

ΓΕΩΡΓΙΟΥ Π. ΡΟΥΣΣΟΥ

Χημ. Μηχανικού παρά τῷ Ἐργαστηρίῳ Ε. Υ. Ὀδοποιίας
τοῦ Ὑπ. Δημ. Ἔργων, μετεκπαιδευθέντος ἐν Γαλλίᾳ.

ΘΕΜΕΛΙΩΣΙΣ ΟΔΟΥ ΒΑΡΕΙΑΣ
ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΕΠΙ ΤΥΡΦΩΔΟΥΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

ΑΝΑΤΥΠΟΝ ΕΚ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΧΡΟΝΙΚΩΝ, ΤΕΥΧΟΣ 4

ΑΘΗΝΑΙ 1960

ΘΕΜΕΛΙΩΣΙΣ ΟΔΟΥ ΒΑΡΕΙΑΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΕΠΙ ΤΥΡΦΩΔΟΥΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Π Ε Ρ Ι Α Η Ψ Ι Σ

Αι όλονεν αυξανόμεναι απαιτήσεις της οδικής κυκλοφορίας κατέστησαν αναγκαίον ὅπως αι γεωτεχνικαί μελέται θεμελιώσεως τῶν αυτοκινητοδρόμων διεξάγονται ἐν πάσῃ λεπτομερείᾳ καὶ κατὰ τὰς συγχρόνους απαιτήσεις της εδαφοτεχνικῆς. Νεαί μέθοδοι ἀνταποκρινόμεναι εἰς τὰς απαιτήσεις βαρείας κυκλοφορίας τίθενται ἐν ἐφαρμογῇ, ἐνῶ ἡ νοοτροπία της κακῶς ἐννοουμένης οἰκονομίας παραμερίζεται.

Ἡ παρὰ τὸ χωρίον Claye - Souilly της Γαλλίας παραλλαγή της ὕπ' ἀριθ. 3 Ἑθνικῆς ὁδοῦ της Γαλλίας (R. N. 3) ἀποτελεῖ τυπικὸν παράδειγμα συγχρόνου ὁδοποιίας.

Τὸ ὑφιστάμενον πρόβλημα ἦτο ἡ θεμελίωσις της βαρέως κυκλοφορουμένης ὁδοῦ ἐπὶ τυρφῶδους ἐδάφους. Ἡ τύρφη κεκορεσμένη ὕδατος εἶναι ὑλίκον ἐξόχως συμπίεσιμον καὶ καθιζάνει. Ἡ στερεοποίησης τοῦ ὑλικοῦ διὰ της φυσικῆς ἀποστραγγίσεως του εἶναι μακροχρόνιος, λόγω της ἐλαχίστης ὕδατοπερατότητος, ἣν παρουσιάζει. Ὑπελογίσθη ὅτι τὸ ὑπέδαφος καὶ κατὰ συνέπειαν καὶ τὰ ἐπ' αὐτοῦ ἐπιχώματα θὰ ὑφίσταντο ἐπὶ σειρὰν ἐτῶν σημαντικὰς ὑποχωρήσεις, δι' ὃ καὶ ἀνεζητήθη τρόπος ἐπιταχύνσεως της στερεοποιήσεως, ὥστε ὅλαι αἱ ὑποχωρήσεις νὰ συντελεσθοῦν πρὸ της ἀποπερατώσεως τῶν χωματογενικῶν. Ἡ τεχνική, ἣτις ἐτέθη ἐν ἐφαρμογῇ, ἦτο ἡ τῶν καθέτων στραγγιστηρίων ἄμμου. Κατ' αὐτήν, εἰς ὁλόκληρον τὴν τυρφώδη περιοχὴν ἐγένετο, εἰς μικρὰς ἀπ' ἀλλήλων ἀποστάσεις, διάνοιξις φρεάτων μικρᾶς διαμέτρου, ἅτινα ἐπληρώθησαν δι' ἄμμου.

Διὰ τῶν καθέτων στραγγιστηρίων σμικρύνεται ἡ διαδρομὴ τοῦ ἀπομακρυνόμενου ὕδατος καὶ ἐπιτυγχάνεται ἡ λειτουργία της κατὰ τὴν ὀριζόντιον ἐννοίαν ἀποστραγγίσεως, ἣτις εἶναι κατὰ πολὺ ταχύτερα της κατὰ τὴν κάθετον, λόγω της ὀριζοντίου διατάξεως τῶν στρώσεων της τύρφης.

Παραλλαγή της R. N. 3 παρὰ τὸ Claye - Souilly

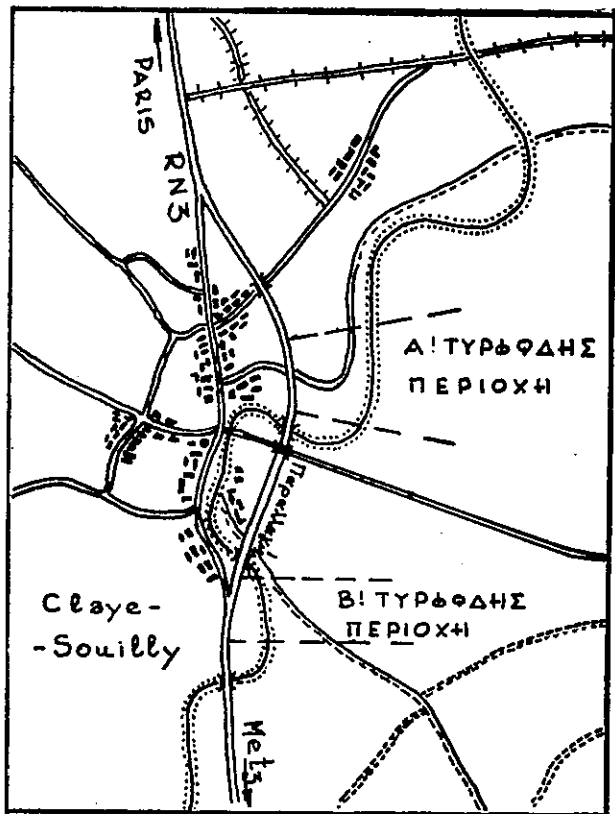
Ἡ ὕπ' ἀριθ. 3 ἔθνικὴ ὁδὸς της Γαλλίας, ἣτις ἀγεί ἐκ Παρισίων εἰς Μῆτς καὶ διέρχεται διὰ τοῦ χωρίου Claye - Souilly, ἀποτελεῖ ἀρτηρίαν ὑψίστης σημασίας διὰ τὴν Γαλλικὴν Οἰκονομίαν, φέρουσα πλὴν της τοπικῆς καὶ τὴν κυκλοφορίαν τῶν βαρέων ὀχημάτων, ἅτινα βαίνουν ἐκ τοῦ Σάαρ εἰς Παρισίους. Κατόπιν τῶν μετρήσεων, αἵτινες ἐγένοντο τῷ 1957, τὰ ἡμερησίως διερχόμενα αὐτοκίνητα ἀνήρχοντο εἰς 5.160, ἐκ τῶν ὁποίων τὰ 11%, περίπου, βαρέος φορτίου. Ἡ διὰ τοῦ Claye - Souilly διέλευσις τῶν αὐτοκινήτων ἐδυσχεραίνεται τὰ μέγιστα, ἰδίως κατὰ τὰς ἡμέρας ἀργίας καὶ τὰς ὥρας «αἰχμῆς». Οὕτω ἀπεφασίσθη ἡ κατασκευὴ παραλλαγῆς, ὥστε νὰ παρακάμπτεται τὸ χωρίον.

Ἐκ τῶν εἰς τὸν Πίνακα I παρατιθεμένων γεωμετρικῶν χαρακτηριστικῶν της παραλλαγῆς ταύτης καὶ ἐκ της παντελοῦς ἐλλείψεως ὀργανικῶν ἐμποδίων, ὡς ἰσοπέδων διασταυρώσεων κ.λ.π., παρατηροῦμεν ὅτι αὕτη εἶναι κατεσκευασμένη διὰ δυνατὴν ταχύτητα 110-120 Km/h. Ἡ ταχύτης αὕτη, συνήθης εἰς τοὺς Γαλλικοὺς δρόμους, καθιστᾷ ἄκρως ἀναγκαίαν τὴν ἀπόλυτον ὁμαλότητα τοῦ ὁδοστρώματος, πρὸς πρόληψιν δυστυχημάτων.

ΠΙΝΑΞ I

Μῆκος παραλλαγῆς	(m)	3220
Πλάτος καταστρώματος	(m)	22
Πλάτος ὁδοστρώματος	(m)	10,50
Μεγίστη κλίσις		5 ‰
Ἐλάχιστη ἄκτις εἰς τὰς καμπύλας	(m)	800
Ἀλλαγαι κλίσεων:		
α) Ἐλάχιστη ἄκτις κατακορύφου κοίλης καμπύλης	(m)	3200
β) Ἐλάχιστη ἄκτις κατακορύφου κυρτῆς καμπύλης	(m)	9000

Ἐκ της παρουσίας ἐργοστασίων καὶ οἰκισμῶν καὶ διὰ λόγους καλῆς χαραξέως, κατέστη ἀναπόφευ-



Τοπογραφικὸς χάρτης

κτος ἢ εἰς δύο σημεία διέλευσις της ὁδοῦ ἀνωθεν τυρφώδους ἐδάφους.

Προβλήματα ανακύπτοντα εκ τής παρουσίας τύρφης.

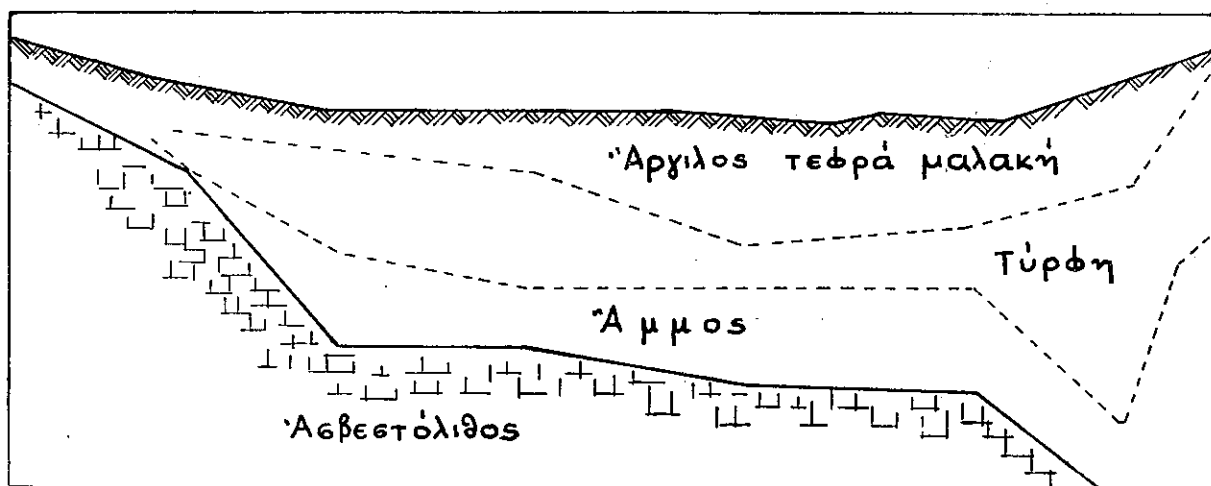
Ὡς γνωστόν, ἡ τύρφη εἶναι προϊόν ἀποσυνθέσεως καὶ μερικῆς ἀπανθρακώσεως φυτικῶν στοιχείων. Ὡς ἔδαφος, χαρακτηρίζεται ὡς ἐλάχιστα ὕδατοπερατὸν. Παρουσία ὕδατος, αὐτὴ ἀπορροφᾷ βραδέως μεγάλας ποσότητας τούτου, μεταβαλλομένη συχνάκις εἰς ρέοντα πολτόν. Ἡ ἀπορρόφῃς ὕδατος, συν-οδευομένη ὑπὸ μεγάλων διογκώσεων, καθιστᾷ τὸ ὕλικόν ἄκρως συμπίεσιμον.

Εἰς τὴν προκειμένην περίπτωσιν, ἀνευρίσκειται εἴτε ὡς ἀμιγῆς ἰνώδης τύρφη ὁμοῦ μετὰ κοχυλίων καὶ ξυλίνων ὑπολειμμάτων, εἴτε ἀναμειγμένη μετὰ ἀργίλου ἢ ἰλύος. Αἱ στρώσεις τοῦ τυρφώδους ἐδάφους ἀνευρίσκονται εἰς βᾶθος μεταξύ 0 καὶ 2,50 μέτρων καὶ εἰς πάχῃ κυμαινόμενα μεταξύ 0,50 καὶ 6 μέτρων. Ἄνω καὶ κάτω τῆς τύρφης ἀνευρίσκονται δυσδιάπερατοι ἀργιλικαὶ στρώσεις, παρεμποδίζουσαι ἐτι πλέον τὴν ἀπορροὴν τῶν ὑδάτων. Τέλος, κάτωθεν τῆς ἀργίλου καὶ εἰς βᾶθος κυμαινόμενον μεταξύ 6 καὶ 8 μέτρων ἀνευρίσκειται λεπτὴ ἄμμος, ἐδραζομένη ἐπὶ συμπαγοῦς ἀσβεστολίθου.

ΠΙΝΑΞ II.

Χαρακτηρισμὸς Δείγματος	Υγρασία %	L. L.	P. I.
Ἰνώδης τύρφη	206	280	97
Τύρφη μετ' ἰλύος	235	278	95
Τυρφώδης ἀργίλος	64	87	36
Ἰνώδης τύρφη	144	172	46
Ἀργιλώδης τύρφη	115	161	51
Τυρφώδης ἀργίλος	82	125	34
Μέλαινα τύρφη	142	197	80

καθίστατο ἀναγκαῖον, ὅπως ἐπὶ σειρὰν ἐτῶν τόσον τὸ ἐπίχωμα ὅσον καὶ τὸ ἐπ' αὐτοῦ ὁδίστρωμα συν-



κατὰ μῆκος τομὴ τῆς α' τυρφώδους περιοχῆς

Ἡ φρεατικὴ στάθμη τῆς περιοχῆς ἀνέρχεται εἰς ὄρισμένας ἐποχὰς μέχρι τῆς ἐπιφανείας τοῦ φυσικοῦ ἐδάφους, οὐδέποτε δὲ κατέρχεται κάτω τοῦ 1,5 m. Οὕτω ἡ τύρφη εὐρίσκειται μόνιμως κεκορεσμένη δι' ὕδατος, εἰς ὄρισμένα δὲ δείγματα, ἄτινα ἐλήφθησαν, ἢ εἰς ὕδωρ περιεκτικότητος ἀνήρχετο μέχρις 600%.

Εἰς τὸν Πίνακα II παρατίθενται τὰ χαρακτηριστικὰ ὄρισμένων δειγμάτων ληφθέντων ἐκ τῶν τυρφῶδων περιοχῶν.

Ἐκ τῶν ἀνωτέρω συιάγεται, ὅτι τὸ ὕλικόν τοῦτο ὡς ἔδαφος θεμελιώσεως χαρακτηρίζεται ἀπὸ μεγάλην συμπίεστικότητα καὶ ὑπὸ τὸ βάρος τῶν φορτίων καθιζάνει. Ἡ διάρκεια τῶν καθίσεων εἶναι μεγαλύτερα τοῦ χρόνου ἐφαρμογῆς τῶν φορτίων, καθότι ἡ στερεοποίησις (Consolidation) τοῦ ὕλικου δὲν δύναται νὰ συντελεσθῇ παρά δι' ἀποβολῆς ἐνὸς μέρους τοῦ περιεχομένου ὕδατος, ἥτις εἶναι συνάρτησις τῆς ὕδατοπερατότητος. Οὕτω ἡ φυσικὴ καθίσις εἶναι μακροχρόνιος καὶ δὲν δύναται νὰ περατωθῇ πρὸ τῆς παρελεύσεως μηνῶν ἢ ἐτῶν, ἀναλόγως τῶν ἐκάστοτε συνθηκῶν.

Ἐπίχωμα κατασκευαζόμενον ἐπὶ ἐνὸς τοιοῦτου ὕλικου θὰ καθίζανε παρακολουθοῦν τὰς καθίσεις τοῦ ὑπεδάφους. Τῶν καθίσεων οὐσῶν διαφορετικῶν ἀπὸ θέσεως εἰς θέσιν, λόγῳ ἀνομοιογενείας τῆς τύρφης καὶ λόγῳ μεταβολῶν τοῦ πάχους ταύτης, θὰ

εἰς ἀνακατασκευάζονται, πρὸς μεγάλην δαπάνην τῆς Ὑπηρεσίας καὶ κίνδυνον τῶν ὀχημάτων.

Θεωρητικὴ ἀνασκόπησις τῆς Στερεοποιήσεως
(Consolidation)

Ὁ ἀπαιτούμενος χρόνος στερεοποιήσεως δίδεται ἐκ τοῦ γνωστοῦ τύπου:

$$t = T_v \cdot \frac{H^2}{C_v}$$

Ἐνθα:

H = τὸ πάχος τῆς ὑπ' ὄψιν στρώσεως

T_v = ὁ παράγων χρόνου

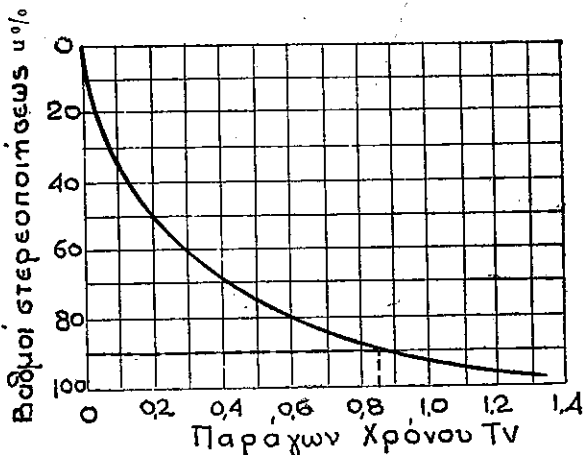
C_v = ὁ συντελεστὴς στερεοποιήσεως.

Ὁ παράγων χρόνου T_v εἶναι ἀδιάστατος συντελεστὴς, ὅστις ὑπὸ σταθερᾶς συνθήκας φορτίσεως καὶ ἀποστραγγίσεως εἶναι συνάρτησις τοῦ βαθμοῦ στερεοποιήσεως U .

$$U = f(T_v)$$

Οἱ Terzaghi καὶ Peck δίδουν τοὺς διαφόρους παράγοντας χρόνου συναρτήσει τοῦ βαθμοῦ στερεοποιήσεως τοῦ ὕλικου $U\%$ καὶ διὰ τὰ διάφορα εἶδη τῶν ἀποστραγγίσεων, ἥτοι τὰς διαφόρους μεταβολὰς τῶν

Ισοχρόνων. Ούτω εκ τής αναφερομένης εις εκατέρωθεν έλευθέραν άποστράγγισιν καμπύλης (Σχ. 1) άνευρίσκομεν, ότι διά $U=90\%$, $T_v = 0,85$.



Σχ. 1

Ο συντελεστής στερεοποίησης C_v μετρείται βάσει του τύπου :

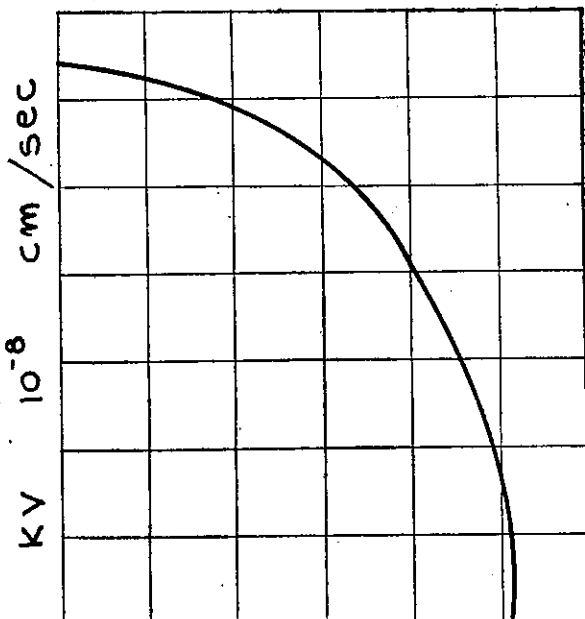
$$C_v = \frac{K_v}{\gamma_s \cdot M_v}$$

γ_s = ή πυκνότης του ύδατος

K_v = ό συντελεστής ύδατοπερατότητος

M_v = ό όγκομετρικός συντελεστής συμπίεστότητος

Ο συντελεστής ύδατοπερατότητος K_v αναφέρεται εις την κατά την κάθετον έννοιαν άπορροήν του ύδατος. Έκφράζεται εις cm/sec και μετρείται έν τώ έργαστηρίω εις την συσκευήν του οιδόμετρου επί άδιαταράκτου δείγματος. Η επί του δείγματος αύξησις τής πίεσεως προκαλεί μείωσιν των κενών και κατά συνέπειαν μείωσιν και τής ύδατοπερατότητος. Έκ του καταρτιζόμενου διαγράμματος λαμβάνονται αι τιμαί του K_v διά την έκάστοτε πίεσιν P (Σχ. 2).



Πίεσις P εις Kg/cm²
Σχ. 2

Ο ανά μονάδα όγκου συντελεστής συμπίεστότητος M_v έκφραζόμενος εις cm³/gr δίδεται υπό του τύπου :

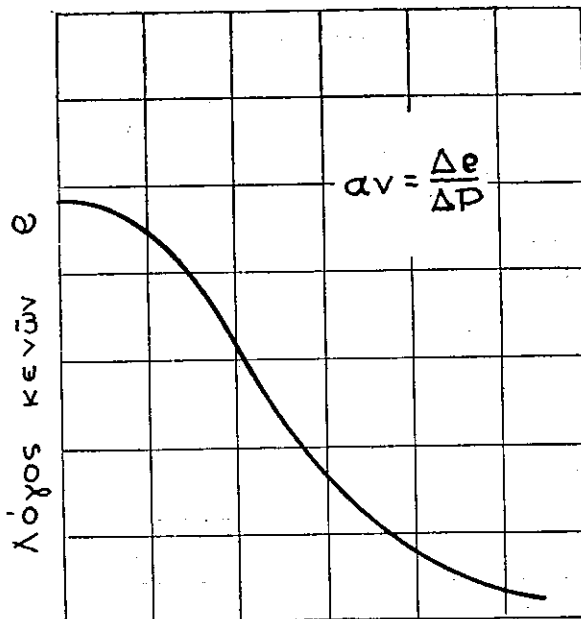
$$M_v = \frac{a_v}{1+e_0} = \frac{1}{\Delta P} \cdot \frac{e_0 - e_1}{1+e_0}$$

ένθα :

e_0 = αρχικός λόγος κενών

a_v = συντελεστής συμπίεστότητος

Έν τώ έργαστηρίω και επί άδιαταράκτου έγκλιβωτισμένου δείγματος εφαρμόζονται πιέσεις και σημειούνται αι αντίστοιχοι ύποχωρήσεις. Έκ των ύποχωρήσεων και του e_0 εύρίσκονται οι λόγοι κενών και καταρτίζεται διάγραμμα (Σχ. 3) πίεσεων-λόγων



Πίεσις P Kg/cm²

Σχ. 3

κενών, έκ του όποιου λαμβάνονται αι τιμαί του a_v εις τās περιοχάς των φορτίων.

Εις τον Πίνακα III αναφέρονται άποτελέσματα έργαστηριακής εξέτάσεως δειγμάτων έκ τής β' τυρφώδους περιοχής.

Έκ των έργαστηριακών άποτελεσμάτων και των προαναφερθέντων τύπων καταρτίζονται οι Πίνακες IV και V. Η επί τής τύρφης πίεσις ΔP κατά την διάρκεια τής φυσικής στερεοποίησης έλήφθη ίση πρός 0,620 Kg/cm². Τοúτο ύπελογίσθη ώς άκολουούθα. Τό κατασκευασθησόμενον έπίχωμα θά έχη ύψος περίπου 3,10 m.

Θεωρούντες τό ύγρόν φαινόμενον βάρος του έπίχώματος ίσον πρός 2,00 T/m³, έχομεν πίεσιν επί τής τύρφης

$$P = 3,10 \text{ m} \times 2 \text{ T/m}^3 = 0,620 \text{ Kg/cm}^2$$

Δεδομένου δέ ότι κατά τό πλείστον ή τύρφη άνευρίσκεται ακάλυπτος, ήτοι φορτίον $P_0=0$, έχομεν :

$$\Delta P = P - P_0 = 0,620 \text{ Kg/cm}^2$$

Έκ των άποτελεσμάτων του Πίνακος V έπαληθεύεται όπολογιστικώς ή πρόβλεψις περί του μακροχρονίου τής σταθεροποίησης. Σημειωτέον ότι διά τά άνευρισκόμενα εις την α' τυρφώδη περιοχήν πάχη των 5 και 6 μ. ό χρόνος σταθεροποίησης κυμαίνεται μεταξύ 6-9 έτών.

ΠΙΝΑΞ III.

Αριθ. Γεωτρήσεως	Χαρακτηρισμός δειγματος	Υγρασία %	Ξ. Φ. Βάρος T/m ³	Γωνία Τριβής φ	Συνοχή C Kg/cm ²	Παραμόρφωσης %	K _v 10 ⁻⁸ cm/sec	Παραμόρφωσης %	K _v 10 ⁻⁸ cm/sec
74	Τύρφη άργιλοϊλυώδης μετά κοχχυλίων	82	0,79	10°	0,40	ΔP = 1,35 Kg/cm ²		ΔP = 0,62 Kg/cm ²	
75	Τύρφη μετά κοχχυλίων	249	0,35	6°	0,28	12	3,9	9	10
77	Τύρφη μετά κοχχυλίων και ξυλίνων ύπολειμμάτων	201	0,43	8°	0,36	31	3,4	20	26
						16	6,0	11	15

ΠΙΝΑΞ IV.

Αριθμός Γεωτρήσεως	M _v cm ² /gr	C _v cm ² /sec	M _v cm ² /gr	C _v cm ² /sec
		ΔP = 1,35 Kg/cm ²		ΔP = 0,620 Kg/cm ²
74	0,9 × 10 ⁻⁴	4,3 × 10 ⁻⁴	1,4 × 10 ⁻⁴	7,2 × 10 ⁻⁴
75	2,3 × 10 ⁻⁴	1,5 × 10 ⁻⁴	3,2 × 10 ⁻⁴	8,2 × 10 ⁻⁴
77	1,2 × 10 ⁻⁴	5,0 × 10 ⁻⁴	1,8 × 10 ⁻⁴	8,3 × 10 ⁻⁴

ΠΙΝΑΞ V.

U = 90%, T _v = 0,85 ΔP = 0,620 Kg/cm ²	Γεώτρησις						
	№ 71	№ 72	№ 73	№ 74	№ 75	№ 76	№ 77
Πάχος τύρφης H εις μέτρα	0,75	0,75	0,90	3,50	3,00	4,00	1,70
C _v εις 10 ⁻⁴ cm ² /sec	6,70	6,70	6,75	7,20	8,20	11,30	8,30
Διάρκεια καθίσεων εις μήνας	3	3	4	42	36	48	12

ΠΙΝΑΞ VI.

ΔP = 0,620 Kg/cm ²	Γεώτρησις		
	№ 74	№ 75	№ 77
Πάχος τύρφης H εις μέτρα	3,50	3,00	1,70
M _v εις 10 ⁻⁴ cm ² /gr	1,40	3,20	1,80
Κάθισις S εις μέτρα	0,31	0,60	0,19

Υπολογισμός των καθίσεων

Ο Terzaghi δίδει τας άναμενομένας καθίσεις S βάσει του τύπου:

$$S = H \cdot \Delta P \cdot M_v$$

έκ του όποιου καταρτίζεται ο Πίναξ VI. Διά να έχωμεν πλήρη εικόνα των ύποχωρήσεων, άς θά ύποστή τó έπίχωμα κατά την διάρκειαν της στερεοποίησης του, δέον εις τας τιμάς S να προστεθούν και αι καθίσεις αι προερχόμεναι εκ των ύποχωρήσεων των άργιλικών στρωμάτων.

έλεγχος της φερούσης ικανότητος

Εις την κατάστασιν του κορεσμού, εις ην εδρίσκειται τó έδαφος, αι τιμαί της γωνίας τριβής είναι μηδανιαι, ώςτε έλάχιστα να συνεισφέρουν εις την μηχανικην άντοχην του έδάφους. Όθω διά τιμάς της γωνίας τριβής πρακτικώς μηδενικάς ή φέρουσα ικανότης Pr ύπολογίζεται εκ της συνοχής C

$$Pr = 5,70 C$$

ΠΙΝΑΞ VII.

Αριθμός Γεωτρήσεως	C kg/cm ²	Pr kg/cm ²	P kg/cm ²	Συντελεστής Ασφαλ.
74	0,40	2,27	0,62	3,5
75	0,28	1,60	0,62	2,5
77	0,36	2,10	0,62	3,2

Έξέτασις των προτεινομένων λύσεων

Έκ των δσων εξετέθησαν άνωτέρω και έπηληθεύθησαν ύπολογιστικώς, συνάγεται ότι τó τυρφόδες ύπέδαφος, εις ην κατάστασιν εδρίσκειται, είναι άκατάλληλον να δεχθί τά έπίχώματα της όδοϋ. Διάφοροι δυνατότητες εξητάσθησαν.

1) Έκδίωξις της τύρφης δι' έκρηκτικών.

Κατά την μέθοδον ταύτην, κατασκευάζεται επί της τύρφης έπίχωμα συμπυκνούμενον καλώς. Κάτωθεν του έπίχώματος και έντός της τύρφης τοποθετείται έκρηκτική γόμωσις. Κατά την έκρηξιν τά άέρια εδρίσκουν διέξοδον διά της μαλακής τύρφης και εις τόν εκ της άπωθήσεως ταύτης κενωθέντα χώρον κατακρημνίζεται τó έπίχωμα. Όθως, άντικαθίσταται τοπικώς ή τύρφη διά του ύγριου όλικου του έπίχώματος.

Η έφαρμογή της μεθόδου έγκαταλείπεται, ώς έγκλειουσα κινδύνους διά τά οικοδομήματα της γύρω περιοχής, άτινα είναι θεμελιωμένα επί έπισφαλών έδαφών κεκορεσμένων ύδατος, έντός των όποίων ή μετάδοσις του έκρηκτικού κύματος φθάνει εις μεγάλην άπόστασιν.

2) Άποκομιδή της τύρφης.

Η τεχνική της άπομακρόνσεως της τύρφης συνίσταται εις την κατασκευην παραλλήλων πρós την τυρφόδη ζώνην άναχωμάτων, εις την εξόρυξιν της μεταξύ των άναχωμάτων τύρφης δι' έκσκαφέων τύπου Dragline και εις την άπόρριψιν ταύτης εκείθεν των άναχωμάτων, ώςτε να μη έπαναρρύση αύτη εις την έκκαθαριζομένην ζώνην. Η έφαρμογή της μεθόδου είναι έφικτή μόνον εις την α' τυρφόδη ζώνην, καθότι, ώς διακρίνομεν εις τó τοπογραφικόν

διάγραμμα, ή β' τυρφώδης περιοχή καλύπτει τοπικώς το υπέδαφος και της ήδη ύφισταμένης όδου R. N. 3. Έκ της παρελεύσεως έτών, το υπέδαφος τούτο έχει Ισορροπήσει και εμφανίζεται σταθεροποιημένον. Τυχόν απόπειρα έξορύξεως της παραπλεύρως εδρισκομένης τύρφης θά έδιδε διέξοδον εις το έγκλιβωτισμένον υπέδαφος, με έπακόλουθον την διατάραξιν της Ισορροπίας και σοβαράς άνωμαλίας εις την ήδη υπάρχουσαν R. N. 3.

3. Κάθετα στραγγιστήρια άμμου.

Η τεχνική αβτη αποβλέπει εις τὸ νά επιταχύνη την στερεοποίησιν, ώστε δλαι αι καθίσεις και παραμορφώσεις νά συντελεσθῶσι πρό της αποπερατώσεως του έργου.

Η άρχή, επί της οποίας στηρίζεται ή μέθοδος, είναι άπλουστάτη. Ως παρατηρούμεν εις τους τύπους, ο χρόνος στερεοποίησεως t καθίσταται μικρότερος όσον ο συντελεστής στερεοποίησεως C_v λαμβάνει μεγαλύτερας τιμάς. Έάν θεωρήσωμεν ότι ή αποστράγγις έπιυμβάινει κατά την όριζοντίαν έννοιαν, ήτοι άντι του K_v χρησιμοποιηθή ο κατά την όριζόντιαν έννοιαν συντελεστής ύδατοπερατότητος K_h , τότε, του M_v παραμένοντος σταθερού ως έξαρτωμένου μόνον εκ της πίεσεως, λαμβάνεται ή νέα τιμή του συντελεστού στερεοποίησεως C_h :

$$C_h = \frac{K_h}{\gamma_e \times M_v}$$

Έκ του γεγονότος ότι ή τύρφη είναι διατεταγμένη κατά όριζοντίας στρώσεις, είναι προφανές ότι $K_h > K_v$ και κατά συνέπειαν $C_h > C_v$. Η μέτρησης του κατά την όριζοντίαν έννοιαν συντελεστού ύδατοπερατότητος δέν έχει καταστή εισέτι έφικτή έν τῷ έργω στήριξ. Η τιμή τούτου όρίζεται συνήθως εκ του K_v και έμπειρικών στοιχείων. Μερικοί συγγραφείς δέχονται το K_h 30-50 φορές μεγαλύτερον του K_v . Η ηύξημένη τιμή του C_h δέν έχει πρακτικήν αξίαν παρά μόνον εάν ύφιστανται διέξοδοι του κατά την όριζοντίαν έννοιαν κυκλοφορούντος ύδατος, όπερ και έπιτυγχάνεται διά των καθέτων στραγγιστηρίων.

Η μέθοδος χρησιμοποιείται εύρύτατα εις όλα τα μαλακά δυσδιαπερατά έδάφη. είναι δέ έξόχως έπιτυχής εις περιπτώσεις καθ' ός έντός της έπικινδύνου στρώσεως ύφιστανται έγκλείσματα άμμου. Το βασικόν οικονομικόν κριτήριον της μεθόδου είναι το κόστος διανοίξεως των φρεάτων. Τούτο έξαρτάται από την δυνατότητα χρησιμοποιήσεως έλαφρού γεωτρητικού μηχανήματος, γεγονός συναρτώμενον με τας τοπικάς συνθήκας, ήτοι θέσιν στρώσεως, βάθος, πάχος, ύπερκειμένης στρώσεως, σκληρότητα κ.λ.π. Είς ώρισμένας περιπτώσεις έξαιρετικώς λεπτοκόκκων ύλικών, ή μέθοδος ύπόκειται εις άποτυχίαν, λόγω μη λειτουργίας των στραγγιστηρίων. Τούτο συμβαίνει, όταν κατά την διάνοξιν των φρεάτων το κοπτικόν εργαλείον έπιφέρη διατάραξιν του φυσικού Ιστου εις την διεπιφάνειαν έδάφους-στραγγιστηρίου, ώστε νά αποφράσσωνται οι πόροι των τοιχωμάτων του στραγγιστηρίου. Τοιαύται περιπτώσεις αντιμετωπίζονται διά της χρησιμοποιήσεως κατά την διάνοξιν Ισχυρών απορροφητήρων ύδατος (Well-point method), όστινες έπιτυγχάνουν την έπαναλειτουργίαν των πόρων. Πάντως, δέον ν' αποφεύγονται κατά το δυνατόν αι τριβαί επί της έσωτερικής έπιφανείας του φρεάτος.

Συγκριτική οικονομική μελέτη

Η μελέτη άφορᾷ την οικονομικήν σύγκρισιν της έξορύξεως της τύρφης μετά της εφαρμογής καθέτων στραγγιστηρίων και αναφέρεται εις την α' τυρφώδη περιοχήν, καθ' όσον, ως ήδη έλέχθη, εις την β' τυρ-

φώδη ζώνην δέν είναι έφικτή άλλη λύσις πλην της των κιθέτων φρεάτων.

α) Έξορύξις της τύρφης.

Η πρός σταθεροποίησιν έπιφάνεια είναι:

$$30 \text{ m} \times 260 \text{ m} \approx 8.000 \text{ m}^2$$

Υπελογίσθη ότι ο έξορυχθησόμενος όγκος εις την έν λόγω ζώνην άνέρχεται εις 50.000 m³, ύπολογιζόμενος από της έπιφανείας του φυσικού έδάφους μέχρι της βάσεως της τύρφης.

Ούτω:

Διά την κατασκευήν των άναχωμάτων 20.000 N. Fr.

Έξορύξις και απόθεσις της τύρφης 325.000 N. Fr.

Έπαναπήλωσις δι' ύγιους έδάφους 650.000 N. Fr.

1 000.000 N. Fr.

Εις το άνωτέρω ποσόν δέον νά προστεθῆ και εκείνο διά την μεταφοράν της τύρφης μακράν ή της άπαλλοτριώσεως χώρου διά την απόθεσιν της. Τέλος, δέον νά τονισθῆ ότι και πάλιν ο ύπολογισμός είναι κατά άπροσδιόριστον ποσοστόν κατώτερος της πραγματικότητος, και τούτο διότι ή τύρφη έν ύδατι, ως έν προκειμένω, ρέει, με συνέπειαν ο έξορυχθησόμενος όγκος νά είναι κατά πολύ ύψηλότερος του προβλεφθέντος.

β) Κάθετα φρέατα.

Υπελογίσθη ότι εις την έπιφάνειαν των 8.000 m² είναι άναγκαία περί τά 760 φρέατα διαμέτρου 30-35 cm. Πρός τούτο απαιτούνται:

Διά την κατασκευήν των φρεάτων και την πλήρωσιν τούτων δι' άμμου: 70.000 N. Fr.

Διά την προμήθειαν και την μεταφοράν της άμμου: 31.000 N. Fr.

Εις την δαπάνην ταύτην δέον νά προστεθῆ και εκείνη της συμπληρώσεως δι' ύγιους έδάφους του εκ της καθίσεως προκύπτοντος χώρου.

Θεωρουμένης μιᾶς όμοιομόρφου καθίσεως 1 μέτρου, που είναι ή μεγίστη διά την χειροτέραν των προβλέψεων, ο άντίστοιχος όγκος θά είναι περίπου 8.000 m³.

Ητοι: 104.000 N. Fr.

Σύνολον 205.000 N. Fr.

Ως παρατηρούμεν, τα άποτελέσματα της συγκρίσεως είναι καταφανώς ύπερ της εφαρμογής των καθέτων φρεάτων άμμου.

Θεωρητικός ύπολογισμός των στραγγιστηρίων

Κατά τα έτη 1947 και 1948 ο R. A. Barron έμελέτησεν ή λεπτομερείαν την λειτουργίαν των στραγγιστηρίων άμμου, άναχωρών από την ύπόθεσιν ότι ή ύδατοπερατότης του στραγγιστηρίου έν σχέσει πρός την τσϋ όπ' ύλικου είναι άπειρος και ότι ούδεμία ύφίσταται διατάραξις του φυσικού Ιστου του ύλικου εις την διεπιφάνειαν στραγγιστηρίου-έδάφους. Ούτω εισάγει ένα νέον παράγοντα χρόνου T_h άναφερόμενον εις την όριζοντίαν διαδρομήν του ύδατος, άνάλογον πρός τόν του Terzaghi T_v και παρεχόμενον ύπό του τύπου:

$$T_h = t \cdot \frac{K_h (1 + e_0)}{a_v de^2}$$

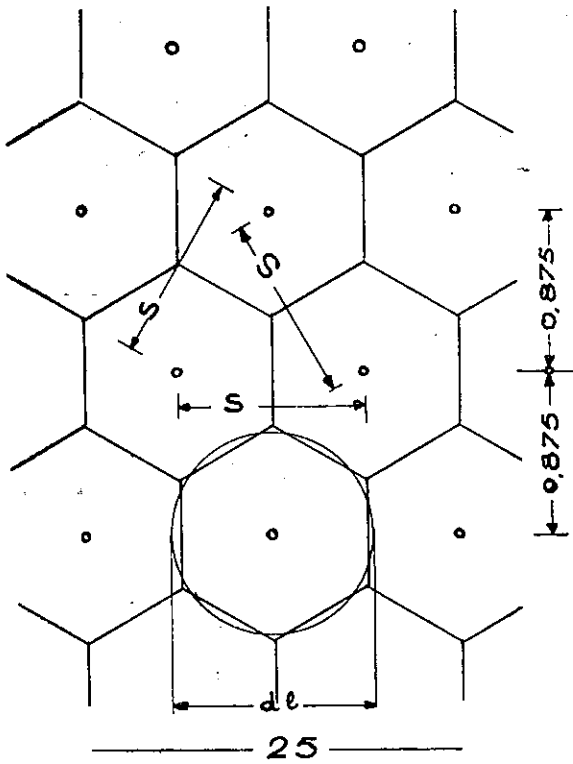
Θεωρουμένου του στραγγιστηρίου ως εύρισκομένου επί του κατακόρυφου άξονος όρθου έξαγωνικού πρίσματος έδάφους, de (effective diameter) καλεϊται ή διάμετρος όρθου κυλίνδρου Ισοδυνάμου πρός το έν λόγω πρίσμα (Σχ. 4).

Έάν τα στραγγιστήρια είναι κανονικώς διατεταγμένα εις τας κορυφάς Ισοπλευρών τριγώνων πλευράς S (Σχ. 4), τότε:

$$de = 1,05 S$$

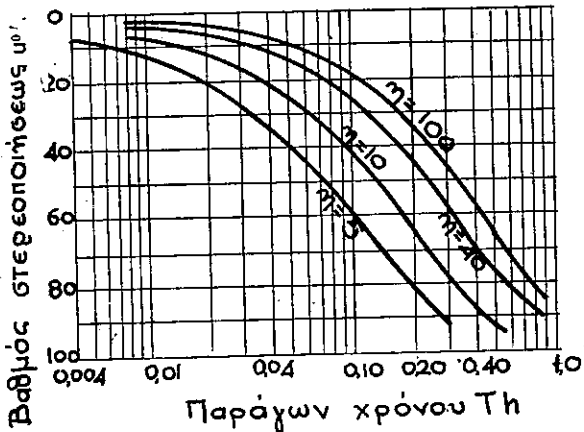
Ο Barron έχασαξε καμπύλας, ένθα διά διαφόρους τιμάς του κλάσματος:

$$n = \frac{de}{dw}$$



Σχ 4.

(d_w ή διάμετρος του φρέατος) δίδονται οι μεταβολές του T_h συ αρτήσει του βαθμού στερεοποίησης U (Σχ. 5).



Σχ. 5

Ούτω δύναται πλέον εύκολως να υπολογισθῆ ὁ χρόνος στερεοποίησης βάσει τοῦ τύπου :

$$t = T_h \frac{de^2}{C_h}$$

Θεωρουμένου τοῦ ὑπεδάφους ὡς ἀποτελουμένου ἐξ ὁμοιομόρφου ὑλικοῦ καὶ δὴ ὡς τοῦτο ἐμφανίζεται εἰς τὴν γεώτρησιν N° 75 (*), ὑπολογίζεται ὁ χρόνος στερεοποίησης διὰ βαθμὸν στερεοποίησης $U=90\%$ καὶ διὰ φρέατα διαμέτρου 0,10, 0,30 καὶ 0,60 m κατασκευαζόμενα εἰς ἀπ' ἀλλήλων ἀποστάσεις 4, 6 ἢ 8 ἔτρων.

Τὸ ὕψος τοῦ ἐπιχώματος εἶναι 3,10 μέτρα, ἄρα τὸ φορτίον $P=0,62 \text{ Kg/cm}^2$. Ὁ μέσος συντελεστὴς δι-
απερατότητος κατὰ κάθετον ἔννοιαν $K_v = 2,6 \times 10^{-7}$
cm/sec. Μὴ ὄντος γωνιοῦ τοῦ κατὰ τὴν ὀριζοντίαν
ἔννοιαν συντελεστοῦ K_h , ἐλήφθη ὁδτος δεκαπλάσιος
τοῦ K_v . Εἰς τὸν Πίνακα VIII δίδονται κατὰ προσέγ-
γισιν οἱ χρόνοι στερεοποίησης διὰ βαθμοὺς στερε-
οποίησης 50 καὶ 90%.

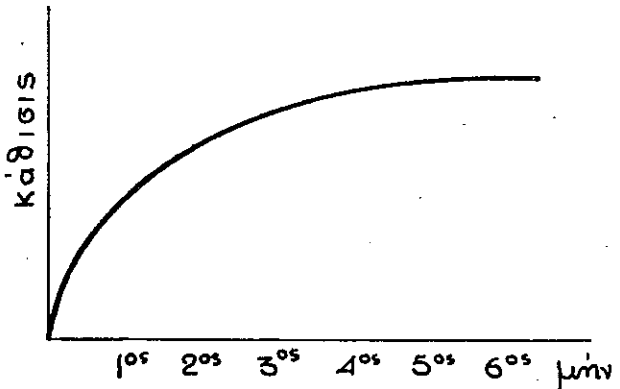
ΠΙΝΑΞ VIII.

Βαθμὸς Στερεοποίησης U			50%	90%
Χρόνος καθίσεως εἰς ἡμέρας			t	t
Διάμετρος φρεά- των d_w εἰς μέτρα	Ἀπόστασις ἀπ' ἀλλήλων S εἰς μέτρα	n		
0,60	4	7	30	100
0,30	4	14	40	140
0,10	4	40	65	225
0,60	6	10	85	265
0,30	6	20	115	405
0,60	8	13	140	490
0,30	8	26	190	640
Χωρὶς φρέατα	—	—	250	1100

Ὡς παρατηροῦμεν, ἡ πλέον ταχεῖα στερεοποίη-
σις ἐπιτυγχάνεται διὰ $d_w=0,60 \text{ m}$, καὶ $S=4 \text{ m}$.

Κατὰ τὴν ἐφαρμογὴν τῆς μεθόδου εἰς τὴν πρά-
ξιν, τὰ κατασκευασθέντα φρέατα εἶχον διάμετρον
0,35 cm καὶ εὐρίσκοντο εἰς ἀπ' ἀλλήλων ἀποστά-
σεις 3,50 m.

Τὰ ἀποτελέσματα τῆς ἐφαρμογῆς τῆς μεθόδου
ἐμφανίζονται εἰς τὸ Σχ. 6, ἐνθα παρατηρεῖται ὅτι ἀπὸ



Σχ. 6

τοῦ βου μηνὸς ἢ περαιτέρω κάθισις τοῦ ἐπιχώματος
ἦτο ἀσήμαντος. Διὰ τὴν παρακολούθησιν τῶν καθί-
σεων μετὰ τοῦ χρόνου ἐγένετο ἐμπηξίς πασσάλων
μέχρι τῆς στρώσεως τῆς ἄμμου καὶ διὰ τοῦ χωρο-
βάτου κατεγράφετο καθημερινῶς ἡ θέσις τοῦ πασ-
σάλου καὶ τὸ μήκος τοῦ ἐκτὸς τοῦ ἐδάφους τμήμα-
τος τούτου.

Διὰ τὸν ὑπολογισμὸν τοῦ ἀριθμοῦ τῶν ἀπαιτη-
θησομένων φρεάτων, ἔχομεν ὅτι ἢ ὑπὸ ἐκάστου φρέ-

*) Ἡ παραδοχὴ αὕτη εἶναι ἀναγκαία, διότι δὲν εἶναι
δυνατὸν νὰ γίνῃ χωριστὸς ὑπολογισμὸς διὰ μίαν ἐκάστην γε-
ώτρησιν, ἐκτὸς ἐὰν εὐρεθοῦν ἐκτεταμέναι περιοχαὶ ἔχουσαι
σημαντικὰς διαφοράς. Ἐπιλέγη ἐνταῦθα ἡ Γ 75 ὡς ἡ πλέον
ἀντιπροσωπευτικὴ τοῦ συνόλου.

ατος οριζομένη έξαγωνική έπιφάνεια E_0 (Σχ. 4) είναι:

$$E_0 = \frac{1}{3} \sqrt{3} \cdot S^2$$

Η όλική πρὸς σταθεροποίησιν έπιφάνεια E διαιρουμένη διά τοῦ E_0 παρέχει τὸν ἀριθμὸν N τῶν φρεάτων:

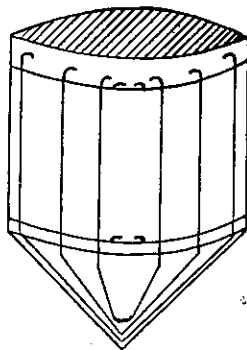
$$N = \frac{2E}{\sqrt{3} S^2}$$

Διά $E=8000 \text{ m}^2$ καὶ $S=3,50 \text{ m}$, $N = \sim 760$

Πρακτική έφαρμογή τῆς μεθόδου

Η έν τῇ πράξει έφαρμογή τῆς μεθόδου έγένετο ὡς έξής: Ἐπὶ τοῦ φυσικοῦ έδάφους κατασκευάσθη ἐκ τῶν παρακειμένων χωματισμῶν ἐπίκωμα ὕψους 0,50 m. Ἐπὶ τῆς οὕτω διαμορφωθείσης ὀμαλῆς έπιφανείας διεστρώθη ἄμμος πάχους 0,60 m, κλειστής διαβαθμίσεως, μηθενικῆς πλαστικότητας καὶ ἰσοδυνάμου ἄμμου μεγαλύτερου τοῦ 80, σκοπὸν ἔχουσα τὴν παρεμπόδισιν ἀνόδου τῆς ἀργίλου εἰς τὴν στραγγιστήριον στρώσιν.

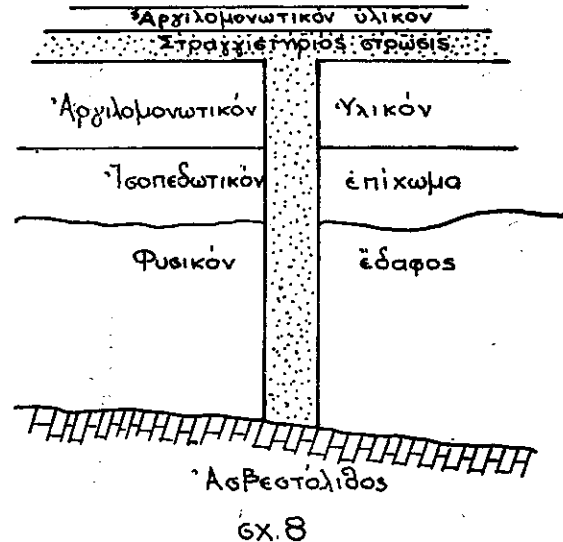
Ἐπὶ τῆς έπιφανείας τῆς ἀργιλομονωτικῆς ταύτης στρώσεως έγένετο ἡ διάνοιξις τῶν φρεάτων. Πρὸς τοῦτο κατασκευάσθησαν αἰχμαὶ ἐκ σιδηροπαγοῦς σκυροδέματος διαμέτρου 0,35 m. (Σχ. 7). Ὁ ὀπισμοδὸς αὐτῶν ἀπετελεῖτο ἀπὸ 2φ τῶν 6 mm, ἀνά ἕν εἰς τὴν ἄνω καὶ κάτω βᾶσιν τοῦ κυλίνδρου, περιφερειακῶς, καὶ 6φ τῶν 4 mm κατὰ μῆκος τῶν έπιφανειῶν κώνου καὶ κυλίνδρου (Σχ. 7).



ΣΧ 7

Ἐπὶ τῆς ἄνω έπιφανείας τῶν αἰχμῶν έτοποθετεῖτο σωλὴν διαμέτρου 0,30 m. Ἡ αἰχμὴ ἐνεπηγνύετο εἰς τὸ έδαφος διά κρουστικοῦ μηχανήματος βάρους 2,2 τόννων πίπτοντος ἐπὶ τοῦ ἄνω ἄκρου τοῦ σωλῆνος ἐξ ὕψους 1 m. Λόγω τῆς χαλαρᾶς καταστάσεως τῆς τύρφης, ἡ ἔμπηξις ἦτο εὐκόλος καὶ ταχέια. Ὅταν ἡ αἰχμὴ μετὰ τὴν διάτρησιν τῶν ἐπικινδύνων στρώσεων ἤγγιζε τὴν στρώσιν τῆς ἄμμου ἢ τοῦ ἀσβεστολίθου, ἐπληροῦτο ὁ σωλὴν δι' ἄμμου καὶ ἐξή-

γετο τοῦ φρεάτος. Ἡ έξαγωγή τοῦ σωλῆνος ἦτο εὐκόλος, ἀφ' ἐνὸς μὲν λόγω τοῦ μικροῦ βάθους, ἀφ' ἐτέρου δὲ λόγω τῆς διαφορᾶς εἰς τὰς διαμέτρους αἰχμῆς-σωλῆνος. Ἐξ ἄλλου, ἡ διαφορὰ αὕτη τῶν διαμέτρων περιώριζε τὰς τριβάς, ὥστε νὰ μὴ προ-



ΣΧ 8

καλῆται κατὰ τὴν διάνοιξιν σοβαρὰ διαταραχὴ τοῦ ἰσοῦ τοῦ έδάφους εἰς τὴν διεπιφάνειαν τοῦ φρεάτος. Ἡ ἄμμος πληρώσεως τῶν φρεάτων ἔπρεπε νὰ ἔχη μεγίστην ὕδατοπερατότητα, ὥστε νὰ εὐνοῆ τὴν διά ταύτης ἀπορροὴν τῶν ὕδάτων. Πρὸς τοῦτο ἐπελέγη καθαρὰ (ἰσοδύναμον ἄμμου > 80) λεπτόκοκκος ἄμμος, ἀποτόμου κοκκομετρικῆς διαβαθμίσεως, ὥστε νὰ παρουσιάξη τοῦλάχιστον 30% κενά. Ἄμα τῷ πέρατι τῆς κατασκευῆς τῶν φρεάτων, ἐκαλύφθη ἅπασα ἡ έπιφάνεια ἐκ τῆς αὐτῆς ἄμμου εἰς πάχος 0,20 m., ὥστε ν' ἀποκατασταθῇ ἐπικοινωνία τῶν φρεάτων μετὰ τῶν πλευρικῶν τάφρων.

Πρὸς πρόληψιν τῶν ἐκ τῆς έργολαβικῆς κυκλοφορίας καταστροφῶν ὡς καὶ τῆς ἐκ τῶν ἄνω προσμίξεως ἢ διηθήσεως ἀργίλου εἰς τὴν στραγγιστήριον στρώσιν, ἐκαλύφθη αὕτη διά πάχους 0,15 m ἀργιλομονωτικοῦ ὕλικου.

Ὡς ἐλέχθη, ἡ κάθισις συνετελέσθη ἐντὸς ἐξ μηνῶν.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Terzaghi and Peck, Soil Mechanics in Engineering Practice.
- 2) Reginald A. Barron, Consolidation of fine grained soils by drain wells.
- 3) Tschebotarioff, Soil Mechanics, Foundations and Earth Structures.

FONDATION D'UNE ROUTE DE CIRCULATION LOURDE SUR UN SOL TOURBEUX

Par. M. GEORGES P. ROUSSOS, Ingénieur—Chimiste

La route Nationale No 3, qui va de Paris à Metz, constitue une voie routière très importante pour l'économie Française. Elle supporte un trafic dépassant les 5000 véhicules automobiles par jour, dont environ 11% de poids lourd.

La traversée de Claye—Souilly étant très difficile, le Service des Ponts et Chaussées a décidé de construire une déviation.

En deux sections du tracé, le sol naturel est constitué par de la tourbe. La tourbe est un matériau de dépôt provenant de la décomposition d'espèces végétales comprenant jusqu'à 600% d'eau. Lorsque on charge un tel matériau, il tasse progressivement. La durée de tassement est plus longue que celle de l'application des charges, car la consolidation ne peut être obtenue, s'agissant d'un matériau saturé, que par transfert d'une partie de l'eau. Ce transfert étant lent, puisque le matériau est peu perméable, le temps de tassement peut durer plusieurs années.

Or, les remblais importants, supportés par un sol de cette catégorie, tassent. Lorsque on construit sur les remblais une chaussée, il n'est pas possible d'admettre que celle-ci continue à se déformer pendant plusieurs années. Les tassements étant différents d'un point à un autre, d'une part à cause de l'hétérogénéité de la tourbe, d'autre part à cause de sa différence d'épaisseur aux différents points, la chaussée devrait être continuellement reprofilée à gros frais. On a donc recherché à accélérer le tassement de telle sorte qu'il soit terminé

lors de la construction des chaussées. La solution adoptée consiste à établir des drains verticaux.

Cette technique consiste à forer des puits verticaux, de remplir ces puits de sable drainant et à coiffer toutes les têtes de puits à l'aide d'une couche drainante du même sable.

Le calcul du diamètre et de la distance d'axe en axe des puits (à Claye—Souilly la diamètre était 0,35 m. et la distance 3,50 m) est basé sur les abaques établies par R. A. Barron d'après ses études sur le fonctionnement des drains verticaux en 1947—1948 et les résultats du laboratoire sur le coefficient de consolidation des échantillons prélevés du sol en question.

Par la technique ci-dessus on accélère le transfert de l'eau et par conséquent la consolidation du matériau, car le forage des drains verticaux diminue le cheminement de l'eau dans la tourbe, en utilisant aussi bien l'écoulement verticale que l'écoulement horizontale, ce qui est d'autant plus intéressant que la perméabilité horizontale est supérieure à la perméabilité verticale.

Il est à noter que la tourbe a généralement la propriété d'être stratifiée en couches horizontales; il en résulte donc, que le coefficient de perméabilité horizontale est supérieure au coefficient de perméabilité verticale, mesuré à l'Oedomètre.

En fait, après le traitement de la tourbe par des drains verticaux de sable, le tassement des remblais était pratiquement terminé au bout de six mois.