

B.

**ΟΙ ΔΥΟ ΠΥΛΕΣ ΤΗΣ ΟΔΟΥ ΔΙΑΓΟΡΑ:
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ, ΠΕΙΡΑΜΑ, ΑΝΑΛΥΣΗ**

B1

ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΑΠΟ Ω.Σ. (Μονοτονική Επαναλαμβανόμενη Φόρτιση εκτός Επιπέδου)

*Μ.Π. Χρονόπουλος
Θ.Ε. Παπαθεωδόρου
Ι.Ε. Παπαθεωδόρου*

Εργαστήριο Ωπλισμένου Σκυροδέματος ΕΜΠ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Εισαγωγή – Γενικά
2. Μικρή «Πύλη»
 - 2.1 Γεωμετρία – Διατομές
 - 2.2 Αποτίμηση αρχικής καταστάσεως
 - 2.3 Ομοιομορφία και ποιότητα σκυροδέματος
 - 2.4 Δυναμικά χαρακτηριστικά
 - 2.5 Δοκιμαστική φόρτιση
 - 2.5.1 Φορτία – Μετακινήσεις
 - 2.5.2 Φορτία – Παραμορφώσεις
 - 2.5.3 Αποκλίσεις
 - 2.5.4 Ρωγμές
 - 2.6 Διαγράμματα εντατικών μεγεθών
 - 2.7 Αξιολόγηση
3. Μεγάλη «Πύλη»
 - 3.1 Γεωμετρία – Διατομές
 - 3.2 Αποτίμηση αρχικής καταστάσεως
 - 3.3 Ομοιομορφία και ποιότητα σκυροδέματος
 - 3.4 Δυναμικά χαρακτηριστικά
 - 3.5 Δοκιμαστική φόρτιση
 - 3.5.1 Φορτία – Μετακινήσεις
 - 3.5.2 Φορτία – Παραμορφώσεις
 - 3.5.3 Αποκλίσεις
 - 3.5.4 Ρωγμές
 - 3.6 Διαγράμματα εντατικών μεγεθών
 - 3.7 Αξιολόγηση
4. Συμπεράσματα

Παράρτημα

- Αποτελέσματα δοκιμών ΚΕΔΕ / ΓΓΔΕ / ΥΠΕΧΩΔΕ επί του σκυροδέματος
- Αποτελέσματα δοκιμών ΚΕΔΕ / ΓΓΔΕ / ΥΠΕΧΩΔΕ επί δοκιμίου χάλυβα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΓΕΝΙΚΑ

Στα πλαίσια της γενικότερης έρευνας – μελέτης για τα χαρακτηριστικά του κραδασμού στην ευρύτερη επικεντρική περιοχή του σεισμού της 07.09.99, αλλά και για την απόκριση των κάθε είδους κατασκευών, αποφασίσθηκε η διερεύνηση της συμπεριφοράς δύο (2) μάλλον απλών κατασκευών – δίστυλων πλαισίων / «πυλών» από Ω.Σ. στην περιοχή Μενιδίου.

Το όλο πρόγραμμα έρευνας – μελέτης περιέλαβε δύο (2) κύρια τμήματα, αυτό της γεωλογικής και γεωτεχνικής διερεύνησης (που παρουσιάζεται σε άλλο, ανεξάρτητο τεύχος) και αυτό της δομητικής διερεύνησης, τόσο πειραματικής όσο και θεωρητικής, που παρουσιάζεται σε αυτό το τεύχος.

Όπως φαίνεται και από τον πίνακα περιεχομένων, έγινε σειρά μετρήσεων, ελέγχων και δοκιμών, στο έργο (επί τόπου) και στο εργαστήριο, καθώς και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και βαθμονόμησή τους μέσω θεωρητικών / αναλυτικών προβλέψεων, που περιλαμβάνονται είτε σε αυτό το τεύχος είτε και σε άλλο, με τα στοιχεία και τα αποτελέσματα της λεπτομερούς αναλύσεως με Η/Υ και ειδικά λογισμικά.

Ευχαριστίες εκφράζονται προς την ΥΑΣ / ΓΓΔΕ για την βοήθεια που προσέφερε κατά την δοκιμασία των πυλών (και κατά την αποκατάστασή τους).



Γενική άποψη πωλ ηυλών



Μικρή γύλη, μετά τις εργασίες



Μεγάλη γύλη, μετὰ τὴν ἐπισκευὴν

2. ΜΙΚΡΗ «ΠΥΛΗ»

2.1 Γεωμετρία – Διατομές

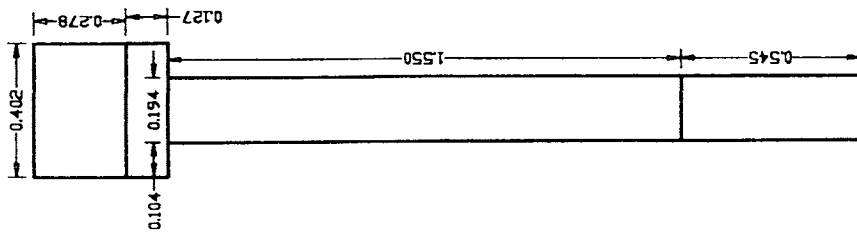
Στα σκαριφήματα που δίνονται στις επόμενες σελίδες παρουσιάζονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της πύλης, καθώς και οι διατομές και οι λεπτομέρειες όπλισης, όπως βρέθηκαν μετά από συστηματικά «χαντρώματα» μετά την δοκιμασία.

Η πύλη παρουσιάζεται αρκετά συμμετρική γεωμετρικώς, με διατομές υποστυλωμάτων περίπου $0.2 \times 0.2\text{m}$ και «ελεύθερο» ύψος της τάξεως του 1.55m , ενώ το άνοιγμά της είναι της τάξεως του 1.55m .

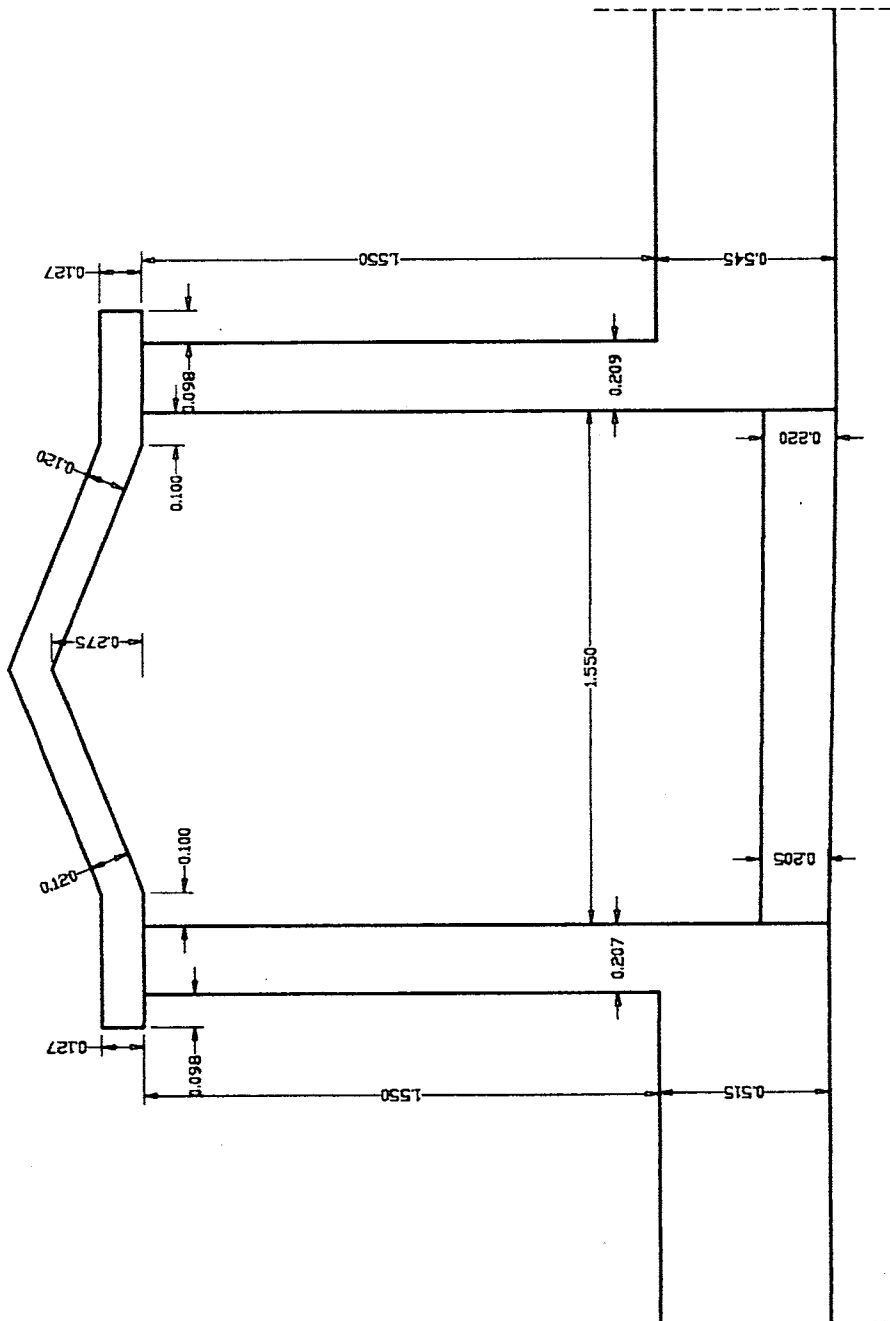
Όσον αφορά την όπλιση, παρουσιάζεται έντονη ακανονικότητα :

- Οι επικαλύψεις σκυροδέματος κυμαίνονται από 5 έως 50 (ή και 60) mm
- Το ένα υποστύλωμα έχει οπλισθεί με τρεις ράβδους $\varnothing 8$, οι οποίες μάλιστα δεν φθάνουν στην κορυφή του, ενώ το άλλο υποστύλωμα έχει οπλισθεί με τέσσερις ράβδους $\varnothing 8$ και τέσσερις ράβδους $\varnothing 4$ (από τις οποίες οι δύο δεν φθάνουν στην κορυφή του).

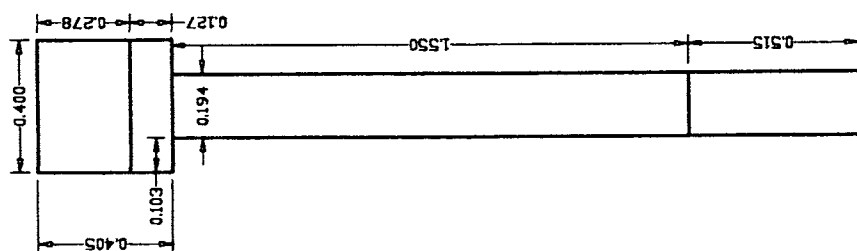
Νότια όψη



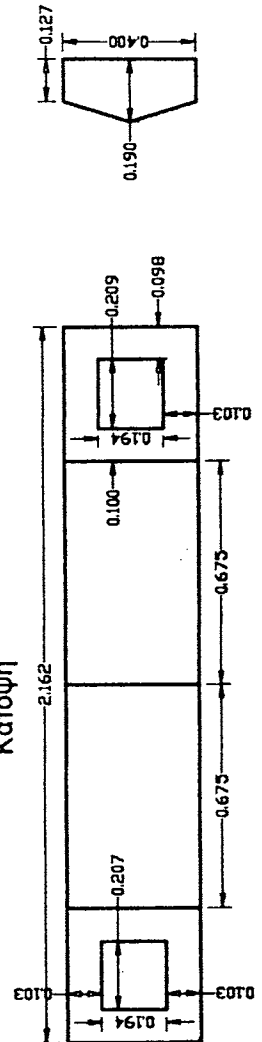
Δυτική κύρια όψη (πρόσοψη)



Βόρεια όψη

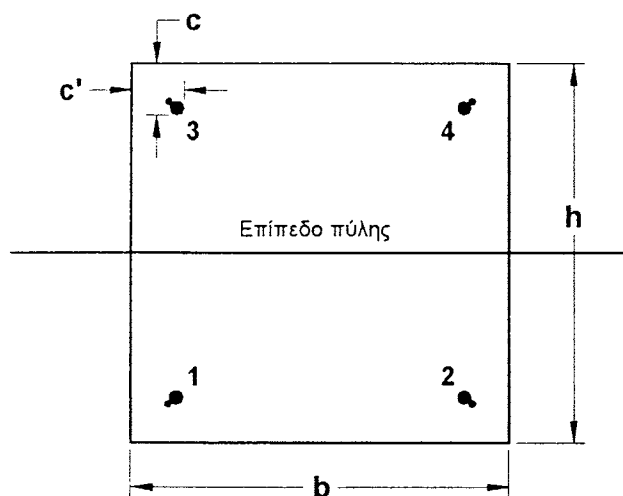


Κάτοψη



Διατομή υποστυλώματος προς Β

(πρακτικώς, ανυπαρξία συνδετήρων)



$$\begin{aligned}h &= 0.194\text{m} \\b &= 0.209\text{m} \\c_1 &= 0.04\text{m}, c'_1 = 0.025 - 0.055\text{m} \\c_2 &= 0.02\text{m}, c'_2 = 0.05\text{m} \\c_3 &= 0.01\text{m}, c'_3 = 0.06\text{m} \\c_4 &= 0.05\text{m}, c'_4 = 0.01\text{m}\end{aligned}$$

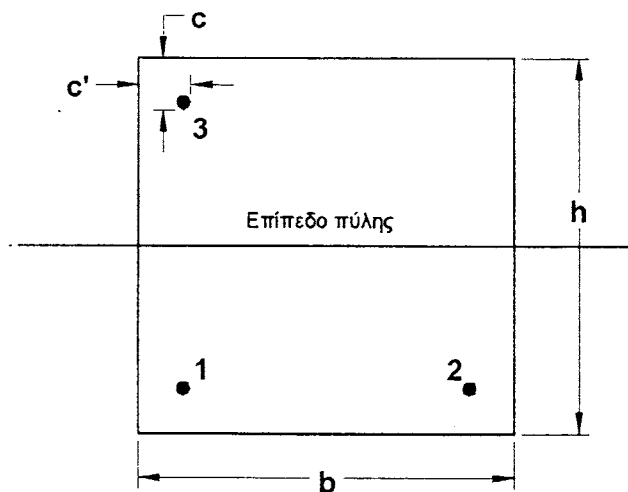
$$A_{st} = 4\varnothing 8 + 4\varnothing 4 / \text{St III}$$

$$A_{sw} = -$$

Τα δύο $\varnothing 4$ (1,2) φτάνουν έως 3cm κάτω από την κεφαλή.

Διατομή υποστυλώματος προς Ν

(πρακτικώς, ανυπαρξία συνδετήρων)



$$\begin{aligned}h &= 0.194\text{m} \\b &= 0.207\text{m} \\c_1 &= 0.02 - 0.03\text{m}, c'_1 = 0.03 - 0.04\text{m} \\c_2 &= 0.01 - 0.03\text{m}, c'_2 = 0.01\text{m} \\c_3 &= 0.025\text{m}, c'_3 = 0.005\text{m}\end{aligned}$$

$$A_{st} = 3\varnothing 8 / \text{St III}$$

$$A_{sw} = -$$

Τα $\varnothing 8$ (1,2,3) φτάνουν 1.5 – 2 cm κάτω από την κεφαλή.



Μικρή πύλη, στύλος προς Β.
Οπλισση με ράβδους Ø8 και Ø4.





Μικρή πύλη, στύλος προς Ν.
Ανυπαρξία συνδετήρων.

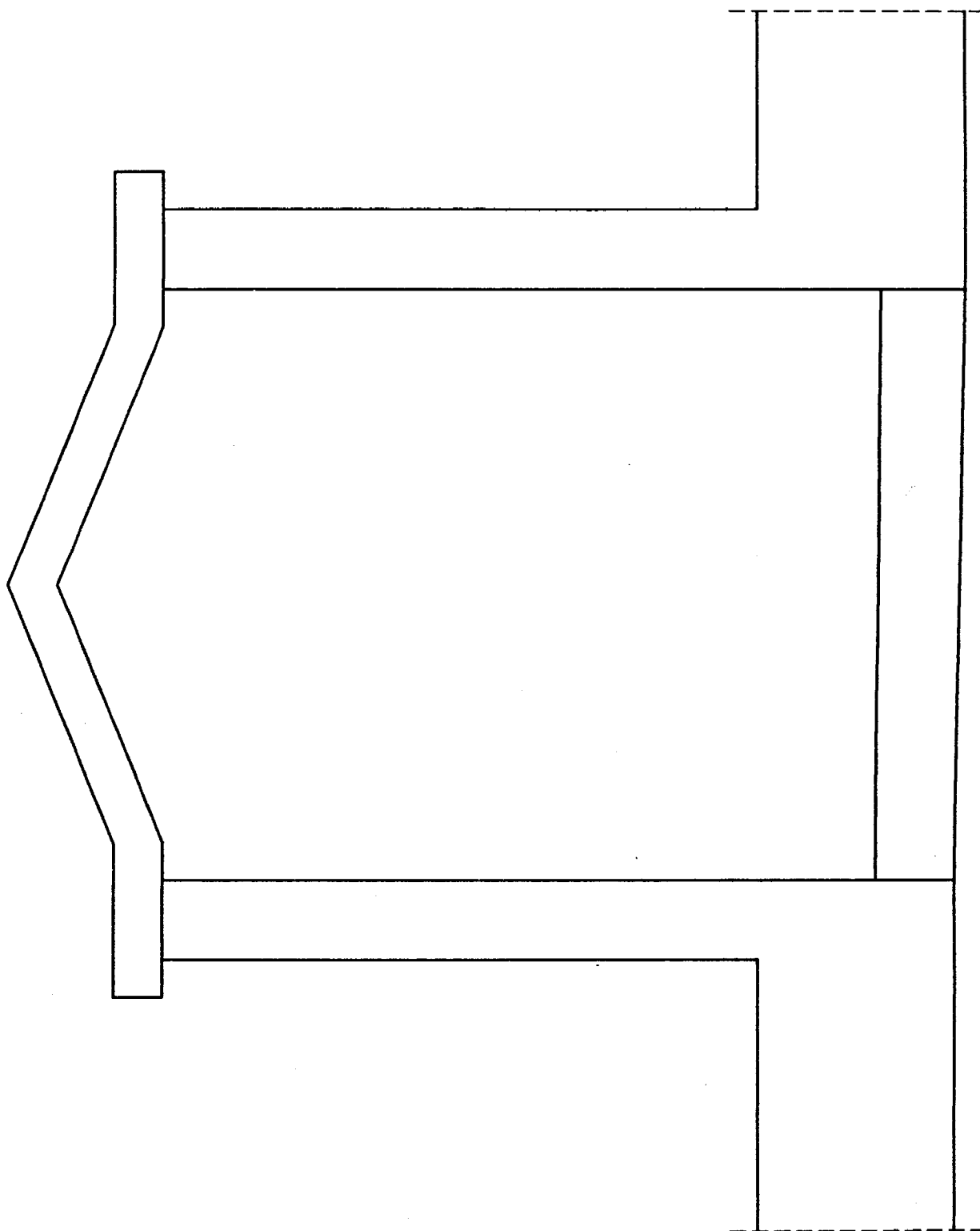


2.2 Αποτίμηση αρχικής καταστάσεως

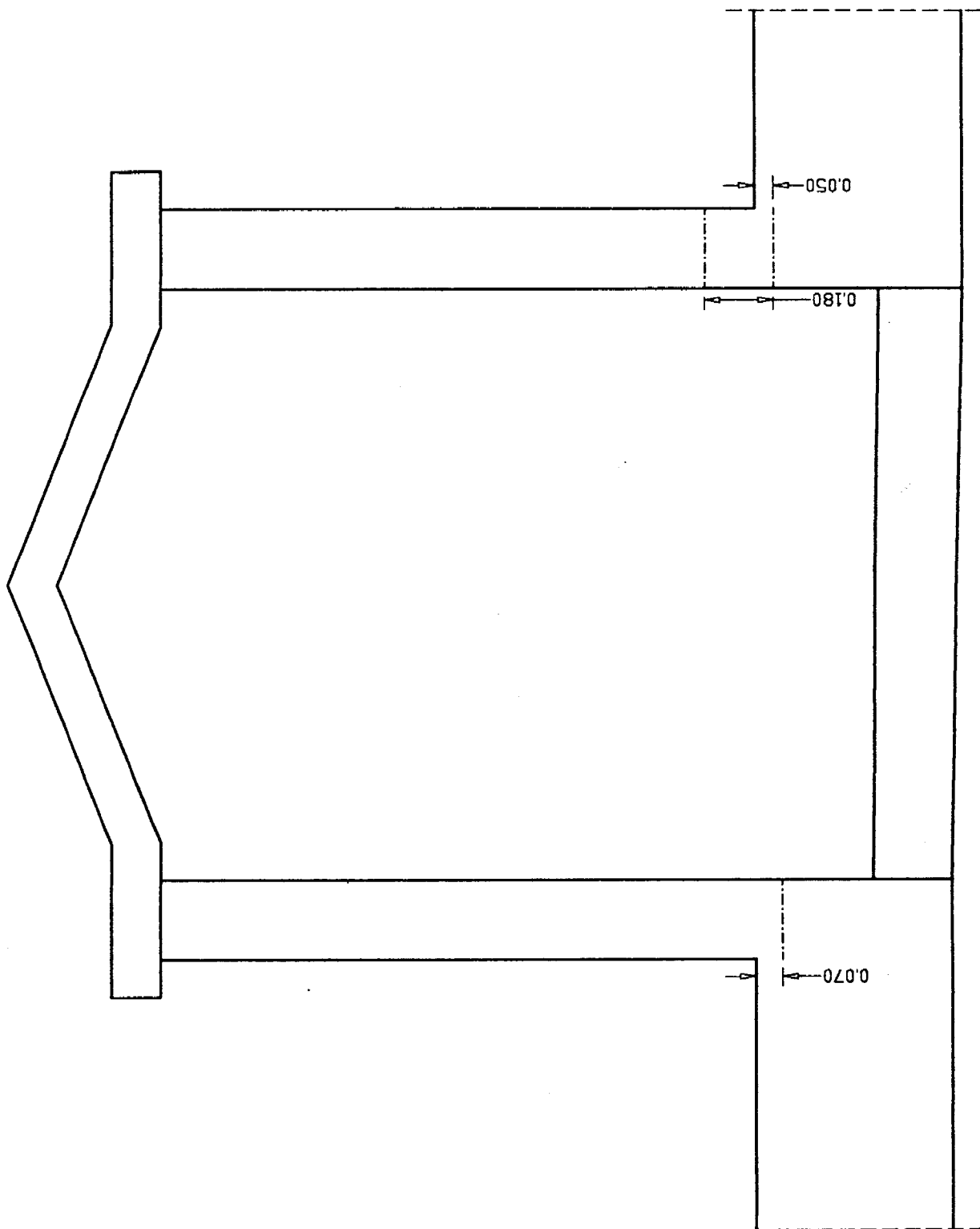
Στα σκαριφήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η παθολογική εικόνα της «πύλης» πριν τη δοκιμή (βλάβες και ρωγμές).

Ρωγμές, μάλλον ελαφρές – σχεδόν τριχοειδείς, εντοπίσθηκαν μόνο στους πόδες των δύο υποστυλωμάτων και όχι στις κεφαλές τους.

Δυτική κύρια όψη (πρόσοψη)

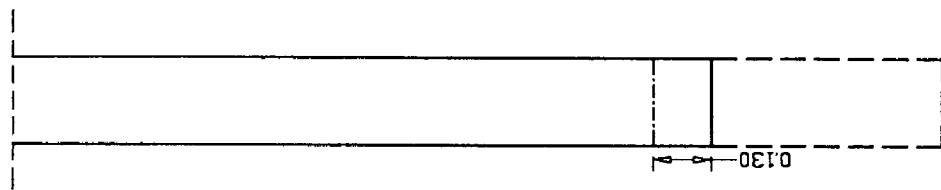


Ανατολική όψη

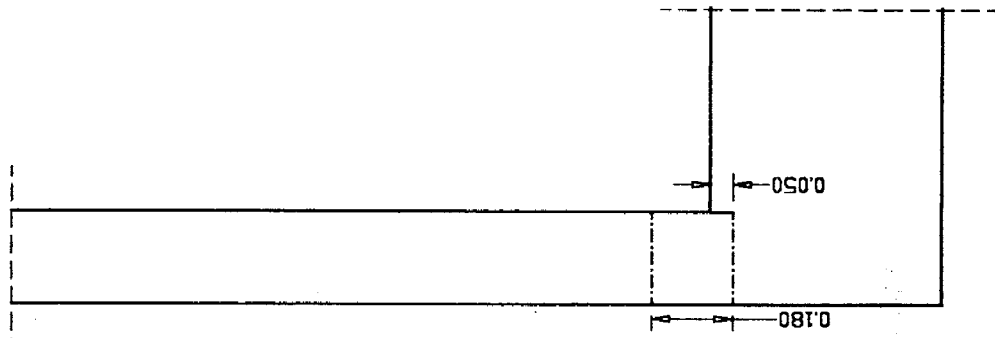


Υποστύλωμα προς Β
Προϋπάρχουσες ρωγμές

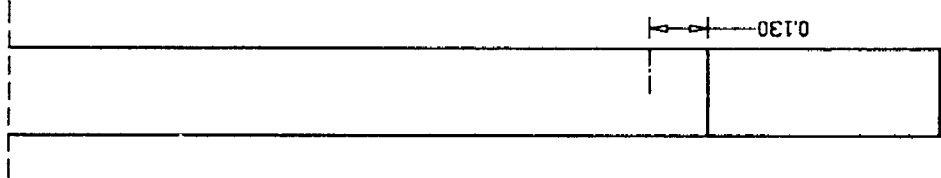
Βόρεια όψη



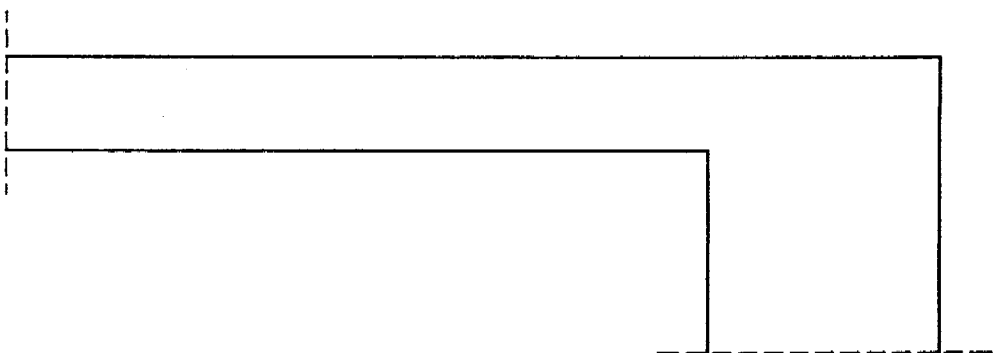
Ανατολική όψη



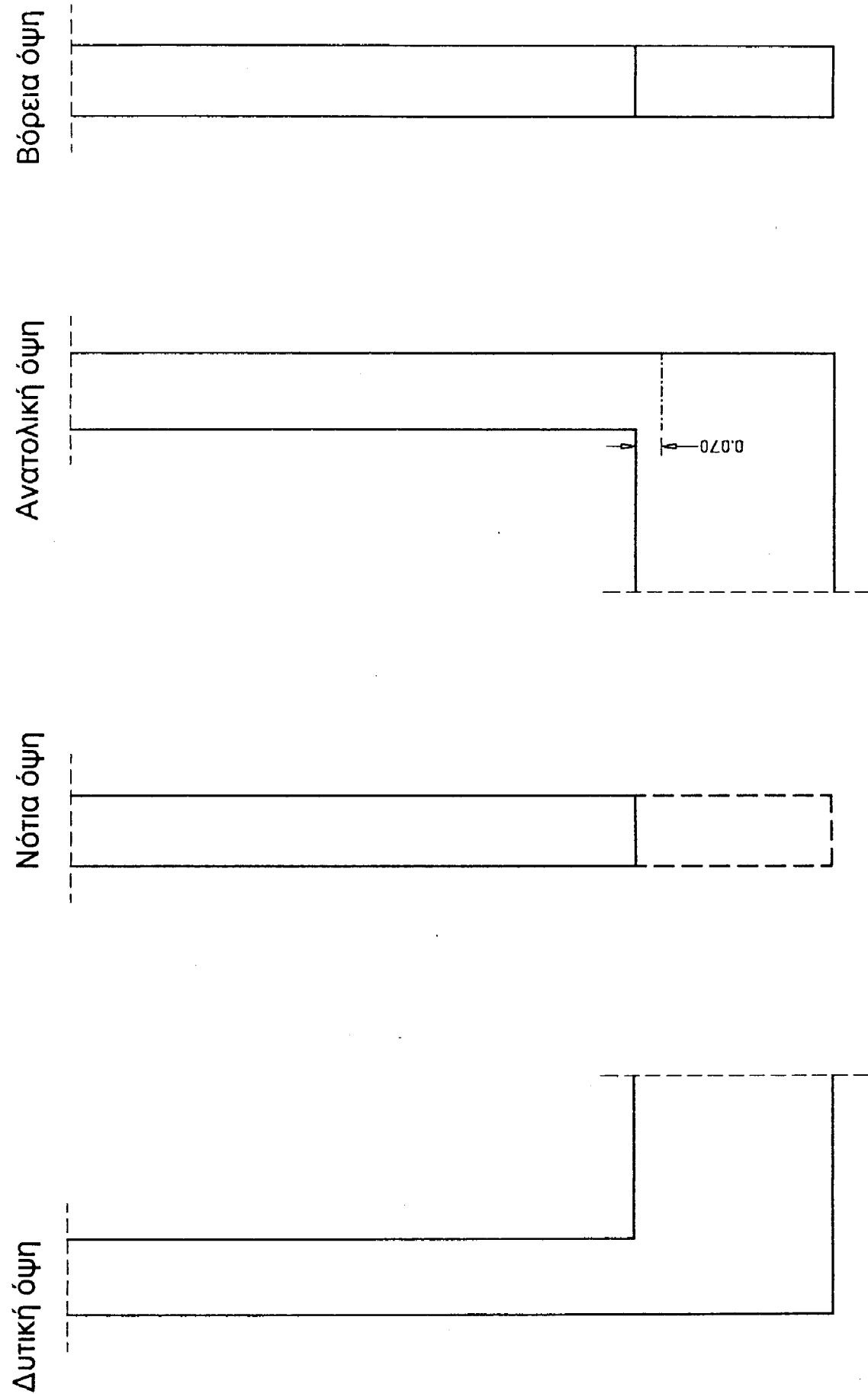
Νότια όψη



Δυτική όψη



Υποστύλωμα προς Ν
Προϋπάρχουσες ρωγμές



2.3 Ομοιομορφία και ποιότητα σκυροδέματος

Για την εκτίμηση της ποιότητας του σκυροδέματος έγιναν μετρήσεις με συσκευή υπερήχων και με κρουσίμετρο αναπηδήσεως. Οι θέσεις ελέγχου κατανεμήθηκαν σε όλο το ύψος και σε όλες τις πλευρές των στύλων.

Κατά την αξιοποίηση των μετρήσεων πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η απόκλιση της μεθόδου της υπερηχοσκόπησης είναι γενικώς μικρότερη από ότι της μεθόδου της κρουσιμέτρησης και ότι η αναγωγή των ενδείξεων σε αντοχή πυρήνος έγινε με βάση καμπύλες που έχουν προκύψει από στοιχεία για «Ελληνικά» σκυροδέματα.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων συγκεντρώνονται στους ακόλουθους πίνακες :

Υπερηχοσκόπηση					
Θέση ελέγχου	Μήκος διάδοσης (mm)	Χρόνος (μsec)	Ταχύτητα (km/sec)	Αναγωγή σε αντοχή πυρήνος (MPa)	Μέση τιμή : 25 MPa
1	194	46	4200	27	
2	204	50	4100	26	
3	194	45	4300	28	
4	205	51	4000	25	
5	195	46	4200	27	
6	200	54	3700	22	
7	200	53	3750	22.5	
8	190	47	4000	25	

Κρουσιμέτρηση												
Τιμές δείκτη οργάνου	37	33	36	34	35	40	38	34	38	39	35	33
Αναγωγή σε αντοχή πυρήνος (MPa)	27	23	26	24	25	30	28	24	28	29	25	23
Μέση τιμή : 26 MPa												

Με βάση αυτές τις ενδείξεις, η ομοιομορφία του σκυροδέματος είναι αρκετά καλή (με εύρος τιμών αντοχών από 22 έως 30 MPa).

Επιπλέον, προκειμένου να εκτιμηθεί μία επικρατούσα / συχνότερη τιμή για την αντοχή του σκυροδέματος, πρέπει να γίνει συνδυασμός των ενδείξεων των παραπάνω μεθόδων με τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών που εκτελέσθηκαν από το Κ.Ε.Δ.Ε., Τμήμα Τεχνικών Υλικών και Στοιχείων (βλ. σχετικό επισυναπτόμενο έγγραφο με αρ. πρωτ. οίκ.Δ14γ/39618/1343).

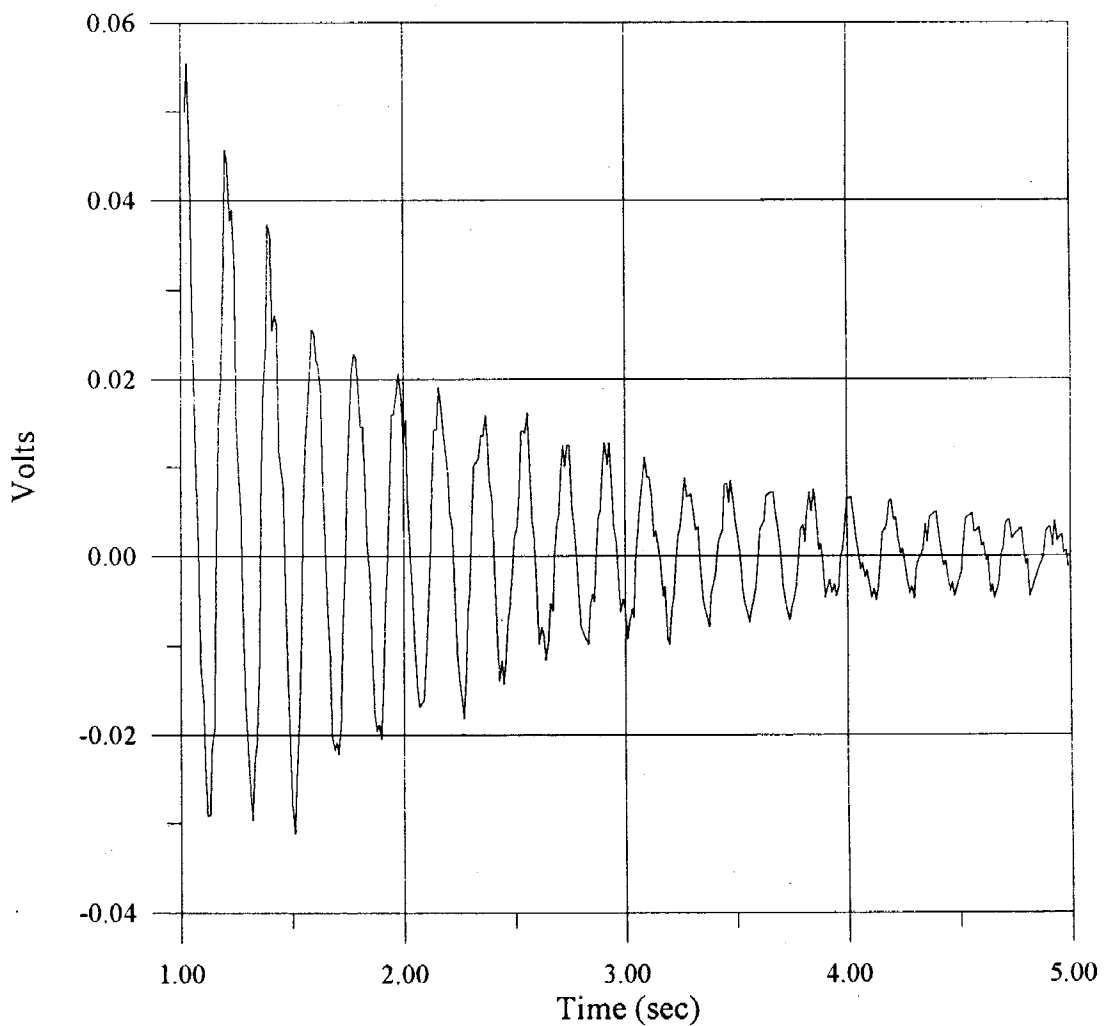
Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη και τα αποτελέσματα των δοκιμών θλίψης ($f_c = 24.8$ και 30.0 MPa) υιοθετείται για τους ελέγχους τιμή αντοχής πυρήνος ($\varnothing = h = 100\text{mm}$) της τάξεως των 25 MPa . Η εφελκυστική αντοχή από διάρρηξη βρέθηκε της τάξεως των 2.0 MPa ($f_t / f_c \cong 1: 12.5$), σχετικώς χαμηλή.

2.4 Δυναμικά χαρακτηριστικά

Η ιδιοπερίοδος και η απόσβεση της κατασκευής εκτιμήθηκαν με χρήση τριών επιταχυνσιομέτρων που τοποθετήθηκαν στις κορυφές των στύλων και στη μέση του "ζυγώματος". Οι μετρήσεις έγιναν μετά την ολοκλήρωση της φόρτισης. Σχετικώς, εκτιμήθηκαν τα εξής :

Ιδιοπερίοδος $T \cong 0.19 \text{ sec}$

$$\text{Συντελεστής απόσβεσης } \zeta = \frac{1}{N} \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{A_o}{A_N}\right) \cong 4.4\%$$

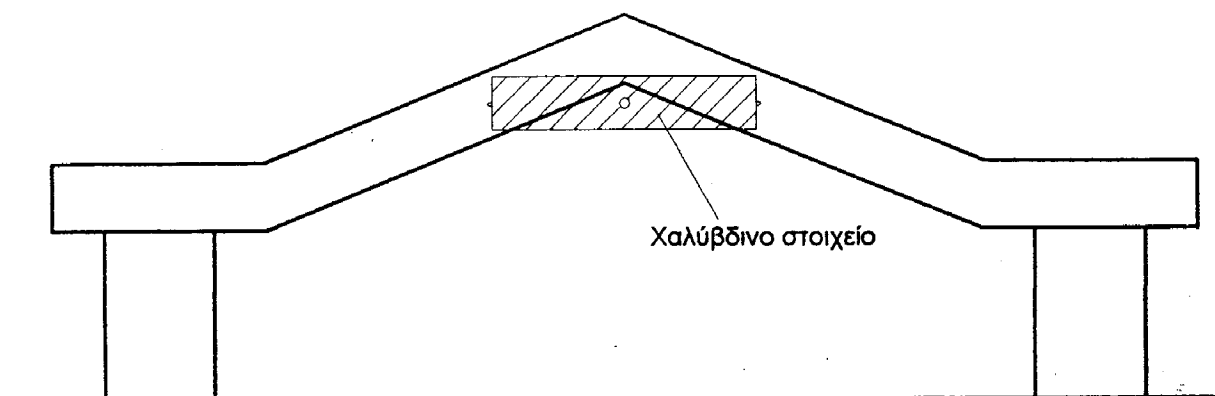


Ελεύθερη ταλάντωση μετά από κρούση. Χρονοϊστορία επιτάχυνσης.

2.5 Δοκιμαστική φόρτιση

Η φόρτιση συνίσταται στην επιβολή οριζόντιων επαναλαμβανόμενων δυνάμεων (μέγιστη τιμή 11.4 kN) μέσω κατάλληλου γρύλου (Enerpac RC 104.0.D6B, ικανότητας 10t).

Η θέση επιβολής του φορτίου παρουσιάζεται στο παρακάτω σκαρίφημα.



Έτσι, ο «μοχλοβραχίονας» μεταξύ στάθμης επιβολής του φορτίου και θεωρητικής «πάκτωσης» των στύλων στο στηθαίο της προσόψεως είναι της τάξεως του 1.79m.

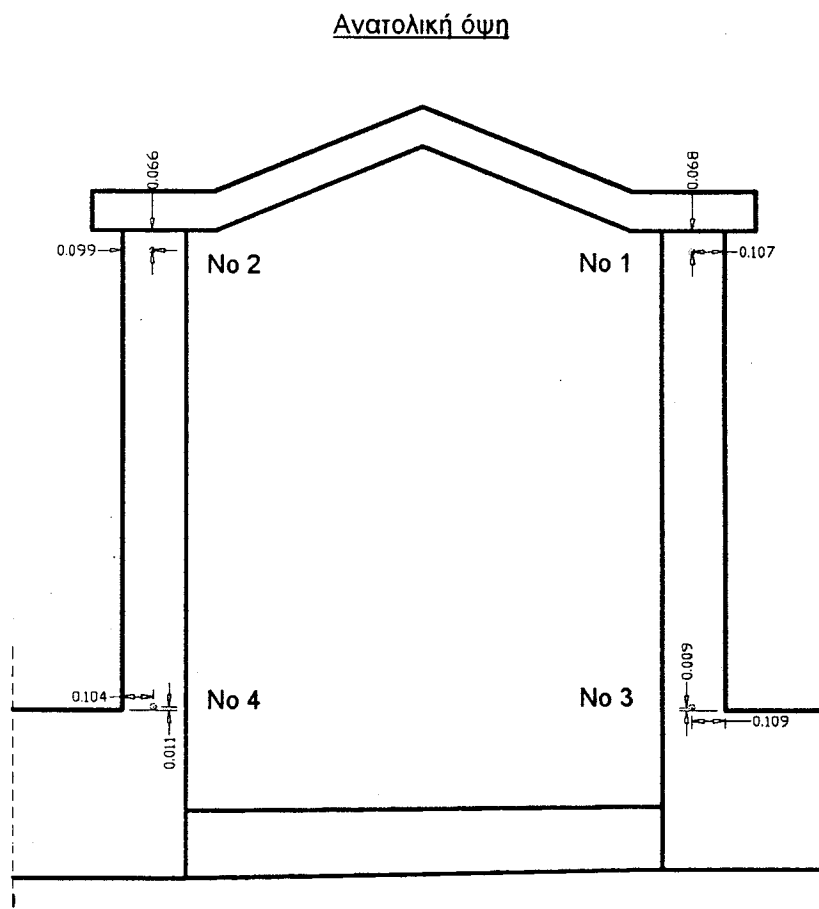
2.5.1 Φορτία – Μετακινήσεις

Για την καταγραφή των επιβαλλόμενων μετακινήσεων, σε κάθε υποστύλωμα τοποθετήθηκαν (στην ανατολική παρειά), τέσσερα (4) επαγωγικά βελόμετρα (της TML, τύπου SDP-200 και CDP-100), στις θέσεις που φαίνονται στο ακόλουθο σκαρίφημα.

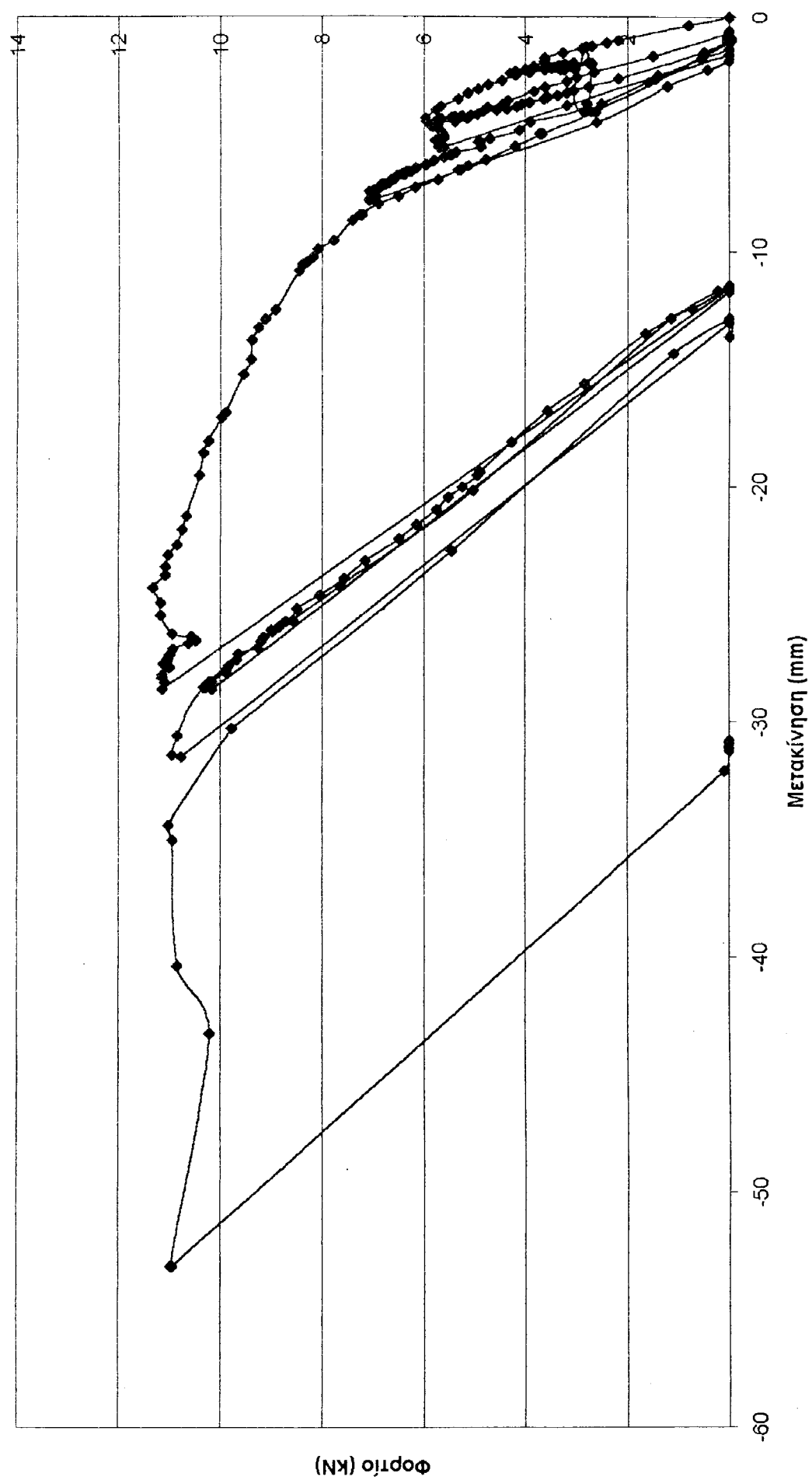
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα φορτίου – μετακίνησης για τα τέσσερα βελόμετρα που χρησιμοποιήθηκαν.

Όπως φαίνεται, η συμπεριφορά των δύο στύλων ήταν (σχεδόν) απολύτως ίδια σε όρους μετακινήσεων, τόσο στην κεφαλή όσο και στον πόδα.

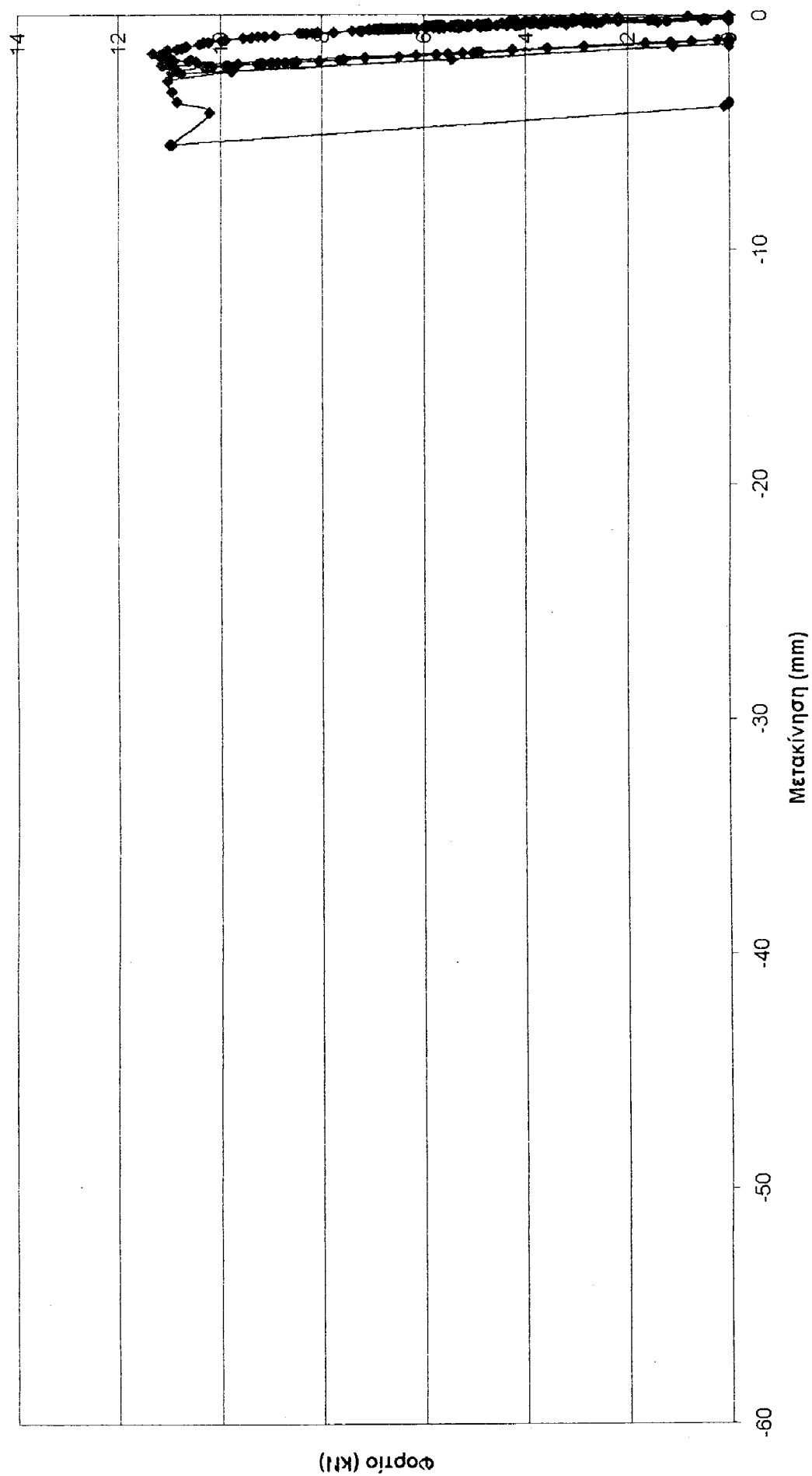
Σημειώνεται ότι το φορτίο που αναγράφεται στα διαγράμματα είναι το συνολικό, όπως μετρήθηκε στον γρύλο. Ανά στύλο, το φορτίο που έδρασε ήταν περίπου ίσο με το μισό (βλ. §2.6).



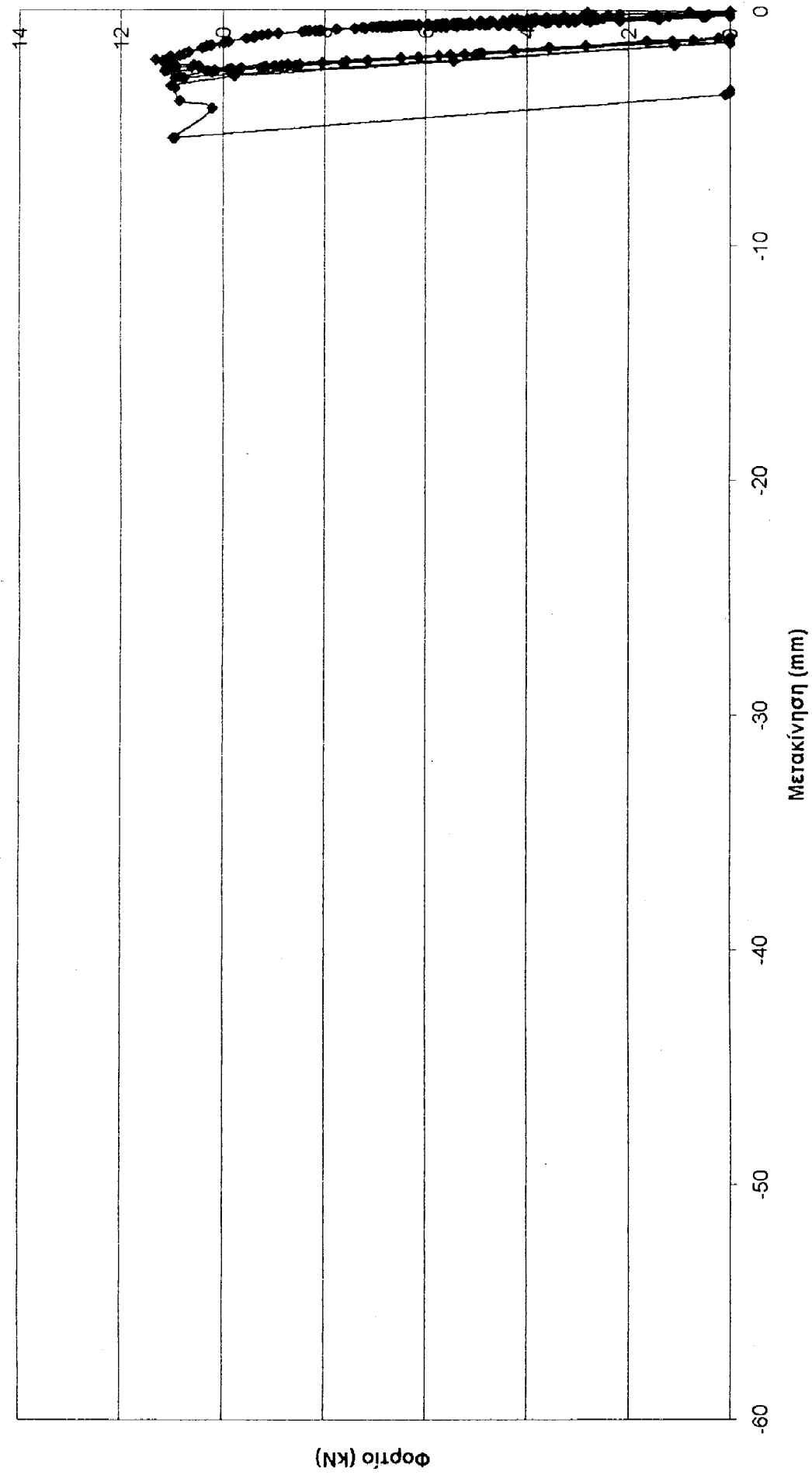
Βελόμετρο Νο. 2



Βελοόμετρο Νο. 3



Βελόμετρο Νο. 4



2.5.2 Φορτία – Παραμορφώσεις

Η καταγραφή των θλιπτικών παραμορφώσεων στις θέσεις μέγιστης έντασης (περίπου), έγινε με τη χρήση ηλεκτρομηκυνσιομέτρων.

Τα ηλεκτρομηκυνσιόμετρα (τέσσερα συνολικώς) τοποθετήθηκαν στην ανατολική παρειά των υποστυλωμάτων (θλιβόμενη) στις θέσεις που φαίνονται στα σκαριφήματα.

Επιπλέον, τοποθετήθηκαν πέντε (5) ακροδέκτες σε κάθε υποστύλωμα (στη δυτική / εφελκυσμένη παρειά) στο ίδιο περίπου ύψος με τα ηλεκτρομηκυνσιόμετρα, όπως φαίνεται και στα σκαριφήματα.

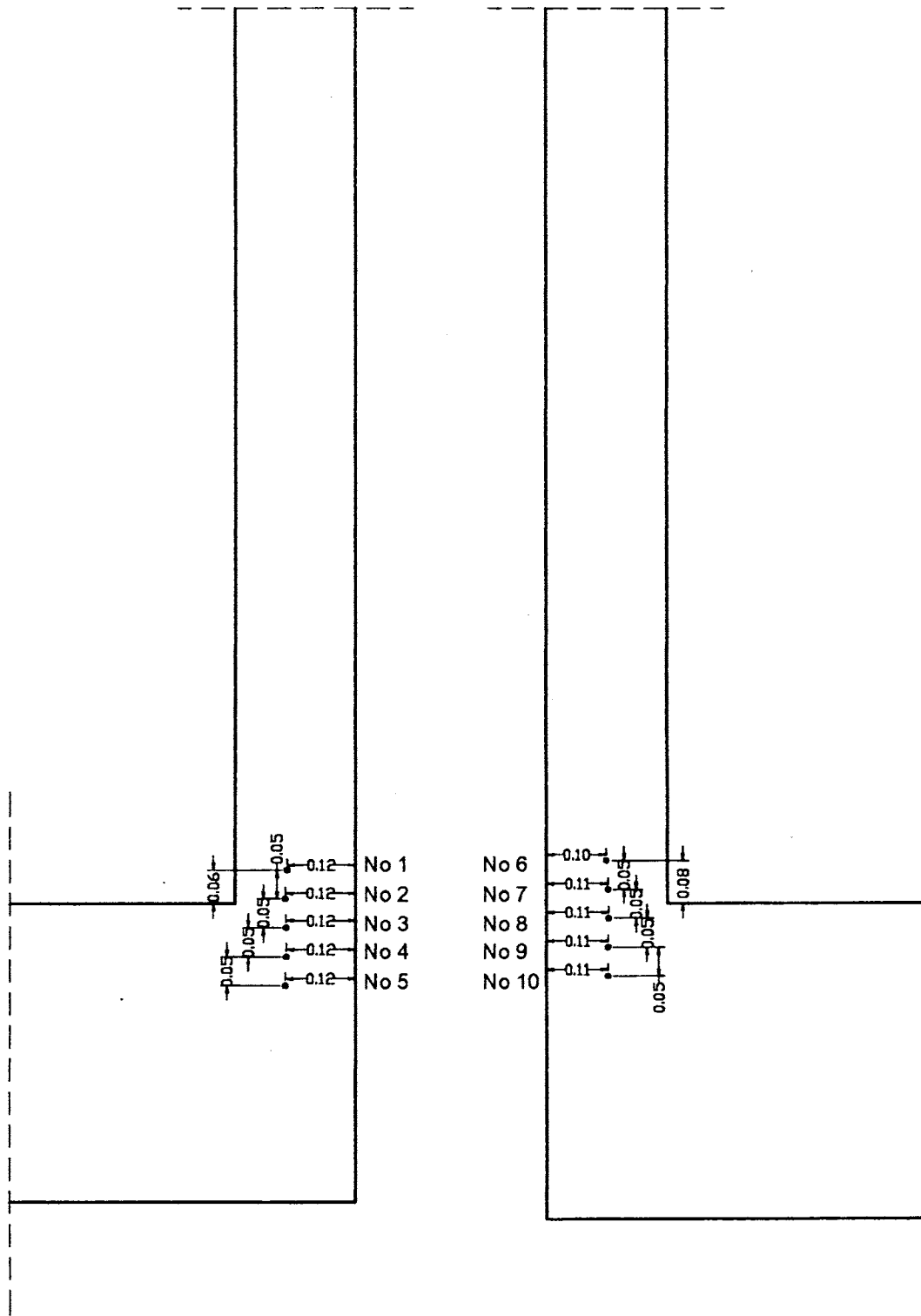
Οι ανηγμένες παραμορφώσεις που προέκυψαν από την επεξεργασία των ενδείξεων παρουσιάζονται υπό τη μορφή διαγραμμάτων (ηλεκτρομηκυνσιόμετρα) και πινάκων (ακροδέκτες).

Ακροδέκτες	Κατάσταση φόρτισης		
	Μετά την 1η αποφόρτιση	Κατά το μέγιστο φορτίο	Μετά την δοκιμή
1 – 2	0.592%	1.183%	0.237%
2 – 3	0.000%	0.119%	-0.358%
3 – 4	4.698%	163.490%	10.872%
4 – 5	0.261%	-1.699%	-0.784%
6 – 7	0.358%	0.477%	-0.238%
7 – 8	0.118%	0.118%	-0.471%
8 – 9	5.967%	198.449%	-1.432%
9 – 10	—	—	—

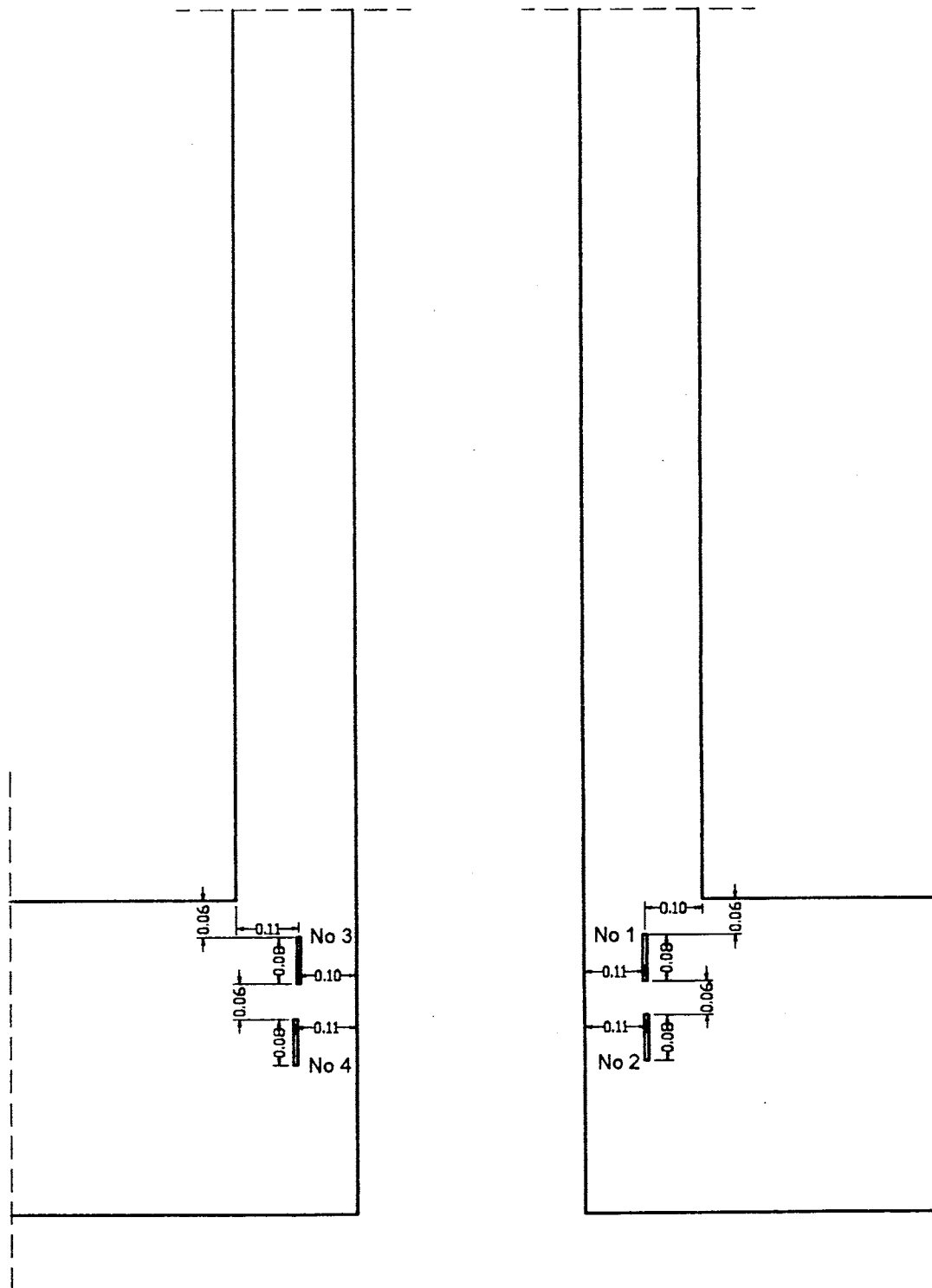
Όπως παρουσιάζεται, και σε όρους ανηγμένων παραμορφώσεων, η συμπεριφορά των δύο στύλων ήταν (σχεδόν) απολύτως ίδια, τουλάχιστον στις περιοχές ελέγχου (πόδες).

Μεταξύ των ακροδεκτών 3 – 4 και 8 – 9 παρουσιάσθηκαν ρωγμές κατά τη φόρτιση.

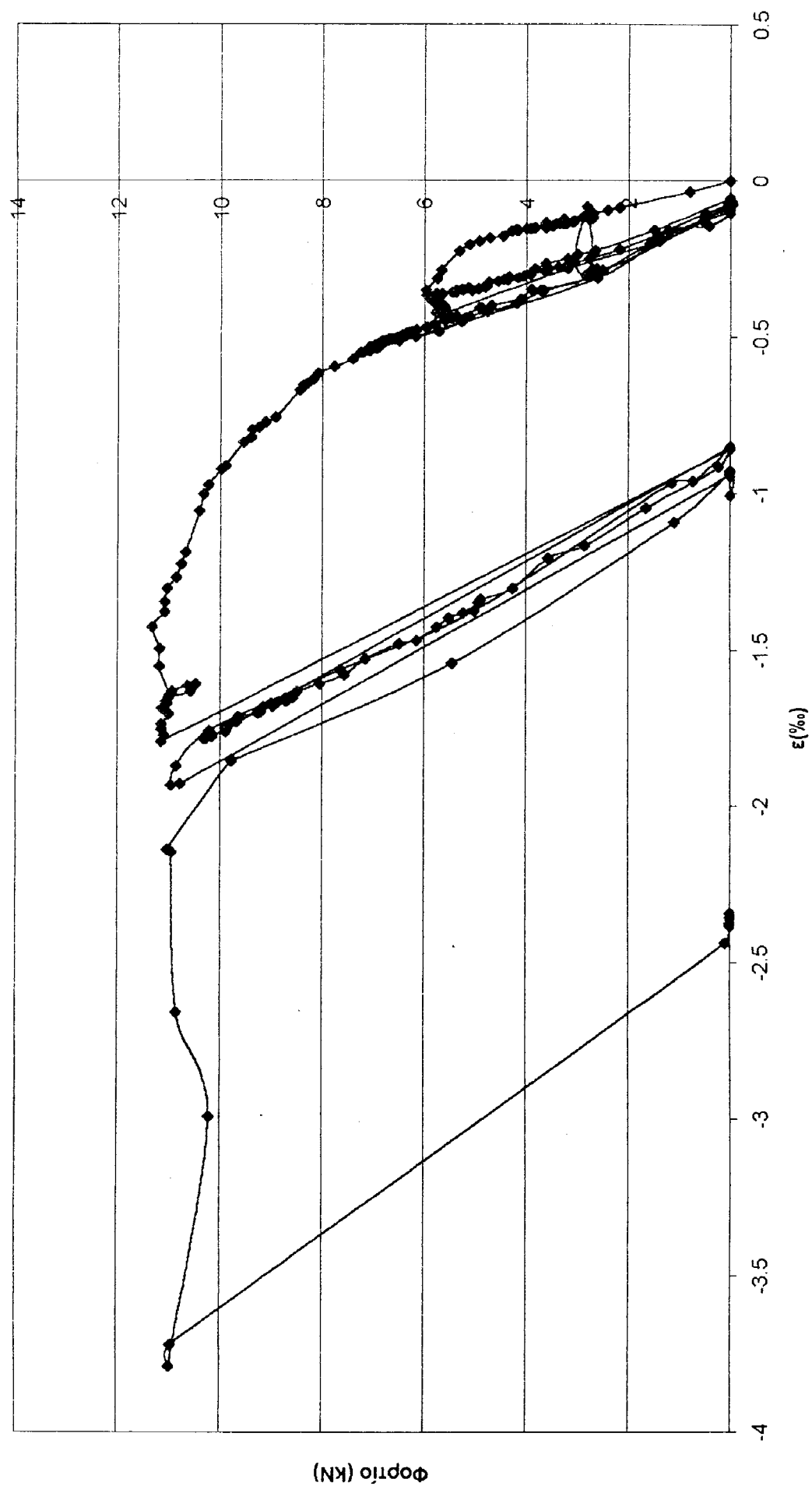
Δυτική όψη
Θέση ακροδεκτών



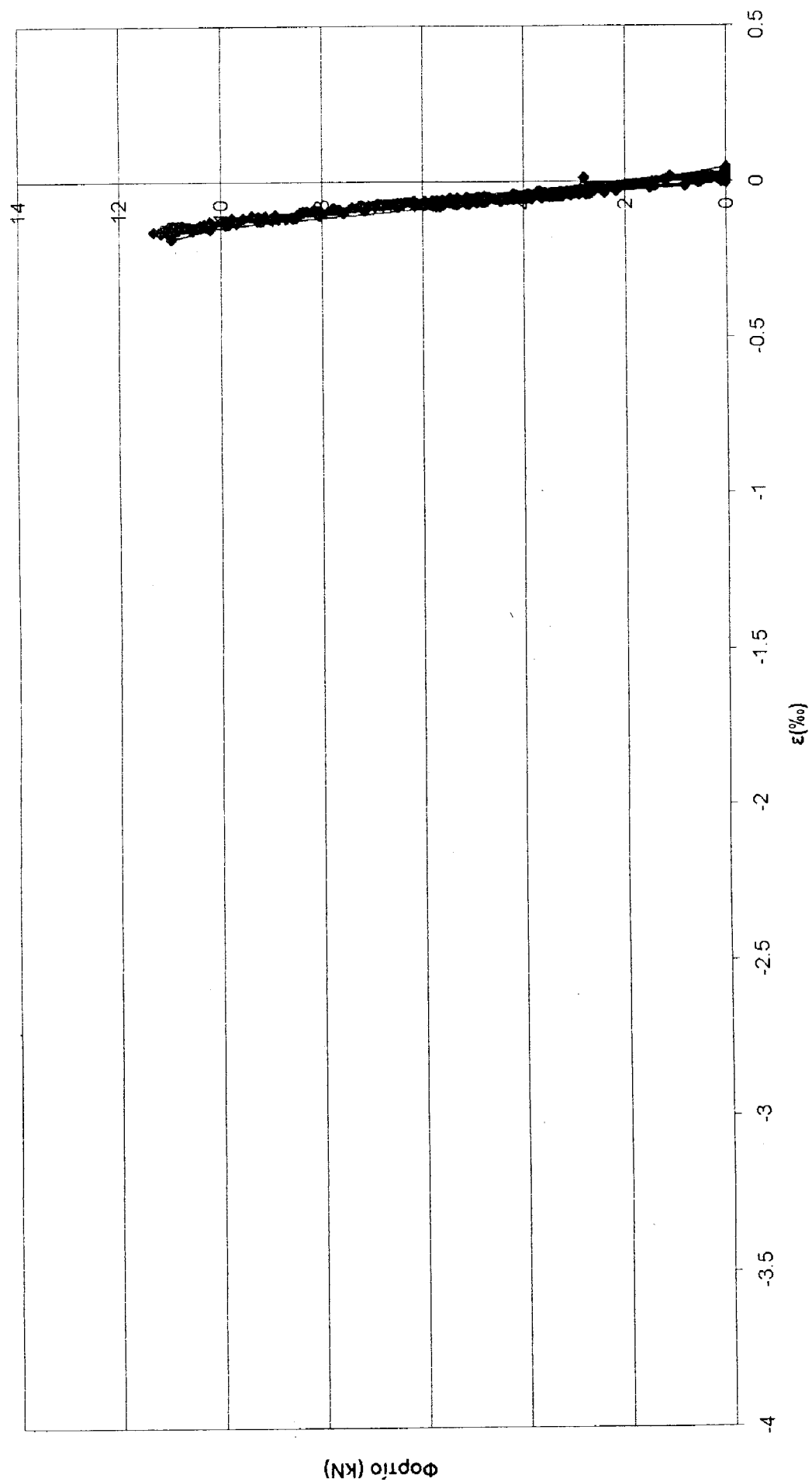
Ανατολική όψη
Θέση ηλεκτρομηκυνσιομέτρων



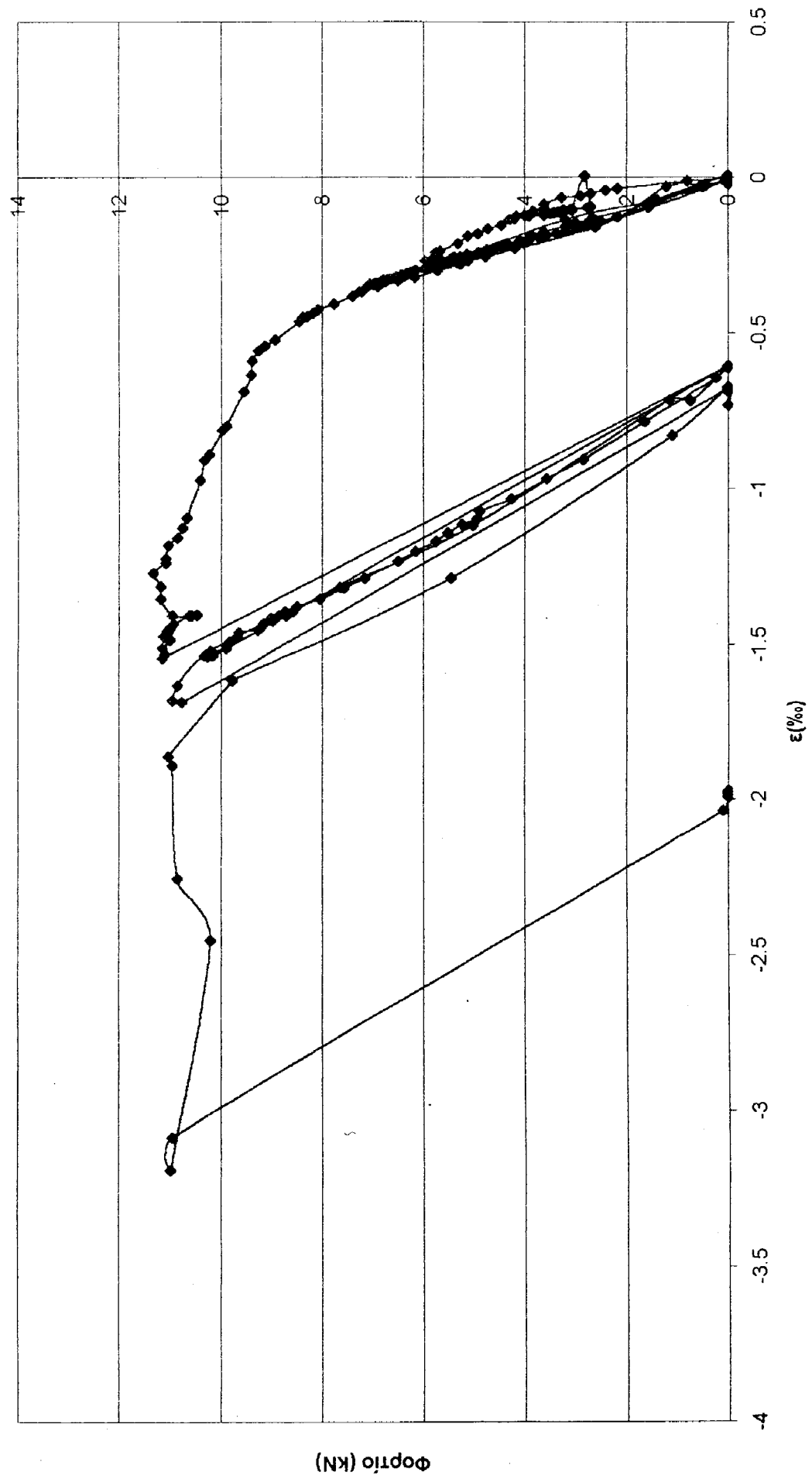
Ηλεκτρομηκυστόμετρο Νο. 1



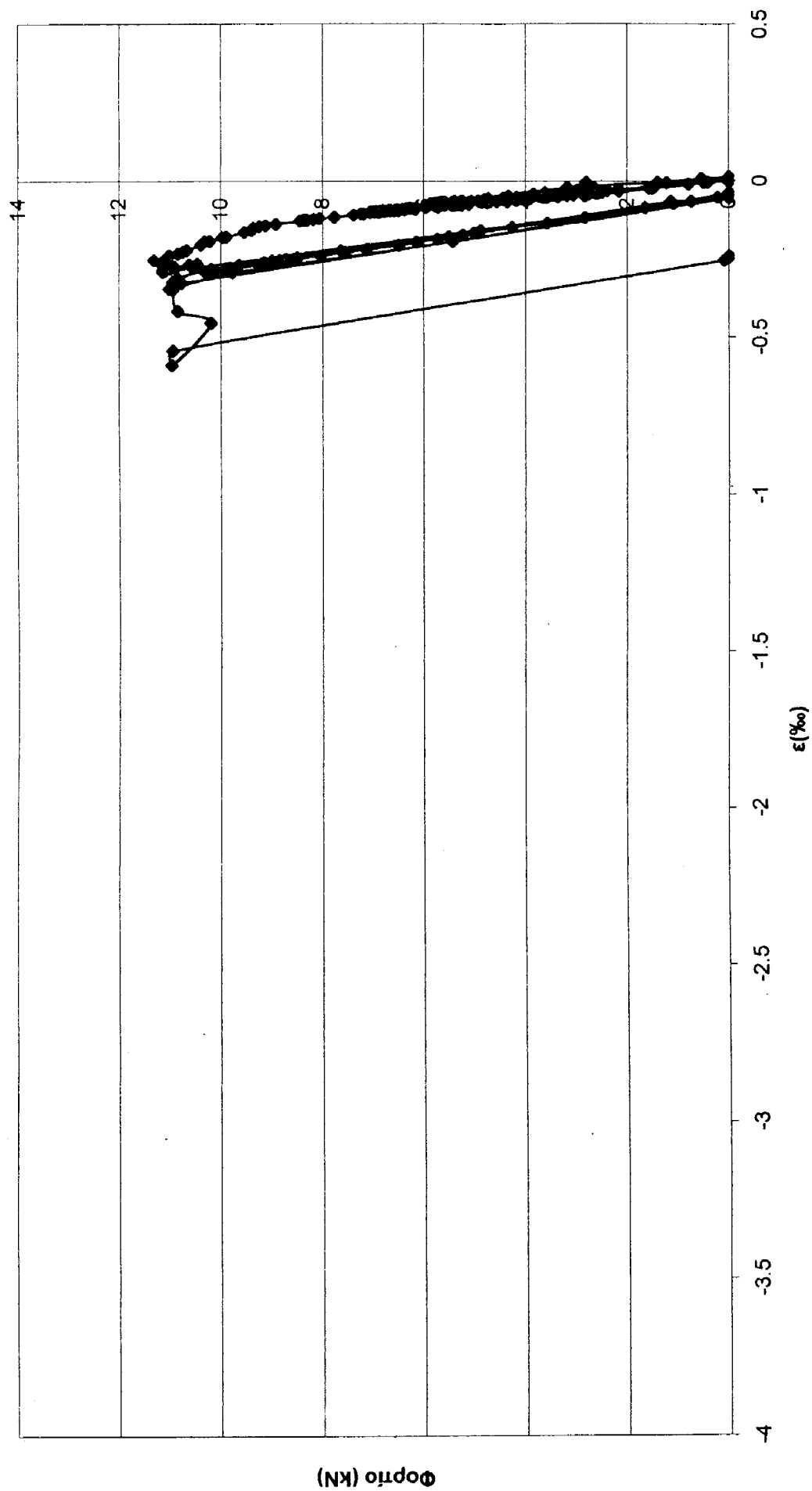
Ηλεκτρομηκυνσίόμετρο Νο. 2



Ηλεκτρομηκυσιόμετρο Νο. 3

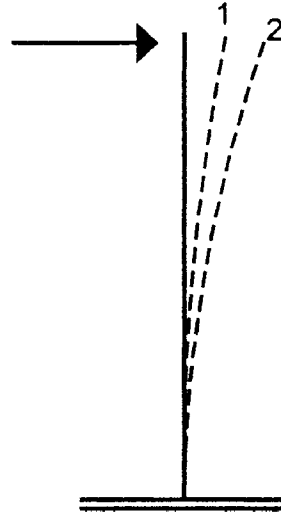


Ηλεκτρομηκυσιόμετρο Νο.4



2.5.3 Αποκλίσεις

Οι αποκλίσεις μετρήθηκαν με απλά μέσα, στο ύψος των στύλων.



α. Υποστύλωμα προς Β.

1 = Πριν τη δοκιμή : κλίση ~ - 0.30%

2 = Μετά τη δοκιμή : κλίση ~ +2.00%

β. Υποστύλωμα προς Ν.

1 = Πριν τη δοκιμή : κλίση ~ +0.10%

2 = Μετά τη δοκιμή : κλίση ~ +2.10%

2.5.4 Ρωγμές

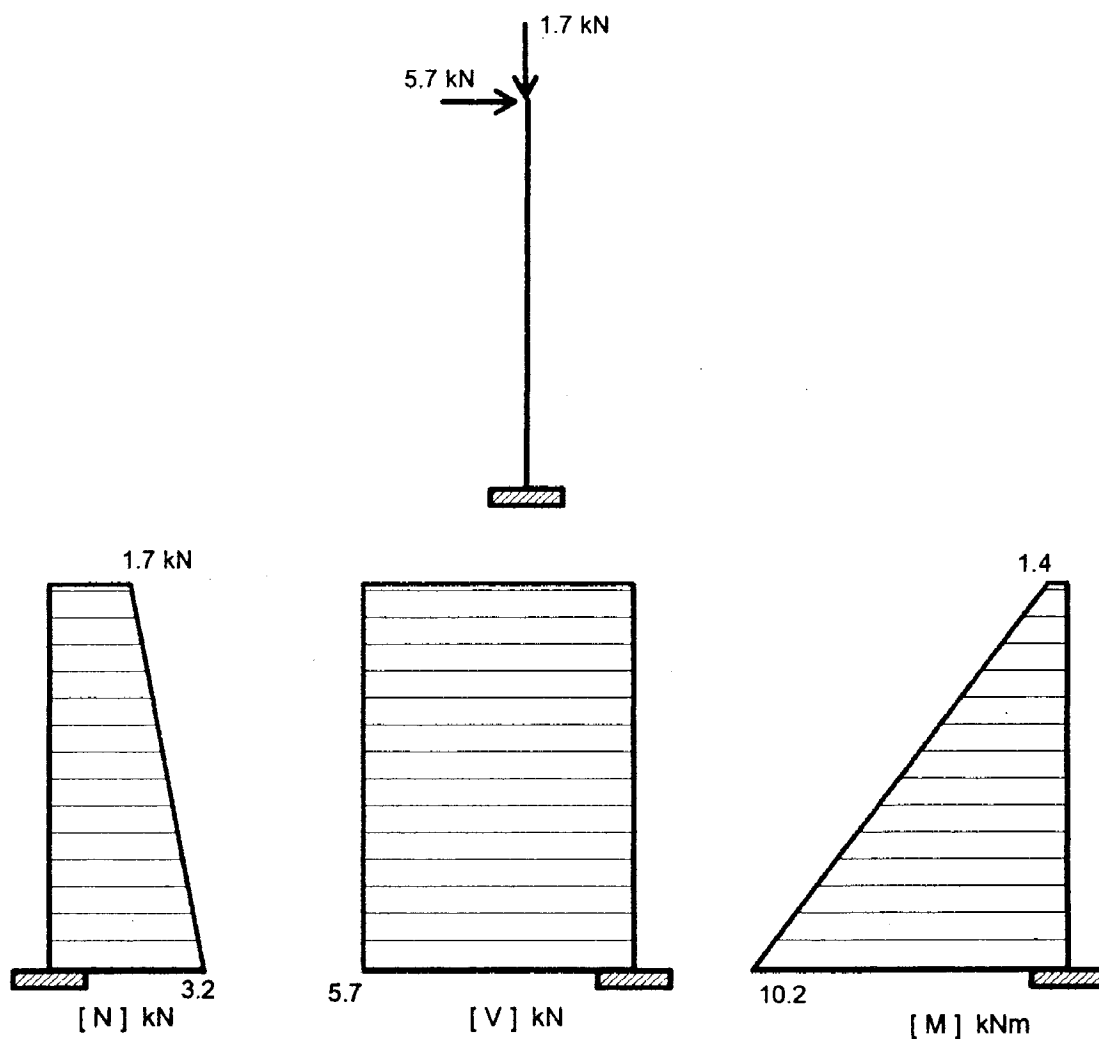
Στα επόμενα σκαριφήματα παρουσιάζονται οι θέσεις και τα εύρη (σε mm) των ρωγμών που εμφανίσθηκαν α) υπό το μέγιστο φορτίο και β) μετά την αποφόρτιση

Οι ρωγμές αυτές, κατ' εξοχήν καμπτικές, αποτέλεσαν μία νέα γενιά ρωγμών, δεν ήσαν διαμπερείς, και έφθαναν περίπου στο μισό πλάτος της διατομής των στύλων.

Οι αρχικές ρωγμές (βλ. §2.2) κατά τη φόρτιση δεν διευρύνθηκαν διότι βρίσκονταν στην θλιβόμενη παρειά των υποστυλωμάτων.

2.6 Διαγράμματα εντατικών μεγεθών

Λαμβάνοντας υπόψη ότι το φορτίο που έδρασε σε κάθε στύλο ήταν περίπου ίσο με το μισό του επιβαλλόμενου μέσω του γρύλου (βλ. § 2.5.1 και § 2.5.2), τα διαγράμματα εντατικών μεγεθών υπό το μέγιστο φορτίο, για κάθε στύλο, έχουν ως εξής :



Κατά την δοκιμή δεν παρατηρήθηκαν φαινόμενα ή ενδείξεις ταυτόχρονης καταπόνησης (έστω ελαφράς) εντός επιπέδου. Επίσης δεν παρατηρήθηκε στροφή στους πόδες των στύλων, στις περιοχές «πακτώσεως».

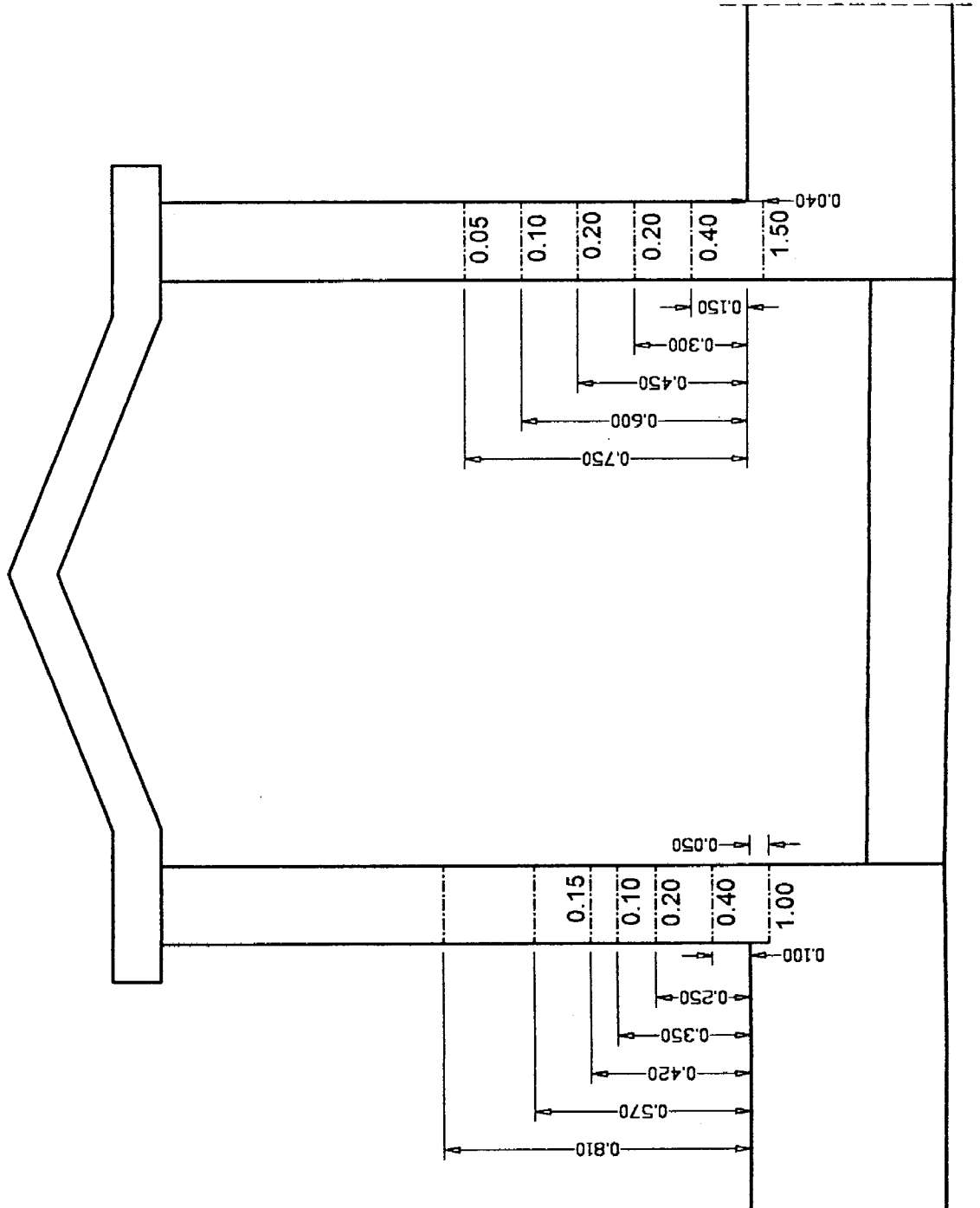
Σημείωση

Τα αποτελέσματα των ενόργανων μετρήσεων έδειξαν σχεδόν απολύτως ίδια συμπεριφορά των στύλων της μικρής πύλης, παρά τις έντονες διαφορές τόσο ως προς την όπλισή τους όσο και ως προς την σύνδεση με το «ζύγωμα» - σκέπαστρο.

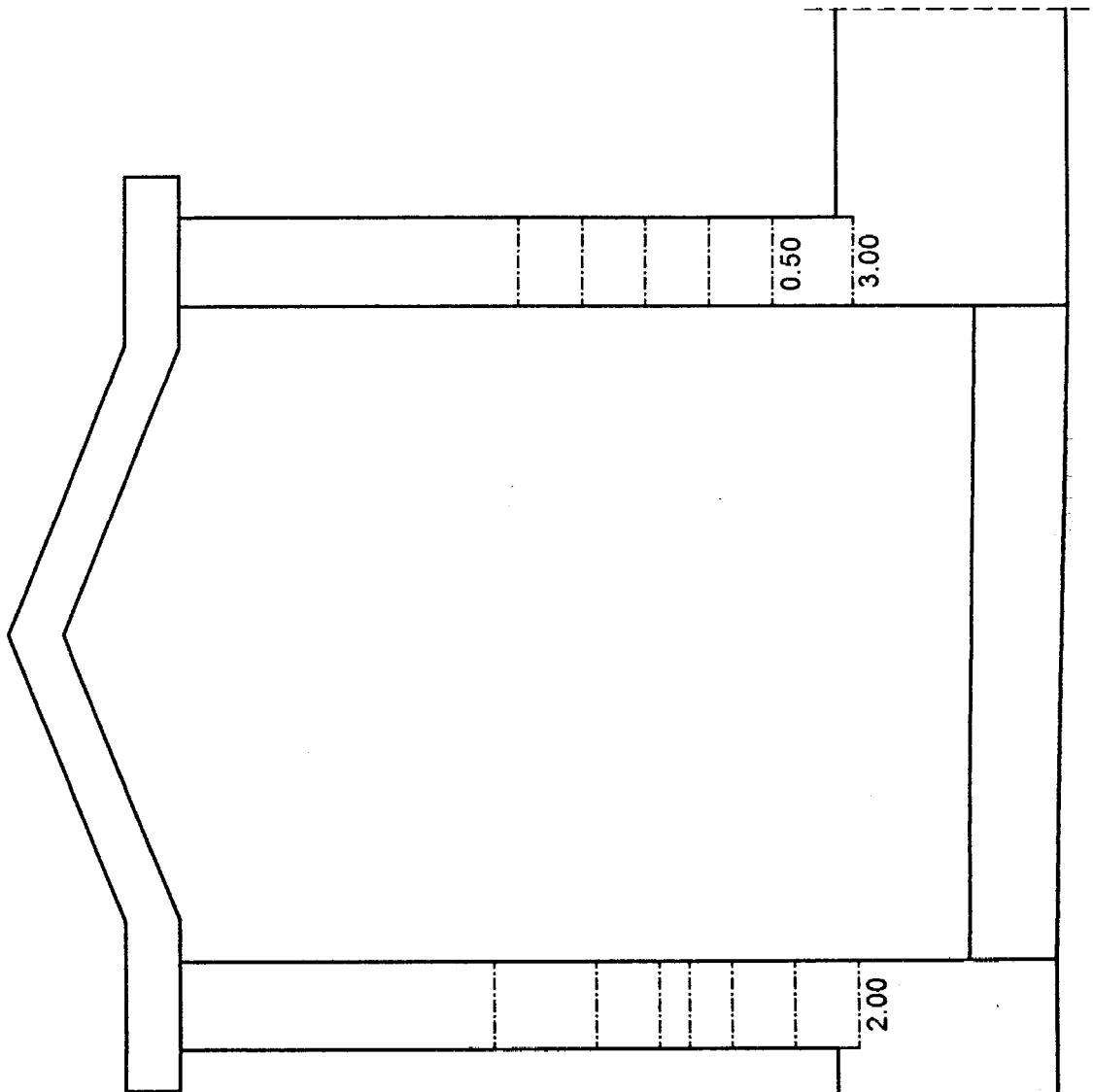
Βεβαίως, υπό έντονες και μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις, σε κατάσταση αστοχίας, θα παρουσιάζονταν διαφορές στην απόκριση των στύλων, αναλόγως των λεπτομερειών οπλίσεως.

α) Μέγιστο φορτίο

Δυτική κύρια όψη (πρόσοψη)



Δυτική κύρια όψη (πρόσοψη)



2.7 Αξιολόγηση

Στον συγκεντρωτικό πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται όλα τα στοιχεία και οι ενδείξεις της πειραματικής έρευνας για την μικρή πύλη, ενώ δίνονται και τα θεωρητικά διαγράμματα ροπών καμπυλοτήτων ($M - 1/r$) στη βάση των στύλων και για δύο (2) στάθμες αξονικής δύναμης, με βάση ειδικό λογισμικό.

Οι θεωρητικές τιμές της ροπής διαρροής και της αντίστοιχης καμπυλότητας διαρροής εκτιμώνται ως εξής :

$$— M_y \cong 8.50 \text{ kNm (κατά μέσον όρον)}$$

$$— (1/r)_y \cong 20.0 \text{ ‰ m}^{-1},$$

ενώ για τη ρηγμάτωση τα αντίστοιχα μεγέθη είναι :

$$— M_{cr} \cong 7.15 \text{ kNm}$$

$$— (1/r)_{cr} \cong 15.0 \text{ ‰ m}^{-1}.$$

Ετσι, τα σχετικά θεωρητικά βέλη έχουν ως εξής :

$$— \delta_y \cong \frac{1}{3} \cdot \ell^2 \cdot (1/r)_y \cong 21.5 \text{ mm} \quad (\ell = 1.79 \text{ m})$$

$$— \delta_{cr} \cong \frac{1}{3} \cdot \ell^2 \cdot (1/r)_{cr} \cong 16.0 \text{ mm}.$$

Δηλαδή, θεωρητικώς (με βάση αυτά τα διαγράμματα $M - 1/r$) αναμένονταν βέλη περίπου ίσα με αυτά που μετρήθηκαν κατά τη διαρροή και περίπου διπλάσια αυτών που μετρήθηκαν κατά την ρηγμάτωση.

Στο κεφάλαιο 4 αυτής της έκθεσης – μελέτης δίνεται πλήθος πρόσθετων στοιχείων για την βαθμονόμηση και αξιολόγηση όλων των ενδείξεων.

ΜΙΚΡΗ ΠΥΛΗ, ΣΥΓΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΕΝΔΕΙΞΕΩΝ

Α/α	Χαρακτηριστικά	Στύλος προς Β	Στύλος προς Ν
1	Διατομή, A_c	~ 0.2 x 0.2 m	~ 0.2 x 0.2 m
2	Σκυρόδεμα, $f_{cc, πυρ.}$ (MPa) $f_{ct, sp.}$ (MPa)	~ 25.00 ~ 2.00	
3	Οπλισμ., A_{st} (πόδας / κεφαλή) A_{sw}	4Ø8 + 4Ø4 / 4Ø8 + 2Ø4 Πρακτικώς 0	3Ø8 / 0 Πρακτικώς 0
4	Κύριες επικαλύψεις, c (mm)	5 ÷ 60	5 ÷ 40
5	Ένταση, N / V / M (kN, kNm)	1.7 ÷ 3.2 / 5.7 / 10.2	
6	Μετά την δοκιμασία, T (s) – ζ (%)	0.19 / 4.4	
7	Απόκλιση (%)	~ 2.3	~ 2.0
8	Ρωγμές, ποδός / κεφαλής άνοιγμα / απόσταση (mm)	Ναι / Όχι ≤ 1.0 / ~ 150	Ναι / Όχι ≤ 1.5 / ~ 150
9	Ρηγμάτωση, V_{cr} / M_{cr} – δ_{cr} , ϵ_c	4.0 kN / 7.15 kNm – 8.0mm, 0.5‰	
10	Διάρροή, V_y / M_y – δ_y , ϵ_c	5.7 kN / 10.20 kNm – 20.0mm, 1.0‰	

Διαγράμματα ροπών – καμπυλοτήτων στη βάση των στύλων
(ροπές εκτός του επιπέδου της πύλης)

«Παραδοχές»

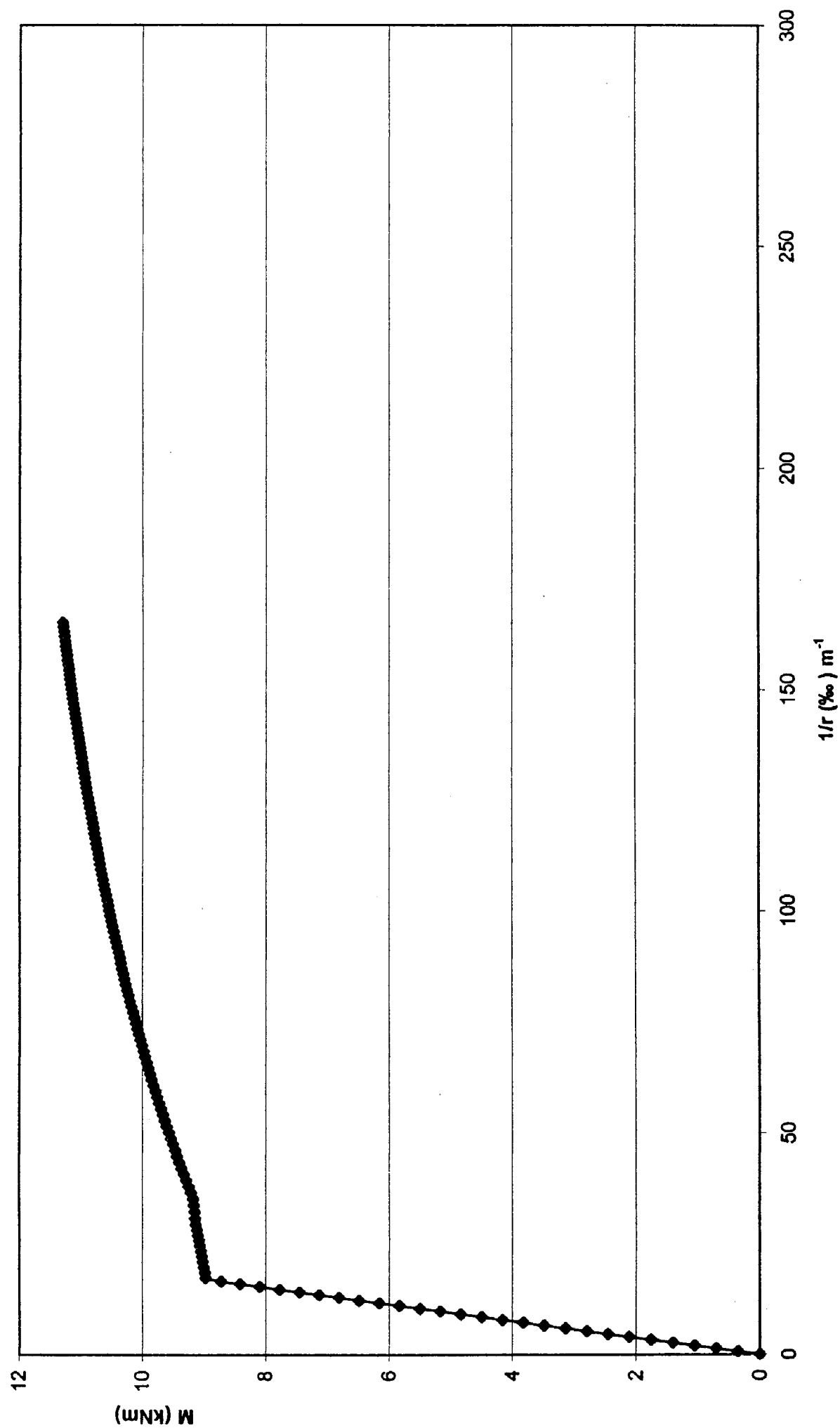
Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα στοιχεία και οι παραδοχές με βάση τις οποίες συντάχθηκε κάθε ένα από τα διαγράμματα ροπών - καμπυλοτήτων.

A/α Διαγράμματος	Στύλος	Αξονικό φορτίο (kN)	Διατομή, A _c (cm)	Επικαλύψεις, c _x / c _y (cm)	Οπλισή A _{st} / A _{sw}	Σκυρόδεμα, f _{cc} (MPa)	Χάλυβας, f _{sy} / f _{su} (MPa)
1	προς Β	0.0	21.0 x 19.5	3.5 x 2.5	4Ø8 + 4Ø4 / —	25	455 / 635
2	προς Β	6.5	21.0 x 19.5	3.5 x 2.5	4Ø8 + 4Ø4 / —	25	455 / 635
3	προς Ν	0.0	20.5 x 19.5	1.6 / 1.6	3Ø8 / —	25	455 / 635
4	προς Ν	6.5	20.5 x 19.5	1.6 / 1.6	3Ø8 / —	25	455 / 635

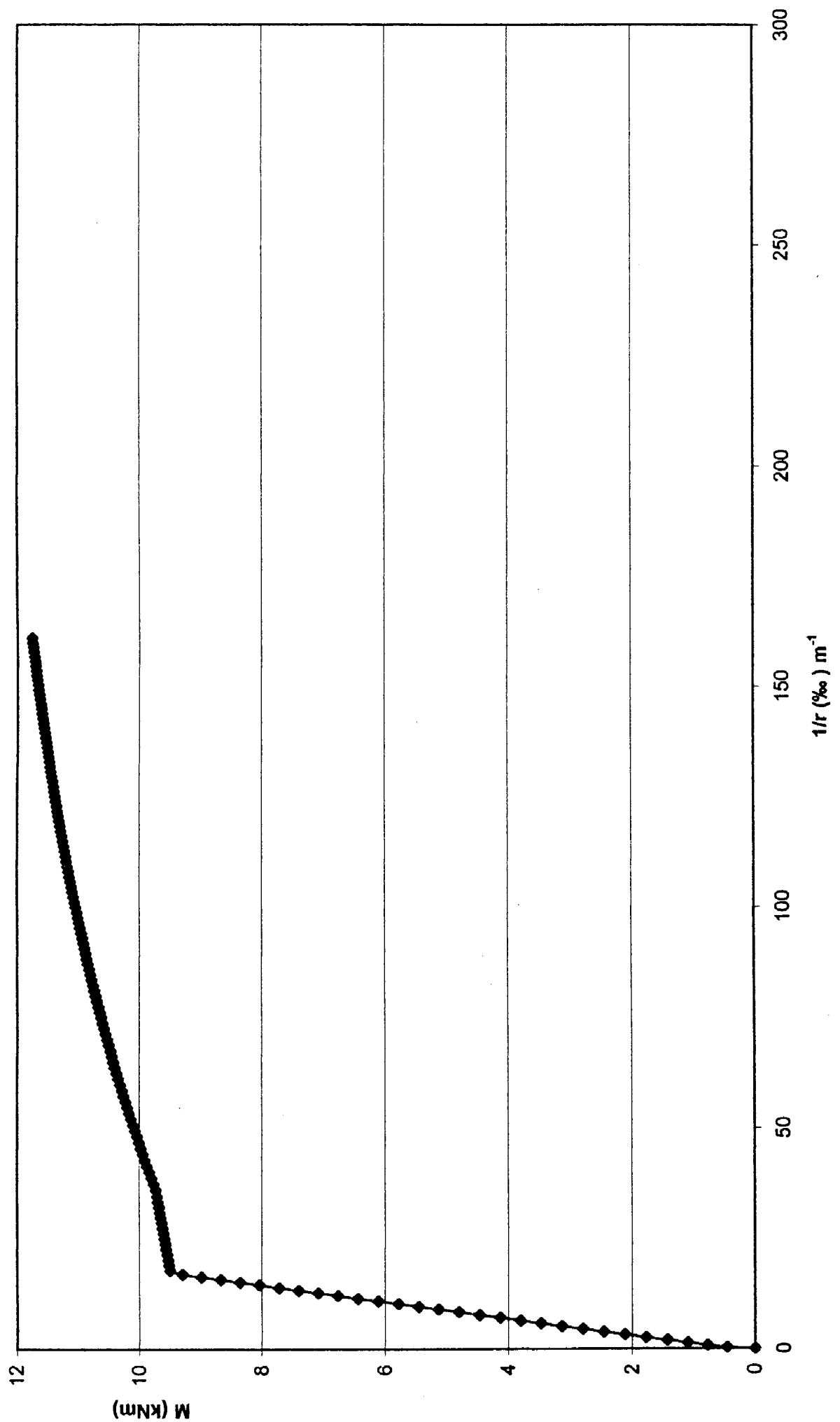
Σημειώσεις:

1. Ως επικάλυψη θεωρείται η απόσταση από την παρειά του στύλου μέχρι το κέντρο βάρους της ράβδου οπλισμού.
Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι μέσοι όροι των πολλών τιμών που μετρήθηκαν (βλ. και §2.1).
2. Για το σκυρόδεμα χρησιμοποιήθηκε ο «κλασσικός» νόμος $\sigma - \epsilon$ όπως έχει προταθεί στο MC / 90 του CEB.
3. Για τη συμπεριφορά του χάλυβα χρησιμοποιήθηκε ελαστοπλαστικό προσομοίωμα με παραβολικό κλάδο κράτησης ($\epsilon_{sh} = 5\%$).

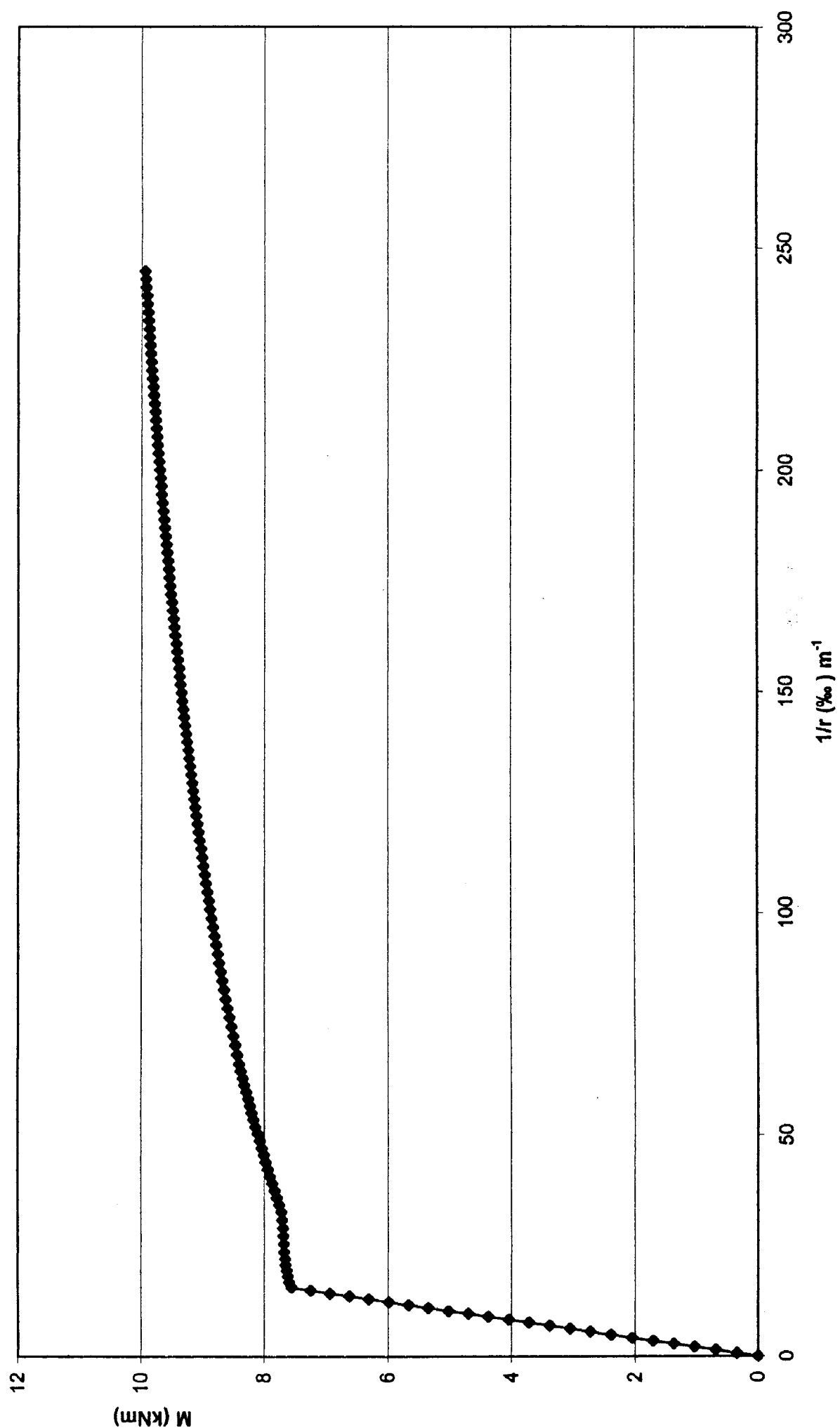
Διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων Νο 1
Μικρή πύλη, Υποσύλωμα προς Β, $N = 0.0 \text{ kN}$



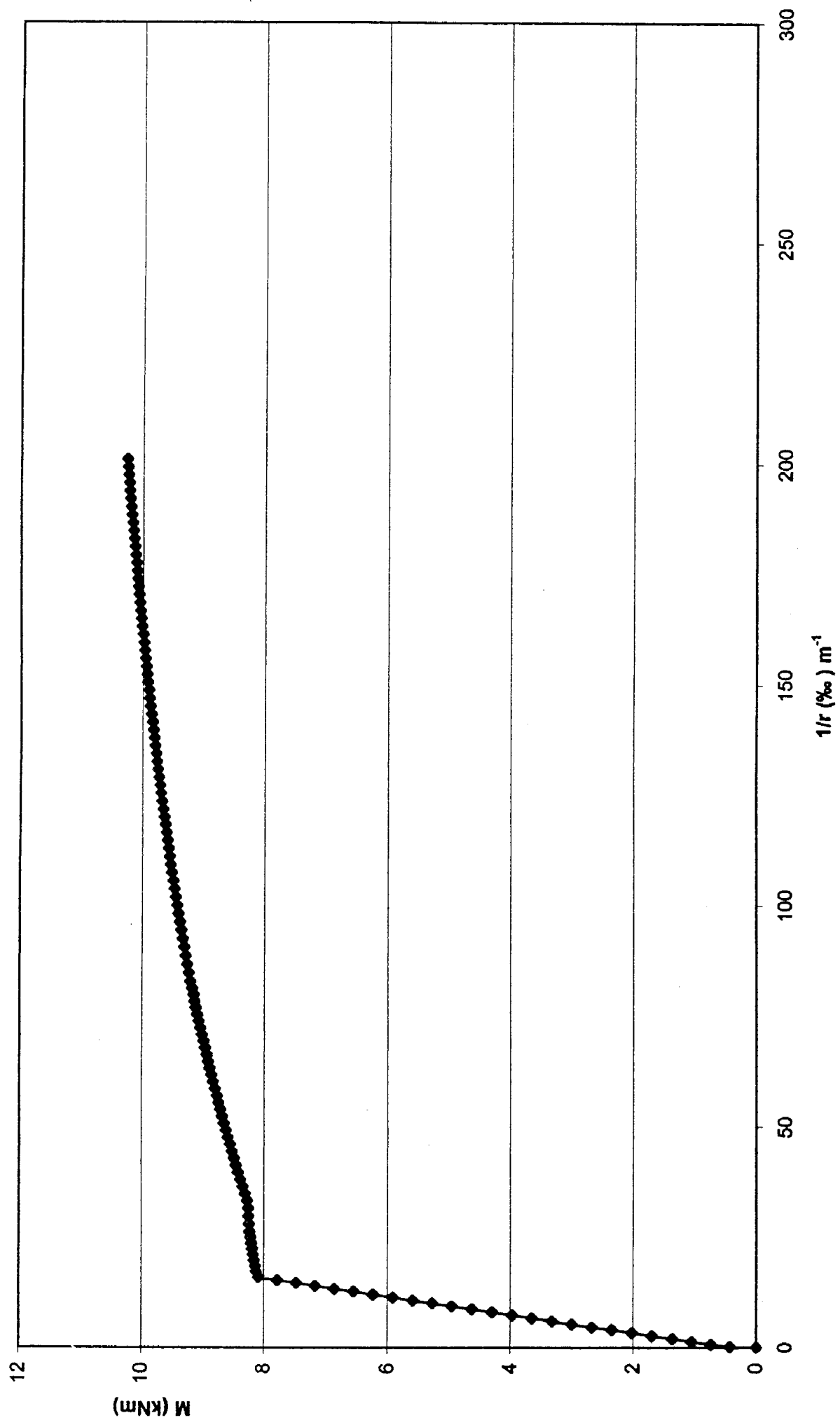
Διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων Νο 2
Μικρή πύλη, Υποστύλωμα προς Β, $N = 6.5 \text{ kN}$



Διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων Νο 3
Μικρή πύλη, Υποσύλωμα προς Ν, $N = 0.0 \text{ kN}$



Διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων Νο 4
Μικρή πύλη, Υποσύζλωμα προς Ν, $N = 6.5 \text{ kN}$



3. ΜΕΓΑΛΗ «ΠΥΛΗ»

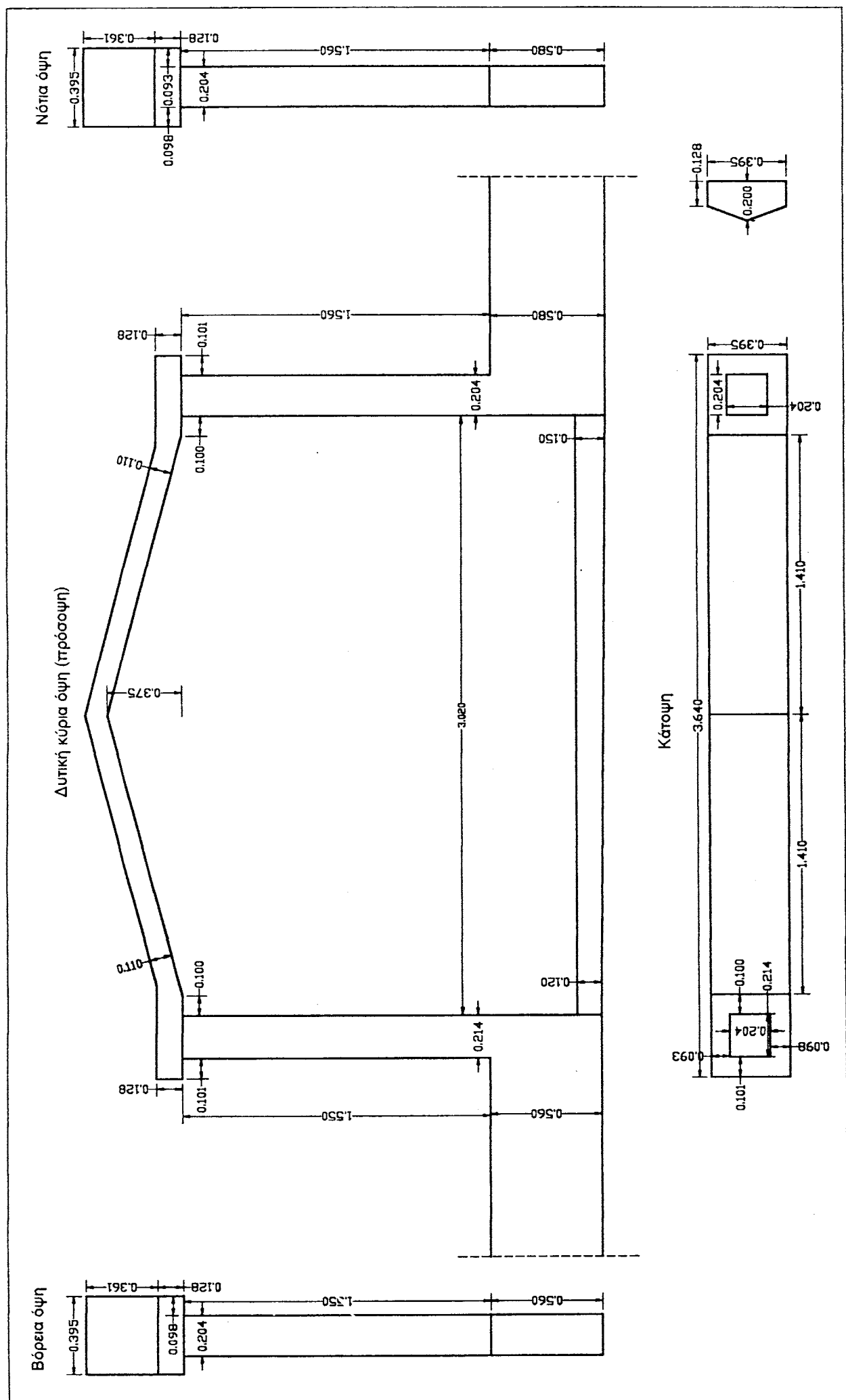
3.1 Γεωμετρία – Διατομές

Στα σκαριφήματα που δίνονται στις επόμενες σελίδες παρουσιάζονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της πύλης, καθώς και οι διατομές και οι λεπτομέρειες όπλισης, όπως βρέθηκαν μετά από συστηματικά «χαντρώματα» μετά την δοκιμασία.

Η πύλη παρουσιάζεται αρκετά συμμετρική γεωμετρικώς, με διατομές υποστυλωμάτων περίπου $0.2 \times 0.2\text{m}$ και «ελεύθερο» ύψος της τάξεως του 1.55m , ενώ το άνοιγμά της είναι της τάξεως των 3.00m .

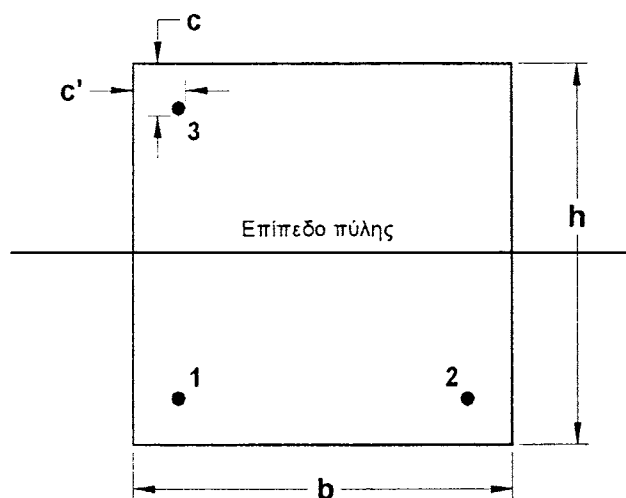
Όσον αφορά την όπλιση, παρουσιάζονται έντονα προβλήματα :

- Οι επικαλύψεις σκυροδέματος κυμαίνονται από μηδέν έως και 75 mm
- Και τα δύο υποστυλώματα έχουν οπλισθεί με τρεις αντί τέσσερις ράβδους $\varnothing 8$, οι περισσότερες από τις οποίες μάλιστα δεν φθάνουν στην κορυφή.



Διατομή υποστυλώματος προς Β

(πρακτικώς, ανυπαρξία συνδετήρων)



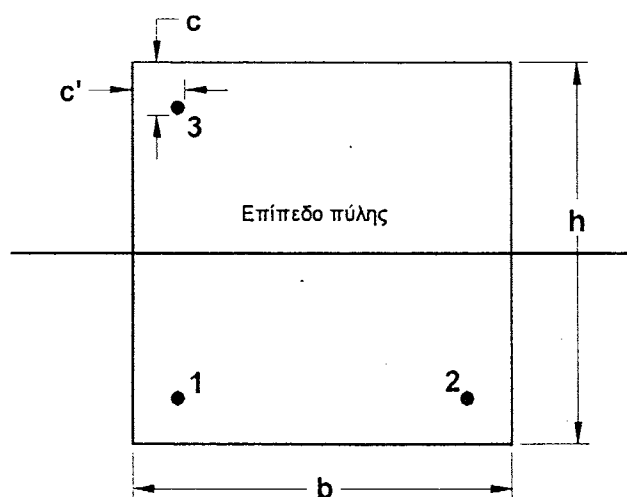
$$\begin{aligned} h &= 0.204\text{m} \\ b &= 0.204\text{m} \\ c_1 &= 0.0 - 0.005\text{m}, \quad c'_1 = 0.035 - 0.07\text{m} \\ c_2 &= 0.0 - 0.03\text{m}, \quad c'_2 = 0.03 - 0.06\text{m} \\ c_3 &= 0.03 - 0.075\text{m}, \quad c'_3 = 0.0 - 0.01\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{st} &= 3\varnothing 8 / \text{St III} \\ A_{sw} &= - \end{aligned}$$

Τα δύο $\varnothing 8$ (1,2) φτάνουν έως 4cm κάτω από την κεφαλή.

Διατομή υποστυλώματος προς Ν

(πρακτικώς, ανυπαρξία συνδετήρων)



$$\begin{aligned} h &= 0.204\text{m} \\ b &= 0.214\text{m} \\ c_1 &= 0.025 - 0.04\text{m}, \quad c'_1 = 0.0 - 0.01\text{m} \\ c_2 &= 0.0 - 0.04\text{m}, \quad c'_2 = 0.005 - 0.02\text{m} \\ c_3 &= 0.0\text{m}, \quad c'_3 = 0.02\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{st} &= 3\varnothing 8 / \text{St III} \\ A_{sw} &= - \end{aligned}$$

Το $\varnothing 8$ (1) έχει έντονη κάμψη προς τα μέσα 2 cm πριν την κεφαλή.
Το $\varnothing 8$ (2) φτάνει περίπου 13cm κάτω από την κεφαλή.



Μεγάλη πύλη, στύλος προς Β.
Απουσία ράβδου οπλισμού στη γωνία.





Μεγάλη πύλη, στύλος προς Ν.
Μηδενική επικάλυψη οπλισμών.



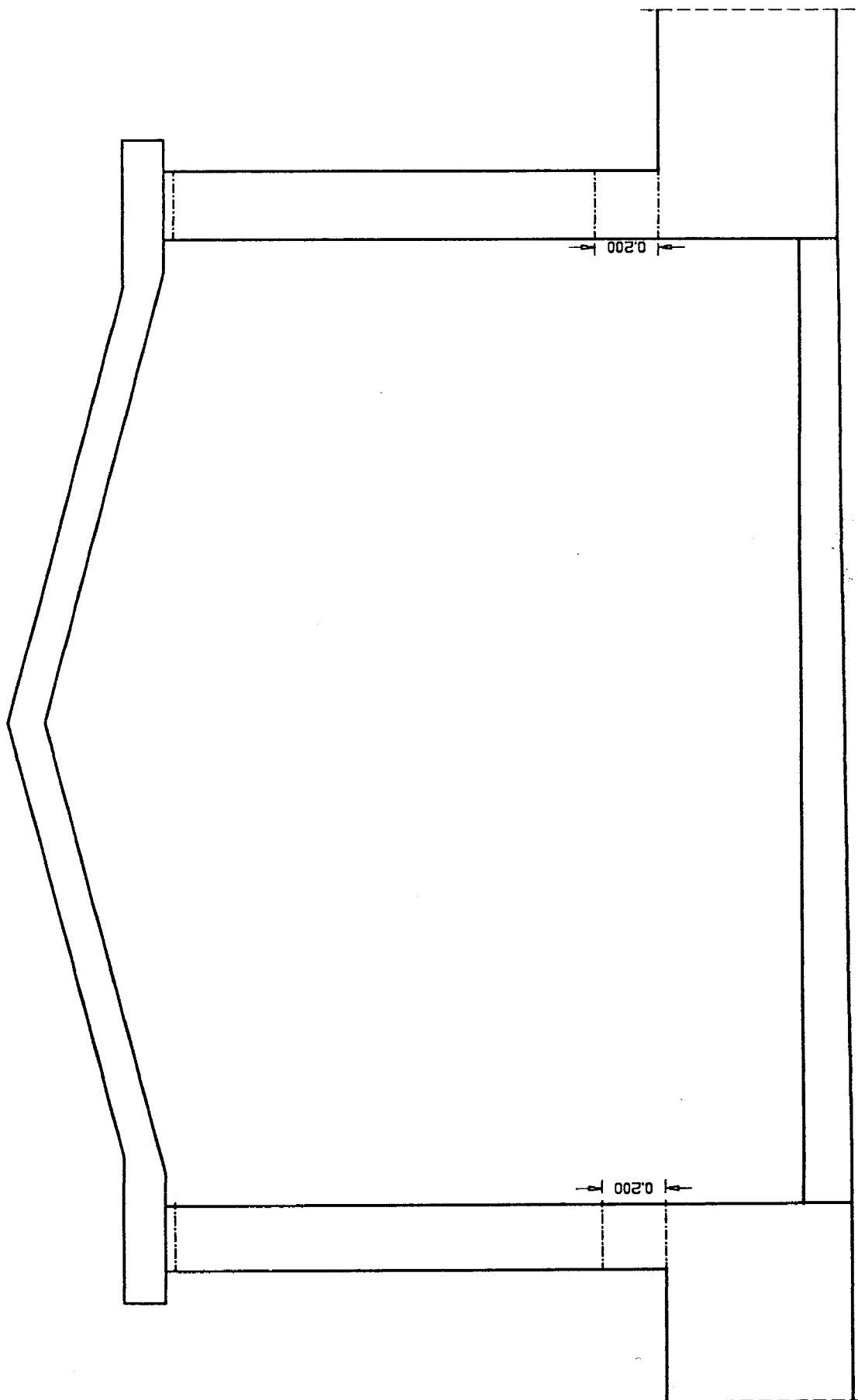
3.2 Αποτίμηση αρχικής καταστάσεως

Στα σκαριφήματα που ακολουθούν παρουσιάζεται η παθολογική εικόνα της «πύλης» πριν τη δοκιμή (βλάβες και ρωγμές).

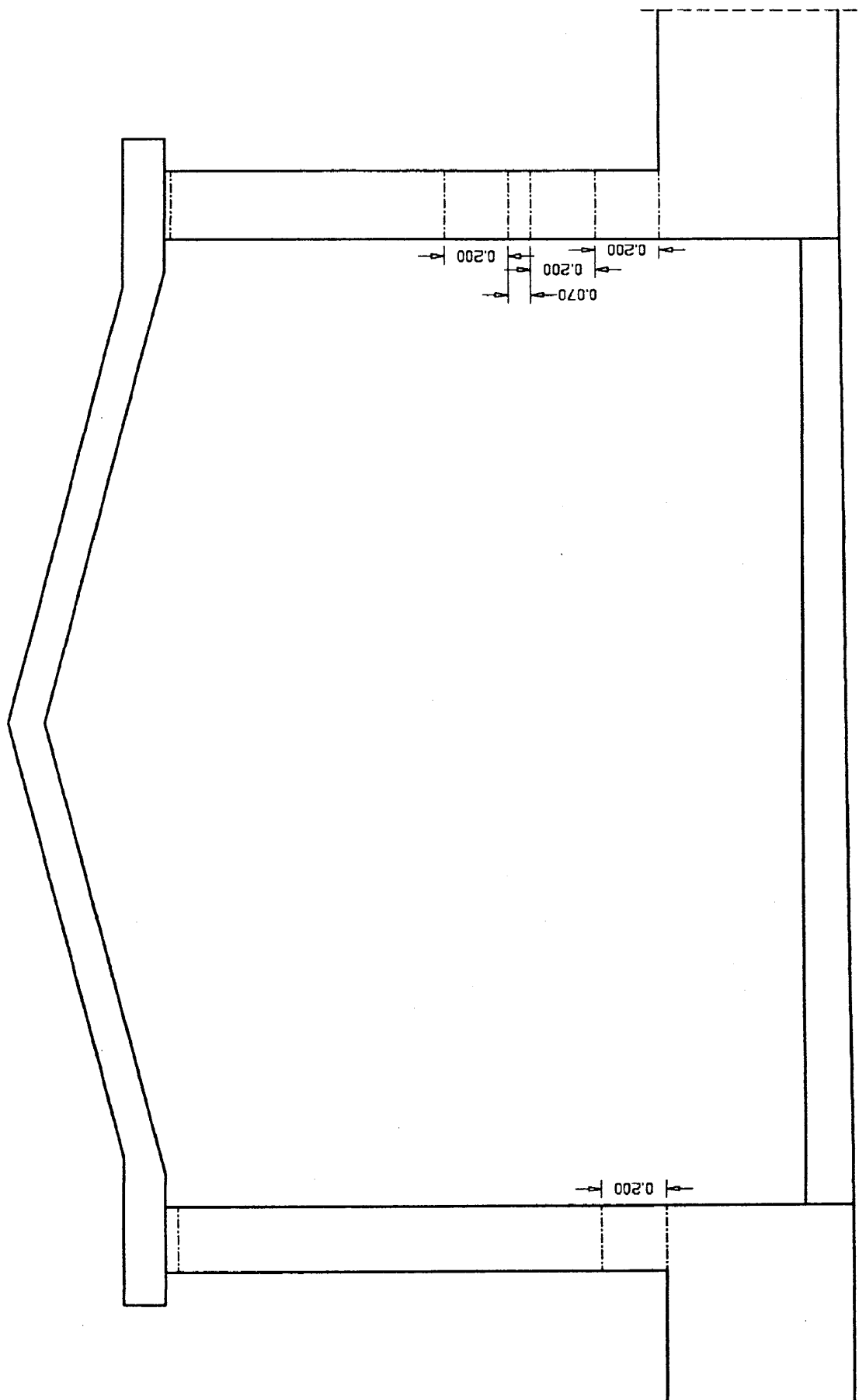
Ελαφρές ρωγμές υπήρχαν στους πόδες και των δύο (2) στύλων, περισσότερες σε αυτόν προς Β από ότι σε αυτόν προς Ν.

Επίσης, στην κεφαλή και των δύο (2) στύλων, κάτω από το «ζύγωμα» - σκέπαστρο, υπήρχαν χαρακτηριστικές διαμπερείς ελαφρές (μάλλον) ρηγματώσεις, στον αρμό διακοπής σκυροδέτησης.

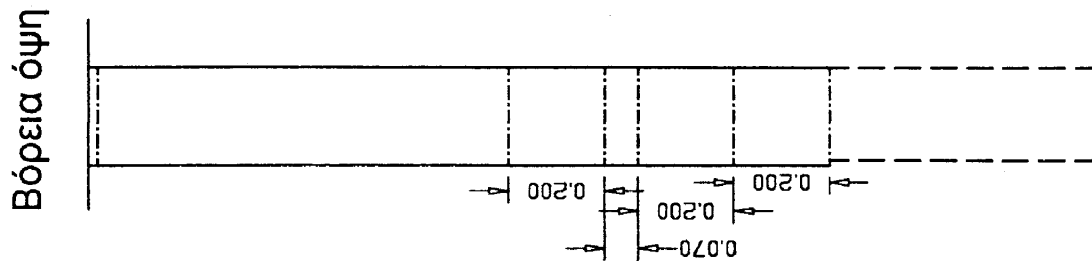
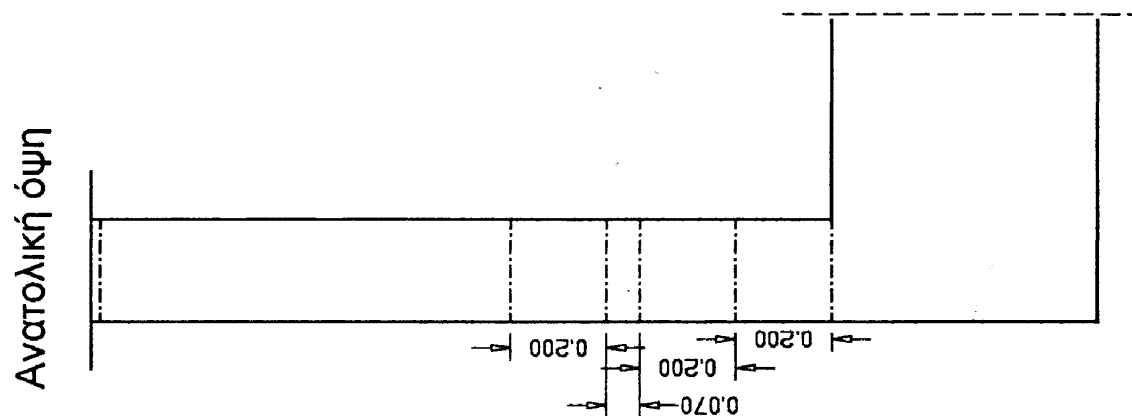
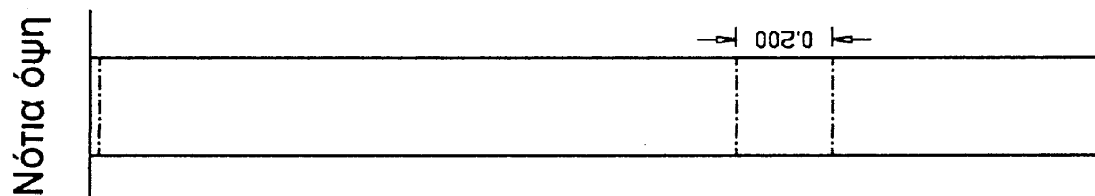
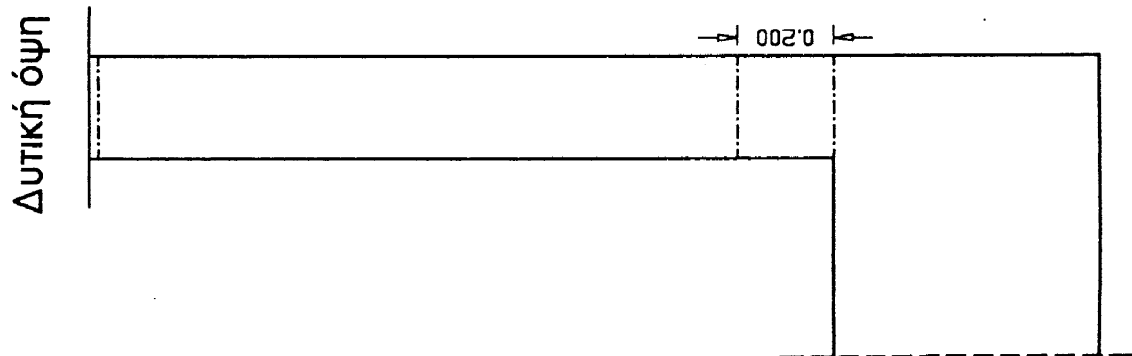
Δυτική κύρια όψη (πρόσοψη)



Ανατολική όψη

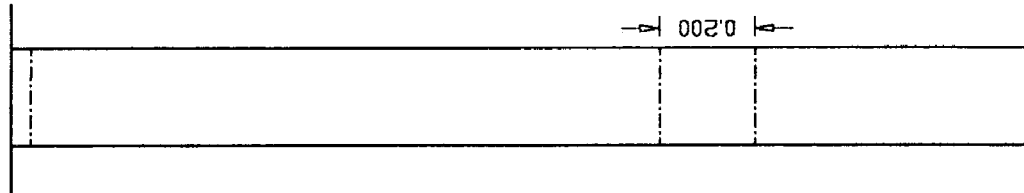


Υποστύλωμα προς Β
Προϋπάρχουσες ρωγμές

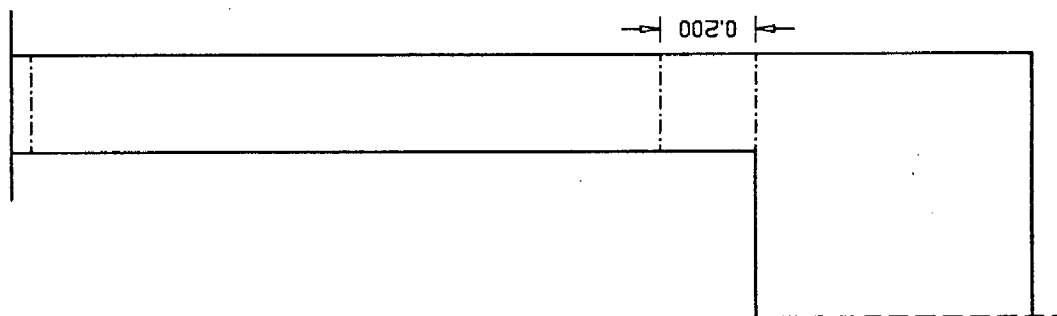


Υποστύλωμα προς Ν
Προυπάρχουσες ρωγμές

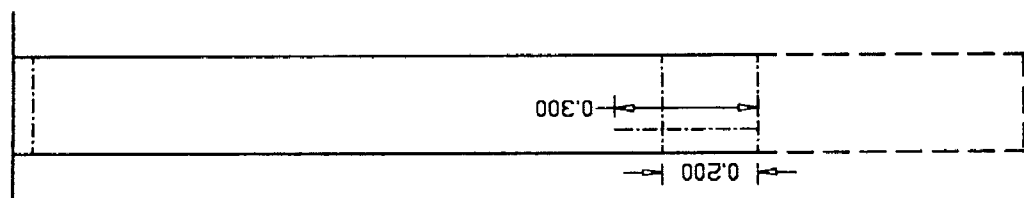
Βόρεια όψη



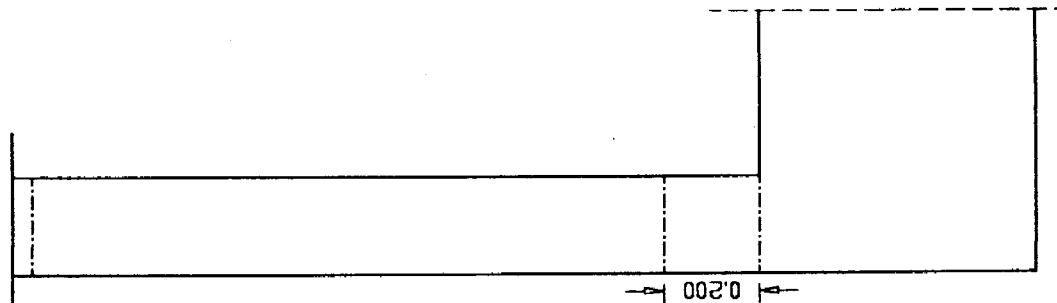
Ανατολική όψη



Νότια όψη



Δυτική όψη



3.3 Ομοιομορφία και ποιότητα σκυροδέματος

Για την εκτίμηση της ποιότητας του σκυροδέματος έγιναν μετρήσεις με συσκευή υπερήχων και με κρουσίμετρο αναπηδήσεως. Οι θέσεις ελέγχου κατανεμήθηκαν σε όλο το ύψος και σε όλες τις πλευρές των στύλων.

Κατά την αξιοποίηση των μετρήσεων πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η απόκλιση της μεθόδου της υπερηχοσκοπησης είναι γενικώς μικρότερη από ότι της μεθόδου της κρουσιμέτρησης και ότι η αναγωγή των ενδείξεων σε αντοχή πυρήνος έγινε με βάση καμπύλες που έχουν προκύψει από στοιχεία για «Ελληνικά» σκυροδέματα.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων συγκεντρώνονται στους ακόλουθους πίνακες :

Υπερηχοσκοπηση					
Θέση ελέγχου	Μήκος διάδοσης (mm)	Χρόνος (μsec)	Ταχύτητα (km/sec)	Αναγωγή σε αντοχή πυρήνος (MPa)	
1	209	53	3950	24.5	Μέση τιμή : 25.5 MPa
2	205	52	3950	24.5	
3	209	51	4100	26	
4	206	50	4100	26	
5	210	51	4100	26	
6	212	51	4150	26.5	

Κρουσιμέτρηση												
Τιμές δείκτη οργάνου	36	40	37	34	36	35	39	35	39	35	34	38
Αναγωγή σε αντοχή πυρήνος (MPa)	26	30	27	24	26	25	29	25	29	25	25	28
	Μέση τιμή : 26 MPa											

Με βάση αυτές τις ενδείξεις, η ομοιομορφία του σκυροδέματος είναι αρκετά καλή (με εύρος τιμών αντοχών από 24 έως 30 MPa),

Επιπλέον, προκειμένου να εκτιμηθεί μία επικρατούσα / συχνότερη τιμή για την αντοχή του σκυροδέματος, πρέπει να γίνει συνδυασμός των ενδείξεων των παραπάνω μεθόδων με τα αποτελέσματα των εργαστηριακών δοκιμών που εκτελέσθηκαν από το Κ.Ε.Δ.Ε., Τμήμα Τεχνικών Υλικών και Στοιχείων (βλ. σχετικό επισυναπτόμενο έγγραφο με αρ. πρωτ. οίκ.Δ14γ/39618/1343).

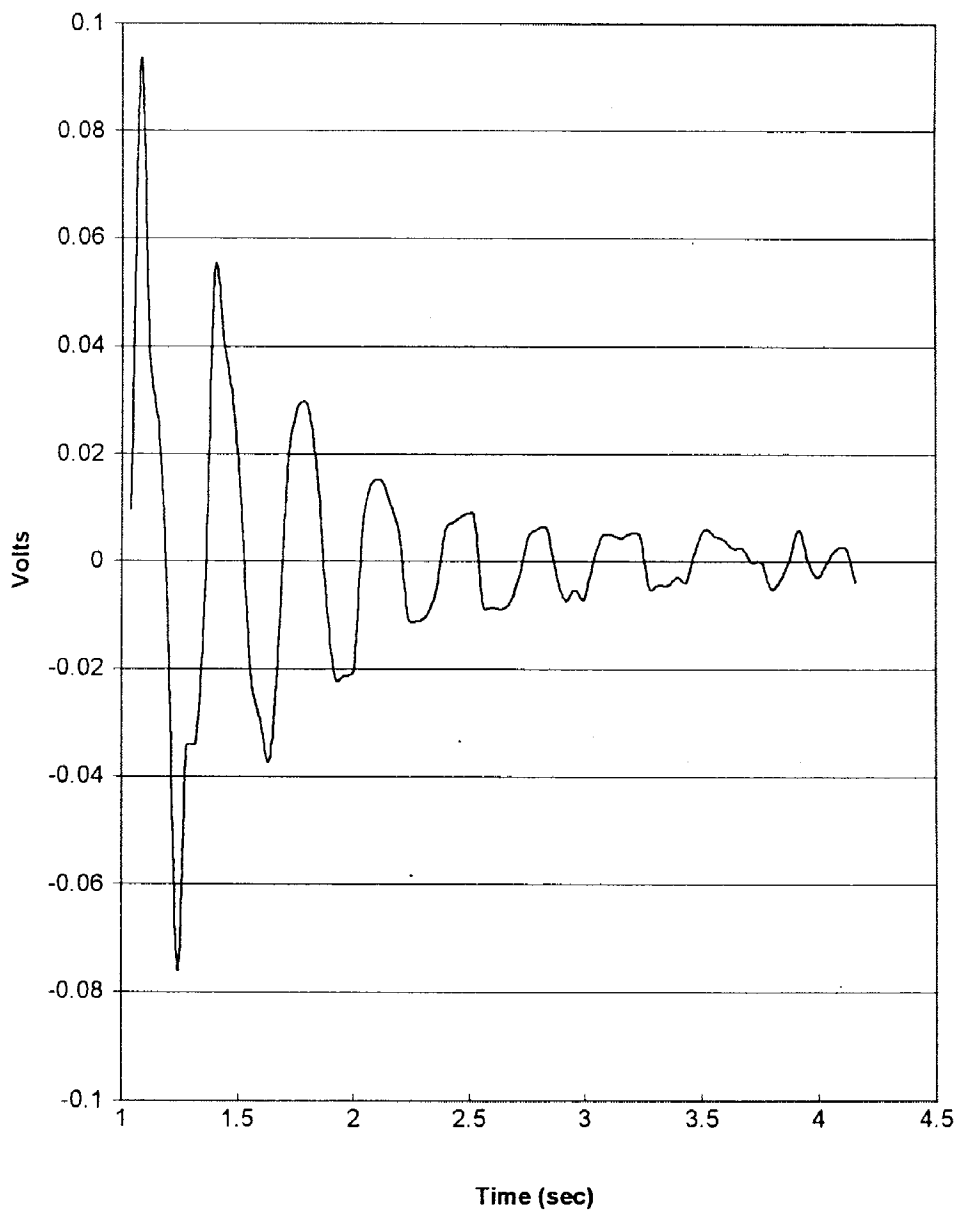
Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη και τα αποτελέσματα των δοκιμών θλίψης ($f_c = 22.8$ και 25.5 MPa) υιοθετείται για τους ελέγχους τιμή αντοχής πυρήνος ($\varnothing = h = 100\text{mm}$) της τάξεως των 25 MPa. Η εφελκυστική αντοχή από διάρρηξη βρέθηκε της τάξεως των 1.65 MPa ($f_t / f_c \cong 1: 15.0$), σχετικώς χαμηλή.

3.4 Δυναμικά χαρακτηριστικά

Η ιδιοπερίοδος και η απόσβεση της κατασκευής εκτιμήθηκαν με χρήση τριών επιταχυνσιομέτρων που τοποθετήθηκαν στις κορυφές των στύλων και στη μέση του "ζυγώματος". Οι μετρήσεις έγιναν μετά την ολοκλήρωση της φόρτισης. Σχετικώς εκτιμήθηκαν τα εξής :

Ιδιοπερίοδος $T \cong 0.32 \text{ sec}$

$$\text{Συντελεστής απόσβεσης } \zeta = \frac{1}{N} \frac{1}{2\pi} \ln\left(\frac{A_0}{A_N}\right) \cong 10.0\%$$

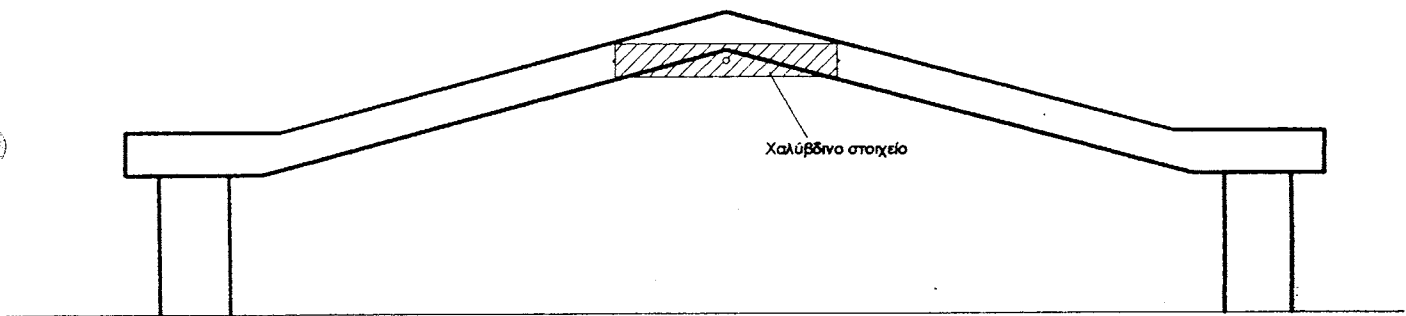


Ελεύθερη ταλάντωση μετά από κρούση. Χρονοϊστορία επιτάχυνσης.

3.5 Δοκιμαστική φόρτιση

Η φόρτιση συνίσταται στην επιβολή οριζόντιων επαναλαμβανόμενων δυνάμεων (μέγιστη τιμή 7.0 kN) μέσω κατάλληλου γρύλου (Enerpac RC 104.0.D6B, ικανότητας 10t).

Η θέση επιβολής του φορτίου παρουσιάζεται στο παρακάτω σκαρίφημα.



Ετσι, ο «μοχλοβραχίονας» μεταξύ στάθμης επιβολής του φορτίου και θεωρητικής «πάκτωσης» των στύλων στο σπηθαίο της προσόψεως είναι της τάξεως του 1.90m.

3.5.1 Φορτία – Μετακινήσεις

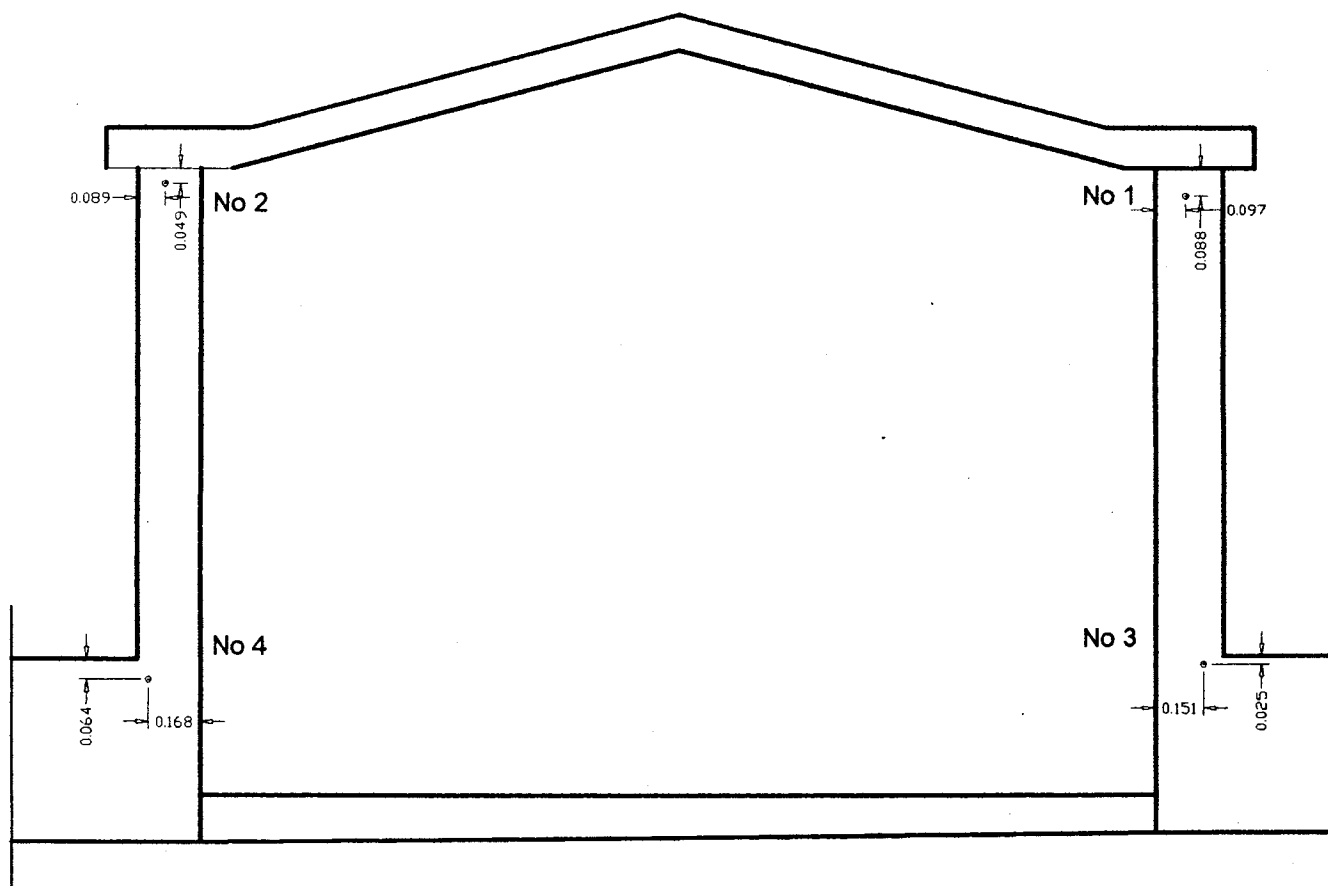
Για την καταγραφή των επιβαλλόμενων μετακινήσεων, σε κάθε υποστύλωμα τοποθετήθηκαν (στην ανατολική παρειά), τέσσερα (4) επαγωγικά βελόμετρα (της TML, τύπου SDP-200 και CDP-100), στις θέσεις που φαίνονται στο ακόλουθο σκαρίφημα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα φορτίου – μετακίνησης για τα τέσσερα βελόμετρα που χρησιμοποιήθηκαν.

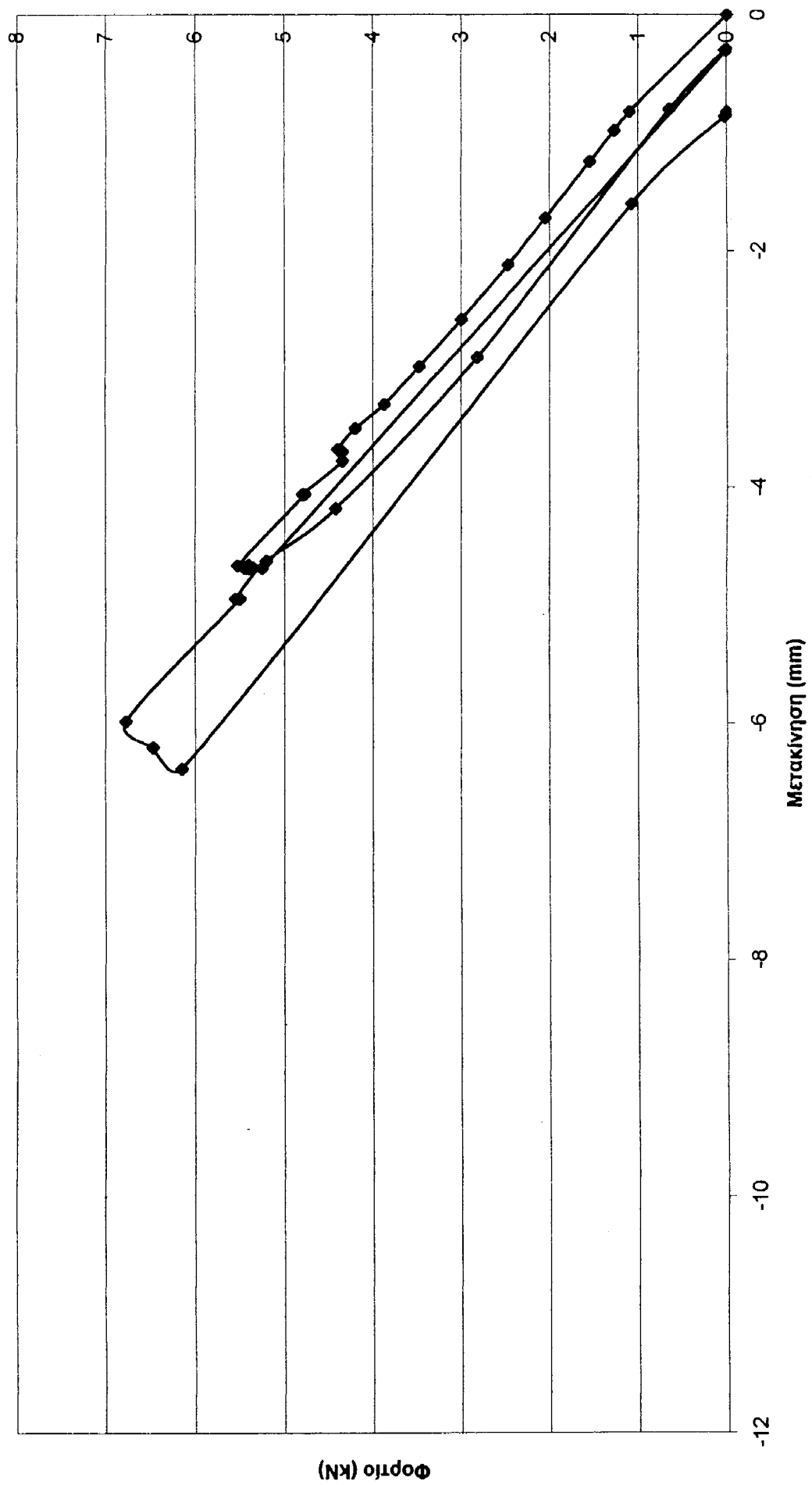
Όπως φαίνεται, η συμπεριφορά των δύο στύλων ήταν σχεδόν ίδια σε όρους σχετικών μετακινήσεων (κεφαλή ως προς τον πόδα).

Σημειώνεται ότι το φορτίο που αναγράφεται στα διαγράμματα είναι το συνολικό, όπως μετρήθηκε στον γρύλο. Ανά στύλο, το φορτίο που έδρασε ήταν περίπου ίσο με το μισό (βλ. § 3.6).

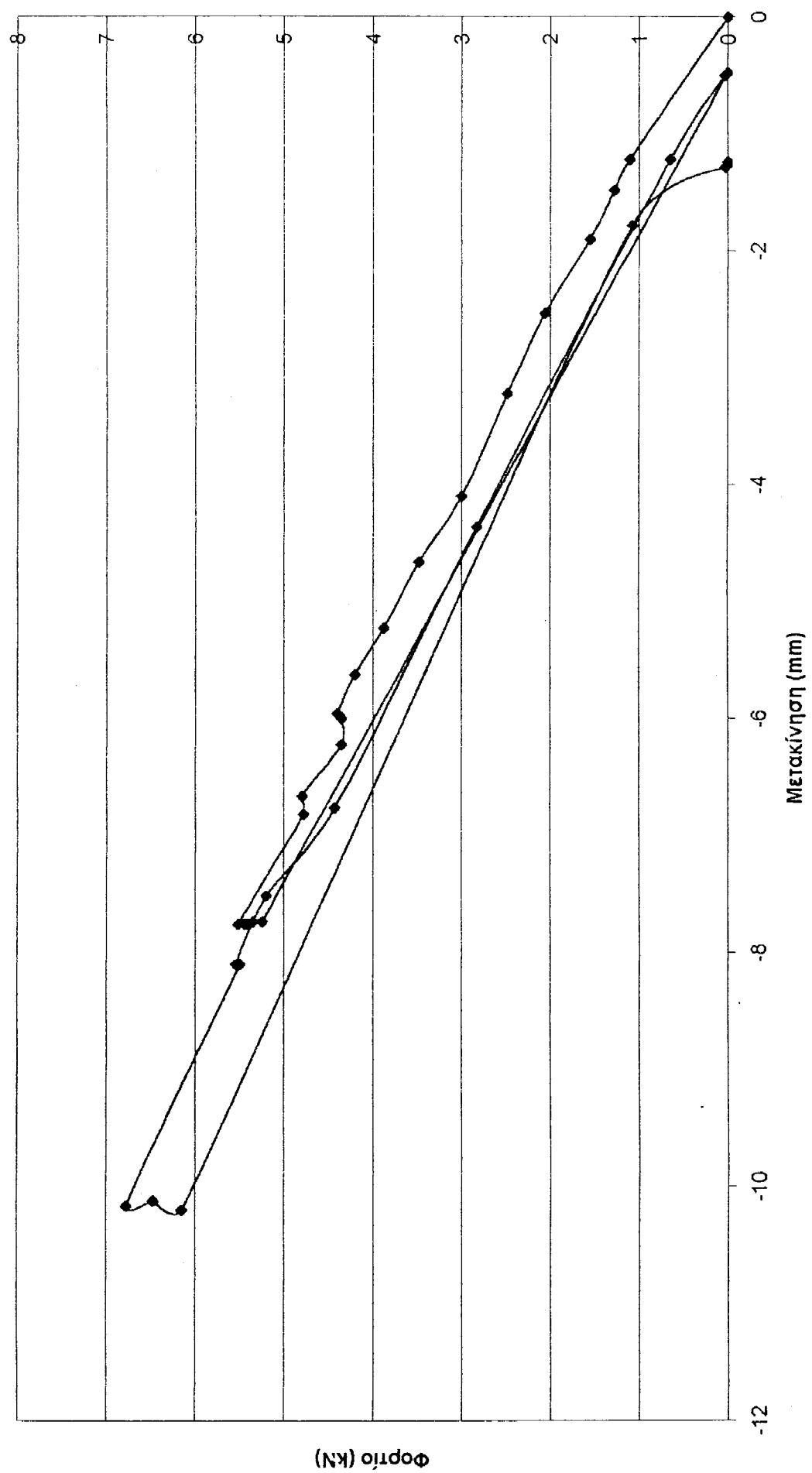
Ανατολική όψη



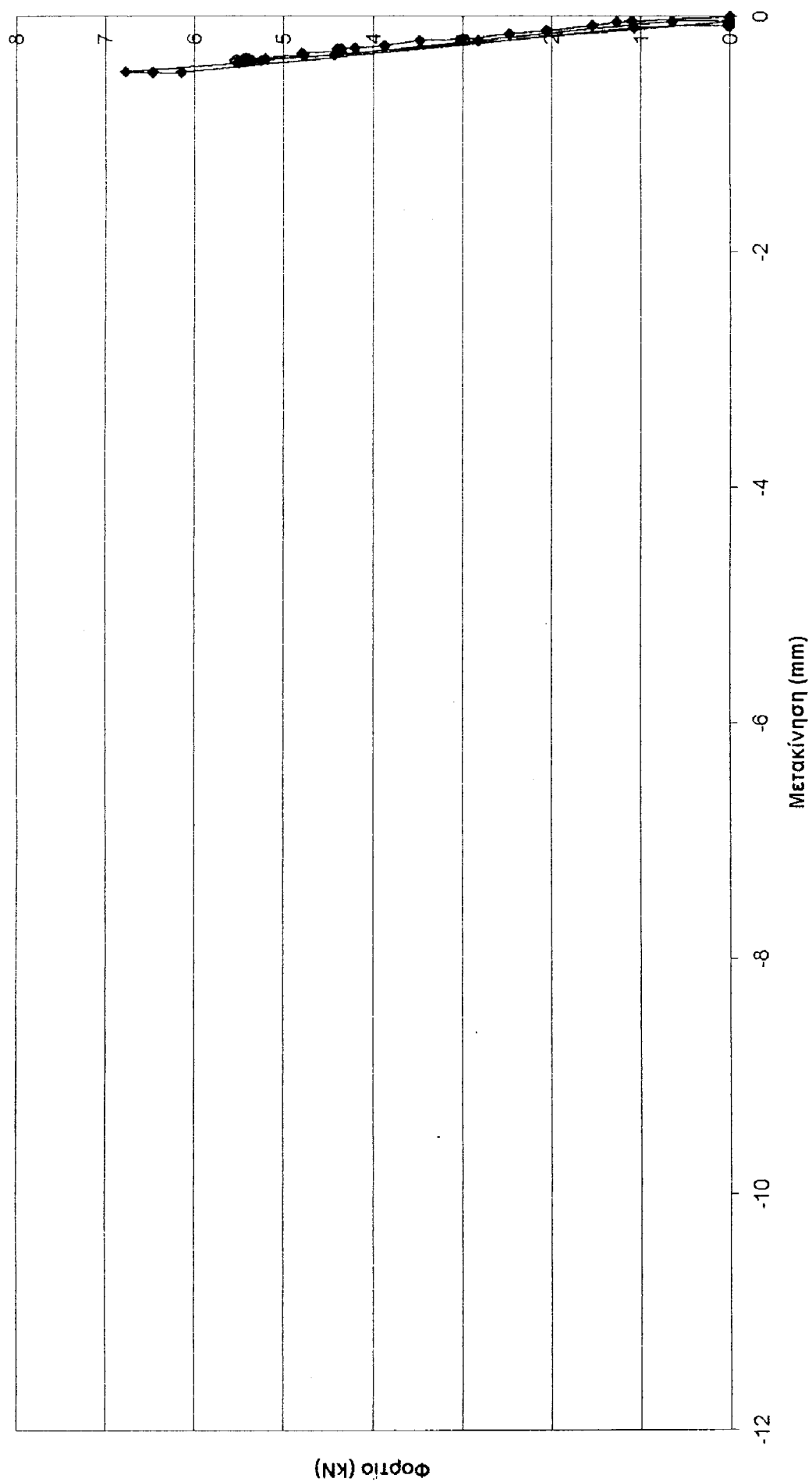
Βελόμετρο Νο. 1



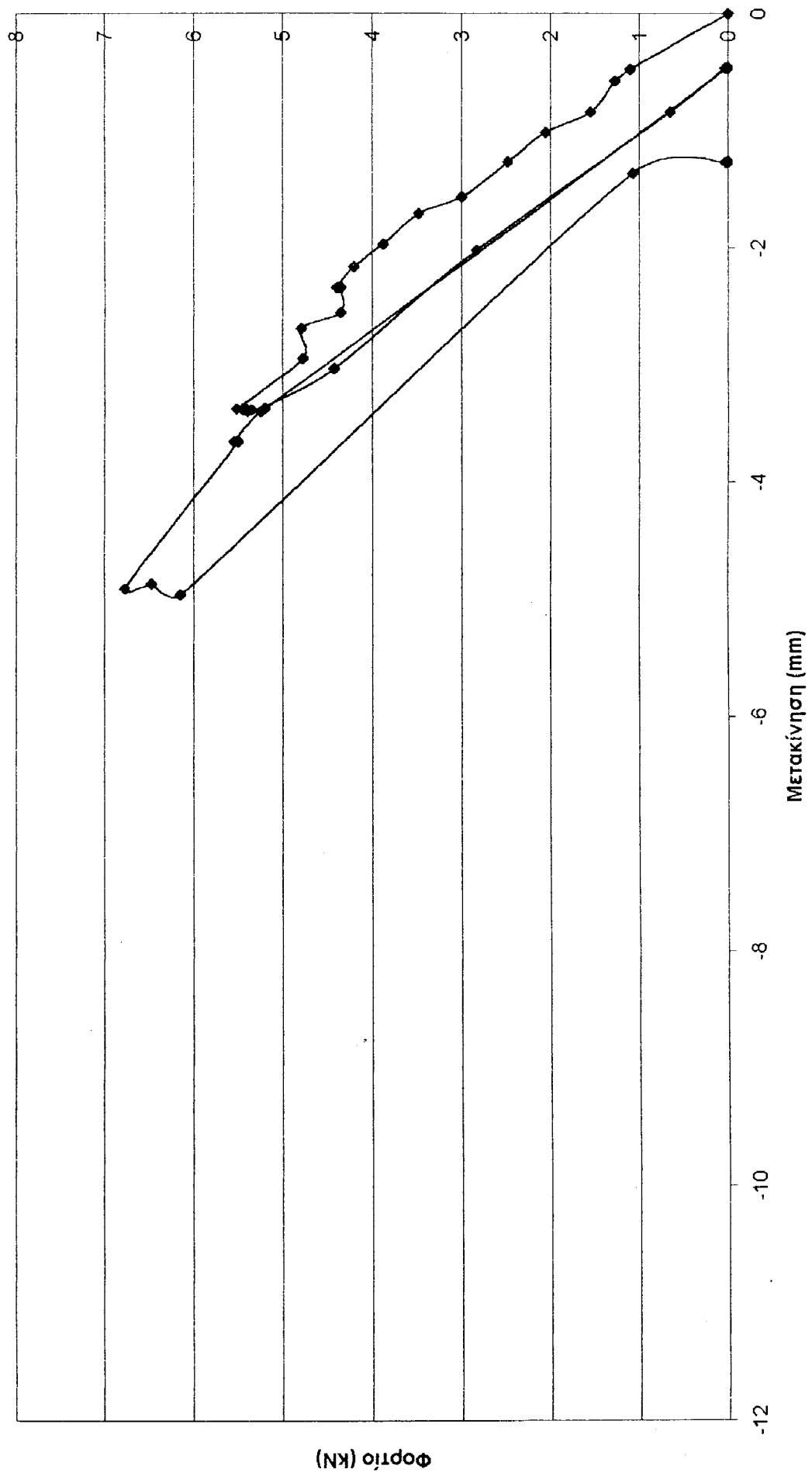
Βελόμετρο Νο. 2



Βελόμετρο Νο. 3



Βελόμετρο Νο. 4



3.5.2 Φορτία – Παραμορφώσεις

Η καταγραφή των θλιπτικών παραμορφώσεων στις θέσεις μέγιστης έντασης (περίπου), έγινε με τη χρήση ηλεκτρομηκυσιομέτρων.

Τα ηλεκτρομηκυσιόμετρα (τέσσερα συνολικώς) τοποθετήθηκαν στην ανατολική παρειά των υποστυλωμάτων (θλιβόμενη) στις θέσεις που φαίνονται στα σκαριφήματα.

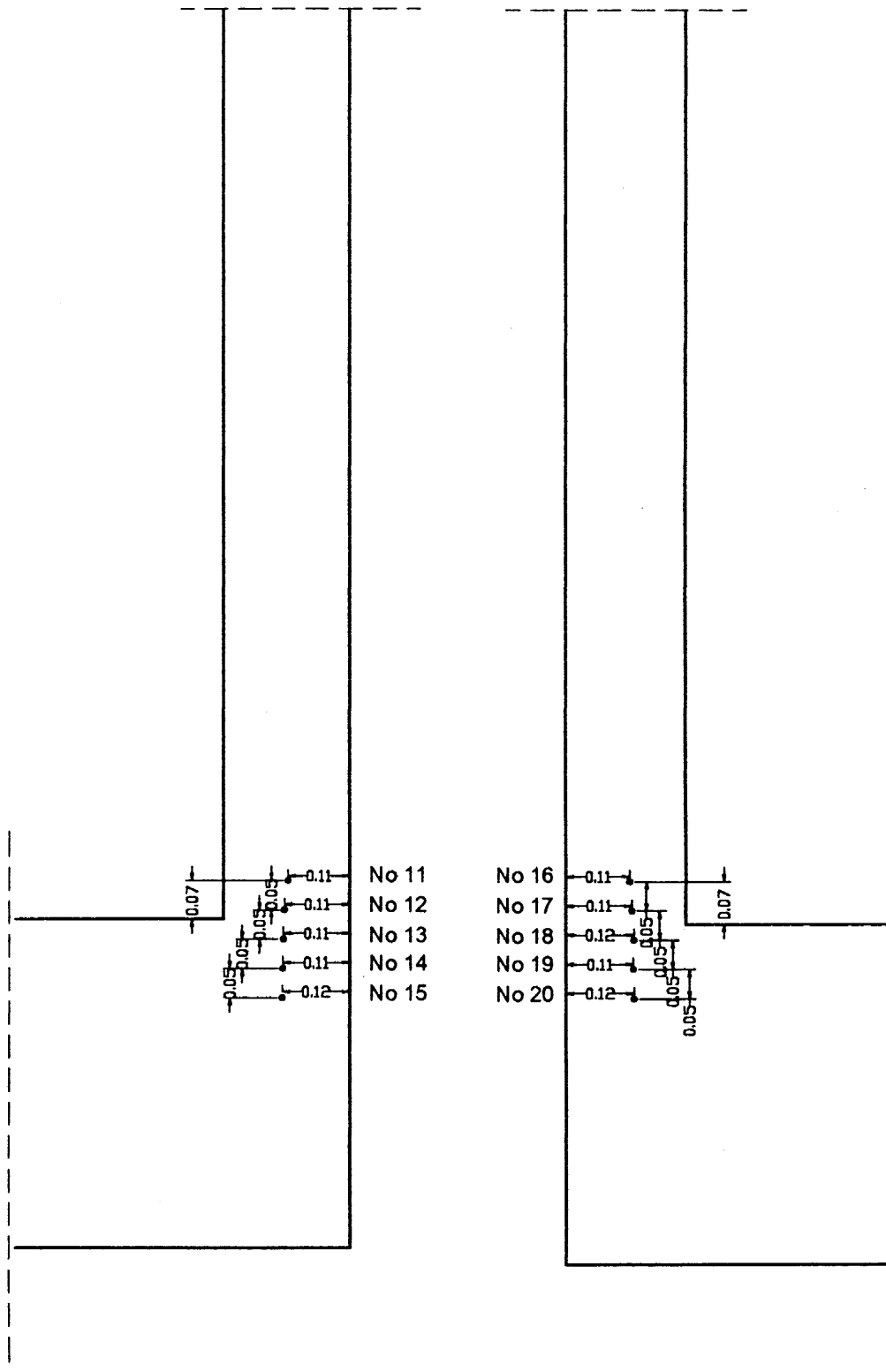
Επιπλέον, τοποθετήθηκαν πέντε (5) ακροδέκτες σε κάθε υποστύλωμα (στη δυτική / εφελκυσόμενη παρειά) στο ίδιο περίπου ύψος με τα ηλεκτρομηκυσιόμετρα, όπως φαίνεται και στα σκαριφήματα.

Οι ανηγμένες παραμορφώσεις που προέκυψαν από την επεξεργασία των ενδείξεων παρουσιάζονται υπό τη μορφή διαγραμμάτων (ηλεκτρομηκυσιόμετρα) και πινάκων (ακροδέκτες).

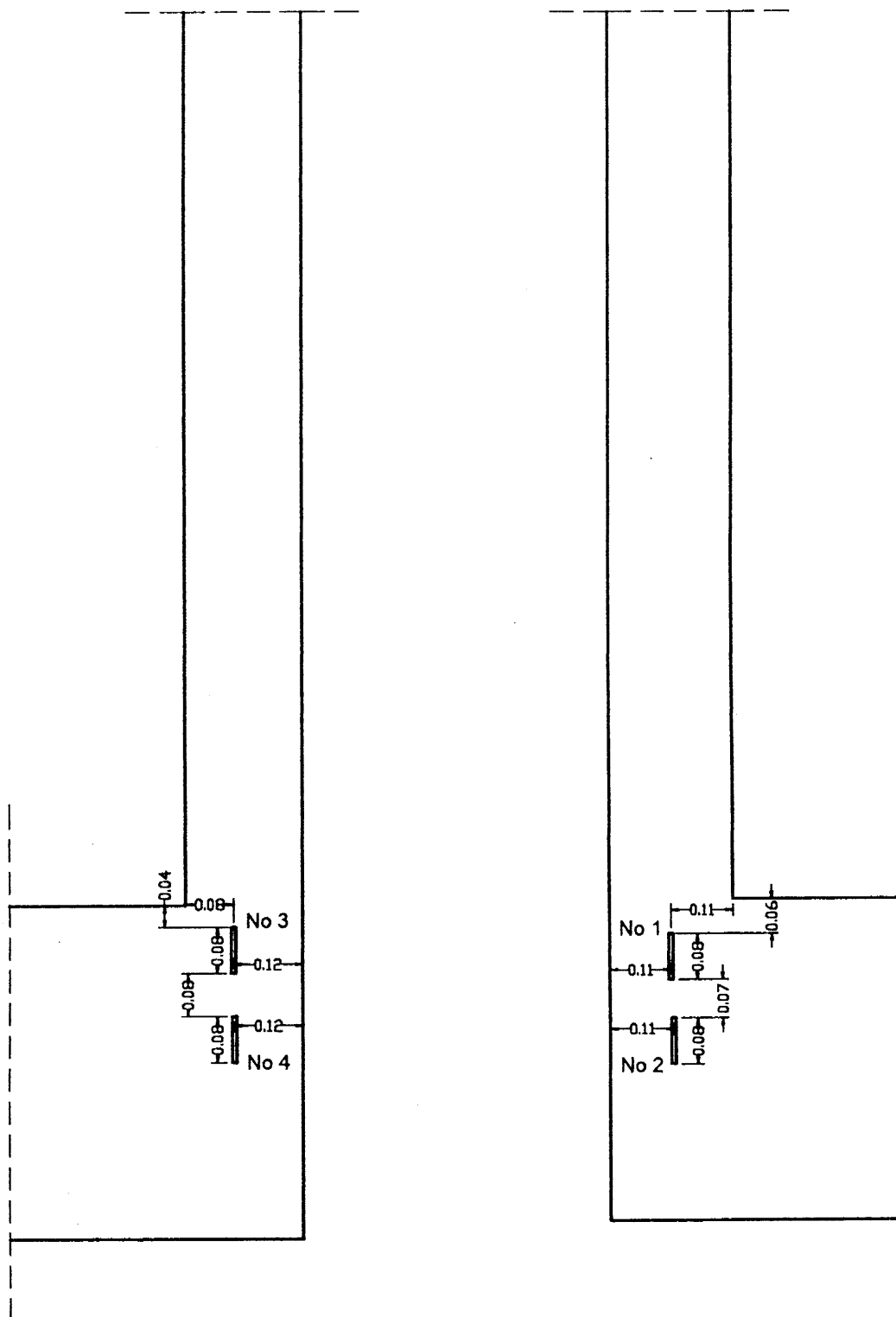
Ακροδέκτες	Κατάσταση φόρτισης
	Μετά την δοκιμή
11 – 12	-0.473%
12 – 13	0.714%
13 – 14	-0.118%
14 – 15	0.118%
16 – 17	3.341%
17 – 18	-0.241%
18 – 19	-0.708%
19 – 20	-0.113%

Όπως παρουσιάζεται, και σε όρους ανηγμένων παραμορφώσεων, η συμπεριφορά των δύο στύλων (στους πόδες τουλάχιστον) δεν ήταν έντονα διαφορετική.

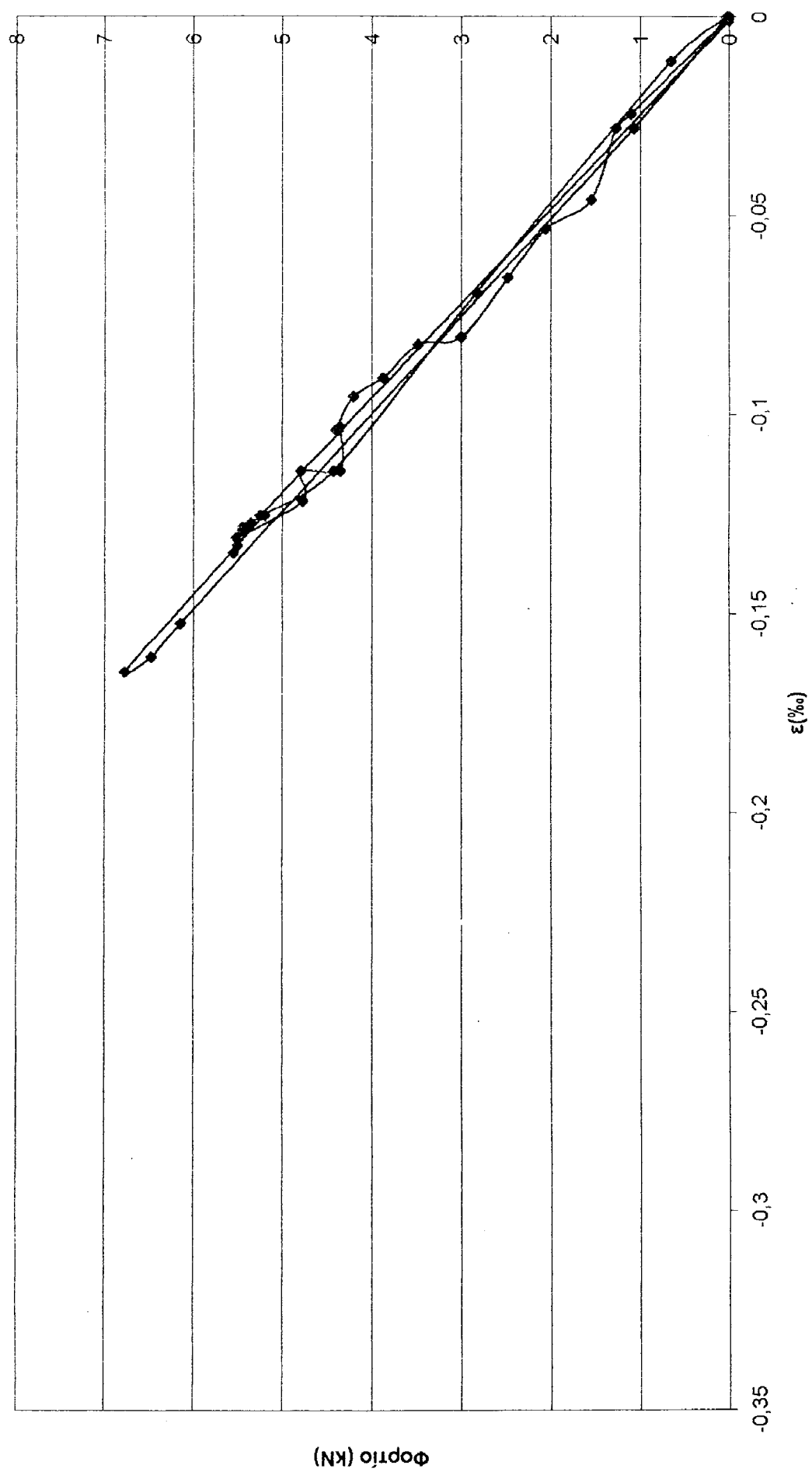
Δυτική όψη
Θέση ακροδεκτών



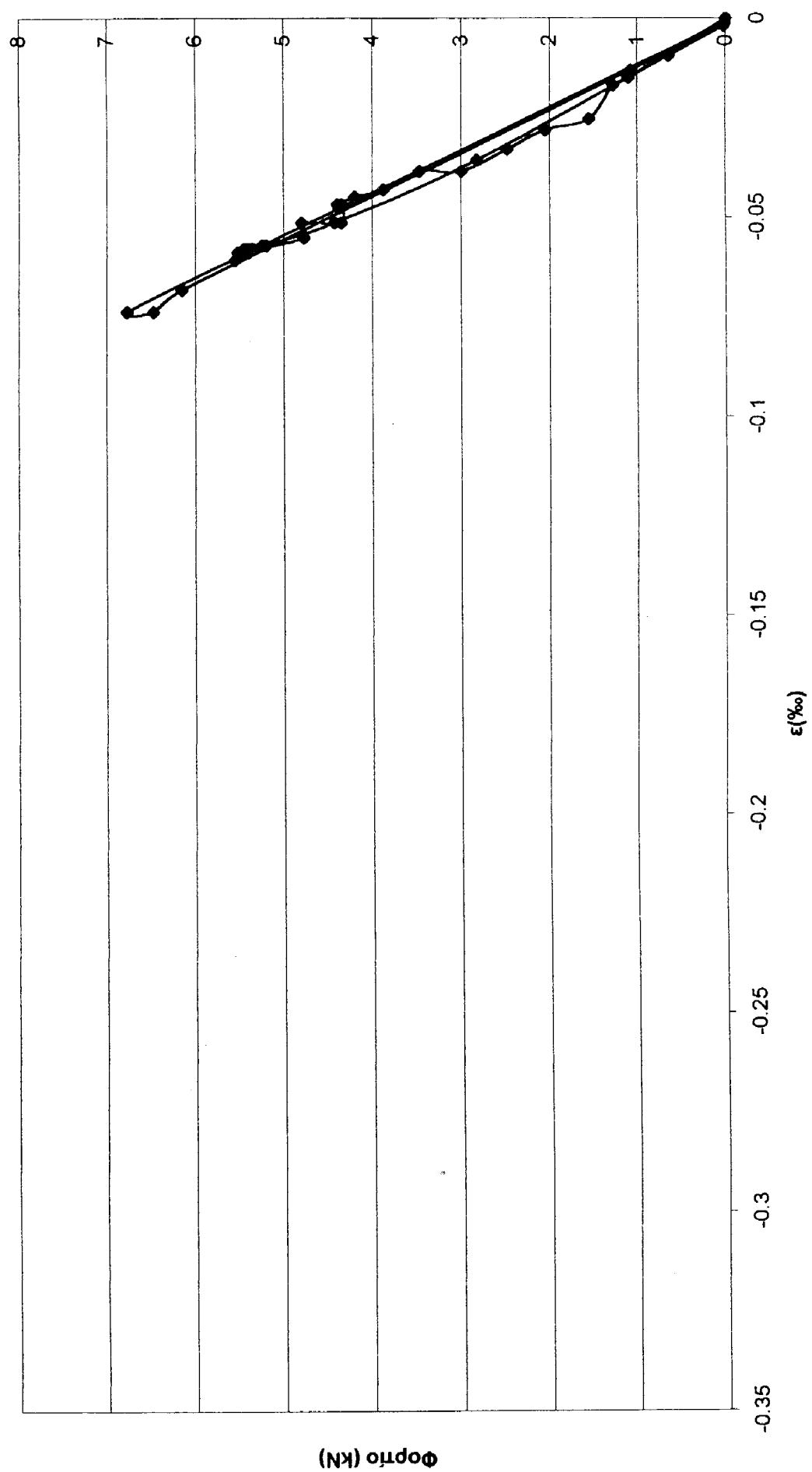
Ανατολική όψη
Θέση ηλεκτρομηκυνσιομέτρων



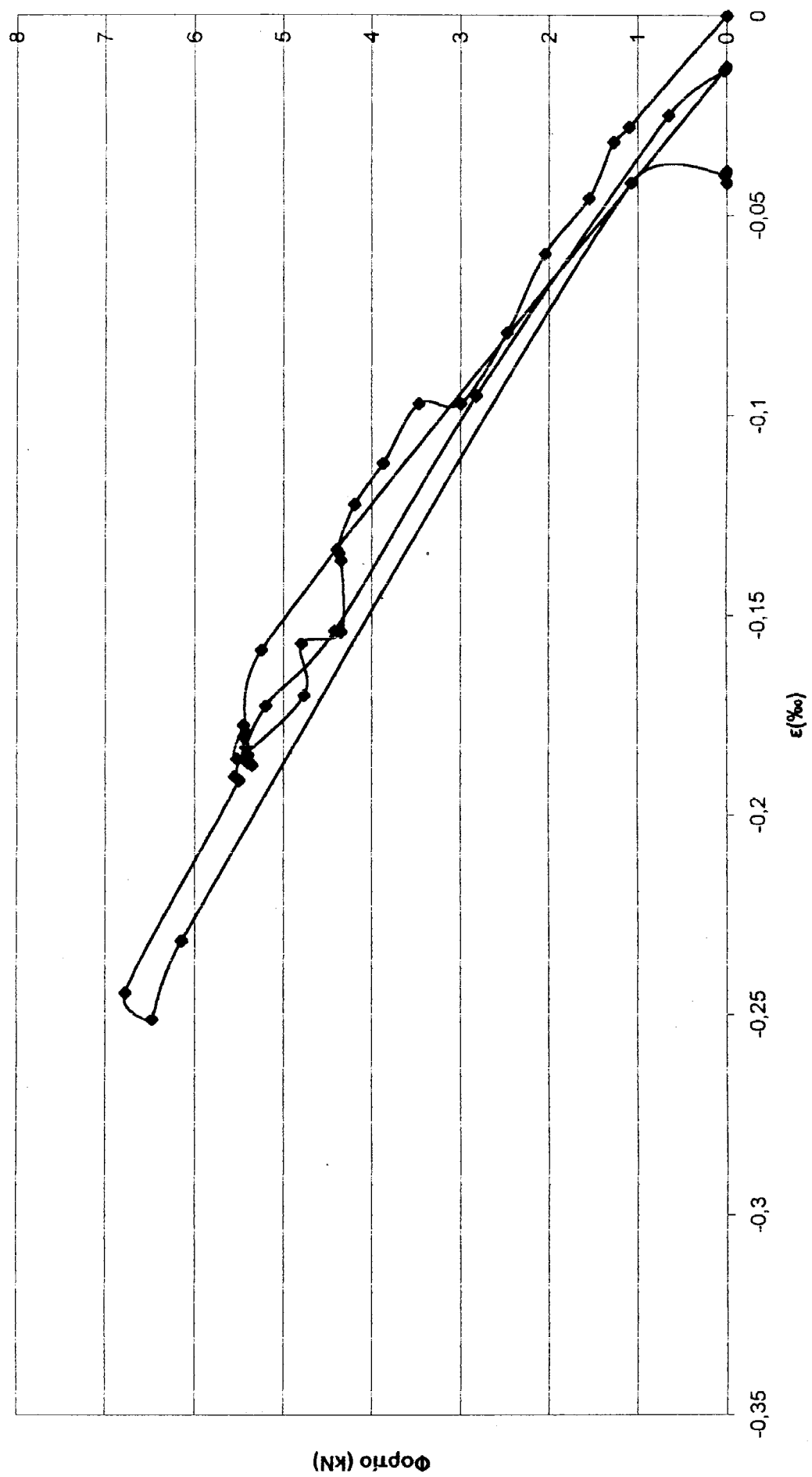
Ηλεκτρομηκυνσιόμετρο Νο. 1



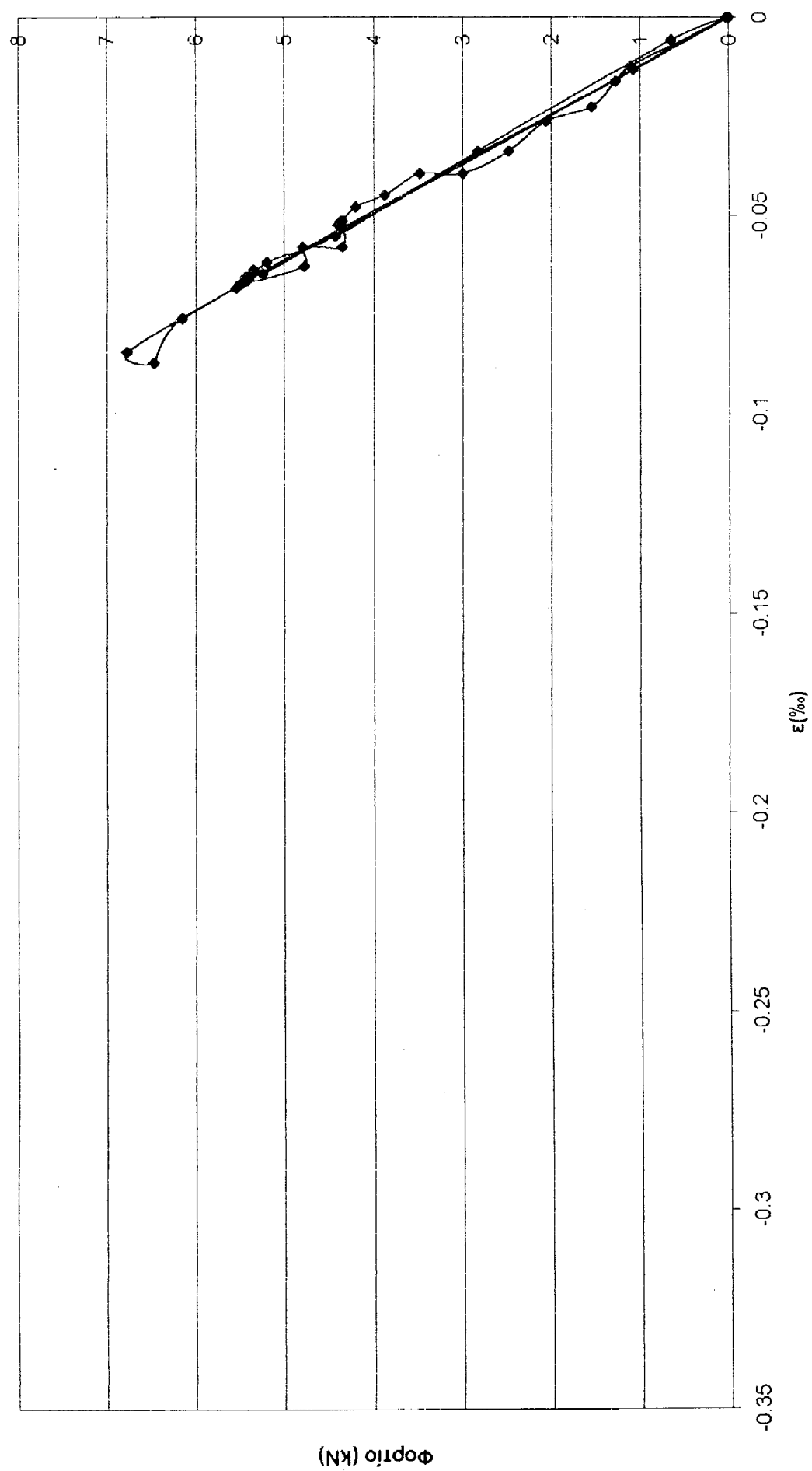
Ηλεκτρομηκυνσιόμετρο Νο. 2



Ηλεκτρομηκυστόμετρο Νο.3

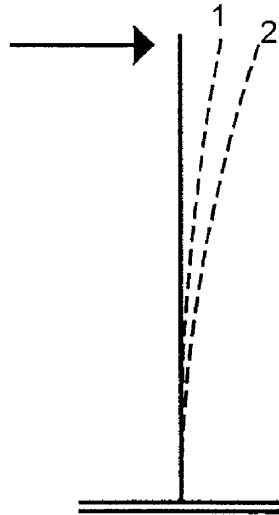


Ηλεκτρομηκυσίομετρο Νο. 4



3.5.3 Αποκλίσεις

Οι αποκλίσεις μετρήθηκαν με απλά μέσα, στο ύψος των στύλων.



α. Υποστύλωμα προς Β.

1 = Πριν τη δοκιμή : κλίση $\sim +0.35\%$

2 = Μετά τη δοκιμή : κλίση $\sim +0.80\%$

β. Υποστύλωμα προς Ν.

1 = Πριν τη δοκιμή : κλίση $\sim +0.21\%$

2 = Μετά τη δοκιμή : κλίση $\sim +0.80\%$

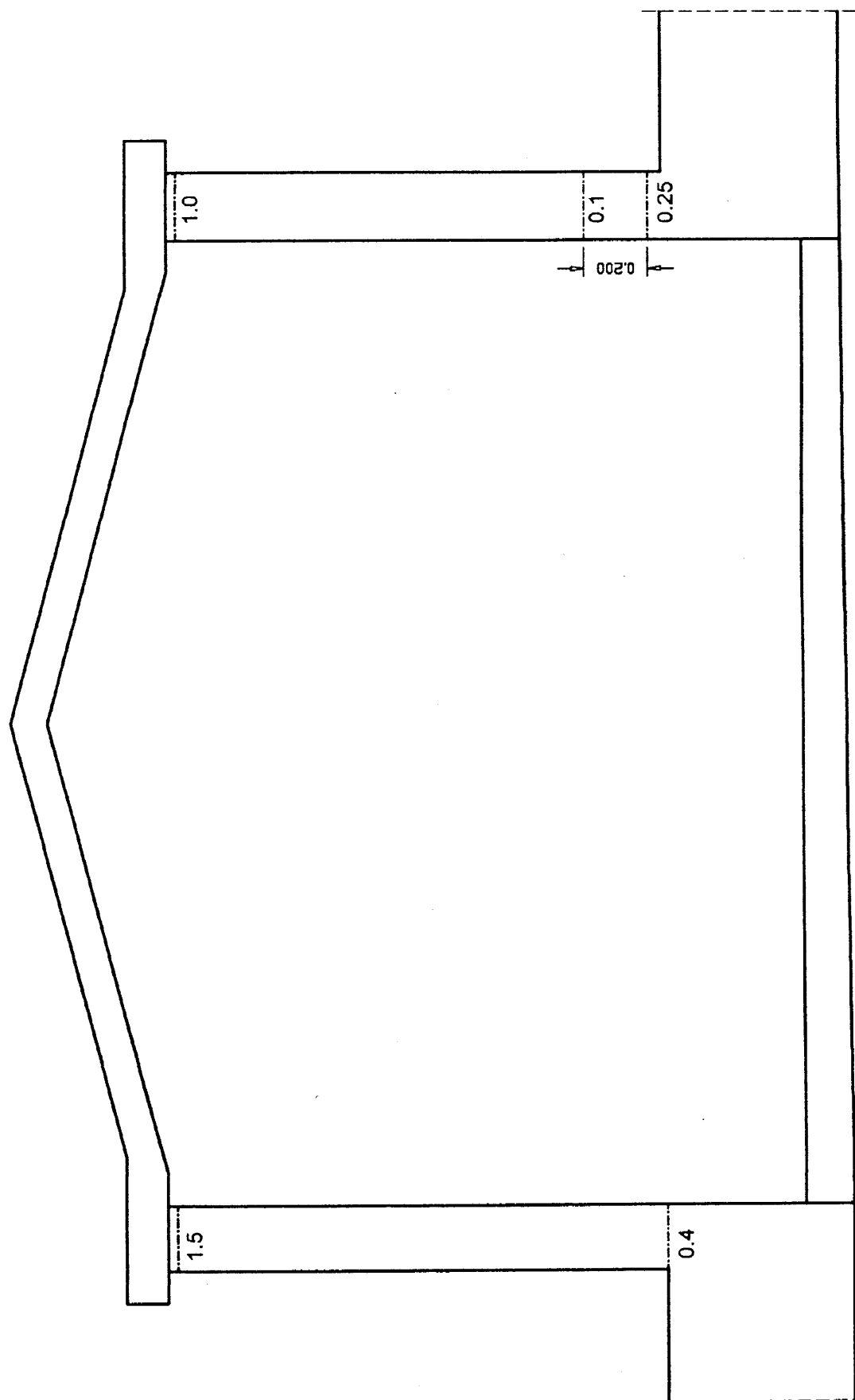
3.5.4 Ρωγμές

Στο επόμενο σκαρίφημα παρουσιάζονται οι θέσεις και τα εύρη (σε mm) των ρωγμών που εμφανίσθηκαν στις κεφαλές των υποστυλωμάτων α) υπό το μέγιστο φορτίο και β) μετά την αποφόρτιση.

Εκτός από τη διεύρυνση των χαρακτηριστικών ρωγμών στην κεφαλή των στύλων, παρατηρήθηκαν μόνο λίγες ελαφρές καμπτικές ρωγμές στους πόδες των στύλων.

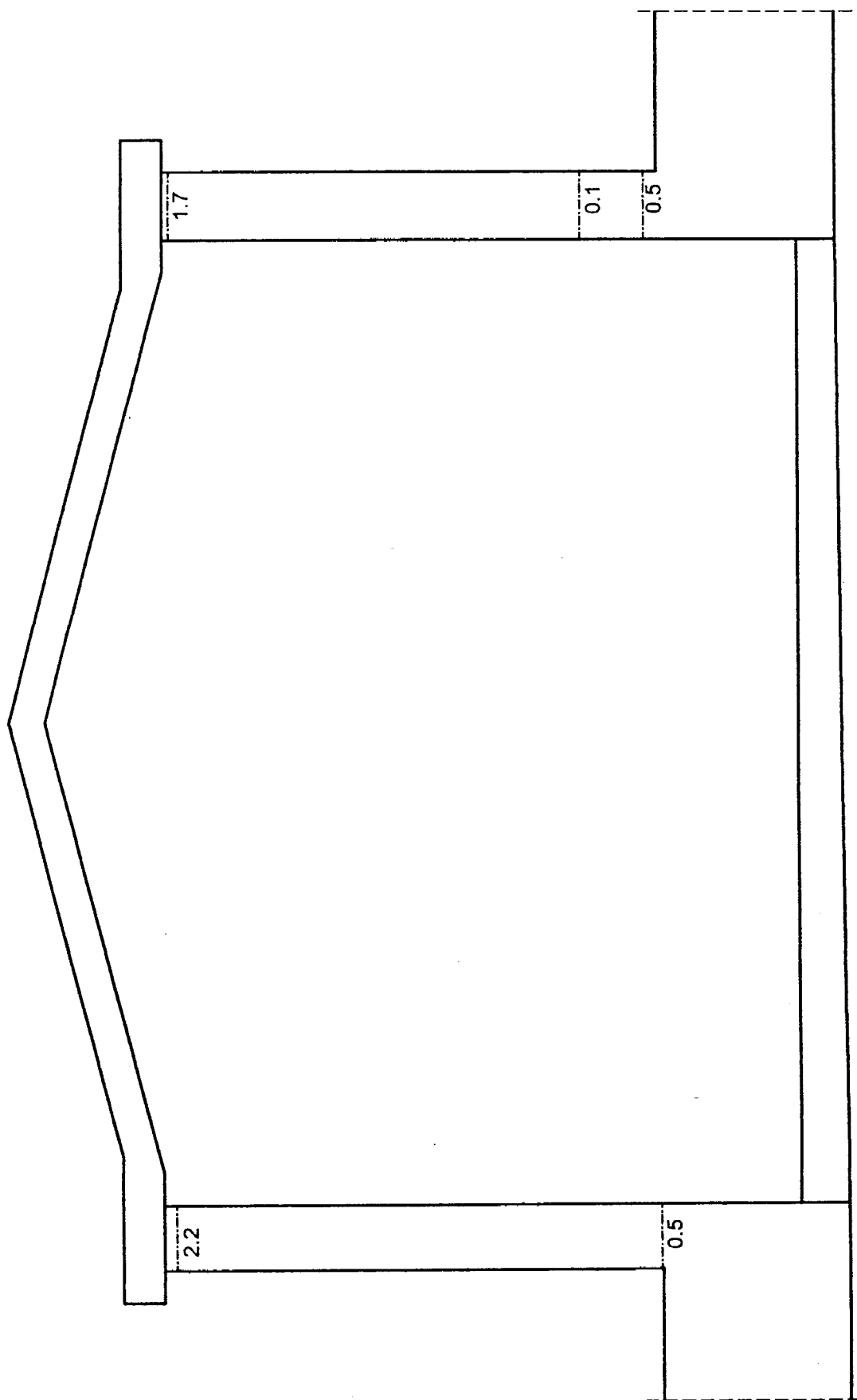
α) Μέγιστο φορτίο

Δυτική κύρια όψη (πρόσοψη)



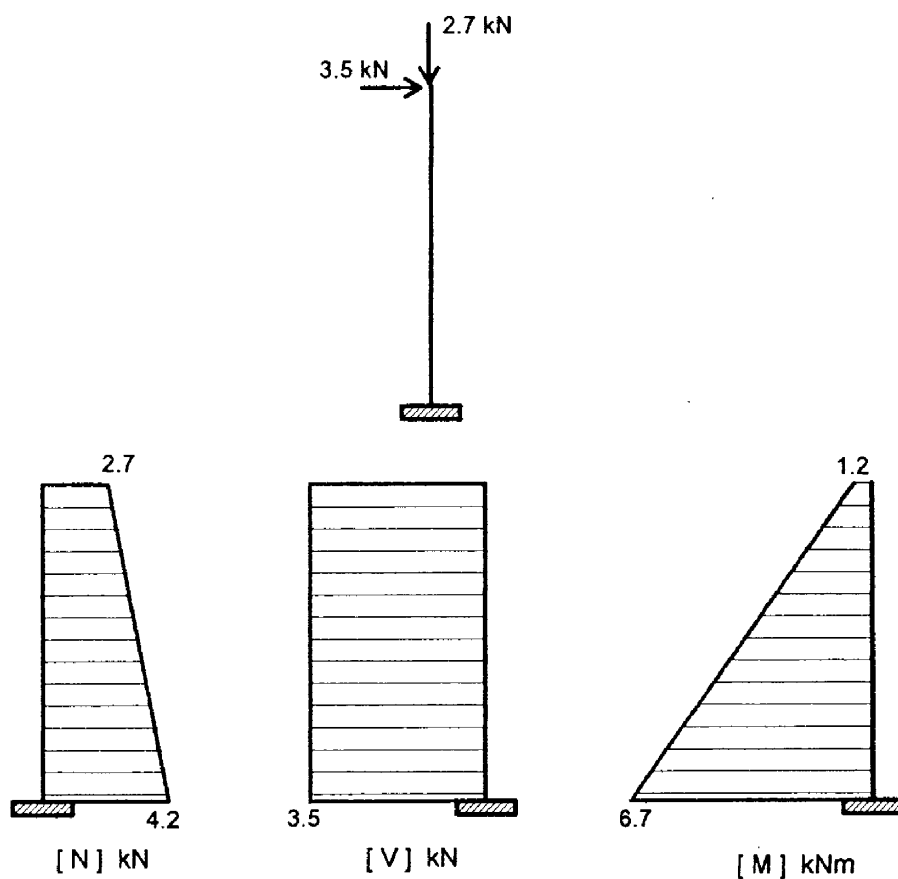
β) Μετά την αποφόρτιση

Δυτική κύρια όψη (πρόσοψη)



3.6 Διαγράμματα εντατικών μεγεθών

Λαμβάνοντας υπόψη ότι το φορτίο που έδρασε σε κάθε στύλο ήταν περίπου ίσο με το μισό του επιβαλλόμενου μέσω του γρύλου (βλ. § 3.5.1 και § 3.5.2), τα διαγράμματα εντατικών μεγεθών υπό το μέγιστο φορτίο, για κάθε στύλο, έχουν ως εξής :



Κατά την δοκιμή δεν παρατηρήθηκαν φαινόμενα ή ενδείξεις ταυτόχρονης καταπόνησης (έστω ελαφράς) εντός επιπέδου. Επίσης δεν παρατηρήθηκε στροφή στους πόδες των στύλων, στις περιοχές «πακτώσεως».

Σημείωση

Παρά τη διαφορετική αρχική εικόνα των δύο στύλων της μεγάλης πύλης όσον αφορά την ρηγμάτωση, καθώς και παρά τη διαφορά στη σύνδεσή τους με το «ζύγωμα» - σκέπαστρο, η απόκρισή τους εμφανίσθηκε σχεδόν ίδια και αισθητά ελαστική, και σε όρους μετακινήσεων και σε όρους ανηγμένων παραμορφώσεων

3.7 Αξιολόγηση

Στον συγκεντρωτικό πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται όλα τα στοιχεία και οι ενδείξεις της πειραματικής έρευνας για τη μεγάλη πύλη, ενώ δίνονται και τα θεωρητικά διαγράμματα ροπών καμπυλοτήτων ($M - 1/r$) στη βάση των στύλων και για δύο (2) στάθμες αξονικής δύναμης, με βάση ειδικό λογισμικό.

Οι θεωρητικές τιμές της ροπής διαρροής και της αντίστοιχης καμπυλότητας διαρροής εκτιμώνται ως εξής :

$$— M_y \cong 8.00 \text{ kNm (κατά μέσον όρον)}$$

$$— (1/r)_y \cong 15.0 \text{ ‰ m}^{-1},$$

ενώ για τη ρηγμάτωση τα αντίστοιχα μεγέθη είναι :

$$— M_{cr} \cong 6.65 \text{ kNm}$$

$$— (1/r)_{cr} \cong 12.5 \text{ ‰ m}^{-1}.$$

Ετσι, τα θεωρητικά βέλη έχουν ως εξής :

$$— \delta_y \cong \frac{1}{3} \cdot \ell^2 \cdot (1/r)_y \cong 18.0 \text{ mm} \quad (\ell = 1.90 \text{ m})$$

$$— \delta_{cr} \cong \frac{1}{3} \cdot \ell^2 \cdot (1/r)_{cr} \cong 15.0 \text{ mm}.$$

Δηλαδή, θεωρητικώς (με βάση αυτά τα διαγράμματα $M - 1/r$) αναμένονταν βέλη διπλάσια έως τριπλάσια αυτών που μετρήθηκαν κατά τις επιτόπου δοκιμές (υπό αισθητά ελαστική απόκριση).

Στο κεφάλαιο 4 αυτής της έκθεσης – μελέτης δίνεται πλήθος πρόσθετων στοιχείων για την βαθμονόμηση και αξιολόγηση όλων των ενδείξεων.

ΜΕΓΑΛΗ ΠΥΛΗ, ΣΥΓΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΙ ΕΝΔΕΙΞΕΩΝ

A/α	Χαρακτηριστικά	Στύλος προς Β	Στύλος προς Ν
1	Διατομή, A_c	~ 0.2 x 0.2 m	~ 0.2 x 0.2 m
2	Σκυρόδεμα, $f_{cc, πυρ.}$ (MPa) $f_{ct, sp.}$ (MPa)	~ 25.00 ~ 1.65	
3	Οπλισή, A_{st} (πόδας / κεφαλή) A_{sw}	3Ø8 / 1Ø8 Πρακτικώς 0	3Ø8 / 2Ø8 Πρακτικώς 0
4	Κύριες επικαλύψεις, c (mm)	5 ÷ 75	0 ÷ 40
5	Ένταση, N / V / M (kN, kNm)	2.7 ÷ 4.2 / 3.5 / 6.7	
6	Μετά την δοκιμασία, T (s) – ζ (%)	0.32 / 10.0	
7	Απόκλιση (%)	~ 1.15	~ 1.00
8	Ρωγμές, ποδός / κεφαλής άνοιγμα / απόσταση (mm)	Ναι / Ναι ≤ 2.0 / --	Ναι / Ναι ≤ 1.5 / ~ 200
9	Ρηγμάτωση, V_{cr} / M_{cr} – δ_{cr} , ϵ_c	3.5 kN / 6.65 kNm – 6.0mm, 0.2‰	
10	Διαρροή, V_y / M_y – δ_y , ϵ_c	3.5 kN / 6.65 kNm – 6.0mm, 0.2‰	

Διαγράμματα ροπών – καμπυλοτήτων στη βάση των στύλων

(ροπές εκτός του επιπέδου της πύλης)

«Παραδοχές»

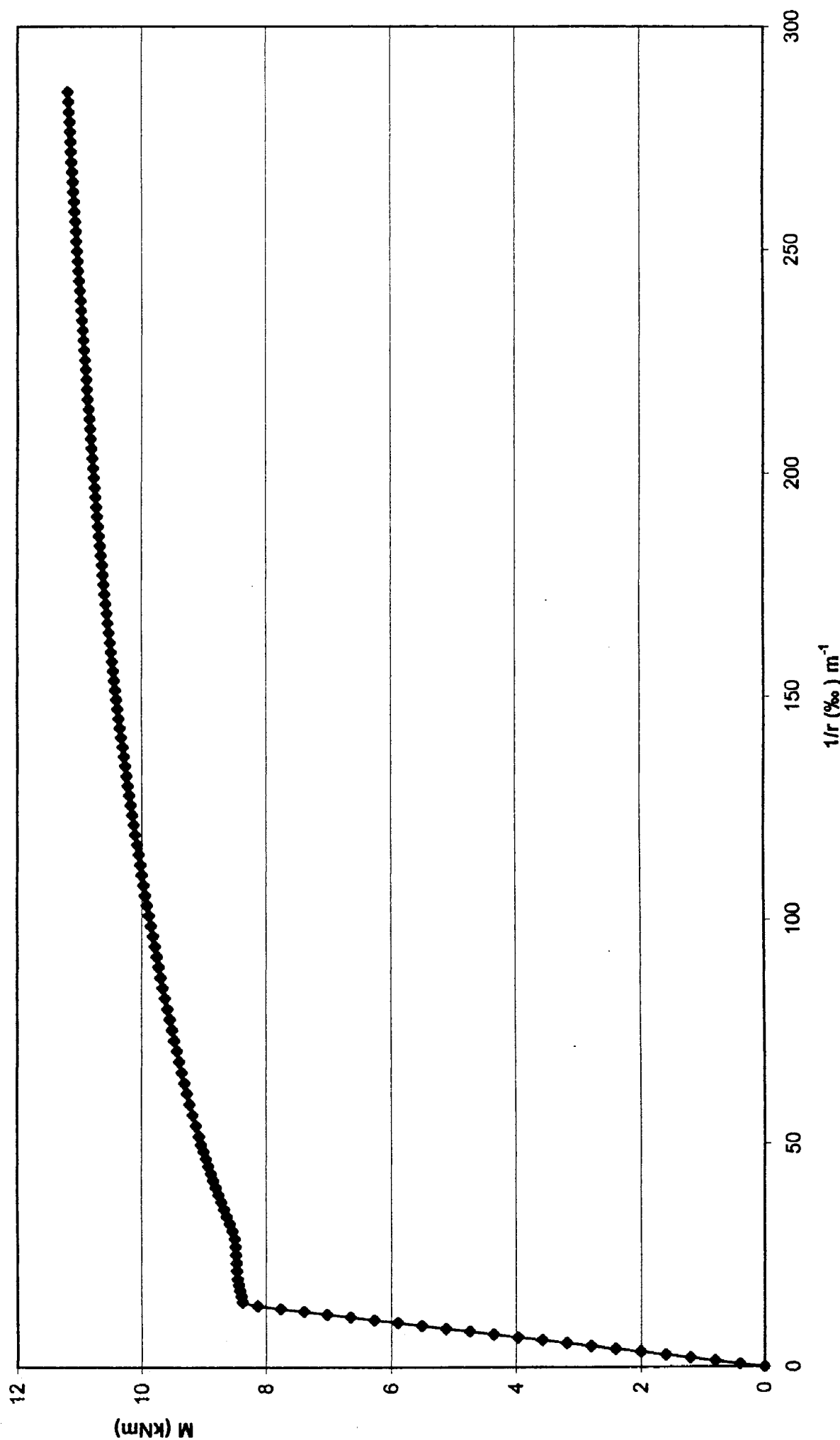
Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα στοιχεία και οι παραδοχές με βάση τις οποίες συντάχθηκε κάθε ένα από τα διαγράμματα ροπών - καμπυλοτήτων. Συντάχθηκαν δύο σειρές διαγραμμάτων για δύο διαφορετικές τιμές της επικάλυψης. Επειδή η γεωμετρία και η όπλιση των στύλων ήταν ίδια, οι ίδιες δεν υπάρχει διάκριση μεταξύ των στύλων.

A/α Διαγράμματος	Αξονικό φορτίο (kN)	Διατομή, A _c (cm)	Επικαλύψεις, c _x / c _y (cm)	Όπλιση A _{st} / A _{sw}	Σκυρόδεμα, f _{cc} (MPa)	Χάλυβας, f _{sy} / f _{su} (MPa)
1	0.0	20.5 x 20.5	0.9 / 0.9	3Ø8 / —	25	455 / 635
2	0.0	20.5 x 20.5	1.6 / 1.6	3Ø8 / —	25	455 / 635
3	8.5	20.5 x 20.5	0.9 / 0.9	3Ø8 / —	25	455 / 635
4	8.5	20.5 x 20.5	1.6 / 1.6	3Ø8 / —	25	455 / 635

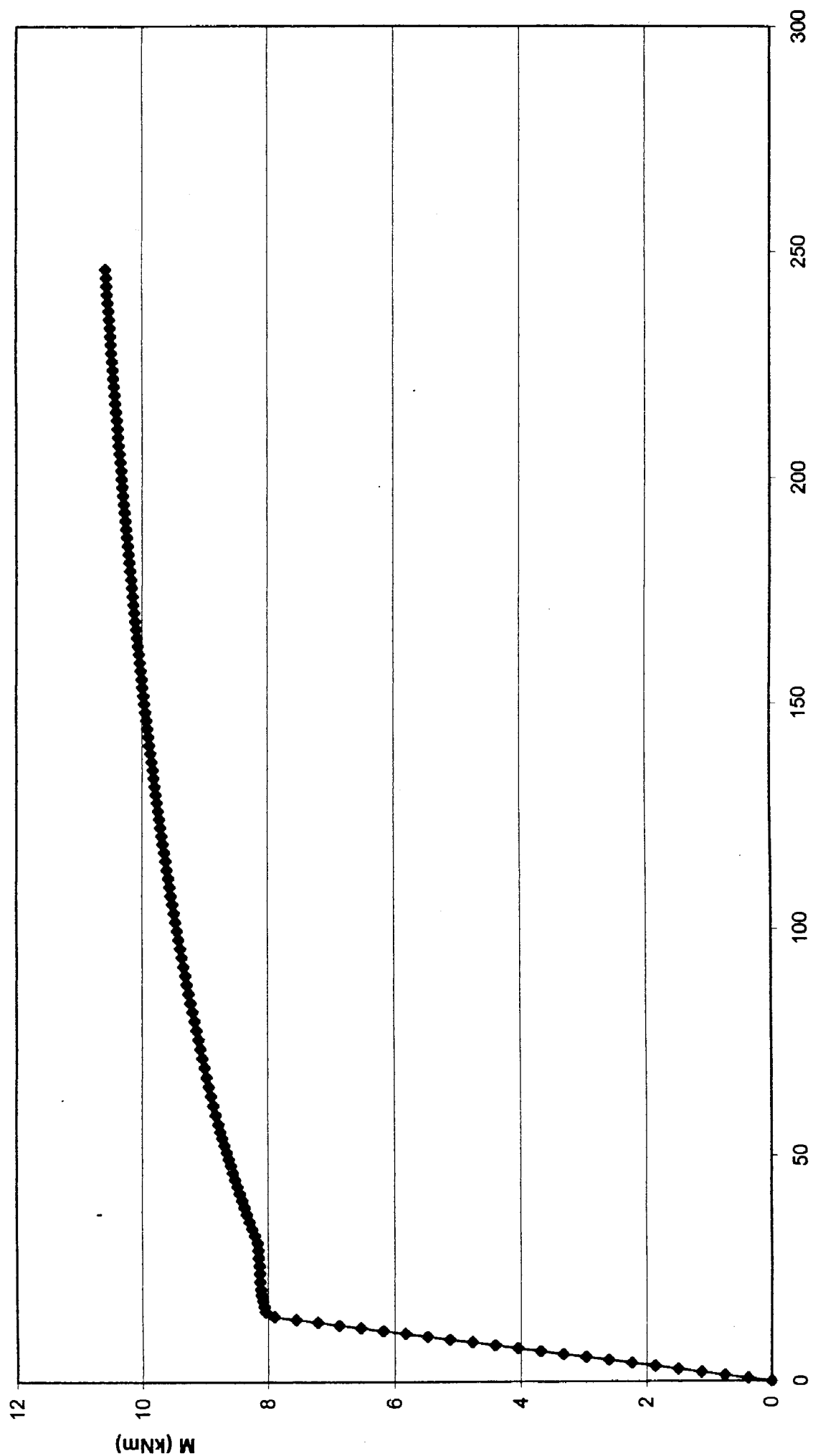
Σημειώσεις:

1. Ως επικάλυψη θεωρείται η απόσταση από την παρειά του στύλου μέχρι το κέντρο βάρους της ράβδου οπλισμού. Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι μέσοι όροι των πολλών τιμών που μετρήθηκαν (βλ. και §3.1).
2. Για το σκυρόδεμα χρησιμοποιήθηκε ο «κλασσικός» νόμος σ – ε όπως έχει προταθεί στο MC / 90 του CEB.
3. Για τη συμπεριφορά του χάλυβα χρησιμοποιήθηκε ελαστοπλαστικό προσομοίωμα με παραβολικό κλάδο κράτυνσης ($\epsilon_{sh} = 5\%$).

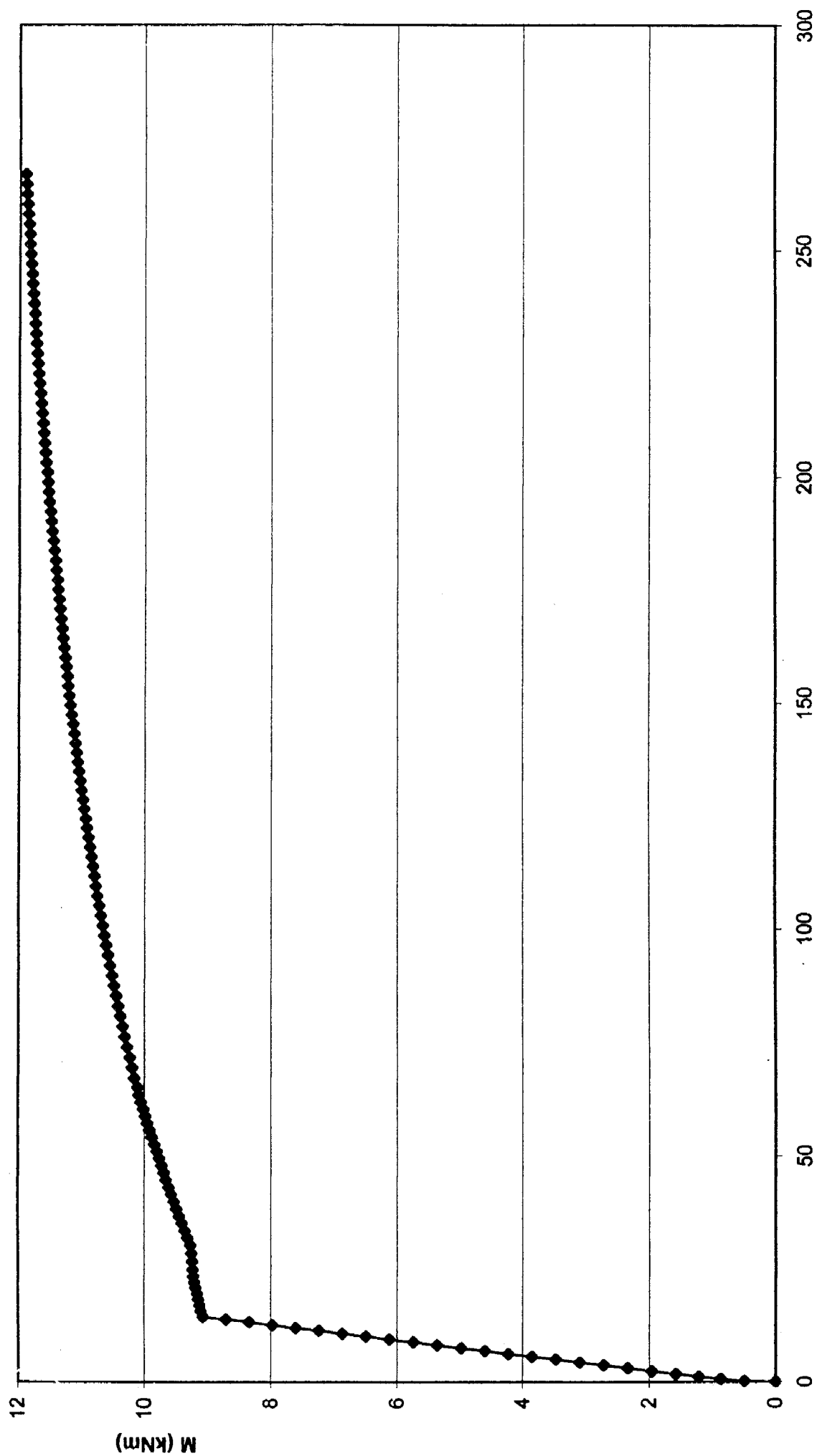
Διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων Νο 1
Μεγάλη πύλη, $N = 0.0 \text{ kN}$, $c = 0.9 \text{ cm}$



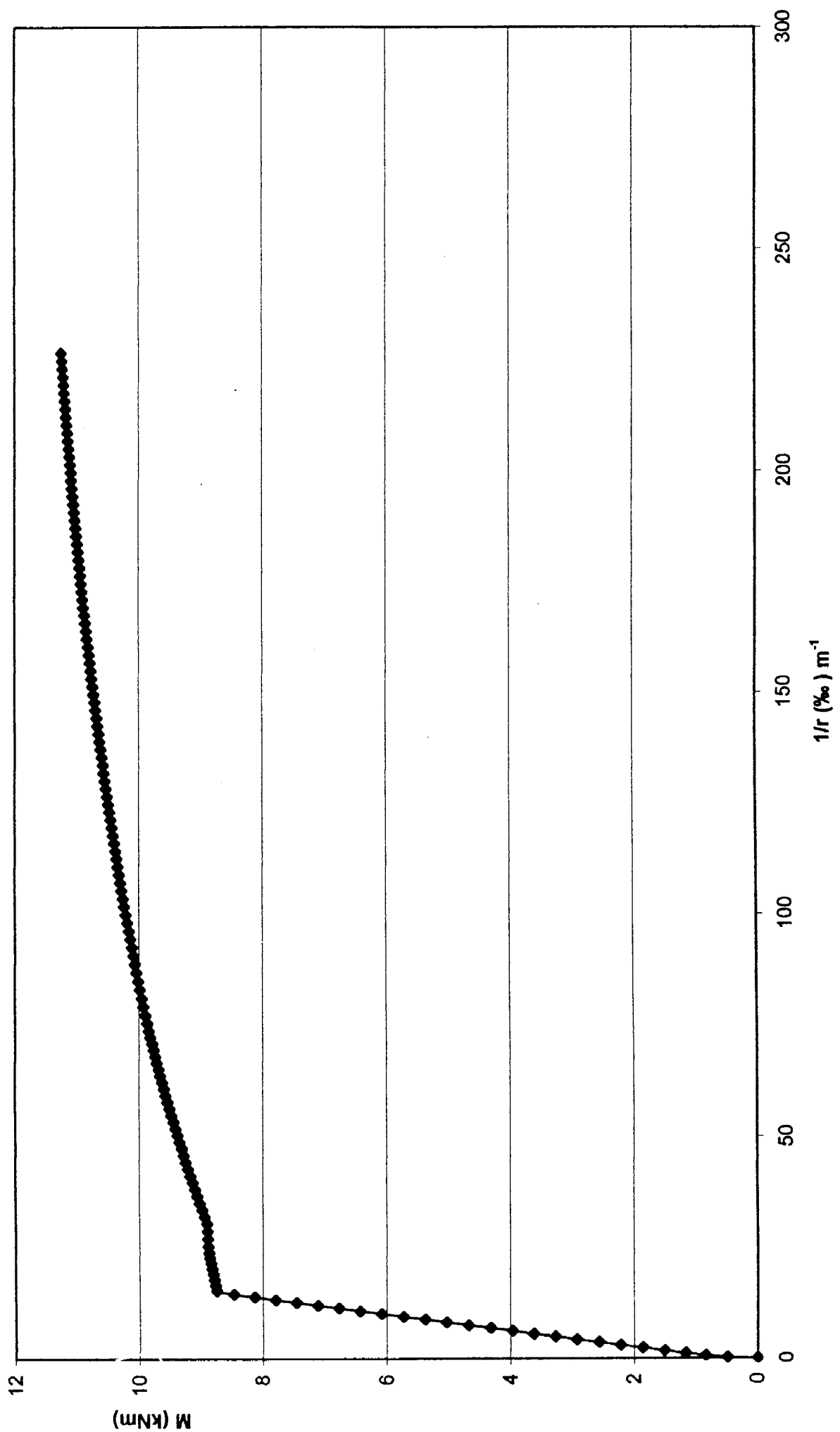
Διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων Νο 2
Μεγάλη πύλη, $N = 0.0 \text{ kN}$, $c = 1.6 \text{ cm}$



Διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων Νο 3
Μεγάλη πύλη, $N = 8.5 \text{ kN}$, $c = 0.9 \text{ cm}$



Διάγραμμα ροπών καμπυλοτήτων Νο 4
Μεγάλη πύλη, $N = 8.5 \text{ kN}$, $c = 1.6 \text{ cm}$



4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- 4.1 Λόγω των διαφορών που παρουσιάσθηκαν μεταξύ πειραματικών και θεωρητικών τιμών για τα διάφορα μηχανικά χαρακτηριστικά των πυλών (περισσότερο για τη μεγάλη από ότι για τη μικρή), αποφασίσθηκε λεπτομερέστερη αναλυτική / θεωρητική βαθμονόμηση και αξιολόγηση των στοιχείων, όπως παρουσιάζεται αμέσως μετά, σε ιδιαίτερο προσάρτημα.

Ετσι, έγινε δυνατή η καλύτερη και ακριβέστερη συνεκτίμηση όλων των πολλών (και σε ορισμένες περιπτώσεις αντιφατικών) ενδείξεων για την απόκριση των πυλών, που παρά την προφανή «εξωτερική» - «γεωμετρική» απλότητά τους παρουσίασαν πλήθος προβλημάτων.

Κύριοι λόγοι για τα προβλήματα συμπεριφοράς και βαθμονόμησης / αξιολόγησης ήταν :

- Οι προϋπάρχουσες βλάβες / ρωγμές κάθε είδους
- Η «εσωτερική» α-κανονικότητα και ασυμμετρία, π.χ. όσον αφορά την όπλιση και τις λεπτομέρειές της
- Η υπο-όπλιση των στοιχείων (στύλων), που οδηγεί σε δυσδιάκριτα όρια μεταξύ ρηγμάτωσης και διαρροής, και
- Για την μεγάλη (σε αντίθεση με την μικρή) πύλη, η προβληματική σύνδεση στύλων και «ζυγώματος» - σκεπάστρου.

- 4.2 Όπως παρουσιάζεται στο ιδιαίτερο προσάρτημα, έγινε δυνατός ο συνδυασμός των πειραματικών μετρήσεων και των θεωρητικών εκτιμήσεων, για τις περισσότερες (αν όχι όλες τις) παραμέτρους της συμπεριφοράς των δύο (2) πυλών.

Ετσι, αμέσως μετά επισυνάπτεται το τελικό διάγραμμα ροπών – καμπυλοτήτων ($M - 1/r$) για τις διατομές στους πόδες των στύλων των πυλών, κατάλληλο για τις λεπτομερέστερες δυναμικές αναλύσεις και παραμετρικές διερευνήσεις.

Όσον αφορά τις αντίστοιχες μετακινήσεις στην κεφαλή των στύλων, τα αποτελέσματα συνοψίζονται ως εξής :

Σημείο	Πειραματικές μετρήσεις	Θεωρητικές εκτιμήσεις
I	$\sim 6 (\pm 8) \text{ mm}$	$\sim 2 \text{ mm}$
Υ	$\sim (6 \div) 8 \text{ mm}$	$\sim 35 \text{ mm } (\pm 20\%)$

Σημείωση : Οι μικρότερες / μεγαλύτερες τιμές μετρήθηκαν για την μεγάλη / μικρή πύλη, αντιστοίχως

4.3 Αδρομερείς εκτιμήσεις για την σεισμική καταπόνηση των πυλών, οδηγούν στα εξής συμπεράσματα :

- Για τις συγκεκριμένες απλές κατασκευές, η επιρροή της ταυτόχρονης κατακόρυφης συνιστώσας ήταν πρακτικώς μηδενική (ακόμη και αν ήταν πολύ ισχυρή), πέραν της αναπόφευκτης μικρο-διεύρυνσης των παλιών ρωγμών (ή της δημιουργίας, ίσως, και νέας γενιάς μικρορωγμών)
- Οι υπόψη πύλες καταπονήθηκαν, και κατά τη διάρκεια του σεισμού, κυρίως εκτός του επιπέδου τους (κάθετα προς την πρόσοψη), χωρίς να παρατηρηθούν ενδείξεις στρέψεως του ζυγώματος – σκεπάστρου (τουλάχιστον έντονες)
- Οι πλασματικές ισοδύναμες οριζόντιες αδρανειακές δυνάμεις ήταν – ομολογουμένως – μάλλον μικρές.
Σχετικώς, με βάση την παθολογική εικόνα των πυλών αλλά και τα αποτελέσματα των διερευνήσεων, η «ενεργός» επιτάχυνση ήταν ίσως μικρότερη από την τιμή $0.25g$.

Σημειώσεις

- (i) Οι αξονικές δυνάμεις ήσαν πολύ μικρές.

Η ανηγμένη τιμή για την μικρή / μεγάλη πύλη έχει ως εξής, αντιστοίχως :

$$v = N_s / f_c \cdot A_c \cong 0.0025 / 0.0035 \quad (!)$$

- (ii) Οι τέμνουσες δυνάμεις ήσαν πολύ μικρές.

Αγνοώντας την επιρροή της θλίψεως (ή του εφελκυσμού) αλλά και του οπλισμού, η τιμή αντοχής έναντι τέμνουσας εκτιμάται ως εξής :

$$V_{R1} \cong (1.2\kappa \cdot T_R) \cdot b \cdot d, \quad \kappa = 1.6 - d^{[m]} \cong 1.4$$

ή

$$V_{R1} \cong 1.7 \cdot T_R \cdot b \cdot d$$

$$T_R \cong 0.25 \cdot (0.7f_{ct}) \cong 0.175 \cdot (1.65 \div 2.55) \text{ MPa}$$

ή

$$T_R \cong 0.30 \div 0.45 \text{ MPa.}$$

$$\text{Άρα } \min V_{R1} \cong 16.0 \div 25.0 \text{ kN} \gg V_s.$$

- (iii) Τα ποσοστά οπλισμού ήσαν πολύ μικρά.

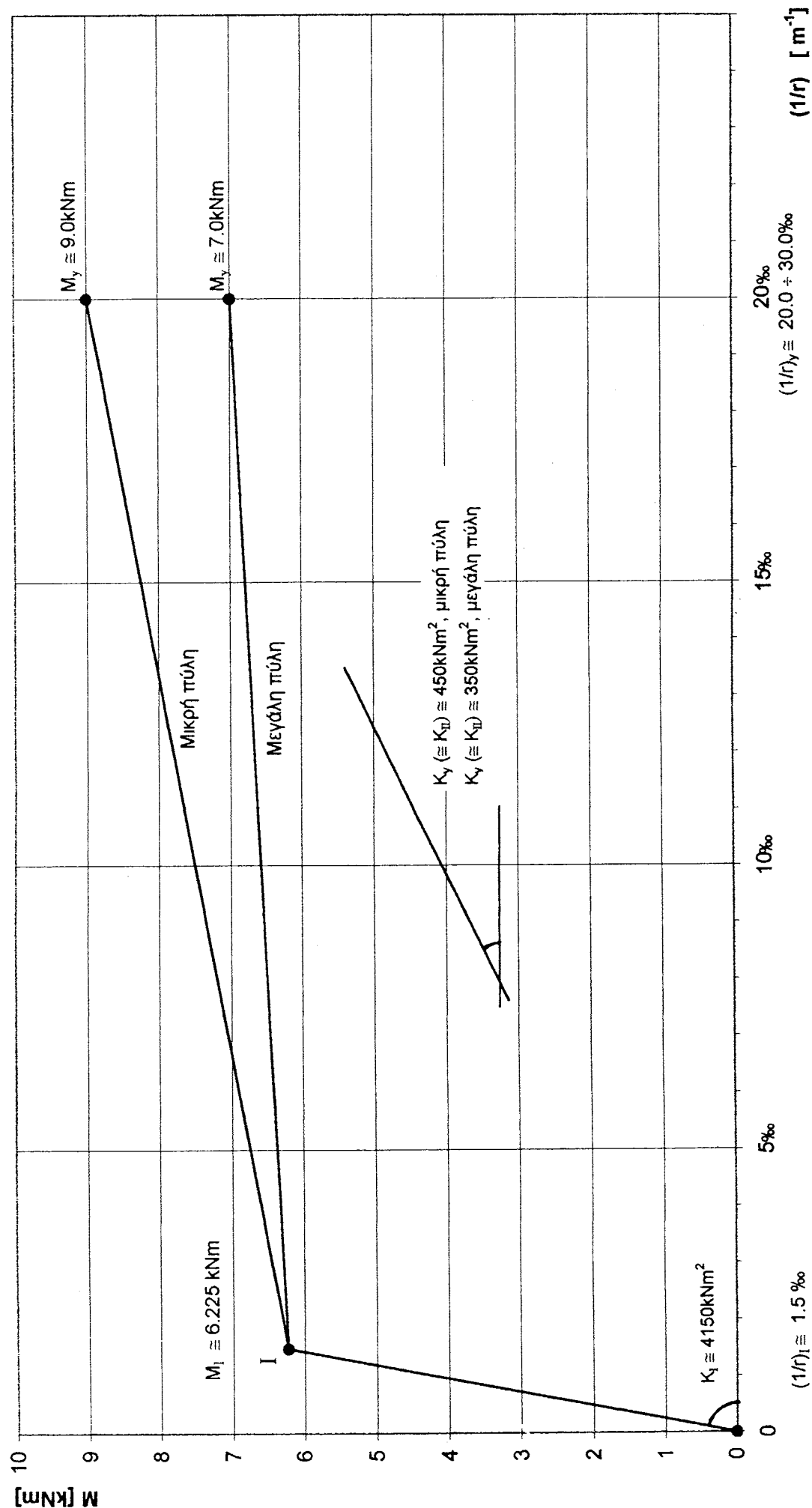
$$\text{Για } 4\varnothing 8 \text{ και } 4\varnothing 4 : \rho_t \cong 0.63 \%$$

$$\text{Για } 2\varnothing 8 : \rho_t \cong 0.25 \%$$

ΤΕΛΙΚΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ M - 1/Γ

(μετά από αξιολόγηση / βαθμονόμηση όλων των στοιχείων)

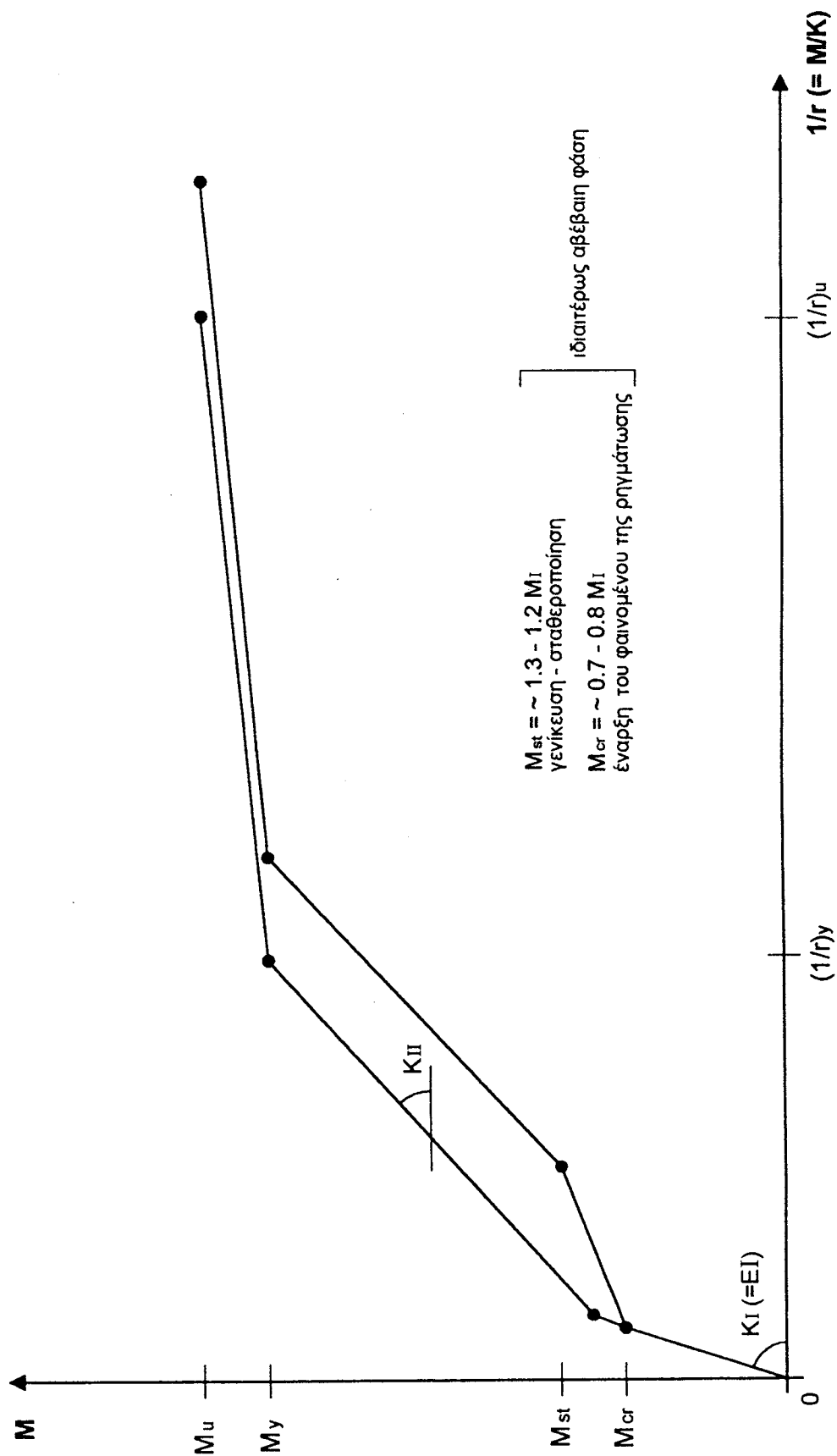
ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΣ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ (ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΠΟΛΥ ΜΙΚΡΗ)



Προσάρτημα

Βαθμονομήσεις / Αξιολογήσεις

Διάγραμμα $M - (1/r)$ (σχηματοποιημένο)



1) Εκτίμηση $K_I (= E_c \cdot I_c)$

$$1.1) I_c = bh^3 / 12 = 1.333 \text{ dm}^4$$

$$1.2) E_c = \alpha \cdot \beta_1 \cdot f_c^{\beta_2} \quad (\pm 30\%), \text{ σε MPa}$$

$$\alpha \cong \begin{cases} 1.1 & \text{για } \sigma_c \cong 0.1 \cdot f_c \\ 1.0 & \text{για } \sigma_c \cong 0.4 \cdot f_c \end{cases}$$

$$\beta_1 \cong 5750 \quad \text{για } \beta_2 \cong \frac{1}{2}$$

$$\beta_1 \cong 9500 \quad \text{για } \beta_2 \cong \frac{1}{3}$$

$$\text{Αρα : } E_c \cong (30500 \div 31500) \text{ MPa,}$$

$$\text{και : } K_I \cong 4150 \text{ kNm}^2.$$

2) Εκτίμηση $(1/r)_I$ και δ_I

$$\text{Για } V_I \cong 3.75 \text{ kN} \quad (\text{βλ. πίνακες § 2.7 και § 3.7})$$

$$\rightarrow M_I \cong 3.75 \text{ kN} \cdot 1.85 \text{ m} \cong 6.95 \text{ kNm} \quad (\text{κατά μέσον όρον}).$$

$$\text{Αρα : } (1/r)_I \cong M_I / K_I \cong (1.5 \div 2.0) \% \text{ m}^{-1},$$

$$\text{και : } \delta_I \cong \frac{1}{3} \cdot \ell^2 \cdot (M_I / K_I) \cong \frac{1}{3} \cdot \ell^2 \cdot (V_I \cdot \ell / K_I) \cong 2.0 \text{ mm}.$$

Σημείωση : Για απλά και ελαφρά οπλισμένες ορθογωνικές διατομές υπό κάμψη μόνο (ή υπό μικρή αξονική δύναμη) ισχύει :

$$M_I \cong (f_{ct,fl})_{πειρ} \cdot w_c \cong 1.8 \cdot 1.85 \text{ MPa} \cdot 1.333 \text{ dm}^3 \cong 4.45 \text{ kNm} \quad (\pm 30\%)$$

ή

$$M_I \cong (f_{ct,fl})_{θεωρ} \cdot w_c \cong 1.8 \cdot 2.85 \text{ MPa} \cdot 1.333 \text{ dm}^3 \cong 6.85 \text{ kNm} \quad (\pm 30\%)$$

$$\text{Υπενθύμιση : } f_{ct,fl} \cong 1.8 \cdot f_{ct,sp} \cong 2.0 \cdot f_{ct}, \text{ και}$$

$$f_{ct} \cong 0.3 \cdot f_{cc}^{2/3} \quad (\pm 30\%), \text{ σε MPa}$$

$$\text{Πειραματικώς : } f_{ct,sp} \cong 1.65 \div 2.0 \text{ MPa}$$

$$\text{Θεωρητικώς : } f_{ct,sp} \cong 1.111 \cdot f_{ct} \cong 0.333 \cdot f_{cc}^{2/3} \cong 2.85 \text{ MPa}$$

3) Εκτίμηση $(1/r)_y$ και δ_y

$$3.1) \quad (1/r)_y \cong 2 \cdot \kappa_1 \cdot \varepsilon_y / (0.9 \cdot d)$$

$$\varepsilon_y = f_y / E_s$$

d = στατικό ύψος

$$\kappa_1 = (N_R - N_s) / (N_R - N_{bat}) \leq 1.00$$

$$N_R \cong 0.85 \cdot f_c \cdot A_c (+ f_y \cdot A_s)$$

$$N_{bat} \cong 0.40 \cdot f_c \cdot A_c \quad (\text{για συμμετρικά οπλισμένες ορθογωνικές διατομές})$$

$$\text{Αρα, για } \kappa_1 \cong 1.00 / \varepsilon_y \cong 2.25 \text{ ‰} / d \cong 0.16 \text{ m}$$

$$\rightarrow (1/r)_y \cong (31.0 \div 31.5) \text{ ‰ m}^{-1}.$$

$$3.2) \quad \delta_y = \kappa_3 \cdot (\ell_o^2 / \kappa_2) \cdot (1/r)_y$$

$$\ell_o \cong 2 \cdot \ell \cong 2 \cdot 1.85 \text{ m}$$

$$\kappa_2 \cong 10 \text{ ή } \pi^2$$

$$\kappa_3 \cong \begin{cases} 1.00 & \text{για } \lambda > 35 \\ (\lambda/10) - 2.5 & \text{για } 25 \leq \lambda \leq 35 \end{cases} \quad \lambda = \ell_o / i$$

$$\text{Αρα, για } \lambda \cong 75 / \kappa_3 \cong 1.0 / \kappa_2 \cong 10$$

$$\rightarrow \delta_y \cong 43.0 \text{ mm.}$$

Σημείωση : Για μεγαλύτερες τιμές στατικού ύψους (π.χ. $d \cong 0.18 \text{ m}$, βλ. πανσπερμία τιμών που μετρήθηκαν) και για μικρότερες τιμές ανηγμένης παραμόρφωσης του σκυροδέματος (π.χ. $\varepsilon_c \leq 0.5 \cdot \varepsilon_y$, όπως μετρήθηκαν, και όχι $\varepsilon_c \cong 1.0 \cdot \varepsilon_y$), ισχύει :

- $(1/r)_y \cong 20 \text{ ‰ m}^{-1}$
- $\delta_y \cong 27.5 \text{ mm.}$

4) Εκτίμηση M_y και K_{II}

4.1) Για απλά και ελαφρά οπλισμένες ορθογωνικές διατομές υπό κάμψη μόνο (ή υπό μικρή αξονική δύναμη) ισχύει :

$$M_y \cong 0.9d \cdot f_y \cdot A_s$$

$$\text{Αρα, για } d = 0.16\text{m ή } 0.18\text{m} / f_y \cong 455 \text{ MPa} / A_s = 208 + 204$$

$$\rightarrow M_y \cong 8.25 \text{ ή } 9.30 \text{ kNm.}$$

$$\text{Επίσης, για } d = 0.16\text{m ή } 0.18\text{m} / f_y \cong 455 \text{ MPa} / A_s = 208$$

$$\rightarrow M_y \cong 6.55 \text{ ή } 7.35 \text{ kNm.}$$

4.2) Η επιβατική (ή «τέμνουσα») δυσκαμψία K_y μπορεί να εκτιμηθεί από τη σχέση :

$$K_y \cong M_y / (1/r)_y$$

$$\text{Αρα, για την μικρή πύλη, με } M_y \cong 9.0 \text{ kNm και } (1/r)_y = 20\text{‰} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\rightarrow K_y \cong 450 \text{ kNm}^2,$$

$$\text{ενώ, για την μεγάλη πύλη, με } M_y \cong 7.0 \text{ kNm και } (1/r)_y = 20\text{‰} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\rightarrow K_y \cong 350 \text{ kNm}^2.$$

Οι θεωρητικώς εκτιμώμενες τιμές K_y και K_{II} έχουν ως εξής :

- $K_y \cong (K_{II} + 0.05K_I)$ ή $(1.2 \cdot K_{II})$ ή $300 \cdot M_y \cdot d$
- $K_{II} = (0.5 \div 0.7) \cdot E_s \cdot A_s \cdot d^2$

Αρα, για την μικρή πύλη :

$$K_{II} \cong 0.6 \cdot 200\text{GPa} \cdot 2 \cdot 63\text{mm}^2 \cdot 0.17\text{m}^2 \cong 435 \text{ kNm}^2$$

$$K_y \cong 460 \div 645 \text{ kNm}^2,$$

ενώ, για την μεγάλη πύλη :

$$K_{II} \cong 0.6 \cdot 200\text{GPa} \cdot 2 \cdot 50\text{mm}^2 \cdot 0.17\text{m}^2 \cong 345 \text{ kNm}^2$$

$$K_y \cong 355 \div 555 \text{ kNm}^2.$$

6) Εκτίμηση χαρακτηριστικών ρωγμών

Η ρηγμάτωση περιγράφεται από το πιθανό μέσο (w_{rm}) και μέγιστο (w_{rk}) άνοιγμα – εύρος και την πιθανή απόσταση μεταξύ διαδοχικών ρωγμών (s_r), μέσω της ανηγμένης παραμόρφωσης του οπλισμού ανάμεσα στις ρωγμές (ε_s).

Ετσι, ισχύει :

- $w_{rk} \cong 1.75 \cdot w_{rm}$
- $w_{rm} \cong s_{rm} \cdot \varepsilon_{sm}$ (μέσες τιμές)
- $s_{rk} \cong 1.75 \cdot s_{rm}$

Για τις παραμέτρους και τα δεδομένα των πυλών που ελέγχθηκαν, εκτιμώνται τα εξής :

- $\varepsilon_{sm} = \zeta \cdot \sigma_{sm} / E_s, \quad \zeta = 1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot (\sigma_{sr} / \sigma_{sm})^2$
 $\zeta \cong 0.7 \div 1.0 \rightarrow \varepsilon_{sm} \cong (0.7 \div 1.0) \cdot f_y / E_s \cong 1.6 \div 2.3 \text{ ‰}$
- $s_{rm} = \kappa_1 \cdot \kappa_2 \cdot \varnothing / \rho_r, \quad \rho_r = A_{sr} / A_{ct}$ (στη ζώνη ενεργού επιρροής)
 $\rho_r \cong 5.0 \div 6.3 \text{ ‰} \rightarrow s_{rm} \cong 71.5 \div 80.0 \text{ mm}$
- $s_{rk} \cong 125 \div 140 \text{ mm}$
- $w_{rm} \cong 0.10 \div 0.18 \text{ mm}$
- $w_{rk} \cong 0.20 \div 0.32 \text{ mm}$

Δηλαδή, για τις αποστάσεις των ρωγμών υπάρχει συμφωνία μεταξύ πειραματικών και θεωρητικών τιμών (που υποδηλώνει και την γενίκευση – σταθεροποίηση του φαινομένου), ενώ για τα εύρη των ρωγμών οι τιμές που μετρήθηκαν είναι πολλαπλάσιες από τις τιμές που εκτιμήθηκαν.

Κύριοι λόγοι για αυτή την διαφοροποίηση είναι οι εξής :

- (i) Σε όλους τους στύλους των πυλών προϋπήρχαν ρωγμές, διαφόρου εντάσεως και εκτάσεως, λόγω συνεργίας αιτίων, περιλαμβανομένου μάλλον και του σεισμού
- (ii) Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της επαναλαμβανόμενης δοκιμαστικής φόρτισης, μετά την γενίκευση – σταθεροποίηση της ρηγμάτωσης, είναι η συνεχής διεύρυνση των ρωγμών, και

- (iii) Οι μετρηθείσες τιμές εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος βρέθηκαν σημαντικά μικρότερες από τις θεωρητικά αναμενόμενες με βάση τις τιμές θλιπτικής αντοχής._