

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ
& ΖΩΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ
Αριθ. Πρωτοκ. 86
Ημερομηνία 28-6-98

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΜΕ ΘΕΜΑ

‘Σχεδιασμός, κατασκευή και δοκιμή ενός συστήματος οργάνων μέτρησης και καταγραφής δυνάμεων που αναπτύσσονται μεταξύ γεωργικού ελκυστήρα και αναρτημένων γεωργικών μηχανημάτων.’

ΙΩΑΝΝΗΣ Κ. ΠΑΠΑΘΑΝΑΣΙΟΥ

Επιβλέπων Καθηγητής
Θ. ΓΕΜΤΟΣ Αν. Καθηγητής

Μελή Επιτροπής:
Κ. ΚΙΤΤΑΣ Καθηγητής
Ν. ΔΑΝΑΛΑΤΟΣ Λέκτορας

ΒΟΛΟΣ
ΜΑΙΟΣ 1998



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»

Αριθ. Εισ.: 31/1
Ημερ. Εισ.: 05-08-2003
Δωρεά:
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΓΦΖΠ
1998
ΠΑΠ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000070090

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ	4
2.1. Μέτρηση αναπτυσσομένων δυνάμεων μεταξύ γεωργικού ελκυστήρα και παρελκομένων	4
2.2. Ενίσχυση, διαμόρφωση και καταγραφή των μετρήσεων	7
2.3. Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά του συστήματος δυναμομέτρησης	9
3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΡΓΑΝΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	10
4. ΕΛΕΓΧΟΙ, ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	14
4.1. Βαθμονόμηση υδραυλικού γερανού	14
4.2. Βαθμονόμηση δυναμοκυψελών	14
4.2.1. Αρχική πριν την ενίσχυση	14
4.2.2. Τελική βαθμονόμηση δυναμοκυψελών	15
Πίνακας μετρήσεων για τη βαθμονόμηση του υδραυλικού γερανού	16
Καμπύλη βαθμονόμησης υδραυλικού γερανού	17
Πίνακας αρχικής βαθμονόμησης δυναμοκυψελών	18
Καμπύλες αρχικής βαθμονόμησης δυναμοκυψελών	20
Πίνακας τελικής βαθμονόμησης δυναμοκυψελών	32
Καμπύλες τελικής βαθμονόμησης δυναμοκυψελών	33
4.3. Δοκιμαστικές μετρήσεις στον αγρό	39
Καμπύλες διακύμανσης δύναμης πρώτης δοκιμής στον αγρό	41
Καμπύλες διακύμανσης δύναμης δεύτερης δοκιμής στον αγρό	47
Καμπύλες διακύμανσης δύναμης τρίτης δοκιμής στον αγρό	53
Καμπύλες διακύμανσης δύναμης τέταρτης δοκιμής στον αγρό	59
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	65
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	66

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα πλαίσια της διατριβής παρουσιάζονται όλες οι απαραίτητες εργασίες για τον σχεδιασμό, κατασκευή και δοκιμή ενός συστήματος οργάνων μέτρησης και καταγραφής δυνάμεων, με τη χρησιμοποίηση φορητού ηλεκτρονικού υπολογιστή και των καταλλήλων προγραμμάτων. Σκοπός του συστήματος είναι η μέτρηση και καταγραφή των δυνάμεων που αναπτύσσονται κατά την έλξη ενός παρελκομένου γεωργικού μηχανήματος, αναρτημένου στο σύστημα τριών σημείων του υδραυλικού ενός γεωργικού ελκυστήρα. Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά τις διάφορες καλλιεργητικές εργασίες μετρώνται σε τρεις διαστάσεις (οριζόντια, κατακόρυφη και πλάγια), ως προς τον άξονα κίνησης του γεωργικού ελκυστήρα και καταγράφονται με ταχύτητα μέχρι 100.000 δείγματα/s (100 kHz). Το σύστημα αποτελείται από έξι δυναμοκυψέλες που συνδέουν δύο πλαίσια σχήματος Π. Το ένα πλαίσιο συνδέεται με τα τρία σημεία του υδραυλικού συστήματος του γεωργικού ελκυστήρα και το άλλο με τα σημεία ανάρτησης του παρελκομένου γεωργικού μηχανήματος. Οι τρεις δυναμοκυψέλες μετρούν την οριζόντια δύναμη, οι δύο την κατακόρυφη και μία την πλάγια δύναμη. Στην παρούσα εργασία έγινε βαθμονόμηση των δυναμοκυψελών με στατική φόρτιση με τη βοήθεια υδραυλικού γερανού. Έτσι προέκυψε ό,τι το σήμα της κάθε δυναμοκυψέλης ήταν γραμμικό μέσα στα όρια της φόρτισης. Στη συνέχεια το σήμα της κάθε δυναμοκυψέλης ενισχύθηκε και καταγράφηκε στη μνήμη του ηλεκτρονικού υπολογιστή, με τη βοήθεια κάρτας μετατροπής του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Τέλος έγινε δοκιμή του συστήματος στον αγρό μέ άρωση τεσσάρων τεμαχίων, και παρατίθενται διαγράμματα και πίνακες μετρήσεων που εκπονήθηκαν, κατά την εκτέλεση όσων έχουν αναφερθεί.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η προσπάθεια του ανθρώπου από την πρώτη στιγμή που προχώρησε στην καλλιέργεια κάποιων φυτών για την παραγωγή τροφής, ήταν η όσο το δυνατό μεγαλύτερη παραγωγή τους με το μικρότερο δυνατό κόπο από τη πλευρά του. Η διαρκής αυτή αναζήτηση του ανθρώπου μέσα στο πέρασμα των αιώνων

οδήγησε, αφού πρώτα χρησιμοποίησε απλούς συντελεστές παραγωγής όπως τη μυική δύναμη των ζώων σε συνδυασμό με κάποια απλά γεωργικά εργαλεία, στην εκμηχάνιση της γεωργίας με τη χρησιμοποίηση σύγχρονων γεωργικών ελκυστήρων και εργαλείων, που σε πλήρη εφαρμογή τους απαιτούν ελάχιστα από τον άνθρωπο-καλλιεργητή, ενώ αυξάνουν σημαντικά την απόδοση των καλλιεργειών.

Η κίνηση και λειτουργία των γεωργικών ελκυστήρων σε συνδυασμό με τα παρελκόμενα γεωργικά εργαλεία απαιτούν την απόδοση κάποιας ισχύος από τον γεωργικό ελκυστήρα και κατά συνέπεια την κατανάλωση κάποιας ενέργειας από αυτόν, υπό την μορφή χημικών καυσίμων ώστε να υπερνικηθούν οι δυνάμεις που αναπτύσσονται. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ό,τι η χρησιμοποίηση των γεωργικών μηχανημάτων παρουσιάζει κάποιο κόστος, που βαρύνει τον προϋπολογισμό του καλλιεργητή. Το κόστος λειτουργίας των γεωργικών μηχανημάτων θα πρέπει να περιοριστεί όσο είναι δυνατό για την πιο προσοδοφόρα απόδοση των καλλιεργειών. Η μέτρηση, καταγραφή και ανάλυση λοιπόν των δυνάμεων που αναπτύσσονται στον γεωργικό ελκυστήρα και στα αναρτώμενα γεωργικά μηχανήματα κατά τις διάφορες καλλιεργητικές εργασίες μας δίνει μια σαφή εικόνα της απαιτούμενης ισχύος και ενέργειας από την συγκεκριμένη καλλιέργεια. Κατ' επέκταση και σε μια γενικότερη εφαρμογή της μέτρησης, καταγραφής και ανάλυσης των αναπτυσσομένων δυνάμεων είναι δυνατό να υπάρξει μια εικόνα για τις συνολικές απαιτήσεις σε ισχύ και ενέργεια της Ελληνικής γεωργίας.

Μέχρι σήμερα ελάχιστες προσπάθειες έγιναν στην Ελλάδα για τον προσδιορισμό των απαιτήσεων σε ισχύ και ενέργεια των διαφόρων γεωργικών εργασιών (Χατζηλάκος 1962). Γι' αυτό οι διάφορες μελέτες για την μηχανοποίηση της Ελληνικής γεωργίας στηρίζονταν σε στοιχεία που προέρχονταν από άλλες χώρες τα οποία βέβαια δεν μπορούν να έχουν γενικότερη εφαρμογή, αφού είναι γνωστό ό,τι οι συνθήκες αλλάζουν από τόπο σε τόπο. Η έλλειψη αυτή σε αντικειμενικά στοιχεία με γενικότερη εφαρμογή καλύφθηκε από την τελευταία προσπάθεια για προσδιορισμό της απαιτούμενης ισχύος και καταναλλισκόμενης ενέργειας κατά την εκτέλεση των διαφόρων καλλιεργητικών εργασιών, του τμήματος γεωργικών μηχανών και αρδεύσεων του ΤΕΙ Λάρισας υπό την επίβλεψη των κ. Θεοφάνη Α. Γέμτου και Θεοδώρου Ι. Τσιρίκογλου, που περιελάμβανε το σχεδιασμό και κατασκευή ενός συστήματος οργάνων για τη μέτρηση και καταγραφή των ασκουμένων δυνάμεων.

Η μέτρηση και καταγραφή των ασκουμένων δυνάμεων που αναπτύσσονται μεταξύ του γεωργικού ελκυστήρα και του αναρτημένου στο υδραυλικό σύστημα παρελκομένου κατά την πραγματοποίηση των διαφόρων καλλιεργητικών εργασιών είναι απαραίτητη για τη μελέτη:

α) Των απαιτήσεων σε ισχύ και ενέργεια και κατ' επέκταση του κόστους λειτουργίας τους. Έτσι μπορεί να γίνει έλεγχος πάνω στο πόσο συμφέρουσα είναι η χρησιμοποίηση των γεωργικών μηχανημάτων για την εκτέλεση μιας συγκεκριμένης καλλιεργητικής εργασίας, με βάση πάντα το οικονομικό της αποτέλεσμα στο γενικό αποτέλεσμα της καλλιέργειας. Δηλαδή θα πρέπει να διερευνηθεί το κατά πόσο η αύξηση της παραγωγής υπερκαλύπτει το κόστος εκτέλεσης κάποιας καλλιεργητικής εργασίας. Παράλληλα είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί μια σύγκριση των απαιτήσεων σε ισχύ και ενέργεια διαφόρων καλλιεργητικών τεχνικών και κατ' επέκταση το οικονομικό όφελος που προκύπτει από την κάθε μία.

β) Της δυνατότητας βελτίωσης της λειτουργίας και της απόδοσης των υπάρχοντων γεωργικών μηχανημάτων, μέσω της τροποποίησης κάποιων χαρακτηριστικών τους. Έτσι μπορεί να κατασκευαστούν γεωργικά μηχανήματα που απαιτούν μικρότερη ισχύ και ενέργεια για την εκτέλεση κάποιας εργασίας, προς όφελος όσων τα χρησιμοποιούν.

γ) Της δημιουργίας εντελώς νέων γεωργικών μηχανημάτων που θα μπορέσουν να εκμεταλευθούν κάποιον τομέα που έμενε ανεκμετάλλετος λόγω της ελλειπούς γνώσης πάνω στις απαιτήσεις σε ισχύ και ενέργεια της γεωργίας.

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό από τα παραπάνω, ότι η μέτρηση των αναπτυσσομένων δυνάμεων μεταξύ του γεωργικού ελκυστήρα και των αναρτημένων παρελκομένων γεωργικών μηχανημάτων, είναι απαραίτητη όχι μόνο για τις βιομηχανίες κατασκευής γεωργικών μηχανημάτων αλλά και για τον κάθε καλλιεργητή. Σε κάθε καλλιεργητή μπορεί να προταθεί η κατάλληλη καλλιεργητική τεχνική για τις συνθήκες του αγρού του, κάνοντας την καλλιέργειά του πιο ανταγωνιστική και προσοδοφόρα. Παράλληλα τα ωφέλη από αυτή την έρευνα, είναι δυνατό να έχουν αντίκτυπο στο γενικότερο συμφέρον της κοινωνίας καθώς και στο περιβάλλον.

2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ

2.1 Μέτρηση αναπτυσσομένων δυνάμεων μεταξύ γεωργικού ελκυστήρα και παρελκομένων

Ο γεωργικός ελκυστήρας κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης των διαφόρων καλλιεργητικών εργασιών στον αγρό, θα πρέπει να υπερνικά τις δυνάμεις που αναπτύσσονται στα παρελκόμενα που είναι αναρτημένα σ' αυτόν, από το έδαφος. Το ποσοστό κατά το οποίο υπερνικά της παραπάνω δυνάμεις καθορίζει την αποτελεσματικότητά του καθώς και των παρελκομένων του. Λόγω της σπουδαιότητας αυτών των δυνάμεων έχουν γίνει προσπάθειες μέτρησες αυτών από την πρώτη ανάπτυξη της γεωργικής μηχανικής.

Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ του γεωργικού ελκυστήρα και των παρελκομένων του και προσδιορίζονται με ένα σύστημα οργάνων μέτρησης και καταγραφής, ασκούνται σε τρεις διαστάσεις. Αρχικά υπάρχουν δυνάμεις οι οποίες αναπτύσσονται οριζόντια και παράλληλα με την κατεύθυνση κίνησης του γεωργικού ελκυστήρα, δυνάμεις που αναπτύσσονται οριζόντια και κάθετα μ' αυτή και τέλος δυνάμεις που αναπτύσσονται κατακόρυφα. Για την πλήρη κατανόηση και διερεύνηση των συνολικών δυνάμεων που αναπτύσσονται μεταξύ ενός γεωργικού ελκυστήρα και των παρελκομένων του απαιτείται η μέτρηση και των τριών παραπάνω δυνάμεων. Η μέτρηση των δυνάμεων γίνεται με τη βοήθεια ειδικών οργάνων (δυναμόμετρα). Αρχικά τα δυναμόμετρα ήταν μηχανικά και εφαρμόζονταν η χρήση τους για τη μέτρηση συνήθως δυνάμεων μιας διάστασης (οριζόντια και παράλληλη στην κατεύθυνση κίνησης του ελκυστήρα). Η λειτουργία αυτών των δυναμομέτρων ήταν απλή και στηρίζονταν στη παραμόρφωση κάποιων ελατηρίων ή ελασμάτων ανάλογα με την εξασκούμενη δύναμη. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν υδραυλικά δυναμόμετρα, τα οποία μετρούσαν την εξασκούμενη δύναμη και την εμφάνιζαν ως μεταβολή της πίεσης που μετρώνταν με μανόμετρα. Τέλος αναπτύχθηκαν ηλεκτρονικά δυναμόμετρα (δυναμοκυψέλες), με τα οποία γίνεται η μέτρηση των δυνάμεων με τη βοήθεια αισθητηρίων μετατροπής της παραμόρφωσης ενός υλικού σε ηλεκτρικό αναλογικό σήμα. Η μέτρηση επιτυγχάνεται με παρεμβολή των αισθητηρίων, μεταξύ του αγκίστρου του γεωργικού ελκυστήρα και του αγκίστρου του παρελκομένου γεωργικού μηχανήματος. Η ακρίβεια και η ευκολία μέτρησης που

προσφέρουν τα ηλεκτρονικά δυναμόμετρα έκαναν αναγκαία τη χρησιμοποίησή τους σε όλες τις τελευταίες ερευνητικές προσπάθειες καθώς και στη συγκεκριμένη. Η μετρήσεις είναι δυνατό να γίνουν με διάφορους τρόπους . Έτσι τα παραπάνω αισθητήρια μπορούν να τοποθετηθούν πάνω στο σώμα του παρελκομένου γεωργικού μηχανήματος ή μπορεί να γίνει με άμεση σύνδεση γεωργικού ελκυστήρα και τμημάτων του παρελκομένου, με την παρεμβολή αυτών των οργάνων μέτρησης. Όμως η πλήρης μέτρηση όλων των δυνάμεων που αναπτύσσονται μεταξύ του γεωργικού ελκυστήρα και του παρελκομένου είτε αυτό είναι αναρτώμενο είτε ελκόμενο απαιτεί τη χρησιμοποίηση ειδικών διατάξεων. Κατά την πορεία των διαφόρων ερευνητικών προσπαθειών, αρχικά χρησιμοποιήθηκαν υδραυλικοί κύλινδροι στους βραχίονες του υδραυλικού συστήματος ανάρτησης του γεωργικού ελκυστήρα, με βάση τη μεταβολή της πίεσης του υγρού που μετράται με ειδικά μανόμετρα. Στη συνέχεια και με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών αισθητήρων πολλά δυναμόμετρα λειτουργούν με βάση τα αισθητήρια παραμόρφωσης.

Το 1959 ο Lall, κρίνει ό,τι για πλήρη καθορισμό των δυνάμεων πρέπει να μετρηθούν τρεις αξονικές δυνάμεις στους τρεις βραχίονες του υδραυλικού συστήματος ανάρτησης του γεωργικού ελκυστήρα, δύο αξονικές δυνάμεις στους συνδέσμους ανύψωσης των κάτω βραχιόνων και να καθοριστεί η θέση στο χώρο των βραχιόνων. Ο Zoerb J.C., 1963 χρησιμοποιεί για μέτρηση οριζοντίων δυνάμεων παραλλήλων με την κατεύθυνση κίνησης του γεωργικού ελκυστήρα, για ελκόμενα παρελκόμενα, ένα δυναμόμετρο στο άγκιστρο του γεωργικού ελκυστήρα. Μεταξύ των στοιχείων σύνδεσης παρεμβάλλεται ένα κατακόρυφο κυλινδρικό χαλύβδινο στέλεχος με αισθητήρια παραμόρφωσης, η μεταβολή των παραμορφώσεων του οποίου από τα φορτία του παρελκομένου, καταγράφεται. Ο Scholz D.C., 1966 περιγράφει ένα δυναμόμετρο του εθνικού ιδρύματος γεωργικής μηχανικής της Αγγλίας (NIAE). Αποτελείται από μια μεταλλική κατασκευή σε σχήμα Π που προσαρμόζεται στα τρία σημεία του υδραυλικού συστήματος του γεωργικού ελκυστήρα και αφήνει ανάμεσα στα σκέλη του Π αρκετό χώρο για να περάσει ο δυναμοδότης. Αισθητήρια παραμόρφωσης πάνω στο Π μετρούσαν τις αναπτυσσόμενες δυνάμεις. Ο Luth και άλλοι (1978), χρησιμοποιούσαν για τη μέτρηση της δύναμης σε τρεις διαστάσεις, οκτώ αισθητήρια επάνω στο υδραυλικό σύστημα. Το πρώτο καθορίζει τη θέση του κεντρικού βραχίονα και το δεύτερο την αξονική δύναμη στον κεντρικό βραχίονα. Τρία αισθητήρια σε κάθε κάτω βραχίονα

χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της αξονικής δύναμης, της πλάγιας και της κατακορύφου. Τα σήματα ενισχύονται και στέλνονται σε ένα όχημα κοντά στον αγρό όπου καταγράφονται και αναλύονται. Οι Johnson and Voorhees, 1979 αναπτύσσουν ένα δυναμόμετρο, για μέτρηση δυνάμεων σε ένα επίπεδο (οριζόντια παράλληλη με την κίνηση του γεωργικού ελκυστήρα, κατακόρυφη και ροπή) με αισθητήρια παραμόρφωσης πάνω σε ένα σωλήνα αλουμινίου. Το δυναμόμετρο έχει βάρος περίπου 230 κιλά, μεταφέρει τα σημεία ανάρτησης 310 χιλιοστά πιο πίσω, είναι κατάλληλο για αναρτήσεις κατηγορίας δύο (II) και τρία (III) και χρειάζεται τρία κανάλια για καταγραφή των δυνάμεων. Σε ανάλογα σχέδια οι Gartner T.H. και άλλοι (1988) διαμορφώνουν ένα παρόμοιο δυναμόμετρο και αναλύουν τα στοιχεία του. Οι Reid και άλλοι (1963) χρησιμοποιούν αισθητήρια παραμόρφωσης στα στελέχη ανάρτησης για μέτρηση οριζοντίων δυνάμεων, παραλλήλων με την κατεύθυνση κίνησης του γεωργικού ελκυστήρα. Οι Shith and Barker 1982 and Barker 1981, κατασκευάζουν ένα δυναμόμετρο, με τη χρήση έξι δυναμοκυψελών σε τριγωνική διάταξη. Τρεις δυναμοκυψέλες τοποθετούνται σε άξονες παράλληλους προς το έδαφος και προς την κατεύθυνση κίνησης του γεωργικού ελκυστήρα, δύο κατά μήκος των πλευρών του τριγώνου για μέτρηση οριζοντίων και κατακόρυφων δυνάμεων και μία στη βάση του τριγώνου για μέτρηση οριζοντίων δυνάμεων. Ένα αισθητήριο καθορίζει την κλίση του τριγώνου, ώστε να γίνεται αναγωγή των δυνάμεων σε κατακόρυφο πλαίσιο. Οι Uradhyaya S.K. και άλλοι (1988) παρουσιάζουν ένα δυναμόμετρο για μέτρηση δυνάμεων στο χώρο, σε ένα αναρτώμενο παρελκόμενο γεωργικό μηχάνημα, με τοποθέτηση αισθητηρίων παραμόρφωσης στους βραχίονες του υδραυλικού συστήματος. Πραγματοποιείται ανάλυση των δυνάμεων για τον υπολογισμό τους, με βάση τις ενδείξεις των μετρητικών οργάνων. Συμπεραίνουν, ότι είναι δυνατή η μέτρηση των δυνάμεων με ένα παρελκόμενο με μέτρηση α) Των αξονικών φορτίων στους τρεις βραχίονες. β) Του προσανατολισμού των βραχιόνων. Οι πλάγιες δυνάμεις και η περιστροφή των βραχιόνων γύρω από άξονα παράλληλο με την κατεύθυνση κίνησης (από κλίσεις του γεωργικού ελκυστήρα), δεν επηρεάζουν σημαντικά την μέτρηση των οριζοντίων δυνάμεων, παραλλήλων με την κατεύθυνση κίνησης και των κατακορύφων δυνάμεων και επομένως μπορεί να παραληφθεί η μέτρησή τους, για απλοποίηση των οργάνων μέτρησης. Οι Kendal C.K. και άλλοι (1984) παρουσιάζουν ένα δυναμόμετρο προσαρμοσμένο στα τρία σημεία ανάρτησης του υδραυλικού συστήματος του γεωργικού ελκυστήρα. Το δυναμόμετρο

αποτελείται από δύο μεταλλικούς φορείς μορφής Π. Ο ένας φορέας είναι συνδεδεμένος με το γεωργικό ελκυστήρα και ο άλλος με το παρελκόμενο. Η σύνδεση με τα παρελκόμενα γίνεται με ταχυσυνδέσμους. Ανάμεσα στους δύο φορείς παρεμβάλλονται τα στοιχεία μέτρησης των δυνάμεων (έξι στοιχεία) με αισθητήρια παραμορφώσεως. Το σύστημα επιτρέπει μέτρηση οριζοντίων και κατακόρυφων δυνάμεων, ενώ δεν εμποδίζει τη χρήση δυναμοδοτικού άξονα. Οι Chaplin J. και άλλοι (1987) κατασκευάζουν ένα δυναμόμετρο προσαρμοσμένο στα τρία σημεία ανάρτησης του υδραυλικού συστήματος, με δύο ορθογώνια πλαίσια, και ενδιάμεσα δυναμοκυψέλες για μέτρηση δυνάμεων στο χώρο.

Από όλα τα παραπάνω φαίνεται ό,τι πολλές λύσεις έχουν δοθεί μέχρι τώρα, εκτός Ελλάδας, στο πρόβλημα της μέτρησης των δυνάμεων που απαιτούνται για τη λειτουργία των παρελκομένων γεωργικών μηχανημάτων. Επίσης γίνεται αντιληπτό πως κάθε μία από τις παραπάνω λύσεις παρουσιάζει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η τοποθέτηση, για παράδειγμα, αισθητηρίων δύναμης πάνω στα στοιχεία του υδραυλικού συστήματος ανάρτησης παρουσιάζει το πλεονέκτημα της μη μεταβολής της γεωμετρίας της σύνδεσης αλλά είναι συστήματα που πρέπει να κατασκευασθούν και να ελεγχθούν ως προς την αξιοπιστία τους από τον ερευνητή. Η παρεμβολή των δυναμοκυψελών αλλάζει ελαφρώς τη γεωμετρία του συστήματος ανάρτησης αλλά έχει το πλεονέκτημα της χρησιμοποίησης στοιχείων του εμπορίου που είναι τυποποιημένα και εύκολα μπορούν να ελεγχθούν ως προς την αξιοπιστία τους. Επί πλέον το όλο σύστημα μπορεί να μεταφερθεί εύκολα σε διάφορους γεωργικούς ελκυστήρες. Στην συγκεκριμένη διατριβή προτιμήθηκε η χρήση δυναμοκυψελών του εμπορίου προσαρμοσμένων πάνω σε πρόσθετα πλαίσια όπως θα περιγραφεί παρακάτω.

2.2 Ενίσχυση, διαμόρφωση και καταγραφή των μετρήσεων

Τα παραγόμενα από τα αισθητήρια όργανα (δυναμόμετρα) σήματα, μπορεί να είναι, όπως έχει αναφερθεί μηχανικά, υδραυλικά ή ηλεκτρικά. Αντίστοιχα τα σήματα ενισχύονται μηχανικά και προκαλούν την κίνηση γραφίδων που τα καταγράφουν σε χαρτί, τα υδραυλικά συνήθως παραμορφώνουν σωλήνες Bourdon που κινούν επίσης γραφίδες ενώ τέλος τα ηλεκτρικά δεν μπορούν να καταγραφούν απ' ευθείας επειδή πρόκειται για ασθενή σήματα. Έτσι πριν την καταγραφή τους

είναι αναγκαίο να υφίστανται μία ενίσχυση. Ακόμη πολλές φορές το ηλεκτρικό σήμα επηρεάζεται από ανεπιθύμητους παράγοντες και γι' αυτό θα πρέπει να καθαρίζεται με ειδικά φίλτρα. Οι τρόποι καταγραφής που έχουν χρησιμοποιηθεί ως τώρα σε διάφορες ερευνητικές προσπάθειες ποικίλουν. Αρχικά η καταγραφή γίνεται σε χαρτί τυλιγμένο γύρω από κύλινδρο που περιστρέφεται με ταχύτητα ανάλογη της ταχύτητας κίνησης του μηχανήματος. Αργότερα χρησιμοποιήθηκε καταγραφή σε φωτογραφικό χαρτί (με υπεριώδη ακτινοβολία και γαλβανόμετρα), καταγραφή σε χ-ψ ή χ-χρονο καταγραφικά, κινηματογράφηση των ενδεικτών των αισθητηρίων. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις γίνεται καταγραφή αναλογικού ηλεκτρικού σήματος που απαιτεί επίπονη εργασία για αποκωδικοποίηση και επεξεργασία. Με την διεύρυνση της χρήσης των ηλεκτρονικών υπολογιστών και την ταχύτερη ανάπτυξη τους έγιναν πολλές εφαρμογές ηλεκτρονικής καταγραφής των μετρήσεων. Το σήμα των αισθητηρίων μεταδίδεται είτε με πομπό σε πλησίον ευρισκόμενο ακίνητο ηλεκτρονικό υπολογιστή είτε μεταδίδεται με καλώδια σε ηλεκτρονικό υπολογιστή που βρίσκεται πάνω στο γεωργικό ελκυστήρα ή σε παραπλεύρως κινούμενο όχημα. Για την καταχώρηση του αναλογικού ηλεκτρικού σήματος στη μνήμη του υπολογιστή πρέπει να μετατραπεί σε δυαδικό. Τα στοιχεία τελικά είναι δυνατό να αποθηκευτούν σε μαγνητικές ταινίες ή μαγνητικούς δίσκους. Στη δεκαετία του 1980 με την επέκταση της χρήσης των μικρουπολογιστών, χρησιμοποιούνται τέτοιοι υπολογιστές (φορητοί) πάνω σε γεωργικούς ελκυστήρες για την καταγραφή και επεξεργασία των στοιχείων. Η ανάπτυξη εξοπλισμού και λογισμικού για μετατροπή των αναλογικών στοιχείων σε ψηφιακά, με μεγάλη ταχύτητα (1 kHz), έδωσε τη δυνατότητα αξιόπιστων μετρήσεων σε μεγάλες ταχύτητες διακύμανσης του αναλογικού σήματος που προκύπτει από γρήγορα διακυμαινόμενο φαινόμενο. Οι δυνατότητες τέτοιων συστημάτων είναι ιδιαίτερα μεγάλες και η μεγάλη ευχέρεια υπολογισμών με μεγάλο όγκο στοιχείων είναι αξιοσημείωτη.

Ένα σύστημα μέτρησης δυνάμεων σε παρελκόμενα γεωργικά μηχανήματα, πρέπει να έχει σημαντικές δυνατότητες αποθήκευσης μεγάλου αριθμού στοιχείων με μεγάλες δυνατότητες καταγραφής. Είναι γνωστό ότι σύμφωνα με το θεώρημα του Shannon η δειγματοληψία και η καταγραφή ενός διακυμαινόμενου φαινομένου, όπως είναι η τάση εξόδου ενός αισθητηρίου οργάνου μέτρησης δύναμης, για να αποδώσει την πραγματικότητα θα πρέπει να γίνεται με συχνότητα τουλάχιστον διπλάσια της μεγαλύτερης συχνότητας του φαινομένου (Doebelin 1983, Koecher and Sumner

1987). Κατά την λειτουργία των διαφόρων γεωργικών εργαλείων αντιμετωπίζονται μεταβαλλόμενα φορτία που επάγονται από το έδαφος και έχουν διάφορες συχνότητες. Στοιχεία της βιβλιογραφίας δίνουν συχνότητες για εργαλεία κατεργασίας του εδάφους της τάξης των 10 Hz (Godwin και άλλοι 1987 Sumner και άλλοι 1985), ενώ για χορτοδοτικές μηχανές με κίνηση από το PTO δίνονται συχνότητες της τάξης των 100 Hz (Freeland και άλλοι 1984). Στη βιβλιογραφία έχουν παρουσιαστεί πολλές εργασίες για καταγραφή στοιχείων σε πραγματικό χρόνο (data acquisition systems in real time). Ενδεικτικά αναφέρονται οι εργασίες των Karter και άλλοι 1979, Palmer 1984, Shropshire 1983, Hayes 1986.

2.3 Σχεδιαστικά χαρακτηριστικά του συστήματος δυναμομέτρησης

Ένα σύστημα δυναμομέτρησης πρέπει να έχει :

α) Ικανότητα μέτρησης των απαιτούμενων δυνάμεων είτε η σύνδεση του γεωργικού ελκυστήρα και των παρελκομένων γίνεται με το άγκιστρο, είτε με τα τρία σημεία ανάρτησης του υδραυλικού συστήματος. Οι δυνάμεις στην περίπτωση των αναρτώμενων γεωργικών μηχανημάτων πρέπει να μετρώνται στο χώρο (τρεις διαστάσεις).

β) Δυνατότητα καταγραφής των μετρήσεων σε ένα σύστημα, που πρέπει να βρίσκεται πάνω στο γεωργικό ελκυστήρα (αντοχή σε κραδασμούς), να ρευματοδοτείται είτε από το συσσωρευτή του γεωργικού ελκυστήρα (12 Volt) είτε από άλλο συσσωρευτή που να δίνει ικανοποιητική αυτονομία στο σύστημα, να έχει μικρή κατανάλωση ισχύος και να καταλαμβάνει μικρό χώρο.

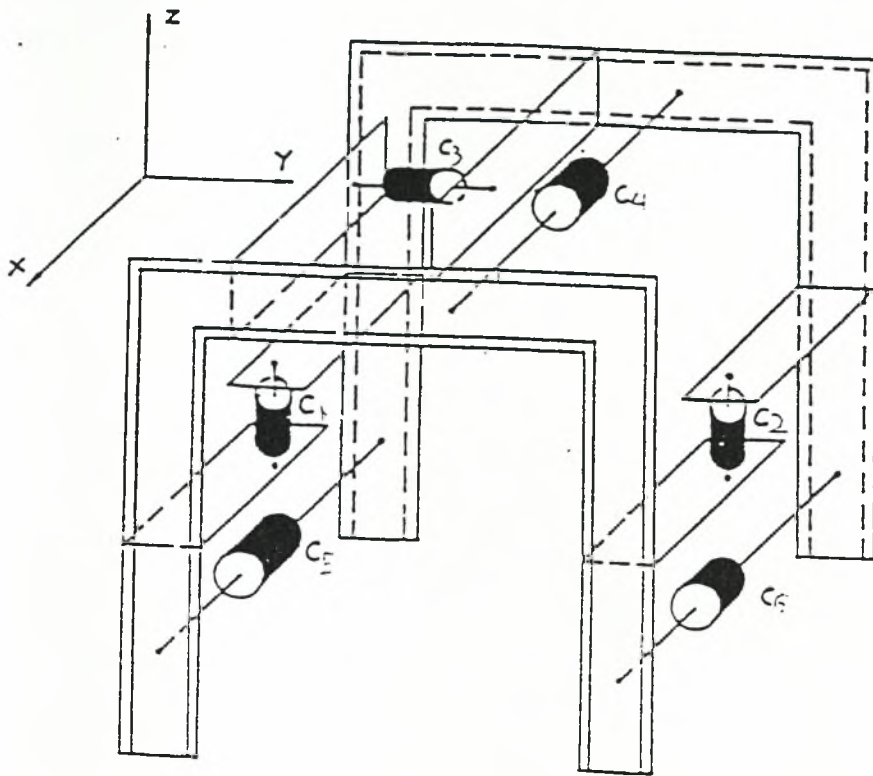
γ) Δυνατότητα καταγραφής στοιχείων με ταχύτητα πάνω από 1000 δείγματα το δευτερόλεπτο για κάθε αισθητήριο. Η μεγάλη ταχύτητα δειγματοληψίας είναι απαραίτητη για διερεύνηση πριν από κάθε μέτρηση της μέγιστης συχνότητας του φαινομένου, ώστε να ορισθεί η συχνότητα και ο χρόνος δειγματοληψίας για τις μετρήσεις. Το σύστημα πρέπει να έχει αρκετό χώρο αποθήκευσης στοιχείων για διαδρομές του γεωργικού ελκυστήρα, τουλάχιστον 50 μέτρων (διαδρομή ενός εργαλείου κατεργασίας του εδάφους), με ταχύτητα 5 χιλιόμετρα την ώρα .ή 1.4 μέτρα το δευτερόλεπτο. Δηλαδή για 40 δευτερόλεπτα με 1000 δείγματα το δευτερόλεπτο, πρέπει να αποθηκευτούν 40000 δείγματα (δυναμικές τιμές) που χρειάζονται 2 byte το

κάθε ένα. Επομένως η χωρητικότητα αποθήκευσης κάθε μέτρησης για τις πιο πάνω συνθήκες πρέπει να είναι 80 KB.

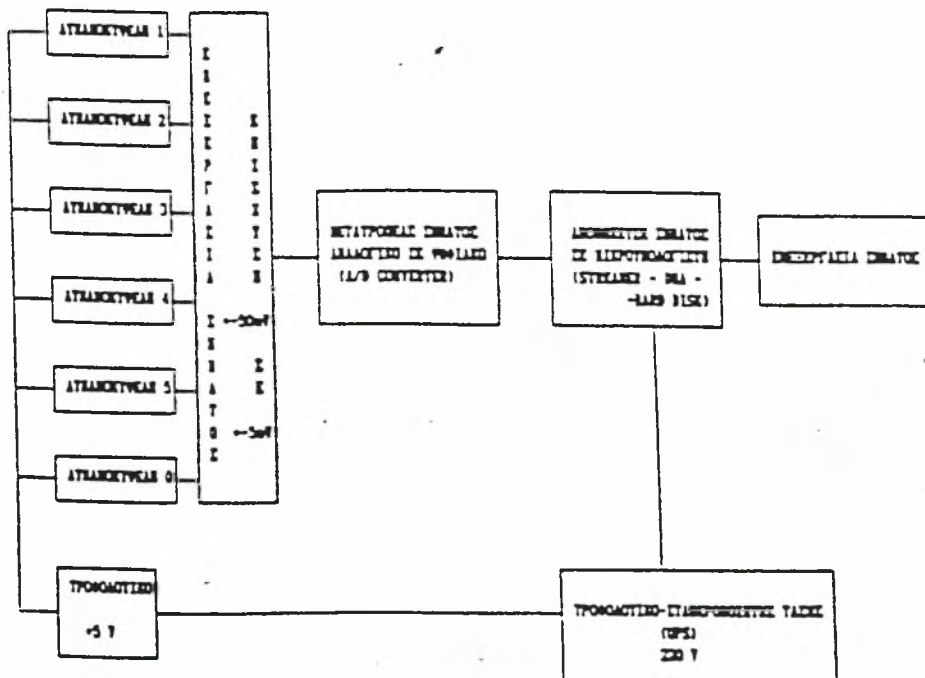
3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΟΡΓΑΝΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Τα αισθητήρια δύναμης που χρησιμοποιήθηκαν για τις ανάγκες της συγκεκριμένης διατριβής ήταν τυποποιημένες δυναμοκυψέλες. Έτσι χρησιμοποιήθηκαν έξι δυναμοκυψέλες οι οποίες διατάχθηκαν έτσι μεταξύ του γεωργικού ελκυστήρα και του χρησιμοποιούμενου παρελκομένου κάθε φορά, ώστε να είναι δυνατή η μέτρηση των δυνάμεων που αναπτύσσονται μεταξύ τους κατά τη διάρκεια μιας καλλιεργητικής εργασίας και στις τρεις κατευθύνσεις. Για το σκοπό αυτό προκρίθηκε ο σχεδιασμός με χρήση δύο μεταλλικών φορέων σχήματος Π (σχήμα 1). Ο ένας φορέας προσαρμόσθηκε στο σύστημα ανάρτησης παρελκομένων στα τρία σημεία του υδραυλικού συστήματος του γεωργικού ελκυστήρα. Ο δεύτερος φορέας φέρει κατάλληλες υποδοχές για την ανάρτηση παρελκομένων. Η κάθε υποδοχή είναι κατάλληλη για αυτόνομη πρόσδεση, με δυνατότητα αυξομείωσης της απόστασης μεταξύ τους ώστε να καλύπτονται αποκλίσεις από τη διεθνή τυποποίηση για τα μεγέθη συστημάτων ανάρτησης παρελκομένων κατηγορίας II (ASAE 1988). Ο σχεδιασμός αυτός εξασφαλίζει χώρο μεταξύ των δύο σκελών του Π για την προσαρμογή του συστήματος μέτρησης ροπής-γωνιακής ταχύτητας στο δυναμοδότη του ελκυστήρα και τη διέλευση του δυναμοδοτικού άξονα προς το παρελκόμενο. Οι διαστάσεις των μεταλλικών φορέων υπολογίστηκαν έτσι ώστε οι δυνάμεις να μεταφέρονται χωρίς σημαντικές παραμορφώσεις. Οι δύο φορείς συνδέονται μεταξύ τους αρθρωτά με έξι δυναμοκυψέλες. Οι σφαιρικοί σύνδεσμοι εξασφαλίζουν μέτρηση δυνάμεων μόνο κατά τη διεύθυνση του άξονα της δυναμοκυψέλης. Με την τριγωνική αυτή διάταξη οι τρεις δυναμοκυψέλες(δύο κάτω και μία επάνω) μετρούν την οριζόντια δύναμη παράλληλη της κατεύθυνσης κίνησης του γεωργικού ελκυστήρα. Οι δύο κατακόρυφες μετρούν τις κατακόρυφες δυνάμεις ενώ η τελευταία τις οριζόντιες δυνάμεις που είναι κάθετες στην κατεύθυνση κίνησης του γεωργικού ελκυστήρα (πλάγιες δυνάμεις). Η δοκιμή της λειτουργίας του συστήματος έγινε με ανάρτηση ενός τετράνου αρότρου. Η ανάρτηση κρίθηκε ικανοποιητική και η δυνατότητα

ρύθμισης του μήκους των δυναμοκυβελών εξασφαλίζει την επιθυμητή οριζοντίωση των παρελκομένων. Οι χρησιμοποιούμενες δυναμοκυβέλες διαθέτουν αισθητήρια παραμόρφωσης για την μέτρηση της δύναμης. Η ευαισθησία τους για πλήρη φόρτιση δύο τόνων είναι 2 mV/V τροφοδοσίας. Η τάση της τροφοδοσίας μπορεί να είναι από 0.5 V έως 12 V. Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε τροφοδοτικό τάσης 5 V και επομένως η έξοδος σε πλήρες φορτίο (2 τόνοι) είναι 10 mV. Η μονάδα επεξεργασίας του σήματος (MB-01) έχει δυνατότητα ενίσχυσής του από ± 50 mV σε ± 5 V. Η τάση αυτή τροφοδοτείται απ' ευθείας στην κάρτα μετατροπής του αναλογικού σε ψηφιακό (δυναμικό) σήμα (DAS 20) με την οποία είναι εφοδιασμένος ο 486 συμβατός IBM με σκληρό δίσκο 100 MB φορητός μικρουπολογιστής της πειραματικής εγκατάστασης. Μέσω μιας κάρτας προσαρμογής των ενισχυτών (MB-01) υπάρχει η δυνατότητα δειγματοληψίας 16 διόδων. Επίσης υπάρχει δυνατότητα επέκτασης της δειγματοληψίας σε 4X16 διόδους με ειδική κάρτα (multiplexer STA 20). Η συχνότητα δειγματοληψίας μπορεί να φτάσει τις 100.000 δείγματα το δευτερόλεπτο (100 kHz) ενώ στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκε συχνότητα 1 kHz. Τα στοιχεία οδηγούνται απ' ευθείας στην μνήμη του Η/Υ και αποθηκεύονται στον σκληρό δίσκο με τη βοήθεια ενός ειδικού προγράμματος μεγάλης ταχύτητας (Streamer) σε δημιουργημένα από προηγουμένως ειδικά αρχεία μεγέθους ικανού για τον εκάστοτε σκοπό δειγματοληψίας. Μια εικόνα της όλης διάταξης που περιγράφηκε δίνεται στο σχήμα 2 ενώ η τοποθέτησή της έγινε σε ξύλινο έδρανο μικρού όγκου για εύκολη τοποθέτηση στον γεωργικό ελκυστήρα. Η ισχυροδότηση των οργάνων έγινε με ένα τροφοδοτικό και σταθεροποιητή τάσης ισχύος 300 Watts (UPS) που δίνει μία αυτονομία λίγων ωρών στο σύστημα για τις εργασίες αγρού.



Σχήμα 1. Διάταξη των πλαισίων σχήματος Π και των δυναμοκυψελών για την μέτρηση οριζοντίων, παραλλήλων προς την κίνηση του ελκυστήρα δυνάμεων (c4,c5,c6), πλαγίων δυνάμεων (c3), και κατακορύφων δυνάμεων (c1,c2).



Σχήμα 2. Διάγραμμα μέτρησης και καταγραφής του σήματος που αντιστοιχεί στη διακύμανση της δύναμης με την οποία καταπονείται κάθε δυναμοκυψέλη.



Τετράουνο άροτρο αναρτημένο στο σύστημα μέτρησης δυνάμεων στο χώρο Πλάγια όψη



Άρωση με τετράουνο άροτρο. Παρεμβολή του συστήματος μέτρησης δυνάμεων μεταξύ γεωργικού ελκυστήρα και παρελκομένου.

4. ΕΛΕΓΧΟΙ, ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΚΑΙ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

4.1 Βαθμονόμηση του υδραυλικού γερανού

Ο έλεγχος και η βαθμονόμηση των δυναμοκυψελών, επέβαλλε τη χρήση ενός υδραυλικού γερανού που εξυπηρετεί την στατική φόρτιση των δυναμοκυψελών. Πριν τη χρήση του υδραυλικού γερανού έγινε βαθμονόμησης του. Με την προσαρμογή μανομέτρου στον υδραυλικό κύλινδρο για την μέτρηση της πίεσης του υδραυλικού υγρού έγινε βαθμονόμηση με γνωστά βάρη. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής: Συνεχής αύξηση του αναρτώμενου βάρους με ταυτόχρονη καταγραφή της πίεσης του μανομέτρου (Πίνακας σελ. 16). Από αυτές τις μετρήσεις δημιουργείται η καμπύλη βαθμονόμησης του υδραυλικού γερανού καθώς και η εξίσωση βάρους-πίεσης που θα χρησιμοποιηθεί παρακάτω.(διάγραμμα σελ. 17). Η εξίσωση βαθμονόμησης είναι: $y(\text{πίεση})=0.0491x (\text{δύναμη})+1.7857$ ενώ ο συντελεστής συσχέτισης είναι $R^2=0.9932$.

4.2 Βαθμονόμηση δυναμοκυψελών

4.2.1 Αρχική πριν την ενίσχυση (έλεγχος τυχόν κατασκευαστικών ατελειών)

Όλες οι δυναμοκυψέλες ελέγχθηκαν αρχικά με σκοπό την ανίχνευση κατασκευαστικών ατελειών καθώς και της γραμμικότητας τους. Η γραμμικότητα σχετίζεται με την τιμή του ηλεκτρικού σήματος εξόδου ανάλογα με τη δύναμη που εξασκείται στην δυναμοκυψέλη. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής: Η κάθε δυναμοκυψέλη τροφοδοτήθηκε με σταθερή τάση 5 V. Στη συνέχεια με τη βοήθεια του υδραυλικού γερανού η κάθε δυναμοκυψέλη από τις έξι φορτίζονταν με συνεχώς αυξανόμενη δύναμη στα άκρα της και ταυτόχρονη καταγραφή της τάσης εξόδου της. Στη συνέχεια ακολούθησε αποφόρτιση των δυναμοκύψελων μέχρι μηδενισμού της εξασκούμενης δύναμης στα άκρα τους με ταυτόχρονη καταγραφή της τάσης εξόδου της. Έτσι εκπονήθηκε ο παρακάτω πίνακας(σελ. 18) καθώς και τα ακόλουθα διαγράμματα(σελ. 20-31). Από τη βαθμονόμηση προέκυψε ότι όλες οι δυναμοκυψέλες ήταν γραμμικές με τις ακόλουθες εξισώσεις και συντελεστές συσχέτισης.

Δυναμοκυψέλη 1: Φόρτιση $y = 0.0005 x - 0.0194$ $R^2 = 0.9979$

$$\text{Αποφόρτιση } y=0.0005 x + 0.0806 R^2 =0.9979$$

$$\text{Δυναμοκυψέλη 2: Φόρτιση } y= 0.0005 x - 0.1194 R^2=0.9979$$

$$\text{Αποφόρτιση } y=0.0005 x +0.0022 R^2=0.9872$$

$$\text{Δυναμοκυψέλη 3: Φόρτιση } y=0.0005 x - 0.0194 R^2=0.9979$$

$$\text{Αποφόρτιση } y=0.0005 x +0.1022 R^2=0.9872$$

$$\text{Δυναμοκυψέλη 4: Φόρτιση } y=0.0002 x + 0.1593 R^2=0.9092$$

$$\text{Αποφόρτιση } y=0.0002 x + 0.2809 R^2=0.8989$$

$$\text{Δυναμοκυψέλη 5: Φόρτιση } y=0.0005 x - 0.0194 R^2=0.9979$$

$$\text{Αποφόρτιση } y=0.0005 x + 0.1022 R^2=0.9872$$

$$\text{Δυναμοκυψέλη 6: Φόρτιση } y=0.0005 x + 0.0806 R^2=0.9979$$

$$\text{Αποφόρτιση } y=0.0005 x + 0.2022 R^2=0.9872$$

$$y= \text{Τάση εξόδου (mV)} \quad x= \text{Δύναμη (Nt)}$$

4.2.2 Τελική βαθμονόμηση δυναμοκυψελών.

Η βαθμονόμηση έγινε με στατική φόρτιση των δυναμοκυψελών, μέχρι πίεσης 130 bar (2611.28 Nt) με τη βοήθεια του υδραυλικού γερανού. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής: Η κάθε δυναμοκυψέλη από τις έξι φορτίστηκε για κάποιες γνωστές πιέσεις (γνωστές δυνάμεις) με ταυτόχρονη καταγραφή των τιμών που έδιναν μετά την ενίσχυση. Η παραπάνω εργασία έγινε με χρήση του ηλεκτρονικού υπολογιστή και του προγράμματος Streamer. Οι δυναμοκυψέλες 1,2,3 φορτίστηκαν στα 50,70,90,100,120 bar ενώ οι 4,5,6 στα 50,70,90,110,130 bar. Έτσι εκπονήθηκε ο παρακάτω πίνακας(σελ. 32),αφού υπολογίστηκε ο μέσος όρος της ένδειξης για κάθε τιμή πίεσης-δύναμης, καθώς και τα ακόλουθα διαγράμματα(σελ.33-38). Από την βαθμονόμηση προέκυψαν οι παρακάτω εξισώσεις και συντελεστές συσχέτισης για κάθε δυναμοκυψέλη:

$$\text{Δυναμοκυψέλη 1 } y=112.37 x - 47.156 \quad R^2=0.9909$$

$$\text{Δυναμοκυψέλη 2 } y=110.44 x + 78.954 \quad R^2=0.9795$$

$$\text{Δυναμοκυψέλη 3 } y=113.35 x - 67.543 \quad R^2=0.9995$$

$$\text{Δυναμοκυψέλη 4 } y=319.31 x - 544.3 \quad R^2=0.9828$$

$$\text{Δυναμοκυψέλη 5 } y=92.017 x + 43.86 \quad R^2=0.9977$$

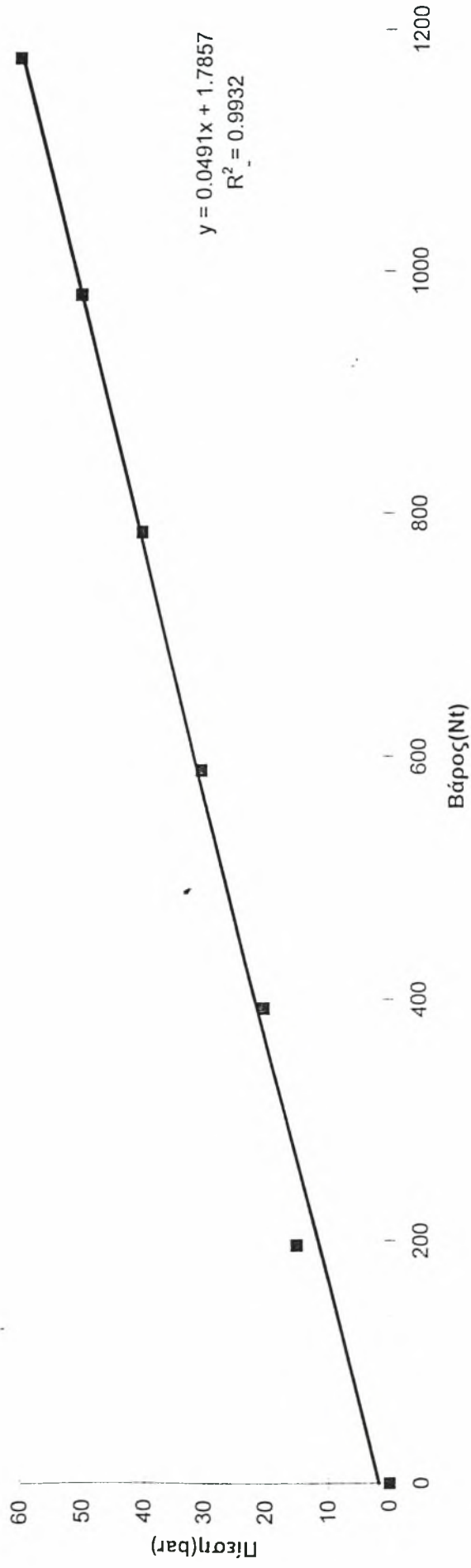
$$\text{Δυναμοκυψέλη 6 } y=91.416 x - 132.89 \quad R^2=0.9964$$

$$y= \text{Δύναμη (Nt)} \quad x= \text{Ένδειξη δυναμοκυψέλης}$$

ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΓΕΡΑΝΟΥ

Μάζα(kgr)	Βάρος(Nt)	Πίεση(bar)				
0	0	0				
20	196.2	15				
40	392.4	20				
60	588.6	30				
80	784.8	40				
100	981	50				
120	1177.2	60				

ΚΑΜΠΥΛΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΓΕΡΑΝΟΥ



ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΩΝ

ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗ 1(ΦΟΡΤΙΣΗ)			ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗ 1(ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗ)		
Πίεση(bar)	Δύναμη(Nt)	Τάση(mV)	Πίεση(bar)	Δύναμη(Nt)	Τάση(mV)
10	294.3	0.1	10	294.3	0.2
20	392.4	0.2	20	392.4	0.3
30	588.6	0.3	30	588.6	0.4
40	784.8	0.4	40	784.8	0.5
50	981	0.5	50	981	0.6
60	1177.2	0.6	60	1177.2	0.7
70	1373.4	0.7	70	1373.4	0.8
80	1569.6	0.8	80	1569.6	0.9
90	1765.8	0.9	90	1765.8	1
100	1962	1	100	1962	1

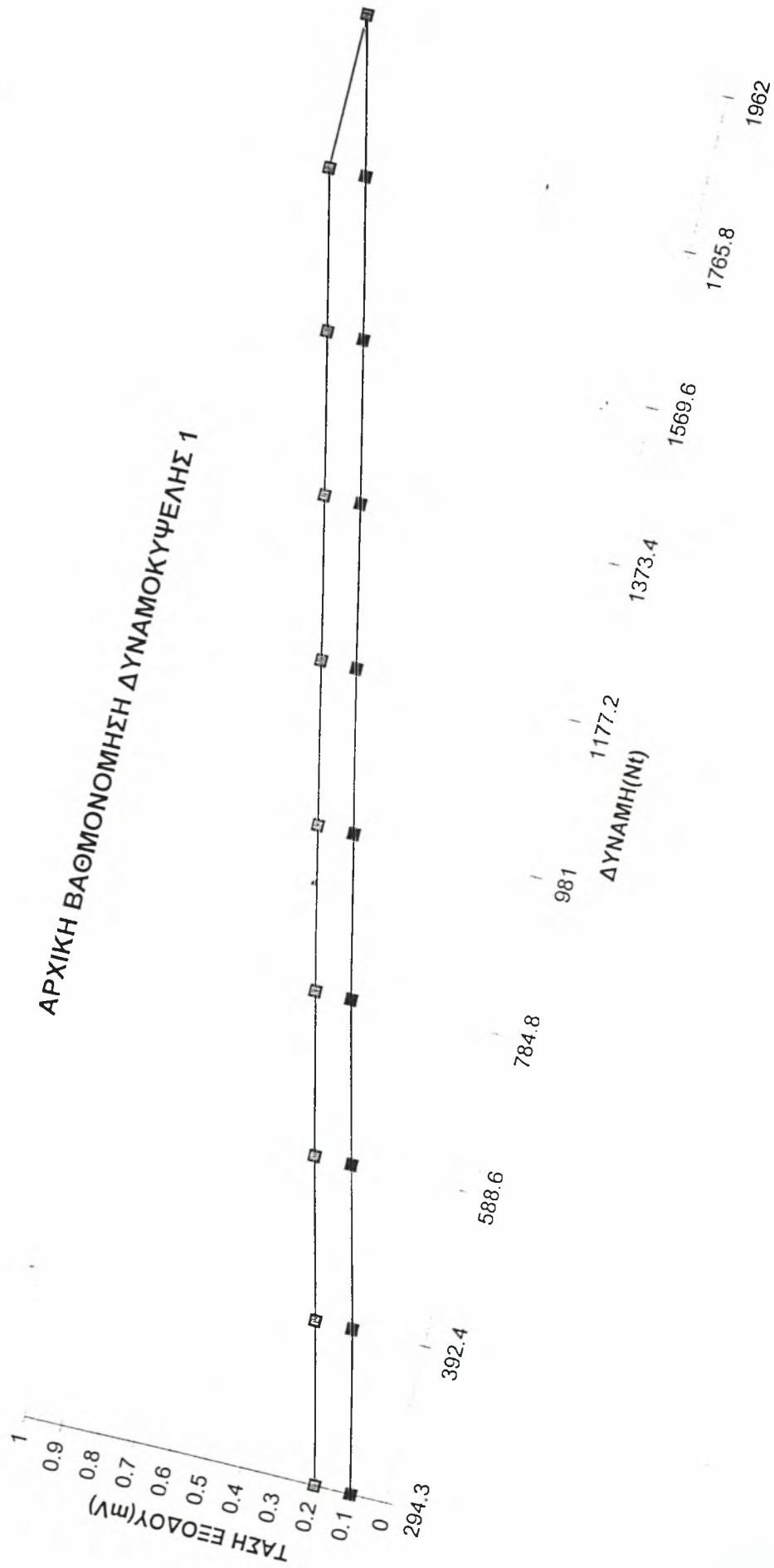
ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗ 3(ΦΟΡΤΙΣΗ)			ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗ 3(ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗ)		
Πίεση(bar)	Δύναμη(Nt)	Τάση(mV)	Πίεση(bar)	Δύναμη(Nt)	Τάση(mV)
10	294.3	0.1	10	294.3	0.2
20	392.4	0.2	20	392.4	0.3
30	588.6	0.3	30	588.6	0.4
40	784.8	0.4	40	784.8	0.5
50	981	0.5	50	981	0.6
60	1177.2	0.6	60	1177.2	0.7
70	1373.4	0.7	70	1373.4	0.8
80	1569.6	0.8	80	1569.6	0.9
90	1765.8	0.9	90	1765.8	1
100	1962	1	100	1962	1

ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗ 5(ΦΟΡΤΙΣΗ)			ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗ 5(ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗ)		
Πίεση(bar)	Δύναμη(Nt)	Τάση(mV)	Πίεση(bar)	Δύναμη(Nt)	Τάση(mV)
10	294.3	0.1	10	294.3	0.2
20	392.4	0.2	20	392.4	0.3
30	588.6	0.3	30	588.6	0.4
40	784.8	0.4	40	784.8	0.5
50	981	0.5	50	981	0.6
60	1177.2	0.6	60	1177.2	0.7
70	1373.4	0.7	70	1373.4	0.8
80	1569.6	0.8	80	1569.6	0.9
90	1765.8	0.9	90	1765.8	1
100	1962	1	100	1962	1

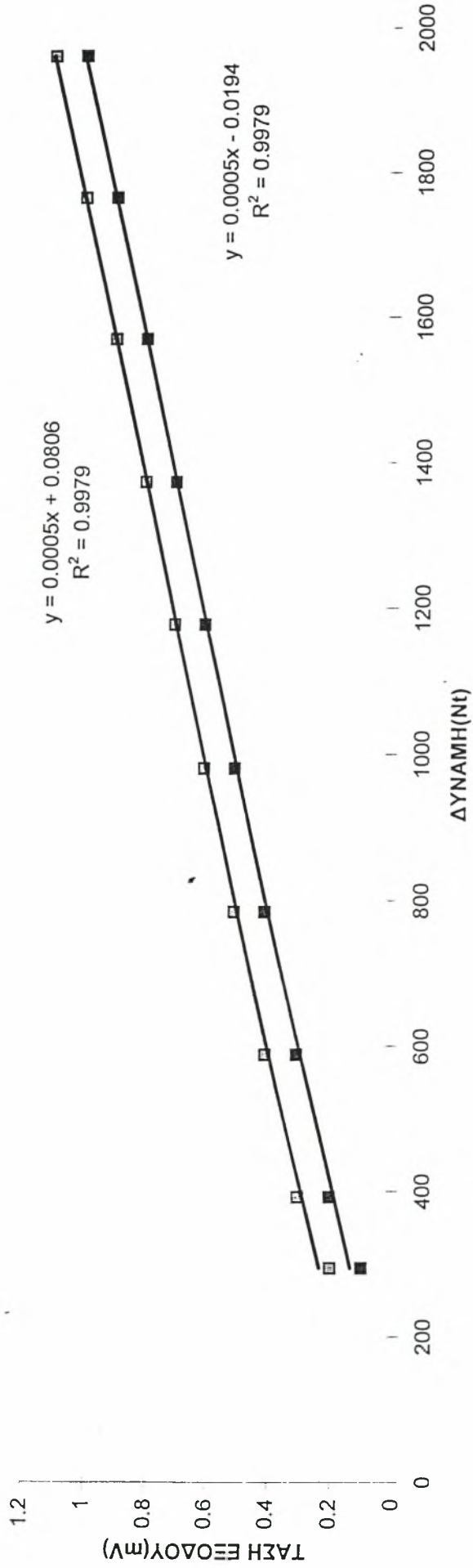
ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΡΧΙΚΗΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΩΝ

ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗ 2(ΦΟΡΤΙΣΗ)		ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗ 2(ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗ)	
Πίεση(bar)	Δύναμη(Nt)	Πίεση(bar)	Δύναμη(Nt)
10	294.3	0	294.3
20	392.4	0.1	392.4
30	588.6	0.2	588.6
40	784.8	0.3	784.8
50	981	0.4	981
60	1177.2	0.5	1177.2
70	1373.4	0.6	1373.4
80	1569.6	0.7	1569.6
90	1765.8	0.8	1765.8
100	1962	0.9	1962
ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗ 4(ΦΟΡΤΙΣΗ)		ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗ 4(ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗ)	
Πίεση(bar)	Δύναμη(Nt)	Πίεση(bar)	Δύναμη(Nt)
10	294.3	0.2	294.3
20	392.4	0.3	392.4
30	588.6	0.3	588.6
40	784.8	0.3	784.8
50	981	0.3	981
60	1177.2	0.4	1177.2
70	1373.4	0.4	1373.4
80	1569.6	0.5	1569.6
90	1765.8	0.5	1765.8
100	1962	0.6	1962
ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗ 6(ΦΟΡΤΙΣΗ)		ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗ 6(ΑΠΟΦΟΡΤΙΣΗ)	
Πίεση(bar)	Δύναμη(Nt)	Πίεση(bar)	Δύναμη(Nt)
10	294.3	0.2	294.3
20	392.4	0.3	392.4
30	588.6	0.4	588.6
40	784.8	0.5	784.8
50	981	0.6	981
60	1177.2	0.7	1177.2
70	1373.4	0.8	1373.4
80	1569.6	0.9	1569.6
90	1765.8	1	1765.8
100	1962	1.1	1962

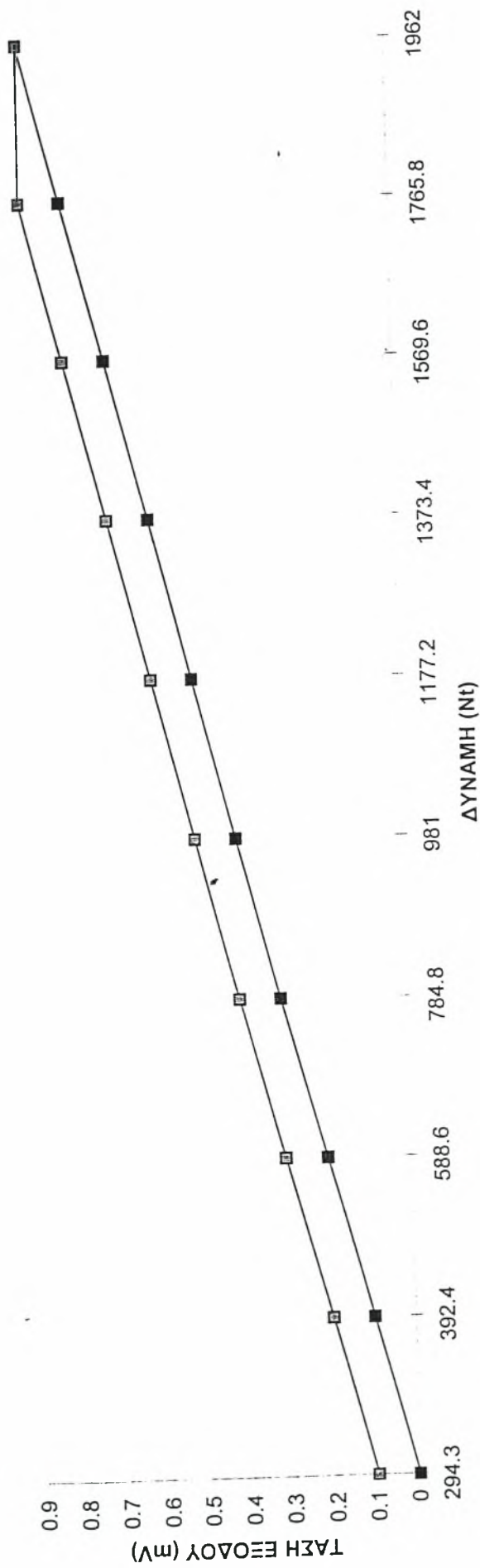
ΑΡΧΙΚΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗΣ 1



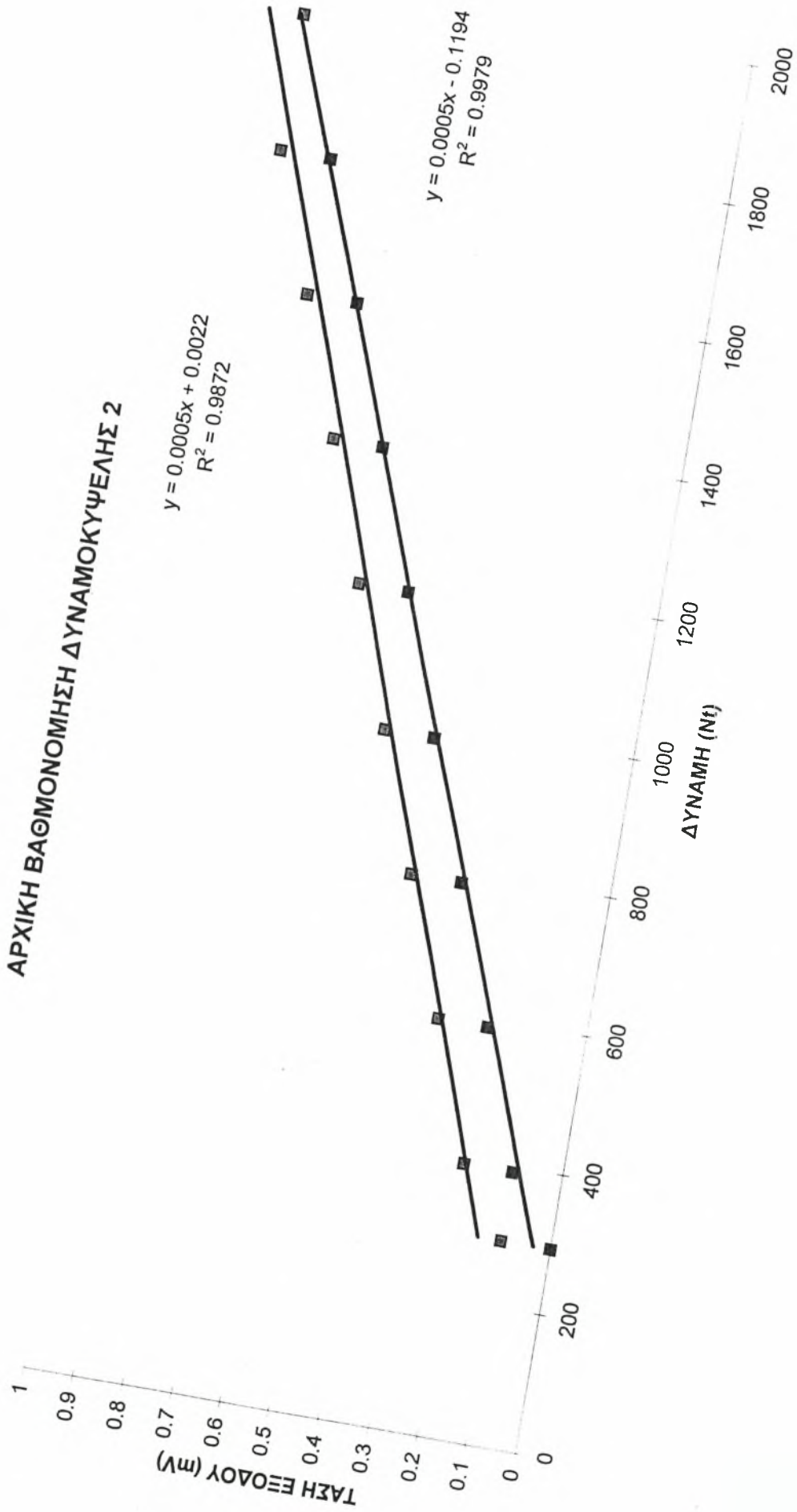
ΑΡΧΙΚΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗΣ 1



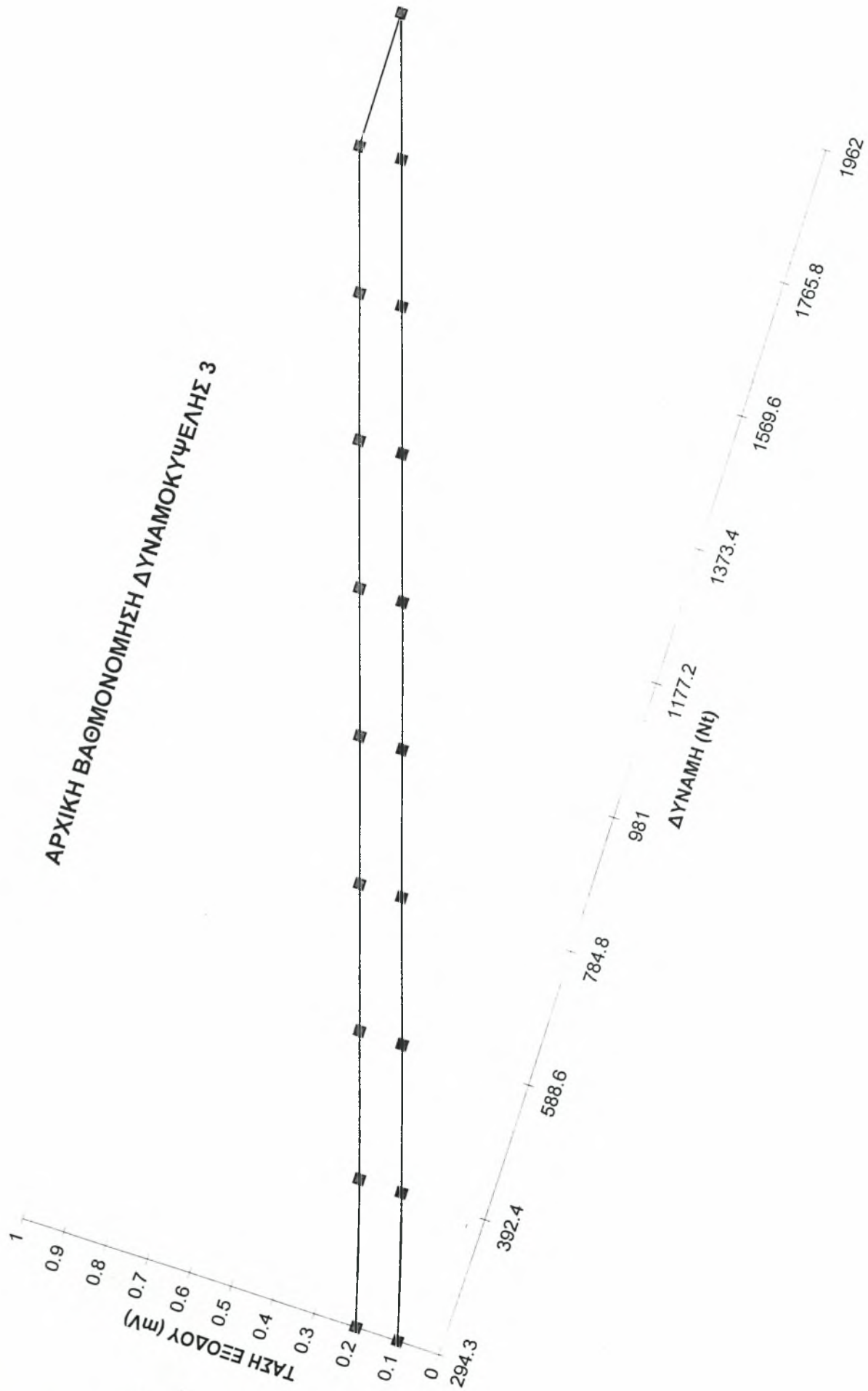
ΑΡΧΙΚΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗΣ 2



ΑΡΧΙΚΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗΣ 2



ΑΡΧΙΚΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗΣ 3



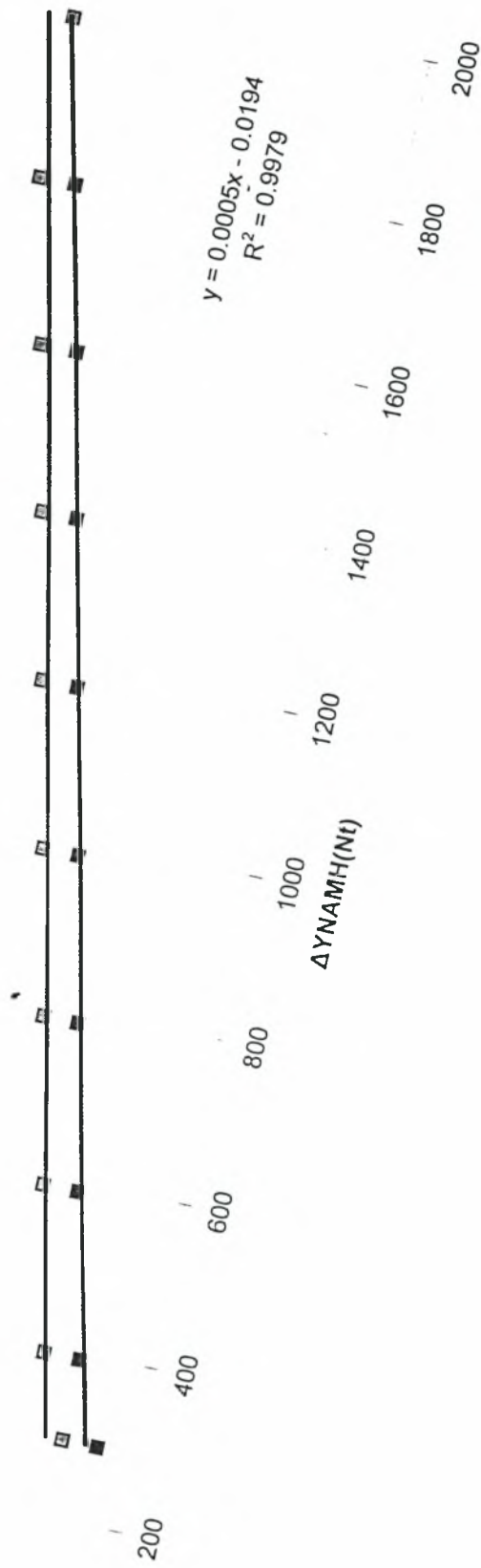
ΑΡΧΙΚΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗΣ 3

$$y = 0.0005x + 0.1022$$

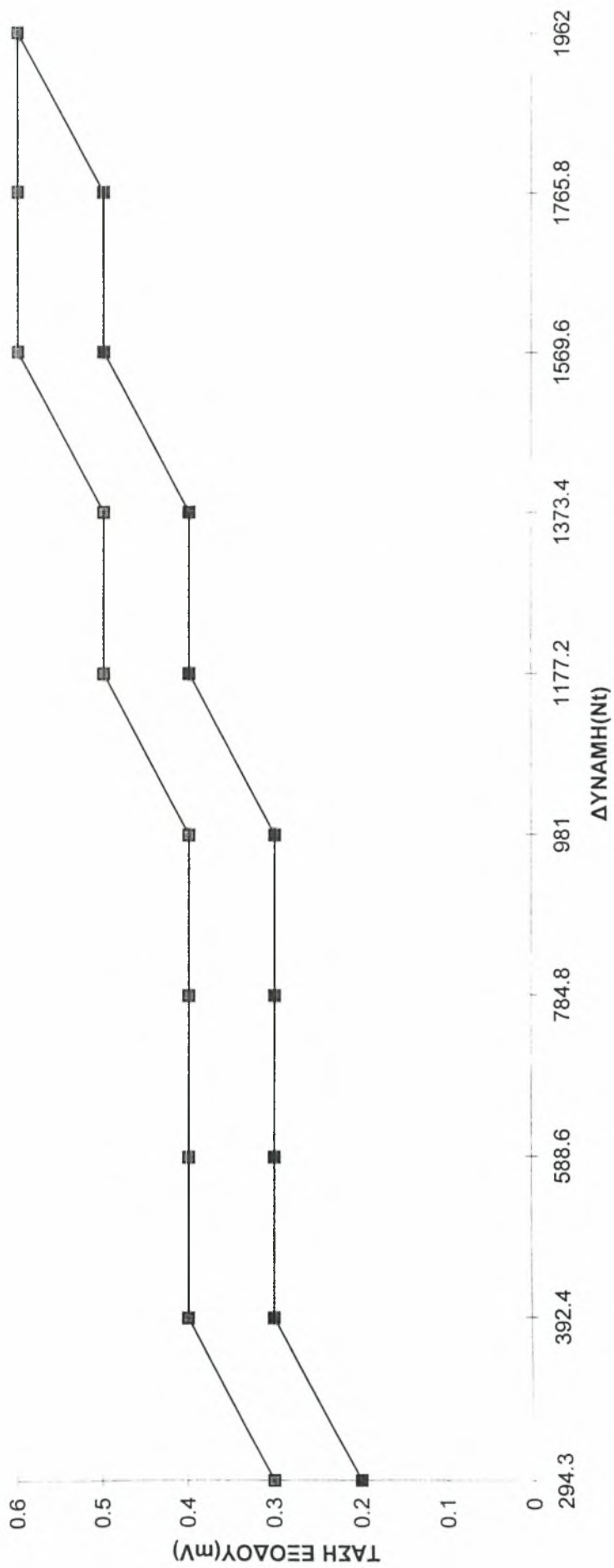
$$R^2 = 0.9872$$

ΤΑΣΗ ΕΞΟΔΟΥ (mV)

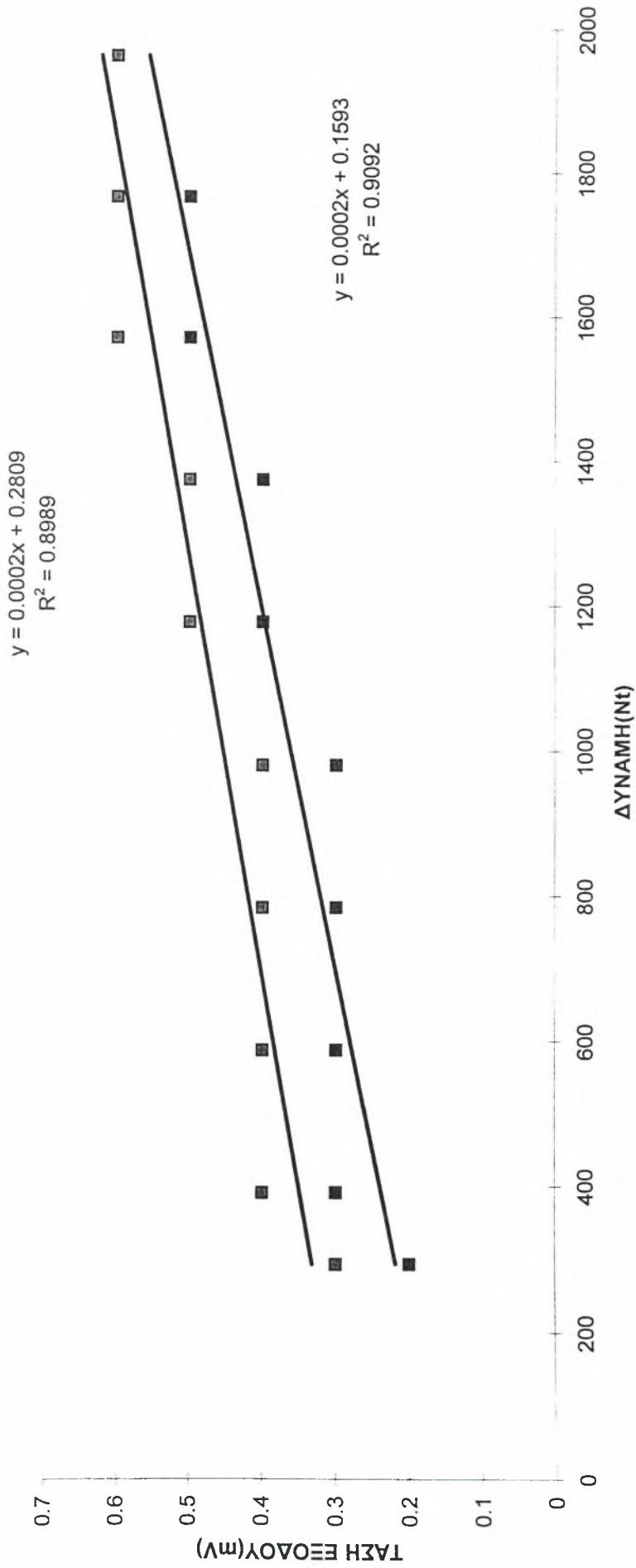
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0



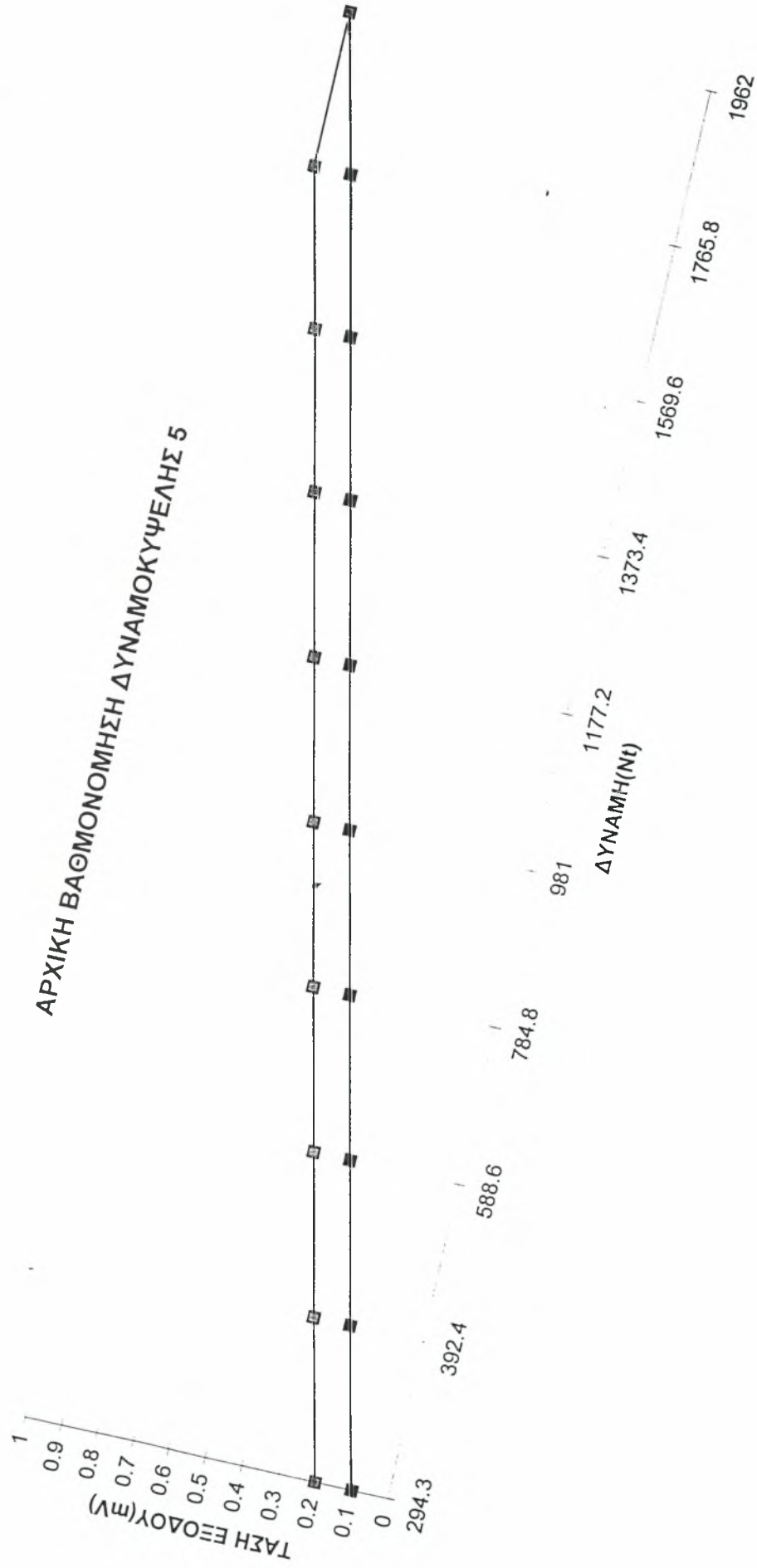
ΑΡΧΙΚΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗΣ 4



ΑΡΧΙΚΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗΣ 4



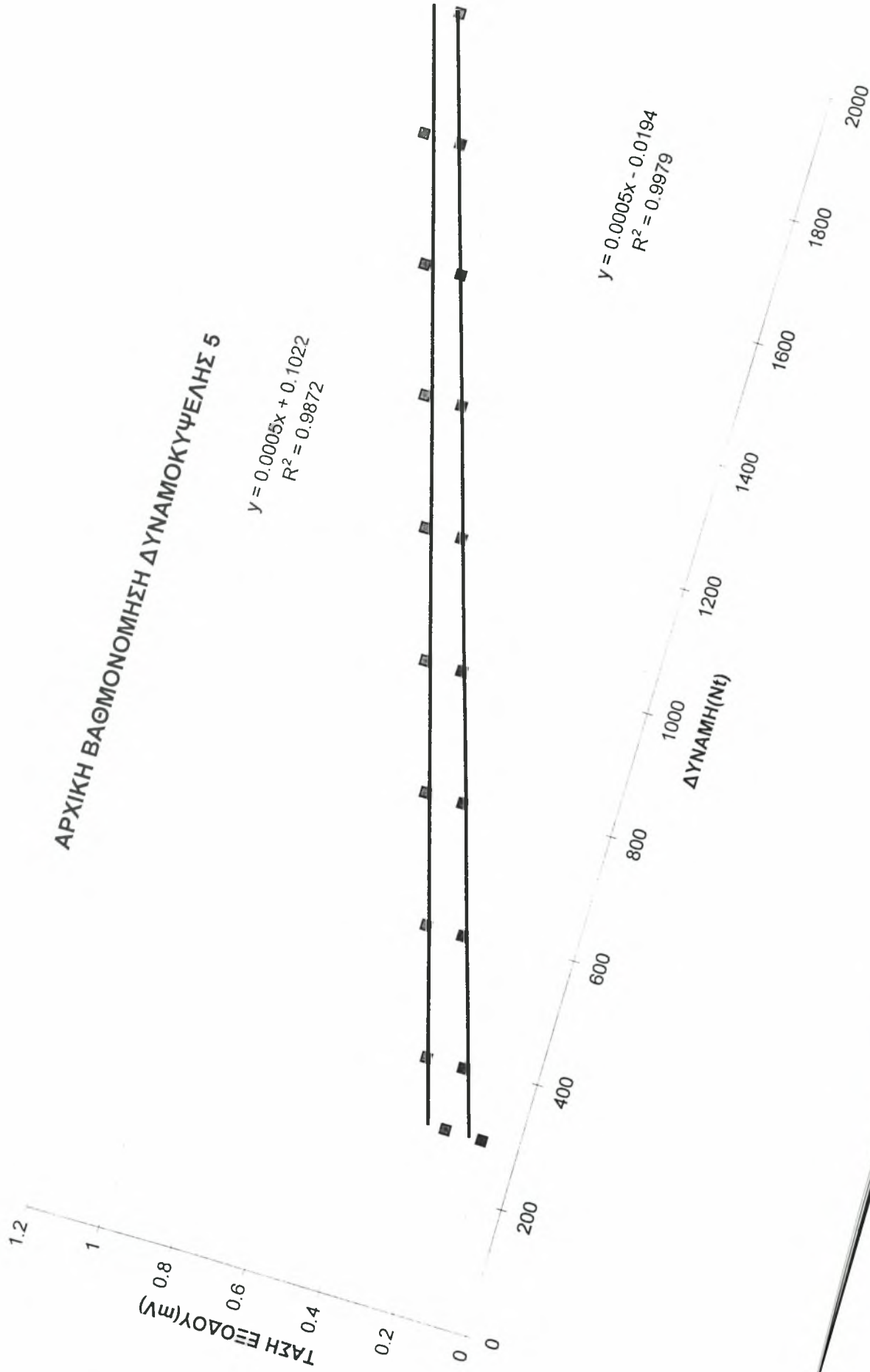
ΑΡΧΙΚΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗΣ 5



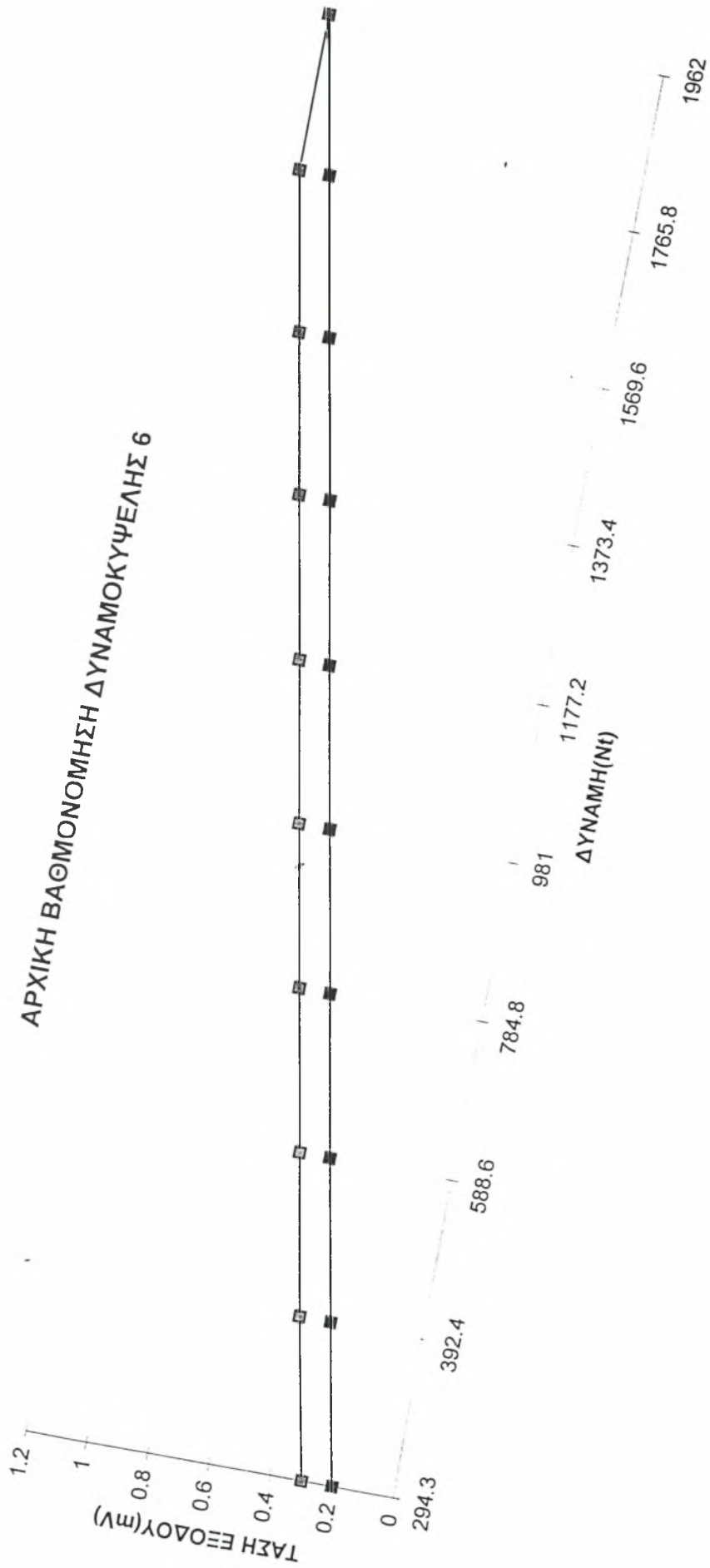
ΑΡΧΙΚΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗΣ 5

$$y = 0.0005x + 0.1022$$
$$R^2 = 0.9872$$

$$y = 0.0005x - 0.0194$$
$$R^2 = 0.9979$$



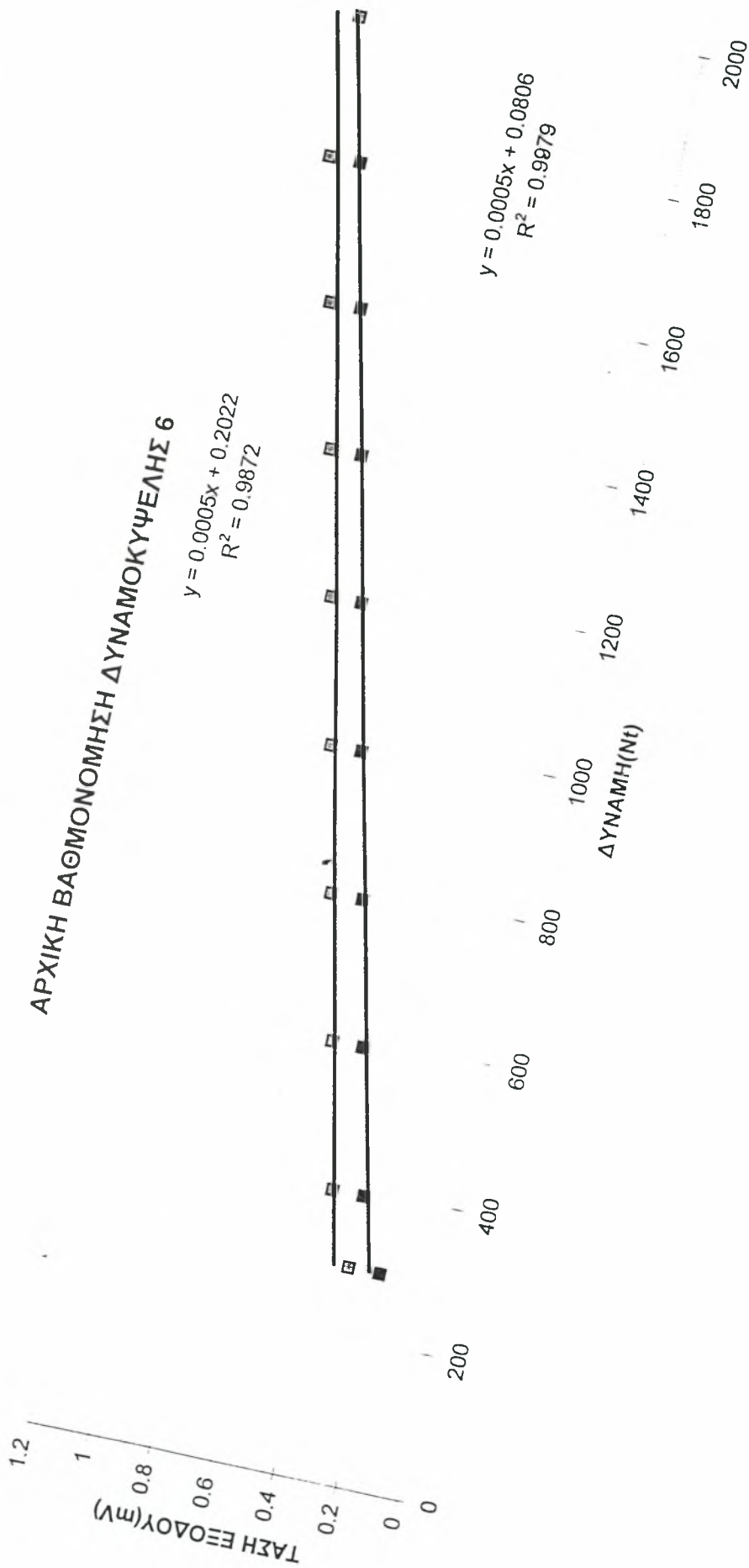
ΑΡΧΙΚΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗΣ 6



ΑΡΧΙΚΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗΣ 6

$$y = 0.0005x + 0.2022$$

$$R^2 = 0.9872$$

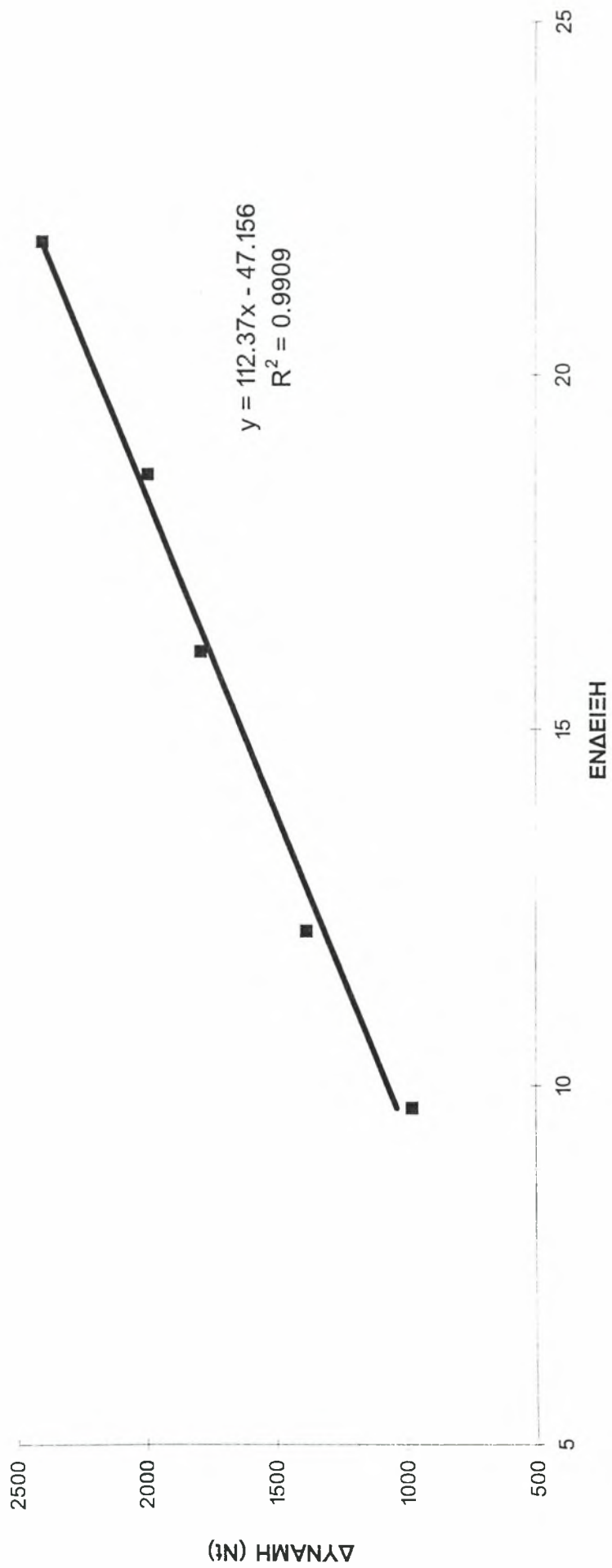


ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΩΝ

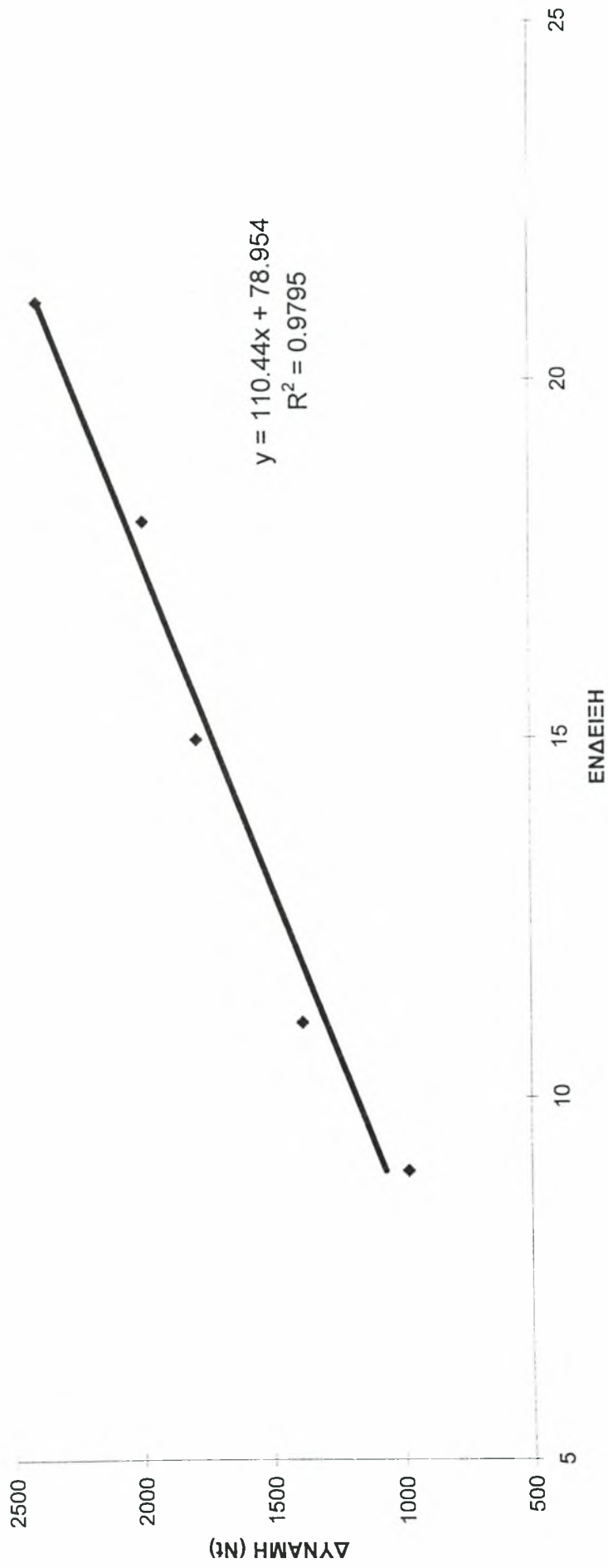
ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΤΕΛΙΚΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΩΝ

Πίεση (bar)	Δύναμη(Nt)	Βάρος (Kgr)	Δυναμοκυψέλη 1	Δυναμοκυψέλη 2	Δυναμοκυψέλη 3	Δυναμοκυψέλη 4	Δυναμοκυψέλη 5	Δυναμοκυψέλη 6
50	981.96	100.774	9.691	8.99	9.227	5.058	9.985	11.885
70	1389.29	141.62	12.176	11.048	12.924	6.004	15.007	17.06
90	1796.62	183.14	16.1	14.976	16.32	7.093	19.175	21.469
100	2000.3	203.9	18.58	18.006	18.38			
110	2203.95	224.66					8.345	23.007
120	2407.62	245.42	21.87	21.055	21.788			
130	2611.28	266.18				10.156	28.067	30.109

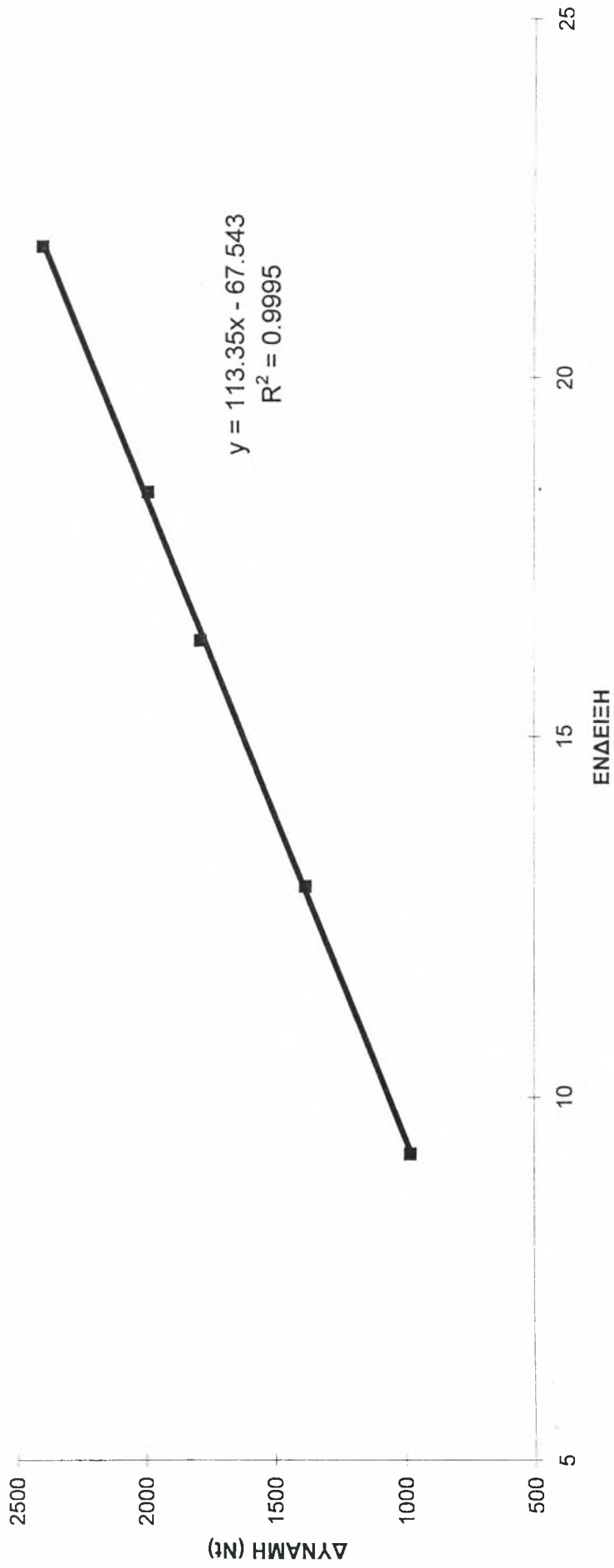
ΤΕΛΙΚΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗΣ 1



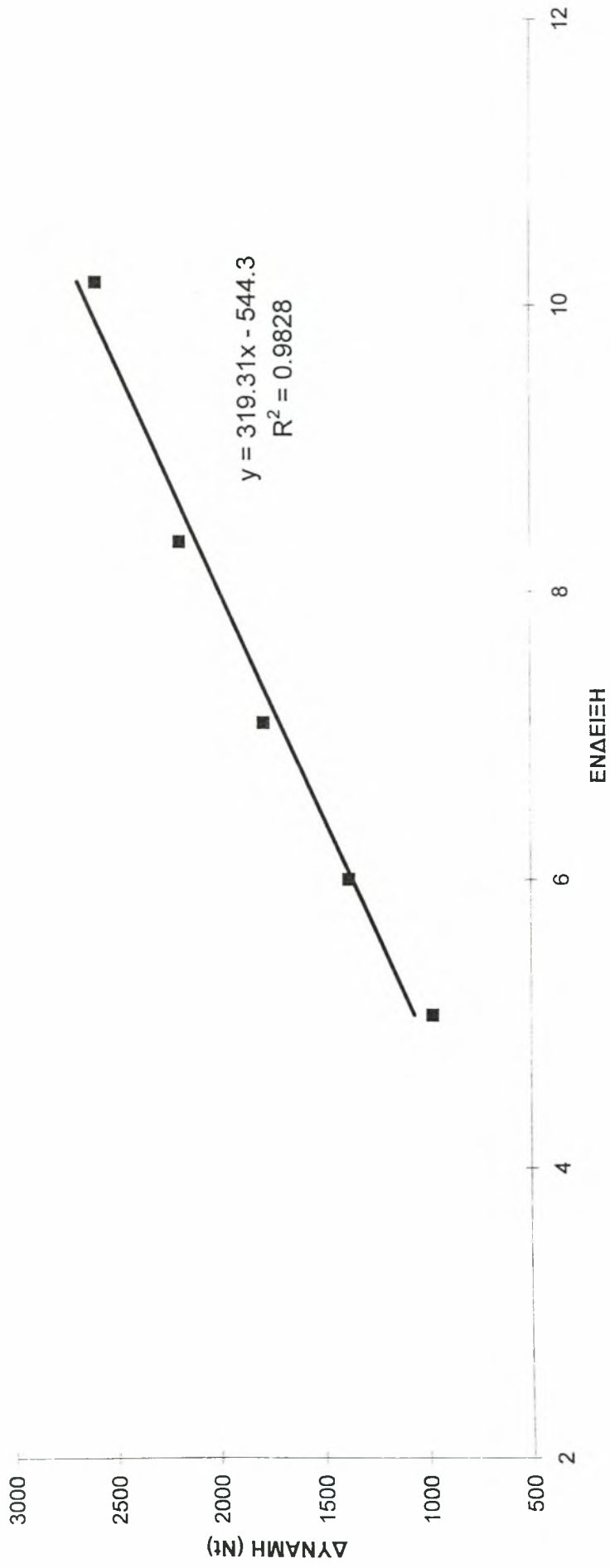
ΤΕΛΙΚΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗΣ 2



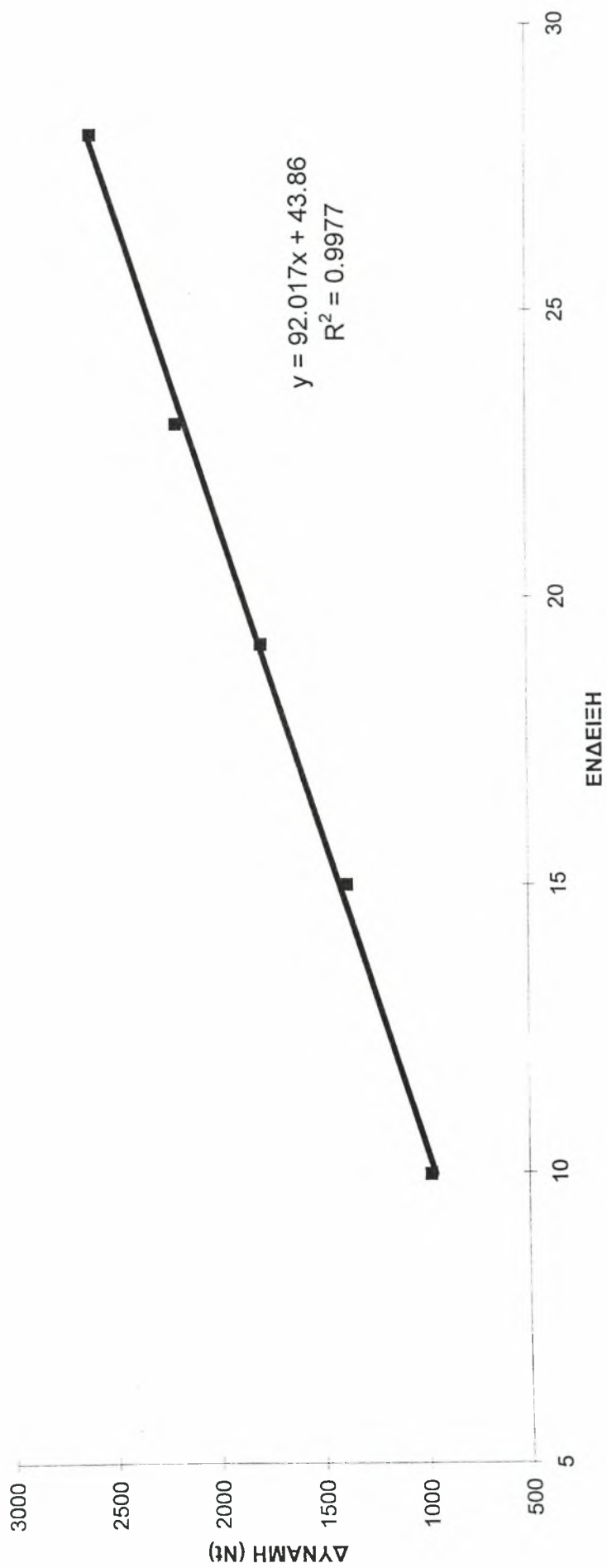
ΤΕΛΙΚΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗΣ 3



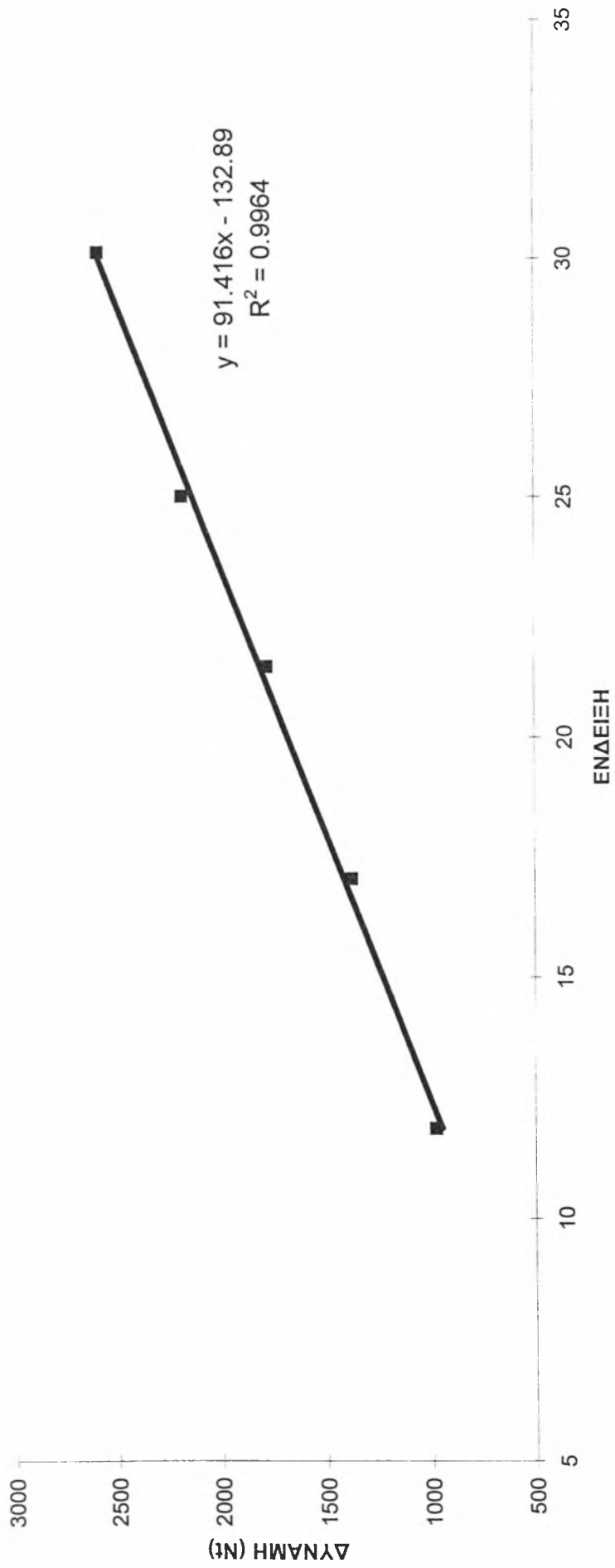
ΤΕΛΙΚΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗΣ 4



ΤΕΛΙΚΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗΣ 5



ΤΕΛΙΚΗ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΔΥΝΑΜΟΚΥΨΕΛΗΣ 6



4.3 Δοκιμαστικές μετρήσεις στον αγρό

Η δοκιμή της πειραματικής διάταξης που περιγράφηκε, έγινε με την μέτρηση των αναπτυσσομένων δυνάμεων σε ένα τετράυνο άροτρο κατά την εργασία στον αγρό. Έγιναν τέσσερις δοκιμές και στη συνέχεια παρατίθενται διαγράμματα διακυμάνσεων των δυνάμεων στις έξι δυναμοκυψέλες του συστήματος(σελ. 41-64). Οι δυναμοκυψέλες 4, 5 και 6 μετρούν την οριζόντια δύναμη, παράλληλη με την διεύθυνση κίνησης του γεωργικού ελκυστήρα (5-αριστερή, 6-δεξιά, 4-κέντρο). Η δυναμοκυψέλη 3 μετρά την οριζόντια δύναμη, κάθετη στην διεύθυνση κίνησης του γεωργικού ελκυστήρα (πλάγια). Οι δυναμοκυψέλες 1,2 μετρούν την κατακόρυφη δύναμη (1-αριστερή, 2-δεξιά). Υπολογίστηκε ακόμη η ελκτική δύναμη του γεωργικού ελκυστήρα(πρόσθεση δυνάμεων δυναμοκυψελών 5,6,4), καθώς και η απαιτούμενη ισχύς από πλευράς του γεωργικού ελκυστήρα(με βάση την ταχύτητα κίνησης του γεωργικού ελκυστήρα κατα την εκτέλεση των διαφόρων εργασιών $u=3.6 \text{ km/h}=1 \text{ m/sec}$). Τέλος υπολογίστηκε η ειδική αντίσταση με βάση τη συνολική επιφάνεια άρωσης(Το άροτρο ήταν τετράυνο με συνολικό πλάτος 120 cm. Το βάθος άρωσης ήταν 25 cm. Επομένως η συνολική επιφάνεια άρωσης ήταν $120 \times 25= 3000 \text{ cm}^2$)

Κατά την πρώτη δοκιμαστική μέτρηση οι μέσοι όροι των δυνάμεων που μετρούσαν οι δυναμοκυψέλες ήταν:

Δυναμοκυψέλη 1 3351.81

Δυναμοκυψέλη 2 6689.97

Δυναμοκυψέλη 3 -1254.05

Δυναμοκυψέλη 4 72428.98

Δυναμοκυψέλη 5 18459.41

Δυναμοκυψέλη 6 26253.38

Η ελκτική δύναμη είναι $F=18459.41+26253.38-72428.98=- 27716.19 \text{ Nt}$. Έτσι η ειδική αντίσταση είναι $E.A.=F/S=27716.19/3000=9.23 \text{ N/cm}^2$. Η απαιτούμενη ισχύς από τον γεωργικό ελκυστήρα είναι $P=Fu=27716.19 \times 1=27716.19 \text{ Watt} = 27.71 \text{ kW}$

Κατά τη δεύτερη δοκιμαστική μέτρηση οι μέσοι όροι των δυνάμεων που μετρούσαν οι δυναμοκυψέλες ήταν:

Δυναμοκυψέλη 1 2653.91

Δυναμοκυψέλη 2 5555.6

Δυναμοκυψέλη 3 -585.86

Δυναμοκυψέλη 4 72631.12



Δυναμοκυψέλη 5 17477.24

Δυναμοκυψέλη 6 22019.1

Η ελκτική δύναμη είναι $F=17477.24+22019.1-72631.12= -33134.78$ Nt. Η ειδική αντίσταση είναι $E.A.= 33134.78/3000=11.04$ N/cm² Η απαιτούμενη ισχύς από τον γεωργικό ελκυστήρα είναι $P=Fu=33134.78 \times 1=33134.78$ Watt = 27.71 kW

Κατά την τρίτη δοκιμαστική μέτρηση οι μέσοι όροι των δυνάμεων που μετρούσαν οι δυναμοκυψέλες ήταν:

Δυναμοκυψέλη 1 3880.75

Δυναμοκυψέλη 2 4043.19

Δυναμοκυψέλη 3 -2476.26

Δυναμοκυψέλη 4 71518.16

Δυναμοκυψέλη 5 25743.55

Δυναμοκυψέλη 6 22568.46

Η ελκτική δύναμη είναι $F=22568.46+25743.55-71518.16= -23206.15$ Η ειδική αντίσταση είναι $E.A.=23206.15/3000 = 7.73$ N/cm² . Η απαιτούμενη ισχύς από τον γεωργικό ελκυστήρα είναι $P=Fu=23206.15 \times 1=23206.15$ Watt = 23.2 kW

Κατά την τέταρτη δοκιμαστική μέτρηση οι μέσοι όροι των δυνάμεων που μετρούσαν οι δυναμοκυψέλες ήταν:

Δυναμοκυψέλη 1 4379.31

Δυναμοκυψέλη 2 4489.67

Δυναμοκυψέλη 3 -1825.5

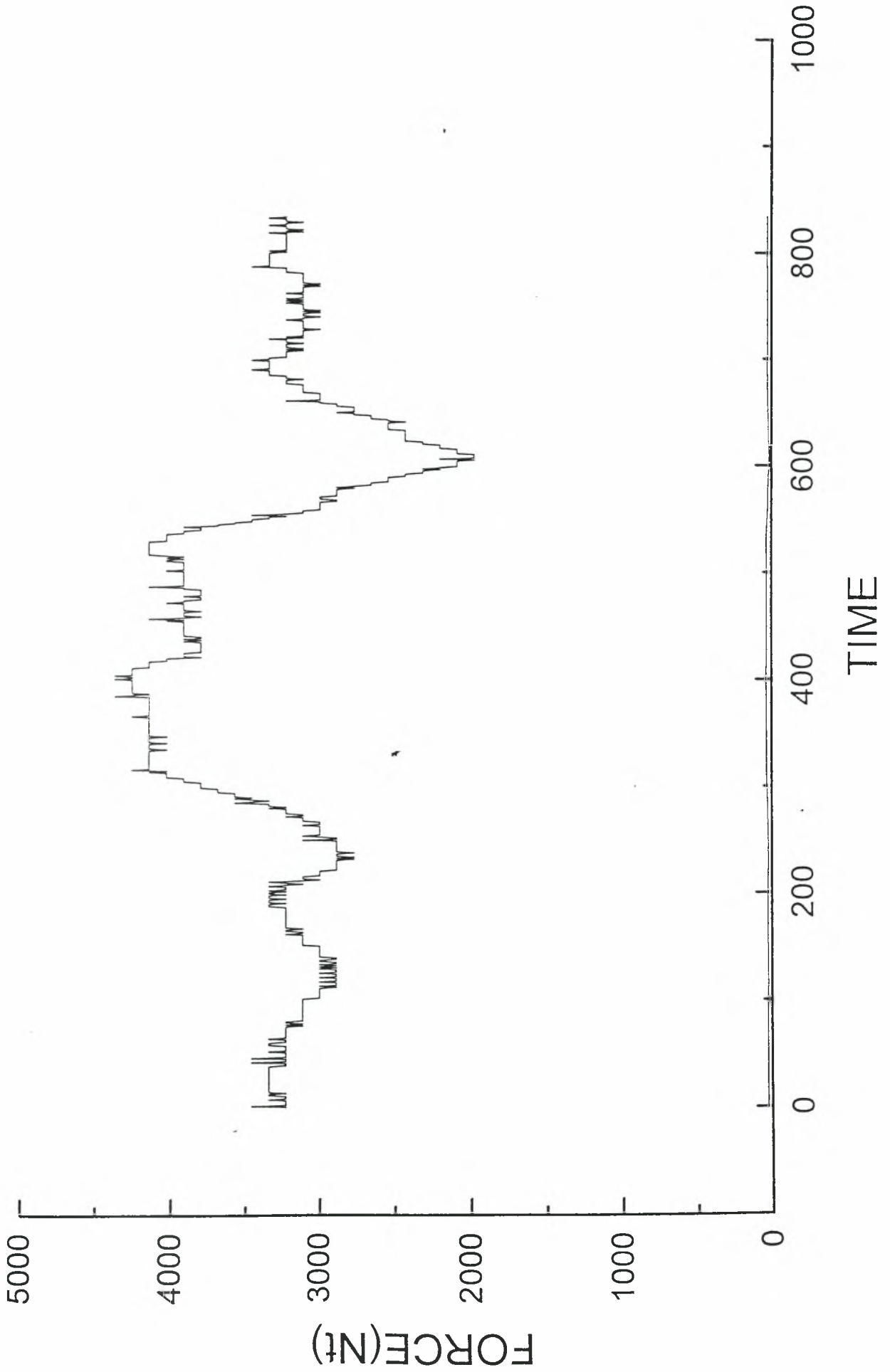
Δυναμοκυψέλη 4 71385.33

Δυναμοκυψέλη 5 23351.15

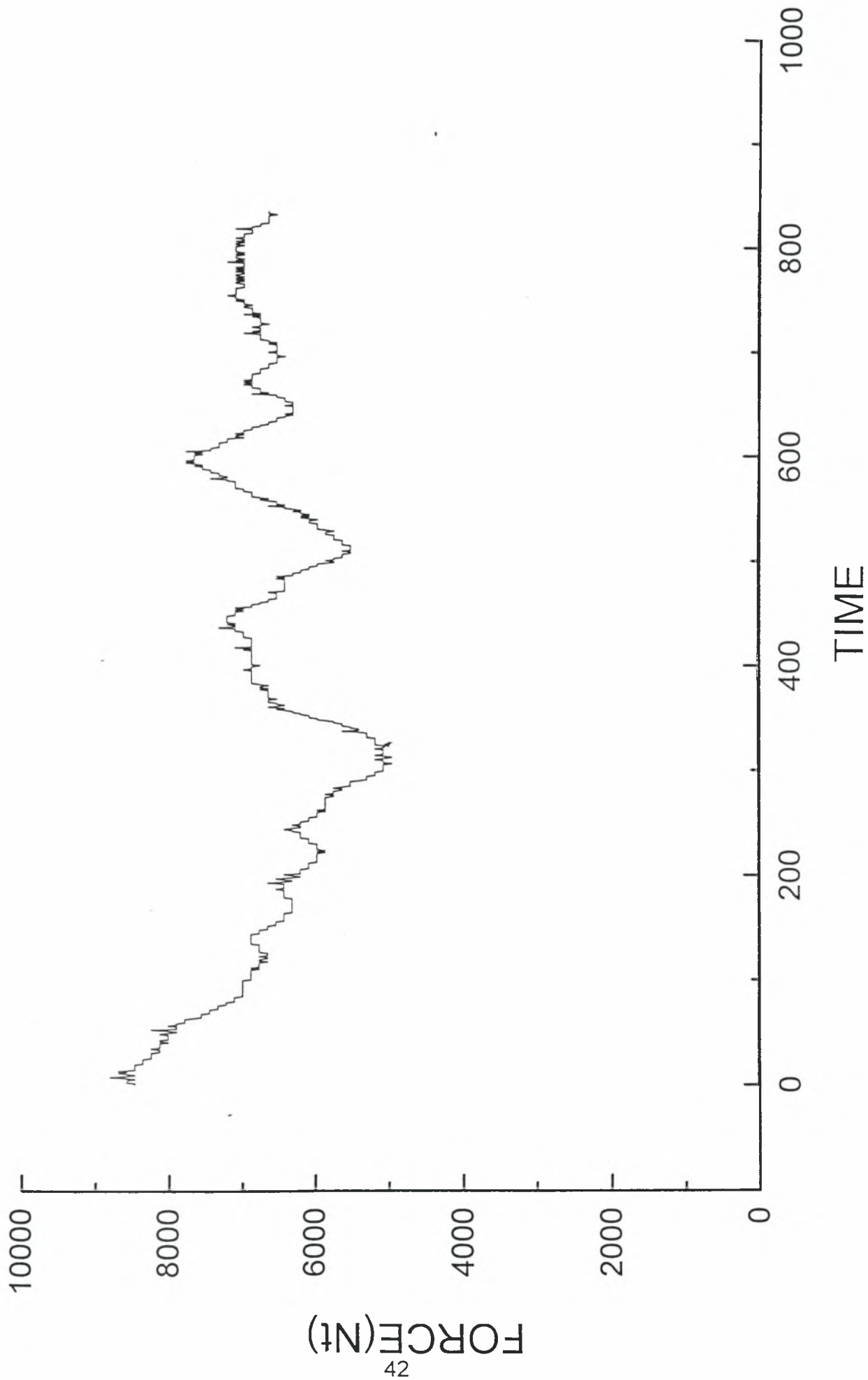
Δυναμοκυψέλη 6 21745.2

Η ελκτική δύναμη είναι $F=21745.2+23351.15-71385.33= -26288.98$. Η ειδική αντίσταση είναι $E.A.=26288.98/3000 = 8.76$ N/cm² . Η απαιτούμενη ισχύς από τον γεωργικό ελκυστήρα είναι $P=Fu=26288.98 \times 1=26288.98$ Watt = 26.28 kW

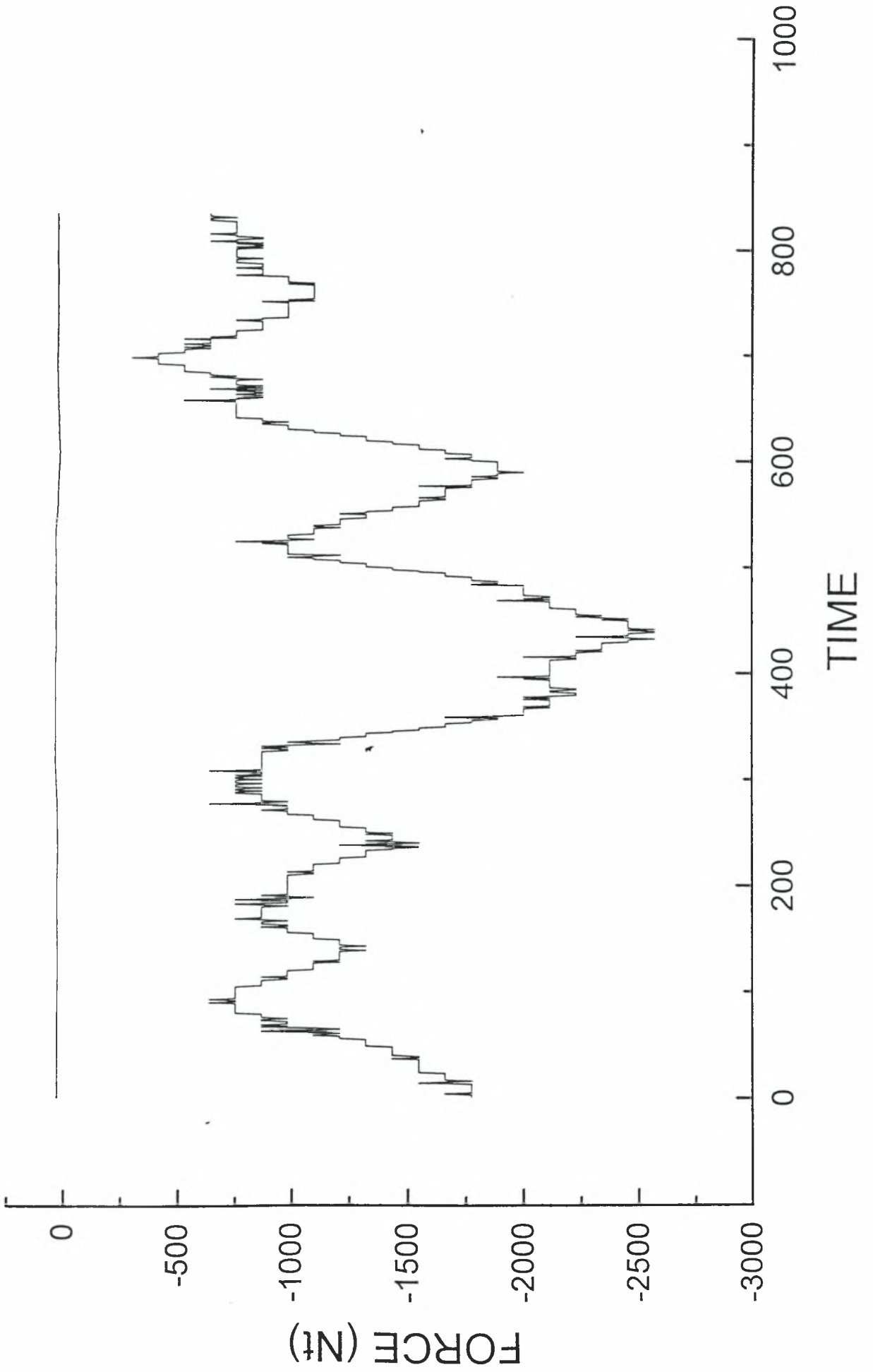
LOADCELL 1



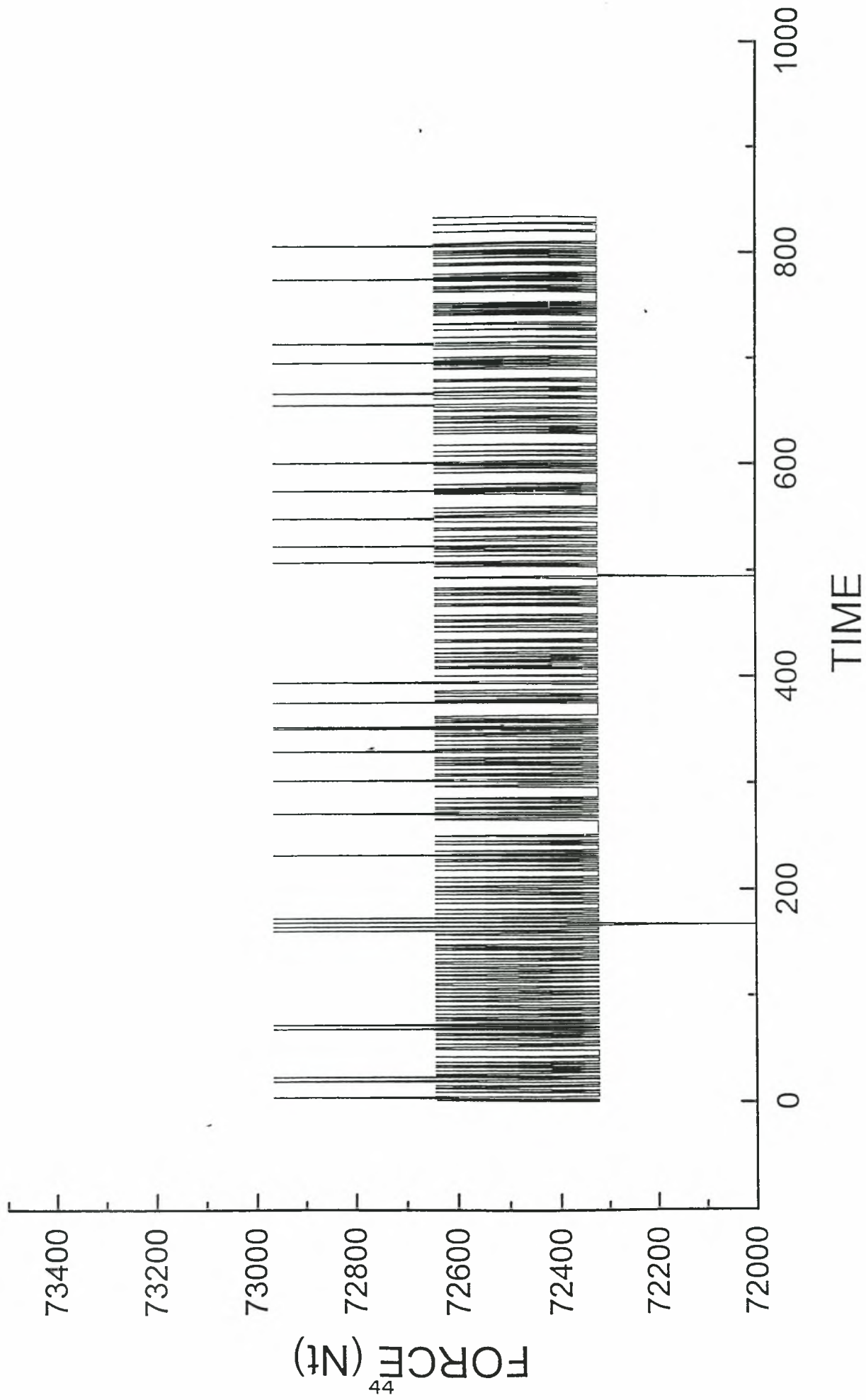
LOADCELL 2



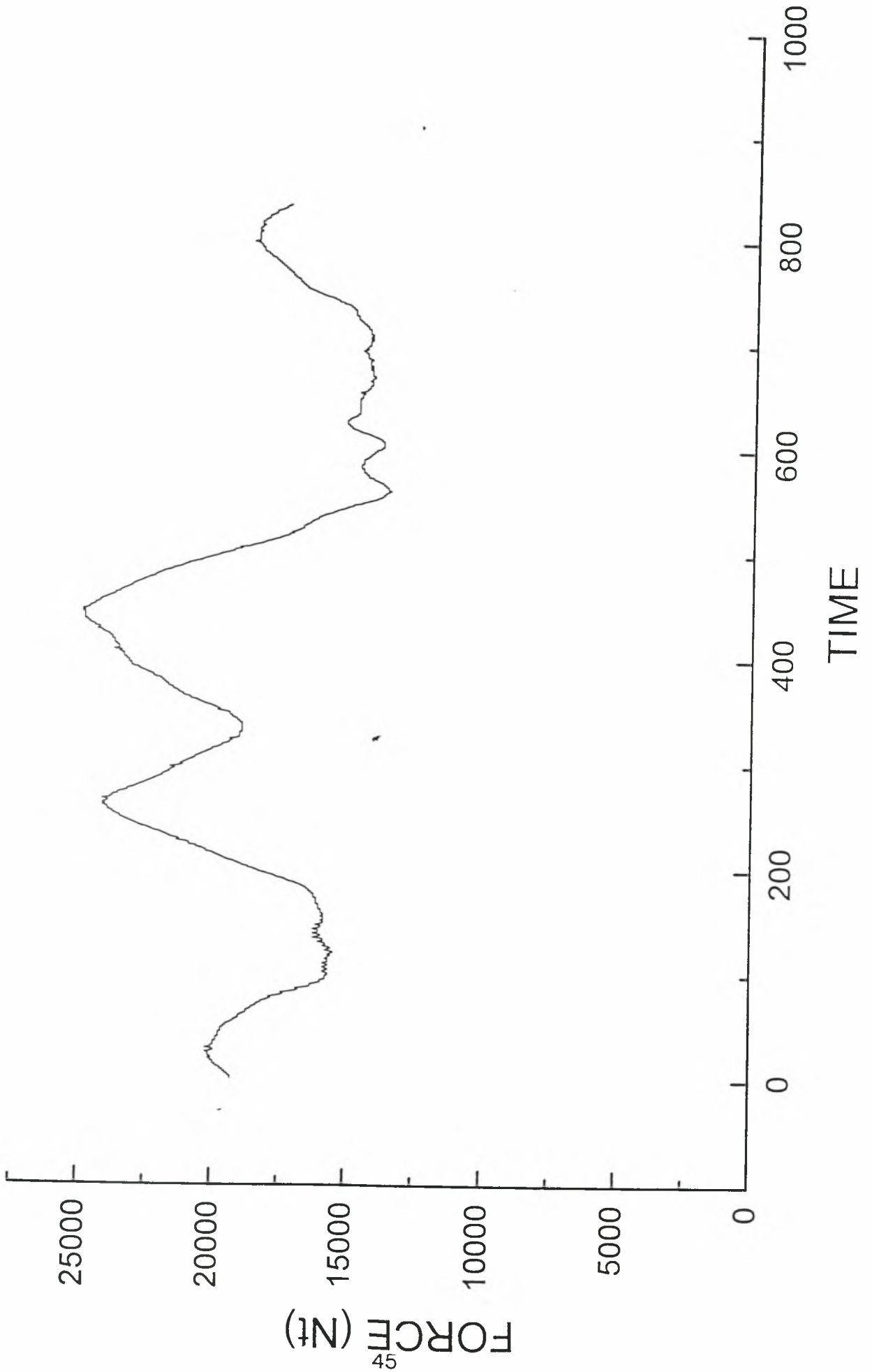
LOADCELL 3



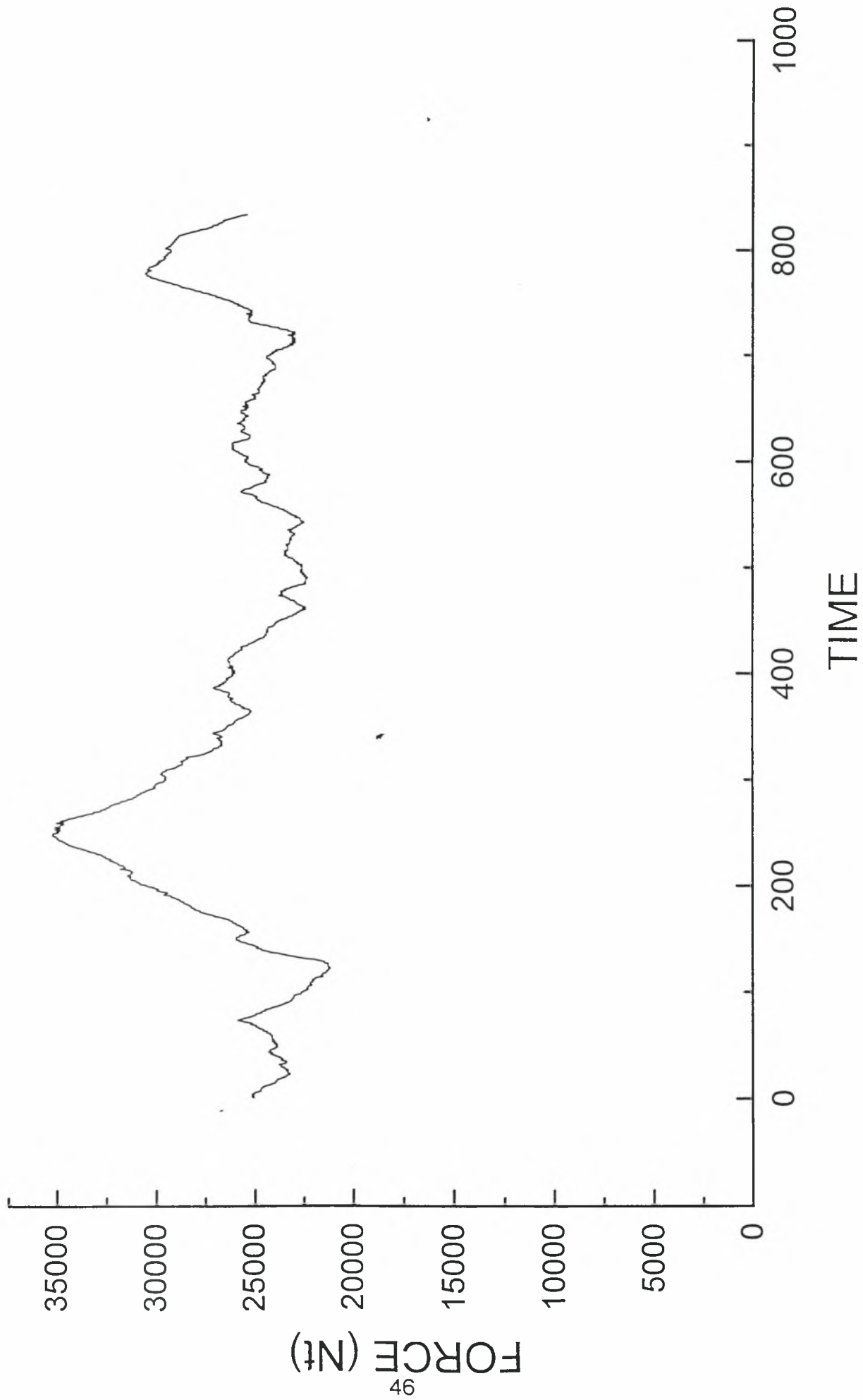
LOADCELL 4



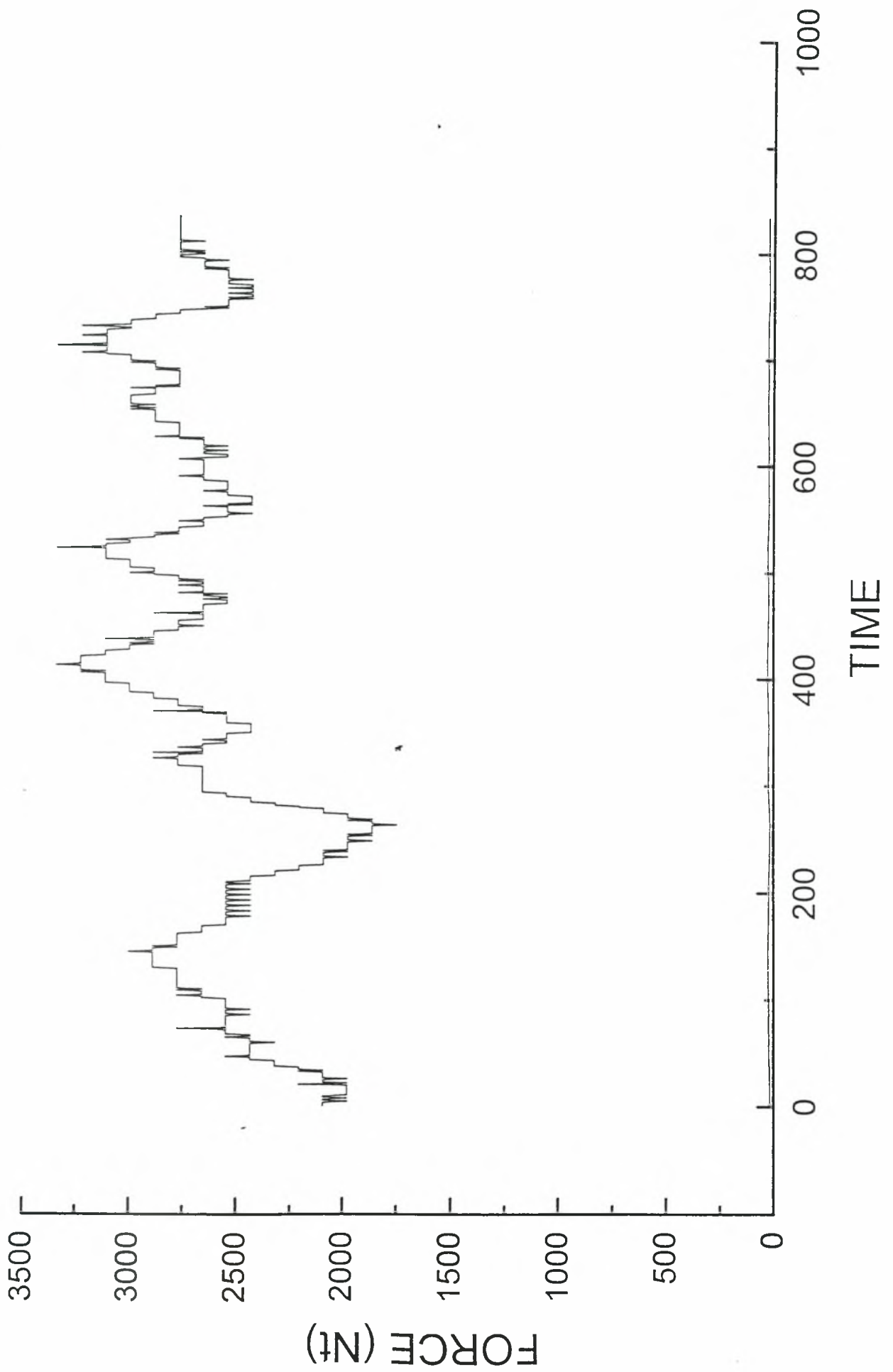
LOADCELL 5



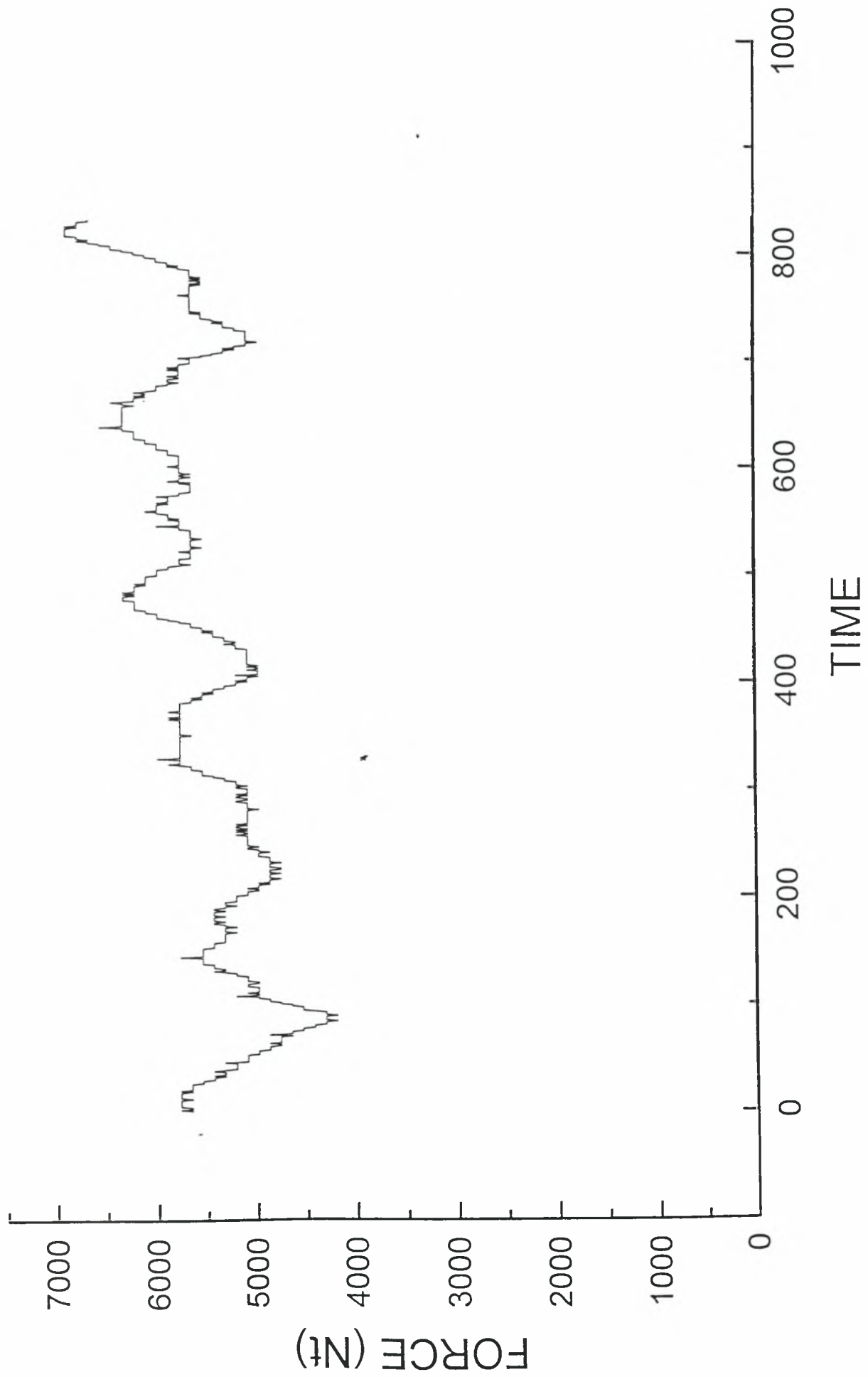
LOADCELL 6



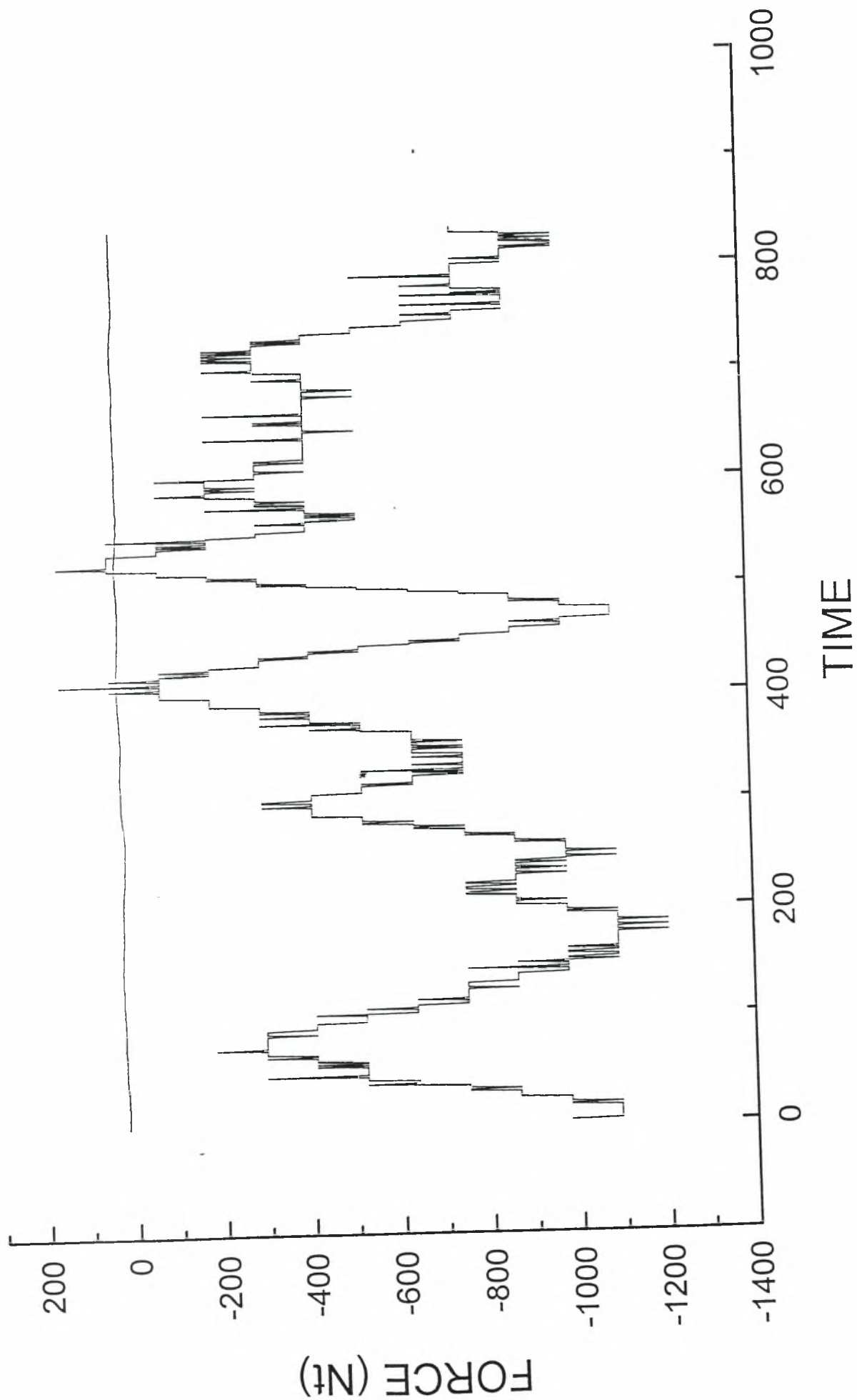
LOADCELL 1



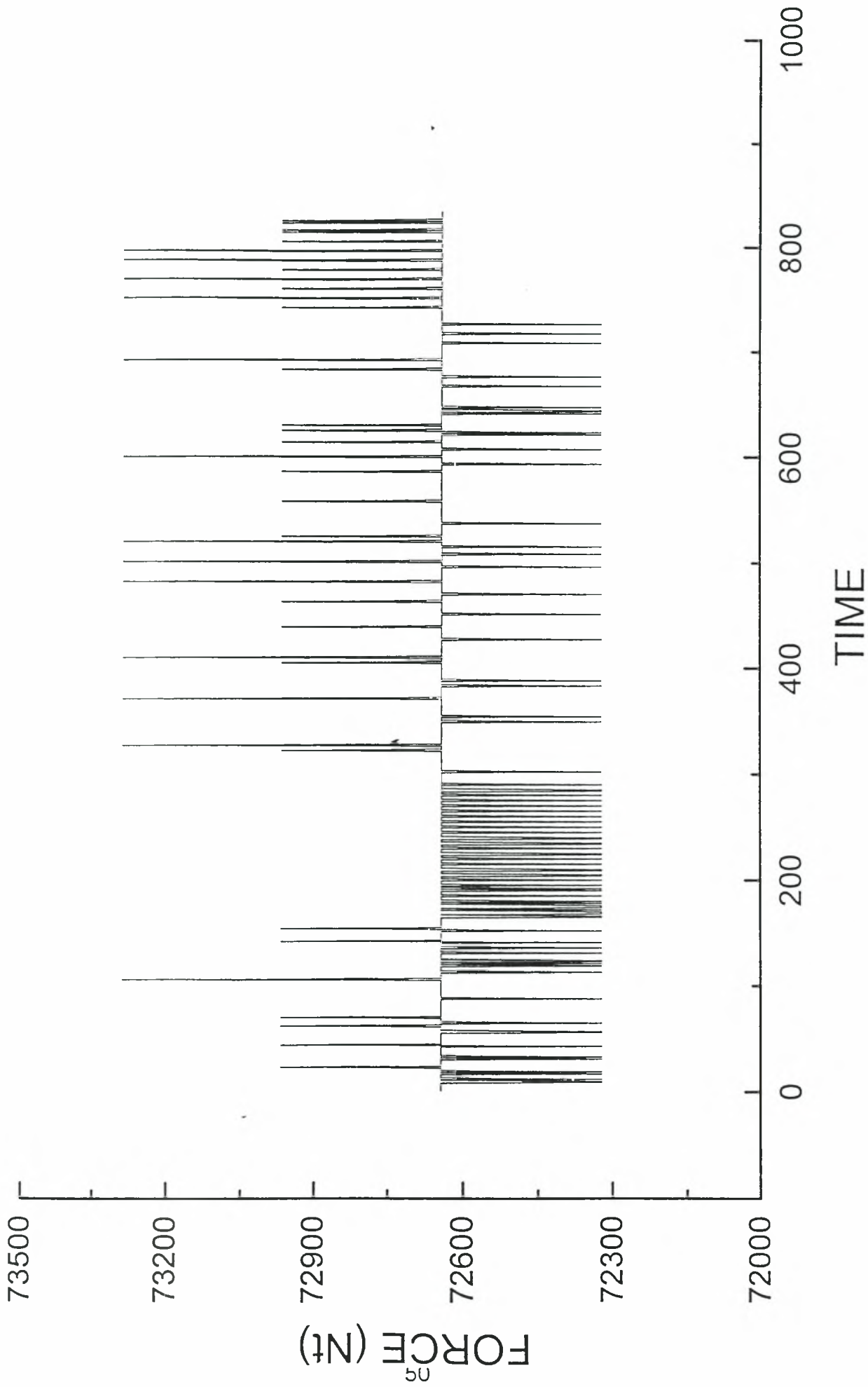
LOADCELL 2



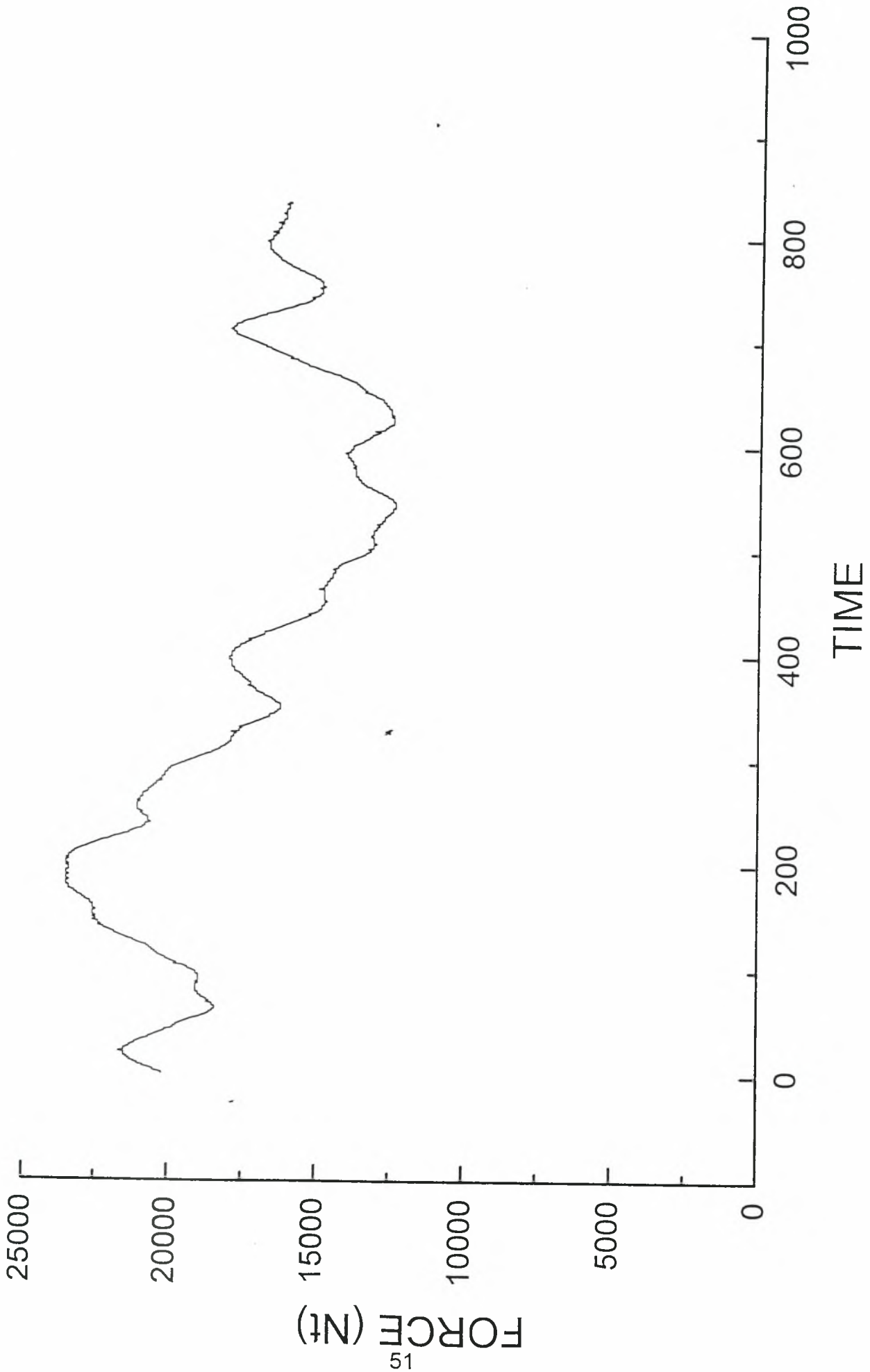
LOADCELL 3



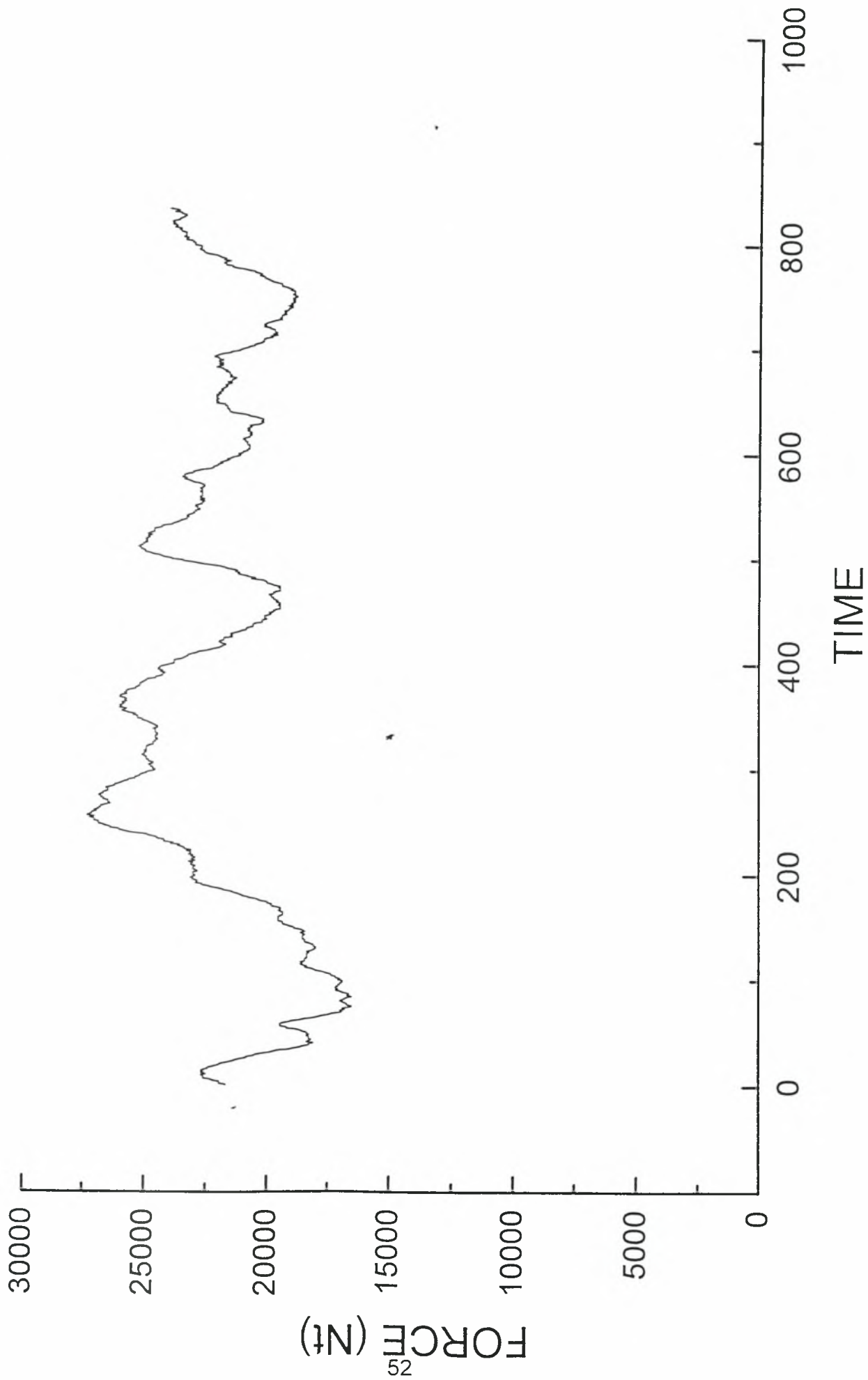
LOADCELL 4



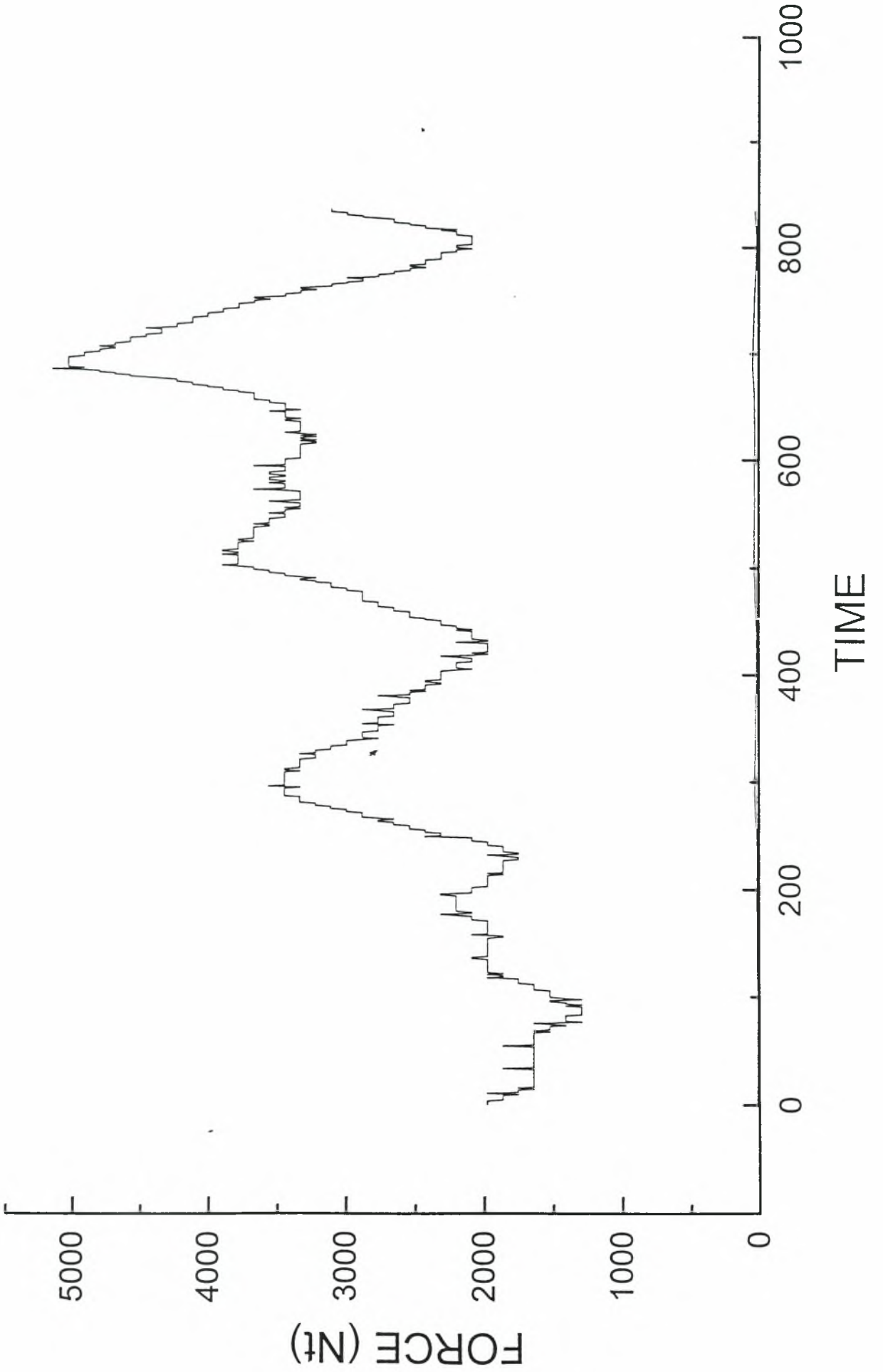
LOADCELL 5



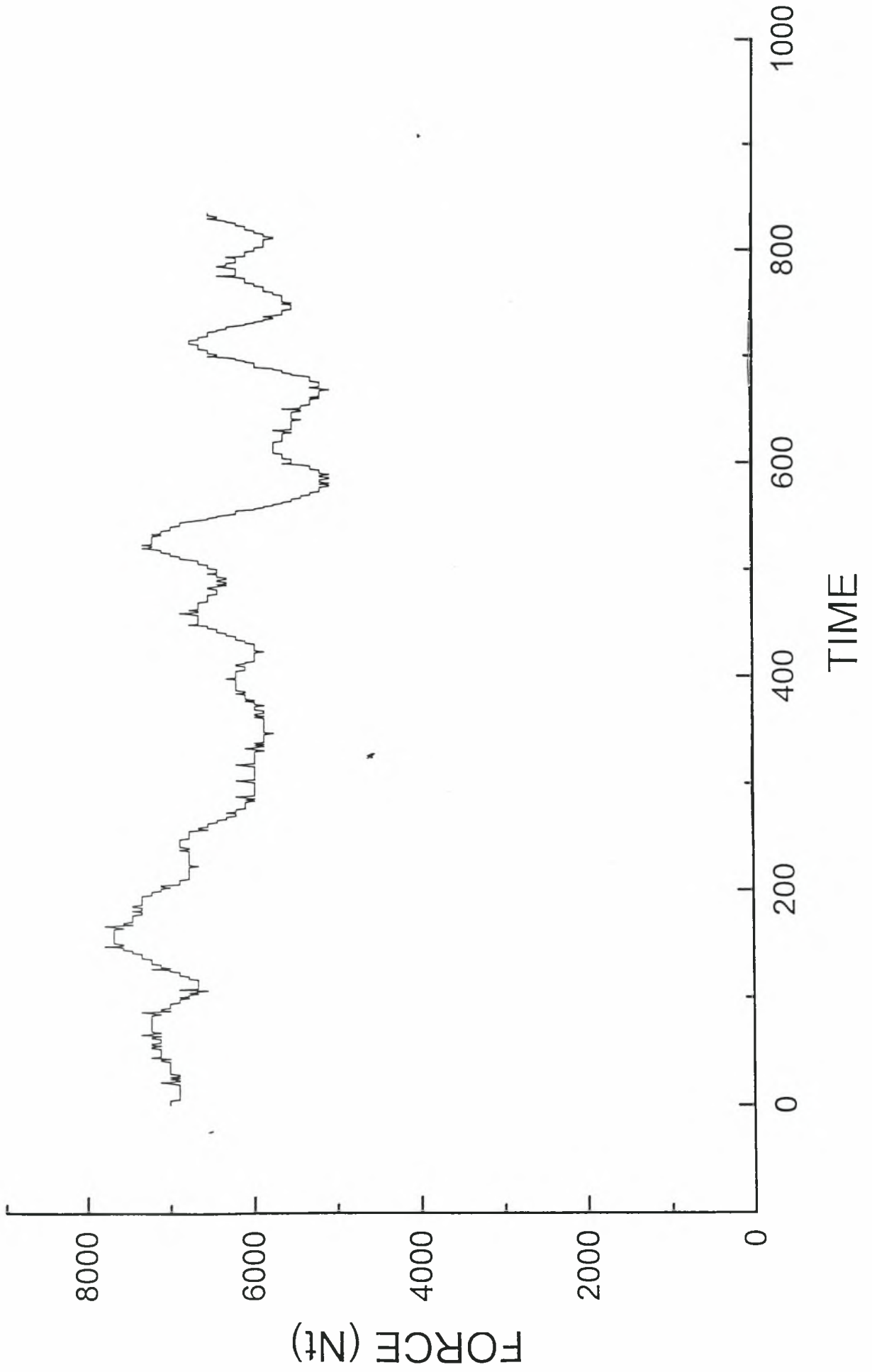
LOADCELL 6



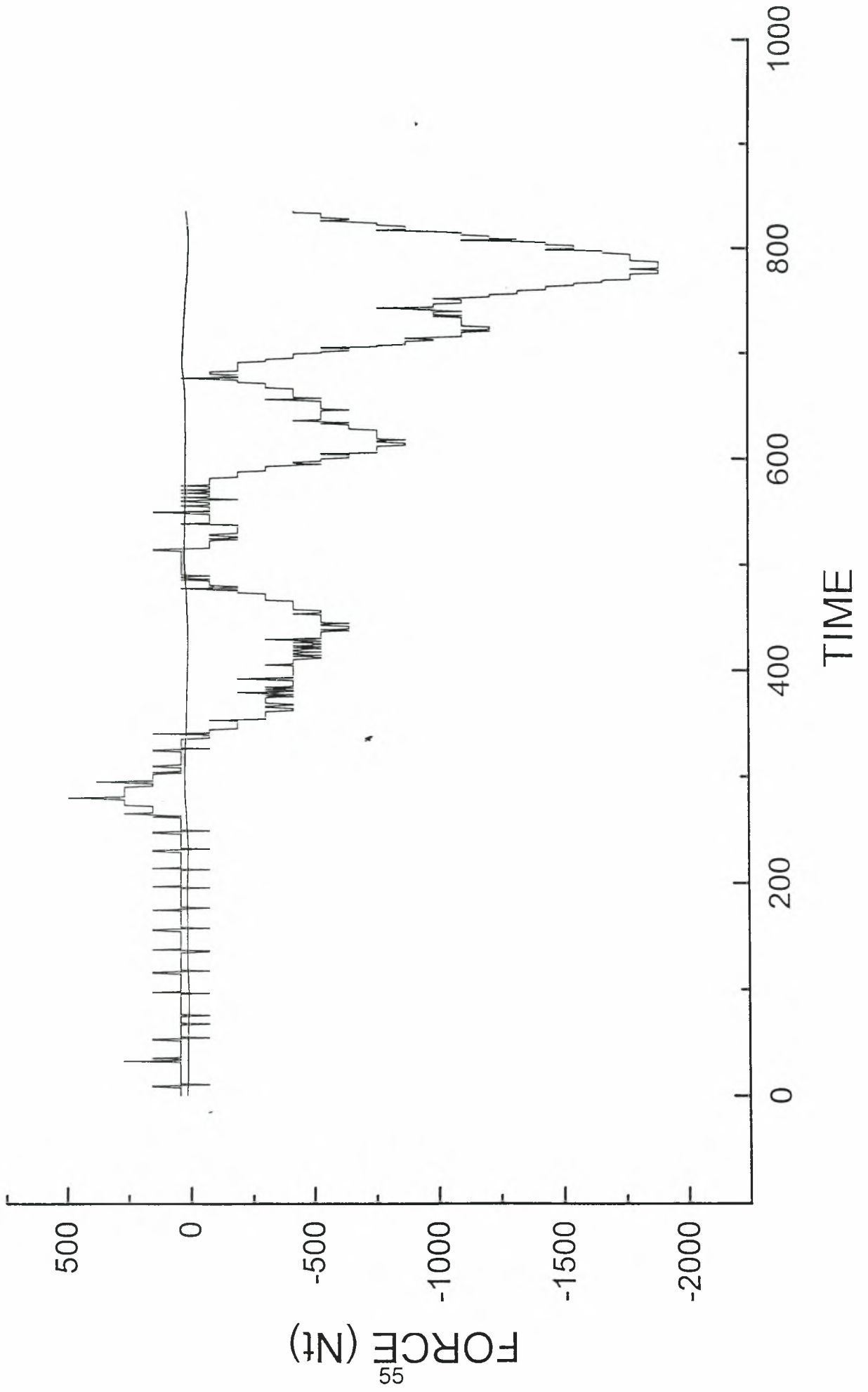
LOADCELL 1



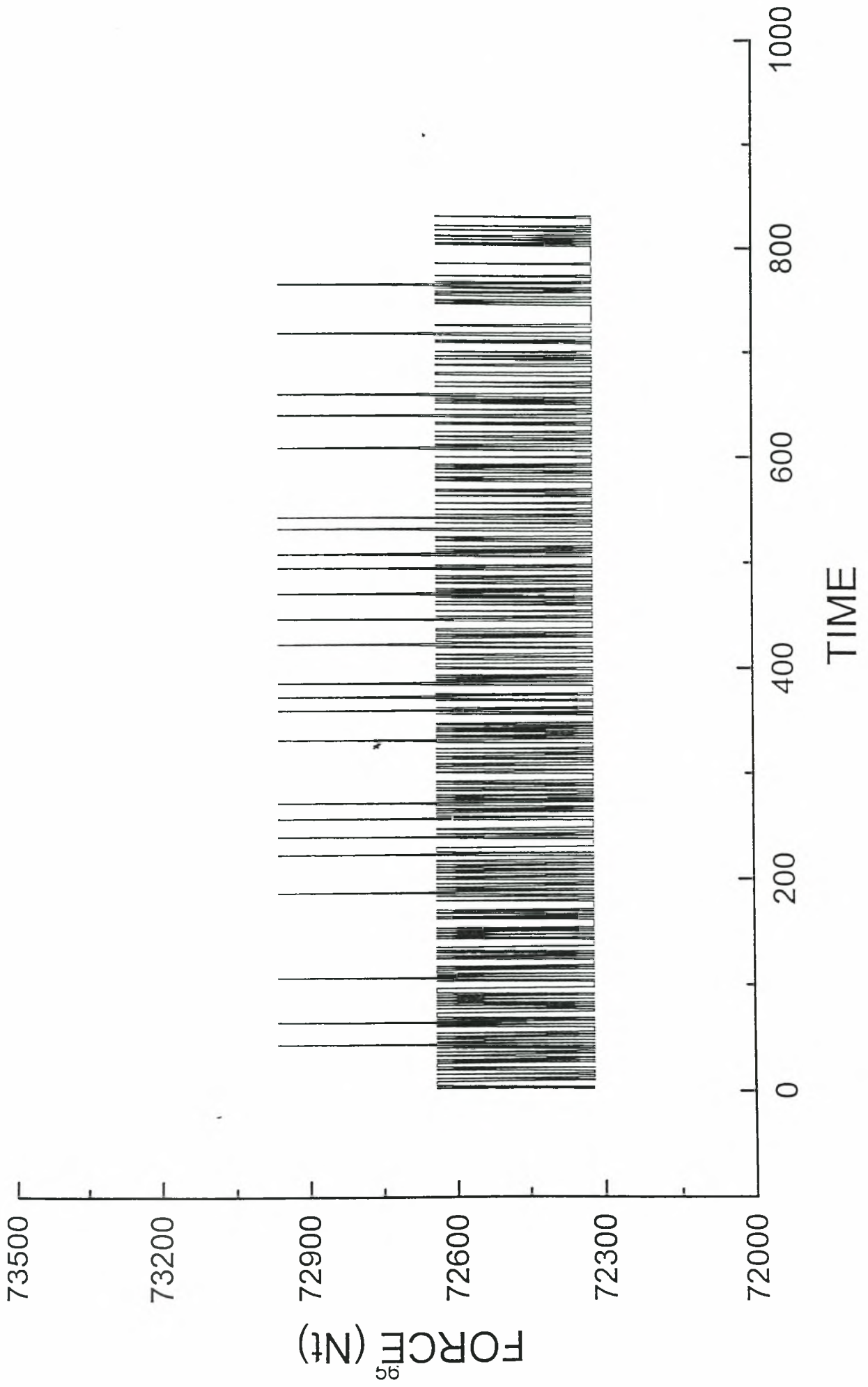
LOADCELL 2



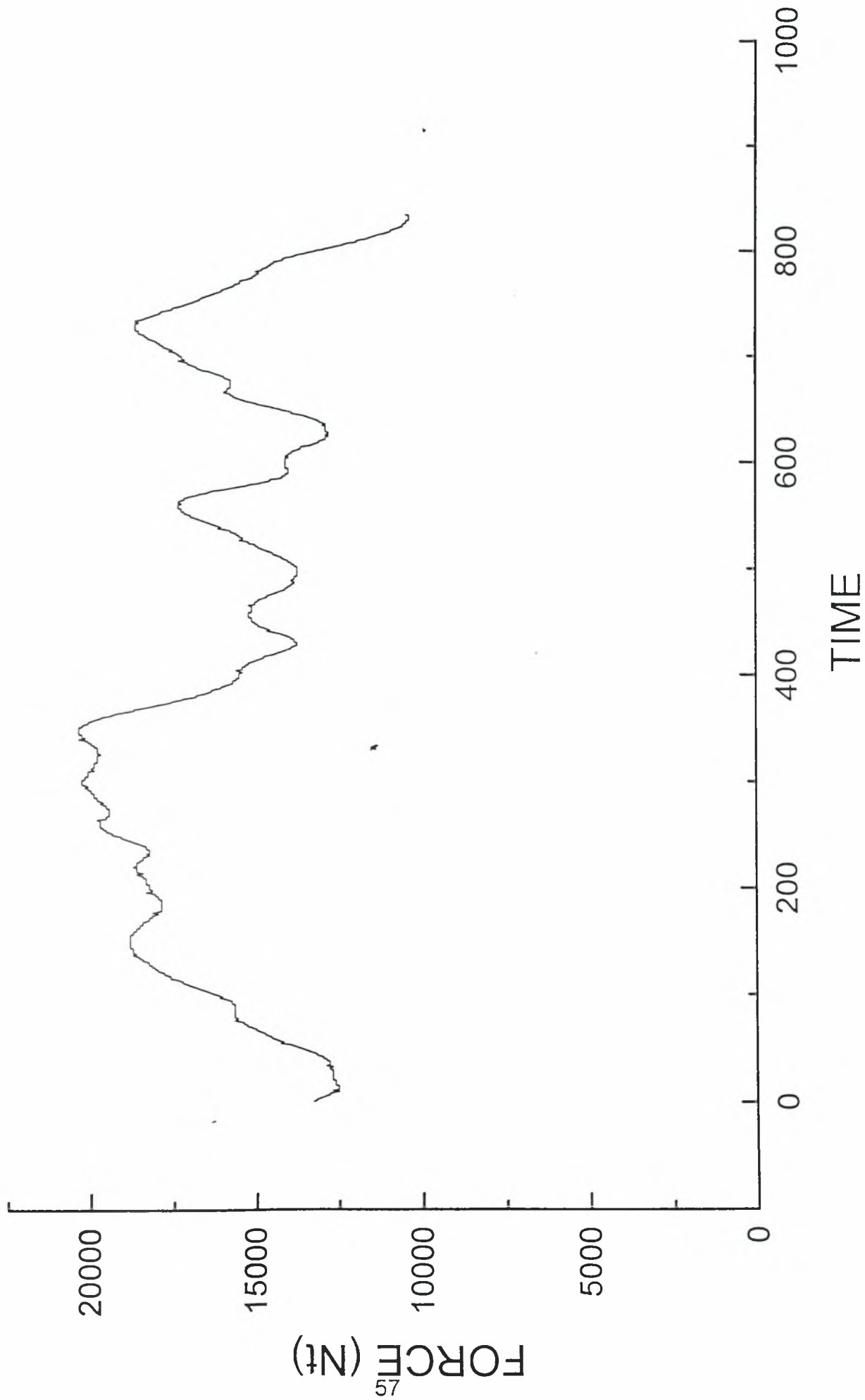
LOADCELL 3



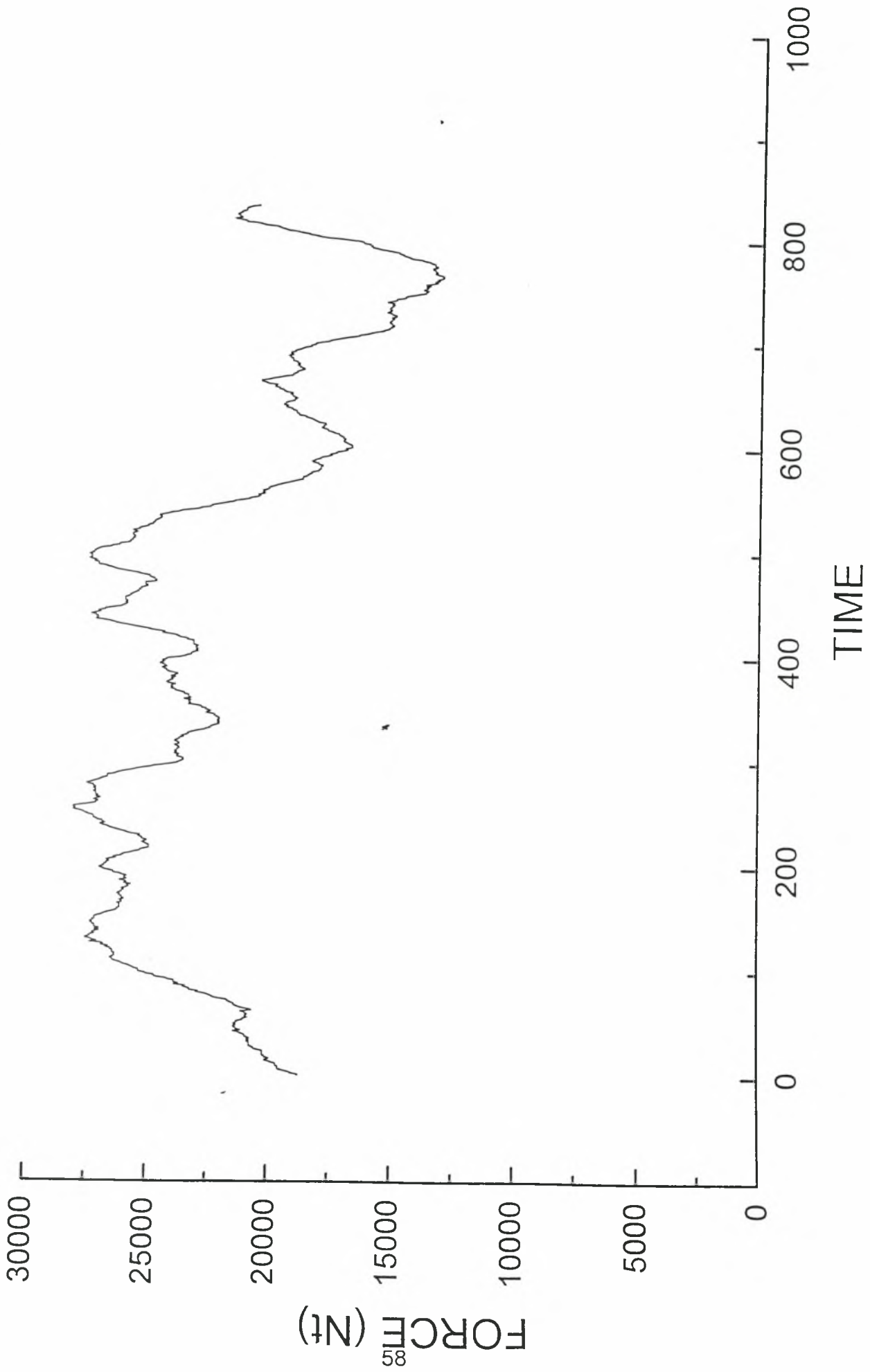
LOADCELL 4



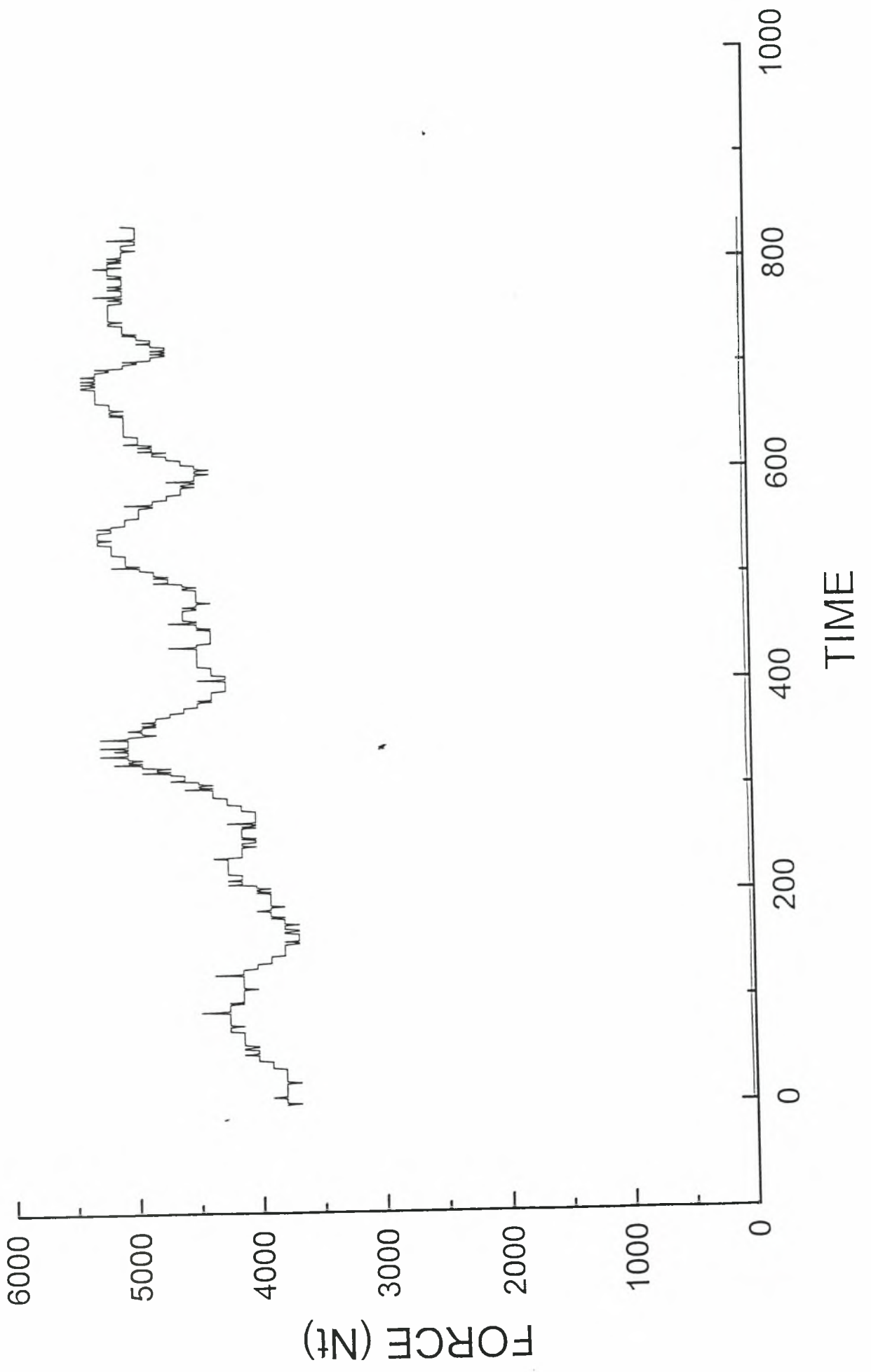
LOADCELL 5



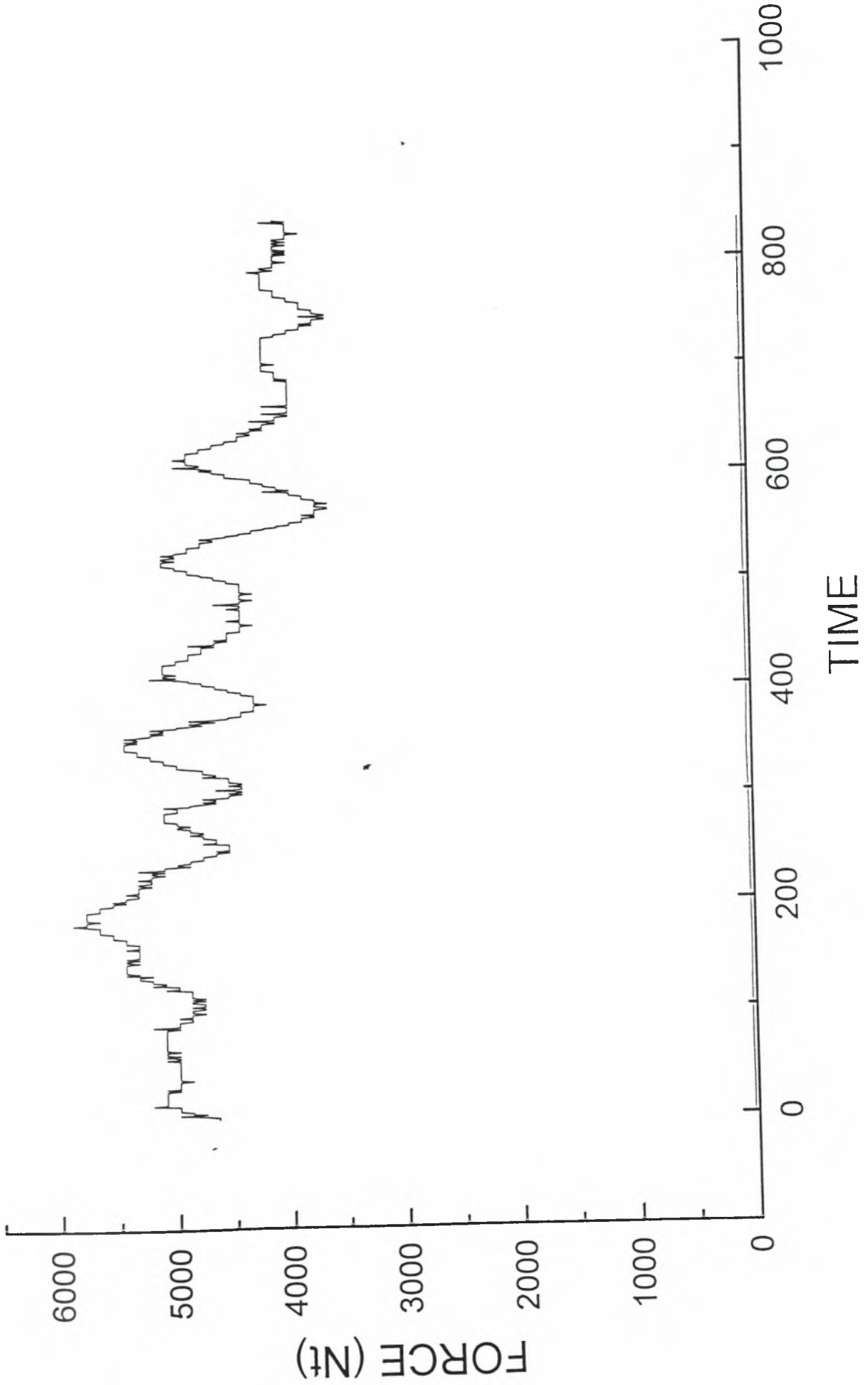
LOADCELL 6



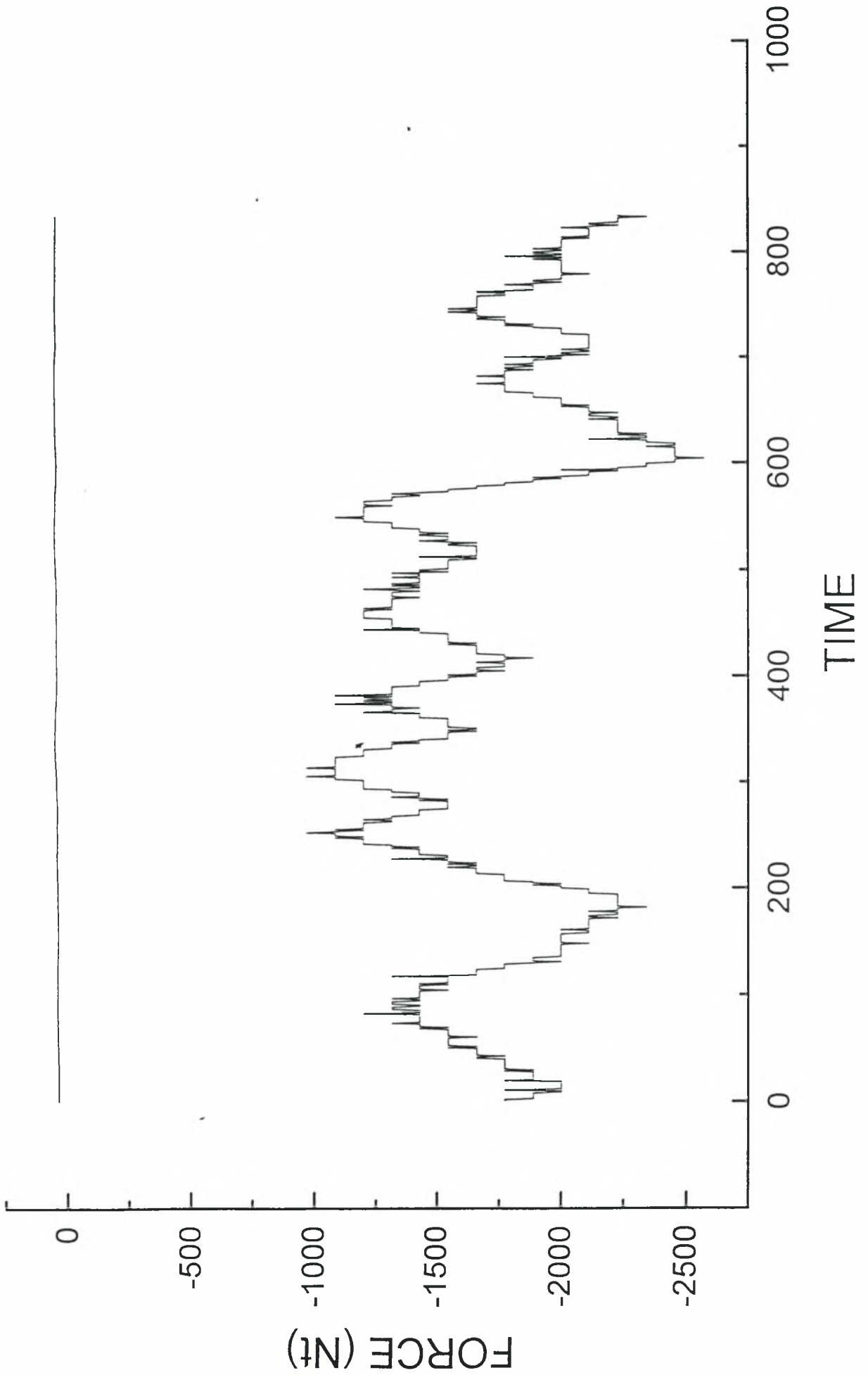
LOADCELL 1



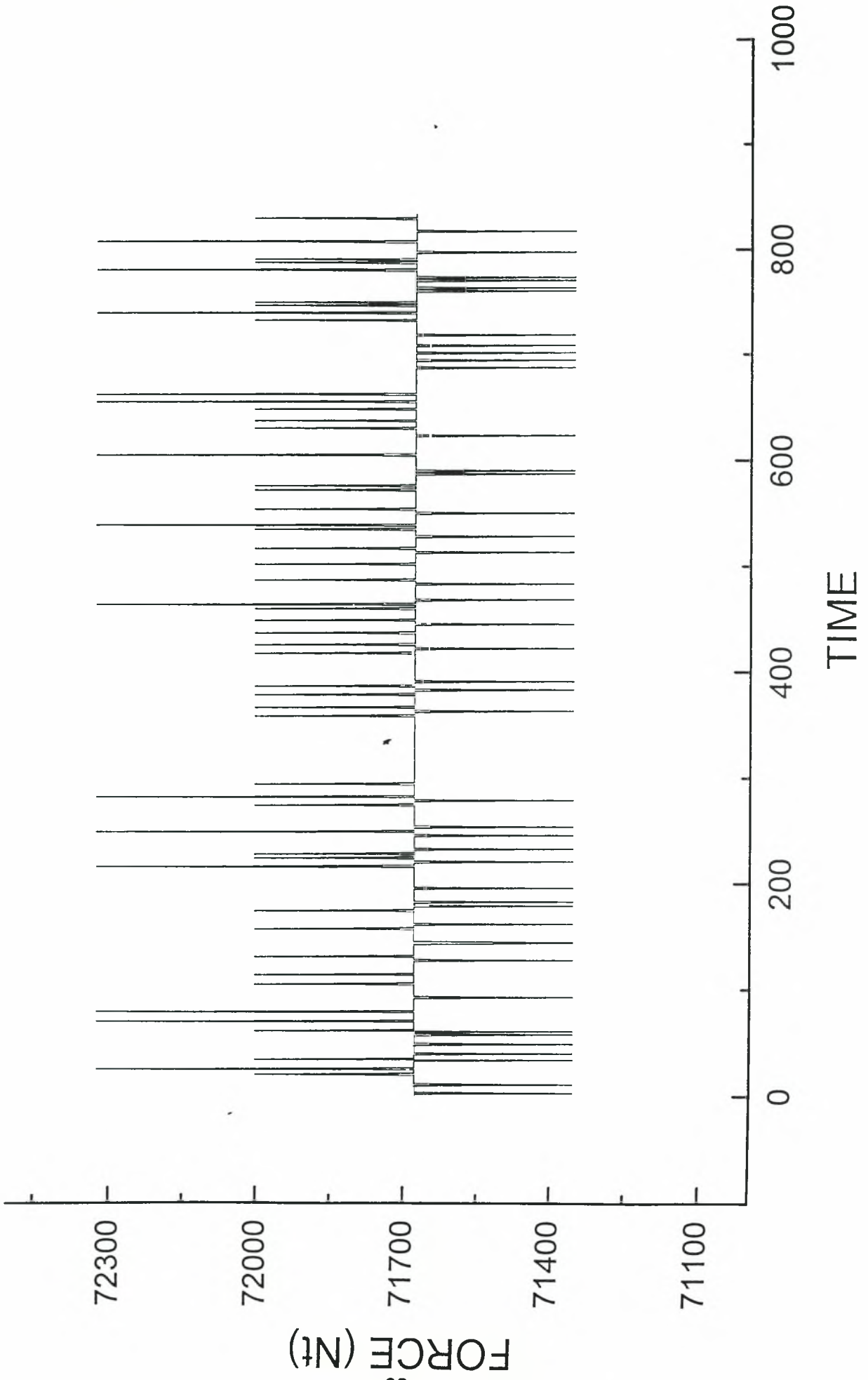
LOADCELL 2



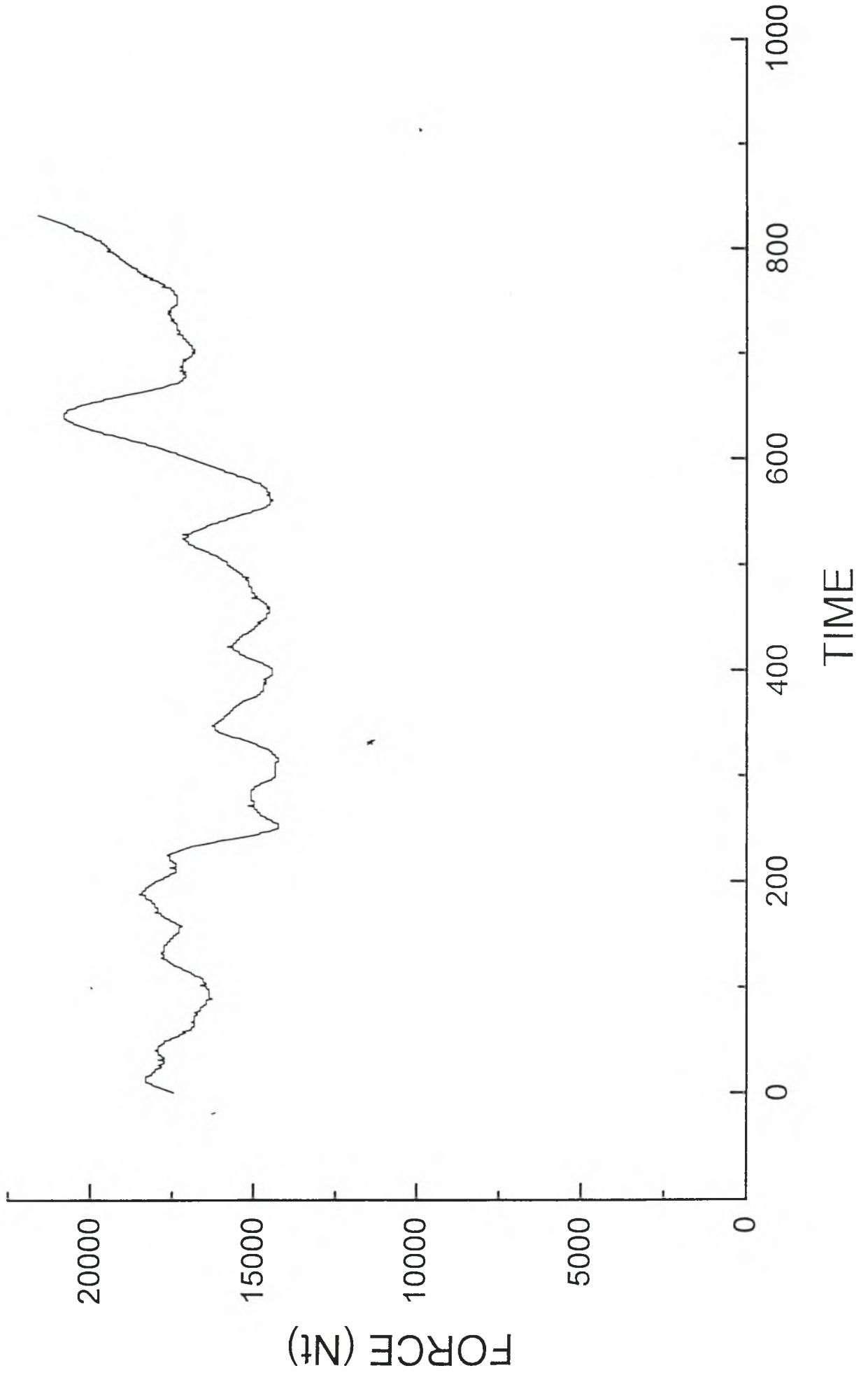
LOADCELL 3



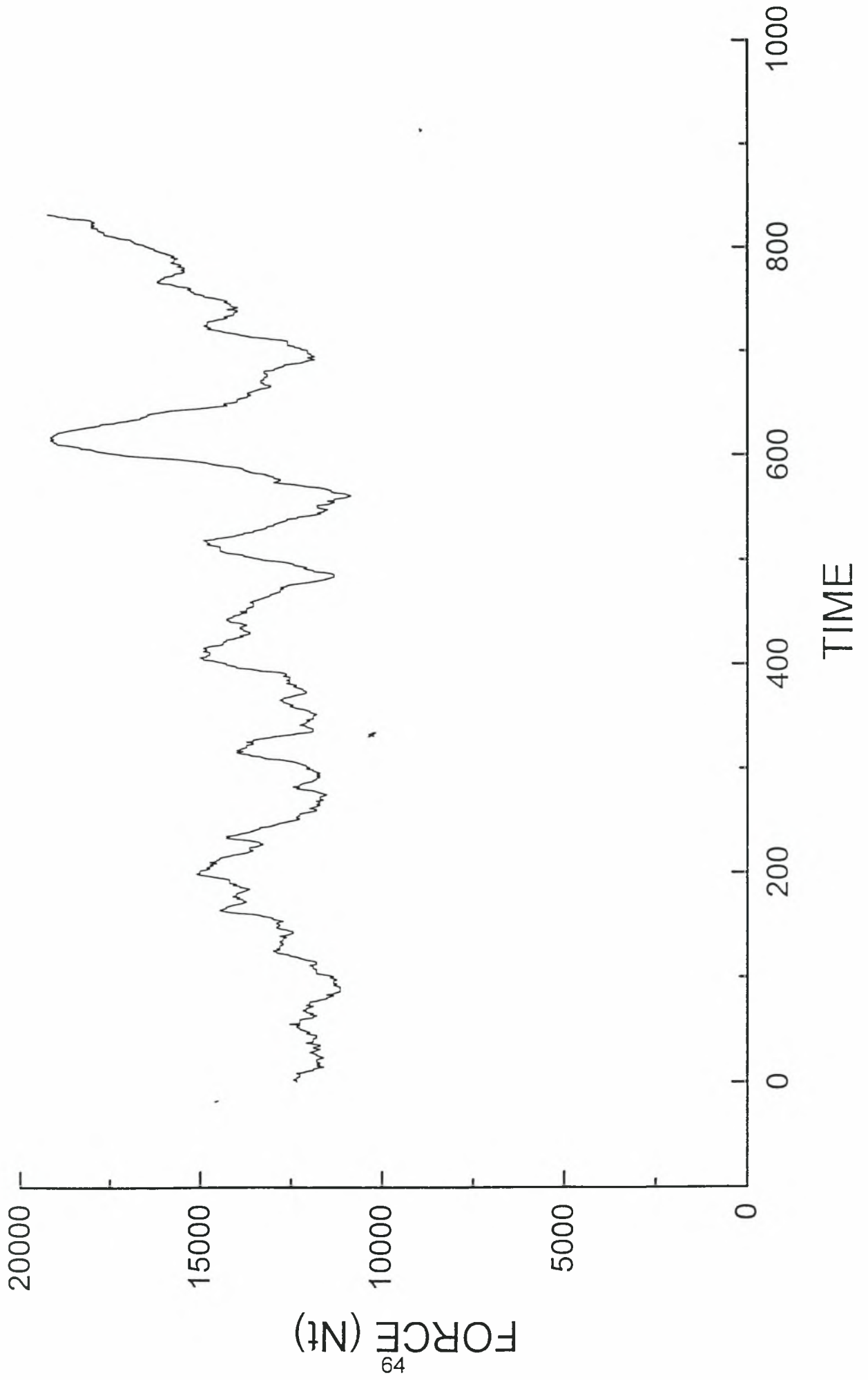
LOADCELL 4



LOADCELL 5



LOADCELL 6



5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ύπαρξη ενός δυναμομέτρου , μέτρησης και καταγραφής των αναπτυσσομένων δυνάμεων από το γεωργικό ελκυστήρα σε αναρτημένα παρελκόμενα κατά την εργασία τους στον αγρό, είναι βέβαιο πως οδηγεί στη βελτίωση του σχεδιασμού των γεωργικών μηχανημάτων, ενώ παράλληλα ελέγχει τις οικονομικές ωφέλειες που προκύπτουν από κάθε καλλιεργητική τεχνική και προχωρεί σε σύγκριση μεταξύ τους. Η ακρίβεια ενός τέτοιου οργάνου, όπως προκύπτει από τις δοκιμαστικές μετρήσεις στον αγρό είναι αρκετά ικανοποιητική και άρα τα αποτελέσματα που προκύπτουν μπορούν να καθορίσουν το μέλλον της γεωργίας σχετικά με τη μηχανική καλλιέργεια.

6.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ASAE (1988) Standards.
2. Barker G.L. (1981) Three Point Hitch Dynamometer for Directional Force Measurement. ASAE paper 81-1044.
3. Chaplin J. Lueders M. Zhao Y. (1987) Three Point Hitch Dynamometer Design and Calibration. Appl Eng. In. Agr. Vol. 3(1) p.10.
4. Chung Y.G. Marley S.J. Buchele W.F. (1983) Development of a Three-Point Hitch Dynamometer ASAE paper No 83-1035.
5. Doebelin E.O. (1983) Measurement Systems. Application and Design. Third edition. McGraw Hill International.
6. Freeland R.S. Tompkins F.D. Wilhelm L.R. Wilkerson J.B. (1984) Instrumentation for In-Field Energy Measurements of Pro-Driven Agricultural Implements. ASAE paper 84-1630.
7. Garmer T.H. Dodd R.B. Peiper U.M. (1988) Force Analysis and Application of a Three Point Hitch Dynamometer. Trans ASAE 31(4) p.1047.
8. Γέμτος Θ.Α. Τσιρίκογλου Θ.Ι. Ο σχεδιασμός και η διαμόρφωση ενός συστήματος μέτρησης και καταγραφής των εξασκούμενων δυνάμεων από γεωργικό ελκυστήρα σε αναρτημένα γεωργικά μηχανήματα.
9. Godwin R.J. P.S.G. Magalhaes S.M. Miller R.K.Fry (1987) Instrumentation to Study the Force Systems and Vertical Dynamic Behaviour of Soil Engaging Implements J. Agr Engng Res (36). 301.
10. Harter D.D. Kaufman K.R. Microprocessor Based Data Acquisition System for Tractor Tillage Measurements. ASAE paper No 79-5026.
11. Hayes J.C. Agricultural Data Collection using a Briefcase Computer ASAE paper No Ser-86-304.
12. Johnson C.E. Voorhees W.B. (1979) A Force Dynamometer for Three Point Hitches. Trans ASAE 22(2) p.226.
13. Kendall C.K. Nachtigal C.L. Dooley J.H. (1984) Three Point Hitch Dynamometer Data Acquisition System. ASAE paper 84-1596.

14. Kocher M.F. J.D. Sumners (1987) Design of Drawbar Transducers for Measuring Dynamic Forces. Trans ASAE p.70.
15. Lal R. (1959) Measurement of Forces on Mounted Impements. Trans ASAE 2(1) 109-111.
16. Luth H.J. Floyd V.G. Heise R.P. (1978) Evaluating Energy requirements of Machines in the Field. ASAE paper No 78-1588.
17. Palmer J. Automatic Collection of Data on Practical Use of Field Machines. ASAE paper No 84-1629.
18. Pang S.N. et. Al. (1984) Measuring Fuel Consumption Idirectly Agr. Enging Vol. 65(11) p.18.
19. Rogers i.c. Johnson C.N. (1953) Measuring Forces in Traction Linkage. Agr. Enging 34(8) 542-45.
20. Reid J.T. Carter L.M. Clark R.L. (1985) Draft Measurements with a Three Point Dynamometer. (ASAE paper No 83-1036) Trans ASAE p. 89.
21. Reid J.T. (1979) A System for Measuring Tractor Fuel Use on Small Plots. Trans ASAE p.57.
22. Scholtz D.C. (1966) A Three Point Linkage Dynamometer for Restrained Linkages J. Agr. Engng Res (11)33.
23. Shropshire G.J. Woreman G.R. Bashford L.L. (1983) A Microprocessor Based Instrumentation System for Traction Studies. ASAE paper No 83-1048.
24. Smith L.A. G.L. Barker (1982) Equipment to Monitor field Energy Requirements. Trans. ASAE 28(6) p. 1556.
25. Upadhyaya S.K. Kemble L.J. Collins N.E. Camargo Fa.Jr. (1988) Accuracy of Mounted Implements Draft Prediction Using Shain Gages Mounted Directly on Three Point Linkage System. Trans ASAE p.40.
26. Zoerb G.C. (1963) A Strain Gage Dynamometer for Direct Horse Power Indications. Agr. Engng August p. 434.
27. Χατζηλάκος Γ.Α. (1962) Η επίδραση της ταχύτητας αρόσεως επί του μεγέθους της αντιστάσεως του εδάφους κατά την καλλιέργειαν. Διατριβή επί Διδακτορία. Αθήνα.

