

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΩΣ ΠΑΣΣΑΛΟΜΑΔΟΣ, ΛΟΓΩ ΟΡΙΖΟΝΤΙΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ, ΜΕ ΑΝΑΛΥΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ.



Χρήστος Αρβανιτίδης

Εξεταστική επιτροπή:

Καθηγητής Ζαχαρίας Αγιουτάντης (επιβλέπων) Καθηγητής Γεώργιος Εξαδάκτυλος Επ. Καθηγητής Εμμανουήλ Στειακάκης

Χανιά Φεβρουάριος 2014

Ευχαριστείες.

Ενα Ίδρυμα ή μία Σχολή είναι, βεβαίως, το άθροισμα των ανθρώπων που το υπηρετούν, αλλά είναι και κάτι ευρύτερο και ασαφέστερα παραμετροποιούμενο απο αυτό.

Οπότε, για την εμπειρία και τις αναμνήσεις, ευχαριστώ την Σχολή και το Πολυτεχνείο, για τα περισσότερο απτά ζητήματα, τους ανθρώπους τους.

Του Επιβλέπουτά μου, Καθ. Ζαχαρία Αγιουτάντη και τα άλλα δύο μέλη της Τριμελούς, Καθ. Γεώργιο Εξαδάκτυλο και Επικ. Καθ. Εμμανουήλ Στειακάκη.

Του Στέλιο Μαυριγιαυνάκη και την Φωτεινή Σταθογιάννη που υπέφεραν τις παράπλευρες επιπτώσεις της αποπείρας του πονήματος, αγόγγυστα, θα μπορούσα να πώ.

Ολο το προσωπικό της Γραμματείας, ενεστός και απελθόν που υπέμεινε την διαδικαστική μου ανασφάλεια.

Του Αριστείδη Μπαρούνη, Μηχανικό της παλαιάς φρουράς, που μου έδειξε ότι μπορείς να βρείς ικανοποίηση στην Εδαφομηχανική.

Και, ρητώς, **δευ ευχαριστώ** τα παιδιά μου, που, άν περνούσε, εντελώς, απο το χέρι τους, δεν θα με άφηναν να παρουσιάσω αυτήν την Διπλωματική, πρίν παρουσιάσουν αυτά τις δικές τους.

Χρήστος Αρβανιτίδης, 19/02/2014

<u>Εικόνα εξωφύλλου</u>: Μακέτα της γεφύρας που κατασκεύασε ο Ιούλιος Καίσαρ στον Ρήνο η οποία ήταν θεμελιωμένη σε ξύλινους πασσάλους εμπεπηγμένους στην κοίτη του ποταμού. Δεξιά διακρίνεται η σφύρα εμπήξεως. Η επίλυση του προβλήματος της συμπεριφοράς πασσάλου υπό φόρτιση είναι αναλυτικά δυσχερής και το πρόβλημα επιτείνεται από την έλλειψη επαρκούς αριθμού δεδομένων από πειραματικές φορτίσεις πασσάλων.

Η προσέγγιση του προβλήματος συμπεριφοράς ομάδος πασσάλων συνδεδεμένων με εσχάρα είναι ακόμη δυσκολώτερη και όπως και το ερώτημα της συμπεριφοράς πασσάλου καταπονουμένου από εγκάρσια φορτία, απαιτεί πληθώρα παραδοχών και προσεγγίσεων οι οποίες δεν δίδουν πάντοτε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Ιδίως από την σκοπιά του το όλο πλαίσιο της αναλυτικής προσεννίσεως μελετητού. της συμπεριφοράς πασσαλομάδος καταπονουμένης σε αξονική και εγκάρσια φόρτιση, οδηγεί σε αναπόφευκτη υπερδιαστασιολόγηση και ακόμη και υπό αυτό το πρίσμα, τα αποτελέσματα δεν είναι ελέγξιμα. Οι αριθμητικές μέθοδοι επιλύσεως δίδουν μία ικανοποιητική λύση στο πρόβλημα, κυρίως λόγω του ότι ένα καλώς διαμορφωμένο μοντέλλο, με κατάλληλη παραμετροποίηση, παρακάμπτει τον κυκεώνα των διαδοχικών προσεγγίσεων της συμβατικής μεθόδου επιλύσεως.

Στην παρούσα διπλωματική, εξετάζεται η συμβατική και αριθμητική προσέγγιση της μελέτης θεμελιώσως γεφύρας η οποία μελετήθηκε ως η οδική γέφυρα του ποταμού Ολβίου Κορινθίας επί της νέας επαρχιακής οδού Κιάτου-Βυτίνας. Η συμβατικώς μελετηθείσα λύση θεμελιώσεως το 1998 προέβλεπε την χρήση ομάδος οκτώ εγχύτων φρεατοπασσάλων, συνδεδεμένων με εσχάρα, για την θεμελίωση των βάθρων και περιελάμβανε στοιχειώδη ανάλυση της συμπεριφοράς της ομάδος υπό εγκάρσιο σεισμικό φορτίο.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, αρχικά επιλύεται συμβατικά με την μέθοδο Broms και την μέθοδο Winkler το πρόβλημα και ακολουθεί επίλυση με την χρήση της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων, δια του προγράμματος MARC, υπό την μορφή δισδιαστάτων αριθμητικών εξομοιώσεων.

Επιλύεται κατ' αρχάς η εξομοίωση του μεμονωμένου πασσάλου και ακολουθεί επίλυση ομάδος δύο, τεσσάρων και οκτώ πασσάλων, χρησιμοποιώντας τα πραγματικά δεδομένα φορτίων, τα προβλεπόμενα από την στατική προμελέτη της γεφύρας. Η επίλυση γίνεται για εδαφικές συνθήκες που αποτελούν εξομοίωση της υφισταμένης στρωματογραφίας στην θέση του έργου και για ένα ενδεικτικό, ομογενές και ισότροπο μονοστρωματικό έδαφος. Ιδιαίτερη έμφαση δίδεται στην συμπεριφορά υπό εγκαρσία φόρτιση και την αξιολόγηση των αναμενομένων μετατοπίσεων του βάθρου και των παραμορφώσεων των πασσάλων της ομάδος.

Τα αποτελέσματα της δισδιαστάτου εξομοιώσεως συγκρίνονται με αυτά της συμβατικής επιλύσεως καθώς και με προβλέψεις γενόμενες επί τη βάσει συμπερασμάτων που προέκυψαν από τρισδιάστατες αριθμητικές επιλύσεις, από προηγηθέντες ερευνητές του προβλήματος. Επίσης εξετάσθηκε, υπό τα παραπάνω δεδομένα, η επίδραση του στρώματος διεπιφανείας το οποίο πιθανόν να επικαλύπτει, λόγω υπολειμματικού γεωτρητικού ρευστού, τον αυλό του διατρήματος του πασσάλου και το οποίο ελαττώνει την αναμενομένη πρόσφυση του πασσάλου.

Συνοπτικά, διαπιστώθηκε, πέραν της μεγαλυτέρας ευχερείας και των ακριβεστέρων αποτελεσμάτων δια της αριθμητικής επιλύσεως, εν σχέσει προς την συμβατική, η δυνατότητα πιθανής υποκαταστάσεως της τρισδιαστάτου αναλύσεως από την δισδιάστατη, χωρίς σοβαρή απόκλιση των προκυπτόντων αποτελεσμάτων.

ABSTRACT

The problem of pile behavior, both for driven and bored piles, under lateral load is a complex and hard to address analytically, mainly due to the large number of assumptions and approximations needed and the absense of sufficient experimental data.

Addressing the response of a pile group under lateral loads is even more analytically ambigous, given that the number of assumptions, primarily concerning the nature of the soil and the interaction of the piles, increases.

Numerical models are a useful means of overcoming the above difficulties to a large extend.

In the following work a case history, dating from 1998, of a projected bridge, founded on groups of bored, cast in situ, reinforced concrete piles, is revisited by the original geotechnical designer, using both conventional and numerical model approaches to the problem of predicting the response of the structure under seismic loads.

The numerical solution involves **2-D finite element** models of single pile and two, four and eight pile groups.

The numerical results are compared with those produced by using the **Broms** and **Winkler** analytical methods and also to the results of 3-D analysis performed by others on the general subject of pile group behavior under lateral loading.

The models reproduce both the actual soil stratigraphical disposition and a generic, homogenous, soil, typical of the soils usually requiring a pile foundation.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

		Σελίς
	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
А	Κατηγορίες πασσάλων	10
A1	Κριτήρια ταξινομήσεως	10
A2	Γενική περιγραφή των επιμέρους κατηγοριών	10
В	Πασσαλομάδες	13
КЕΦ.1	Βασική θεωρία υπολογισμού Πασσάλων και	15
	Πασσαλομάδων και συμβατική επίλυση του	
	προβλήματος της εγκαρσίας φορτίσεως	
	μεμονωμένου πασσάλου και ομάδος	
1.1	Σχεδιασμός πασσάλων και πασσαλομάδων	15
1.1.1	Φέρουσα ικανότητα μεμονωμένων πασσάλων	15
1.1.2	Υπολογισμός εγχύτων πασσάλων σε αργιλλικά	16
	εδάφη	
1.1.3	Υπολογισμός εγχύτου πασσάλου σε αμμώδη εδάφη	18
1.1.4	Ανάλυση φερούσης ικανότητος εμπηγνυομένου	18
	πασσάλου σε αμμώδη εδάφη	
1.1.4.1	Τελικός υπολογισμός εγχύτου πασσάλου σε άμμο	20
1.1.5	Επιβαλλόμενοι συντελεστές ασφαλείας	20
1.1.6	Πασσαλομάδες	21
1.1.7	Αραίωση πασσάλων στην πασσαλομάδα	21
1.1.8	Κατανομή του φορτίου σε πασσαλομάδα	22
1.1.9	Συντελεστής αποδόσεως πασσαλομάδος	22
1.1.10	Υπολογισμός φερούσης ικανότητος πασσαλομάδος	23
1.1.11	Λόγος καθιζήσεως πασσαλομάδος	24
1.2	ΒΑΣΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΩΘΗΣΕΩΣ ΓΑΙΩΝ	25
1.2.1	Εισαγωγικές έννοιες	25
1.2.2	Κινηματικά χαρακτηριστικά των κατασκευών που υπόκεινται σε ωθήσεις γαιών	27
1.2.3	Θεωρία ωθήσεως γαιών σύμφωνα με τον Coulomb	28
1.2.4	Τροποποιημένη μέθοδος Rankine	29
1.2.5	Επίδραση του υδροφόρου ορίζοντος	30
1.2.6	Αστράγγιστες συνθήκες	30
1.2.7	Επίδραση φορτίων ασκουμένων επί του	31
	αντιστηριζομένου εδάφους	
1.3	Γενική θεωρία πασσάλων και πασσαλομάδων	32
	υποκειμένων σε πλευρική φόρτιση	
1.3.1	Γενικά	32
1.3.2	Ανάλυση μεμονωμένου πασσάλου σε πλευρική	33
	φόρτιση	
1.3.3	Αριθμητικές εξομοιώσεις του προβλήματος του	34
	πλευρικώς φορτιζομένου πασσάλου	
1.3.4	Ομάδα πασσάλων υποκειμένη σε πλευρική	36
	φόρτιση	
1.3.4.1	Παραμετροποίηση του προβλήματος	37

1.3.5	Προσέγγιση της επιλύσεως του προβλήματος της συμπεριφοράς πασσαλοομάδος, σε πλευρική φόρτιση, με τη χρήση της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων	40
1.3.5.1	Εισανωνικά	40
1.3.5.2	Γενικά ερωτήματα που χρήζουν απαντήσεως προ της εφαρμογής της μεθόδου	40
1.3.5.3	Διατύπωση του προβλήματος	41
1.3.6	Ενδεικτική συμβατική επίλυση μεμονωμένου πασσάλου και πασσαλοομάδος	46
1.3.6.1	Παραδοχές	46
1.3.6.2	Συμβατικός Υπολογισμός φερούσης ικανότητος ομάδος 2x4 πασσάλων	47
1.3.6.3	Συμβατικός υπολογισμός αναμενομένης καθιζήσεως ομάδος οκτώ πασσάλων	50
1.3.7	Παραμετροποίηση και οργάνωση της λύσεως με τη χρήση του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων MARC.	52
1.3.7.1	Γενικά	52
1.3.7.2	Ανάπτυξη και ανάλυση των παραμέτρων που εισάγονται στο πρόγραμμα για την επίλυση	52
1.4	Συμβατική ανάλυση συμπεριφοράς μεμονωμένου πασσάλου σε πλευρική φόρτιση	61
1.4.1	Γενικά	61
1.4.2	Ανάλυση κατά τη μέθοδο Brooms	62
1.4.2.1	Έλεγχος μεγίστου επιτρεπομένου οριζοντίου φορτίου	63
1.4.3	Ανάλυση κατά το πρότυπο του Winkler	66
1.4.3.1	Γενικά	66
1.4.3.2	Υπολογισμός οριζοντίας μετατοπίσεως σε τυχόν βάθος z	67
1.5	Αναλυτικός υπολογισμός συμπεριφοράς ομάδος πασσάλων σε πλευρική φόρτιση	68
1.5.1	Αναλυτική επίλυση του προβλήματος της συμπεριφοράς μεμονωμένου πασσάλου υπό τις πραγματικές συνθήκες φορτίσεως βάσει των φορτίων σχεδιασμού της γεφύρας.	68
1.5.1.1	Παραδοχές	68
1.5.2	Υπολογισμός του μεγίστου εγκαρσίου φορτίου κατά Broms	73
1.5.3	Υπολογισμός πλευρικής μετατοπίσεως πασσάλου υπό εγκαρσία φόρτιση κατά τη μέθοδο Winkler	76
1.5.4	Ανάλυση συμπεριφοράς της ομάδος πασσάλων σε εγκάρσια φόρτιση	78

1.5.5	Έλεγχος φερούσης ικανότητος μεμονωμένου πασσάλου σε εγκάρσια φόρτιση, κατά τις ποοδιανοαφές φορτίσεος	82
2	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΛΕΥΡΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΕΩΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ	84
2.1	Γενικά	84
2.2	Διαμόρφωση και προσαρμογή των γεωμετρικών και κατασκευαστικών στοιχείων του πασσάλου για την αριθυρτική επίλυση του προβλήματος	86
2.3	Επιλογή παραμέτρων και κωδικοποίηση αυτών για την εισανωνή τους στα αριθυητικά μοντέλλα	89
2.3.1	Παράμετροι υλικών	89
2.3.2	Παράμετροι Συνοριακών συνθηκών	93
2.4	Διαμόρφωση των αριθμητικών μοντέλλων και διακριτοποίηση των στοιχείων	99
2.5	Αποτελέσματα προκύπτοντα από την επίλυση των αριθμητικών μοντέλλων	101
2.5.1	Γενική μεθοδολογία η οποία εφαρμόσθηκε κατά την επίλυση	101
2.5.2	Αποτελέσματα επιλύσεως μοντέλλου μεμονωμένου πασσάλου	103
2.5.3	Αποτελέσματα επιλύσεως μοντέλλου βάθρου και ομάδος δύο πασσάλων	110
2.5.4	Αριθμητική επίλυση του μοντέλλου βάθρου και ομάδος τεσσάρων πασσάλων	116
2.5.5	Αποτελέσματα αριθμητικής επιλύσεως φορτίσεως βάθρου και ομάδος 8 πασσάλων	122
2.6	Αποτελέσματα επιλύσεως του απλοποιημένου μοντέλλου βάθρου και πασσαλομάδος	129
2.6.1	Αποτελέσματα επιλύσεως απλουστευμένου μοντέλλου μεμονωμένου πασσάλου	131
2.6.2	Αποτελέσματα επιλύσεως απλοποιημένου μοντέλλου βάθρου και ομάδος δύο πασσάλων	135
2.6.3	Αποτελέσματα επιλύσεως απλοποιημένου μοντέλλου βάθρου και ομάδος τεσσάρων πασσάλων	140
2.6.4	Αποτελέσματα επιλύσεως απλοποιημένου μοντέλλου βάθρου και ομάδος οκτώ πασσάλων	145
2.7	Αποτελέσματα αριθμητικής επιλύσεως φορτίσεως βάθρου και πασσαλομάδος σε ενδεικτικό ομογενές εδαφικό υλικό	149
2.7.1	Αριθμητική επίλυση απλοποιημένου μοντέλλου μεμονωμένου πασσάλου σε ομογενές και ισότροπο έδαφος	150

		Σελίς
2.7.2	Αριθμητική επίλυση απλουστευμένου μοντέλλου, σε ομογενές και ισότροπο εδαφικό υλικό, βάθρου με δύο πασσάλους	153
2.7.3	Αριθμητική επίλυση απλοποιημένου μοντέλλου σε ομογενές και ισότροπο έδαφος, βάθρου με ομάδα τεασάρων πασσάλων	156
2.7.4	Αριθμητική επίλυση απλοποιημένου μοντέλλου σε ομογενές και ισότροπο έδαφος, βάθρου και ομάδος οκτώ πασσάλων	159
3	ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΕΠΙΛΥΣΕΩΣ ΤΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΛΩΝ	162
3.1	Ανάλυση των αποτελεσμάτων της επιλύσεως του πλήρους μοντέλλου φορτίσεων σε πραγματική στρωματογραφική διαμόρφωση εδάφους θεμελιώσεως	163
3.2	Ανάλυση των αποτελεσμάτων της επιλύσεως του απλοποιημένου μοντέλλου φορτίσεων σε πραγματική στρωματογραφική διαμόρφωση εδάφους θεμελιώσεως	168
3.3	Ανάλυση των αποτελεσμάτων της επιλύσεως του απλοποιημένου μοντέλλου φορτίσεως σε υποθετικό ομογενές και ισότροπο έδαφος θεμελιώσεως	171
3.4	Ερμηνεία των αποτελεσμάτων της αριθμητικής επιλύσεως των μοντέλλων	174
3.5	Επεξεργασία των αποτελεσμάτων της επιλύσεως των αριθμητικών μοντέλλων.	178
4	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	191
4.1	Συμπεράσματα	191
4.2	Προτάσεις 201	
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	202

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι πάσσαλοι και φρεατοπάσσαλοι είναι μορφές βαθείας θεμελιώσεως χρησιμοποιουμένης, συνήθως, σε διατάξεις ομάδων, για τη μεταφορά κατακορύφων φορτίων, μέσω ασθενών, μικρής φερούσης ικανότητος ή υπερβολικά συμπιεστών, εδαφικών στρωμάτων, σε υποκείμενα στρώματα καλής μηχανικής συμπεριφοράς. Εναλλακτικά, χρησιμοποιούνται σαν φέροντα στοιχεία σε διατάξεις αντιστηρίξεως πρανών και υπό αυτή την έννοια η συμπεριφορά της αλληλεπιδράσεώς τους με το έδαφος αντιμετωπίζεται, κατά περίπτωση, είτε από τη βασική θεωρία της κατακορύφου φορτίσεως του εδάφους, είτε από την βασική θεωρία της ωθήσεως γαιών.

Η παρούσα εργασία αφορά μία ιδιάζουσα τεχνική διάσταση της χρήσεως των πασσάλων η οποία έγκειται στην πλευρική φόρτιση είτε μεμονωμένου πασσάλου, είτε πασσαλομάδος η οποία έχει σχεδιασθεί ως στοιχείο θεμελιώσεως αλλά αναμένεται να φορτισθεί με σημαντικό οριζόντιο φορτίο, στατικό ή δυναμικό, εφαρμοζόμενο επί του άνω, ελευθέρου άκρου του πασσάλου ή της κεφαλής της πασσαλομάδος.

Η συνθήκη αυτή είναι, γενικά, ασυνήθιστη αλλά δεν είναι, σπάνια και εμφανίζεται υπό τύπον εκτάκτου καταπονήσεως, λόγω σεισμικής επιβαρύνσεως στο σύνολο των πασσαλοθεμελιώσεων που θα εκτεθούν σε υπό τύπον αναμενομένης σεισιική φόρτιση και, λειτουρνικής καταπονήσεως σε πασσαλοθεμελιώσεις κατασκευών στις οποίες το κατακόρυφο φορτίο έχει οριζόντιο συνιστώσα όπως διαφόρων τύπων αψιδωτά στοιχεία ή προβλέπεται ανεξάρτητη οριζοντία φόρτιση της υπερκατασκευής, όπως σε περιπτώσεις ανεμοπιέσεως σε κτήρια ή γέφυρες, υδροδυναμικής ωθήσεως σε βάθρα γεφυρών και υδροδυναμικές ωθήσεις λόγω κυματισμού και ρευμάτων σε λιμενικά έργα ή βάθρα γεφυρών που διασχίζουν θαλάσσιες περιοχές.

Στην παρούσα εργασία θα επιχειρηθεί μία στατική ανάλυση του προβλήματος σε επίπεδο μεμονωμένου πασσάλου και πασσαλομάδος, χρησιμοποιώντας τις συμβατικές αναλυτικές μεθόδους και με τη χρήση αριθμητικής προσομοιώσεως και θα επιλυθεί, για λόγους συγκρίσεως των συμπερασμάτων των δύο μεθόδων, πραγματικό πρόβλημα θεμελιώσεως που αφορά σχεδιασμό γεφύρας (νέα οδική γέφυρα του ποταμού Ολβίου, Κορινθίας, επι της νέας χαράξεως της επαρχιακής οδού Κιάτου-Βυτίνας) της οποίας τα στοιχεία θεμελιώσεως των μεσοβάθρων, σχεδιάσθηκαν ώστε να δέχονται σημαντικές οριζόντιες ωθήσεις απο πιθανά σεισμικά φορτία και την πλημμυρική ροή του ποταμού.

Α. Κατηγορίες πασσάλων

Α1. Κριτήρια ταξινομήσεως

Η ταξινόμηση των πασσάλων σε κατηγορίες μπορεί να γίνει με βάση τα κατωτέρω κριτήρια.

α) Χρήση

β) Τρόπος τοποθετήσεως

- γ) Υλικά κατασκευής
- δ) Μηχανισμός παραλαβής φορτίου

Προφανώς η ανωτέρω ταξινόμηση είναι γενική και δεν περιλαμβάνει κάποιες μικρότερες, ειδικής χρήσεως κατηγορίες (π.χ. μικροπασσάλους, πασσάλους διευρυμένης αιχμής κλπ) οι οποίοι μπορούν να ενταχθούν σε κάποια γενικότερη κατηγορία λειτουργικά ή κατασκευαστικά.

<u>Α2. Γενική περιγραφή των επιμέρους κατηγοριών</u> <u>α) Ταξινόμηση αναλόγως της χρήσεως</u>

Αναλόγως της χρήσεώς τους οι πάσσαλοι μπορούν να διακριθούν στις εξής κατηγορίες:

1) Πάσσαλοι θεμελιώσεων

- 2) Πάσσαλοι τοίχων αντιστηρίξεως
- 3) Πάσσαλοι διαφραγματικών τοίχων (στεγανοποιήσεως)
- 4) Πάσσαλοι μικτής χρήσεως

1. Οι πάσσαλοι θεμελιώσεως χρησιμοποιούνται για την παραλαβή πρωτίστως κατακορύφων φορτίων τα οποία μεταφέρουν σε στρώμα ή στρώματα του υπεδάφους, υπό το επίπεδο μεγίστης εκσκαφής της θεμελιώσεως, τα οποία έχουν επαρκή φέρουσα ικανότητα για την ασφαλή παραλαβή τους. Λόγω της φύσεώς τους φορτίζονται πρωτίστως σε θλίψη ενώ σε περίπτωση οριζοντίου καταπονήσεως (π.χ. σεισμικού φόρτου) και σε κάμψη ή διάτμηση. Επίσης κατά την περιμετρική επιφάνεια επαφής τους με τα εδαφικά στρώματα φορτίζονται διατμητικά είτε κατά τη διαδικασία κατασκευής τους είτε κατά τη διαδικασία μεταφοράς του φορτίου τους στο υπέδαφος.

2. Οι πάσσαλοι που χρησιμοποιούνται ως φέροντα στοιχεία τοίχων αντιστηρίξεως παραλαμβάνουν πρωτίστως φορτία προερχόμενα από παθητικές ή ενεργητικές ωθήσεις γαιών. Η συνήθης διαμόρφωσή τους είναι να διαθέτουν ένα εμπηγνυόμενο τμήμα και ένα ελεύθερο το οποίο υποστηρίζει το αντιστηριζόμενο πρανές. Αναλόγως των σχεδιαστικών επιλογών μπορεί να φέρουν διάταξη αγκυρίων στο ελεύθερο τμήμα τους, οπότε το τμήμα αυτό προφορτίζεται, είτε φορτίζονται πλευρικά παθητικά από τη μετατόπιση του υποστηριζομένου πρανούς. Οι πάσσαλοι μπορούν ενός τοίχου να αποτελούν το φέρον στοιχείο αντιστηρίξεως, συμπληρούμενοι από κάποιο στοιχείο πληρώσεως (διαφραγματικό τοίχο) ποικίλης μεθόδου κατασκευής ή να συνθέτουν οι ίδιοι την πλήρη δομή του τοίχου (πάσσαλοι εν επαφή ή αλληλοτεμνόμενοι).

Μία λιγότερο συνηθισμένη μορφή απαντώμενη σε υπόγειες, εν εκχώσει, συνήθως κατασκευές, είναι αυτή των εκατέρωθεν παραλλήλων

πασσαλοτοίχων των οποίων οι κεφαλές δεν είναι ελεύθερες αλλά συνδέονται με κάποιο τύπο ραβδωτού ή επιφανειακού φορέως, οπότε κατ' ουσίαν και τα δύο άκρα του πασσάλου λειτουργούν ως πακτωμένα.

Σε όλες τις ανωτέρω περιπτώσεις οι πάσσαλοι καταπονούνται κυρίως σε κάμψη ενώ αναλόγως του τρόπου ενσωματώσεως στην κατασκευή μπορούν να παραλαμβάνουν και κατακόρυφα φορτία.

3. Οι πάσσαλοι διαφραγματικών τοίχων είναι συνήθως ειδικής μορφής (πασσαλοσανίδες) και ο ρόλος τους δεν είναι η ασφαλής παραλαβή μηχανικών καταπονήσεων πέραν των προκυπτουσών από τη διαδικασία της τοποθετήσεώς τους και της πιέσεως πόρων των ροών τις οποίες ελέγχουν. Η στατική τους ευστάθεια εξασφαλίζεται από άλλες διατάξεις, συχνά το ίδιο το έδαφος στο οποίο εμπηγνύονται και η καταπόνησή τους είναι πολύπλοκη.

4. Οι πάσσαλοι μικτής χρήσεως δεν αποτελούν αυτήν καθ' εαυτήν ιδιάζουσα κατηγορία από λειτουργικής ή κατασκευαστικής απόψεως αλλά υπολογίζονται κατά τον σχεδιασμό τους να ενσωματωθούν στην κατασκευή, εξυπηρετώντας πλείονες της μιας σκοπιμότητες. Συνηθέστερη εφαρμογή τους γίνεται σε υπόγεια έργα τα οποία κατασκευάζονται εν εκχώσει και, μετά την αποπεράτωσή τους επιχώνονται ή ενσωματώνονται σε κάποιο υπέργειο έργο. Λόγω της φύσεώς τους φορτίζονται σε κάμψη και θλίψη (και κατά τμήματα σε διάτμηση).

β) Ταξινόμηση αναλόγως του τρόπου τοποθετήσεως

Γενικά, η διαδικασία τοποθετήσεως των πασσάλων δημιουργεί δύο βασικές ομάδες, εμπηγνυομένους και εγχύτους πασσάλους. Η ταξινόμηση αυτή εμπλέκεται και με το επόμενο κριτήριο αξιολογήσεως δηλ. τα υλικά κατασκευής των πασσάλων, δεδομένου ότι η μέθοδος τοποθετήσεως δημιουργεί διαφορετικές απαιτήσεις από τα υλικά. Επί πλέον, διακρίσεις μπορούν να γίνουν όσον αφορά τη γεωμετρία και τη διάταξη των πασσάλων. Η συνήθης κατηγοριοποίηση είναι σε κατακορύφους και κεκλιμένους πασσάλους, εκ των οποίων οι δεύτεροι έχουν περισσότερο ειδικευμένες εφαρμογές.

<u>1) Εμπηγυυόμενοι πάσσαλοι (εκτοπίσεως)</u>

Τοποθετούνται με επιβαλλόμενη διείσδυση στο έδαφος μέσω της χρήσεως διατάξεως σφύρας. Η κατασκευή του πασσάλου γίνεται επί του εδάφους και εν συνεχεία ο πάσσαλος αναρτάται στη θέση τοποθετήσεως και εμπηγνύεται με τη σφύρα. Συνήθως φέρει ειδικά διαμορφωμένη και ενισχυμένη αιχμή διεισδύσεως και προστατευτικό κάλυμμα στην κεφαλή όπου προσκρούει η σφύρα. Λόγω των συνθηκών τοποθετήσεως οι πάσσαλοι της κατηγορίας αυτής έχουν συνήθως μικρή διάμετρο (έως 50 cm) και η μέθοδος χρησιμοποιείται σε μαλακά εδάφη (π.χ. πρόσφατες ποτάμιες αποθέσεις) μετά δε την τοποθέτηση ο πάσσαλος παραλαμβάνει τα φορτία του, στο μεγαλύτερο ποσοστό δια τριβής.

Συνήθως κατασκευάζονται με μεταλλικό περίβλημα σωληνωτού τύπου ή με μεταλλικό πυρήνα από δοκό διατομής Ι και υλικό πληρώσεως ή επενδύσεως, σκυρόδεμα. Ομοίως χαλύβδινα είναι η αιχμή και το κάλυμμα κεφαλής.

2) Έγχυτοι

Οι έγχυτοι πάσσαλοι χυτεύονται (συνήθως) σε διάτρημμα το οποίο έχει ανοιχθεί στη θέση τοποθετήσεως, στο επιθυμητό βάθος και διάμετρο, από ειδικό γεωτρύπανο. Εν συνεχεία καταβιβάζεται στον αυλό του διατρήμματος το φέρον στοιχείο του πασσάλου (κλωβός ράβδων οπλισμού, δοκός διατομής Ι ή κυλινδρικό περίβλημα από ελάσματα) και τελικώς χυτεύεται το υλικό πληρώσεως (συνήθως σκυρόδεμα).

μεθόδου κατασκευής, υπάρχει δυνατότητα Λόνω της η τοποθετήσεως των πασσάλων σε ποικιλία εδαφών και πετρωμάτων και η διάμετρος υπορεί να είναι μεγάλη (συνήθως έως 1,25m, φρεατοπάσσαλοι).

γ) Ταξινόμηση αναλόγως του υλικού κατασκευής

Όπως προαναφέρθηκε, η μέθοδος εμπήξεως ή διατρήσεως καθοδηγεί την επιλογή των υλικών και τη διαστασιολόγηση του πασσάλου, πέραν της λειτουργικής του επαρκείας μετά την τοποθέτηση. Συνήθως σήμερα χρησιμοποιούνται τρεις μέθοδοι κατασκευής πασσάλων.

<u>1) Με πυρήνα από χαλύβδινη δοκό</u>

Το κυρίως φέρον στοιχείο στην περίπτωση αυτή είναι ένας κεντρικός πυρήνας από τυποποιημένης διατομής χαλύβδινη δοκό, είτε ολόσωμος (συνήθως διατομής Ι ή Η) είτε συναρμολογημένος από δύο ή περισσότερες δοκούς για να λάβει το επιθυμητό σχήμα (χαρακτηριστικός ο συνδυασμός δύο δοκών διατομής Π σε περιπτώσεις αγκυρωμένων πασσάλων για να διέλθει μεταξύ των δοκών η κεφαλή του αγκυρίου. Σαν υλικό πληρώσεως χρησιμοποιείται σκυρόδεμα το οποίο χυτεύεται γύρω από τον πυρήνα.

2) Με κυλινδρικό περίβλημα και υλικό πληρώσεως

Ο πάσσαλος αποτελείται από ένα κυλινδρικό περίβλημα (χιτώνιο) από χαλύβδινα ελάσματα το οποίο αποτελεί και το κύριο στοιχείο του πασσάλου, τουλάχιστον μέχρι την στατική σταθεροποίησή του. Ο κύλινδρος πληρούται με σκυρόδεμα, συνήθως μετά την τοποθέτηση του περιβλήματος εντός του εδάφους.

3) Έγχυτοι με κλωβό οπλισμού

Η κατασκευή αυτή εφαρμόζεται σε εγχύτους πασσάλους, συνήθως μεγάλης διαμέτρου. Μέσα στον αυλό του φρέατος που έχει διανοιχθεί τοποθετείται προκατασκευασμένος κλωβός από τυποποιημένες ράβδους χάλυβος οπλισμού, καταλλήλου διαστασιολογήσεως και εν συνεχεία χυτεύεται στο φρέαρ σκυρόδεμα καταλλήλων χαρακτηριστικών.

<u>δ) Ταξινόμηση αναλόγως του τρόπου παραλαβής του</u> φορτίου

Μπορούν να διακριθούν τρεις μέθοδοι παραλαβής του κατακορύφου λειτουργικού φορτίου του πασσάλου από τον κορμό του πασσάλου.(Σx.1)

<u>1) Από την αιχμή του πασσάλου</u>

Στην περίπτωση αυτή το λειτουργικό φορτίο υπολογίζεται να φέρεται εξ ολοκλήρου από την αιχμή του πασσάλου η οποία, δια της ενεργού διατομής της συμπεριφέρεται σαν ένα συμβατικό πέδιλο φορτίζοντας το υποκείμενο εδαφικό στρώμα σε θλίψη. (πάσσαλος αιχμής)

2) Από την περιβάλλουσα επιφάνεια του πασσάλου

Στην περίπτωση αυτή υπολογίζεται ο πάσσαλος έτσι ώστε το σύνολο του λειτουργικού του φορτίου να παραλαμβάνεται υπό μορφή διατμητικής τάσεως (τριβής ή συναφείας) μεταξύ της παραπλεύρου επιφανείας του και των στρωμάτων δια των οποίων διέρχεται ενώ η λειτουργία της αιχμής σε θλίψη υπολογιστικά αμελείται. (πάσσαλος τριβής)

3) Από συνδυασμό της θλιπτικής φορτίσεως της αιχμής και της διατμητικής φορτίσεως της παραπλεύρου επιφανείας. (πάσσαλος αιχμής τριβής)

Στην περίπτωση των πασσάλων που φορτίζονται οριζοντίως λόγω ωθήσεως γαιών η παραλαβή του λειτουργικού φορτίου γίνεται από το σώμα του πασσάλου το οποίο παραμορφώνεται σε κάμψη, ενώ ενισχυτική διάταξη (η οποία κατατείνει σε μείωση του αριθμού ή την ελάττωση των διατάξεων των χρησιμοποιουμένων πασσάλων) αποτελεί η χρήση αγκυρίων χωρίς αυτό να μεταβάλλει το γεγονός ότι η πρωτεύουσα παραμόρφωση του πασσάλου είναι καμπτική.

Β.Πασσαλομάδες

Η πασσαλομάδα είναι ένα σύστημα πασσάλων, οι οποίοι είναι δυνατόν να ανήκουν σε οιαδήποτε από τις προηγουμένως αναφερθείσες ταξινομικές κατηγορίες, το οποίο φέρει μία συνδετήριο διάταξη (συνήθως πλάκα από οπλισμένο σκυρόδεμα) η οποία συνδέει τις κεφαλές των μεμονωμένων πασσάλων του συστήματος με αποτέλεσμα το φορτίο το οποίο επιδρά στο σύνδεσμο αυτό να κατανέμεται στο σύνολο των πασσάλων οι οποίοι, με τον τρόπον αυτόν, συλλειτουργούν. Η διάταξη των πασσάλων στην πασσαλομάδα καθώς και η αραίωσή τους είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων, αλλά η κυριαρχούσα παράμετρος είναι αυτή της κατανομής του φορτίου σε πλείονες του ενός φορείς (πασσάλους) με ευνοϊκά αποτελέσματα όσον αφορά την φέρουσα ικανότητα και αναμενομένη υποχώρηση των πασσάλων.

Εν γένει η συμπεριφορά της πασσαλομάδος είναι διαφορετική από τη συμπεριφορά ενός (θεωρητικά) μεμονωμένου πασσάλου ισοδυνάμου φερούσης ικανότητος, ιδίως όσον αφορά την αναμενομένη καθίζηση και εκτροπή από την καθετότητα υπό πλευρική φόρτιση.



Σχ. 1 Κατηγορίες και χρήσεις πασσάλων και πασσαλομάδων (Barnes, 1995)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Βασική θεωρία υπολογισμού Πασσάλων και Πασσαλομάδων και συμβατική επίλυση του προβλήματος της εγκαρσίας φορτίσεως μεμονωμένου πασσάλου και ομάδος.

1.1 Σχεδιασμός πασσάλων και πασσαλομάδων

Η μεθοδολογία προσεγγίσεως του υπολογισμού της φερούσης ικανότητος, αναμενομένης καθιζήσεως και διαστασιολογήσεως των πασσάλων έχει επαρκή θεωρητική θεμελίωση, αλλά υπεισέρχονται κατά την κατασκευαστική εφαρμογή τόσοι πολλοί αστάθμητοι παράγοντες που η εμπειρική προσέγγιση για τη ρύθμιση των παραμέτρων είναι απαραίτητη. Το πρόβλημα των εμπειρικών συντελεστών είναι ακόμη εντονώτερο στην περίπτωση του σχεδιασμού πασσαλομάδων ή την καταπόνηση των πασσάλων σε πλευρική φόρτιση.

Λεπτομερής ανάλυση της θεωρητικής προσεγγίσεως της αναλύσεως πασσάλων και πασσαλομάδων θα δοθεί στα επόμενα. Σε γενικές γραμμές ο σχεδιασμός περιλαμβάνει μία προκαταρκτική διαστασιολόγηση των πασσάλων προκειμένου αυτοί να φέρουν το επιθυμητό ανά πάσσαλο φορτίο υπό τις δεδομένες εδαφικές συνθήκες. Ιδανικά, βάσει αυτής της διαστασιολογήσεως κατασκευάζονται μερικοί πάσσαλοι επί τόπου και φορτίζονται δοκιμαστικά. Αν αυτό δεν είναι δυνατόν να γίνει, είναι αναγκαίο ο σχεδιασμός να γίνει επί τη βάσει συντηρητικών παραδοχών όσον αφορά την αντοχή του εδάφους και να χρησιμοποιηθούν μεγάλοι συντελεστές ασφαλείας. στην ανάλυση που θα ακολουθήσει εξετάζομε κυρίως τον σχεδιασμό εγχύτων πασσάλων μεγάλης διαμέτρου (φρεατοπασσάλων) και ομάδων παρομοίων πασσάλων.

<u>1.1.1 Φέρουσα ικανότητα μεμονωμένων πασσάλων</u>

Η ικανοποίηση των συνθηκών ισορροπίας κατά τον κατακόρυφο άξονα για ένα πάσσαλο απαιτεί το κατακόρυφο φορτίο το εφαρμοζόμενο επί του πασσάλου να αντισταθμίζεται από δύο ανθιστάμενες δυνάμεις, δηλ. την αντίδραση λόγω διατμητικών τάσεων που αναπτύσσονται κατά την παράπλευρη επιφάνεια του πασσάλου και την επίδραση λόγω ορθών τάσεων επί της βάσεως του πασσάλου.

Στο όριο αστοχίας, οπότε ενεργοποιούνται οι μέγιστες τιμές των παραπάνω δυνάμεων ισχύει η σχέση.

Qu=Qs+ Qb (1.1.1.1) о́поυ

Qu: το μέγιστο φορτίο το φερόμενο από τον πάσσαλο

Q_s: Η μεγίστη δύναμη λόγω τριβής της παραπλεύρου επιφανείας και

Q_b: Η μεγίστη δύναμη η δρώσα επί της αιχμής του πασσάλου.

Ο παράγων Q_s μπορεί να υπολογισθεί σαν το άθροισμα των επί μέρους αντιστάσεων λόγω διατμητικών τάσεων, ανά στρώμα διατρηθέντος εδάφους δια του οποίου διέρχεται ο πάσσαλος, άρα θα είναι:

για αργιλλικά στρώματα $\mathbf{Q}_{s} = \sum_{l=0}^{L} c_{a} \pi dl$ (1.1.1.2)

για αμμώδη $\sum_{l=0}^{L} f_s \pi dl$ (1.1.13)

όπου το ℓ το πάχος κάθε στρώματος κατά τον άξονα του πασσάλου, π=3,14, d η διάμετρος του πασσάλου c_a η μοναδιαία διατμητική τάση μεταξύ πασσάλου και εδάφους σε αργίλλους ή διεπιφανειακή συνοχή, και f_s η αντίστοιχή τάση σε άμμους ή διεπιφανειακή τριβή.

Η αντίσταση της αιχμής μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση:

Q_b=q_b·A_b (1.1.1.4) όπου:

q_b: η μοναδιαία θλιπτική τάση επί της αιχμής του πασσάλου A_b: η διατομή της αιχμής του πασσάλου.

Το μέγιστο φορτίο το μεταφερόμενο από τον πάσσαλο στο έδαφος αποτελείται από δύο παράγοντες: Το ίδιον βάρος του πασσάλου W_p , και την επιφόρτιση λόγω των φορτίων που υποστηρίζει ο πάσσαλος. Από τους δύο αυτούς παράγοντες, το ίδιον βάρος μπορεί να αμεληθεί αν χρησιμοποιηθεί η καθαρή φέρουσα ικανότης προκειμένου να υπολογισθεί η φέρουσα ικανότητα της αιχμής και το ίδιον βάρος του πασσάλου είναι περίπου το ίδιο με το βάρος του εδάφους το οποίο αφαιρέθηκε ή εκτοπίστηκε για να ανοιχθεί το φρέαρ του πασσάλου. Αν ονομάσομε το βάρος αυτό του εδάφους W_s , (οπότε $W_p \approx W_s$) η πλήρης σχέση ισορροπίας κατά τον κατακόρυφο άξονα (για κατακόρυφο πάσσαλο) κατά την αστοχία θα είναι:

 $Q_u+W_p-W_s=Q_s+Q_b$ apa

 $Q_u = Q_s + Q_b - W_p + W_s$ (1.1.1.5)

Η παραπάνω σχέση (1.1.1.5) δίδει και την τελική μεγίστη φέρουσα ικανότητα του πασσάλου.

1.1.2 Υπολογισμός εγχύτων πασσάλων σε αργιλλικά εδάφη

Όπως προαναφέρθηκε διακρίνομε δύο παράγοντες φερούσης ικανότητος. Διατμητική φόρτιση στην παράπλευρο επιφάνεια; του πασσάλου και θλιπτική φόρτιση επί της αιχμής.

<u>a) Ανάλυση της περιμετρικής φορτίσεως στην παράπλευρη επιφάνεια</u> του πασσάλου

Η διατμητική τάση στην παράπλευρη επιφάνεια ενός εγχύτου πασσάλου αναπτύσσεται λόγω προσφύσεως του υλικού της επιφανείας αυτής, προς το εδαφικό υλικό, εφ' όσον το τελευταίο είναι αργιλλικής φύσεως. Αυτή η διατμητική τάση αναπτύσσεται σε μία σχετικώς αβαθή ζώνη εκτεινομένη ακτινωτά περί τον πάσσαλο. Σύμφωνα με τον Skempton η συνάφεια (adhesion) C_a θα έχει πάντοτε μικρότερη τιμή από την αρχική αστράγγιστη συνοχή C_u εξ αιτίας δύο παραγόντων:

1) Της αναζυμώσεως την οποία υφίσταται το εν επαφή προς τον πάσσαλο στρώμα εδάφους λόγω της καταπονήσεως του κατά τη διάτρηση του αυλού του πασσάλου. 2) Της εκτονώσεως των τάσεων στο εδαφικό στρώμα λόγω μεταναστεύοντος ύδατος από το έδαφος προς το φρέαρ του πασσάλου και, κατά την έγχυση, από το σκυρόδεμα προς το έδαφος, με αποτέλεσμα τη χαλάρωση της συνοχής της αργίλλου. Το πρόβλημα επιτείνεται από την παρουσία υδροστατικής στάθμης εντός του φρέατος, πριν την σκυροδέτηση, άρα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την εφαρμοσθείσα τεχνική διατρήσεως και το διάστημα που παρήλθε μεταξύ διατρήσεως και χυτεύσεως.

Ο Skempton προτείνει τον υπολογισμό της προσφύσεως C_a από την τιμή της C_u με τη χρήση ενός μειωτικού συντελεστού a τον οποίο αποκαλεί συντελεστή προσφύσεως. Άρα, κατά τα ανωτέρω C_a =a· C_u .

Ο Vesic (1977) προτείνει για το a την τιμή a=1,0 εφ' όσον πρόκειται για μαλακές και συμπαγείς αργίλλους, ο Skempton (1959) μέτρησε για την άργιλο του Λονδίνου τιμές κυμαινόμενες μεταξύ 0,3 και 0,6 βάσει δοκιμαστικών φορτίσεων και προτείνει την τιμή 0,45 για πασσάλους που εκτείνονται πέραν του ισχυρώς διαβρωμένου ανωτέρου ορίζοντος της αργίλλου του Λονδίνου, και την τιμήν a=0,3 για πασσάλους καθ' ολοκληρίαν εντός της ανωτέρας στρώσεως, ιδίως εάν η χύτευση δεν είναι άμεση.

Ο Tomlinson (1987)προτείνει την περαιτέρω μείωση κατά 20% της τιμής συναφείας λόγω παρουσίας μπετονίτου στο διάτρημα ο οποίος δεν έχει εκτοπισθεί πλήρως από το σκυρόδεμα κατά τη χύτευση και παρά τη δόνηση. Οι Skempton (1959) και Vesic (1977) προτείνουν ως μεγίστη τιμή της συναφείας να λαμβάνεται η $C_a=100$ kN/m² και οι Weltman και Healy (1978) προτείνουν την τιμή $C_a=70$ kN/m² για παγετωνικές αργίλλους.

Βάσει των ανωτέρω, η φέρουσα ικανότητα του πασσάλου λόγω διατμητικής αντοχής του εδάφους στην περιβάλλουσα τον πάσσαλο ζώνη μπορεί να υπολογισθεί από την σχέση

$$\mathbf{Q}_{\mathbf{s}} = \sum_{l=0}^{L} \boldsymbol{a} \cdot \boldsymbol{C}_{\boldsymbol{u}} \cdot \boldsymbol{\pi} \cdot \boldsymbol{d} \cdot \boldsymbol{l} \quad (1.1.2.1)$$

όπου C_u η αστράγγιστος συνοχή του αργιλλικού εδάφους και **a** ένας μειωτικός συντελεστής ο οποίος συμπεριλαμβάνει όλες τις ανωτέρω αιτίες ελαττώσεως της τιμής συνοχής και που η συνήθης τιμή του μπορεί να επιλεγεί μεταξύ 0,3 και 0,6.

β) Ανάλυση της αντιστάσεως αιχμής του πασσάλου

Ο Barnes προτείνει για τον υπολογισμό της αντιστάσεως αιχμής του εγχύτου πασσάλου σε άργιλλο τη σχέση:

$$q_b = N_c w C_{ub} (1.1.2.2)$$

όπου $\mathbf{q}_{\mathbf{b}}$ η αντίσταση αιχμής. Το $\mathbf{N}_{\mathbf{c}}$ είναι ένας συντελεστής ο οποίος για αστράγγιστο κατάσταση εδάφους σε μία βαθεία θεμελίωση έχει υπολογισθεί θεωρητικά από τους Whitaker και Cooke (1966) να έχει τιμή μεταξύ **8,0** και **9,8**. Σε ευρεία κλίμακα χρησιμοποιείται η προτεινομένη από τον Skempton τιμή $\mathbf{N}_{\mathbf{c}}$ =**9,0**. Η ποσότητα $\mathbf{C}_{\mathbf{ub}}$ είναι η

αστράγγιστη συνοχή στη βάση του πασσάλου, υπολογιζομένη από τη μέση γραμμή του διαγράμματος διατμητικής αντοχής/βάθους. Η λήψις της τιμής του C_{ub} απ' ευθείας από τριαξονική δοκιμή δεν συνιστάται λόγω της αναξιοπιστίας των αποτελεσμάτων όταν η άργιλλος του δοκιμίου παρουσιάζει σχισμό. Ως εκ τούτου, η προκύπτουσα από το σύνολο των δοκιμών μέση τιμή δεν αντιπροσωπεύει τη μακροσκοπική συμπεριφορά, ως προς την αντοχή, της αργίλλου επί της οποίας εδράζεται η αιχμή του πασσάλου.

Προτείνεται, επομένως, η χρήση του διορθωτικού συντελεστού **w** προς μετατροπή των εργαστηριακώς μετρηθεισών τιμών, για τον οποίο ο Skempton (1966) δίνει τις τιμές:

w=1,0 για άργιλλο χωρίς σχισμό

w=0,8 για άργιλλο με σχισμό και για διάμετρο πασσάλου d<0,9m

w=0,75 για άργιλλο με σχισμό και για διάμετρο πασσάλου d>0,9m

Εν τούτοις, ο Barnes παρατηρεί ότι αν αντί των συνήθων δοκιμίων των 38mm έχουν χρησιμοποιηθεί δοκίμια διαμέτρου 100mm τότε τα αποτελέσματα είναι αντιπροσωπευτικότερα και ενδεχομένως να μην είναι αναγκαία η χρήση του συντελεστού w.

1.1.3 Υπολογισμός εγχύτου πασσάλου σε αμμώδη εδάφη

Η γενική παρατήρηση η οποία πρέπει να προηγηθεί της αναλύσεως είναι κατά τον Barnes ότι η διαδικασία διανοίξεως του φρέατος σε αμμώδη εδάφη χαλαρώνει τα τοιχώματα του αυλού του πασσάλου και ελαττώνει τις οριζόντιες τάσεις του εδάφους και επομένως ένας έγχυτος πάσσαλος σε άμμο αναμένεται να έχει ελαττωμένη φέρουσα ικανότητα, και η ελάττωση αυτή εξαρτάται σημαντικά από την εφαρμοσθείσα μέθοδο διατρήσεως. Οι έγχυτοι πάσσαλοι από σκυρόδεμα αναπτύσσουν κατ' αρχάς μία τραχεία επιφάνεια, εν τούτοις η χαλάρωση της άμμου εξουδετερώνει αυτό το αποτέλεσμα.

Όσον αφορά την καθ' εαυτήν αναλυτική προσέγγιση του προβλήματος της φερούσης ικανότητος ο μεν Poulos(1980) συνιστά να χρησιμοποιείται η μεθοδολογία των εμπηγνυομένων πασσάλων σε άμμο αλλά με γωνία τριβής καταλλήλως μειουμένη, ο δε Meyerhof (1976) θεωρεί ότι, σε πρώτη προσέγγιση, πρέπει να λαμβάνεται ως αντίσταση αιχμής το 1/3 αυτής του εμπηγνυομένου πασσάλου και ως αντίσταση παραπλεύρου επιφανείας, το ήμισυ της αντιστοίχου του εμπηγνυομένου. Βάσει των ανωτέρω ακολουθεί η ανάλυση της φερούσης ικανότητος για εμπηγνυομένους πασσάλους σε άμμο.

<u>1.1.4 Ανάλυση φερούσης ικανότητος εμπηγνυομένου</u> <u>πασσάλου σε αμμώδη εδάφη.</u>

Εκ των πραγμάτων, η έμπηξη πασσάλων σε άμμο προκαλεί τοπική συμπύκνωση της άμμου με αποτέλεσμα την αύξηση της πυκνότητος της γωνίας εσωτερικής τριβής και την αύξηση των πλευρικών τάσεων την περιφέρεια του πασσάλου. Αν η άμμος είναι πολύ πυκνή μπορεί η έμπηξη του πασσάλου να μην οδηγήσει σε συμπύκνωση του υλικού αλλά η αρνητική πίεση πόρων να αυξήσει την αντίσταση στη διείσδυση του πασσάλου έως σημείου βλάβης. Προσοχή πρέπει να δίδεται στο γεγονός ότι η πίεση πόρων μπορεί συν τω χρόνω να εκτονωθεί, ελαττώνοντας τη φέρουσα ικανότητα του πασσάλου δε επίπεδα που δεν ανεμένοντο από τις επιπτώσεις που δημιούργησε η δυσχέρεια εμπήξεως (χαλάρωση).

Κατά τον Broms (1966) η εδαφική ζώνη που επηρεάζεται κατά την έμπηξη εκτείνεται σε 4-6 φορές τη διάμετρο του πασσάλου περί τον άξονά του και 3-5 φορές υπό την αιχμή. Όπως είναι φυσικό η παραπάνω παρατήρηση υπεισέρχεται στην αλληλεπίδραση των πασσάλων μίας πασσαλομάδος στην οποία, συνήθως, η αραίωση των πασσάλων είναι 2-3 φορές τη διάμετρό τους. Επίσης, η ορυκτολογική σύσταση της άμμου παίζει ρόλο: Χαλαζιακοί κόκκοι κατά κανόνα δεν καταπονούνται από την έμπηξη. Κόκκοι από ασθενέστερα ορυκτά θραύονται και δίνουν χαμηλότερη γωνία τριβής και μεγαλύτερες υποχωρήσεις μετά την ολοκλήρωση της τοποθετήσεως και τη φόρτιση του πασσάλου.

Λόγω των ανωτέρω, η αναπτυσσόμενη αναλυτική μέθοδος πρέπει να αντιμετωπισθεί ως προσεγγιστική και συνιστάται η δοκιμαστική φόρτιση των πασσάλων επί τόπου.

α) Υπολογισμός παραπλεύρων τριβών

Κατά τον Barnes θεωρώντας τις δρώσες τάσεις επί της διεπιφανείας πασσάλου εδάφους σε βάθος έστω **z** υπό την επιφάνεια, η τριβή ανά μονάδα επιφανείας δίνεται από τη σχέση:

f_s=K_sσ_v'tanδ (1.1.3.1) όπου

fs: η μοναδιαία τριβή

Ks: συντελεστής πλευρικών τάσεων

σ': δρώσα γαιοστατική τάση σε βάθος z και

δ := γωνία τριβής μεταξύ εδάφους και πασσάλου.

Είναι σύνηθες να υπολογίζεται η παράμετρος K_s·tanδ βάσει νομογραφημάτων τα οποία την σχετίζουν με την αρχική γωνία τριβής του εδάφους φ'. Τα νομογραφήματα αυτά κατά τον Poulos λαμβάνουν την τιμή δ =0,75 ϕ ' και τις τιμές του K_s που έχει δώσει ο Meyerhof. Οι τιμές του f_s μειώνονται σε συνάρτηση με το βάθος και γι' αυτό καλό είναι να επιλέγεται ένα κρίσιμο βάθος z_c σύμφωνα με τον πίνακα και το νομογράφημα που παραθέτει ο Poulos(1979).Το ολικό φορτίο τριβής επί του πασσάλου προκύπτει ως άθροισμα των επί μέρους ανά εδαφική ζώνη,

$$Q_{o\lambda} = \sum_{i=1}^{\nu} Q_i$$
 (1.1.3.4) με

$Q_i = f_{si} \cdot l_i \cdot \pi \cdot d$

β. Υπολογισμός της αντιστάσεως αιχμής

Ο Barnes συνιστά τη χρήση της σχέσεως **q**_b=**N**_q·σ_ν' όπου **q**_b:η αντίσταση αιχμής του πασσάλου

σν':η δρώσα γεωστατική τάση στο επίπεδο της αιχμής

 $\mathbf{N}_{\mathbf{q}}$: suntelesting befound than its provides that the set of the se

Για τον υπολογισμό του N_q χρησιμοποιείται συνήθως το νομογράφημα του Berezantsev (1961) το οποίο σχετίζει την τιμή του N_q με την αρχική τιμή της γωνίας τριβής **φ**'.

1.1.4.1 Τελικός υπολογισμός εγχύτου πασσάλου σε άμμο

Σύμφωνα με τις συστάσεις του Meyerhof η τιμή της αντιστάσεως λόγω τριβής όπως υπολογίσθηκε πρέπει να μειωθεί στο ήμισυ της υπολογιζομένης για εμπηγνυόμενο πάσσαλο και η τιμή της αντιστάσεως αιχμής να μειωθεί στο 1/3. Άρα:

f_s=0,5K_s'σ_ν' tanδ (1.1.4.1) και **q_b=(1/3)N_q·σ_ν'** (1.1.4.2)

1.1.5 Επιβαλλόμενοι συντελεστές ασφαλείας

Το κυρίαρχο κριτήριο για την αξιολόγηση της λειτουργικότητος ενός πασσάλου είναι η αναπτυσσόμενη καθίζηση υπό λειτουργικό φορτίο να μην υπερβαίνει ένα επιτρεπτό όριο. Ο Tomlinson (1987) διετύπωσε, κατά την εμπειρία του την άποψη ότι για πασσάλους μέχρι 600mm διαμέτρου, ένας συντελεστής ασφαλείας $S_f=2,5$ οδηγεί σε καθίζηση, άρα

$$\mathbf{S}_{\mathbf{f}} = \frac{\mu \epsilon \gamma \iota \sigma \tau o \phi o \rho \tau \iota o}{\lambda \epsilon \iota \tau o v \rho \gamma \iota \kappa o \phi o \rho \tau \iota o} = 2, 5.$$

Σε πασσάλους διαμέτρου μεγαλυτέρας των 600mm τα πράγματα, σε αργιλλικά εδάφη, περιπλέκονται διότι η αντίσταση τριβής της παραπλεύρου επιφανείας και η αντίσταση αιχμής κινητοποιούνται για διαφορετικές τιμές καθιζήσεως. Κατά προσέγγιση, η αντίσταση τριβής ενεργοποιείται εξ ολοκλήρου για καθίζηση κεφαλής ίση με 1-2% της διαμέτρου του πασσάλου, ενώ η πλήρης φέρουσα ικανότητα της αιχμής ενεργοποιείται για καθίζηση ίση με το 10-20% της διαμέτρου (σχ.10.13).

Είναι εμφανές ότι για συνήθεις τιμές διαμέτρων και επιτρεπτών καθιζήσεων υπό λειτουργικό φορτίο, ενεργοποιείται ένα μεγάλο ποσοστό της αντιστάσεως τριβής αλλά μέρος μόνο της αντιστάσεως αιχμής συμμετέχει. άρα η λογική προσέγγιση (Barnes) είναι να εφαρμοσθούν διαφορετικοί συντελεστές ασφαλείας για τις δύο συνιστώσες της φορτίσεως, ή, όπως αναφέρονται, μερικοί συντελεστές φορτίσεως. Ο Burland (1966) ενδεικτικά αναφέρει ότι για την Άργιλλο του Λονδίνου προκειμένου να εξασφαλίσουμε ένα ολικό συντελεστή ασφαλείας 2, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε την τιμή 1 για περιμετρική φόρτιση και 3 για την αιχμή ώστε να είναι το μικρότερο υπολογιζόμενο μεταξύ των

$$\mathbf{Q_a} = \frac{Q_{ult}}{2} = \frac{Q_s + Q_b}{2} \quad (1.1.5.1) \dot{\eta}$$
$$\mathbf{Q_a} = \frac{Q_s}{1} + \frac{Q_b}{3} \quad (1.1.5.2)$$

Ο Burland διατείνεται ότι η πρώτη σχέση καλύπτει ικανοποιητικά τους ευθυγράμμους πασσάλους ενώ η δεύτερη αυτούς που έχουν διευρυμένη αιχμή. Αν υπάρχουν αμφιβολίες για την κατάσταση του εδάφους προτείνεται η τιμή S_f=2,5 ή οι μερικοί συντελεστές 1,5 και 3,5 για τον κορμό και την αιχμή του πασσάλου αντιστοίχως.

<u>1.1.6 Πασσαλομάδες</u>

Πασσαλομάδα χαρακτηρίζεται μία διάταξη πλείονος του ενός πασσάλων, σε συγκεκριμένη γεωμετρική διάταξη. 01 οποίοι συνεργάζονται στην παραλαβή του λειτουργικού φορτίου μέσω της συνδέσεώς τους με κάποιο τύπο συνδετηρίου διατάξεως των κεφαλών τους. Η ειδοποιός διαφορά στη σχεδιαστική ανάλυση μεταξύ απλών πασσάλων και πασσαλομάδων εκπορεύεται από το γεγονός ότι η διαταρασσομένη ζώνη του εδάφους εντός της οποίας μεταφέρονται οι καταπονήσεις από το φορτίο είναι πολύ ευρύτερη στην περίπτωση της ομάδος και αυτό έχει συνέπειες στον συσχετισμό της συμπεριφοράς κάθε μέλους της ομάδος με την συμπεριφορά του συνόλου. Η θετική διαφοροποίηση της ομάδος έγκειται στο ότι η επίδραση της διαδικασίας κατασκευής στη συμπεριφορά της ομάδος είναι πολύ λιγότερο έντονη σε σχέση με αυτήν του μεμονωμένου πασσάλου. Έτσι μειώνεται η πιθανότητα μεταφοράς του φορτίου της ομάδος σε μία διατεταραγμένη εδαφική ζώνη, με ευνοϊκά αποτελέσματα ως προς τη φέρουσα ικανότητα και την καθίζηση.

Οι αρνητικές επιπτώσεις έγκεινται πρωτίστως στο ότι n διαφοροποίηση της συμπεριφοράς της ομάδος σημαίνει ότι αποτελέσματα δοκιμών επί τόπου σε μεμονωμένους πασσάλους δεν μπορούν εκ του ασφαλούς να χρησιμοποιηθούν για την πρόγνωση της συμπεριφοράς της ομάδος, ιδίως σε θέματα καθιζήσεων, όπου η μεγάλη επιφάνεια την οποία καλύπτει η ομάδα μπορεί να αποκαλύψει ένα ασθενές στρώμα το οποίο ενδεχομένως να «διαφεύγει» από τη διαδικασία δοκιμής ενός μεμονωμένου πασσάλου.

<u>1.1.7 Αραίωση πασσάλων στην πασσαλομάδα</u>

Από πλευράς γεωτεχνικών και στατικών συνεπειών ο ειδοποιός παράγων ο οποίος καθορίζει την συμπεριφορά της πασσαλομάδος είναι η αραίωση των πασσάλων. Κατ' ουσίαν η αραίωση προσδιορίζει την συμπεριφορά της κεφαλής της ομάδος σε κάμψη και έχει άμεση επίδραση στην κατανομή του λειτουργικού φορτίου ανά πάσσαλο της ομάδος και την ανάπτυξη δευτερογενών καταπονήσεων μετά την φόρτιση όπως κάμψη μεμονωμένων πασσάλων, εκκεντρότητα του φορτίου αιχμής κ.λ.π.

Επίσης η αραίωση ρυθμίζει τον βαθμό διαταραχής της εδαφικής ζώνης μεταξύ των πασσάλων της ομάδος, την ανάπτυξη πιέσεως πόρων και διογκώσεως του εδάφους μεταξύ των πασσάλων και υπό την κεφαλή. Η συνήθως χρησιμοποιουμένη αραίωση σε τετραγωνικής διατάξεως ομάδες είναι, υπολογιζομένη από κέντρου εις κέντρον πασσάλου, τρεις φορές η διάμετρος για εμπηγνυομένους πασσάλους και δύο για εγχύτους, ενώ σε πασσάλους με διευρυμένη αιχμή ο κανόνας είναι η αραίωση να είναι ανώτερη του διπλασίου της διαμέτρου της αιχμής.

<u>1.1.8 Κατανομή του φορτίου σε πασσαλομάδα</u>

Η δυσκαμψία της κεφαλής της ομάδος είναι ο παράγων ο οποίος προσδιορίζει την συνεργασία και την επιμέρους κατανομή του φορτίου, ανά πάσσαλο. Μία εύκαμπτη κεφαλή, φορτιζομένη ομογενώς, παρέχει ισόποσο σχεδόν επιμερισμό του λειτουργικού φορτίου, όπως στην περίπτωση πασσάλων που τοποθετούνται υπό επιχώματα. Εν τούτοις, οι διαφορετικές συνθήκες του εδάφους μπορούν να οδηγήσουν σε διαφορικές καθιζήσεις που λαμβάνουν γεωμετρία καμπυλών με τα κοίλα προς τα άνω ή προς τα κάτω, και οι οποίες είναι απαράδεκτες για ωρισμένους τύπους κατασκευών. Η δύσκαμπτος κεφαλή παρέχει την δυνατότητα ομογενοποιήσεως καθιζήσεως ομάδος της της διαφοροποιώντας τις κατακόρυφες φορτίσεις ανά πάσσαλο.

Ο Whitaker (1957) απέδειξε με την χρήση μοντέλου πασσαλομάδος υπό κλίμακα, σε αργιλλικό έδαφος, ότι για τις συνήθεις τιμές αραιώσεως, δηλαδή τιμές μικρότερες των τεσσάρων διαμέτρων, οι εξωτερικοί πάσσαλοι της ομάδος εφορτίζοντο περισσότερο από τους εσωτερικούς.

Ο Vesic (1969) έδειξε ότι αντιστρόφως, σε άμμο, με δύσκαμπτη εσχάρα, οι κεντρικοί πάσσαλοι της ομάδος εφορτίζοντο περισσότερο και οι ακραίοι λιγότερο.

1.1.9 Συντελεστής αποδόσεως πασσαλομάδος

Σε συνθήκες αστοχίας, η φέρουσα ικανότητα της ομάδος διαφέρει από το άθροισμα των φερουσών ικανοτήτων των μεμονωμένων πασσάλων. Η διαφορά αυτή αποδίδεται από ένα συντελεστή αποδόσεως (ή συνεργασίας) ο οποίος ορίζεται ως εξής:

η = φορτίο ανά πάσσαλο κατά την αστοχία της ομάδος φορτίο αστοχίας μεμονωμένο υ πασσάλου

Ο συντελεστής αυτός λαμβάνει τιμές μεγαλύτερες της μονάδος σε χαλαρές ή μέσης πυκνότητος άμμους και για εμπηγνυομένους πασσάλους. Σε πυκνής αποθέσεως άμμους είναι απίθανο η τιμή να περάσει την μονάδα (1) λόγω του ότι η επερχομένη συμπύκνωση κατά την έμπηξη είναι μικρότερη. Πάσα διαταραχή του εδαφικού στρώματος σε πυκνές άμμους μειώνει την τιμή του συντελεστού σε τιμές μικρότερες της μονάδος.

Αντιστοίχως, σε εγχύτους πασσάλους εάν υπάρχει αλληλοεπικάλυψη των ζωνών διαταραχής κατά τη διάτρηση θα ελαττωθεί η τιμή, υπό την μονάδα. Τα πειράματα του Whitaker (1957) σε αργίλλους έδειξαν ότι μία αραίωση ίση ή μεγαλύτερη των 8 διαμέτρων παρείχε τιμή συντελεστού σχεδόν ίση με τη μονάδα. Η μείωση της τιμής αραιώσεως ελάττωνει την τιμή του συντελεστού υπό τη μονάδα αλλά όχι σημαντικά. Η μικρή ή μεγάλη αραίωση δημιουργεί δύο διαφορετικούς μηχανισμούς αστοχίας της πασσαλομάδος. Συγκεκριμένα η μεγάλη αραίωση οδηγεί σε διείσδυση των μεμονωμένων πασσάλων εντός του εδάφους.

Πυκνή διάταξη πασσάλων μικρότερη από ένα κρίσιμο σημείο της τιμής αραιώσεως, προκαλεί αστοχία του συνόλου του εδαφικού όγκου που έχει εμφυτευθεί η πασσαλομάδα ο οποίος αστοχεί και υποχωρεί κατά μήκος μίας ζώνης αστοχίας που περιβάλλει τα όρια της πασσαλομάδος. Στην περίπτωση αυτή η τιμή του συντελεστού συνεργασίας μειώνεται δραματικά. Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι ο συντελεστής μειώνεται όταν το μήκος των πασσάλων είναι μεγάλο και η ομάδα αποτελείται από πολλούς πασσάλους.

1.1.10 Υπολογισμός φερούσης ικανότητος πασσαλομάδος

Ο Barnes προτείνει η μεγίστη φέρουσα ικανότητα μίας πασσαλομάδος να λαμβάνεται ως η μικρότερη από τις δύο τιμές που λαμβάνονται ως εξής:

a) Η τιμή του αθροίσματος των τιμών μεγίστης φερούσης ικανότητος όλων των πασσάλων της ομάδος.

β) Η φέρουσα ικανότητα του όγκου του εδάφους ο οποίος οριοθετείται από την περιφέρεια των πασσάλων της ομάδος.

Για τον υπολογισμό της τιμής αυτής ο Barnes δίνει την σχέση, για ελευθέρους πασσάλους, δηλαδή για την περίπτωση που η κεφαλή της ομάδος, δεν έρχεται σε επαφή με το έδαφος ή το στρώμα εδάφους υπό την κεφαλή είναι συμπιεστό, που εμφανίζεται κατωτέρω:

$$P_{ult} = C_u N_c S_c d_c B_g L_g + 2(B_g + L_g) L_c^{(1.1.10.10)}$$

Όπου C_u N_c S_c d_c είναι η φέρουσα ικανότητα του στρώματος αργίλλου υπό την πασσαλομάδα.

Bg και Lg οι διαστάσεις της πασσαλομάδος

L το μήκος των πασσάλων

Αν η κεφαλή της ομάδος εφάπτεται με το υποκείμενο εδαφικό στρώμα και επομένως ένα μέρος του φορτίου παραλαμβάνεται από την κεφαλή, ο μηχανισμός αστοχίας είναι πάντοτε αστοχία του όγκου του εδάφους υπό την κεφαλή, ανεξαρτήτως αραιώσεως των πασσάλων της ομάδος. Ο Barnes προτείνει τότε, ή την προηγουμένη σχέση ή την

$P_{ult}=n (Q_s+Q_b) + C_{uc} N_c S_c d_c (B_cL_c-nA_p)$ (1.1.10.2)

Στην σχέση αυτή: n: ο αριθμός των πασσάλων Q_s : Το φορτίο το παραλαμβανόμενο από την μέση διατμητική τάση κατά μήκος του πασσάλου Q_b : Το φορτίο αιχμής κάθε πασσάλου C_{uc} : Η αντοχή σε διάτμηση του εδάφους στο επίπεδο της κεφαλής $N_c S_c d_c$: οι παράγοντες φερούσης ικανότητος **Bc** και **Lc**: οι διαστάσεις της κεφαλής **A**_p: η διατομή εκάστου πασσάλου

1.1.11 Λόγος καθιζήσεως πασσαλομάδος

Σύμφωνα με τον μηχανισμό καθιζήσεως ενός μεμονωμένου πασσάλου που υπέδειξε ο Cooke (1974) οι διατμητικές τάσεις μεταφέρονται από την παράπλευρη επιφάνεια του πασσάλου κατά ομοαξονικές προς τον πάσσαλο, ακτινωτά εκτεινόμενες επιφάνειες εντός του εδάφους και σταδιακά ελαττώνονται καθώς απομακρυνόμεθα από τον πάσσαλο. Η απόσταση την οποία οι διατμητικές τάσεις καθίστανται αμελητέες θεωρητικά υπολογίζεται σε n=22 διαμέτρους από το κέντρο του πασσάλου, πειραματικά σε σχιστώδη άργιλλο έχει μετρηθεί η τιμή n=10.

Σε μία πασσαλομάδα η αραίωση των πασσάλων είναι πολύ μικρότερη με αποτέλεσμα να επέρχεται μία πολύπλοκη αλληλεπίδραση μεταξύ των πασσάλων της ομάδος, με τελικό αποτέλεσμα μία επιπρόσθετη καθίζηση. Ο Poulos (1968) υπολόγισε ένα συντελεστή αλληλεπιδράσεως α_F ο οποίος ορίζεται ως εξής:

α_F= πρόσθετη καθίζηση λόγω γειτονικών πασσάλων α_F= αναμενόμενη καθίζηση υπό λειτουργικό φορτίο ενός πασσάλου

Οι τιμές του α_F δίνονται από σχετικό νομογράφημα για πασσάλους υψηλής δυσκαμψίας, άπειρο πάχος εδάφους και αστράγγιστες συνθήκες. (σχ.10.20). Οι τιμές μειώνονται για εύκαμπτους πασσάλους, πεπερασμένο πάχος εδάφους και για αύξηση του δείκτου εδάφους με το βάθος. Εν τούτοις, αυξάνονται κάπως για πασσάλους διευρυμένης αιχμής και στραγγισμένα εδάφη.

Μετά τον προσδιορισμό των συντελεστών αλληλεπιδράσεως, βάσει της αρχής της επαλληλίας μπορούμε να υπολογίζουμε την αθροιστική (ολική) καθίζηση της ομάδος και να δώσουμε έναν λόγο καθιζήσεως R_s:

Rs=<u>καθίζηση της ομάδος</u> καθίζηση μεμονωμένου πασσάλου

Η παραπάνω σχέση ισχύει όταν η ομάδα και ο πάσσαλος ελέγχονται για το ίδιο ποσοστό φορτίσεως του φορτίου αστοχίας τους και τον ίδιο συντελεστή ασφαλείας. Ο Cooke (1980) έδωσε νομογραφήματα λόγων καθιζήσεως επί τη βάσει του αριθμού των πασσάλων της ομάδος και της αραιώσεώς τους. Κατά τον ίδιο, εάν η αραίωση είναι μεγαλύτερη των δύο διαμέτρων, η τιμή του R_s είναι απίθανο να υπερβεί το 6, για παραλληλόγραμμες ομάδες, εφ' όσον η στιφρότητα του εδάφους αυξάνει με το βάθος.

Για τον υπολογισμό της καθιζήσεως ομάδος πασσάλων ο Barnes προτείνει να υποτεθεί ότι η πασσαλομάδα αντιπροσωπεύεται από μία ισοδύναμη θεμελίωση τύπου «σχεδίας» και να χρησιμοποιηθεί έτσι η συμβατική μέθοδος υπολογισμού καθιζήσεων για αργιλλικά και αμμώδη εδάφη. Η ελαστική (άμεση) καθίζηση της σχεδίας μπορεί να υπολογισθεί με την χρήση διορθωτικού συντελεστή βάθους όπως προτείνεται από τον Fox (1948), θεωρώντας ότι η «σχεδία» εδράζεται επί της επιφανείας του εδάφους. Η καθίζηση λόγω στερεοποιήσεως πρέπει να υπολογίζεται για το λειτουργικό βάθος της «σχεδίας» και για πάχος εδαφικού, συμπιεστού, στρώματος που βρίσκεται υπό το βάθος αυτό. Ο υπολογισμός του βάθους σχηματισμού της ισοδυνάμου «σχεδίας» γίνεται, κατά τον Barnes σύμφωνα αναλόγως του άν ο πάσσαλος λειτουργεί ως τριβής, αιχμής ή αιχμής-τριβής.

1.2 ΒΑΣΙΚΗ ΘΕΩΡΙΑ ΩΘΗΣΕΩΣ ΓΑΙΩΝ

Δεδομένου ότι όταν ο κορμός ενός μεμονωμένου πασσάλου ή των πασσάλων μίας πασσαλομάδος της οποίας η κεφαλή φορτίζεται οριζοντίως, όπως στην περίπτωση που μας ενδιαφέρει εδώ, αλλά και όταν δέχεται σε οποιαδήποτε θέση, εγκαρσίως του άξονα των πασσάλων, ώθηση γαιών, συμπεριφέρεται σαν ένα τμήμα τοίχου αντιστηρίξεως, εδώ παρατίθεται η θεωρία της ωθήσεως γαιών η οποία χρησιμοποιείται στον σχεδιασμό κατασκευών σταθεροποιήσεως εδαφών.

1.2.1 Εισαγωγικές έννοιες

Η ανομοιογένεια της κοκκώδους δομής των γεωυλικών προκαλεί την μη υδροστατική μεταβίβαση των κατακορύφων τάσεων που δέχονται οριζόντιες επιφάνειες εντός του εδάφους λόγω γεωστατικών τάσεων και επιφορτίσεων, προς άλλες διευθύνσεις και ειδικότερα την οριζόντια. Αν ονομάσουμε σ'_{ν} την δρώσα πρωτεύουσα τάση που ασκείται σε ένα οριζόντιο επίπεδο εντός του εδάφους και σ'_{H} την οριζόντια τάση η οποία αναπτύσσεται συνεπεία της σ'_{ν} στο ίδιο επίπεδο, τότε ορίζουμε σαν συντελεστή ωθήσεως γαιών τον λόγο K όπου:

$$\mathbf{K} = \frac{\sigma'_H}{\sigma'_{\nu}} (1.2.1.1)$$

Εάν αγνοήσουμε, προς το παρόν άλλους παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του Κ, πρωτεύουσα σημασία έχει η κρατούσα κατάσταση ισορροπίας του τμήματος του εδάφους του εν επαφή προς την σταθεροποιούσα κατασκευή. Διακρίνομε τρεις καταστάσεις:

- Ηρεμίας. Κατά την κατάσταση αυτή η εδαφική μάζα διατελεί εν στατική ισορροπία και δεν παρουσιάζει κινητικότητα οιουδήποτε τύπου. Στην περίπτωση αυτή και η κατακόρυφος και η οριζοντία τάση είναι πρωτεύουσες τάσεις. Το έδαφος δεν διατελεί σε κατάσταση αστοχίας και η αντιστοιχούσα τιμή του Κ ονομάζεται συντελεστής ωθήσεως γαιών εν ηρεμία Κ.
- 2. Ενεργητικής ωθήσεως. Κατά τη θεωρία του Rankine, υπολογίζεται η τιμή του Κ όταν έχει αναπτυχθεί διατμητική αστοχία του τμήματος του εδάφους του εν επαφή προς την διάταξη σταθεροποιήσεως (πλαστική ισορροπία). Στην περίπτωση αυτή η τιμή της κατακορύφου τάσεως θα παραμένει σταθερή και εφ' όσον είναι μεγαλύτερη θα συνιστά την μείζονα πρωτεύουσα τάση. Καθώς η διάταξη αντιστηρίξεως απομακρύνεται από την κυρίως εδαφική

μάζα και δρώσα οριζόντιο τάση επ' αυτού μειούται επέρχεται ενεργοποίηση της αντοχής του εδάφους. Όταν αυτή φθάσει την τιμή αστοχίας, η ελαχίστη αναπτυσσομένη οριζόντιος τάση συνιστά την ελάσσονα πρωτεύουσα τάση και ονομάζεται ενεργητική ώθηση P_a. Όπως φαίνεται και σε ένα κύκλο Mohr η διατμητική αστοχία θα συμβεί σε ένα επίπεδο το οποίο σχηματίζει, με το επίπεδο επί του οποίου δρα η οριζόντιος ώθηση σ'_H, γωνία θ. Κατά τη διεύθυνση αυτή θα αναπτυχθεί ένα δίκτυο επιπέδων αστοχίας σε διάτμηση, η δε γωνία θ μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση:

θ=45^o + $\frac{\varphi'}{2}$ όπου φ' η γωνία τριβής του εδάφους.

Η δρώσα ενεργός οριζόντιος τάση, δηλαδή, κατ' ουσίαν η ενεργητική ώθηση γαιών P_a, μπορεί να υπολογισθεί από τον κύκλο Mohr για μοντέλο αστοχίας Mohr-Coulomb ως η ελαχίστη τιμή της σ'_H δηλαδή

$$\mathbf{P}_{\mathbf{a}} = \boldsymbol{\sigma}'_{\mathbf{H}}$$
 και
 $\mathbf{P}_{\mathbf{a}} = \boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{v}}' \mathbf{K}_{\mathbf{a}} - \mathbf{2}\mathbf{C}' \sqrt{K_{a}} (1.2.1.2)$ όπου

$$K_{a} = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \qquad \dot{\eta}$$
$$K_{a} = tan^{2} (45^{0} - \frac{\Phi}{2})$$

Η εντατική κατάσταση που περιγράφεται από τις ανωτέρω σχέσεις περιορίζεται εντός του σφηνός που ορίζεται από το επίπεδο που δημιουργεί γωνία θ με το οριζόντιο. Η υπόλοιπη μάζα εδάφους όπισθεν του έργου αντιστηρίξεως θεωρείται από τον Rankine αδρανής και αφόρτιστη.

Γενικότερη μορφή της (3) είναι η

$$\mathbf{P}_{\mathbf{a}} = \boldsymbol{\sigma}_{\mathbf{v}}' \left(\frac{1 - \sin\varphi'}{1 + \sin\varphi'} \right) - 2\mathbf{C}' \sqrt{\frac{1 - \sin\varphi'}{1 + \sin\varphi'}} \quad (1.2.1.3)$$

3. Παθητικής ώθησεως γαιών (κατά Rankine)

Ο μηχανισμός της παθητικής ωθήσεως γαιών κατά Rankine θεωρεί ότι το έργο αντιστηρίξεως ωθείται προς την πλευρά του εδάφους που βρίσκεται όπισθέν του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η κατακόρυφη τάση να παραμείνει σταθερή, ενώ η οριζόντιος αυξάνει μέχρι το έδαφος να περιέλθει στην κατάσταση αστοχίας της πλαστικής ισορροπίας. Υπό την συνθήκη αυτήν, η τιμή της σ'_H θα υπερβαίνει αυτήν της σν' άρα η σν' θα συνιστά την ελάσσονα κυρία τάση. Ονομάζομε παθητική ώθηση γαιών την ελαχίστη τιμή της σ'Η την απαιτουμένη ώστε να επιτευχθεί αστοχία του εδάφους. Η τιμή αυτή συνιστά τη μείζονα κυρία τάση και συμβολίζεται με PP. Η εντατική κατάσταση που προαναφέρθηκε μπορεί να παρασταθεί από έναν άλλο κύκλο Mohr, από τον οποίο προκύπτει η τιμή της γωνίας θ ως προς το κατακόρυφο επίπεδο κατά την ποία θα αναπτυχθεί το σύστημα των επιπέδων αστοχίας εντός του εδάφους. (Στην πράξη, είναι περισσότερο εύχρηστη η χρήση της γωνίας 90-θ που είναι η γωνία του επιπέδου αστοχίας με το οριζόντιο επίπεδο). Από τα γεωμετρικά στοιχεία του κύκλου Mohr προκύπτει η σχέση

$$P_{P} = \sigma'_{H} (1.2.1.4) \text{ Kat}$$

$$P_{P} = \sigma_{v}' \cdot K_{p} + 2C' \sqrt{K_{P}} (1.2.1.5) \qquad \mu \varepsilon$$

$$K_{p} = \frac{1 + \sin \varphi'}{1 - \sin \varphi'} \quad \dot{\eta}$$

$$K_{p} = \tan^{2}(45^{0} + \frac{\varphi'}{2})$$

Αντιστοίχως με την περίπτωση της ενεργητικής ωθήσεως υπό εντατική κατάσταση θεωρείται ότι διατελεί ο σφην του εδάφους υπέρ το επίπεδο αστοχίας που σχηματίζει γωνία 90-θ με το οριζόντιο και η σχέση (2) μπορεί να γραφεί:

$$\boldsymbol{P}_{\boldsymbol{P}} = \boldsymbol{\sigma}_{\boldsymbol{v}} \left(\frac{1 + \sin\varphi'}{1 - \sin\varphi'} \right) + 2\boldsymbol{C}' \sqrt{\frac{1 - \sin\varphi'}{1 + \sin\varphi'}} \quad (1.2.1.6)$$

1.2.2 Κινηματικά χαρακτηριστικά των κατασκευών που υπόκεινται σε ωθήσεις γαιών

Γενικά, απαιτούνται πολύ μεγαλύτερες μετατοπίσεις προκειμένου να ενεργοποιηθεί η παθητική ώθηση γαιών εν σχέσει με την ενεργητική ώθηση. Το είδος της κατασκευής η οποία δέχεται την ώθηση γαιών είναι κρίσιμο, δεδομένου ότι η ευκαμψία ή η δυσκαμψία της επηρεάζει τις τιμές της μετατοπίσεώς της και το είδος της παραμορφώσεως το οποίο θα εκδηλωθεί. Γενικά εύκαμπτες κατασκευές, όπως πασσαλοσανίδες, τοίχοι βαρύτητος, από ξυλεία κλπ, ενδίδουν αρκετά ώστε να ενεργοποιηθεί στο έδαφος η ενεργητική ώθηση. Η πλήρης ενεργοποίηση της ενεργητικής ωθήσεως στα κατάντη μίας κατασκευής θα ενεργοποιήσει μέρος μόνον της παθητικής ωθήσεως στα ανάντη της. Αντιθέτως δύσκαμπτες κατασκευές, στις οποίες οι παραμορφώσεις είναι περιορισμένες, όπως ακρόβαθρα γεφυρών, στραγγιστήρια ομβρίων, αγκυρωμένοι τοίχοι αντιστηρίξεως κλη μπορεί να ενεργοποιήσουν τιμές ωθήσεων γαιών μεγαλύτερες της ενεργητικής και εγγύς των τιμών της καταστάσεως ηρεμίας. Όσον αφορά τη γεωμετρία της μετατοπίσεως της κατασκευής, αυτή μπορεί επίσης να επηρεάσει την κατανομή των τιμών της ωθήσεως γαιών. Τυπικές κινήσεις είναι:

- a) Περιστροφή περί την κορυφή
- β) Περιστροφή περί την αιχμή ή βάση
- γ) Ολόσωμη πλευρική μετατόπιση.

Σε ένα συμβατικό τοίχο αντιστηρίξεως η περιστροφή περί τη βάση απαιτεί πολύ μεγαλύτερες μετατοπίσεις για να ενεργοποιηθεί η πλήρης τιμή των ενεργητικών και παθητικών ωθήσεων, από ότι η περιστροφή περί την κορυφή ή η πλευρική ολίσθηση.

1.2.3 Θεωρία ωθήσεως γαιών σύμφωνα με τον Coulomb

Ο Coulomb (1776) προέτεινε μία μέθοδο αναλύσεως της ευσταθείας ενός έργου αντιστηρίξεως γαιών η οποία λαμβάνει υπ' όψιν της τους παράγοντες της αποκλίσεως της κατασκευής από την κατακόρυφο, την τριβή του εδάφους επί της κατασκευής και της επιδράσεως του ανυποστηρίκτου υπερκειμένου, κεκλιμένου πρανούς. Το μοντέλο του Coulomb εμφανίζεται στα σχετικά σχέδια και για ενεργητική και παθητική ώθηση αντιστοίχως.

a) Ενεργητική ώθηση

Η ενεργητική ώθηση δίδεται απο την σχέση

P_a: η ενεργητική ώθηση γαιών

K_a: συντελεστής ενεργητικής ωθήσεως, του οποίου η τιμή δίδεται στη συνέχεια

γ: το υγρό φαινόμενο βάρος του εδάφους

Η: το ύψος του έργου αντιστηρίξεως

Υποθέτοντας οριακή ισορροπία του υποστηριζομένου εδάφους ο Coulomb έδωσε την τιμή του ${\bf K}_{a}$

$$\mathbf{K}_{\mathbf{a}} = \frac{\frac{\sin(\alpha - \varphi)}{\sin(\alpha + \delta)}}{\sqrt{\sin(\alpha + \delta)} + \sqrt{\sin(\varphi + \delta)} \frac{\sin(\varphi - \beta)}{\sin(\varphi - \beta)}} (1.2.3.2)$$
όπου

α: η γωνία που σχηματίζει η επιφάνεια της κατασκευής με το οριζόντιο επίπεδο

δ: η γωνία που σχηματίζει η συνισταμένη των ωθήσεων και της τριβής (P_a) με την κάθετο στην επιφάνεια της κατασκευής (πρακτικά, η γωνία τριβής κατασκευής/εδάφους

φ: η γωνία τριβής του εδάφους και

β: η γωνία του υπερκειμένου ανυποστηρίκτου πρανούς με το οριζόντιο.

β) Παθητική ώθηση

Για την παθητική ώθηση ο Coulomb κατέληξε στη σχέση:

P_p: η παθητική ώθηση γαιών

K_p: ο συντελεστής παθητικής ωθήσεως

γ: το υγρό φαινόμενο βάρος του εδάφους

Η: το ελεύθερο ύψος της κατασκευής

Η τιμή του K_p δίδεται από τη σχέση

$$\mathbf{K}_{\mathbf{p}} = \frac{\frac{\sin(\alpha + \varphi)}{\sin(\alpha - \delta)}}{\sqrt{\sin(\alpha - \delta)} - \sqrt{\sin(\varphi + \delta)} \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\sin(\varphi - \beta)}} (1.2.3.4)$$

Η θεωρία του Coulomb υποθέτει ότι οι επιφάνειες αστοχίας του εδάφους είναι επίπεδες, ενώ στην πραγματικότητα καμπυλώνονται λόγω τριβής με την κατασκευή, στο κατώτερο τμήμα τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα στην περίπτωση των ενεργητικών ωθήσεων να υπάρχει μία μικρή υποτίμηση της υπολογιζομένης τιμής του K_a σε σχέση με την πραγματική, ενώ στην περίπτωση των παθητικών ωθήσεων, εάν η γωνία τριβής μεταξύ κατασκευής και εδάφους δ έχει τιμή δ>φ'/3, οδηγούμεθα σε μία σημαντική υπερεκτίμηση της τιμής του K_p . Γι αυτό το λόγο συνήθως χρησιμοποιούμε συντελεστές ωθήσεων γαιών οι οποίοι έχουν υποστεί κάποια διόρθωση αναλόγως των συνθηκών.

<u>1.2.4 Τροποποιημένη μέθοδος Rankine</u>

Οι εξισώσεις Rankine για τις ενεργητικές και παθητικές ωθήσεις γαιών, μπορούν να γραφούν με τη γενική μορφή

 P'an=Kaσ'ν-Kac C' (1.2.4.1)
 για την ενεργητική ώθηση και

 Ppn'= Kpcσ'ν-Kp C' (1.2.4.2)
 για την παθητική

Οι **P'**_{an} και **P**_{pn}' είναι οριζόντιες συνιστώσες της ωθήσεως γαιών και ισχύει ότι

Οι συντελεστές \mathbf{K}_{a} και \mathbf{K}_{p} δίδονται για τις τιμές αυτές ($\mathbf{P'}_{an}$ και $\mathbf{P}_{pn'}$), και έχουν υπολογισθεί από τους Cogout και Kerisel (1948), υποθέτοντας ότι η επιφάνεια αστοχίας είναι μία λογαριθμική έλικα. Οι τιμές των K_{a} και K_{p} δίδονται σε νομογραφήματα για κατακόρυφο τοίχο αντιστηρίξεως και οριζόντιο έδαφος στα κατάντη. Οι τιμές των συντελεστών K_{ac} και K_{pc} μπορούν να υπολογισθούν από τις σχέσεις:

$$\mathbf{K}_{ac} = 2\sqrt{K_a \left(1 - \frac{c_{w'}}{c'}\right)} \quad (1.2.4.5)$$
και
$$\mathbf{K}_{pc} = 2\sqrt{K_p \left(1 + \frac{c_{w'}}{c'}\right)} \quad (1.2.4.6)$$

με την παρατήρηση ότι ισχύουν για κοκκώδη εδάφη και υπερστερεοποιημένες αργίλλους όπου ισχύουν κρίσιμες συνθήκες και οι

δρώσες τάσεις. Η γωνία δ εξαρτάται από την τραχύτητα του τοίχου και τα χαρακτηριστικά εσωτερικής τριβής του εδάφους και συνήθως δίδεται ως ποσοστό της φ' , με $\delta \leq \varphi'$.

Για ενεργές συνθήκες η επίδραση της κατακορύφου μετατοπίσεως του εδάφους πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν μόνο εάν το έδαφος κινείται προς τα κάτω λόγω καθιζήσεων. Εάν και ο τοίχος αντιστηρίξεως καθιζάνει τότε είναι προτιμότερο να αγνοηθεί η τριβή του τοίχου.

Σε παθητικές συνθήκες, η τριβή με τον τοίχο μπορεί να ληφθεί υπ' όψιν όταν υπάρχει σχετική καθίζηση του τοίχου ως προς το έδαφος, όπως στην περίπτωση του τοίχου ενός υπογείου.

1.2.5 Επίδραση του υδροφόρου ορίζοντος

Η ύπαρξη υδροφόρου ορίζοντος εντός του υποστηριζομένου εδάφους έχει δύο επιπτώσεις:

a) Οι δρώσες κατακόρυφες τάσεις ελαττώνονται υπό την υδροστατική στάθμη με αντίστοιχη μείωση των οριζοντίων ενεργητικών και παθητικών ωθήσεων.

β) Η πίεση του ύδατος πόρων υπό τη στάθμη είναι υδροστατική και επομένως πρέπει να προστεθεί μία υδροστατική ώθηση P_w πλέον της ωθήσεως γαιών για να υπολογισθεί η ολική ώθηση.

<u>1.2.6 Αστράγγιστες συνθήκες</u>

Εάν υπάρχει άργιλλος χαμηλής διαπερατότητος, στα ανάντη της αντιστηριζούσης κατασκευής οι διατμητικές τάσεις που επάγονται από την κατακόρυφη μετατόπιση της κατασκευής προκαλούν μεταβολές της πιέσεως πόρων μέσα στην άργιλλο. Εάν η διαπερατότητα της αργίλλου είναι πολύ χαμηλή η πίεση πόρων θα εκτονωθεί με πολύ βραδύ ρυθμό και η άργιλλος θα συμπεριφερθεί σαν αστράγγιστη οπότε μπορεί να εφαρμοσθεί η θεωρία των ολικών τάσεων για τον υπολογισμό.

Εν τούτοις η εφαρμογή της παραπάνω αρχής (συνήθως για προσωρινές κατασκευές) μπορεί να φαλκιδευθεί από την ύπαρξη εντός του εδάφους δικτύου ρωγμών, εγκλεισμάτων αδροτέρας κοκκομετρίας, στρωσιγενών επιφανειών και εν γένει ενός συστήματος ασυνεχειών οι οποίες καθιστούν την ολική διαπερατότητα του σχηματισμού υψηλότερη από την ειδική διαπερατότητα του αργιλλικού υλικού που ωδήγησαν σε ταχεία εκτόνωση της πιέσεως πόρων. Στην περίπτωση αυτή, εφ όσον έχει διαπιστωθεί μία τέτοια μακροσκοπική κατάσταση, πρέπει να εφαρμοσθεί η μέθοδος υπολογισμού με τη μέθοδο δρωσών τάσεων.

Άλλοι αντιστοίχως δρώντες παράγοντες είναι η διόγκωση του υποστηριζομένου εδάφους υπό ενεργές συνθήκες ωθήσεως με αντίστοιχο αποτέλεσμα τη διεύρυνση του υπάρχοντος δικτύου ασυνεχειών (αντιστρόφως, υπό παθητική ώθηση, αναμένεται σφράγιση της κατασκευής) καθώς και ο σχηματισμός και η ανάπτυξη κατακορύφων εφελκυστικών ρωγμών στο σώμα του αντιστηριζομένου εδάφους.

<u>1.2.7 Επίδραση φορτίων ασκουμένων επί του</u> <u>αντιστηριζομένου εδάφους</u>

Τα φορτία τα οποία ασκούνται επί της ελευθέρας επιφανείας του εδάφους μπορεί να είναι δύο κατηγοριών.

α) Ομοιογενώς κατανεμημένο φορτίο

Στην περίπτωση αυτή είτε σε κατάσταση παθητικής είτε ενεργητικής ωθήσεως, οι σχέσεις που αναφέρθησαν μπορούν να χρησιμοποιηθούν με το κατακόρυφο φορτίο προσαυξημένο κατά την ομογενή επιφανειακή επιφόρτιση η σχέση γίνεται:

 $P_{an} = (\gamma_z + q) K_{ac} C_u (1.2.7.2)$

Αντιστοίχως μετατοπίζεται το επίπεδο ασκήσεως της θεωρητικής αρνητικής ωθήσεως

β) Γραμμικές φορτίσεις και σημειακές φορτίσεις

Οι φορτίσεις αυτές συνήθως δεν λαμβάνονται υπ' όψιν προς την παθητική πλευρά. Στην ενεργητική πλευρά επάγουν μία αύξηση της οριζοντίου ωθήσεως που δρα στο πίσω μέρος του έργου αντιστηρίξεως. Η θεωρία του Boussinesq δεν μπορεί να εφαρμοσθεί εδώ επειδή το έδαφος δεν είναι ελαστικό και ασυμπίεστο οι δε διορθώσεις τις οποίες πρότεινε ο Terzaghi το 1954 θεωρείται ότι παρέχουν υποτιμημένες τιμές και συνιστάται εν γένει συντηρητική προσέγγιση στην χρήση τους.

<u>1.3 Γενική θεωρία πασσάλων και πασσαλομάδων</u> υποκειμένων σε πλευρική φόρτιση

Μεμονωμένοι πάσσαλοι ή ομάδες μπορούν να καταπονηθούν υπό συνθήκες πλευρικής φορτίσεως υπό δύο μορφές ασκήσεως του οριζοντίου φορτίου.

a) Οριζόντιος φόρτιση ασκουμένη εφ' όλου ή μέρους του μήκους του κορμού του πασσάλου λόγω της εντάξεως του σε ένα σύστημα αντιστηρίξεως γαιών, δηλαδή εφ' όσον ο πάσσαλος αποτελεί φέρον τμήμα της αντιστηριζούσης κατασκευής και φορτίζεται ενεργητικά ή παθητικά σε κάποιο ποσοστό του ελευθέρου μήκους του. Τυπικό παράδειγμα της παραπάνω καταστάσεως αποτελούν οι πάσσαλοι εν επαφή ή τεμνόμενοι, συνήθως φρεατοπάσσαλοι σκυροδέματος οι οποίοι χρησιμοποιούνται ως τοίχοι αντιστηρίξεως και των οποίων η στατική ανάλυση ακολουθεί την τεχνική του υπολογισμού κατασκευών αυτού του τύπου.

β) Οριζόντιος φόρτιση ασκουμένη επί της κεφαλής του πασσάλου ή της πασσαλομάδος καθ' ην στιγμήν ο κορμός του πασσάλου είναι πλήρως εμφυτευμένος στο υποκείμενο έδαφος. Η περίπτωση αυτή αφορά πασσάλους ή πασσαλομάδες οι οποίες λειτουργούν ως συστήματα θεμελιώσεως και στους οποίους αναμένεται η ενσωματώνεται κάποια οριζοντία φόρτιση μόνιμη ή παροδική/μεταβατική η οποία προέρχεται από τις τακτικές ή έκτακτες λειτουργικές συνθήκες της κατασκευής. Τυπική περίπτωση πασσάλου ή πασσαλομάδος υποκειμένης σε παγία λειτουργική οριζόντιο ώθηση είναι η θεμελίωση μεσοβάθρου γεφύρας υποκειμένου σε ώθηση λόγω ροής ύδατος ή και λόγω στηρίξεως άκρου φέροντος τόξου ενώ στην περίπτωση του εκτάκτου μεταβατικού φορτίου που δρα οριζοντίως μπορεί να ενταχθεί η προβλεπομένη σεισμική καταπόνηση της οιασδήποτε κατασκευής η οποία θεμελιούται επί πασσάλων. Η δευτέρα περίπτωση, δηλαδή του πασσάλου ή της ομάδος πασσάλων η οποία φορτίζεται επί της κεφαλής από παροδικό ή μόνιμο οριζόντιο φορτίο είναι αυτή η οποία αφορά την εργασία αυτή και σε αυτές τις συνθήκες αναλύσεως θα προβούμε.

1.3.1 ГЕNIKA

Είναι προφανές ότι κατά την οριζόντιο άσκηση του φορτίου επί της κεφαλής πασσάλου ο οποίος έχει εμπηχθεί κατά το σύνολο του μήκους του σε υποκείμενο έδαφος, είτε αυτός φορτίζεται κατακόρυφα, είτε όχι, η εδαφική ζώνη στα κατάντη της οριζοντίου ωθήσεως φορτίζεται ενεργητικά, κατά τη γενική θεωρία ωθήσεως γαιών, ενώ η προς τα ανάντη ζώνη, παθητικά.

Κατ' ουσίαν η παραγομένη ενεργητική ώθηση είναι η ανθισταμένη δύναμη στην οριζοντία φόρτιση της κεφαλής του πασσάλου και είναι προφανές ότι, πλην των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του πασσάλου και του υλικού κατασκευής του η στρωματογραφία και οι μηχανικές ιδιότητες των στρωμάτων εμπήξεως προσδιορίζουν τις επαγόμενες τάσεις και παραμορφώσεις του πασσάλου και του εν επαφή εδάφους. Στην περίπτωση της ομάδος πασσάλων όπου το οριζόντιο φορτίο ασκείται επί της πασσαλοεσχάρας η ουσία του προβλήματος από πλευράς ωθήσεως γαιών δεν μεταβάλλεται, όμως υπεισέρχεται ο παράγων της γεωμετρικής διατάξεως των πασσάλων της ομάδος από την οποία θα εξαρτηθεί εάν η ομάδα λειτουργήσει σαν μία επαλληλία μεμονωμένων πασσάλων ή οριοθετεί ένα τέμαχος εδάφους το οποίο συμπεριφέρεται ως εδαφική μάζα ωθούσα τις γειτονικές της εδαφικές μάζες. Από τη σκοπιά αυτή προσδιορισμός ενδιαφέρον έχει 0 των οριακών γεωμετρικών (διαστάσεις χαρακτηριστικών πασσαλομάδος μεμονωμένων της πασσάλων, αραίωσή τους κλπ) και των συνθηκών κατακορύφου φορτίσεως της ομάδος ώστε αυτή να λειτουργήσει, οριακά, ως τέμαχος καθώς και τα γεωμετρικά όρια του τεμάχους αυτού. Είναι προφανές ότι η διερεύνηση αυτή είναι εφικτή μόνον εφ' όσον ληφθεί υπ' όψιν μία τυπική στρωματογραφία η οποία θα επιλεγεί ώστε να είναι κατά το μάλλον ή ήττον, αντιπροσωπευτική των στρωματογραφικών σχηματισμών στους οποίους χρησιμοποιούνται τέτοιου τύπου θεμελιώσεις.

Η διερεύνηση αυτής της παραδοχής είναι αυτή η οποία θα χρησιμοποιηθεί κατωτέρω.

1.3.2 Ανάλυση μεμονωμένου πασσάλου σε πλευρική φόρτιση

Στην παρούσα ανάλυση, θεωρούμε ότι το πλευρικό (οριζόντιο) παραλαμβάνεται από ένα τμήμα ενός κατακορύφως φορτίο τοποθετημένου εμπηγνυομένου ή εγχύτου πασσάλου, όχι το πλευρικό φορτίο το οποίο μπορεί να παραληφθεί ως αξονική συνιστώσα της φορτίσεως ενός κεκλιμένου πασσάλου. Επομένως αφορά μία πληθώρα κατασκευών, του συνήθως χρησιμοποιημένου πλην πασσάλου θεμελιώσεως και μπορεί να συμπεριλάβει ένα σύνολο φερόντων στοιχείων τα οποία είναι κατακορύφως πακτωμένα στο έδαφος όπως π.χ. βάθρα προβλητών και εξεδρών εντός της θαλάσσης, στύλους μεταφοράς καλωδίων κλπ

Πάσσαλοι τοποθετημένοι κατακόρυφα, είτε φορτίζονται με κάποιο κατακόρυφο φορτίο (εκτός του ιδίου βάρους) είτε όχι, έχουν δυνατότητα παραλαβής πλευρικού φορτίου επί του ελευθέρου τμήματός τους, καταπονούμενοι σε διάτμηση και κάμψη και μεταφέροντες την οριζοντία ώση ώστε να παραληφθεί ως ενεργητική ώθηση από το περιβάλλον έδαφος. Εάν ληφθεί υπ' όψιν η πιθανή πολυπλοκότητα της στρωματογραφίας του εδάφους εμπήξεως και η ποικιλία των πιθανών θέσεων του κέντρου ασκήσεως της πιθανής πλευρικής φορτίσεως επί του πασσάλου ελευθέρου τμήματος του εύκολα τεκυαίρεται ŋ πολυπλοκότητα του εγχειρήματος της αναλύσεως του πασσάλου, υπό τις ανωτέρω συνθήκες φορτίσεως. Η συνήθης προσέγγιση είναι η χρήση της επαλληλίας για τον υπολογισμό των τάσεων εφ' όσον συνυπάρχουν αξονικά και πλευρικά φορτία. Η ανάλυση των τάσεων στην παραπάνω περίπτωση, κατά τον Bowles, ο οποίος το 1974 παρουσίασε ένα υπολογιστικό πρόγραμμα για τον υπολογισμό των τάσεων ενός πασσάλου φορτιζομένου αξονικά και πλευρικά, απαιτεί τη χρήση υπολογιστή καθώς και τη γνώση καμπυλών μεταφοράς φορτίου οι οποίες σχεδόν

ποτέ δεν διατίθενται. Σαν συνέπεια του παραπάνω προβλήματος, η συνήθως γενομένη ανάλυση αγνοεί το κατακόρυφο φορτίο.

Στην αρχική προσέγγιση του προβλήματος από τους How (1955) Matlock και Reese (1960) και Bowles (1968) χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών (FDM) και οι Matlock και Reese (1956) χρησιμοποίησαν τη μέθοδο για να υπολογίσουν μία δέσμη αδιάστατων καμπυλών έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να εισάξει την κατάλληλη καμπύλη για ένα δεδομένο πλευρικό φορτίο και να εκτιμήσει τη μετατόπιση και τη μεγίστη καμπτική ροπή του κορμού του πασσάλου. Η αρχική μέθοδος αφορούσε ομογενές έδαφος με ενιαίο δείκτη εδάφους, αλλά το 1960 οι συγγραφείς επεξέτειναν τη μέθοδο ώστε να συμπεριλάβει ένα περιορισμένο εύρος διακυμάνσεων της τιμής του δείκτου εδάφους κατά το βάθος. Ο Bowles παρατηρεί ότι παρά το ότι η ανωτέρω μέθοδος χρησιμοποιήθηκε ευρέως στο παρελθόν, ο ίδιος δεν εισηγήθηκε τη χρήση της θεωρώντας ότι η χρήση διαρκώς εξελισσομένων υπολογιστικών προγραμμάτων και υπολογιστών ήταν προτιμότερη. Από τα ανωτέρω καθίσταται πρόδηλο ότι η προτιμητέα μέθοδος αναλύσεως είναι αυτή που εξομοιώνει τον πάσσαλο ώστε η στατική ανάλυση να μπορεί να εκτελεσθεί με τη βοήθεια αριθμητικών υπολογιστικών μεθόδων. Ακολουθεί μία παρουσίαση των κυρίων εξομοιωτικών μεθόδων.

<u>1.3.3 Αριθμητικές εξομοιώσεις του προβλήματος του</u> πλευρικώς φορτιζομένου πασσάλου.

a) Η μέθοδος πεπερασμένων διαφορών (FDM)

Κατά την αρχική της παρουσίαση από τους McClelland και Foch (1958) η μέθοδος περιελάμβανε την εξομοίωση του πασσάλου από κόμβους και ελατήρια κατά την κατακόρυφο έννοια και οριζόντιες μετατοπίσεις των κόμβων. Λόγω των συμβολισμών (Ρ και γ αντιστοίχως) η μέθοδος έγινε γνωστή σαν P-y και η έννοιά της ήταν η παραγωγή μίας καμπύλης P-y για κάθε κομβικό σημείο κατά μήκος του πασσάλου. Η μέθοδος παρουσιάζει σωρεία προβλημάτων από απλή σύγχυση όσον αφορά την έννοια του Ρ και y από τους χρήστες, έως την πρακτική αδυναμία να αναπαρασταθεί η παραμόρφωση του πασσάλου καθ' όλο το μήκος του δεδομένου ότι η εισαγωγή των τιμών Ρ και y γίνεται με βάση μία σειρά δεδομένων που αφορούν δοκιμές πασσάλων στις οποίες, κατά κανόνα, μόνον η επιφανειακή μετατόπιση του πασσάλου μπορούσε να γίνει αντιληπτή και να μετρηθεί. Ως εκ τούτου η μέθοδος μπορούσε να δώσει την καμπύλη Ρ-υ μόνο για έναν κόμβο. Έτερα προβλήματα αφορούσαν την εισαγωγή των παραμέτρων κινητικότητος της κεφαλής (ολίσθηση περιστροφή) του πασσάλου ή Ka1 ανομοιογένειες προκαλούμενες από μεταβλητότητες της διατομής του και, φυσικά, από την πολυπλοκότητα της στρωματογραφίας.

Δύο χρήσιμα συμπεράσματα για την περαιτέρω βελτίωση των εξομοιωτικών μεθόδων υπήρξαν τα παρακάτω.

- Η αραίωση των κόμβων δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα, εν γένει, εάν δεν υπερβαίνει τα 0,3m και
- 2) Ότι, παρά το γεγονός ότι μία μικρότερη αραίωση από την προαναφερθείσα δίνει γενικά καλύτερα αποτελέσματα, η κρίσιμη περιοχή, όπου μία πυκνή διάταξη κόμβων απαιτείται για μειωμένα σφάλματα, περιορίζεται στο ανώτερο 1/3 του μήκους του πασσάλου. (Bowles)

β) Η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων (FEM)

Κατά τον Bowles ο οποίος μελέτησε διεξοδικά το θέμα της συγκρίσεως διαφορετικών αριθμητικών μεθόδων, η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων παρέχει το σημαντικό πλεονέκτημα, έναντι αυτής των πεπερασμένων διαφορών, ότι το μητρώο δυσκαμψίας που παράγεται από τη μέθοδο έχει πολύ μικρότερες υπολογιστικές απαιτήσεις ακόμη και σε διπλάσιες της κρισίμου πυκνότητες καννάβου κόμβων (που θεωρεί ότι απαιτούνται για ικανοποιητική ακρίβεια). Το πλεονέκτημα αυτό δεν είναι τόσο μεγάλης κρισιμότητος σήμερα, εφ' όσον αλματωδώς έχει βελτιωθεί, η ικανότητα των υπολογιστικών συστημάτων αλλά υπάρχει μία σειρά παραμετρικών βελτιώσεων η οποία καθιστά τη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων καταλληλότερη. Αυτές συνοψίζονται στα εξής:

- Υπάρχει δυνατότητα αναλύσεως συνθέτου κινηματικής συμπεριφοράς του πασσάλου (ολίσθηση και περιστροφή).
- Η ευκολία εξομοιώσεως συνθέτων υλικών τόσο επί του πασσάλου όσο και επί του εδάφους.
- Η ευκολία μορφολογικής διαμορφώσεως ως προς τις διαστάσεις και το σχήμα των επί μέρους στοιχείων (κελίων).
- 4) Η ευκολία ορισμού και εισαγωγής στην εξομοίωση τιμών οριακών συνθηκών κινηματικών και φορτίσεως.
- 5) Η δυνατότητα της μεθόδου να αντιμετωπίζει με ομογενή μεθοδολογία προσεγγίσεως μεγάλη ποικιλία προβλημάτων από πλευράς διαστασιολογήσεως και διατάξεως των πασσάλων από διαφραγματικούς τοίχους πασσαλοσανίδων, μέχρις φρεατοπασσάλους σε τρισδιάστατες ομάδες, κεκλιμένους κλπ.
- 6) Η δυνατότητα χειρισμού αναλύσεως κατασκευών συμμείκτων με ελαστικά παρεμβύσματα μεταξύ των φερόντων στοιχείων.

1.3.4 Ομάδα πασσάλων υποκειμένη σε πλευρική φόρτιση

Η ασάφεια και η διάσταση αποτελεσμάτων μεταξύ διαφορετικών μεθόδων αναλύσεως ή θεωρητικών και πειραματικών δεδομένων η οποία εμφανίζεται στην ανάλυση μεμονωμένων πασσάλων υπό πλευρική φόρτιση, μεγεθύνεται κατά την προσέγγιση της αναλύσεως της συμπεριφοράς πασσαλοομάδος υποκειμένης σε πλευρική φόρτιση. Η απλούστερη προσέγγιση είναι αυτή της επαλληλίας της συμπεριφοράς του μεμονωμένου πασσάλου, αλλά κατ' ουσίαν γίνεται αντιληπτό, και διαισθητικά ακόμη, ότι η λύση αυτή έχει σοβαρά θεωρητικά προβλήματα και τα λίγα υπάρχοντα πειραματικά αποτελέσματα συνηγορούν σε αυτό.

Κατά τον Bowles, ο πυρήνας του προβλήματος της αναλύσεως έγκειται στον προσδιορισμό της παραμέτρου της οριζοντίου μετατοπίσεως της πασσαλομάδος. Συγκεκριμένα το ερώτημα είναι εάν η πασσαλοομάδα θα μετατοπισθεί, ως σύνολο, περισσότερο από έναν μεμονωμένο πάσσαλο με το αναλογούν του φορτίο.

Ο Bowles αναφέρει παραδείγματα, από ένα περιωρισμένο αριθμό πραγματικών μετρήσεων επί γενομένων κατασκευών, όπου ο λόγος μετατοπίσεως της πασσαλοομάδος (με 4 έως 9 πασσάλους) εν σχέσει προς τον μεμονωμένο πάσσαλο ήταν περίπου **δhg/δhp** (όπου **δhg** η μετατόπιση της ομάδος και **δhp** η μετατόπιση του πασσάλου) ήταν της τάξεως του **2:1** (οι μετατοπίσεις αναφέρονται στην εκτροπή που μετρήθηκε επί της στάθμης της επιφανείας του εδάφους). Το πρόβλημα είναι προφανές ότι διέπεται από τρεις παράγοντες (πέραν της στρωματογραφίας του υπεδάφους).

a) Η διάταξη και ο αριθμός των πασσάλων (δηλ. το σχήμα και το μέγεθος της ομάδος)

β) Η αραίωση μεταξύ των πασσάλων και η διαστασιολόγηση, των μεμονωμένων πασσάλων

γ) Η διαστασιολόγηση, μορφολογία και ελαστική συμπεριφορά της πασσαλοεσχάρας, συγκεκριμένα και πρωτίστως, εάν μεταφέρει ή όχι κατακόρυφο φορτίο στο έδαφος η ιδία, εάν είναι συμπαγής τύπου πλακός ή εσχαρωτού τύπου με διάκενα και, ιδίως, εάν έχει υπολογισθεί ως άκαμπτος ή εύκαμπτος από στατικής πλευράς.

Σύμφωνα με τον Bowles, ο κρισιμότερος παράγων σφάλματος είναι ο τελευταίος: σπανιότατα εσχάρες δηλούμενες ως άκαμπτες είναι στατικώς άκαμπτες (απαιτείται ένα πάχος 1,8-2,0m για εσχάρα από σκυρόδεμα, διαστάσεων 2×3m κατά την κάτοψη τύπου πλακός για να θεωρηθεί ως, υπολογιστικά, άκαμπτη, ενώ στην πράξη πάχη 0,6-1,0m θεωρείται ότι εξασφαλίζουν ακαμψία). Εάν η εσχάρα δεν είναι άκαμπτη, είναι προφανές ότι παραμορφώσεις της κατά το οριζόντιο επίπεδο λόγω διατμήσεως και κάμψεως θα είναι δυνατόν να μετρηθούν ως συνιστώσες της οριζοντίου μετατοπίσεως της εσχάρας συνολικά. Το σφάλμα πιθανόν να είναι μεγάλο της τάξεως του 25%, ιδίως εάν η ολική μετατόπιση είναι μικρή.
Ο Bowles αναφέρει ενδεικτικά τα αποτελέσματα των πειραμάτων τα οποία εξετελέσθησαν σε δύο περιπτώσεις με τη χρήση «εσχάρας» μορφής πλίνθου από σκυρόδεμα, ώστε να έχει εξασφαλισθεί η ακαμψία του. Τα αποτελέσματα δεν ήταν απολύτως συγκρίσιμα δεδομένου ότι στην πρώτη περίπτωση (1970) δοκιμάσθηκε ομάδα 2 και 6 πασσάλων και στη δεύτερη, τεσσάρων (1976). Στη δοκιμή του 1976 (Kim and Brungraber) η μετρηθείσα μετατόπιση ήταν της τάξεως του 50% για την ομάδα εν σχέσει προς τον μεμονωμένο πάσσαλο. Στη δοκιμή του 1970 (Beatty) έγιναν δύο φορτίσεις στην ομάδα των δύο πασσάλων με 180kN οριζοντίου φορτίσεως (90 kN/πάσσαλο) και η μετατόπιση ήταν 7,5mm ενώ στην ομάδα των έξι πασσάλων, το οριζόντιο φορτίο ήταν 960kN (160kN/πάσσαλο) και η μετρηθείσα μετατόπιση 29mm, επομένως, είχαμε λόγο φορτίων **160/90=1,8** και μετατοπίσεων **29/7,5=3,9**.

Η άποψη του Bowles είναι, συμπερασματικά, ότι εν γένει,

Μία ομάδα πασσάλων με ισοκατανεμημένο φορτίο μπορεί να δώσει μεγαλύτερες οριζόντιες μετατοπίσεις από τον μεμονωμένο πάσσαλο, εφ' όσον η αραίωσή τους είναι μικρότερη από 6 έως 8 φορές τη διάμετρό τους.

Τα παραμετρικά χαρακτηριστικά του εδάφους μπορεί να οδηγούν σε μετατόπιση φορτίου από πάσσαλο σε πάσσαλο σε γειτονικούς πασσάλους και επομένως μία μεγαλύτερη ολική μετατόπιση.

Όλα τα ανωτέρω υποδεικνύουν ότι είναι σχεδόν αδύνατη η πρόγνωση της ακριβούς συμπεριφοράς πασσαλοομάδος σε πλευρική φόρτιση, χωρίς τη χρήση κάποιου τύπου αριθμητικής εξομοιώσεως, εάν θέλουμε να κρατήσουμε το σφάλμα εντός ανεκτών ορίων. Επομένως η ανάλυση που θα ακολουθήσει αφορά αριθμητική επίλυση του προβλήματος και η σχετική παραμετροποίηση αφορά αυτού του τύπου την επίλυση.

<u>1.3.4.1 Παραμετροποίηση του προβλήματος</u>

Το γενικό πρόβλημα της πλευρικής φορτίσεως ομάδος πασσάλων, πέραν της γενικής διαφοροποιήσεως της περιπτώσεως της ταυτοχρόνου επιβολής κατακορύφου φορτίου (πλην του ιδίου βάρους) από αυτήν της αφορτίστου ομάδος, περιλαμβάνει τρεις συνιστώσες.

a) Την στρωματογραφία του εδάφους εντός του οποίου εγχύεται ή εμπηγνύεται η πασσαλοομάδα.

β) Την συμπεριφορά της πασσαλοεσχάρας

γ) Τη διαστασιολόγηση και το υλικό των επί μέρους πασσάλων.

Η επιμέρους περαιτέρω ανάλυση έχει ως εξής:

<u>a) Ανάλυση των εδαφικών παραμέτρων</u>

Η προσέγγιση του εδάφους ως του υλικού το οποίο αλληλεπιδρά με την ομάδα (ή τον μεμονωμένο πάσσαλο, οδηγεί στον προσδιορισμό τριών παραμετρικών καταστάσεων.

1. Αυτής καθ' εαυτής της στρωματογραφίας του εδάφους:

Πρέπει κατά τον σχεδιασμό να εντοπισθούν τρεις επί μέρους παράμετροι:

a) Το πάχος εκάστου στρώματος, ή συνειρμικά, το μήκος επαφής του πασσάλου με κάθε στρώμα εδάφους.

β) Η κλίση του στρώματος ως προς τον άξονα του πασσάλου η οποία εμμέσως επηρεάζει την προηγουμένη παράμετρο

γ) Οι μηχανικές ιδιότητες κάθε εδαφικού στρώματος.

Για την εισαγωγή αυτής της μερικής παραμέτρου υπάρχουν δύο σχολές προσεγγίσεως. Κατά την πρώτη οι παράμετροι αντοχής εισάγονται σαν συνάρτηση της συνοχής και γωνίες τριβής του εδαφικού στρώματος, όπως αυτές έχουν προσδιορισθεί εργαστηριακά ή έχουν εκτιμηθεί καθώς και άλλων συναφών δεικτών όπως ο λόγος του Poisson, το `μέτρο ελαστικότητος, συμπιεστότητος, διατμήσεως και οι οριακές τιμές αστοχίας, η τελική χρήση των οποίων των οποίων εξαρτάται από τη φιλοσοφία του εν χρήσει λογισμικού. Η δεύτερη σχολή εισάγει την εδαφική συμπεριφορά ως έκφραση του δείκτου εδάφους (sub grade reaction modulus) μία τεχνική την οποία έχει υιοθετήσει η πλειοψηφία των προγραμμάτων στατικής επιλύσεως (περαιτέρω συζήτηση γίνεται στα επόμενα).

Ζώνη διεπαφής

Στην γενικότερη θεώρηση των ιδιοτήτων του περιβάλλοντος εδαφικού υλικού πρέπει να ενταχθεί και η ζώνη διεπαφής εδάφους και πασσάλου η οποία είναι ουσιώδους σημασίας για τη λειτουργική συμπεριφορά του πασσάλου σε αξονική φόρτιση (ιδίως σε πασσάλους τριβής) και επηρεάζει σημαντικά τη μετατόπιση του πασσάλου ή της ομάδος σε πλευρική φόρτιση. Η ζώνη αυτή διαταράσσεται ιδιαιτέρως κατά την έμπηξη πασσάλων και οι ιδιότητές της πρέπει σαφώς να διαφοροποιηθούν από αυτές του περιβάλλοντος εδάφους.

Οι έγχυτοι πάσσαλοι επηρεάζονται λιγότερο αλλά η ζώνη δεν ελλείπει, δεδομένου ότι επί των τοιχωμάτων του διαμετρήματος προ της εγχύσεως του σκυροδέματος παραμένει ένα υμένιο από το διατρητικό ρευστό.

2. <u>Της σχεδιάσεως και διαστασιολογήσεως της</u> <u>πασσαλοεσχάρας</u>

Η πασσαλοεσχάρα επηρεάζει το τελικό αποτέλεσμα της οριζοντίου φορτίσεως υπό δύο παραμετρικές διαφοροποιήσεις.

 a) Εάν η πασσαλοεσχάρα μεταφέρει κατακόρυφο φορτίο στο έδαφος ή όχι (μόνο οι πάσσαλοι της ομάδος παραλαμβάνουν το κατακόρυφο φορτίο)

β) Εάν η πασσαλοεσχάρα έχει υπολογισθεί ως εύκαμπτη ή άκαμπτη κατασκευή.

Εφ' όσον η εσχάρα δεν είναι ελεύθερη αλλά μεταφέρει φορτίο στο έδαφος χρειάζεται να προσδιορισθεί και να παραμετροποιηθεί μία άλλη διεπιφάνεια μεταξύ εσχάρας και εδάφους η οποία θα καταπονηθεί διατμητικά από την οριζόντιο ώθηση επί της ομάδος των πασσάλων. Άλλως, ο υπολογισμός και ο έλεγχος αλληλεπιδράσεως εσχάρας και εδάφους περιττεύει.

3. <u>Της σχεδιάσεως διαστασιολογήσεως και μεθόδου</u> κατασκευής των πασσάλων της ομάδος.

Η επίδραση της διατάξεως και αραιώσεως των πασσάλων είναι προφανής αλλά επίδραση ασκεί και ο τρόπος κατασκευής των πασσάλων (έγχυτοι, εμπηγνυόμενοι) το υλικό κατασκευής (πάσσαλοι με χαλύβδινο πυρήνα είναι δεκτικοί σε παραμόρφωση λόγω κάμψεως ενώ έγχυτοι υφίστανται ρώγμωση εγκαρσίως η οποία κατά ορισμένους θεωρητικούς πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν στην ανάλυση) και τέλος η διαστασιολόγησή τους με τον λόγο μήκους/διαμέτρου να είναι ο κυρίαρχος παράγων της συμπεριφοράς σε πλευρική φόρτιση.

1.3.5 ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΛΥΣΕΩΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΠΑΣΣΑΛΟΟΜΑΔΟΣ, ΣΕ ΠΛΕΥΡΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ, ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ.

<u>1.3.5.1 Εισαγωγικά</u>

Μετά τη γενική εισαγωγή του προβλήματος και την παρουσίαση των γενικών μεθόδων συμβατικής αναλύσεως τόσο του μεμονωμένου πασσάλου όσο και της ομάδος πασσάλων προχωρούμε στη διατύπωση του προβλήματος το οποίο αποτελεί το αντικείμενο της εργασίας, δηλαδή η ανάλυση της συμπεριφοράς μεμονωμένου φρεατοπασσάλου και ομάδος φρεατοπασσάλων υποκειμένων σε συνδυασμένη αξονική και πλευρική φόρτιση, κατασκευασμένων ως εγχύτων πασσάλων εντός συγκεκριμένου υποδείγματος εδάφους θεμελιώσεως γνωστής στρωματογραφίας και παραμέτρων μηχανικής συμπεριφοράς των επί μέρους εδαφικών στρωμάτων.

Το πρόβλημα όπως παρουσιάζεται στο μοντέλο της αριθμητικής αναλύσεως αφορά βάθρα οδικής γεφύρας (της οδού Κιάτου-Βιτύνας) επί του ποταμού Ολβίου, νομού Κορινθίας ή οποία έχει μελετηθεί, προ δεκαπενταετίας, με τη συμβατική μέθοδο (χωρίς ιδιαίτερη έμφαση στον προσδιορισμό των μετατοπίσεων των βάθρων λόγω πλευρικής φορτίσεως) αναλύσεως των πασσαλοομάδων δια της υποθέσεως της επαλληλίας της συμπεριφοράς του μεμονωμένου πασσάλου,σύμφωνα με την εμπειρία των πειραματικών φορτίσεων ομάδων και έχει ήδη κατασκευασθεί και παραδοθεί στην κυκλοφορία.

Στην παρούσα εργασία επαναλαμβάνεται η επίλυση με τη βοήθεια λογισμικού πεπερασμένων στοιχείων (MARC) και τα αποτελέσματα επιλύσεως, συγκρίνονται τόσο κατά τα αξονικά, όσο και κατά τα πλευρικά κινητικά αποτελέσματα τα οποία δίδονται από μέθοδο την οποία προτείνουν οι Κωμοδρόμος και Πιτιλάκης (2005) σε σχετική τους ανακοίνωση.

Για την ολοκληρωμένη παρουσίαση της προσεγγίσεως του προβλήματος κατ' αρχήν γίνεται ανάλυση της συμπεριφοράς μεμονωμένου πασσάλου εντός της ιδίας στρωματογραφίας υπό το αντίστοιχο αναλογούν φορτίο και, εν συνεχεία παρατίθεται η ανάλυση της φορτιζομένης ομάδος πασσάλων μετά της ανωδομής του φερομένου υπό της ομάδος βάθρου της γεφύρας.

1.3.5.2 Γενικά ερωτήματα που χρήζουν απαντήσεως προ της εφαρμογής της μεθόδου

Κατά τον Κωμοδρόμο (2008) προ της εκτελέσεως της υπολογιστικής διαδικασίας σε μία αριθμητική επίλυση πρέπει να απαντηθούν τα παρακάτω ερωτήματα.

 Εάν υπάρχει η δυνατότητα αναγωγής της τρισδιαστάτου κατασκευής σε δισδιάστατο ισοδύναμο για οικονομία υπολογιστικού φόρτου

- Ποιές πρέπει να είναι οι επιλεγόμενες διαστάσεις ώστε η επίδραση των συνοριακών συνθηκών να είναι αμελητέα
- Ποια είναι τα γεωμετρικά όρια των ζωνών υλικού διαφόρου συμπεριφοράς
- 4) Ποια διακριτοποίηση θα επιλεγεί ώστε να έχομε κατά το δυνατόν μείωση αριθμητικών σφαλμάτων και το προκύπτον σύστημα γραμμικών εξισώσεων να έχει τις ελάχιστες δυνατές διαστάσεις
- 5) Ποια είναι κατά κατηγορίες φύσεως τα επιβαλλόμενα φορτία (σημειακά, επιφανειακά, εκ βαρύτητος κλπ) και κατά ποια διακριτικά στάδια γίνεται η επιβολή τους
- 6) Ποιές υποκαταστάσεις φερόντων στοιχείων μπορούν να γίνουν από ισοδύναμα ραβδοειδή ή επιφανειακά, κυμαινομένης δυσκαμψίας, αναλόγως της κινηματικής του αποκρίσεως
- 7) Πώς θα ορισθούν και προσομοιωθούν οι διεπιφανειακές ζώνες μεταξύ δομικών στοιχείων και εδάφους εφ' όσον η επίδραση αναμένεται σημαντική
- 8) Ποιά μέθοδος προσεγγιστικής επιλύσεως των εξισώσεων θα επιλεγεί, εφ' όσον παρέχεται η δυνατότητα επιλογής από το λογισμικό ώστε να επιτευχθεί η ταχύτερη δυνατή επίλυση.

Η απάντηση στα επί μέρους ερωτήματα η οποία δόθηκε στο υπό εξέτασιν πρόβλημα θα αναλυθεί στα επόμενα.

1.3.5.3 Διατύπωση του προβλήματος

Στη γενική του θεώρηση, όπως προαναφέρθηκε, το πρόβλημα αφορά εκτίμηση της συμπεριφοράς ομάδος φρεατοπασσάλων υποβαλλομένων σε ταυτόχρονη αξονική και πλευρική (οριζοντία) φόρτιση η οποία ασκείται στο επίπεδο της κεφαλής τους (πασσαλοεσχάρας). Σαν παράπλευρο πρόβλημα, για λόγους συγκρίσεως, τίθεται η συμπεριφορά μεμονωμένου πασσάλου, ο οποίος φορτίζεται με το αντίστοιχο κλάσμα αξονικού και πλευρικού φορτίου και οι τιμές της αποκρίσεώς του χρησιμοποιούνται για τη σύγκριση λύσεως βασιζομένης στην επαλληλία με αυτήν που προκύπτει από την αριθμητική ανάλυση.

Τόσο ο μεμονωμένος πάσσαλος, όσο και η πασσαλοομάδα επιλύονται δύο φορές. Η πρώτη επίλυση αφορά τοποθέτησή τους μέσα σε γεωυλικό ομογενές, αντιπροσωπευτικής κοκκομετρικής συστάσεως και μηχανικών χαρακτηριστικών και η δεύτερη, επίλυση εντός συγκεκριμένης στρωματογραφικής δομής δηλαδή το μέσον το οποίο αντιστοιχεί στην στρωματογραφικής δομής δηλαδή το μέσον το οποίο αντιστοιχεί στην στρωματογραφια της θέσεως όπου πραγματοποιήθηκε η κατασκευή του πραγματικού έργου (γέφυρα Ολβίου, πλησίον της κοινότητος Γκούρας, Κορινθίας, επί της νέας χαράξεως της οδού Κιάτου-Βυτίνας)

α) Παραμετρική περιγραφή του προβλήματος

<u>1) Περιγραφή της πασσαλοομάδος</u>

Σε αρμονία με την τεχνική λύση που μελετήθηκε και, τελικά κατασκευάσθηκε, η μελετώμενη πασσαλοομάδα αποτελείται από μία παραλληλόγραμμη ομάδα πασσάλων σε διάταξη 2×4 (δύο κατά τη στενή πλευρά του βάθρου και 4 κατά τη μακρά, δηλ. κατά το πλάτος της γεφύρας). Οι πάσσαλοι μελετήθηκαν σαν έγχυτοι φρεατοπάσσαλοι εκ σκυροδέματος με οπλισμό διατάξεως κλωβού από τυποποιημένες ράβδους οπλισμού stahl 3 και σκυρόδεμα B300. Η αραίωση των πασσάλων όπως επελέγη για την αρχική διαστασιολόγηση και τον υπολογισμό των καθιζήσεων και της φερούσης ικανότητος ήταν 2,5D όπου D η διάμετρος του φρεατοπασσάλου.

Λόγω κλίσεως των πρανών της κοίτης του ποταμού, το ύψος των μεσοβάθρων είναι μεγαλύτερο από αυτό των ακροβάθρων επομένως το μεταφερόμενο στατικό φορτίο είναι μεγαλύτερο, όμως επελέγη για λόγους απλότητος της μελέτης ο ίδιος τύπος εσχάρας και φερόντων πασσάλων και για τα μεσόβαθρα και τα ακρόβαθρα τα οποία είναι αμφότερα τύπου παραλληλογράμμου κλειστού κιβωτίου με φέροντες τοίχους από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Ο φορέας της γεφύρας είναι τύπου αμφιερίστου προεντεταμένης κιβωτοειδούς πλακός με τρία ίσα ανοίγματα μεταξύ των δύο ακροβάθρων και δύο μεσοβάθρων. Το φορτίο επί των μεσοβάθρων και ακροβάθρων είναι το αυτό, όμως λόγω του μεγαλυτέρου ύψους, τα μεσόβαθρα έχουν μεγαλύτερο ίδιον βάρος.

Παρά το ότι τα ακρόβαθρα δέχονται και πλευρική ώθηση λόγω του ότι συγκρατούν το τοίχωμα που οδηγεί στη γέφυρα προτιμήθηκε η ανάλυση της συμπεριφοράς των μεσοβάθρων ως αντιπροσωπευτικών διαστασιολογικώς, λόγω των μεγαλυτέρων ιδίων φορτίων.

Γεωμετρικά και στατικά στοιχεία των δεδομένων

α) Πάσσαλος μεμονωμένος

Από ωπλισμένο σκυρόδεμα, έγχυτος.

ΔιάμετροςD= 1,25mΜήκοςL1=22mΙδιον ΒάροςW1=70tons

β) Πασσαλοεσχάρα, 2×4 πασσάλων

Από ωπλισμένο σκυρόδεμα

Μήκος	L ₂ =12m
Πλάτος	B ₂ =5m
Πάχος	H _P =1,0m
Ιδιον Βάρος	W ₂ =153,0tons

γ) Βάθρο γεφύρας (μεσόβαθρο)

Από ωπλισμένο σκυρόδεμα κιβωτοειδούς διατομής, κενό

Μήκος (εξωτερικό) L₃=9,3m
 Πλάτος (εξωτερικό) B₃=3,3m
 Πάχος τοιχώματος H₃=0,4m
 Ιδιον Βάρος W₃=133tons

Ολικό φορτίο λόγω ιδίου βάρους μεσοβάθρου, **W**A, αποτελουμένου απο το βάρος των πασσάλων, εσχάρας και ανωδομής βάθρου

$\mathbf{W}_{A} = \mathbf{8} \mathbf{W}_{1} + \mathbf{W}_{2} + \mathbf{W}_{3} \Rightarrow \mathbf{W}_{A} = \mathbf{5} \mathbf{60} + \mathbf{133} + \mathbf{153} \Rightarrow$

W_A =846 tons.

Επιφόρτιση λόγω αναλογούντος βάρους φορέως και μεγίστου κινητού φορτίου,

WR

W_R=750 tons

Ολικό φορτίο ανά βάθρο Wt

$\textbf{W}_{t}\textbf{=}\textbf{W}_{1}\textbf{+}\textbf{W}_{2}\textbf{+}\textbf{W}_{3}\textbf{+}\textbf{W}_{R} \Rightarrow \textbf{W}_{t}\textbf{=}\textbf{846 tons}\textbf{+}\textbf{750 tons} \Rightarrow$

W_t=1596tons

έστω **W**t=**1600tons**

Το υπό άνωση βάρος εκάστου πασσάλου υπολογίζεται σε 46 tons, οπότε το ολικό κατακόρυφο φορτίο υπό άνωση είναι

W_{tw}=1404tons,

της δε ανωδομής, (χωρίς τους πασσάλους, αλλά με την εσχάρα)

W_s=1036 tons.

Στρωματογραφικά στοιχεία

Όπως προαναφέρθηκε το πρόβλημα επιλύεται για δύο διαφορετικές στρωματογραφικές διαμορφώσεις:

α) Τυποποιημένο ομογενές υπόδειγμα εδάφους Πάχος: για τους σκοπούς της μελέτης D=21m (θεωρείται ότι οι αιχμές των πασσάλων εδράζονται στο ισχυρό μαργαϊκό στρώμα που αναφέρεται κατωτέρω ως στρώμα 8).

β) Ανταποκρινόμενη στη στρωματογραφία η οποία εντοπίσθηκε από τη γεωτεχνική έρευνα η οποία έγινε στη θέση κατασκευής της γεφύρας

Η στρωματογραφία αυτή περιλαμβάνει τα κατωτέρω στρώματα (από την επιφάνεια προς τα κάτω)

1 Αμμοϊλύς: πάχος 1,5 m (απαντά μόνο στιην θέση του δυτικού ακροβάθρου

2 Χονδροί Χάλικες με άργιλλο: πάχος 2,0m (στην θέση των μεσοβάθρων)

3 Αργιλλώδης Άμμος μεσόκοκκη: πάχος 7,0m

4 Άμμώδης Αργιλλος: πάχος 3,0m

5 Αποσαθρωμένη ψαμμιτική μάργα: πάχος 3,0m

- 6 Αποσαθρωμένη μάργα: πάχος 2,0m
- 7 Μάργα : πάχος 4,0m

8 Μάργα στιφρή τεφροκύανη: πάχος άνω των 10m

Οι βασικές φυσικές και γεωτεχνικές ιδιότητες των παραπάνω σχηματισμών (πλην του πρώτου ο οποίος δεν εμφανίζεται στην θέση του υπο μελέτη βάθρου) φαίνονται στον κατωτέρω πίνακα (Πιν.1.1)

α/α	Σχηματισμός	Υγρό φαινομ βάρος [ton/m ³]	W%	Ειδικό βάρος	Λόγος κενών	q _u kp/cm²	Ф Deg.	C kp/cm ²	CC
1	Αργιλλώδες Αμμοχάλικο	1,94			0,5031		38,5	0,1	0,08
2	Αργιλλώδης άμμος	2,03			0,5364		26	0,32	0,115
3	Αμμώδης Αργιλλος	1,98			0,8375	1,38	4,2	0,68	0,23
4	Αποσαθρ. ψαμμπική Μάργα	2,1			0.6795	1,92	10,2	0,85	0,163
5	Αποσαθρ. Μάργα	2,05			0,7734	2,15	8,4	0,95	0,185
6	Μάργα	1,97			0,7356	2,63	7,5	1,1	0,23
7	Στιφρή Μάργα	2,08			0,5195	4,05	7,5	1,75	0,085

Πίνακας 1.1: Γεωτεχνικές παράμετροι φυσικού εδάφους

				Γεωτεχνικές
α/α Βάθος		Στρώμα	Περιγραφή	παράμετροι του
				εδάφους
			C=0,10kp/cm ²	
				Cc=0,08
1	0.0		Αργιλλώδες	eo=0,5031
1	0-2		αμμοχάλικο	ታ <u>ጋር</u>
				$\Psi = 38, 5^{\circ}$ W = 1.04 t/m ³
				Ww-1,94t/1119
				C=0,32kp/cm ²
				Cc=0,115
0	2.0		Αργιλλώδες	e₀=0,5364
2	2-9		αμμοχάλικο	M- 060
				$\Psi = 20^{\circ}$ W = 2.03t/m ³
				₩wwwwwwwwwwwwwwwwwwwwwwwwwwwwwwwwwwww
				C=0,68kp/cm ²
				Cc=0,23
_			Αυμώδης	eo=0,8375
3	9-12		άρνιλλος	
				Ф=4,2°
				$W_w = 1,98t/m^3$
		-15	Αποσαθρωμένη ψαμμπική μάργα	$C=0,85 \text{kp/cm}^2$
	12-15			CC=0,163
4				e ₀ =0,0795
				ው= 10 ጋ፬
				$\Psi^{-10,2}$ W=2 10t/m ³
				Ww 2,100/11
				C=0,95kp/cm ²
		5-17		Cc=0,185
F	15 17		Αποσαθρωμένη	eo=07376
5	15-17		μάργα	-8/10
				$\Psi = 0, +^{\circ}$ W = 2.05t/m ³
				₩₩~2,000/III*
				$C=1, 1kp/cm^2$
				Cc=0,23
6	17-21	21	Μάονα	eo=0,7356
	1, 41		mapya	Φ=7.5°
				$W_w = 1.97 t/m^3$
·				C-1 751m / amo?
	21-22	-22		$C = 1, i \operatorname{osp}/\operatorname{CII}^2$
7 2			Μάργα κυανή	$e_{-0.5105}$
				-0,0190 + 7 F
				$\Phi=7,5^{\circ}$
				$W_w=2,080t/m^3$

Στρωματογραφική διαμόρφωση εδάφους θεμελιώσεως

<u>1.3.6 Ενδεικτική συμβατική επίλυση μεμονωμένου πασσάλου και</u> <u>πασσαλοομάδος</u>

κατωτέρω εκτίθεται Όπως προαναφέρθηκε, 0 συμβατικός μεμονωμένου πασσάλου και πασσαλοομάδος υπολογισμός 2×4 πασσάλων σύμφωνα με την κλασσική μέθοδο, η οποία περιλαμβάνει αξονική φόρτιση (κατακόρυφη) με φορτίο το οποίο αντιστοιχεί στο ποσοστό του ολικού βάρους του φορέως της γεφύρας (με το κινητό φορτίο), του βάρους του βάθρου, της πασσαλοεσχάρας και του ιδίου βάρους του πασσάλου το οποίο μεταφέρεται στον πάσσαλο ή στην πασσαλοομάδα ολόκληρο. Προ του υπολογισμού γίνονται οι κάτωθι παραδοχές.

<u>1.3.6.1 Παραδοχές</u>

- 1. Οι πάσσαλοι θεωρούνται ως συμπεριφερόμενοι ελαστικά.
- 2. Λόγω παρουσίας του διαταραγμένου στρώματος στην περιφέρεια του εγχύτου πασσάλου ο λόγος Poisson λαμβάνεται,συντηρητικά 0,24 και η γωνία τριβής μεταξύ πασσάλου/περιβάλλοντος σχηματισμού μεταξύ 5 και 30°. (για τον υπολογισμό σε αμμώδες έδαφος).
- 3. Για τον υπολογισμό σε Αργιλλικό έδαφος, αγνοείται η γωνία τριβής.
- **4.** Η συρρίκνωση του πασσάλου λόγω φορτίου θεωρείται αμελητέα και πάντως μικρότερη της ολικής καθιζήσεως λόγω αξονικού φορτίου.
- 5. Ο πάσσαλος εδράζεται δια της επιφανείας του πυθμένος του και υπολογίζεται, ως προς τη φέρουσα ικανότητα, ως πάσσαλος τριβής/αιχμής.
- 6. Λόγω αφαιρέσεως του εδαφικού υλικού κατά την εκσκαφή του φρέατος του πασσάλου, συντηρητικά, προστίθεται στην φέρουσα ικανότητα της αιχμής το ήμισυ του βάρους του εκσκαφέντος γεωυλικού (θεωρούμενο ως υπό άνωση για το τμήμα το υπό την στάθμη του υδροφόρου ορίζοντος).
- Ως οριζόντιο φορτίο το οποίο δρα επί της κεφαλής του πασσάλου ή της ομάδος λαμβάνεται το 50% του ολικού αξονικού φορτίου.
- **8.** Στην περίπτωση της ομάδος πασσάλων, το αξονικό φορτίο ισοκατανέμεται μεταξύ των πασσάλων της ομάδος.
- 9. Τόσο στην περίπτωση του μεμονωμένου πασσάλου, όσο και της ομάδος, για τον υπολογισμό της αντιστάσεως του εδάφους στην πλευρική ώθηση επί της κεφαλής του πασσάλου, θεωρείται ότι κάθε πάσσαλος δεν περιστρέφεται περί το άκρο του το οποίο έχει εμπηχθεί στο ισχυρότερο εδαφικό στρώμα και στο οποίο μεταφέρει τα φορτία δια της αιχμής, δηλαδή, θεωρείται άστρεπτος, λόγω της παρουσίας της εσχάρας.
- 10. Το οριζόντιο φορτίο ασκείται επί της κορυφής του πασσάλου, δηλαδή παράλληλα με την επιφάνεια του εδάφους και στο επίπεδο της επιφανείας του εδάφους.
- 11. Για τον υπολογισμό της αποκρίσεως της ομάδος σε αξονικά φορτία θεωρείται ότι η πασσαλοεσχάρα εδράζεται επί του εδάφους και μεταφέρει φορτία σε αυτό η δε δρώσα επιφάνειά της για τον υπολογισμό των τάσεων επαφής είναι η διαφορά του εμβαδού της μείον το εμβαδόν των πασσάλων. Το παραλαμβανόμενο από αυτήν

φορτίο είναι το ολικό μείον το παραλαμβανόμενο από τους πασσάλους.

12. Για την εκτίμηση των ολικών καθιζήσεων υπολογίζεται η καθίζηση της πασσαλοεσχάρας η οποία αντιστοιχεί στο παραλαμβανόμενο από αυτήν φορτίο και κεχωρισμένως η αναμενομένη καθίζηση των πασσάλων (στο επίπεδο της βάσεως τους). Η μεγαλυτέρα από τις δύο λαμβάνεται ως η καθίζηση του βάθρου στο επίπεδο εδράσεως της πασσαλοεσχάρας.

1.3.6.2 Συμβατικός Υπολογισμός φερούσης ικανότητος ομάδος 2x4 πασσάλων

Για τον υπολογισμό της φερούσης ικανότητος της ομάδος πασσάλων έγινε χρήση των μεθόδων και των παραδοχών που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα.

Συγκεκριμένα, υπολογίσθηκε, κατ' αρχάς η φέρουσα ικανότης μεμονωμένου πασσάλου, θεωρουμένου ότι το ανώτερο τμήμα του λειτουργεί εντός αμμωδών στρώσεων, για την ζώνη βάθους 0-9,0m και ότι το λοιπό μήκος του, δηλ το σε βάθος 9,0-22,0m λειτουργεί εντός αργιλλικών στρώσεων.

Μία εναλλακτική προσέγγιση, η οποία λαμβάνει υπ' όψιν την πιθανή παρουσία στρώματος διεπιφανείας από υλικά διατρήσεως του φρέατος, θεωρεί τον πάσσαλο ως λειτουργούντα εντός χιτωνίου από αργιλλικό υλικό, με τα χαρακτηριστικά που επελέγησαν (φ=14°, c=0,5Kp/cm²), σε όλο το μήκος του.

Η τιμή συνοχής 0,5 που ελήφθη για το στρώμα διεπαφής είναι ελαφρώς συντηρητικότερη από αυτήν που λαμβάνεται για τα αργιλλικά στρώματα της στρωματογραφικής σειράς, αν θεωρηθεί ένας συντελεστής συναφείας 0,5-0,6 και ελαττωθεί το εξαγόμενο κατά 20%, όπως προτείνει ο Tomlison, για να ενσωματωθεί η παρουσία του μπεντονιτικού υλικού στον αυλό του διατρήμματος.

Για τον υπολογισμό της φερούσης ικανότητος του τμήματος του πασσάλου εντός των αμμωδών στρώσεων, προσδιορίζεται, από τα σχετικά νομογραφήματα, η τιμή της μοναδιαίας επιφανειακής τριβής του πασσάλου με το περιβάλλον έδαφος, **f**s

Στην προκείμενη περίπτωση της γεφύρας, οι τιμές γωνίας τριβής των στρωμάτων που προσδιορίσθηκαν εργαστηριακά ήταν μικρότερες από αυτές που το σχετικό νομογράφημα δίδει για τιμές αρχικής γωνίας τριβής βάσει αριθμού κρούσεων SPT.

Δεδομένου ότι μια αρχική γωνία τριβής, φ'=350, δίδει ένα κρίσιμο βάθος 9 μέτρων περίπου, επελέγη αυτή η τιμή της αρχικής γωνίας τριβής για τον προσδιορισμό της μοναδιαίας τριβής. Από τα σχετικά νομογραφήματα προκύπτει ότι **Ktanδ** =**0,2**

Η γεωστατική τάση είναι, σ_{v1}=19400 Pa το ανώτερο στρώμα πάχους 2 μέτρων και σ_{v2}=74850 Pa για το επόμενο, οπότε, η ολική φέρουσα ικανότητα για το αμμώδες στρώμα είναι

Q₁=0.2x19400x1, 25x3,14x2+0,2x74850x1,25x3,14x7 άρα **Ο**₁=**441983 Ν**

Σημειώνεται ότι λόγω κοκκομετρικής συστάσεως των αμμωδών και χαλικωδών στρωμάτων, δεν τηρήθηκε η υπόδειξη του Meyerhof περί ελαττώσεως της παραπάνω φερούσης ικανότητος εις το ήμισυ.

Το τμήμα του πασσάλου εντός του αργιλλικού υλικού μπορεί να υπολογισθεί, ως προς την φέρουσα ικανότητα, χρησιμοποιώντας μία μέση τιμή συντελεστού προσφύσεως (συναφείας) 0,75, λαμβανομένου υπ' όψιν του ότι και τα αποσαθρωμένα μαργαϊκά στρώματα δεν εμφάνισαν σχιστώδη, αλλά μάλλον αναζυμωμένη υφή.

Βάσει της ανωτέρω παραδοχής, η φέρουσα ικανότητα του τμήματος του πασσάλου εντός αργίλλου θα είναι

Q₂=0,75x(68000x3+85000x3+95000x2+110000x4+175000x1)x1,25x3, 14 Pa, άρα

Q₂=3722787 N

Ο τρίτος παράγων της φερούσης ικανότητος είναι η αντίσταση αιχμής του πασσάλου.

Δεχόμεθα ένα συντελεστή **ω=0,75** λόγω μεγάλης διαμέτρου του φρεατοπασσάλου και τιμή του παράγοντος φερούσης ικανότητος N=9, οπότε, για την αιχμή θα ισχύει

Q₃=9x0,75x68500x1,2272 N, άρα

Q₃=567419 N

Επομένως, η ολική φέρουσα ικανότης θα είναι για ένα πάσσαλο,

Q_{ut}=Q1+Q2+Q3=441983+3722787+567419 =4732189 N

Στο παραπάνω μπορούν να προστεθούν 120000 N λόγω του βάρους του εδάφους που αφαιρέθηκε κατά την ανώρυξη του πασσάλου. Επομένως, η ολική φέρουσα ικανότητα ανέρχεται σε

Qut=4852189 N ή, περίπου, **Qut=485 tons**.

Εφαρμόζοντας την τιμή σε ομάδα 8 πασσάλων και για συντελεστή συνεργασίας 0,75, θα έχουμε φέρουσα ικανότητα ομάδος

Q_G=2910 tons

Τυπικά, σε αυτήν την φέρουσα ικανότητα πρέπει να προστεθεί η φέρουσα ικανότητα της εσχάρας, της ωφελίμου διατομής της μειουμένης κατά την διατομή των οκτώ πασσάλων.

Η εσχάρα, θεωρήθηκε ως εδραζομένη στην επιφάνεια του ανωτέρου εδαφικού στρώματος, δεδομένου ότι ήταν ασαφές, εκ μέρους του στατικού μελετητή εάν θα κατασκευαζόταν εν εκχώσει.

Σε κάθε περίπτωση, ο συμβατικός τρόπος υπολογισμού της φερούσης ικανότητος του επιφανειακού στρώματος έδωσε πολύ μεγάλη τιμή μεγίστης αντοχής, λόγω υψηλής τιμής γωνίας τριβής. Ακόμη και ο πλέον συντηρητικός υπολογισμός, χρησιμοποιώντας την γωνία τριβής του υποκειμένου στρώματος με φ=26°, δίδει μια τιμή μεγίστης φερούσης ικανότητος **qut=7,89kp/cm²** ή **789000Pa**.

Δεχόμενοι, συμβατικά, ότι η τιμή της μοναδιαίας αντοχής είναι 250kPa και δεδομένου ότι η ωφέλιμη επιφάνεια της πλακός, μετά την αφαίρεση της διατομής των πασσάλων είναι $S_m=50,18m^2$, προκύπτει ότι το επιφανειακό στρώμα εδάφους έχει δυνατότητα παραλαβής φορτίου

Q_m=50,18m2x250000Pa ή **Q**_m=12545000Pa ή **Q**_m=1254,5 tons.

Παρά το ότι ήταν, εξ αρχής, επιθυμητό να σχεδιασθεί η θεμελίωση με το κατά το δυνατόν μεγαλύτερο ποσοστό ολικού φορτίου παραλαμβανόμενο από την εσχάρα, η εμπειρία δεικνύει ότι μετά από κάποιο διάστημα, οι βάσεις των βάθρων των γεφυρών υποσκάπτονται από την ροή του νερού και, σε πολλές περιπτώσεις, η εσχάρα μένει, ολικά ή κατά ένα τμήμα, μετέωρη, υπέρ την κοίτη, οπότε και το φορτίο παραλαμβάνεται πλήρως από τους πασσάλους, εξ ού και η επιλογή φρεατοπασσάλων της μεγίστης δυνατής, κατασκευαστικά, διατομής.

Επομένως, ο υπολογισμός του συντελεστού ασφαλείας επελέγη να γίνει μόνο με την χρήση της μεγίστης φερούσης ικανότητος των πασσάλων και να μην συνυπολογισθεί η ικανότητα της εσχάρας. Βάσει της παραπάνω παραδοχής και λαμβάνοντας υπ' όψιν την παρατήρηση ότι η μεγίστη αξονική φέρουσα ικανότης ενεργοποιείται προ της ενεργοποιήσεως της μεγίστης φερούσης ικανότητος της αιχμής, θεωρούμε συντελεστή ασφαλείας 1,5 για το αξονικό φορτίο και 3 για την αιχμή

Θα είναι

WL1=2498,8 tons/1,5=1665,9 tons Kat

W_{L2}=340,45 tons/3=113,5 tons
 Αρα, το ολικό λειτουργικό φορτίο θα είναι
 W_w= 1665,9+113,5=1779,4 tons.
 Άρα, η κατασκευή ευσταθεί.
 Συμβατικότερα,

SF=2910tons/1404tons=2,07

Παρατήρηση

Εάν γίνει χρήση όλων των μειωτικών συντελεστών στην φέρουσα ικανότητα της παραπλεύρου επιφανείας των πασσάλων και ελαττωθεί και ο συντελεστής συνεργασίας ομάδος σε 0,7, η ολική φέρουσα ικανότητα της ομάδος, χωρίς συμμετοχή της εσχάρας στην παραλαβή φορτίου, ανέρχεται σε **2108 tons** περίπου, οπότε και σε αυτήν την ακραία δυσμενή συνθήκη, ο προκύπτων συντελεστής ασφαλείας έχει τιμή **SF=1,50**

Κατά την άποψη του γράφοντος, πάντως, η ανωτέρω προσέγγιση είναι εξαιρετικά συντηρητική.

<u>1.3.6.3 Συμβατικός υπολογισμός αναμενομένης καθιζήσεως</u> ομάδος οκτώ πασσάλων.

Η γενικώς αποδεκτή μέθοδος υπολογισμού της καθιζήσεως της ομάδος πασσάλων είναι αυτή της ισοδυνάμου κοιτοστρώσεως σε βάθος προσδιοριζόμενο με διάφορα κριτήρια, αναλόγως των εδαφικών συνθηκών.

Η αρχική μέθοδος είναι η προταθείσα από τους Terzaghi και Peck και η οποία προσαρμόσθηκε από μεταγενεστέρους ερευνητές, όπως οι Meyerhof και Tomlinson, χωρίς όμως να μεταβληθεί επί της ουσίας της. Η βασική σχέση έχει την μορφή:

SR=FD Σi [Δq*Hi/E] ់ពលប

 S_R η ολική καθίζηση της ισοδυνάμου θεμελιώσεως, Δq το φορτίο το μεταβιβαζόμενο στα στρώματα τα υπό το βάθος της ισοδυνάμου κοιτοστρώσεως, H_i το πάχος κάθε στρώματος και E το μέτρο ελαστικότητός του. Ο αρχικός διορθωτικός συντελεστής F_D , παρέχεται από το νομογράφημα του Fox (1948).

Η κατανομή της τάσεως που μεταφέρει η ισοδύναμη θεμελίωση γίνεται βάσει κώνου διασποράς ο οποίος, στην αρχική σχέση προτεινόταν να έχει λόγο πλευρών 2 κατακόρυφα προς 1 οριζόντια. Ο Barnes προτείνει τον λόγο 4/1 και συνιστά η θέση της ισοδυνάμου κοιτοστρώσεως να βρίσκεται στα 2/3 του ύψους του τμήματος του πασσάλου που βρίσκονται εμπηγμένα σε ανθεκτικό έδαφος, για πασσάλους αιχμής-τριβής.

Βάσει των ανωτέρω, θεωρώντας σαν συμπιεστές στρώσεις, με κριτήριο την τιμή του δείκτου συμπιεστότητος, όλες τις στρώσεις, από το βάθος των 9m έως το βάθος των 22m, μπορούμε να τοποθετήσουμε την ισοδύναμη θεμελίωση σε βάθος (22-9)*2/3+9=17,66m. Έστω πάχος συμπιεστού στρώματος H_t =22-17,5+=4,5m μέχρι την στάθμη θεμελιώσεως.

Συμβατικά σε αυτό πρέπει να προστεθεί πάχος ίσο με 2,5 φορές το πλάτος της θεμελιώσεως, άρα για πλάτος ίσο με 4,375m, το πάχος του συμπιεστού στρώματος υπό την αιχμή των πασσάλων θα είναι, 2,5*4,375=10,94 m ή ολικό πάχος συμπιεστών στρώσεων Ht= 15,5 m, εκ των οποίων τα 3,5m ανήκουν στο στρώμα υπ. αριθμ 6 και τα 12m στο υπ. αριθμ 7.

Δεχόμενοι ένα κώνο μεταφοράς τάσεως θεμελιώσεως με πλευρές 4/1, το ίχνος της ισοδυνάμου θεμελιώσεως εντός του στρώματος 6 έχει διαστάσεις [(17,5-9)/4]*2+4,375=8,625m κατά την στενή διάσταση και [(17,5-9)/4]*2+10,625=14,875m κατά την μακρά.

Θεωρώντας ότι το συνολικό φορτίο το οποίο φορτίζει την ισοδύναμη θεμελίωση είναι αυτό της κατασκευής συν το βάρος των εδαφικών στρώσεων (υπο άνωση), το ολικό μεταφερόμενο κατακόρυφο φορτίο είναι **Q**e=1404tons+889,9tons=2293,9tons. έστω,

Qe=2294 tons.

Θεωρώντας τις διαστάσεις της ισοδυνάμου κοιτοστρώσεως, η ενεργός διατομή της είναι 8,625*14,875=128,3 m2, έστω **128 m².**

Άρα η ισοδύναμη τάση θεμελιώσεως θα είναι

q=2294 tons/128m²=17,92 t/m2 η

q=180kPa

Από το νομογράφημα του Fox, εισάγεται διορθωτικός συντελεστής βάθους για λόγο **L/B=4,5/4,375=1** περίπου και για την ποσότητα **D/(L*B)**^{0,5}=0,3, ίσος με **μ=0,93**

Εφαρμόζοντας την σχέση υπολογισμού της ολικής καθιζήσεως, για τιμές του μέτρου συμπιεστότητος που αντιστοιχούν στα εδαφικά στρώματα 6 και 7, λαμβάνουμε καθιζήσεις **0,0586m** για το στρώμα 6 και **0,0846m** για το στρώμα 7,δηλαδή, ολική καθίζηση **0,1432m** ή

St=14,32cm

Η παραπάνω εκτίμηση, συντηρητικά, δεν λαμβάνει υπ' όψιν την επενέργεια της εσχάρας η οποία μεταφέρει φορτία σε ασυμπίεστο εδαφικό στρώμα, αλλά, όπως προαναφέρθηκε, πιθανόν να υποσκαφεί από την ροή του ύδατος.

Επίσης δεν συνυπολογίζεται η επίδραση της γεωστατικής τάσεως, υπό το επίπεδο της αιχμής των πασσάλων.

Επί πλέον, η χρήση της τιμής του μέτρου ελαστικότητος, κατ' αντιδιαστολή προς το μέτρο συμπιεστότητος και άλλων μειωτικών συντελεστών θα μπορούσε να ελαττώσει την αναμενομένη ολική καθίζηση στο 1/3 της υπολογισθείσης.

Για συντηρητικούς λόγους υπολογίζεται εδώ η επερχομένη μεταβολή στην λειτουργική κατάσταση της γεφύρας, επί τη βάσει της τιμής των 15 cm.

Θεωρώντας ένα ελεύθερο μήκος φορέως, μεταξύ βάθρων, ίσο με 25m, διαφορική καθίζηση, μεταξύ των βάθρων, ίση με 15cm, δίδει επαγομένη κλίση φορέως

S_t/1=0,006 'η **κλίση 0.6%**.

Η τιμή αυτή θεωρείται αποδεκτή.

<u>1.3.7 Παραμετροποίηση και οργάνωση της λύσεως με τη</u> <u>χρήση του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων MARC.</u>

<u>1.3.7.1 Γενικά</u>

συμπεριφοράς επίλυση της του πασσάλου και Η της πασσαλοομάδος σε σύνθετη αξονική και πλευρική φόρτιση με το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων MARC εκτελείται για τους σκοπούς αυτής της εργασίας, όπως προαναφέρθηκε, για την περίπτωση μεμονωμένου πασσάλου και ομάδος 2×4 πασσάλων σε μέσο εγχύσεως (έδαφος) υποθετικό ομογενές και πολυστρωματικό. Η επίλυση όλων των προβλημάτων γίνεται σε χώρο δύο διαστάσεων, δηλαδή σε επίπεδο τέμνον το σύστημα πασσάλου/εδάφους ή ομάδος εδάφους και εκμεταλλεύεται την υπάρχουσα συμμετρία στην κατασκευή. Κατωτέρω αναλύεται η παραμετροποίηση των δεδομένων που παρέχονται στο πρόγραμμα MARC, προκειμένου να εκτελεσθεί η επίλυση.

Η ανάλυση παραμετροποιήσεως των δεδομένων ακολουθεί τη σειρά με την οποία εισάγονται τα δεδομένα και εκτελούνται οι ενέργειες στο πρόγραμμα MARC.

<u>1.3.7.2 Ανάπτυξη και ανάλυση των παραμέτρων που</u> εισάγονται στο πρόγραμμα για την επίλυση

a) Κάννaβος κόμβων

Σε όλα τα αριθμητικά μοντέλα χρησιμοποιούνται κάνναβοι κόμβων με αραίωση ανά 22cm (0,22m) κατά τον άξονα των x και 50cm (0,5m) κατά τον άξονα y.

Για την επίλυση του μεμονωμένου πασσάλου εξομοιώνεται τομή χώρου διαστάσεων 66,0m κατά τον οριζόντιο άξονα και 42,0m κατά τον κατακόρυφο. Το πάχος της εδαφικής στρώσεως λαμβάνεται ίσο με 35m.

Για την επίλυση ομάδος πασσάλων χρησιμοποιείται έκταση καννάβου 70,4m κατά τον οριζόντιο άξονα επί 42,0m κατά τον κατακόρυφο

β) Διακριτοποίηση στοιχείων

Τα στοιχεία που επελέγησαν είναι τετραγωνικού τύπου κατά το σύστημα ταξινομήσεως υπολογιστικών στοιχείων και τριγωνικά σχήματος ορθογωνίου τριγώνου, πλευράς 22×50cm (0,22×0,5m). Η ίδια διακριτοποίηση χρησιμοποιείται σε όλα τα αριθμητικά μοντέλα που επιλύονται. Παρά τις υποδείξεις της βιβλιογραφίας προτιμήθηκε η ομογενής πυκνότητα του καννάβου στοιχείων σε όλες τις θέσεις του αριθμητικού μοντέλου στην ευρύτερη ζώνη των πασσάλων και 'έγινε αραίωση κόμβων μόνο στα περιβάλλοντα την ομάδα εδαφικά τεμάχη, προκειμένου να γίνει εξοικονόμηση αριθμού στοιχείων.

γ) Γεωμετρικά χαρακτηριστικά του μουτέλου

Πέραν της μορφοποιήσεως του περιβάλλοντος εδάφους, του οποίου αναπαρίσταται στην αριθμητική επίλυση, ένα τμήμα διαστάσεων ίσων με αυτές του καννάβου και του οποίου η παραμετρική στρωματογραφία θα αναλυθεί κατωτέρω, εμφανίζεται εδώ το μερικό πρόβλημα της εξομοιώσεως των διαστάσεων του μεμονωμένου πασσάλου καθώς και του πασσάλου που αποτελεί τμήμα της ομάδος, λόγω της ανάγκης προσαρμογής του τρισδιαστάτου στερεού σώματος σε εξομοίωση δύο διαστάσεων για τους σκοπούς της επιλύσεως.

Δεδομένου ότι ο πάσσαλος είναι κυλινδρικής διατομής και το πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων απαιτεί ως παράμετρο το πάχος κατά τον τρίτο (μη ορατό) άξονα του τρισδιαστάτου μοντέλου (το οποίο αντιλαμβάνεται και επιλύει ως παραλληλογράμμου διατομής) το πρόβλημα εισαγωγής της τιμής τρίτης διαστάσεως έχει τρεις συνιστώσες:

- Την εξεύρεση της ισοδυνάμου τετραγώνου διατομής προς την πραγματική κυκλική, ώστε να μην επέρχεται ουσιαστική αλλαγή στην δυσκαμψία του πασσάλου.
- 2. Την εξεύρεση ισοδυνάμου επιπέδου πλευρικής επιφανείας καθέτως προς την διεύθυνση της οριζοντίου φορτίσεως και της ωθήσεως γαιών ώστε να μη μεταβάλλεται η δρώσα μέση τάση επί της πλευρικής επιφανείας του πασσάλου στο μοντέλο, εν σχέσει προς την αναμενομένη στην πραγματικότητα και
- 3. Την εξεύρεση της καταλλήλου διατομής και παραπλεύρου επιφανείας για το αριθμητικό μοντέλο, έτσι ώστε να μην μεταβάλλεται ουσιαστικά η φέρουσα ικανότητα σε αξονική φόρτιση του αριθμητικού μοντέλου σε σχέση με την φέρουσα ικανότητα που υπολογίζεται για τον κυκλικής διατομής πάσσαλο με συμβατικές μεθόδους.

Προκειμένου να προσδιορισθούν οι διαστάσεις του πασσάλου στο αριθμητικό μοντέλο υπολογίσθηκαν κατ' αρχήν η παράπλευρος επιφάνεια, η διατομή και η ροπή αδρανείας του κυκλικού πασσάλου. Για λόγους απλότητος του υπολογισμού και μη διαταραχής της προσαρμογής του πασσάλου προς την πραγματική στρωματογραφία εκρίθη αναγκαίο να διατηρηθεί το μήκος του πραγματικού πασσάλου και να γίνουν προσαρμογές και τροποποιήσεις μόνο ως προς το σχήμα και τις διαστάσεις της διατομής και την παράπλευρο επιφάνειά του που προκύπτει από αυτές.

Περαιτέρω ρύθμιση των μεταβολών που προκύπτουν από την προσαρμογή του τρισδιαστάτου σώματος σε δισδιάστατη προσομοίωση έγινε με προσαρμογή των τιμών των φορτίων στο μοντέλο, όπως περιγράφεται παρακάτω.

Από τις υπολογισθείσες τιμές ροπής αδρανείας ισοδυνάμων παραλληλογράμμων διατομών των αντιστοιχουσών διατομών και παραπλεύρων επιφανειών (για σταθερό μήκος πασσάλου) καταρτίσθηκε ο κατωτέρω πίνακας (Πιν.1.2)

Μορφή	Ροπή	Βάθος	Πλάτος m	Διατομή	Παράπλευρος
πασσάλου	αδρανείας	m		αιχμής	επιφάνεια m ²
	m^4			m^2	
Κυκλικός	0,11984		1,25	1,2272	86,394
πάσσαλος			(διἁμετρος)		
	0,1220	1,10	1,10	1,21	96,8
Ισοδύναμος					
Τετράγωνος					
πάσσαλος					
Απόκλιση	+1,84			-1,40	+12,0
%					

Πίνακας 1.2: Πίνακας διατομών

Βάσει των ανωτέρω, αποφασίσθηκε να φορτισθεί εγκαρσίως το μοντέλο με το **0,88-0,90** του εγκαρσίου φορτίου του πραγματικού πασσάλου, λόγω ελαττώσεως της διατομής που δέχεται την ώθηση γαιών, στο **0,88** της διατομής του κυκλικού πασσάλου (**24,20m²** έναντι **27,50m²**).

Παρά το ότι η παράπλευρος επιφάνεια του ισοδυνάμου τετραγωνικού πασσάλου είναι μεγαλύτερη, θεωρήθηκε συντηρητική παραδοχή να μην ελαττωθεί το αντίστοιχο κατακόρυφο φορτίο, δεδομένου ότι, στο δισδιάστατο μοντέλο, η συμμετοχή των δύο <<αοράτων>> όψεων του πασσάλου (και των μεταξύ των σειρών των πασσάλων,τμημάτων της εσχάρας) στην παραλαβή κατακορύφου φορτίου δεν είναι δυνατόν, εκ του προχείρου, να εκτιμηθεί.

δ) Συνοριακές συνθήκες

Οι συνοριακές συνθήκες οι οποίες επεβλήθησαν στα μοντέλα είναι όλες ίδιες και ομαδοποιούνται ως εξής:

1) Κινητικές συνοριακές συνθήκες

Οι συνθήκες αυτές αποτελούνται από τις εξής συνιστώσες:

α) Κινητικότητα των ορίων του μοντέλου

Σε όλες τις περιπτώσεις τα πλευρικά όρια δεξιά και αριστερά, του καννάβου και το κάτω οριζόντιο όριο του καννάβου ορίσθηκαν ως ακίνητα. Υπάρχει δυνατότητα κινήσεως της άνω οριζοντίου γραμμής που αντιστοιχεί την επιφάνεια του φυσικού εδάφους και των στρωματογραφικών ορίων μεταξύ των στρώσεων.

β) Κινητικότητα του μοντέλου του πασσάλου και της ομάδος

Τόσο ο μεμονωμένος πάσσαλος όσο και η ομάδα των δύο και τεσσάρων πασσάλων θεωρήθηκαν ως πλήρως ελεύθερες να μετακινηθούν κατά το αναπαριστώμενο επίπεδο και προς τις δύο διευθύνσεις και ελεύθερες να περιστραφούν, συγκρατούμενες μόνον από το περιβάλλον έδαφος. Στο σημείο αυτό πρέπει να διευκρινισθεί ότι επελέγη εξομοίωση και του κορμού του βάθρου, πέραν της θεμελιώσεώς του, ώστε να εξομοιωθεί με την κατά το δυνατόν ακρίβεια η επαγομένη επί της πασσαλοομάδος ροπή ανατροπής λόγω του βάθρου και του φερομένου υπέρ το έδαφος στατικού και κινητού φορτίου.

Εν τούτοις, πρέπει να αναφερθεί ότι η απεικονιζομένη μορφολογία του βάθρου είναι ενδεικτική και δεν έχει ελεγχθεί ως προς την ισοδύναμη δυσκαμψία, λόγω ανεπαρκών παρασχεθέντων δεδομένων από τον στατικό μελετητή

2) Συνοριακές συνθήκες φορτίσεως

Οι συνοριακές συνθήκες φορτίσεως αποτελούνται από τα εξής επί μέρους φορτία:

a) Το ίδιον βάρος των στρωμάτων του εδάφους

β) Το στατικό φορτίο λόγω του ιδίου βάρους των πασσάλων

γ) Το στατικό φορτίο λόγω ιδίου βάρους της πασσαλοεσχάρας

δ) Το στατικό φορτίο λόγω του ιδίου βάρους του βάθρου

ε) Το στατικό φορτίο λόγω ιδίου βάρους του φορέως της γεφύρας

στ)Το κινητό (τυπικό) φορτίο επί του φορέως της γεφύρας

ζ) Το πλευρικό (εγκάρσιο ή οριζόντιο) φορτίο επί του συνόλου της κατασκευής ως σεισμικό ή άλλο φορτίο, λαμβανόμενο ως ποσοστό του αξονικού φορτίου. (στην επίλυση, επιμερίζεται σαν ποσοστό του αξονικού φορτίου του φορέως, του βάρους του βάθρου, της εσχάρας και των πασσάλων)

Σύμφωνα με τις απαιτήσεις του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων, τα φορτία ανά ένα, εισάγονται στην αριθμητική επίλυση ως εξής:

 Το βάρος των στρωμάτων εισάγεται ως σημειακό, (ανά κόμβο, με τιμή που αντιστοιχεί σε τέμαχος 1,1m x1,1m x1,0m) φορτίο κατά οριζόντιες ζώνες με αραίωση 2m και κατά προτίμηση, στο μέσον κάθε στρώματος. Η παρουσία του υδροφόρου ορίζοντος (θεωρουμένου ότι ισορροπεί σε ένα μέσο βάθος 2m) λαμβάνεται υπ' όψιν, δεδομένου ότι για τον υπολογισμό της γεωστατικής τάσεως σε κάθε βαθμίδα βάθους υπολογίζεται το υγρό φαινόμενο βάρος της στρώσεως υπο άνωση Τα ανά βαθμίδα βάθους τεθέντα φορτία φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πιν.1.3)

Βάθος (m)	1,0	4,5	10,5	13,5	16,0	19,0	21,0	28,0
Επιβαλλόμενο. Φοοτίο (Pa)	46948	87241	35574	39930	25410	46948	99566	99566

Πινακας 1.3	3 Πίνακας	εδαφικού	φορτίου
-------------	------------------	----------	---------

2. Το στατικό φορτίο λόγω του ιδίου βάρους των πασσάλων εισάγεται τροποποιημένο βάσει της προσαρμογής των διαστάσεών τους όπως αναλύθηκε στα προηγούμενα. Για λόγους κατά το δυνατόν

ακριβείας του μοντέλου εισάγεται ως σημειακό φορτίο σε σημεία εδράσεως του φορέως και σε κέντρα βάρους τμημάτων των πασσάλων, της εσχάρας και της ανωδομής του βάθρου. Για τον υπολογισμό του φορτίου χρησιμοποιήθηκε η τιμή φαινομένου βάρους ωπλισμένου σκυροδέματος ίση με γ_b= 2,55-2,60t/m³

3 Το πλευρικό φορτίο επί των διαφόρων τμημάτων της θεμελιώσεως και της ανωδομής ετέθη ως ακολούθως:

a) Το πλευρικό φορτίο το δρών επί του κορμού των πασσάλων, τόσο του μεμονωμένου, όσο και των ομάδων των δύο και τεσσάρων πασσάλων το οφειλόμενον στο ίδιον βάρος, εισάγεται ως σημειακό φορτίο, κατά το κατακόρυφο επίπεδο, σε ζώνες μήκους 6m με σημείο επενεργείας το κέντρο βάρους της ζώνης κατά το κατακόρυφο επίπεδο συμμετρίας του πασσάλου.

γ) Το πλευρικό φορτίο επί της πασσαλοεσχάρας εισάγεται ως σειρά σημειακών φορτίων στο κατακόρυφο επίπεδο συμμετρίας της πασσαλοεσχάρας.

δ) Το πλευρικό φορτίο επί του βάθρου εισάγεται ως σειρά σημειακών φορτίων επί του οριζοντίου επιπέδου συμμετρίας του βάθρου.

ε) Το πλευρικό φορτίο λόγω βάρους του φορέως και κινητού φορτίου εισάγεται ως σειρά οριζοντίων σημειακών φορτίων τα οποία δρουν σε μία σειρά κόμβων 0,5m υπό την ελευθέρα άνω επιφάνεια του βάθρου, όπου εδράζεται ο φορέας.

Χρησιμοποιείται η ισοδύναμος τιμή του συνδυασμένου στατικού και κινητού φορτίου το οποίο δρα ως οριζοντία συνιστώσα σε πλευρική φόρτιση υπό συνθήκες σεισμικής καταπονήσεως με την χρήση σεισμικού συντελεστού 0,5.

Τα χρησιμοποιούμενα οριζόντια φορτία φαίνονται στον παρακάτω συνοπτικό πίνακα. (ενδεικτικά, ο αριθμός των κόμβων αναφέρεται σε ομάδα τεσσάρων πασσάλων) (Πιν. 1.4)

α/α	Κατακόρυφος	Είδος	Τιμή	Αριθμός	Ολικό
	ζώνη	φορτίου	φορτίου	κόμβων	φορτίο
			(N)		(N)
1	Πάσσαλοι	σημειακό	34500	24	828000
2	Πασσαλοεσχάρα	σημειακό	43032	8	344256
3	Κορμός βάθρου	σημειακό	37407	8	299256
4	Φορέας	σημειακό	210938	8	1687504
	γεφύρας				

Πινακας 1.4 Πίνακας οριζοντίων φορτίων

Όπως θα αναλυθεί στα επόμενα οι τιμές των πλευρικών φορτίων που αναφέρονται παραπάνω αφορούν την μεγίστη φόρτιση η οποία χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση της μεγίστης οριζοντίου μετατοπίσεως (και των συνοδών κατακορύφων της κατασκευής χωρίς παράλληλο έλεγχο της συμπεριφοράς του υλικού των πασσάλων και της ανωδομής (πιθανή ρηγμάτωση υπό συνθήκες μεγίστης φορτίσεως). Για την διαδικασία τμηματικής επιβολής οριζοντίου φορτίου ή κινηματικών συνοριακών συνθηκών, ιδέ στα επόμενα.

Ε) Παράμετροι μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών.

1. Μηχανικές ιδιότητες του εδάφους

Η δομή του χρησιμοποιηθέντος προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων απαιτεί την εισαγωγή μηχανικών παραμέτρων ελαστικής και ελαστοπλαστικής συμπεριφοράς των υλικών καθώς και ορίων αστοχίας σύμφωνα με ένα προεπιλεγόμενο μηχανισμό αστοχίας βάσει των κριτηρίων Mohr Coulomb,ή Von Misses

Κατωτέρω αναλύεται κατά ομάδες υλικών (εδαφικές στρώσεις και ωπλισμένο σκυρόδεμα η επιλογή των παραμέτρων οι οποίες επελέγησαν για εισαγωγή στο αριθμητικό μοντέλο.

a) Μηχανικές παράμετροι του εδάφους θεμελιώσεως

Σε όλες τις περιπτώσεις επελέγη η θεώρηση του εδάφους ως ελαστοπλαστικού υλικού με κρίσιμο κριτήριο αστοχίας γραμμικό Mohr-Coulomb διακρίναμε δύο περιπτώσεις

1. Ενδεικτικό αρχετυπικό ομογενές έδαφος

Το έδαφος αυτό εξομοιώνει ένα σύνηθες έδαφος στο οποίο θα εχρησιμοποιείτο ένας έγχυτος φρεατοπάσσαλος αιχμής/τριβής και, κατ' ουσίαν, ένα ιλυώδες ή αργιλλοϊλυώδες εδαφικό στρώμα, σύνηθες σε πρόσφατες αλλούβιες ή διλούβιες αποθέσεις στο οποίο εμφανίζεται, τόσο σε διασπορά, όσο και σε ακανόνιστους μικρούς θύλακες, λεπτή άμμος. Συνήθως εδάφη αυτού του τύπου δίνουν απαράδεκτες τιμές καθιζήσεως εξ ού και η χρήση πασσάλων. Από μελετητικής απόψεως αντιμετωπίζονται σαν άργιλλοι με την εισαγωγή μίας μικρής γωνίας τριβής (μικρότερης των 10°) λόγω του ότι πρέπει να γίνουν συντηρητικές παραδοχές περί της φερούσης ικανότητος του στρώματος.

Τυπικά, σε δοκιμές πεδίου, δίνουν SPT (άνευ διορθώσεως) μικρότερες του 10 οι οποίες συνήθως διορθώνονται σε 5. Πρέπει, εν τούτοις, να παρατηρηθεί ότι η πολύ χαμηλή φέρουσα ικανότητα η οποία διαπιστώνεται από τις δοκιμές πεδίου σπάνια επιβεβαιώνεται από τις εργαστηριακές δοκιμές οι οποίες συνήθως παρέχουν μία φέρουσα ικανότητα της τάξεως του 0,5-0,7Kp/cm² (με συντελεστή ασφαλείας 2).

Οι επιλεγείσες παράμετροι για το στρώμα το οποίο εξομοιώνεται στην αριθμητική επίλυση είναι οι εξής:

Μέτρο ελαστικότητος: E=12500000Pa (μέτρο συμπιεστότητος) Λόγος Poisson: v= 0,24

Όριο αστοχίας (βάσει οδηγιών του προγράμματος MARC): σ=83400Pa

Συντελεστής a (βάσει οδηγιών του προγράμματος MARC): a=0,08

2. Πολυστρωματικό σύστημα των επί τόπου εντοπισθέντων σχηματισμών

Οι σχηματισμοί, οι οποίοι εντοπίσθηκαν και ερευνήθηκαν γεωτεχνικώς με τη λήψη δειγμάτων και την εκτέλεση του φάσματος των εργαστηριακών δοκιμών εδαφομηχανικής, στη θέση εκτελέσεως του πραγματικού έργου, μεταφέρθηκαν στο αριθμητικό μοντέλο με τη χρήση των τιμών των μηχανικών ιδιοτήτων τους οι οποίες προκύπτουν είτε από τις εκτελεσθείσες, επί τόπου ή εργαστηριακώς, δοκιμές, είτε από βιβλιογραφικές πηγές.

Συγκεκριμένα, το μέτρο ελαστικότητος για τους διαφόρους σχηματισμούς εισήχθη με βάση την τιμή του μέτρου συμπιεστότητος το οποίο προέκυψε από τη δοκιμή μονοδιαστάτου στερεοποιήσεως αφού βιβλιογραφικές τιμές συνεκρίθη uε για διαφόρους συναφείς σχηματισμούς, το μέτρο αντοχής σε θλίψη είναι αυτό που προέκυψε από την αντίστοιχη εργαστηριακή δοκιμή ενώ το μέτρο αντοχής σε εφελκυσμό ελήφθη ως το 1/10 της τιμής της αντοχής σε θλίψη για τα συνεκτικά εδάφη και τυπικά έως 0,02kp/cm² για ψαθυρά, δεδομένου ότι εργαστηριακώς, ακόμη και σε εντελώς ψαθυρά εδάφη (π.χ. χύδην χάλικες ή άμμο) προσδιορίζεται μία τιμή συνοχής η οποία είναι διάφορος του μηδενός.

Η τιμή του λόγου του Poisson ελήφθη από βιβλιογραφικές πηγές και κυμαίνεται όπως φαίνεται στον συνοδό πίνακα κατωτέρω. (Πιν.1.5)

a/a	<i>Βάθος</i> m	Μέτρο ελαστικότητος (συμπιεστότητος) Ρa	Λόγος Poisson	Όριο αστοχίας Ρa	Παράγων a
1	0,0- 2,0	25000000	0,27	12800	0,195
2	2,0- 9,0	17800000	0,25	48300	0,142
3	9,0- 12,0	10600000	0,23	117400	0,024
4	12,0- 15,0	13700000	0,24	144100	0,059
5	15,0- 17,0	12700000	0,24	162200	0,048
6	17,0- 21,0	1000000	0,23	188400	0,043
7	21,0- 22,0	23800000	0,26	299700	0,043

Πίνακας 1.5: Μηχανικές ιδιότητες επί τόπου εδαφικών σχηματισμών

Σε όλες τις περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο αστοχίας γραμμικό Mohr-Coulomb όπως και στο αρχετυπικό στρώμα της προηγουμένης περιπτώσεως.

<u>β) Μηχανικές παράμετροι του υλικού κατασκευής των</u> <u>πασσάλων και της γεφύρας</u>

Όπως προαναφέρθηκε, οι πάσσαλοι της γεφύρας μελετήθηκαν ως έγχυτοι επί τόπου φρεατοπάσσαλοι, από ωπλισμένο σκυρόδεμα. Παρομοίως από ωπλισμένο σκυρόδεμα προβλέπει η μελέτη ολόκληρη ανωδομή γεφύρας, συμπεριλαμβανομένης την της και της πασσαλοεσχάρας η οποία είναι ασαφές εάν σχεδιάσθηκε ως εκτεθειμένη, υπέρ το έδαφος, κατασκευή, τουλάχιστον για τα μεσόβαθρα τα οποία παραλαμβάνουν και τα μεγαλύτερα φορτία. Συγκεκριμένα προβλέπεται μία μόνον αβαθής, εξυγιαντική εκσκαφή για ισοπέδωση και καθαρισμό της επιφανείας της κοίτης προκειμένου να εγκατασταθούν τα μηχανήματα και ο εργοταξιακός εξοπλισμός και η εσχάρα, μάλλον προορίζεται να εδρασθεί επί του φυσικού αυτού επιφανειακού στρώματος.

Στο προμελετητικό στάδιο για τη γεωτεχνική ανάλυση παρεσχέθη από τον στατικό μελετητή η πληροφορία ότι θα εχρησιμοποιείτο σκυρόδεμα της κατηγορίας B300 για το σύνολο της κατασκευής και ως εκ τούτου στο αριθμητικό μοντέλο έγινε χρήση των παραμέτρων αυτής της ποιότητος του σκυροδέματος. Πρέπει να σημειωθεί ότι από πλευράς αριθμητικής επιλύσεως και των συμπερασμάτων τα οποία εξήχθησαν, η ακριβής επίδραση του οπλισμού αγνοείται, πλην μιας ενδεικτικής εξομοιώσεως με βάση μία ενδεικτική διαστασιολόγηση και κατανομή του οπλισμού, δεδομένου ότι αυτό το οποίο εξετάζεται, είναι η μετατόπιση της ανωδομής στο επίπεδο εδράσεως της πασσαλοεσχάρας και δεν ενδιαφέρει ό έλεγχος της υπολειπομένης φερούσης ικανότητος του πασσάλου σε συνθήκες μεγίστης καταπονήσεως. Εν τούτοις εις πάσαν περίπτωση φορτίσεως έγινε έλεγχος των μεγίστων αναπτυχθεισών τάσεων στον κορμό του πασσάλου, ιδίως στην εξωτερική επιφάνεια, προκειμένου να διαπιστωθεί ρηγμάτωση του σκυροδέματος και η γεωμετρική κατανομή της.

Το μέτρο ελαστικότητος του σκυροδέματος, ο λόγος Poisson, η αντοχή σε θλίψη ελήφθησαν από βιβλιογραφικές πηγές και η συμπεριφορά του σκυροδέματος, για τις ανάγκες της επιλύσεως εθεωρήθη πλήρως ελαστική

Συνοπτικώς οι ιδιότητες του σκυροδέματος που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται κατωτέρω:

Μέτρο ελαστικότητος: **30GPa** Λόγος Poisson: **0,3** Αντοχή σε θλίψη:**30MPa** Αντοχή σε εφελκυσμό:**3MPa**

Η αντοχή σε εφελκυσμό, για τον έλεγχο, πιθανής ρηγματώσεως, ελήφθη ίση με το 1/10 της αντοχής σε θλίψη.

<u>γ) Μηχανικές παράμετροι του υλικού διεπιφανείας</u> <u>σκυροδέματος εδάφους</u>

Ένα μείζον πρόβλημα της κατασκευής εγχύτων πασσάλων σε σχηματισμούς όπως οι εν θέματι, οι οποίοι χρειάζονται κάποιο είδος σταθεροποιήσεως των τοιχωμάτων του φρέατος μεταξύ της διανοίξεώς του, της τοποθετήσεως του κλωβού του οπλισμού και της εγχύσεως του σκυροδέματος, είναι η δημιουργία μίας ζώνης διεπαφής σκυροδέματος/εδάφους η οποία σχηματίζεται από το μείγμα του διαταραχθέντος κατά την ανόρυξη του φρέατος εδάφους και του υλικού σταθεροποιήσεως των τοιχωμάτων της εκσκαφής. Το υλικό αυτό είναι συνήθως μπετονική άργιλλος και η παρουσία της πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν στον υπολογισμό της φερούσης ικανότητος του πασσάλου, εφ' όσον αυτός υπολογίζεται ως πάσσαλος τριβής/αιχμής δεδομένου ότι παρεμποδίζει τη διάχυση του σκυροδέματος στους περιβάλλοντες σχηματισμούς και ελαττώνει την αναπτυσσομένη τριβή, σχηματίζει δε ζώνη ελαττωμένης συνοχής. Στην περίπτωση του ελένχου και συμπεριφοράς σε πλευρική φόρτιση η επιλογή των καταλλήλων παραμέτρων διαστασιολογικώς και από πλευράς ιδιοτήτων για τη ζώνη αυτή είναι ακόμη περισσότερο σημαντική, δεδομένου ότι υπήρχε και παρουσία ενεργού υδροφόρου ορίζοντος επί τόπου.

Ως εκ τούτου θεωρήθηκε, με βάση την εμπειρία και βιβλιογραφικά δεδομένα, ότι η ζώνη διεπαφής έχει πάχος 0,2m περί την εξωτερική επιφάνεια του πασσάλου και οι ιδιότητες της ανταποκρίνονται σε αυτές μίας συνήθους, συγχρόνου αποθέσεως, ιλυώδους αργίλλου η οποία δεν έχει υποστεί στερεοποίηση, άπαξ και στερεοποιηθεί το σκυρόδεμα κατά τις προδιαγραφές. Επομένως για τη ζώνη αυτή επελέγησαν, συντηρητικά, οι ακόλουθοι παράμετροι.

Μέτρο ελαστικότητος: 12500000Pa Λόγος Poisson: 0,24 Οριο αστοχίας : 84100Pa Παράγων a : 0,069

Ομοίως επελέγη για τη ζώνη διεπαφής κριτήριο αστοχίας γραμμικό **Mohr-Coulomb**. Οι ίδιες παράμετροι του υλικού διεπαφής και το ίδιο πάχος ζώνης επελέγησαν για όλα τα μοντέλα μεμονωμένου πασσάλου, ομάδος 2 και 4 πασσάλων για την πραγματική στρωματογραφική σειρά.

Για το αρχετυπικό, ομογενές, έδαφος θεμελιώσεως, εκρίθη ότι τα χαρακτηριστικά του ήταν παρόμοια με αυτά του στρώματος διεπιφανείας και δεν χρησιμοποιήθηκε το στρώμα αυτό στις σχετικές επιλύσεις.

ε) Επιβολή συνθηκών φορτίσεως

Για την επίλυση εκάστου αριθμητικού μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν δύο παράλληλες διαδικασίες φορτίσεως της κατασκευής (μεμονωμένου πασσάλου ή ομάδος) και έγινε σύγκριση των αποτελεσμάτων τους.

Κατά την πρώτη διαδικασία επεβλήθη το πλευρικό φορτίο σε 10

στάδια φορτίσεως, από τιμής ίσης με το 1/10 του μεγίστου αναμενομένου, μέχρι του μεγίστου και κατεγράφησαν οι σημειούμενες παραμορφώσεις σε συγκεκριμένες ζώνες του σώματος του πασσάλου, της εξωτερικής του επιφανείας και της εν επαφή προς αυτόν ζώνης σε διάφορα βάθη, από την επιφάνεια μέχρι την αιχμή του πασσάλου.

Κατά τη δεύτερη διαδικασία επεβλήθη σε 10 βήματα οριζόντια μετατόπιση της κεφαλής του πασσάλου κατά διαστήματα τα οποία αποτελούν αυξανόμενα ποσοστά του πλάτους του πασσάλου και σημειώθηκαν οι αντίστοιχες αναπτυσσόμενες τάσεις στην εξωτερική επιφάνεια και σε επιλεγμένες ζώνες του κορμού του πασσάλου καθώς και στη ζώνη διεπαφής και το περιβάλλον έδαφος.

Η επιβολή της παραμορφώσεως ή του φορτίου δεν περιωρίσθηκε στην ανάπτυξη συνθηκών ρηγματώσεως του σκυροδέματος αλλά προχώρησε μέχρις της επιβολής του μεγίστου πλευρικού φορτίου ή της μεγίστης προβλεπομένης παραμορφώσεως. Σε όλες τις περιπτώσεις η αξονική φόρτιση του πασσάλου ή της ομάδος παρέμεινε η ιδία (η στατική φόρτιση σχεδιασμού τροποποιημένη όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα).

<u>1.4 Συμβατική ανάλυση συμπεριφοράς μεμονωμένου</u> πασσάλου σε πλευρική φόρτιση

<u>1.4.1 Γενικά</u>

Το πρόβλημα της συμπεριφοράς μεμονωμένου πασσάλου ο οποίος υπόκειται σε πλευρική φόρτιση, δηλ. οριζόντιος επιβολή φορτίου, παράλληλα με την επιφάνεια του εδάφους στο ανώτερο τμήμα του δηλ. υπέρ το έδαφος ή στο τμήμα το οποίο θα ενσωματωθεί στην πασσαλοεσχάρα αντιμετωπίσθηκε ολοκληρωμένα από τους Brooms και Winkler και αυτές οι μέθοδοι είναι αυτές οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, υπάρχουν αποτελέσματα πειραματικών φορτίσεων τα οποία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως οδηγοί και για τον έλεγχο της θεωρητικής προσεγγίσεως όμως ο αριθμός των γενομένων παραδοχών είναι μεγάλος.

Κατά την ανάλυση ελέγχονται τρεις παράμετροι

a) Πιθανή υπέρβαση της οριζοντίου αντιστάσεως του εδάφους, λογιζομένης ως παθητικής ωθήσεως

β) Πιθανή απαράδεκτη οριζόντιος μετατόπιση της κεφαλής του πασσάλου υπό το λειτουργικό αξονικό φορτίο

γ) Πιθανή υπέρβαση της καμπτικής αντοχής του κορμού του πασσάλου.

<u>1.4.2 Ανάλυση κατά τη μέθοδο Broms</u>

Η μέθοδος Broms προκειμένου να εφαρμοσθεί προϋποθέτει τον χαρακτηρισμό του πασσάλου υπό δύο πρίσματα:

 a) Της σχετικής δυσκαμψίας πασσάλου/εδάφους η οποία οδηγεί στην ταξινόμηση του πασσάλου ως μακρού ή βραχέως και

β) Της δυνατότητος του πασσάλου να περιστραφεί περί την ελευθέρα κεφαλή του ή περί κάποιο σημείο του κορμού του εντός του εδάφους (συνήθης κατάσταση για τους πασσάλους αιχμής οι οποίοι πακτώνονται σε ισχυρό στρώμα με το κέντρο περιστροφής να εντοπίζεται εντός της πακτωμένης αιχμής του πασσάλου).

Γενικά η αστοχία ενός μακρού πασσάλου επέρχεται με την ανάπτυξη πλαστικής αρθρώσεως σε κάποιο βάθος υπό την επιφάνεια του εδάφους, ενώ στους βραχείς πασσάλους επέρχεται λειτουργική αστοχία, είτε με περιστροφή και ανάπτυξη κλίσεως από την καθετότητα του κορμού του πασσάλου, είτε με απαράδεκτη οριζοντία μετατόπιση του ελευθέρου άκρου (παράλληλη μετατόπιση) χωρίς κατ' ανάγκη να αστοχήσει ο ίδιος ο πάσσαλος σε κάποιο τμήμα του.

Κατά τον Broms ο χαρακτηρισμός του πασσάλου ως μακρού ή βραχέως συναρτάται με το μέτρο ελαστικότητος του εδάφους εμπήξεως ή εγχύσεως, τη ροπή αδρανείας της διατομής του, το μήκος του εντός του εδάφους και του πλάτους του δηλαδή της γραμμικής διαστάσεως της διατομής του που δέχεται την ώθηση γαιών, εγκαρσίως προς το μήκος του πασσάλου.

Διακρίνουμε δύο, γενικά, υπολογιστικές μεθόδους για τον χαρακτηρισμό του πασσάλου αναλόγως του εάν το μέτρο ελαστικότητος θεωρείται σταθερό ανεξαρτήτως του βάθους, ή κυμαινόμενο (και συγκεκριμένα, γραμμικά αυξανόμενο).

a) Για σταθερό μέτρο ελαστικότητος:

βραχύς πάσσαλος: $L < 2(\frac{EI}{KB})^{1/4}$ μακρός πάσσαλος: $L > 3,5(\frac{EI}{KB})^{1/4}$ ενδιάμεσος πάσσαλος: $2(\frac{EI}{KB})^{1/4} < L < 3,5(\frac{EI}{KB})^{1/4}$

β) Για γραμμικώς μεταβαλλόμενο μέτρο ελαστικότητος

βραχύς πάσσαλος: $L < 2(\frac{EI}{n_h})^{1/5}$ μακρός πάσσαλος: $L > 4(\frac{EI}{n_h})^{1/5}$ ενδιάμεσος πάσσαλος: $2(\frac{EI}{n_h})^{1/5} < L < 4(\frac{EI}{n_h})^{1/5}$

όπου

Ε: Μέτρο ελαστικότητος

- L: μήκος του πασσάλου
- Β: πλάτος του πασσάλου
- Ι: ροπή αδρανείας της διατομής του πασσάλου
- Κ: δείκτης εδάφους
- n_h : συντελεστής

Για το σταθερό μέτρο ελαστικότητος η τιμή του Κ μπορεί να ληφθεί από την σχέση K=0,67K₀ όπου K₀: η τιμή του δείκτου εδάφους ληφθείσα από δοκιμή φορτίσεως πλακός πλάτους 0,305m. Για την περίπτωση του κυμαινομένου μέτρου ελαστικότητος η τιμή του Κ δίδεται από τη σχέση: $K = n_h \frac{z}{B}$ όπου z το βάθος από την ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους. Βιβλιογραφικά, για αργίλλους υπερστερεοποιημένες συνοχής 1Kp/cm²-8kp/cm² (100-800kPa) ο δείκτης εδάφους K₀ λαμβάνει τιμές 18-144MN/m³. Ο συντελεστής n_h για κανονικά στερεοποιημένες αργίλλους λαμβάνει τιμές από 0,35-0,70MN/m³ και για άμμους, αναλόγως της πυκνότητός τους και για κεκορεσμένες άμμους κυμαίνεται μεταξύ 1,4 και 34MN/m³.

<u>1.4.2.1 Έλεγχος μεγίστου επιτρεπομένου οριζοντίου</u> φορτίου

Θεωρούμε ένα μέγιστο οριζόντιο φορτίο έστω H_u το οποίο ασκείται επί της κεφαλής του πασσάλου σημειακά, σε απόσταση **e** υπέρ την επιφάνεια του εδάφους. Το έδαφος θεωρείται ομογενές, υγρού φαινομένου βάρους **γ** και γωνίας τριβής **φ**. Το έδαφος αυτό έχει συντελεστή παθητικής ωθήσεως γαιών $K_p = ε φ^2 (45^{\circ} + φ/2)$. Βάσει της ανωτέρω εκτεθείσης κατηγοριοποιήσεως των πασσάλων και του αντιστοίχως αναμενομένου μηχανισμού αστοχίας κατηγοριοποιούνται οι υπολογισμοί του μεγίστου επιτρεπομένου οριζοντίου φορτίου αναλόγως του εδάφους εμπήξεως ή εγχύσεως.

1. <u>Βραχύς πάσσαλος σε αμμώδες έδαφος</u>

Το μέγιστο οριζόντιο φορτίο παρέχεται από τη σχέση:

$$H_u = \frac{1}{2} \gamma K_p L^3 \frac{B}{\rho + L}$$
 (1.4.2.1.1)

Το φορτίο αυτό παράγει σε βάθος $z = \sqrt{\frac{2H_u}{3\gamma BK_p}}$ μία μεγίστη καμπτική ροπή: $M_{max} = H_u(e+z) - \frac{1}{2}\gamma K_p B z^3$ (1.4.2.1.2)

2. Βραχύς πάσσαλος πακτωμένης κεφαλής σε αμμώδες έδαφος

Το μέγιστο οριζόντιο φορτίο παρέχεται από τη σχέση: $H_u = \frac{3}{2} \gamma K_p L^2 B$ (1.4.2.1.3) και η μεγίστη καμπτική ροπή (παραγομένη στο επίπεδο της επιφανείας του εδάφους) από τη σχέση $M_{max} = \gamma K_p L^3 B$ (1.4.2.4)

 Βραχύς πάσσαλος περιστρεφόμενος περί την κεφαλή σε αργιλλικό έδαφος

Ο λόγος $\lambda = \frac{H_u}{C_u B^2}$ όπου C_u η αστράγγιστη συνοχή της αργίλλου παρέχεται από νομογράφημα η δε μεγίστη καμπτική ροπή παράγεται σε βάθος f =

 $rac{H}{9C_uB}$ 'Ара $H_u = \lambda C_u B^2$ (1.4.2.5) кан $M_f = H(e+1,5B+0,5f)$ (1.4.2.6)

4. Βραχύς πάσσαλος σε αργιλλικό έδαφος με πακτωμένη κεφαλή

Το μέγιστο οριζόντιο φορτίο παρέχεται από τη σχέση: $H_u = 9C_uB(L - 1,5B)$ (1.4.2.7) και η μεγίστη ροπή (επί της επιφανείας του εδάφους) από την: $M_{max} = 4,5C_uB(L^2 - 2,25B^2)$ (1.4.2.8)

 Μακρός πάσσαλος σε αργιλλικό έδαφος στρεφόμενος περί την κεφαλή

Δεδομένου ότι η кріσιμη παράμετρος είναι η οριακή καμπτική αντοχή του πασσάλου M_u το μέγιστο οριζόντιο φορτίο δίδεται από τη σχέση: $H_u = \frac{M_u}{(e+1,5B+0,5f)}$ (1.4.2.9) Η μεγίστη ροπή σε βάθος f παρέχεται από τη σχέση $M_{max} = H(e+1,5B+0,5f)$ (1.4.2.10) Η σχέση μεταξύ οριακής καμπτικής ροπής $\frac{M_u}{c_u B^3}$ και οριακής αντιστάσεως $\frac{H_u}{c_u B^2}$ δίδεται από νομογράφημα.

6. Μακρός πάσσαλος σε αργιλλικό έδαφος με πακτωμένη κεφαλή

Λόγω της δημιουργίας πλαστικής αρθρώσεως σε βάθος $f = \frac{H}{9C_u B}$ και της δεσμεύσεώς της κεφαλής ως προς την περιστροφή στο επίπεδο του εδάφους μέγιστες καμπτικές ροπές παράγονται ισοδυνάμως σε αυτά τα δύο σημεία του κορμού του πασσάλου. Ομοίως οι λόγοι $\frac{M_u}{C_u B^3}$ και $\frac{H_u}{C_u B^2}$ συσχετίζονται μέσω νομογραφήματος και η μεγίστη οριζοντία φόρτιση δίδεται από τη σχέση: $H_u = \frac{2M_u}{1.5B+0.5f}$ (1.4.2.11)

 Μακρός πάσσαλος περιστρεφόμενος περί την κεφαλή σε αμμώδες έδαφος

Η σχέση των παραμέτρων $\frac{M_u}{B^4 \gamma K_p}$ και $\frac{H_u}{K_p B^3 \gamma}$ παρέχονται από νομογράφημα. Το βάθος αναπτύξεως της μεγίστης ροπής δίδεται από τη σχέση:

$$f = 0.82 \sqrt{\frac{H}{\gamma B K_p}}$$
 (1.4.2.12)

Το μέγιστο πλευρικό φορτίο δίδεται από τη σχέση:

$$H_u = \frac{M_u}{e + 0.54 \sqrt{\frac{H_u}{\gamma B K_p}}} \quad (1.4.2.1313)$$

και η μεγίστη καμπτική ροπή από τη $M_{max} = H(e + 0.67f)$ (1.4.2.14)

8. Μακρός πάσσαλος πακτωμένης κεφαλής σε αμμώδες έδαφος

Όπως και στην άργιλλο αναπτύσσονται μέγιστες καμπτικές ροπές, στην επιφάνεια του εδάφους και σε βάθος $f = 0.82 \sqrt{\frac{H}{\gamma B K_p}}$ και το μέγιστο οριζόντιο φορτίο δίδεται από τη σχέση

$$H_u = \frac{\frac{2M_u}{e+0.54\sqrt{\frac{H_u}{\gamma BK_p}}} \quad (1.4.2.15)$$

η οποία είναι ταυτόσημος με την (1.4.2.13). Ο λόγος της οριακής αντιστάσεως και της οριακής καμπτικής ροπής δίδεται πάλι από νομογράφημα.

<u>1.4.3.1 Γενικά</u>

Το πρότυπο του Winkler για την ανάλυση της συμπεριφοράς πασσάλου σε πλευρική φόρτιση υποκαθιστά την ώθηση γαιών στην κατάντι της φοράς της φορτίσεως πλευρά του πασσάλου με ένα σύστημα «ελατηρίων» και κατατείνει στην ικανοποίηση της παρακάτω γραμμικής σχέσεως: $P = K_h y$ (1.4.3.1) όπου:

P: η ώθηση γαιών σε (kPa)
y: η οριζοντία μετατόπιση του πασσάλου (σε m)
K_h: η σταθερά ελατηρίου του Winkler σε (kN/m³)

Θεωρώντας την κατάσταση ισορροπίας του πασάλου κατά τον οριζόντιο άξονα λαμβάνουμε την εξής διαφορική εξίσωση:

$$E \cdot I \frac{d^4 y}{dx^4} = -PB$$
 (1.4.3.2) о́поυ:

Ε: το μέτρο ελαστικότητος του πασσάλου (σε kN/m²)

I: η ροπή αδρανείας της διατομής του πασσάλου $(I = \frac{BH^3}{12})$ για ορθογώνιο πάσσαλο και $I = \frac{\pi D^4}{64}$ για πάσσαλο κυκλικής διατομής).

Αντικαθιστώντας στη σχέση (2) το Ρ βάσει της (1) λαμβάνουμε:

$$E \cdot I \frac{d^4 y}{dx^4} = -K_h B y \implies E \cdot I \frac{d^4 y}{dx^4} + K_h B y = 0 \quad (1.4.3.3)$$

Η μορφή αυτή αποτελεί την χαρακτηριστική διαφορική εξίσωση του πασσάλου από την οποία μπορούν να υπολογισθούν οι οριζόντιες μετατοπίσεις διαφόρων σημείων του κορμού του πασσάλου σε βάθη **x** από την επιφάνεια του εδάφους. Το πλεονέκτημα της σχέσεως είναι ότι προσφέρεται για αριθμητική επίλυση και εισάγει ως παράμετρο την σταθερά του ελατηρίου **K**_h δηλαδή συστατικά του δείκτη εδάφους όπως αυτός παρέχεται από την τυποποιημένη δοκιμή φορτίσεως πλακός διαμέτρου 0,305m. Η παραδοχή του προτύπου Winkler και η επίλυση της αντιστοίχου διαφορικής εξισώσεως ως προς x παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού ενός χαρακτηριστικού μήκους του πασσάλου **L**₀ το οποίο εξαρτάται από τη διακύμανση ή μη της τιμής του **K**_h με το βάθος. Έτσι έχουμε (για πάσσαλο πακτωμένης κεφαλής)

α) Για υπερστερεοποιημένες αργίλλους σταθερού δείκτου εδάφους
 συν τω βάθει:

$$L_0 = \left(\frac{EI}{K_h B}\right)^{1/4} \qquad (1.4.3.4)$$

β) Για κανονικώς στερεοποιημένες άμμους και αργίλλους μεταβλητού δείκτου εδάφους συν τω βάθει δηλ. με $K_h = n_h \frac{z}{B}$ (1.4.3.5)

όπου, z το τυχόν βάθος και nh συντελεστής θα είναι:

$$L_0 = \left(\frac{EI}{n_h}\right)^{1/5} \qquad (1.4.3.6)$$

<u>1.4.3.2 Υπολογισμός οριζοντίας μετατοπίσεως σε τυχόν βάθος z</u>

Άπαξ και έχει προσδιορισθεί το χαρακτηριστικό μήκος του πασσάλου **Lo** και το οριζόντιο φορτίο επί της κεφαλής είναι γνωστό, έστω **H**, ο υπολογισμός των οριζοντίων μετατοπίσεων διαφόρων θέσεων κατά μήκος του πασσάλου παρέχεται από την σχέση:

$$y = F_{\delta} \frac{HL_0^3}{EI}$$
 (1.4.3.7) όπου

F_δ συντελεστής ο οποίος παρέχεται από νομογράφημα στο οποίο εισάγεται ως η άλλη μεταβλητή ο λόγος **z/L**₀ και ο συσχετισμός του με τη ζητουμένη τιμή του F_δ γίνεται επί τη βάσει σμήνους καμπυλών οι οποίες αντιστοιχούν σε τιμές του λόγου **L**_p/**L**₀ όπου **L**_p το πραγματικό μήκος του πασσάλου. Αντιστοίχως η αναπτυσσομένη σε διάφορα βάθη **z** καμπτική ροπή επί του κορμού του πασσάλου παρέχεται από τη σχέση $M = F_m H L_0$ (1.4.3.8) όπου **F**_m έτερος συντελεστής παρεχόμενος από νομογράφημα βάσει της μεταβλητής **z/L**₀ και για οικογένεια καμπυλών χαρακτηριστικού λόγου **L**_p/**L**₀.

<u>Παρατήρηση</u>

Στην πραγματικότητα η σχέση μεταξύ P και y δεν είναι γραμμική αλλά εμφανίζει μέγιστο $P_{max}=P_u$ όπου P_u η μεγίστη αντίσταση του εδάφους σε παθητική ώθηση. Για τιμές του y που αντιστοιχούν σε τιμές μεγαλύτερες του P_u η ώθηση γαιών μπορεί να παραμένει σταθερή ή να επέρχεται χαλάρωση του εδάφους. Το American Petroleum Institute παρέχει χαρακτηριστικές μη γραμμικές καμπύλες P/y για διαφόρους τύπους εδαφών και πληθώρα ερευνητών έχει εργασθεί πάνω στην παραμετροποίηση του σχετικού προβλήματος.

Επί της ουσίας, η ανάλυση της αποκρίσεως πασσάλου (και ομάδος) σε πλευρική φόρτιση η οποία ακολουθεί στα επόμενα με τη χρήση λογισμικού MARC (πεπερασμένων στοιχείων), ανταποκρίνεται σε επίλυση της διαφορικής εξισώσεως του πασσάλου για μη γραμμική σχέση των μεγεθών P και y.

1.5 Αναλυτικός υπολογισμός συμπεριφοράς ομάδος πασσάλων σε πλευρική φόρτιση

Βιβλιογραφικά, αναλυτική μέθοδος υπολογισμού ομάδος πασσάλων σε εγκαρσία φόρτιση, έστω σε υποθετικό ομογενές έδαφος με τη χρήση μεθόδων αναλόγων με αυτές που χρησιμοποιούν οι μέθοδοι Broms και Winkler για τον υπολογισμό του μεμονωμένου πασσάλου, δεν διατίθεται και ο προφανής λόγος είναι η πολυπλοκότητα της αλληλεπιδράσεως του εδάφους με το σύστημα των πασσάλων μεταβλητής αραιώσεως και διαστάσεων. Η μόνη δυνατή και εμφανώς ανεπαρκής και ατελής προσέγγιση είναι αυτή της υποτιθεμένης επαλληλίας του αποτελέσματος της συμπεριφοράς των μεμονωμένων πασσάλων, με την χρήση κάποιου αυξητικού συντελεστού η οποία αποδεικνύεται από τα, σχετικώς φτωχά, πειραματικά αποτελέσματα, ότι δεν επαληθεύεται.

Ως εκ τούτου, παρά το ότι στο τμήμα της συμβατικής αναλύσεως του συγκεκριμένου προβλήματος κατωτέρω θα δοθεί μία λύση βασιζομένη στην επαλληλία της αποκρίσεως του μεμονωμένου πασσάλου για σύστημα 2 και 4 πασσάλων, εν τούτοις η συμπεριφορά της ομάδος είναι κυρίως το αντικείμενο διερευνήσεως δια της αριθμητικής επιλύσεως του προβλήματος και εκεί θα δοθεί το βάρος της εξαγωγής συμπερασμάτων από την εργασία αυτή.

<u>1.5.1 Αναλυτική επίλυση του προβλήματος της</u> συμπεριφοράς μεμονωμένου πασσάλου υπό τις πραγματικές συνθήκες φορτίσεως, βάσει των φορτίων σχεδιασμού της γεφύρας.

<u>1.5.1.1 Παραδοχές</u>

1) Παραδοχές κατακορύφου (αξονικής) φορτίσεως

Βάσει των υποδειχθέντων από τον στατικό μελετητή φορτίων ανωδομής της γεφύρας και μίας προκαταρκτικής διαστασιολογήσεως των πασσάλων, έγινε επιλογή χρήσεως εγχύτων φρεατοπασσάλων των οποίων οι διαστάσεις θα ήταν: L_p=22m, D=1,25m

Όπως προαναφέρθηκε, οι πάσσαλοι θεωρήθηκε ότι θα κατασκευασθούν από ωπλισμένο σκυρόδεμα κατηγορίας B300 και ειδικού βάρους γ=2,6t/m³. Βάσει των ανωτέρω το ίδιον βάρος του μεμονωμένου πασσάλου υπολογίσθηκε σε **Wp=70tons**.

Παρά το ότι στη θέση του έργου διαπιστώθηκε η ύπαρξη υδροφόρου ορίζοντος σε βάθος 4m με αποτέλεσμα τα κατώτερα 18m του πασσάλου να μπορούν να θεωρηθούν ως διατελούντα υπό άνωση, Επελέγη, συνηγορούντος και του ότι ο υδροφόρος ορίζοντας της χειμαρρικής ροής της κοίτης παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις, να θεωρηθεί ότι η υδροστατική στάθμη διατηρεί ένα μέσο βάθος 2m και επομένως, τα 20m από το μήκος του πασσάλου τελούν υπό άνωση.

Βάσει αυτής της παραδοχής, το υπό άνωση βάρος του πασσάλου υπολογίζεται σε **Wp= 46 tons.**

Για τον υπολογισμό της φερούσης ικανότητος του πασσάλου ετηρήθη ο πάγιος συντηρητικός κανόνας να προστίθεται στη μεγίστη υπολογιζομένη φέρουσα ικανότητα του πασσάλου το ήμισυ του βάρους του εκσκαπτομένου εδάφους για την κατασκευή του πασσάλου. Θεωρώντας ένα μέσο φαινόμενο βάρος εδάφους γ_w=2t/m³ και έναν όγκο εκσκαφής V_d=πd²L/4 δηλ. V_d~27m³ στην φέρουσα αναλυτικώς υπολογιζομένη αξονική ικανότητα του πασσάλου θα προστεθεί μία συμπληρωματική δύναμη **A**g=27tons. ή υπο άνωση **A**g=12tons

Όσον αφορά το αναλογούν, στον μεμονωμένο πάσσαλο (από ομάδα 8 πασσάλων), φορτίο εκ του βάθρου του φορέως και των κινητών φορτίων το οποίο υπολογίσθηκε στα προηγούμενα σε \mathbf{W}_t =1404t αυτό θα είναι, έστω $W_p = \frac{W_t}{8}$ δηλ. \mathbf{W}_p =175,5tons,

έστω **W**_p=180tons.

2) Παραδοχές περί το έδαφος εγχύσεως του μεμονωμένου πασσάλου

Λαμβανομένης υπ' όψιν της κρισιμότητος της επιδράσεως της εδαφικής ζώνης η οποία διαταράσσεται από τη διαδικασία κυρίως της εκσκαφής αλλά και της εγχύσεως του πασσάλου, επελέγησαν συντηρητικές παράμετροι μηχανικής συμπεριφοράς του εδάφους αυτού και εθεωρήθη ότι ο πάσσαλος λειτουργεί ως τέτοιος κατά την αξονική (και πλευρική) του φόρτιση μέσα σε ένα χιτώνιο αποτελούμενο από το υλικό αυτής της διατεταραγμένης ζώνης αναμεμειγμένο με το διαρρέον και διαχεόμενο κονίαμα κατά την έγχυση του πασσάλου. Η παραδοχή αυτή επιτρέπει και τον υπολογισμό του πασσάλου ως εάν ευρίσκετο εντός ομογενούς εδάφους.

Για τον αναλυτικό υπολογισμό, όσον αφορά τη ζώνη διεπιφανείας πασσάλου/φυσικού εδάφους έγιναν οι ακόλουθες παραδοχές ως προς τις παραμέτρους της:

Συνοχή:	$c=0,5kp/cm^2$
Γωνία τριβής:	$\phi = 10^{\circ}$
Φαινόμενο βάρος:	$\gamma=2t/m^3$
Πάχος ζώνης:	δ=0,2m

Για τον υπολογισμό του κρισίμου μήκους του πασσάλου θεωρείται ότι η διεπιφανειακή ζώνη συμπεριφέρεται ως μια χαλαρή άργιλλος ή ιλυώδης άργιλλος και ο συντελεστής **π**h λαμβάνει την τιμή

$n_h = 0,4 \text{ MN}/\text{m}^3$

Εναλλακτικά, αν θεωρήσουμε 'ότι το κρίσιμο μήκος του πασσάλου και η δημιουργία πλαστικής αρθρώσεως γίνεται στο ανώτερο αμμώδες στρώμα του εδάφους το οποίο εκτείνεται μέχρι τα 9,0m βάθους, μπορούμε να λάβουμε μία βιβλιογραφική τιμή για τον συντελεστή της άμμου, η οποία βρίσκεται υπό τον υδροφόρο ορίζοντα και μπορεί να θεωρηθεί κεκορεσμένη και μέσης πυκνότητος.

Υπό αυτές τις προϋποθέσεις, για υπολογισμό της οριζοντίου μετατοπίσεως του πασσάλου εντός αμμώδους εδάφους, θα λάβουμε μία τιμή του συντελεστού,

$n_h=8$ MN/ m³

3) Παραδοχές οριζοντίου φορτίσεως μεμονωμένου πασσάλου

Σαν φορτίο δρών εγκαρσίως επί της κεφαλής του μεμονωμένου πασσάλου θεωρήθηκε ένα τυπικό σεισμικό φορτίο το οποίο ορίζεται σαν ποσοστό του αξονικού φορτίου. Παρά το ότι η αντιστοιχία δεν είναι ακριβής θεωρήθηκε σαν σεισμικό, εγκάρσιο φορτίο το ποσοστό του σεισμικού φορτίου που αντιστοιχεί στον ένα πάσσαλο ως τμήματος ομάδος 8 πασσάλων και το οποίο οφείλεται στο ίδιον βάρος του πασσάλου που έχει ενσωματωθεί στο έδαφος.

Το ολικό βάρος πασσαλοεσχάρας, βάθρου, φορέως και κινητών φορτίων είναι $W_a=W_t-8W_p$ άρα $W_a=1404t-8.46 \Longrightarrow$

W_a=1036 tons.

Θεωρώντας ότι το εγκάρσιο σεισμικό φορτίο είναι $H_a=0,5\cdot W_a$ θα έχουμε $H_a=518,0tons$.

Άρα το εγκάρσιο φορτίο που αντιστοιχεί στον μεμονωμένο πάσσαλο, στο επίπεδο της εσχάρας, δεχόμεθα ότι θα είναι **H₁=H_a/8** δηλ. **H₁=64,75tons**. Δεχόμεθα

H₁**=65tons**.

Σαν σημείο εφαρμογής του οριζοντίου φορτίου δεχόμεθα το κέντρο βάρους της ανωδομής του βάθρου, το οποίο υπολογίζεται, βάσει των ροπών των επι μέρους οριζοντίων φορτίσεων, σε

e=3,5m.

Εν τούτοις, ο πάσσαλος θεωρείται ότι είναι δεσμευμένος ως προς τη δυνατότητα περιστροφής περί την κεφαλή, λόγω της παρουσίας της πασσαλοεσχάρας, άρα, κατά την μέθοδο Broms, το εγκάρσιο φορτίο λαμβάνεται ως ασκούμενο στο επίπεδο της επιφανείας του εδάφους.

<u>4) Παραδοχές ως προς τον χαρακτηρισμό του πασσάλου ως</u> μακρού ή βραχέως

Όπως προαναφέρθηκε, κριτήριο για τον χαρακτηρισμό του πασσάλου ως μακρού ή βραχέως αποτελεί το αν το μέτρο ελαστικότητος του περιβάλλοντος εδάφους παραμένει σταθερό ή μεταβάλλεται με το βάθος.

Παρά το ότι αυτό δεν είναι απολύτως ακριβές η παραδοχή ότι ο πάσσαλος μετά την έγχυσή του περιβάλλεται από μία ζώνη διατεταραγμένου υλικού μας οδηγεί να δεχθούμε ότι, επειδή το υλικό αυτό έχει θεωρηθεί ομογενές, πρέπει για τον χαρακτηρισμό του πασσάλου να χρησιμοποιηθούν οι σχέσεις που αφορούν το κυμαινόμενο μέτρο ελαστικότητος, ουσιαστικά, δεχόμεθα ότι ο πάσσαλος εκκινεί, τουλάχιστον την οριζόντια μετατόπισή του μέσα σε χαλαρό αργιλλοϊλυώδες υλικό

Άρα, ο πάσσαλος θα είναι βραχύς, εάν $L < 2(\frac{EI}{\eta})^{1/4}$ και μακρός εάν $L > 4(\frac{EI}{\eta})^{1/4}$. Για τη χρήση στις παραπάνω σχέσεις δεχόμεθα τις τιμές:

E= 30GPa I= $\frac{\pi d^4}{64}$ =0,1198m⁴ B=d=1,25m η =:0,4 MN/ m³

Ο παράγων $(\frac{EI}{\eta})^{1/4}$ δίνει για τις τιμές που προαναφέρθηκαν: $(\frac{EI}{\eta})^{1/4} = (\frac{E \cdot \frac{\pi d^4}{64}}{\eta})^{1/4} = (\frac{E\pi d^4}{64})^{1/5} = (\frac{E\pi d^4}{64\eta})^{1/5} = (\frac{30000 \frac{MN}{m^3} \pi (1,25^4)}{64 \cdot 0.4 \frac{MN}{m^3}})^{1/5}$ ≈ 6,176m

Επομένως θα είναι, για αργιλλικό έδαφος,

Lo1=6,176 m

Άρα, 2*6,176=12,352m και 4*6,176=24,704m. Άρα επειδή L=22m>12,35 ο πάσσαλος αντιμετωπίζεται, οριακά, ως μακρός πάσσαλος.

Στην περίπτωση της πραγματικής κατασκευής εμφανίζεται ένα πολυστρωματικό έδαφος με διάφορες διαβαθμίσεις αναλογιών αμμώδους ή και χαλικώδους και αργιλλικού υλικού και χαμηλότερα κάποια ζώνη στιφρής μαργαϊκής αργίλλου. Εν τούτοις, εάν αναπτυχθεί πλαστική άρθρωση, λαμβανομένου υπ' όψιν και της παρατηρήσεως ότι, εν γένει το ανώτερο 1/3 του μήκους του πασσάλου θεωρείται ενεργό, αυτή θα αναπτυχθεί εντός του ανωτέρου τμήματος των αμμωδών και αμμοϊλιωδών στρωμάτων τα οποία, ως αποθέσεις κοίτης, θεωρείται ότι στερεοποιούνται ομαλά. Συντηρητικά, επιλέγεται η τιμή $n_h=8$ MN/m³, η οποία, σύμφωνα με τις οδηγίες της μεθόδου, για να εφαρμοσθεί κατά τον οριζόντιο άξονα, τροποποιείται, συναρτήσει της διαμέτρου του πασσάλου, βάσει της σχέσεως,

$n_h=0,4*n/B$

οπότε θα έχουμε:

$n_{\rm h}$ =2,56 MN/m³

$$\left(\frac{EI}{n_h}\right)^{1/5} = \left(\frac{\frac{E\pi d^4}{64}}{n_h}\right)^{1/5} = \left(\frac{30000\frac{MN}{m^2} \cdot \frac{\pi (1,25m)^4}{64}}{2.56\frac{MN}{m^3}}\right)^{1/5} = \left(\frac{3595,27MNm^4m^3}{2.56m^2}\right)^{1/5} = \left(\frac{3595,27}{2.56} \cdot \frac{MNm^7}{m^2}\right)^{1/5} = (1404,402m5)^{1/5} = 4,26m$$

Αρα, για αμμώδες στρώμα, το κρίσιμο μήκος του πασσάλου θα είναι

L02=4,26 m

'Aρα 4*4,26 m <L=22 m>4*4,26 m ή

L=22,0m>17,04m

Άρα ο πάσσαλος και σε αυτή την περίπτωση αντιμετωπίζεται ως μακρός. Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι ακόμη και για πολύ χαμηλές τιμές των K₀ και n_h π.χ K₀=6MN/m³ και n_h=1,5MN/m³ ο πάσσαλος εμφανίζεται, έστω και οριακά, ως μακρός ή ενδιάμεσος και υπολογιστικά είναι προτιμότερο να αντιμετωπισθεί ως μακρός ακόμη και εάν λάβει σαφή χαρακτηρισμό ενδιαμέσου.

Σημειώνεται εδώ ότι τα προκύπτοντα μήκη από τους παράγοντες $\left(\frac{EI}{n_h}\right)^{1/5}$ και $\left(\frac{EI}{n_h}\right)^{1/5}$ δηλαδή οι τιμές 6,176 m και 4,26 m αντιστοίχως, αποτελούν τα χαρακτηριστικά μήκη του πασσάλου για την εφαρμογή της μεθόδου Winkler

Άρα, μπορούμε να δεχθούμε τιμή

$L_{01} \approx 6, 176m.$

ως την περισσότερο συντηρητική, δεδομένου ότι ο πάσσαλος θα λειτουργήσει εντός εδάφους που παρουσιάζει και αμμώδη και αργιλλικά χαρακτηριστικά και η ένταξή του σε μία σαφή κατηγορία δεν είναι προφανής.

Πράγματι, μόνο η αιχμή του βρίσκεται εμπηγμένη εντός στιφρής αργίλλου και το τμήμα του στο οποίο είναι πιθανότερο να αναπτυχθεί πλαστική άρθρωση, δηλαδή το ανώτερο 1/3 λειτουργεί εντός αμμοχαλικώδους εδάφους.

Εάν ληφθεί υπ' όψιν μόνο αυτό το ανώτερο τρίτο, το προκύπτον χαρακτηριστικό μήκος, για μια τιμή **n**_{*}= 2,56 MN/m³ γίνεται

L02=4,26m
Για λόγους καλύψεως της ασαφείας, ο υπολογισμός της οριζοντίου μετατοπίσεως θα γίνει, στα επόμενα, δύο φορές, για χαρακτηριστικά μήκη

6,176 μέτρων και 4,26 μέτρων

και θα ληφθεί η μεγαλύτερη από τις δύο τιμές ως η τιμή σχεδιασμού.

<u>1.5.2 Υπολογισμός του μεγίστου εγκαρσίου φορτίου κατά</u> <u>Broms</u>

Δεδομένου ότι, κατά μία θεώρηση, ο πάσσαλος, ο οποίος έχει ήδη χαρακτηρισθεί ως μακρός και, λόγω της εντάξεώς του σε ομάδα πασσάλων με πασσαλοεσχάρα, μπορεί να θεωρηθεί ως δέσμιος ως προς περιστροφή περί την κεφαλή, κινείται εντός των ορίων της διατεταραγμένης ζώνης διεπαφής ενώ, κατά μία άλλη, η έγχυση του σκυροδέματος και η διαρροή του υπό δόνηση στα γειτονικά στρώματα εξασφαλίζει την συναρμογή του με τα στρώματα αυτά, κατωτέρω, για την περίπτωση του πραγματικού εδάφους θα υπολογισθεί το μέγιστο εγκάρσιο φορτίο κατά Broms και με τους δύο τρόπους, για αργιλλικό έδαφος το οποίο αντιπροσωπεύει τη ζώνη διεπαφής και για αμμώδες το οποίο αντιπροσωπεύει κατά, καλή προσέγγιση το πραγματικό έδαφος και, μάλιστα, το τμήμα το εντός του οποίου αναμένεται να σχηματισθεί η πλαστική άρθρωση σε οριακή περίπτωση φορτίσεως.

α) Υπολογισμός μεγίστου φορτίου για αργιλλικό έδαφος

Όπως προαναφέρθηκε, θεωρούμε ότι το στρώμα διεπιφανείας έχει συνοχή C_u=0,5Kp/cm² και γωνία τριβής φ=10⁰. Για τον υπολογισμό του μεγίστου εγκαρσίου φορτίου χρησιμοποιούμε τη σχέση:

$$H_u = \frac{2M_u}{1.5d+0.5f}$$
όπου

H_u: το μέγιστο εγκάρσιο φορτίο
M_u: η μεγίστη καμπτική αντοχή του πασσάλου
d: η διάμετρος του πασσάλου
f: συντελεστής ο οποίος δίδεται από τη σχέση

f: συντελεστής ο οποίος δίδεται από τη σχέση: $f = \frac{H}{9C_u d}$ όπου Η το τυχόν εγκάρσιο φορτίο.

Η μεγίστη καμπτική ροπή του πασσάλου υπολογίζεται, βάσει των κανονισμών για δοκούς απο ωπλισμένο σκυρόδεμα σε

Αντικαθιστώντας την τιμή του **f**, στην σχέση υπολογισμού του μεγίστου εγκαρσίου φορτίου θα λάβουμε δευτεροβάθμιο σχέση ως προς το μέγιστο φορτίο,

H_u×H_u×0,00888+1,875×H_u-2×741=0

από την οποία προκύπτει ότι

H_u= 316,24tons

Αν χρησιμοποιηθούν τα σχετικά νομογραφήματα, προκύπτει τιμη του μεγίστου επιτρεπτού φορτίου,

H_u=304tons

Άρα, εφ' όσον, το μέγιστο εγκάρσιο φορτίο σχεδιασμού είναι 65τόννοι, ο πάσσαλος ευρίσκεται εντός των ορίων αντοχής του. (συντελεστής ασφαλείας, περίπου, **SF=5**)

β) Υπολογισμός μεγίστου φορτίου για αμμώδες έδαφος

Για τον αναλυτικό υπολογισμό θεωρούμε ότι μία μέση κατάσταση του εδάφους αντιπροσωπεύεται από ένα ομογενές αμμώδες έδαφος με γωνία τριβής **φ=16,2°** δηλαδή τον ζυγισμένο μέσο όρο των τιμών γωνίας τριβής όλων των στρωμάτων.

Για τον υπολογισμό χρησιμοποιείται η σχέση: $H_u = \frac{2M_u}{e^{+0.54}\sqrt{\frac{H_u}{\gamma^{BK_p}}}}$

όπου K_p ο παθητικός συντελεστής ωθήσεως γαιών. Όπως προηγουμένως, ο λόγος $\frac{H_u}{K_p B^3 \gamma} / \frac{M_u}{B^4 \gamma K_p}$ λαμβάνεται από νομογράφημα και $K_{\pi p} = tan^2 (45 + \frac{\varphi}{2}).$

Και εδώ, η μεγίστη καμπτική ροπή είναι

Mu=741 tm

Βάσει της ανωτέρω τιμής υπολογίζεται το μέγιστο οριζόντιο φορτίο, μέσω τριτοβαθμίου εξισώσεως, ως προς την τετραγωνική ρίζα του μεγίστου εγκαρσίου φορτίου, της μορφής

0,3539× [(Hu)1/2]3=1482 tm, οπότε,

Hu=259,8 tons

Το σχετικό νομογράφημα (Σχ.1.5) δίδει τιμή για την δεδομένη μεγίστη καμπτική ροπή, ίση με, περίπου

*Hu***=295 tons**

Δεχόμενοι την μικρότερη από τις δύο, έχουμε και πάλι επαρκή συντελεστή ασφαλείας, της τάξεως του





Σχήμα 1.5: Νομογράφημα για τον υπολογισμό της μεγίστης αντιστάσεως μακρού πασσάλου σε άμμο (Καββαδάς)

γ) Υπολογισμός της εγκαρσίας μετατοπίσεως κατά Broms

Ο υπολογισμός της οριζοντίου μετατοπίσεως, σύμφωνα με την μέθοδο γίνεται χρησιμοποιώντας τους συντελεστές οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για την εξαγωγή του κρισίμου μήκους πασσάλου, αφού έχει ελεγχθεί, όπως προηγουμένως, εάν το οριζόντιο φορτίο δεν υπερβαίνει το μέγιστο επιτρεπτό και, επομένως, η παραμόρφωση του πασσάλου μπορεί να θεωρηθεί ελαστική.

Ο υπολογισμός της οριζοντίου μετατοπίσεως χρησιμοποιώντας την σχέση

$b = (n_h \times B/E \times I)^{1/4}$

όπου **b** συντελεστής και B το πλάτος (διάμετρος) του πασσάλου. Bάσει των προηγουμένων, γίνονται δύο επιλύσεις. 1) Για τιμή **n_h=0,4MN/m³**, θα είναι,

b=0,1086

Πολλαπλασιάζοντας επί το μήκος του πασσάλου που στην περίπτωση αυτή είναι L=22,0m, θα έχουμε

b*L =2,389 m

Αρα ο πάσσαλος θεωρείται μακρός, εφ 'οσον b*L>2,25m

2) Για τιμή **n_h=2,56 MN/m³** θα είναι,

b= 0,1634

Πολλαπλασιάζοντας επί το μήκος του πασσάλου που στην περίπτωση αυτή είναι L=22,0m, θα έχουμε ότι

b×L=3,595m

Αρα ο πάσσαλος θεωρείται μακρός, εφ 'οσον **b×L>2,25m**

Με βάση την θεώρηση του πασσάλου ως πλήρως ελαστικού και σύμφωνα με την γραμμική προσέγγιση του Broms, προκύπτουν δύο τιμές μετατοπίσεως.

Γιά αργιλλικό έδαφος, y1=7,39cm. Γιά αμμώδες, y2=1,15cm.

Θεωρώντας τον μέσο όρο των δύο, δεδομένης της μικτής φύσεως του εδάφους,θα έχουμε.

y=4,27cm

Συντηρητικά, θα μπορούσαμε να δεχθούμε την μεγαλύτερη απο τις δύο υπολογισθείσες.

<u>1.5.3 Υπολογισμός πλευρικής μετατοπίσεως πασσάλου υπό</u> εγκαρσία φόρτιση κατά τη μέθοδο Winkler

<u>α) Υπολογισμός μετατοπίσεως στο επίπεδο της επιφανείας</u> του εδάφους

Σύμφωνα με το υπόδειγμα του Winkler η οριζοντία μετατόπιση y του πασσάλου σε βάθος z δίδεται από τη σχέση:

 $y = F_{\delta} \frac{HL_0^3}{EI}$ όπου

 F_{δ} συντέλεστής παρεχόμενος από νομογράφημα βάσει του λόγου L_p/L_0 όπου L_0 το χαρακτηριστικό μήκος του πασσάλου (εδώ $L_{01}=6,176$ m και $L_{02}=4,26$ m). Επίσης στο νομογράφημα εισάγεται ως μεταβλητή ο λόγος z/L_0 . Βάσει των τιμών L_p και L_{01} έχουμε $\frac{L_p}{L_{01}} \approx \frac{22}{6.176} \approx 3,56$ και για την δεύτερη περίπτωση, $\frac{L_p}{L_{01}} \approx 5,16$, άρα δεχόμεθα ότι στο σχετικό νομογράφημα η τιμή του F_{δ} θα αναζητηθεί μεταξύ της οικογενείας καμπυλών L_p/L_0 σε αυτήν της καμπύλης

$$L_p/L_{01}=4$$
 kai $L_p/L_{02}=5$

Δεδομένου ότι για την επιφάνεια του εδάφους z=0, άρα z/L₀=0, ή εναλλακτικά, θα μπορούσαμε να δεχθούμε z=0,1m δεδομένου ότι το

αρχικό επιφανειακό στρώμα του εδάφους μπορεί να θεωρηθεί διατεταραγμένο, οπότε $z/L_0=0,1/4,0$ άρα $z/L_0=0,025$, δεχόμεθα ότι ο λόγος z/L_0 έχει τιμές 0< z/L_0 <0,05.

Από το νομογράφημα η καμπύλη L_p/L_{01} =4 δίδει τιμή F_{δ} =0,85. Για Άρα για F_{δ} =0,85, H=65ton, L_0 =6,176 m E=30GN/m² και I= $\frac{\pi d^4}{64}$ με d=1,25m δηλ. I=0,1198 m4 θα έχομε:

$$y = 0.85 \frac{0.65MN \cdot 6.176^3}{30^{GN}/m^{2.0,1198}} \Rightarrow$$

y = 0.0426 m, ή
y = 4.26 cm

Από το νομογράφημα η καμπύλη $L_p/L_{02}=5$ δίδει τιμή $F_{\delta}=0,90$. Άρα για $F_{\delta}=0,90$, H=65ton, $L_0=4,26m$, E=30GN/m² και $I=\frac{\pi d^4}{64}$ με d=1,25m δηλ. I=0,1198 m⁴ θα έχομε:

$$y = 0.90 \frac{0.65MN \cdot 4.26^{3}}{30^{GN}/m^{2} \cdot 0.1198} \Rightarrow$$

$$y = 0.0126 \text{ m} \quad \dot{\eta}$$

$$y = 1.26 \text{ cm}$$

Για τον σχεδιασμό δεχόμεθα την υψηλότερη απο τις δύο τιμές, δηλαδή

$$y = 4,26 \ cm$$

β) <u>Υπολογισμός καμπτικής ροπής κατά Winkler</u>

Όπως προαναφέρθηκε, ο υπολογισμός της καμπτικής ροπής δίδεται από τη σχέση M=FmHL₀, για βάθος z με Fm συντελεστή ομοίως παρεχόμενο από νομογράφημα βάσει των τιμών L_p/L₀ και z/L₀.

Για $L_p/L_0=4$ και z/L_0 περίπου **0,02** (για σημείο ευρισκόμενο, συμβατικά, 10 εκ. υπό την επιφάνεια του εδάφους), το νομογράφημα δίδει $F_m \approx -0.9$. Άρα για $F_m = -0.9$, H=65t $L_0=6,176m$ η μεγίστη καμπτική ροπή θα είναι:

M_{max}=0,9×65×6,176=361,3ton×m δεχόμεθα M_{max}≈365ton×m.

Η καμπτική αντοχή του πασσάλου βάσει των διαστάσεών του και του υλικού κατασκευής υπολογίζεται σε

$M_{u=}741 \text{ tn} \times m$

Άρα **Μ_{max}<Μ_u**,

επομένως ο πάσσαλος είναι ασφαλής σε εγκαρσία φόρτιση (δεν επέρχεται αστοχία, συντελεστής ασφαλείας **SF=2,03**).

<u>1.5.4 Ανάλυση συμπεριφοράς της ομάδος πασσάλων σε</u> εγκάρσια φόρτιση.

Όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα η απόκριση μίας πασσαλοομάδος σε διάφορες φορτίσεις μπορεί, κατά μία προσέγγιση, να αντιμετωπισθεί αναλυτικά σαν επαλληλία της συμπεριφοράς του μεμονωμένου πασσάλου με την εισαγωγή διαφόρων παραδοχών και συντελεστών συνεργασίας

Ο δεύτερος τρόπος προσεγγίσεως του προβλήματος έγκειται στην ανάλυση της συμπεριφοράς του εδαφικού τεμάχους το οποίο εγκιβωτίζεται μεταξύ των πασσάλων της ομάδος και επομένως οι διάφοροι έλεγχοι έχουν ως αντικείμενο την ευστάθεια ή αστοχία του τεμάχους εδάφους του οποίου τα γεωμετρικά όρια συμπίπτουν με τα εξωτερικά γεωμετρικά όρια της πασσαλοομάδος.

Στην παρούσα εργασία το πρόβλημα της εγκαρσίας φορτίσεως της πασσαλοομάδος θα αντιμετωπισθεί αναλυτικά και με τις δύο προσεγγίσεις και τα συμπεράσματα περί την ασφάλεια της ομάδος θα εξαχθούν με βάση την δυσμενέστερη από τις δύο περιπτώσεις.

a) Επαλληλία μεμονωμένου πασσάλου

Στην εξεταζομένη περίπτωση η πασσαλοομάδα αποτελείται από 4×2 πασσάλους με αραίωση κέντρων 2,5d και κατά τις δύο διευθύνσεις. Προκειμένου να λειτουργήσει η αρχή της επαλληλίας θεωρείται ότι η παρεμβαλλομένη μεταξύ των δύο πασσάλων εδαφική ζώνη, ελαχίστου (λόγω της κυκλικής διατομής των πασσάλων) πλάτους 1,5d, δεν αστοχεί υπό την επίδραση υπό την επίδραση του φορτίου του μεμονωμένου πασσάλου, πάσσαλοι της περιμέτρου άλλως, 01 της ομάδος παραλαμβάνουν μεγαλύτερο φορτίο από αυτούς του μέσου, τουλάχιστον κατά την μακρά διάσταση της ομάδος, δεδομένου ότι κατά την βραχεία και οι δύο πάσσαλοι λειτουργούν εναλλάξως εξωτερικά με τον εκάστοτε προς τα έξω να φορτίζεται περισσότερο εάν αστοχήσει η ενδιάμεση εδαφική ζώνη.

Η αναλυτική εκτίμηση της γραμμής αστοχίας της ενδιαμέσου εδαφικής ζώνης κατά τη γεωμετρία της και η προκύπτουσα φέρουσα ικανότης της σε πλευρική φόρτιση εξαρτάται, εκτός των άλλων και από την κατανομή του εγκαρσίου φορτίου με το βάθος λόγω λυγισμού του ενδιαμέσου πασσάλου, και από την παραδοχή περί του αν προ ή κατά την αστοχία του η ενδιάμεση ζώνη εδάφους μεταφέρει φορτία στους γειτονικούς πασσάλους και, μέσω αυτών στην περιβάλλουσα την ομάδα εδαφική ζώνη.

Συμβατικά, για τους σκοπούς της εργασίας αυτής θεωρείται ότι η ενδιάμεση των πασσάλων εδαφική ζώνη αστοχεί κατά μήκος ενός επιπέδου το οποίο αντιστοιχεί στο προβλεπόμενο από την θεωρία της ωθήσεως γαιών σε παθητική ώθηση και του οποίου το κατώτερο σημείο βρίσκεται στο βάθος σχηματισμού από τον πάσσαλο πλαστικής αρθρώσεως.

Βάσει της ανωτέρω παραδοχής, η ενδιάμεση εδαφική ζώνη παραλαμβάνει, από τους ενδιάμεσους πασσάλους, φορτίο το οποίο

αποφορτίζει την μεγίστη, επιτρεπτή οριζοντία φόρτιση του πασσάλου, ίσο με την διατμητική αντοχή της ζώνης αυτής κατά μήκος του προαναφερθέντος επιπέδου αστοχίας.

Εφ' όσον το φορτίο αυτό αποδειχθεί μικρότερο του αναλογούντος φορτίου σε κάθε πάσσαλο της ομάδος, η διαφορά αυτή για τους 1,2 και 3 εσωτερικούς πασσάλους προστίθεται στο φορτίο του εξωτερικού πασσάλου της γραμμής της ομάδος (πάσσαλος 4) και ο πάσσαλος αυτός ελέγχεται εκ νέου σε εγκάρσια φόρτιση ως μεμονωμένος με το νέο αυξημένο εγκάρσιο φορτίο.

Σύμφωνα με τα ανωτέρω, θεωρώντας την παραλληλόγραμμη ομάδα των 8 πασσάλων, κατά την μικρή διάσταση όπου λειτουργούν τέσσερα παράλληλα ζεύγη πασσάλων, ο εξωτερικός πάσσαλος θα φορτίζεται εγκάρσια με φορτίο: H₂=2H-P όπου H₂ το εγκάρσιο φορτίο του εξωτερικού πασσάλου, Η το εγκάρσιο φορτίο που αναλογεί σε κάθε πάσσαλο σε ισοκατανομή (H=65ton) και P η μεγίστη παθητική ώθηση γαιών την οποία παραλαμβάνει η ζώνη εδάφους μεταξύ των πασσάλων.

Θεωρώντας την εγκάρσια φόρτιση της ομάδος κατά τον άξονα των 4 πασσάλων (μεγάλη διάσταση) θα έχουμε δύο φορτιζόμενες ομάδες των 4 πασσάλων και σε κάθε ομάδα ο εξωτερικός πάσσαλος θα φορτίζεται με φορτίο H₄=4H-3P όπου H₄ το μέγιστο εγκάρσιο φορτίο που επάγεται στον εξωτερικό πάσσαλο, Η το αναλογούν εγκάρσιο φορτίο (H=65t) και P, όπως προηγουμένως η μεγίστη παθητική ώθηση γαιών την οποία μπορεί να παραλάβει η ενδιάμεση ζώνη εδάφους μέχρις αστοχίας.

Θεωρώντας ότι η αστοχία της εδαφικής ζώνης μεταξύ των πασσάλων επέρχεται σε βάθος 7-8m όπου αναμένεται η ανάπτυξη της πλαστικής αρθρώσεως και ότι στην περιοχή του έργου ο υδροφόρος ορίζων εντοπίζεται σε βάθος 4m άρα το ήμισυ περίπου της αντιστοίχου στήλης είναι υπό άνωση, υπολογίζεται η μεγίστη παθητική ώθηση γαιών την οποία μπορεί να παραλάβει η μεταξύ των πασσάλων εδαφική ζώνη ως εξής:

Αραίωση πασσάλων 1,5d ή πλάτος εδαφικής ζώνης D=1,5d⇒D=1.5·1.25m

Διατομή ζώνης **A=1.5d d⇒A=1,5d² άρα A=1,5(1,25m)²⇒2,35m²**

Μέσο ύψος στήλης στο κέντρο της (υπέρ την επιφάνεια αστοχίας) έστω **h=7.5m**

Όγκος στήλης εδάφους: **V=A·h⇒V=2,35·7,5⇒V=18m³**

Θεωρώντας ότι το ήμισυ της στήλης βρίσκεται υπό άνωση, το βάρος της στήλης θα είναι **W=9x2+9=27tons**.

Εφ' όσον η γωνία τριβής στο δεδομένο βάθος είναι **φ=26**°, η διατμητική αντίσταση της στήλης εδάφους μπορεί να υπολογισθεί απο την σχέση

P=W * tan26°,ἀρα, **P=27*0,488** ἡ **P=13,176tons**.

Δεχόμεθα, **P=13tons**.

Αρα ο έλεγχος του εξωτερικού πασσάλου γίνεται για φορτίο ίσο με το τετραπλάσιο του εγκαρσίου του μεμονωμένου πασσάλου, μειούμενο κατά το τριπλάσιο της αντιστάσεως της ενδιαμέσου εδαφικής στήλης.

Άρα, το φορτίο αυτό θα είναι

H_{max}=4 x 65 tons-3 x 13tons=221tons

Με την μέθοδο Broms το μέγιστο οριζόντιο φορτίο υπολογίσθηκε σε 259,5 τόνους, ή περίπου 300 τόνους, κατά το νομογράφημα.

Επομένως, η αντοχή των εξωτερικών πασσάλων είναι επαρκής, μεν,

όμως, σχεδόν οριακή. (SF=1,17).

Εμφανώς, ο αντίστοιχος έλεγχος της ομάδος δύο πασσάλων, περιττεύει.

<u>β) Έλεγχος ευσταθείας του τεμάχους εδάφους που περιέχει</u> τους πασσάλους

Σύμφωνα με την δεύτερη μέθοδο προσεγγίσεως του προβλήματος φορτίσεως πασσαλομάδος ελέγχομε την ευστάθεια του τμήματος του εδάφους το οποίο εγκιβωτίζεται από τις εξωτερικές διαστάσεις της πασσαλομάδος και θεωρείται ως αποτελόν ένα σώμα το οποίο αλληλεπιδρά με το περιβάλλον έδαφος.

Στην περίπτωση του συγκεκριμένου προβλήματος της γεφύρας έχομε μία ομάδα 2×4, πασσάλων διαμέτρου d=1,25m με αραίωση μεταξύ κέντρων 2,5d. Άρα, το τέμαχος το οποίο ελέγχεται έχει μέγιστες διαστάσεις: μήκος l=3·2,5d+d \Rightarrow l=8.5d ή l=8,5 ·1,25m άρα

l= 10,625m πλάτος b=2,5d+d ⇒ b=3,5d ή b=3,5 · 1,25m ⇒ **b=4,375 m** . Δεχόμεθα μήκος l=11m και πλάτος b=4,5m

Κατά την εγκάρσια φόρτιση της πασσαλομάδος με το μέγιστο εγκάρσιο φορτίο σύμφωνα με την παραπάνω θεώρηση στην εγκάρσια φόρτιση ανθίσταται η παθητική ώθηση γαιών η οποία δρα στην εξωτερική όψη του τεμάχους, εγκαρσίως προς τον άξονα της φορτίσεως συν η διατμητική αντίσταση των δύο εξωτερικών επιφανειών του τεμάχους παράλληλα με τον άξονα της φορτίσεως.

Κατά τον υπολογισμό της φερούσης ικανότητος πασσαλομάδος σε αξονική φόρτιση θεωρείται ότι το τέμαχος εκτείνεται σε βάθος μέχρι το βάθος εδράσεως της αιχμής του πασσάλου, εν τούτοις εύλογο είναι να θεωρήσουμε ότι, για τον έλεγχο σε εγκάρσια φόρτιση, το βάθος του τεμάχους περιορίζεται στο ανώτερο 1/3 του ύψους των πασσάλων από την επιφάνεια το οποίο είναι ενεργό και όπου αναμένονται οι μετατοπίσεις των πασσάλων. Ως εκ τούτου, συντηρητικά, για ένα μέγιστο μήκος πασσάλων 22m θεωρούμε ότι το μέγιστο βάθος στο οποίο μεταφέρεται η αντίσταση του περιβάλλοντος εδάφους είναι z=7,5m.

Δεδομένου ότι η ομάδα είναι παραλληλόγραμμη γίνονται δύο έλεγχοι. Στην πρώτη περίπτωση η εγκάρσια φόρτιση γίνεται κατά διεύθυνση κάθετο στην πλευρά των δύο πασσάλων.

Έλεγχος για εγκάρσια φόρτιση κατά διεύθυνση κάθετο στην μακρά πλευρά της ομάδος

Στην περίπτωση αυτή το μέτωπο επί του οποίου δρα η παθητική ώθηση γαιών έχει μήκος ίσο με τη μακρά πλευρά της ομάδος δηλαδή 1= m. Κατά την μικρή διάσταση της ομάδος δρα ή διατμητική αντοχή του εδάφους, εκατέρωθεν, δηλαδή επί δύο επιφανειών διαστάσεων b×z.

Αν ονομάσουμε P_p την παθητική ώθηση γαιών και Τ την διατμητική αντοχή των πλευρών του τεμάχους η ολική αντίσταση σε εγκαρσία φόρτιση της ομάδος θα είναι

$H_{max}=P_p+2T$.

Για τον υπολογισμό της P_p δεχόμεθα επιφάνεια αστοχίας, σύμφωνα με την θεωρία της ωθήσεως γαιών, η οποία αναπτύσσεται στο αναμενόμενο βάθος αναπτύξεως πλαστικής αρθρώσεως και έχει κλίση θ που δίδεται από την σχέση: **εφθ=εφ(45⁰+φ/2**) όπου θ η κλίση της επιφανείας αστοχίας και φ η γωνία τριβής του εδάφους.

Στην περίπτωση που η εγκαρσία φόρτιση δρα κάθετα προς την στενή πλευρά της πασσαλομάδος (μέτωπο δύο πασσάλων), ο υπολογισμός της συνολικής μεγίστης ανθισταμένης δυνάμεως γίνεται με τον ίδιο τρόπο, όμως η παθητική ώθηση γαιών δρα επί της στενής πλευράς της ομάδος και η πλευρική τριβή δρα κατά μήκος των μακρών πλευρών επί της επιφανείας διατομής $1 \times z$. Ομοίως η σχέση θα είναι $H_{max}=P_p+2T$ με τις P_p και **Τα** να λαμβάνουν τις αντίστοιχες τιμές.

1.1 Υπολογισμός των τιμών της **P**_p

Η στρωματογραφική διαμόρφωση θεωρείται κατ' έκτασιν και κατά βάθος, ομογενής σε όλη την περιοχή που καλύπτεται από την πασσαλομάδα και επομένως βάσει των ιδίων παραμέτρων των στρωμάτων υπολογίζονται οι τιμές της παθητικής ωθήσεως γαιών κατά μήκος της μακράς και της στενής πλευράς. Σύμφωνα με την στρωματογραφία της θέσεως της γεφύρας που αναλύθηκε στα προηγούμενα το ανώτερο τρίτο του μήκους των πασσάλων που θεωρήθηκε ενεργό έχει εγχυθεί μέσα στα ακόλουθα γαιώδη μέσα με τις παραπλεύρως εκάστου ιδιότητες:

A) Αργιλλώδες αμμοχάλικο με φ=38,5° και c=0,10kp/cm²

B) Αργιλλώδης άμμος με φ=26° και c=0,32kp/cm²

Συντηρητικά, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι εφ' όσον το επίπεδο πιθανής αστοχίας του εδάφους βρίσκεται εντός του κατωτέρου στρώματος, όλη η μάζα του εδάφους έχει τα χαρακτηριστικά του στρώματος αυτού και να δεχθούμε γωνία τριβής φ=26° για όλη τη μάζα του ανθισταμένου εδάφους.

Βάσει της θεωρίας ωθήσεως γαιών (Rankine) η παθητική ώθηση στο πλευρό του εδαφικού τεμάχους που περιέχει την πασσαλομάδα υπολογίζεται (μετά απο ελάττωση, συντηρητικά) σε **Pp=2,0kp/cm²**

Άρα η αντίσταση λόγω παθητικής ωθήσεως γαιών θα είναι:

 F_0 ·l=2,00kp/cm²×7,5m ×4,5m=675 tons, για την στενή πλευρά του τεμάχους και 1650 tons για την μακρά πλευρά του τεμάχους

Για τον υπολογισμό της αντιστάσεως λόγω τριβής στην πλευρά την παράλληλη προς την διεύθυνση της φορτίσεως, χρησιμοποιούμε την σχέση υπολογισμού που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της αξονικής δυνάμεως τριβής επί των πασσάλων. Εν τούτοις, παρατηρείται ότι η αντίσταση λόγω παθητικής ωθήσεως, ακόμη και για την στενή πλευρά του τεμάχους είναι μεγαλύτερη από την ολική οριζοντία φόρτιση η οποία υπολογίζεται σε **H**= **520 tons**.

Ως εκ τούτου, περιττεύει ο έλεγχος με την προσθήκη της

αντιστάσεως λόγω πλευρικής τριβής

Για να ελέγξομε την ευστάθεια της πασσαλομάδος συγκρίνομε την μικρότερη των δύο τιμών με την τιμή της αναμενομένης μεγίστης εγκαρσίου φορτίσεως που είναι H=8*65ton άρα H=520ton. Θα είναι H<H_{max2}<H_{max4}

Αναλυτικά 520 tons<675 tons<1650 tons

άρα η κατασκευή είναι ασφαλής

<u>1.5.5 Έλεγχος φερούσης ικανότητος μεμονωμένου</u> πασσάλου σε εγκάρσια φόρτιση, κατά τις προδιαγραφές φορτίσεως</u>

Από την ανάλυση Broms προκύπτουν δύο τιμές μεγίστου εγκαρσίου φορτίου για τον δεδομένης διαστασιολογήσεως μεμονωμένο πάσσαλο, αναλόγως της παραδοχής εάν αυτός λειτουργεί εντός αργιλλικού ή αμμώδους εδάφους. Η μικρότερη από τις τιμές αυτές συγκρίνεται με την τιμή αναμενομένης φορτίσεως σε εγκάρσιο φορτίο σύμφωνα με τις προδιαγραφές.

Άρα θα έχομε H_{max1} (αργιλλικό έδαφος) H_{max2} (αμμώδες έδαφος) και Η (εγκάρσιο φορτίο σχεδιασμού). Άρα θα είναι Η<H_{max2}<H_{max1} άρα ο πάσσαλος είναι ασφαλής.

Κατά άλλη θεώρηση, ελέγχεται, βάσει του μοντέλου του Winkler, η μεγίστη μετατόπιση, με κριτήριο εάν αυτή δημιουργεί ρηγμάτωση του σκυροδέματος σε ωρισμένο βάθος υπό την φορτιζομένη κεφαλή του πασσάλου. Για τον σκοπό αυτό η μετατόπιση y μετατρέπεται σε ανηγμένη μετατόπιση ε₀=y/L και συγκρίνεται αυτή με την μεγίστη επιτρεπτή ανηγμένη παραμόρφωση για το σκυρόδεμα. Λόγω της αναμενομένης συμπεριφοράς του πασσάλου αρκεί ο έλεγχος για μήκος L=2L₀ δηλ. εντός της ζώνης όπου αναμένεται η δημιουργία πλαστικής αρθρώσεως. Κριτήριο για τον έλεγχο ως προς την μεγίστη επιτρεπτή παραμόρφωση αποτελεί η παραδοχή περί του αν η αστοχία του πασσάλου επέρχεται δια της ρηγματώσεως του σκυροδέματος ή της διαρροής του οπλισμού.

Συντηρητικά, κατά την εκπόνηση της γεωτεχνικής μελέτης της πραγματικής κατασκευής, ελήφθη ως όριο αστοχίας το όριο ανηγμένης παραμορφώσεωςτου σκυροδέματος σε κάμψη, το οποίο ελήφθη από βιβλιογραφικές πηγές ως

$\epsilon_{max}=0,0035.$

Άρα, για την μεγίστη ανηγμένη παραμόρφωση ε₀=0,00346 ισχύει ότι ε₀< ε_{max}, άρα ο πάσσαλος είναι ασφαλής, αλλά οριακά.

Κατά άλλη θεώρηση, κριτήριο αστοχίας αποτελεί η αναμενομένη κατά Winkler μετατόπιση της κεφαλής του πασσάλου, εκπεφρασμένη ως γραμμική μετατόπιση ή ανηγμένη παραμόρφωση, εν σχέσει προς τα επιτρεπτά όρια τιμών των αντιστοίχων μεγεθών για την ανωδομή του έργου (της γεφύρας εν προκειμένω).

Στοιχεία για την μεγίστη επιτρεπτή μετατόπιση της ανωδομής παρέχονται από τον στατικό μελετητή και εν προκειμένω, λόγω της φύσεώς της (γέφυρα) εκφράζονται ως οριζοντία διαφορική μετατόπιση μεταξύ των βάθρων η οποία κατ' ουσίαν, παράγει μία εκτροπή των τμημάτων του φορέως, τα οποία είναι αμφιέριστοι δοκοί, από την ευθυγραμμία. Η απόκλιση από την ευθυγραμμία αυτή εκφράζεται ως εφαπτομένη γωνίας ή % έκφραση του λόγου της εγκαρσίας προς τον φορέα μετατοπίσεως y_{max} προς το μήκος 1 του φορέως. Εν προκειμένω δεν παρεσχέθη η σχετική τιμή $y_{max}/1$ από τον στατικό μελετητή οπότε, συντηρητικά, θεωρήθηκε ότι ο λόγος αυτός δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή του 1,0 % άρα, με μήκος φορέως μεταξύ μεσοβάθρων 1=25m θα είναι y_{max} =(1,0/100)25m, άρα y_{max} =0,25m. Θεωρώντας ότι αυτή η τιμή y_{max} αντιστοιχεί σε ολική διαφορική μετατόπιση με τα δύο βάθρα μετατοπίζόμενα προς αντίθετες φορές, λαμβάνουμε μία μεγίστη τιμή μετατοπίσεως μεμονωμένου βάθρου, **y**=0.125m.

Η υπολογισθείσα, κατά Winkler, τιμή της οριζοντίου μετατοπίσεως είναι y=4,26 cm.

Θεωρώντας, συντηρητικά, όπως συστήθηκε στον στατικό μελετητή, επι τη βάσει της εμπειρίας απο δοκιμαστικές φορτίσεις πασσαλομάδων, ότι η μεγίστη μετατόπιση της ομάδος των πασσάλων, έστω **y**_G, μπορεί να συμπίπτει με το τριπλάσιο ή τετραπλάσιο της μετατοπίσεως του μεμονωμένου πασσάλου, θα έχουμε: **y**_B=**0,125m** και **y**_G=**17,04cm** άρα y_G >y_B, άρα επέρχεται λειτουργική αστοχία της γεφύρας.

Εάν ελεγχθεί η μετατόπιση κατά τον άξονα του φορέως, το πρόβλημα μετατίθεται στην ικανοποίηση της ανάγκης να μην απολέσει ο φορέας την στήριξή του δια εδράσεως επί του μεσοβάθρου και, κατά άλλη θεώρηση, ο παραγόμενος από την μετατόπιση αρμός διαστολής επί του οδοστρώματος, υπεράνω του βάθρου, να μην είναι απαγορευτικού πλάτους. Λόγω των διαστάσεων του βάθρου, η ασφάλεια κατά την πρώτη θεώρηση, εξασφαλίζεται χωρίς εδώ να εξετασθεί ποία μεταβολή επέρχεται, από την μεταβολή του ανυποστηρίκτου μήκους, στην φέρουσα ικανότητα του φορέως (πρακτικά, αναμένεται να είναι ασήμαντη).

Για τον έλεγχο βάσει των διαστάσεων του αρμού διαστολής, θεωρήθηκε ότι ο σχηματισμός ενός αρμού πλάτους, έστω j=0,15m επιτρέπει προσεκτική ασφαλή διάβαση των οχημάτων. Η μετατόπιση η οποία επέρχεται στον φορέα λόγω διαφορικής, αξονικής κατά τον φορέα, μετατοπίσεως των βάθρων είναι απροσδιόριστη, όσον αφορά την επαλληλία των επενεργειών των βάθρων, ως εκ τούτου ελήφθη, ως ενδεικτική, η μεμονωμένη, κατά βάθρο, μετατόπιση y_{max}=j δηλαδή,

y_{max} =0.15m.

Από το μοντέλο Winkler, y_G=8,52cm (για δύο πασσάλους) άρα,

yg **< y**_{max}=**j** άρα το βάθρο είναι ασφαλές.

Εν τούτοις, πρέπει να παρατηρηθεί ότι δεν μπορεί να αποκλεισθεί η μετατόπιση των βάθρων, κατά τον άξονα της οδού, πρός αντίθετες φορές.Στην περίπτωση αυτή, είναι προφανές ότι, βάσει του κριτηρίου του πλάτους του σχηματιζομένου αρμού, η γέφυρα μπορεί να καταστεί ακατάλληλος προς διάβαση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΛΕΥΡΙΚΗΣ ΦΟΡΤΙΣΕΩΣ ΠΑΣΣΑΛΩΝ

2.1 Γενικά

Για την υπολογιστική, αριθμητική επίλυση του προβλήματος της εγκαρσίας φορτίσεως μεμονωμένου, εγχύτου φρεατοπασσάλου και πασσαλομάδος παρομοίων πασσάλων συνδεομένων με πασσαλοεσχάρα και βάθρο, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα αριθμητικής επιλύσεως δια της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων, MARC.

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, το πραγματικό πρόβλημα το οποίο τίθεται είναι η συμπεριφορά σε εγκάρσια φόρτιση βάθρου γεφύρας το οποίο θεμελιώνεται με την χρήση ομάδος οκτώ φρεατοπασσάλων, κυλινδρικής διατομής, διαμέτρου 1,25m και μήκους 22m οι οποίοι διατάσσονται σε παραλληλόγραμμη διάταξη 2×4. Η αραίωση των πασσάλων είναι ανά 2,5×την διάμετρο και συνδέονται με ενιαία συμπαγή πασσαλοεσχάρα, από οπλισμένο σκυρόδεμα διαστάσεων 5×12m η οποία εδράζεται επί του εδάφους και, δυνητικά παραλαμβάνει μέρος των φορτίων της ανωδομής, λειτουργεί δηλαδή ως πλάκα θεμελιώσεως (γενική κοιτόστρωση).

Για λόγους σχεδιαστικής απλότητος και υπολογιστικής ευχερείας εκ μέρους του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων επελέγη η επίλυση του προβλήματος σε δύο διαστάσεις με την κατασκευή αριθμητικών μοντέλλων ομάδος 2, 4 και 8 πασσάλων και κατάλληλη προσαρμογή των φορτίσεων και γεωμετρικών χαρακτηριστικών της κατασκευής ώστε να συντηρούνται οι πραγματικές τάσεις οι οποίες μεταφέρονται ανά πάσσαλο στο έδαφος.

Αρχικά κατασκευάσθηκαν τρία προκαταρκτικά μοντέλλα (για μεμονωμένο πάσσαλο, ομάδα δύο πασσάλων και ομάδα τεσσάρων πασσάλων) υπό κλίμακα γραμμικών διαστάσεων 1:2 και με τις φορτίσεις 1:4 και η οριστική επίλυση του προβλήματος έλαβε χώρα με την χρήση τεσσάρων μοντέλλων κλίμακος 1:1 κατά τις διαστάσεις και τις τιμές των εισαγομένων φορτίσεων. Τα μοντέλλα αυτά αναπαρήχθησαν σε ισάριθμα αντίγραφα για λόγους ασφαλείας έναντι αλλοιώσεων και διερευνήσεως της περιπτώσεις μονοστρωματικού εδάφους, για λόγους συγκρίσεως.



Σχ 2.1 Μουτέλλο ενός πασσάλου



Σχ 2.2 Μουτέλλο δύο πασσάλωυ



Σχ.2.3 Μουτέλλο τεσσάρων πασσάλων



Σχ. 2.4 Μουτέλλο οκτώ πασσάλωυ

2.2 Διαμόρφωση και προσαρμογή των γεωμετρικών και κατασκευαστικών στοιχείων του πασσάλου για την αριθμητική επίλυση του προβλήματος

Ο πραγματικός φρεατοπάσσαλος, είτε ως μεμονωμένος, είτε ως συμμετέχων σε ομάδα, έχει εκ κατασκευής, κυκλική διατομή. Για την μεταφορά της δρώσης διατομής αυτής της κυλινδρικής κατασκευής σε δισδιάστατο αριθμητικό μοντέλλο είναι απαραίτητη η μετατροπή της σε ισοδύναμη πρισματική κατασκευή τετραγωνικής διατομής ώστε να διατηρηθεί η αξονική συμμετρία της. Δεδομένου ότι το μήκος του πασσάλου παραμένει αναλλοίωτο πρέπει να υπολογισθεί το μήκος της πλευράς μίας καταλλήλου τετραγωνικής διατομής η οποία να παρέχει ισοδύναμη ροπή αδρανείας στον τετραγωνικό πάσσαλο με αυτήν του κυλινδρικού ώστε η αναμενομένη καμπτική παραμόρφωση να είναι ισοδύναμη. Επιπλέον, πρέπει η προκύπτουσα νέα εγκαρσία διαστασιολόγηση να παράσχει ισοδύναμη κατά το εμβαδόν περιμετρική και κατά μέτωπον διατομή ώστε να εξομοιώνεται η παραγομένη περιφερειακή αντίδραση του εδάφους στον φορτιζόμενο πάσσαλο και, κυρίως η ισοδύναμη πλευρική επιφάνεια η οποία φορτίζει το έδαφος σε παθητική ώθηση γαιών όταν ο πάσσαλος φορτίζεται εγκαρσίως. Τέλος επιθυμητό είναι να παραχθεί ισοδύναμη διατομή αιχμής του τετραγωνικού και κυλινδρικού πασσάλου, ώστε να συντηρηθούν και οι τάσεις της αιχμής.

Δεδομένου ότι η ροπή αδρανείας, ως προς κέντρο, της κυκλικής διατομής δίδεται από την σχέση: $I_{\kappa} = \frac{\pi D^4}{64}$ (1) όπου I_{κ} η ροπή αδρανείας κύκλου (ως προς το κέντρο του), και D η διάμετρος του κύκλου και η ροπή αδρανείας τετραγωνικής διατομής $I_{\tau} = \frac{b^4}{12}$ (2) όπου It η ροπή αδρανείας τετραγωνικής διατομής και bη πλευρά του τετραγώνου, θα πρέπει να είναι:

$$I_{\kappa} = I_{\tau} \ \dot{\alpha} \rho \alpha \ \frac{\pi D^4}{64} = \frac{b^4}{12} \Rightarrow 37,7D^4 = 64b^4 \Rightarrow b = D^4 \sqrt{\frac{37,7}{64}}$$
(3) Ano tyv (3)

προκύπτει ότι b=1,095m. Για λόγους ευκολίας κατασκευής του μοντέλλου δεχόμεθα ότι b=1,10m. Από την στρογγυλοποίηση αυτή προκύπτει μία μεταβολή (αύξηση της θεωρητικής, ισοδυνάμου προς αυτή, κυκλικής διατομής ροπής αδρανείας) ίση προς $1 - \frac{(1,1)^4}{(1,095)^4} = 0,0184$ ή 1,84%.

Ελέγχοντας την ισοδυναμία των διατομών αναπτύγματος περιμέτρου του πασσάλου, ενεργού πλευρικής διατομής σε ώθηση γαιών και διατομής αιχμής έχομε:

Απκ=πDL (4) όπου L το μήκος του πασσάλου και Απκ η διατομή ιπεριμέτρου κυκλικού πασσάλου

A _{πτ} =4bL	(5)	Όπου Απ η διατομή περιμέτρου τετραγωνικού πασσάλου		
A _{ωκ} =DL	(6)	Όπου Α _{ωκ} η ωθούσα διατομή κυκλικού πασσάλου		
A _{ωτ} =bL	(7)	Όπου Α _{ωτ} η ωθούσα διατομή τετραγωνικού πασσάλου		
$A_{\alpha\kappa}=\pi D^2/4$	(8)	Όπου Α _{ακ} η διατομή αιχμής κυκλικού πασσάλου		
$A_{a\tau}=b^2$	(9)	Όπου Α _{at} η διατομή αιχμής τετραγωνικού πασσάλου		
Από την (4) έως την (9) έχομε τις τιμές (Πιν.2.1)				

A _{πκ} =86,393m ²	Απκ
A _{πτ} =96,8 m ²	$\Rightarrow \frac{1}{A\pi\tau} = 0,892$
$A_{\omega\kappa}=27,5 \text{ m}^2$	Αωκ
$A_{\omega\tau}=24,2 \text{ m}^2$	$\Rightarrow \frac{1}{A\omega\tau} = 1,136$
$A_{\alpha\kappa}=1,227 \text{ m}^2$	Αακ
$A_{a\tau}=1,21 \text{ m}^2$	$\Rightarrow \frac{1}{A\alpha\tau} = 1,014$

Πίνακας 2.1 Συντελεστές προσαρμογής διατομών.

Από τα παραπάνω αποτελέσματα, για να διατηρηθούν οι τάσεις που αναπτύσσονται από την πλευρική ώθηση του πασσάλου πρέπει να ελαττωθούν τα εγκάρσια φορτία κατά ποσοστό 12%. Όμως, για να διατηρηθεί η ισοδυναμία της ροπής αδρανείας της διατομής και να επιτευχθεί η ισοδύναμη κάμψη του πασσάλου τετραγωνικής διατομής πρέπει να αυξηθούν τα δρώντα εγκάρσια φορτία κατά 1.84%.

Επομένως, για τα εγκάρσια φορτία που θα χρησιμοποιηθούν στο μοντέλλο θα χρησιμοποιηθεί ένας διορθωτικός συντελεστής, έναντι των πραγματικών ο οποίος υπολογίζεται από την σχέση:

 $Cs = \frac{I_{\tau}}{I_{\kappa}} \cdot \frac{Aw\tau}{Aw\kappa}$ (10) όπου Cs ο διορθωτικός συντελεστής εγκαρσίων φορτίων.

Από την (10) προκύπτει ότι:

$$C_s = \frac{(1.1m)^4/12}{\pi (1.25m)^4/64} \cdot \frac{24.2m^2}{27.5m^2} \Rightarrow C_s = \frac{0.122}{0.1198} \cdot \frac{24.2}{27.5} \Rightarrow C_s = 0.8959$$

Δεχόμεθα, συντηρητικά ότι **Cs=0,9**.

Όσον αφορά τα κατακόρυφα φορτία, βάσει του ιδίου σκεπτικού για την προσαρμογή των τιμών οι οποίες εισάγονται στο μοντέλλο θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας διορθωτικός συντελεστής ο οποίος να ενσωματώνει τις διαφορές διατομής της παραπλεύρου επιφανείας του πασσάλου και της διατομής της αιχμής.

Θεωρουμένου ότι ο πάσσαλος λειτουργεί σαν πάσσαλος αιχμήςτριβής πρέπει να υπολογισθούν δύο διορθωτικοί συντελεστές. Ένας για το ποσοστό κατακορύφων φορτίων που παραλαμβάνονται από την αιχμή και ένας για το ποσοστό των κατακορύφων φορτίων τα οποία παραλαμβάνονται από την τριβή επί της παραπλεύρου επιφανείας του πασσάλου. Ο πρώτος πρέπει να είναι μειωτικός (λόγω της μικροτέρας διατομής αιχμής του τετραγώνου πασσάλου, $\frac{Aa\tau}{Aa\kappa} = \frac{1.21m^2}{1.227m^2} = 0,986$ και ο δεύτερος αυξητικός λόγω της μεγαλυτέρας διατομής παραπλεύρου επιφανείας του τετραγώνου πασσάλου εν σχέσει προς τον κυλινδρικό, $\frac{A\pi\tau}{A\pi\kappa} = \frac{96.8}{86.393m^2} = 1.1205$

Εν τούτοις παρατηρούνται τα εξής: Πρώτον, ο διορθωτικός συντελεστής που προκύπτει για την αιχμή είναι τόσο κοντά στην μονάδα που συντηρητικά, μπορεί να αγνοηθεί. Δεύτερον, η προσαρμογή των κατακορύφων φορτίων βάσει της μεταβολής της παραπλεύρου επιφανείας επηρεάζεται από το γεγονός ότι μέρος των φορτίων αυτών στην πράξη παραλαμβάνεται και από την πασσαλοεσχάρα ή οποία λειτουργεί ως κοιτόστρωση. Κατά την προσομοίωση με το αριθμητικό μοντέλλο, σε δισδιάστατη απεικόνιση εξομοιώνεται, από το σύνολο του εμβαδού της πασσαλοεσχάρας, μόνο μία λωρίδα, πλάτους ίσου με αυτό των πασσάλων, η οποία, βάσει της αραιώσεως των πασσάλων αντιπροσωπεύει μόνο το 0,42-0,43 της διατομής της πλακός που έρχεται σε επαφή με το έδαφος για την λωρίδα 2 ή 4 πασσάλων, αν δεν αφαιρεθεί η διατομή των πασσάλων και το 0,23 έως 0,32 εάν αφαιρεθεί η επιφάνεια της διατομής των (τετραγώνων) πασσάλων. Άρα η διόρθωση αυτή για την αύξηση της παραπλεύρου επιφανείας, μπορεί να αγνοηθεί, δεδομένου, επίσης, ότι η επίδρασή της, πρωτίστως επηρεάζει την καθίζηση της πασσαλομάδος και δευτερευόντως την απόκρισή της σε πλευρική φόρτιση, λαμβανομένου, μάλιστα, υπ'όψιν του ότι το οριζόντιο φορτίο είναι λιγώτερο απο το ήμισυ του κατακορύφου, άρα λιγώτερο πιθανό να ενεργοποιήσει τις δυνάμεις τριβής και συνοχής στις μη ορατές παράπλευρες επιφάνειες του πασσάλου.

Πάντως, για λόγους μελέτης αυτού του φαινομένου, κατασκευάσθηκε και μοντέλλο το οποίο παριστά την διάταξη των πασσάλων σε κάτοψη για την εκτίμηση των μή ορατών δυνάμεων αντιστάσεως στις πλευρές.

. Περαιτέρω προσαρμογές των τιμών των κατακορύφων φορτίων για τις ανάγκες του μοντέλλου θα αναπτυχθούν στα επόμενα.

2.3 Επιλογή παραμέτρων και κωδικοποίηση αυτών για την εισαγωγή τους στα αριθμητικά μοντέλλα

Οι παράμετροι οι οποίες εισάγονται στα αριθμητικά μοντέλλα, σύμφωνα με την αρχιτεκτονική εισαγωγής δεδομένων του προγράμματος πεπερασμένων στοιχείων, είναι δύο κατηγοριών: Συνοριακών συνθηκών και ιδιοτήτων υλικών.

2.3.1 Παράμετροι υλικώυ:

Τα υλικά τα οποία εισάγονται στα μοντέλλα προσεγγίζονται παραμετρικά βάσει των φυσικών τους ιδιοτήτων, κυρίως της πυκνότητος, και των μηχανικών τους σταθερών: μέτρου ελαστικότητος, λόγου Poisson και παραμέτρων οι οποίες σχετίζονται με την ελαστοπλαστική συμπεριφορά και τον αναμενόμενο μηχανισμό αστοχίας.

Λόγω της φύσεως του προβλήματος έγινε χρήση δύο κατηγοριών υλικών: 1) Των υλικών κατασκευής του πασσάλου, της πασσαλοεσχάρας και του εδραζομένου βάθρου, τα οποία είναι σκυρόδεμα και χάλυβας οπλισμού και 2) των γεωυλικών τα οποία συνιστούν το υπέδαφος και τα οποία αποτελούνται από επτά διακριτά στρώματα, όπως αυτά περιεγράφησαν στο εισαγωγικό κεφάλαιο. Επιπλέον εισήχθη ως υλικό τι ενδιάμεσο στρώμα το οποίο συνίσταται από την ζώνη που διαταράσσεται και ενδεχομένως αναμιγνύεται με μπετονίτη περιμετρικά του αυλού διατρήσεως του πασσάλου προ της εγχύσεως του σκυροδέματος.

Τα υλικά τα οποία εισήχθησαν στα 4 μοντέλλα είναι τα ίδια ως προς τις παραμέτρους τους.

Στα υπομοντέλλα με το ενιαίο, υποθετικό, μονοστρωματικό υπέδαφος, χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες παράμετροι για το σκυρόδεμα και τον χάλυβα, όμως ως έδαφος χρησιμοποιήθηκε ένα υποθετικό γεωυλικό, με τον χαρακτηρισμό μονοστρωματικό έδαφος (unisoil). Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι οι ιδιότητες των εδαφικών στρωμάτων οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν είναι οι μετρηθείσες εργαστηριακώς και βάσει αυτών των εργαστηριακών τιμών συνοχής και γωνίας τριβής έγινε και ο υπολογισμός της τιμής αρχομένης αστοχίας και του παράγοντος **a**, οι οποίες εισήχθησαν στα μοντέλλα. Τα εδάφη εθεωρήθησαν όλα ως έχοντα

ελαστοπλαστική συμπεριφορά και ακολουθούντα το γραμμικό Mohr-Coulomb ως κριτήριο αστοχίας.

Οι τιμές του σκυροδέματος είναι αυτές οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν και στον συμβατικό υπολογισμό του πρώτου κεφαλαίου και η συμπεριφορά του σκυροδέματος θεωρήθηκε ως πλήρως ελαστική.

Ο χάλυβας εδώ δεν έχει την έννοια αυτού καθ' εαυτού του χάλυβα οπλισμού σε ράβδους αλλά αφορά ένα ισοδύναμο σύμμικτο υλικό του οποίου οι ιδιότητες, που παρατίθενται κατωτέρω και εισάγονται στα μοντέλλα, προκύπτουν από την παραδοχή ότι στον φρεατοπάσσαλο τοποθετείται ένας κλωβός από ράβδους Φ40mm με αραίωση μίας ράβδου ανά 10cm και ότι ο κλωβός αυτός είναι τοποθετημένος εντός; Ζώνης πλάτους 20cm από την εξωτερική επιφάνεια του φρεατοπασσάλου. Με βάση αυτή την παραδοχή για την διάταξη του οπλισμού έγινε ο υπολογισμός των παραμέτρων του υλικού οι οποίες εισήχθησαν στα μοντέλλα Αντιστοίχως η συμπεριφορά του χάλυβα θεωρήθηκε ως πλήρως ελαστική.

Οι εισαχθείσες τιμές παραμέτρων των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στα μοντέλλα φαίνονται στον κατωτέρω πίνακα (Πιν.2.3)

a/a	Υλικό	Μέτρο ελαστικότητος (Pa)	Λόγος Poisson	Πυκνό- τητα (kg/m³)	Όριο αρχομἑ- νης διαρ- ροής (Pa)	Συντελε- στής α
1	Σκυρόδεμα	30·10 ⁹	0,30	2600	-	-
2	Χάλυψ	45·10 ⁹	0,32	2750	I	-
3	Έδαφος 1	25.10^{6}	0,27	1940	12800	0,195
4	Έδαφος 2	$178 \cdot 10^{5}$	0,25	2030	48300	0,142
5	Έδαφος 3	106.10^{2}	0,23	1980	117400	0,024
6	Έδαφος 4	137.10^{5}	0,24	2050	144100	0,048
7	Έδαφος 5	127.10^{5}	0,24	2050	162200	0,048
8	Έδαφος 6	100.10^{2}	0,23	1970	188400	0,043
9	Έδαφος 7	238.10^{5}	0,26	2080	299700	0,043
10	Μεταβατική ζώνη διεπιφανείας	125·10 ⁵	0,24	2050	84100	0,069
11	Μονοστρω- ματικό έδαφος	125.102	0,24	2000	83100	0,08

Πίνακας 2.3 Τιμές παραμέτρων υλικών



Σχ. 2.5 Μουτέλλο μεμονωμένου πασσάλου, υλικά





Σχ.2.7 Μουτέλλο τεσσάρων πασσάλων, υλικά



Σχ. 2.8 Μουτέλλο οκτώ πασσάλων,υλικά

2.3.2 Παράμετροι Συνοριακών συνθηκών

Οι συνοριακές συνθήκες οι οποίες εισάγονται στα μοντέλλα είναι δύο τύπων:

a) Γεωμετρικών ορίων που αφορούν επιτρεπόμενες μετατοπίσεις συγκεκριμένων σημείων ενός υλικού των μοντέλλων και

β) Φορτίσεις επαγόμενες επί των υλικών εξ ιδίου βάρους ή εξωτερικών παραγόντων.

1.Παράμετροι γεωμετρικών ορίων

Οι παράμετροι αυτές είναι μόνο δύο κατηγοριών στα μοντέλλα που κατασκευάσθηκαν. Η πρώτη αφορούσα την μετατόπιση των κόμβων των στοιχείων τα οποία δημιουργούνται στα όρια του χώρου τον οποίο καλύπτει το μοντέλλο. Έτσι κάθε κόμβος των γεωμετρικών ορίων τα οποία εγκιβωτίζουν το μοντέλλο ελέγχεται σε μετατόπιση κατά τον οριζόντιο ή κατακόρυφο άξονα. Σε κάθε ένα από τα τέσσερα κύρια και τα τέσσερα δευτερεύοντα μοντέλλα εισάγονται μία οριζόντιος οριακή γραμμή κόμβων με μηδενική μετατόπιση κατά τον κατακόρυφο άξονα (τρία, εκατέρωθεν της κατασκευής, ζεύγη γραμμών) και τρεις κατακόρυφες στήλες κόμβων με μηδενική μετατόπιση κατά τον οριζόντιο άξονα έτσι ώστε να δημιουργούνται τρεις διαφορετικού πλάτους ζώνες εγκιβωτισμού της πασσαλομάδος εντός του εδάφους ώστε να μπορούν να εξαχθούν συμπεράσματα για την ακτίνα επιρροής των δρωσών φορτίσεων στην πασσαλομάδα.

Η δεύτερη κατηγορία γεωμετρικής παραμέτρου αφορά την αραίωση των πασσάλων η οποία επελέγη να είναι, για τους, τετραγωνικής ισοδυνάμου διατομής, πασσάλους των μοντέλλων ίση με 3,3m δηλαδή ίση με 3 φορές το πλάτος του πασσάλου. Η επιλογή αυτή έγινε γιατί ήταν η βελτίστη σε σχέση προσεγγίσεως της αραιώσεως των κυλινδρικών πασσάλων (2,5×1,25m) και επιπλέον με γνώμονα η εδαφική μάζα μεταξύ των πασσάλων να είναι όσο το δυνατόν πλησιεστέρα στην μάζα του εδάφους η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ δύο κυλινδρικών πασσάλων με αραίωση 2,5 διαμέτρων. Ειδικότερα η αραίωση των 3,3m από κέντρο σε κέντρο πασσάλου στα μοντέλλα (2,2m από εξωτερική επιφάνεια) προσεγγίζει ικανοποιητικά σε διατομή παρεμβαλλομένης εδαφικής μάζας την διατομή μεταξύ των κυλινδρικών πασσάλων με αραίωση 2,5 διαμέτρους.

Οι γεωμετρικές παράμετροι φαίνονται κατωτέρω.

- 1) Αραίωση πασσάλων (απόσταση κέντρων γειτονικών πασσάλων): 3,3m
- 2) Δέσμευση κόμβων σε οριζοντία μετατόπιση μηδενική μετατόπιση σε θέσεις 7,7m, 11m και 33m εκατέρωθεν του κέντρου του μοντέλλου.
- 3) Δέσμευση κόμβων σε κατακόρυφη μετατόπιση σε βάθος 36m υπό την ελεύθερη στάθμη του εδάφους.

2) Παράμετροι στατικών φορτίσεων

Όλες οι επιβαλλόμενες φορτίσεις από κινητά φορτία, ίδια βάρη και εξωτερικούς παράγοντες (σεισμό, ροή ύδατος περί τα βάθρα κλπ) θεωρούνται ως ισοδύναμες στατικές για όλα τα μοντέλλα. Τα επί μέρους φορτία είναι αυτά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στο πρώτο κεφάλαιο για την συμβατική επίλυση του προβλήματος.

Υπενθυμίζεται εδώ ότι ως φορτίο λόγω βάρους του φορέως της γεφύρας θεωρείται το άθροισμα του ιδίου βάρους του φορέως και του μεγίστου κινητού φορτίου επί του φορέως. Ομοίως υπό άνωση λαμβάνεται και το βάρος των εδαφικών στρώσεων οι οποίες βρίσκονται υπό τον υδροφόρο ορίζοντα, και το υπό άνωση βάρος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των φορτίων λόγω γεωστατικής τάσεως. Το βάθος του υδροφόρου ορίζοντα λαμβάνεται όχι το διαπιστωθέν από το πρόγραμμα εκτελέσεως δειγματοληπτικών γεωτρήσεων το οποίο ήταν 4m κατά την περίοδο εκτελέσεως του ερευνητικού έργου, αλλά η μέση τιμή μεταξύ αυτού και της στάθμης του ποταμού σε συνθήκεσ επιφανειακής ροής. Αυτό είναι 2m υπό την στάθμη της εδράσεως της πασσαλοεσχάρας.

Ως αρχικό εγκάρσιο φορτίο λαμβάνεται το 50% του αντιστοίχου κατακορύφου φορτίου, τροποποιημένου όπως αναφέρθηκε εισαγωγικά για την συντήρηση των τάσεων. Θεωρείται εδώ ότι

ο μεμονωμένος πάσσαλος φορτίζεται με το **1/8** των συνολικών κατακορύφων και οριζοντίων επαγομένων φορτίσεων,

η ομάδα 2 πασσάλων με το ¼ των προηγουμένων

η ομάδα 4 πασσάλων με το ½ των φορτίσεων και

η ομάδα **8** πασσάλων με το **σύνολο** του φορτίου

Όπως αναφέρθηκε, δεν γίνεται αναγωγή των ολικών φορτίων για την λωρίδα κατασκευής πλάτους **1,1m** που ελέγχεται από το δισδιάστατο μοντέλλο, θεωρουμένης της παραδοχής συντηρητικής.

Η γεωστατική τάση υπολογίζεται με βάση λωρίδα εδάφους πάχους **1,1m**.

Επίσης, υπολογίζονται δύο τύποι γεωστατικών τάσεων.

Μία η οποία αφορά το επαγόμενο φορτίο από κάθε στρώμα εδάφους κεχωρισμένως και μία η οποία αφορά την ολική γεωστατική τάση και εφαρμόζεται, εναλλακτικά προς τις επιμέρους, επί της ελευθέρας επιφανείας του εδάφους, για λόγους συγκρίσεως.

Οι φορτίσεις θεωρήθηκαν ως σημειακές σε κατάλληλες θέσεις των ελευθέρων σωμάτων των μοντέλλων (σημεία εδράσεως φορέων και στρώσεων εδάφους, κέντρα βάρους και επίπεδα συμμετρίας των σωμάτων).

Οι τιμές των εισαγομένων στα μοντέλλα παραμέτρων φορτίσεων φαίνονται στους κατωτέρω πίνακες. (Πιν.2.4 έως Πιν.2.6)

1) Μοντέλλο ενός πασσάλου

a/a	Περιγραφή φορτίσεων	Τιμή ανά	Αριθμός
_		κόμβο (N)	κόμβων
1	Βάρος φορέως	234375	4
2	Βάρος βάθρου	41563	4
3	Βάρος	31875	6
	πασσαλοεσχάρας		
4	Βάρος πασσάλου	76667	6
5	Πλευρική ώση φορέως	126563	4
6	Πλευρική ώση βάθρου	24444	4
7	Πλευρική ώση	17213	6
	πασσαλοεσχάρας		
8	Πλευρική ώση	41400	6
	πασσάλου		

Πίνακας 2.4 Φορτίσεις.



Σχ.2.9 Μουτέλλο μεμονωμένου πασσάλου, συνοριακές συνθήκες

2) Μοντέλλο δύο πασσάλων

a/a	Περιγραφή φορτίσεων	Τιμή ανά	Αριθμός
		κόμβο (N)	κόμβων
1	Βάρος φορέως	625000	3
2	Βάρος βάθρου	166250	2
3	Βάρος	95625	4
	πασσαλοεσχάρας		
4	Βάρος πασσάλου	76667	6×2
5	Πλευρική ώση φορέως	337500	3
6	Πλευρική ώση βάθρου	89775	2
7	Πλευρική ώση	51638	4
	πασσαλοεσχάρας		
8	Πλευρική ώση	41400	6×2
	πασσάλου		

Πίνακας 2.5 Φορτίσεις



Σχ.2.10 Μουτέλλο δύο πασσάλων, συνοριακές συνθήκες

3) Μοντέλλο τεσσάρων πασσάλων

a/a	Περιγραφή φορτίσεων	Τιμή ανά	Αριθμός
		κόμβο (N)	κόμβων
1	Βάρος φορέως	468750	8
2	Βάρος βάθρου	83125	8
3	Βάρος	95625	8
	πασσαλοεσχάρας		
4	Βάρος πασσάλου	76667	6×4
5	Πλευρική ώση φορέως	253125	8
6	Πλευρική ώση βάθρου	44888	8
7	Πλευρική ώση	51638	8
	πασσαλοεσχάρας		
8	Πλευρική ώση	41400	6×4
	πασσάλου		

Πίνακας 2.6 Φορτίσεις



Σχ.2.11 Μουτέλλο τεσσάρων πασσάλων, Συνοριακές συνθήκες

4) Μοντέλλο οκτώ πασσάλων



Σχ.2.12 Μουτέλλο οκτώ πασσάλωυ, Συυοριακές συυθήκες

Οι φορτίσεις λόγω ιδίου βάρους (υπό άνωση, όπου αυτό απαιτείται) των εδαφικών στρωμάτων φαίνονται στον κατωτέρω πίνακα ο οποίος ενσωματώνει και τα τρία μοντέλλα (1, 2 και 4 πασσάλων) καθώς και τις αντίστοιχες ολικές γεωστατικές τάσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται εναλλακτικά. (Πιν.2.7)

α/	Εδαφική	Μοντέλλο 1		Μοντέλλο 2		Μοντέλλο 4	
α	στρώση	πασσάλου		πασσάλων		πασσάλων	
		Φορτίο	Κόμβοι	Φορτίο	Κόμβοι	Φορτίο	Κόμβοι
		(N)		(N)		(N)	
1	Στρώμα 1	46948	60	46948	62	46948	60
2	Στρώμα 2	87241	60	87241	62	87241	60
3	Στρώμα 3	35574	60	35574	62	35574	60
4	Στρώμα 4	39930	60	39930	62	39930	60
5	Στρώμα 5	25410	60	25410	62	25410	60
6	Στρώμα 6	46948	60	46948	62	46948	60
7	Στρώμα 7	99664	120	99566	126	99565	126
8	Ισοδύναμο	486039	60	485660	62	485660	63
	ολικό						
	γεωστατικό						
	φορτίο						

Πίνακας 2.7 Εδαφικές φορτίσεις

<u>2.4 Διαμόρφωση των αριθμητικών μοντέλλων και</u> <u>διακριτοποίηση των στοιχείων</u>

Όπως αναφέρθηκε, αρχικά διαμορφώθηκαν μοντέλλα γεωμετρικής κλίμακος 1:2 και κλίμακος φορτίσεων 1:4 προκειμένου να επιλυθεί κατ' αρχάς το πρόβλημα. Εν τούτοις, παρά το ότι η κλίμακα 1:2 παρείχε ευχέρεια πυκνής διακριτοποιήσεως εντός του ορίου των 10000 στοιχείων τα οποία μπορεί να επεξεργασθεί το πρόγραμμα, εμφανίσθηκε το πρόβλημα της μικρής αποστάσεως των ορίων του μοντέλλου από τα όρια των εξωτερικών επιφανειών των πασσάλων. Η μικρή αυτή απόσταση αποδείχθηκε, από την επίλυση των μοντέλλων, ότι δεν επέτρεπε ομαλή κατανομή και διάχυση των αναπτυσσομένων τάσεων με αποτέλεσμα οι προκύπτουσες τιμές πλευρικών και κατακορύφων μετατοπίσεων των πασσάλων να είναι απαράδεκτες.

Επιπλέον εμφανίσθηκε, το δυσεπίλυτο, σε δισδιάστατο μοντέλλο, πρόβλημα της ισοδυνάμου αναπτύξεως καμπτικής ροπής επί του πασσάλου, λόγω της ασυμβατότατος δυσκαμψίας του υπό του υπό κλίμακα 1:2 πασσάλου με την 1:4 φόρτιση εν σχέσει προς το μοντέλλο 1:1. Εξ αιτίας αυτών των προβλημάτων προτιμήθηκε η δημιουργία μοντέλλων κλίμακος 1:1 τα οποία αναπαριστούν μία εδαφική ζώνη διατομής **70,4×36m** εντός της οποίας αναπαρίσταται η ομάδα των δύο, τεσσάρων και οκτώ πασσάλων και ενός **67,1×36m** εντός της οποίας τοποθετήθηκε προς έλεγχο ο μεμονωμένος πάσσαλος.

Δεδομένης της δυνατότητος του προγράμματος να επεξεργάζεται 10000 στοιχεία, επελέγη πυκνή διακριτοποίηση με στοιχεία αναπαριστώντα εδαφικό τμήμα 22×50cm στο κέντρο του μοντέλλου και για ζώνη πλάτους ίσου με το τετραπλάσιο του πλάτους του πασσάλου (4,4m), εκατέρωθεν της εξωτερικής επιφανείας της πασσαλομάδος ή του μεμονωμένου πασσάλου και αραίωση διακριτοποιήσεως, προϊούσης της από κέντρο απομακρύνσεως το του μοντέλλου, uε στοιχεία ανταποκρινόμενα σε εδαφικά τμήματα 36,67×50cm, 50×50cm και τελικώς 110×50cm.

Η επίλυση των μοντέλλων αυτών απέδειξε ότι η προκύπτουσα κατανομή και διάχυση των τάσεων ήταν ικανοποιητική και οδηγούσε σε ουσιαστική απόσβεση των παραμορφώσεων περί τα όρια του μοντέλλου. Όπως προαναφέρθηκε, δια της δημιουργίας οριακών κινητικών συνθηκών εδόθη η δυνατότητα να ελεγχθούν μοντέλλα αναπαριστώντα πολύ στενότερες εδαφικές περιβάλλουσες ζώνες.

Ένα πρόσθετο πρόβλημα το οποίο δημιουργείται από τις ιδιάζουσες συνθήκες της εξομοιώσεως με την χρήση του προγράμματος MARC αφορά την εισαγωγή της γεωστατικής τάσεως ως παραμέτρου και την επίδρασή, της αναλόγως της μεθοδολογίας εισαγωγής της στο μοντέλλο, στα τελικά αποτελέσματα.

Λόγω του τρόπου της δημιουργίας των στοιχείων και της στρωματικής φύσεως του εδάφους η εισαγωγή της γεωστατικής τάσεως μπορεί να γίνει με δύο τρόπους. Ο πρώτος είναι η εισαγωγή τμηματικά των κλασμάτων της ολικής γεωστατικής τάσεως τα οποία αντιστοιχούν σε κάθε εδαφική στρώση. Ο δεύτερος είναι η εισαγωγή της ολικής ισοδυνάμου τάσεως ως μίας μόνο οριακής συνθήκης, δηλαδή μίας ισοδυνάμου φορτίσεως. Η πρώτη, τμηματική μέθοδος εισαγωγής έχει το πλεονέκτημα ότι εξομοιώνει ακριβέστερα την επίδραση του ιδίου βάρους κάθε στρώματος εδάφους επί του ιδίου του στρώματος. Το μειονέκτημα είναι ότι χρειάζεται προσεκτική επιλογή της θέσεως εντός ή στα όρια του στρώματος, όπου θα εφαρμοσθεί το αντίστοιχο κλάσμα της γεωστατικής τάσεως. Η ολική ισοδύναμη γεωστατική τάση, εάν χρησιμοποιηθεί, εκ των πραγμάτων πρέπει να εφαρμοσθεί στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους. Στην εξομοίωση η οποία εκτελέσθηκε, επελέγησαν και οι δύο λύσεις εναλλακτικά.

Στην εφαρμογή της τμηματικής γεωστατικής τάσεως η αντίστοιχη τάση εφαρμόσθηκε στο κέντρο βάρους του στρώματος (ακριβέστερα κατά μήκος του οριζοντίου επιπέδου συμμετρίας εκάστης στρώσεως). Ειδικώς στο κατώτατο στρώμα, λόγω μεγάλου πάχους, εφαρμόσθηκε σε δύο επίπεδα διαχωρίζοντας το στρώμα σε τρεις υποστρώσεις. Εναλλακτικά, εφαρμόσθηκε η ολική γεωστατική τάση και τα αποτελέσματα σημειώθηκαν χωριστά.

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων για την τμηματική ή ολική εφαρμογή της γεωστατικής τάσεως εμφανίζεται στα επόμενα.

Ένα πρόσθετο ζήτημα το οποίο επίσης σχετίζεται με την γεωστατική τάση έγκειται στο κατά πόσον η επίδρασή της επί του ιδίου του εδάφους δεν έχει ήδη παραληφθεί και το εδαφικό σύστημα ισορροπήσει, προ της εφαρμογής των φορτίων από την γέφυρα και το σύστημα θεμελιώσεως της. Και εδώ, επελέγη να εξετασθεί το κάθε μοντέλλο υπό συνθήκες φορτίσεως και με τις γεωστατικές τάσεις και χωρίς αυτές και να συγκριθούν τα αποτελέσματα.

Όταν η επίλυση εγένετο υπό καθεστώς γεωστατικών τάσεων, τμηματικών ή ισοδυνάμου ολικής, διακρίθηκαν επίσης δύο περιπτώσεις. Η πρώτη αφορούσε πλήρη δέσμευση των κόμβων και των κατακορύφων ορίων της περιφερείας του μοντέλλου (μηδενική μετατόπιση κατά x και y άξονες) και η δεύτερη δέσμευση των κόμβων μόνο σε οριζοντία μετατόπιση (ελεύθερη δυνατότητα των εδαφικών στρωμάτων να συρρικνωθούν κατακορύφως υπό την επίδραση της γεωστατικής τάσεως και των φορτίσεων των επαγομένων από την κατασκευή). Και εδώ τα προκύπτοντα αποτελέσματα παρατίθενται προς σύγκριση και σχολιασμό.

Όσον αφορά τις λοιπές παραμέτρους οι οποίες εισάγονται στα αριθμητικά μοντέλλα, αυτές είναι οι ίδιες ως προς τις τιμές με τις χρησιμοποιηθείσες για την κλασσική επίλυση του προβλήματος.

2.5 Αποτελέσματα προκύπτοντα από την επίλυση των αριθμητικών μοντέλλων

2.5.1 Γενική μεθοδολογία η οποία εφαρμόσθηκε κατά την επίλυση

οι οποίες Λόνω των ιδιαιτεροτήτων αναπτύχθηκαν στην προηγουμένη παράγραφο, ειδικά λόγω της επιδράσεως της γεωστατικής τάσεως, τηρήθηκε στην εξαγωγή αποτελεσμάτων μία ορισμένη διαδικασία επιλύσεως κάθε μοντέλλου, ενός, δύο, τεσσάρων έως και 8 πασσάλων. Η διαδικασία αυτή αποτελείται από τα εξής στάδια, κάθε ένα από τα οποία αντιστοιχεί σε μία επίλυση μοντέλλου. υπό μερική φόρτιση ή τελικώς, υπό πλήρη φόρτιση. Η διαδικασία αυτή έχει ως σκοπό, δεδομένων των αοριστιών και των διαφορετικών παραδοχών οι οποίες μπορεί να γίνουν όσον αφορά τις αρχικές συνθήκες του εδάφους και της ιδίας της κατασκευής των βάθρων και της πασσαλοεσχάρας, να απομονωθεί, κατά το δυνατόν, η επίδραση κάθε συνθήκης η οποία υπεισέρχεται στο τελικό αποτέλεσμα, τηρουμένης της αρχής της επαλληλίας.

Σε κάθε περίπτωση μερικής επιλύσεως κατεγράφησαν οι παρακάτω παράμετροι:

- 1. Οριζοντία μετατόπιση του κέντρου της επιφανείας του βάθρου όπου εδράζεται ο φορέας.
- 2. Οριζοντία μετατόπιση του κέντρου της πασσαλοεσχάρας.
- 3. Οριζοντία μετατόπιση του κέντρου της κορυφής εκάστου πασσάλου (στο σημείο τομής με την πασσαλοεσχάρα).
- 4. Οριζοντία μετατόπιση της εξωτερικής πλευράς του πασσάλου (προς την πλευρά που ωθεί το εν επαφή έδαφος).
- 5. Οριζοντία μετατόπιση του κέντρου της αιχμής του πασσάλου.
- 6. Οριζοντία μετατόπιση της εξωτερικής επιφανείας της αιχμής του πασσάλου σε απόσταση 0.5m υπεράνω της αιχμής του προς την πλευρά που ασκείται η ώθηση γαιών.
- Οριζοντία μετατόπιση του άξονος συμμετρίας σε επιλεγμένες θέσεις (βάθος 4, 8, 12, 16, 20m υπό την πασσαλοεσχάρα).
- Οριζοντία μετατόπιση της πλευράς του πασσάλου στην οποία δρα η ώθηση γαιών σε επιλεγμένες θέσεις (4, 8, 12, 16, 20m υπό την πασσαλοεσχάρα).
- 9. Κατακόρυφη μετατόπιση του κέντρου της επιφανείας εδράσεως του φορέως επί του βάθρου.
- Κατακόρυφη μετατόπιση των δύο άκρων της επιφανείας εδράσεως του φορέως επί του βάθρου.
- 11. Κατακόρυφη μετατόπιση του κέντρου της πασσαλοεσχάρας.
- 12. Κατακόρυφη μετατόπιση των άκρων της πασσαλοεσχάρας (νοουμένων των άκρων του επιπέδου συμμετρίας της πασσαλοεσχάρας).
- 13. Κατακόρυφη μετατόπιση του κέντρου του άνω άκρου εκάστου πασσάλου (στην επιφάνεια επαφής με την πασσαλοεσχάρα).
- 14. Κατακόρυφη μετατόπιση του κέντρου της αιχμής εκάστου πασσάλου.

- Κατακόρυφη μετατόπιση σημείων του άξονος συμμετρίας του πασσάλου σε επιλεγμένες θέσεις (4, 8, 12, 16, 20m υπό την πασσαλοεσχάρα).
- 16. Τάσεις, ορθές και διατμητικές, αναπτυσσόμενες στην επιφάνεια επαφής του πασσάλου και εδάφους (εξωτερικού και μεταξύ των πασσάλων) σε βάθος 0,5m υπό την πασσαλοεσχάρα.
- Τάσεις ορθές και διατμητικές αναπτυσσόμενες στην επαφή πασσάλου και εδάφους, 0,5m υπέρ την αιχμή του πασσάλου.
- 18. Ορθές τάσεις λόγω πλευρικής ωθήσεως εκ του πασσάλου, αναπτυσσόμενες στην ζώνη του εν επαφή εδάφους, σε απόσταση 20cm από την εξωτερική επιφάνεια του πασσάλου 0,5m από την πασσαλοεσχάρα.
- 19. Ορθές τάσεις αναπτυσσόμενε λόγω πλευρικής ωθήσεως στην ζώνη του εν επαφή εδάφους, σε απόσταση 20cm από την εξωτερική επιφάνεια του πασσάλου 0,5m υπέρ την αιχμή του.
- 20. Ορθές τάσεις αναπτυσσόμενες λόγω κατακορύφου φορτίσεως, στην ζώνη εδάφους 0,5m υπό την αιχμή του πασσάλου.
- 21. Διατμητικές τάσεις, αναπτυσσόμενες εντός του εδάφους λόγω οριζοντίου φορτίσεως σε ζώνη σε απόσταση 20cm από την εξωτερική επιφάνεια του πασσάλου 0,5m υπό την κορυφή του πασσάλου.
- 22. Διατμητικές τάσεις, αναπτυσσόμενες λόγω οριζοντίου φορτίσεως σε ζώνη εδάφους σε απόσταση 20cm από την εξωτερική επιφάνεια του πασσάλου 0,5m υπέρ την αιχμή του πασσάλου.
- 23. Ορθές και διατμητικές τάσεις αναπτυσσόμενες εντός του κορμού του πασσάλου, σε ζώνη απέχουσα 0.2m από την εξωτερική του επιφάνεια και σε βάθη 0,5, 4, 6, 8, 12, 16, 20 και 21,5m υπό την πασσαλοεσχάρα.
- 24. Ορθές και διατμητικές τάσεις, αναπτυσσόμενες εντός του εδάφους σε απόσταση 4,4m από την εξωτερική περίμετρο της πασσαλοεσχάρας και σε βάθος 0,5m υπό την φυσική αδιατάρακτη επιφάνεια του εδάφους.
- 25. Ορθές και διατμητικές τάσεις αναπτυσσόμενες σε ακτίνα 4,4m από την εξωτερική περίμετρο της πασσαλομάδος σε βάθος 21,5m υπό την φυσική, αδιατάρακτη επιφάνεια του εδάφους.

Επίσης για λόγους περαιτέρω ακριβείας συγκρίσεων και διαμορφώσεως συμπερασμάτων, έγινε υπολογισμός των παραμορφώσεων μόνο της ανωδομής κάθε ομάδος πασσάλων (πασσαλοεσχάρας και κορμός του βάθρου) με την παραδοχή της οριακής συνθήκης ότι η κάτω επιφάνεια της πασσαλοεσχάρας δεν μετατοπίζεται οριζοντίως και κατακορύφως. Κατά την σχετική επίλυση έγινε υπολογισμός των παραμορφώσεων της ανωδομής υπό κατακόρυφη, οριζοντία και σύνθετη φόρτιση και τα αποτελέσματα καταγράφονται χωριστά.

<u>2.5.2 Αποτελέσματα επιλύσεως μοντέλλου μεμονωμένου</u> <u>πασσάλου</u>

Όπως προαναφέρθηκε, η αριθμητική εξομοίωση του μεμονωμένου πασσάλου αναπαριστά ένα πάσσαλο προσαρμοσμένο σε τμήμα της πασσαλοεσχάρας και του υπερκειμένου βάθρου το οποίο του αναλογεί και ο οποίος παραλαμβάνει το 1/8 των κατακορύφων και οριζοντίων φορτίσεων στις οποίες υπόκειται το σύνολο της ομάδος.

Πρέπει να παρατηρηθεί ότι το τμήμα της πασσαλοεσχάρας το οποίο εξομοιώνεται αντιστοιχεί σε αυτό που αναλογεί σε ενδιάμεσο πάσσαλο της γραμμής τεσσάρων πασσάλων και ως εκ τούτου έχει μεγαλύτερη δρώσα διατομή από την αναλογούσα σε ακραίο πάσσαλο, κατά την αρχική διαστασιολόγηση του βάθρου.

Κατά τα άλλα, οι άξονες επενεργείας των φορτίσεων, τα σημεία εφαρμογής των φορτίσεων, τα σημεία εφαρμογής των επιμέρους φορτίων και οι παράμετροι του περιβάλλοντος εδάφους παραμένουν οι ίδιες με αυτές των άλλων μοντέλλων.

Εισαγωγικά πρέπει να αναφερθεί ότι η επίλυση των καταπονήσεων μόνο επί του βάθρου και της εσχάρας έδειξε ελάχιστη παραμόρφωση κατά τον οριζόντιο και κατακόρυφο άξονα, της τάξεως του 0,0008m ή 0.8mm και ως εκ τούτου οι τιμές αυτές μπορούν να αμεληθούν στον υπολογισμό του επαλλήλου αποτελέσματος.

Επιλύθηκε πρώτα το μοντέλλο του εδάφους υπό την επίδραση του ιδίου βάρους το οποίο απέδωσε τα εξής αποτελέσματα (Πιν.2.8)

a/a	Περιγραφή μεταβλητής	Τμηματική	Ολική
		γεωστατική τάση	Γεωστατική
			τάση
1	Οριζόντιος μετατόπιση	0.00	0.00
	κορυφής πασσάλου (1cm)		
2	Οριζόντιος μετατόπιση	0,00	0,00
	αιχμής πασσάλου (cm)		
3	Οριζόντιος μετατόπιση μέσου	0,00	0,00
	πασσάλου (cm)		
4	Οριζόντιος μετατόπιση	0,00	0,00
	επιφανείας εδάφους(cm)		
5	Κατακόρυφη μετατόπιση	22,45	36,75
	κορυφής πασσάλου (cm)		
6	Κατακόρυφη μετατόπιση	22,37	36,544
	αιχμής πασσάλου (cm)		
8	Θλιπτική τάση εδάφους στην	60000Pa	120000Pa
	κορυφή του πασσάλου		
9	Θλιπτική τάση εδάφους στην	200000Pa	1,2·10 ⁶ Pa
	αιχμή του πασσάλου		

Πίνακας 2.8 Φόρτιση υπό γεωστατική τάση μόνο

Εν συνεχεία επιλύθηκε το σύστημα των εξωτερικών φορτίσεων (κατακορύφων και πλευρικών) κεχωρισμένως, χωρίς την επίδραση των γεωστατικών τάσεων και έδωσε τα ακόλουθα αποτελέσματα(Πιν.2.9)

Πίνακας 2.9 Επίλυση υπό εξωτερική φόρτιση κατακόρυφη και εγκαρσία

a/a	Περιγραφή μεταβλητής	Κατακόρυφες	Οριζόντιες
		φορτίσεις	φορτίσεις
1	Οριζόντιος μετατόπιση κεφαλής	0,00	6.30
	πασσάλου (cm)		
2	Οριζόντιος μετατόπιση αιχμής	0,00	0,00072
	πασσάλου (cm)		
3	Οριζόντιος μετατόπιση μέσου	0,00	2,13
	πασσάλου (cm)		
4	Οριζόντιος μετατόπιση	0,00	6,02
	επιφανείας εδάφους (cm)		
5	Οριζόντιος μετατόπιση εδάφους	0,00	0,00
	στην αιχμή (cm)		
6	Κατακόρυφη μετατόπιση	5,73	0,20
	κορυφής πασσάλου (cm)		
7	Κατακόρυφη μετατόπιση αιχμής	5,68	0,07
	πασσάλου (cm)		
8	Κατακόρυφη μετατόπιση μέσου		
	πασσάλου (cm)		
9	Θλιπτική οριζόντια τάση	0,00	140660
	εδάφους παρά την κορυφή του		
	πασσάλου (Pa)		
10	Θλιπτική οριζόντια τάση	0,00	33900
	εδάφους παρά την αιχμή του		
	πασσάλου (Pa)		
11	Θλιπτική κατακόρυφη τάση	21000	98300
	εδάφους παρά την κορυφή (Pa)		

Τέλος επελύθη το σύστημα των συνολικών φορτίσεων εξωτερικών λόγω της κατασκευής και λόγω του ιδίου βάρους του εδάφους, με την επίδραση των μερικών γεωστατικών τάσεων και της ολικής ισοδυνάμου τάσεως. Τα αποτελέσματα φαίνονται κατωτέρω(Πιν.2.10)

Πίνακας 2.10. Επίλυση υπό ολική φόρτιση, εξωτερική και γεωστατική, τμηματική και ολική

a/a	Περιγραφή μεταβλητής	Υπό μερική	Υπό ισοδύναμη
		γεωστατική τάση	γεωστατική τάση
1	Οριζόντιος μετατόπιση	6,30	6,30
	κεφαλής πασσάλου (cm)		
2	Οριζόντιος μετατόπιση	0,00025	0,00071
	αιχμής πασσάλου (cm)		
3	Κατακόρυφη μετατόπιση	29,28	42,41
	κεφαλής πασσάλου (cm)		
4	Κατακόρυφη μετατόπιση	29,07	42,41
	αιχμής πασσάλου (cm)		
5	Οριζόντιος θλιπτική τάση	68000	144000
	εδάφους παρά την κεφαλή		
	(Pa)		
6	Οριζόντιος θλιπτική τάση	175000	184200
	εδάφους παρά την αιχμή		
	(Pa)		
7	Κατακόρυφη θλιπτική τάση	25000	115000
	εδάφους παρά την κεφαλή		
	(Pa)		
8	Κατακόρυφη θλιπτική τάση	900000	1425000
	εδάφους παρά την αιχμή		
	(Pa)		
9	Διατμητική τάση εδάφους	27000	81765
	παρά την κορυφή (Pa)		
10	Διατμητική τάση εδάφους	175000	245000
	παρά την αιχμή (Pa)		



Σx.2.13 Μουτέλλο μεμονωμένου πασσάλου, υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή οριζουτίων μετατοπίσεων.



Σx.2.14 Μουτέλλο μεμουωμένου πασσάλου, υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος,κατανομή κατακορύφων μετατοπίσεων.



Σχ. 2.15 Μουτέλλο μεμονωμένου πασσάλου υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή οριζοντίων τροπών.



Σx.2.16 Μουτέλλο μεμουωμένου πασσάλου, υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή κατακορύφων τροπών.



Σχ.2.17 Μουτέλλο μεμουωμένου πασσάλου, υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή οριζουτίων ορθών τάσεων.



Σx.2.18 Μουτέλλο μεμουωμένου πασσάλου, υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή κατακορύφων ορθών τάσεων


Σχ.2.19 Μοντέλλο μεμονωμένου πασσάλου, υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή διατμητικών τάσεων.

2.5.3 Αποτελέσματα επιλύσεως μοντέλου βάθρου και ομάδος δύο πασσάλων

Το μοντέλλο αυτό αντιπροσωπεύει, κατ' ουσίαν, την διατομή του τυπικού μεσοβάθρου κατά τον άξονα του φορέως της γεφύρας.

Και στην επίλυση αυτή τηρήθηκε η διαδικασία αρχικά της κεχωρισμένης επιλύσεως για τα εδαφικά στρώματα υπό ίδιον βάρος τμηματικά κατανεμημένο και ισοδύναμο ολικό, την κατασκευή σε κεχωρισμένη φόρτιση για τα κατακόρυφα στατικά και κινητά φορτία και εν συνεχεία τα οριζόντια φορτία και τέλος η επίλυση για το σύνολο των συνθηκών φορτίσεως του μοντέλλου, επίσης υπό τμηματική γεωστατική ή ολική γεωστατική ισοδύναμη φόρτιση. Τα αποτελέσματα για εκάστη επίλυση του μοντέλλου υπό μερικές ή ολικές συνθήκες εμφανίζονται κατωτέρω(Πιν.2.11 έως 2.13)

a/a	Περιγραφή παραμέτρου	Τμηματική	Ισοδύναμη
		γεωστατική	ολική
		τάση	γεωστατική
			τάση
1	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρου βάθρου (cm)	0,000	0,000
2	Κατακόρυφη μετατόπιση κέντρου βάθρου (cm)	20,32	32,05
3	Διαφορική οριζόντια μετατόπιση κέντρων πασσάλων (cm)	0,00	0,000
4	Διαφορική κατακόρυφη μετατόπιση κέντρων πασσάλων (cm)	0,000	0,000
5	Διαφορική κατακόρυφη μετατόπιση σημείων εδράσεως φορέως (cm)	0,000	0,000
6	Οριζόντια θλιπτική τάση εδάφους παρά την κεφαλή του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	123000	180000
7	Οριζόντιος θλιπτική τάση εδάφους μεταξύ των πασσάλων (Pa)	2500	27000
8	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους εξωτερικά των πασσάλων (Pa)	152000	165000
9	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους μεταξύ των πασσάλων (Pa)	13000	23000
10	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους υπό την αιχμή των πασσάλων (Pa)	500000	

Πίνακας 2.11 Φόρτιση υπό γεωστατική τάση μόνο

Πίνακας 2.12 Επίλυση υπό εξωτερική φόρτιση κατακόρυφη και εγκαρσία

a/a	Περιγραφή παραμέτρου	Κατακόρυφη	Εγκαρσία
		φόρτιση	φόρτιση
1	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρου βάθρου	0,000	10,92
	(cm)		
2	Κατακόρυφη μετατόπιση κέντρου	9,23	0,00
	βάθρου (cm)		
3	Διαφορική οριζόντια μετατόπιση κέντρων	0,000	0,00
	πασσάλων (cm)		
4	Διαφορική κατακόρυφη μετατόπιση	0,00	0,001
	κέντρων πασσάλων (cm)		
5	Διαφορική κατακόρυφη μετατόπιση	0,00	0,0
	σημείων εδράσεως φορέως (cm)		
6	Οριζόντιος θλιπτική τάση εδάφους παρά	80000	170000
	την κεφαλή του εξωτερικού πασσάλου		
	(Pa)		
7	Οριζόντιος θλιπτική τάση εδάφους	3500	1509
	μεταξύ των πασσάλων (Pa)		
8	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους	60000	58025
	εξωτερικά των πασσάλων παρά την		
	εσχάρα(Ρα)		
9	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους	21000	873,5
	μεταξύ των πασσάλων υπό την εσχάρα		
	(Pa)		
10	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους υπό	300000	76120,5
	την αιχμή των πασσάλων (Pa)		
11	Διατμητική τάση εδάφους παρά την	102000	46450
	αιχμή των πασσάλων (Pa)		

Πίνακας 2.13 Επίλυση υπό ολική φόρτιση, εξωτερική και γεωστατική, τμηματική και ολική

α/α	Περιγραφή παραμέτρου	Τμηματική γεωστατική	Ισοδύναμη γεωστατική
1	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρου βάθρου (cm)	10,941	10,918
2	Κατακόρυφη μετατόπιση κέντρου βάθρου (cm)	29,64	41,351
3	Διαφορική οριζόντια μετατόπιση κέντρων πασσάλων (cm)	0,00034	0,0303
4	Διαφορική κατακόρυφη μετατόπιση σημείων εδράσεως φορέως (cm)	0,00010	0,00010
5	Διαφορική κατακόρυφη μετατόπιση σημείων εδράσεως φορέως (cm)	1.805	1.7993
6	Οριζόντιος θλιπτική τάση εδάφους παρά την κεφαλή του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	110000	124732
7	Οριζόντιος θλιπτική τάση εδάφους μεταξύ των πασσάλων (Pa)	16625	42369
8	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους εξωτερικά των πασσάλων παρά την εσχάρα(Pa)	29535	169598
9	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους μεταξύ των πασσάλων υπό την εσχάρα (Pa)	36203	26508
10	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους υπό την αιχμή των πασσάλων (Pa)	650000	1320000
11	Διατμητική τάση εδάφους παρά την αιχμή των πασσάλων (Pa)	125000	154500



Σχ.2.20 Μουτέλλο δύο πασσάλων, υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή οριζουτίων μετατοπίσεων



Σx.2.21 Μουτέλλο βάθρου δύο πασσάλων, υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή κατακορύφων μετατοπίσεων



Σx.2.22 Μοντέλλο δύο πασσάλων, υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή οριζοντίων τροπών



Σx.2.23 Μοντέλλο δύο πασσάλων, υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή κατακορύφων τροπών



Σχ.2.24 Μουτέλλο δύο πασσάλων, υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή οριζουτίων ορθών τάσεων



Σx.2.25 Μουτέλλο δύο πασσάλων, υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή κατακορύφων ορθών τάσεων.

2.5.4 Αριθμητική επίλυση του μοντέλλου βάθρου και ομάδος τεσσάρων πασσάλων

Και εδώ ακολουθήθηκε η ίδια διαδοχή επιλύσεων, αρχικά μόνο για το μοντέλλο του εδάφους υπό τμηματική και ισοδύναμη γεωστατική τάση, κατόπιν μόνο για την κατασκευή του βάθρου και την θεμελίωσή του σε κατακόρυφη και εγκαρσία φόρτιση και τελικώς του συνολικού μοντέλλου εδάφους, βάθρου, ομάδος πασσάλων με τμηματική και ολική ισοδύναμη γεωστατική τάση. Τα αποτελέσματα φαίνονται κατωτέρω. (Πιν.2.14 έως 2.16)

Πίνακας 2.14 Επίλυση	υπό γεωστατική	φόρτιση,	τμηματική	και
	ισοδύναμη ολι	κή		

a/a	Περιγραφή παραμέτρου	Τμηματική φόρτιση	Ολική φόρτιση β
1	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρου βάθρου (cm)	0,000	0,000
2	Κατακόρυφη μετατόπιση κέντρου βάθρου (cm)	18,014	28,975
	Οριζόντιος θλιπτική τάση παρά τον εξωτερικό πάσσαλο (Pa)	224223	474044
4	Οριζόντιος θλιπτική τάση μεταξύ των πασσάλων (Pa)	6256	15250
5	Κατακόρυφη θλιπτική τάση παρά την κορυφή του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	155000	232130
6	Κατακόρυφη θλιπτική τάση μεταξύ των πασσάλων (Pa)	87450/5930	13300
7	Διατμητική τάση παρά την αιχμή (Pa)	45500	40370

Πίνακας 2.15 Επίλυση του μοντέλλου υπό εξωτερικές φορτίσεις, κατακόρυφες και εγκάρσιες

α/α	Περιγραφή παραμέτρου	Κατακόρυφη	Οριζόντιες
-		φορτιση	φορτισεις
1	Οριζοντιος μετατοπιση	0,000	16,183
2	Οοιζόντιος διαφοοική	0.00015	0.000
4	υετατόπιση κέντοων	0,00010	0,000
	πασσάλων (ακοσίων) (cm)		
3	Οοιζόντιος διαφορική	0 044	0.360
0	υστατόπιση κέντοων αιχιών	0,011	0,000
	μασσάλων (ακοσίων) (cm)		
1		0.000285	0.000
7		0,000285	0,000
F		12.022	0.145
5	κατακορυφη μετατοπιση κέντρου βάθρου (cm)	13,033	0,145
6	Κατακόρυφη διαφορική	0,999	6,51
	μετατόπιση κέντρου	,	,
	ακραίων πασσάλων (cm)		
7	Κατακόρυφη διαφορική	0,000	6,33
	μετατόπιση σημείων	,	,
	εδράσεως του φορέως (cm)		
8	Οριζόντιος θλιπτική τάση	166783	207872
	εδάφους παρά την κορυφή		
	του εξωτερικού πασσάλου		
	(Pa)		
9	Οριζόντιος θλιπτική τάση	827,07	290,66
	εδάφους μεταξύ των	,	,
	πασσάλων (Pa)		
10	Κατακόρυφη θλιπτική τάση	45000/	160000/
	εδάφους παρά την αιχμή	244900	25000
	του εξωτερικού πασσάλου		
	(Pa)		
11	Κατακόρυφη θλιπτική τάση	76800	131332
	εδάφους παρά την κορυφή		
	του εξωτερικού πασσάλου		
	(Pa)		
12	Κατακόρυφη θλιπτική τάση	575.0	25547
	εδάφους μεταξύ των		
	πασσάλων (υπό την εσχάρα)		
	(Pa)		
13	Κατακόρυφη θλιπτική τάση	270000	154000
	εδάφους υπό την αιχμή του		
	εξωτερικού πασσάλου (Pa)		
14	Διατ. τάση εδάφους(αιχμη)	125000	53000

Πίνακας 2.16 Επίλυση υπό σύνθετη φόρτιση υπό γεωστατική τάση και εξωτερικές φορτίσεις κατακόρυφες και εγκάρσιες

a/a	Περιγραφή παραμέτρου	Τμηματική	Ολική
		φόρτιση	γεωστατική
			τάση
1	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρου	16,183	16,183
	βάθρου (cm)		
2	Οριζόντιος διαφορική	0,0162	0,083
	μετατόπιση κέντρων ακραίων		
	πασσάλων (cm)		
3	Οριζόντιος διαφορική	0,0016	0,0163
	μετατόπιση σημείων εδράσεως		
	του φορέως (cm)		
4	Κατακόρυφη μετατόπιση	31,847	42.808
	κέντρου βάθρου (cm)		
5	Κατακόρυφη διαφορική	6,58	6,507
	μετατόπιση κέντρων ακραίων		
	πασσάλων (cm)		
6	Κατακόρυφη διαφορική	6,213	6,213
	μετατόπιση σημείων εδράσεως		
	του φορέως (cm)		
7	Οριζόντιος θλιπτική τάση	266650	167657
	εδάφους παρά την κορυφή του		
	εξωτερικού πασσάλου (Pa)	170000	
8	Οριζόντιος θλιπτική τάση	150000	22000
	εδάφους παρά την αιχμή του		
	εξωτερικού πασσάλου (Pa)		
9	Οριζόντιος θλιπτική τάση	7250	9646
	εδάφους μεταξύ των πασσάλων		
10	υπο την εσχαρα (Pa)	50445	100006
10	Κατακορυφη θλιπτικη ταση	58445	123996
	εδαφους παρα την κορυφη του		
1 1	εξωτερικού πασσαλού (Pa)		1 4 4 1 17
	κατακορυφη θλιπτικη ταση	8012.5	14417
10	εοαφούς υπο την εσχάρα (Pa)	700411	1400000
12	κατακορυφη θλιπτική ταση	722411	1400000
	εοαφούς υπο την αιχμη του		
10	εςωτερικου πασσαλου (Pa)	850000	10000
13	Διαιμητική ιασή εσαφούς παρα	00000	120000
	μασσάλου (Do)		
	TIUUUUAUU (Pa)		1



Σχ. 2.26 Μουτέλλο τεσσάρωυ πασσάλωυ, υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή οριζουτίωυ μετατοπίσεωυ.



Σχ.2.27 Μουτέλλο τεοσάρων πασσάλων, υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος κατανομή κατακορύφων μετατοπίσεων



Σχ.2.28 Μουτέλλο τεσσάρων πασσάλων, υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή οριζουτίων τροπών



Σχ.2.29 Μουτέλλο τεσσάρωυ πασσάλωυ, υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή κατακορύφωυ τροπώυ



Σx.2 30 Μουτέλλο τεσσάρων πασσάλων, υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή οριζουτίων ορθών τάσεων



Σx.2.31 Μουτέλλο τεσσάρων πασσάλων, υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή κατακορύφων ορθών τάσεων



Σx. 2.32 Μουτέλλο τεσσάρων πασσάλων, υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή διατμητικών τάσεων

2.5.5 Αποτελέσματα αριθμητικής επιλύσεως φορτίσεως βάθρου και ομάδος 8 πασσάλων

Και στην περίπτωση της ομάδος 8 πασσάλων ετηρήθη η ιδία διαδικασία επιλύσεως των εξομοιώσεων, πρώτα της καθαρής επιδράσεως της γεωστατικής τάσεως, τμηματικής και ολικής ισοδυνάμου, κατόπιν των εξωτερικών κατακορύφων και οριζοντίων φορτίσεων λόγω της κατασκευής και τέλος η εξομοίωση των συνθέτων φορτίσεων. Τα αποτελέσματα έχουν ως εξής: (Πιν. 2.17 έως 2.19)

Πίνακας 2.17 Αποτελέσματα επιλύσεως μοντέλλου γεωστατικών φορτίσεων, τμηματικών και ολικής ισοδυνάμου.

a/a	Περιγραφή παραμέτρου	Τμηματική	Ολική
		φόρτιση	φόρτιση
1	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρου	0,000	0,000
	βάθρου (cm)		
2	Κατακόρυφη μετατόπιση κέντρου	15.633	26,652
	βάθρου (cm)		
3	Οριζόντιος θλιπτική τάση εδάφους	27602	98175
	παρά τον εξωτερικό πάσσαλο (Pa)		
4	Οριζόντιος θλιπτική τάση εδάφους	2400,25	9708
	μεταξύ των πασσάλων (Pa)		
5	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους	26470,0	47923
	παρά την κορυφή των πασσάλων (Pa)		
6	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους	215595	720513
	υπό την αιχμή των πασσάλων (Pa)		

Πίνακας 2.18. Αποτελέσματα επιλύσεως μοντέλλου υπό την επίδραση εξωτερικών κατακορύφων και οριζοντίων φορτίσεων

α/α	Περιγραφή παραμέτρου	Κατακόρυφες	Οριζόντιες
		φορτισεις	φορτισεις
1	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρου βάθρου (cm)	0,000	20,8743
2	Οριζόντιος διαφορική μετατόπιση κέντρων ακραίων πασσάλων (cm)	0,000	0,000
3	Οριζόντιος διαφορική μετατόπιση σημείων εδράσεως φορέως (cm)	0,000	0,000
4	Κατακόρυφη μετατόπιση κέντρου βάθρου (cm)	18,247	0,000
5	Κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση κέντρων ακραίων πασσάλων (cm)	0,000	12,313
6	Κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση σημείων εδράσεως φορέως (cm)	0.000	12,320
7	Οριζόντιος τάση εδάφους παρά την κορυφή του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	81337	220425
8	Οριζόντιος τάση εδάφους παρά την αιχμή του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	129522	144557
9	Οριζόντιος τάση εδάφους μεταξύ των πασσάλων (Pa)	2412	2070
10	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους παρά την κορυφή του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	72875	124227
11	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους υπό την αιχμή του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	505592	153557
12	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους μεταξύ των πασσάλων υπό την εσχάρα (Pa)	663	1164
13	Διατμητική τάση εδάφους παρά την αιχμή του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	131882	42021

Πίνακας 2.19. Αποτελέσματα επιλύσεως μοντέλλου υπό ολική φόρτιση, γεωστατική και εξωτερικές φορτίσεις κατακόρυφες και οριζόντιες

a/a	Περιγραφή παραμέτρου	Κατακόρυφες	Οριζόντιες
		φορτίσεις	φορτίσεις
1	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρου βάθρου (cm)	20,814	20,874
2	Οριζόντιος διαφορική μετατόπιση κέντρων ακραίων πασσάλων (cm)	0,0065	0,1290
3	Οριζόντιος διαφορική μετατόπιση σημείων εδράσεως φορέως (cm)	0,038	0,0793
4	Κατακόρυφη μετατόπιση κέντρου βάθρου (cm)	33,8815	44,899
5	Κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση κέντρων ακραίων πασσάλων (cm)	12,313	12.313
6	Κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση σημείων εδράσεως φορέως (cm)	12,3195	12,3194
7	Οριζόντιος θλιπτική τάση εδάφους παρά την κεφαλή του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	338978	299058
8	Οριζόντιος θλιπτική τάση εδάφους παρά την αιχμή του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	134600	145060
9	Οριζόντιος θλιπτική τάση εδάφους υπό την εσχάρα μεταξύ των πασσάλων (Pa)	931.5	6276
10	Κατακόρυφη θλιπτική τάση παρά την κορυφή του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	101591	145060
11	Κατακόρυφη θλιπτική τάση υπό την αιχμή του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	1143000	478850
12	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους μεταξύ των πασσάλων υπό την εσχάρα (Pa)	6700,5	3356,1
13	Διατμητική τάση εδάφους υπό την αιχμή του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	135031	210240



Σχ.2.33 Μουτέλλο οκτώ πασσάλων υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή οριζουτίων μετατοπίσεων.



Σχ.2.34 Μουτέλλο οκτώ πασσάλων υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή κατακορύφων μετατοπίσεων



Σx.2.35 Μουτέλλο οκτώ πασσάλων υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή οριζουτίων τροπών



Σχ.2.36 Μουτέλλο οκτώ πασσάλωυ υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή κατακορύφωυ τροπώυ



Σχ.2.37 Μουτέλλο οκτώ πασσάλωυ υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή οριζουτίων ορθών τάσεων



Σx.2.38 Μουτέλλο οκτώ πασσάλωυ υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή κατακορύφωυ ορθώυ τάσεωυ



Σx.2.39 Μοντέλλο οκτώ πασσάλων υπο πλήρη φόρτιση, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή διατμητικών τάσεων

2.6 Αποτελέσματα επιλύσεως του απλοποιημένου μοντέλλου βάθρου και πασσαλομάδος

Πέραν της επιλύσεως της ολοκληρωμένης μορφής της αριθμητικής εξομοιώσεως, η οποία αναλύθηκε προηγουμένως, υπάρχει μία σειρά τροποποιήσεων τις οποίες θα μπορούσε να υποστεί το μοντέλλο αυτό οι οποίες εκπορεύονται από μία σειρά θεωρητικών παραδοχών και ιδιορρυθμιών οι οποίες προκύπτουν από τα λειτουργικά στοιχεία του λογισμικού το οποίο χρησιμοποιήθηκε.

Κατ' αρχάς, ο τρόπος με τον οποίο εισάγονται στο πρόγραμμα MARC ως παράμετρος ή συνοριακή συνθήκη, η γεωστατική τάση δίνει δύο διαφορετικά αποτελέσματα όσον αφορά τις κατακόρυφες, κυρίως, αλλά και τις οριζόντιες τάσεις τις οποίες επάγει στο έδαφος το ίδιον βάρος των στρωμάτων του.

Οι τιμές αυτές, οι οποίες προκύπτουν από τον μηχανισμό της στερεοποιήσεως του εδάφους υπό το ίδιον βάρος, διαφοροποιούνται πολύ, έως 40% περίπου μεταξύ της καταστάσεως της τμηματικής φορτίσεως και της ισοδυνάμου φορτίσεως, της ασκουμένης στην ελεύθερη επιφάνεια του εδάφους.

Κατά την άποψη του γράφοντος η τμηματική φόρτιση αποδίδει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα αλλά, εξ ανάγκης, αφήνει μία ζώνη εδάφους, είτε την ανωτάτη, είτε την κατωτάτη, εκτός επιρροής των τάσεων εξ ιδίου βάρους.

Επιπλέον, είναι εύκολο να υποτεθεί ότι, προ της κατασκευής των πασσάλων και των βάθρων και της επιδράσεως των φορτίων τους καθώς και των φορτίων του φορέως, το έδαφος θεμελιώσεως έχει ισορροπήσει υπό την επίδραση του ιδίου βάρους του σε μία κατάσταση η οποία παράγει και τις τιμές των παραμέτρων μηχανικής συμπεριφοράς οι οποίες εισήχθησαν στα μοντέλλα. Επομένως, οιαδήποτε επερχομένη παραμόρφωση επέρχεται από τα εξωτερικά φορτία της κατασκευής.

Για τον λόγο αυτό είναι ρεαλιστικότερη η επίλυση μόνο υπό την επίδραση αυτών των εξωτερικών φορτίων, αγνοώντας το ίδιο βάρος των εδαφικών στρωμάτων στους υπολογισμούς.

Επιπλέον, οι επιλύσεις του πλήρους μοντέλλου εισάγουν ως παράμετρο εγκαρσίας φορτίσεως του πασσάλου ένα ποσοστό του ιδίου βάρους του (υπό άνωση) υποθέτοντας ότι ένας σημαντικός λόγος εγκαρσίου φορτίσεως είναι η σεισμική φόρτιση των μελών της κατασκευής και ότι, δεδομένου ότι η μέση πυκνότητα του πασσάλου είναι μεγαλύτερη από αυτήν του περιβάλλοντος εδάφους, άρα δικαιολογείται σχετική κίνηση των δύο, η παραδοχή αυτή οδηγεί σε πλέον συντηρητικά αποτελέσματα, ιδίως εάν αγνοηθεί η σεισμική επιβάρυνση,λόγω ιδίου βάρους, των ιδίων των εδαφικών στρωμάτων.

Εν τούτοις, στην πράξη είναι συζητήσιμο το κατά πόσον ο πάσσαλος δεν ακολουθεί την ταλάντωση του εδάφους με μόνες πρόσθετες παραμορφώσεις τις οφειλόμενες στην ανωδομή.

Εάν δεχθούμε τον συνδυασμό των παραπάνω υποθέσεων και επιλέξομε να αγνοήσομε το ποσοστό ιδίου βάρους του πασσάλου ως παράγοντος κάμψεως, λόγω ακινησίας του εντός του εδάφους και επιπλέον, θεωρήσομε το έδαφος εν ισορροπία προ της κατασκευής τότε οδηγούμεθα σε ένα απλοποιημένο μοντέλλο φορτίσεως το οποίο αγνοεί την γεωστατική τάση καθώς και την όποια σχετική κίνηση πασσάλουεδάφους, λόγω διαφορετικών πυκνοτήτων, σε περίπτωση σεισμικής φορτίσεως της κατασκευής και επομένως, θεωρεί οιαδήποτε παραμόρφωση του πασσάλου λόγω εγκαρσίου φορτίσεως ως προϊόν των υπέρ την επιφάνεια του εδάφους φορτίων.

Τα αποτελέσματα των επιλύσεων βάσει αυτών των απλουστευτικών παραδοχών ακολουθούν στην συνέχεια: Σε όλες τις περιπτώσεις οι τιμές των οριακών συνθηκών είναι οι ίδιες που χρησιμοποιήθηκαν στην προηγουμένη σειρά επιλύσεων. (Πιν. 2.20 έως 2.23)

<u>2.6.1 Αποτελέσματα επιλύσεως απλουστευμένου μοντέλλου</u> μεμονωμένου πασσάλου

Πίνακας 2.20 **Αποτελέσματα μεμονωμένου πασσάλου.**

a/a	Περιγραφή παραμέτρου	Τιμή
1	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρου κορυφής	5,8167
	πασσάλου (cm)	
2	Οριζόντιος μετατόπιση αιχμής πασσάλου (cm)	0,4187
3	Οριζόντιος μετατόπιση ενδιαμέσων θέσεων	3,856
	πασσάλου (cm)	1,636
4	Κατακόρυφη μετατόπιση κορυφής πασσάλου	5,7575
	(cm)	
5	Κατακόρυφη μετατόπιση αιχμής πασσάλου (cm)	5,6783
6	Κατακόρυφη μετατόπιση μέσου πασσάλου (cm)	5,715
		5,702
7	Οριζόντιος θλιπτική τάση εδάφους παρά την	122500
	κορυφή του πασσάλου (Pa)	
8	Οριζόντιος θλιπτική τάση εδάφους παρά την	123000
	αιχμή του πασσάλου (Pa)	203500
9	Διατμητική τάση εδάφους παρά την κορυφή του	51400
	πασσάλου (Pa)	
10	Διατμητική τάση εδάφους παρά την αιχμή του	47500
	πασσάλου (Pa)	110000
11	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους παρά την	120000
	κορυφή του πασσάλου (υπό την εσχάρα) (Pa)	
12	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους υπό την	295150
	αιχμή του πασσάλου (Pa)	



Σχ.2.40 Απλοποιημένο μοντέλλο μεμονωμένου πασσάλου, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή οριζοντίων μετατοπίσεων



Σx.2.41 Απλοποιημένο μοντέλλο μεμονωμένου πασσάλου, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή κατακορύφων μετατοπίσεων



Σχ.2.42 Απλοποιημένο μοντέλλο μεμονωμένου πασσάλου, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή οριζοντίων τροπών



Σχ.2.43 Απλοποιημένο μοντέλλο μεμονωμένου πασσάλου, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή κατακορύφων τροπών



Σχ.2.44 Απλοποιημένο μοντέλλο μεμονωμένου πασσάλου, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή οριζοντίων ορθών τάσεων



Σx.2.45 Απλοποιημένο μουτέλλο μεμονωμένου πασσάλου, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή κατακορύφων ορθών τάσεων.



Σχ.2.46 Απλοποιημένο μουτέλλο μεμονωμένου πασσάλου, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή διατμητικών τάσεων.

2.6.2 Αποτελέσματα επιλύσεως απλοποιημένου μοντέλλου βάθρου και ομάδος δύο πασσάλων

a/a	Περιγραφή παραμέτρου	Τιμή
1	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρου βάθρου εσχάρας	9,3172
	(cm)	
2	Κατακόρυφη μετατόπιση κέντρου εσχάρας (cm)	9,2173
3	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρων κορυφής	0,05229
	πασσάλων (cm)	
4	Κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση κέντρων	1,89505
	κορυφής πασσάλων σημείων εδράσεως φορέως	
	(cm)	
5	Κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση σημείων	1,79014
	εδράσεως φορέως (cm)	
6	Οριζόντιος θλιπτική τάση εδάφους παρά την	234000
	κορυφή του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	
7	Κατακόρυφη θλιπτική τάση υπό την	140000
	πασσαλοεσχάρα παρά την εξωτερική πλευρά του	
	εξωτερικού πασσάλου (Pa)	
8	Οριζόντιος θλιπτική τάση μεταξύ των πασσάλων	1969
	(Pa)	
9	Κατακόρυφη θλιπτική τάση μεταξύ των	2969
1.0	πασσάλων υπό την εσχάρα (Pa)	
10	Διατμητική τάση εδάφους παρά την κορυφή του	59580
	εξωτερικού πασσάλου (Pa)	0.0767
11	Οριζόντιος μετατόπιση αιχμής εξωτερικού	0,0565
10	πασσαλου (cm)	10.005
12	Κατακορυφη μετατοπιση αιχμης εξωτερικου	10,225
10	πασσαλου (cm)	25000
13	Οριζοντιος θλιπτική τασή εδαφούς παρά την	25000
1 /	αιχμη του εξωτερικου πασσαλου (Pa)	055000
14	Κατακορυφη θλιπτικη ταση εδαφους παρά την	255000
1 -	αιχμη του εςωτερικου πασσαλου (Pa)	05000
15	Διατμητική τασή εραφούς παρά την αιχμή του	85000
	εςωτερικου πασσαλου (Pa)	

Πίνακας 2.21 Αποτελέσματα επιλύσεως



Σχ.2.47 Απλοποιημένο μουτέλλο δύο πασσάλων, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή των οριζουτίων μετατοπίσεων



Σx.2.48 Απλοποιημένο μουτέλλο δύο πασσάλων, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή των κατακορύφων μετατοπίσεων



Σχ.2.49 Απλοποιημένο μουτέλλο δύο πασσάλων, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή των οριζουτίων τροπών



Σx.2.50 Απλοποιημένο μουτέλλο δύο πασσάλων, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή των κατακορύφων τροπών.



Σx2.51 Απλοποιημένο μουτέλλο δύο πασσάλων, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή των οριζουτίων ορθών τάσεων.



Σχ.2.52 Απλοποιημένο μοντέλλο δύο πασσάλων, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή των κατακορύφων ορθών τάσεων.



Σχ.2.53 Απλοποιημένο μοντέλλο δύο πασσάλων, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή των διατμητικών τάσεων.

2.6.3 Αποτελέσματα επιλύσεως απλοποιημένου μοντέλλου βάθρου και ομάδος τεσσάρων πασσάλων

a/a	Περιγραφή παραμέτρου	Τιμή
1	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρου βάθρου	14,261
	(εσχάρας) (cm)	
2	Κατακόρυφη μετατόπιση κέντρου βάθρου	13,833
	εσχάρας (cm)	
3	Οριζόντιος διαφορική μετατόπιση κορυφής	0,416
	κέντρων ακραίων πασσάλων της ομάδος (cm)	
4	Κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση κέντρων	6,580
	κορυφής ακραίων πασσάλων της ομάδος (cm)	
5	Κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση σημείων	6,137
	εδράσεως φορέως (cm)	
6	Οριζόντιος θλιπτική τάση εδάφους παρά την	444620
	κορυφή του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	
7	Οριζόντιος θλιπτική τάση εδάφους υπό την	1350,0
	εσχάρα μεταξύ των πασσάλων (Pa)	
8	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους υπό την	195655
	εσχάρα, παρά την κορυφή του εξωτερικού	
	πασσάλου (Pa)	
9	Διατμητική τάση εδάφους παρά την κορυφή του	85800
	εξωτερικού πασσάλου (Pa)	
10	Οριζόντιος θλιπτική τάση εδάφους παρά την	200000
	αιχμή του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	
11	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους παρά την	560000
	αιχμή του εξωτερικού πασσάλου(Pa)	
12	Διατμητική τάση εδάφους παρά την αιχμή του	165000
	εξωτερικού πασσάλου (Pa)	
13	Οριζόντιος μετατόπιση αιχμής εξωτερικού	0,5506
	πασσάλου (cm)	
14	Κατακόρυφη μετατόπιση αιχμής εξωτερικού	17,0119
	πασσάλου (cm)	
15	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους μεταξύ των	605,0
	πασσάλων υπό την εσχάρα (Pa)	

Πίνακας 2.22 Αποτελέσματα επιλύσεως



Σx2.54 Απλοποιημένο μουτέλλο τεσσάρων πασσάλων, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή των οριζουτίων μετατοπίσεων.



Σχ.2.55 Απλοποιημένο μοντέλλο τεσσάρων πασσάλων, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή των κατακορύφων μετατοπίσεων.



Σχ.2.56 Απλοποιημένο μουτέλλο τεσσάρων πασσάλων, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή των οριζουτίων τροπών.



Σχ.2.57 Απλοποιημένο μουτέλλο τεσσάρων πασσάλων, σε πραγματικό έδαφος,

κατανομή των κατακορύφων τροπών.



Σx.2.58 Απλοποιημένο μοντέλλο τεσσάρων πασσάλων, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή των οριζοντίων ορθών τάσεων.



Σx.2.59 Απλοποιημένο μοντέλλο τεσσάρων πασσάλων, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή των κατακορύφων ορθών τάσεων.



Σx.2.60 Απλοποιημένο μοντέλλο τεσσάρων πασσάλων, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή των διατμητικών τάσεων.
2.6.4 Αποτελέσματα επιλύσεως απλοποιημένου μοντέλλου βάθρου και ομάδος οκτώ πασσάλων

a/a	Περιγραφή παραμέτρου	Τιμή
1	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρου βάθρου (cm)	16.975
2	Κατακόρυφη μετατόπιση κέντρου βάθρου (cm)	18,2457
3	Οριζόντιος διαφορική μετατόπιση κορυφής	0,0884
	κέντρων ακραίων πασσάλων της ομάδος (cm)	
4	Κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση κέντρων	13,005
	κορυφής ακραίων πασσάλων της ομάδος (cm)	
5	Κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση σημείων	12,3505
	εδράσεως φορέως (cm)	
6	Οριζόντιος θλιπτική τάση εδάφους υπό την	417769
	εσχάρα παρά την κορυφή του εξωτερικού	
	πασσάλου (Pa)	
7	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους υπό την	182263
	εσχάρα παρά την κορυφή του εξωτερικού	
	πασσάλου (Pa)	
8	Διατμητική τάση εδάφους υπό την εσχάρα παρά	88776
	την κορυφή του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	
9	Οριζόντιος θλιπτική τάση εδάφους υπό την	3411,71
	εσχάρα μεταξύ των πασσάλων (Pa)	
10	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους υπό την	562,82
	εσχάρα μεταξύ των πασσάλων (Pa)	
11	Οριζόντιος μετατόπιση αιχμής εξωτερικού	2,2273
	πασσάλου (cm)	
12	Κατακόρυφη μετατόπιση αιχμής εξωτερικού	24,0271
1.0	πασσάλου (cm)	
13	Οριζόντιος θλιπτική τάση εδάφους παρά την	66137
	αιχμή του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	
14	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους παρά την	694262
	αιχμη του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	100 -
15	Διατμητική τάση εδάφους παρά την αιχμή του	189798
	εζωτερικού πασσάλου (Ρα)	

Πίνακας 2.23 Αποτελέσματα επιλύσεως



Σx.2.61 Απλοποιημένο μουτέλλο οκτώ πασσάλων, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή των οριζουτίων μετατοπίσεων.



Σχ.2.62 Απλοποιημένο μοντέλλο οκτώ πασσάλων, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή των κατακορύφων μετατοπίσεων.



Σχ.2.63 Απλοποιημένο μοντέλλο οκτώ πασσάλων, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή των οριζουτίων τροπών.



Σx.2.64 Απλοποιημένο μοντέλλο οκτώ πασσάλων, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή των κατακορύφων τροπών.



Σx.2.65 Απλοποιημένο μοντέλλο οκτώ πασσάλων, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή των οριζοντίων ορθών τάσεων.



Σx.2.66 Απλοποιημένο μοντέλλο οκτώ πασσάλων, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή των κατακορύφων ορθών τάσεων.



Σx.2.67 Απλοποιημένο μοντέλλο οκτώ πασσάλων, σε πραγματικό έδαφος, κατανομή των διατμητικών τάσεων.

2.7 Αποτελέσματα αριθμητικής επιλύσεως φορτίσεως βάθρου και πασσαλομάδος σε ενδεικτικό ομογενές εδαφικό υλικό

Στην παράγραφο αυτή εμφανίζονται τα αποτελέσματα της αριθμητικής επιλύσεως του προβλήματος της συμπεριφοράς ομάδος πασσάλων (δύο, τεσσάρων, οκτώ και για λόγους παραβολής, ενός μεμονωμένου). η οποία φορτίζεται πλευρικά. όταν αυτή έχει κατασκευασθεί μέσα ομογενές, υποθετικό εδαφικό σε υλικό, συγκεκριμένων μηχανικών προδιαγραφών, προκειμένου να εξαχθούν αποτελέσματα προς αντιπαραβολή uε τα αποτελέσματα τα ανταποκρινόμενα στο πραγματικό υπόδειγμα του πολυστρωματικού εδάφους.

Τα κύρια αποτελέσματα τα οποία θα παραβληθούν σε επόμενο κεφάλαιο, είναι αυτά του απλοποιημένου μοντέλλου, το οποίο υποθέτει ότι, σε πλευρική μετατόπιση του εδάφους (π.χ. λόγω σεισμού) οι πάσσαλοι παρακολουθούν την εδαφική κίνηση και επομένως αμελείται η οριζοντία συνιστώσα του συνολικού φορτίου η οποία αντιστοιχεί στο ίδιον βάρος ενός εκάστου πασσάλου.

Τα λοιπά φορτία παραμένουν όπως περιγράφηκαν στα προηγούμενα.

2.7.1 Αριθμητική επίλυση απλοποιημένου μοντέλλου μεμονωμένου πασσάλου σε ομογενές και ισότροπο έδαφος

a/a	Περιγραφή παραμέτρου	Τιμή
1	Οριζόντιος μετατόπιση του κέντρου άνω	8,07712
	άκρου πασσάλου (cm)	
2	Κατακόρυφη μετατόπιση κέντρου άνω	5,7527
	άκρου του πασσάλου (cm)	
3	Οριζόντιος μετατόπιση του κέντρου κάτω	0,4622
	άκρου πασσάλου (cm)	
4	Κατακόρυφη μετατόπιση κέντρου κάτω	5,74485
	άκρου του πασσάλου (cm)	
5	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρου	4,5945
	ενδιαμέσου τμήματος του πασσάλου	1,9390
		0,5203
6	Οριζόντιος θλιπτική τάση εδάφους παρά	117797
	την κορυφή του πασσάλου (Pa)	
7	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους υπό	85250
	την κορυφή του πασσάλου υπό την	
	εσχάρα (Pa)	
8	Διατμητική τάση εδάφους υπό την	30000
	κορυφή του πασσάλου υπό την εσχάρα	
	(Pa)	
9	Οριζόντιος θλιπτική τάση εδάφους παράς	133115
	την αιχμή του πασσάλου (Pa)	
10	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους υπό	303786
	την αιχμή του πασσάλου (Pa)	
'11	Διατμητική τάση εδάφους παρά την αιχμή	276929
	του πασσάλου (Pa)	

Πίνακας 2.24 Αποτελέσματα επιλύσεως



Σx.2.68 Απλοποιημένο μουτέλλο μεμονωμένου πασσάλου σε υποθετικό ομογενές έδαφος, κατανομή των οριζουτίων μετατοπίσεων.



Σx.2.69 Απλοποιημένο μουτέλλο μεμονωμένου πασσάλου σε υποθετικό ομογενές έδαφος, κατανομή των κατακορύφων μετατοπίσεων.



Σχ.2.70 Απλοποιημένο μοντέλλο μεμονωμένου πασσάλου σε υποθετικό ομογενές έδαφος, κατανομή των οριζοντίων τροπών.

2.7.2 Αριθμητική επίλυση απλουστευμένου μοντέλλου, σε ομογενές και ισότροπο εδαφικό υλικό, βάθρου με δύο πασσάλους

a/a	Περιγραφή παραμέτρου	Τιμή
1	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρου εσχάρας	12,2149
	(cm)	
2	Κατακόρυφη μετατόπιση κέντρου	9,40112
	εσχάρας (cm)	
3	Οριζόντιος διαφορική μετατόπιση κέντρων	0,0235
	κορυφών πασσάλων (cm)	
4	Κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση	2,712715
	κέντρων κορυφών πασσάλων (cm)	
5	Κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση	2,27956
	σημειων εδρασεως φορεως (cm)	
6	Οριζόντιος θλιπτική τάση εδάφους παρά	206771
	την κορυφή του εξωτερικου πασσαλου	
-	υπο την εσχαρα (Pa)	05005
1	Κατακορυφη θλιπτικη ταση εδαφους	85925
	παρα την κορυφη του εςωτερικου	
0		50100
8	Διατμητική ταση εσαφούς παρά την	50100
	(\mathbf{P}_{0})	
0	Οριζόντιος Αλιπτική τάση εδάφους μεταξύ	075 816
9	των κοομαών των πασσάλων μπό την	975.810
	εσχάρα (Pa)	
10	Κατακόουωη θλιπτική τάση εδάφους	1921.59
10	μεταξύ των πασσάλων υπό την εσχάρα	
	(Pa)	
11	Οριζόντιος θλιπτική τάση παρά την αιχμή	91587
	του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	
12	Κατακόρυφη θλιπτική τάση παρά την	280880
	αιχμή του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	
13	Διατμητική τάση παρά την αιχμή του	162000
	εξωτερικού πασσάλου (Pa)	

Πίνακας 2.25 Αποτελέσματα επιλύσεως



Σχ.2.71 Απλοποιημένο μοντέλλο δύο πασσάλων σε υποθετικό ομογενές έδαφος, κατανομή των οριζοντίων μετατοπίσεων.



Σχ.2.72 Απλοποιημένο μουτέλλο δύο πασσάλων σε υποθετικό ομογενές έδαφος, κατανομή των κατακορύφων μετατοπίσεων.



Σχ.2.73 Απλοποιημένο μοντέλλο δύο πασσάλων σε υποθετικό ομογενές έδαφος, κατανομή των οριζοντίων τροπών.

2.7.3 Αριθμητική επίλυση απλοποιημένου μοντέλλου σε ομογενές και ισότροπο έδαφος, βάθρου με ομάδα τεσσάρων πασσάλων

a/a	Περιγραφή παραμέτρου	Τιμή
1	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρου βάθρου	16,7441
	(cm)	
2	Κατακόρυφη μετατόπιση κέντρου βάθρου	18,8447
	(cm)	
3	Οριζόντιος διαφορική μετατόπιση	0,0197
	κορυφών άκρων των πασσάλων (cm)	
4	Κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση	14,20785
	κορυφών άκρων των πασσάλων (cm)	
5	Κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση	13,5716
	σημείων εδράσεως φορέως (cm)	216272
6	Οριζόντιος θλιπτική τάση εδάφους παρά	216852
	την κορυφη του εξωτερικου πασσαλου	
7	(Pa)	01100
1	κατακορυφη θλιπτική ταση εοαφούς	81128
	Παρα την κορυψη του εςωτερικου	
0		20508
0	Διατμητική του εξωτερικού πασσάλου υπό	39308
	την εσχάρα (Pa)	
9	Οοιζόντιος θλιπτική τάση εδάφους μεταξί	269 726
	των κοουφών των πασσάλων υπό την	209.120
	εσχάρα (Pa)	
10	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους	369.760
	μεταξύ των κορυφών των πασσάλων υπό	
	την εσχάρα (Pa)	
11	Οριζόντιος θλιπτική τάση εδάφους παρά	292500
	την αιχμή του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	
12	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους υπό	895879
	την αιχμή του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	271281
13	Διατμητική τάση εδάφους παρά την αιχμή	281822
	του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	

Πίνακας 2.26 Αποτελέσματα επιλύσεως



Σx.2.74 Απλοποιημένο μουτέλλο τεσσάρων πασσάλων σε υποθετικό ομογενές έδαφος, κατανομή των οριζουτίων μετατοπίσεων.



Σχ.2.75 Απλοποιημένο μουτέλλο τεσσάρων πασσάλων σε υποθετικό ομογενές έδαφος, κατανομή των κατακορύφων μετατοπίσεων.



Σχ.2.76 Απλοποιημένο μουτέλλο τεσσάρωυ πασσάλωυ σε υποθετικό ομογενές έδαφος, κατανομή των οριζουτίων τροπών.

2.7.4 Αριθμητική επίλυση απλοποιημένου μοντέλλου σε ομογενές και ισότροπο έδαφος, βάθρου και ομάδος οκτώ πασσάλων

a/a	Περιγραφή παραμέτρου	Τιμή
1	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρου βάθρου	20,8752
	(cm)	
2	Κατακόρυφη μετατόπιση κέντρου βάθρου	18,3871
	(cm)	
3	Οριζόντιος διαφορική μετατόπιση	0,0535
	κορυφής ακραίων πασσάλων (cm)	
4	Κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση	14,1128
	κορυφής ακραίων πασσάλων (cm)	
5	Κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση	14.0305
	σημείων εδράσεως φορέως (cm)	
6	Οριζόντιος θλιπτική τάση εδάφους παρά	278542
	την κορυφή του εξωτερικού πασσάλου	
_	(Pa)	110711
7	Κατακόρυφη θλιπτική τάση εδάφους	118711
	παρά την κορυφή του εξωτερικού	
0	πασσαλου (Pa)	202444
8	Διατμητική ταση εδαφούς παρά την	70744.4
0	κορυφή του εξωτερικού πασσαλού (Pa)	005057
9	Οριζοντιος θλιπτική τασή εδαφούς παρα	285857
10	την αίχμη του εςωτερικου πασσαλού (Pa)	001010
10	Κατακορυφη θλιπτική ταση εδαφους υπο	901219
11	την αίχμη του εςωτερικου πασσαλού (Pa)	312000
11	Διατμητική ταση εδαφούς παρά την αιχμη	22300
10	του εςωτερικού πασσαλού (Pa)	421000
12		1377,19
10	την εσχαρα μεταςυ των πασσαλων (Pa)	1501.00
13	Κατακορυφη θλιπτικη ταση εδαφους υπο	1591,02
	την εσχαρά μετάζυ των πάσσαλων (Pa)	

Πίνακας 2.27 Αποτελέσματα επιλύσεως



Σχ.2.77 Απλοποιημένο μουτέλλο οκτώ πασσάλων σε υποθετικό ομογενές έδαφος, κατανομή των οριζουτίων μετατοπίσεων.



Σχ.2.78 Απλοποιημένο μουτέλλο οκτώ πασσάλων σε υποθετικό ομογενές έδαφος, κατανομή των κατακορύφων μετατοπίσεων.



Σχ.2.79 Απλοποιημένο μοντέλλο οκτώ πασσάλων σε υποθετικό ομογενές έδαφος, κατανομή των οριζοντίων τροπών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΕΠΙΛΥΣΕΩΣ ΤΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ ΜΟΝΤΕΛΛΩΝ

Εισαγωγικά, θα πρέπει να αναφερθεί ότι, έως ένα βαθμό, τα αποτελέσματα της αριθμητικής επιλύσεως των εξομοιώσεων των διαφόρων τύπων βάθρων επηρεάζονται από τον σχεδιασμό και την αναπαράσταση του βάθρου δηλαδή του τμήματος υπέρ την πασσαλοεσχάρα, το οποίο μεταφέρει το μεγαλύτερο μέρος του συνολικού φορτίου στο σύστημα εσχάρας/πασσάλων.

Λόγω της ανάγκης να εξοικονομηθούν στοιχεία ώστε στο κάθε μοντέλλο ο αριθμός τους να μην υπερβεί τα 10000, υιοθετήθηκε ένα σχηματικό υπόδειγμα βάθρου, το οποίο μπορεί να μην ανταποκρίνεται στην τελική κατασκευή και κυρίως, δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι προσομοιάζει επαρκώς τον βαθμό δυσκαμψίας του πραγματικού βάθρου.

Ως ένα σημείο, αυτή η παρατήρηση μπορεί να γίνει και για την εσχάρα, στην οποία έχει δοθεί ένα ονομαστικό πάχος 1m για την περίπτωση των δύο και τεσσάρων πασσάλων και 2m για την περίπτωση των οκτώ (για να παρασχεθεί πρόσθετη δυσκαμψία, λόγω της αυξήσεως του μήκους της πασσαλομάδος). Το πάχος του 1m δεν είναι αυθαίρετο, αλλά υποδείχθηκε από τον στατικό μελετητή στην φάση της προμελέτης της πραγματικής κατασκευής.

Εν πάση περιπτώσει, ο σχεδιασμός της ανωδομής του βάθρου, όπως εμφανίζεται στην παρούσα, επιτρέπει την επαρκή εξομοίωση των ροπών ανατροπής που παράγονται από τα πλευρικά φορτία της ανωδομής και της εκκεντρότητος την οποία επάγουν οι ροπές αυτές στην φόρτιση των πασσάλων της ομάδος.

Επί πλέον, πρέπει να παρατηρηθεί ότι με τα δεδομένα φορτίων και εδαφικών παραμέτρων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στις εξομοιώσεις, παρουσιάζονται τοπικές αστοχίες του εδάφους, ιδίως παρά την κορυφή των πασσάλων σε πλευρική (οριζοντία) φόρτιση και υπό την αιχμή σε θλίψη και διάτμηση και ενδεχομένως και αστοχίες του σκυροδέματος, οι οποίες όμως, παραμένουν επιφανειακές.

Επίσης και πάλι λόγω περιορισμού, λόγω αριθμού στοιχείων, δεν κατέστη δυνατόν να ελεγχθεί η αλληλεπίδραση δύο γειτονικών ομάδων πασσάλων στην πραγματική απόσταση των 20-25m, η οποία ήταν, κατά τον στατικό μελετητή, η αραίωση των βάθρων.

<u>3.1 Ανάλυση των αποτελεσμάτων της επιλύσεως του πλήρους</u> μοντέλλου φορτίσεων σε πραγματική στρωματογραφική διαμόρφωση εδάφους θεμελιώσεως

Παρουσιάζονται εδώ τα αποτελέσματα της αριθμητικής επιλύσεως η οποία έγινε για τα μοντέλλα στα οποία χρησιμοποιείται ως παράμετρος η γεωστατική τάση, είτε κατά στρώση εδάφους, είτε ως ολική ισοδύναμη.

Εισαγωγικά πρέπει να παρατηρηθεί ότι η χρήση της ολικής ισοδυνάμου γεωστατικής τάσεως δίδει ορατά διαφοροποιημένα αποτελέσματα από αυτά της επιλύσεως υπό τμηματική γεωστατική τάση, ιδίως όσον αφορά, εκτός των αριθμητικών τιμών των παραμέτρων, την μορφή την οποία παίρνει η επιφάνεια του εδάφους εκατέρωθεν του βάθρου.

Πέραν αυτού, σημειώνεται ότι η διαφορά των αποτελεσμάτων μεταξύ των δύο περιπτώσεων γεωστατικής φορτίσεως επικεντρώνεται στις μεταβολές των εδαφικών στρώσεων και ότι οι μετατοπίσεις και τοπικές τάσεις οι οποίες αναπτύσσονται στο σύστημα βάθρου-πασσαλομάδος, έχουν ελάχιστη διαφορά τιμών.

Ακολουθεί ποιοτική και ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων.

Α ποιοτική αξιολογήση των αποτελεσμάτων

<u>a) Μοντέλλο μεμονωμένου πασσάλου</u>

Παρατηρείται εκτροπή του πασσάλου από την καθετότητα η οποία είναι περισσότερο αισθητή στο επίπεδο της κεφαλής και στο ανώτερο τμήμα του μήκους του πασσάλου, το οποίο πάντως, είναι μικρότερο από το 1/3 του μήκους του και μεγαλύτερο από το θεωρητικά υπολογιζόμενο κρίσιμο μήκος του, (περίπου 6m) υπό την κεφαλή.

Η εκτροπή από την καθετότητα συνεχίζεται σε όλο το μήκος του πασσάλου και η αιχμή του εμφανίζεται να έχει μετατοπισθεί προς την αντίθετη φορά αυτής της πλευρικής φορτίσεως, κατά μία ελαχίστη απόσταση της τάξεως του 0,25cm ή και μικρότερη, υπό συνθήκες μεγίστης πλευρικής φορτίσεως.

Οι τιμές των τάσεων που αναπτύσσονται επί των εδαφικών στρώσεων κατά μήκος του πασσάλου και στην περιοχή της αιχμής του υπερβαίνουν, τοπικά τα όρια της αστοχίας του στρώματος, όμως γενικά η ζώνη αυτή περιορίζεται σε απόσταση μικρότερη των 50cm από την περιφέρεια του πασσάλου και δεν οδηγούν σε ολική αστοχία της ζώνης η οποία περιέχει τον πάσσαλο. Επίσης, δεν αναπτύσσονται τιμές τάσεων εντός του υλικού του πασσάλου οι οποίες να συνεπάγονται αστοχία του σκυροδέματος, αλλά μόνο στην τεινομένη ζώνη του πασσάλου, εμφανίζονται,τοπικά και επιφανειακά, τιμές εφελκυστικής τάσεως, μεγαλύτερες απο το όριο εφελκυσμού του σκυροδέματος.

Αυτές οι τιμές εμφανίζονται μέσα στην ζώνη που περιέχει τον οπλισμό και, επι πλέον, οι αναπτυσσομένη διατμητική τάση στην ίδια ζώνη δεν υπερβαίνει το ήμισυ της διατμητικής αντοχής του σκυροδέματος, άρα δεν αναμένεται αποκόλληση του οπλισμού.

Συνεπώς, δεν παρατηρείται αστοχια, αλλά μόνο τοπική ρηγμάτωση

β) Μουτέλλο βάθρου και δύο πασσάλων

Η περίπτωση αυτή αντιπροσωπεύει, κατ' ουσίαν, εγκαρσία φόρτιση η οποία ασκείται κατά τον διαμήκη άξονα του φορέως της γεφύρας. Η εκκεντρότητα η οποία παράγεται λόγω εγκαρσίας φορτίσεως επηρεάζει κυρίως τον προς την εξωτερική πλευρά πάσσαλο ο οποίος εμφανίζει και μεγαλύτερη εκτροπή από την καθετότητα (κάμψη) και μεγαλύτερη κατακόρυφη υποχώρηση.

Η κατανομή των εφελκυστικών και θλιπτικών τάσεων στην επιφάνεια του κορμού των πασσάλων υποδεικνύει ότι η ομάδα ανθίσταται στην τάση ανατροπής του βάθρου, υπο το οριζόντιο φορτίο.

Εμφανίζεται διαφορική οριζοντία μετατόπιση των άκρων και πασσάλων, πέραν της κατακορύφου, και αναπτύσσονται σημαντικές διατμητικές τάσεις σε ωρισμένες θέσεις (σημεία μεγίστης κάμψεως) στο κέντρο του εξωτερικού πασσάλου και σε σημεία συμφύσεως του πασσάλου με την εσχάρα αλλά δεν υπάρχουν ενδείξεις γενικής αστοχίας, πέραν πιθανών εφελκυστικών ρηγματώσεων του σκυροδέματος στην εξωτερική επιφάνεια του πασσάλου

Αντιστοίχως εμφανίζονται σημεία τοπικής αστοχίας του εδάφους στην περιφέρεια του εξωτερικού πασσάλου αλλά όχι γενικής αστοχίας ή ανατροπής του βάθρου.

<u>γ) Μοντέλλο βάθρου και τεσσάρων πασσάλων</u>

Η περίπτωση αυτή αντιπροσωπεύει την εγκάρσια φόρτιση της γεφύρας εγκάρσια προς τον άξονα του φορέως.

Και εδώ εμφανίζεται μία αύξουσα εκτροπή από την καθετότητα και κάμψη του πασσάλου ο οποίος βρίσκεται προς την εξωτερική πλευρά της φοράς της φορτίσεως και τοπική αστοχία του εδάφους παρά την κορυφή του, λόγω οριζοντίας ωθήσεως.

Χαρακτηριστική είναι η αντιστροφή της κατανομής των κατακορύφων εφελκυστικών και θλιπτικών τάσεων, στο ανώτερο τμήμα του εξωτερικού πασσάλου, αμέσως υπό την εσχάρα.

Η κατανομή αυτή, η οποία δηλώνει ότι ο πάσσαλος λαμβάνει σιγμοειδές και όχι απλού τόξου, σχήμα οωείλεται στο συνδυασμένο αποτέλεσμα, κυρίως μεν, του ανωτέρου εδαφικού στρώματος, το οποίο αποτελείται απο χονδρόκκοκο υλικό, υψηλής γωνίας τριβής, αλλά και, ενδεχομένως, σε αρχομένη κάμψη εσχάρας, κατανομής υπο την ασσυμετρία της κατακορύφου φορτίου την οποία επάγει η οριζοντία φόρτιση.

Επι πλέον, όπως στην περίπτωση των δύο πασσάλων, φαίνεται ότι το βάθρο εξακολουθεί να παρουσιάζει τάσεις ανατροπής, στίς οποίες ανθίστανται, κυρίως, οι εξωτερικοί πάσσαλοι.

Αντιστοίχως υπάρχει και οριζόντιος και κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση των αιχμών των πασσάλων, με τον εξωτερικό πάσσαλο να εμφανίζει μεγαλύτερες τιμές μετατοπίσεως από τους άλλους.

Τιμές τάσεως οι οποίες να οδηγούν σε αστοχία το έδαφος σε κατακόρυφη φόρτιση και διάτμηση εμφανίζονται μόνο περί την αιχμή

του εξωτερικού πασσάλου, ενώ οι υπόλοιποι της ομάδος δεν αναπτύσσουν στην αιχμή τάση μεγαλύτερη από την αντοχή σε θλίψη του εδάφους στο οποίο εδράζονται.

Βάσει των τιμών που παράγονται από την αριθμητική επίλυση, το σκυρόδεμα όλων των πασσάλων ευρίσκεται εντός των ορίων ασφαλείας, χωρίς να αναμένεται να παρουσιάσει ρωγμώσεις, με την εξαίρεση των περιπτώσεων που αναφέρθηκαν για τα προηγούμενα μοντέλλα.

<u>δ) Μουτέλλο βάθρου και οκτώ πασσάλων</u>

Πρέπει να παρατηρηθεί ότι, από τεχνικής/κατασκευαστικής απόψεως, το βάθρο αυτού του τύπου και η ομάδα οκτώ πασσάλων εν σειρά δεν ανταποκρίνεται σε πραγματική λύση αλλά έγινε για να δοκιμασθεί η συμπεριφορά μίας θεωρητικής ομάδος και να αντληθούν συμπεράσματα για οριακές συνθήκες διαμορφώσεως ομάδος.

Εκ προοιμίου, πρέπει να αναφερθεί ότι σημαντικός παράγων εδώ αναμένεται να είναι η ευκαμψία του βάθρου και ιδίως της μακράς πασσαλοεσχάρας. Πέραν αυτού η γενική συμπεριφορά του βάθρου και της ομάδος υπό φόρτιση είναι παρόμοια με αυτήν των προηγουμένων περιπτώσεων, με τον περισσότερο καταπονούμενο και παραμορφούμενο τον πάσσαλο που βρίσκεται προς την εξωτερική πλευρά της ομάδος κατά την φορά της φορτίσεως.

Η διαφορική μετατόπιση των άκρων των πασσάλων εμφανίζεται λιγότερο έντονη και η συνολική μετατόπιση του βάθρου, αν και αύξουσα σε σχέση με τις προηγούμενες περιπτώσεις έχει ομαλότερο αυξητικό ρυθμό. Αντιστοίχως ελαττώνονται και τα φαινόμενα αναπτύξεως τάσεων που προσεγγίζουν ή υπερβαίνουν τις τιμές αστοχίας εντός των εδαφικών στρώσεων και του σκυροδέματος.

Εμφανίζονται ενδείξεις, λόγω αναστροφής των τεινομένων και εφελκυομένων ζωνών επι των πασσάλων, ότι η γεωμετρική διαμόρφωση και η ευκαμψία του βάθρου οδηγούν σε οριακή συνθήκη συμπεριφοράς την πασσαλομάδα, άπαξ και υπερβληθεί ένας συγκεκριμένος αριθμός πασσάλων και μήκος ομάδος, το οποίο, πλέον είναι επαρκές για να αντισταθεί στην τάση ανατροπής του βάθρου και το αποτέλεσμα της επιλύσεως αυτού του μοντέλλου δεν θα πρέπει να αξιολογηθεί, χωρίς προηγουμένη λεπτομερή διαστασιολόγηση του βάθρου και της εσχάρας

<u>Γενική ποιοτική αξιολόγηση της συμπεριφοράς των</u> <u>πασσαλομάδων εντός του πραγματικού ετερογενούς εδαφικού</u> <u>υλικού</u>

Πέραν των αναμενομένων, δηλαδή της εκκεντρότητος, μεγαλυτέρας καταπονήσεως του εξωτερικού πασσάλου, τοπικής αστοχίας του εδάφους κλη μπορούν να παρατηρηθούν τα εξής:

a) Η οριζοντία μετατόπιση του κέντρου του βάθρου αυξάνεται προοδευτικά από την τιμή που λαμβάνεται για τον μεμονωμένο πάσσαλο προς την τιμή της μετατοπίσεως της ομάδος δύο πασσάλων και οκτώ πασσάλων. β) Στον μεμονωμένο πάσσαλο με ισοδύναμη εσχάρα (ισεμβαδική) το σημείο περιστροφής είναι η αιχμή του πασσάλου ενώ στις ομάδες δύο τεσσάρων και οκτώ, η περιοχή συμφύσεως του πασσάλου με την εσχάρα.

γ) Σε πολλές περιπτώσεις εμφανίζονται τάσεις αποκολλήσεως (ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων) του εδάφους από την πλευρά των πασσάλων προς την φορά της εγκαρσίας φορτίσεως, ιδίως προς την εσωτερική (εγγυτάτη προς την εγκαρσία φόρτιση) όψη του εσωτερικού πασσάλου.

δ) Οι τιμές κατακορύφων, οριζοντίων και διατμητικών τάσεων των στηλών του εδάφους μεταξύ των πασσάλων είναι γενικά πολύ χαμηλές και υποδεικνύουν αδράνεια αυτών των ζωνών του εδάφους ακόμη και σε πολύ έντονες συνθήκες εγκαρσίας φορτίσεως. Η αδράνεια αυτή τεκμηριώνεται και από την εικόνα της κατανομής των ανηγμένων παραμορφώσεων η οποία δείχνει το έδαφος μεταξύ των πασσάλων να παρακολουθεί την παραμόρφωση των πασσάλων και να διαφοροποιείται μόνο στην περιοχή της αιχμής.

Επομένως, με την επιλεγείσα αραίωση η συμπεριφορά της πασσαλομάδος μοιάζει να προσεγγίζει την συμπεριφορά του ισοδυνάμου τεμάχους εδάφους το οποίο εγκιβωτίζεται εντός των γεωμετρικών ορίων της πασσαλομάδος.

Β Ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων

Για λόγους συντομίας, στον πίνακα που ακολουθεί θα εκτεθούν μόνο τα αποτελέσματα μετατοπίσεων (οριζοντίων και κατακορύφων) και θα εκτεθούν επίσης τα αποτελέσματα τα οποία παρήχθησαν από την επίλυση χωρίς την γεωστατική τάση. Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των μετατοπίσεων του εδάφους, χωρίς τις επιφορτίσεις λόγω βάθρου και πασσάλων έτσι ώστε να προκύψει η συνιστώσα των ολικών μετατοπίσεων οφείλεται στο βάθρο και την πασσαλομάδα.

Επομένως εν κατακλείδει, παρουσιάζονται εδώ τρεις τιμές μετατοπίσεων για κάθε περίπτωση (ενός, δύο, τεσσάρων και οκτώ πασσάλων

 α) Μετατοπίσεις σε μοντέλλο τμηματικής γεωστατικής τάσεως (μετά την αφαίρεση των εδαφικών μετατοπίσεων λόγω μόνο της γεωστατικής τάσεως)

β) Μετατοπίσεις σε μοντέλλο ισοδυνάμου γεωστατικής τάσεως (μετά την αφαίρεση των εδαφικών μετατοπίσεων λόγω μόνο της γεωστατικής τάσεως)

γ) Μετατοπίσεις του μοντέλλου, όταν η γεωστατική τάση έχει αμεληθεί. (Πιν.3.1, 3.2, 3.3)

α/α	Παράμετρος	1	2	4	8	Εδαφική
		πάσσαλος	πάσσαλοι	πάσσαλοι	πάσσαλοι	μετατόπιση
1	Οριζόντιος μετατόπιση	6.20	10.041	16 192	00.974	0,00
	κἑντρου βἁθρου (cm)	0,30	10,941	10,183	20,874	
2	Οριζόντιος διαφορική					0,00
	μετατόπιση κέντρων	0,00	0,0034	0,0162	0,0065	
	κορυφής πασσάλων (cm)					
3	Οριζόντιος διαφορική					0,00
	μετατόπιση κέντρου	0.00005	0 704	1 501	1.056	
	αιχμής ακραίων	0,00025	0,734	1,581	1,956	
	πασσάλων (cm)					
4	Κατακόρυφη μετατόπιση	6.82	0.30	10.007	10.01	22,45
	κέντρου βάθρου (cm)	6,83	9,32	13,837	18,61	
5	Κατακόρυφη διαφορική					22,37
	μετατόπιση κέντρων	0.00	1 205	6 5 9	10 212	
	κορυφής ακραίων	0,00	1,005	0,38	12,313	
	πασσάλων (cm)					
6	Κατακόρυφη διαφορική					0.00
	μετατόπιση κέντρων		0 165	6 733	10/151	
	αιχμών ακραίων		2,103	0,755	12,431	
	πασσάλων (cm)					

Πίνακας 3.1 (Τμηματική γεωστατική τάση)

Πίνακας 3.2 (Ισοδύναμη γεωστατική τάση)

α/α	Παράμετρος	1	2	4	8
		πάσσαλος	πάσσαλοι	πάσσαλοι	πάσσαλοι
1	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρου βάθρου (cm)	6,30	10,918	16,183	20,874
2	Οριζόντιος διαφορική μετατόπιση κέντρων κορυφής πασσάλων	0,00	0,0303	0,083	0,1290
3	Οριζόντιος διαφορική μετατόπιση κέντρου αιχμής ακραίων πασσάλων	0,00071			
4	Κατακόρυφη μετατόπιση κέντρου βάθρου	42,41- 36,75	41,351- 32,05	42,808- 28,975	44,899- 26,652
5	Κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση κέντρων κορυφής ακραίων πασσάλων	0,00	1,7993	6,507	12,313
6	Κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση κέντρων αιχμών ακραίων πασσάλων	0,00			

a/a	Παράμετορο	1	2	4	8
u/u	Παραμετρός	πάσσαλος	πάσσαλοι	πάσσαλοι	πάσσαλοι
1	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρου βάθρου (cm)	6,30	10,92	16,183	20,874
2	Οριζόντιος διαφορική μετατόπιση κέντρων κορυφής πασσάλων(cm)	0,00	0,01685	0,0496	0,6775
3	Οριζόντιος διαφορική μετατόπιση κέντρου αιχμής ακραίων πασσάλων (cm)	0,00	0,734	1,581	1,956
4	Κατακόρυφη μετατόπιση κέντρου βάθρου (cm)	5,73	9,23	13,033	18,247
5	Κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση κέντρων κορυφής ακραίων πασσάλων (cm)	0,00	1,802	6,5435	12,313
6	Κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση κέντρων αιχμών ακραίων πασσάλων (cm)	0,00	2,163	6,693	12,449

Πίνακας 3.3 (χωρίς γεωστατική τάση)

<u>3.2 Ανάλυση των αποτελεσμάτων της επιλύσεως του απλοποιημένου μοντέλλου φορτίσεων σε πραγματική στρωματογραφική διαμόρφωση εδάφους θεμελιώσεως</u>

Όπως αναφέρθηκε στην προηγουμένη παράγραφο, το απλοποιημένο μοντέλλο βάθρου και ομάδος πασσάλων αμελεί το ίδιον βάρος των εδαφικών στρώσεων με την υπόθεση ότι το έδαφος θεμελιώσεως έχει ήδη ισορροπήσει κατά την κατασκευή του βάθρου και οιαδήποτε επερχομένη διαταραχή οφείλεται μόνον στα πρόσθετα φορτία λόγω του βάθρου και επιπλέον ότι στις οριζόντιες μετατοπίσεις που οφείλονται στο ίδιο βάρος (π.χ. λόγω σεισμού) οι πάσσαλοι παρακολουθούν τις κινήσεις της εδαφικής μάζας εντός της οποίας έχουν εμφυτευθεί.

Τα γενικά ποιοτικά αποτελέσματα της επιλύσεως των μοντέλλων υπό αυτές τις παραδοχές δεν διαφέρουν ουσιωδώς αυτών της προηγουμένης περιπτώσεως του πλήρους μοντέλλου. Συνοπτικά τα ποιοτικά αποτελέσματα είναι, κατά περίπτωση, τα εξής:

<u>a) Ποιοτική αξιολόγηση επιλύσεως μοντέλλου μεμονωμένου</u> πασσάλου

Ο πάσσαλος εμφανίζεται να περιστρέφεται περί το άνω άκρο του και κάμπτεται ενώ χαρακτηριστικό είναι ότι η μετατόπιση του κάτω άκρου του είναι μεγαλύτερη από αυτήν που παρουσιάζει το πλήρες μοντέλλο.

Επαναλαμβάνεται και εδώ το φαινόμενο της τοπικής αστοχίας του εδάφους περί την κορυφή του πασσάλου σε οριζόντιο φόρτιση ενώ, υπό την αιχμή η τάση φορτίσεως του στρώματος εδράσεως είναι εντός των ορίων της αντοχής του στρώματος (συντελεστής ασφαλείας έναντι θραύσεως περίπου1.3).

Επίσης δεν αναπτύσσονται τάσεις επί του πασσάλου οι οποίες να οδηγούν σε αστοχία, αλλά μόνο σε επιφανειακή ρηγμάτωση, στην περιοχή μεγίστης κάμψεως', η οποία και πάλι δεν ταυτίζεται απόλυτα με το θεωρητικώς υπολογιζόμενο κρίσιμο μήκος.

<u>β) Ποιοτική αξιολόγηση επιλύσεως μοντέλλου βάθρου και δύο</u> <u>πασσάλων</u>

Και στην περίπτωση αυτή ο περισσότερο καταπονούμενος πάσσαλος του ζεύγους είναι ο εξωτερικός, κατά την φορά των εγκαρσίων φορτίσεων. Όπως και στο πλήρες μοντέλο, παρά το ότι οι ονομαστικές τιμές των τάσεων δεν μεταβλήθηκαν σε σχέση με αυτές του μεμονωμένου πασσάλου, οριζοντία και κατακόρυφη μετατόπιση του βάθρου είναι αισθητά μεγαλύτερη.

Ο εξωτερικός πάσσαλος κάμπτεται περισσότερο, οι οριζόντιες τάσεις παρά την κορυφή του υπερβαίνουν την αντοχή του εδάφους ενώ οι τάσεις παρά την αιχμή, αν και αυξάνεται η τιμή των οριζοντίων, παραμένουν εντός των ορίων αντοχής του εδαφικού στρώματος (συντελεστής ασφαλείας περίπου 1.5). Αντιστοίχως δεν αναπτύσσονται τάσεις στον κορμό του πασσάλου ικανές να προκαλέσουν αστοχία του σκυροδέματος.

γ) Ποιοτική αξιολόγηση επιλύσεως μοντέλλου βάθρου και τεσσάρων πασσάλων

Ο περισσότερο καταπονούμενος πάσσαλος της ομάδος είναι και εδώ ο εξωτερικός και μάλιστα, παρά την αιχμή του, αναπτύσσονται τάσεις σημαντικά μεγαλύτερες από αυτές που μπορεί να παραλάβει το εδαφικό στρώμα. Εν τούτοις, στους υπολοίπους τρεις πασσάλους της ομάδος τα επαγόμενα, στο έδαφος πακτώσεως, φορτία επιτρέπουν την παραγωγή συντελεστού ασφαλείας μεγαλυτέρου της μονάδος.

Οι ζώνες εδάφους μεταξύ των πασσάλων σχεδόν αδρανούν και, όπως τεκμαίρεται και από την κατανομή των ανηγμένων παραμορφώσεων, μόνο η εδαφική ζώνη περι τις αιχμές των πασσάλων διαφοροποιείται, κατά την συμπεριφορά, από το υπόλοιπο τέμαχος εδάφους που ορίζεται από τα γεωμετρικά όρια της πασσαλομάδος.

<u>δ) Ποιοτική αξιολόγηση επιλύσεως μοντέλλου βάθρου και</u> οκτώ πασσάλων

Επαναλαμβάνεται η αυξητική τάση των μετατοπίσεων του βάθρου αυξανομένου του αριθμού των πασσάλων, όμως είναι πλέον λιγότερο έντονη από αυτήν που σημειώνεται κατά την μετάβαση από τον ένα στους δύο και από τους δύο στους τέσσερεις πασσάλους.

Η κατακόρυφη θλιπτική τάση υπό την αιχμή του εξωτερικού πασσάλου υπερβαίνει την αντοχή σε θλίψη του εδάφους θεμελιώσεως, όμως ελαττώνεται σημαντικά η οριζοντία θλιπτική τάση παρά την αιχμή. Παρατηρείται επίσης μεγάλη αύξηση της οριζοντίας μετατοπίσεως της αιχμής του εξωτερικού πασσάλου, αλλά η ανηγμένη ανά μονάδα μήκους βάθρου, κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση των κορυφών των πασσάλων παραμένει περίπου ίση με αυτή για την ομάδα τεσσάρων πασσάλων.

<u>Γενική ποιοτική αξιολόγηση της συμπεριφοράς της</u> <u>πασσαλομάδος υπό καθεστώς απλοποιημένου μοντέλλου</u> <u>φορτίσεως</u>

Και στην περίπτωση του απλοποιημένου μοντέλλου, τα συμπεράσματα που μπορούν να εξαχθούν είναι παραπλήσια με του πλήρους μοντέλλου:

Το πιο χαρακτηριστικό είναι ότι οι στήλες εδάφους μεταξύ των πασσάλων δείχνουν αδρανείς, παραλαμβάνουσες ελάχιστη φόρτιση και ότι, και εάν ακόμη ο εξωτερικός πάσσαλος δημιουργεί συνθήκες αστοχίας για το έδαφος πακτώσεώς του, υπό συνθήκες μεγίστης φορτίσεως, οι υπόλοιποι πάσσαλοι της ομάδος παραμένουν σε συνθήκες ευσταθείας.

Επίσης δεν εμφανίζονται ενδείξεις αστοχίας στο υλικό των πασσάλων, τουλάχιστον σύμφωνα με τις παραδοχές οι οποίες έγιναν για την εξομοίωσή τους. Και εδώ η περισσότερο καταπονούμενη περιοχή φαίνεται να είναι η ζώνη αγκυρώσεως του πασσάλου στην εσχάρα και ο περισσότερο επιρρεπής σε αστοχία, στην ζώνη αυτή, ο εξωτερικός.

Ποσοτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων

Λόγω της αμελείας της γεωστατικής τάσεως, κατωτέρω εκτίθενται, σε έναν πίνακα, οι τιμές των σημαντικοτέρων μετατοπίσεων των ομάδων.(Πιν.3.4)

~ /~	Παράγγοτορο	1	2	4	8
a/a	Παραμειρός	πάσσαλος	πάσσαλοι	πάσσαλοι	πάσσαλοι
1	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρου βάθρου (cm)	5,8167	9,3172	14,261	16,975
2	Οριζόντιος διαφορική μετατόπιση κορυφών πασσάλων (cm)	0,00	0,05219	0,0416	0,0884
3	Οριζόντιος διαφορική μετατόπιση αιχμών ακραίων πασσάλων (cm)	0,4187	-0,2072	0,5315	1,1947
4	Κατακόρυφη μετατόπιση κέντρου βάθρου (cm)	5,7575	9,2173	13,833	18,2457
5	Κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση κορυφών ακραίων πασσάλων (cm)	0,00	1,89505	6,580	13,005
6	Κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση αιχμών πασσάλων (cm)	5,6783	2,132	6,506	12,434

Πίνακας 3.4 Μετατοπίσεις καθ' ομάδα σε φυσικό έδαφος

<u>3.3 Ανάλυση των αποτελεσμάτων της επιλύσεως του απλοποιημένου μοντέλλου φορτίσεως σε υποθετικό ομογενές και</u> ισότροπο έδαφος θεμελιώσεως

Η ανάλυση της συμπεριφοράς της ομάδος σε ενδεικτικό ομογενές έδαφος παρέχει αποτελέσματα και συμπεράσματα τα οποία είναι περισσότερο συγκρίσιμα με τα αποτελέσματα της προηγουμένης περιπτώσεως και επίσης, στην περίπτωση του μεμονωμένου πασσάλου, με αυτά του συμβατικού υπολογισμού.

Όσον αφορά τα εξαγόμενα της κατακορύφου μετατοπίσεως του βάθρου υπενθυμίζεται ότι το στρώμα πακτώσεως της αιχμής των πασσάλων έχει διατηρηθεί, στο μοντέλλο ομογενούς εδάφους, το ίδιο με αυτό της προηγουμένης περιπτώσεως και, επομένως, η όποια διαφορά, οφείλεται στα διαφορετικά χαρακτηριστικά τριβής, συνοχής και συμπιεστότητος του υποθετικού στρώματος που έρχεται σε επαφή με τον κορμό των πασσάλων. Ποιοτικά, τα αποτελέσματα έχουν ως εξής:

<u>a) Ποιοτική αξιολόγηση συμπεριφοράς μεμονωμένου</u> <u>πασσάλου</u>

Σε ομογενές έδαφος ο μεμονωμένος πάσσαλος εμφανίζει μεγαλύτερη πλευρική μετατόπιση από αυτήν του πραγματικού εδάφους, η οποία αριθμητικά προσεγγίζει αυτήν του συμβατικού υπολογισμού. Η μετατόπιση της κορυφής του πασσάλου είναι εντονότερη, αλλά παρουσιάζεται και μικρή διαφορά (αύξηση) στην οριζοντία μετατόπιση της αιχμής του πασσάλου.

Εμφανίζεται, γενικά, μία καλύτερη κατανομή των τάσεων του εδάφους κατά μήκος του πασσάλου, παρά το ότι η οριζοντία θλιπτική τάση παρά την κεφαλή, οδηγεί σε τοπική αστοχία του εδάφους.

Παρά την αιχμή του πασσάλου εμφανίζεται διατμητική αστοχία του εδάφους, τοπικά, που αντιστοιχεί στην οριζοντία μετατόπιση της αιχμής, αλλά το στρώμα υπό την αιχμή διατηρείται εντός των ορίων της αντοχής του (συντελεστής ασφαλείας περίπου 1.25).

Το σημείο μεγίστης κάμψεως του πασσάλου εμφανίζεται περίπου σε βάθος 7m υπό την επιφάνεια του εδάφους.

Οι τάσεις οι οποίες αναπτύσσονται επί του σκυροδέματος ευρίσκονται ευχερώς εντός των ορίων αντοχής του υλικού και δεν αναμένεται η εμφάνιση αστοχίας, ακόμη και στην περιοχή του σημείου μεγίστης κάμψεως.

<u>β) Ποιοτική αξιολόγηση συμπεριφοράς μοντέλλου βάθρου και</u> δύο πασσάλων

Στην περίπτωση αυτή διαπιστώνεται και πάλι μεγαλύτερη οριζόντια μετατόπιση του βάθρου σε σχέση με αυτή του μεμονωμένου πασσάλου και μεγαλύτερη καταπόνηση του εξωτερικού πασσάλου. Οδηγούμεθα και εδώ σε αστοχία του εδάφους κατά την οριζοντία διεύθυνση, παρά την κορυφή του εξωτερικού πασσάλου (και αποκόλληση του εσωτερικού πασσάλου από το εν επαφή έδαφος) παρά την αιχμή του εξωτερικού πασσάλου σε διάτμηση και το έδαφος εμφανίζει επάρκεια αντοχής σε θλίψη (συντελεστής ασφαλείας 1.4) υπο την αιχμή.

Ο κορμός των πασσάλων δεν εμφανίζει τάσεις οι οποίες να οδηγούν σε αστοχία, όμως αναπτύσσονται υψηλές διατμητικές τάσεις στην ζώνη αγκυρώσεως των πασσάλων στην εσχάρα και πιθανόν να υπάρξουν ρωγμώσεις στα σημεία συγκεντρώσεως των τάσεων.

<u>γ) Ποιοτική αξιολόγηση συμπεριφοράς μοντέλλου βάθρου και</u> τεσσάρων πασσάλων

Στην περίπτωση αυτή η οριζοντία μετατόπιση είναι πολλαπλασία αυτών που παρατηρήθηκαν στις προηγούμενες περιπτώσεις και επιπλέον η κατακόρυφη υποχώρηση παρουσιάζει σημαντική αύξηση, υπερδιπλασιαζόμενη και αυτή σε σχέση με την υποχώρηση του μεμονωμένου πασσάλου Στην περίπτωση των τεσσάρων πασσάλων επαναλαμβάνεται η μεγίστη καταπόνηση του εξωτερικού πασσάλου, αλλά και η κάμψη των υπολοίπων αυξάνεται σημαντικά και φαινόμενα αστοχίας του εδάφους υπό την αιχμή εμφανίζονται και στον δεύτερο εξωτερικό πάσσαλο.

Πέραν της αστοχίας του εδάφους, λόγω μεγάλων μετατοπίσεων, οι οποίες οδηγούν σε ανάπτυξη υψηλών τιμών τάσεως, αναμένονται ρωγμές στο σκυρόδεμα κατά μήκος της εξωτερικής επιφανείας των εξωτερικών πασσάλων και διατμητική αστοχία του σκυροδέματος και στα σημεία αγκυρώσεως των πασσάλων στην εσχάρα και κατά μήκος τους στις θέσεις μεγίστης κάμψεως.

Όπως και στην περίπτωση των δύο πασσάλων η ζώνη εδάφους μεταξύ των πασσάλων παραμένει πρακτικά αφόρτιστη.

<u>δ) Ποιοτική αξιολόγηση συμπεριφοράς μοντέλλου βάθρου και</u> οκτώ πασσάλων

Η επίλυση του μοντέλλου των οκτώ πασσάλων σε ομογενές έδαφος έδωσε το αξιοσημείωτα διαφοροποιημένο αποτέλεσμα της αισθητής ελαττώσεως της αυξητικής τάσεως της οριζοντίου μετατοπίσεως του βάθρου, σε σχέση με αυτή της ομάδος των τεσσάρων πασσάλων.

Η κατακόρυφη μετατόπιση που σημειώθηκε ήταν αυξημένη μόνο κατά 20%, για μήκος βάθρου (ή εσχάρας) σχεδόν διπλάσιο.

Αντιστοίχως, η διαφορική κατακόρυφη μετατόπιση μεταξύ των κεφαλών των ακραίων πασσάλων είναι κατ' απόλυτο τιμή σχεδόν η ίδια με αυτή της ομάδος τεσσάρων πασσάλων.

Περί τον εξωτερικό πάσσαλο, οι τιμές των τάσεων υποδεικνύουν αστοχία του εδάφους αλλά η ελαττωμένη οριζοντία μετατόπιση προκαλεί την ανάπτυξη ασθενεστέρων τάσεων στον κορμό των πασσάλων. Επίσης, αν και ασθενείς, εμφανίζονται υψηλότερες τιμές τάσεων στην περιοχή του εδάφους μεταξύ των πασσάλων.

<u>Γενική ποιοτική αξιολόγηση επιλύσεως απλοποιημένου</u> μοντέλλου σε ομογενές έδαφος

Λόγω της ελαττωμένης τιμής μέτρου συμπιεστότητος και γενικώς παραμέτρων αντοχής του υποθετικού ομογενούς εδάφους, ήταν αναμενομένη η μεγαλύτερη οριζοντία μετατόπιση του συνόλου των συνδυασμών βάθρου-ομάδος πασσάλων, σε σχέση με το πραγματικής στρωματογραφίας έδαφος.

Και η υπόλοιπη συμπεριφορά των ομάδων δεν παρουσίασε μεγάλη διαφοροποίηση ως προς την συμπεριφορά, με εξαίρεση την ομάδα των οκτώ πασσάλων ή οποί εμφάνισε μικρότερη οριζοντία μετατόπιση από το αναμενόμενο. Ερμηνεία γι αυτήν την συμπεριφορά θα δοθεί στην επομένη παράγραφο. Αυτό που μπορεί να παρατηρηθεί εδώ είναι ότι στην περίπτωση της ομάδος των οκτώ πασσάλων το έδαφος μεταξύ των πασσάλων δείχνει μεγαλύτερη τάση να παραλάβει φορτίο από ότι στην περίπτωση των δύο και τεσσάρων.

Ποσοτική αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Παρατίθεται συγκεντρωτικός πίνακας με τις τιμές μετατοπίσεων οριζοντίων και κατακορύφων, των μοντέλλων σε ομογενές έδαφος (Πιν.3.5)

a/a	Παράματορο	1	2	4	8
u/u	Παραμετρος	πάσσαλος	πάσσαλοι	πάσσαλοι	πάσσαλοι
1	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρου βάθρου (cm)	8,077	12,215	17,13	20,875
2	Οριζόντιος διαφορική μετατόπιση κορυφής ακραίων πασσάλων (cm)	0,00	0,00235	0,0197	0,0535
3	Οριζόντιος διαφορική μετατόπιση αιχμών ακραίων πασσάλων (cm)	0,4622	0,0529	0,5651	1,2665
4	Κατακόρυφη μετατόπιση κέντρου βάθρου (cm)	5,753	9,401	13,945	18,3871
5	Κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση κορυφής ακραίων πασσάλων (cm)	0,00	2.712	7,734	14,208
6	Κατακόρυφη διαφορική μετατόπιση αιχμών ακραίων πασσάλων (cm)	5,745	2,700	7,726	14,200

Πίνακας 3.5 Μετατοπίσεις καθ'ομάδα σε ομογενές έδαφος

<u>3.4 Ερμηνεία των αποτελεσμάτων της αριθμητικής</u> <u>επιλύσεως των μοντέλλων</u>

Το οφθαλμοφανές εξαγόμενο από την επίλυση των τεσσάρων μοντέλλων, είτε σε απλοποιημένη, είτε σε πλήρη μορφή και σε πραγματική στρωματογραφική διάταξη, είτε σε ενδεικτικό ομογενές έδαφος, είναι ότι, για δεδομένο καθεστώς φορτίσεων, το οποίο έχει ως σκοπό να επάξει στο έδαφος την ίδια ονομαστική τάση επαφής, η οριζοντία μετατόπιση της ομάδος πασσάλων είναι πολλαπλάσια της μετατοπίσεως του μεμονωμένου πασσάλου ο οποίος φορτίζεται με το ποσοστό των φορτίσεων οι οποίες του αναλογούν από το συνολικό φορτίο που επάγει η κατασκευή στο έδαφος.

Πριν προχωρήσουμε στην ανάλυση των πιθανών αιτίων του ανωτέρω φαινομένου, πρέπει να παρατηρηθεί ότι το αντίστοιχο φαινόμενο εμφανίζεται και στην περίπτωση των κατακορύφων μετατοπίσεων (καθιζήσεων) των βάθρων και θα πρέπει να εξετασθεί και αυτό εκ παραλλήλου, όμως υπάρχει μία ειδοποιός διαφορά μεταξύ των δύο περιπτώσεων. Η καθίζηση η οποία εμφανίζεται στο βάθρο, σε όλες τις περιπτώσεις ελέγχεται από την συνάφεια, λόγω τριβής ή συνοχής του κορμού του πασσάλου με το περιβάλλον έδαφος, ενώ η εγκαρσία προς τον άξονα του πασσάλου μετατόπιση, κυρίως απο την παθητική ώθηση γαιών. Λόγω του ότι τα μοντέλα που εξετάσθηκαν είναι δισδιάστατα ουσιαστικά αναπαριστούν, ως προς την κατακόρυφη φόρτιση, μία πλασματική κατάσταση στην οποία μόνο οι δύο πλευρές του ισοδυνάμου τετραγώνου πασσάλου, παραλαμβάνουν κατακόρυφο φορτίο και το μεταφέρουν στο έδαφος.

Λόγω της αλληλεπιδράσεως των πασσάλων είναι παρακινδυνευμένη η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικώς με το ποιο ποσοστό του κατακορύφου φορτίου μεταφέρεται από το έδαφος μεταξύ των πασσάλων ώστε να γίνει προσαρμογή των κατακορύφων φορτίων. Άρα τα μοντέλλα τα οποία επιλύθηκαν αντιπροσωπεύουν, από πλευράς κατακορύφων φορτίσεων, μία ακραία κατάσταση η οποία οδηγεί και σε εκκεντρότητα του βάθρου και της ομάδος, μεγαλύτερη από αυτή η οποία ενδεχομένως θα σημειωνόταν στην πραγματικότητα. Εν τούτοις επελέγη να μην γίνει προσαρμογή στα κατακόρυφα φορτία διότι το τελικό μοντέλλο θα αντιπροσώπευε μία δυσμενέστερη κατάσταση φορτίσεως.

Συνεπώς, πρέπει να τηρείται προ οφθαλμών ότι οι πραγματικές μετατοπίσεις και οι αντίστοιχες αναπτυσσόμενες τάσεις, στην πράξη, πρέπει να είναι μικρότερες από αυτές που δίδει η επίλυση του αριθμητικού μοντέλλου, όμως η αναλογία μεταξύ των μοντέλλων διατηρείται. Επίσης, ότι χρησιμοποιήθηκε η τιμή του μέτρου συμπιεστότητος, όπως αυτή προέκυψε από τις δοκιμές συμπιεστότητος και όχι η τιμή του μέτρου ελαστικότητος το οποίο κατά την βιβλιογραφία, μπορεί να ληφθεί 2-3 φορές μεγαλύτερη από το μέτρο συμπιεστότητος.

Αντιστοίχως, θα ανεμένετο να σημειωθούν χαμηλότερες τιμές μετατοπίσεων στην περίπτωση αυτή.

Επομένως, συνολικά, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την επίλυση των αριθμητικών μοντέλων είναι συντηρητικά και αντιπροσωπεύουν την μεγίστη δυνατή μετατόπιση της κατασκευής υπό το συγκεκριμένο φορτίο και, κατ επέκταση και τις μεγαλύτερες τάσεις οι οποίες μπορούν να αναπτυχθούν στο περιβάλλον έδαφος και στα τμήματα του βάθρου και της ομάδος των πασσάλων.

Επίσης πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν δύο άλλοι παράγοντες οι οποίοι αφορούν πιθανές ανακρίβειες αποτελεσμάτων οι οποίες σχετίζονται με την μοντελλοποίηση του προβλήματος. Η πρώτη είναι ότι το πρόβλημα, όπως τίθεται, φαίνεται να επηρεάζεται από την απόσταση στην οποία τίθεται ο περιορισμός της οριζοντίας ακινησίας του εδάφους. Πράγματι, στην αρχική μοντελλοποίηση, μία συνοριακή συνθήκη μηδενικής οριζοντίας μετατοπίσεως του εδάφους, σε απόσταση ίση με το τετραπλάσιο του πλάτους του πασσάλου, από την εξωτερική πλευρά του, οδηγεί σε απαράδεκτα αποτελέσματα.

Τα αποτελέσματα τα οποία εκτίθενται και αξιολογούνται εδώ προέκυψαν από μοντέλλο στο οποίο η οριακή συνθήκη οριζοντίου ακινησίας του εδάφους τίθεται σε απόσταση 30 περίπου μέτρων από τον εξωτερικό πάσσαλο και πάλι, ενδεχομένως, τα αποτελέσματα του μοντέλλου των οκτώ πασσάλων να επηρεάζονται από το γεγονός, ότι, λόγω περιορισμού αριθμού στοιχείων, αυτή η απόσταση των 30m δεν κατέστη δυνατόν να επιτευχθεί και το μοντέλλο επιλύθηκε με την οριακή συνθήκη οριζοντίας ακινησίας του εδάφους σε απόσταση μόνο 20m από τον εξωτερικό πάσσαλο. Κατά συνέπεια, τα αποτελέσματα του μοντέλλου των οκτώ πασσάλων πρέπει να ερμηνευθούν με αυτήν την επιφύλαξη.

<u>a) Ερμηνεία των αποτελεσμάτων σε πραγματική</u> <u>στρωματογραφική διαμόρφωση</u>

Τα αποτελέσματα της επιλύσεως του μοντέλου του μεμονωμένου πασσάλου, όσον αφορά την οριζόντια μετατόπιση υπό εγκάρσιο φορτίο, που αποτελεί και το κύριο αντικείμενο ερεύνης μπορούν να παραβληθούν απ' ευθείας με αυτά τα οποία υπολογίζονται με την συμβατική μέθοδο (Winkler).

Παρατηρείται ότι η οριζόντια μετατόπιση την οποία παράγει το μοντέλλο είναι αυξημένη, σε σχέση με την υπολογιζομένη συμβατικά και αυτό μπορεί να αποδοθεί στην εμφάνιση ροπων των εγκαρσίων φορτίων, επαγομένων επι της ανωδομής του βάθρου, τις οποίες ο συμβατικός υπολογισμός για άστρεπτο πάσσαλο, αγνοεί.

Πέραν αυτού, πρέπει να σημειωθεί ότι η διαστασιολόγηση του τμήματος εσχάρας η οποία χρησιμοποιήθηκε στο μοντέλλο επιτρέπει, προφανώς, την περιστροφή του πασσάλου περί την αιχμή του και υπό αυτήν την έννοια επηρεάζεται το αποτέλεσμα το οποίο δεν αντιστοιχεί ακριβώς σε πάσσαλο ο οποίος δεν περιστρέφεται περί την κορυφή του. Τα αποτελέσματα του μεμονωμένου πασσάλου μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αναφορά για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων των μοντέλλων των δύο και τεσσάρων πασσάλων.

Η αύξηση των μετατοπίσεων, ιδίως της οριζοντίου, του βάθρου με ομάδα δύο πασσάλων και του βάθρου με ομάδα τεσσάρων πασσάλων μπορεί να ερμηνευθεί με βάση την διαπίστωση ότι η στήλη εδάφους μεταξύ των πασσάλων παραμένει σχεδόν αφόρτιστη, στο μεγαλύτερο ποσοστό του ύψους της.

Είναι προφανές ότι με την επιλεγείσα τιμή αραιώσεως, δηλαδή 3 φορές το πλάτος του πασσάλου ή 2.5 φορές για τον πραγματικό κυλινδρικό πάσσαλο, η μεταξύ των πασσάλων περιοχή παραλαμβάνει ελάχιστο μέρος από τα φορτία και συνεπώς, η κυρία αντίσταση στην πλευρική ώθηση, που είναι αντιστοίχως διπλάσια ή τετραπλάσια από αυτήν που αντιστοιχεί σε μεμονωμένο πάσσαλο, παραλαμβάνεται σχεδόν εξ ολοκλήρου από την εξωτερική πλευρά του εξωτερικού πασσάλων της ομάδος το οποίο παραλαμβάνεται από το τμήμα των πασσάλων της ομάδος το οποίο είναι πακτωμένο εντός του ισχυρού στρώματος της αιχμής. Αυτή η αντίσταση στην οριζόντιο μετατόπιση, λόγω πακτώσεως της αιχμής, είναι μάλλον η υπεύθυνη για το γεγονός ότι η μεταβολή της μετατοπίσεως, συναρτήσει της φορτίσεως δεν είναι εντελώς γραμμική, παρά το ότι το υλικό των πασσάλων στο μοντέλλο ανεπαρεστάθη ως πλήρως ελαστικό.

Η περίπτωση του βάθρου με την ομάδα οκτώ πασσάλων πρέπει, όπως προαναφέρθηκε, να κριθεί υπ'Ο το πρίσμα και της πιθανότητος να επηρεάζεται το αποτέλεσμα από τις διαστάσεις του μοντέλλου ή ακριβέστερα από το εύρος της συμπιεστής ζώνης εδάφους την οποία αναπαριστά το μοντέλλο.

Το έτερο στοιχείο το οποίο μπορεί να επεμβαίνει στο αποτέλεσμα της επιλύσεως της ομάδος οκτώ πασσάλων είναι ότι, πιθανόν, επιδρά εδώ

η ευκαμψία του μακρού βάθρου, το οποίο παρουσιάζει μεγαλύτερη κάμψη από ότι τα βραχύτερα βάθρα των δύο και τεσσάρων πασσάλων με αποτέλεσμα να φορτίζεται περισσότερο το έδαφος μεταξύ των πασσάλων.

Το άμεσα επηρεαζόμενο στρώμα από την αυξημένη φόρτιση είναι το ανώτερο επιφανειακό το οποίο έχει αυξημένη γωνία τριβής και μέτρο συμπιεστότητος και, με τον τρόπο αυτό, σε συνδυασμό με την μεγαλύτερη συνολική επιφάνεια εμπήξεως των αιχμών οκτώ πασσάλων, εκτρέπει το αποτέλεσμα της φορτίσεως εκτός της γραμμικότητος. (Ιδέ σχετικά διαγράμματα)

<u>β) Ερμηνεία των αποτελεσμάτων επιλύσεως των μοντέλων σε</u> ενδεικτικό ομογενές έδαφος

Κατ' αρχάς υπενθυμίζεται ότι ο κορμός των πασσάλων, στην αυτών των μοντέλλλων έχει χυτευθεί περίπτωση μέσα στο μονοστρωματικό υποθετικό υλικό με συνοχή **C=0.50kg/cm²** και γωνία τριβής **φ=14°**, μέτρου δε συμπιεστότητος **E=125kp/cm**², ενώ η αιχμή, όπως και στην προηγουμένη περίπτωση έχει εξομοιωθεί ως πακτωμένη εντός στρώματος με τις ίδιες ιδιότητες όπως αυτό της πραγματικής στρωματογραφίας (έδαφος 8). Είναι χαρακτηριστικό ότι ο μεμονωμένος πάσσαλος, σε αυτήν την επίλυση, εμφανίζει σχεδόν ίση πλευρική μετατόπιση (περίπου 8cm) με αυτήν που υπολογίζεται με την συμβατική μέθοδο επιλύσεως. Και εδώ εμφανίζεται το φαινόμενο της μερικής περιστροφής του πασσάλου περί την αιχμή του, λόγω του τρόπου με τον οποίο το μοντέλλο αναπαριστά το τμήμα της εσχάρας που αντιστοιχεί στον ένα πάσσαλο.

Τα αποτελέσματα της επιλύσεως του μοντέλου του βάθρου με δύο και με τέσσερεις πασσάλους ακολουθεί την αύξηση της μετατοπίσεως συναρτήσει του φορτίου, όπως και στην περίπτωση της πραγματικής στρωματογραφικής διαμορφώσεως αλλά, επειδή το μέσον δεν είναι πλέον πολυστρωματικό, αλλά ομογενές, το αποτέλεσμα είναι περισσότερο γραμμικό, εκτός του ότι οι απόλυτες τιμές των μετατοπίσεων είναι μεγαλύτερες. (Ιδέ σχετικά διαγράμματα)

Το αξιοπερίεργο αποτέλεσμα προέρχεται από την επίλυση του μοντέλλου του βάθρου και ομάδος οκτώ πασσάλων. Η ολική οριζοντία μετατόπιση στην περίπτωση αυτή είναι, αναλογικά, μικρότερη από αυτή της ομάδος τεσσάρων πασσάλων και μάλιστα σε σημαντικό βαθμό. Και εδώ πρέπει να εξετασθεί το ενδεχόμενο της επιδράσεως του εύρους της ζώνης συμπιεστού εδάφους του μοντέλλου.

Όμως, ο βασικός παράγων ο οποίος επηρεάζει την τελική τιμή της μετατοπίσεως πρέπει να είναι η συνολικά μεγαλύτερη αντίσταση αιχμής την οποία παράγει η ομάδα των οκτώ πασσάλων και, κυρίως, το γεγονός ότι, η έλλειψη του επιφανειακού στρώματος υψηλής γωνίας τριβής, το οποίο αναγκάζει την εσχάρα να παραλάβει μεγάλο μέρος του ολικού κατακορύφου φορτίου, οδηγεί το βάθρο, το οποίο έχει μεγάλο μήκος, σε μεγαλύτερη παραμόρφωση και η παραμόρφωση αυτή φορτίζει τις στήλες εδάφους μεταξύ των πασσάλων οι οποίες, ως εκ τούτου, παράγουν εντονότερη πλευρική ώθηση και ελαττώνουν την συνολική μετατόπιση.

<u>3.5 Επεξεργασία των αποτελεσμάτων της επιλύσεως των αριθμητικών μουτέλων.</u>

Δεδομένου ότι η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά την συμπεριφορά της πασσαλομάδος σε πλευρική φόρτιση, η επεξεργασία των αποτελεσμάτων τα οποία προέκυψαν από την επίλυση των μοντέλλων θα περιορισθεί στα δεδομένα τα ποία αφορούν την πλευρική μετατόπιση της ομάδος πασσάλων και τις αντίστοιχες τάσεις ωθήσεως γαιών που αναπτύσσονται.

Συνοπτικά, παραθέτουμε κατωτέρω πίνακα ο οποίος παρουσιάζει τις τιμές των παραμέτρων οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν κατά την επεξεργασία, αναλόγως του τύπου της φορτίσεως. Στην περίπτωση των αποτελεσμάτων των μοντέλλων τα οποία επιλύονται υπό καθεστώς γεωστατικής τάσεως χρησιμοποιούνται οι τιμές μετατοπίσεων και τάσεων οι οποίες προκύπτουν ως διαφορά των συνολικών και αυτών που οφείλονται σε μετατοπίσεις μόνο των εδαφικών στρώσεων. Οι τιμές αυτές παρατίθενται μαζί με τις τιμές του μοντέλλου το οποίο επιλύθηκε με το σύνολο των φορτίσεων αλλά χωρίς την γεωστατική τάση.

Επίσης για λόγους πρακτικότητος οι τιμές των μετατοπίσεων σε (cm) έχουν στρογγυλοποιηθεί σε επίπεδο δευτέρου δεκαδικού ψηφίου και οι τιμές των τάσεων (σε Pa) σε επίπεδο της πλησιέστερης εκατοντάδος. (Πιν.3.6 έως 3.8)

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.6

(Μοντέλλο πλήρους φορτίσεως σε πραγματικό έδαφος)

ala		1	2	4	8
u/u	Παραμετρός	πάσσαλος	πάσσαλοι	πάσσαλοι	πάσσαλοι
1	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρου βάθρου (τμηματική γεωστατική τάση) σε cm	6,30	10,95	16,19	20,98
2	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρου βάθρου (ισοδύναμη γεωστατική τάση) σε cm	6,30	10,92	16,19	20,88
3	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρου βάθρου (χωρίς γεωστατική τάση) σε cm	6,30	10,92	16,19	20,88
4	Κατακόρυφη μετατόπιση κέντρου βάθρου (τμηματική γεωστατική τάση) σε cm	6,83	9,32	13,83	18,25
5	Κατακόρυφη μετατόπιση κέντρου βάθρου (ισοδύναμη γεωστατική τάση) σε cm	5,66	9,30	13,83	18,25
6	Κατακόρυφη μετατόπιση κέντρου βάθρου χωρίς γεωστατική τάση σε cm	5,73	9,32	13,03	18,25
7	Ώθηση γαιών παρά την κορυφή του εξωτερικού πασσάλου (τμηματική γεωστατική τάση) (Pa)	68000	110000	266700	339000
8	Ώθηση γαιών παρά την κορυφή του εξωτερικού πασσάλου (ισοδύναμη γεωστατική τάση) (Pa)	144000	124700	167700	299100
9	Ώθηση γαιών παρά την κορυφή του εξωτερικού πασσάλου (χωρίς γεωστατική τάση) (Pa)	140700	170000	207900	220400

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.7

(Απλοποιημένο μοντέλλο φορτίσεων σε πραγματικό έδαφος)

	Παράματορο	1	2	4	8
u/u	Παραμειρός	πάσσαλος	πάσσαλοι	πάσσαλοι	πάσσαλοι
1	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρου βάθρου (cm)	5,82	9,32	14,26	16,98
2	Κατακόρυφη μετατόπιση κέντρου βάθρου (cm)	5,76	9,32	13,83	18,25
3	Ώθηση γαιών παρά την κορυφή του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	122500	234000	444600	417800

Πίνακας 3.8

(Απλοποιημένο μοντέλλο φορτίσεως σε ενδεικτικό ομογενές έδαφος)

a / a	Παράμετρος	1	2	4	8
u/u		πάσσαλος	πάσσαλοι	πάσσαλοι	πάσσαλοι
1	Οριζόντιος μετατόπιση κέντρου βάθρου (cm)	8,08	12,21	17,13	20,30
2	Κατακόρυφη μετατόπιση κέντρου βάθρου (cm)	5,79	9,40	13,94	18,35
3	Ώθηση γαιών παρά την κορυφή του εξωτερικού πασσάλου (Pa)	117800	206800	216900	278600

Επί τη βάσει των ανωτέρω τιμών κατασκευάσθηκαν διαγράμματα συσχετισμού τα οποία παρατίθενται στα επόμενα σχήματα.


Σχ.3.1 Διάγραμμα συσχετίσεως Αριθμού πασσάλων/οριζοντίου μετατοπίσεως κέντρου βάθρου. (υπο τμηματική γεωστατική τάση)



Σχ.3.2 Διάγραμμα συσχετίσεως Αριθμού πασσάλων/οριζουτίου μετατοπίσεως κέντρου βάθρου. (χωρίς την γεωστατική τάση) σε πραγματικό έδαφος



Σχ.3.3 Διάγραμμα συσχετισμού Εγκαρσίου φορτίου/οριζουτίου μετατοπίσεως κέντρου βάθρου (υπο γεωστατική τάση). σε πραγματικό έδαφος



Σχ.3.4 Διάγραμμα συσχετισμού Εγκαρσίου φορτίου/οριζουτίου μετατοπίσεως κέντρου βάθρου (χωρίς γεωστατική τάση) σε πραγματικό έδαφος

•



Σx.3.5 Διάγραμμα συσχετίσεως αριθμού πασσάλων/Καθιζήσεως κέντρου βάθρου (υπο τμηματική γεωστατική τάση) σε πραγματικό έδαφος



Σχ.3.6 Διάγραμμα συσχετίσεως αριθμού πασσάλων/Καθιζήσεως κέντρου βάθρου (χωρίς την γεωστατική τάση) σε πραγματικό έδαφος



Σx.3.7 Διάγραμμα συσχετίσεως Κατακορύφου φορτίου/Καθιζήσεως κέντρου βάθρου (υπό τμηματική γεωστατική τάση) σε πραγματικό έδαφος



Σx.3.8 Διάγραμμα συσχετίσεως Κατακορύφου φορτίου/Καθιζήσεως κέντρου βάθρου (χωρίς την γεωστατική τάση) σε πραγματικό έδαφος



Σx.3.9 Διάγραμμα συσχετίσεως αριθμού πασσάλων/οριζουτίου μετατοπίσεως κέυτρου βάθρου (απλοποιημένο μουτέλλο φορτίσεως) σε πραγματικό έδαφος



Σχ.3.10 Διάγραμμα συσχετίσεως Εγκαρσίου φορτίου/Οριζουτίου Μετατοπίσεως κέντρου βάθρου (απλοποιημένο μοντέλλο φορτίσεως) σε πραγματικό έδαφος



Σχ.3.11 Διάγραμμα συσχετίσεως αριθμού πασσάλων/Καθιζήσεως κεντρου βάθρου (απλοποιημένο μοντέλλο φορτίσεως) σε πραγματικό έδαφος



Σχ.3.12 Διάγραμμα συσχετίσεως Κατακορύφου φορτίου/Καθιζήσεως κέντρου βάθρου (απλοποιημένο μοντέλλο φορτίσεως) σε πραγματικό έδαφος



Σx.3.13 Διάγραμμα συσχετίσεως αριθμού πασσάλων/Οριζοντίου Μετατοπίσεως κέντρου βάθρου, σε υποθετικό ομογενές έδαφος.



Σx.3.14 Διάγραμμα συσχετίσεως Εγκαρσίου φορτίου/Οριζουτίου Μετατοπίσεως κέντρου βάθρου, σε υποθετικό ομογενές έδαφος



Σx.3.15 Διάγραμμα συσχετίσεως αριθμού πασσάλων/Καθιζήσεως σε υποθετικό ομογενές έδαφος.



Σx.3.16 Διάγραμμα συσχετίσεως Κατακορύφου φορτίου/Καθιζήσεως σε υποθετικό ομογενές έδαφος



Σx.3.17 Διάγραμμα Οριζοντίου Μετατοπίσεως του Αξονος του μεμονωμένου πασσάλου, συναρτήσει του βάθους.



Σx.3.18 Διάγραμμα Οριζοντίου Μετατοπίσεως του Αξονος του εξωτερικού πασσάλου, συναρτήσει του βάθους



Σx.3.19 Διάγραμμα Οριζοντίου Μετατοπίσεως του Αξονος του εξωτερικού πασσάλου, συναρτήσει του βάθους

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

4.1 Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της επιλύσεως των αριθμητικών μοντέλλων τα οποία εξετέθησαν και αναλύθηκαν στην προηγουμένη παράγραφο πρέπει να συγκριθούν, αρχικά, με τα αποτελέσματα της συμβατικής αναλύσεως της συμπεριφοράς πασσάλου σε εγκαρσία φόρτιση η οποία χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της μελέτης της νέας γεφύρας του Ινάχου ποταμού.

Όπως προαναφέρθηκε, στην συμβατική επίλυση του προβλήματος, στην οποία έγινε, φυσικά, χρήση των ιδίων δεδομένων φορτίσεων και παραμέτρων εδάφους όπως στα αριθμητικά μοντέλλα, εξήχθη συμπέρασμα για ένα μεμονωμένο πάσσαλο, ισοδύναμα φορτισμένο και το αποτέλεσμα της επιλύσεως αυτής ανήχθη σε αποτέλεσμα ομάδος με την χρήση ωρισμένων διορθωτικών συντελεστών, κυρίως αυτού της συνεργασίας των πασσάλων της ομάδος.

Δεδομένου του ότι ήταν, βιβλιογραφικά, γνωστό το φαινόμενο της οριζοντίου μετατοπίσεως ομάδος πασσάλων, η οποία έχει τιμή αριθμητικά μεγαλύτερη από αυτή του μεμονωμένου πασσάλου, επελέγη ένας συντελεστής συνεργασίας 0,3, με την, μάλλον αυθαίρετη, παραδοχή ότι οι στήλες εδάφους μεταξύ των πασσάλων, παρέχουν μια αντίσταση σε οριζοντία μετατόπιση της ομάδος, περίπου 13 τόννων, ανα στήλη, δηλαδή η συνολική συμετοχή τους στην παραλαβή του εγκαρσίου φορτίου, νοούμενη ως ισοδύναμη ελάττωση του εγκαρσίου φορτίου, ανέρχεται σε 0,15 του συνολικού (65 τόννοι), άρα η επαλληλία της μετατοπίσεως της γραμμής τεσσάρων πασσάλων, είναι η αντιστοιχούσα σε

Y= 0,85×4×4, 26cm=14,48cm ή, απο άλλη σκοπιά,

Y=4,26cm/0,3=14,20cm

Το πρώτο το οποίο πρέπει να παρατηρηθεί είναι ότι, σε πρώτη προσέγγιση, η τιμή αυτή είναι ικανοποιητικά πλησίον της τιμής την οποία έδωσε η επίλυση του μοντέλλου για τέσσερις πασσάλους.

Εν τούτοις πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν τα εξής:

a) Στην συμβατική επίλυση το εγκάρσιο φορτίο είχε συμβατικά τεθεί να δρα συνολικά στην κεφαλή της εσχάρας και όχι κατανεμημένο καθ' ύψος, όπως δόθηκε η δυνατότητα στην περίπτωση του αριθμητικού μοντέλλου, με συνέπεια την καλύτερη προσομοίωση των παραγομένων ροπών και της εκκεντρότητος που δημιουργούν στα κατακόρυφα φορτία.

β) Στον συμβατικό υπολογισμό, λόγω ελλείψεως σχετικής πληροφορήσεως είχε θεωρηθεί ότι ο πάσσαλος αποτελείται από απλό σκυρόδεμα με μέτρο ελαστικότητος 30GPa. Στο μοντέλλο έγινε

πρόβλεψη για ισοδύναμο οπλισμό των πασσάλων, αν και ο αριθμός των πεπερασμένων στοιχείων που μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, καθώς και η αναγκαία διαστασιολόγηση εκάστου στοιχείου προκάλεσαν, εξ ανάγκης, μία ενδεικτική διάταξη του οπλισμού η οποία, πιθανόν απέχει από την πραγματικότητα, κατασκευαστικά, αν όχι ως προς το ισοδύναμο αποτέλεσμα.

γ) Η ακριβής διαστασιολόγηση του βάθρου και της πασσαλοεσχάρας διαφέρει ελαφρώς από αυτήν που χρησιμοποιήθηκε για την εξομοίωση για λόγους προσαρμογής στις διαστάσεις των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν.

Ιδίως, δεν μπορεί να ελεγχθεί η δυσκαμψία του συστήματος βάθρου/εσχάρας, δεδομένου ότι δεν είναι γνωστές οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες της πραγματικής κατασκευής. Επομένως η δυσκαμψία του συστήματος βάθρου/εσχάρας, όπως αποτυπώθηκε στα μοντέλλα είναι ενδεικτική.

δ) Το πραγματικό έδαφος είναι ένα πολυστρωματικό μέσο το οποίο εμφανίζει αργιλλώδες αμμοχάλικο στο ανώτερο στρώμα του, πάχους περίπου 9m, ιλυώδη άργιλλο χαμηλότερα και καταλήγει σε μία ζώνη αποσαθρωμένων μαργών η οποία επικαλύπτει την στριφή μάργα στην οποία πακτώθηκε η αιχμή των πασσάλων.

Επομένως είναι δύσκολη η συμβατική προσέγγιση για την επίλυση του εδάφους αυτού, θεωρουμένου είτε ως αμμώδους, είτε ως αργιλλικού. Κανένα στρώμα δεν παρουσιάζει ενδείξεις υπερστερεοποιήσεως και επομένως, καθίσταται δυσχερής η επιλογή συντελεστών για την εφαρμογή των σχέσεων του Brooms και του Winkler.

Οι συντελεστές που χρησιμοποιήθηκαν στον συμβατικό υπολογισμό με τις δύο αυτές μεθόδους προέκυψαν υποθέτοντας ένα έδαφος ομογενές, αμμώδες ή αργιλλικό, εκτιμήθηκαν οι αντίστοιχοι συντελεστές για τον υπολογισμό του χαρακτηριστικού μήκους πασσάλου και επελέγη η δυσμενέστερη τιμή μετατοπίσεως μεμονωμένου πασσάλου ως αφετηρία για την εκτίμηση της μετατοπίσεως του βάθρου.

Το συνολικό συμπέρασμα είναι ότι, από όλα τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την εξομοίωση, μόνο αυτά του μεμονωμένου πασσάλου μπορούν, με σχετική ασφάλεια, να παραβληθούν με τα προκύπτοντα από την συμβατική επίλυση. Και εδώ όμως, πρέπει να παρατηρηθεί ότι, το μοντέλλο του μεμονωμένου πασσάλου παρουσιάζει στρέψη περί την αιχμή, προφανώς λόγω συγκεκριμένης διαστασιολογήσεως του τμήματος της εσχάρας που εξομοιώνεται και δεν είναι εντελώς συγκρίσιμο με τον άστρεπτο πάσσαλο που υποτίθεται στην συμβατική επίλυση.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η σύγκριση των αποτελεσμάτων της συμβατικής επιλύσεως, για μεμονωμένο πάσσαλο και πολυστρωματικό μέσο, με τα αποτελέσματα της εξομοιώσεως, είναι,κατά προσέγγιση μόνο, συγκρίσιμα.

Στην περίπτωση της εξομοιώσεως όπου η επίλυση γίνεται για ένα υποτιθέμενο ομογενές έδαφος με φ=14° και C=0,5Kp/cm² το οποίο έχει στερεοποιηθεί φυσιολογικά και ο δείκτης εδάφους είναι συνάρτηση του βάθους, τα αποτελέσματα είναι περισσότερο συγκρίσιμα.

Η επίλυση του αριθμητικού μοντέλλου δίδει περίπου διπλάσια οριζόντιο μετατόπιση από αυτήν του συμβατικού υπολογισμού για τον

μεμονωμένο πάσσαλο. Η απόκλιση αυτή μπορεί να αποδοθεί στο ότι η επιλεγείσα τιμή του μέτρου συμπιεστότητος για το ομογενές έδαφος (125Kp/m²) είναι σημαντικά μικρότερη απο αυτή που αντιστοιχεί στο αργιλλικό έδαφος που υπετέθη για τον συμβατικό υπολογισμο.

Πρέπει να παρατηρηθεί ότι το επιφανειακό στρώμα, στο πραγματικό έδαφος, το οποίο είναι αδρόκοκκο και με σχετικά υψηλή γωνία τριβής, περιορίζει σημαντικά την μετατόπιση της κεφαλής του πασσάλου.

Περισσότερο ουσιώδης και χρήσιμη για την άντληση αξιοποιησίμων συμπερασμάτων είναι η σύγκριση των αποτελεσμάτων τα οποία προέκυψαν από την επίλυση των αριθμητικών μοντέλλων με αποτελέσματα άλλων εξομοιώσεων που έχουν εκτελεσθεί από άλλους.

Παρά το ότι στην παρούσα εργασία η επίλυση του προβλήματος έγινε σε δισδιάστατα μοντέλλα, για λόγους οικονομίας προσπαθείας στην διαμόρφωση των μοντέλλων και χρόνου επιλύσεως, επιλέξαμε εδώ να παρουσιάσουμε συγκριτικά τα αποτελέσματα αυτά σε σύγκριση με αυτά που έδωσε τρισδιάστατη ανάλυση με το πρόγραμμα **FLAC3D** (Κωμόδρομος, 2008)

Εισαγωγικά πρέπει να αναφερθεί ότι η συγκεκριμένη, τρισδιάστατη, επίλυση έγινε για τέμαχος εδάφους επιφανειακών διαστάσεων **42x42m** και πάχους **70m**. Η ομάδα πασσάλων είναι τετραγωνική ή παραλληλόγραμμη με αριθμό πασσάλων **n**_x και **n**_y κατά τις δύο διαστάσεις της.

Αρχικά επιλύθηκε μοντέλλο ενός μεμονωμένου πασσάλου υπό συνθήκες μεταβαλλομένης εγκαρσίου φορτίσεως. (Ακριβέστερα υπολογιζόταν το εγκάρσιο φορτίο για διάφορες τιμές οριζοντίου μετατοπίσεως της κεφαλής του, της μετατοπίσεως λογιζομένης ως ποσοστού της διαμέτρου του πασσάλου και μέχρι του ορίου της ρηγματώσεως του σκυροδέματος).

Τα δεδομένα φορτίσεως/μετατοπίσεως χρησιμοποιήθηκαν, σε συσχετισμό με τα δεδομένα επιλύσεως του μοντέλλου της ομάδος, με διάφορες τιμές **n**_x και **n**_y, με σκοπό να εξαχθεί μία ημιεμπειρική σχέση αναγωγής της οριζοντίου μετατοπίσεως του μεμονωμένου πασσάλου σε μετατόπιση ομάδος.

Η σχέση αυτή θα έχει την μορφή $R = \frac{y_{x,y}}{y_0}$ όπου **R** αυξητικός συντελεστής, **yo** η μετατόπιση του μεμονωμένου πασσάλου και **y**_{x,y} η μετατόπιση της ομάδος **n**_x**xn**_y πασσάλων κατά την διεύθυνση της φορτίσεως.

Εκ της επεξεργασίας των στοιχείων προέκυψε μακροσκελής μαθηματικός τύπος στον οποίο εισάγονται ως παράμετροι οι αριθμοί $\mathbf{n}_{\mathbf{x}}$ και $\mathbf{n}_{\mathbf{y}}$, ο λόγος της διαμέτρου του πασσάλου προς την αραίωση των πασσάλων στην ομάδα, και η ανηγμένη, ως προς την διάμετρο, μετατόπιση της κεφαλής του μεμονωμένου πασσάλου (Κωμόδρομος, Πιτιλάκης, 2005, βλέπε ανωτέρω, παρ. 5.3.3.3.2 σχέση 5.35). Στην σχέση εισάγονται αδιάστατοι παράμετροι αναφερόμενες ως \mathbf{a} , $\boldsymbol{\beta}$ και $\boldsymbol{\gamma}$ οι οποίες, εμφανώς, σχετίζονται με το πάχος της ιδεατής στρώσεως (ή το μήκος του τμήματος του πασσάλου που υπόκειται σε κάμψη), τις μηχανικές σταθερές του υλικού του πασσάλου και του εδάφους.

Προ της παραθέσεως των συγκριτικών αποτελεσμάτων πρέπει να σημειωθούν επίσης τα εξής όσον αφορά τις παραμέτρους του ως άνω τρισδιάστατου μοντέλλου.

1. Η διάμετρος του πασσάλου δίδεται ως d=1m

2. Η διατμητική αντοχή του εδάφους λαμβάνεται ως Su=70kPa.

3. Δευ δίνουται στοιχεία για το υλικό του πασσάλου πέραν του ότι υποτίθεται γραμμική, πλήρως ελαστική συμπεριφορά.

4. Η μεγίστη εγκαρσία φόρτιση η οποία εξετάσθηκε στου μεμουωμένο πάσσαλο είναι 1,2MN αλλά ο πάσσαλος εμφάνιζε ρηγματώσεις του σκυροδέματος από τα 0,4MN και σημαντική μείωση της καμπτικής του αυτοχής από τα 0,8MN. Δευ εμφανίζεται πασσαλοεσχάρα και η θέση ασκήσεως του οριζουτίου φορτίου είναι απροσδιόριστη.

Παρατηρείται ότι στο μοντέλλο της παρούσης Διπλωματικής εργασίας η διάμετρος του πασσάλου είναι 1,25m και τόσο αυτή όσο και το σύστημα των εδαφικών στρωμάτων που εξομοιώνονται είναι αυτά της πραγματικής κατασκευής, όπως προβλέπονται από την στατική και γεωτεχνική μελέτη της γεφύρας του Ολβίου. Επιπλέον η διατμητική αντοχή του εδάφους του τρισδιαστάτου μοντέλλου προσεγγίζει αυτήν της μέσης τιμής του συνόλου των πραγματικών στρωμάτων. (ζυγισμένος μέσος όρος συνοχής των πραγματικών στρωμάτων, **c=68,5kPa**, γωνία τριβής, **φ=16,2**°)

Η κατά την γεωτεχνική μελέτη εγκαρσία φόρτιση, σύμφωνα με τα στοιχεία που έδωσε, για τα κατακόρυφα φορτία, ο στατικός μελετητής είναι περίπου 0,65MN. Η υπολογισθείσα μεγίστη καμπτική ροπή με ενδεικτικό οπλισμό 1 ράβδο Φ40 ανά 10cm είναι $M_u \approx 741 ton$. (για αντοχή σε θλίψη του σκυροδέματος **300kp/cm²**).

Υπό τα ανωτέρω δεδομένα, ο μεμονωμένος πάσσαλος του δισδιάστατου μοντέλλου δεν παρουσίασε ρηγμάτωση σκυροδέματος και δεν επιχειρήθηκε, στα πλαίσια της παρούσης, φόρτισή του μέχρι αστοχίας.

Σε σύγκριση με την τρισδιάστατη ανάλυση, η δισδιάστατη δεν μπορεί να συνεκτιμήσει την αλληλεπίδραση των πασσάλων των παραλλήλων σειρών και σε αυτό το δεδομένο μπορεί να αποδοθεί η απόκλιση τιμών που σημειώθηκαν μεταξύ των αποτελεσμάτων των δύο τρόπων αναλύσεως. Γενόμενες δοκιμές επιλύσεως έδειξαν ότι, στο δισδιάστατο μοντέλλο, μεταβολές του μέτρου ελαστικότητος του υλικού του πασσάλου, ελάχιστες μεταβολές επέφεραν στα κινηματικά αποτελέσματα, τυπικά μικρότερες του 5%.

Στον επόμενο πίνακα παρατίθενται οι συγκριτικές τιμές οριζοντίου μετατοπίσεως κεφαλής πασσάλου ή μέσου βάθρου, όπως προέκυψαν από τα δισδιάστατα μοντέλλα και αυτές που προβλέπονται από τον τύπο του Κωμοδρόμου (ως γινόμενο του συντελεστού επί την μετατόπιση του μεμονωμένου πασσάλου). Οι τιμές αναφέρονται στο πραγματικό έδαφος και απλοποιημένο μοντέλλο φορτίσεων.(Πιν.4.1)

α/α	Τιμές οριζοντίου μετατοπίσεως	1	2	4
	(cm)	πάσσαλος	πάσσαλοι	πάσσαλοι
1	Μετρηθείσες (δισδιάστατο μοντέλλο)	5,82	9,32	14,26
2	Προβλεπόμενες από την σχέση την εξαγομένη από το τρισδιάστατο μοντέλλο	5,82	8.02 (13,27 για 2×4)	16.30 (18,13 για 4×2)
3	Απόκλιση % ως προς την πρόβλεψη	0,0	-13,95	+14,30

Πίνακας 4.1Συγκριση αποτελεσμάτων δισδιαστάτου και τρισδιαστάτου επιλύσεως

Οι τιμές αυτές υπενθυμίζεται ότι αποτελούν σύγκριση μεταξύ της πραγματικής κατασκευής (όπως προσαρμόσθηκε σε μοντέλλο δύο διαστάσεων έτσι ώστε να συντηρηθούν οι τάσεις και η διατομή και ο όγκος των εδαφικών στηλών μεταξύ των πασσάλων) και επομένως υπολογίσθηκε η προβλεπομένη τιμή για διάμετρο πασσάλου 1,25m και αραίωση 2,5 διαμέτρους.

Είναι εμφανές ότι η σχέση του Κωμοδρόμου δίδει συντηρητικότερες τιμές από τις τιμές που προκύπτουν από την ανάλυση αυτής της εργασίας.

Δεν είναι απολύτως σαφές από την διατύπωση, αλλά, ο τύπος προβλέψεως σαφώς ευνοεί τετραγωνικές διατάξεις πασσάλων και όχι επιμήκεις.

Εάν,πχ, στην ομάδα δύο πασσάλων ληφθεί βάθος 2 πασσάλων (ομάδα 2x2) το αποτέλεσμα δίδει 10,15cm.

Η παρατήρηση αυτή ενισχύει την πρόταση να χρησιμοποιούνται αρμοί διαστολής ή εύκαμπτες πασσαλοεσχάρες εφ' όσον δεν τίθεται ζήτημα απαραδέκτων διαφορικών καθιζήσεων για την ανωδομή της κατασκευής.

Πέραν των συγκρίσεων, ο συσχετισμός των μετατοπίσεων με τον αντίστοιχο των πασσάλων και το φορτίο για αριθμό την στρωματογραφική διαμόρφωση του ομογενούς ενδεικτικού εδάφους και τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά πασσάλου, έδωσαν μία σειρά συναρτήσεων συσχετισμού οι οποίες εμφανίζονται κατωτέρω (Π₁ν.4.2)

a/a	Περιγραφή σχέσεως	Συνάρτηση
1	Συσχετισμός αριθμού	Y=6×ln(X)+8,2
	πασσάλων	
	(X)/μετατοπίσεως (Y)	
2	Συσχετισμός μετατοπίσεως	Y=4,075e (6/10 ₆) ×X
	(Υ) /οριζοντίου ορθής	
	τάσεως (Χ)	
3	Συσχετισμός φορτίου	Y=6×ln(X)-71,4
	(ολικού) (Χ)/οριζοντίου	
	μετατοπίσεως (Υ)	
4	Συσχετισμός ολικού	Y=6,091×ln(X)-82,06
	φορτίου (Χ)/καθιζήσεως	
	(Y)	

Πίνακας 4.2 Συναρτήσεις συσχετισμού μετατοπίσεων

Η παρουσίαση των εξαγομένων της αναλύσεως πρέπει να ολοκληρωθεί με μερικά σχόλια επί της συμπεριφοράς του εδάφους και της αλληλεπιδράσεώς του με την πασσαλομάδα

. Επαναλαμβάνεται εδώ, αρχικά, ότι οι διαστάσεις του τεμάχους του εδάφους που εγκιβωτίζει την πασσαλομάδα είναι κρίσιμες για την ακρίβεια της αναπαραστάσεως και γενικά πρέπει να καλύπτουν σε πλάτος, τουλάχιστου ζώνη ίση με το βάθος εμπήξεως των πασσάλων, εκατέρωθεν των άκρων της ομάδος.

Λόγω των δύο διαστάσεων δεν είναι δυνατή η ακριβής εξομοίωση των συνθηκών και των αποτελεσμάτων της καθιζήσεως της ομάδος.

Γενικά, σε δύο διαστάσεις, η καθίζηση που εμφανίζεται είναι μεγαλύτερη της αναμενομένης. Μόνο μικρό μέρος του εμβαδού της εσχάρας που έρχεται σε επαφή με το έδαφος και λειτουργεί ως πλάκα θεμελιώσεως, εξομοιώνεται στο μοντέλλο.

Αντιστοίχως δεν μπορεί να αναπαρασταθεί το ποσοστό του κατακορύφου φορτίου το οποίο παραλαμβάνεται από τις μη ενεργές, στο μοντέλλο, όψεις των πασσάλων.

Προς εκτίμηση των παραπάνω κατασκευάσθηκε μοντέλλο της κατόψεως της ομάδος πασσάλων για να αποτιμηθεί η τάση προσφύσεως των πλευρών των πασσάλων κατά την διεύθυνση φορτίσεως και κάθετα σε αυτήν. Αν το έδαφος θεωρηθεί ισότροπο τότε η αντίσταση των πασσάλων στην καθίζηση κατά τις μη αναπαριστώμενες πλευρέςς τους θα είναι περίπου ίση με αυτήν που εμφανίζεται στις πλευρές, τις παράλληλες προς την οριζόντιο φόρτιση (Ιδέ μοντέλλο MARCmod120).



Σx.4.1 Μουτέλλο κατόψεως της ομάδας οκτώ πασσάλων υπό οριζουτία φόρτιση (εκ δεξιών προς τα αριστερά), σε ευδεικτικό ομογενές έδαφος, κατανομή οριζουτίων μετατοπίσεων κατά του άξονα της φορτίσεως.



Σχ.4.2 Μουτέλλο κατόψεως της ομάδας οκτώ πασσάλων υπό οριζουτία φόρτιση (εκ δεξιών προς τα αριστερά), σε ευδεικτικό ομογενές έδαφος, κατανομή τροπών κατά του άξονα της φορτίσεως.



Σχ.4.3 Μουτέλλο κατόψεως της ομάδας οκτώ πασσάλων υπό οριζοντία φόρτιση (εκ δεξιών προς τα αριστερά), σε ενδεικτικό ομογενές έδαφος, κατανομή ορθών τάσεων κατά τον άξονα της φορτίσεως

Γενικά, μετά την εποπτεία των αποτελεσμάτων της επιλύσεως του προαναφερθέντος μοντέλλου της κατόψεως της ομάδος, όσον αφορά το ζήτημα των καθιζήσεων, θα μπορούσε, κατά την εκτίμηση του γράφοντος, να ελαττωθεί το ολικό κατακόρυφο φορτίο κατά 30% στο δισδιάστατο μοντέλλο επιλύσεως του προβλήματος της οριζοντίας μετατοπίσεως.

Όμως είναι, μάλλον, προτιμότερη η χρήση του ολικού φορτίου ως πλέον συντηρητική, επι πλέον, δε, δεν είναι, χωρίς περαιτέρω έρευνα, βέβαιο άν η εκκεντρότητα της κατασκευής θα αναπαρασταθεί ικανοποιητικά

Σχετικά, σημειώνεται επίσης, ότι, εμφανώς, εάν ληφθεί υπ'όψιν, στην προσαρμογή τιμών φορτίων του δισδιαστάτου μοντέλλου, η επίδραση των <<αθεάτων>> όψεων του πασσάλου, οι εξαγόμενες τιμές θα είναι ακόμη χαμηλότερες και η διαφοροποίησή τους, απο τις τιμές που εξάγονται με τον προτεινόμενο τύπο του Κωμοδρόμου, θα είναι ακόμη μεγαλύτερη.

Δευ παρατηρήθηκε γενική αστοχία του εδάφους θεμελιώσεως και σε καμμία περίπτωση η κατασκευή (βάθρο και πασσαλομάδα) δευ εμφάνισε συμπτώματα ανατροπής.

Γενομένη, συμβατική επίλυση του κύκλου ολισθήσεως για την ομάδα των δύο πασσάλων έδωσε επαρκή συντελεστή ασφαλείας.

Στην εξομοίωση, σε όλα τα μοντέλλα, η τιμή της διατμητικής τάσεως σε ακτίνα ίση με το μήκος των πασσάλων από το κέντρο του βάθρου ευρέθη πολύ μικρότερη της διατμητικής αντοχής του εδάφους. Παρατηρήθηκαν φαινόμενα αποκολλήσεως του εδάφους υπό μεγίστη εγκαρσία φόρτιση από την πλευρά του εσωτερικού πασσάλου στα ανώτερα στρώματα (ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων ισχυροτέρων της αυτοχής του εδαφικού στρώματος). Το φαινόμενο ευτοπίσθηκε κυρίως στο αμμοχαλικώδες στρώμα της επιφανείας της κοίτης του Ινάχου.

Τέλος, πρέπει να γίνει αναφορά στην επίδραση του στρώματος διεπαφής μεταξύ εδάφους και κορμού πασσάλου το οποίο σχηματίζεται από τα υλικά σταθεροποιήσεως του αυλού της διατρήσεως (μπετονίτης).

Θεωρήθηκε συντηρητική παραδοχή κατά την συμβατική επίλυση του προβλήματος της εγκαρσίου φορτίσεως κατά Broms και Winkler να θεωρηθεί ότι ο πάσσαλος βρίσκεται εμφυτευμένος μέσα στο υλικό αυτό και επομένως ο υπολογισμός του κρισίμου μήκους του πασσάλου έγινε με αυτήν την παραδοχή και βάσει των παραμέτρων που θα εμφάνιζε μία άργιλλος αυτού του τύπου.

Ελλείψει άλλης πληροφορήσεως θεωρήθηκε ότι το στρώμα αυτό θα μπορούσε να ληφθεί ως έχον πάχος 10-20cm και με βάση αυτό το δεδομένο έγινε η προσομοίωσή του.

Ευ τούτοις, η επίλυση τωυ μουτέλλων έδειξε οτι η παρουσία του στρώματος διεπαφής ελάχιστα επηρεάζει τα εξαγόμευα της οριζουτίου μετατοπίσεως, ακόμη και της κατακορύφου, πέραν του ότι προκαλεί μία εξομάλυυση της καμπυλότητος του πασσάλου και μετατοπίζει τα σημεία μεγίστων διατμητικών τάσεων στου κορμό του πασσάλου σε μεγαλύτερα βάθη. (Η οριζόντιος μετατόπιση του μεμουωμένου πασσάλου μηδευίζεται σχεδόν, επομένως αναπτύσσεται πλαστική άρθρωση, σε βάθος 17-18m υπό την επιφάνεια του εδάφους αυτί των 7-8m που αναμενόταν). Συνοψίζοντας τα συμπεράσματα από τα προηγούμενα έχουμε τα εξής:

1. Η συμβατική επίλυση με την μέθοδο Winkler η άλλη παραπλήσια, πρέπει να αποφεύγεται, εφ' όσον διατίθεται η δυνατότητα αριθμητικής επιλύσεως, κυρίως γιατί η ευχερής χρήση της προϋποθέτει την γνώση με ακρίβεια πολλών παραμέτρων, απαιτεί πολλές απλουστευτικές παραδοχές, η αναλυτική επίλυσή της είναι χρονοβόρος και, μάλλον, οδηγεί σε αποτελέσματα όχι επαρκώς συντηρητικά.

2. Δισδιάστατες αριθμητικές μέθοδοι, όπως αυτή με την χρήση του MARC που χρησιμοποιήθηκε εδώ δίνουν μάλλον καλά αποτελέσματα, σίγουρα ακριβέστερα από την συμβατική ανάλυση και με μία κατάλληλη επαύξηση, κατά την κρίση του μελετητή, των παρεχομένων τιμών, προσεγγίζουν την απόδοση μίας αριθμητικής επιλύσεως τριών διαστάσεων.

Λαμβανομένης υπ' όψιν της πολυμορφίας των στρωματογραφικών διαμορφώσεων, η χρήση υπολογιστικών μεθόδων είναι σχεδόν υποχρεωτική στο πρόβλημα των πασσαλοθεμελιώσεων.

3. Για εγχύτους φρεατοπασσάλους, με την αιχμή τους αγκυρωμένη σε σχετικώς ισχυρό στρώμα, η επίδραση του διεπιφανειακού στρώματος από μπετονίτη και χαλαρωμένο υλικό των τοιχωμάτων του διατρήματος φαίνεται να είναι μικρή.

Το ζήτημα χρειάζεται να διερευνηθεί εκτεταμένα με την χρήση δισδιαστάτων και τρισδιαστάτων μοντέλλων.

4. Στο συγκεκριμένο, πραγματικό, πρόβλημα θεμελιώσεως απεδείχθη ότι οι τιμές που δόθηκαν στον στατικό μελετητή, ήταν εύλογες, βάσει των γενομένων παραδοχών, αλλά, όχι, επαρκώς τεκμηριωμένες, άρα, επι της ουσίας, απλώς καθοδηγητικές.

Εν τούτοις και στην δυσμενέστερη περίπτωση σεισμικής φορτίσεως, δεν αναμένεται καταστροφική επίδραση επί της γεφύρας, εφ' όσου ο φορέας δεν είναι συνεχής δοκός και ακόμη και η διαφορική καθίζηση που αναμένεται ή η εκτροπή από την ευθυγραμμία των βάθρων, επιτρέπουν στην γέφυρα να διατηρήσει ένα ποσοστό λειτουργικότητος.

5 Για ομάδα μέχρι τεσσάρων πασσάλων με αραίωση ίση ή μικρότερη του τριπλασίου της διαμέτρου, οι εδαφικές ζώνες μεταξύ των πασσάλων ελάχιστα φορτίζονται.

4.2 Προτάσεις

Πέραν της συγκρίσεως των αποτελεσμάτων της αναλύσεως σε δύο και τρεις διαστάσεις, επειδή φαίνεται η δισδιάστατη ανάλυση να αποτελεί επαρκές υποκατάστατο της τρισδιαστάτου, θα μπορούσαν, στο μέλλον, να διερευνηθούν τα εξής:

- Επιλύσεις με πολλαπλά φορτία, πολλαπλούς τύπους στρωματογραφικών διαμορφώσεων και υλικών κατασκευής υλικών κατασκευής πασσάλων.
- Επιλύσεις με διαφορετικές διαμορφώσεις πασσαλομάδων (τριγωνικής διατάξεως, ρομβοειδείς) και ποικίλλες διαστάσεις και παραμέτρους υλικών πασσάλων.
- Επιλύσεις στις οποίες να εξετασθεί η επίδραση των σχεδιαστικών παραμέτρων της εσχάρας και της ανωδομής στην συμπεριφορά της ομάδος.
- Έλεγχος ευσταθείας ομάδος σε κεκλιμένα εδάφη η παραλαβή εγκαρσίου φορτίου από τους πασσάλους λόγω κλίσεώς τους εκ κατασκευής (π.χ. στην θεμελίωση ακροβάθρων τοξωτής γεφύρας).
- 5. Έλεγχος της διαμορφώσεως ομάδος στην οποία, οριακά οι πάσσαλοι συνεργάζονται στην παραλαβή του φορτίου και των ορίων, πέραν των οποίων είναι προτιμότερη η κατασκευή δύο ή περισσοτέρων ομάδων με ανεξάρτητες εσχάρες
- Έλεγχος της συμπεριφοράς ομάδος πασσάλων οι οποίοι φορτίζονται εγκάρσια από έκκεντρα ή αντίρροπα φορτία.
- Ελεγχος της υπολοιπομένης φερούσης ικανότητος της πασσάλομάδος, μετά απο οριζόντια μετατόπιση η οποία επιφέρει αποκόλλησή της απο το περιβάλλον έδαφος.
- 8. .Διερεύνηση της συνθέτου μετατοπίσεως της ομάδος, ώς συνδυασμού των προβλεπομένων μετατοπίσεων κατά τις δύο διευθύνσεις, των γραμμών και στηλών της ομάδος πασσάλων, εφ'όσον δεν πρόκειται για τετράγωνη, αλλά παραλληλόγραμη διάταξη.
- 9. Σε εργαστηριακό επίπεδο, σειρά πειραματικών μίξεων υλικών και έλεγχος της αλληλεπιδράσεώς τους, για τον προσδιορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών στρωμάτων διεπαφής που αναπτύσσονται, λόγω παρουσίας υπολειμμάτων διατρητικού ρευστού, μεταξύ σκυροδέματος και διαφόρων τύπων εδαφών.

10. Διερεύνηση της συμπεριφοράς πασσαλομάδος σε στρεπτική φόρτιση, επαγομένη, π.x, απο την ταλάντωση υπερκατασκευής η οποία φέρει βαρεις προβόλους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Καββαδάς Μ., «Θεμελιώσεις Τεχνικών Έργων», Έκδοση Ε.Μ. Πολυτεχνείου, 2008.
- Καββαδάς Μ., «Στοιχεία Εδαφομηχανικής», Έκδοση Ε.Μ. Πολυτεχνείου, 2007.
- Κωμοδρόμος Α. <<Υπολογιστική Γεωτεχνική Μηχανική>>, Εκ. Κλειδάριθμος, 2008
- 4. American Petroleum Institute, «Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms—Working Stress Design», 2002.
- 5. Barnes, E. G., (1995), "Soil mechanics principles and Practice", MacMillan
- 6. Bowles, E.J., (1978), "Engineering properties of soils and their measurement" McGraw Hill.
- 7. Bowles, E.J., (1982), "Foundation analysis and design", McGraw Hill.
- 8. Braja, D., (1993), "Principles of Geotechnical Engineering", PWS publishing
- 9. British standards BS 1377/1975, "Soils for civil engineering purposes
- Broms, B.B. 1964a. «Lateral resistance of piles in cohesive soils. Journal of the Soil», Mechanics and Foundations Division, ASCE 90(SM2): 27-63
- 11. Broms, B.B. 1964b. «Lateral resistance of piles in cohesionless soils. Journal of the Soil» Mechanics and Foundations Division, ASCE 90(SM3): 123-156.
- 12. Cernica, N. J., (1995) "Foundation design", J. Wiley
- Fox E.N (1948) The mean elastic settlementof a uniformely loaded area at a depth below the ground surface. Proceedings, 2nd I nternational Conference in soil mechanics, and Foundation Engineering, Rotterdam, 1, pp129-132.
- 14. Leonards, G. A., (1962), "Foundation engineering", McGraw Hill.
- Poulos HG (1968). Analysis of the Settlement of Pile Groups. Geotechnique, 18, 449-471
- Meyerhof G.G, (1976) "Bearing capacity and settlements of pile foundations". ASCE journal of Geotechnical Engineering 102(GT3)197-228
- Scempton A.W, (1959) "Cast in situ piles in London clay", Geotechnique, vol 9, pp 153-173
- 18. Scempton A.W, (1966) large bored piles, summing up, Symp.on large bored piles, 155-157, London Inst. of Civil Engineers

- 19. Reese L.C., Van Impre W.F., «Single piles and Pile Groups under Lateral Loading», A.A. Balkema Publishers, 2001.
- 20. Terzaghi, K. and Peck, R.B., (1958) "Soil mechanics in Engineering practice", J. Wiley..
- 21. Tomlinson, M.J. (1994), "Pile Design and Construction Practice", Taylor & Francis, Oxon, Edition 4th.
- 22. Tsebotarioff, G., (1957), "Soil Mechanics, Foundations and Earth Structures", McGraw Hill.
- 23. Vesic A.S (1977) "Design of Pile Foundations", Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C
- 24. Whitaker, T and Cooke, R (1966) "An investigation of shaft and bearing resistances of Large Bored Piles in London Clay", Proc.Symposium on Large Bored Piles,Instit. of Civil Engineers, London
- 25. Whitlow, R., (1995), "Basic soil mechanics", Longman Scientific, 3rd edition