) εἰς τὸ κατάντη ἡμισυ τοῦ φράγμα-

τος, ἥτις δίδεται ἐκ τοῦ τύπου τοῦ Rankine (βλ. τοῖχοι ἀντι-
επιπίξεως) :

$$H_k = \gamma_{\mu} \cdot \frac{h^2 \epsilon \phi^2 (45 - \Phi/2)}{2b_k} + \frac{\gamma \cdot h^2}{2b_k} \quad (171)$$

ἐνθα γ = εἰδ. βάρος ὕδατος καὶ γ_{μ} μέσον φαινομενικὸν βάρος (μέ-
σος ὅρος ὑγροῦ καὶ κεκορεσμένου ἐδάφους) ὑπεράνω τοῦ σημεῖ-
ου A. Τότε ἡ διατμητικὴ τάσις εἶναι :

$$\tau_k = \gamma_{\mu} \cdot \frac{h^2 \epsilon \phi^2 (45 - \Phi/2)}{2b_k} + \frac{\gamma \cdot h^2}{2b_k} \quad (172)$$

ἡ δὲ μεγίστη θὰ εἶναι : $\max \tau_k = 2\tau_k \quad (173)$

Εἰς ταύτην ἀντιδρῶν αἰ τριβαί τοῦ ἐδάφους, ἦτοι :

$$R_k = B \cdot \epsilon \phi + C \cdot b_k$$

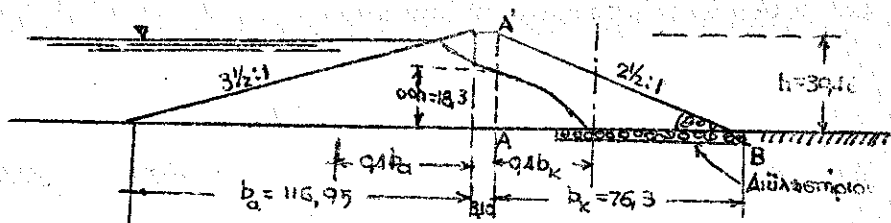
ἐνθα B τὸ βάρος τοῦ κατάντη ἡμίσεως τοῦ φράγματος.

Ἔστω παράδειγμα τὸ φράγμα τοῦ σχημ. 269 διὰ τὸ ὁποῖον
εὐρέθησαν :

Ἀναλογία κενῶν $\epsilon = 0,43$ $\gamma_1 = 2,65$ γ_{0k} (κεκορεσ.) = $(\gamma_{1n} \cdot 0,30) = 215$

$$\eta \quad n = \frac{\epsilon}{1 + \epsilon} = 0,29 \quad \gamma_{0e} = \gamma_1(1 - n) = 1,86 \quad \gamma_a$$
 (βυθισμ.) = $\frac{\gamma_1 + 1}{1 + \epsilon} = 1,15$

καὶ ἀπλῶς ὑγρὸν ἐδαφος καθορίζεται μὲ $\gamma_0 = 1,92$.



Σκ. 269 Διάτμησις φράγματος

Ἐξ ἄλλου δεκόμεθα $\Phi = 26^\circ$ ὅπου $\epsilon \phi = 0,488$.

Κατ' ἀρχὴν προσδιορίζομεν τὸ μέσον βάρος γ_{μ} ὑπὸ τὴν ἐπέψιν

του φράγματος.

Τούτο θά είναι :

$$\frac{0,4 \cdot 1,92 + 0,60 \cdot 1,15}{1,0} = 1,458 \text{ t/m}^3$$

καί τότε ἡ ἐξίσωσις γίνεται :

$$H_k = \frac{1,458(30,48)^2 \epsilon\phi^2(45^\circ - 15^\circ)}{2} \cdot \frac{1,0 \cdot (18,3)^2 \epsilon\phi 32^\circ}{2} = 0,625$$

$\epsilon\phi^2(32^\circ) = 0,391$ καί τότε :

$$H_k = 264,77 + 167,45 = 432,22 \text{ ton.}$$

Ἐξ ἄλλου αἰ' ἀντιδρῶσαι δυνάμεις εἰς τήν αἰς ἄνω ὠθησιν θά δίδωνται ὑπό τῆς ἐξίσωσεως 124.

Δεχόμενον ὅτι ἐκ τῆς ἐπιφανείας ABA' ποσοστόν 32,5% εἶναι βυθισμένον καί τό υπόλοιπον ὑγρόν ἔχομεν :

$$\text{βυθισμένον } E_{\pi\iota\phi} = 0,325 \cdot \frac{1}{2} (30,48 \cdot 76,3) = 377,91 \text{ } B_1 = E_1 \cdot 1,15 = 434,6 \text{ ton,}$$

$$\text{καί ὑγρόν: } E_{\pi\iota\phi} = 0,675 \cdot \frac{1}{2} (30,48 \cdot 76,3) = 784,89 \text{ } B_2 = E_2 \cdot 1,92 = 1807,01 \text{ ton}$$

τό ὅλικόν βάρος εἶναι :

$$B_1 + B_2 = 6 = 1941,6 \text{ ton}$$

καί ἡ ἀντίδρασις εἰς τήν ὀλίθησιν διά C=O θά εἶναι :

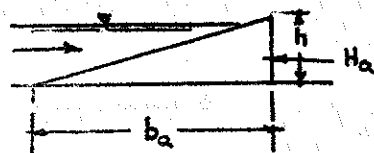
$$R = B \cdot \epsilon\phi\Phi = 1941,6 \cdot 0,488 = 947,70$$

καί ὁ συν/ετής ἀσφαλείας θά εἶναι :

$$\frac{R}{H_k} = \frac{947,7}{432,22} \cong 2,2$$

δ/ Ὁριζοντία διάτμησις εἰς τό ἀνάντη ἡμισυ. Αἰφνηδία σταθμῆπτωσις

Εἰς ἤν περίπτωσιν γίνει αἰφνηδία διά καταβίβασις τῆς ἐτάθμης κατὰ τήν λειτουργίαν μιᾶς τεκνητῆς λίμνης, εἶναι εὐνόητον ὅτι θά πα-



ρουσιασθεῶν διατμητικαί τάσεις εἰς τὸ ἀνάγνη ἡμῶν τοῦ φράγματος. Οὐσιαστικῶς ἐκεῖ διατρέχονεν κίνδυνον ὀλιθώσεως τοῦ πρηνοῦς κατὰ κύκλους, ὡς τοῦτο λεπτομερῶς ἐξετάζεται εἰς § 5, 2.

Ἐν τούτοις δυνατόμεθα νὰ ἐλεῶμεν καὶ τὴν βᾶσιν τοῦ φράγματος. Διὰ διαπερατὰ ἐδάφη (κάλικες, χονδροκόκκος, καθαρὰ ἄμμος) ἡ ἐτάθμη τοῦ ὕδατος ἐν τῷ φράγματι πίπτει συγχρόνως μὲ τὴν τῆς λίμνης. Διὰ χαιμάδα ὅμως ἐδάφη καὶ ὀνὴ διὰ ἀδιαπερατὰ τοιαῦτα ἢ πτώσις δυνατὸν νὰ βραδύνῃ διὰ ἡμέρας πολλὰς ὅποτε ὑπάρχει κίνδυνος διατμήσεως.

Ἡ ὀριζοντία ὤθησις H_{α} τῶν κωμάτων μετὰ τὴν πτώσιν τῆς ἐτάθμης θὰ εἶναι :

$$H_{\alpha} = h^2 \gamma_{\sigma, \kappa} \cdot \frac{\epsilon \varphi^2 (45 - \Phi/2)}{2} \quad (175)$$

ἢ δὲ διατμητικὴ τάσις εἰς τὸν πυθμῆνα (ἐφ' ὅσον δὲν ὑπάρχει ὀριζοντία ὤθησις τοῦ ὕδατος, μετὰ τὴν καταβίβασιν τῆς ἐτάθμης αὐτοῦ):

$$\tau_{\kappa} = \frac{H_{\alpha}}{b} \quad \text{καὶ} \quad \max \tau_{\kappa} = 2 \tau_{\kappa}$$

Ἡ δρωῶσα δύναμις διὰ $\gamma_{\sigma, \kappa} = 2,16$ ἔσται : διὰ $\epsilon \varphi^2 (45 - \Phi/2) = \epsilon \varphi^2 32^{\circ} = 0,391$:

$$H_{\alpha} = \frac{(30,48)^2 \cdot (0,391) \cdot 2,16}{2} \cong 392,00$$

Ἐξ ἄλλου ἀντιδρωῶσα δύναμις θὰ εἶναι ἡ τριβὴ τοῦ βάρους, ὑπολογιζομένου εἰς περίπτωσιν ὀλιθώσεως (ἦτοι βάρους ἀνάσεως $\gamma_0 = 1,15$) ὅπου διὰ τὸ παράδειγμα τοῦ Σχ. 269 :

$$B = \epsilon \pi \varphi \cdot 1,15 = \frac{1}{2} (166,25) \cdot (30,48) \cdot 1,15 = 1860 \text{ τον.}$$

καὶ διὰ συν/εστὴν τριβῆς $\epsilon \varphi \phi = \epsilon \varphi 25^{\circ} = 0,468$ ἡ ἀντιδρωῶσα δύναμις ἔσται :

$$R = B \cdot \alpha - \epsilon \theta = 909,00$$

Ἄρα ὁ συν/εστὴς ἀσφαλείας ὡς διάτμησιν ἐξ αἰφνηδίας πτώσεως τῆς ἐτάθμης θὰ εἶναι :

$$\frac{R}{H} = \frac{909,0}{392} = 2,32$$

Οι άνωτέρω τρεις έκτεθέντες έλεχοι είναι γενικοί μη ανταποκρινόμενοι εις την πλήρη φυσική κατάστασιν της ίσορροπίας των φαθυρών υλικών εις περιπτώσιν όλισθήσεως των πρανών. Η πραγματική αυτη κατάσταση εξετάζεται ήδη λεπτομερώς άμέσως κατωτέρω και δη κατά διαφόρους μεθόδους.

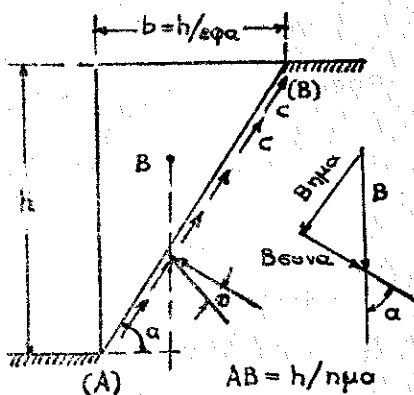
5.2 Η εύσταθεια των πρανών.

α.- Γενικαί άρχαί ίσορροπίας των πρανών

Ας υποθέσωμεν κατ'άρκήν ότι έχομεν ένα κατακόρυφον πρανές, ύψους h , του υλικού έξ ού κατασκευάζεται ένα φράγμα και εξετάσωμεν την ίσορροπίαν αυτού.

Υποθέσωμεν ότι η κρίσιμος ίσορροπία όλισθήσεως λαμβάνει χώραν κατά κρίσιμον επίπεδον υπό κρίσιμον γωνίαν α . Κατά την στιγμήν της όλισθήσεως η κινούσα δύναμις της βαρύτητος (B) ίσορροπείται από την συνεκτικότητα των χωμάτων (C) και την τριβήν αυτών κατά τό επίπεδον όλισθήσεως.

Ούτω η συνιστώσα του βάρους W ημα τείνει να παρασύρη τό πρανές εις όλίθησιν (βλ. Σχήμα 271) αντίδροον δέ προς τούτο η συνεκτικότητα C(AB) και αι τριβαί της καθετου επί τό πρανές συνιστώσεως (Wουνα) κατά την επιφάνειαν



Σχ. 271 Ίσορροπία πρανός

ὀλισθήσεως κομμάτων ἐπὶ κομμάτων (εφφ).

Ἦτοι κατὰ τὴν ἐπιχμὴν τῆς ὀλισθήσεως θὰ ἰσχύη ἡ ἐξέσις:

$$B\eta\mu_{\kappa\rho} = C \frac{\eta_{\kappa\rho}}{\eta\mu\alpha_{\kappa\rho}} + B\sigma\upsilon\nu\alpha_{\kappa} \epsilon\phi\Phi \quad (176)$$

(Διὰ τὴν περίπτωσιν καθαρῶς ἐηρῶς ἄμμου ὅπου $C=0$ ἔχομεν:

$$\alpha_{\kappa\rho} = \Phi, \text{ ὅπερ ἦτο ἤδη γνωστὸν }.)$$

Ἐάν, νῦν, ἀντικαταστήσωμεν τὸ βάρος W διὰ τοῦ $\frac{1}{2} \gamma \hat{h}_{\kappa\rho}^2 \frac{1}{\epsilon\phi\alpha}$ ἔχομεν ἐκ τῆς ἐξίσωσως (176):

$$\frac{\gamma \hat{h}_{\kappa\rho}^2 \eta\mu\alpha_{\kappa\rho}}{2 \epsilon\phi\alpha_{\kappa\rho}} - \frac{\gamma \hat{h}_{\kappa}^2 \sigma\upsilon\nu\alpha \cdot \epsilon\phi\Phi}{2 \epsilon\phi\alpha_{\kappa\rho}} = \frac{C h_{\kappa\rho}}{\eta\mu\alpha_{\kappa\rho}} \quad (177) \text{ ἢ}$$

$$\frac{\gamma \hat{h}_{\kappa\rho}^2}{2} (\eta\mu\alpha_{\kappa\rho} \cdot \sigma\upsilon\nu\alpha_{\kappa\rho} - \sigma\upsilon\nu^2\alpha_{\kappa\rho} \epsilon\phi\Phi) = C h_{\kappa\rho} \quad (178)$$

Ἐκ τοῦ τύπου (178) ἐξάγεται ὅτι ἐνὼ ἡ ἄκτῆς συνεκτικότητος (c) ἀντίστασις αὐξάνει μετὰ τοῦ ὕψους τοῦ πρανοῦς (h), ἡ κινουσα δύναμις ἢ προκαλοῦσα τὴν ὀλισθήσιν αὐξάνει μετὰ τοῦ τετραγώνου τοῦ ὕψους τοῦ πρανοῦς, ἦτοι ταχύτερον.

Εἰς τὸ κρίσιμον ὕψος $\hat{h}_{\kappa\rho}$ ἤδη θὰ λάβῃ κώραν ἡ ὀλισθησις ὅταν ἡ τιμὴ τῆς παρενθέσεως τῆς ἐξίσωσως (178) λάβῃ τὴν μεγίστην αὐτῆς τιμήν. Διὰ

τοῦτο θὰ συμβῇ (εἰάν παραγωγήσωμεν, ὡς ἤδη τοῦτο ἐγένετο διὰ τὴν ἐξίσωσιν 149) ὅταν:

$$\eta\mu\alpha_{\kappa\rho} \cdot \sigma\upsilon\nu\alpha_{\kappa\rho} - \sigma\upsilon\nu^2\alpha_{\kappa\rho} \cdot \epsilon\phi\Phi = \frac{1}{2 \epsilon\phi\alpha_{\kappa\rho}} \quad (179)$$

καὶ ἀντικαθιστῶντες εἰς τὴν ἐξίσωσιν (178) ἔχομεν:

$$\frac{\gamma \hat{h}_{\kappa\rho}^2}{4 \epsilon\phi(45 + \Phi/2)} = C h_{\kappa\rho} \text{ ἦτοι } \hat{h}_{\kappa\rho} = \frac{4C}{\gamma} \epsilon\phi(45 + \Phi/2) \quad (180)$$

καί λαμβάνοντες ὑπ' ὄψιν καί τήν ἐξίσωσιν (173) ἔχομεν :

$$h_{κρ} = \frac{4c}{\gamma} \varepsilon\varphi(45 + \Phi/2) = \frac{2q_u}{\gamma} \quad (181)$$

Οὕτω ἐφ' ὅσον δέν λάβει χώρα συμπληρωματική πυκνοποίηση εἰς τοῦ ἐδάφους τοῦ πρᾶνουῦ λόγῳ τοῦ βάρους αὐτοῦ, τὸ κρῖσιμον ὕψος αὐτοῦ δίδεται ἀπ' εὐθείας ὑπὸ τῆς ἐλευθέρου συμπίεσεως (q_u) εἴτε συμπεριλαμβάνεται εἰς αὐτὴν συνιστώσα τριβῶν ἀντιδρωσῶν εἰς διάτμησιν εἴτε ὄχι (ἦτοι διὰ $\Phi \geq 0$).

Ὁ λόγος :

$$N_s = \frac{c}{\gamma h_{κρ}} \quad (182)^*$$

καλεῖται συντελεστὴς εὐσταθείας (stability factor).

Διὰ $\Phi = 0$ (μαλακὴ ἀργιλλος) ὁ συντελεστὴς εὐσταθείας :

$$\frac{c}{\gamma h_{κρ}} = 0,25 \quad \text{καί} \quad h_{κρ} = \frac{4c}{\gamma} \quad (183)$$

Ὁ *Fellenius* δίδει διὰ κυκλικὰς ἐπιφανείας ὀλισθήσεως τὴν τιμὴν :

$$h_{κρ} = \frac{3,68 r}{\gamma} \quad (184)$$

Ἡ ἀνωτέρω ἀνάλυσις βασιίζεται εἰς τὴν παραδοχὴν ὅτι οἱ ἐπενεργοῦσαι ἐπὶ τῆς γραμμικῆς εφηνός δυνάμεις διέρχονται ὅσαι διὰ τοῦ αὐτοῦ σημείου εἰς ὃ ἐφαρμόζεται ἡ συνισταμένη τῶν κατὰ μέρος δυνάμεων καί ἡ συνισταμένη ὅλων τῶν δυνάμεων. Τοῦ-

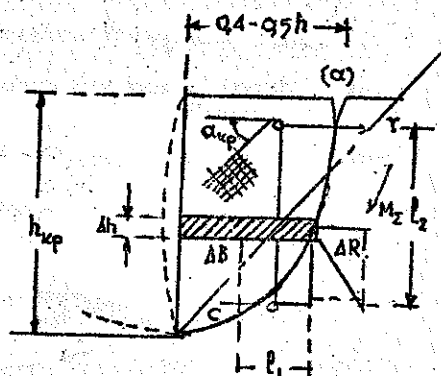
* Ὁ *D. Taylor* εἰσήγαγεν τὸν συντελεστὴν εὐσταθείας ἄς καί τὰ διαγράμματα εὐσταθείας (ὑπὸ τὴν μορφήν $\frac{Ca}{\gamma H}$).

Ὁ *Tenckhoff* ἀρχότερον ἀντέστρεψεν τὸν συντελεστὴν εὐσταθείας εἰσαγάγων τὴν ἔννοιαν $N_s = \frac{\gamma h_{κρ}}{c}$ ἢ $\frac{\gamma H}{c_a}$ καί προσήρμοσεν ἀντιστοίχως τὰ διαγράμματα εὐσταθείας. Οἱ μελετηταὶ τοιοῦτων κατασκευῶν δεόν νὰ ἔχουν τοῦτο ὑπ' ὄψιν κατὰ τὴν κρῆσιν τῶν διαφορῶν βιβλιογραφικῶν βοηθημάτων. -

το δεν συμβαίνει, ως εικός, εις την πραγματικότητα.

Πλησιετέρα ανάλυσις της πιθανής θέσεως της ολισθηνοῦσης εφηνός αποδεικνύει ὅτι αὕτη πρέπει νὰ εἶναι καμπύλη. Πράγματι ἂν ἐξετάσωμεν τὴν ἰσορροπία μίαν ὀριζοντίαν ζώνης διαφορικοῦ ὕψους dh (βλ. Σχ. 272) θὰ λάβωμεν ἓν ζεύγος δυνάμεων αποτελούμενον ἀπὸ τὸ διαφορικὸν βῆρος AB καὶ τὴν AR κατακόρυφον συνισταμένην τῆς AR , ἣτις εἶναι ἡ συνισταμένη τῆς διατμητικῆς καὶ καθέτου ἀντιδράσεως εἰς τὴν ἐπιφάνειαν τῆς ολισθήσεως.

Τὸ ζεύγος τοῦτο ΔM_0 ὡς καὶ πᾶν ἄλλο ἐκάστη ὀριζοντία λωρίδος τείνει νὰ προκαλέσῃ ὀλισθηεῖν τῆς κυλινδρικῆς εφηνός· διὰ τὴν ἰσορροπία αὐτοῦ χρειάζεται ἕτερον ζεύγος δυνάμεων καὶ θὰ ἔχωμεν :



$$M_z = T l_2 = C l_2 = \Sigma \Delta M_0 \quad (185)$$

Ἡ δύναμις T ἥδη δημιουργεῖ τάσεις ἐλκυσμοῦ εἰς τὴν ὀριζοντίαν ἐπιφάνειαν τῆς εφηνός, αἵτινες καὶ προκαλοῦσιν κατακορυφους ρωγμὰς εἰς τὴν θέσιν α , ἀπεκώσας συνήθως $0.4h = 0.5h$ ἀπὸ τῆς κατακορυφου περιεῖας. Κατὰ τὸν Τετσαρῆ τὸ βάθος τῶν ρωγμῶν τούτων δύναται νὰ φθάσῃ τὸ $1/3$ τοῦ κριθίμου ὕψους ὁπότε τὸ πραγματικὸν κριθίμον ὕψος h_{cp} (δι' ὃ καὶ θὰ ἐφαρμόζονται αἱ δυνάμεις συνεκτικότητος καὶ τριβῆς θὰ εἶναι τὰ $2/3 h_{cp}$ καὶ τότε ἡ εἰσαγωγὴ (184) γίνεταί :

Σχ. 272 Ἐπιφάνεια ολισθήσεως πρανοῦς

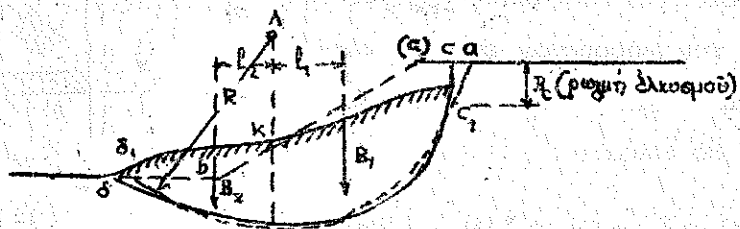
$$h'_{cp} = \frac{2.58}{\gamma_0} \tau = \frac{1.29}{\gamma_0} \rho_u \quad (186)$$

Ὁ καθορισμὸς τῆς καμπύλης ἐπιφανεῖας ολισθήσεως ἀπετέ-

λεσεν θέμα έρευνας σημαντικόν . Γενικῶς θεωρεῖται ἡ κάθετος τομή τῆς ἐπιφανείας ὀλισθήσεως ὡς ἀποδιδομένην μέ μεγάλην ἀκρίβειαν ὑπό καμπύλης λογαριθμικῆς ἔλικος μέ λίαν δεῖ ἐπίσης ἱκανήν προσέγγισιν ὑπό τμήματος κύκλου .

Οὕτω συνήθως ἡ ἀνάλυσις γίνεται διά κυκλικόν τόξον . Ἡ τοιαύτη παραδοχή ἀπλοποιεῖ μάχਾਲος τοὺς ὑπολογισμοὺς διότι ἔρκει νά ἐκλέξωμεν μερικά τόξα κύκλου καί νά ἐλέγξωμεν δι' ἕν ἕκαστον ἐξ αὐτῶν τὰς συνθήκας ἰσορροπίας καί νά εὔρωμεν διά τὸ δυσμενέστερον ἐξ αὐτῶν ποῖος θά εἶναι ὁ συντελεστής ἀσφαλείας .

Διά ὁμοιογενῆ συνεχτικὰ ἔδάφη ἡ ἰσορροπία ἤδη τῶν πραγμῶν δίδεται , κατὰ τὴν ἀνωτέρω ἐκδοκὴν κυκλικῆς ἐπιφανείας ὀλι-



Σχ. 273 Ἴσορροπία πρηνοῦς φράγματος

σθήσεως , ὑπό τοῦ Σχήματος 273 . Τὸ ἀρχικόν πρηνές ὄβκαε ὑποθέτομεν ὅτι θά ὀλισθήσῃ κατὰ καμπύλην δυναμιέντην ν' ἀντικατασταθῇ μέ ἱκανήν προσέγγισιν διά τόξου κύκλου μέ κέντρον Ο καί ἀκτίνα R .

Τὸ βάθος τῶν ρωχμῶν ἐλλυσημοῦ προωδ' ορίζεται ἐκ πείρας . Τότε ἡ συνθήκη ἰσορροπίας μᾶς δίδει τὴν ἐξίσωειν (ροπαί ὡς πρὸς Ο) :

$$B_1 l_1 = B_2 l_2 + \tau \cdot R \cdot \widehat{\delta_1 \epsilon_2} \quad (187)$$

ἐνθα B_1 ἡ ὀρῶσα δύναμις καί B_2 καί $\tau \delta_1 \epsilon_2$ αἱ ἀντιὀρῶσαι εἰς τὴν ὀλισθήσειν δυνάμεις . Ἐκ τῆς ἐξίσωσεως ταύτης προκύπτει ἡ ἐκέσις :

$$z = \frac{B_1 l_1 - \mathfrak{E}_2 l_2}{R \cdot \delta_1 \mathfrak{E}_2} \quad (180)$$

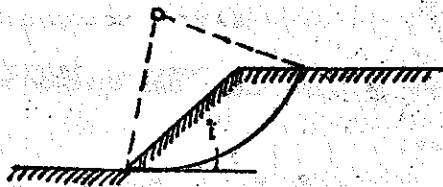
Ἡ μέθοδος αὕτη ἀποτελεῖ τὴν γενικὴν βᾶσιν ὑπολογισμοῦ τῶν πρηνῶν τῶν χωματίνων φραγμάτων.

Ὁ προδιορισμὸς τοῦ κέντρου καὶ τῆς ἀκτῖνος τοῦ πλέον ἐπικινδύνου κύκλου ὀλισθήσεως (τοῦ δίδοντος, τουτέστιν, τὸν μικρότερον συντελεστὴν ἀσφαλείας) ἀποτελεῖ ἐν τῷ αὐτῇ περιπτώσει τὸ βασικὸν θέμα ὑπολογισμοῦ. Συνήθως τοῦτο ἐπιδιώκεται ἀπὸ δοκιμῶν διαφόρων κύκλων. Εἰς ὄριστες τινὰς περιπτώσεις (ὁμοιογενεῖς ὑλικοῦ καὶ ἐλλείψεως διηθήσεως) δυνάμεθα γὰρ πλησιάσωμεν τὸν δυσμενέστερον κύκλον ἀπ' εὐθείας δι' ἀναλυτικῶν μεθόδων (περὶ ὧν κατωτέρω § 5·6).

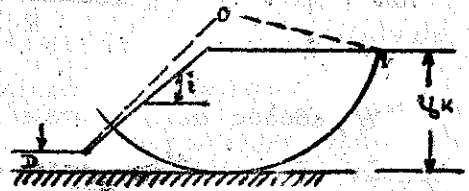
Ὁ κρίσιμος κύκλος θὰ ἐξαρτᾶται ὄχι μόνον ἐκ τῆς συστάσεως τοῦ φράγματος καὶ τοῦ ἄμεικτου κατωθεν ἐδάφους ἀλλὰ καὶ ἐκ τῆς θέσεως ἐνδεχομένου πυκνοτέρου ἐδάφους ὑπὸ τὸ ὑπέδαφος.

Οὕτω εἰς τὸ Σχ. 274 ἐμφαίνονται οἱ πιθανοὶ δυσμενεῖς κύκλοι ὀλισθήσεως τῶν πρηνῶν, ἧτοι αἱ περιπτώσεις καθ' ἃς εἶναι δυνατόν ὁ κύκλος (α) νὰ διέρχεται διὰ τοῦ πέλματος (β) νὰ τέμνη τὸ πρηνὲς ἄνω τοῦ πέλματος (γ) νὰ ἐφάπτεται τοῦ ὑποκειμένου στερεοῦ στρώματος καὶ νὰ τέμνη τὸ ἔδαφος πέραν τοῦ πέλματος ἢ τέλος (δ) νὰ τέμνη τὸ ἔδαφος πέραν τοῦ πέλματος λόφῳ μεγάλου βάθους τοῦ στερεοῦ ὑποστρώματος.

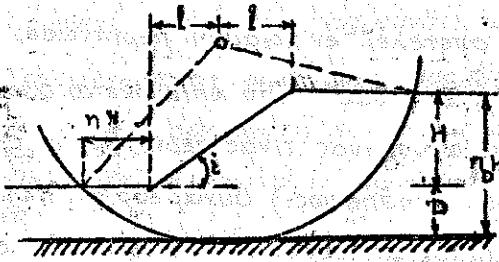
Ἀναλόγως τῆς ἐκάστοτε ἐμφανιζομένης ὡς ἓνα περιπτώσεως, δοκιμάζομεν κατὰ τὴν ἀνίχνευσιν τοῦ δυσμενεστέρου κύκλου τὴν ἀντίστοικον θέσιν αὐτοῦ. Ὡς ἤδη ἐλέχθη εἰς τινὰς περιπτώσεις προδιορίζεται ἀπ' εὐθείας ἡ θέσις αὐτοῦ.



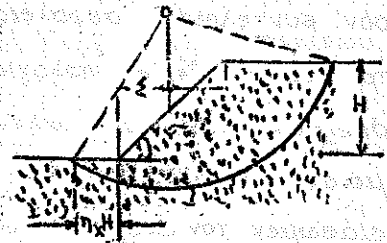
(α) κύκλος πέλματος



(β) κύκλος πρηνούς



(γ) η_{κ} σχετικώς μεγάλο κύκλος επηρεάζεται εκ του η_{δ}



(δ) η_{δ} σχετικώς μεγάλο η_{κ} επηρεάζει τον κύκλον

(γ και δ) κύκλοι άνω μέσου πρηνούς ή κύκλοι βάσεως (δι' όμοιογενή ξηρά ύλικά)

Σχ. 274. Κύκλος όλισθήσεως ενόλωτος των τυπικών συνθηκών

β) Η πίεσις των πόρων.

Ός έλεχθη η πίεσις των πόρων (ή ουδετέρα πίεσις) εντός του υπό έλεχον τμήματος φράγματος είναι ένιοτε σημαντική και θέον να λαμβάνεται υπ' όψιν. Ούτω όπου αύτη αναπτυχθή εις ίκανήν πίεσιν μεταβαλει τήν εξέλιξοσιν του Coulomb ως κατωτέρω :

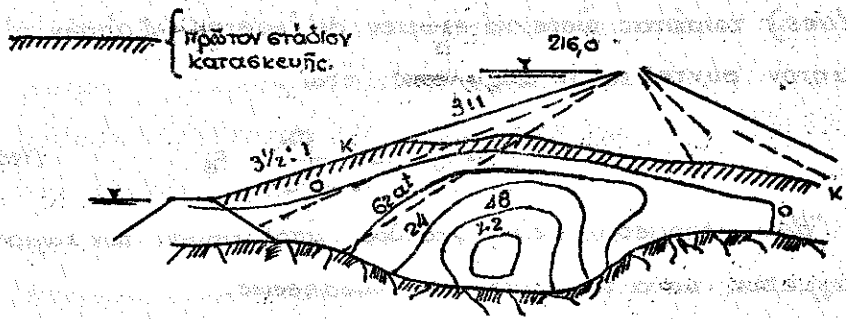
$$\tau = c + (\sigma - u) \epsilon \phi \quad (189)$$

όπου ός $\sigma = u$; $\tau = c$ (πέριπτ. κεκορησμ. αρχίλλου υπό πίεσιν).

Ούτω τό φράγμα Green Μουριταίν ύψους 151,50 μ. άν και τούτο κατεσκευάσето με πυκνότητα μεγάλην ($\gamma_1 = 2,18 \text{ t/m}^3$) και

μέ την ἀρίστην τιμήν ὑγρασίας παρουσίασεν ἐν τούτοις πιέσεις τῶν πόρων τοῦ ὕδατος 65% τοῦ βάρους τῆς ὑπερθεν ἐπιχώσεως λόγῳ τῆς ἐξ ἰδίου βάρους πυκνοποιήσεως. Ἐλάττωσις κατά 2% τῆς ἀρίστης τιμῆς τῆς ὑγρασίας ἀδήχησεν εἰς βελτίωσιν τῆς καταστάσεως.

Ἄτερον παράδειγμα ἀποτελεῖ τὸ φράγμα Anderson Ranch ὀλικοῦ ὕψους ἐκ τῆς θεμελιώσεως 126,5 μέτρων. Τοῦτο κατά τὴν πρώτην περίοδον τῆς κατασκευῆς του παρουσίασεν ὑδροστατικές πιέσεις μέχρι 7,3 ατ λόγω ἰδίας πυκνοποιήσεως (Σχ. 275).



Σχ. 275 Πιέσεις πόρων εἰς τὸ φράγμα Anderson Ranch.

Κατὰ τὴν δευτέραν περίοδον κατασκευῆς (ἀνω τοῦ x-x) ἠ-λαττώθη ἡ ἀρίστη τιμὴ συμπυκνώσεως, ὥστε τὸ νέον τμή-μα δὲν παρουσίασεν σημαντικές πιέσεις.

Τοῦ κατωτέρου ὅμως τμήματος ἠδύθησαν αἱ δυνάμεις τῶν πόρων λόγω τῆς συνεχίσεως τῆς ἰδίας πυκνοποιήσεως.

γ) Ὁ συντελεστὴς ἀσφαλείας.

Ἡ εὐστάθεια τῶν πρῶτων κατὰ τοὺς κύκλους ὀλισθήσεως

ἐξαεραλίζεται, ὡς ἐλέχθη, διὰ τοῦ συντελεστοῦ ἀσφαλείας.

Κατὰ τὴν μελέτην ὅμως τῆς εὐσταθείας ὑπηρετοῦνται αἱ δύο συντελεσταὶ C καὶ Φ ὑπὸ τὴν προσδιορισθεῖσαν ἐργαστηριακῶς ἐνεργὸν αὐτῶν τιμὴν, ἥτοι C_e καὶ Φ_e . Ἐάν ὁ τελικὸς συντελεστὴς τοῦ ἐλέγχου ὅμως ἔχει μίαν ἱκανοποιητικὴν τιμὴν (ἔστω 2 π.χ.) εἰς τὴν εἰδέωσιν 188 εἶναι ἐνδεχόμενον ὁ συντελεστὴς ἀσφαλείας διὰ μίαν ἐκ τῶν δύο τιμῶν (τῆς C ἢ Φ) νὰ εἶναι πολὺ μικρότερος καὶ νὰ διατρέχη τὸ φράγμα κίνδυνον ὀλισθήσεως.

Ὡς ἐκ τούτου συνήθως ἀντὶ τῶν ἐνεργῶν τιμῶν C_e καὶ Φ_e μεταχειρίζομεθα ἀν η γ μ ἔ ν α σ τοιαύτας C_a καὶ Φ_a (developed values) τοιαύτας ὥστε νὰ ἔχωμεν δι' ἐκάστην ἐξ αὐτῶν τὸ ἐπιθυμητὸν συντελεστὴν ἀσφαλείας, ἥτοι :

$$\frac{C_e}{C_a} = F_c \quad \text{καὶ} \quad \frac{\Phi_e}{\Phi_a} = F_\Phi \quad (190)$$

Ἡδὴ ἐρχόμεθα εἰς τὰς μεθόδους ὑπολογισμοῦ τῶν κωματοφραγμάτων κατὰ τοῦ κινδύνου ὀλισθήσεως.

5.3 - Εὐεστάθεια φραγμ. ἐκ μὴ συνεκτικῶν ὑλικῶν.

Εἰς φράγματα ἐξ ὑλικῶν ὧν ἡ συνεκτικότης εἶναι ἴση μὲ μηδέν ($C=0$) ὁ ὑπολογισμὸς εὐεσταθείας εἶναι πολὺ ἀπλοῦς. Ἀρκεῖ νὰ ἐνθυμηθῶμεν ὅτι ἐδῶ ὁ συντελεστὴς $e\phi\Phi$ ἀποτελεῖ τὴν γωνίαν τοῦ φυσικοῦ πρηνοῦς, ἥτις θὰ συμπίπτῃ μὲ τὴν γωνίαν i τοῦ πρηνοῦς τοῦ φραγματος.

Ἐφ' ὅσον δὲν ὑπάρχει διήθησις καὶ ἐάν ἀρίθωμεν τὸν συντελεστὴν ἀσφαλείας F τότε :

$$F = \frac{e\phi\Phi}{e\phi i} \quad \text{ἢ} \quad e\phi i = \frac{e\phi\Phi}{F} \quad (191)$$

Ἐξ ἄλλου διὰ τὴν περίπτωσιν ὑπάρξεως ὑδατος διηθήσεως ὁπότε τὸ ὑλικὸν θὰ εἶναι βυθισμένον ἐν τῷ ὕδατι, θὰ ἔχωμεν διὰ

τόν συντελεστήν ἀσφαλείας :

$$F = \frac{\epsilon\phi\Phi}{\epsilon\phi\iota} \cdot \frac{\gamma_{\beta\upsilon\theta}}{\gamma_{\kappa\epsilon\kappa}} \quad (192)$$

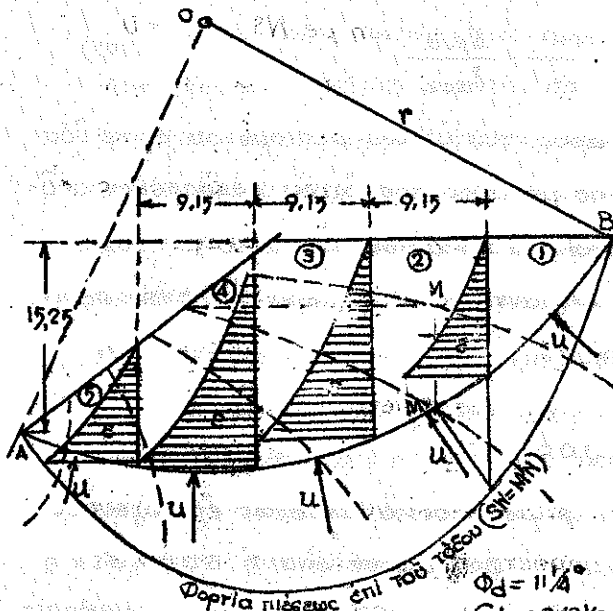
ὅπου $\gamma_{\beta\upsilon\theta}$ θά εἶναι τό βάρος τοῦ ὑλικοῦ βυθισμένου ἐν τῷ ὕδατι καί $\gamma_{\kappa\epsilon\kappa}$ τό βάρος τῆς μονάδος τοῦ ὄγκου κεκορεσμένου ὑλικοῦ = $\gamma_{\beta\upsilon\theta} + \gamma_{\upsilon\delta\alpha\tau\omicron\varsigma}$ ἥτοι διά τόν αὐτόν συντελεστήν ἀσφαλείας ἡ κλίσις ϵ θά εἶναι σημαντικῶς μικροτέρα ἢ εἰς τήν περίπτωσιν ἐλλείψεως διηθήσεως.

5. 4 - Ἡ μέθοδος τῶν τεμάχων.

Ἡ πλέον διαδεδομένη μέθοδος ἀναλύσεως ὁμοιογενοῦς ἰσοτρόπου ὑλικῶν κωματίνων φραγμάτων εἶναι ἡ βουηδική μέθοδος (Peterson 1915, Fellipíns 1936) καθ' ἣν ἡ ὀλίθησις τῶν πρηνῶν λαμβάνει χώραν κατά καμπύλην λογαριθμικῆς ἔλικος ἢ μέ ἰκανήν προσέγγισιν, κατά τόσον κύκλου. Ὁ προσδιορισμός τοῦ δυσμενεστέρου κύκλου γίνεται διά διαφόρων δοκιμῶν μέχρι ἐξευρέσεως τοῦ δυσμενεστέρου συντελεστοῦ ἀσφαλείας, εἰν οὗτος δέν εἶναι ἱκανοποιητικός ($< 1,80 - 2,0$) τότε ἐλαττοῦται ἡ κλίσις τοῦ πρηνοῦς.

Διά τόν προσδιορισμόν τοῦ συντελεστοῦ ἀσφαλείας κατά τόν δοκιμαζόμενον κύκλον ἡ συνηθετέρα μέθοδος, ἥτις δύναται νά ἐφαρμοσθῇ κατά ἱκανοποιητικὴν προσέγγισιν καί εἰς φράγματα μικτῶν διατομῶν (ἐκ διαφόρων ὑλικῶν) εἶναι ἡ μέθοδος τῶν τεμάχων (slice, φέτα).

Κατ' αὐτήν τὸ ὑπό τοῦ αὐθαιρέτου ἐνθεχομένου κύκλου τεμνόμενον τμήμα τοῦ πρηνοῦς ὑποδιαιρεῖται εἰς μερικά τεμάχια (συνήθως 5-8) ὡς ἐμφαίνεται εἰς τὸ Σχ. 276α'. Ἀπό τὰς γραμμὰς ἴσου δυναμικοῦ προσδιορίζονται αἱ οὐδέτεραι τάσεις (πιέσεις τῶν πόρων) εἰς τὸν κυκλικόν πυθμῆνα ἑκάστου τεμάχου.

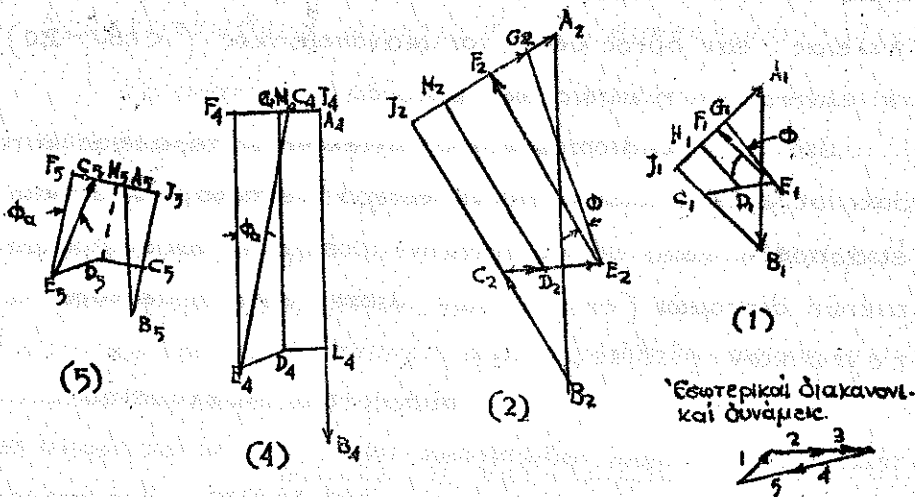


Τμήμας	Δυνάμεις του/μ.			
	$\Sigma(W_s)$	$\Sigma(P_n)$ ως :		
	$=\Sigma(A)$	$\Sigma(EP)$	$\Sigma(PH)$	$\Sigma(C)$
1	94,5	56,5	53,0	87,0
2	133,8	179,0	161,5	145,5
3	84,7	288,5	234,5	236,0
4	0	198,0	191,0	191,5
5	23,1	76,0	67,0	52,0
1-5	290,0	748,0	700,0	692,0
$\Sigma(\text{in})$		148,2	140,2	180,4
$\cdot \text{ερφ}$		141,8	141,8	141,5
C_ϵ	290,0	290,0	232,0	272,2
Δρώ- σαι		Αντιδρώσαι δυνάμεις		

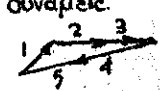
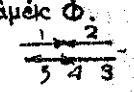
u ομότεροι δυνάμεις εις την βάση
Ε * * * * * τας πλευράς

$\Phi_d = 11.4^\circ$
 $C_d = 0,248 \text{ kg/cm}^2$
 $\gamma_c = 2008 \text{ kg/m}^3$

Σχ. 276 α: Τοξοειδής κατα τον κύκλον ολιεθησεως ANB και πιναξ δυνάμεων



Σχ. 276 β Δυναμοπολυγωνα των τμημάτων

Εσωτερικά διακανονι-
καί δυνάμεις

 Εσωτερικά ομότεροι
δυνάμεις Φ.


Π.χ. εἰς τὸ τεμάχιον 2 ἡ πίεσις εἶναι ἴση μὲ MN καὶ λαμβάνεται αὕτη κάθετος εἰς τὸ τόξον καὶ ἴση μὲ $NS = MN = U$. Ἀντιστοιχῶς προδιορίζονται αἱ πίεσις εἰς τὰ λοιπὰ τεμάχια καὶ λαμβάνεται ἡ καμπύλη ASB τοῦ Σχ. 276 α.

"Ἡδὴ αἱ ἐπὶ ἐκάστου τεμάχους ἐνεργούσαι δυνάμεις εἶναι (βλ. καὶ Σχ. 276 β ἔνθα ὁ δείκτης τῶν ψηφίων ἀναφέρεται εἰς τὸν ἀριθμὸν τοῦ τεμάχους).

Τὸ βάρος $AB = \delta\gamma$ ἐπὶ τὸ βάρος μονάδος αὐτοῦ.

$$\left(\frac{\delta + e}{1 + e}\right) \cdot \gamma \quad (\text{βλ. ἐξίσωσιν 98})$$

Ἡ δύναμις $BC = U$, ἡ οὐδατέρη πίεσις εἰς τὴν βάσιν.

Ἡ δύναμις CD ἡ ὀριζοντία συνισταμένη τῶν οὐδατέρων δυνάμεων (ὑδροστατικὴ πίεσις) εἰς τὰς δύο κατακορύφους τοῦ ἀντιστοίχου τεμάχους.

Ἡ δύναμις DE , ἡ συνισταμένη τῶν δυνάμεων τριβῆς (διακοκκικαὶ δυνάμεις) εἰς τὰς δύο κατακορύφους πλευράς τοῦ ὑπ' ὄψιν τεμάχους. Ἡ δύναμις αὕτη ὀρίζεται συνήθως ἐκ πείρας καὶ διαισθήσεως. Μετὰ τὸν καθορισμὸν αὐτῆς κλείνει τὸ δυναμοπολύγωνον ἐάν ἐκ τοῦ E ἀχθῇ :

ἡ δύναμις $EF (P_1)$ παράλληλος πρὸς τὴν ἀντίδρασιν τοῦ ἐδάφους εἰς τὸ κυκλικὸν τμήμα τοῦ πυθμένος τοῦ τεμάχους καὶ ἐκ τοῦ A ἀχθῇ :

ἡ δύναμις $FA (P_2)$ παράλληλος πρὸς τὴν ἐφαπτομένην εἰς τὸ κέντρον τοῦ κυκλικοῦ τμήματος τοῦ πυθμένος τοῦ ἀντιστοίχου τεμάχους.

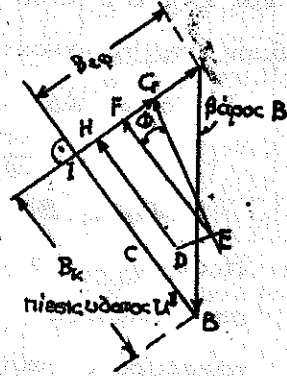
Τοιοῦτοτρόπως ἐκηματίζεται τὸ δυναμοπολύγωνον ἐκάστου τεμάχους λαμβανομένων ὑπ' ὄψιν ὅλων τῶν ἐπενεργουσῶν ἐπ' αὐτοῦ δυνάμεων.

Εἶναι προφανές ὅτι ἡ διατμητικὴ δύναμις $FA (P_2)$ ἐφαπτομένη εἰς τὸ κέντρον τοῦ πυθμένος τοῦ τεμάχους ἰσοῦται πρὸς

$FG + GA$ ἔνθα τὸ σημεῖον G προσδιορίζεται ἂν ἐκ τοῦ E φέρομεν τὴν εὐθείαν EG σχηματίζουσαν πρὸς τὴν EF τὴν γωνίαν F .

Τότε : $FG + GA = P_n \epsilon\phi\Phi_\alpha + C_\alpha$

Ἐξ ἄλλου ἡ δύναμις AB τοῦ βάρους B τοῦ τεμάχου δύναται καὶ ἀναλυθῆ εἰς μίαν κάθετον δύναμιν BI (παράλληλον πρὸς τὴν εὐθείαν τὴν διέπουσαν ἐκ τοῦ μέσου τοῦ πυθμένου πρὸς τὸ κέντρον τοῦ κύκλου (B_k), ἣτις θαυ συμπίπτει ἐν μέρει μετὰ τὴν προηγουμένως ἀκθεῖσαν BC , καὶ μίαν διατμητικὴν δύναμιν IA παράλληλον εἰς τὴν ἐφαπτομένην ἕως τὸ ἀντίστοιχον τμήμα τοῦ πυθμένου ($\beta_{εφ}$).



Σχ. 276 γ.

Τότε αἱ δυνάμεις ΣAI (ἐφαπτομενικαὶ ἐπιθετῶσαι τῆς βαρύτητας) εἶναι αἱ ἐνεργοὶ ἢ ὀρθῶσαι δυνάμεις (active forces) αἵτινες τείνουσιν νὰ μετακινήθωσιν τὸ πρᾶν ἐκ πρὸς ὀλίγησιν (Σχ. 276 α). Ἐνῶ αἱ δυνάμεις $\Sigma(EF)$ (ἢ ἀντίστοιχως $\Sigma(\Phi H)$ ἂν παραλείψωμεν τὰς DE ὡς ἔχουσας ἄθροισμα μηδέν ἢ πάλιν αἱ $\Sigma(CI)$ ἂν παραλείψωμεν τὰς CD ὡς ἔχουσας ὁμοίως περίου ἄθροισμα ἴσον πρὸς τὸ μηδέν) πολλαπλασιαζόμεναι ἐπὶ τὴν εφφ καὶ προεπιθέμεναι εἰς τὰς δυνάμεις $\Sigma \cdot C_\alpha \cdot L$ ($= \Sigma \cdot GA$) ἀποτελοῦσιν τὰς δυνάμεις αἵτινες λόγῳ ευνοχῆς καὶ τριβῆς ἀντιδρῶσιν εἰς τὴν ὀλίγησιν.

Ἐάν ἤδη λάβωμεν τὰς ροπὰς τῶν δυνάμεων ὡς πρὸς τὸ κέντρον τοῦ κύκλου ὀλιθησῶσ O , εὐρίσκομεν ὅτι αἱ δυνάμεις B_k , ὡς διερχόμεναι δι' αὐτοῦ δὲν δίδουσιν ροπήν, ἐνῶ αἱ δυνάμεις $B_{εφ}$ ἔχουσιν συνολικῶς ροπήν : $\Sigma r \cdot B_{εφ}$.

Ἐκ παραλλήλου αἱ δυνάμεις CD καὶ DE δὲν δίδουσιν ροπήν

διότι τό γεωμετρικόν ἄθροισμα αὐτῶν ἰσοῦται μέ μηδέν ὡς ἐμφαίνεται εἰς τό Σχ. 276 β. Αἱ δυνάμεις FE ὁμοίως διερχόμεναι διά τοῦ κέντρου τοῦ κύκλου δέν δίδουσι ροπήν.

Παραμένουν εἰσέτι αἱ δυνάμεις FA ἢ αἱ ευνιστῶσαι αὐτῶν FG καί GA δίδουσαι ροπάς :

$$r \Sigma(FG) + r \Sigma(GA) = r(\epsilon\phi\phi_{\alpha} \cdot \Sigma P_n + \Sigma C_{\alpha} \cdot Li)$$

Θά ἔκωμεν ὅθεν τελικῶς τήν ἐξίσωσιν τῶν ροπῶν ὡς πρός τό κέντρον τοῦ κύκλου :

$$r \Sigma(B_{\epsilon\phi}) = r \cdot \epsilon\phi\phi_{\alpha} \cdot \Sigma P_n + r \cdot C_{\alpha} \cdot \widehat{L}_{AB} \quad \eta$$

$$\Sigma \cdot B_{\epsilon\phi} = \epsilon\phi\phi_{\alpha} \cdot \Sigma(P_n) + C_{\alpha} \cdot \widehat{L}_{AB} \quad (193)$$

Ἡ ἐξίσωσις αὕτη εἶναι ἀνάλογος πρός τήν ἐξίσωσιν (188) καί δίδει τήν γενικήν ἰσορροπίαν τοῦ τμήματος τοῦ πρηνούς τοῦ ἐχγεγραμμένου ἐντός τοῦ κύκλου ὀκισθήσεως.

Διά τόν ὄρον $\Sigma(P_n)$ λαμβάνονται αἱ δυνάμεις EF τοῦ δυναμοπολυχώνου αἰτίνες θά ᾤσιν καί αἱ ὀρθαί ἐφ' ὅσον ἡ ἐκτίμησις τῶν δυνάμεων DE ἔχινεν ὀρθῶς. Εἰς τόν πίνακα τοῦ σχήματος (276α) ἐμφαίνονται αἱ ἀναπτυσσόμεναι ἐνεργαί ἢ ὀρθῶσαι δυνάμεις (290 ἢ 282,2 ἢ 272,2 τόν/μ.) καί δὴ εἰς τρεῖς ἐκδοχάς ἀναλόγως τοῦ μεγέθους ὃ δεχόμεθα διά τὰς καθέτους δυνάμεις P_n .

Ὁ Σουηδός μηχανικός Fellenius ἐπρότεινεν ὅπως παραλείπονται αἱ ἐπί τῶν πλευρῶν ἐκάστου τεμάχου διακομικαί δυνάμεις (ὡς ἴσαι καί ἀντίθετοι) ὡς ἐπίσης καί αἱ ἐπί τῶν πλευρῶν ὑδροστατικαί πιέσεις (ὁμοίως ὡς ἴσαι καί ἀντίθετοι) ὁπότε θά ἔχωμεν τὰς δύο ἀκολουθούς ἐκδοχάς :

α) Αἱ πιέσεις τῶν κωμάτων εἰς τὰς πλευρικὰς παρεΐας εἶναι ἴσαι καί ἀντίθετοι ὁπότε ὅλαι αἱ δυνάμεις DE ἰσοῦνται πρός

μηδέν και $\Sigma(P_n) = \Sigma(DH)$ (βλ. μεσαίαν ετήλην πίνακος τοῦ Σκ. 276 α). Ἡ ἐκδοκὴ αὕτη δίδει ἀντιδρώσας δυνάμεις 3% μικρότερας τῆς ὁλοκληρωτικῆς λύσεως.

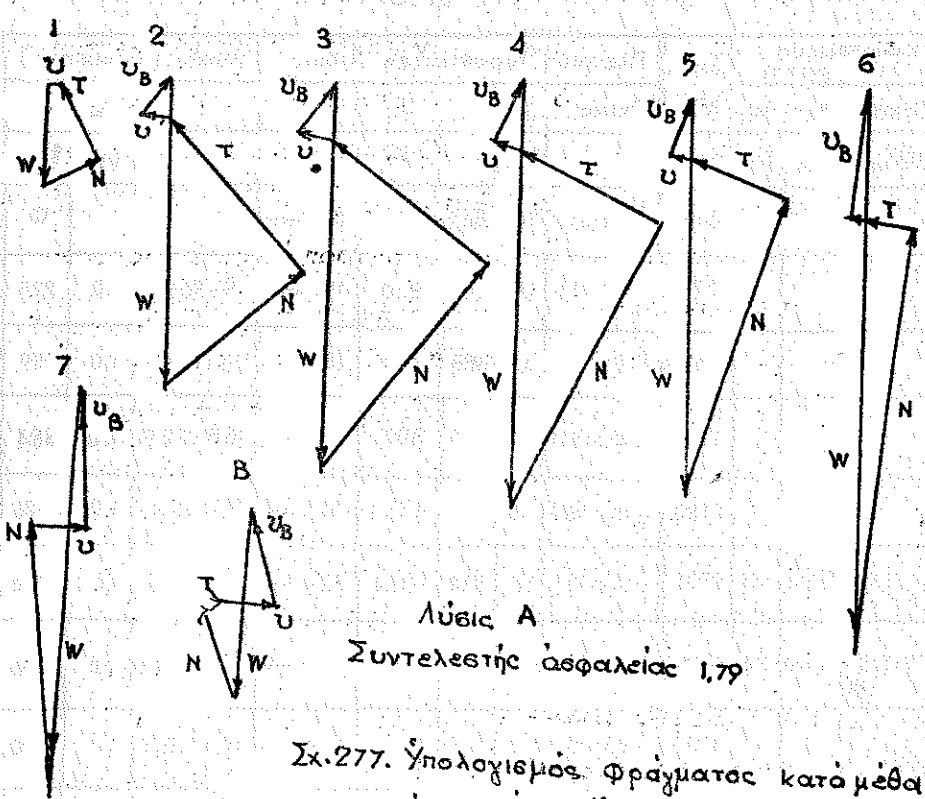
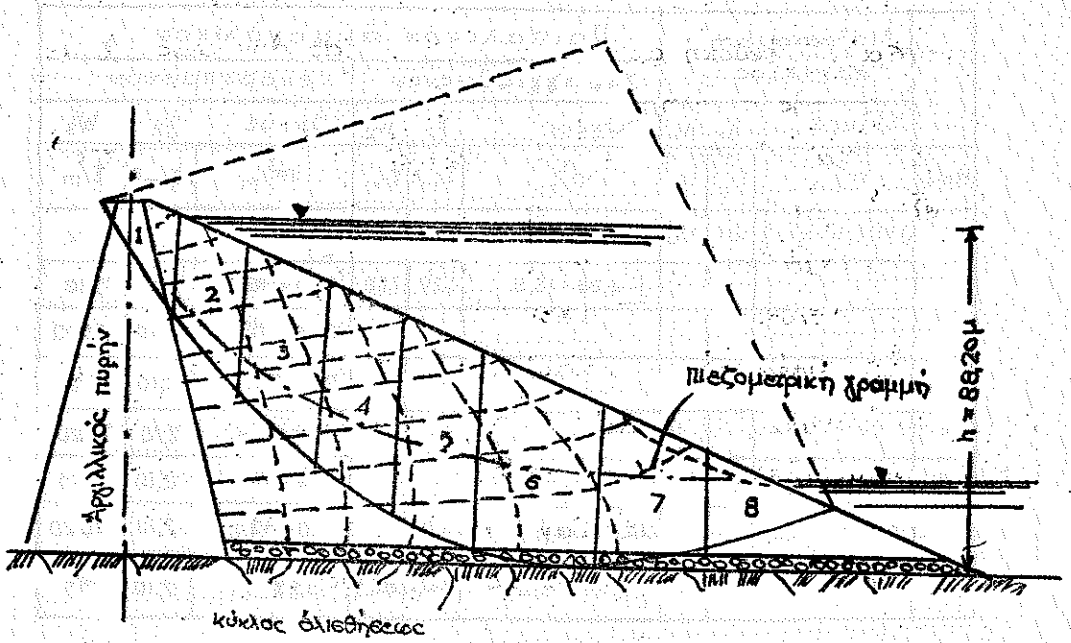
β) Καὶ αἱ ὑδροστατικαὶ πιέσεις εἰς τὰς πλευρικὰς παρειὰς εἶναι ἴσαι καὶ ἀντίθετοι ὁπότε αἱ δυνάμεις CD καὶ DE ἔχουσιν ἄθροισμα ἴσον μὲ μηδέν και $\Sigma(P_n) = \Sigma(CI)$. Ἡ ἐκδοκὴ αὕτη δίδει ἀντιδρώσας δυνάμεις 6% μικρότερας τῶν πραγματικῶν καὶ εἶναι ὑπὲρ τῆς ἀσφαλείας τοῦ ἔργου. Ἡ ἐκδοκὴ αὕτη ἀπαλλάσσει τὸν μελετητὴν καὶ ἀπὸ τὸν προσδιορισμὸν τῶν γραμμῶν ροῆς πρὸς εὗρεσιν τῶν πιέσεων διηθήσεως καὶ ἀποτελεῖ τὴν προφορωτέραν καὶ συντομωτέραν λύσιν.

Ἡδὴ, ὡς ἐλέχθη, χαράσσομεν μερικοὺς κύκλους καὶ ὑπολογίζομεν τὴν ἰσορροπίαν αὐτῶν συμφώνως μὲ τὴν ἐξίσωσιν μέχρῃς ἐξευρέσεως τοῦ δυσμενεστεροῦ συν/στοῦ ἀσφαλείας ἂν οὗτος δὲν εἶναι ἱκανοποιητικὸς ἐλαττοῦμεν τὴν κλίθιν τοῦ πρανοῦς.

Εἰς τὸ Σκ. 277 δίδεται ἡ τομὴ κωματίνου φράγματος ὕψους 30,20 μ. μὲ ἀρχιλλικὸν πυρῆνα καὶ κέλυφος ἐκ πειθαλικῆς ἄμμου καὶ καλίκων. Ἡ λύσις δίδεται διὰ τὴν ἐκδοκὴν καθ' ἣν λαμβάνονται αἱ πιέσεις τῶν κωμάτων Εἶσαι δι' ἕκαστον τέμαχος καὶ ἀλληλοεξουδετεροῦμεναι. Οὕτω ὑπολογίζεται ὁ συν/τῆς ἀσφαλείας συμφώνως πρὸς τὴν ἀνωτέρω ἐξίσωσιν (193) :

$$F = \frac{\Sigma(P_n) \epsilon \phi \Phi_a + C_a \Gamma_{AB}}{\Sigma(B_{\epsilon \phi})} \quad (193')$$

Τέλος εἰς τὸ Σκ. 278 δίδεται ἀνάκωμα ὕψους 3,00 μ. μὲ κλίθιν πρανοῦς 2,5:1, ἀποτελούμενον κυρίως ἐκ συμπεπυκνωμένου ὑλικῶ (Φ=37° εφΦ=0,75, C=0). Ὁ ἔλεγχος αὐτοῦ γίνεται κατὰ τοὺς τρεῖς κύκλους I, II, III τοὺς ἐμφαινιζομένους εἰς τὸ Σκῆμα καὶ ἔχοντας συντελεστὰς ἀσφαλείας 1,82 - 1,80 καὶ 1,85 ὁ ἐπικινδυνωδέστερος κύκλος ἐπομένως εἶναι ὁ μεσαῖος



Λύσις Α
 Συντελεστής ασφαλείας 1,79

Σχ.277. Υπολογισμός φράγματος κατά μέθρον τεμαχών. Αίφνηδια σταθμήσεις

Μονάδα	Διαβρεχομένη "Αργίλλος			Παιπαλικόν άμμοκάλικον							
				Στραχιζόμενον			Κεκορεσμένον				
	Όγκος	γ_1	W_1	Όγκος	γ_2	W_2	Όγκος	γ_3	W_3		
	m^3/m	t/m^3	t/m	m^3/m	t/m^3	t/m	m^3/m	t/m^3	t/m		
1	$(1,38)(1,59) \div (2,5)$	194	276	$7 \cdot 3,55 \cdot \frac{1}{2}$	137	4,01	179	49,2	$\frac{1}{2} 6,7 \cdot 27,1$	2,10	192
2				$\frac{1}{2} 4,26 \cdot 18,3$	179	7,00			$20,5 \cdot 36,8$	2,10	1780
3									$20,5 \cdot 47,2$	2,10	2030
4									$20,5 \cdot 51,4$	2,10	2200
5									$20,5 \cdot 51,4$	2,10	2200
6									$30 \cdot 44$	2,10	2175
7				"Υ δ ωρ	1,0				$30 \cdot 32,1$	2,10	2020
8				$\frac{1}{2} 20,1 \cdot 8,25$	1,0	83,5			$33,8 \cdot 14$	2,10	995

Πίνακες ύπολογισμού τού φράγματος τού σχήματος 277

Κεκορεσμένη λιθορράκη			Σύνολο WT	Πλευρική υδροστατική πίεσις					Άνωσις (υδροστατ.)		
Όγκος	γ_4	W_4		Όγκος	γ_w	U_R	U_L	$U \rightleftharpoons$	γ_w	u_B	
m^3/m	t/m^3	t/m	t/m		t/m^3	t/m	t/m	t/m	t/m^3	t/m	
			516	$\frac{1}{2} 6,4 \cdot 27,2$	1,0	86,5	0	$86,5 \leftarrow$		0	
			1570	$\frac{1}{2} 11,6 \cdot 43,5$	1,0	254	87,0	$157 \leftarrow$	$9 \cdot 30,5$	1,0	275
			2020	$\frac{1}{2} 15,2 \cdot 50$	1,0	383	283	$130 \leftarrow$	$13,4 \cdot 25,3$	1,0	339
			2180	$\frac{1}{2} 18,3 \cdot 52,1$	1,0	475	382	$94 \leftarrow$	$16,8 \cdot 22,9$	1,0	384
			2180	$\frac{1}{2} 21,9 \cdot 50,4$	1,0	525	475,5	$50,5 \leftarrow$	$19,7 \cdot 21,4$	1,0	420
$30 \cdot 2,13$	2200	141	2920	$\frac{1}{2} 24,4 \cdot 41,5$	1,0	504	526,4	$22,4 \rightarrow$	$22,9 \cdot 30,5$	1,0	700
$30 \cdot 2,13$	2300	141	2170	$\frac{1}{2} 21 \cdot 26,2$	1,0	275	505	$230 \rightarrow$	$22,9 \cdot 30,5$	1,0	700
			1080	$\frac{1}{2} 8,35 \cdot 8,35$	1,0	86,0	276	$240 \rightarrow$	$14,9 \cdot 36,3$	1,0	540

φ	εφφ	κάθετος N	Νεφφ	Συνεπι- κότης C	L̂	Lc	Εφαπτομενική		ΣΤ
							+τ	-τ	
		t/m	t/m	t/m²	m	t/m	t/m	t/m	t/m
10	0.176	337	59.0	4.87	24.4	119	417		
35	0.70	927	647				1090		
35	0.70	1670	956				880		
35	0.70	1620	1130				596		
35	0.70	1620	1190				335		4350
40	0.84	2280	1650					7.45	
40	0.64	1467	1290					97	124
35	0.70	565	396						
			7450						4246

Βασικά Δεδομένα					
Υλικό	Ειδ. Βάρη t/m³			γωνια- κτικό της τρίβης	Συνε- πι- κότης C t/m²
	Επρόν	κεκα	ύγρον		
Άμμοκάλικο		2.10	1.39	35°	0
Άργιλλος		1.60	1.60	10°	4.87
Χάλικες		2.20	1.70	40°	0

Αποτελέσματα				
Δυνάμεις			Συντελεστής ασφαλείας	
Αντιδράσει		Δράσει		
ΣΝεφφ φ	ΣLc	ΣΤ	$\frac{\Sigma \text{Νεφφ} + \Sigma \text{Lc}}{\Sigma \text{T}}$	
7450	119	4246	1.79	

ο συντελεστής ασφαλείας όμως του οποίου (1.8) θεωρείται ικανο-
ποιητικός (βλ. παραγωγικά έργα του ποταμού Santa Ana Calif:
Lytle και Cajon Creeks improvement).

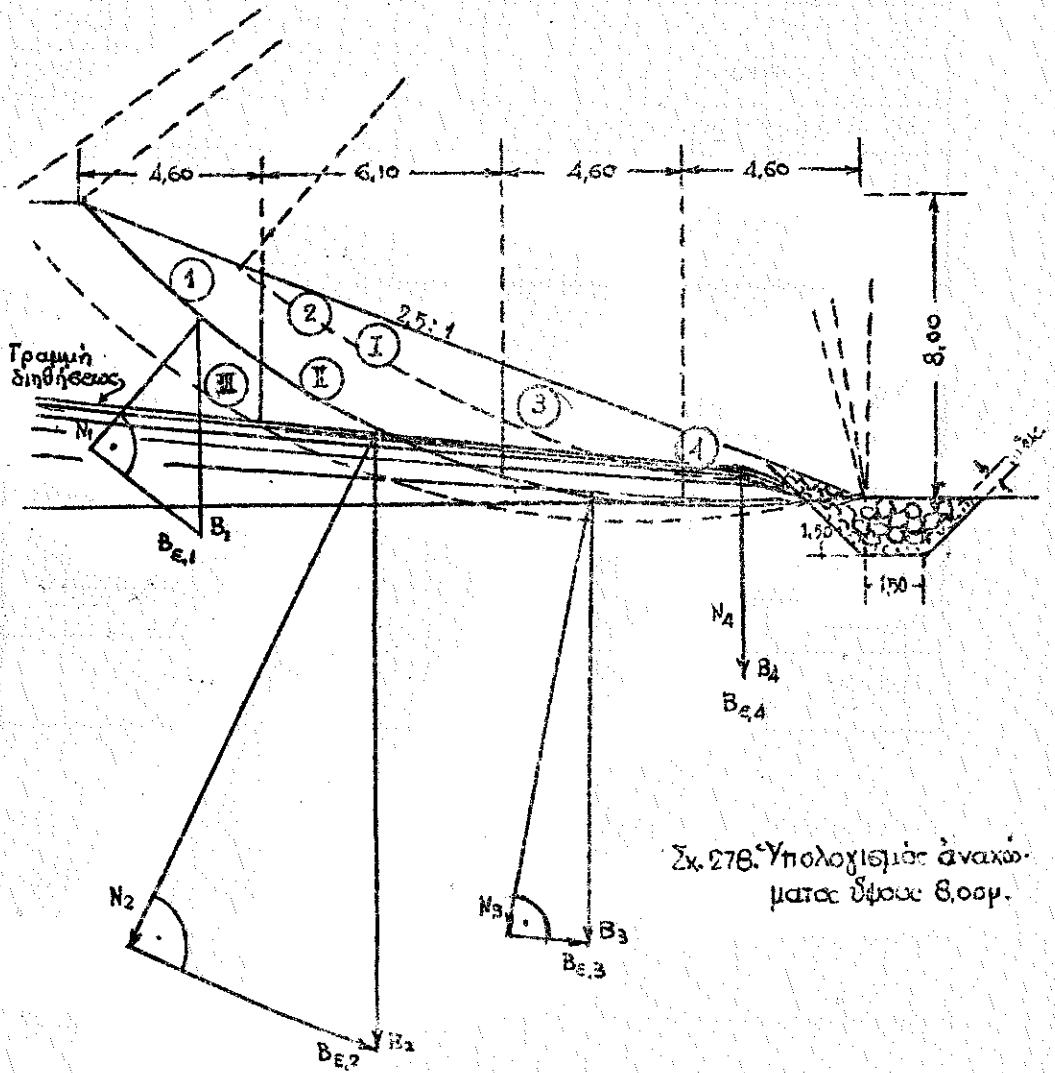
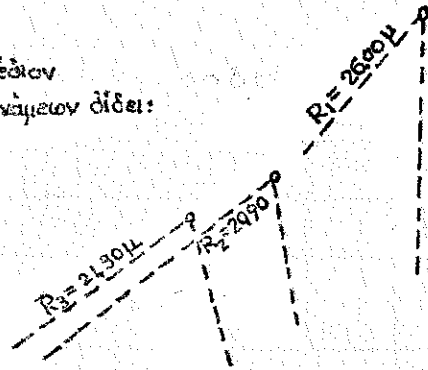
Λίδονται $\left\{ \begin{array}{l} \phi = 37^\circ, c = 0 \\ \text{Στάθμη ΰδατος ως εις ικεθόν} \end{array} \right.$

Διά τόν κύκλον Ι ὁ ἔλεγχος τῶν δυνάμεων δίδει:

$$\Sigma(H)\epsilon\phi\phi = 96,71$$

$$\Sigma B_E = 53,53$$

$$\text{Σημελειότης ἀσφαλείας: } \frac{96,71}{53,53} = 1,80$$

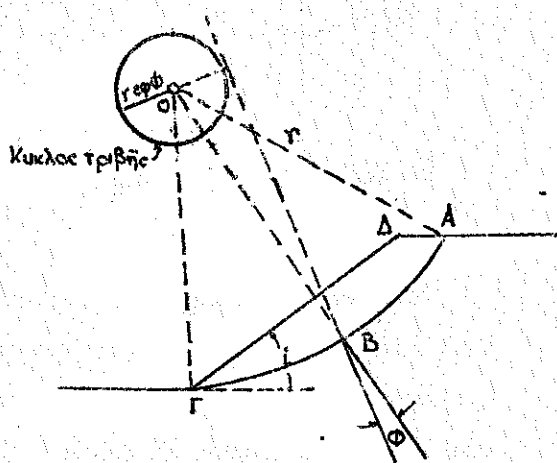


Σχ. 278. Υπολογισμός ἀνακώμα-
μας ὕψους 8,00 μ.

5.5 Η μέθοδος τῶν κύκλων τριβῆς.

Πρὸς ἀποφυγὴν τῆς πολυπλόκου ἐργασίας ἣν ἀπαιτᾷ ἡ μέθοδος τῶν τεμαχίων (πρὸς ἐξεύρεσιν τῶν στοιχείων τῆς ἐξίσωσης (193)) κατεβλήθη προσπάθεια ἀναπτύξεως εὐχερεστέρας μεθόδου ὑπολογισμοῦ τῆς εὐσταθείας (ἧτοι τοῦ συντελεστοῦ ἀεφαλείας) τοῦ τμήματος τοῦ πρανοῦς τοῦ κινδυνεύοντος εἰς ὀλίβθην θεωρουμένου ἄς ἐνὸς μόνον τεμαχίου. Τοῦτο ἐπιτυγχάνεται διὰ τῆς μεθόδου τοῦ κύκλου τριβῆς.

Ἄς δεχθῶμεν κατ' ἀρχὴν κύκλον ὀλιβθήσεως $ABΓ$ (μὲ κέντρον O καὶ ἀκτῖνα r) καὶ γράψωμεν ὁμόκεντρον κύκλον μὲ ἀκτῖνα $r \cdot \eta \mu \phi$ (βλ. Σχ. 279) ὃν καλοῦμεν κύκλον τριβῆς.



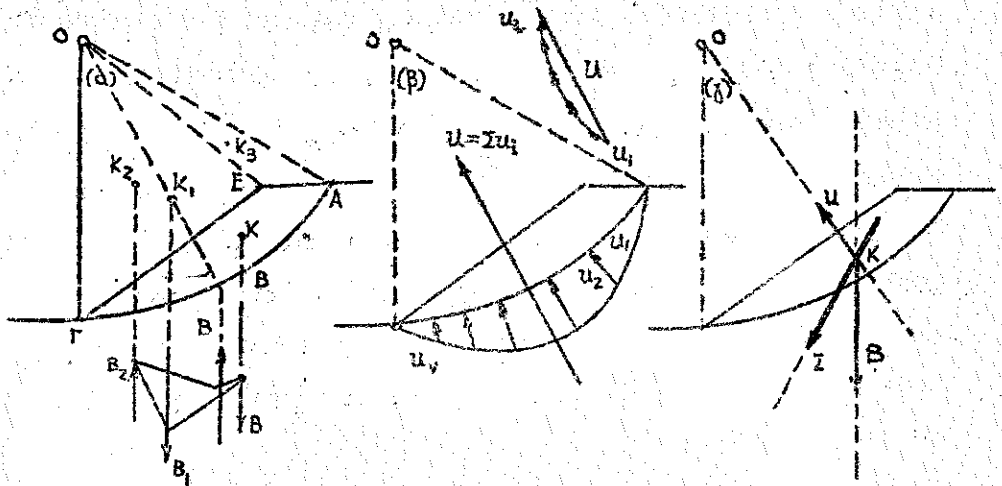
Σχ. 279. Κύκλος τριβῆς (ἢ κύκλος ϕ)

Τότε εἰάν ἐξ οἰοῦ δήποτε σημείου (B) τοῦ κύκλου φέρωμεν ἐφαπτομένην εἰς τὸν κύκλον τριβῆς αὕτη θά σχηματίζει μὲ τὴν ἀκτῖνα τοῦ κύκλου ὀλιβθήσεως OB γωνίαν ϕ .

Ἐξετάσωμεν ἤδη ὑπὸ τὸ πρίσμα τῆς ἰσοροπίας ἐνός πρανοῦς τὰς δρῶσας δυνάμεις, ἧτοι τὰς ἐνεργοῦς δυνάμεις, αἵτινες τείνουσιν νὰ προκαλέσουν τὴν ὀλίβθην τοῦ πρανοῦς καὶ τὰς ἀντιδρώσας ἢ παθητικὰς δυνάμεις αἵτινες

τείνουν νά ευκρατήθουν αυτό.

Δρῶσαι δυνάμεις, εἶναι τὸ ἴδιον βάρος B καὶ αἱ οὐδέτεροι δυνάμεις τῆς ὑποπίεσεως, ὧν ἡ συνισταμένη ἔσται U . Ἡ συνισταμένη τοῦ B καὶ τῆς U εἶναι ἡ δύναμις Z (βλ. Σχ. 280).



Σχ. 280. Δρῶσαι δυνάμεις ἐπὶ τοῦ προηγου, σύνθεσις αὐτῶν.

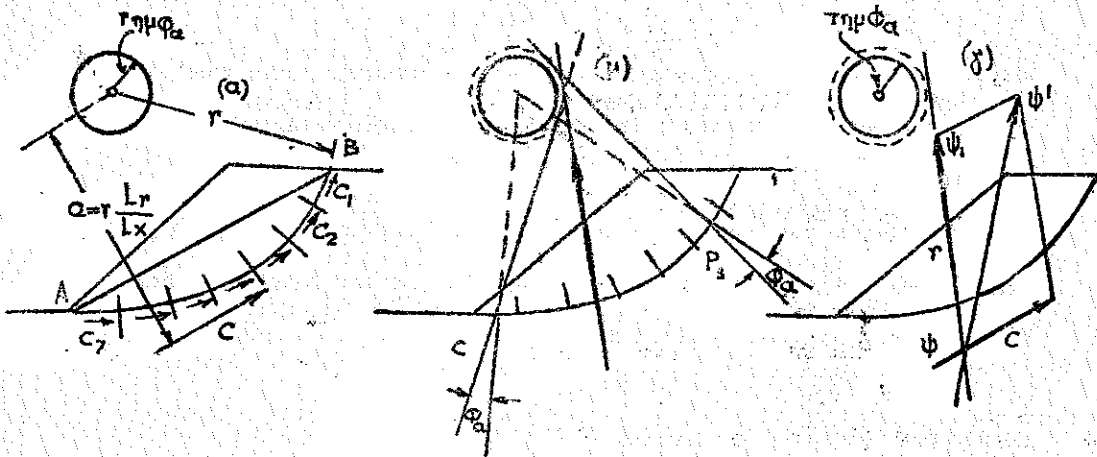
Ὁ προσδιορισμὸς τοῦ μεγέθους καὶ τοῦ σημείου ἐφαρμογῆς τοῦ ἰδίου βάρους B εἶναι εὐχερῆς διὰ κατασκευῆς δυναμοπολυγώνου (μὴ ἀναγραφόμενου εἰς τὸ σχέδιον) καὶ ὁμοιοκωλύωνου ἔνθα τὸ βᾶρος B εὐρίσκεται ὡς διαφορὰ τοῦ βάρους $OAB\Gamma$ (τομεὺς κύκλου) ἔξ ὧσ' ἀφαιροῦνται τὰ βάρη τῶν τριγώνων $O\Gamma E$ καὶ $E O A$.

Τὰ κέντρα βάρους τῶν ἐκφράσεων αὐτῶν εὐρίσκονται εὐχερῶς (βλ. Σχ. 280 α). Ἡ συνισταμένη τῶν ὑποπίεσεων ὁμοίως εὐρίσκεται εὐχερῶς δοθέντος ὅτι αὕτη θὰ διέρχεται διὰ τοῦ κέντρου O (ἐφ' ὅσον ὅλαι αἱ συνιστώσαι διέρχονται δι' αὐτοῦ) τὸ μέγεθος δὲ αὐτῆς προσδιορίζεται δι' ἄλλου δυναμοπολυ-

ζώνου (βλ. Σχ. 280 β). Τέλος η συνισταμένη Σ τών B και U εύρεται άμεσα και εύκρω, ως σύνθεσις δύο δυνάμεων (βλ. Σχ. 280 γ).

Αι αντίδρωσαι εις την όλιθθσιν δυνάμεις είναι αι δυνάμεις συνεκτικότητας ($C\bar{L}$) και αι δυνάμεις τριβών τών καθέτων εις τό τόξον συνιστωσών του βάρους.

Ούτω, ως έμφαίνεται εις τό Σχ. 281, αι συνιστώσαι τών δυνάμεων συνεκτικότητας C έχουν συνιστώσαν την δύναμιν C , η-



Σχ. 281. Αντίδρωσαι δυνάμεις επί του προνοίε και σύνθεσις αυτών

τις θα είναι παράλληλος προς την χορδήν του τόξου AB , μήκους Lx τό μέγεθος της δυνάμεως ταύτης θα ίσοῦται μέ τάς προβολάς τών κατά μέρος δυνάμεων $C_1, C_2 \dots C_7$ επί του τόξου, δοθέντος ότι αι κάθετοι προς αυτό συνιστώσαι τών C_1 έως C_7 αλληλοαναιρούονται, ως έχουναι, ανά ζεύγη, αντίθετον κατεύθυνσιν. Τό μέγεθος της συνισταμένης θα είναι $(C_a \cdot Lx)$ ένθα Lx είναι τό μήκος της εύθείας AB ήτοι της χορδής του τόξου και η διεύθυνσις αυτής παράλληλος προς την χορδήν.

Η απόστασις της συνισταμένης C εύρίσκεται όμοίως εύ-

κόλως εάν λάβωμεν τὰς ροπὰς ὡς πρὸς τὸ κέντρον τοῦ κύκλου ὁπότε :

$$r(C_1 + C_2 + \dots + C_7) = \alpha \cdot C$$

καὶ ἐπειδὴ C εὐρέθη ἤδη ἴσον μὲ $C_\alpha L_x$ ἔχομεν :

$$r C_\alpha (l_1 + l_2 + \dots + l_7) = \alpha \cdot C = \alpha C_\alpha \cdot L_x \quad (194)$$

ἐνθα $l_1 + l_2 + \dots + l_7 = \mu\eta\kappa\omicron\varsigma \tau\acute{o}\xi\omicron\upsilon A \acute{\omega}\varsigma B$, ἤτοι L_r καὶ ἐπομένως :

$$r \cdot C_\alpha L_r = \alpha \cdot C_\alpha \cdot L_x \quad \eta$$

$$\alpha = r \cdot \frac{L_r}{L_x} \quad (195)$$

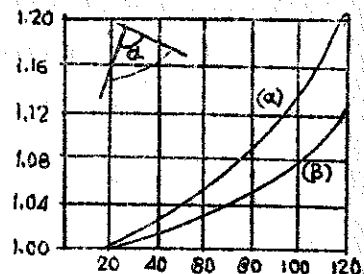
ἤτοι εὐρίσκεται ἡ ἀπόστασις α τῆς συνιστώσης ἀπὸ τοῦ κέντρου. Ἡ ἀπόστασις αὕτη εἶναι ἀνεξάρτητος τοῦ συντελεστοῦ συντελεστικότητος C_α .

Ἐξ ἄλλου αἱ ἀντιδρῶσαι δυνάμεις τριβῆς ($P_i \cdot \epsilon\phi\Phi_\alpha$) θὰ εἶναι ὅλαι ἐκ κατασκευῆς ἐφαπτόμεναι εἰς τὸν κύκλον τριβῆς.

Ἡ συνισταμένη αὐτῶν θὰ κείτοι κατὰ τι ἔξω τοῦ κύκλου τούτου (βλ. σχῆμα 281 β) καὶ δὴ θὰ ἐφαπτεται κύκλον μὲ κέντρον

K τῆς $\mu\Phi_\alpha$ ἐνθα $K > I$. Ὁ συν/στής οὗτος K , εἶναι συνάρτησις τῆς διανομῆς τῶν δυνάμεων τριβῆς κατὰ μῆκος τοῦ τόξου. Εἰς τὸ σχῆμα 282 οἰδεται ὁ συντελεστής K , διὰ τῆς καμπύλης (α)

εἰς περιπτώσιν καθ' ἣν αἱ πιέσεις εἶναι ὁμοιόμορφοι ἐπὶ τοῦ πρᾶνουσ καὶ διὰ τῆς καμπύλης (β) διὰ τὴν περιπτώσιν καθ' ἣν αἱ πιέσεις εἶναι μηδέν εἰς τὰ δύο ἅκρα τοῦ τόξου μεταβάλλονται δὲ κατὰ ἡμιτονοειδῆ καμπύλην εἰς τὰ ἐνδιάμεσα σημεῖα.



Σχ.282 Ἐπίκεντρος γωνία α

Τοιουτοτρόπως καθωρίσθη ἡ θέσις τῆς εὐθείας ἐφ' ἧς κινεῖται ἡ δύναμις C (ἀπόστασις α) καὶ τὸ μέγεθος αὐτῆς ($C_\alpha \cdot T_\alpha$) ὡς καὶ ἡ κατεύθυνσις τῆς P , ἥτις θὰ ἐφάπτεται τοῦ κύκλου κτημ Φ_α καὶ θὰ διέρχεται διὰ τοῦ Φ (βλ. Σχ. 281 γ).

Ἡδὴ ἐρχόμεθα εἰς τὴν ἐξέτασιν τῆς ἰσορροπίας τῶν δρωσῶν καὶ ἀντιδρωσῶν δυνάμεων.

Κατ' ἀρχὴν καθωρίσθη ἡ συνισταμένη Σ (ὡς ἐξετέθη ἀνωτέρω καὶ ἐμφαίνεται εἰς τὸ Σχ. 280 γ), ἡ συνισταμένη τῶν δρωσῶν δυνάμεων.

Ἐκ τῶν ἀντιδρωσῶν καθωρίσθη ἡδὴ ἡ θέσις τῆς εὐθείας ἐφ' ἧς κινεῖται ἡ δύναμις C (ἀπόστασις α) καὶ τὸ μέγεθος αὐτῆς. Τοιουτοτρόπως καθορίζεται τὸ σημεῖον ψτομῆς τῆς Σ καὶ C (βλ. Σχήμα 281 γ), ὡς καὶ τὸ σημεῖον ψ' ἐνθα τὸ μῆκος $\psi\psi'$, εἰς καταλλήλως ἀνηχημένην κλίμακα δυνάμεων, παριστᾷ τὸ μέγεθος τῆς δυνάμεως Σ . Ἐάν ἡδὴ λάβωμεν τὸ μῆκος $\psi'\psi_1 = C_\alpha T_\alpha$ ἔχομεν τὸ σημεῖον ψ_1 ἐνθα $\psi\psi_1$ θὰ εἶναι τὸ μέγεθος τῶν δυνάμεων τριβῆς P , ὃ δὲ ἐκ τοῦ O ἐφαπτόμενος κύκλος εἰς αὐτὴν μᾶς δίδει τὴν ἀκτίνα K -κτημ Φ_α ἐξ ἧς προσδιορίζεται τὸ μέγεθος Φ_α .

Ἐφ' ὅσον ἡδὴ ἐκλέδαμεν τὸ μέγεθος C_α καὶ προέκυψεν τὸ μέγεθος Φ_α θὰ ἔχωμεν διὰ τὸ σημεῖον ψ_1 :

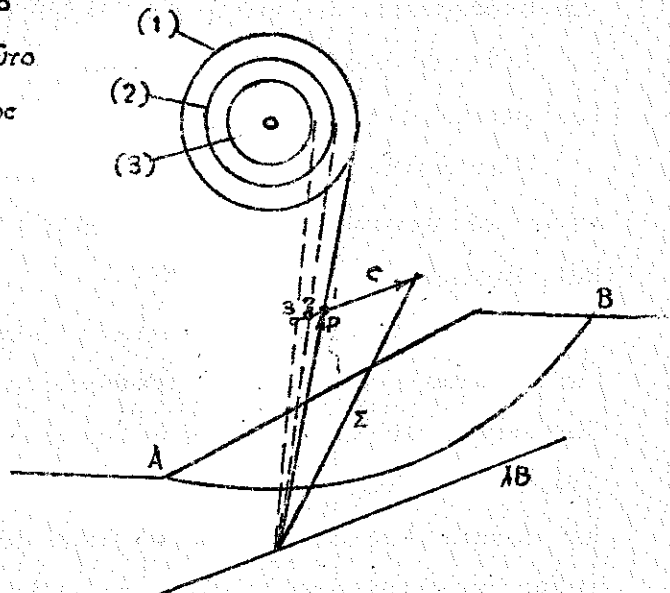
$$\text{ἐκλεχέντα Συντελεστὴν ἀσφαλ. συνεκτικότητος} \quad \frac{C_\alpha}{C_\alpha} = F_{C,1}$$

$$\text{καὶ προκύπτοντα Συντελεστὴν ἀσφαλ. τριβῶν} \quad \frac{\Phi_\alpha}{C_\alpha} = \epsilon_{\Phi,1}$$

Κατὰ πάσαν πιθανότητα εἰς τὴν πρώτην ἐκλογὴν τοῦ C_α (πλὴν τυχαίας συμπτώσεως) οἱ συντελεσταὶ οὗτοι θὰ εἶναι διάφοροι μεταξὺ τῶν (βλ. περί συν/στοῦ ἀσφαλείας § 5·2 γ σελίς 359) ὅποτε δὲν γνωρίζομεν τὸ ἀκριβές μέγεθος τῆς ἀσφαλείας τοῦ τόξου ἀπὸ κιν.

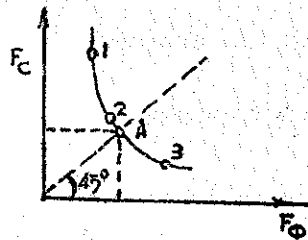
ώνου όλισθήσεως, ως θα συνέβαιναν εάν οι συντελεστές F_c και F_ϕ , έχοντες ένιαίαν τιμήν, ήσαν ίσοι.

Διά τόν ως άνω λόγον καταβάλλεται προσιπάθεια έξευρέσεως ίσων τιμών των δύο συν/ετών άσφαλείας. Τοúτο επιτυγχάνεται εύχερώς διά τριών, τεσσαρων δοκιμών ως άκολουθώς: Δίδομεν τρείς λ.χ. διάφορους τιμάς εις τό C_α και εύρίσκομεν τάς αντίστοιχούς τιμάς του Φ_α εκ των αντίστοιχών τριών κύλων (βλ. Σχ. 283).



Σχ. 283 Δοκιμή έξείσωσης συν/ετών άσφαλείας

Λαμβάνοντες ήδη τους συν/ετές άσφαλείας δι' έκάστην δοκιμήν εκ των όρισμένων C_α και των έξακθέντων Φ_α και φέροντες εις σύστημα συντεταγμένων τά προκυπτόντα ζεύγη, λαμβάνομεν τό διάγραμμα του εκημ. 284. Εκ τούτου ήδη προσδιορίζεται τό σημείον Α δι' ό $F_c = F_\phi$, όπερ μάς δίδει τόν συν/ετήν $F = F_c = F_\phi$ άσφαλείας του φράγματος, ως και τάς άνηχόμενας τιμάς των συντελεστών Φ και C ήτοι:



Σχ. 284. Μεταβολή συν/ετών άσφαλείας

$$\Phi_\alpha = \frac{\Phi_\epsilon}{F} \quad C_\alpha = \frac{C_\epsilon}{F}$$

Εἶναι εὐνόητον ἤδη ὅτι τὸν αὐτὸν εὐρεθέντα συντελεστήν F τῆς τομῆς AB , συγκρίνομεν μὲ τοὺς καθ' ὁμοίον τρόπον ὑπολογιζομένους δι' ἄλλους κύκλους A, B_1 , εὐρίσκομεν τὸν δυσμενέστερον ἐξ αὐτῶν καὶ κρίνομεν ἂν ἡ ὑπ' αὐτοῦ προσφερεμένη ἀσφάλεια εἶναι ἐπαρκής $[F > (1,8 + 2,0)]$ ἄλλως μεταβάλλομεν τὴν μελέτην.

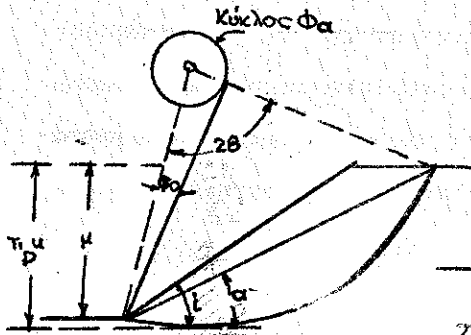
5.6.- Διαγράμματα εὐσταθείας δι' ἄλλᾶς περιπτώσεις. Ἀναγωγή εὐθέτων τινῶν περιπτώσεων.

Διὰ τῆς γενικῆς μεθόδου τῶν τεμάκων ἐπιζητεῖται ὁ δυσμενέστερος κύκλος ὀλισθήσεως, διὰ δοκιμῶν κύκλων τινῶν, ἕκαστος, τῶν ὁποίων δοκιμάζεται διὰ τῆς πολυκλόκου ἀναλύσεως εἰς πολλὰ τεμάκην (5.4).

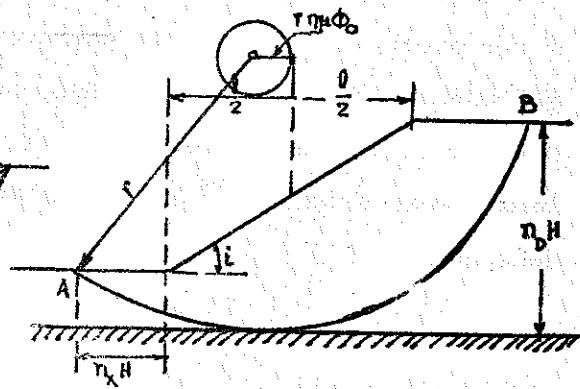
Διὰ τῆς μεθόδου τῶν κύκλων τριβῆς ἐπιτύχάνεται εἰς ἄπλᾶς περιπτώσεις (ἢ ὑπὸ ὠρισμένας παραδοχάς) ὁ ἄμεσος προσδιορισμὸς τῆς ἀσφαλείας ἑκάστου κύκλου ὅτε νὰ ευντομεύηται κατὰ πολὺ ἢ συγκρίσεις τῶν πιθανωτέρων κύκλων ὀλισθήσεως (§ 5.5).

Ἦδη εἰς τὴν ἀπλοποιημένην αὐτὴν περίπτωσιν δύναται τις γεωμετρικῶς νὰ ἀναζητήσει ἀπ' εὐθείας τὸν δυσμενέστερον κύκλον καὶ νὰ προσδιορίσῃ, κατὰ τὰ ἀνωτέρω (μέθοδος κύκλου τριβῆς) τὸν προκύπτοντα δυσμενέστερον συντελεστήν ἀσφαλείας.

Διὰ τὰς ἄπλᾶς περιπτώσεις ὁμοιογενοῦς ὑλικοῦ, ἄνευ διηθήσεως, ἔχουσας συμφῶνας πρὸς τὰ ἐκρήματα (285 καὶ 286), ὁ προσδιορισμὸς τοῦ συντελεστοῦ εὐσταθείας δίδεται συνερτήσει τῆς γωνίας τριβῆς Φ , τοῦ συντελεστοῦ συνεκτικότητος C_a καὶ τῆς κλίσεως τοῦ πρᾶνου i .



Σχ. 285



Σχ. 286

Οὕτω διά τήν περίπτωσιν μαλακῆς ἀρχίλλου ἔνθα ὡς γνωστόν $\tau = \frac{1}{2} q_{\mu} = c$, εἰάν τὸ c προκαθορισθῇ, τότε τὸ κρίσιμον ὕψος $H_{κρ}$ πρανοῦς ὑπὸ γωνίαν ι δίδεται ἐκ τῆς ἐξίσωσως .:

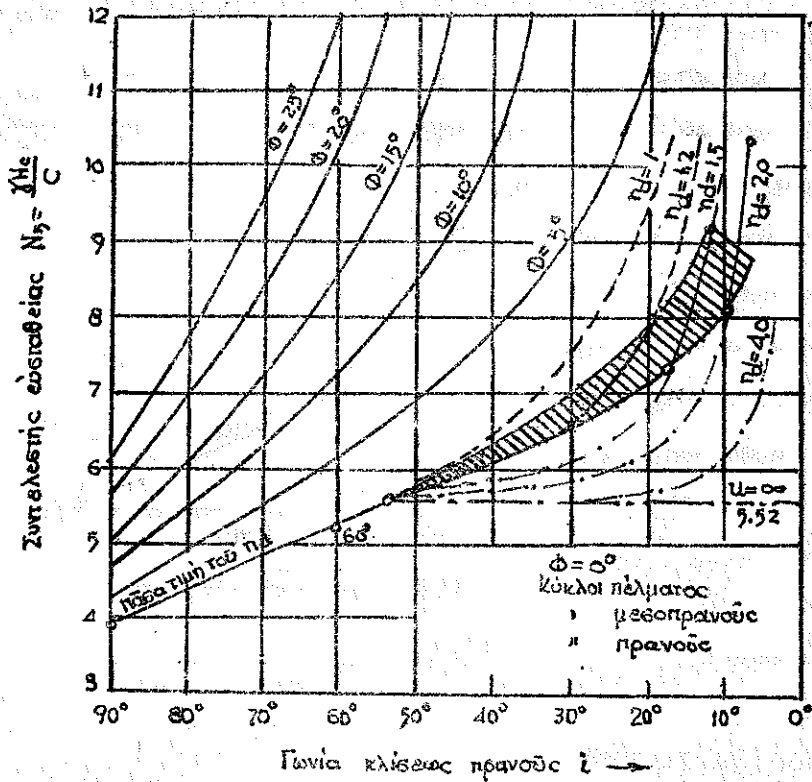
$$H_{κρ} = N_s \frac{c}{\delta} \quad (196)$$

ἔνθα N_s εἶναι ὁ ἀνωτέρω δοθεὶς συντελεστὴς ευσταθείας (σελίς 354 ἐξ. 182).

Ὁ συντελεστὴς ευσταθείας δίδεται ὑπὸ τοῦ διαγράμματος εὐσταθείας τοῦ Σχ. 287 ἐξαρτώμενος ἐκ τῆς κλίσεως ι καὶ τοῦ συντελεστοῦ βάθους η_{δ} ἐκφράζοντες τὸ βάθος καθ' ὃ ἡ ἀρχίλλος ἐπικάθηται στερεοῦ ὑποστρώματος.

Ἡ ὀλίθησις γίνεται συνήθως ἢ κατὰ κύκλον πέλματος (βλ. σχῆμα 285 καὶ Σχ. 274 α) ἢ κατὰ κύκλον βάσεως (βλ. Σχ. 286 ἢ Σχ. 274 γ καὶ 274 δ) ὅποτε συνήθως ἡ ἐφαπτομένη εἰς τὸν κύκλον τριβῆς διέρχεται διὰ τοῦ μέσου τοῦ πρανοῦς δι' ὃ καὶ ὁ κύκλος ὀλισθήσεως οὗτος καλεῖται κύκλος μεσοπρανοῦς (mid-point circle) καὶ εἶναι ἐφαπτόμενος τοῦ στερεοῦ ὑποστρώματος.

Οὕτω εἰς τὸ Σχ. 287 δίδεται τὸ διάγραμμα εὐσταθείας



Σχ. 287

Διά κλίειν πρανούς μεγαλύτεραν τών 53° ο κύκλος ολιεθής-
 σεως είναι κύκλος πέλματος.

Διά $i < 53^\circ$ ο κύκλος εξαρτάται εκ του βάθους του στε-
 ρεού υποστρώματος "τοι εκ του συντελεστού n_d .

Διά $n_d = 1$ (υπόστρωμα εις τον πόδα του πρανούς) η όλι-
 εθης γίνεται κατά κύκλον πρανούς (Σχ. 274 β' ένθα $D=0$).

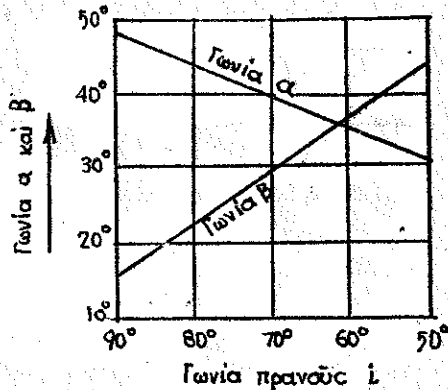
Διά $n_d > 4,0$ η όλιεθης γίνεται κατά κύκλον μεσοπρα-
 νούς και είναι σχεδόν ανεξάρτητος της κλίσεως του πρανούς.

Διά τιμάς $1,0 < n_d < 4,0$ η όλιεθης γίνεται κατά κύκλον

πρανοῦς ἐφ' ὅσον αἰτίμαί τοῦ η_d καὶ b δίδουν σημεῖα ἄνω τῆς διαγραμμαμένης ἐπιφανείας τοῦ εἰρήματος 287 καὶ κατὰ κύκλους μεσοπρανοῦς ἐφ' ὅσον εὐρίσκονται κατωθεν αὐτῆς.

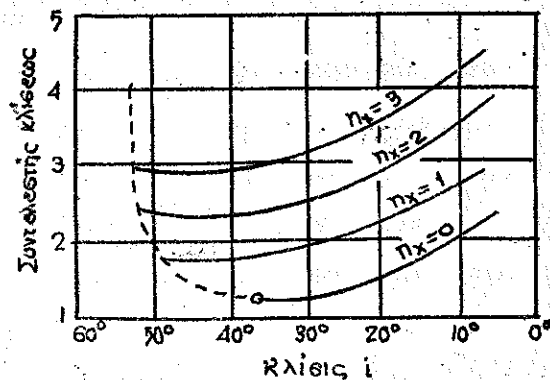
Διὰ σημεῖα (η_d, i) εὐρισκόμενα ἐντὸς τῆς διαγραμμαμένης ἐπιφανείας, ἡ ὀλιθθεις γίνεται κατὰ κύκλους πέλματος.

Διὰ κύκλον ὀλιθθίσεως πέλματος, δυνάμεθα νῦν νὰ προσδιορίσωμεν καὶ τὸ κέντρον τοῦ επικινδυνοδοετέρου κύκλου ἐκ τοῦ εἰρήματος 288, εἰς τὸ ὁποῖον αἱ γωνίαι α καὶ β προσδιορίζονται συνάρτησι τῆς γωνίας τοῦ πρανοῦς i .



Σχ. 286 Γωνία α καὶ β συνάρτησι i

Ἐξ ἄλλου διὰ τὴν περίπτωσιν καὶ τὴν μεσοπρανοῦς (βλ. Σχ. 286) δυνάμεθα νὰ προσδιορίσωμεν εὐχερῶς τὸ κέντρον τοῦ κύκλου ἐφ' ὅσον τοῦτο θὰ κεῖται ἐπὶ τῆς κατακορύφου ἐπὶ τοῦ μέσου τοῦ πρανοῦς ($\Phi_a \cong 0, \eta_m \Phi_d = 0$) καὶ ὁ κύκλος τριβῆς γίνεται σημεῖον καὶ διὰ τοῦ σημείου A ὅπερ κεῖται εἰς ἀπόστασιν $\eta_x H$ ἀπὸ τοῦ ποδὸς τοῦ πρανοῦς.



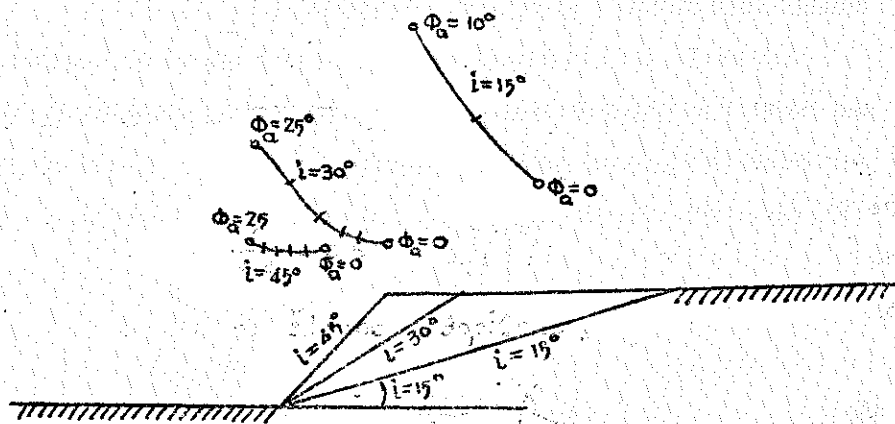
Σχ. 289

Ὁ συντελεστής n_x ἤδη εὑρίσκεται ἐκ τοῦ διαγράμματος τοῦ σχήματος 289 συναρτήσῃ τῆς κλίσεως l καὶ τοῦ συντελεστοῦ n_d .

Διὰ τὴν περίπτωσιν ἀμμοδῶν ἐδαφῶν ($\Phi > 0$) ὁ συντελεστής εὐσταθείας δίδεται πάλιν ὑπὸ τοῦ διαγράμματος τοῦ Σχ. 287 διὰ τῶν καμπυλῶν ἄνω τοῦ σημείου τῶν 53° καὶ δὴ ἀναλόγως τῆς ἐκάστοτε γωνίας τριβῆς Φ .

Αἱ καμπύλαι αὗται εἶναι εὐνόητον ὅτι ἔχουσιν ἀσύμπτωτον ἐκάστη τὴν τεταχμένην δι' ἣν ἡ τετμημένη i γίνεται ἴση μετὴν τιμὴν τῆς ἀντιτοίχου καμπύλης Φ . Τότε $N_s \rightarrow \infty$ καὶ $\Phi = i$.

Διὰ τὰς περιπτώσεις αὐτάς δύναται νὰ προσδιορισθῇ τὸ κέντρον τοῦ δυσμενεστεροῦ κύκλου καθ' ἰκανὴν προσέγγισιν ὑπὸ τοῦ Σχ. 290.

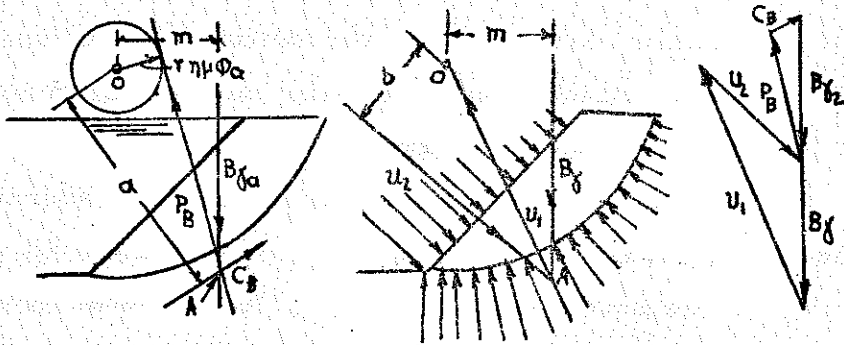


Σχ. 290. Γεωμετρικός τόπος τοῦ κέντρου τοῦ δυσμενεστεροῦ κύκλου, συναρτήσῃ i καὶ Φ_0 , διὰ ὀλίγησιν κατὰ κύκλον πέλματος (Taylor).

Περαιτέρω, δίδεται εἰς τὴν βιβλιογραφίαν ὁ τρόπος μελέτης διὰ τοῦ κύκλου τριβῆς εἰδικῶν περιπτώσεων καθ' ὅς ἡ θέσις τοῦ ὕδατος μεταβάλλει τὴν ἰσορροπίαν τῶν ἐπενεργουμένων δυνάμε-

ων ἐπὶ τοῦ πρηνούς.

Οὕτω εἰς τὸ Σχ. 291 δίδεται ἡ περίπτωσης τῆς ἰσορροπίας τῶν δυνάμεων εἰς τελείως βυθισμένον πρηνός, οὗτινος αἱ συν-

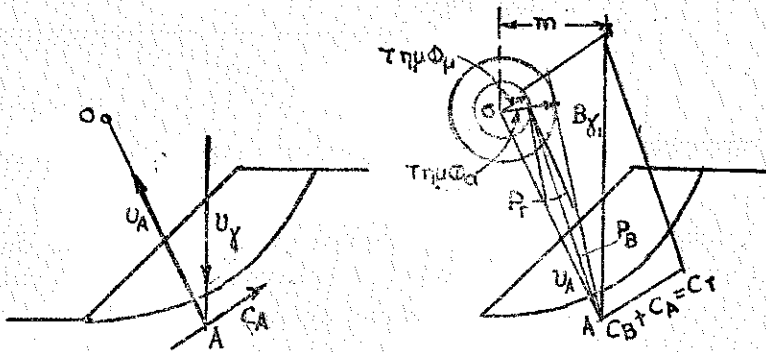


Σχ. 291 Ἴσορροπία βυθισμένου πρηνούς.

θήκαι ἰσορροπίας εἶναι λίαν εὐμενείς.

Εἰς τὸ Σχ. 292 δίδεται ἡ περίπτωσης αἰφνηδίας σταθμηπώσεως ὅπου ἡ ἐνεργός δύναμις : ὄγκος $\chi_{\alpha, \kappa}$ ($\chi_{\alpha, \kappa} = 2,16$ εἰς τὸ παράδειγμα σελιδ. 349) εἶναι τάξεως διπλασίας ἢ εἰς τὴν περίπτωσιν τοῦ Σχ.

91, ὅπου ἦτο : ὄγκος $\chi_{\alpha \dot{\alpha}}$ ($\chi_{\alpha \dot{\alpha}} = 1,15$ συμφώνως σελ. 349).



Σχ. 292 Ἴσορροπία πρηνούς ἐν αἰφνηδία σταθμηπώσει

Ἐν τιαύτῃ περιπτώσει θὰ ἔχωμεν δύναμιν $C_T = C_A + C_B$ καὶ ἡ συνισταῶσα τῶν δυνάμεων τριβῆς τῶρα θὰ εἶναι ἡ P_T (συνισταῶσα τῶν P_B καὶ U_A) ἀντὶ τῆς προηγουμένης P_B .

Γράφοντες τὸν κύκλον μ' ἀκτίνα $r \cdot \eta\mu\Phi_\mu$ (μικροτέραν τῆς ἀκτίνας $r \cdot \eta\mu\Phi_\alpha$) λαμβάνομεν ἐκ τοῦ σχήματος :

$$P_r(r \cdot \eta\mu\Phi_\mu) = P_B \cdot r \cdot \eta\mu\Phi_\alpha \quad (197)$$

ὁπόθεν προκύπτει ἡ μέση γωνία Φ_μ :

$$\eta\mu\Phi_\mu = \frac{P_B}{P_r} \eta\mu\Phi_\alpha \quad (198)$$

$$\eta \quad \Phi_\mu = \frac{\gamma_\alpha}{\gamma_{\alpha\kappa}} \Phi_\alpha \quad (199)$$

καὶ ἡ συνθήκη ἰσορροπίας μᾶς δίδει :

$$O \cdot \gamma_{\alpha\kappa} = P_r \cdot r \eta\mu\Phi_\mu + C_r \cdot \alpha$$

καὶ ἡ λύσις τῆς περιπτώσεως ταύτης δίδεται διὰ τὴν διαγραμμικήν εὐσταθείαν ἂν θέσωμεν $\gamma_{\alpha\kappa}$ δια $\gamma(\gamma_{\alpha\kappa} - 1,00 - 2,10^4/m^3$ καὶ ἂν λάβωμεν ἀντὶ τοῦ Φ_α τὸ Φ_μ ἐκ τῆς ἐξίσωσως (199).

Ἡ περίπτωση αὕτη εἶναι καὶ ἡ δυσμενεστάτη. Ἀποδεικνύεται εὐκόλως ὅτι ἡ συνθήκη περίπτωσης σταθερᾶς ροῆς (ἐξετασθεῖσα διὰ τῆς μεθόδου τῶν τεμάχων τοῦ Σχ. 276α) καὶ εὐμενεστέρη ταύτης.

5-7 Ὑπολογισμὸς ὑδατοπλάστων φραγμάτων.

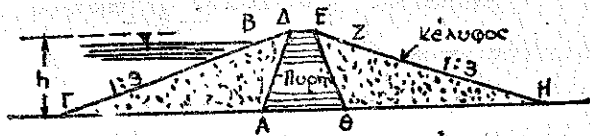
Διὰ τὰ ὑδατόπλαστα φράγματα ὁ G. Gilboy (Mechanics of Hydraulics - Filli Dams 1934) καταλήγει κατόπιν ἀναλυτικῆς ἐρεῦνης εἰς τὸν τύπον :

$$\sqrt{R} = \frac{(C-A)\sqrt{1+B^2} + \sqrt{C-A}\sqrt{C-B}\sqrt{1+A^2}}{(1+C^2) - (C-A)(C-B)} \quad (200)$$

ὅπου A καὶ C ἡ συνεφαπτομένη τῆς γωνίας κλίσεως τοῦ πρανοῦς τοῦ πυρήνος πρὸς τὴν ὀριζοντίαν, καὶ τῆς γωνίας κλίσεως τοῦ ἐξωτερικοῦ πρανοῦς τοῦ κελύφους, ἀντιστοίχως.

B ἡ εφ. τῆς γωνίας τοῦ πρανοῦς τοῦ ὕλικου τοῦ κελύφους καὶ

R ο λόγος της μονάδος βάρους των υλικών του πυρήνος προς την του κελύφους. Δοθέντος ότι ο τελευταίος ούτος λόγος θα εἰσά-



Σχ. 293 Ὑδατόπλαστον φράγμα.

γεται καὶ ἐπὶ τῆ βάρει τῶν χρησιμοποιουμένων υλικῶν καὶ ἔστω ὅτι εὐρίσκεται ἴσος μὲ R_1 , θὰ προκύπτει τότε ἐκ τοῦ ὑπολογισμοῦ τοῦ R ὁ συντελεστὴς ἀσφαλείας : $F_y = \frac{R}{R_1}$ (201)

Ἐστω ὕδατόπλαστον φράγμα ὡς ἐν ἐκλήματι 293 ὅπου :

$$A = 0,393 \quad B = 1,428 \quad C = 3,000$$

ὁπότε συμφώνως πρὸς τὴν ἐξίσωσιν (201) : $R = 1,37$

Ἐκ παραλλήλου ἔστωσαν αἱ τιμαί :

α) Διὰ τὸ κελύφ. : $\gamma_1 = 2,62 \quad \eta = 32\% \quad \gamma_{α,ε} = 2,62(1,0 - 0,32) = 1,782 \quad \gamma_{οκ} = 1,782 + 1 \cdot 0,32 = 2,102$
 $\Phi_2 = 35^\circ \quad \gamma_{α} = 2,102 - 1,00 = 1,102 \quad \gamma_{οδ,γρ} = 1,84$

β) Διὰ πυρήνα : $\Phi_1 = 18^\circ \quad \gamma_1 = 2,62 \quad \eta = 40\% \quad \gamma_{α,ε} = 2,62(1,0 - 0,4) = 1,572 \quad \gamma_{οκ} = 1,572 + 1,0 \cdot 0,4 = 1,972$

Ἐάν δεχθῶμεν ὅτι κατὰ τὸ τέλος τῆς κατασκευῆς τὸ ὑλικόν τοῦ κελύφους θὰ εἶναι κατὰ τὸ ἥμισυ βυθισμένον ($\gamma_{α} = 1,102$) καὶ κατὰ τὸ ἥμισυ ὑγρὸν ($\gamma_{ο,υ} = 1,84$), τότε θὰ ἔχη βάρος μονάδος $\frac{1}{2}(1,84 + 1,10) = 1,47$. Τὸ ὑλικόν τοῦ κεκορησμένου πυρήνος ἔχει βάρος $\gamma_{οκ} = 1,972$ καὶ γωνίαν τριβῆς $\Phi = 18^\circ$, ὁπότε τὸ ἰσοδύναμον ὑγρὸν βάρος μονάδος θὰ εἶναι :

$$(1,972) \cdot \epsilon\phi^2(45^\circ - \Phi/2) = 1,972 \cdot \epsilon\phi^2 36^\circ = 1,972 \cdot 0,528 = 1,04$$

καὶ ὁ λόγος : $R_1 = \frac{1,035}{1,47} = 0,71$

ἤτοι ὁ συντελεστὴς ἀσφαλείας, κατὰ τὸ πέρας τῆς κατασκευῆς θὰ εἶναι :

$$F_y = \frac{R}{R_1} = \frac{1,37}{0,71} = 1,93$$

Εἰς περίπτωσιν αἰφνηδίας πτώσεως τῆς στάθμης ἀνάγτη τοῦ φράγματος, ἡ δυσμενεστάτη περίπτωσις θὰ εἶναι νὰ παραμείνη τὸ κελύφος τελείως κεκορησμένον ἐν ἀνάγξει (ὅπερ οὐκίθανον διότι τὸ κελύφος εἶναι ἐκ κατασκευῆς ὑδροπερατὸν) ὁπότε τὸ βάρος τοῦ κελύφους ἔσται :

$$\gamma_{α} = 1,102 \quad \text{καὶ} \quad R_1 = \frac{1,04}{1,102} = 0,95 \quad \text{καὶ} \quad F_y = \frac{1,37}{0,95} = 1,44$$