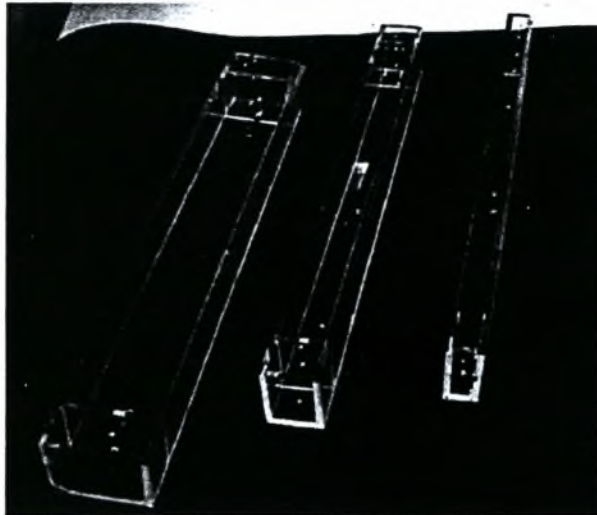


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΒΟΛΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ



« ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΗΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΡΥΠΑΝΤΗ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ
ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΩΝ ΚΟΙΛΟΤΗΤΩΝ ΜΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΔΙΑΤΑΜΑΤΑ:
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΥΘΙΣΜΕΝΗΣ ΚΟΙΛΟΤΗΤΑΣ »

Διπλωματική εργασία

ΝΤΕΤΣΙΚΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

Επιβλέπων:
Αναπληρωτής Καθηγητής
ΣΤΑΠΟΥΝΤΖΗΣ ΕΡΡΙΚΟΣ

Μάρτιος 2004



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

Αριθ. Εισ.: 2737/1
Ημερ. Εισ.: 19-03-2004
Δωρεά: _____
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜΒ
2004
ΝΤΕ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000072426

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα αναπληρωτή καθηγητή του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας κ.Σταπουντζή Ερρίκο για την υπομονή του, την καθοδήγησή του και τη βοήθειά του κατά τη διάρκεια της εργασίας.

Επίσης ευχαριστώ τον συνεργάτη μου Μόσχο Ιωάννη (προπτυχιακός, τελειόφοιτος του ΤΜΜΒ) για την άψογη συνεργασία που είχαμε κατά τη διάρκεια τόσο του πειραματικού μέρους της εργασίας, όσο και του υπολογιστικού.

Επίσης ευχαριστώ τον Καθηγητή του τμήματος κ.Βλάχο Νικόλαο (διευθυντή του ΕΡ&Σ) γιατί η αεροσήραγγα όπου πραγματοποίησα τα πειράματα μου παραχωρήθηκε για όσο χρονικό διάστημα χρειάστηκε. Ευχαριστώ επίσης τους επίκουρους καθηγητές του τμήματος κ.Ανδρίτσο Νικόλαο και κ.Πελεκάση Νικόλαο που δέχτηκαν να αποτελέσουν μέλη της εξεταστικής μου επιτροπής.

Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, στους οποίους είναι αφιερωμένη η παρούσα εργασία, για την στήριξη τους όλα τα χρόνια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

σελ.

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	3
2.1 Ροή μέσα σε κοιλότητα	3
2.2 Επίδραση του πλάτους της κοιλότητας στο ροϊκό πεδίο.....	7
2.3 Μεταφορά θερμότητας με συναγωγή από κοιλότητα	8
2.4 Αδιάστατοι αριθμοί	10
2.5 Σκοπός της εργασίας	14
3.ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ & ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ	15
3.1 Περιγραφή πειραματικής διάταξης	15
3.2 Πειραματική και υπολογιστική μεθοδολογία	23
4.ΠΕΔΙΟ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ	29
4.1 Κύλινδρος διαμέτρου 6cm.....	32
4.2 Κύλινδρος διαμέτρου 3cm	34
4.3 Κύλινδρος διαμέτρου 2cm	36
4.4 Μεγάλη κοιλότητα χωρίς κύλινδρο	40
4.5 Μεγάλη κοιλότητα με κύλινδρο διαμέτρου 6cm	45
4.6 Μεγάλη κοιλότητα με κύλινδρο διαμέτρου 3cm	50
4.7 Μεγάλη κοιλότητα με κύλινδρο διαμέτρου 2cm	55
4.8 Μεσαία κοιλότητα χωρίς κύλινδρο	62
4.9 Μεσαία κοιλότητα με κύλινδρο διαμέτρου 6cm	67
4.10Μεσαία κοιλότητα με κύλινδρο διαμέτρου 3cm.....	72
4.11Μεσαία κοιλότητα με κύλινδρο διαμέτρου 2cm	77
4.12Μικρή κοιλότητα χωρίς κύλινδρο	84
4.13Μικρή κοιλότητα με κύλινδρο διαμέτρου 6cm.....	89
4.14Μικρή κοιλότητα με κύλινδρο διαμέτρου 3cm	94
4.15Μικρή κοιλότητα με κύλινδρο διαμέτρου 2cm	99
4.16Συγκριτικά διαγράμματα	104
4.17Συμπεράσματα	130
5.ΠΕΔΙΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΗΓΗ	131
5.1 ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΑΔΙΑΣΤΑΤΩΝ T ΚΑΙ T _{RMS}	138
5.2 ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΙΣΟΨΩΝ T ΚΑΙ T _{RMS}	158
5.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ(SPECTRA)	177
6.ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ	220
6.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ	223
6.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΗΣ ΚΟΙΛΟΤΗΤΑΣ.....	226
7.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	232
ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ	234
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	235

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολείται με ένα ενδιαφέρον πεδίο έρευνας, το οποίο σχετίζεται με βιομηχανικές και περιβαλλοντικές ροές, και είναι η ροή αέρα μέσα σε κοιλότητες. Η ροή μέσα σε τέτοιες γεωμετρίες είναι ακανόνιστη και πολύπλοκη. Η γνώση λοιπών των παραγόντων που διαμορφώνουν, αλλά και των νόμων της φυσικής που διέπουν τέτοιου είδους ροές είναι πρώτιστης σημασίας για την εξέλιξη της επιστήμης και της τεχνολογίας. Έτσι μέσω αυτής της εργασίας μελετάται η μεταβολή της διανομής ρυπαντή στο εσωτερικό ορθογωνικών κοιλοτήτων με διαφορετικά διατάματα.

Σε βιομηχανικό επίπεδο η ροή σε κοιλότητες και η μεταφορά θερμότητας από αυτές βρίσκει αρκετές εφαρμογές όπως: στους στροβιλοκινητήρες, τις δεξαμενές πετρελαίου, τα καλοριφέρ, τους ηλιακούς θερμοσίφωνες και τη ψύξη στις μηχανές εσωτερικής καύσης. Ωστόσο μια σημαντική εφαρμογή αποτελεί και η ψύξη των στοιχείων στο εσωτερικό των υπολογιστών όπως είναι οι επεξεργαστές και οι διάφορες κάρτες. Επίσης διερευνώντας την ροή γύρω και μέσα στην κοιλότητα πολλές αιτίες αστοχίας υλικού μπορούν να αποφευχθούν, ενώ παράλληλα και χαρακτηριστικά μηχανημάτων δύναται να βελτιστοποιηθούν.

Επιπλέον τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι χρήσιμα για την παρατήρηση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης μέσα στις οδικές χαράδρες. Έτσι μπορούν να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα για την προστασία του περιβάλλοντος, αλλά και την προσωπική υγεία. Επίσης η διασπορά του αέρα μέσα σε ένα κλιματιζόμενο χώρο είναι βασική για τον σωστό σχεδιασμό του συστήματος κλιματισμού και του ελέγχου της θερμότητας, της ταχύτητας και της ποιότητας του αέρα.

Από τα παραπάνω φαίνεται πως η ροή μέσα σε κοιλότητες βρίσκει εφαρμογή σε πολλές πτυχές της σημερινής μας ζωής. Στη συνέχεια ακολουθεί η παρουσίαση των κεφαλαίων της εργασίας.

Έτσι στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζονται επιλεγμένα τμήματα από τη βιβλιογραφία που υπάρχει μέχρι σήμερα και σχετίζονται με αυτή την εργασία.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται τα στοιχεία που αποτέλεσαν την πειραματική διάταξη η οποία χρησιμοποιήθηκε κατά την διάρκεια των πειραμάτων, καθώς και οι παράμετροι των πειραμάτων και η υπολογιστική διαδικασία που ακολουθήθηκε για την ανάκτηση των αποτελεσμάτων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από μετρήσεις ταχυτήτων και περιγράφεται η αλληλεπίδραση των δινών μεταξύ κυλίνδρου και κοιλότητας.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από μετρήσεις θερμοκρασιών μαζί με τα θερμοκρασιακά πεδία των κοιλοτήτων.

Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφεται η επίδραση της θέσης της πηγής και της γεωμετρίας της κοιλότητας και της ταχύτητας της ροής στη θερμοκρασία της πηγής.

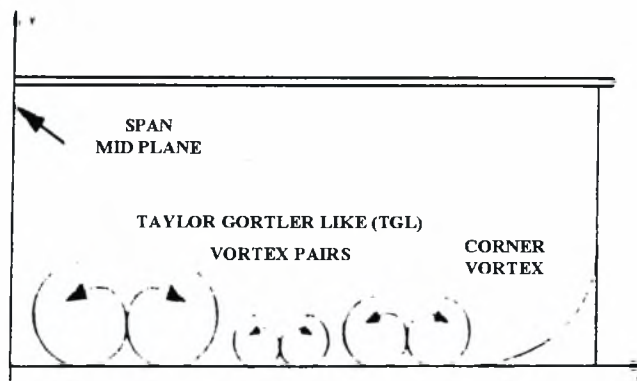
Τέλος στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

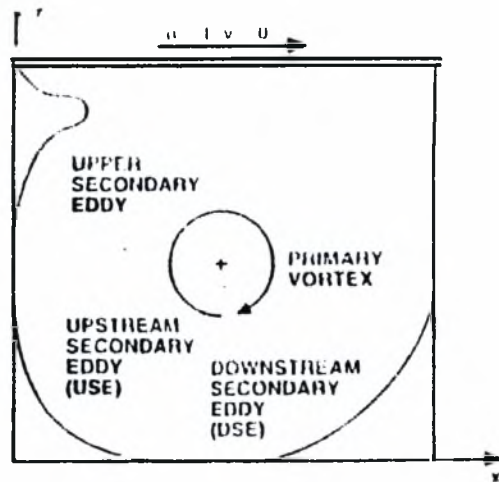
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τμήματα από την βιβλιογραφία τα οποία σχετίζονται με την παρούσα διπλωματική εργασία. Έτσι παρουσιάζονται πληροφορίες για την περιγραφή του θερμορροϊκού πεδίου μέσα στην κοιλότητα καθώς και οι αδιάστατοι αριθμοί που επηρεάζουν την μορφή ενός θερμοκρασιακού πεδίου γύρω από μια θερμοκρασιακή πηγή μέσα και έξω σε μια κοιλότητα.

2.1 ΡΟΗ ΜΕΣΑ ΣΕ ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ

Η ροή μέσα σε κοιλότητες χαρακτηρίζεται από έντονη αστάθεια ειδικά σε μεγάλους αριθμούς Reynolds. Έτσι η ροή αποτελείται από μία κύρια δίνη και τρεις δευτερεύουσες όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

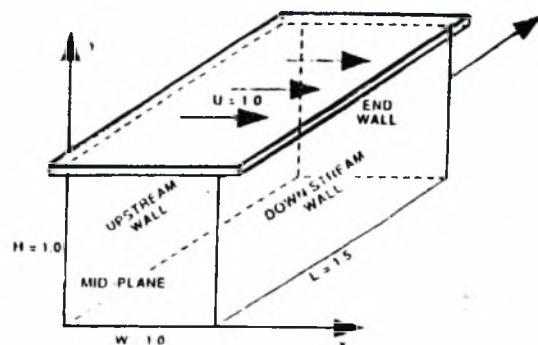


Σχήμα 2.1: Σχεδιάγραμμα των TGL (Taylor Gortler Like) δινών που προέκυψαν από οπτικοποίηση



Σχήμα 2.2: Σχεδιάγραμμα της βασικής ανακύκλωσης σε δισδιάστατη ροή

Τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια προέκυψαν από μετρήσεις που έγιναν σε δύο κάθετα επίπεδα της κοιλότητας για αριθμούς Reynolds 3200 και 10000. Αυτά τα επίπεδα ήταν το συμμετρικό επίπεδο και ένα επίπεδο σε απόσταση 17.5mm από το τελικό τοίχωμα (end-wall). Αυτό το επίπεδο θα καλείται end-wall.



Σχήμα 2.3: Μοντέλο για το πρόβλημα πρόβλεψης των DNS και LES

Τα προφίλ ταχυτήτων μετρήθηκαν στις κεντρικές γραμμές κάθετα και οριζόντια στα δύο επίπεδα. Τα προφίλ που προέκυψαν για $Re=3200$ ήταν γενικώς όμοια, με κάποιες όμως διαφορές στις οριακές περιοχές στο πάτωμα, στην οροφή και στα πλαϊνά τοιχώματα της κοιλότητας. Η κλίση της ταχύτητας ήταν πιο απότομη στο end-wall επίπεδο. Στα άλλα οριακά σημεία, ειδικά

στην κατάντη πλευρά, η κλίση της ταχύτητας είναι πιο απότομη στο συμμετρικό επίπεδο ενώ παρατηρούνται και μεγαλύτερες ταχύτητες. Στο επάνω μέρος της κοιλότητας υπάρχουν διαφορές στα προφίλ για $Re=10000$, αλλά μόνο στο μέγεθος και όχι στο σχήμα. Ωστόσο οι διαφορές δεν είναι τόσο σημαντικές όσο για αριθμό Reynolds 3200.

Οι διαφορές της επανακυκλοφορίας μέσα στην κοιλότητα στα δύο επίπεδα είναι οι εξής:

Πρώτον στο end-wall επίπεδο το κέντρο της κύριας δίνης βρίσκεται στο επάνω, δεξιά τεταρτημόριο της κοιλότητας, ενώ στο κεντρικό επίπεδο βρίσκεται αρκετά πιο κοντά στο κέντρο της κοιλότητας. Τα αποτελέσματα των Ghia et al. δείχνουν πως για χαμηλούς αριθμούς Reynolds ($Re < 5000$) το κέντρο της δίνης βρίσκεται στο επάνω, δεξιά τμήμα της κοιλότητας, ενώ για μεγάλους αριθμούς Re στο κέντρο της κοιλότητας.

Δεύτερον το μέγεθος και η δυναμική των δευτερεύουσων δινών είναι διαφορετική στα δύο επίπεδα.

Οι δίνες που σχηματίζονται μέσα στην κοιλότητα είναι οι κύρια δίνη, οι Taylor-Gortler-Like δίνες (TGL), οι γωνιακές και οι δευτερεύουσες δίνες. Η γωνιακή δίνη που είναι στο δεξιό χείλος της ροής δημιουργείται από το συνδυασμό των διατμητικών δυνάμεων και των δυνάμεων πίεσης. Οι TGL δίνες δημιουργούνται επειδή η επιφάνεια αποκόλλησης μεταξύ της κύριας δίνης και της κατάντη δευτερεύουσας δίνης (ΚΔΔ) είναι κοίλη. Η κοίλη επιφάνεια δημιουργεί μια αστάθεια διαμορφώνοντας έτσι τις TGL δίνες. Οι Koseff και Street έδειξαν ότι το μέγεθος της ΚΔΔ εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της γωνιακής δίνης. Η χωρική κατανομή και το μέγεθος των TGL δινών επηρεάζεται από την κοίλη επιφάνεια αποκόλλησης (μεταξύ της κύριας δίνης και της ΚΔΔ). Έτσι κάθε μεταβολή στο μέγεθος της ΚΔΔ είναι υπεύθυνη για τις αλλαγές των χαρακτηριστικών των TGL δινών. Επομένως το μέγεθος και η κατανομή των TGL δινών είναι ευμετάβλητο και εξαρτάται από το χρόνο. Ο Koseff έδειξε πως αυτή η συμπεριφορά είναι συνάρτηση του αριθμού Reynolds. Σε χαμηλούς αριθμούς Reynolds οι TGL δίνες είναι πιο ανομοιομορφες σε μέγεθος και ομοίως κατανεμημένες. Επειδή η κατανομή αυτών των δινών εξαρτάται με το χρόνο, συμπεραίνεται πως αυτές οι δίνες κινούνται σε διεύθυνση κατά μήκος της κοιλότητας. Από οπτικοποίηση προέκυψε ότι το μέγεθος της ΚΔΔ εξαρτάται από το χρόνο. Επίσης τα θετικά και αρνητικά peaks από τα διαγράμματα spectra, που προέκυψαν από τις μετρήσεις, ήταν το κλειδί για να αποδειχθεί η αστάθεια των ΚΔΔ.

Από τις μετρήσεις φάνηκε πως η μορφή της επανακυκλοφορίας μέσα στην κοιλότητα είναι διαφορετική στα δύο επίπεδα (συμμετρικό και end-wall) για αριθμό Reynolds 3200, ενώ για $Re=10000$ δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι για

$Re=10000$ η ροή είναι πιθανόν τυρβώδης με αποτέλεσμα πρόσθετα φαινόμενα όπως έντονη διάχυση και διακυμάνσεις της στροβιλώδους κίνησης να παρατηρούνται. Αυτά τα φαινόμενα τα οποία δεν εμφανίζονται στη στρωτή ροή αυξάνουν τη διαταραχή κατά μήκος της κοιλότητας και έτσι έχουν σαν αποτέλεσμα να προκύπτουν ίδια προφίλ ταχύτητας και στα δύο επίπεδα.

Οι Koseff και Street έδειξαν ότι μέσα στην κοιλότητα η ροή γίνεται από στρωτή τυρβώδης για αριθμούς Reynolds μεταξύ 6000 και 8000. Επομένως για αριθμό Reynolds 10000 η ροή είναι τυρβώδης με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζεται από τρισδιάστατες στροβιλώδεις διακυμάνσεις, τυχαία κίνηση και μεγάλη διαχυτότητα. Από τα διαγράμματα spectra για $Re=3200$ παρατηρείται μια ημιπεριοδικότητα, που σημαίνει ότι η δομή της ροής είναι οργανωμένη. Για $Re=10000$ ήταν πιο τυχαία ενώ και το πλάτος των διακυμάνσεων είναι μεγαλύτερο. Από αυτά προέκυψε ότι για $Re=10000$ η ροή είναι σε διαφορετικό σύστημα από ότι για $Re=3200$ και επομένως δεν είναι στρωτή.

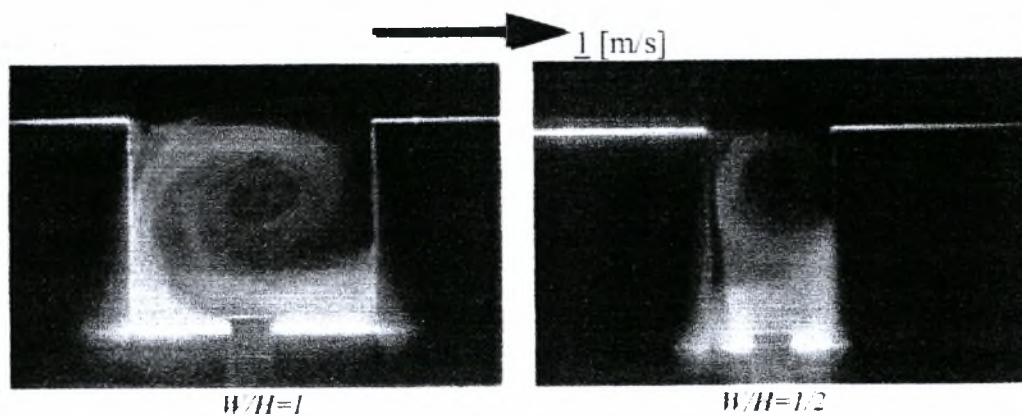
Ανακεφαλαιώνοντας από το παραπάνω πείραμα προέκυψαν τα εξής:

- i. Τοπικά στη ροή δημιουργούνται οι TGL δίνες στην περιοχή μεταξύ της κατάντη δευτερεύουσας δίνης και των γωνιακών δινών στα πλαϊνά τοιχώματα.
- ii. Η ροή είναι ασταθής στην περιοχή της κατάντη δευτερεύουσας δίνης για μεγάλους αριθμούς Reynolds.
- iii. Η ροή στην περιοχή της κατάντη δευτερεύουσας δίνης παρουσιάζει μερικά τυρβώδη χαρακτηριστικά για $Re=10000$, αλλά σχεδόν καθόλου για $Re=3200$. Οι διακυμάνσεις της ταχύτητας είναι σημαντικά πιο μεγάλες στην κάθετη διεύθυνση από ότι στην οριζόντια. Αυτό οφείλεται στη παρουσία των TGL δινών.

2.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΠΛΑΤΟΥΣ ΤΗΣ ΚΟΙΛΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΡΟΪΚΟ ΠΕΔΙΟ

(Bisorca, D., Ionel, I., 2002. Numerical application for dispersion modeling of CO in a street canyon)

Μεγάλο ρόλο στο ροϊκό πεδίο μέσα στην κοιλότητα παίζει η γεωμετρία της και ιδιαίτερα το πλάτος. Στο σχήμα απεικονίζονται δύο περιπτώσεις: όταν το πλάτος είναι ίσο με το ύψος της κοιλότητας ($W/H=1$) και όταν είναι ίσο με το μισό ($W/H=1/2$). Τα σχήματα αυτά προέκυψαν από οπτικοποίηση με καπνό σε διαφορετικές κοιλότητες μέσα σε μια σήραγγα αέρα.



Σχήμα 2.4: Οπτικοποίηση της ροής σε κοιλότητες με διαφορετικό πλάτος

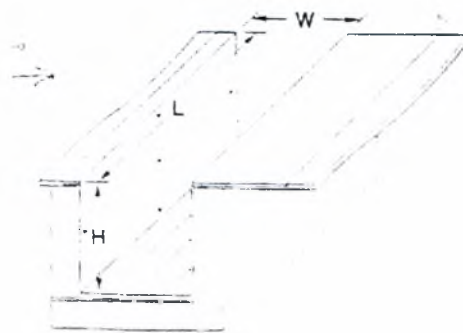
Στην περίπτωση της τετραγωνικής κοιλότητας φαίνεται να σχηματίζεται μια ενιαία κύρια δίνη η οποία καταλαμβάνει σχεδόν όλη τη χαράδρα. Στη δεύτερη περίπτωση δημιουργούνται δύο κύριες δίνες από τις οποίες η μία περιστρέφεται πάνω από την άλλη. Η δίνη που βρίσκεται πιο ψηλά περιστρέφεται γρηγορότερα έχοντας την ίδια διεύθυνση με τη ροή του αέρα. Η χαμηλότερη δίνη που συναντάται στον πάτο της κοιλότητας περιστρέφεται αρκετά πιο αργά και έχει αντίθετη διεύθυνση. Και στις δύο περιπτώσεις δύο μικρές ασυνεχείς δίνες δημιουργούνται στις γωνίες των κοιλοτήτων. Αυτές οι δίνες δημιουργούνται και διαλύονται περιοδικά. Όταν $W/H=1/3$ μία Τρίτη αδύνατη δίνη μπορεί να διαμορφωθεί.

2.3 ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟ ΚΟΙΛΟΤΗΤΑ ΜΕ ΣΥΝΑΓΩΓΗ

(Richards, R.F., Young, M.F., Haiad, J.C., 1987. Turbulent forced convection heat transfer from a bottom heated open surface cavity)

Εδώ περιγράφεται ένα πείραμα που έγινε για να υπολογιστούν οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας σε κοιλότητες με διαφορετικά διατάματα και να βρεθεί η σχέση που συνδέει τον αριθμό Reynolds με τον αριθμό Nusselt. Χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις κοιλότητες με διατάματα (ύψος/πλάτος) 1, 4/3, 2 και 4. Η αποκόλληση του οριακού στρώματος, οι καμπυλώδεις οριακές γραμμές, η άνωση, η δημιουργία τύρβης και η επανακυκλοφορία της ροής συνθέτουν τα φαινόμενα της ροής μέσα στην κοιλότητα. Έτσι γίνεται αντιληπτό πως ο υπολογισμός της μεταφοράς θερμότητας από την κοιλότητα είναι αρκετά δύσκολος. Σε παλαιότερες εργασίες οι Charwat et al. έδειξαν ότι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας είναι ανάλογος με $(\rho U)^{0.6}$ κάτι το οποίο στήριξε και ο Larson. Ωστόσο οι Seban και Fox υποστήριξαν ότι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας είναι ανάλογος με τον όρο $(\rho U)^{0.8}$. Επίσης έδειξαν πως αυτός ο συντελεστής εξαρτάται και από το πάχος του οριακού στρώματος και κατά συνέπεια από τη γεωμετρία της κοιλότητας. Από συντάκτες έχει προκύψει ότι για διατάματα μικρότερα του 0.3 ο αριθμός Nu αλλάζει σημαντικά ενώ για μεγαλύτερα παραμένει σχεδόν σταθερός. Σε αυτό το πείραμα μελετήθηκε η μεταφορά θερμότητας από τρισδιάστατες κοιλότητες με διαφορετικά διατάματα.

Το μήκος των κοιλοτήτων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν σταθερό και για τα τέσσερα μοντέλα και ο λόγος μήκος/πλάτος κυμαινόταν από 2 έως 8. Έχει δειχθεί από τους Maull και East πως για λόγους μεγαλύτερους του 9 η ροή μέσα στην κοιλότητα είναι δισδιάστατη. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε σε υποηχητική σήραγγα αέρα. Η μορφή του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 2.5: Το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε

Στον πάτο της κοιλότητας τοποθετήθηκαν 24 θερμοστοιχεία, ενώ από πέντε τοποθετήθηκαν στην ανάντη και στην κατάντη πλευρά.

Ο συντελεστής συναγωγής υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας ένα ισοζύγιο ενέργειας. Έτσι η κοιλότητα θερμάνθηκε μέχρι να φτάσει σε σταθερή κατάσταση και στη συνέχεια εφαρμόστηκε το παρακάτω ισοζύγιο:

$$Q_{con} = P - Q_{rad} - Q_{los}$$

P είναι η ηλεκτρική ισχύς που αποδόθηκε για τη θέρμανση της κοιλότητας, Q_{rad} είναι η μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία και Q_{los} είναι οι απώλειες θερμότητας από τον πάτο και τα τοιχώματα της κοιλότητας. Όλα τα παραπάνω μετρήθηκαν με τα κατάλληλα όργανα και έτσι ήταν δυνατό να υπολογιστεί η μεταφορά θερμότητας με συναγωγή (Q_{con}). Έτσι υπολογίζοντας τη μεταφορά θερμότητας με συναγωγή, ο συντελεστής συναγωγής υπολογίστηκε από την εξής σχέση:

$h = Q_{con} / A(T_w - T_o)$, όπου T_w είναι η θερμοκρασία μέσα στην κοιλότητα και T_o η θερμοκρασία του ελεύθερου ρεύματος.

Στη συνέχεια επιλέγοντας ως χαρακτηριστικό μήκος το ύψος της κοιλότητας ο αριθμός Nusselt υπολογίστηκε από τη σχέση $Nu = hH/k$.

Από τα αποτελέσματα προέκυψε πως ο μέσος αριθμός Nu (βασιζόμενος στο πλάτος της κοιλότητας και την ταχύτητα της ελεύθερης ροής) αυξάνει με τον αριθμό Re και με τη μείωση του διατάματος της κοιλότητας. Παρόμοια αποτελέσματα προέκυψαν υπολογίζοντας τους αδιάστατους αριθμούς χρησιμοποιώντας το μήκος της κοιλότητας και την ταχύτητα της ροής μέσα στην κοιλότητα. Το πλεονέκτημα είναι ότι σε αυτή την περίπτωση η σχέση που προέκυψε ήταν σχεδόν γραμμική και ίδια για όλες τις κοιλότητες που χρησιμοποιήθηκαν.

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτό το πείραμα είναι τα εξής:

$$Nu = 0.0255 Re^{0.8}$$

$$2.5 \times 10^4 < Re < 1.2 \times 10^5$$

$$1 < H/W < 4$$

$$Pr \sim 0.71$$

$$\delta/W < 0.01$$

Έτσι η σχέση $Nu=f(Re)$ δεν είναι ακριβώς γραμμική, ο αριθμός Prandtl ήταν περίπου 0.71, το πάχος του οριακού στρώματος ήταν τουλάχιστον εκατό φορές μικρότερο από το πλάτος της κοιλότητας και ο αριθμός Reynolds όπου η ροή μεταβαίνει από στρωτή σε τυρβώδης προέκυψε 2.5×10^4 .

2.4 ΑΔΙΑΣΤΑΤΟΙ ΑΡΙΘΜΟΙ

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι αδιάστατοι αριθμοί που επηρεάζουν τη μορφή του θερμοκρασιακού πεδίου γύρω από μια θερμοκρασιακή πηγή μέσα και έξω στην κοιλότητα

2.4.1 ΑΡΙΘΜΟΣ REYNOLDS (Re)

(Άγγελος Θ. Παπαϊωάννου ‘Μηχανική των ρευστών’ σελ. 86-87)

Η βασική παράμετρος η οποία χαρακτηρίζει το είδος μιας ροής (ως στρωτή ή τυρβώδης) είναι ο αριθμός Reynolds, Re, ο οποίος ορίζεται από τη γενική εξίσωση: $Re = uL/\nu$ όπου ν το κινηματικό ιξώδες του ρευστού, u κάποια ταχύτητα αναφοράς και L ένα χαρακτηριστικό μήκος το οποίο εξαρτάται από τη γεωμετρία του εξεταζόμενου προβλήματος. Στην περίπτωση που υπάρχει κύλινδρος το χαρακτηριστικό μήκος είναι η διάμετρος, ενώ στην περίπτωση που υπάρχει κοιλότητα το χαρακτηριστικό μήκος είναι το ύψος της κοιλότητας. Από φυσική άποψη, ο αριθμός Reynolds παριστάνει το λόγο των δυνάμεων αδράνειας προς τις ιξώδεις δυνάμεις που δρουν πάνω στο ρευστό.

2.4.2 ΑΡΙΘΜΟΣ NUSSELT (Nu)

(Κωνσταντίνος Γ. Πασπαλάς ‘Μετάδοση θερμότητας’ σελ. 214-215)

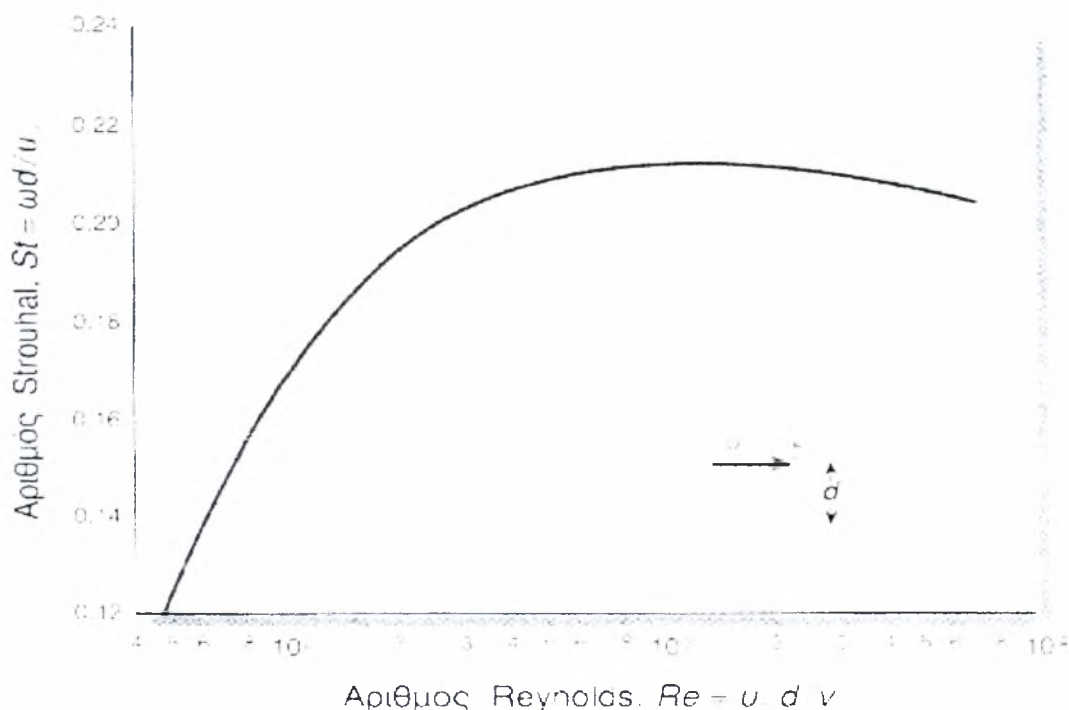
Μια ποσότητα πρακτικής σπουδαιότητας στα προβλήματα μεταφοράς είναι η μεταφορά θερμότητας μέσω μιας επιφάνειας στο ρευστό ή από το ρευστό. Η αδιάστατη ποσότητα $Nu = QL/k\Delta\theta$ καλείται αριθμός Nusselt, όπου Q το θερμικό φορτίο, L ένα χαρακτηριστικό μήκος,

$\Delta\Theta$ η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας και του ρευστού και k η θερμική αγωγιμότητα. Ο αριθμός Nusselt μπορεί να έχει και τοπική και γενική έννοια ανάλογα με το εάν το Q είναι η τοπική μεταφορά θερμότητας ή ένας μέσος όρος πέρα από ολόκληρη την επιφάνεια.

2.4.3 ΑΡΙΘΜΟΣ STROUHAL (St)

(Άγγελος Θ. Παπαϊωάννου ‘Μηχανική των ρευστών’ σελ. 407)

Ο αριθμός Strouhal είναι η μια ποσότητα που ισούται με $St=fD/v$, όπου f είναι η συχνότητα απόσπασης των δινών, D ένα χαρακτηριστικό μήκος και v η ταχύτητα του ρευστού. Στο σχήμα φαίνεται η εξάρτηση του αριθμού Strouhal από τον αριθμό Reynolds για ροή γύρω από κύλινδρο. Παρατηρείται ότι στην περιοχή $400 < Re < 10^4$ ο αριθμός Strouhal είναι σχεδόν σταθερός (περίπου 0,21). Αυτό σημαίνει ότι στην περιοχή αυτή, η συχνότητα απόσπασης των δινών από τον κύλινδρο είναι ευθέως ανάλογος προς την ταχύτητα του ρευστού.



Σχήμα 2.6: Εξάρτηση του αριθμού Strouhal με τον αριθμό Reynolds

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι αριθμοί Strouhal που προκύπτουν για ροή σε σώματα με διάφορα γεωμετρικά σχήματα.

Strouhal Number for Various Shapes

Wind	Profile dimensions, mm	Value of S_N	Wind	Profile dimensions, mm	Value of S_N
		0.120			0.147
		0.137			
		0.120			0.150
		0.144			0.145
					0.142
					0.147
		0.145			0.131
					0.134
					0.137
		0.140			0.121
		0.153			0.143
		0.145			0.135
		0.168			
		0.156			0.160
		0.145			
Cylinder 1800 <math>R < 19100</math>	25	0.200			0.14
					0.145

Σχήμα 2.7: Πίνακας αριθμών Strouhal για διάφορες γεωμετρίες

Στη παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν τρεις κύλινδροι και τρεις κοιλότητες. Έτσι οι αριθμοί Strouhal που περιμέναμε να προκύψουν ήταν 0.21 και 0.14 αντίστοιχα.

2.4.4 ΑΡΙΘΜΟΙ GRASHOF (Gr), PRANDTL (Pr), RAYLEIGH (Ra)

(Κωνσταντίνος Γ. Πασπαλάς ‘Μετάδοση θερμότητας’ σελ. 213-215)

Στη φυσική συναγωγή η κινητήρια δύναμη είναι η άνωση και έτσι αντί του αριθμού Reynolds χρησιμοποιείται ο αριθμός Grashof για την περιγραφή του πεδίου ροής. Ο αριθμός Grashof δίνεται από τον τύπο: $Gr = g\beta\Theta L^3/\nu^2$,

όπου g η επιτάχυνση της βαρύτητας, β ο συντελεστής θερμικής διαστολής, Θ η διαφορά θερμοκρασίας, L ένα χαρακτηριστικό μήκος και ν το κινηματικό ιξώδες του ρευστού.

Από φυσική σκοπιά ο αριθμός Grashof συγκρίνει τη δύναμη της άνωσης με τις δυνάμεις τριβής, ενώ δείχνει και αν η ροή είναι στρωτή ή τυρβώδης όπως κάνει ο αριθμός Reynolds στην εξαναγκασμένη ροή.

Ο αριθμός Prandtl ο οποίος ισούται με $Pr = \nu/\alpha$ είναι μια φυσική ιδιότητα του ρευστού και συγκρίνει δύο μεγέθη μεταφοράς, το κινηματικό ιξώδες ν και το συντελεστή θερμικής διαχυτότητας α .

Η ποσότητα $Ra = GrPr = g\beta\Theta L^3/\nu\alpha$ διαδραματίζει έναν ειδικό ρόλο στις μελέτες μεταφοράς στα οριζόντια στρώματα και καλείται αριθμός Rayleigh.

2.5 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση φαίνεται πως η ροή αέρα μέσα σε κοιλότητες αποτελεί ένα ενδιαφέρον πεδίο έρευνας το οποίο σχετίζεται τόσο με βιομηχανικές ροές όσο και με περιβαλλοντικές. Έτσι σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να ερευνηθεί η μεταβολή της διανομής ρυπαντή στο εσωτερικό ορθογωνικών κοιλοτήτων με διαφορετικά διατάματα. Πρώτα όμως μελετάται το ροϊκό πεδίο για να δειχθεί η επίδραση στη δυναμική των δινών όταν πριν από την κοιλότητα βρίσκεται κάποιος κύλινδρος διαταράσσοντας έτσι τη ροή. Με τον όρο διάταμα εννοείται ο λόγος $A.R.=W/H$, όπου W το πλάτος της κοιλότητας και H το ύψος.

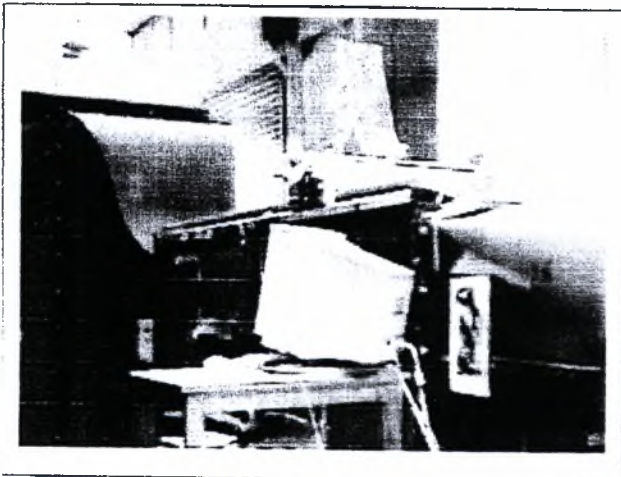
3. ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ & ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Τα στοιχεία που αποτέλεσαν την πειραματική διάταξη, η οποία χρησιμοποιήθηκε για τα πειράματα και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων ήταν:

- A) Αεροσήραγγα
- B) Μετρητικά όργανα και ακρίβεια μετρήσεων
- Γ) Στοιχεία μοντέλων
- Δ) AC/DC converter

3.1.1 Αεροσήραγγα



Η αεροσήραγγα που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση των πειραμάτων είναι ανοιχτού κυκλώματος, ατμοσφαιρικής πίεσης και χρησιμοποιεί έλικα αναρρόφησης του αέρα με μέγιστη ταχύτητα ροής 30 m/s. Ο χώρος εργασίας έχει διαστάσεις 250 cm μήκος x 52 cm πλάτος x 70 cm ύψος ενώ η πρόσβαση γίνεται από 15 ξύλινα καπάκια που βρίσκονται στο άνω μέρος της αεροσήραγγας, τα οποία

μετακινούνται και αφαιρούνται κατά το διαμήκη άξονα της.

Τα επιμέρους τμήματα της αεροσήραγγας είναι:

- A) Φίλτρο ομαλοποίησης ροής
- B) Φίλτρο κατακράτησης σωματιδίων με συρμάτινο πλέγμα
- Γ) Συγκλίνουσα διατομή
- Δ) Χώρος πειραμάτων
- E) Inverter

- Z) Έλικας αναρρόφησης
- H) Διαχύτης
- Θ) Σύστημα μετακίνησης μετρητικού οργάνου

3.1.1.1 Φίλτρο ομαλοποίησης ροής (honeycombs)

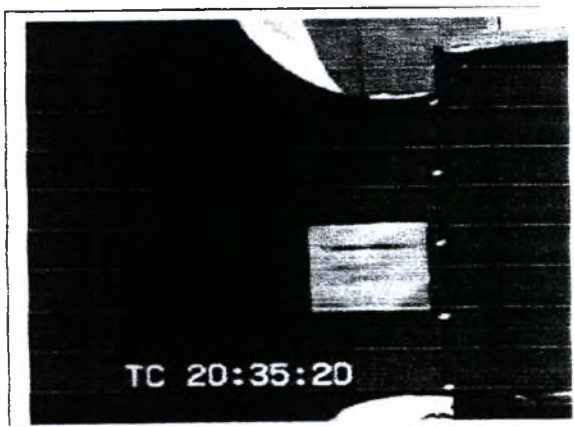


Στο εμπρόσθιο τμήμα της αεροσήραγγας υπάρχει ένα φίλτρο το οποίο είναι υπεύθυνο για την ομαλοποίηση της ροής μέσα στην αεροσήραγγα. Αυτό αποτελείται από μεταλλικά κελιά τα οποία έχουν σχήμα κανονικού εξαγώνου.

3.1.1.2 Φίλτρο κατακράτησης σωματιδίων με συρμάτινο πλέγμα

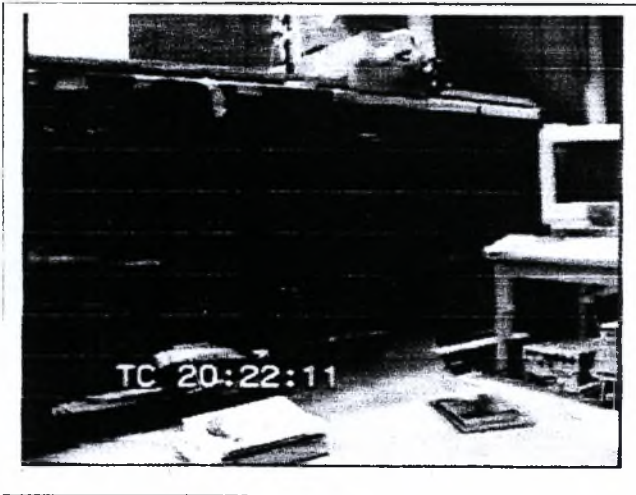
Αμέσως μετά το φίλτρο ομαλοποίησης υπάρχει ένα συρμάτινο πλέγμα με τετραγωνικής διατομής σπές διαμέτρου 1 mm. Αυτό το φίλτρο χρησιμεύει για την κατακράτηση των σωματιδίων που αναρροφούνται από την αεροσήραγγα τα οποία μπορούν να καταστρέψουν τα όργανα που χρησιμοποιούνται για τις μετρήσεις.

3.1.1.3 Συγκλίνουσα διατομή



Η συγκλίνουσα διατομή χρησιμεύει για την επιτάχυνση της ροής καθώς και για μείωση της τύρβης, μείωση των κλιμάκων της και ομοιογενοποίηση της.

3.1.1.4 Χώρος πειραμάτων



καπάκια.

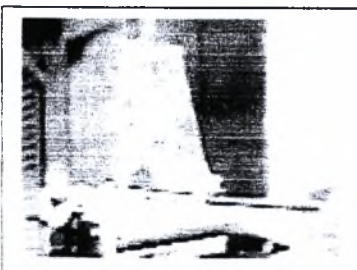
Ο χώρος πειραμάτων της αεροσήραγγας έχει διαστάσεις 250 cm μήκος x 52 cm πλάτος x 70 cm ύψος. Στις πλάγιες πλευρές και στο άνω μέρος υπάρχει επικάλυψη από Plexiglas πάχους 2 cm από το οποίο γίνεται και η παρατήρηση του εκάστοτε πειράματος. Στο άνω μέρος της αεροσήραγγας υπήρχαν 15 ξύλινα καπάκια ορθογωνικής διατομής. Η πρόσβαση στο χώρο πειραμάτων γινόταν αφαιρώντας αυτά τα

3.1.1.5 Inverter



Ο inverter που δίνει κίνηση στον έλικα αναρρόφησης της αεροσήραγγας είναι τύπου TOSHIBA Transistor Inverter TOSVERT VF-SXN και έχει εύρος συχνοτήτων από 0 έως 100 Hz με βήμα 0.1 Hz. Η τάση τροφοδοσίας είναι 400 volts και η μέγιστη ισχύς του είναι 7.5 kW.

3.1.1.6 Σύστημα μετακίνησης μετρητικού οργάνου



Το σύστημα μετακίνησης αποτελείται από ένα βερνιέρο ο οποίος μετακινείται κατά το διαμήκη άξονα της αεροσήραγγας. Πάνω σε αυτόν είναι τοποθετημένη μια μεταλλική βάση σχήματος L, η οποία στηρίζεται με τέσσερις κοχλίες στην πλευρά του κοντού βραχίονα της. Στην πλευρά του μεγάλου βραχίονα υπάρχουν οπές στις οποίες

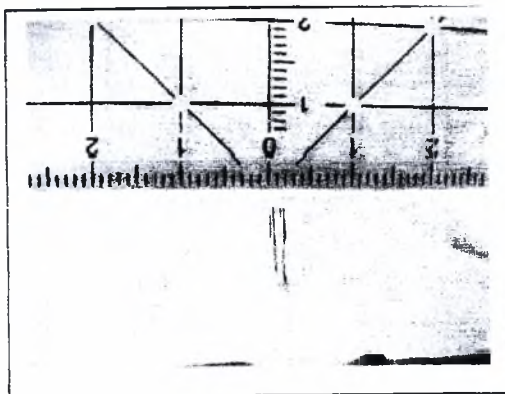
στηρίζεται ο βερνιέρος για την κάθετη μετατόπιση του μετρητικού οργάνου και έχει ακρίβεια 1 mm.

3.1.2 Μετρητικά όργανα και ακρίβεια μετρήσεων

Τα μετρητικά όργανα που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων είναι:

- A) Θερμικό ανεμόμετρο
- B) Ηλεκτρονικός υπολογιστής

3.1.2.1 Θερμικό ανεμόμετρο



Το hot-wire που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις ταχύτητας και θερμοκρασίας είναι DANTEC type DISA 55P1. Ο τύπος του ανεμόμετρου που χρησιμοποιήθηκε είναι DISA, TYPE 55M01 MAIN UNIT & TYPE 55M10 CTA STANDARD BRIDGE. Η ακρίβεια ήταν 10^{-3} m/s για τις μετρήσεις ταχύτητας και 10^{-3} °C για τις μετρήσεις θερμοκρασίας. Το ανεμόμετρο θερμού σύρματος

στηρίζεται στην αρχή ότι, όταν γύρω από ένα θερμό σώμα ρέει ένα αέριο, το θερμό σώμα θα ψυχθεί, και επομένως ο ρυθμός ψύξης σχετίζεται με την ταχύτητα του αερίου. Με αυτή τη βάση, εάν εφαρμοστεί ένα σταθερό ρεύμα στο σύρμα, τότε η ψύξη θα προκαλέσει αλλαγή της αντίστασης του και επομένως αλλαγή της τάσης στα άκρα του (επειδή η τάση ισούται με το ρεύμα επί την αντίσταση). Μετρώντας την αλλαγή τάσης με ένα κύκλωμα γέφυρας Wheatstone μπορούμε να υπολογίσουμε την ταχύτητα του αερίου. Όταν αλλάζει η θερμοκρασία του περιβάλλοντος είναι απαραίτητο να γίνεται νέα βαθμονόμηση. Επειδή αυτή η διαδικασία είναι χρονοβόρα στην αρχή και το τέλος των πειραμάτων μετράται μια ταχύτητα αναφοράς. (Peter Elgar, 1998. 'Αισθητήρες μέτρησης ελέγχου', σελ.158).

3.1.2.2 Ηλεκτρονικός υπολογιστής

Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια των πειραμάτων και την καταγραφή των μετρήσεων αποτελούνταν από:

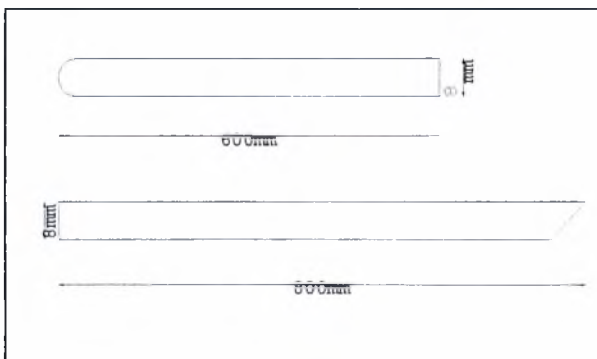
- A) την κεντρική μονάδα η οποία διέθετε επεξεργαστή Pentium-pro 200MHz, κάρτα μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό και το λογισμικό Labview με το οποίο γινόταν η καταγραφή των μετρήσεων.
- B) διάταξη η οποία μετέφερε το σήμα με σειριακά καλώδια σύνδεσης από το ανεμόμετρο στην κάρτα μετατροπής του υπολογιστή.

3.1.3 Στοιχεία μοντέλων

Τα στοιχεία του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων ήταν:

- A) Ορθογώνιες πλάκες
- B) Ράβδοι στήριξης
- Γ) Κοιλότητες
- Δ) Κύλινδροι
- Ε) Αντιστάσεις

3.1.3.1 Ορθογώνιες πλάκες

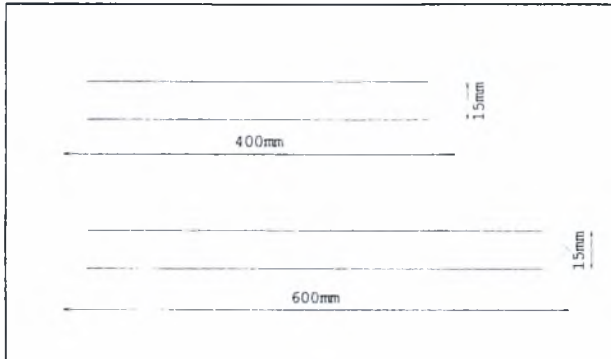


Χρησιμοποιήθηκαν δύο ορθογώνιες πλάκες με διαστάσεις:

- A) 600 mm μήκος x 520 mm πλάτος x 8 mm πάχος με ημικυκλική ακμή
- B) 800 mm μήκος x 520 mm πλάτος x 8 mm πάχος με τριγωνική ακμή

3.1.3.2 Ράβδοι στήριξης

Χρησιμοποιήθηκαν δύο ζεύγη ράβδοι στήριξης για τη στήριξη των πλακών. Οι διαστάσεις τους ήταν:

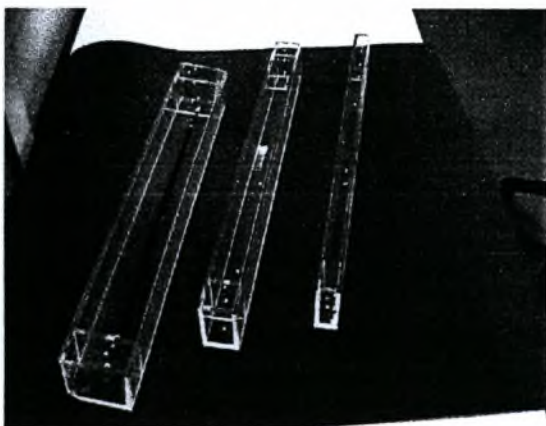


A) 2 ράβδοι με 400 mm μήκος x 8 mm πλάτος x 15 mm πάχος

B) 2 ράβδοι με 600 mm μήκος x 8 mm πλάτος x 15 mm πάχος

όπως φαίνονται στο σχήμα.

3.1.3.3 Κοιλότητες



Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν τρεις κοιλότητες με διαστάσεις:

A) 52 cm μήκος x 6 cm πλάτος x 6 cm ύψος

B) 52 cm μήκος x 3 cm πλάτος x 6 cm ύψος

Γ) 52 cm μήκος x 1.5 cm πλάτος x 6 cm ύψος

Αυτές οι κοιλότητες στη συνέχεια της εργασίας θα καλούνται μεγάλη, μεσαία και μικρή αντίστοιχα. Στα άκρα των κοιλοτήτων υπήρχαν οδηγοί όπου

εφαρμόζονταν οι πλάκες διαχωρισμού για να μπορεί να τοποθετηθεί η αντίσταση.

3.1.3.4 Κύλινδροι

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν τρεις κύλινδροι με διαστάσεις:

A) 6 cm διάμετρο x 52 cm μήκος

B) 3 cm διάμετρο x 52 cm μήκος

Γ) 2 cm διάμετρο x 52 cm μήκος

Επίσης ήταν διαθέσιμοι άλλοι δύο κύλινδροι με διαστάσεις

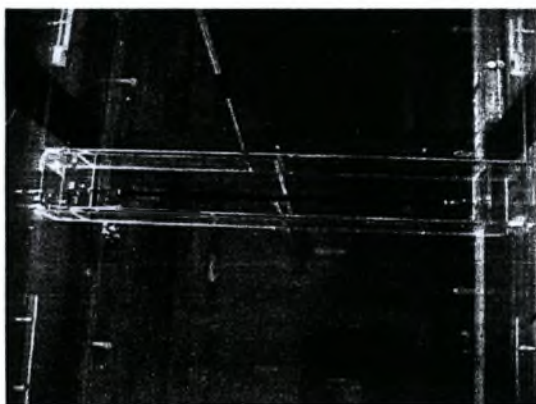
4 cm διάμετρο x 52 cm μήκος

1 cm διάμετρο x 52 cm μήκος

οι οποίοι δεν χρησιμοποιήθηκαν.

Οι κύλινδροι σφηνώνονταν στα τοιχώματα της αεροσήραγγας στην επιλεγμένη κάθε φορά θέση.

3.1.3.5 Αντιστάσεις



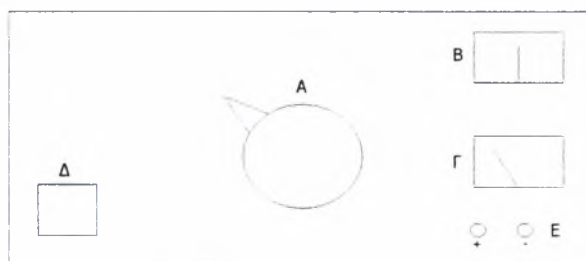
Για τις μετρήσεις θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκαν δύο αντιστάσεις.

Η πρώτη αντίσταση που εφαρμόστηκε ήταν τύπου σύρματος χρωμονικελίνης με αντίσταση $R=150,3 \Omega/m$ και διάμετρο 0.1 mm. Η τάση λειτουργίας της ήταν 28 Volts και η ένταση του ρεύματος 0.45^A .

Η δεύτερη αντίσταση που εφαρμόστηκε ήταν από χάλυβα και στο εσωτερικό υπήρχε σύρμα χρωμονικελίνης. Τα χαρακτηριστικά της ήταν $R = 36.67\Omega$ και διάμετρος 6.5 mm. Επειδή έπρεπε η ισχύς να είναι ίδια η νέα τάση λειτουργίας ήταν 22.25 Volts και η ένταση του ρεύματος 0.625^A .

3.1.4 AC/DC converter

Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκε ένας μετατροπέας εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές με:



- A) ροοστάτη
- B) βολτόμετρο
- Γ) αμπερόμετρο
- Δ) διακόπτη λειτουργίας
- E) έξοδοι ρεύματος

όπως φαίνεται στο σχήμα. Η χρήση του είναι να τροφοδοτεί την αντίσταση με το επιλεγμένο από το χρήστη ρεύμα.

3.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Εδώ περιγράφεται η πειραματική και η υπολογιστική διαδικασία που ακολουθήθηκε για την ανάκτηση των αποτελεσμάτων. Ειδικότερα γίνεται αναφορά στις βαθμονομήσεις που έγιναν, στις συνθήκες των πειραμάτων καθώς και στα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν.

3.2.1 Βαθμονόμηση της αεροσήραγγας

Επειδή ο inverter της αεροσήραγγας έδινε ένδειξη σε Hz έπρεπε να γίνει βαθμονόμηση της αεροσήραγγας με σκοπό να βρεθεί μια αναλογία μεταξύ των Hz του inverter και της ταχύτητας του αέρα σε m/s. Αυτό έγινε χρησιμοποιώντας ένα σωλήνα Pitot ο οποίος τοποθετήθηκε παράλληλα στη διεύθυνση της ροής. Μεταβάλλοντας τα Hz προέκυψαν οι παρακάτω τιμές για τη μεταβολή της πίεσης.

Hz	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Δp	1.3	4.9	11.2	19.7	30.5	44.1	60	78.2	98.6	121

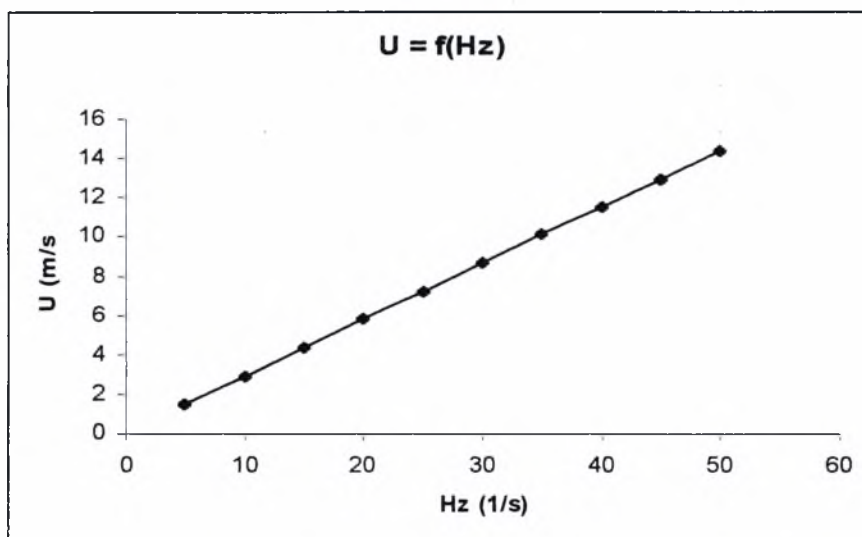
Οι συνθήκες των μετρήσεων ήταν ατμοσφαιρική πίεση $p = 1.013 \text{ bar}$, θερμοκρασία $T = 25.25 \text{ }^\circ\text{C}$ και πυκνότητα αέρα $\rho = 1.18 \text{ Kg/m}^3$.

Εφαρμόζοντας την εξίσωση Bernoulli μεταξύ δύο σημείων στη γραμμή ροής προκύπτει:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + z_1 \rho g = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + z_2 \rho g$$

Επειδή τα δύο σημεία είναι στην ίδια διεύθυνση ($z_1 = z_2$) και το σημείο 2 είναι σημείο ανακοπής ($v_2 = 0$) η εξίσωση Bernoulli παίρνει την μορφή

$$V = \sqrt{2 \frac{\Delta P}{\rho}}$$



Σχήμα 3.1: Σχέση των Hz του inverter με τα m/s της ταχύτητας της ροής

Από την τελευταία εξίσωση προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα για τη σχέση Hz του inverter και της ταχύτητας σε m/s

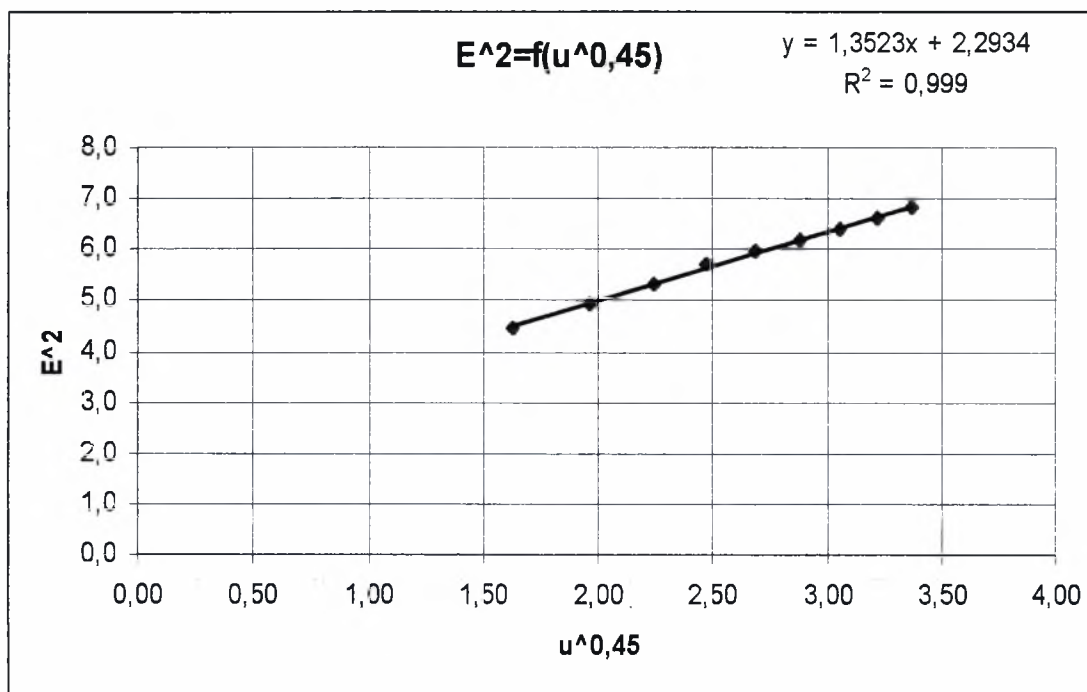
U (m/s)	2.5	5	7.5	10	12.5	15
Hz	8.4	16.7	25.1	33.4	41.8	50.1

3.2.2 Ταχύτητα

3.2.2.1 Βαθμονόμηση του hot-wire

Αφού έγινε μέτρηση της αντίστασης του hot-wire με τη βοήθεια του ανεμόμετρου τοποθετήθηκε παράλληλα με το σωλήνα Pitot. Στη συνέχεια ανοίχτηκε το πρόγραμμα “single hot wire” και δόθηκαν οι τιμές $A = 0$, $B = 1$, $n = 0.45$. Μεταβάλλοντας τα Hz του inverter προέκυψαν οι παρακάτω τιμές :

Hz	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
E_{mean}	1.954	2.115	2.224	2.309	2.386	2.439	2.486	2.534	2.572	2.617



Σχήμα 3.2:Βαθμονόμηση του ανεμομέτρου

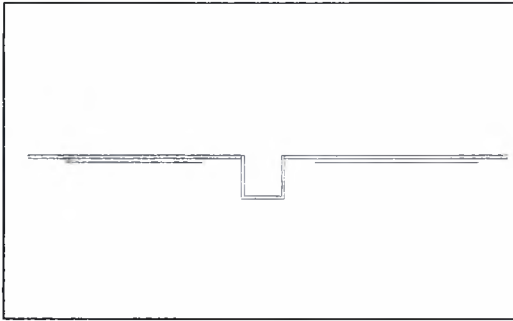
Με τον τρόπο αυτό τα volts στην έξοδο του ανεμομέτρου μετατρέπονται σε ταχύτητα αέρα. Από τη θεωρία η σχέση που χρησιμοποιείται για αυτή τη μετατροπή είναι ο νόμος του King (1914) :

$$V^2 = A + B \cdot U^{0.45}$$

Η εξίσωση που προέκυψε από τη βαθμονόμηση είναι $Y^2 = 1.3523 \cdot X^{0.45} + 2.2934$

Έτσι οι τιμές που δόθηκαν στο πρόγραμμα για να δίνει κατευθείαν την ταχύτητα ήταν $A=2.2934$ και $B = 1.3523$

3.2.2.2 Μοντέλο



Η διάταξη του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις ταχύτητας φαίνεται στο σχήμα. Αυτό αποτελούνταν από τέσσερις ράβδους στήριξης οι οποίες τοποθετήθηκαν πρώτες στην

αεροσήραγγα και στηρίχθηκαν με βίδες. Πάνω στις ράβδους τοποθετήθηκαν οι δύο πλάκες, ενώ ανάμεσα από αυτές τοποθετούταν η κοιλότητα που χρησιμοποιούνταν κάθε φορά στο πείραμα. Οι πλάκες και η κοιλότητα στηρίχθηκαν με πείρους αφού πρώτα ανοίχτηκαν τρύπες στην αεροσήραγγα και στο μοντέλο. Όταν στο πείραμα απαιτούνταν η χρησιμοποίηση κάποιου κυλίνδρου αυτός σφηνώνονταν ανάμεσα στα τοιχώματα της αεροσήραγγας στην κατάλληλη θέση.

3.2.2.3 Συχνότητα δειγματοληψίας

Η συχνότητα δειγματοληψίας που ορίστηκε στο πρόγραμμα single hot wire ήταν 2000 Hz ενώ ο αριθμός των δειγμάτων ήταν 20000 (samples). Ο χρόνος που απαιτούνταν για να γίνει μία μέτρηση ήταν $20000/2000 = 10$ sec. Τα διαγράμματα p.s.d που προέκυπταν από τις μετρήσεις ήταν από 0 μέχρι 1000 Hz (Nyquist theory).

3.2.2.4 Εξαγωγή διαγραμμάτων p.s.d.

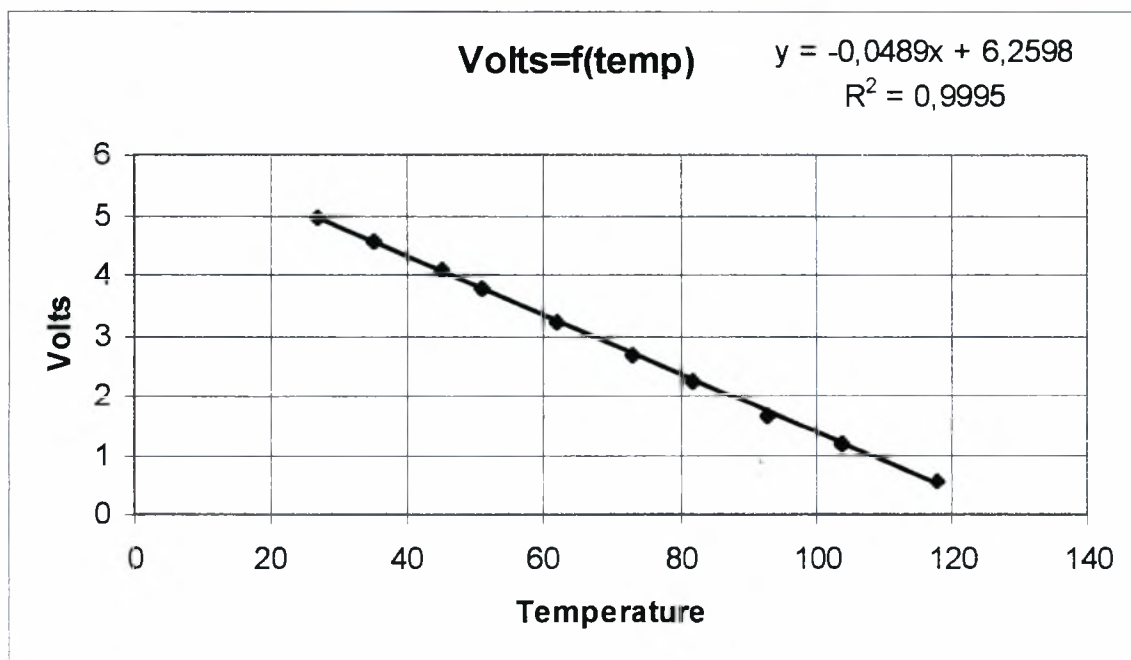
Επειδή τα αρχεία που προέκυπταν από τη χρησιμοποίηση του προγράμματος Labview είχαν κατάληξη .dat και κατά συνέπεια δεν μπορούσαν να επεξεργαστούν από το excel χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα P.SP.D. Με αυτό το πρόγραμμα τα αρχεία μετατρέπονταν σε κατάληξη _psd.dat και έτσι μπορούσε να γίνει επεξεργασία από το excel και να προκύψουν τα τελικά διαγράμματα.

3.2.3 Θερμότητα

3.2.3.1 Βαθμονόμηση του cold-wire

Για τις μετρήσεις θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε άλλη γέφυρα στο ανεμόμετρο. Έτσι ήταν απαραίτητο να γίνει νέα βαθμονόμηση στο hot wire. Για αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα 'cold wire', ένα πιστολάκι θερμού αέρα με μεταβαλλόμενη θερμοκρασία και ηλεκτρονικό θερμόμετρο. Στη συνέχεια το θερμοστοιχείο του θερμομέτρου τοποθετήθηκε πολύ κοντά στο hot wire και τέθηκε σε λειτουργία το πιστολάκι. Αυξάνοντας τη θερμοκρασία του αέρα που έβγαине από το πιστολάκι και δίνοντας τις τιμές $A = 1$ και $B = 0$ στο πρόγραμμα προέκυψαν τα παρακάτω αποτελέσματα για τη θερμοκρασία που μέτραγε το θερμόμετρο και τα volts στην έξοδο του ανεμόμετρου.

T(°C)	27	35	45	51	62	73	82	93	104	118
Volts	4.956	4.56	4.065	3.776	3.221	2.683	2.219	1.66	1.162	0.562



Σχήμα 3.3:Βαθμονόμηση του cold-wire

Η εξίσωση που προέκυψε από την παραπάνω βαθμονόμηση ήταν $Y = -0.0489X + 6.2598$ όπου X είναι η θερμοκρασία και Y τα volts. Λύνοντας την ως προς X προέκυψαν οι παράμετροι $A = -20.833$ και $B = 128.0122$. Αυτές οι τιμές δόθηκαν στο πρόγραμμα 'cold wire' του Labview έτσι ώστε να δίνει σαν αποτέλεσμα τη θερμοκρασία.

3.2.3.2 Μοντέλο

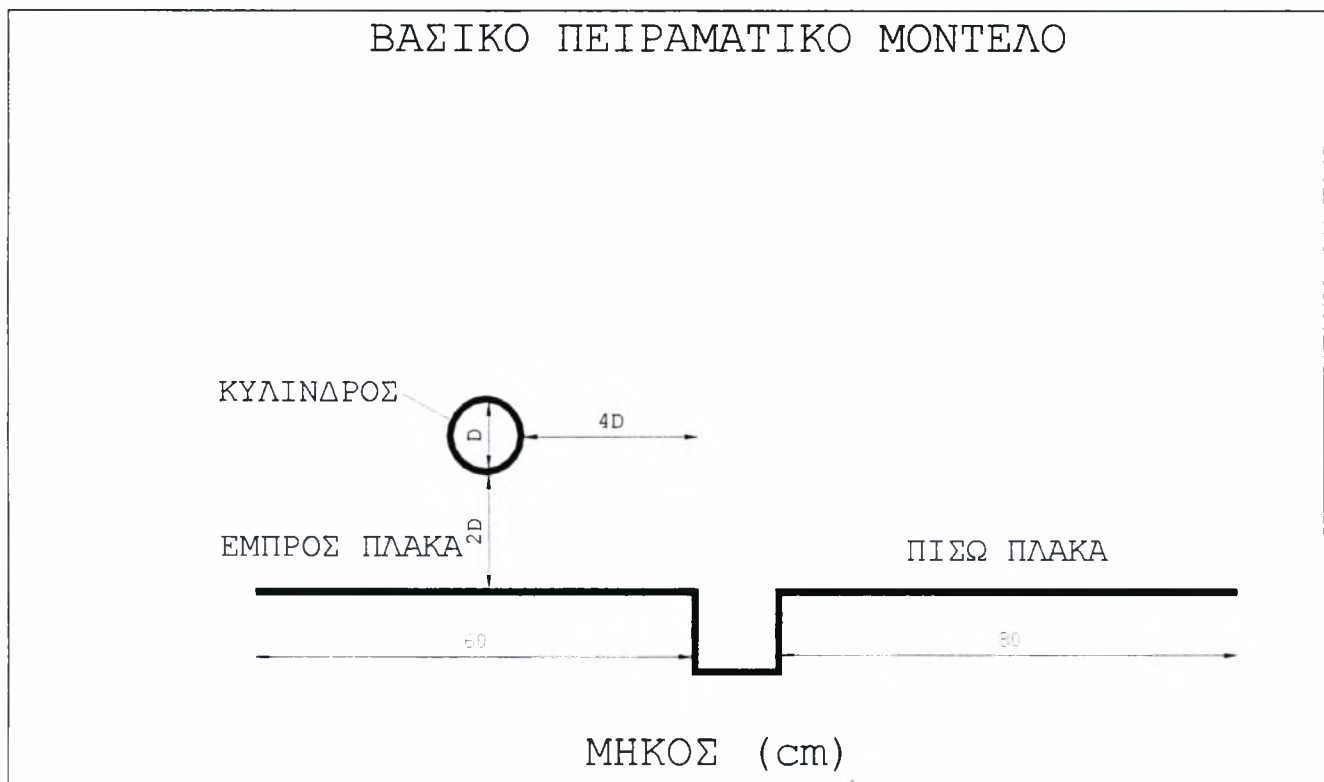
Το βασικό πειραματικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις θερμοκρασίας ήταν σχεδόν το ίδιο με την περίπτωση όπου μετρήθηκε ταχύτητα. Η μόνη διαφορά ήταν η αντίσταση που τοποθετούνταν μέσα στην κοιλότητα. Χρησιμοποιήθηκαν δύο αντιστάσεις. Μια αντίσταση χρωμονικελίνης διαμέτρου 0.5 mm και μια μεγαλύτερη αντίσταση διαμέτρου 6.5 mm. Για να τοποθετηθεί η αντίσταση ανοίχτηκαν τρύπες διαμέτρου $d = 3\text{mm}$ στις μικρές πλάκες της κοιλότητας όπου περάστηκαν μικροί κεραμικοί κύλινδροι που χρησίμευαν σαν μονωτές θερμότητας όταν η αντίσταση ήταν σε λειτουργία. Στο κάτω μέρος της κοιλότητας ανοίχτηκαν τρύπες για να περνάνε τα καλώδια τα οποία συνέδεαν την αντίσταση με τον AC/DC converter. Στις άκρες των καλωδίων τοποθετήθηκαν μικροί σφιγκτήρες, ώστε η αντίσταση χρωμονικελίνης να είναι πάντα τεντωμένη όταν βρίσκεται σε λειτουργία.

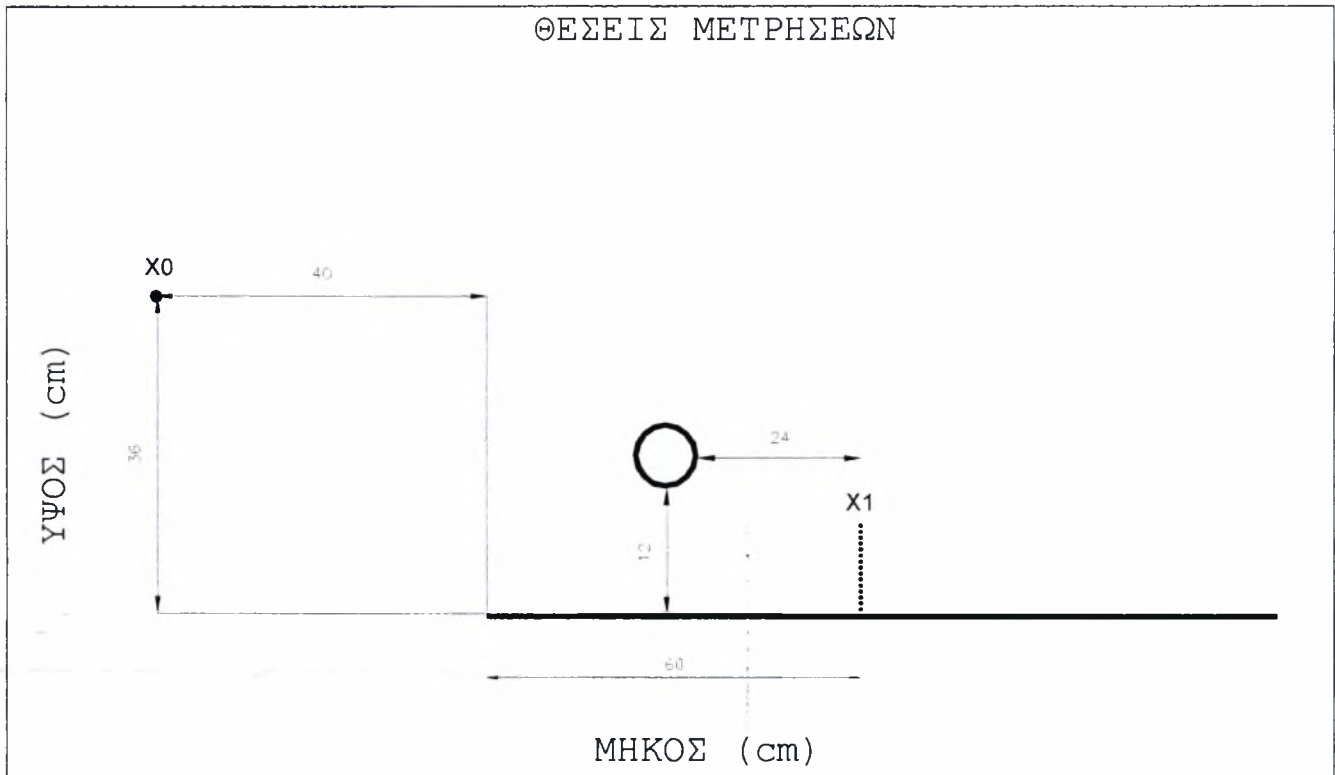
3.2.3.3 Συχνότητα δειγματοληψίας και εξαγωγή διαγραμμάτων p.s.d.

Όπως και στην περίπτωση της ταχύτητας, έτσι και για τις μετρήσεις θερμοκρασίας η συχνότητα δειγματοληψίας ήταν 2000 Hz, ο αριθμός των δειγμάτων (samples) ήταν 20000 με αποτέλεσμα κάθε μέτρηση να έχει διάρκεια 10 sec. Επίσης και σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα P.S.P.D. για τη μετατροπή των αρχείων σε μορφή με κατάληξη `_psd.dat` και την εξαγωγή των τελικών διαγραμμάτων.

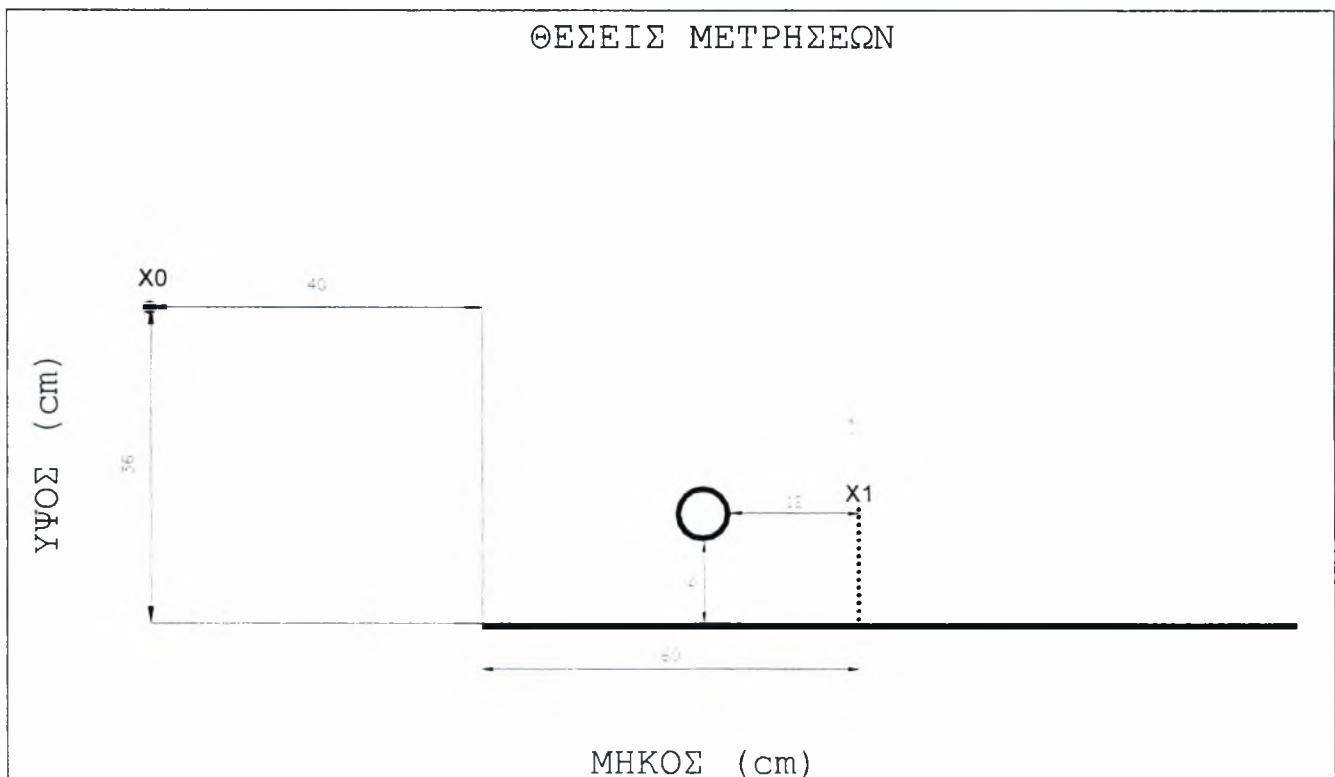
4. ΠΕΔΙΟ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν από μετρήσεις ταχυτήτων σε θέσεις στο ύψος της κοιλότητας και πίσω από αυτή καθώς και πίσω από κύλινδρο. Αυτά αφορούν διαγράμματα φασμάτων (spectra) ταχύτητας καθώς και διαγράμματα που περιγράφουν την κύρια συχνότητα των δινών με την ταχύτητα της ροής. Επίσης σε όσες περιπτώσεις ήταν δυνατό να υπολογισθεί ο αριθμός Strouhal δίνονται διαγράμματα που περιγράφουν τη μεταβολή του αριθμού Strouhal με τον αριθμό Reynolds. Χρησιμοποιήθηκαν τρεις κοιλότητες και τρεις κύλινδροι και οι μετρήσεις έγιναν για έξι διαφορετικές ταχύτητες ροής του αέρα. Οι ταχύτητες είναι αδιαστατοποιημένες με μια ταχύτητα αναφοράς U_0 .

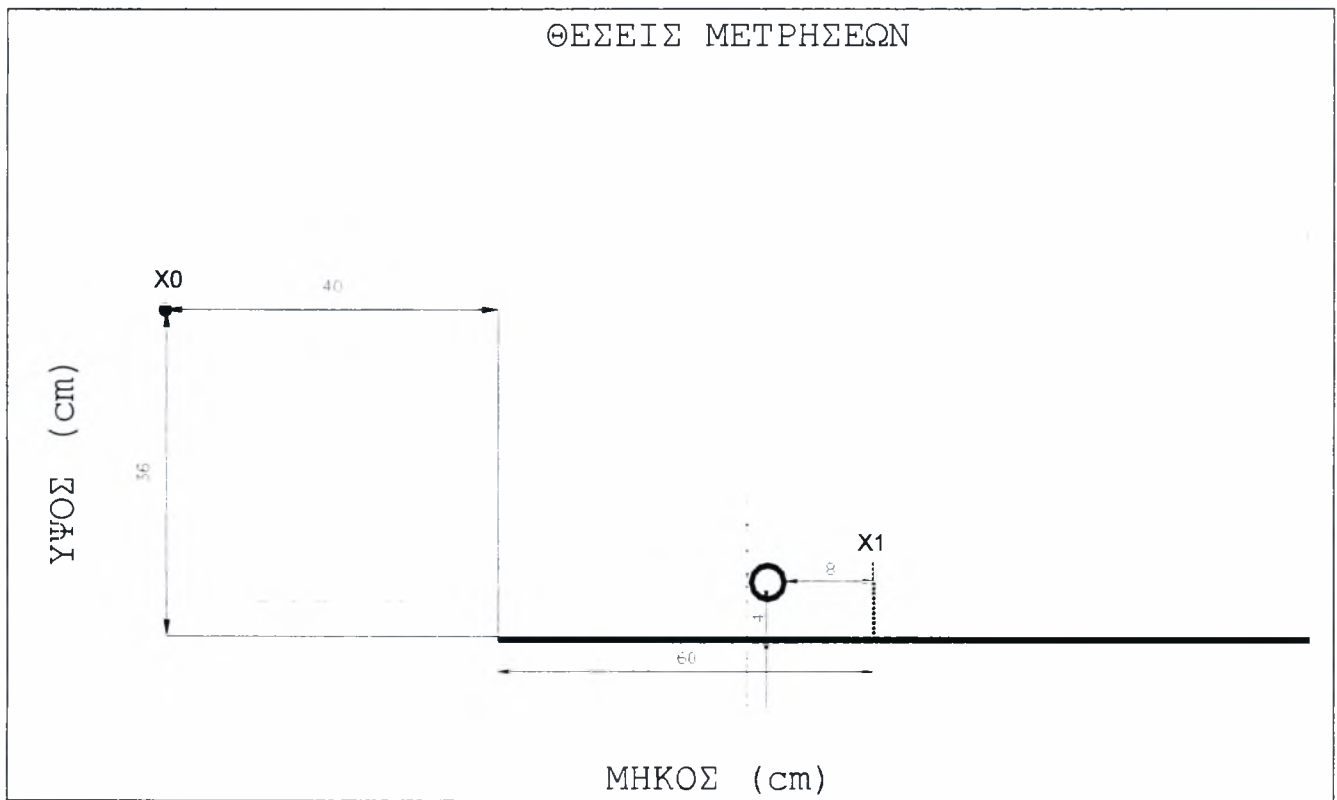




Σχήμα 4.1: Θέσεις μέτρησης ταχύτητας με κύλινδρο διαμέτρου 6 cm (το σημείο X0 είναι το σημείο μέτρησης της ταχύτητας αναφοράς U0)

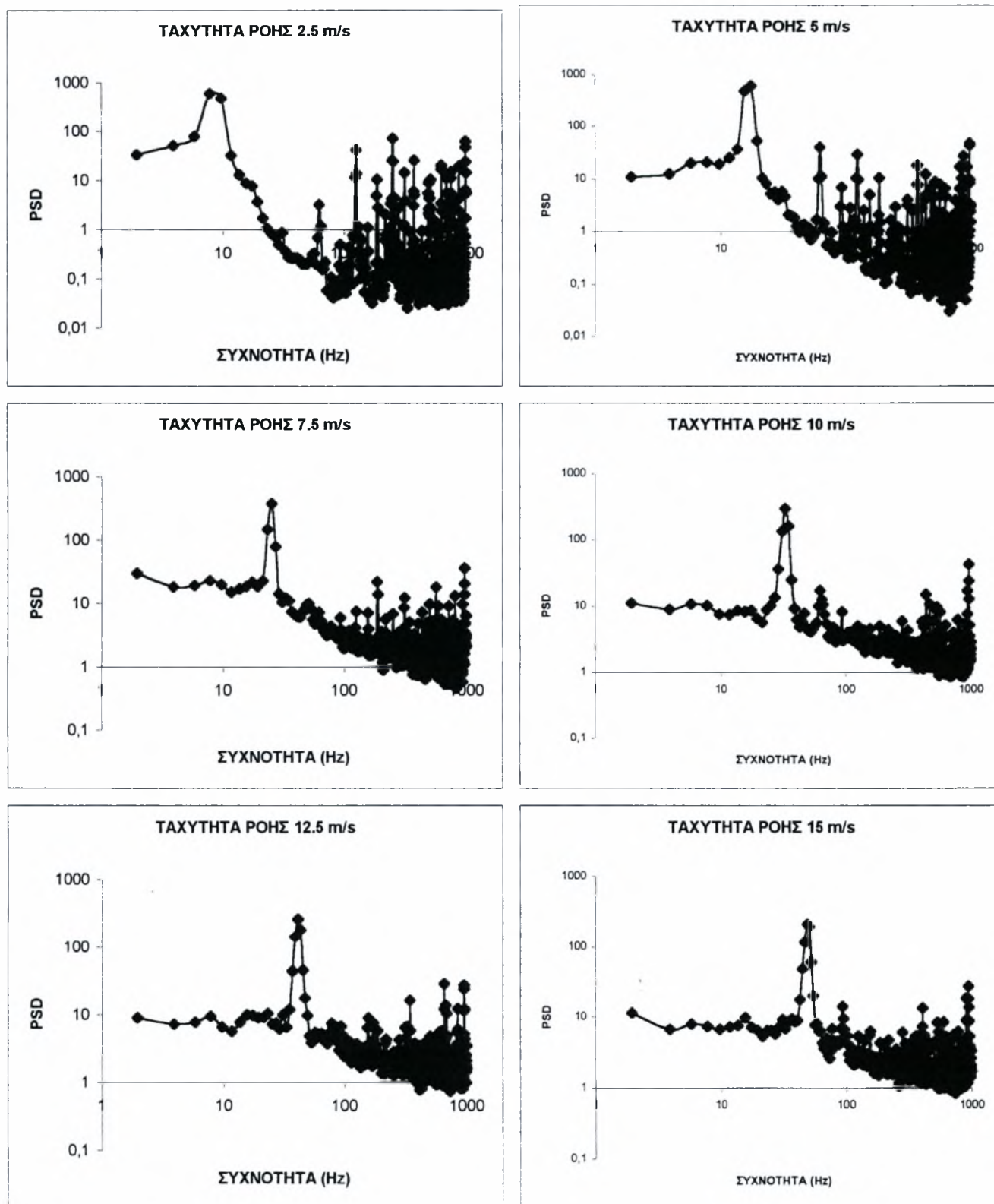


Σχήμα 4.2: Θέσεις μέτρησης ταχύτητας με κύλινδρο διαμέτρου 3 cm (το σημείο X0 είναι το σημείο μέτρησης της ταχύτητας αναφοράς U0)



Σχήμα 4.3: Θέσεις μέτρησης ταχύτητας με κύλινδρο διαμέτρου 2 cm (το σημείο X0 είναι το σημείο μέτρησης της ταχύτητας αναφοράς U0)

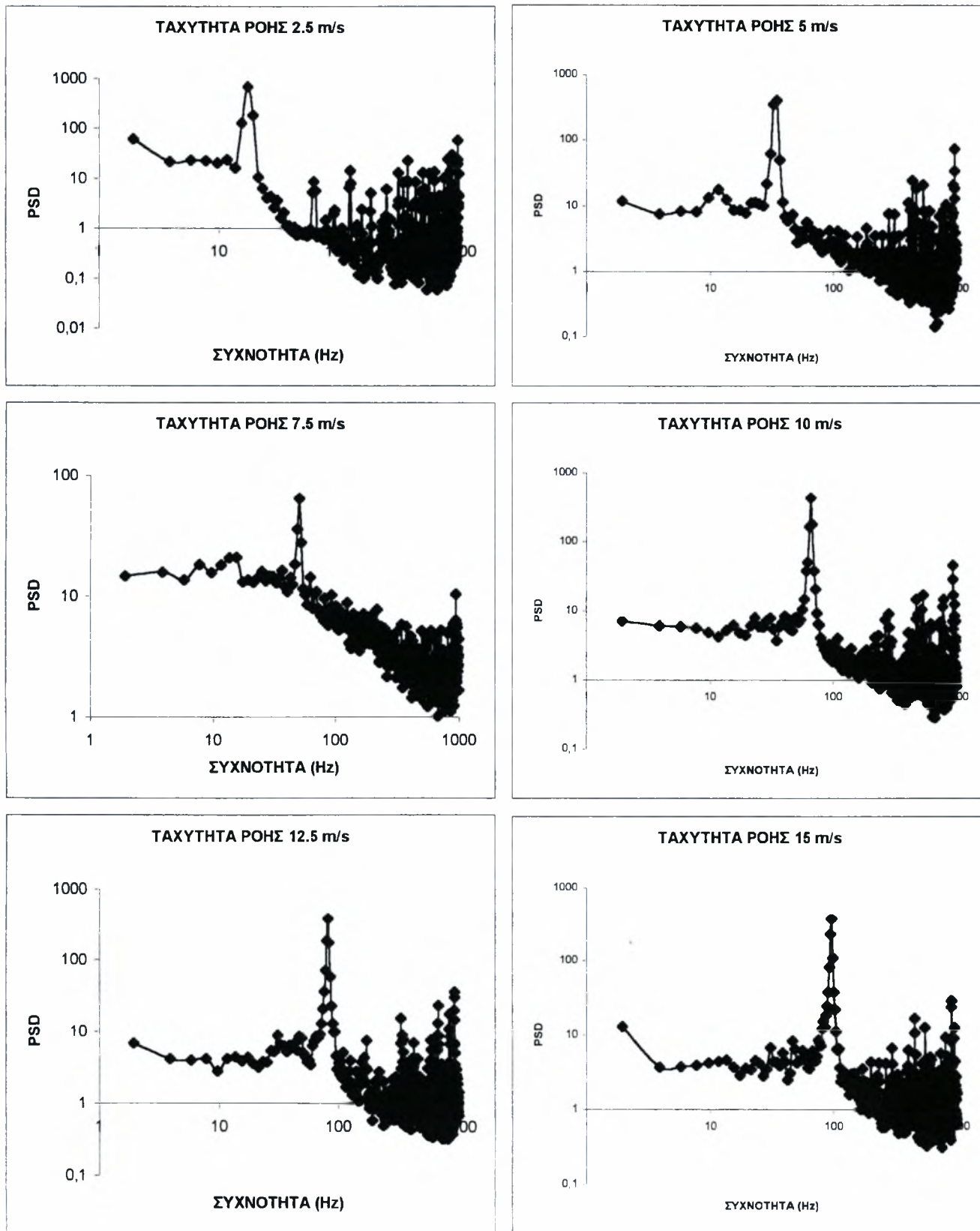
4.1 Κύλινδρος διαμέτρου 6 cm



Σχήμα 4.4: Φάσματα ταχύτητας για τον κύλινδρο διαμέτρου 6cm

Από τα διαγράμματα spectra φαίνεται ότι για τις ταχύτητες 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 και 15 m/s οι κύριες συχνότητες των δινών είναι 7.81, 17.57, 23.43, 33.20, 41.01 και 50.78 Hz αντίστοιχα. Επίσης σε όλες τις ταχύτητες παρατηρείται ένα peak στις συχνότητες 15.625, 31.25 και 93.75Hz το οποίο οφείλεται στην ταλάντωση του μετρητικού οργάνου.

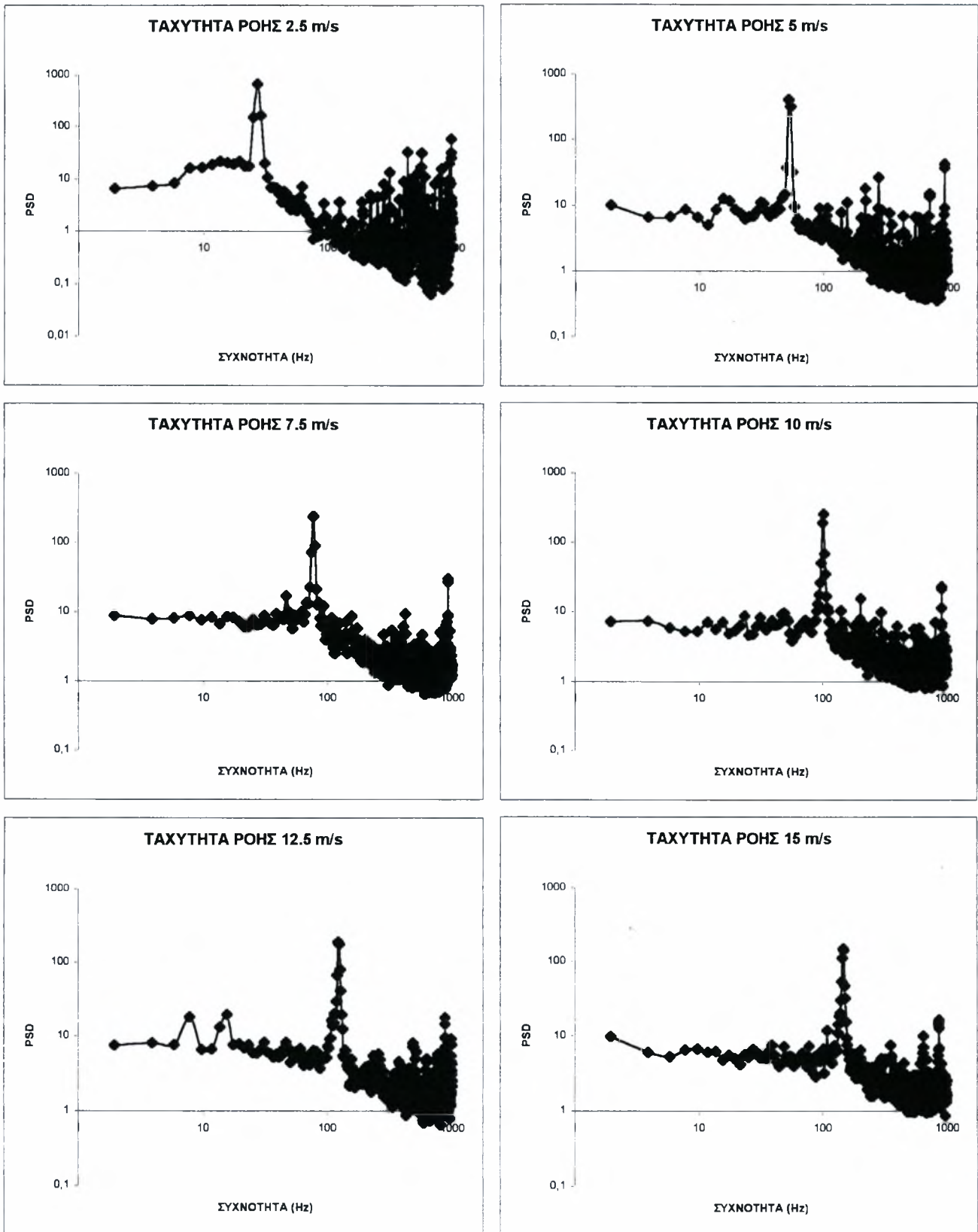
4.2 Κύλινδρος διαμέτρου 3 cm



Σχήμα 4.5: Φάσματα ταχύτητας για τον κύλινδρο διαμέτρου 3cm

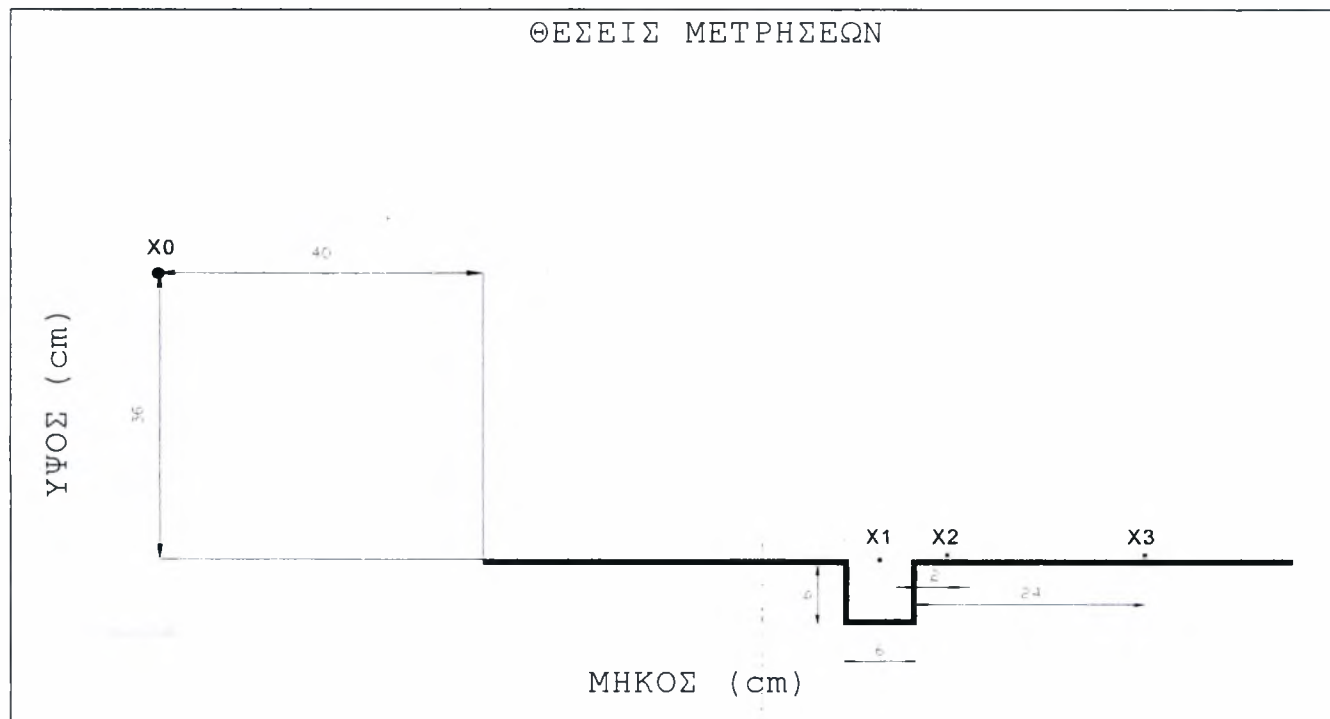
Από τα διαγράμματα spectra φαίνεται ότι για τις ταχύτητες 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 και 15 m/s οι κύριες συχνότητες των δινών είναι 17.57, 35.15, 50.78, 66.40, 82.03 και 97.65 Hz αντίστοιχα. Επίσης οι συχνότητες 15.625, 31.25, 62.5 και 93.75 εμφανίζονται στα φάσματα όλων των ταχυτήτων και οφείλονται στην ταλάντωση του μετρητικού οργάνου.

4.3 Κύλινδρος διαμέτρου 2 cm

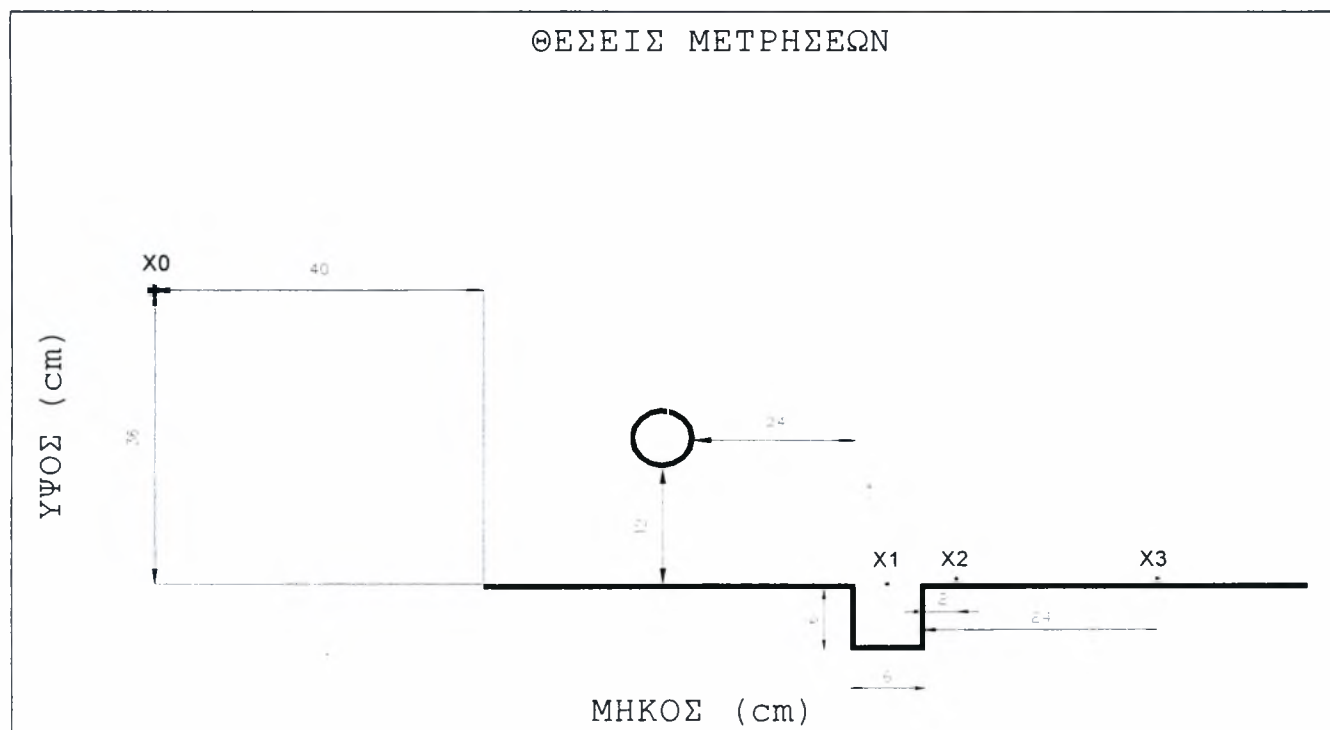


Σχήμα 4.6: Φάσματα ταχύτητας για τον κύλινδρο διαμέτρου 2cm

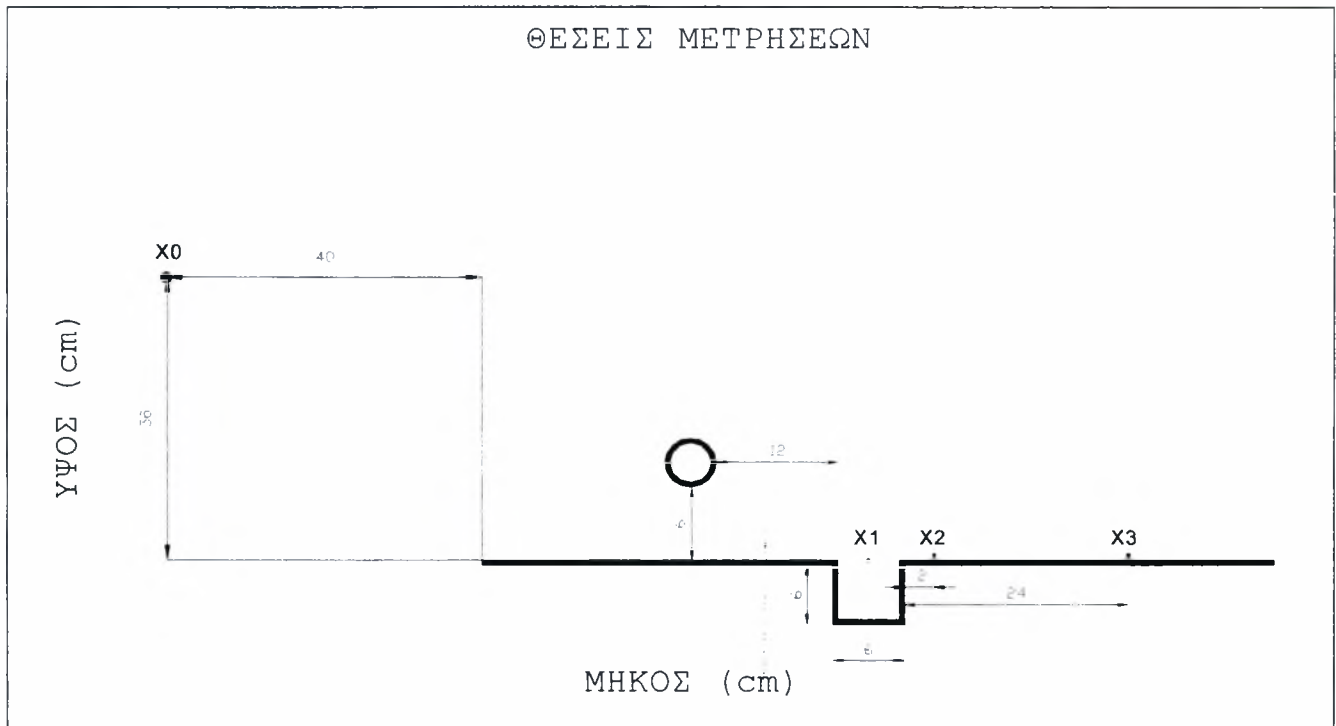
Στην περίπτωση του κυλίνδρου διαμέτρου 2 cm οι κύριες συχνότητες δινών για τις ταχύτητες 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 και 15 m/s είναι 27.34, 52.73, 78.12, 101.56, 125 και 146.48 Hz αντίστοιχα. Και εδώ, όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις οι συχνότητες 15.625, 31.25, 62.5 και 93.75Hz εμφανίζονται στα φάσματα όλων των ταχυτήτων και οφείλονται στην ταλάντωση του μετρητικού οργάνου.



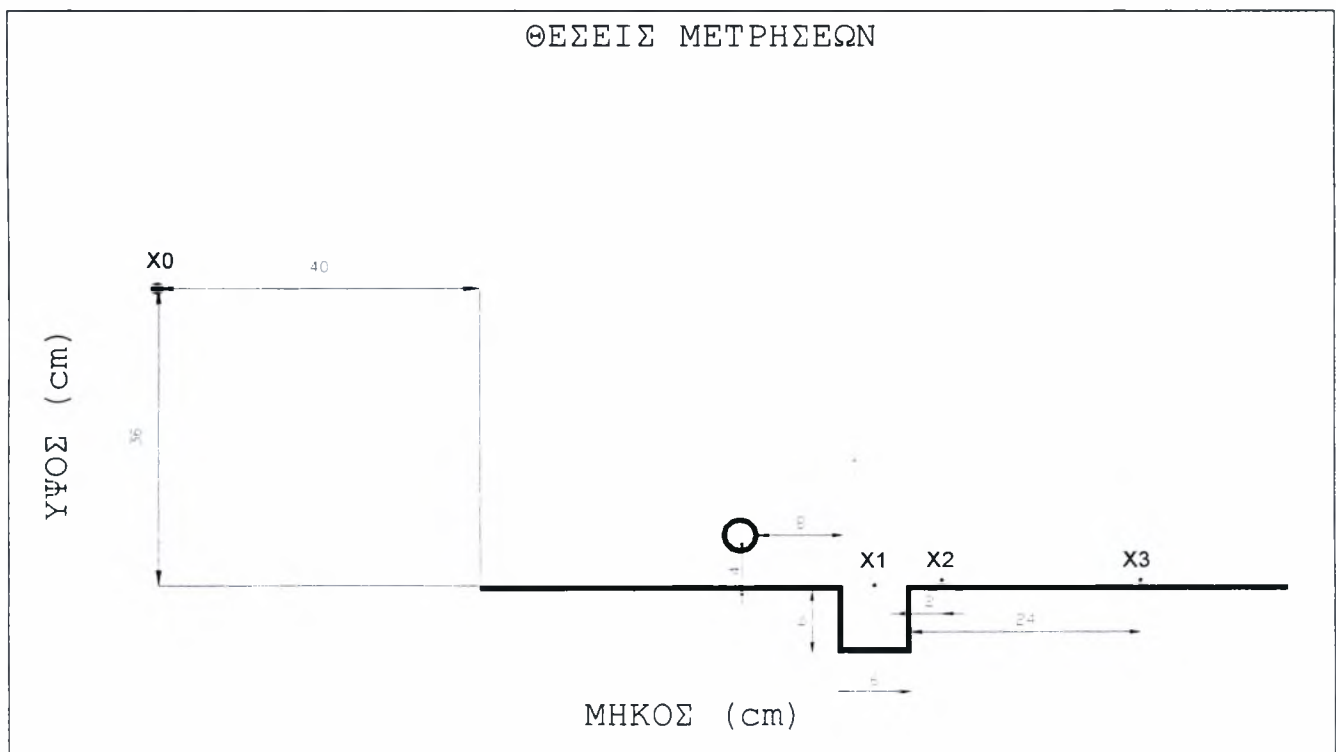
Σχήμα 4.7: Θέσεις μέτρησης ταχύτητας μεγάλης κοιλότητας χωρίς κύλινδρο (το σημείο X0 είναι το σημείο μέτρησης της ταχύτητας αναφοράς U0)



Σχήμα 4.8: Θέσεις μέτρησης ταχύτητας μεγάλης κοιλότητας με κύλινδρο διαμέτρου 6 cm (το σημείο X0 είναι το σημείο μέτρησης της ταχύτητας αναφοράς U0)

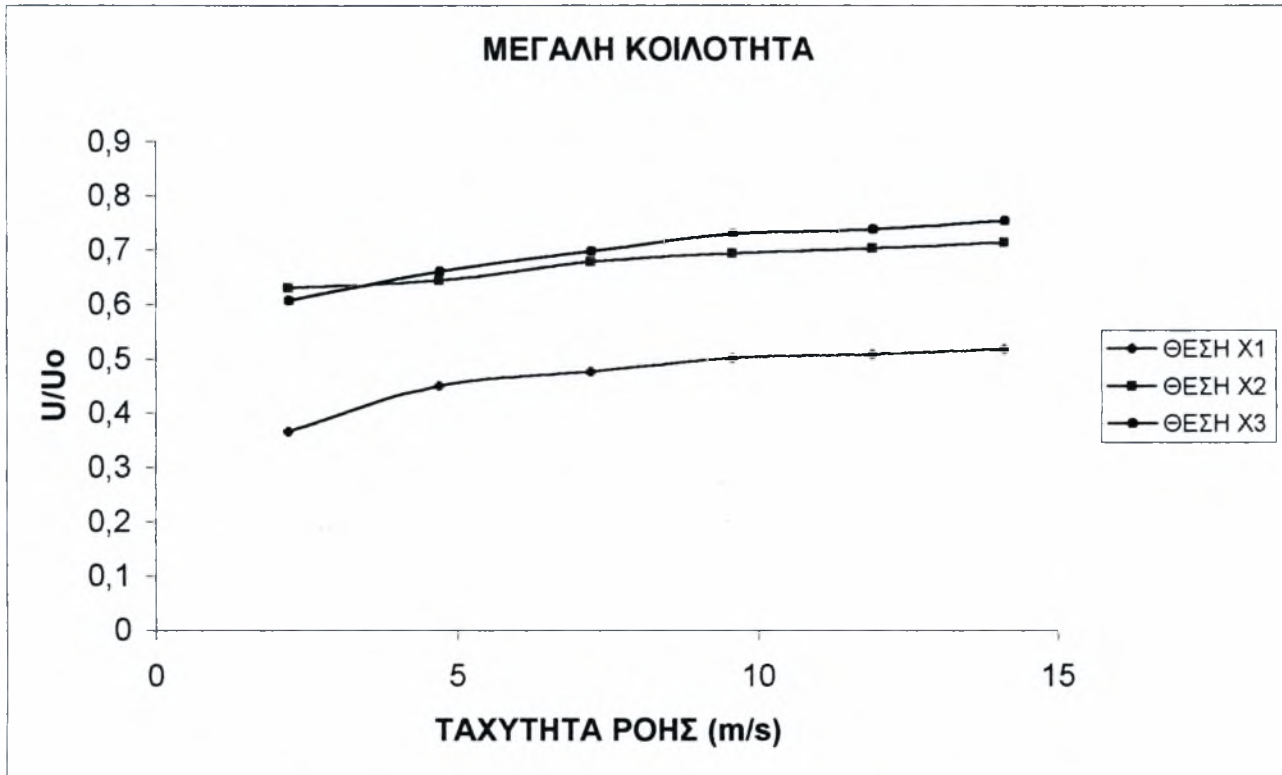


Σχήμα 4.9: Θέσεις μέτρησης ταχύτητας μεγάλης κοιτότητας με κύλινδρο διαμέτρου 3 cm (το σημείο X0 είναι το σημείο μέτρησης της ταχύτητας αναφοράς U0)



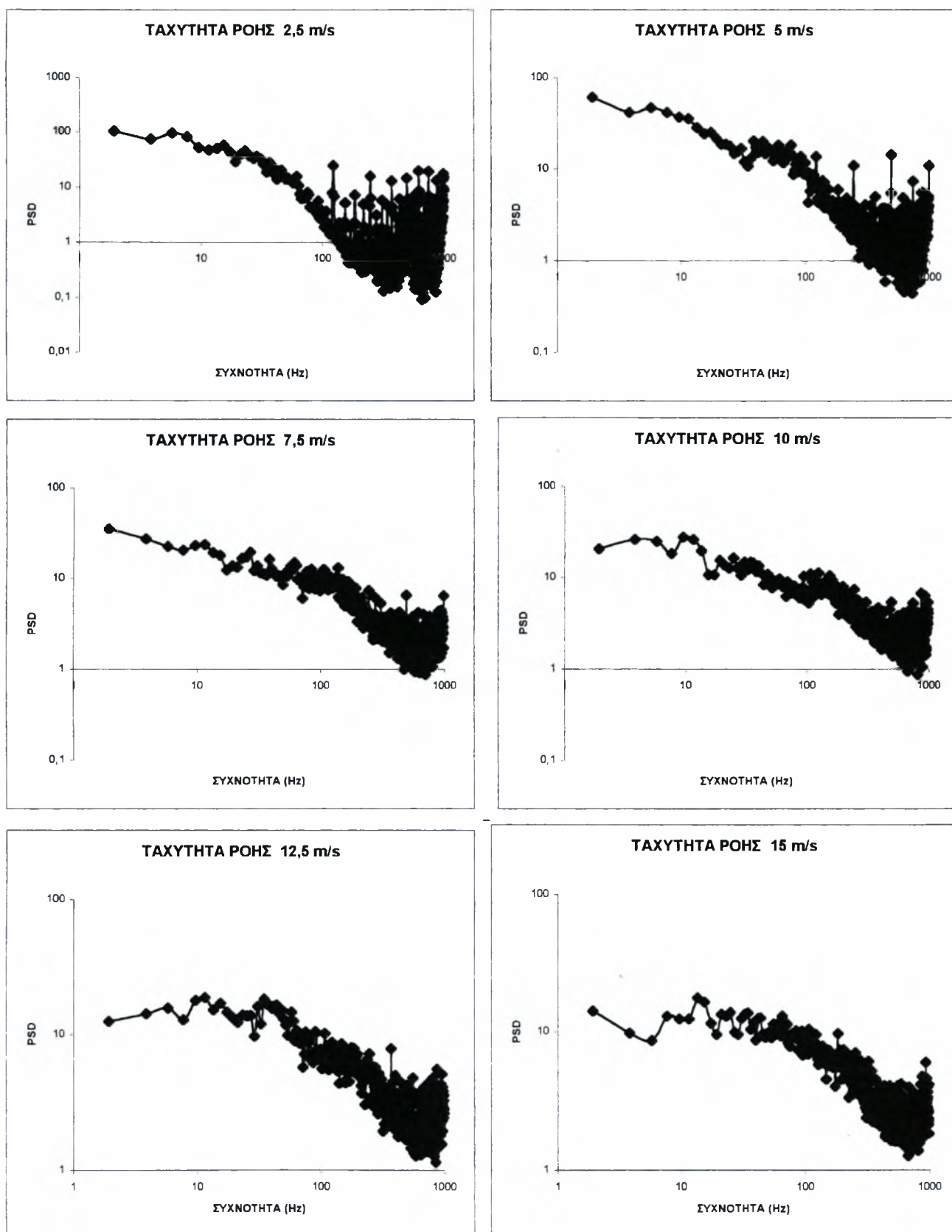
Σχήμα 4.10: Θέσεις μέτρησης ταχύτητας μεγάλης κοιτότητας με κύλινδρο διαμέτρου 2 cm (το σημείο X0 είναι το σημείο μέτρησης της ταχύτητας αναφοράς U0)

4.4 Μεγάλη κοιλότητα χωρίς κύλινδρο



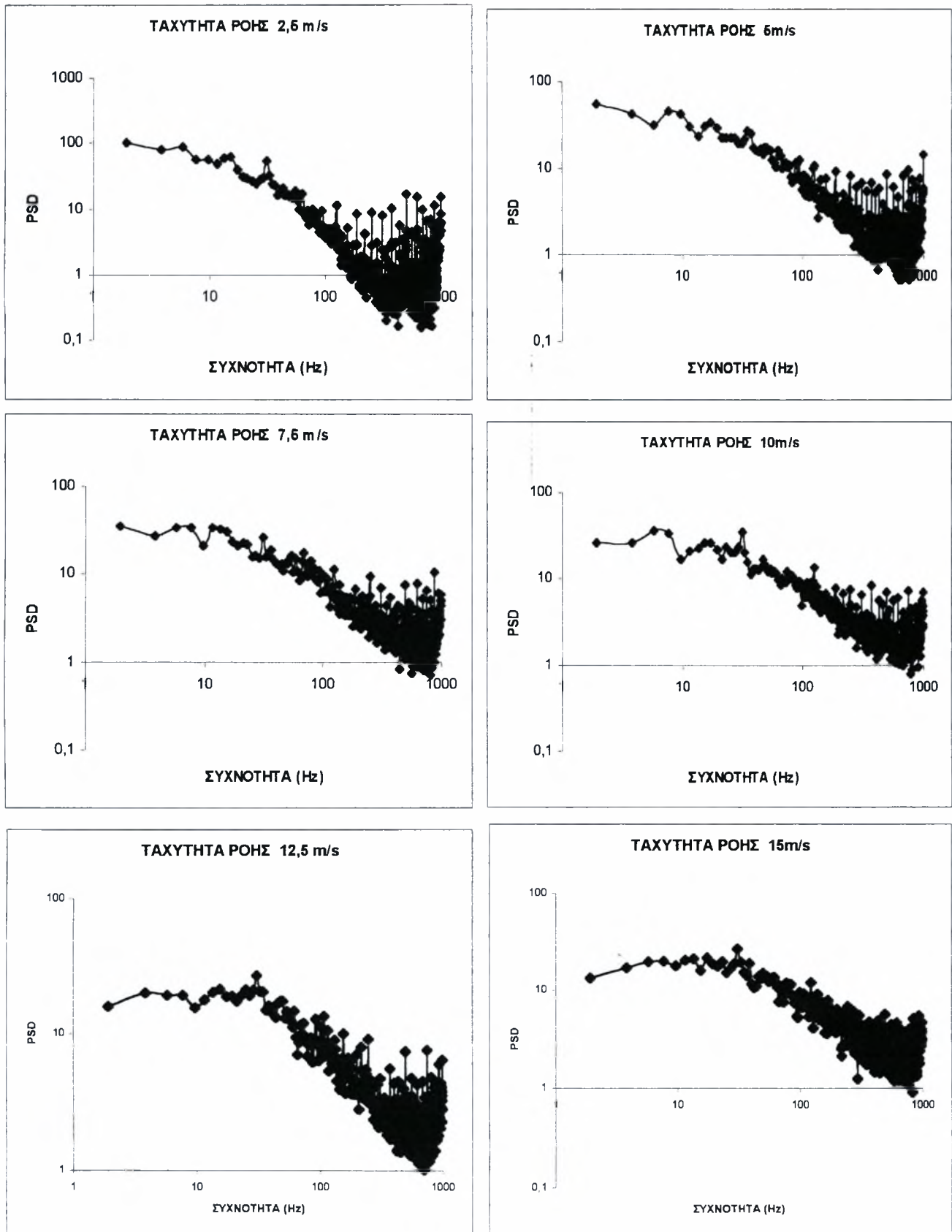
Σχήμα 4.11: Οι τιμές της ταχύτητας στα σημεία μετρήσεων

Α) Αποτελέσματα για τη θέση X1



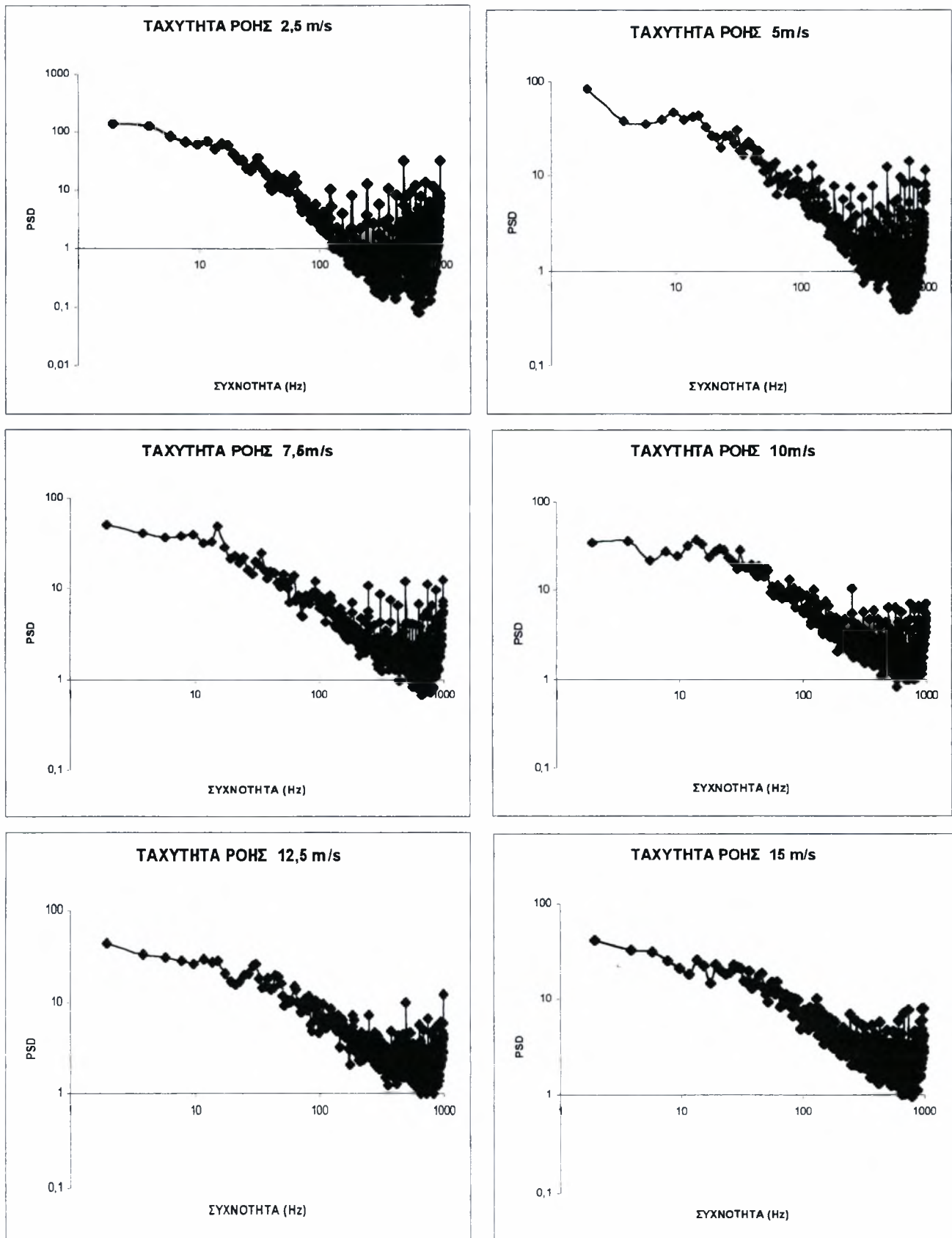
Σχήμα 4.12: Φάσματα ταχύτητας για τη μεγάλη κοιλότητα στη θέση X1

Β) Αποτελέσματα για τη θέση X2



Σχήμα 4.13:Φάσματα ταχύτητας για τη μεγάλη κοιλότητα στη θέση X2

Γ) Αποτελέσματα για τη θέση X3



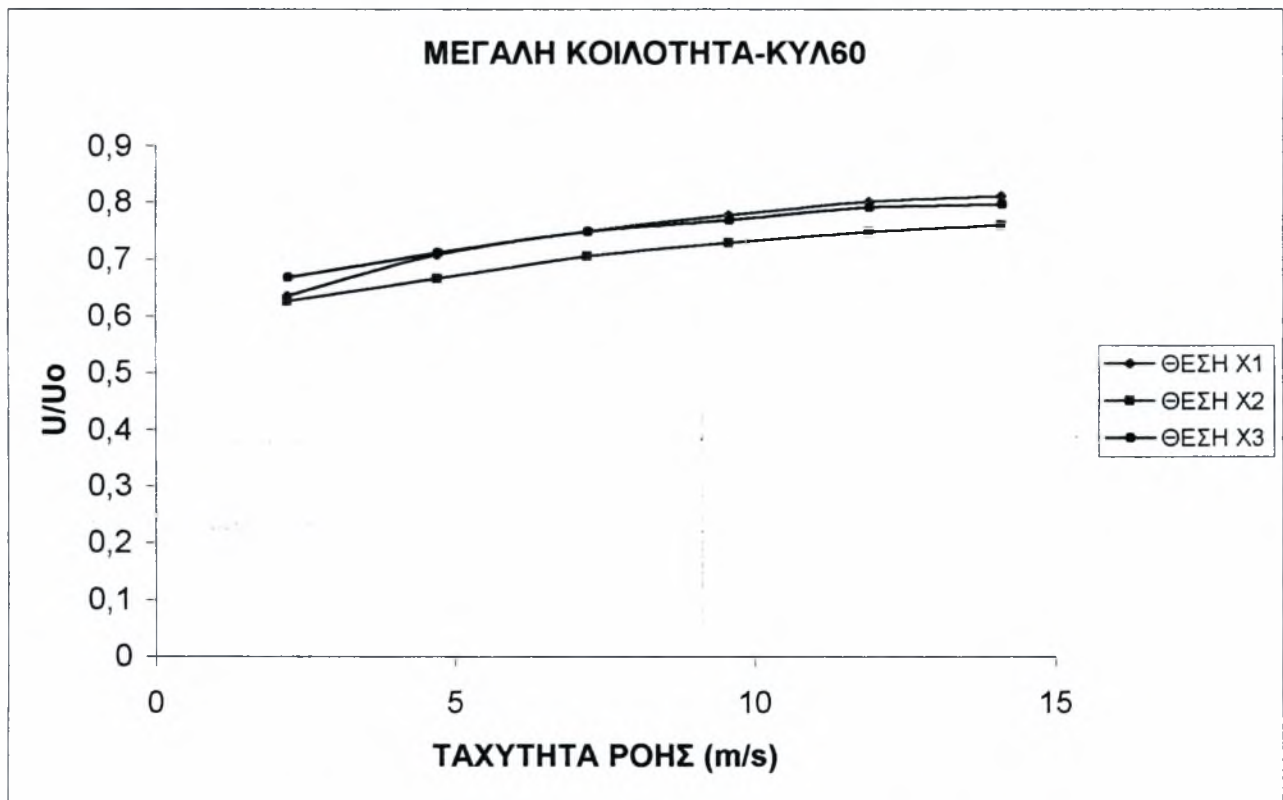
Σχήμα 4.14: Φάσματα ταχύτητας για τη μεγάλη κοιλότητα στη θέση X3

Από το διάγραμμα της ταχύτητας φαίνεται πως μεγαλύτερες τιμές ταχύτητας παρατηρούνται στη θέση X3 (με μέγιστη τιμή $0.75U_0$ στα 15 m/s) και οι μικρότερες στη θέση X1. Και στις τρεις θέσεις η ταχύτητα αυξάνεται μέχρι τα 5m/s και στη συνέχεια παραμένει σχεδόν σταθερή.

Από τα διαγράμματα spectra φαίνεται ότι για ταχύτητες 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 και 15 m/s οι κύριες συχνότητες δινών Von Karman για τη θέση X1 είναι 5.85, 11.71, 19.53, 25.39, 27.34 και 35.15 Hz αντίστοιχα.

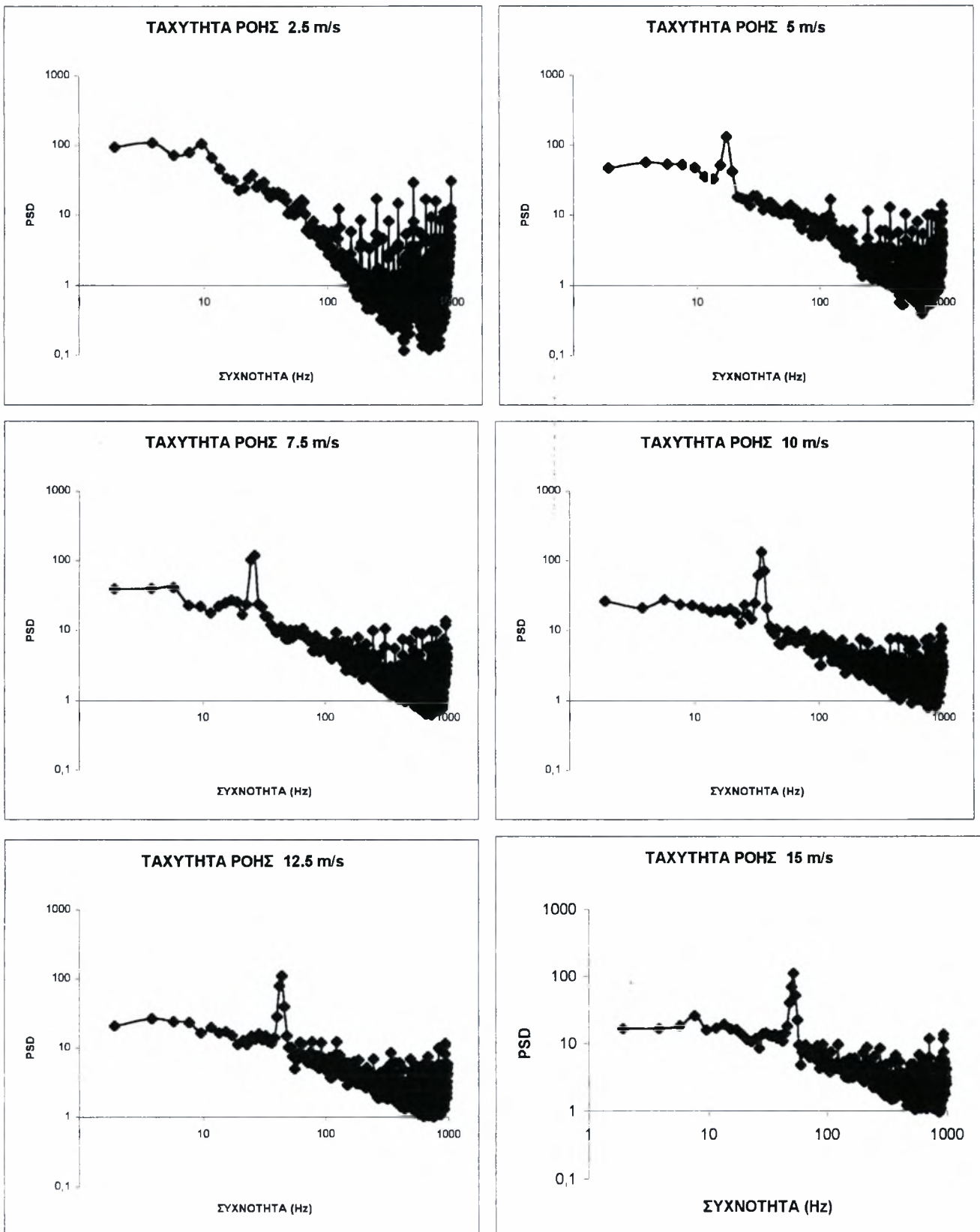
Οι αντίστοιχες συχνότητες για τη θέση X2 είναι 5.85, 9.76, 15.62, 23.43, 29.29 και 39.06 Hz, ενώ για τη θέση X3 3.9, 9.76, 15.62, 25.43, 27.34 και 37.1 Hz. Παρατηρείται ότι και στις τρεις θέσεις εμφανίζεται η συχνότητα 31.25 η οποία αντιστοιχεί στην ταλάντωση του μετρητικού οργάνου.

4.5 Μεγάλη κοιλότητα με κύλινδρο διαμέτρου 6 cm



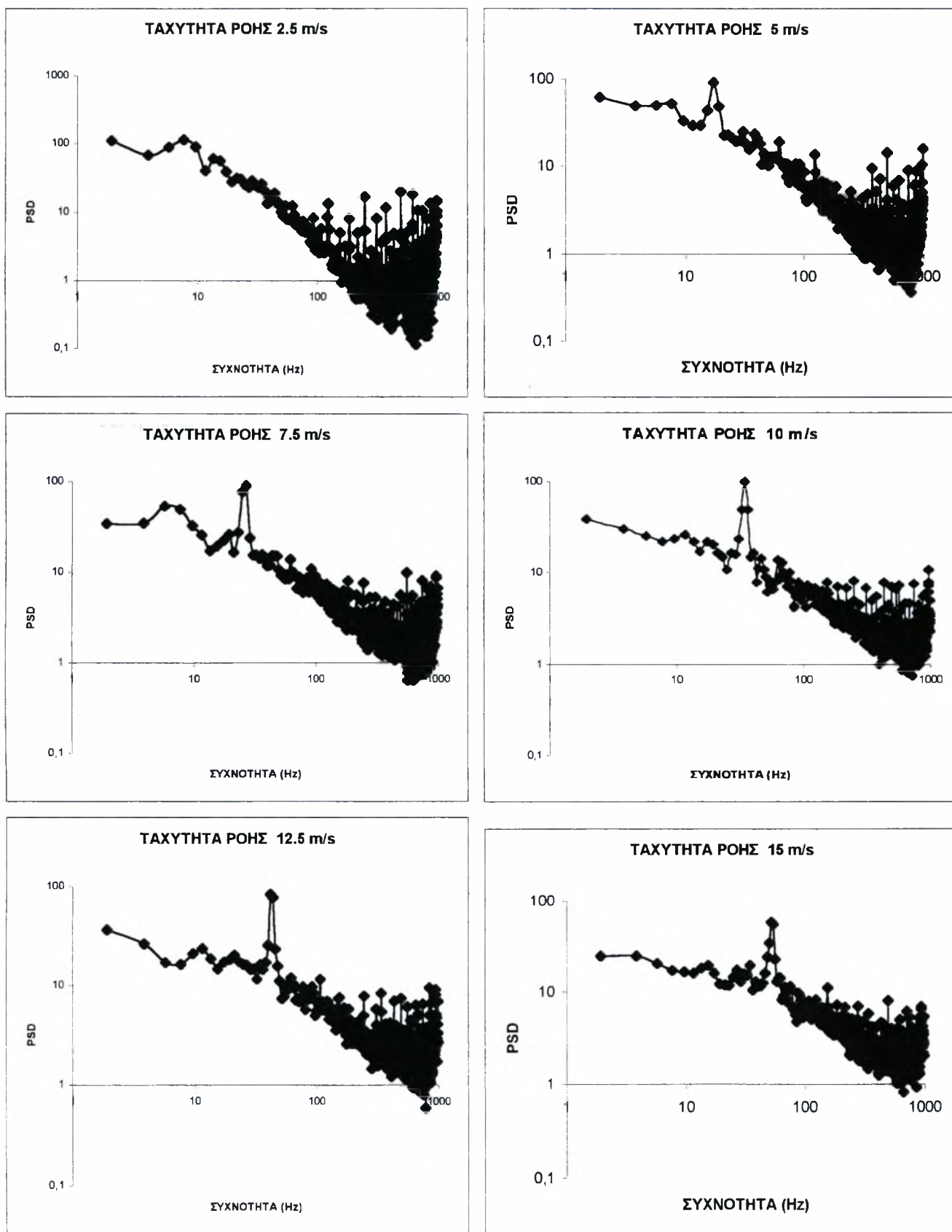
Σχήμα 4.15: Οι τιμές της ταχύτητας στα σημεία μετρήσεων

A) Αποτελέσματα για τη θέση X1



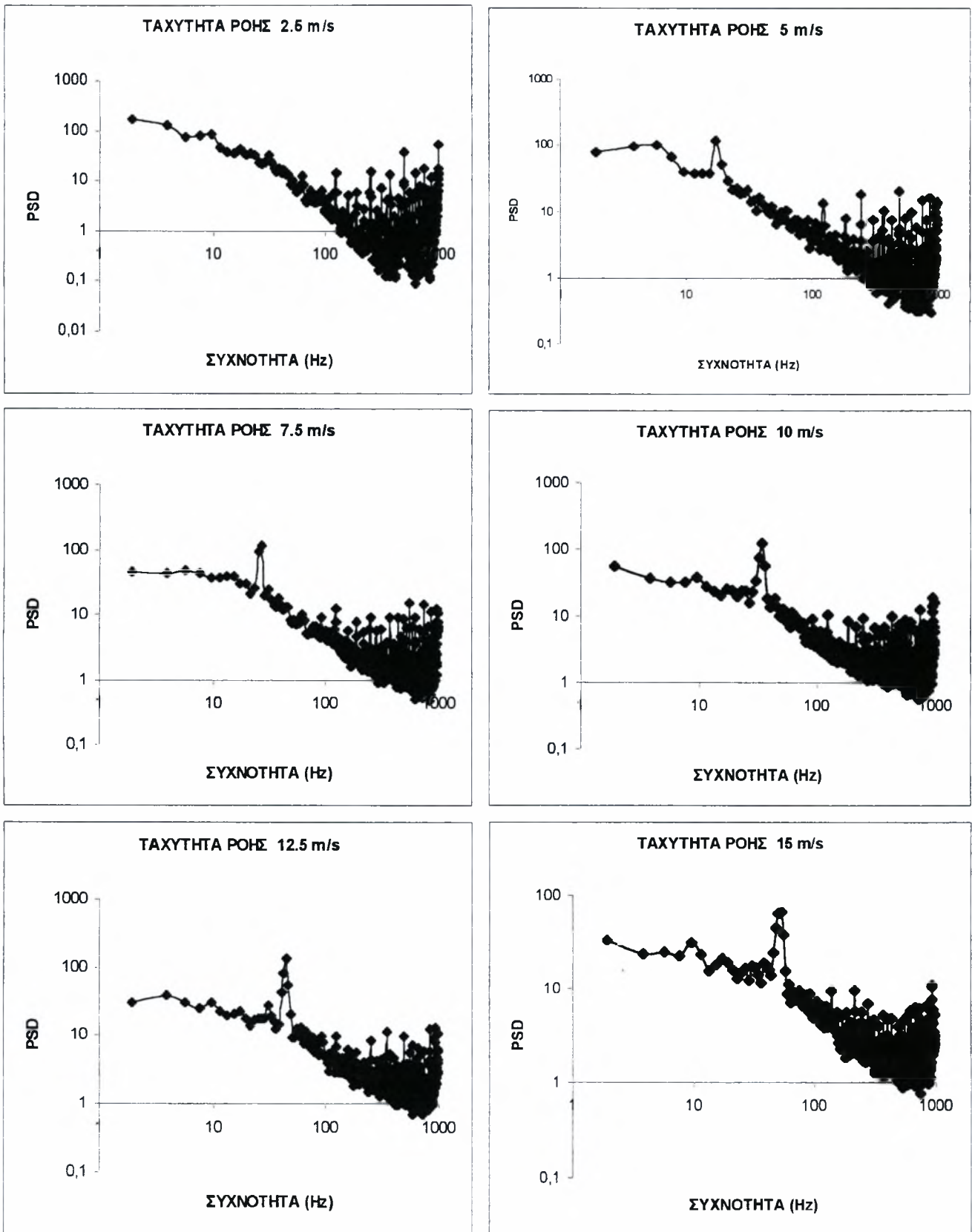
Σχήμα 4.16: Φάσματα ταχύτητας για τη μεγάλη κοιλότητα με τον κύλινδρο 6cm στη θέση X1

B) Αποτελέσματα για τη θέση X2



Σχήμα 4.17: Φάσματα ταχύτητας για τη μεγάλη κοιλότητα με τον κύλινδρο 6cm στη θέση X2

Γ) Αποτελέσματα για τη θέση X3



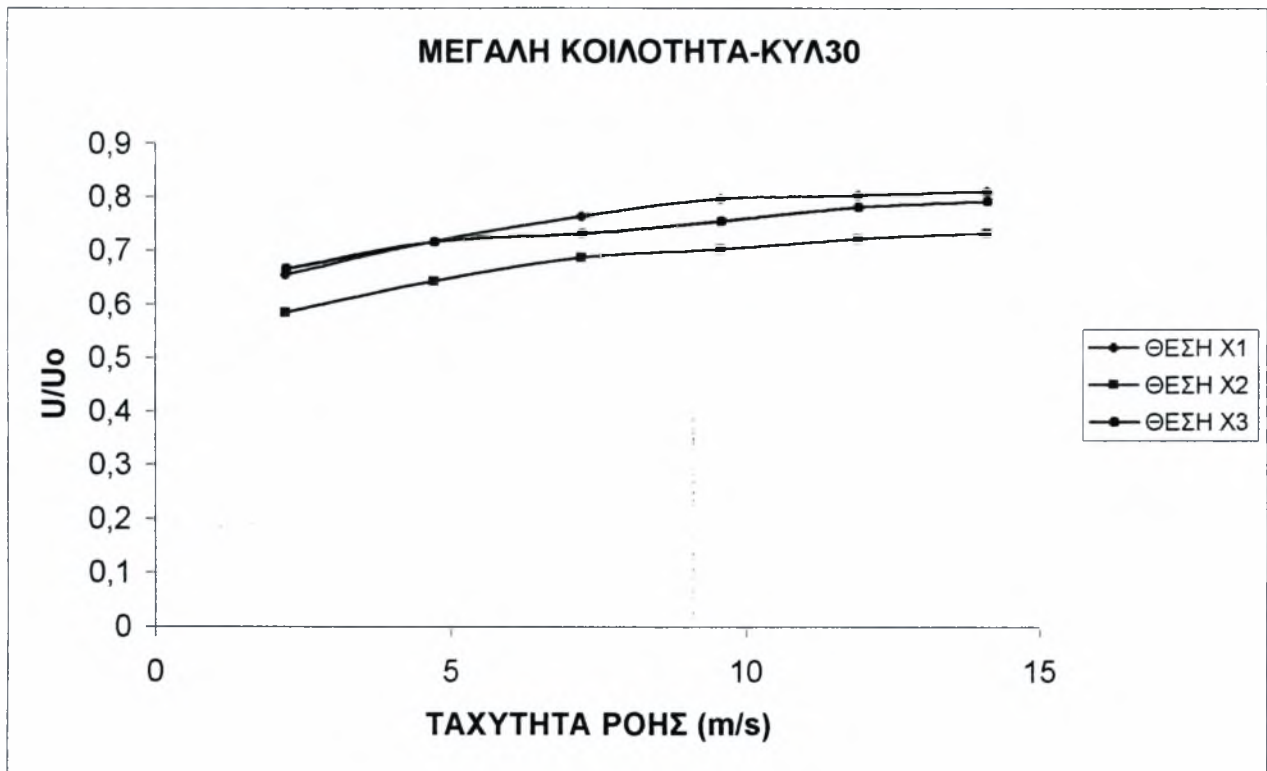
Σχήμα 4.18: Φάσματα ταχύτητας για τη μεγάλη κοιλότητα με τον κύλινδρο 6cm στη θέση X3

Από το διάγραμμα της ταχύτητας φαίνεται πως μεγαλύτερες τιμές ταχύτητας παρατηρούνται στη θέση X1 με μέγιστη τιμή τα $0.81U_0$ για ταχύτητες ροής 15m/s. Ωστόσο και στις άλλες θέσεις η ταχύτητα παίρνει παρόμοιες τιμές με τις χαμηλότερες να εμφανίζονται στη θέση X2.

Από τα διαγράμματα spectra φαίνεται ότι για ταχύτητες 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 και 15 m/s οι κύριες συχνότητες δινών Von Karman για τη θέση X1 είναι 9.76, 17.57, 27.34, 35.15, 44.92 και 52.73 Hz αντίστοιχα.

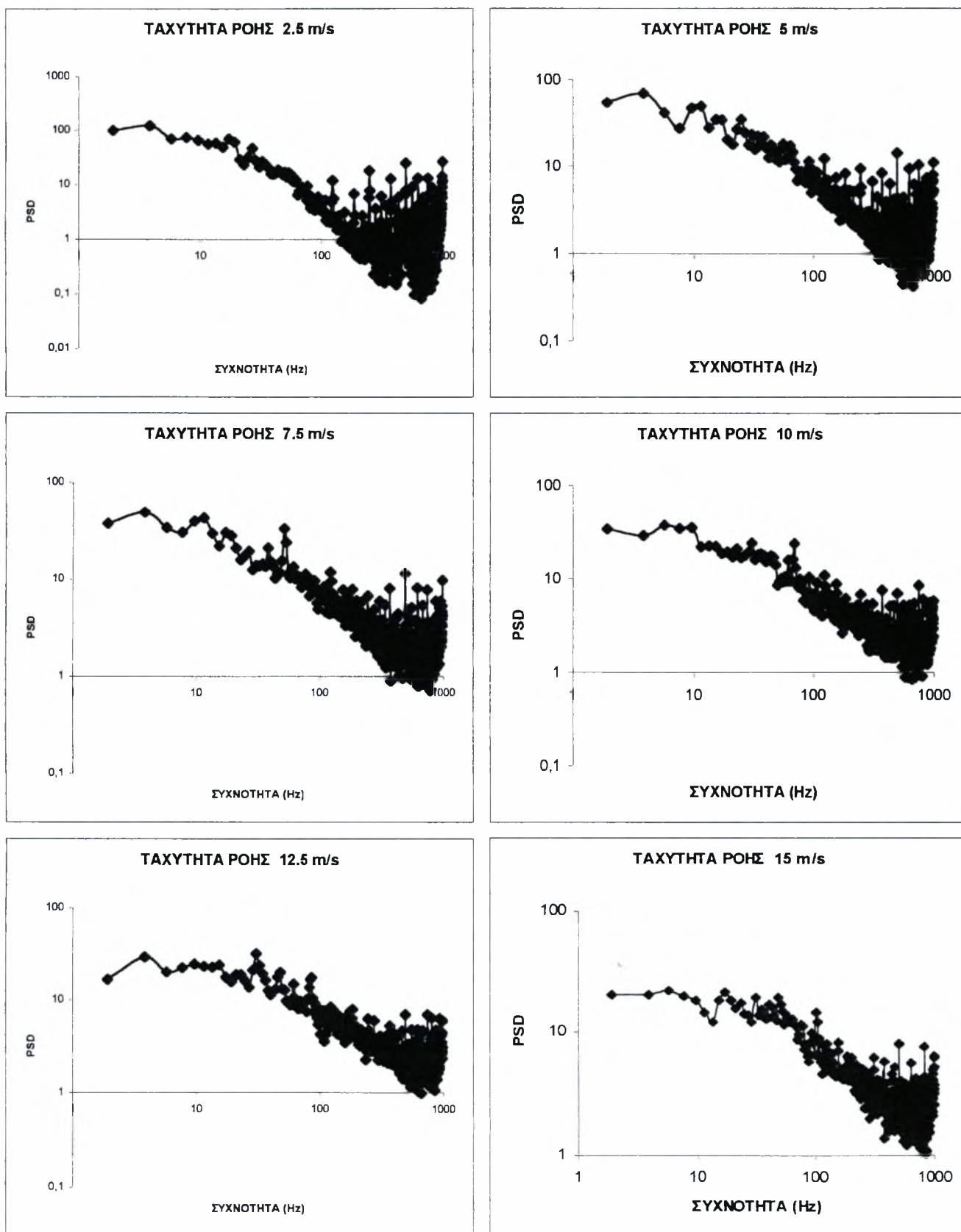
Οι κύριες συχνότητες για τη θέση X2 είναι 7.81, 17.57, 27.34, 35.15, 42.96 και 52.73 Hz, ενώ για τη θέση X3 είναι 9.76, 17.57, 27.34, 35.15, 44.92 και 54.68 Hz. Επίσης για τη θέση X2 υπάρχει μια συχνότητα (62.5 Hz) η οποία εμφανίζεται σε όλες τις ταχύτητες και οφείλεται στην ταλάντωση του μετρητικού οργάνου.

4.6 Μεγάλη κοιλότητα με κύλινδρο διαμέτρου 3 cm



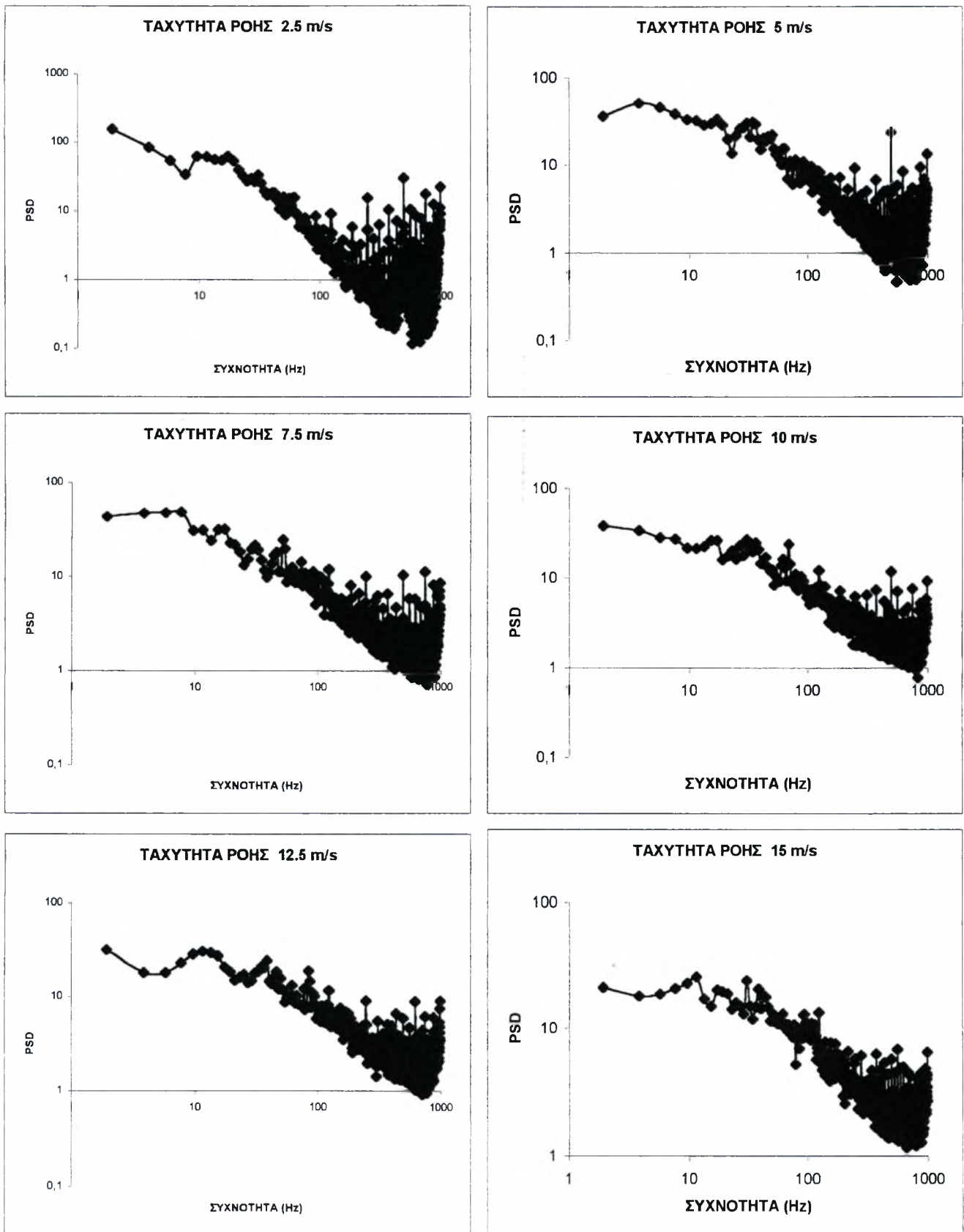
Σχήμα 4.19: Οι τιμές της ταχύτητας στα σημεία μετρήσεων

A) Αποτελέσματα για τη θέση X1



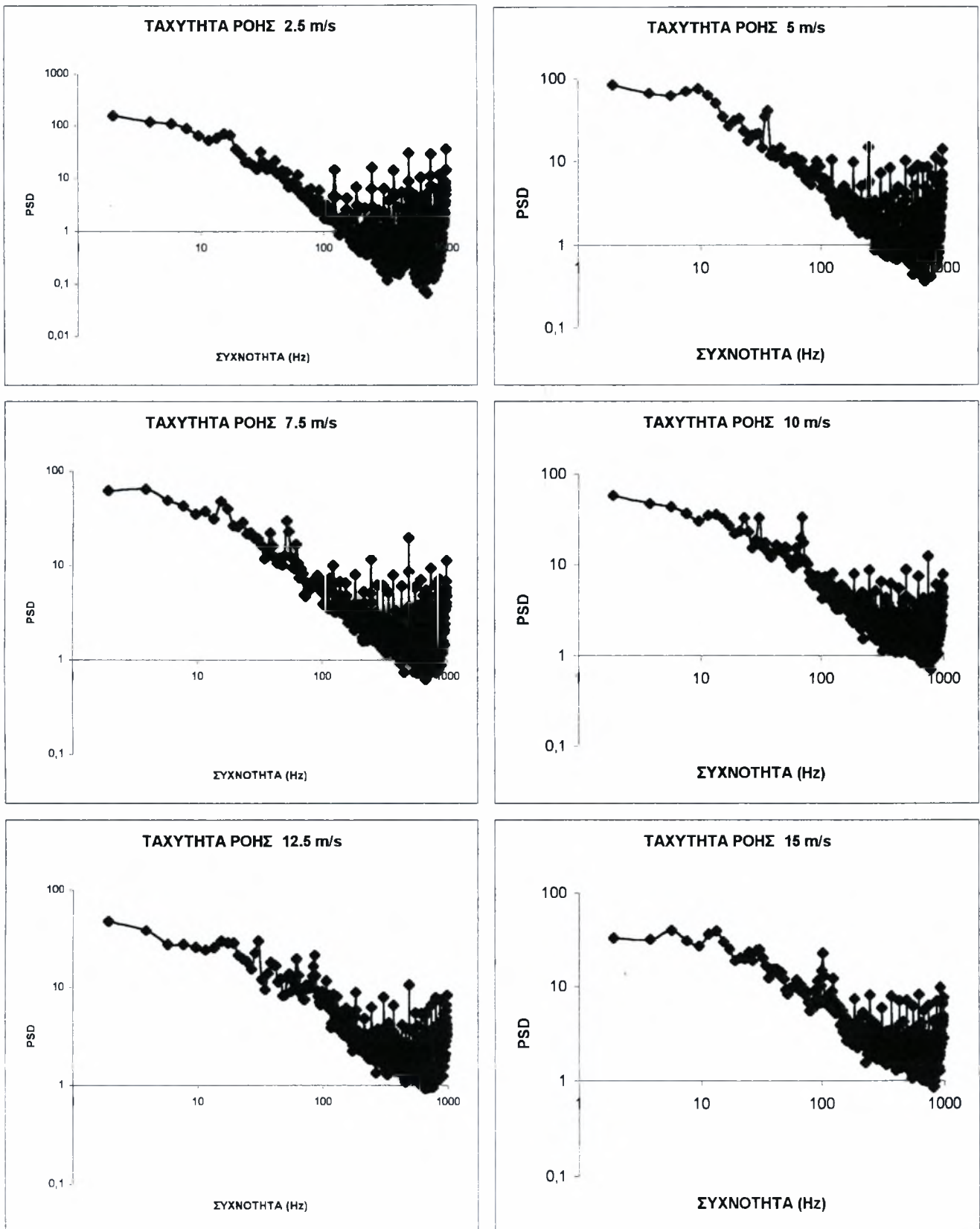
Σχήμα 4.20: Φάσματα ταχύτητας για τη μεγάλη κοιλότητα με τον κύλινδρο 3cm στη θέση X1

B) Αποτελέσματα για τη θέση X2



Σχήμα 4.21: Φάσματα ταχύτητας για τη μεγάλη κοιλότητα με τον κύλινδρο 3cm στη θέση X2

Γ) Αποτελέσματα για τη θέση X3



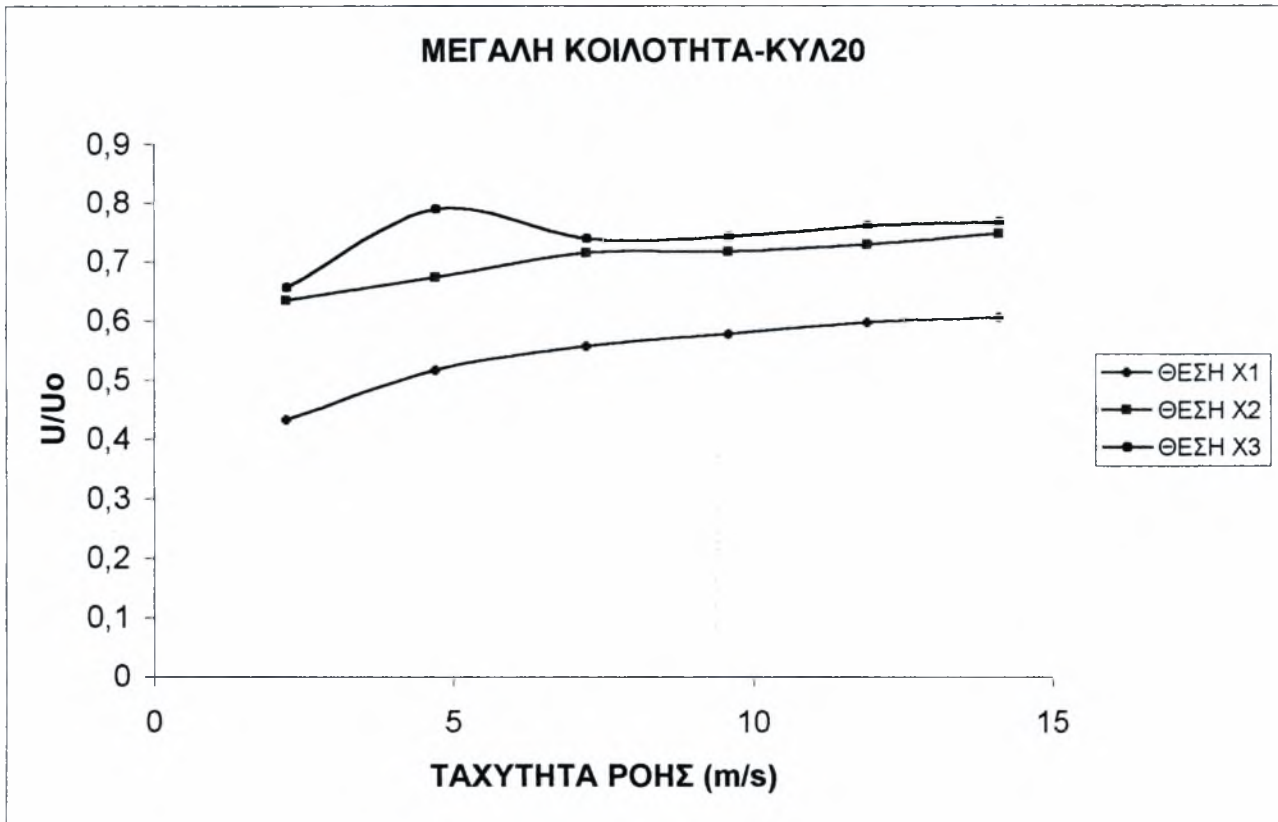
Σχήμα 4.22: Φάσματα ταχύτητας για τη μεγάλη κοιλότητα με τον κύλινδρο 3cm στη θέση X3

Από το διάγραμμα της ταχύτητας φαίνεται πως μεγαλύτερες τιμές ταχύτητας παρατηρούνται στη θέση X1, ενώ οι μικρότερες στη θέση X2. Ωστόσο δεν υπάρχει απότομη αύξηση σε καμία θέση και οι τιμές κυμαίνονται από $0.58U_0$ μέχρι $0.8U_0$.

Από τα διαγράμματα spectra φαίνεται ότι για ταχύτητες 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 και 15 m/s οι κύριες συχνότητες δινών Von Karman για τη θέση X1 είναι 11.57, 35.15, 52.73, 70.31, 87.89 και 101.56 Hz αντίστοιχα.

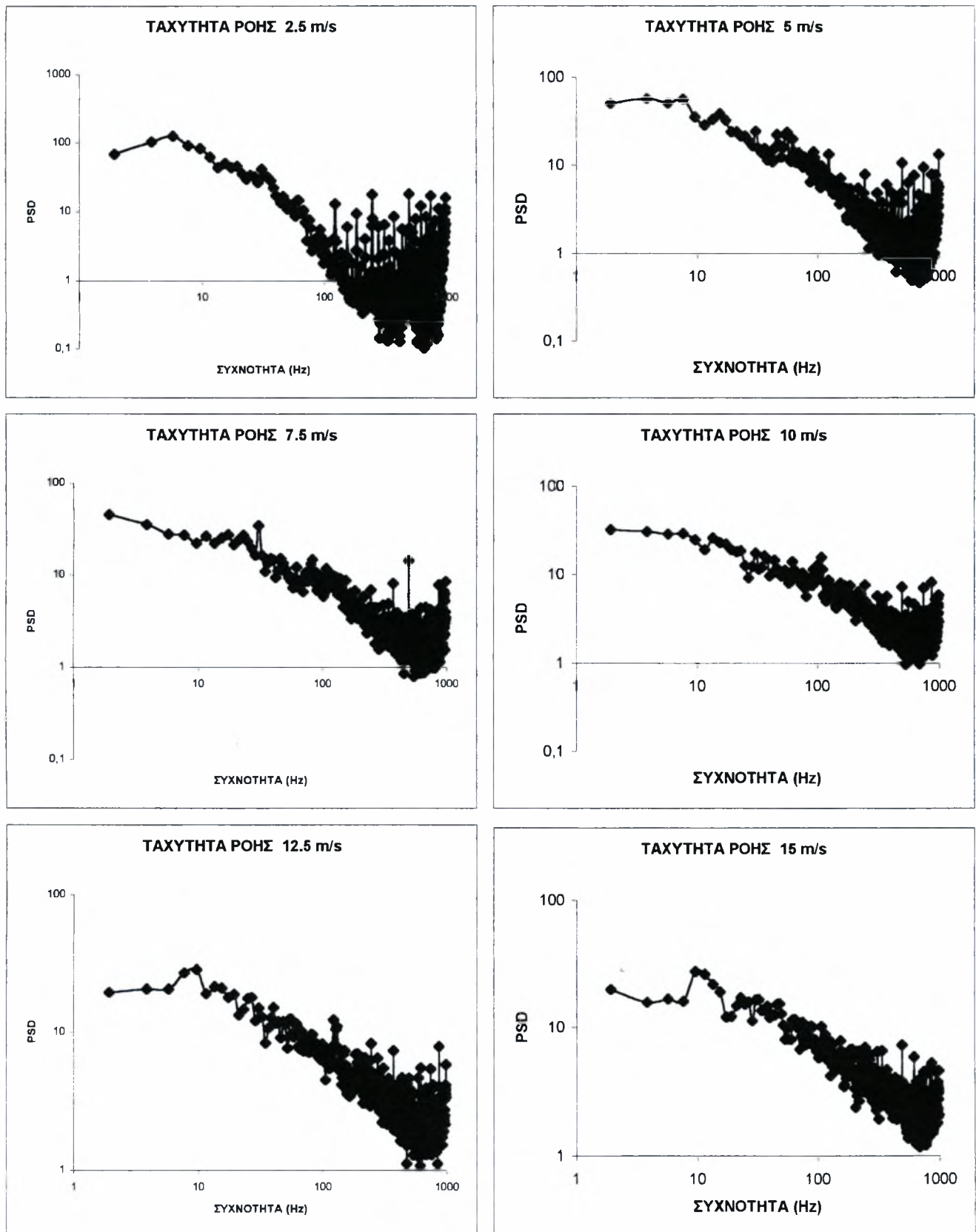
Για τη θέση X2 οι συχνότητες είναι ίδιες με τη θέση X1 εκτός από την ταχύτητα 2.5 m/s όπου έχει τιμή 17.57 Hz. Για τη θέση X3 οι κύριες συχνότητες είναι 15.62, 37.10, 52.73, 70.31, 87.89 και 103.51 Hz. Τέλος στις θέσεις X2 και X3 η συχνότητα 62.5 Hz εμφανίζεται σε όλες τις ταχύτητες και αντιστοιχεί στην ταλάντωση του μετρητικού οργάνου.

4.7 Μεγάλη κοιλότητα με κύλινδρο διαμέτρου 2 cm



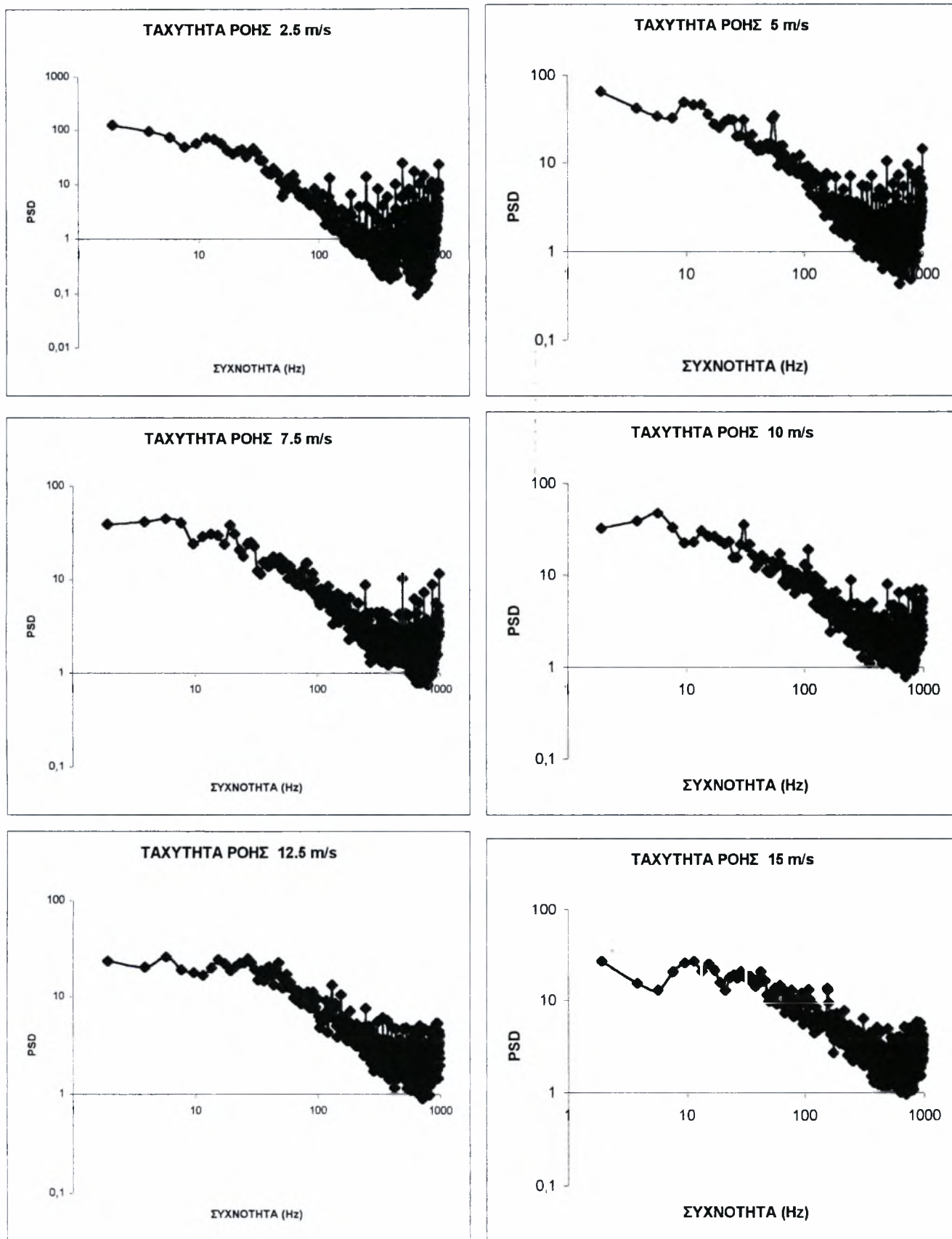
Σχήμα 4.23: Οι τιμές της ταχύτητας στις θέσεις μετρήσεων

A) Αποτελέσματα για τη θέση X1



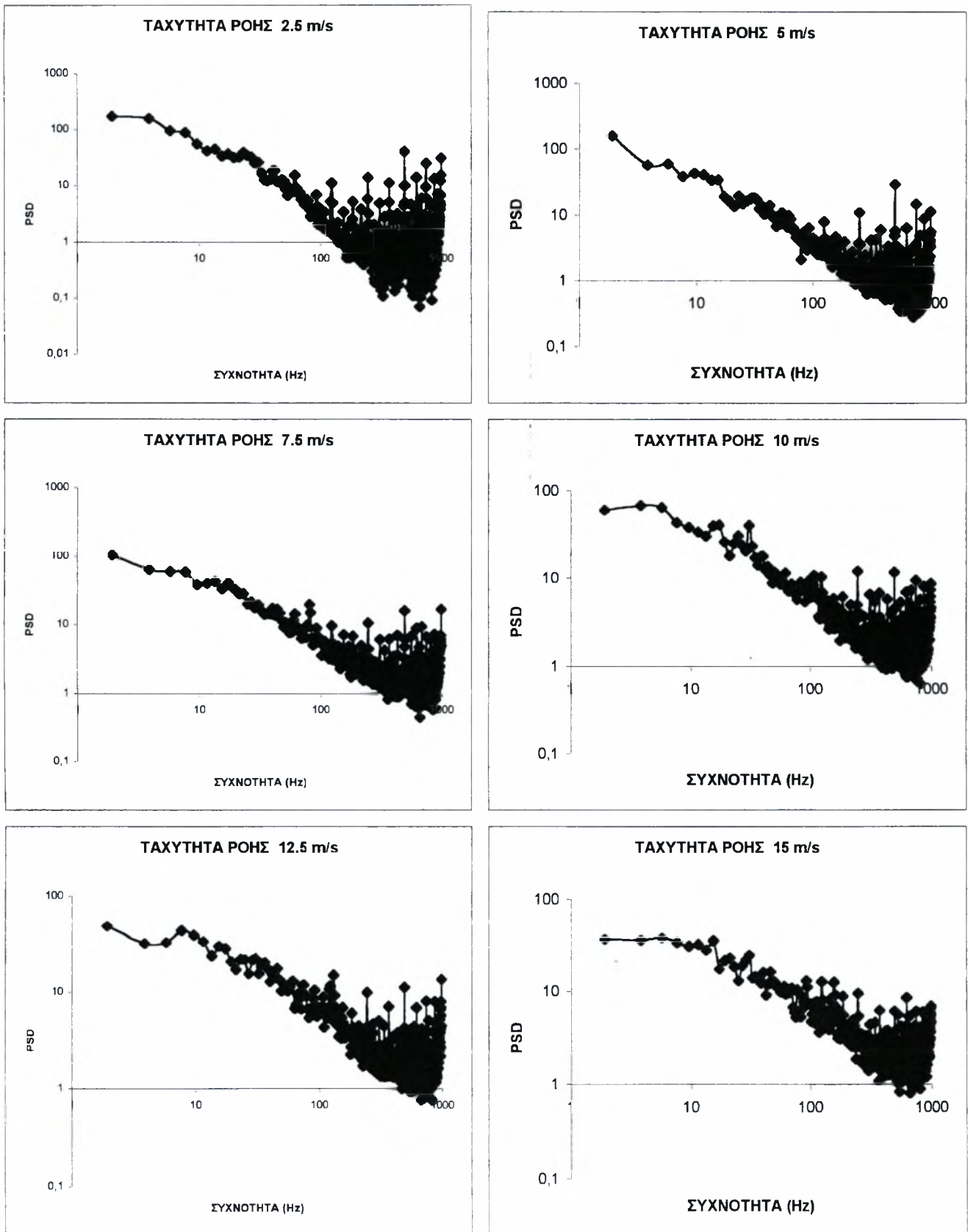
Σχήμα 4.24: Φάσματα ταχύτητας για τη μεγάλη κοιλότητα με τον κύλινδρο 2cm στη θέση X1

Β) Αποτελέσματα για τη θέση X2



Σχήμα 4.25: Φάσματα ταχύτητας για τη μεγάλη κοιλότητα με τον κύλινδρο 2cm στη θέση X2

Γ) Αποτελέσματα για τη θέση X3

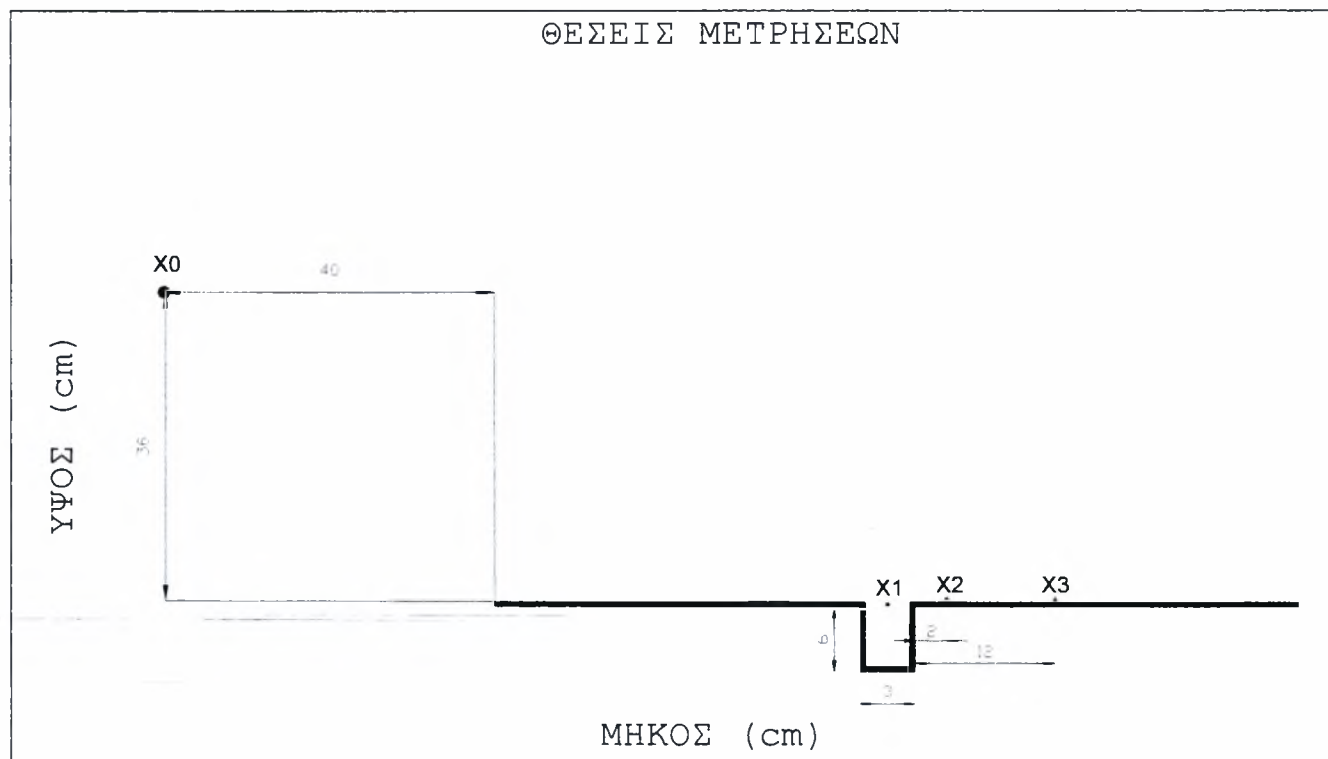


Σχήμα 4.26: Φάσματα ταχύτητας για τη μεγάλη κοιλότητα με τον κύλινδρο 2cm στη θέση X3

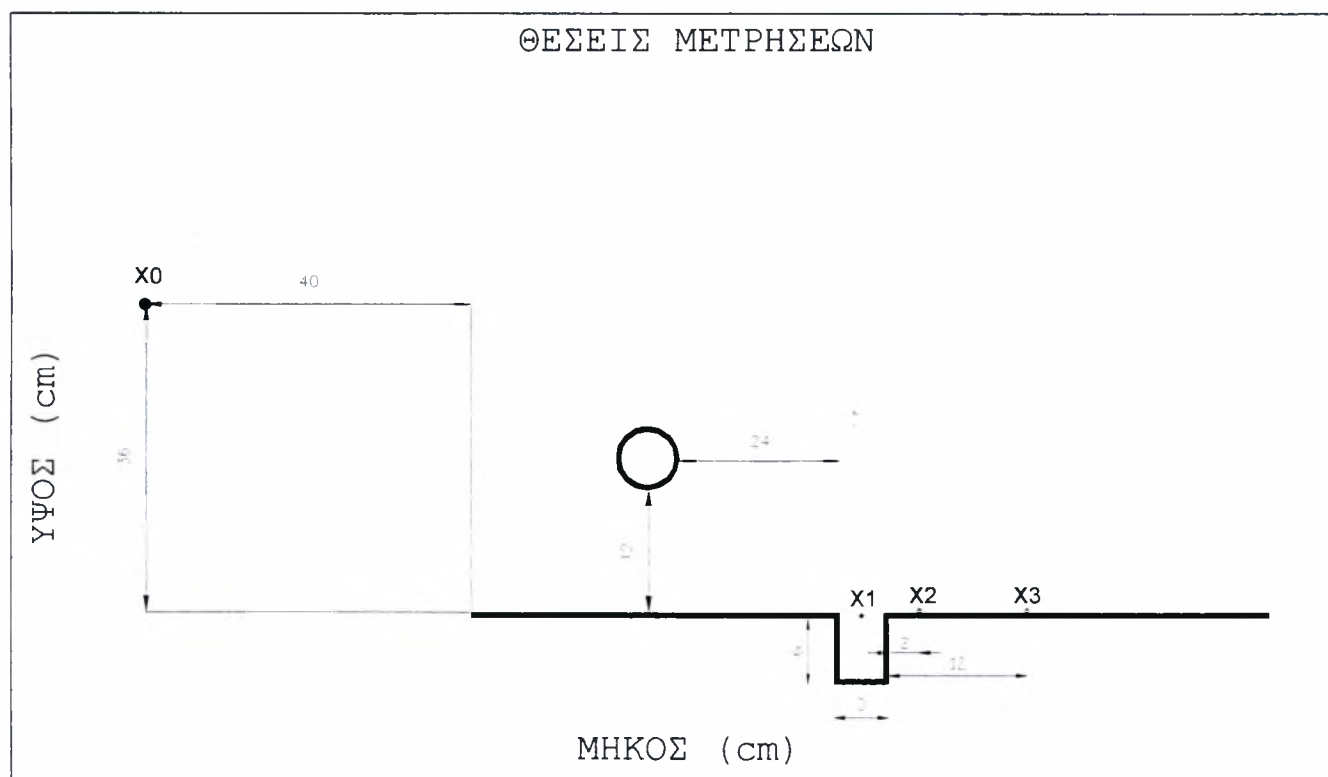
Από το διάγραμμα της ταχύτητας φαίνεται πως μεγαλύτερες τιμές ταχύτητας παρατηρούνται στη θέση X3 και παρόμοιες στη θέση X2. Σε αντίθεση με τις προηγούμενες περιπτώσεις όπου υπήρχε κύλινδρος εδώ οι χαμηλότερες τιμές ταχύτητας παρατηρούνται στη θέση X1.

Από τα διαγράμματα spectra φαίνεται ότι για ταχύτητες 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 και 15 m/s οι κύριες συχνότητες δινών Von Karman για τη θέση X1 είναι 15.62, 31.25, 46.87, 62.5, 82.03 και 97.65 Hz αντίστοιχα.

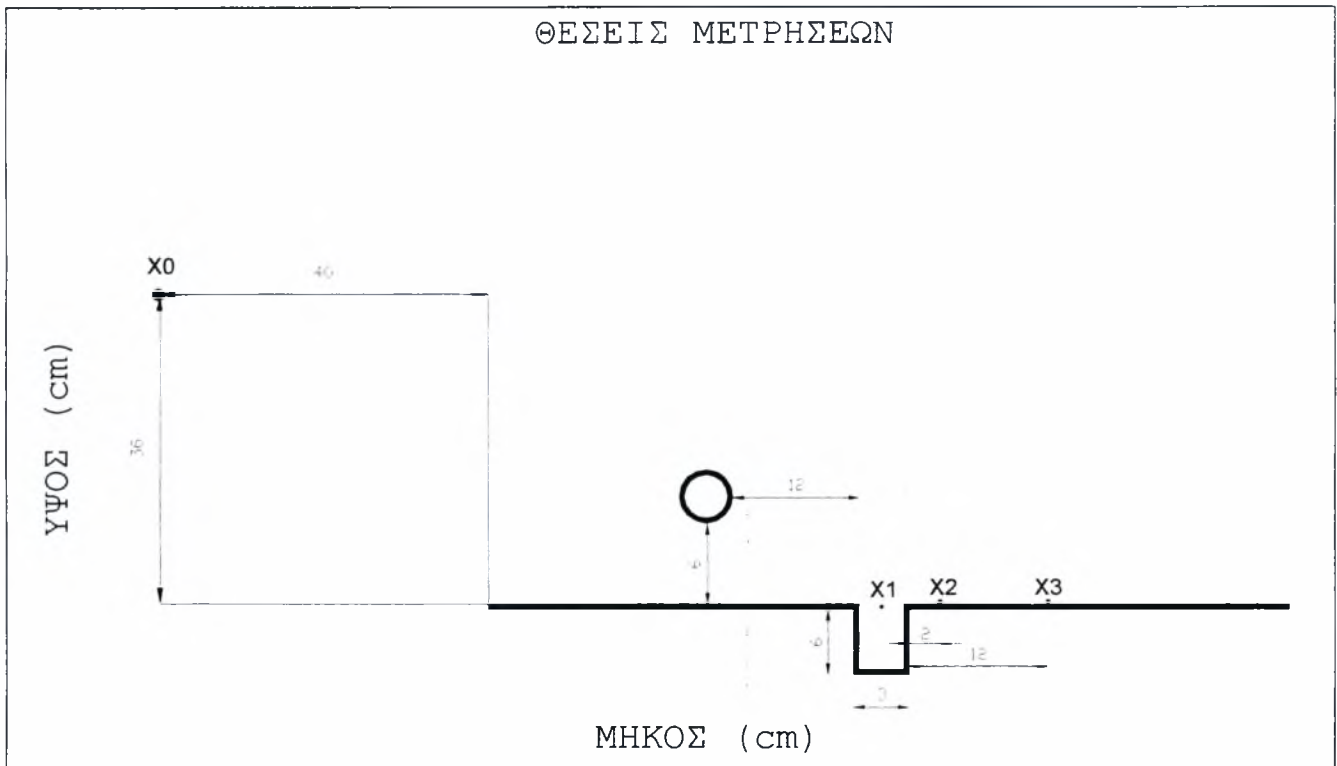
Για τη θέση X2 οι κύριες συχνότητες είναι 11.71, 31.25, 44.92, 62.5, 76.17 και 95.70 Hz, ενώ για τη θέση X3 είναι 17.57, 31.25, 44.92, 62.5, 76.17 και 93.75 Hz.



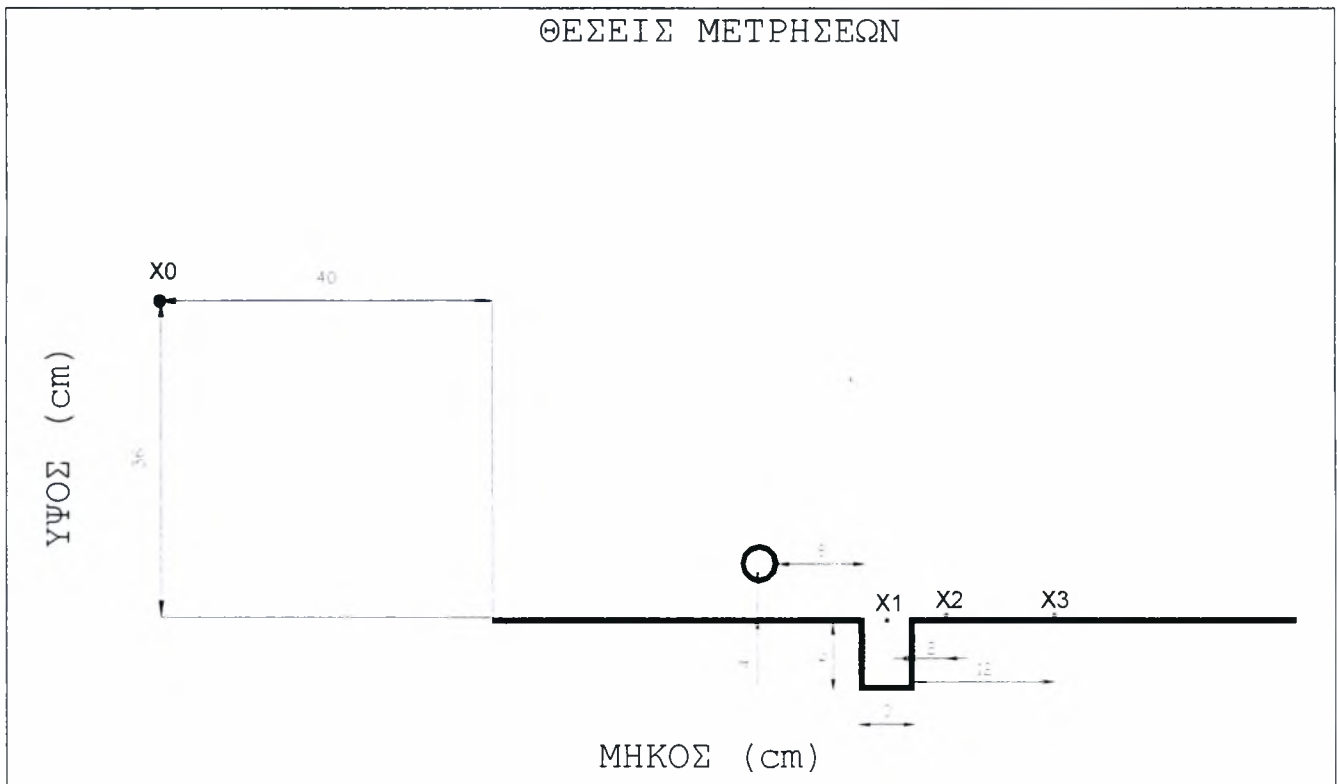
Σχήμα 4.27: Θέσεις μέτρησης ταχύτητας μεσαίας κοιλότητας χωρίς κύλινδρο (το σημείο X0 είναι το σημείο μέτρησης της ταχύτητας αναφοράς U0)



Σχήμα 4.28: Θέσεις μέτρησης ταχύτητας μεσαίας κοιλότητας με κύλινδρο διαμέτρου 6 cm (το σημείο X0 είναι το σημείο μέτρησης της ταχύτητας αναφοράς U0)

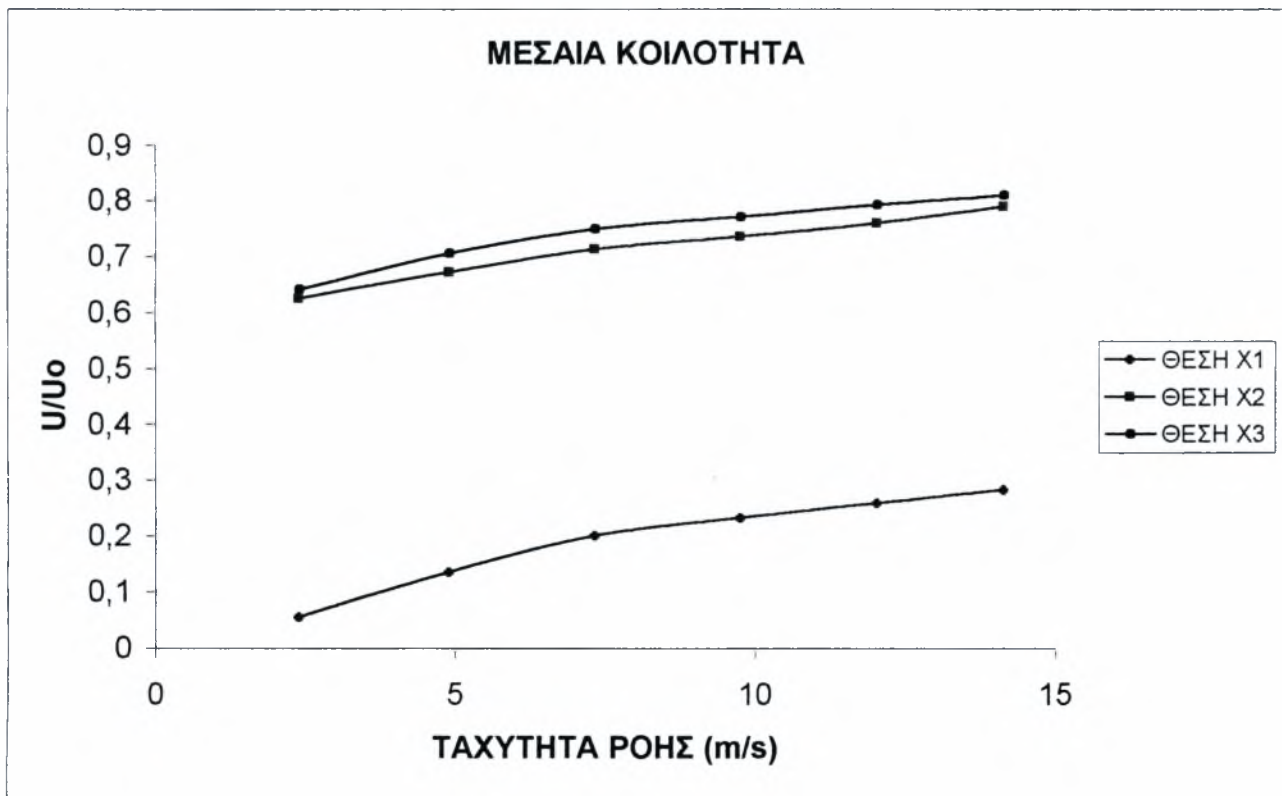


Σχήμα 4.29: Θέσεις μέτρησης ταχύτητας μεσαίας κοιλότητας με κύλινδρο διαμέτρου 3 cm (το σημείο X0 είναι το σημείο μέτρησης της ταχύτητας αναφοράς U0)



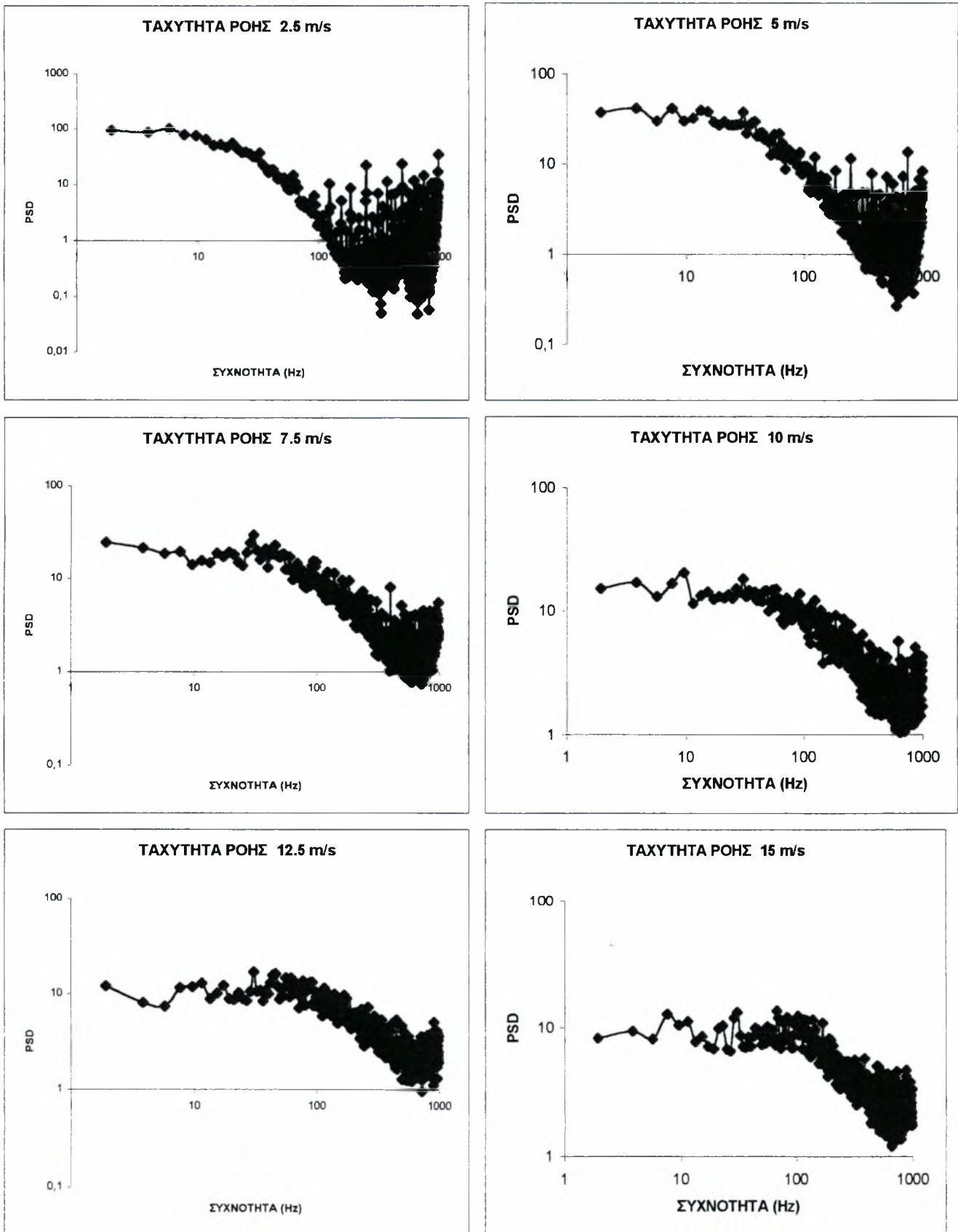
Σχήμα 4.30: Θέσεις μέτρησης ταχύτητας μεσαίας κοιλότητας με κύλινδρο διαμέτρου 2 cm (το σημείο X0 είναι το σημείο μέτρησης της ταχύτητας αναφοράς U0)

4.8 Μεσαία κοιλότητα χωρίς κύλινδρο



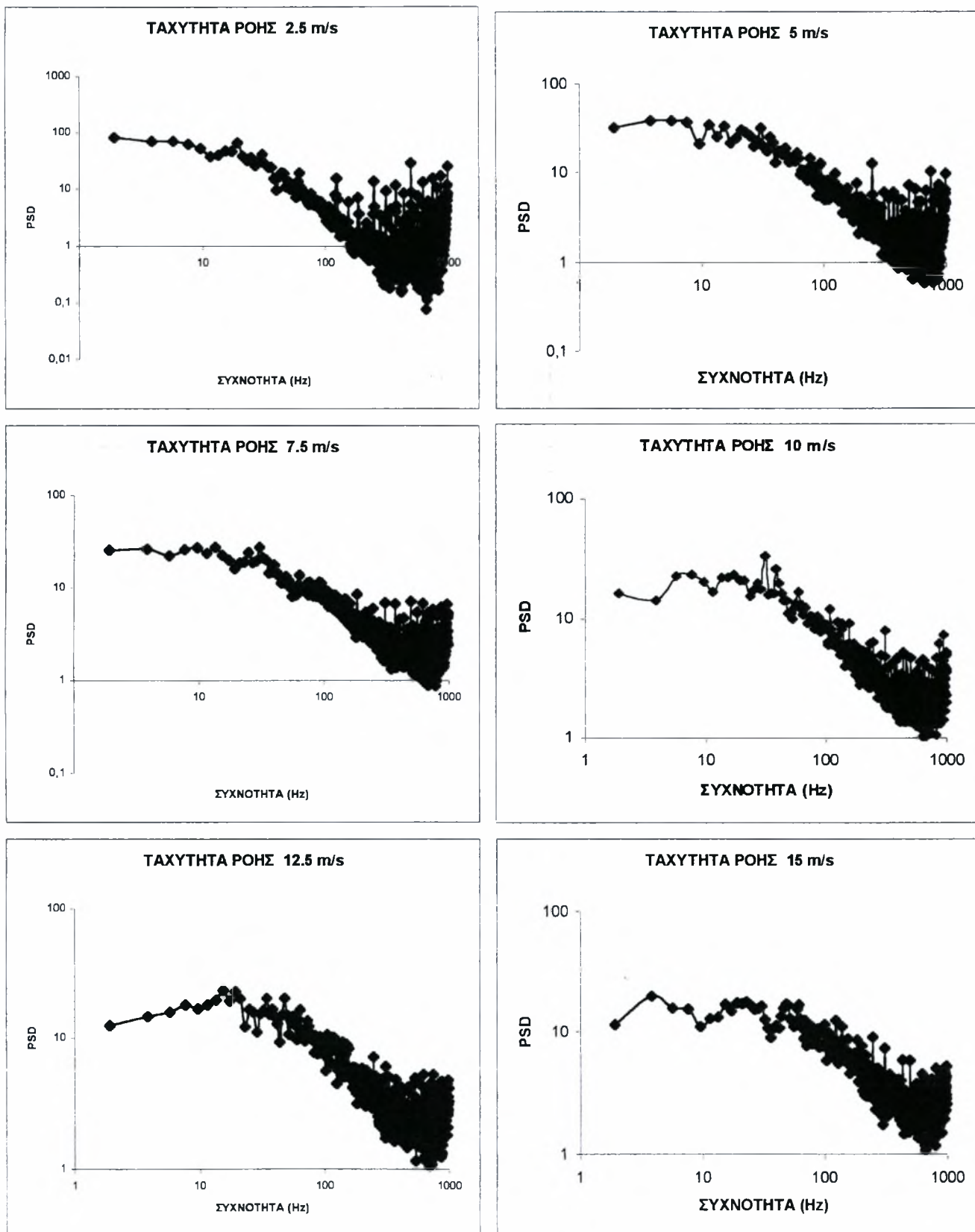
Σχήμα 4.31: Οι τιμές της ταχύτητας στις θέσεις μετρήσεων

A) Αποτελέσματα για τη θέση X1



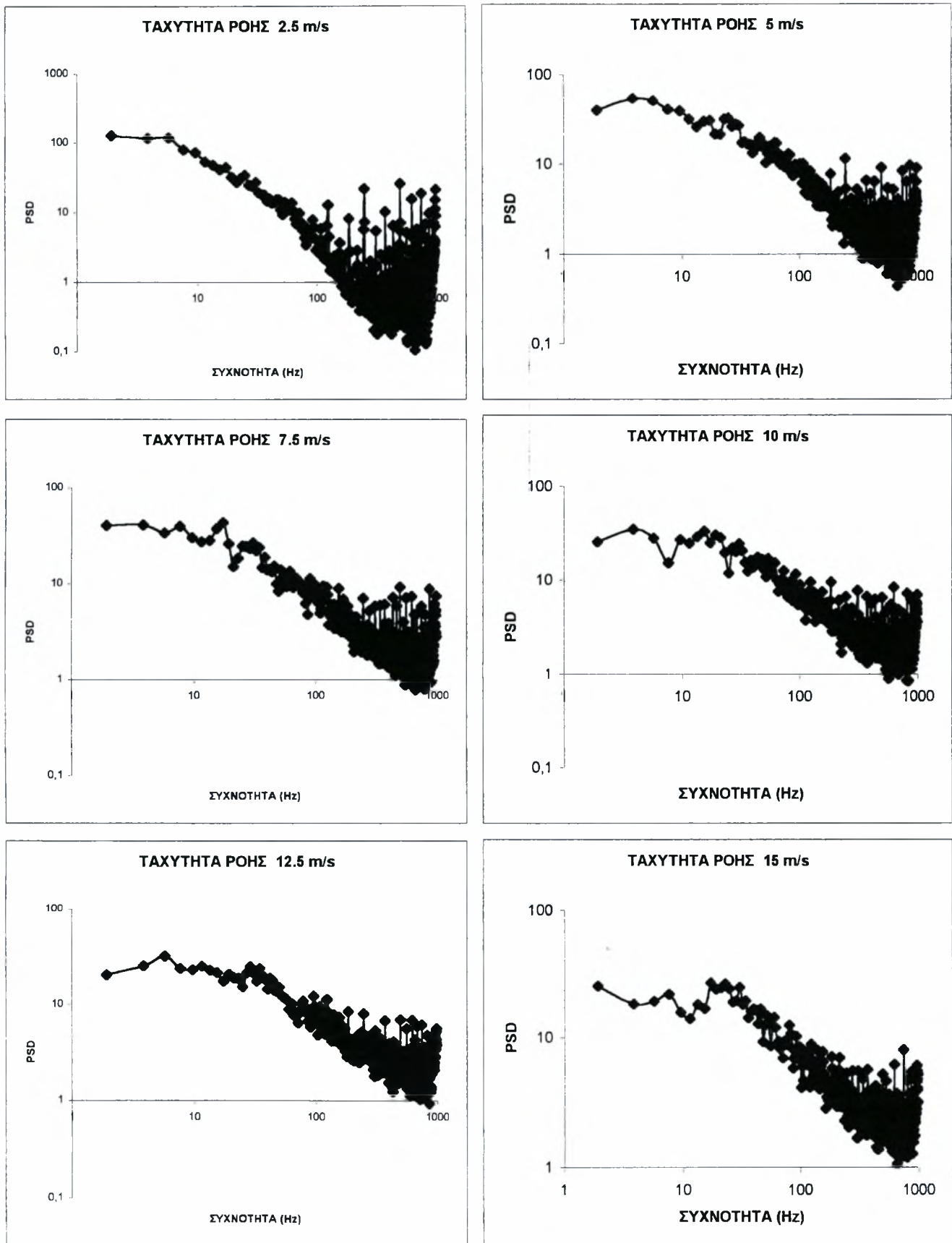
Σχήμα 4.32: Φάσματα ταχύτητας για τη μεσαία κοιλότητα στη θέση X1

B) Αποτελέσματα για τη θέση X2



Σχήμα 4.33: Φάσματα ταχύτητας για τη μεσαία κοιλότητα στη θέση X2

Γ) Αποτελέσματα για τη θέση X3



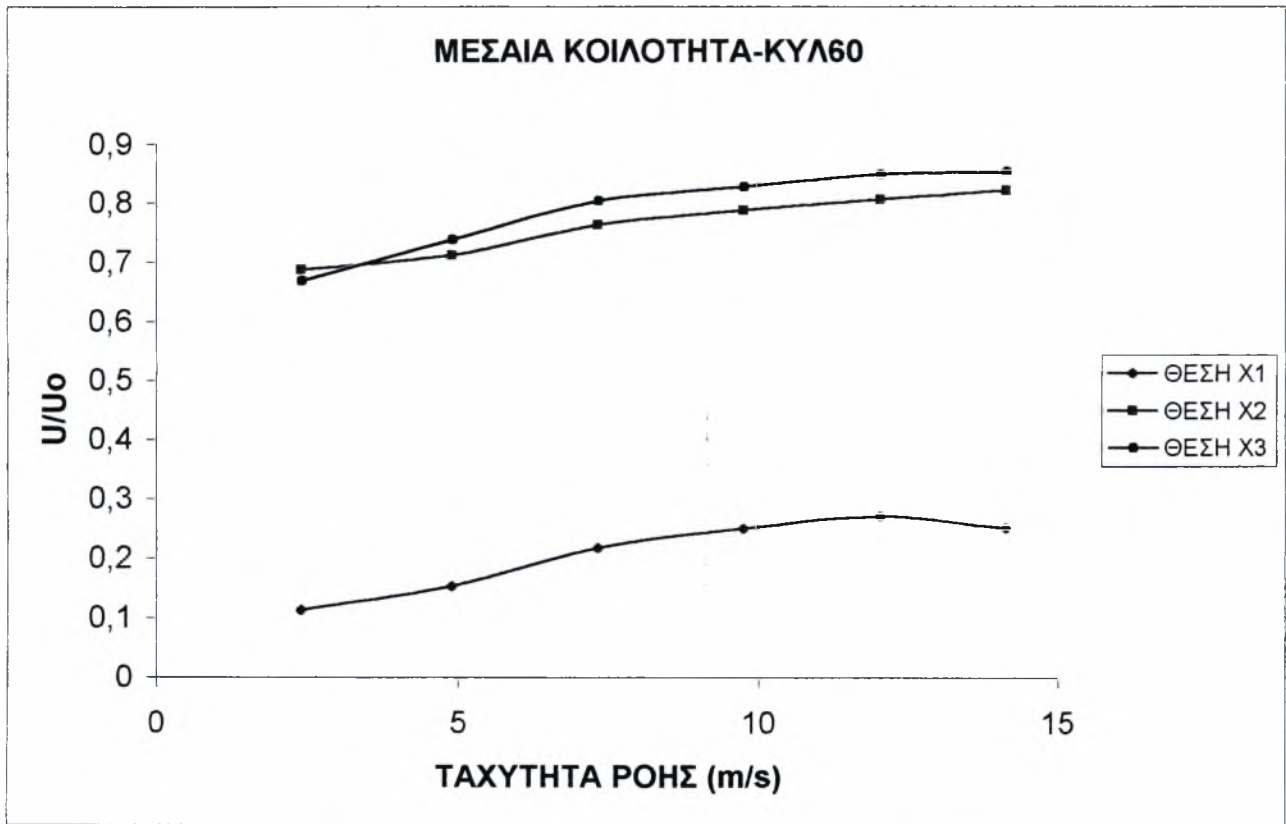
Σχήμα 4.34: Φάσματα ταχύτητας για τη μεσαία κοιλότητα στη θέση X3

Από το διάγραμμα της ταχύτητας φαίνεται πως μεγαλύτερες τιμές ταχύτητας παρατηρούνται στη θέση X3 και παρόμοιες στη θέση X2. Και στις δύο θέσεις φαίνεται μια μικρή αυξητική τάση με την ταχύτητα της ελεύθερης ροής. Στη θέση X1 η ταχύτητα παίρνει αρκετά πιο χαμηλές τιμές.

Από τα διαγράμματα spectra φαίνεται ότι για ταχύτητες 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 και 15 m/s οι κύριες συχνότητες δινών Von Karman για τη θέση X1 είναι 5.85, 13.67, 19.53, 23.43, 35.15 και 39.06 Hz αντίστοιχα.

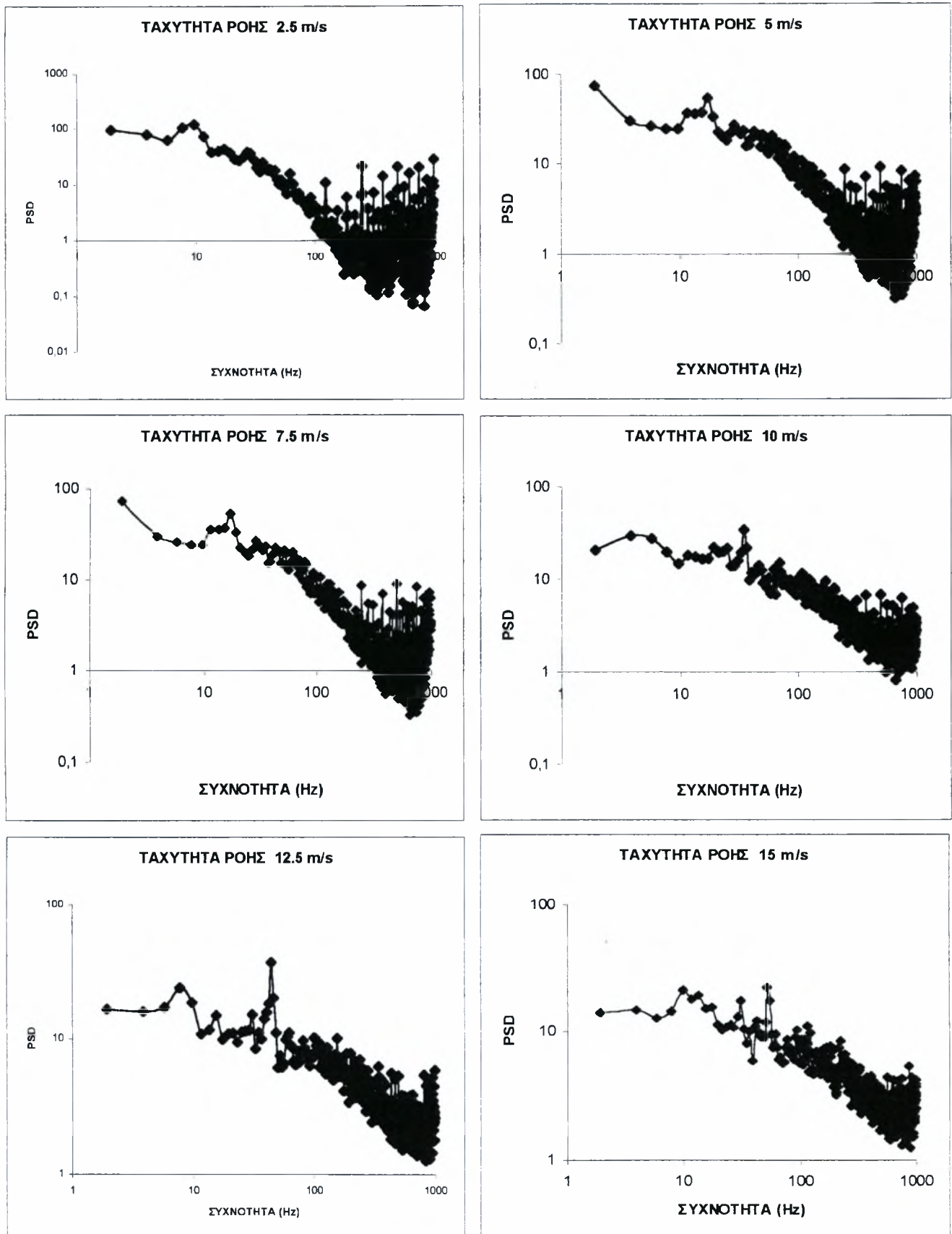
Για τη θέση X2 οι κύριες συχνότητες είναι 5.85, 11.71, 17.57, 21.48, 27.34 και 41.01 Hz, ενώ για τη θέση X3 5.85, 9.76, 17.57, 21.48, 29.29 και 35.15 Hz.

4.9 Μεσαία κοιλότητα με κύλινδρο 6 cm



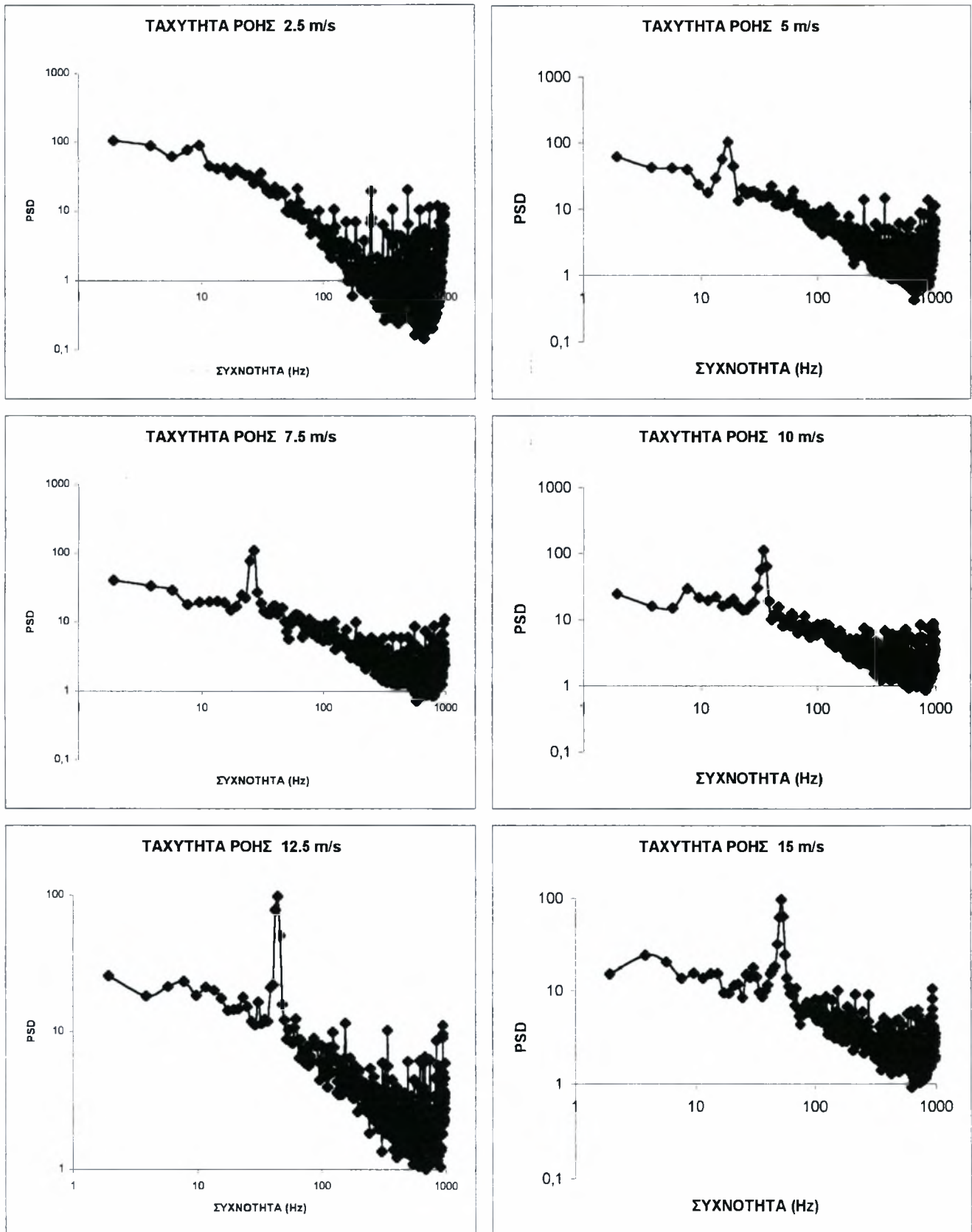
Σχήμα 4.35: Οι τιμές της ταχύτητας στις θέσεις μετρήσεων

A) Αποτελέσματα για τη θέση X1



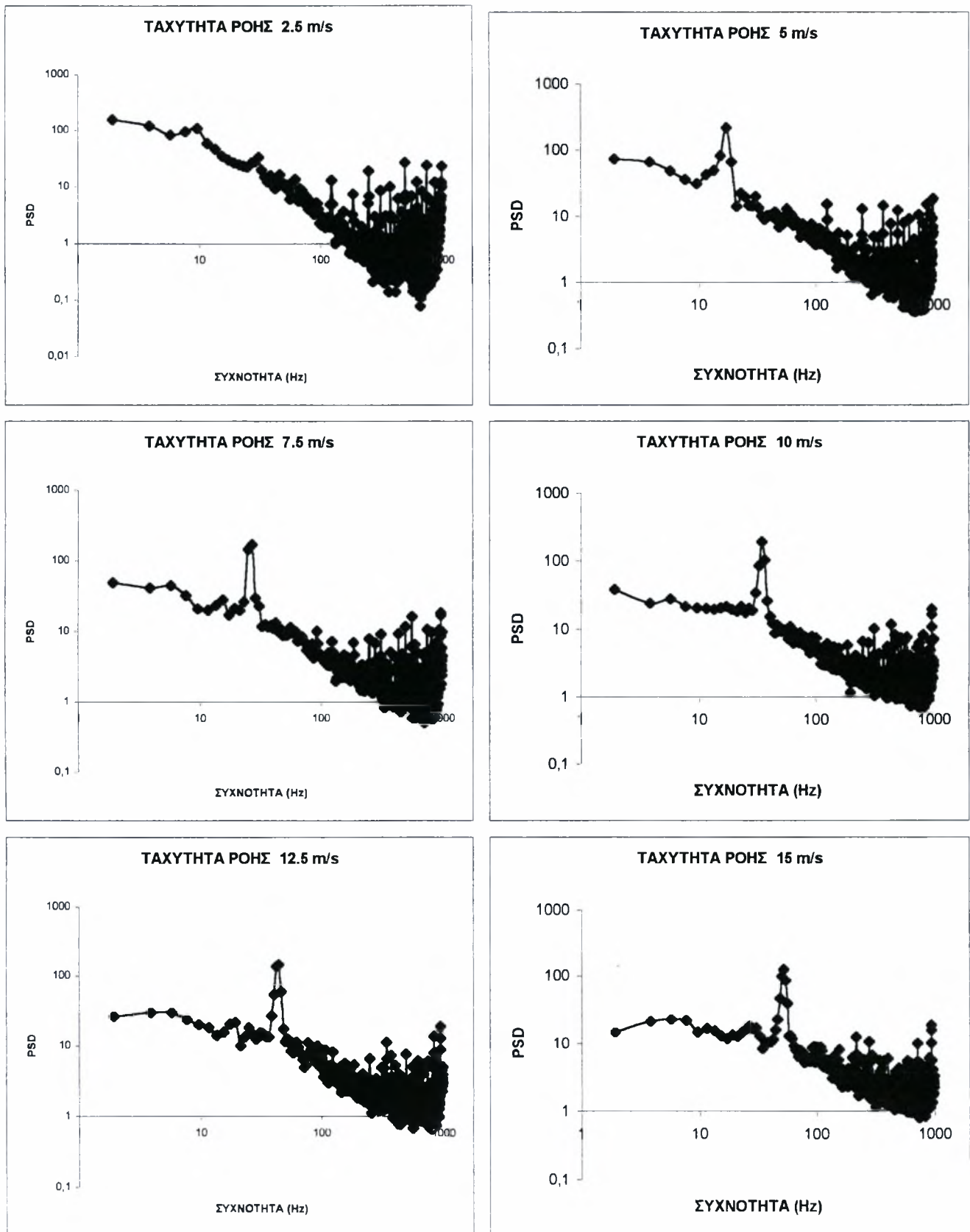
Σχήμα 4.36: Φάσματα ταχύτητας για τη μεσαία κοιλότητα με τον κύλινδρο 6cm στη θέση X1

Β) Αποτελέσματα για τη θέση X2



Σχήμα 4.37: Φάσματα ταχύτητας για τη μεσαία κοιλότητα με τον κύλινδρο 6cm στη θέση X2

Γ) Αποτελέσματα για τη θέση X3

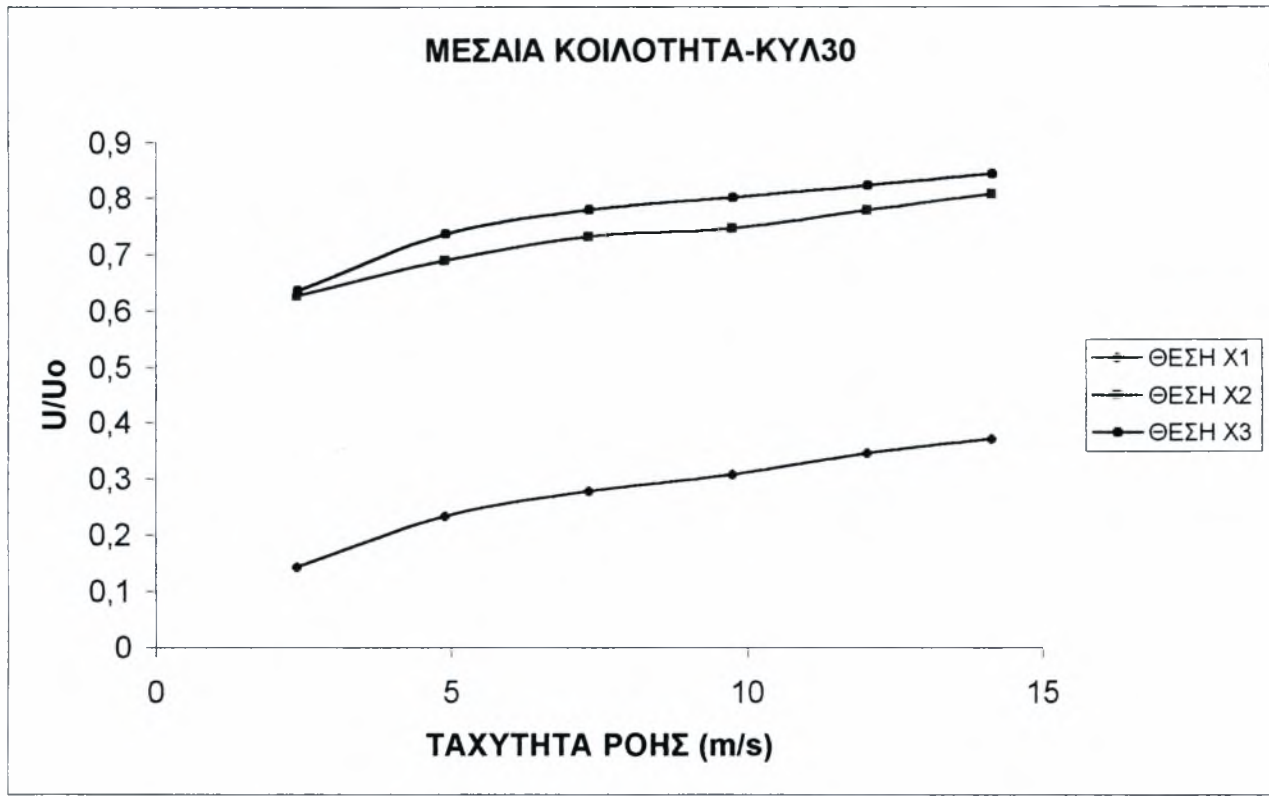


Σχήμα 4.38: Φάσματα ταχύτητας για τη μεσαία κοιλότητα με τον κύλινδρο 6cm στη θέση X3

Από το διάγραμμα της ταχύτητας φαίνεται πως μεγαλύτερες τιμές ταχύτητας παρατηρούνται στη θέση X3 και λίγο μικρότερες στη θέση X2. Στη θέση X1 η ταχύτητα παίρνει αρκετά χαμηλότερες τιμές.

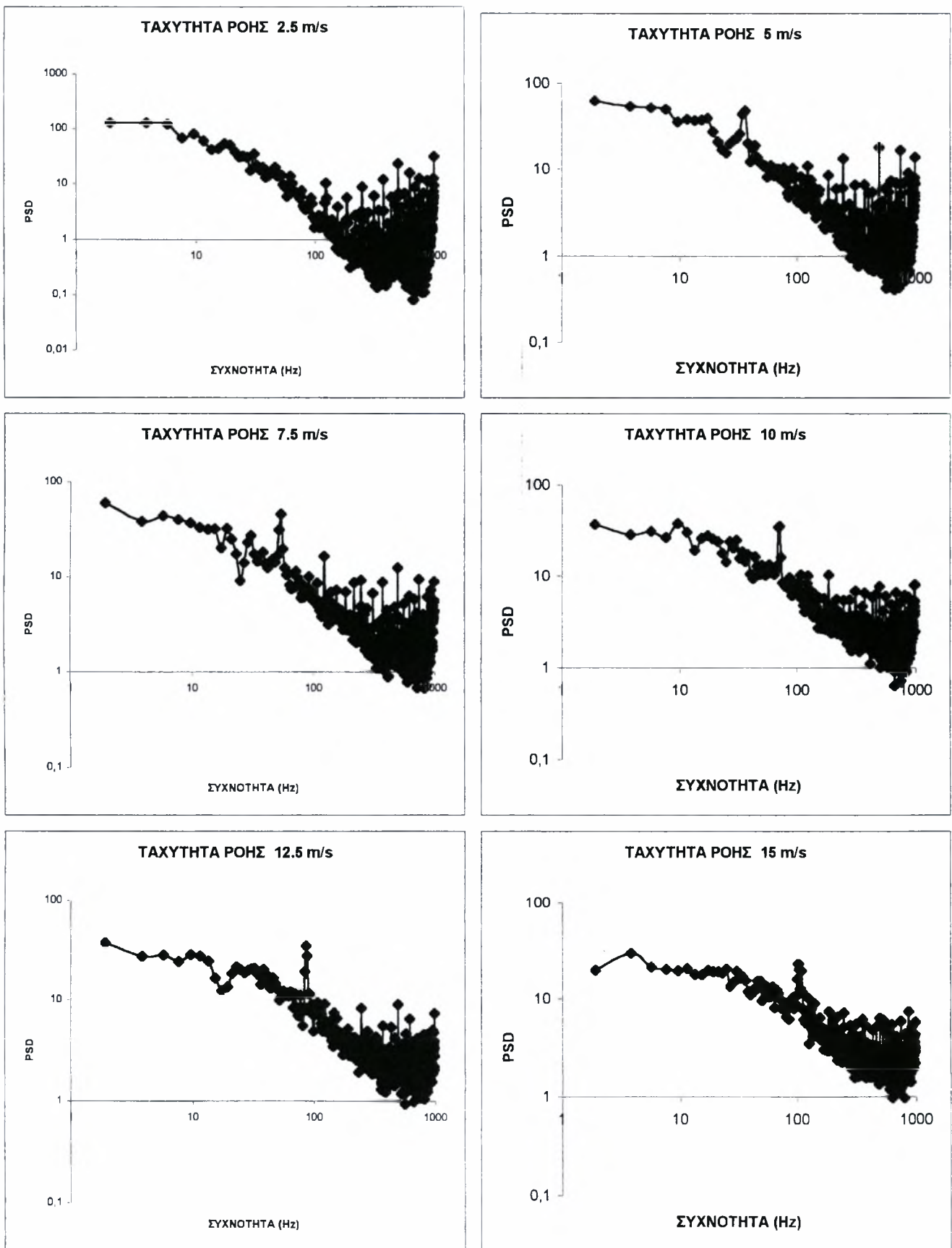
Από τα διαγράμματα spectra φαίνεται ότι για ταχύτητες 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 και 15 m/s οι κύριες συχνότητες δινών Von Karman για τη θέση X1 είναι 9.76, 17.57, 25.39, 35.15, 44.92 και 52.73 Hz αντίστοιχα. Ακριβώς οι ίδιες συχνότητες εμφανίζονται και στις θέσεις X2 και X3. Χαρακτηριστικό όλων των διαγραμμάτων είναι πως οι κύριες συχνότητες των δινών ξεχωρίζουν από τις υπόλοιπες, σε αντίθεση από την προηγούμενη περίπτωση όπου υπήρχε μόνο η κοιλότητα.

4.10 Μεσαία κοιλότητα με κύλινδρο διαμέτρου 3 cm



Σχήμα 4.39: Οι τιμές της ταχύτητας στις θέσεις μετρήσεων

Γ) Αποτελέσματα για τη θέση X3



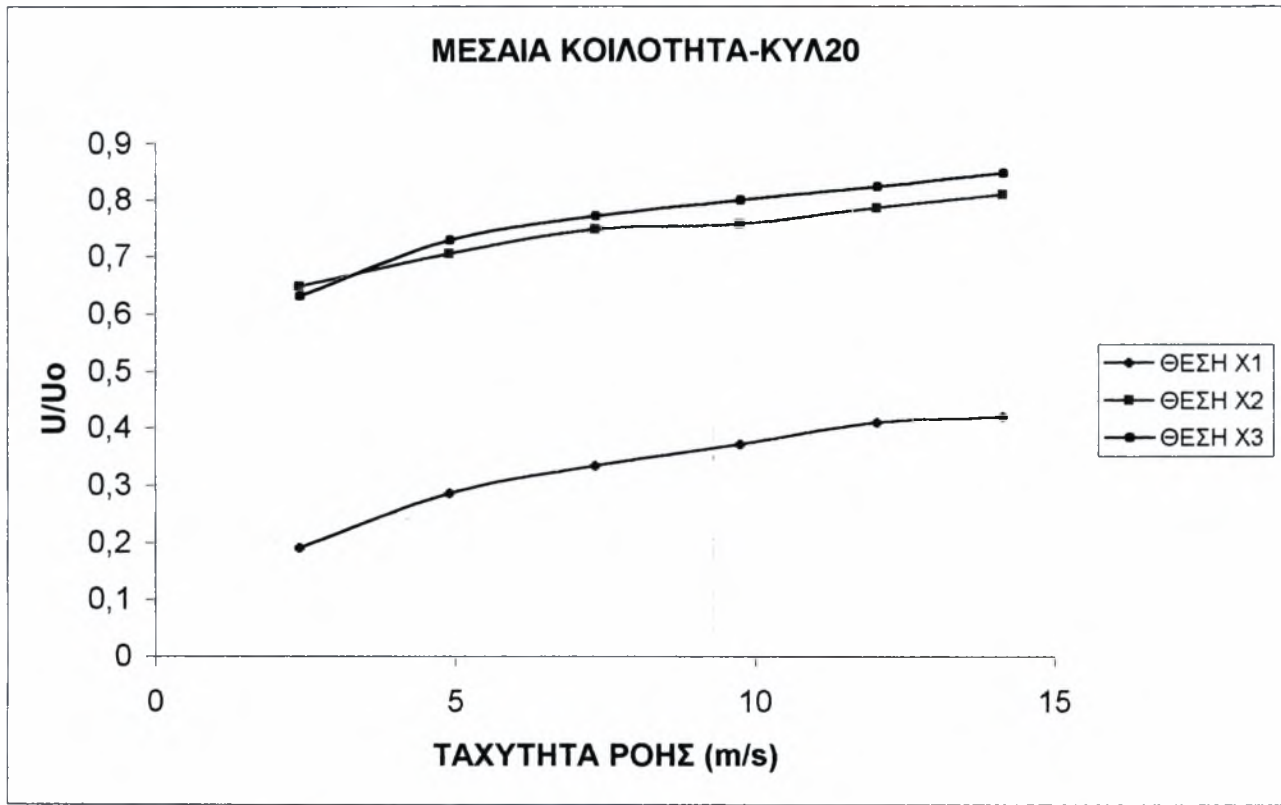
Σχήμα 4.42: Φάσματα ταχύτητας για τη μεσαία κοιλότητα με τον κύλινδρο 3cm στη θέση X3

Από το διάγραμμα της ταχύτητας φαίνεται πως μεγαλύτερες τιμές ταχύτητας παρατηρούνται στη θέση X3 και λίγο μικρότερες στη θέση X2. Στη θέση X1 η ταχύτητα παίρνει αρκετά χαμηλότερες τιμές.

Από τα διαγράμματα spectra φαίνεται ότι για ταχύτητες 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 και 15 m/s οι κύριες συχνότητες δινών Von Karman για τη θέση X1 είναι 19.53, 37.1, 54.68, 72.26, 87.89 και 105.46 Hz αντίστοιχα.

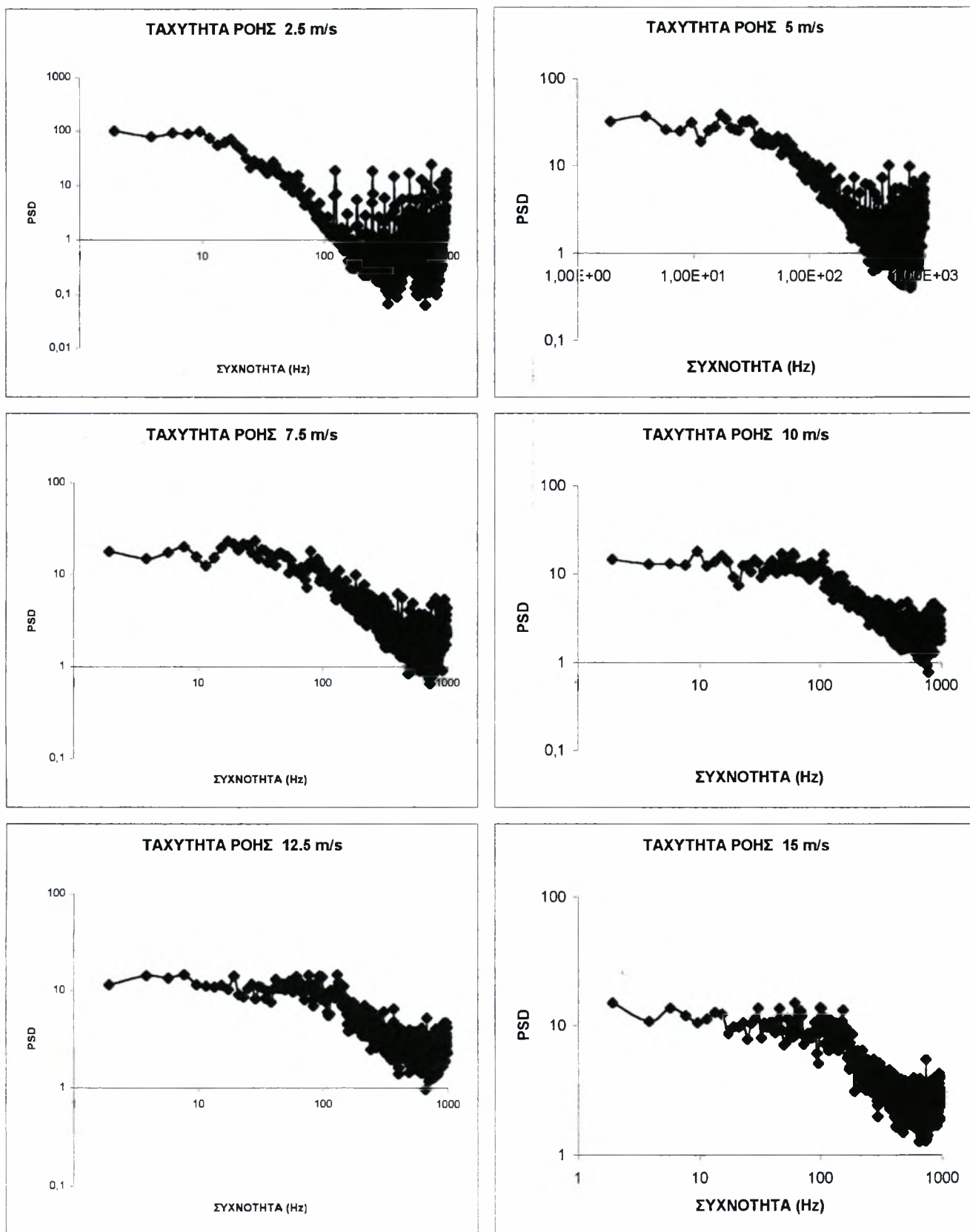
Για τη θέση X2 οι κύριες συχνότητες των δινών είναι ίδιες εκτός από τις ταχύτητες 2.5 και 15 m/s όπου έχουν τιμή 17.27 και 103.51 Hz αντίστοιχα. Αυτές ακριβώς οι συχνότητες εμφανίζονται και στη θέση X3.

4.11 Μεσαία κοιλότητα με κύλινδρο διαμέτρου 2 cm



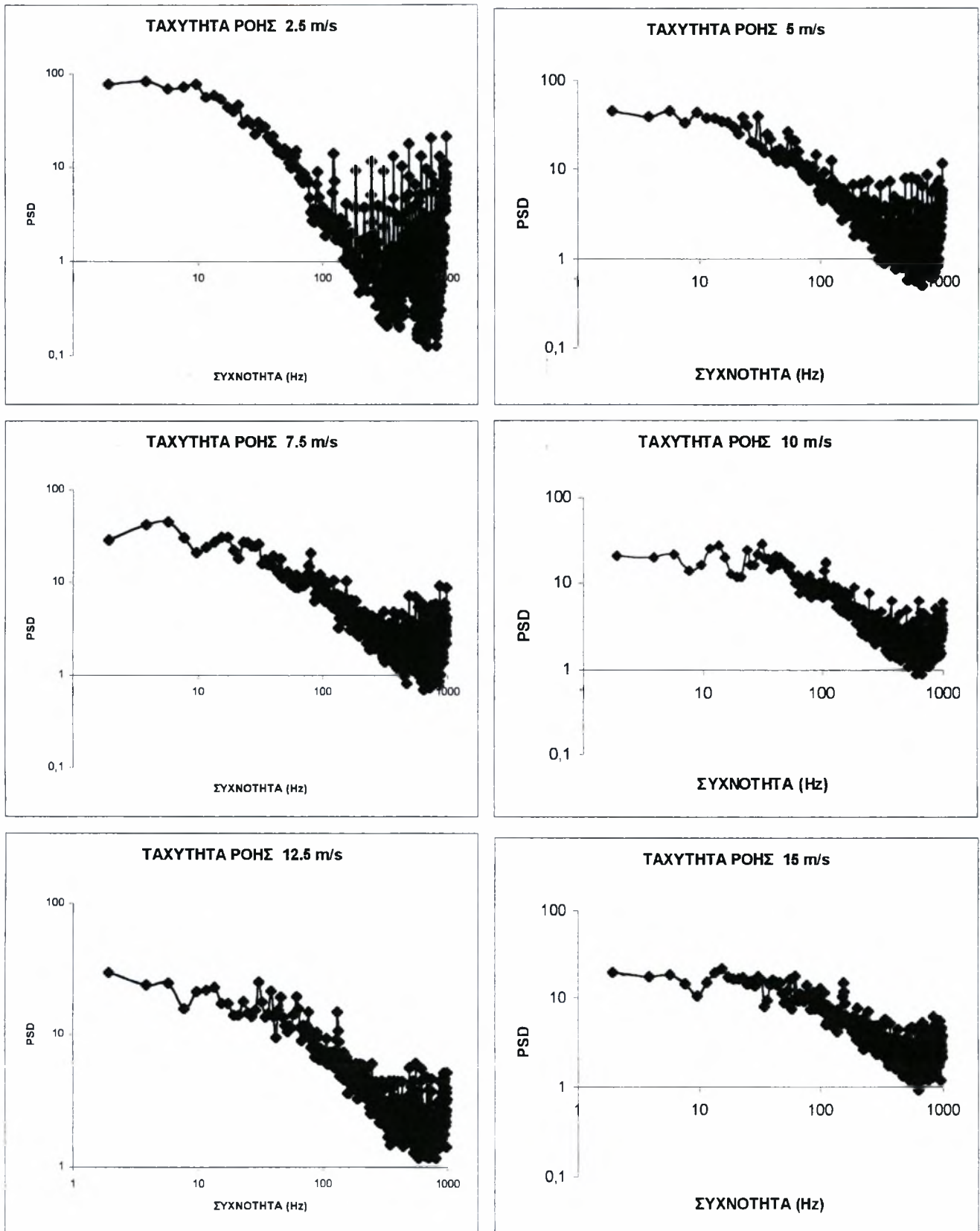
Σχήμα 4.43: Οι τιμές της ταχύτητας στις θέσεις μετρήσεων

A) Αποτελέσματα για τη θέση X1



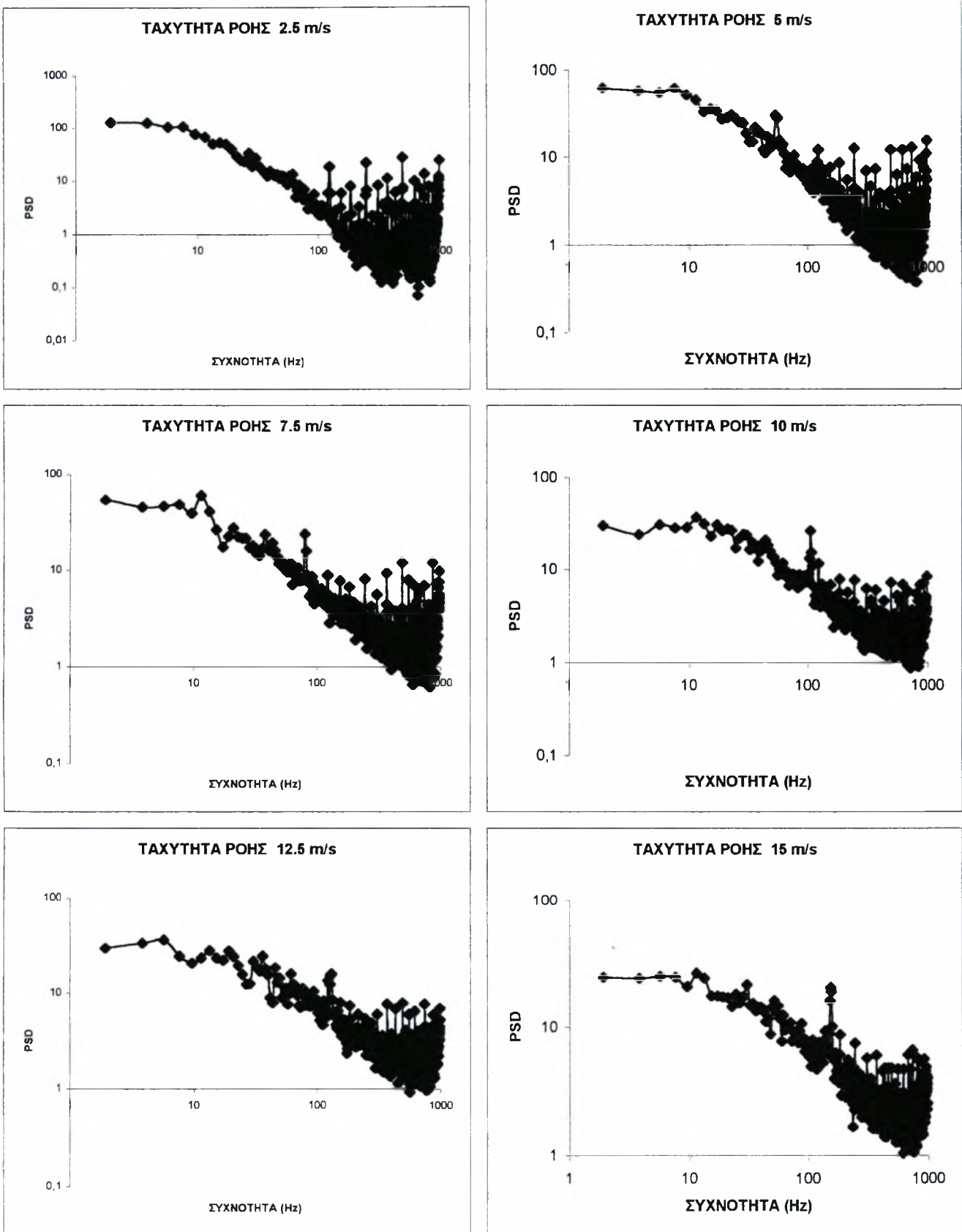
Σχήμα 4.44: Φάσματα ταχύτητας για τη μεσαία κοιλότητα με τον κύλινδρο 2cm στη θέση X1

B) Αποτελέσματα για τη θέση X2



Σχήμα 4.45: Φάσματα ταχύτητας για τη μεσαία κοιλότητα με τον κύλινδρο 2cm στη θέση X2

Γ) Αποτελέσματα για τη θέση X3



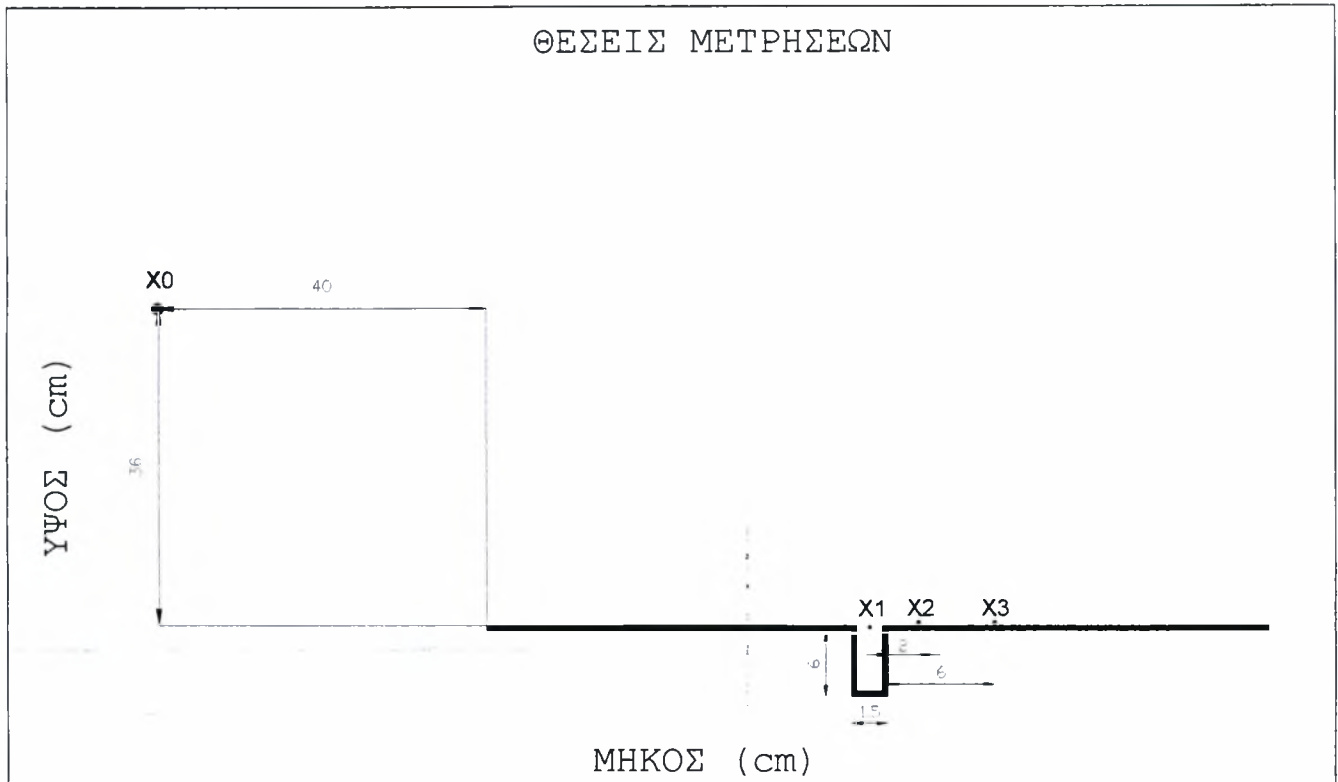
Σχήμα 4.46: Φάσματα ταχύτητας για τη μεσαία κοιλότητα με τον κύλινδρο 2cm στη θέση X3

Από το διάγραμμα της ταχύτητας φαίνεται πως μεγαλύτερες τιμές ταχύτητας παρατηρούνται στη θέση X3 και λίγο μικρότερες στη θέση X2. Στη θέση X1 η ταχύτητα παίρνει αρκετά χαμηλότερες τιμές.

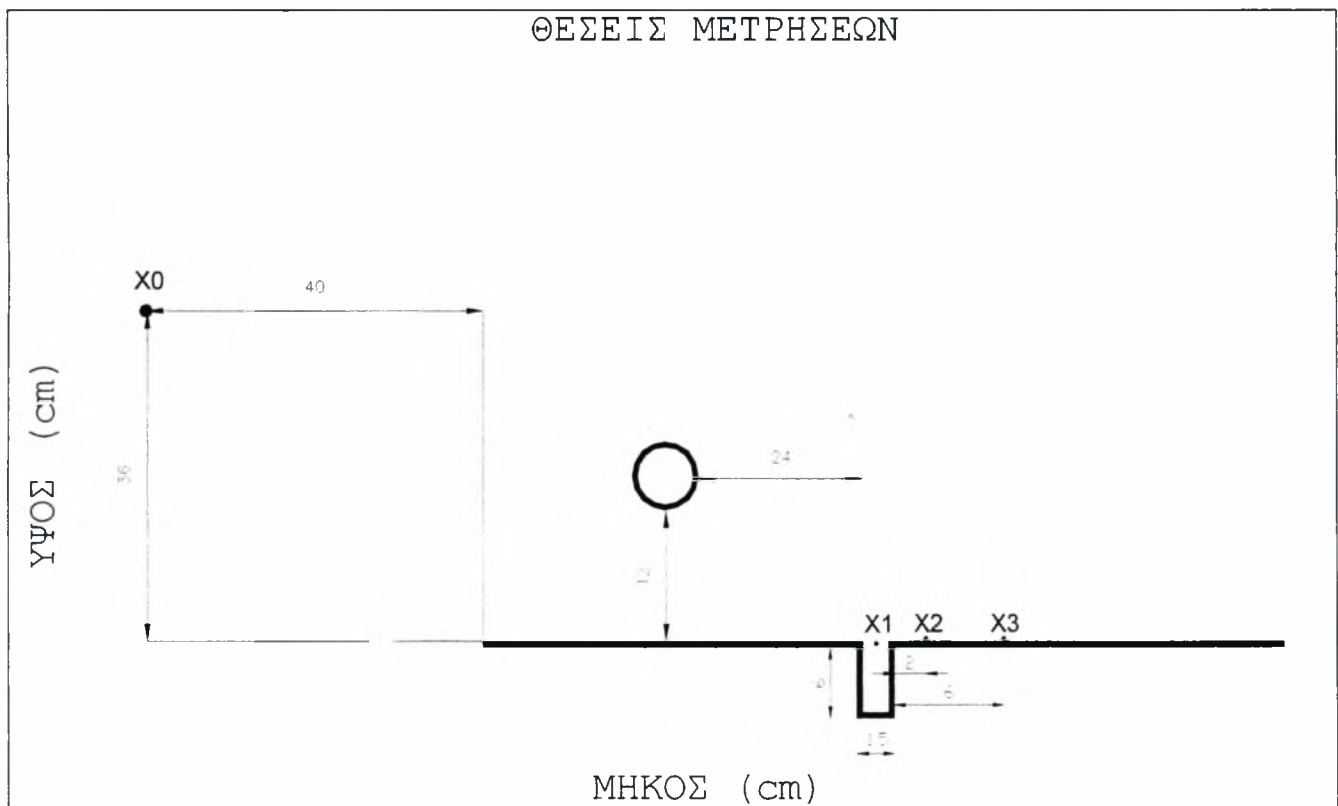
Από τα διαγράμματα spectra φαίνεται ότι για ταχύτητες 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 και 15 m/s οι κύριες συχνότητες δινών Von Karman για τη θέση X1 είναι 27.34, 54.68, 82.03, 109.37, 132.81 και 156.25 Hz αντίστοιχα.

Για τη θέση X2 οι κύριες συχνότητες των δινών είναι ίδιες εκτός από την ταχύτητα 2.5 m/s όπου παίρνει τιμή 25.39 Hz. Παράλληλα σε όλες τις ταχύτητες εμφανίζονται οι συχνότητες 31.25 και 62.5 Hz οι οποίες οφείλονται στην ταλάντωση του μετρητικού οργάνου.

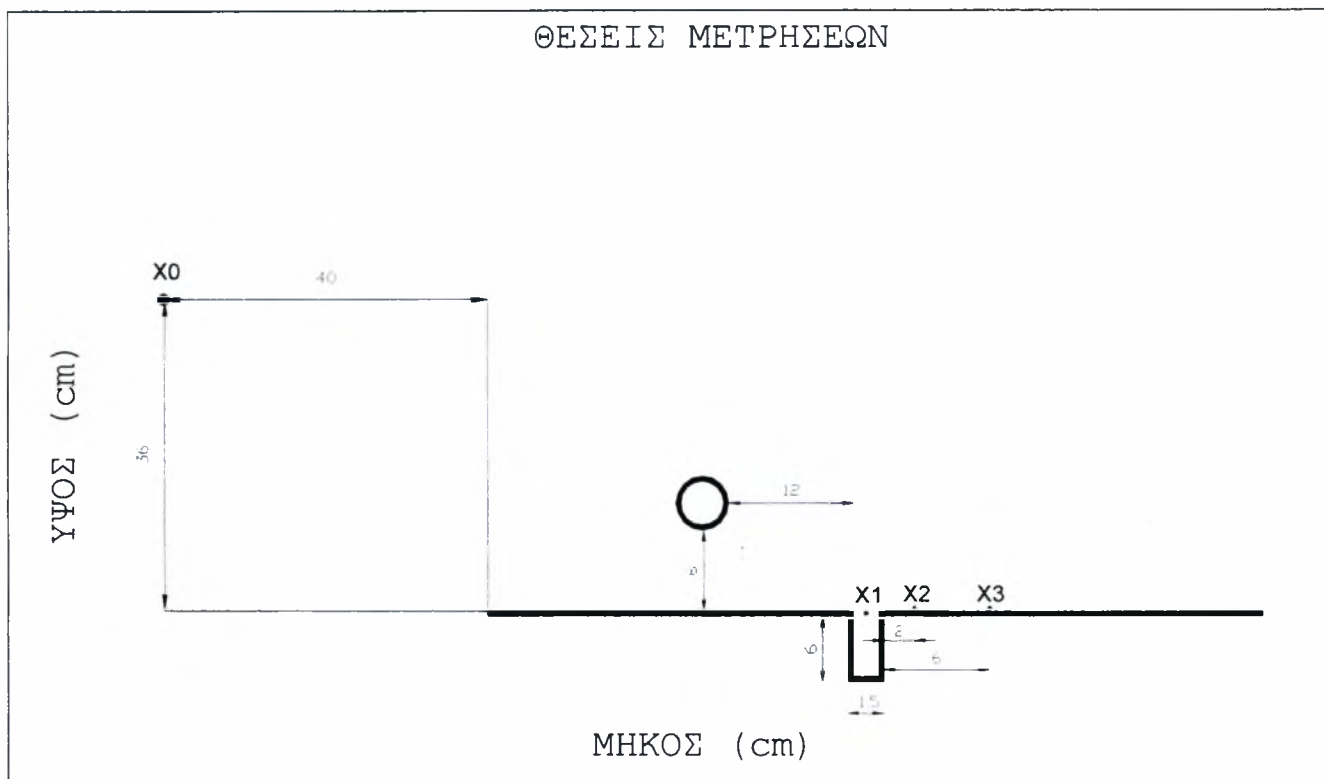
Οι ίδιες συχνότητες με τη θέση X2 αποτελούν τις κύριες συχνότητες των δινών και για τη θέση X3, ενώ και σε αυτή την περίπτωση η συχνότητα 62.5 Hz εμφανίζεται λόγω ταλάντωσης.



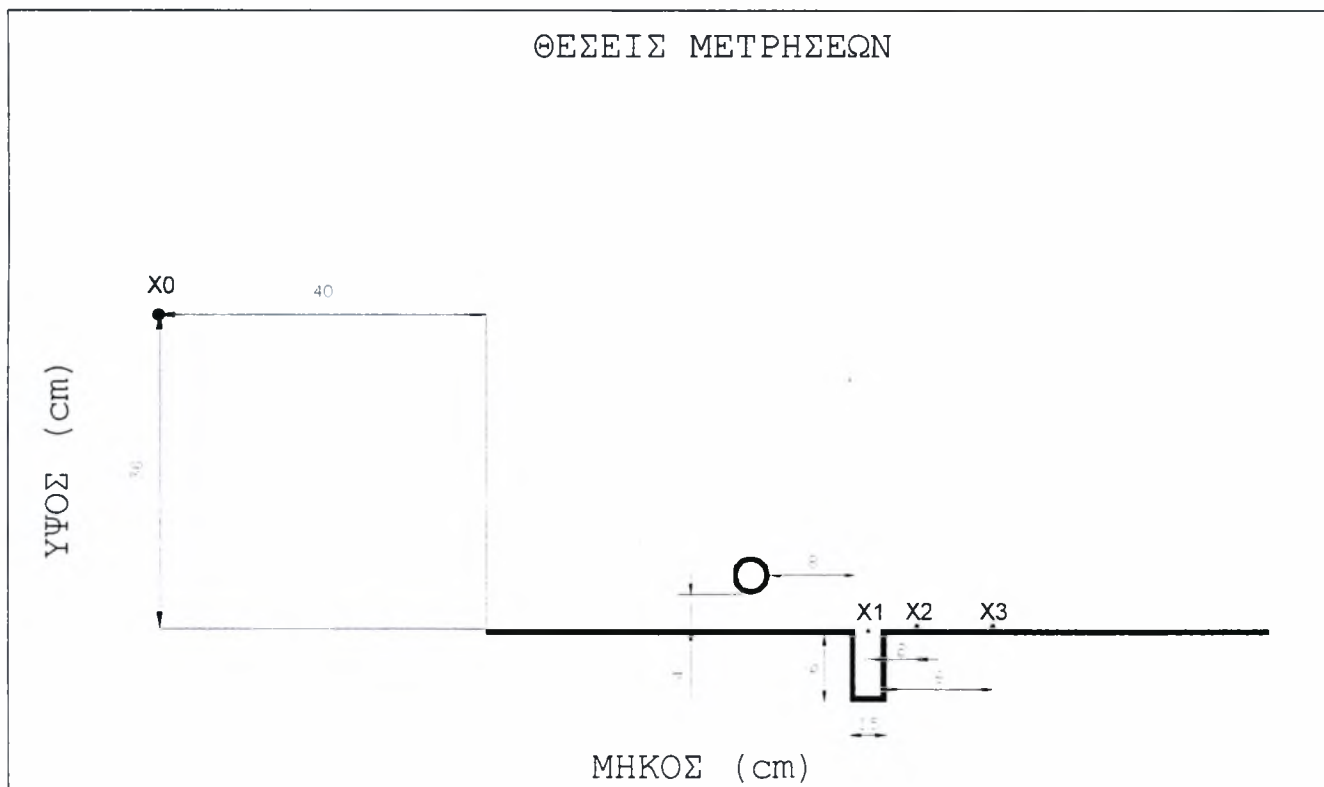
Σχήμα 4.47: Θέσεις μέτρησης ταχύτητας μικρής κοιλότητας χωρίς κύλινδρο (το σημείο X0 είναι το σημείο μέτρησης της ταχύτητας αναφοράς U0)



Σχήμα 4.48: Θέσεις μέτρησης ταχύτητας μικρής κοιλότητας με κύλινδρο διαμέτρου 6 cm (το σημείο X0 είναι το σημείο μέτρησης της ταχύτητας αναφοράς U0)

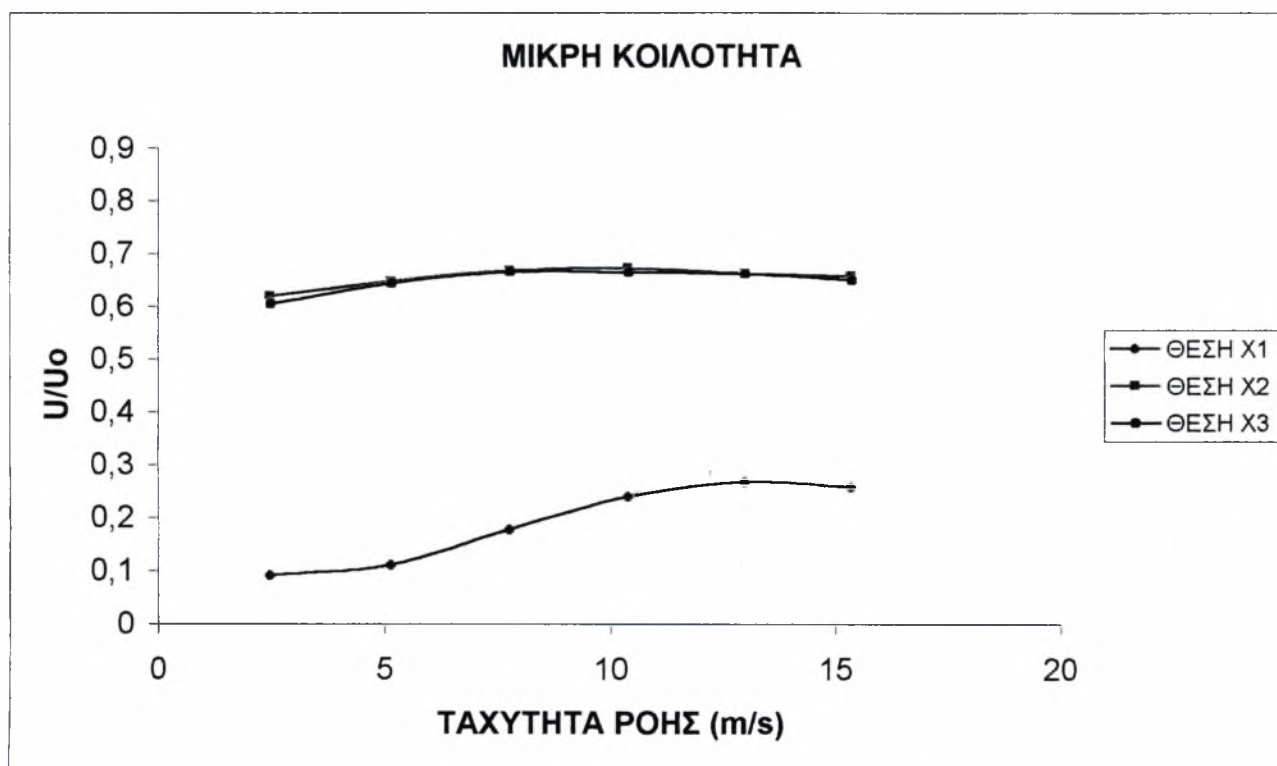


Σχήμα 4.49: Θέσεις μέτρησης ταχύτητας μικρής κοιλότητας με κύλινδρο διαμέτρου 3 cm (το σημείο X0 είναι το σημείο μέτρησης της ταχύτητας αναφοράς U0)



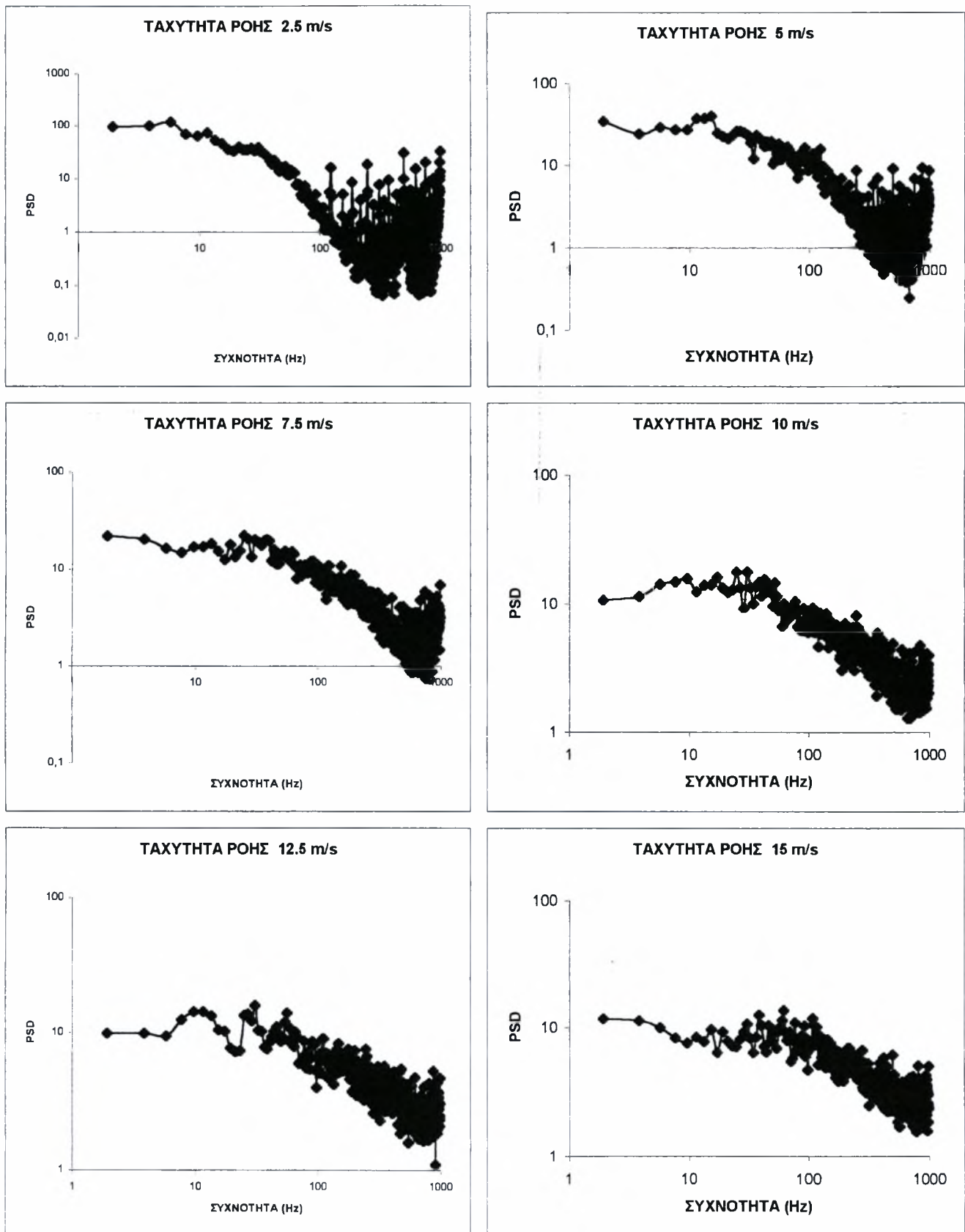
Σχήμα 4.50: Θέσεις μέτρησης ταχύτητας μικρής κοιλότητας με κύλινδρο διαμέτρου 2 cm (το σημείο X0 είναι το σημείο μέτρησης της ταχύτητας αναφοράς U0)

4.12 Μικρή κοιλότητα χωρίς κύλινδρο



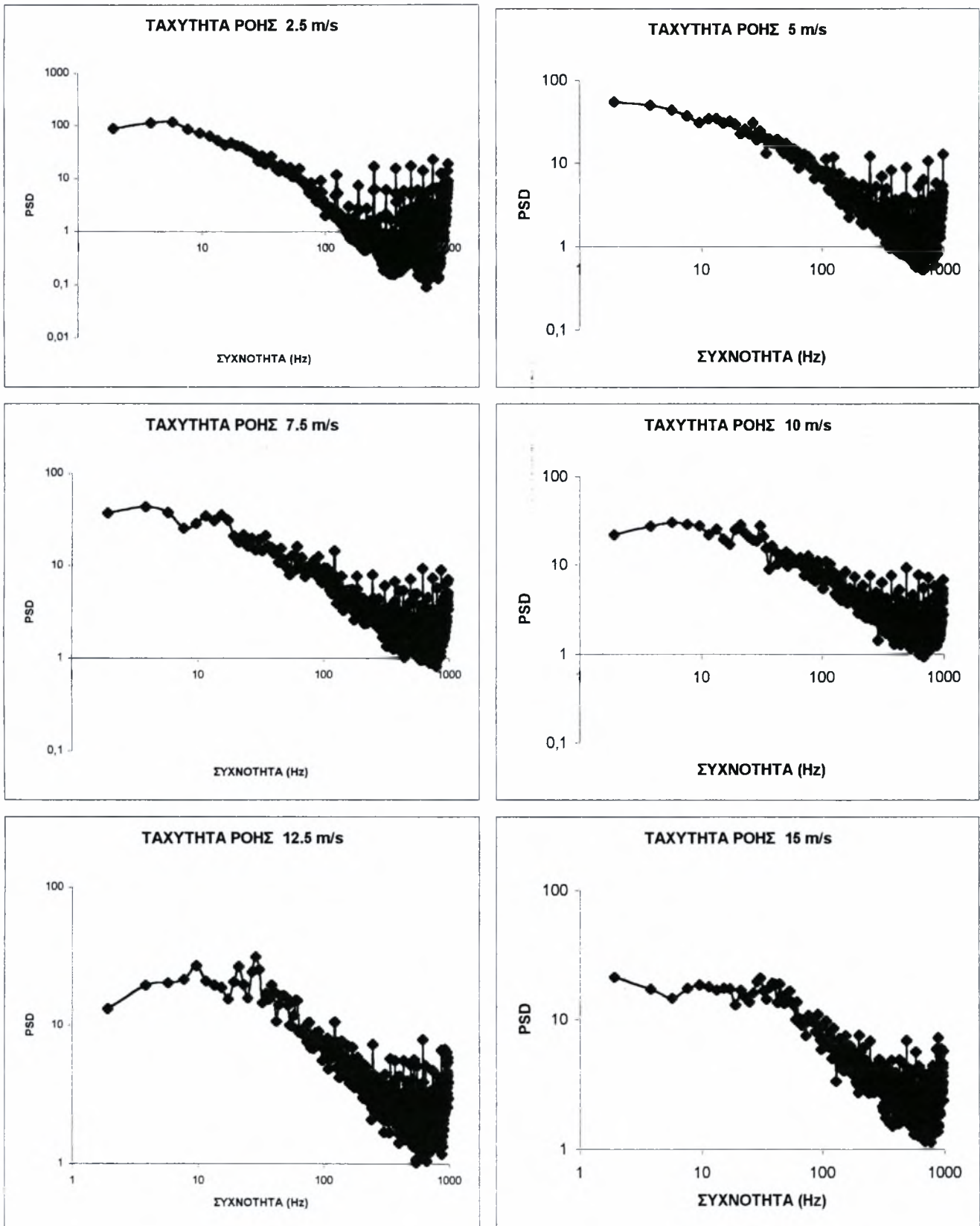
Σχήμα 4.51: Οι τιμές της ταχύτητας στις θέσεις μετρήσεων

A) Αποτελέσματα για τη θέση X1



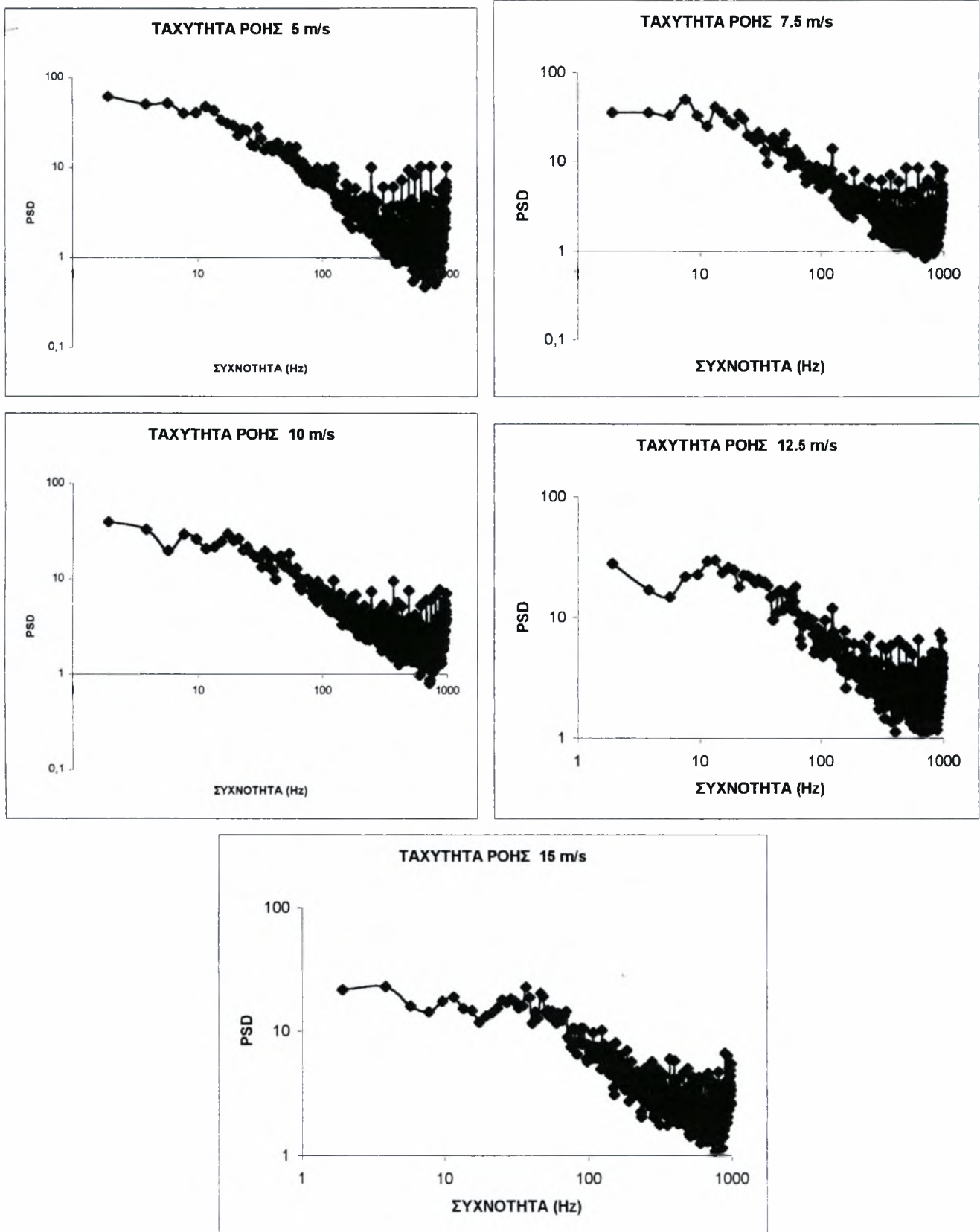
Σχήμα 4.52: Φάσματα ταχύτητας για τη μικρή κοιλότητα στη θέση X1

Β) Αποτελέσματα για τη θέση X2



Σχήμα 4.53: Φάσματα ταχύτητας για τη μικρή κοιλότητα στη θέση X2

Γ) Αποτελέσματα για τη θέση X3



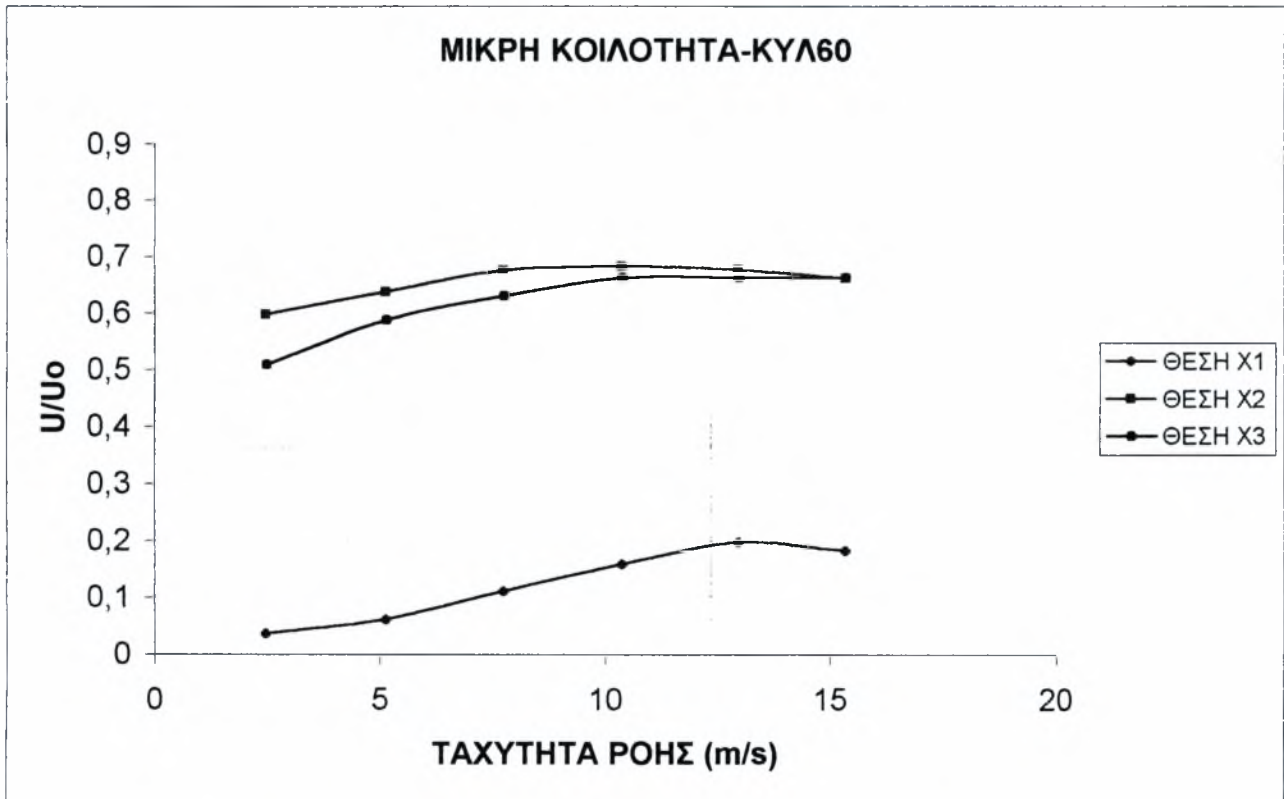
Σχήμα 4.54: Φάσματα ταχύτητας για τη μικρή κοιλότητα στη θέση X3

Από το διάγραμμα της ταχύτητας φαίνεται πως στις θέσεις X2 και X3 η ταχύτητα παίρνει την ίδια τιμή και είναι σχεδόν σταθερή με τιμή $0.65U_0$. Στη θέση X1 παρατηρείται μια μικρή αυξητική τάση με αρκετά χαμηλότερες τιμές όμως.

Από τα διαγράμματα spectra φαίνεται ότι για ταχύτητες 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 και 15 m/s οι κύριες συχνότητες δινών Von Karman για τη θέση X1 είναι 5.85, 11.71, 19.53, 25.39, 27.34 και 39.06 Hz αντίστοιχα.

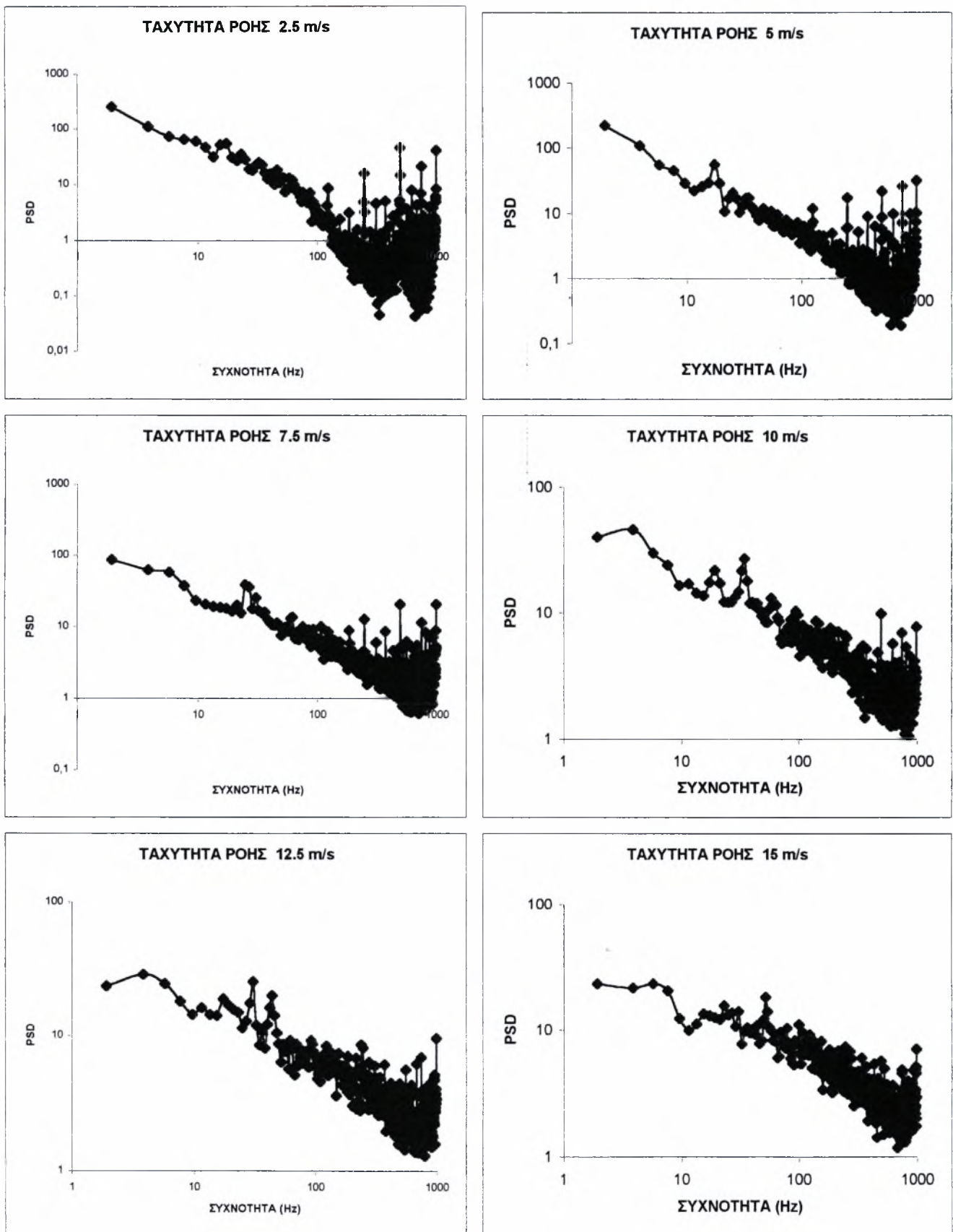
Για τη θέση X2 οι κύριες συχνότητες των δινών είναι 5.85, 11.71, 17.57, 21.48, 29.29 και 39.06 Hz, ενώ για τη θέση X3 είναι 5.85, 11.71, 21.48, 25.39, 27.34 και 37.1 Hz.

4.13 Μικρή κοιλότητα με κύλινδρο διαμέτρου 6 cm



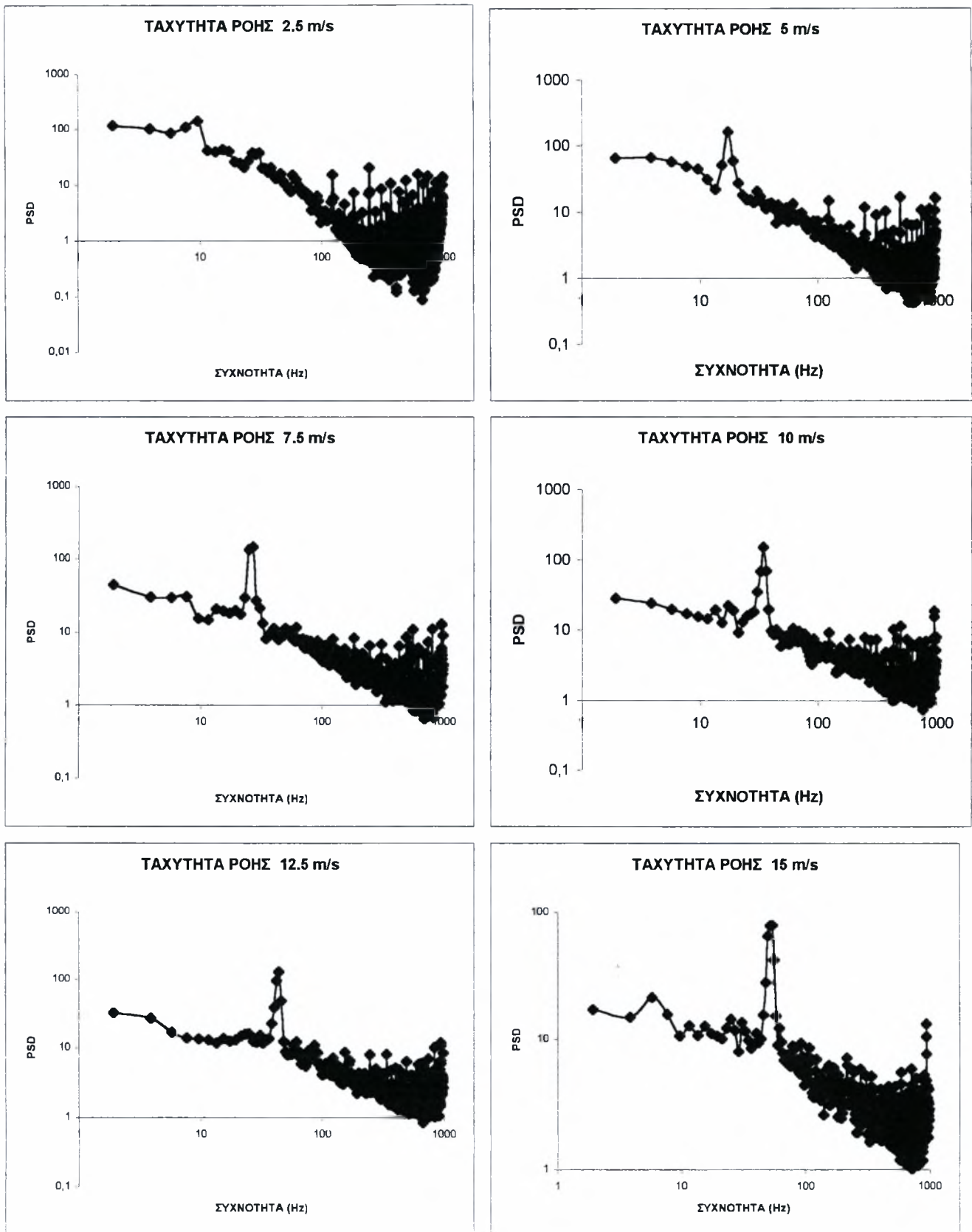
Σχήμα 4.55: Οι τιμές της ταχύτητας στις θέσεις μετρήσεων

A) Αποτελέσματα για τη θέση X1



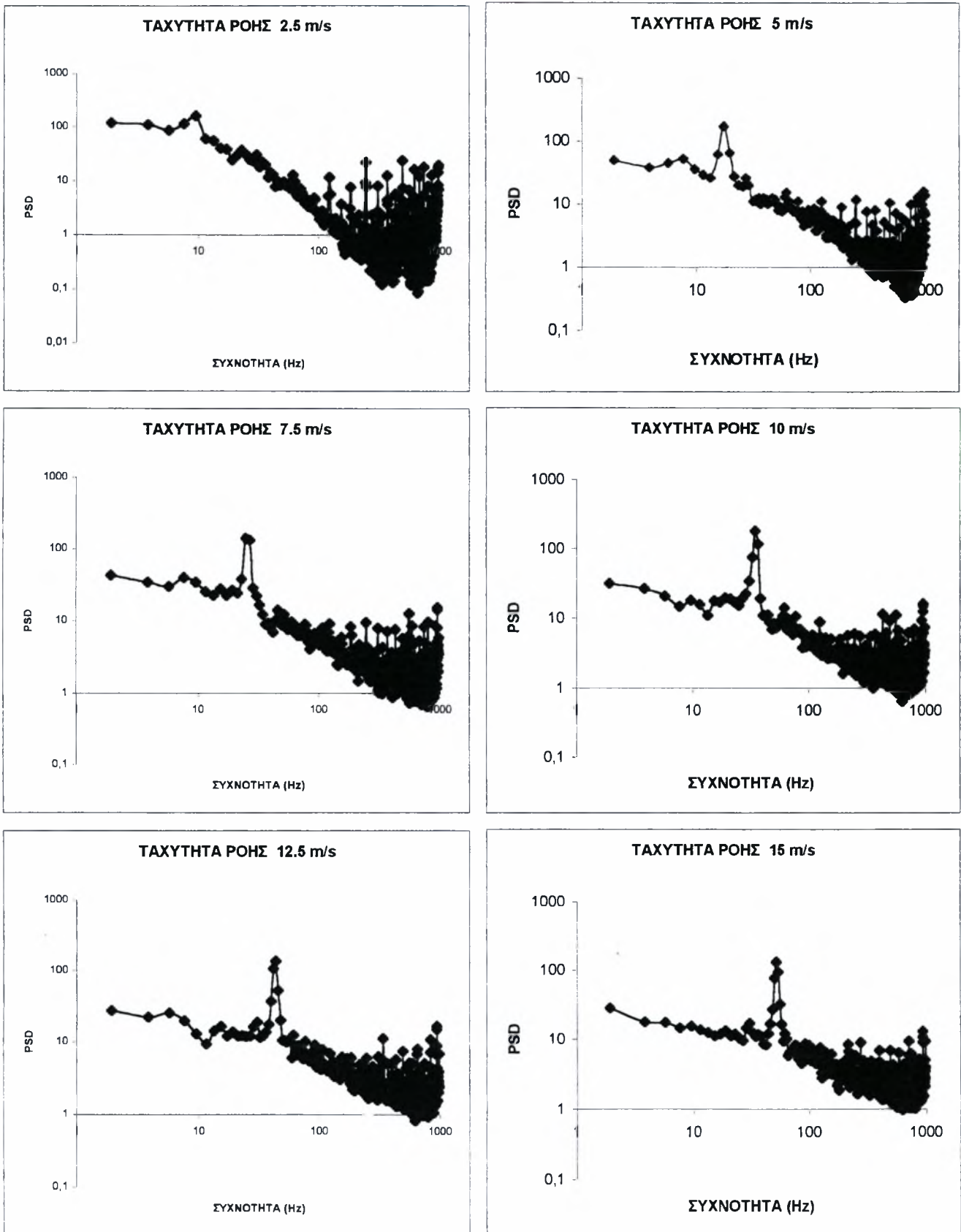
Σχήμα 4.56: Φάσματα ταχύτητας για τη μικρή κοιλότητα με τον κύλινδρο 6cm στη θέση X1

Β) Αποτελέσματα για τη θέση X2



Σχήμα 4.57: Φάσματα ταχύτητας για τη μικρή κοιλότητα με τον κύλινδρο 6cm στη θέση X2

Γ) Αποτελέσματα για τη θέση X3



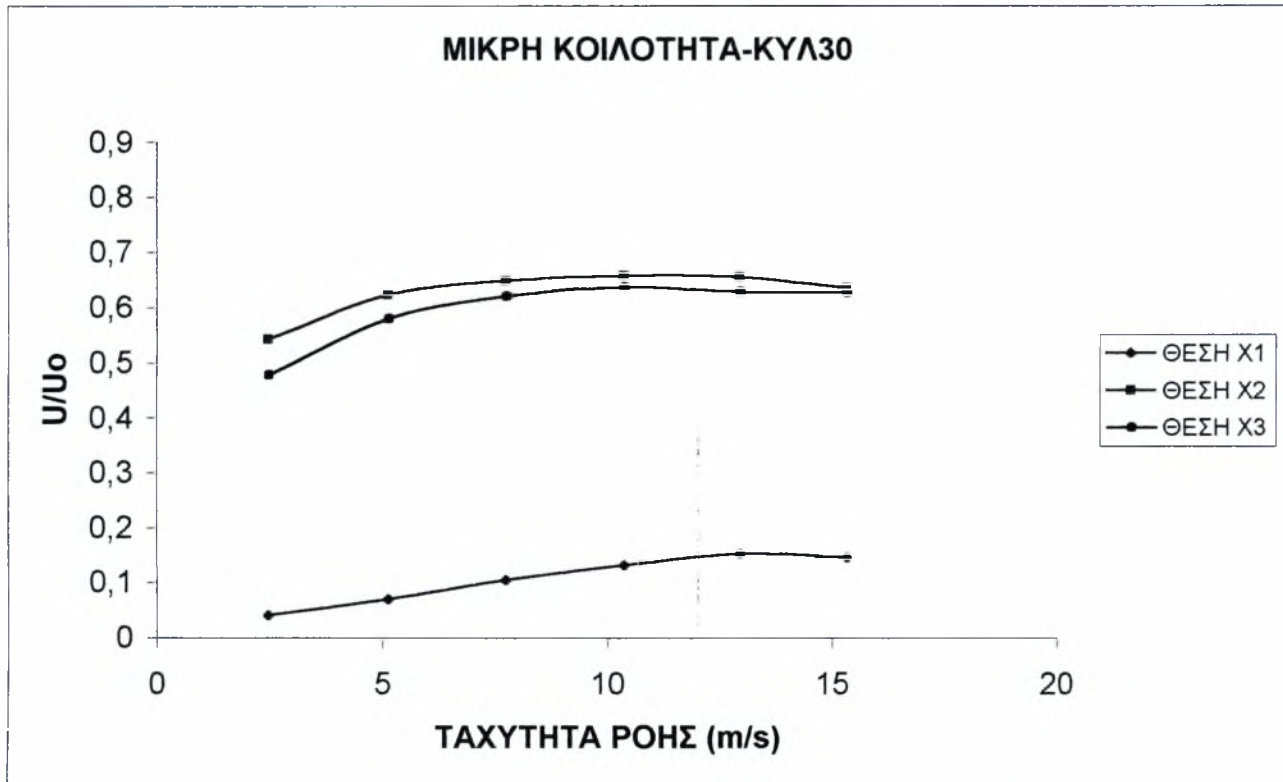
Σχήμα 4.58: Φάσματα ταχύτητας για τη μικρή κοιλότητα με τον κύλινδρο 6cm στη θέση X3

Από το διάγραμμα της ταχύτητας φαίνεται πως μεγαλύτερες τιμές ταχύτητας παρατηρούνται στη θέση X2 και λίγο μικρότερες στη θέση X3. Στη θέση X1 η ταχύτητα παίρνει αρκετά χαμηλότερες τιμές.

Από τα διαγράμματα spectra φαίνεται ότι για ταχύτητες 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 και 15 m/s οι κύριες συχνότητες δινών Von Karman για τη θέση X1 είναι 9.76, 17.57, 25.39, 35.15, 44.92 και 52.73 Hz αντίστοιχα.

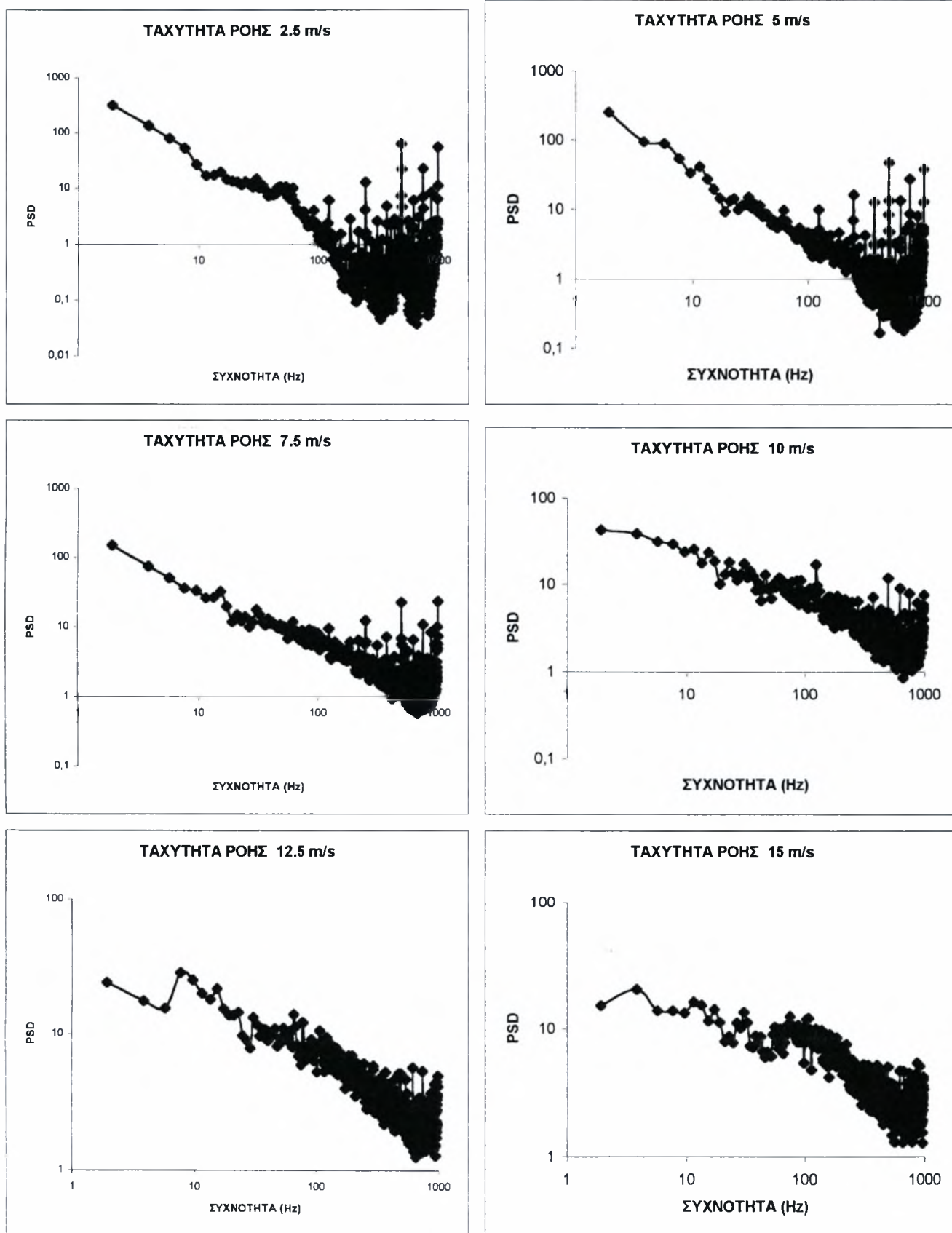
Οι ίδιες συχνότητες ισχύουν και για τη θέση X2 εκτός από την ταχύτητα 7.5 m/s όπου παίρνει την τιμή 27.34 Hz. Τέλος οι κύριες συχνότητες των δινών για τη θέση X3 είναι 9.76, 15.62, 25.39, 35.15, 44.92 και 52.73 Hz. Και για τις τρεις θέσεις οι κύριες συχνότητες των δινών ξεχωρίζουν καθαρά από τις υπόλοιπες συχνότητες.

4.14 Μικρή κοιλότητα με κύλινδρο διαμέτρου 3 cm



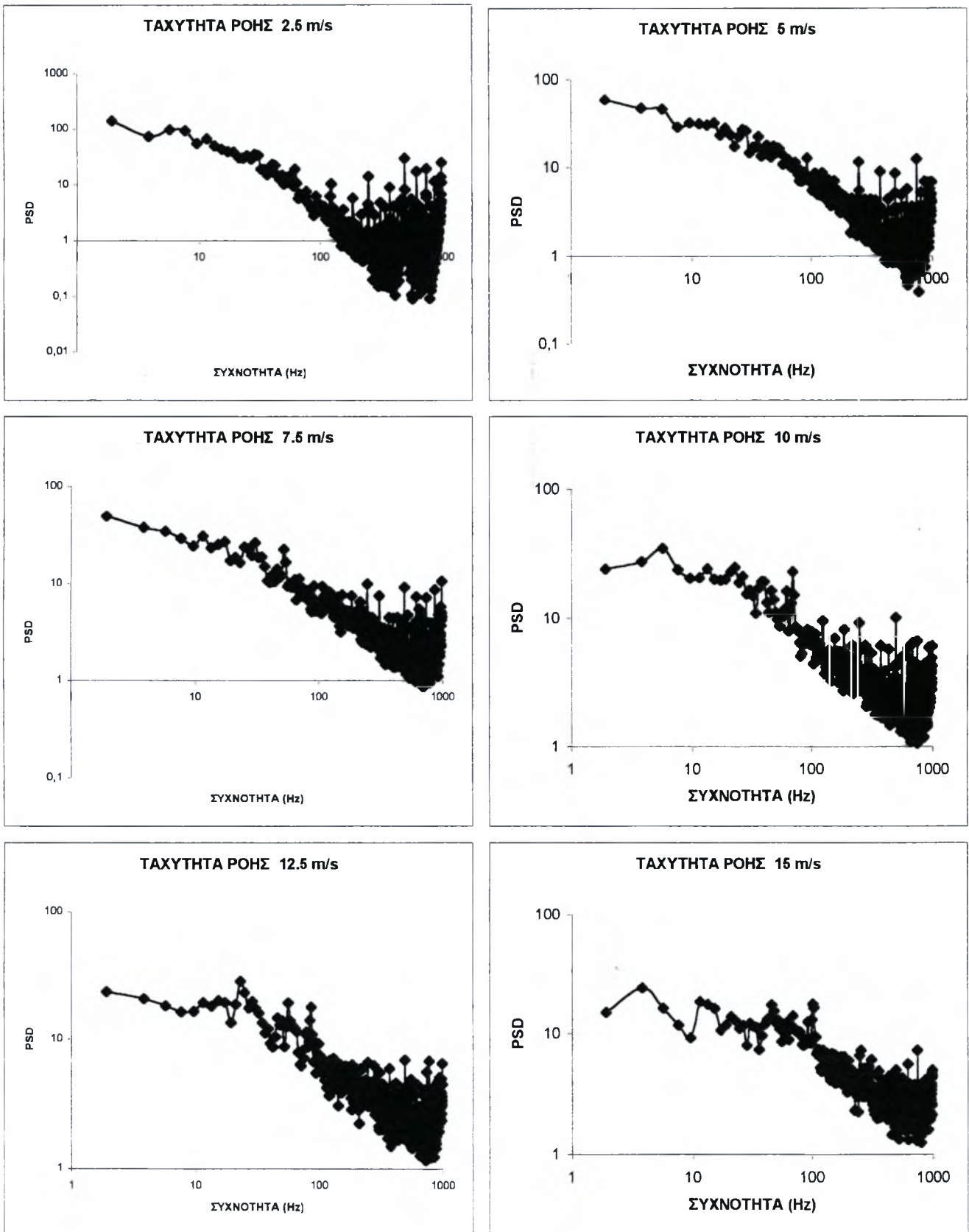
Σχήμα 4.59: Οι τιμές της ταχύτητας στις θέσεις μετρήσεων

A) Αποτελέσματα για τη θέση X1



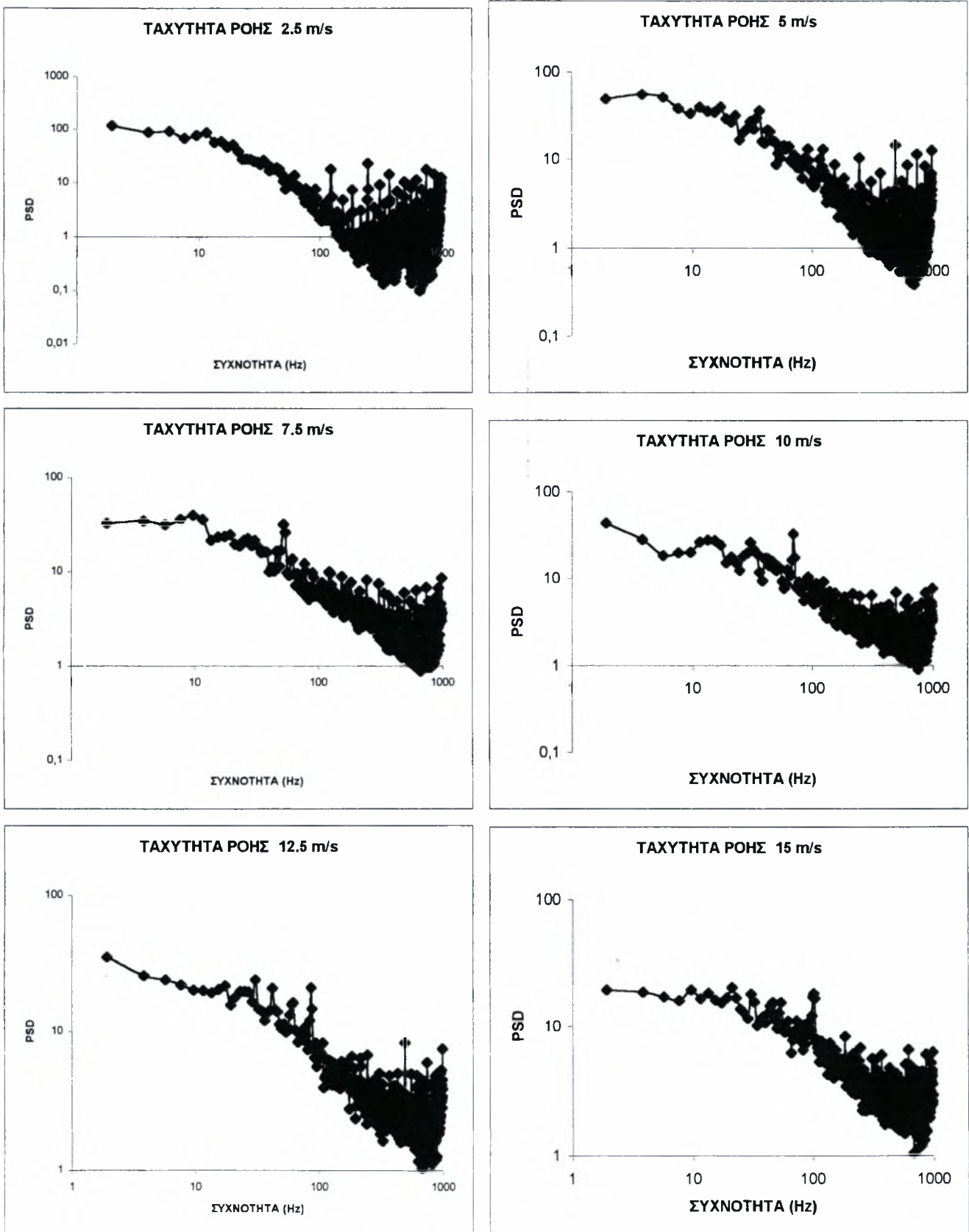
Σχήμα 4.60: Φάσματα ταχύτητας για τη μικρή κοιλότητα με τον κύλινδρο 3cm στη θέση X1

Β) Αποτελέσματα για τη θέση X2



Σχήμα 4.61: Φάσματα ταχύτητας για τη μικρή κοιλότητα με τον κύλινδρο 3cm στη θέση X2

Γ) Αποτελέσματα για τη θέση X3



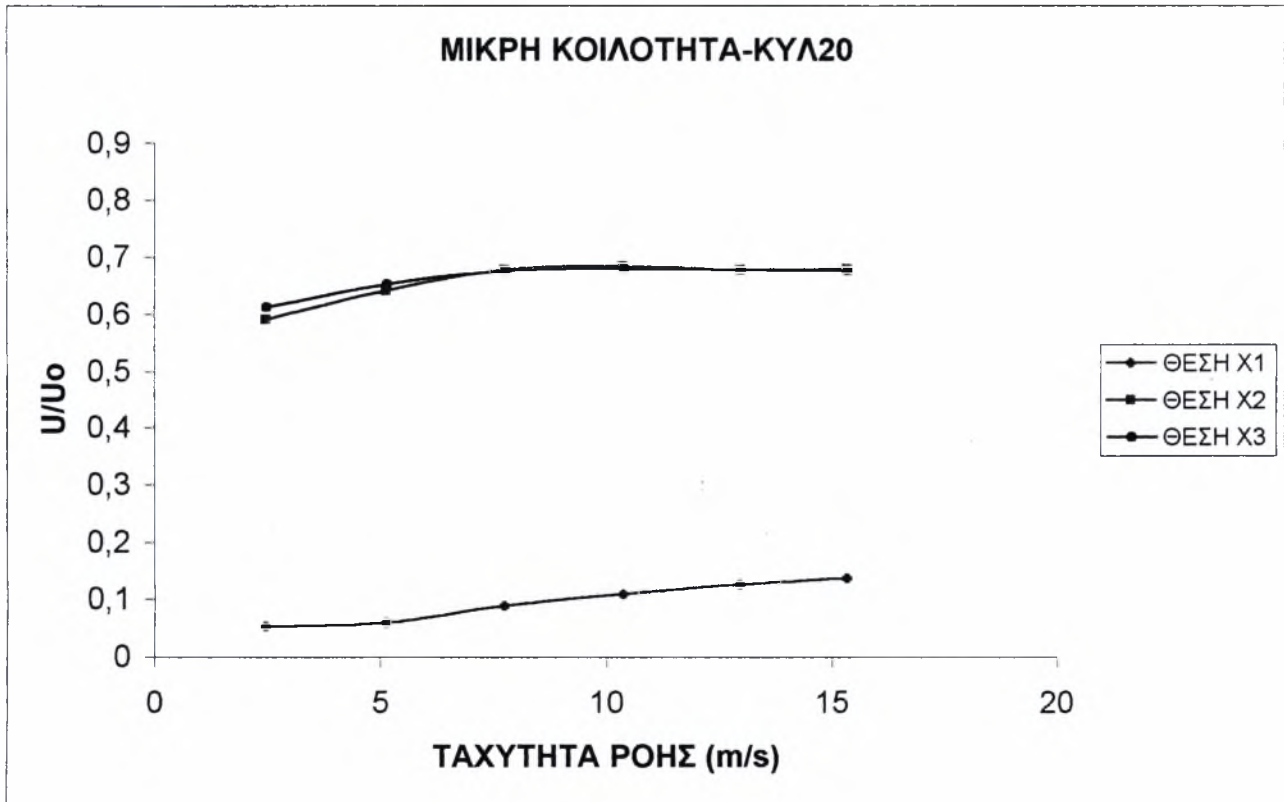
Σχήμα 4.62: Φάσματα ταχύτητας για τη μικρή κοιλότητα με τον κύλινδρο 3cm στη θέση X3

Από το διάγραμμα της ταχύτητας φαίνεται πως μεγαλύτερες τιμές ταχύτητας παρατηρούνται στη θέση X2 και λίγο μικρότερες στη θέση X3. Στη θέση X1 η ταχύτητα παίρνει αρκετά χαμηλότερες τιμές.

Από τα διαγράμματα spectra φαίνεται ότι για ταχύτητες 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 και 15 m/s οι κύριες συχνότητες δινών Von Karman για τη θέση X1 είναι 15.62, 39.06, 52.73, 70.31, 85.93 και 105.46 Hz αντίστοιχα. Η συχνότητα 31.25 που εμφανίζεται σε όλες τις ταχύτητες οφείλεται στην ταλάντωση του μετρητικού οργάνου.

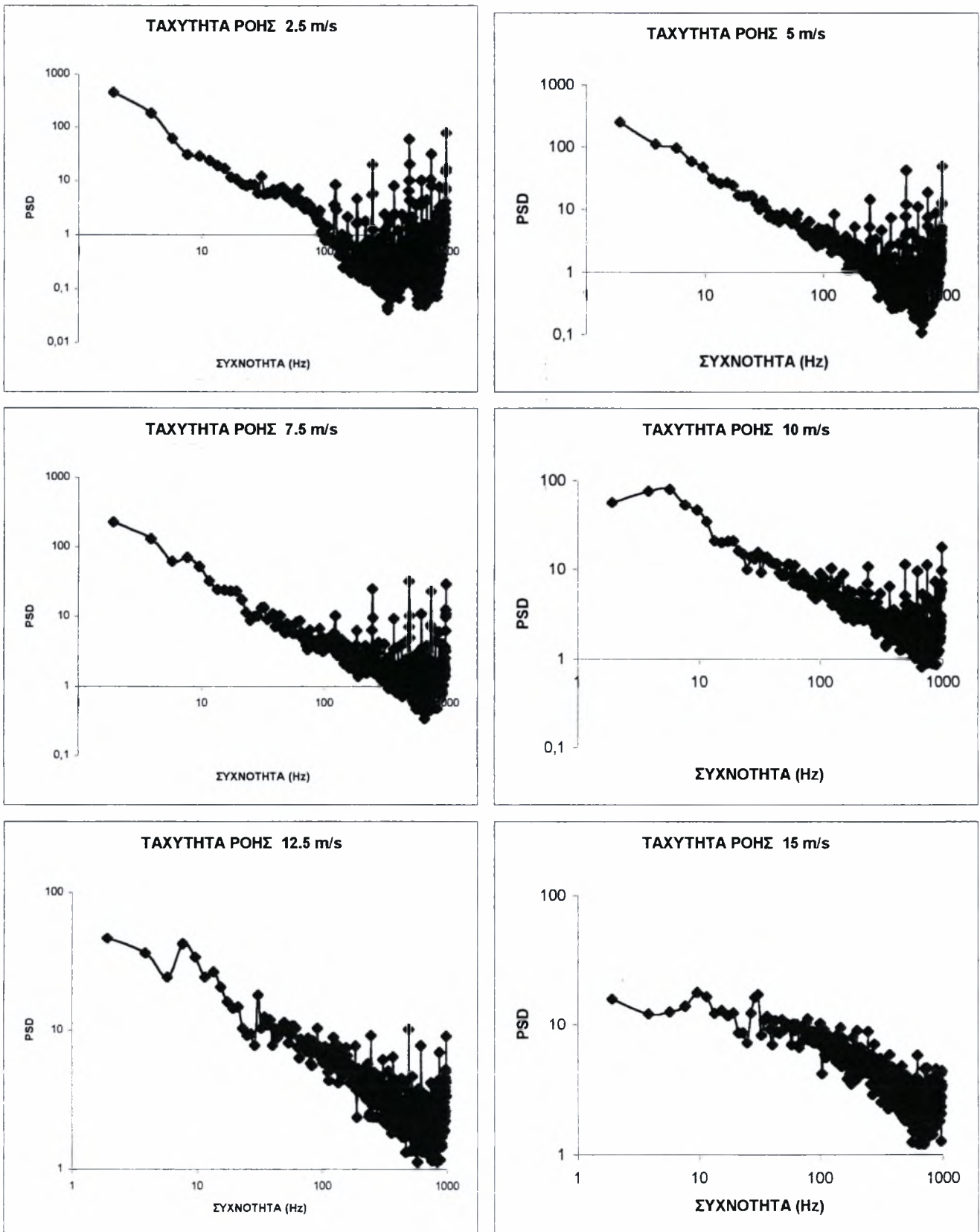
Για τη θέση X2 οι κύριες συχνότητες είναι 11.71, 37.1, 52.73, 70.31, 87.89 και 103.51 Hz , οι οποίες ισχύουν και για τη θέση X3 με εξαίρεση την ταχύτητα 2.5 m/s όπου παίρνει τιμή 19.53 Hz.

4.15 Μικρή κοιλότητα με κύλινδρο διαμέτρου 2 cm



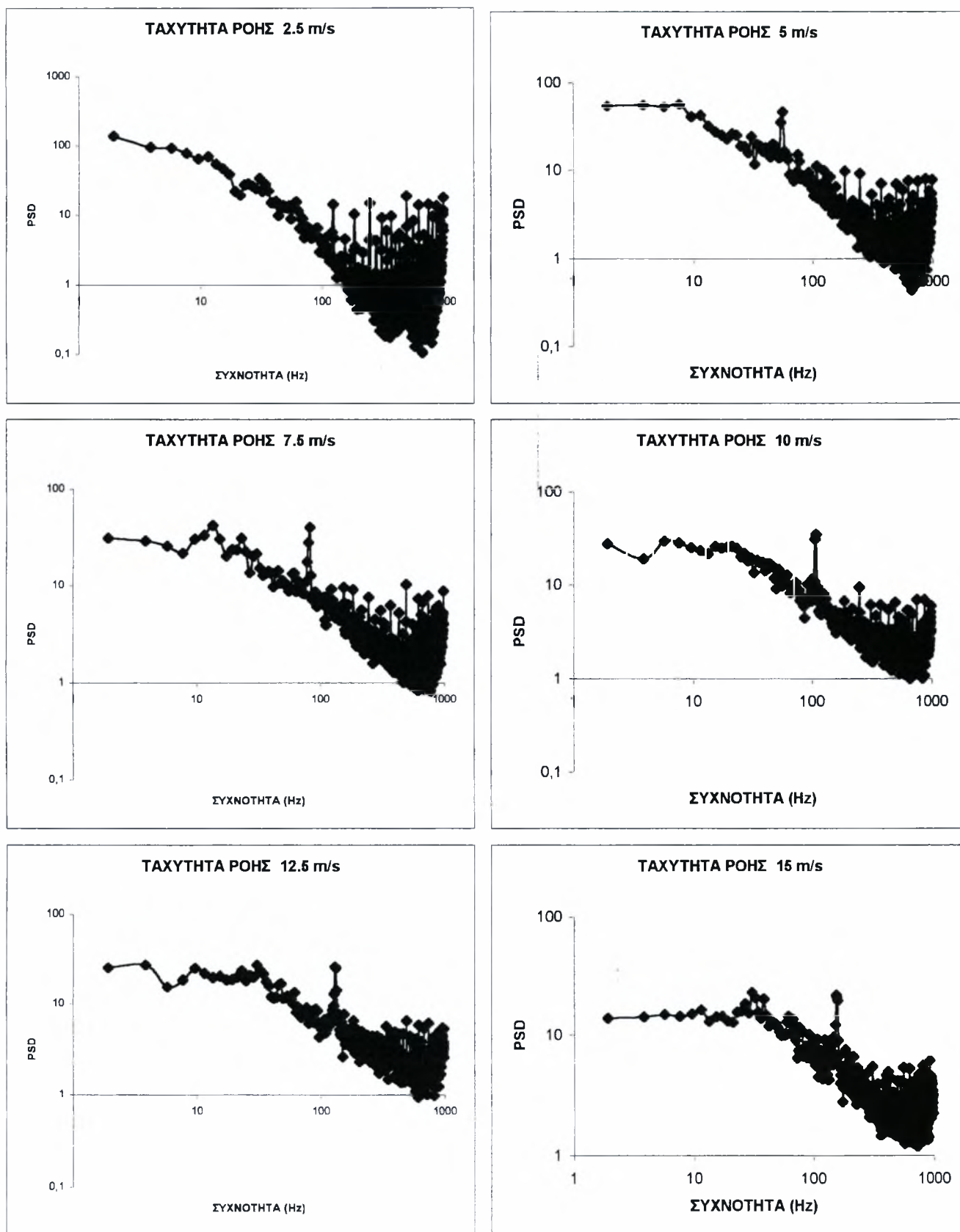
Σχήμα 4.63: Οι τιμές της ταχύτητας στις θέσεις μετρήσεων

Α) Αποτελέσματα για τη θέση X1



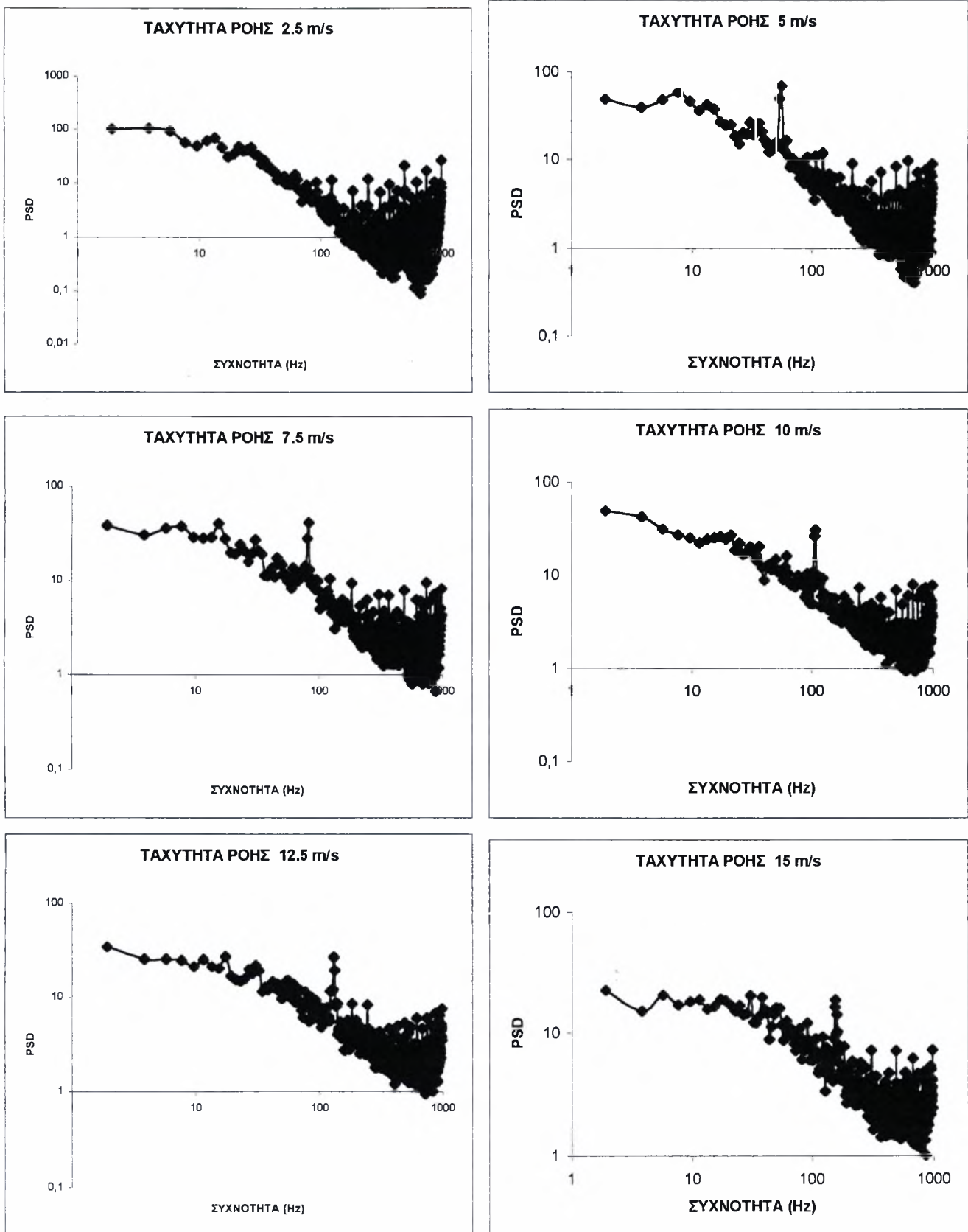
Σχήμα 4.64: Φάσματα ταχύτητας για τη μικρή κοιλότητα με τον κύλινδρο 2cm στη θέση X1

Β) Αποτελέσματα για τη θέση X2



Σχήμα 4.65: Φάσματα ταχύτητας για τη μικρή κοιλότητα με τον κύλινδρο 2cm στη θέση X2

Γ) Αποτελέσματα για τη θέση X3



Σχήμα 4.66: Φάσματα ταχύτητας για τη μικρή κοιλότητα με τον κύλινδρο 2cm στη θέση X3

Από το διάγραμμα της ταχύτητας φαίνεται πως η ταχύτητα στις θέσεις X2 και X3 παίρνει σχεδόν τις ίδιες τιμές και είναι περίπου σταθερή ($0.65U_0$). Στη θέση X1 οι τιμές της ταχύτητας παρουσιάζουν μια μικρή αυξητική τάση, ωστόσο είναι αρκετά χαμηλότερες από τις άλλες δύο θέσεις.

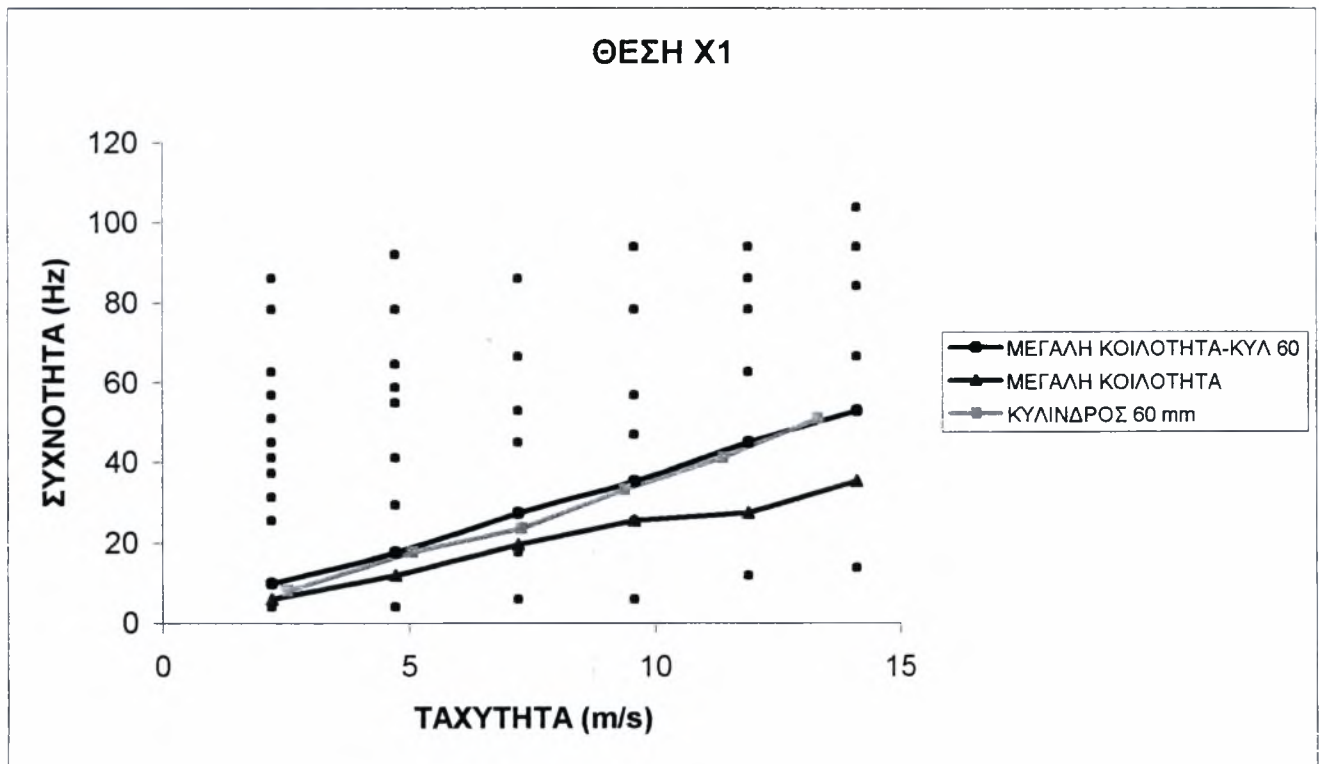
Από τα διαγράμματα spectra φαίνεται ότι για ταχύτητες 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5 και 15 m/s οι κύριες συχνότητες δινών Von Karman για τη θέση X1 είναι 25.39, 46.87, 78.12, 101.56, 132.81 και 154.29 Hz αντίστοιχα.

Για τη θέση X2 οι κύριες συχνότητες των δινών είναι 25.39, 56.64, 83.98, 109.37, 132.81 και 156.25Hz, ενώ για τη θέση X3 27.34, 56.64, 83.98, 109.37, 132.81 και 158.20 Hz.

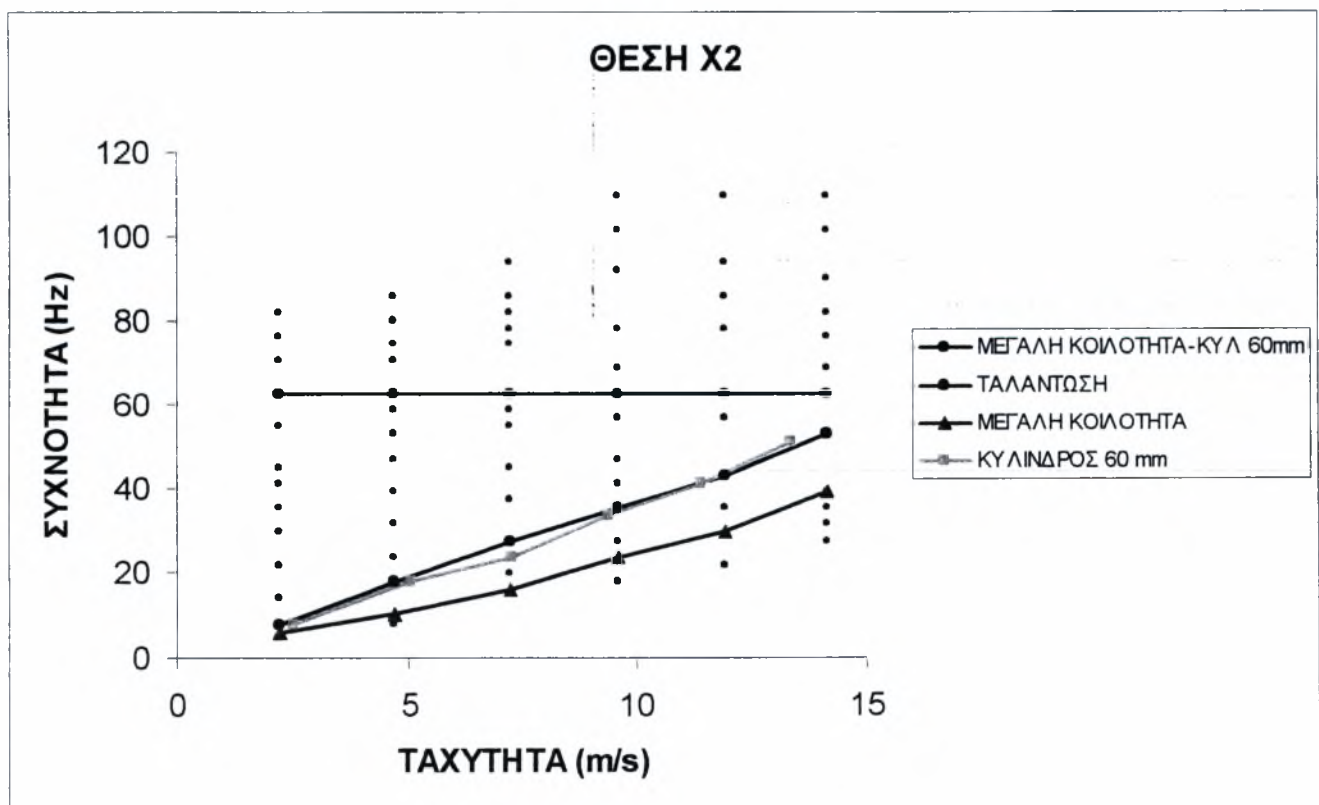
Λόγω της ταλάντωσης του μετρητικού οργάνου εμφανίζονται σε όλες τις ταχύτητες οι συχνότητες 31.25 και 93.75 Hz για τη θέση X2 και η συχνότητα 62.5 Hz για τη θέση X3.

4.16 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

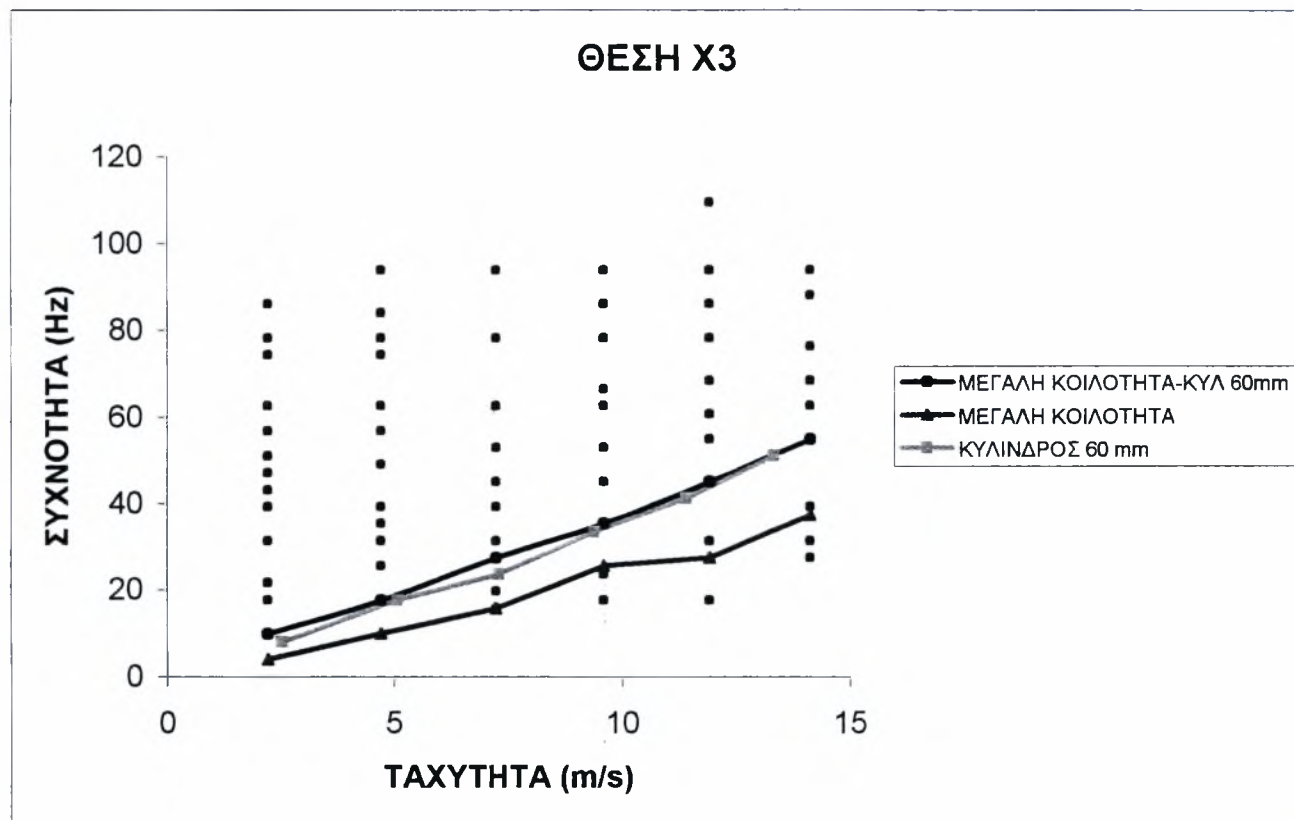
4.16.1 Διαγράμματα για τη μεγάλη κοιλότητα



Σχήμα 4.66: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X1



Σχήμα 4.67: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X2

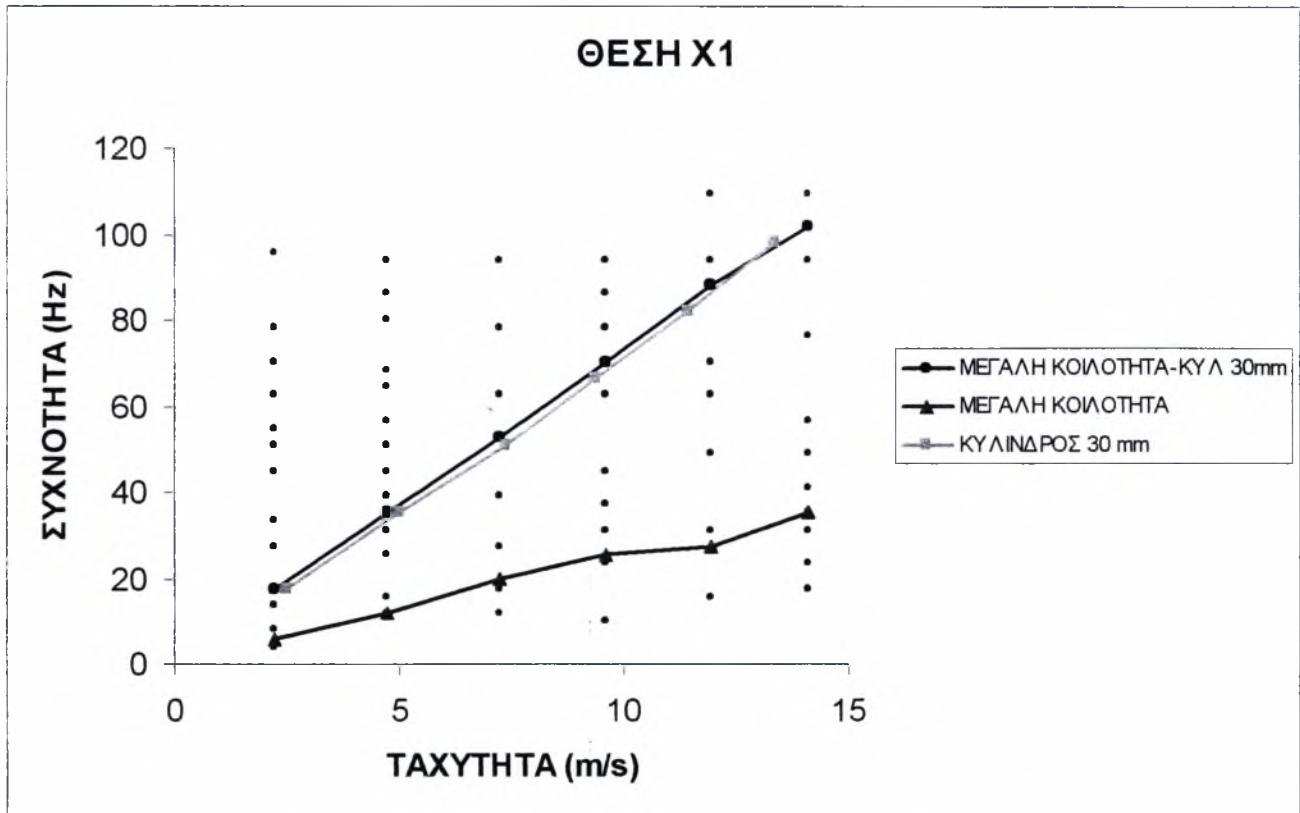


Σχήμα 4.68: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X3

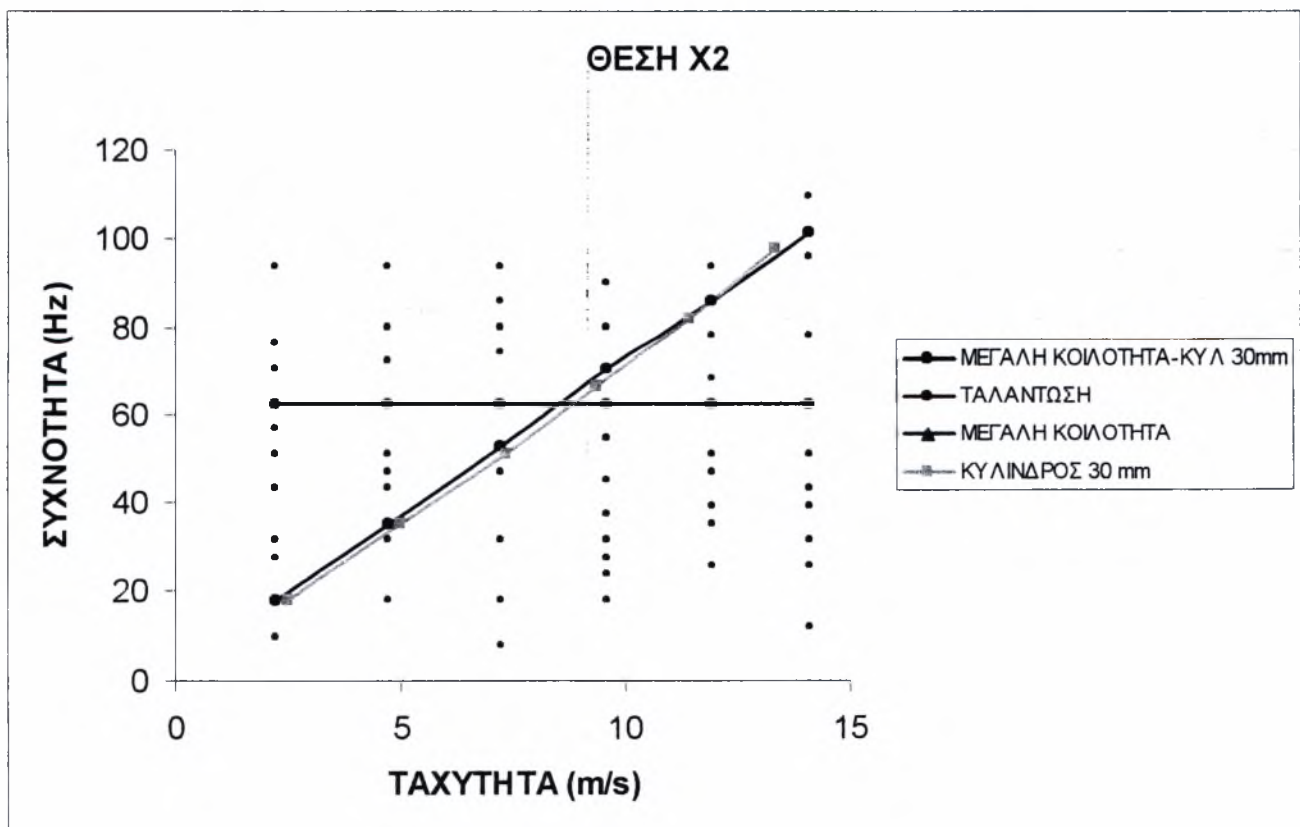


Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται ότι και στις τρεις θέσεις η σχέση που συνδέει τις συχνότητες των δινών, όταν υπάρχει η μεγάλη κοιλότητα και ο κύλινδρος διαμέτρου 6 cm, με την ταχύτητα της ροής είναι σχεδόν γραμμική. Αυτό δείχνει ότι ο αριθμός Strouhal είναι σχεδόν σταθερός χωρίς ωστόσο να μπορεί να δοθεί μια συγκεκριμένη τιμή αφού δεν γίνεται να επιλεγεί το χαρακτηριστικό μήκος. Παράλληλα οι συχνότητες των κύριων δινών είναι σχεδόν ίδιες με την περίπτωση όπου υπάρχει μόνο κύλινδρος. Αυτό δείχνει ότι η δυναμική των δινών που σχηματίζονται επηρεάζεται περισσότερο από τον κύλινδρο και λιγότερο από την κοιλότητα. Στις χαμηλές ταχύτητες (μέχρι 5m/s) φαίνεται πως έχουν σχεδόν ίδια επίδραση τόσο η κοιλότητα, όσο και ο κύλινδρος στις σχηματιζόμενες δίνες. Επίσης στη θέση X2 παρατηρείται μία ταλάντωση για συχνότητα 62.5 Hz.

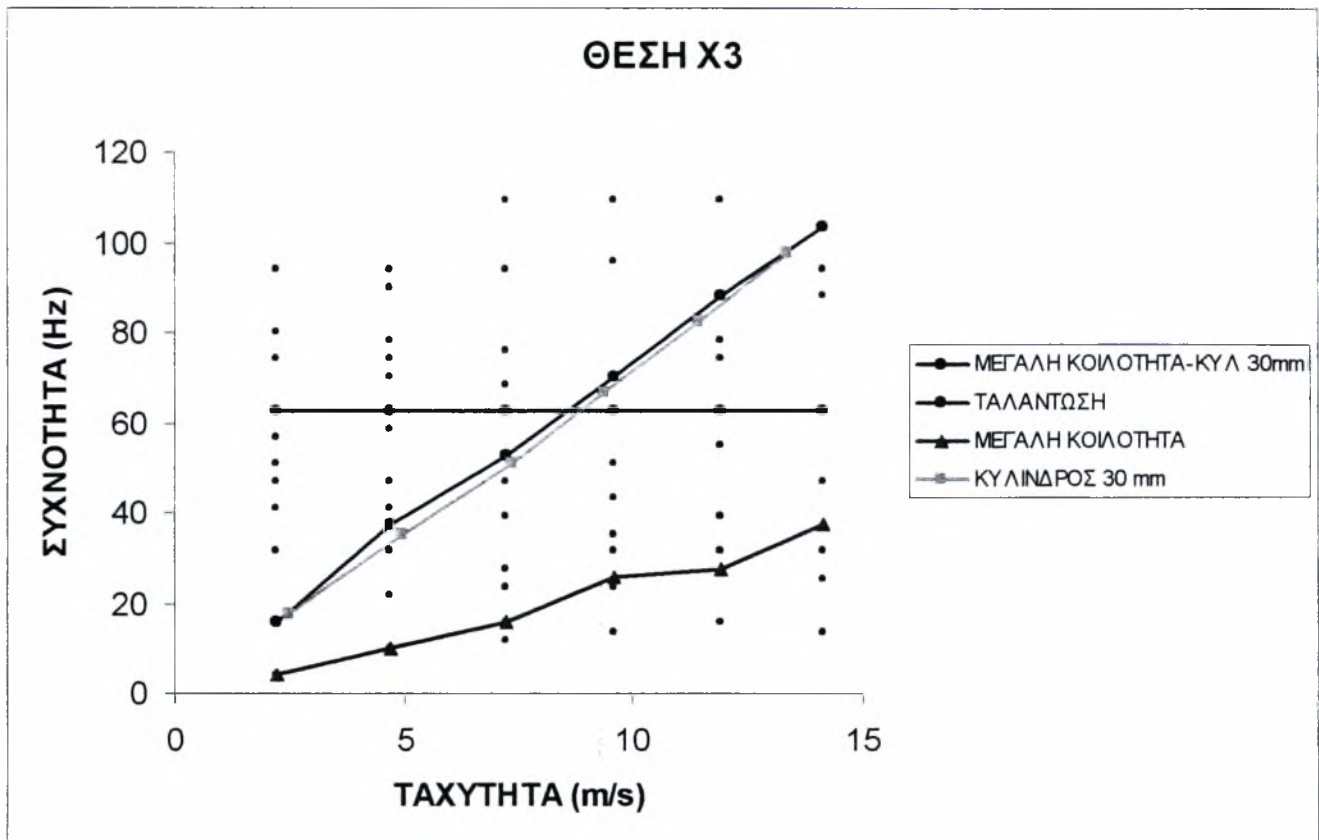
Και στις τρεις θέσεις παρατηρείται πως όταν υπάρχει μόνο κοιλότητα οι συχνότητες δεν μεταβάλλονται γραμμικά με την ταχύτητα, με αποτέλεσμα ο αριθμός Strouhal να μην είναι σταθερός. Όταν υπάρχει μόνο ο κύλινδρος η μεταβολή της συχνότητας με την ταχύτητα είναι σχεδόν γραμμική με αποτέλεσμα ο αριθμός Strouhal να είναι σχεδόν σταθερός.



Σχήμα 4.69: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X1

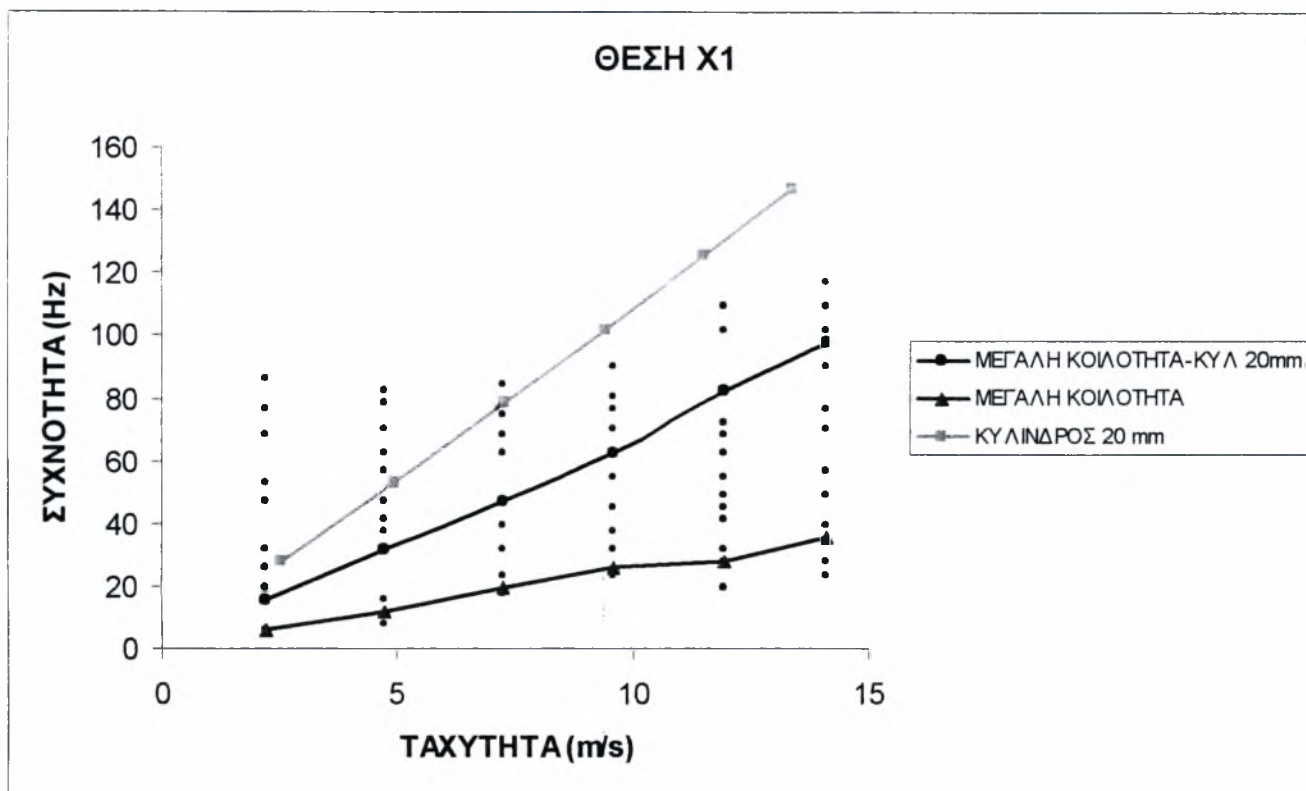


Σχήμα 4.70: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X2

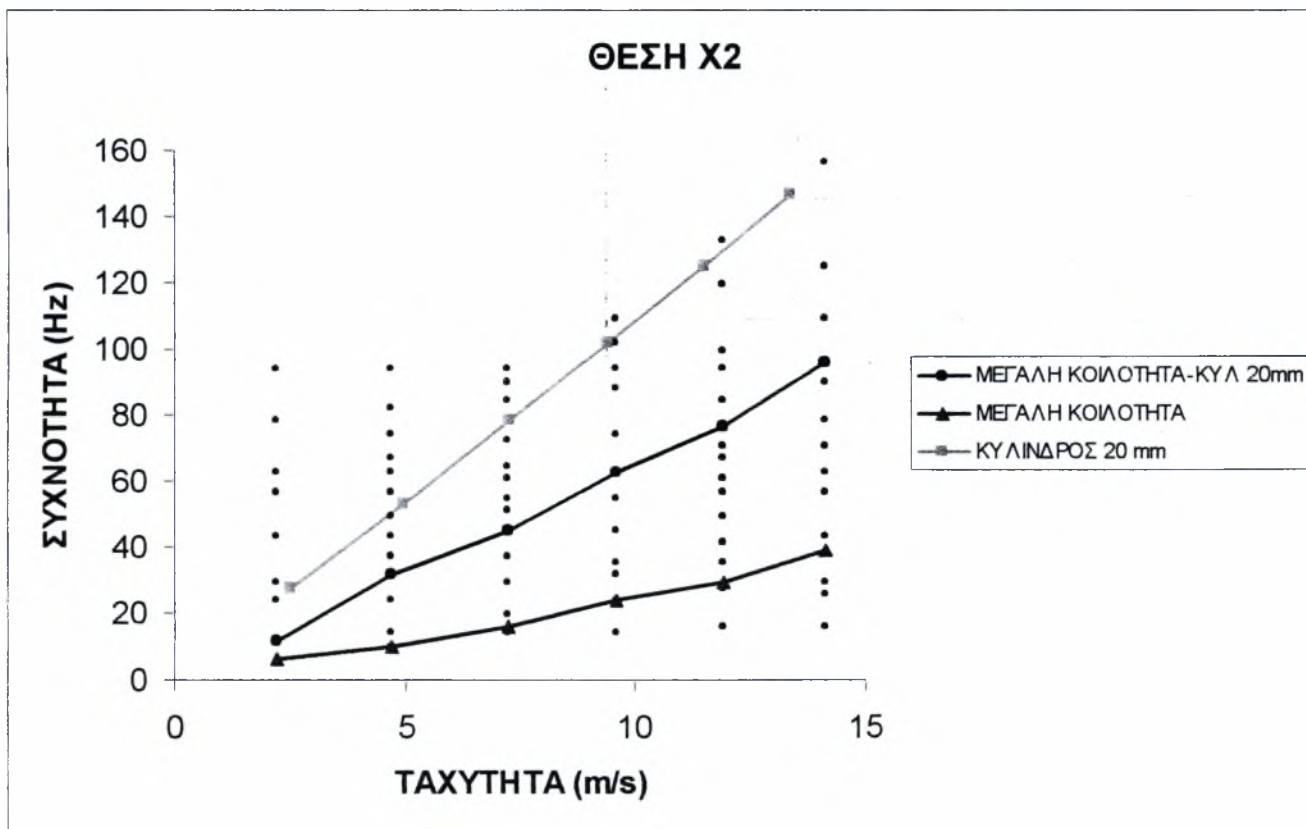


Σχήμα 4.71: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X3

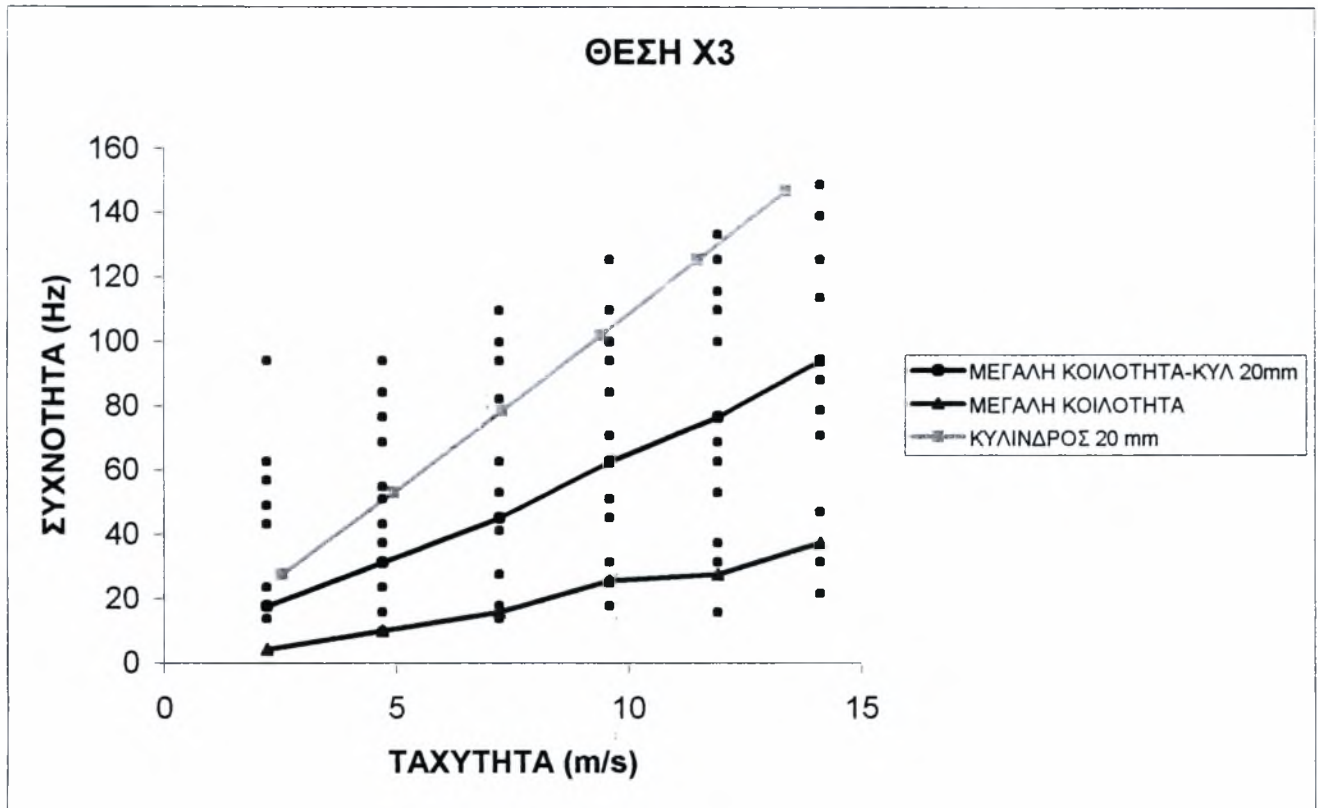
Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται και στις τρεις θέσεις ότι όταν υπάρχει η μεγάλη κοιλότητα και ο κύλινδρος διαμέτρου 3 cm η συχνότητα μεταβάλλεται σχεδόν γραμμικά με την ταχύτητα, ενώ οι τιμές της είναι σχεδόν ίδιες με αυτές όταν υπάρχει μόνο κύλινδρος. Έτσι και σε αυτή την περίπτωση η δυναμική των δινών επηρεάζεται κατά μεγάλο ποσοστό από τον κύλινδρο και λιγότερο από την κοιλότητα. Παράλληλα φαίνεται πως όταν υπάρχει μόνο κύλινδρος η συχνότητα μεταβάλλεται γραμμικά με την ταχύτητα δίνοντας σχεδόν σταθερό αριθμό Strouhal. Στις θέσεις X2, X3 εμφανίζονται ταλαντώσεις του μετρητικού οργάνου στη συχνότητα 62.5Hz.



Σχήμα 4.72: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X1



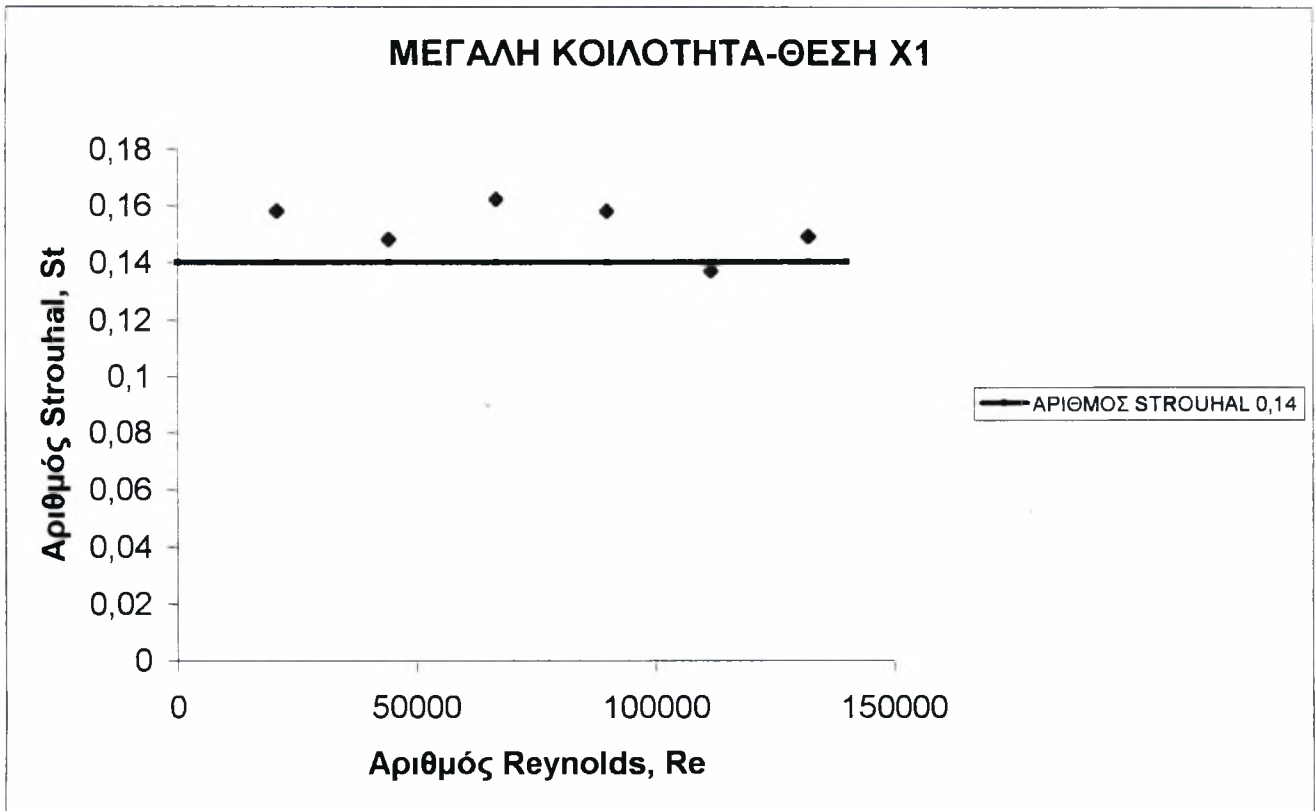
Σχήμα 4.73: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X2



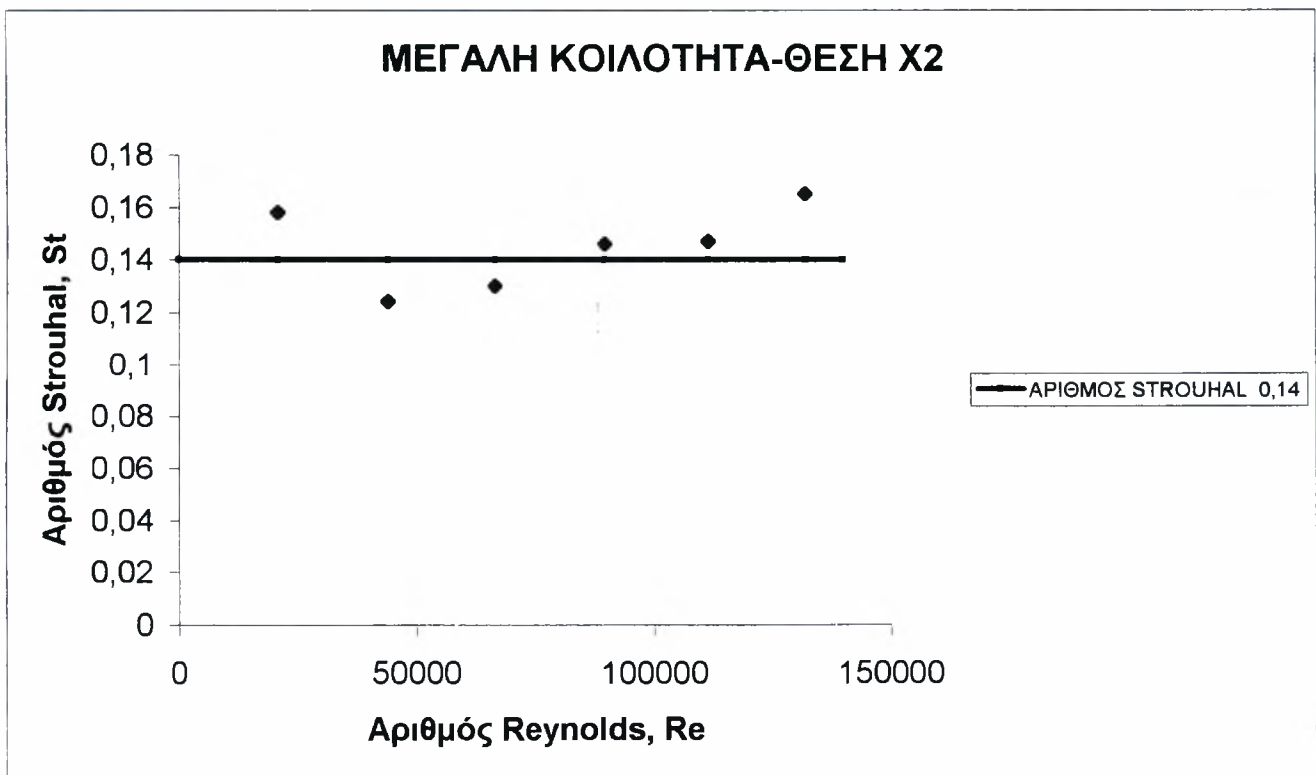
Σχήμα 4.74: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X3

Σε αντίθεση με τις προηγούμενες περιπτώσεις όταν υπάρχει η μεγάλη κοιλότητα και ο κύλινδρος διαμέτρου 2 cm οι τιμές των συχνοτήτων των δινών είναι ανάμεσα από αυτές όταν υπάρχει μόνο κύλινδρος ή μόνο κοιλότητα. Ωστόσο και εδώ η σχέση είναι γραμμική δίνοντας έτσι σταθερό αριθμό Strouhal. Έτσι από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται πως στις χαμηλές ταχύτητες μεγαλύτερη επίδραση στις σχηματιζόμενες δίνες έχει ο κύλινδρος, ενώ όσο αυξάνει η ταχύτητα της ροής αυξάνει και η επίδραση της κοιλότητας.

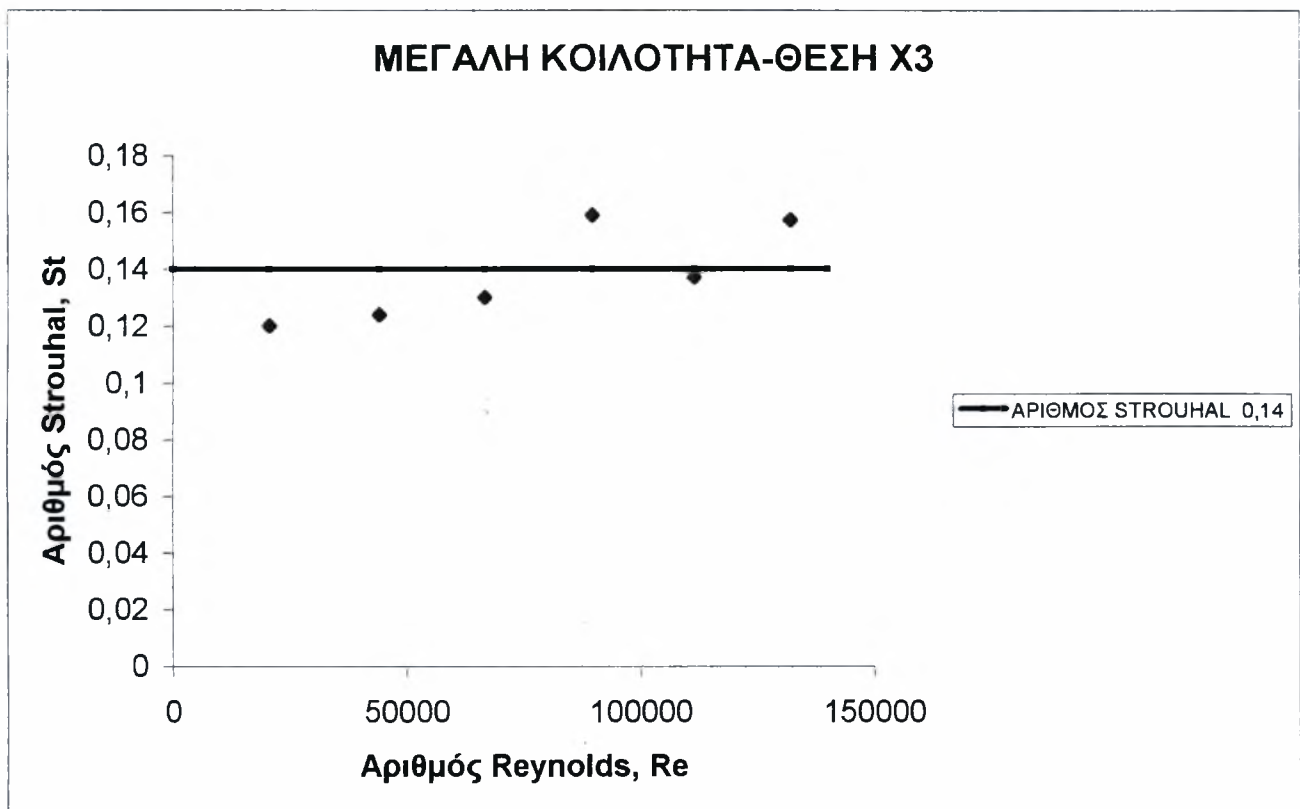
Όταν υπάρχει μόνο κύλινδρος η συχνότητα των δινών αυξάνει γραμμικά με την ταχύτητα και ο αριθμός Strouhal που προκύπτει είναι σχεδόν σταθερός και στις τρεις θέσεις. Και στις τρεις θέσεις η γραμμή που αντιστοιχεί στον κύλινδρο έχει μεγαλύτερη κλίση από τις άλλες περιπτώσεις δίνοντας έτσι μεγαλύτερο αριθμό Strouhal.



Σχήμα 4.75: Εξάρτηση του αριθμού Strouhal από τον αριθμό Reynolds για τη θέση X1



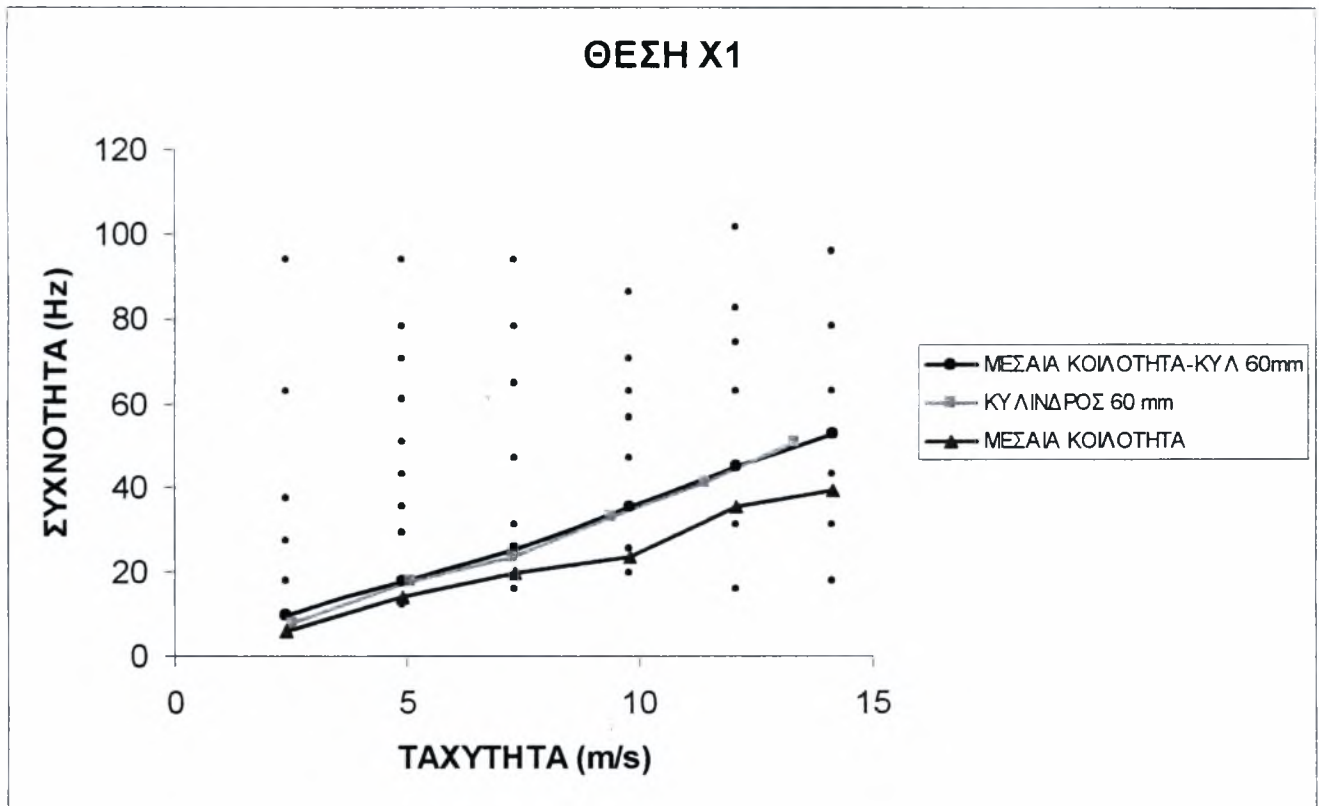
Σχήμα 4.76: Εξάρτηση του αριθμού Strouhal από τον αριθμό Reynolds για τη θέση X2



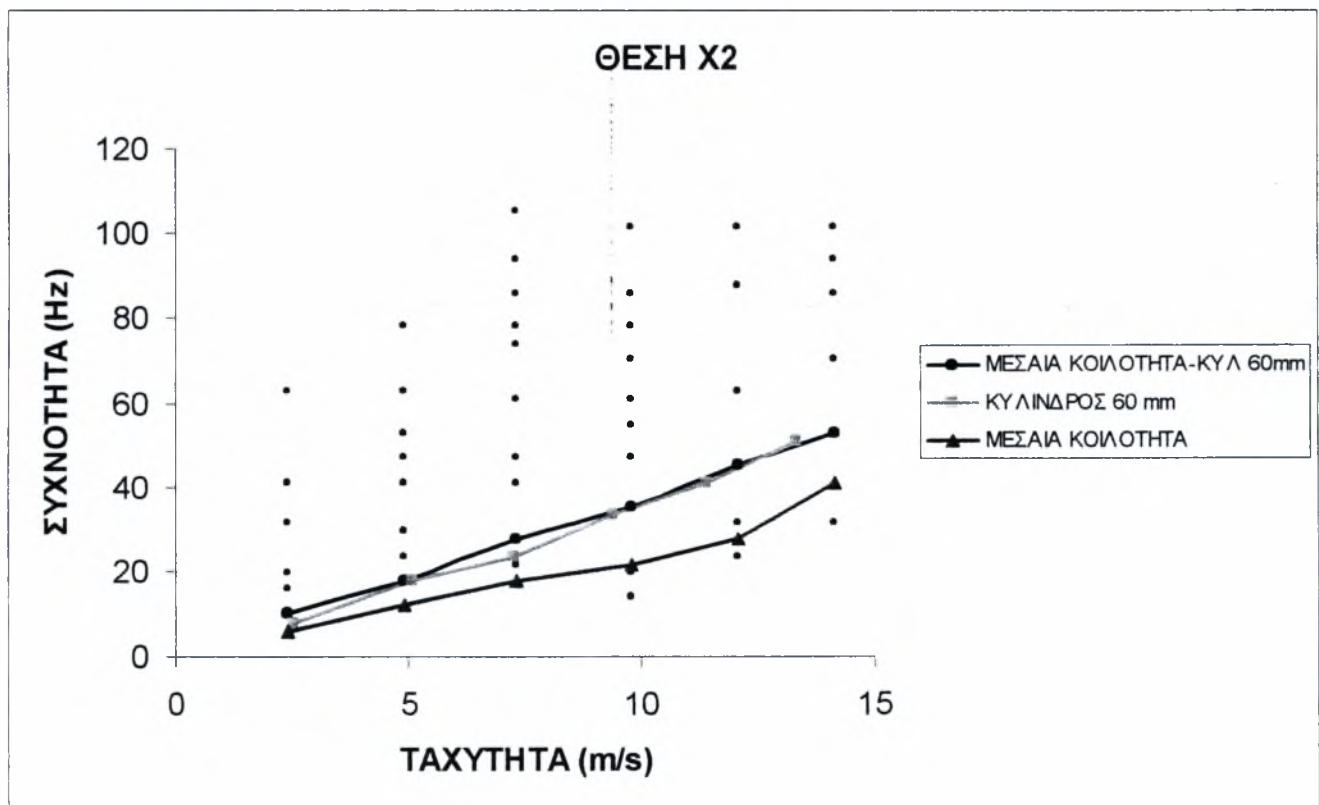
Σχήμα 4.77: Εξάρτηση του αριθμού Strouhal από τον αριθμό Reynolds για τη θέση X3

Από τα διαγράμματα $St=f(Re)$ φαίνεται πως όταν υπάρχει μόνο η μεγάλη κοιλότητα και στις τρεις θέσεις ο αριθμός Strouhal δεν είναι σταθερός παίρνοντας τιμές από 0.12 έως 0.165. Η γραμμή αντιστοιχεί σε σταθερό αριθμό Strouhal (0.14). Αυτός προκύπτει από τη βιβλιογραφία για ελεύθερη ροή σε κοιλότητα. Οι αδιάστατοι αριθμοί Reynolds κα Strouhal υπολογίστηκαν αφού επιλέχθηκε ως χαρακτηριστικό μήκος το ύψος της κοιλότητας.

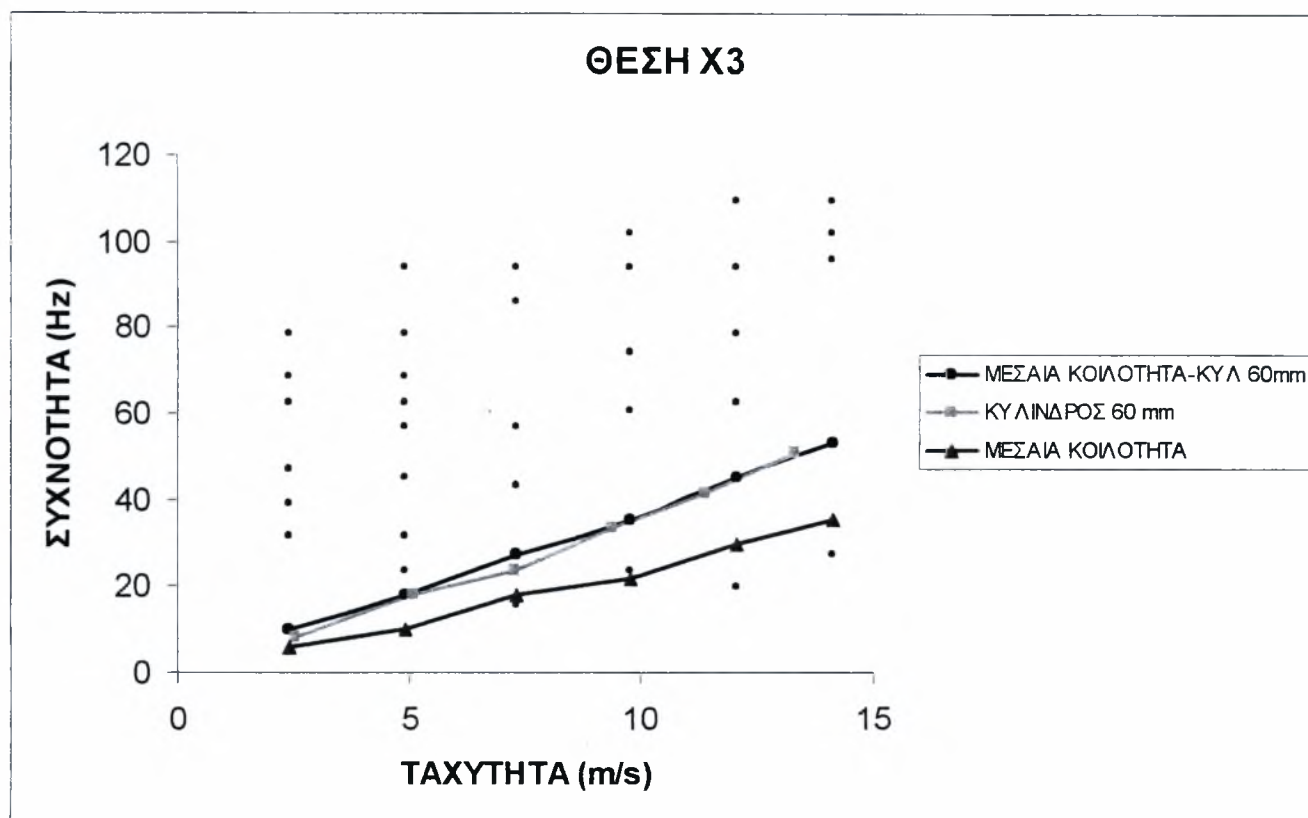
4.16.2 Διαγράμματα για τη μεσαία κοιλότητα



Σχήμα 4.78: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X1



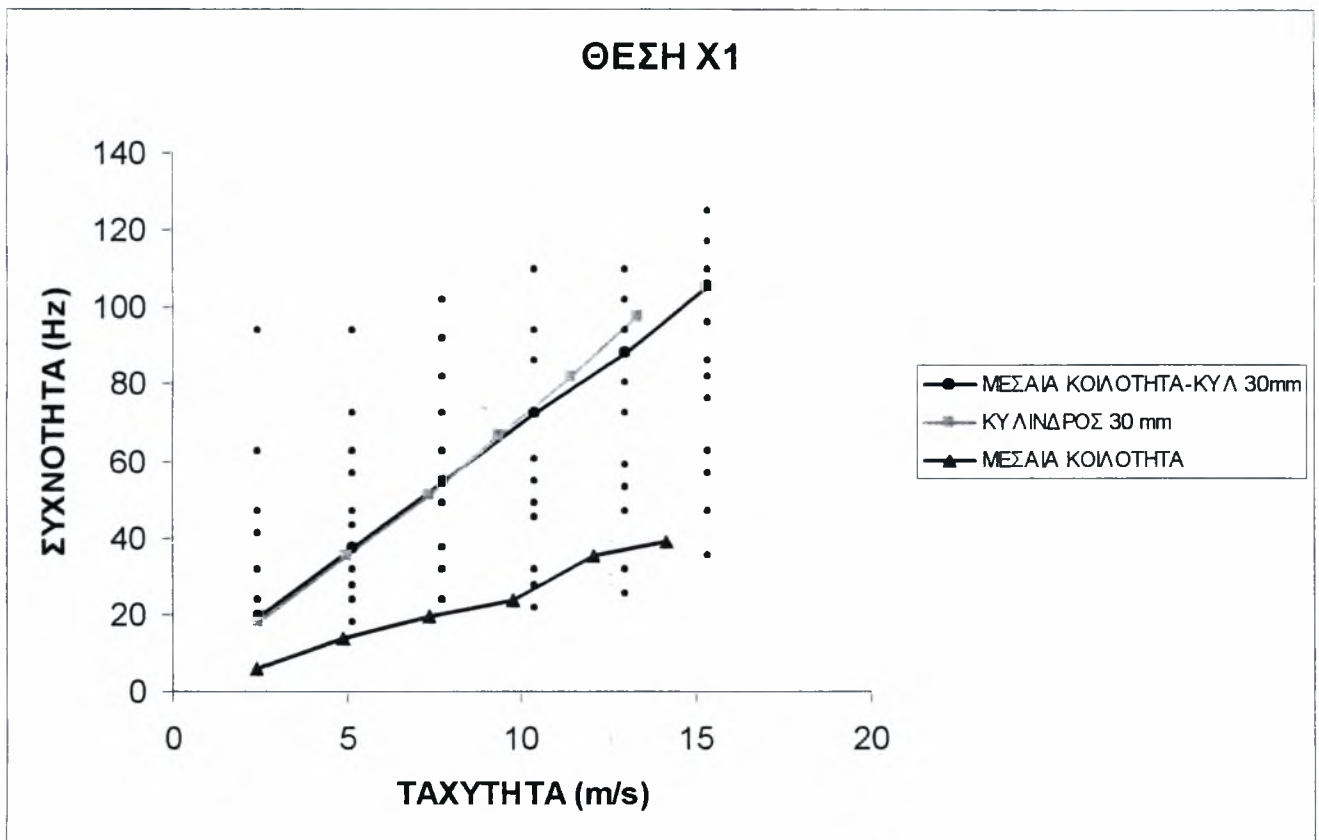
Σχήμα 4.79: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X2



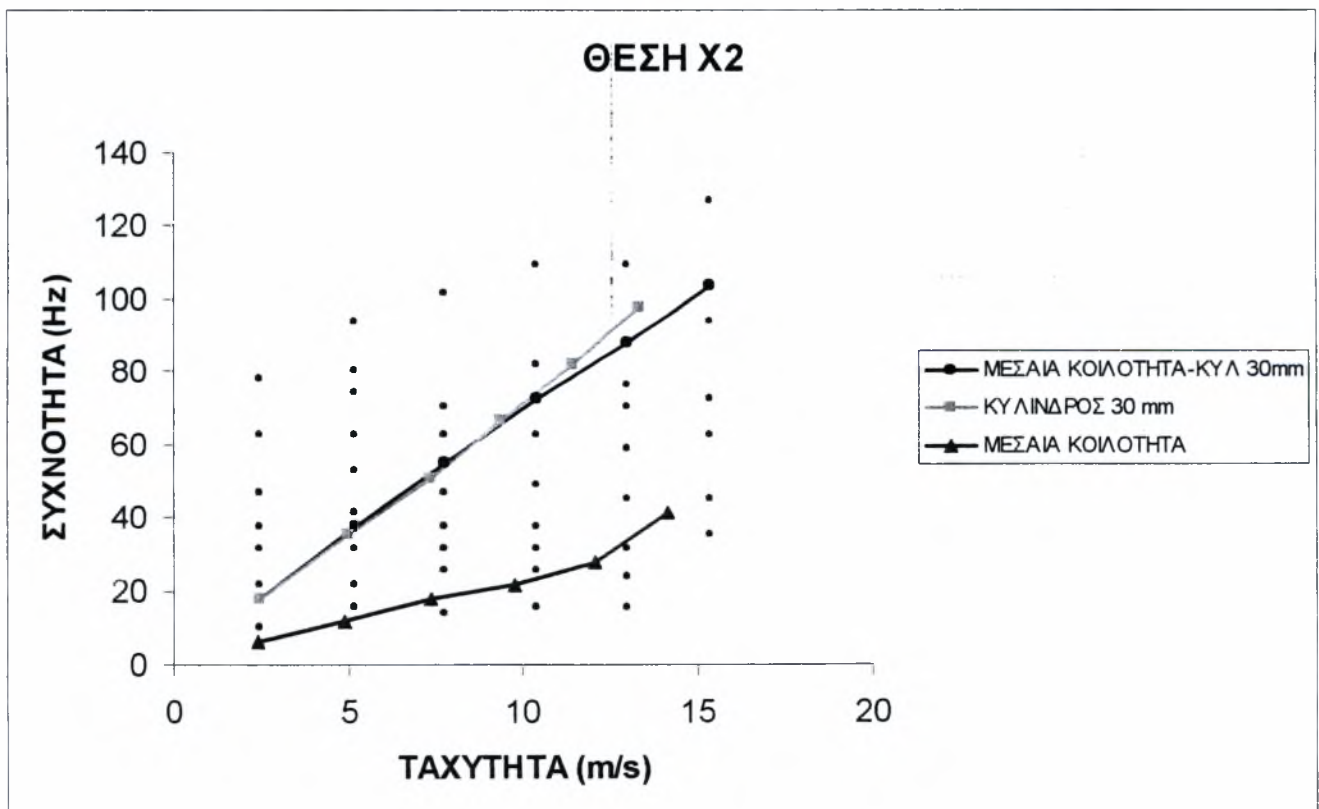
Σχήμα 4.80: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X3

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται και στις τρεις θέσεις πως όταν υπάρχει η μεσαία κοιλότητα και ο κύλινδρος διαμέτρου 6 cm οι τιμές των συχνοτήτων των δινών είναι παρόμοιες με αυτές όταν υπάρχει μόνο ο κύλινδρος. Παράλληλα η σχέση μεταξύ της συχνότητας και της ταχύτητας είναι σχεδόν γραμμική και στις τρεις θέσεις. Έτσι προκύπτει το συμπέρασμα ότι ο αριθμός Strouhal πρέπει να παραμένει σταθερός με την αύξηση της ταχύτητας. Επίσης παρατηρείται πως στις χαμηλές ταχύτητες και ο κύλινδρος και η κοιλότητα έχουν σχεδόν ίδια επίδραση στο σχηματισμό των δινών, ενώ σε μεγαλύτερες ταχύτητες η επίδραση της κοιλότητας μειώνεται σημαντικά.

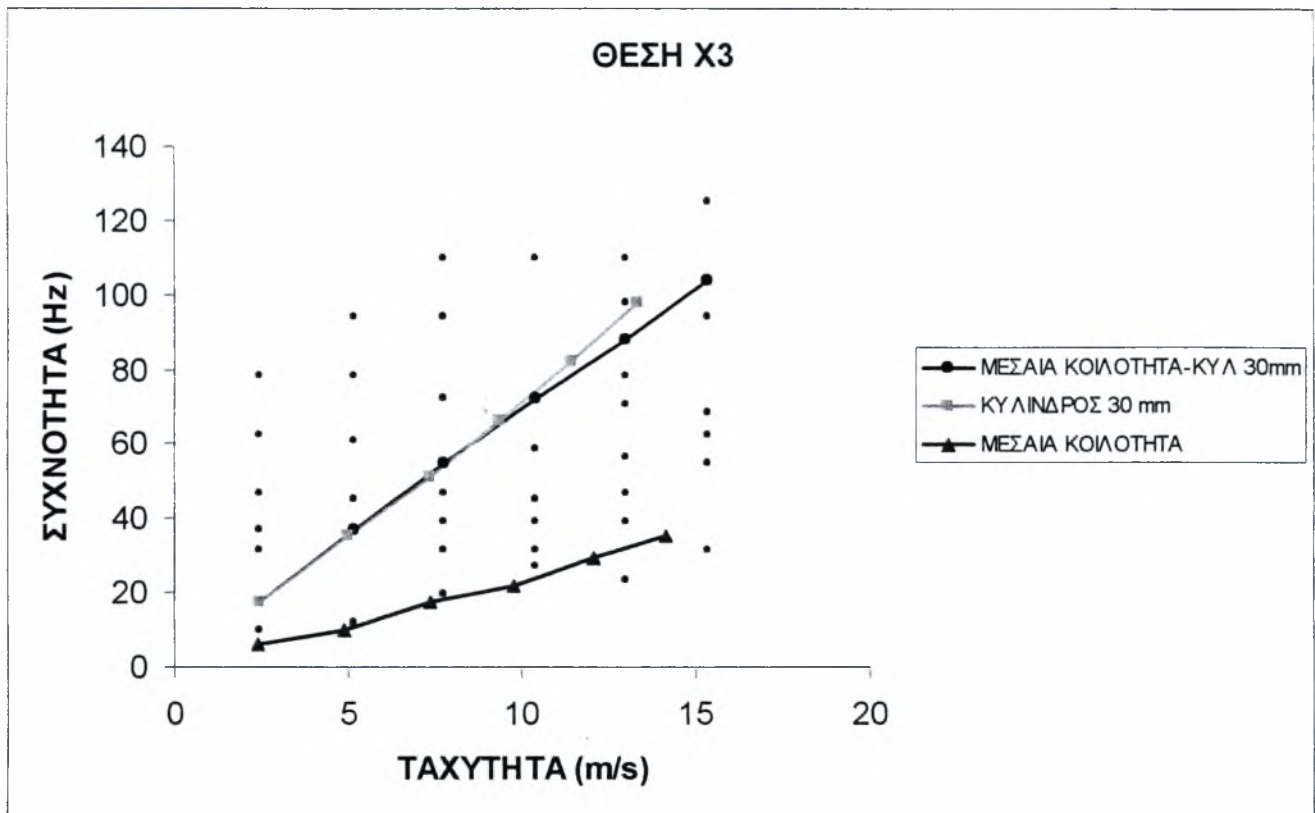
Όταν υπάρχει μόνο η κοιλότητα φαίνεται πως σχέση συχνότητας-ταχύτητας δεν είναι γραμμική με αποτέλεσμα ο αριθμός Strouhal να μεταβάλλεται. Δεν ισχύει όμως το ίδιο όταν υπάρχει μόνο ο κύλινδρος όπου η συχνότητα μεταβάλλεται γραμμικά με την ταχύτητα δίνοντας έτσι σχεδόν σταθερό αριθμό Strouhal.



Σχήμα 4.81: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X1

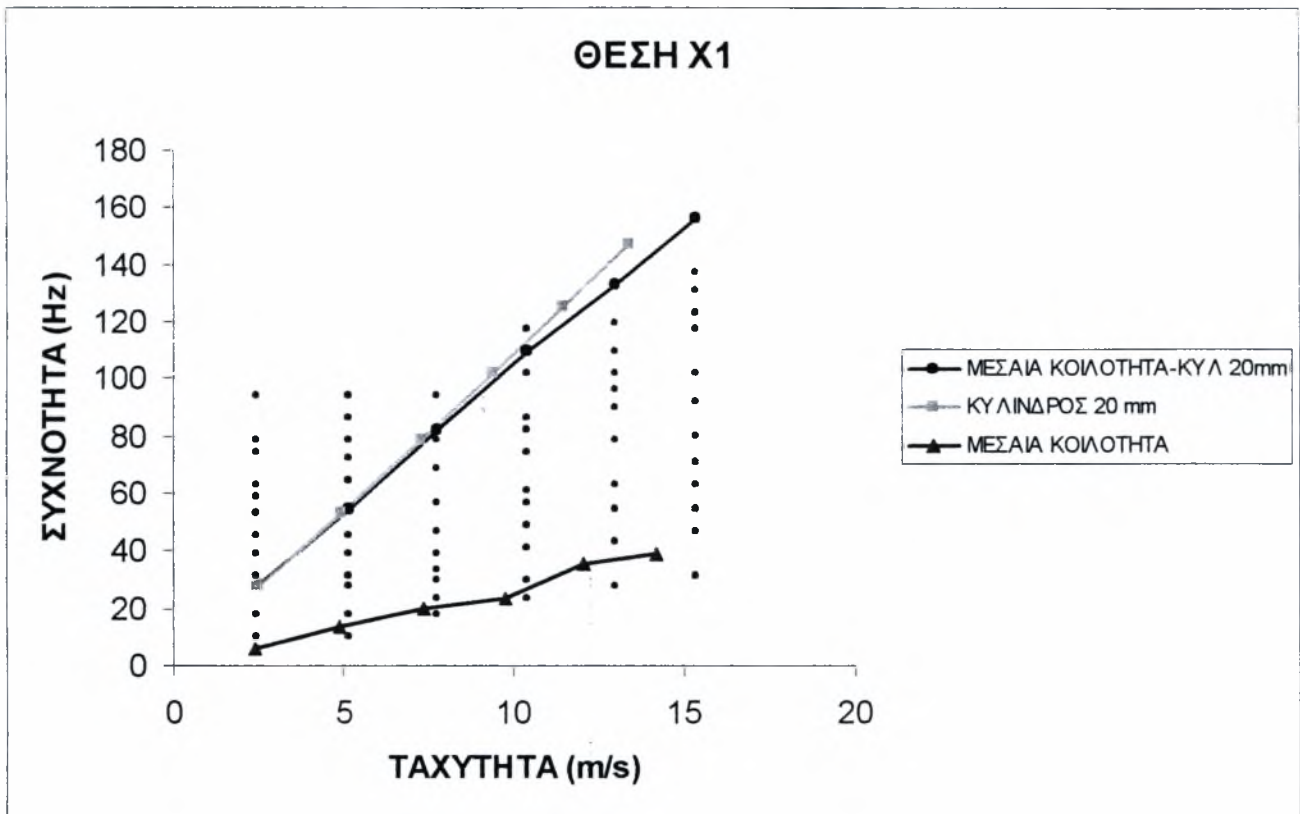


Σχήμα 4.82: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X2

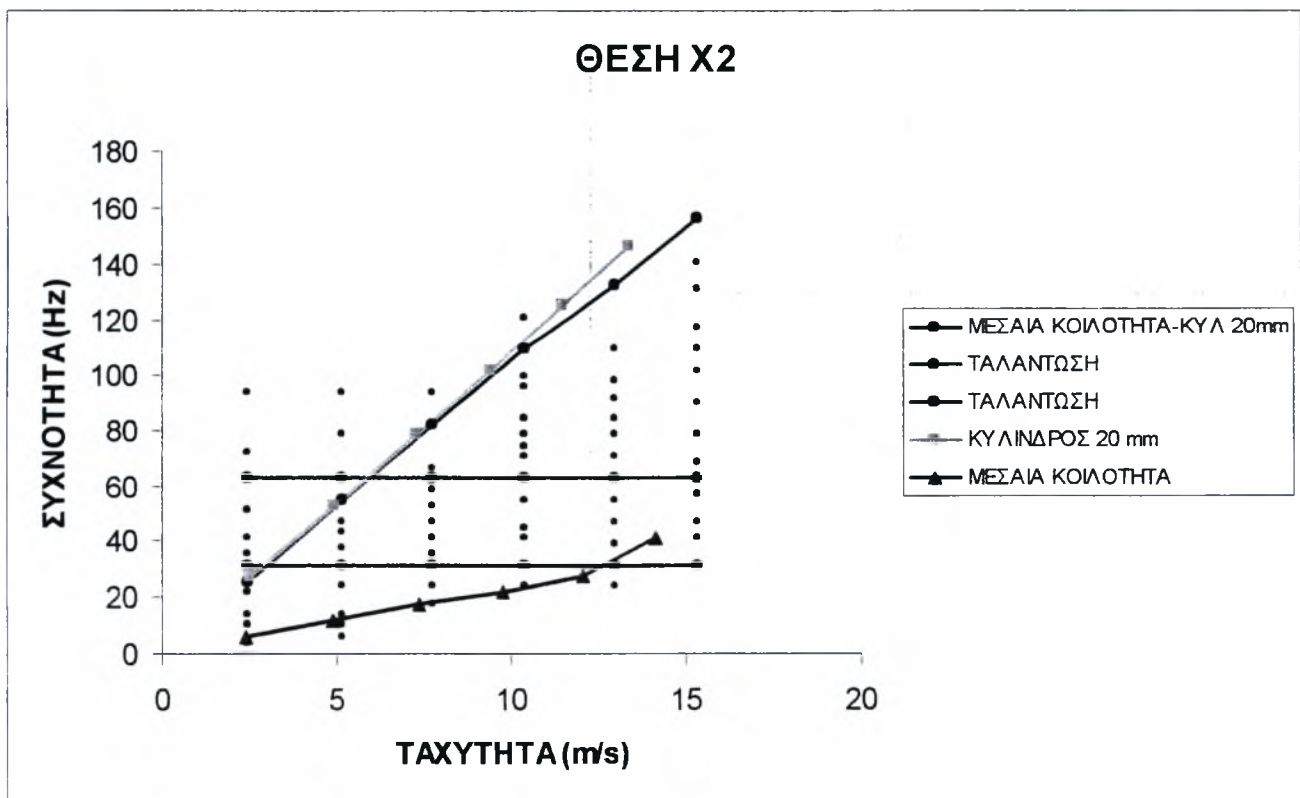


Σχήμα 4.83: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X3

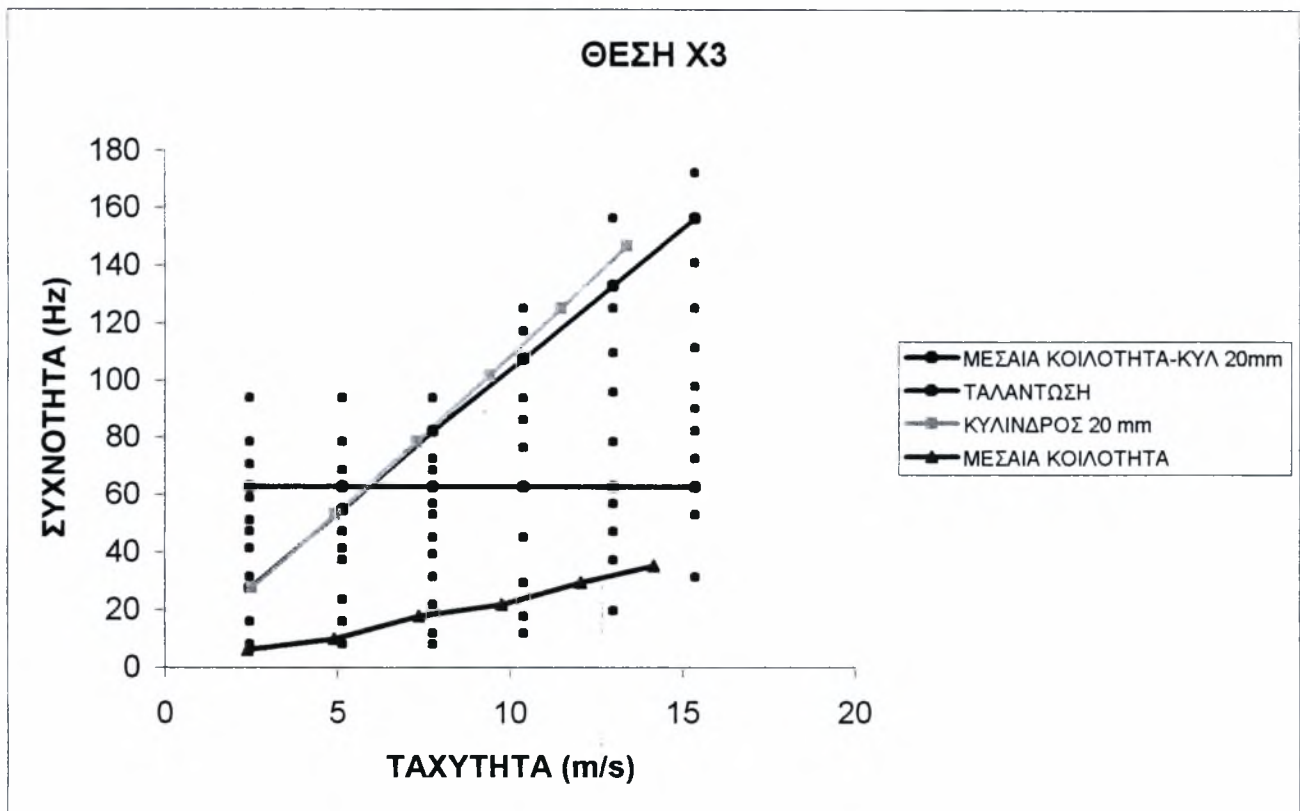
Από τα διαγράμματα φαίνεται πως τόσο στην περίπτωση όπου υπάρχει η μεσαία κοιλότητα συγχρόνως με τον κύλινδρο διαμέτρου 3cm, όσο και στην περίπτωση όπου υπάρχει μόνο ο κύλινδρος η σχέση συχνότητας-ταχύτητας είναι γραμμική και για τις τρεις θέσεις δίνοντας έτσι σχεδόν σταθερό αριθμό Strouhal. Επίσης φαίνεται πως οι τιμές των συχνοτήτων των δινών είναι παρόμοιες και στις δύο περιπτώσεις από το οποίο προκύπτει το συμπέρασμα ότι η δυναμική των δινών επηρεάζεται περισσότερο από τον κύλινδρο και λιγότερο από την κοιλότητα. Επίσης όσο αυξάνεται η ταχύτητα της ροής μειώνεται σημαντικά η επίδραση της κοιλότητας στο σχηματισμό των δινών.



Σχήμα 4.84: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X1

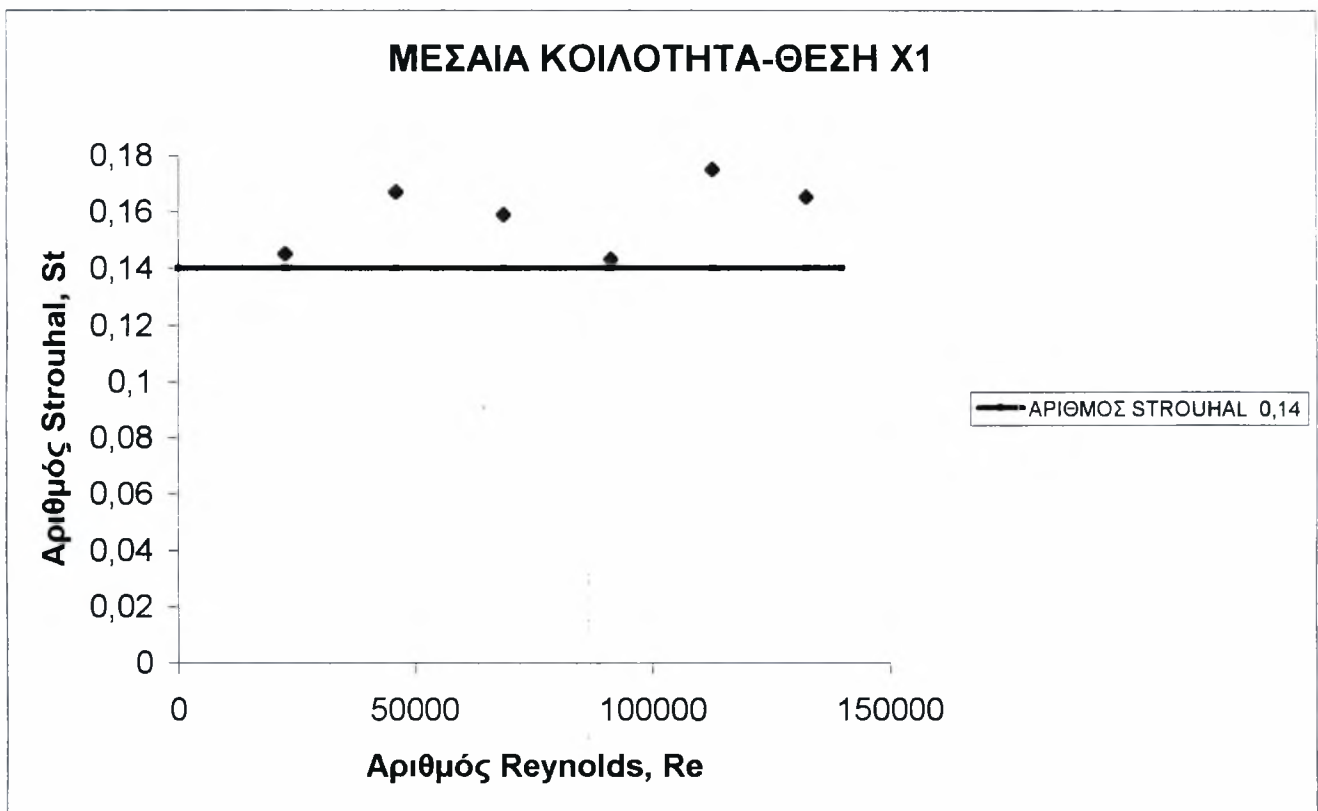


Σχήμα 4.85: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X2

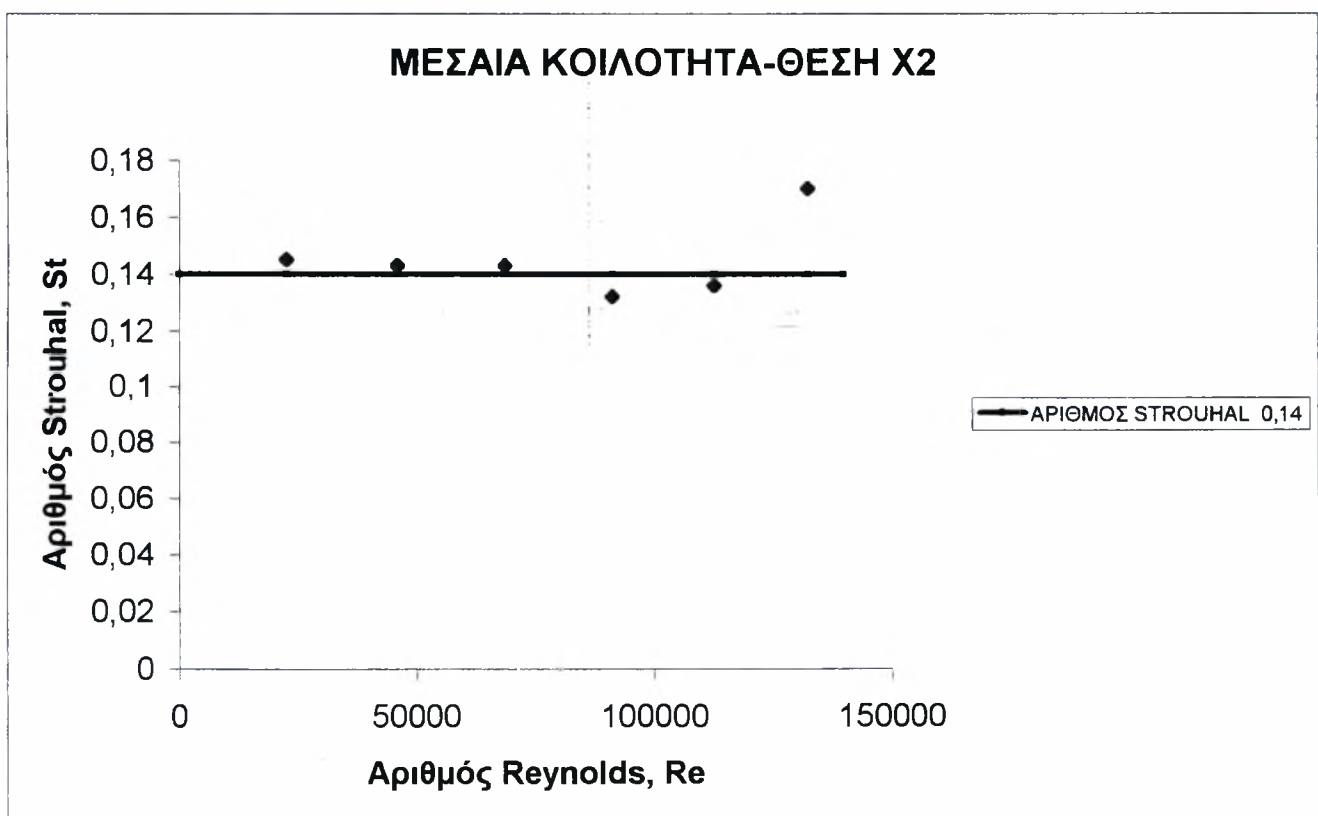


Σχήμα 4.86: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X3

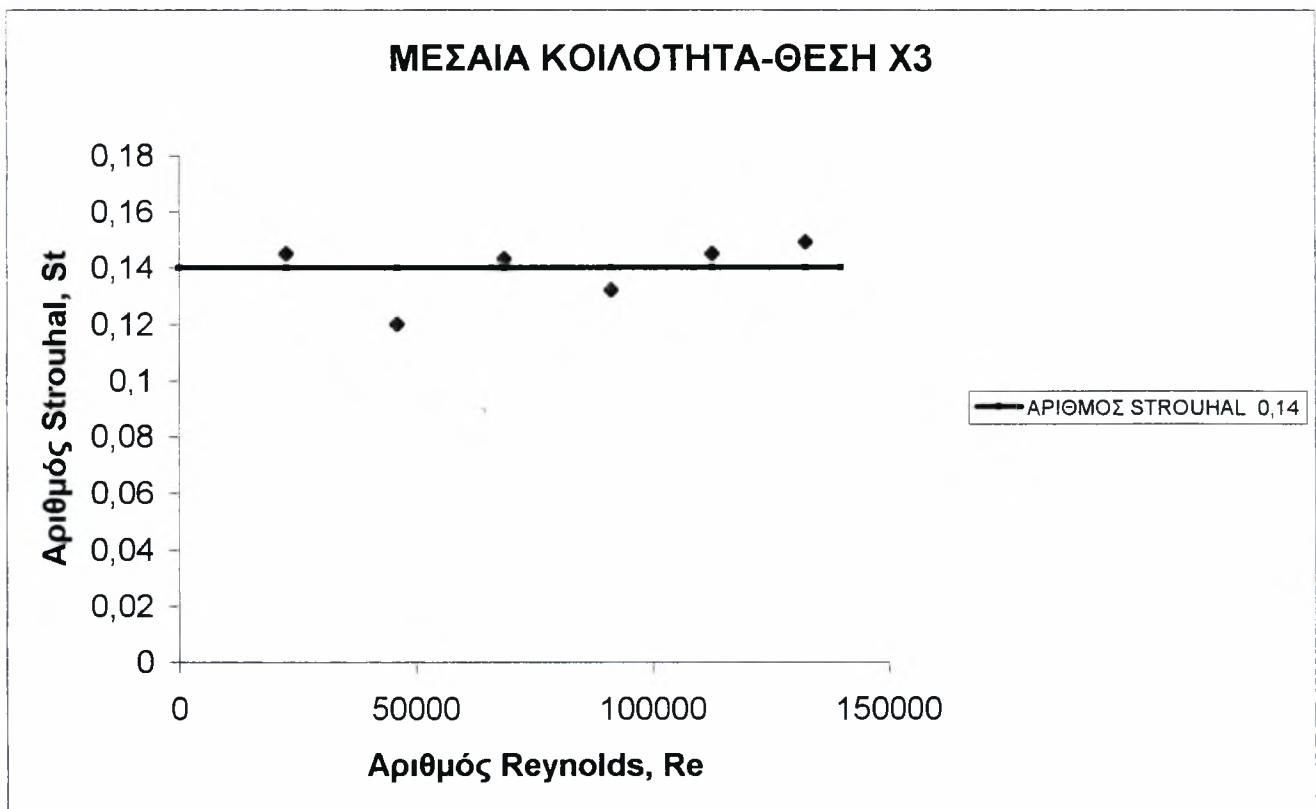
Από τα διαγράμματα φαίνεται πως και στις τρεις θέσεις η συχνότητα μεταβάλλεται γραμμικά με την ταχύτητα τόσο όταν υπάρχει η μεσαία κοιλότητα με τον κύλινδρο διαμέτρου 2 cm, όσο και όταν υπάρχει μόνο ο κύλινδρος. Έτσι ο αριθμός Strouhal είναι σχεδόν σταθερός, ενώ και εδώ η δυναμική των δινών επηρεάζεται περισσότερο από τον κύλινδρο από ότι την κοιλότητα. Επίσης όσο αυξάνεται η ταχύτητα τόσο μειώνεται η επίδραση της κοιλότητας στο σχηματισμό των δινών. Στη θέση X2 οι συχνότητες 31.25 και 62.5 Hz αντιστοιχούν σε ταλάντωση του μετρητικού οργάνου, ενώ το ίδιο γίνεται στη θέση X3 και τη συχνότητα 62.5 Hz.



Σχήμα 4.87: Εξάρτηση του αριθμού Strouhal από τον αριθμό Reynolds για τη θέση X1



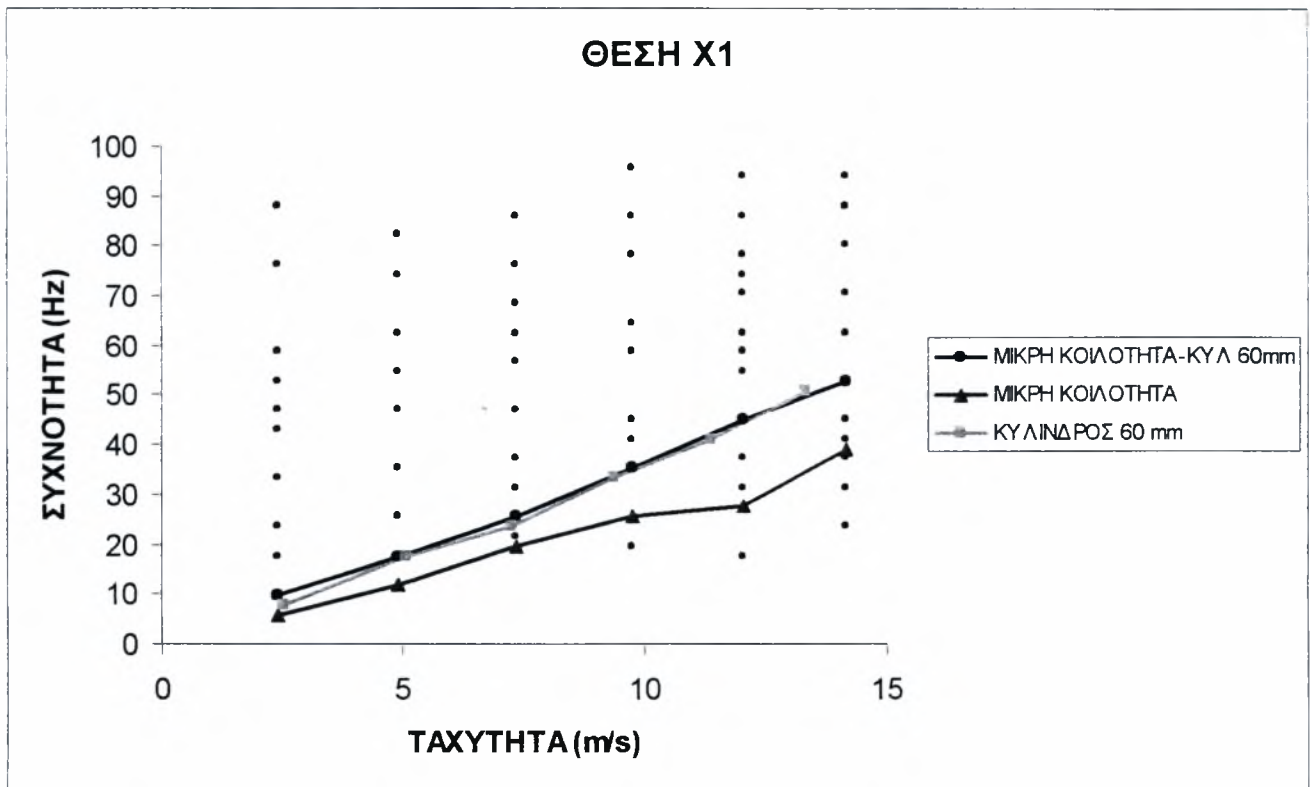
Σχήμα 4.88: Εξάρτηση του αριθμού Strouhal από τον αριθμό Reynolds για τη θέση X2



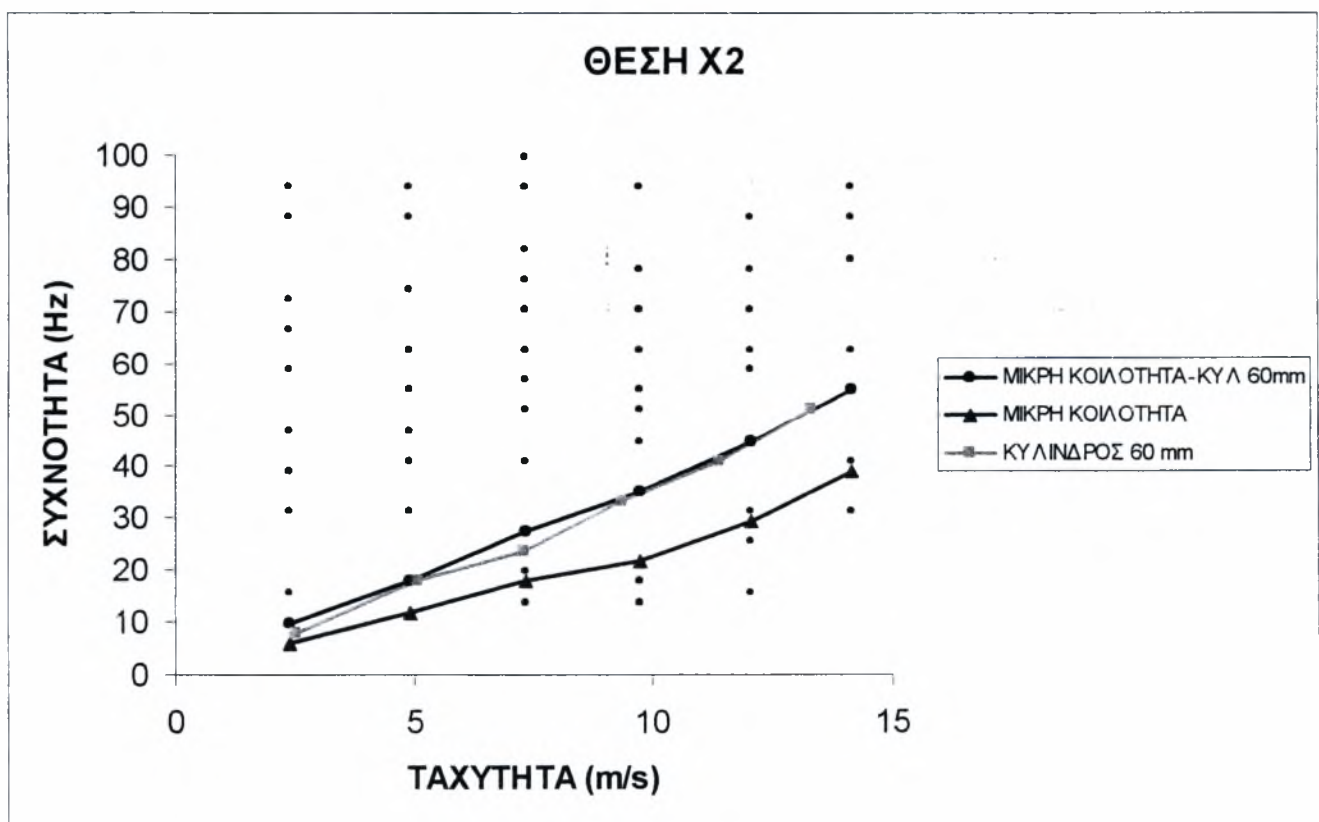
Σχήμα 4.89: Εξάρτηση του αριθμού Strouhal από τον αριθμό Reynolds για τη θέση X3

Από το διάγραμμα $St=f(Re)$ για τη θέση X1 φαίνεται πως η τιμή του αριθμού Strouhal μεταβάλλεται παίρνοντας τιμές από 0.143 έως 0.175. Στη θέση X2 παρατηρείται μια μεγαλύτερη σταθερότητα με τις τιμές να κυμαίνονται γύρω από τη γραμμή που αντιστοιχεί σε αριθμό Strouhal 0.14. Το ίδιο παρατηρείται και στη θέση X3 αφού οι περισσότερες τιμές βρίσκονται κοντά στο 0.14 εκτός από $Re=45962$ όπου ο αριθμός Strouhal παίρνει την μικρότερη τιμή (0.12). Οι αδιάστατοι αριθμοί Reynolds και Strouhal υπολογίστηκαν αφού επιλέχθηκε ως χαρακτηριστικό μήκος το ύψος της κοιλότητας.

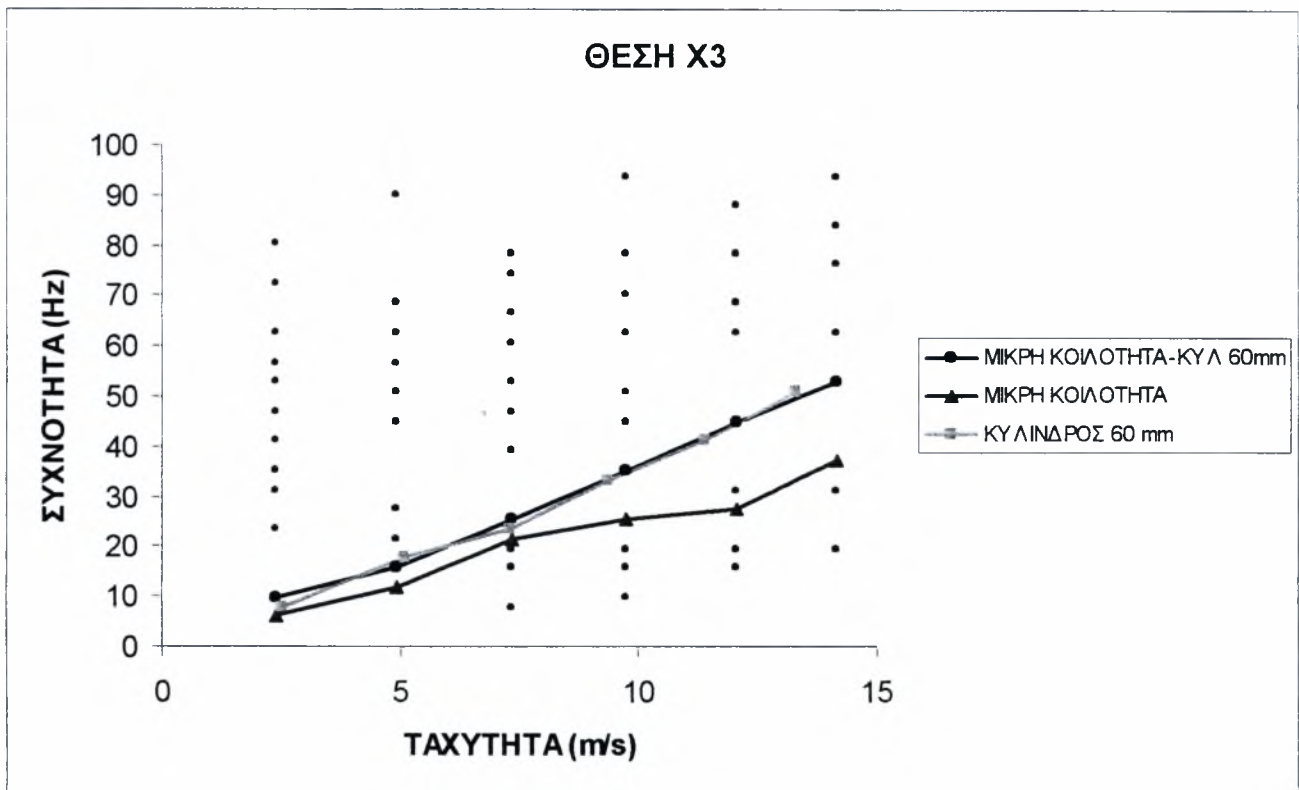
4.16.3 Διαγράμματα για τη μικρή κοιλότητα



Σχήμα 4.90: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X1



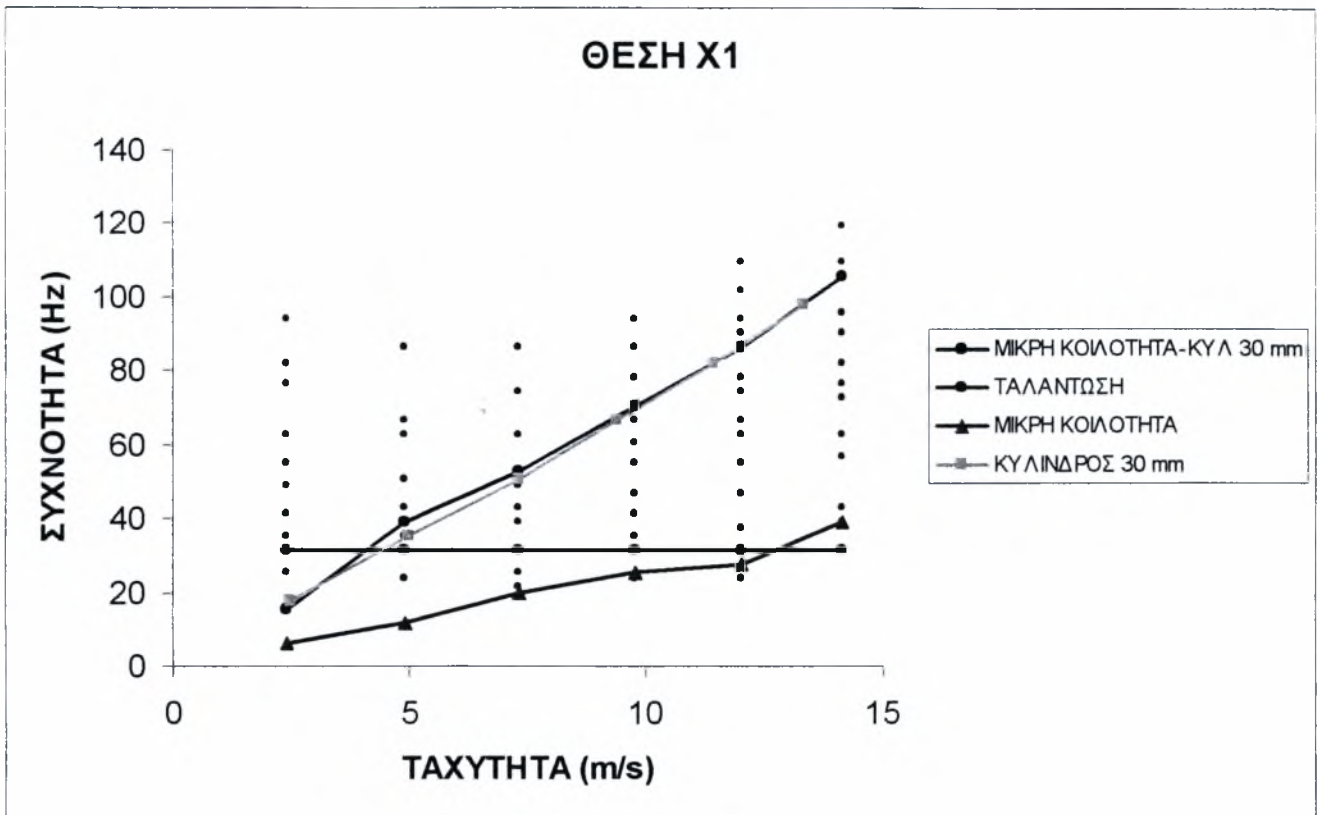
Σχήμα 4.91: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X2



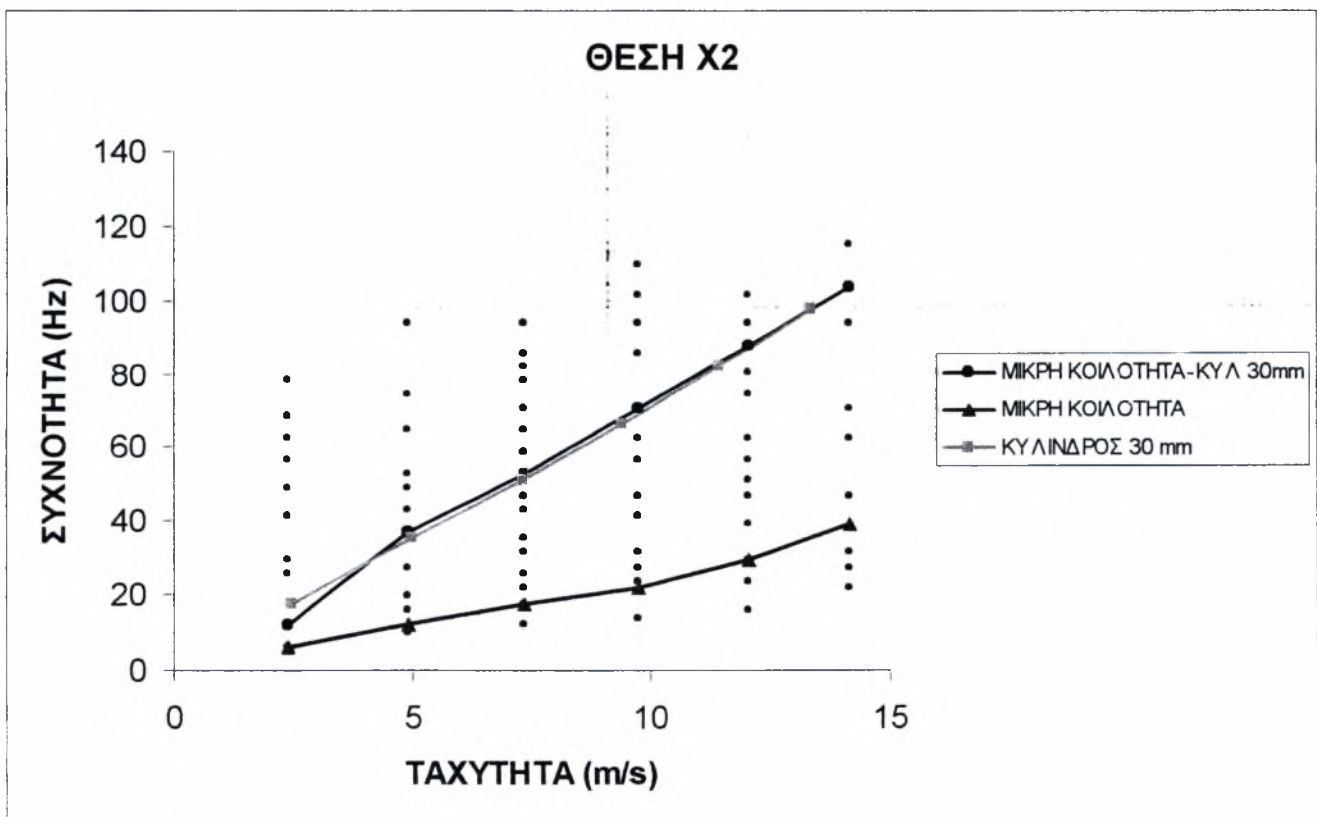
Σχήμα 4.92: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X3

Από τα διαγράμματα φαίνεται πως και στις τρεις θέσεις οι συχνότητες απόσπασης των δινών όταν υπάρχει η μικρή κοιλότητα μαζί με τον κύλινδρο διαμέτρου 6 cm είναι σχεδόν ίδιες με αυτές όταν υπάρχει μόνο ο κύλινδρος. Παράλληλα και στις δύο περιπτώσεις η σχέση συχνότητας-ταχύτητας είναι σχεδόν γραμμική με αποτέλεσμα ο αριθμός Strouhal να παραμένει σχεδόν σταθερός. Επίσης παρατηρείται πως σε χαμηλές ταχύτητες η κοιλότητα και ο κύλινδρος έχουν ίδια επίδραση στο σχηματισμό των δινών, ενώ όσο αυξάνεται η ταχύτητα μειώνεται σημαντικά η επίδραση της κοιλότητας.

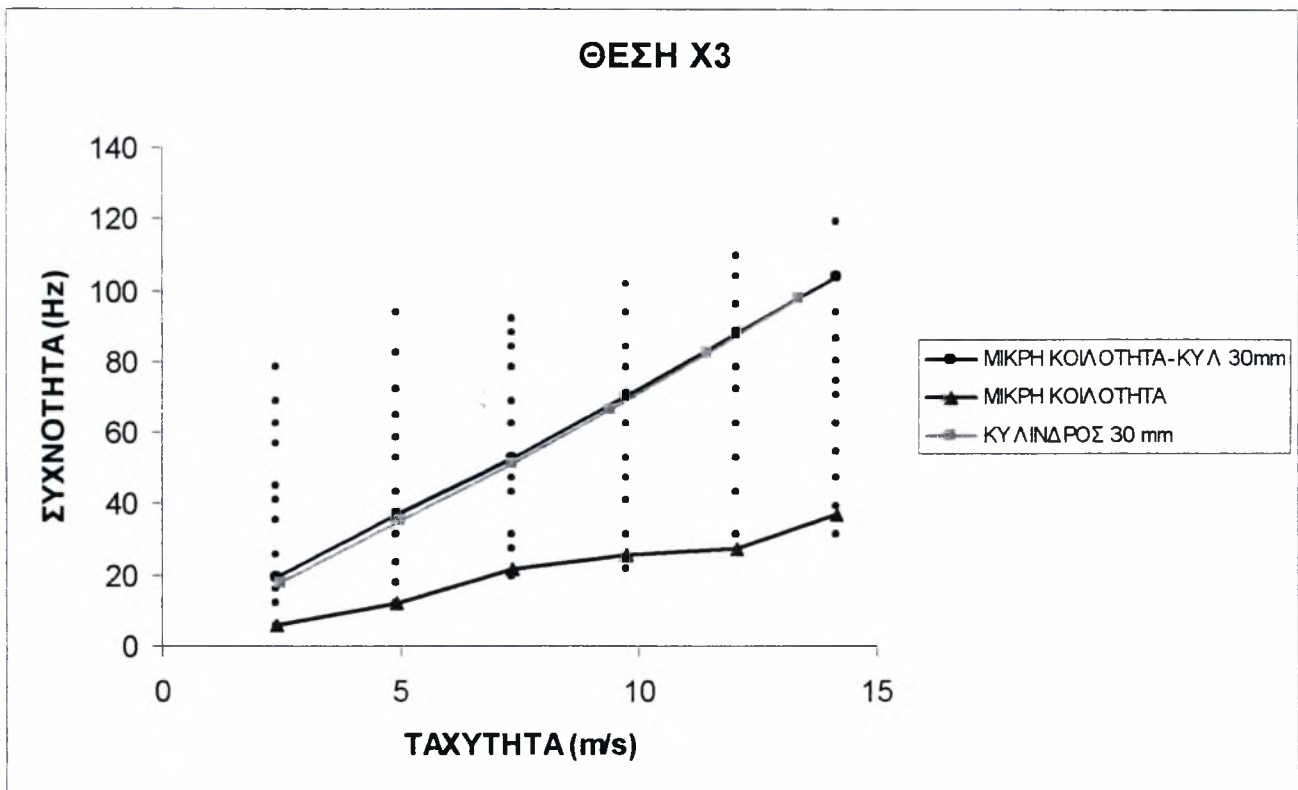
Όταν υπάρχει μόνο η κοιλότητα η σχέση συχνότητας-ταχύτητας δεν είναι γραμμική με αποτέλεσμα να μην προκύπτει σταθερός αριθμός Strouhal.



Σχήμα 4.93: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X1

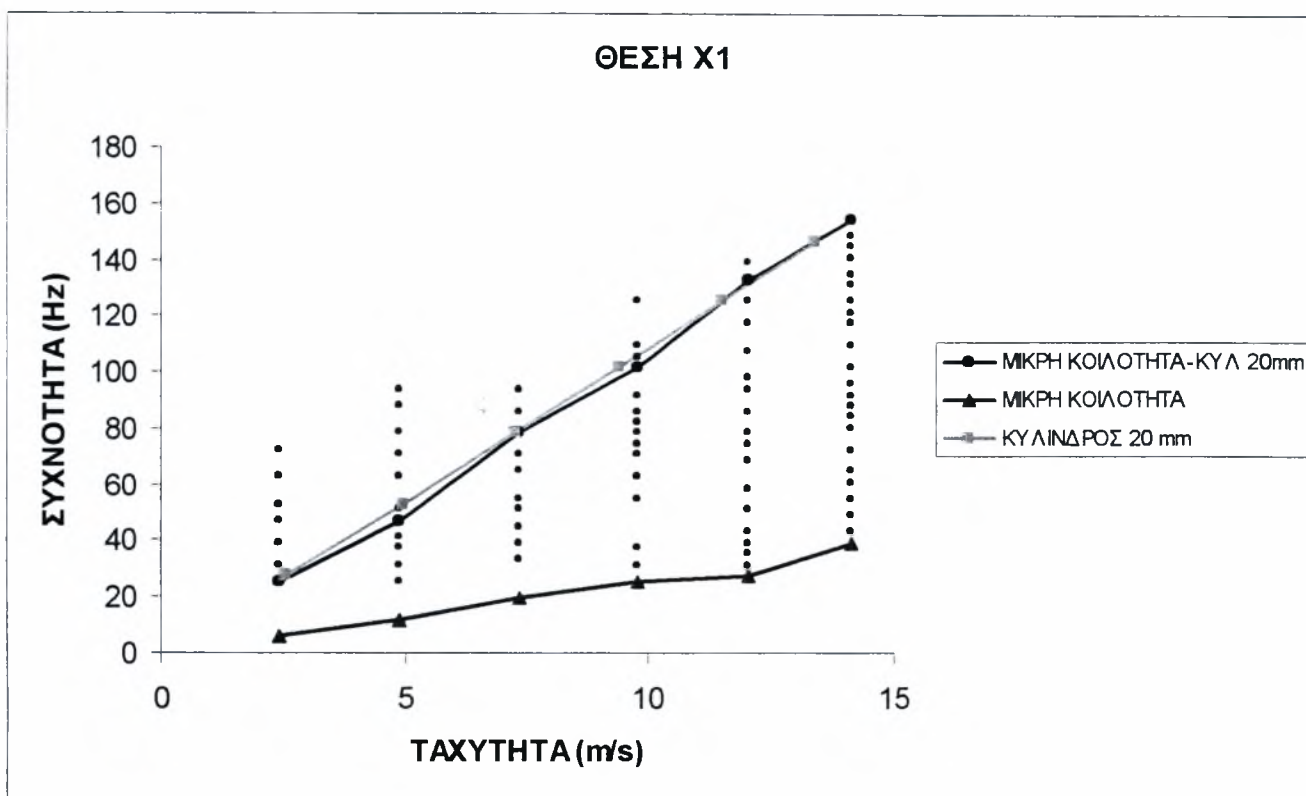


Σχήμα 4.94: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X2

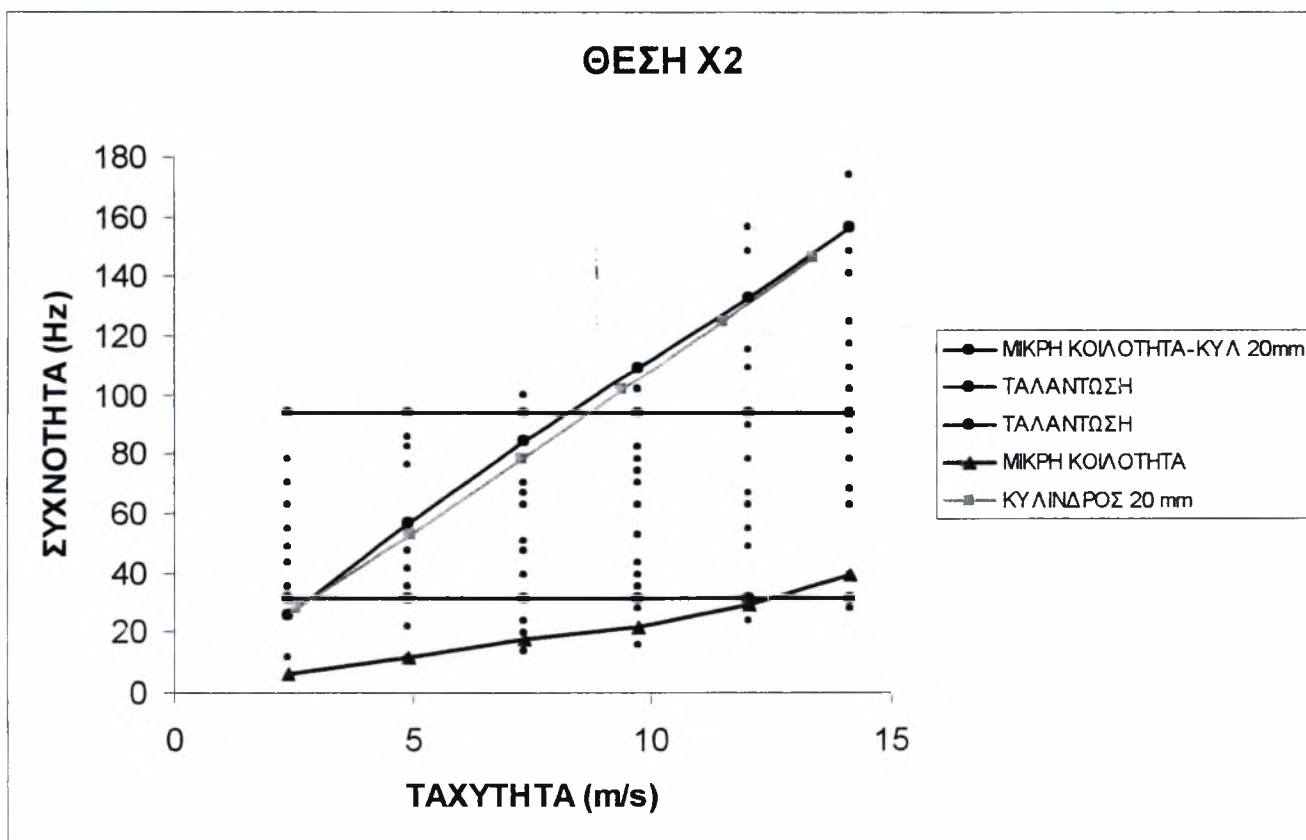


Σχήμα 4.95: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X3

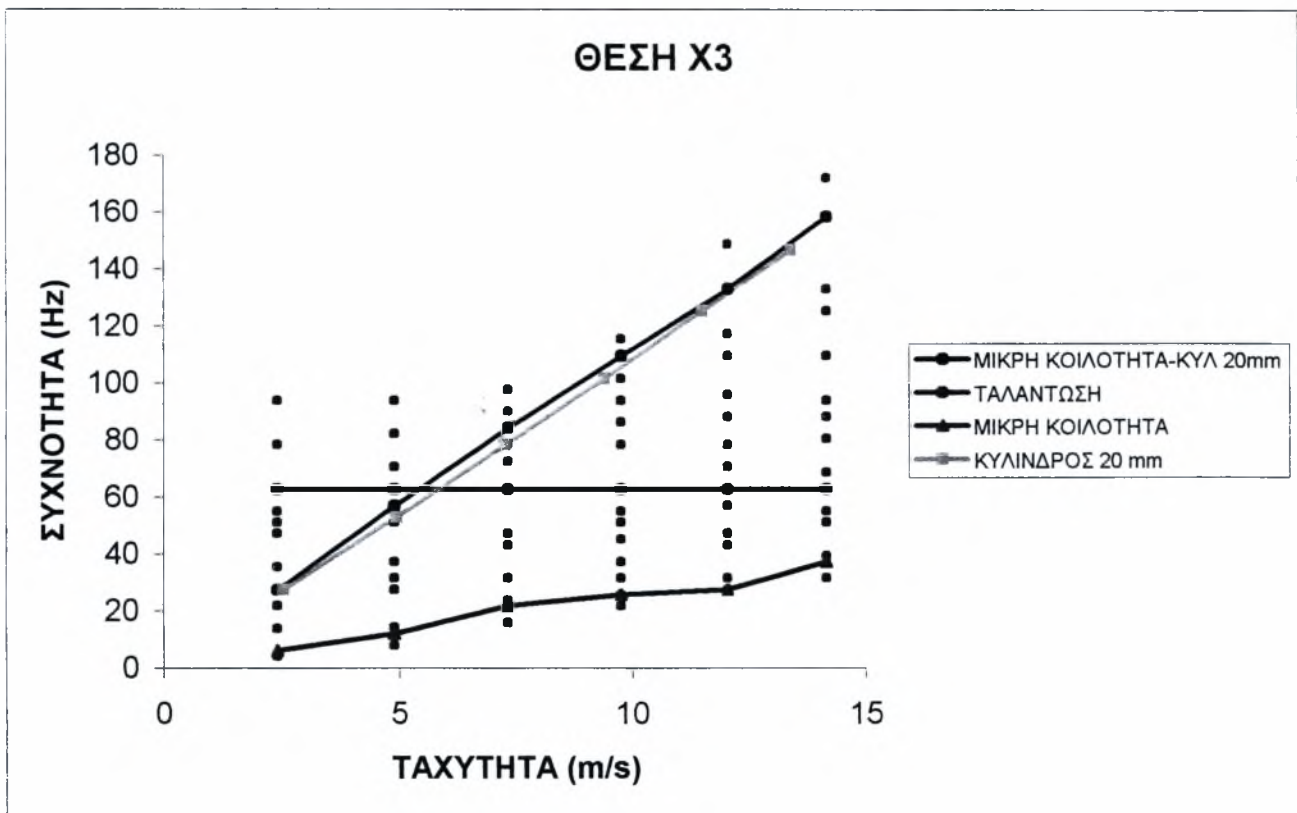
Και σε αυτή την περίπτωση όταν υπάρχει η μικρή κοιλότητα μαζί με τον κύλινδρο διαμέτρου 3 cm φαίνεται πως και στις τρεις θέσεις η συχνότητα αυξάνεται γραμμικά με την ταχύτητα και έτσι ο αριθμός Strouhal είναι σχεδόν σταθερός. Επίσης και εδώ φαίνεται πως οι κύριες συχνότητες των δινών όταν υπάρχει κύλινδρος και κοιλότητα είναι σχεδόν ίδιες με αυτές όταν υπάρχει μόνο ο κύλινδρος. Έτσι η δυναμική των δινών επηρεάζεται περισσότερο από τις δίνες που δημιουργούνται λόγω του κυλίνδρου από ότι λόγω της κοιλότητας. Η κοιλότητα έχει μια μικρή επίδραση μόνο στις χαμηλές ταχύτητες. Στη θέση X1 η συχνότητα 31.25 Hz αντιπροσωπεύει την ταλάντωση του μετρητικού οργάνου.



Σχήμα 4.96: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X1

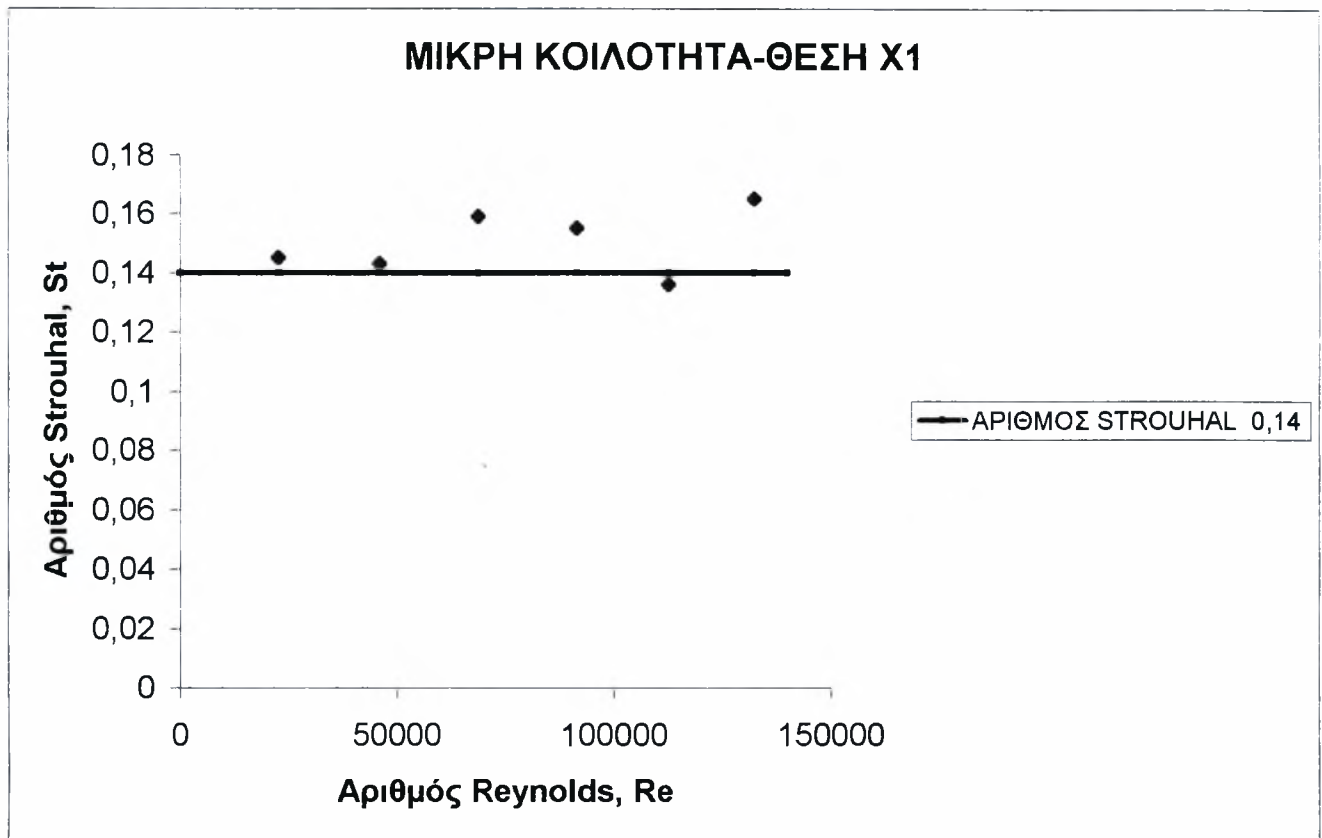


Σχήμα 4.97: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X2

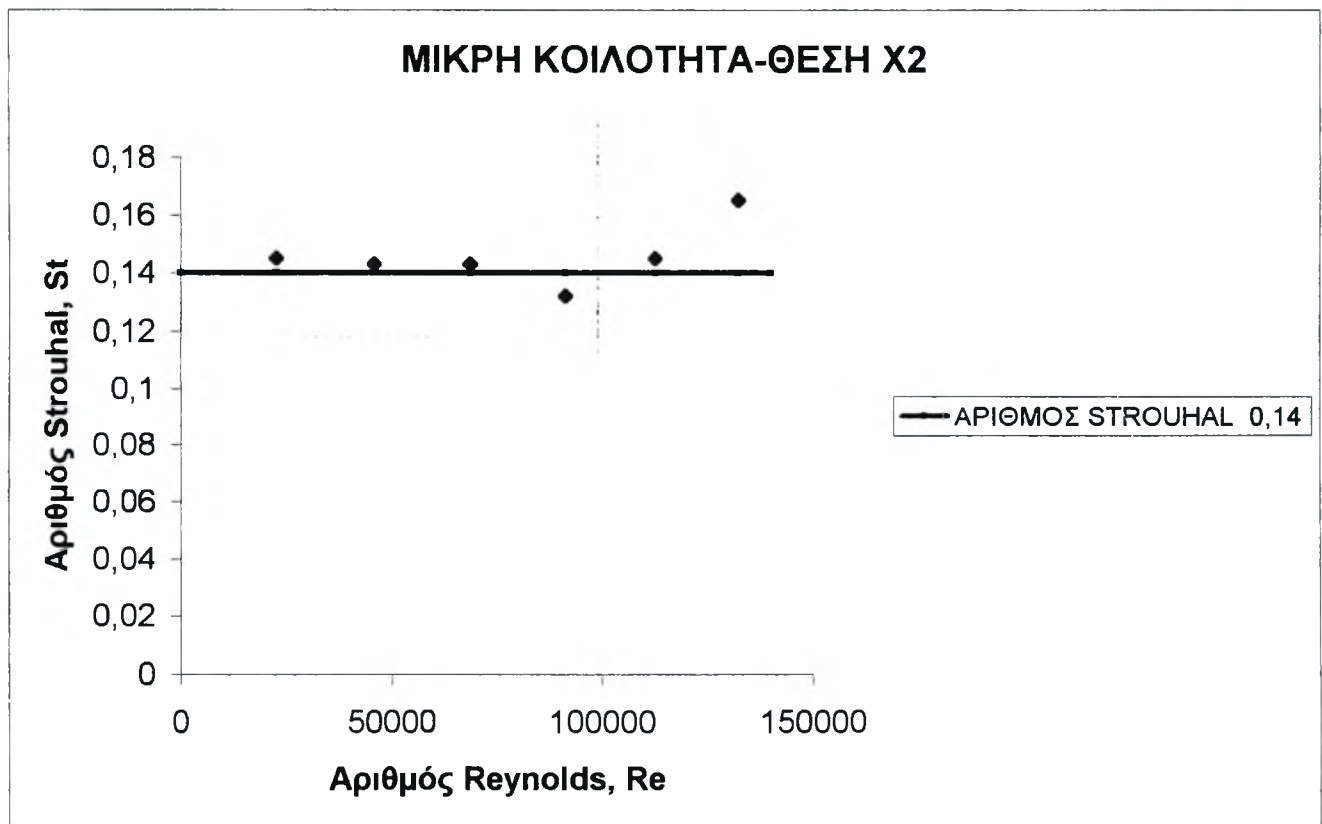


Σχήμα 4.98: Εξάρτηση της συχνότητας από την ταχύτητα για τη θέση X3

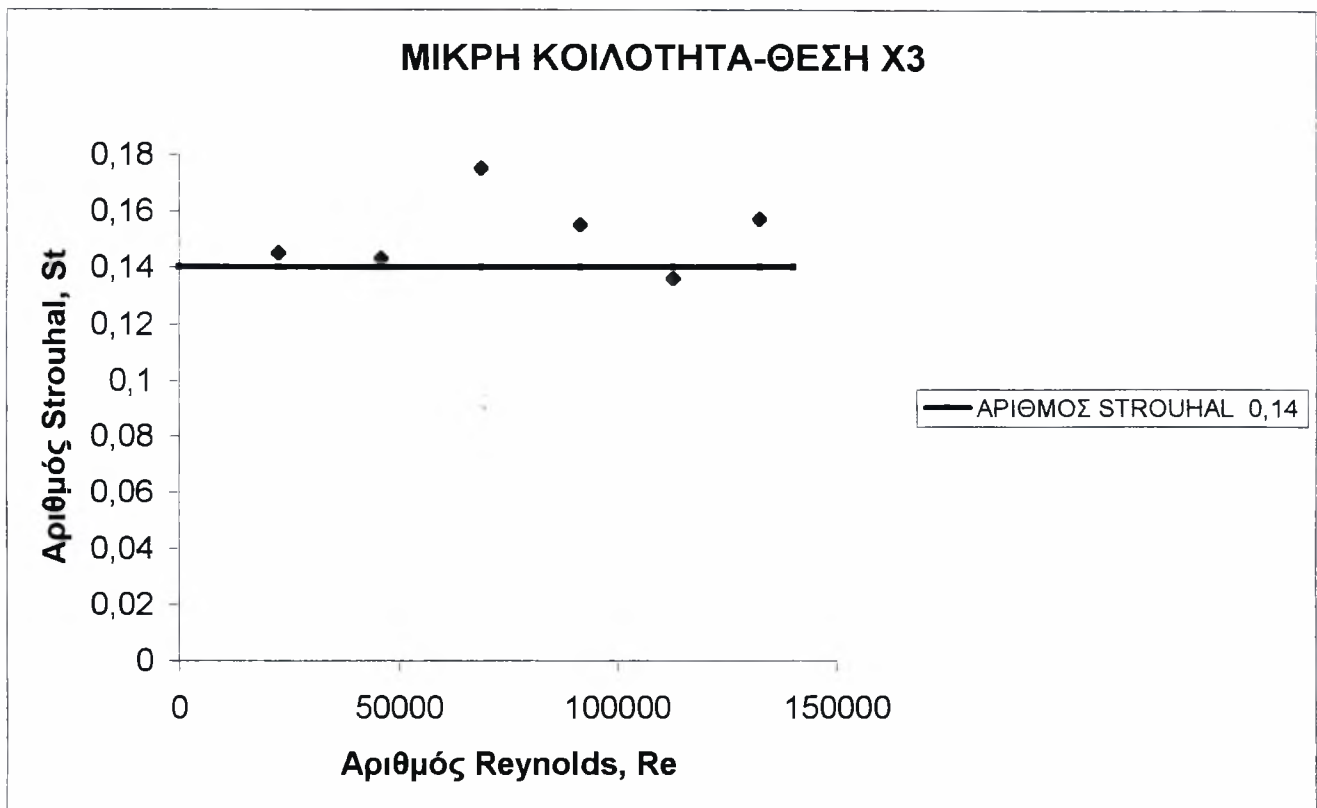
Και εδώ όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις όταν υπάρχει η μικρή κοιλότητα μαζί με τον κύλινδρο διαμέτρου 2 cm η συχνότητα αυξάνει γραμμικά με την ταχύτητα και στις τρεις θέσεις με αποτέλεσμα ο αριθμός Strouhal να παραμένει σχεδόν σταθερός. Η γραμμική σχέση μεταξύ της συχνότητας και της ταχύτητας ισχύει και όταν υπάρχει μόνο ο κύλινδρος με αποτέλεσμα και εδώ να προκύπτει σταθερός αριθμός Strouhal. Οι συχνότητες 31.25 και 93.75Hz στη θέση X2 αντιπροσωπεύουν ταλάντωση του μετρητικού οργάνου όπως και η συχνότητα 62.5 Hz στη θέση X3.



Σχήμα 4.99: Εξάρτηση του αριθμού Strouhal από τον αριθμό Reynolds για τη θέση X1

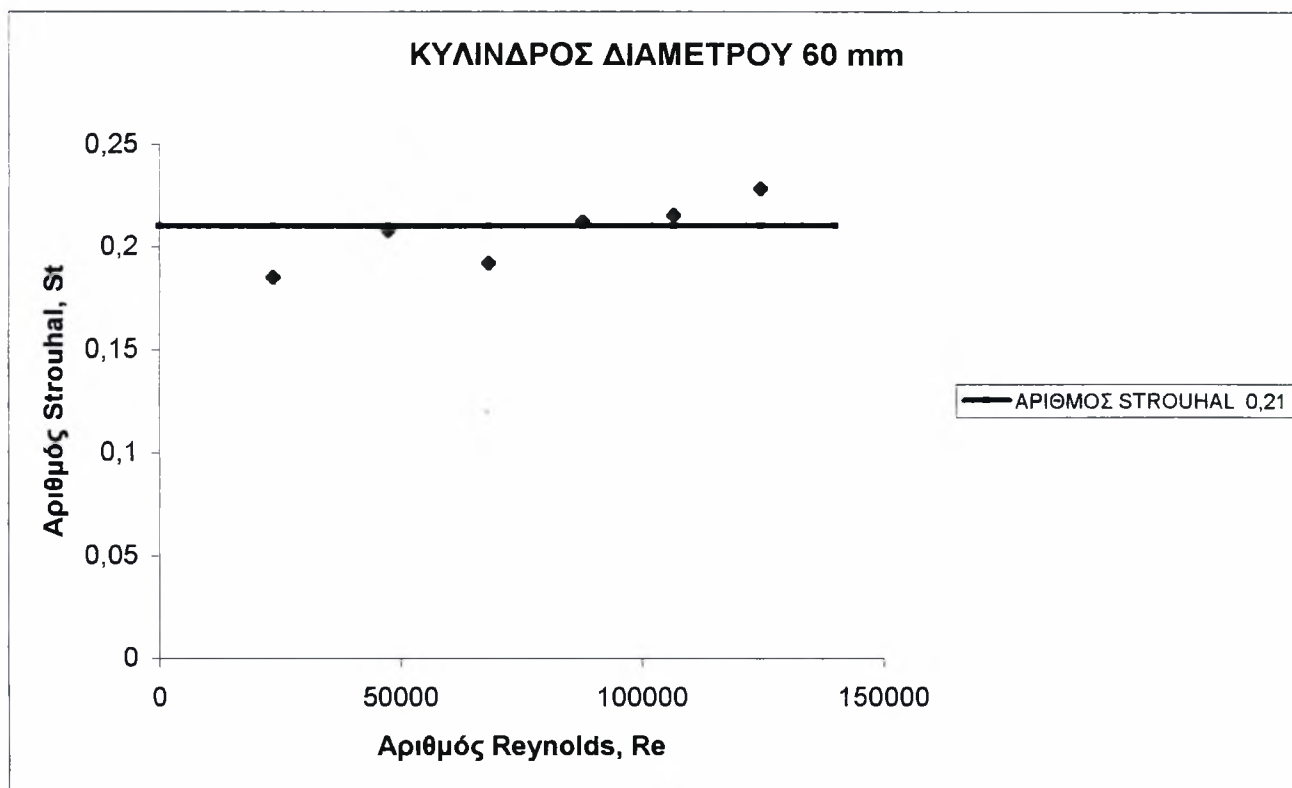


Σχήμα 4.100: Εξάρτηση του αριθμού Strouhal από τον αριθμό Reynolds για τη θέση X2

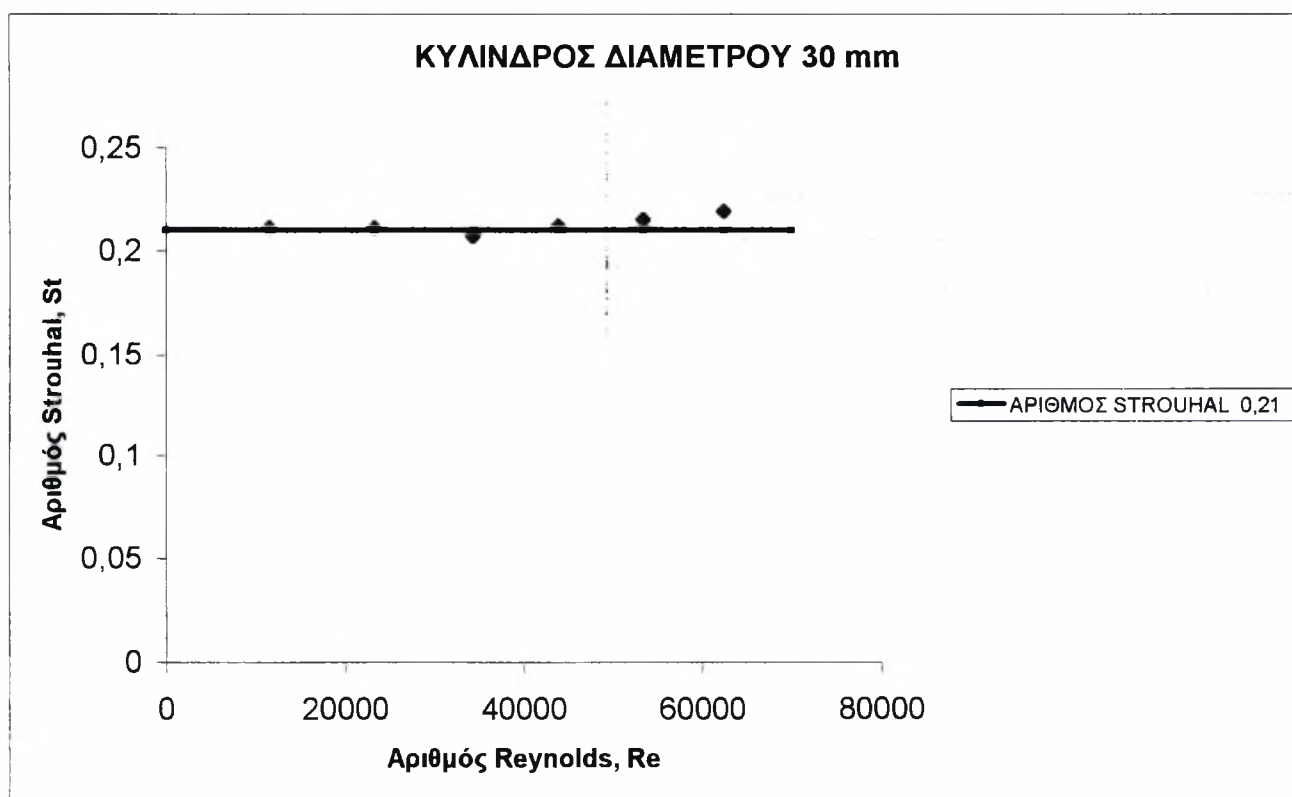


Σχήμα 4.101: Εξάρτηση του αριθμού Strouhal από τον αριθμό Reynolds για τη θέση X3

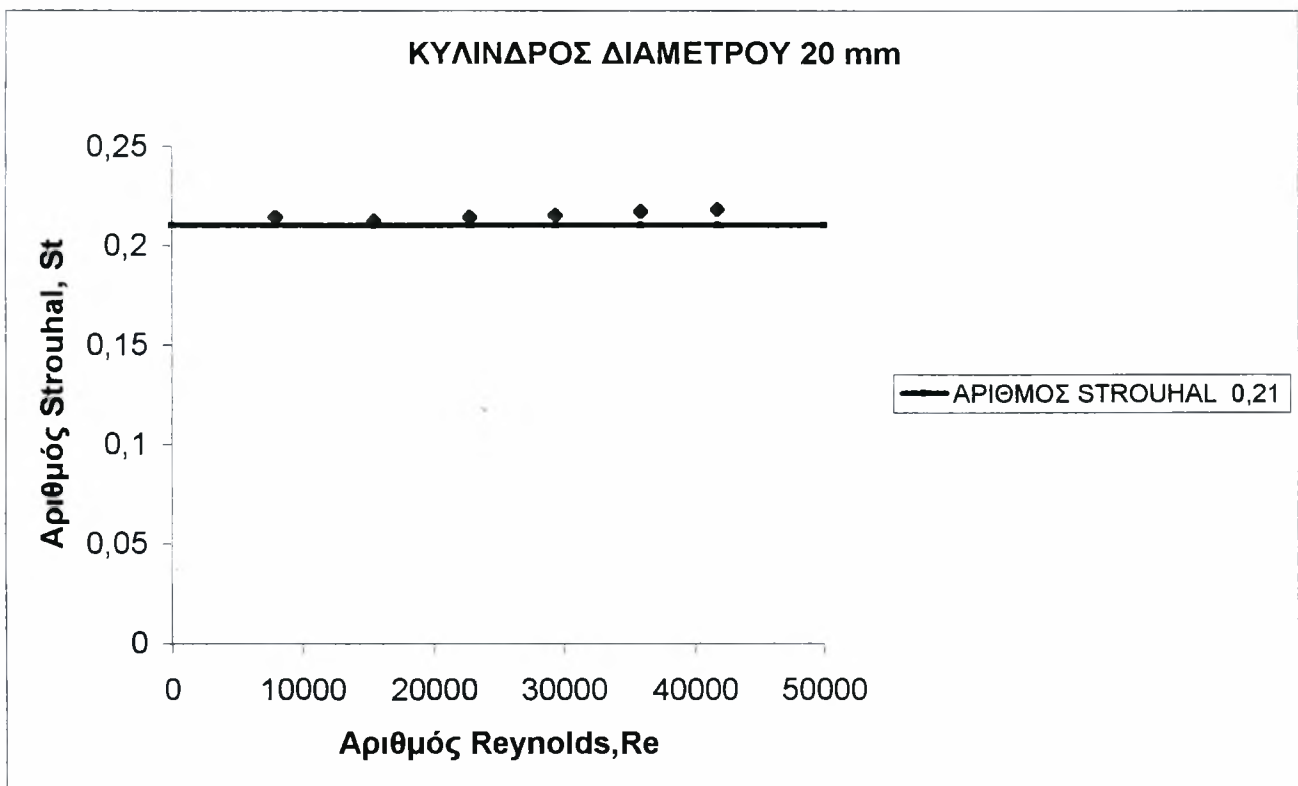
Για τη θέση X1 ο αριθμός Strouhal παίρνει τιμές μεταξύ 0.136 και 0.165 με τη μεγαλύτερη τιμή να εμφανίζεται για τιμή Reynolds, $Re=132477$. Στη θέση X2 από το διάγραμμα $St=f(Re)$ φαίνεται πως υπάρχει μια μεγαλύτερη σταθερότητα με τη μεγαλύτερη τιμή (0.165) να εμφανίζεται για $Re=132477$. Στη θέση X3 παρατηρείται μια διασπορά τιμών με τη μέγιστη τιμή (0.175) να εμφανίζεται για $Re=68716$. Γενικά φαίνεται πως στη μικρή κοιλότητα υπάρχει μια μεγαλύτερη σταθερότητα των τιμών Strouhal σε σχέση με τις άλλες δύο κοιλότητες. Οι αδιάστατοι αριθμοί Reynolds και Strouhal υπολογίστηκαν αφού επιλέχθηκε ως χαρακτηριστικό μήκος το ύψος της κοιλότητας.



Σχήμα 4.102: Εξάρτηση του αριθμού Strouhal από τον αριθμό Reynolds



Σχήμα 4.103: Εξάρτηση του αριθμού Strouhal από τον αριθμό Reynolds



Σχήμα 4.104: Εξάρτηση του αριθμού Strouhal από τον αριθμό Reynolds

Από την βιβλιογραφία προκύπτει ότι ο αριθμός Strouhal όταν υπάρχει μόνο κύλινδρος είναι σχεδόν σταθερός και ίσος με 0.21 ανεξάρτητα από τη διάμετρο. Αυτό επιβεβαιώνεται και από τα παραπάνω διαγράμματα $St=f(Re)$. Έτσι στην περίπτωση του κυλίνδρου διαμέτρου 6 cm οι τιμές Strouhal κυμαίνονται από 0.185 έως 0.228, ενώ στις άλλες δύο περιπτώσεις είναι σχεδόν σταθερός και ίσος με 0.21. Οι αδιάστατοι αριθμοί Reynolds και Strouhal υπολογίστηκαν αφού επιλέχθηκε ως χαρακτηριστικό μήκος η διάμετρος του κυλίνδρου.

4.17 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα αυτού του κεφαλαίου φαίνεται πως όταν υπάρχει η κοιλότητα μαζί με τον κύλινδρο την μεγαλύτερη επίδραση στο σχηματισμό των δινών έχει ο κύλινδρος σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις. Η κοιλότητα ασκεί μια επίδραση στη δυναμική των δινών όταν υπάρχει ο κύλινδρος διαμέτρου 6cm και τότε στις χαμηλές ταχύτητες ροής, ενώ όσο αυξάνεται η ταχύτητα ροής μειώνεται σημαντικά η επίδρασή της. Επίσης η σχέση μεταξύ της συχνότητας των κύριων δινών και της ταχύτητας είναι πάντα γραμμική, όταν είναι η κοιλότητα μαζί με τον κύλινδρο, και έτσι συμπεραίνεται ότι ο αριθμός Strouhal πρέπει να είναι σταθερός. Ωστόσο δεν μπορεί να υπολογιστεί αφού δεν γίνεται να επιλεγεί κάποιο χαρακτηριστικό μήκος.

Επίσης στην περίπτωση που στο πείραμα υπήρχε σαν στοιχείο μόνο ο κύλινδρος, ο αριθμός Strouhal που προέκυψε ήταν σχεδόν σταθερός και ίσος με 0.21, ανεξάρτητα από τη διάμετρο. Αυτό συμφωνεί με αποτελέσματα από τη βιβλιογραφία και παλαιότερες εργασίες.

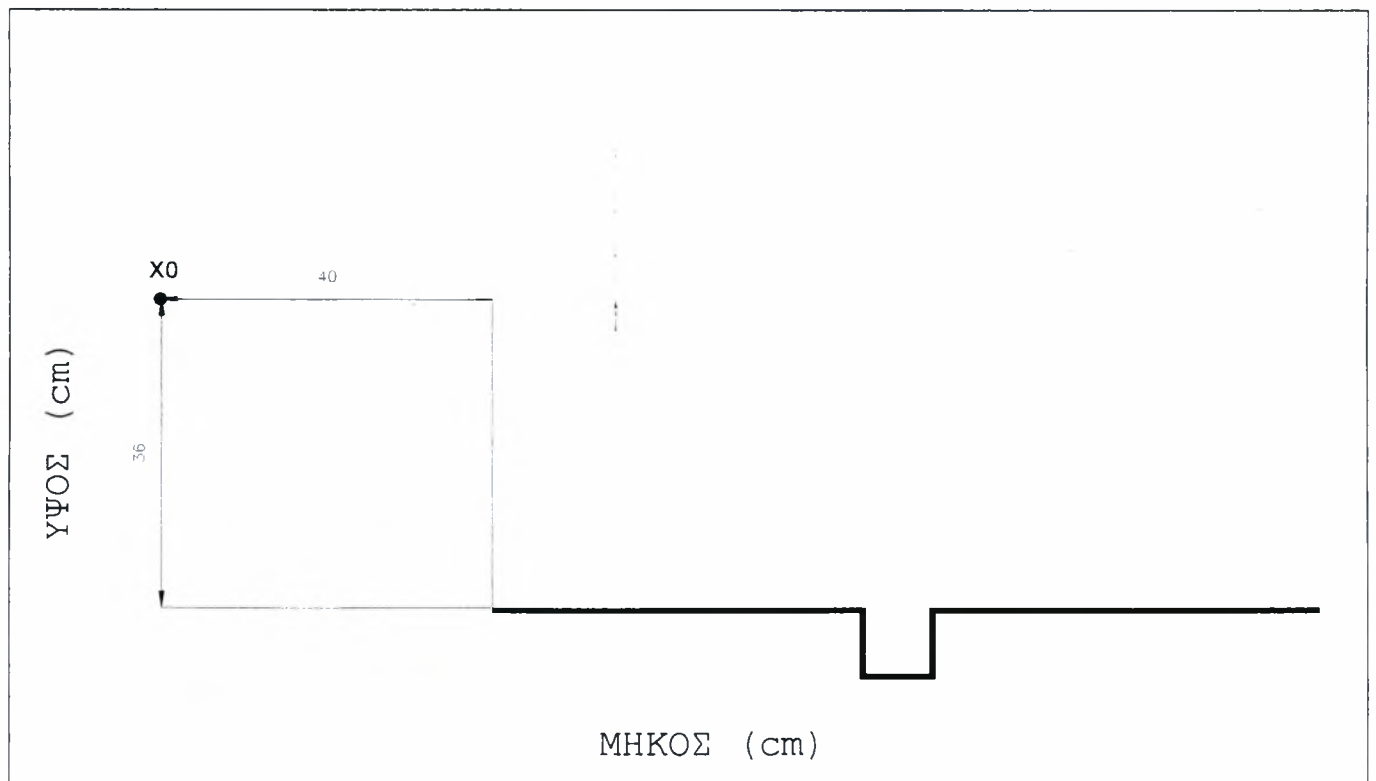
Όταν στο πείραμα χρησιμοποιήθηκε σαν στοιχείο μόνο η κοιλότητα ο αριθμός Strouhal που προέκυψε δεν ήταν σταθερός και μεταβάλλονταν με την ταχύτητα παίρνοντας τιμές από 0.12 έως 0.175. Από τη βιβλιογραφία έχει προκύψει ότι ελεύθερη ροή σε κοιλότητα δίνει αριθμό Strouhal 0.14. Μεγαλύτερες μεταβολές παρατηρήθηκαν στη μεγάλη κοιλότητα, ενώ στη μικρή ο αριθμός Strouhal κυμαινόταν γύρω από την τιμή 0.14. Μια καλή σταθερότητα παρατηρήθηκε και στην περίπτωση της μεσαίας κοιλότητας. Έτσι φάνηκε πως το πλάτος της κοιλότητας δεν παίζει μεγάλο ρόλο στον αριθμό Strouhal με τη μεγαλύτερη επίδραση να ασκεί το ύψος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η αποκόλληση του οριακού στρώματος γίνεται στα πλάγια τοιχώματα της κοιλότητας.

5. ΠΕΔΙΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΓΥΡΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΗΓΗ

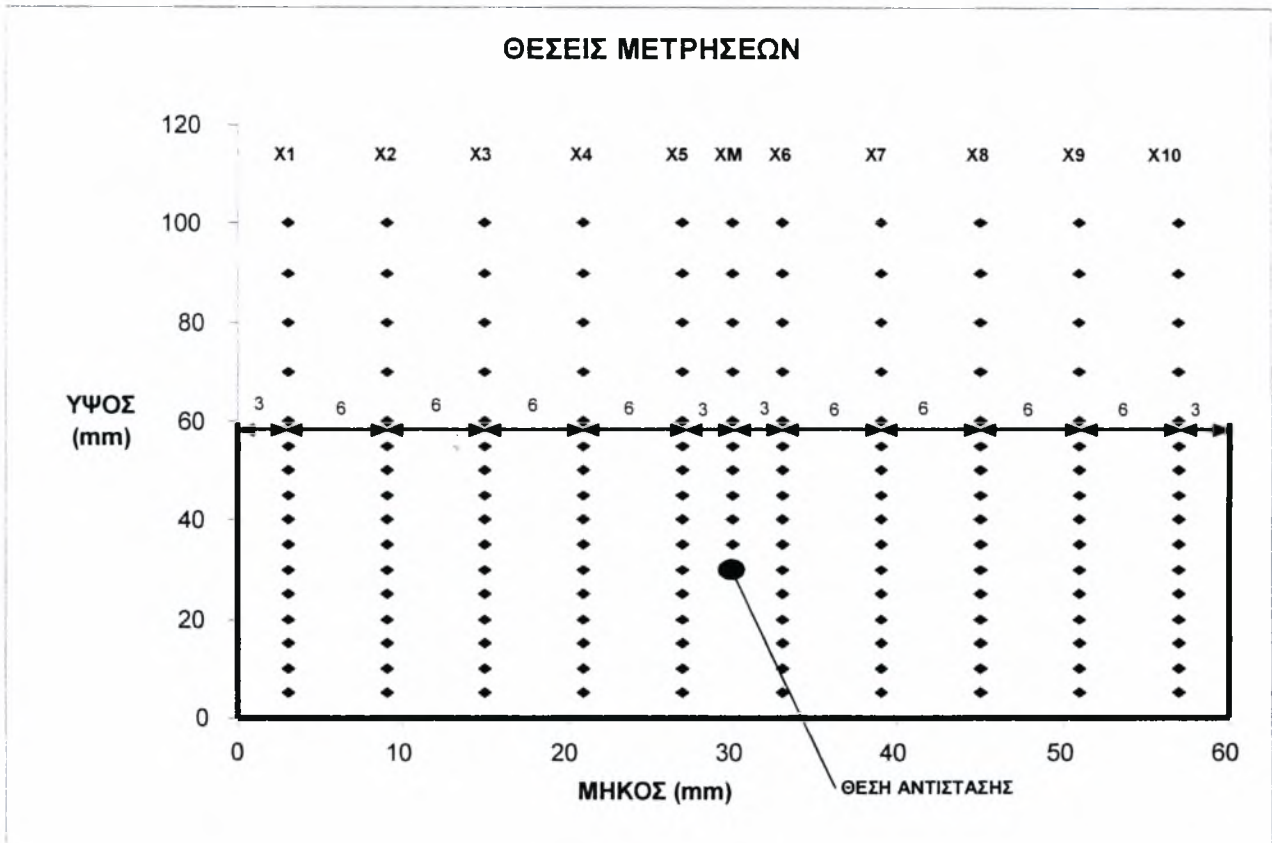
Σε αυτό το κεφάλαιο τα αποτελέσματα που θα παρουσιαστούν και θα αναλυθούν αφορούν εφαρμογή θερμότητας μέσω αντίστασης για μετρήσεις θερμοκρασιών (T_{mean} , T_{rms}) και διαγράμματα φασματικής πυκνότητας (spectra) σε θέσεις εντός της κοιλότητας και πάνω από αυτή καθώς και contours θερμορικού πεδίου στην κοιλότητα. Σε αυτές τις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν τρεις κοιλότητες, ενώ η αντίσταση τοποθετήθηκε σε τρεις διαφορετικές θέσεις μέσα στην κοιλότητα. Παράλληλα χρησιμοποιήθηκε και μία δεύτερη (μεγαλύτερη) αντίσταση, η οποία τοποθετήθηκε στις ίδιες θέσεις μέσα στη μεγάλη κοιλότητα. Σκοπός είναι να εξηγηθεί η επίδραση της γεωμετρίας της κοιλότητας και της θέσης της πηγής στο θερμοκρασιακό πεδίο της κοιλότητας. Όλες οι μετρήσεις έγιναν με ταχύτητα ροής 5 m/s.

Τα διαγράμματα της θερμοκρασίας T και της διαταραχής T_{rms} είναι αδιαστατοποιημένα ως προς μία θερμοκρασία αναφοράς T_0 .

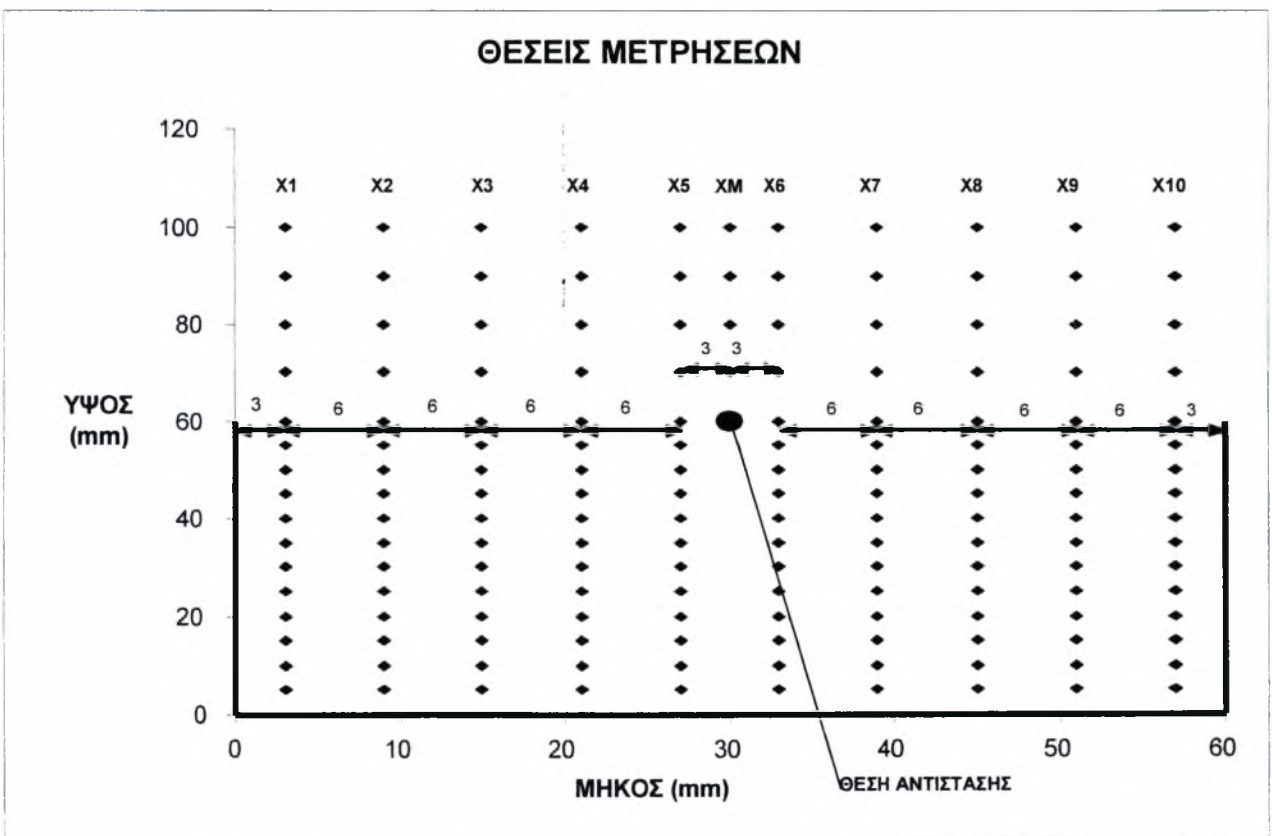
Στη συνέχεια παρουσιάζονται σχηματικά οι θέσεις που έγιναν οι μετρήσεις ανάλογα με τις κοιλότητες και τη θέση και το είδος της αντίστασης.



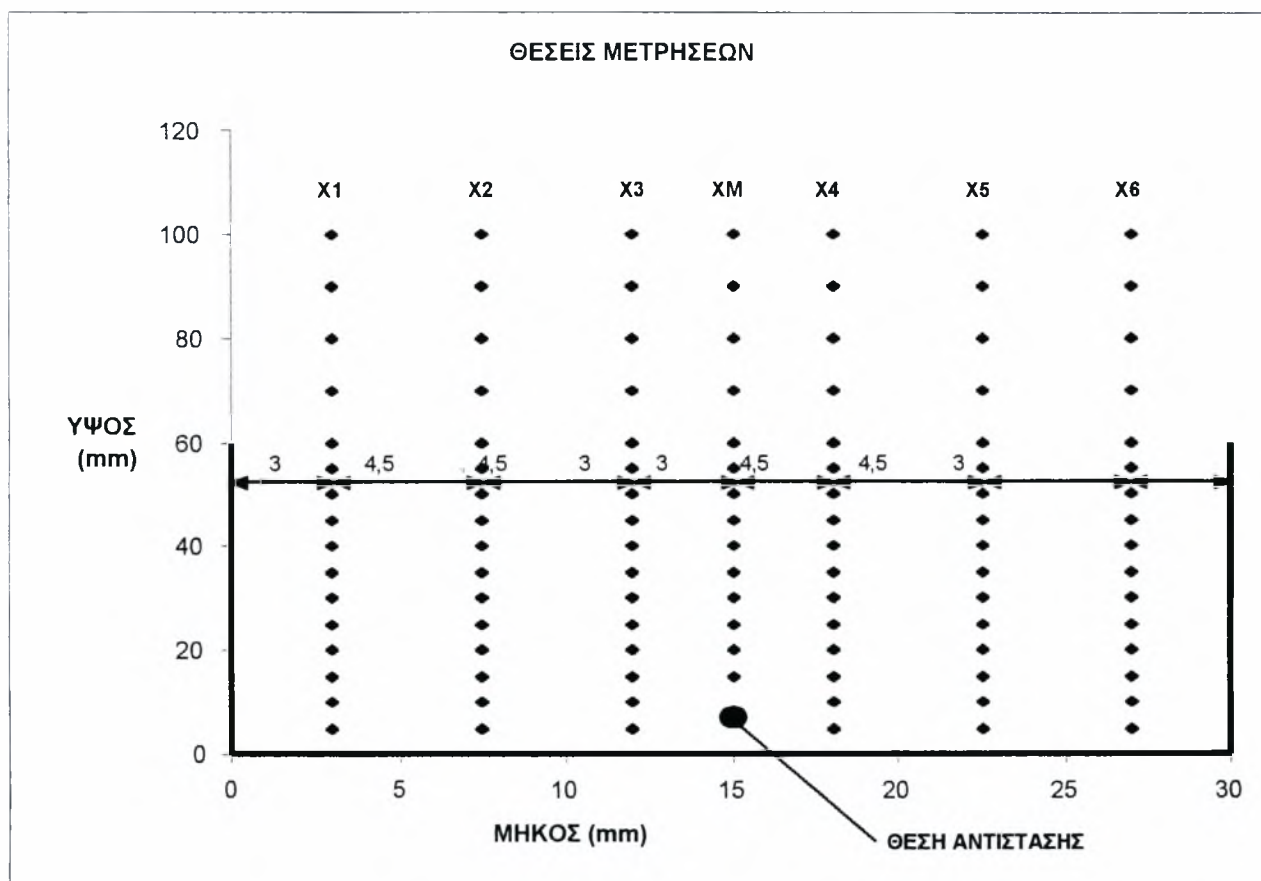
Σχήμα 5.1: Το βασικό μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις θερμοκρασίας (X_0 είναι το σημείο μέτρησης της θερμοκρασίας αναφοράς T_0)



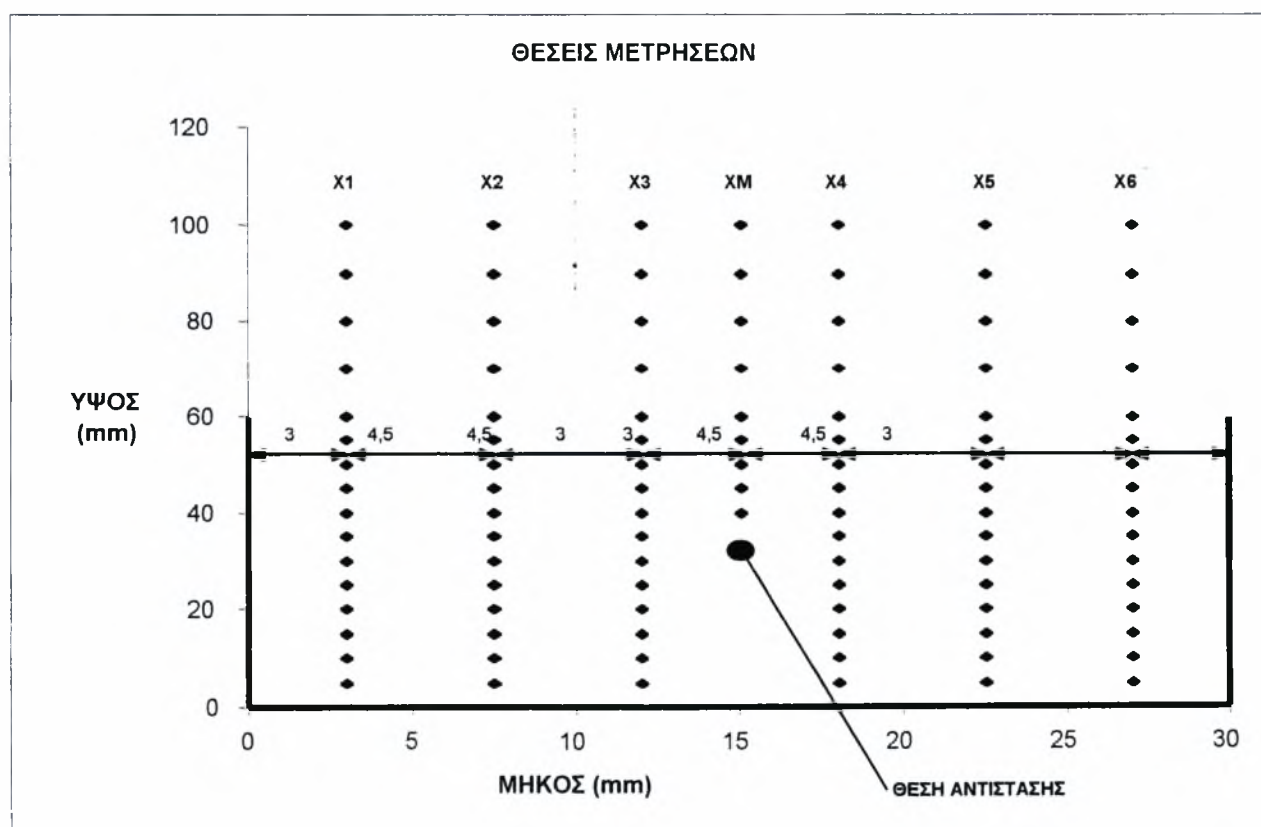
Σχήμα 5.2: Θέσεις μέτρησης θερμοκρασίας στη μεγάλη κοιλότητα



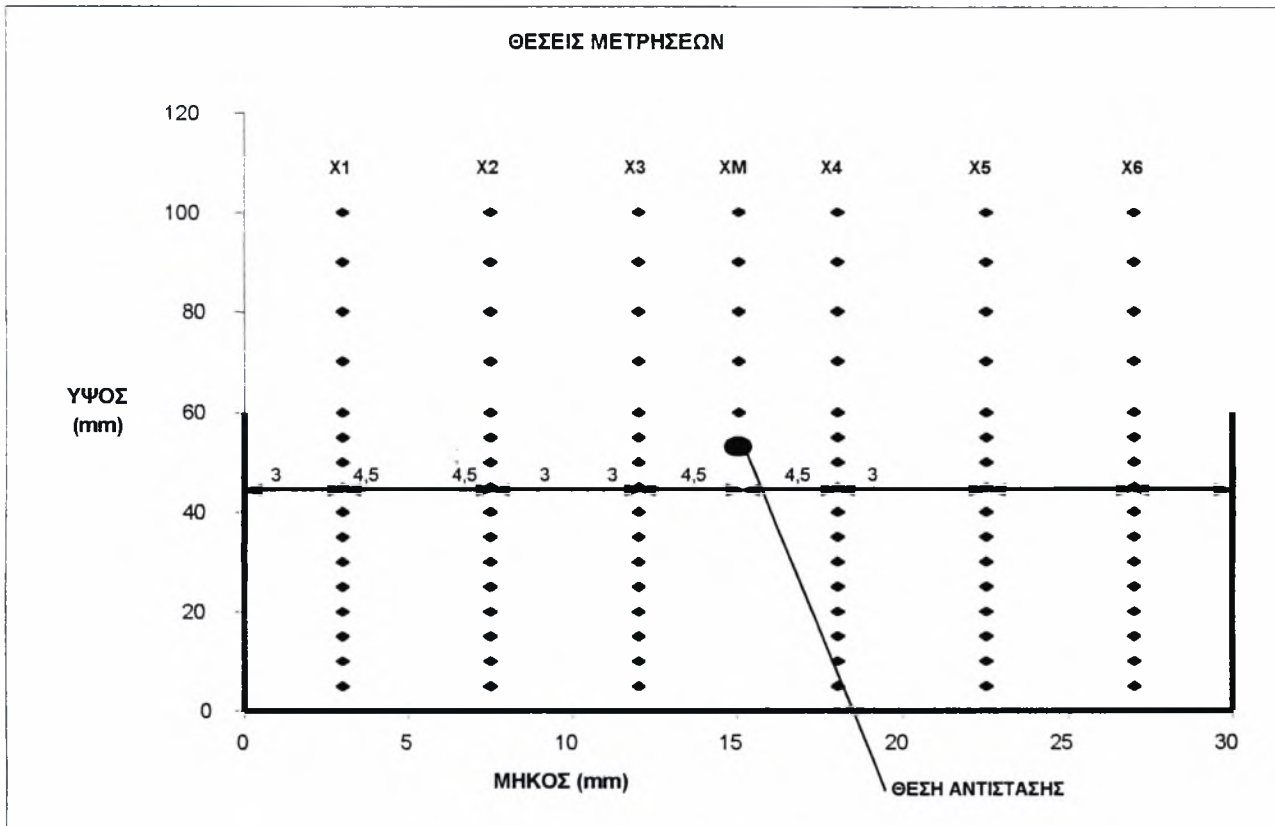
Σχήμα 5.3: Θέσεις μέτρησης θερμοκρασίας στη μεγάλη κοιλότητα



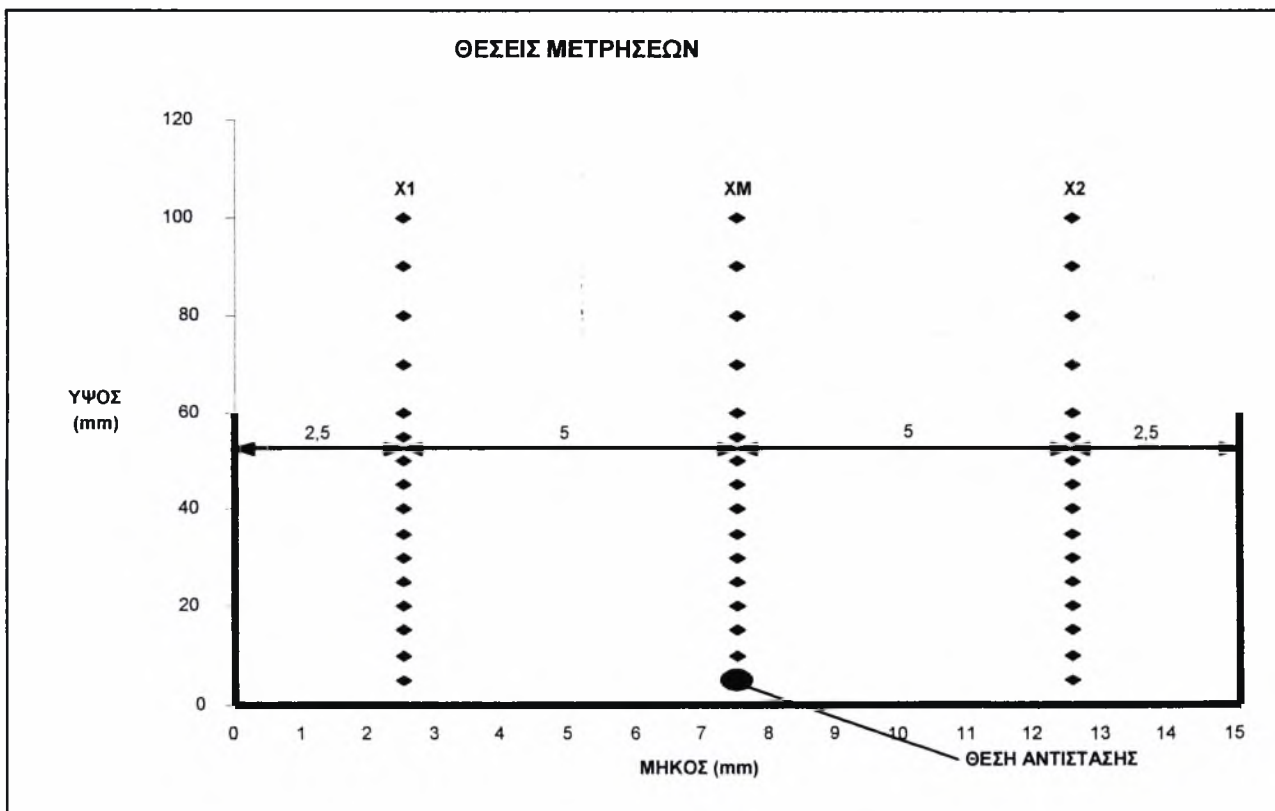
Σχήμα 5.4: Θέσεις μέτρησης θερμοκρασίας στη μεσαία κοιλότητα



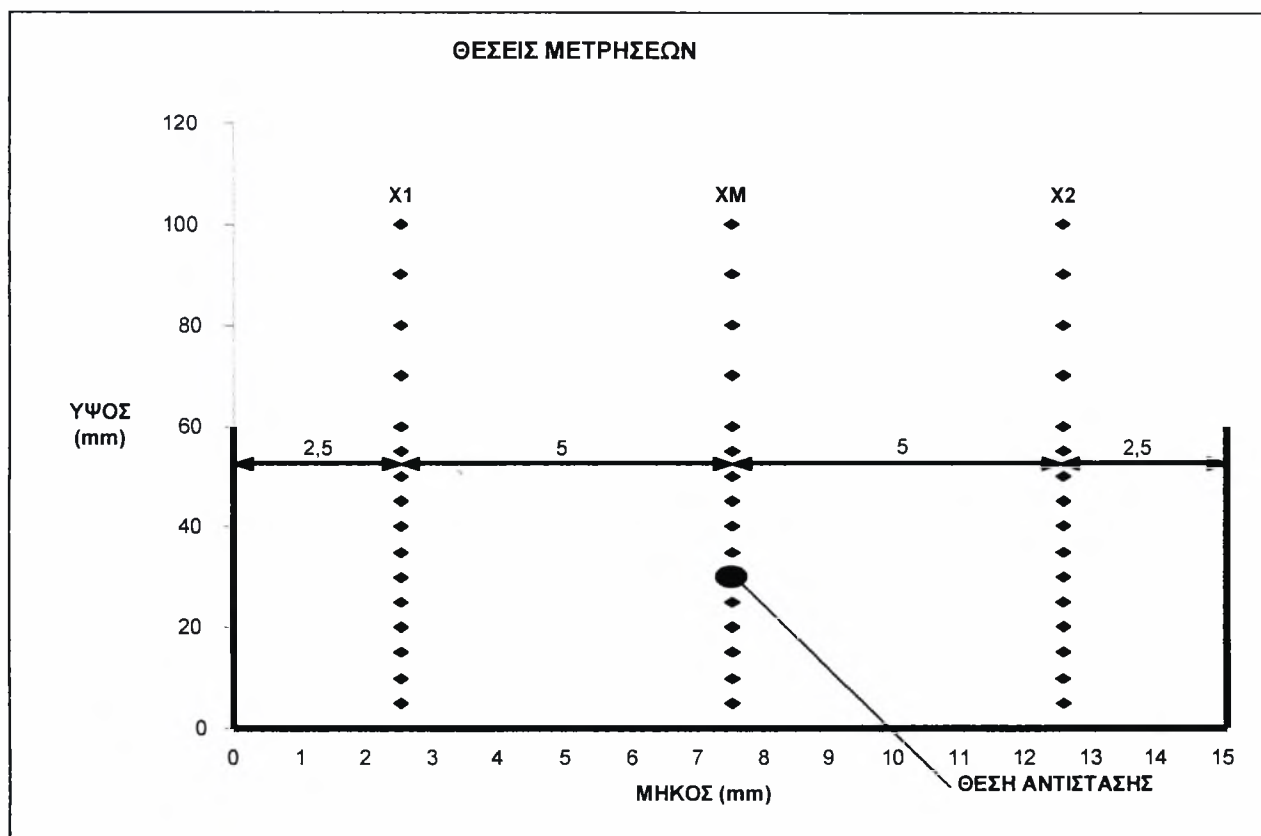
Σχήμα 5.5: Θέσεις μέτρησης θερμοκρασίας στη μεσαία κοιλότητα



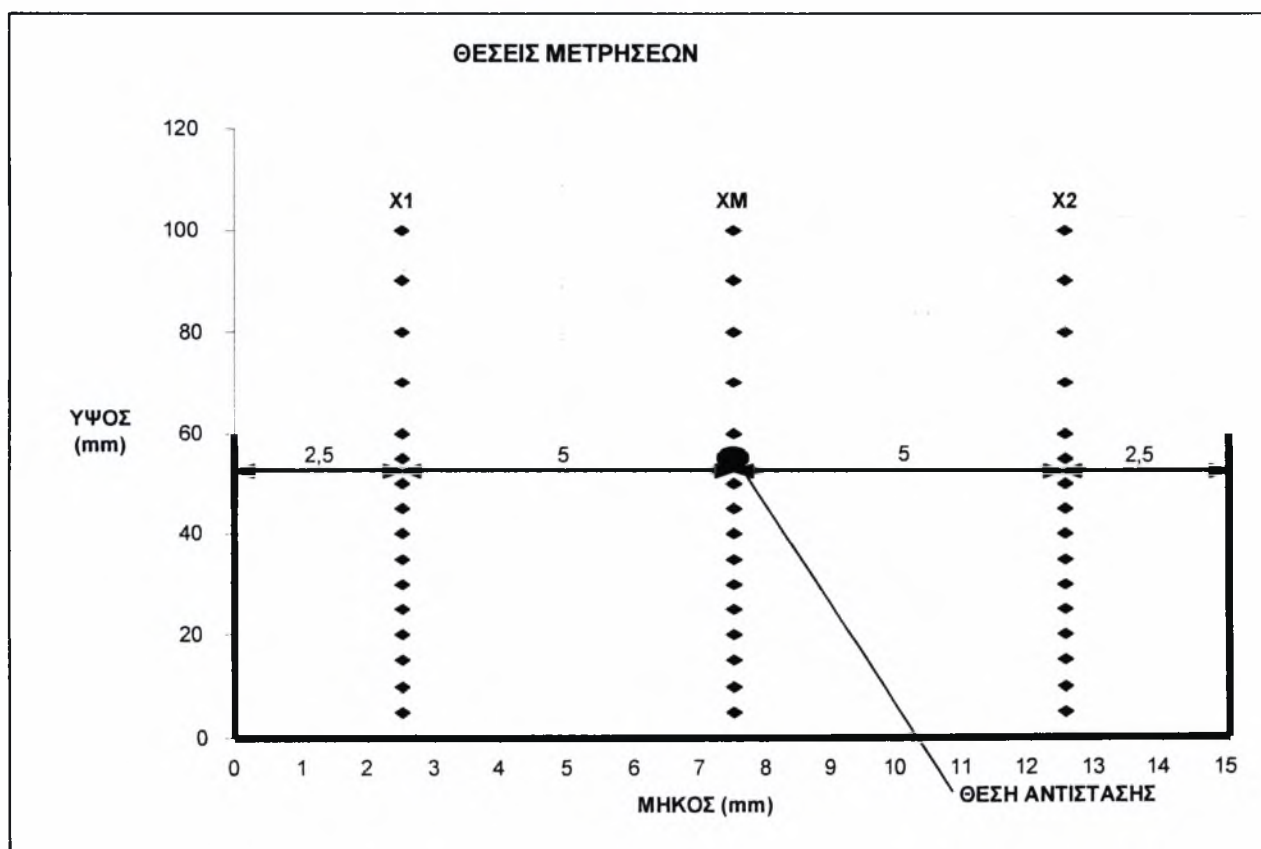
Σχήμα 5.6: Θέσεις μέτρησης θερμοκρασίας στη μεσαία κοιλότητα



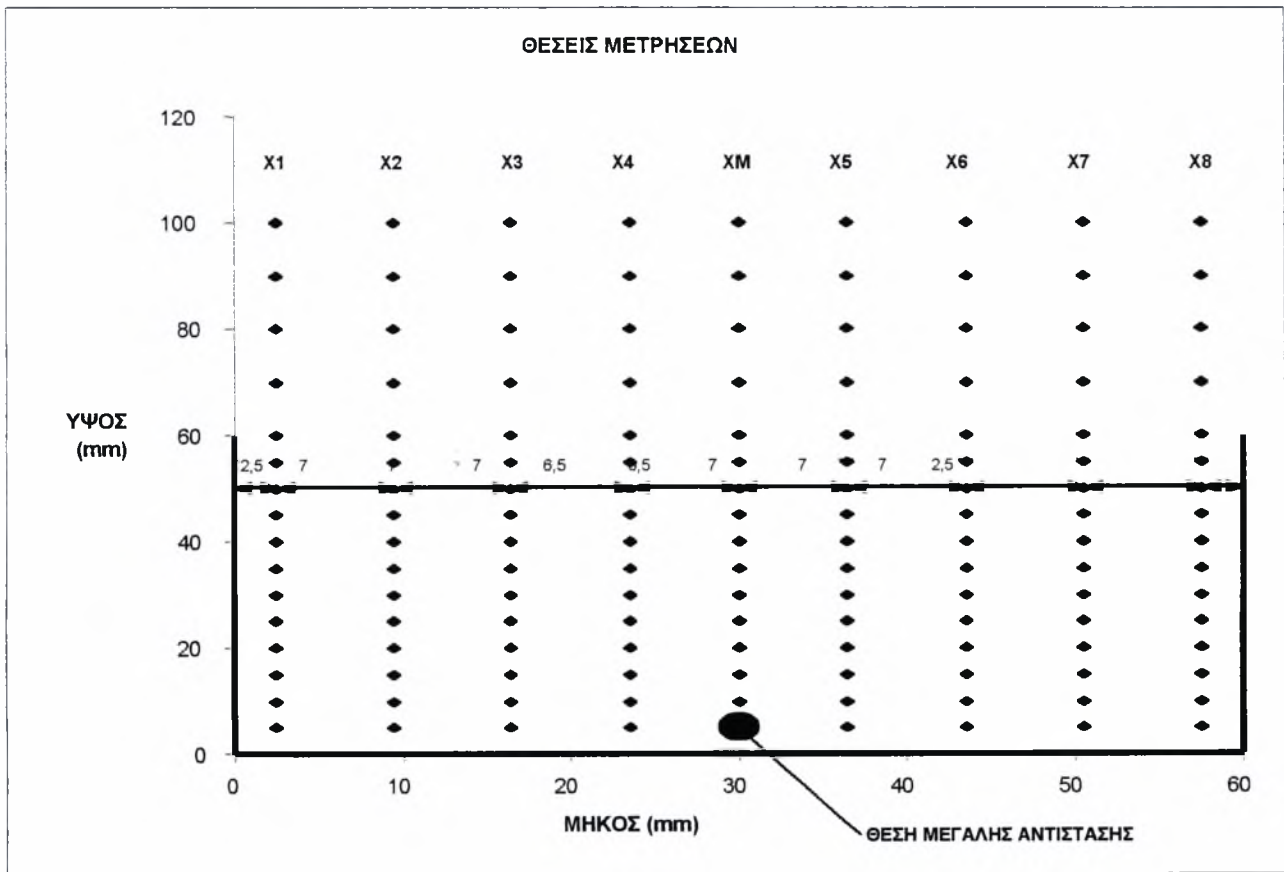
Σχήμα 5.7: Θέσεις μέτρησης θερμοκρασίας στη μικρή κοιλότητα



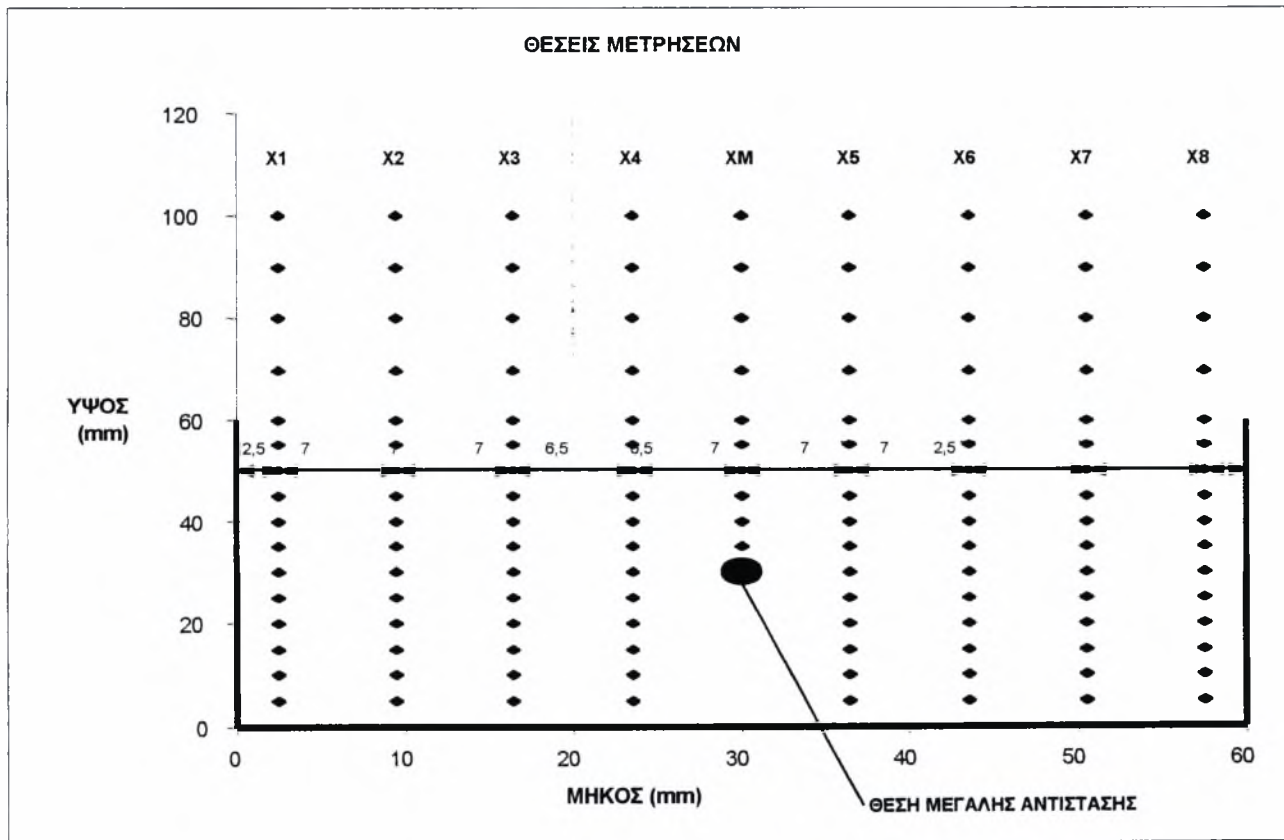
Σχήμα 5.8: Θέσεις μέτρησης θερμοκρασίας στη μικρή κοιλότητα



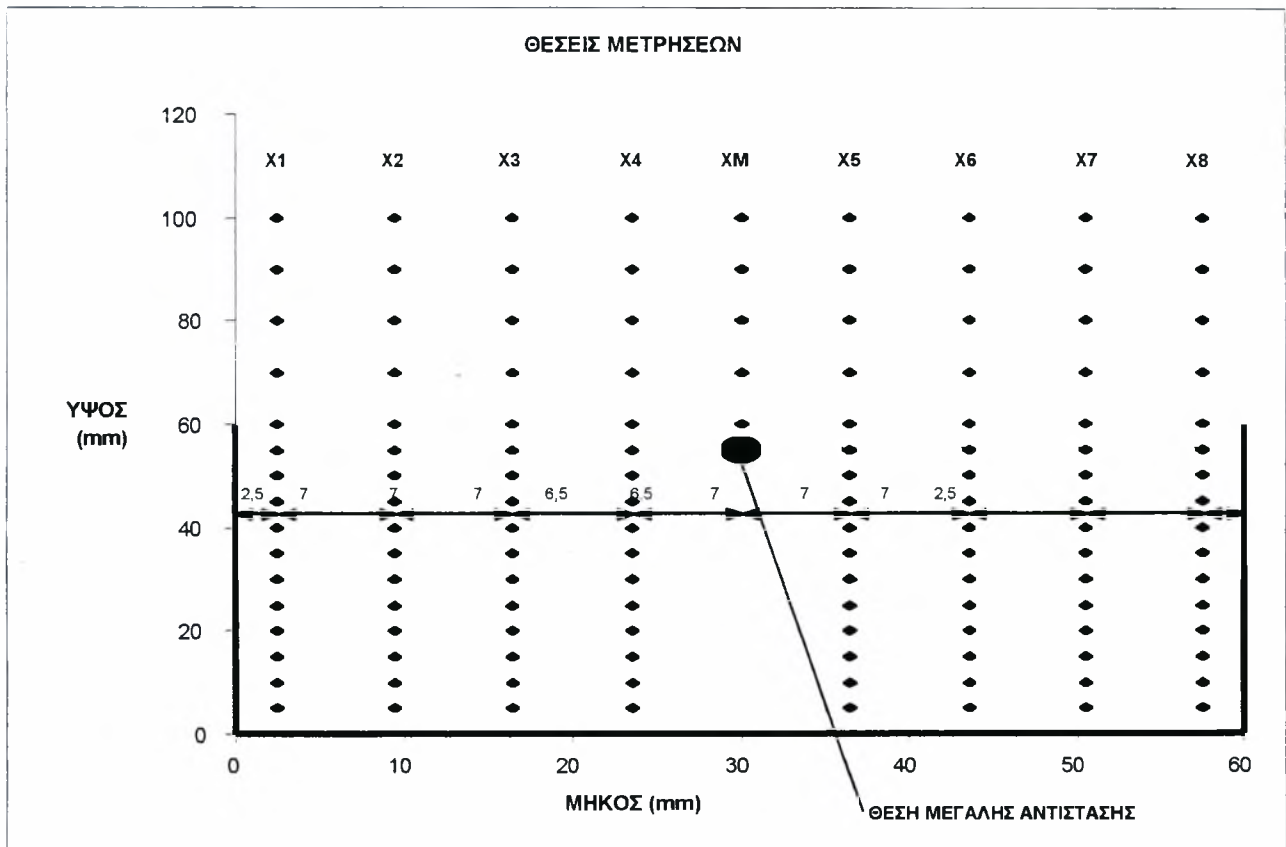
Σχήμα 5.9: Θέσεις μέτρησης θερμοκρασίας στη μικρή κοιλότητα



Σχήμα 5.10:Θέσεις μέτρησης θερμοκρασίας στη μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση



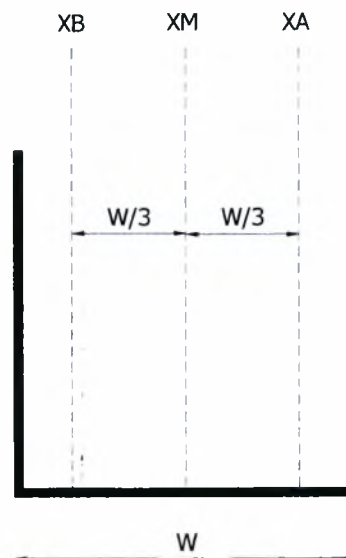
Σχήμα 5.11:Θέσεις μέτρησης θερμοκρασίας στη μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση



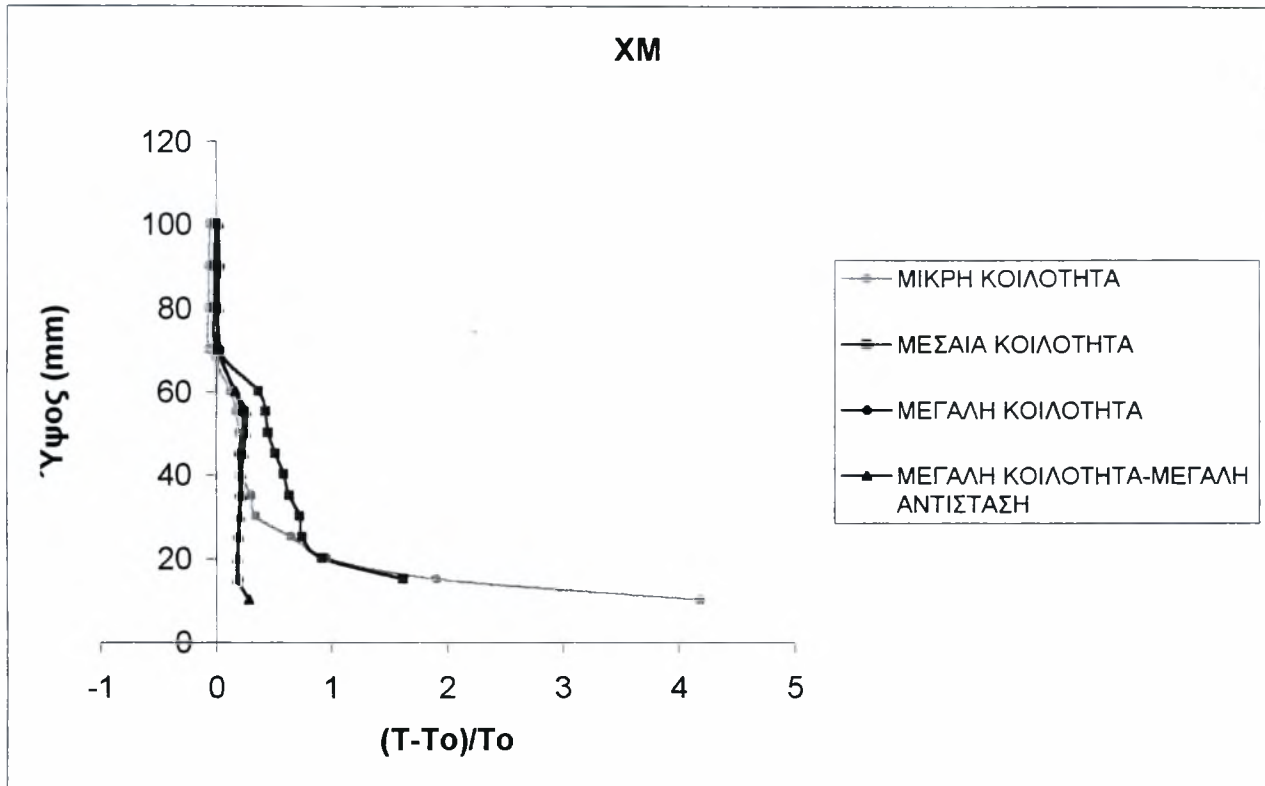
Σχήμα 5.12: Θέσεις μέτρησης θερμοκρασίας στη μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση

5.1 ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΑΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ

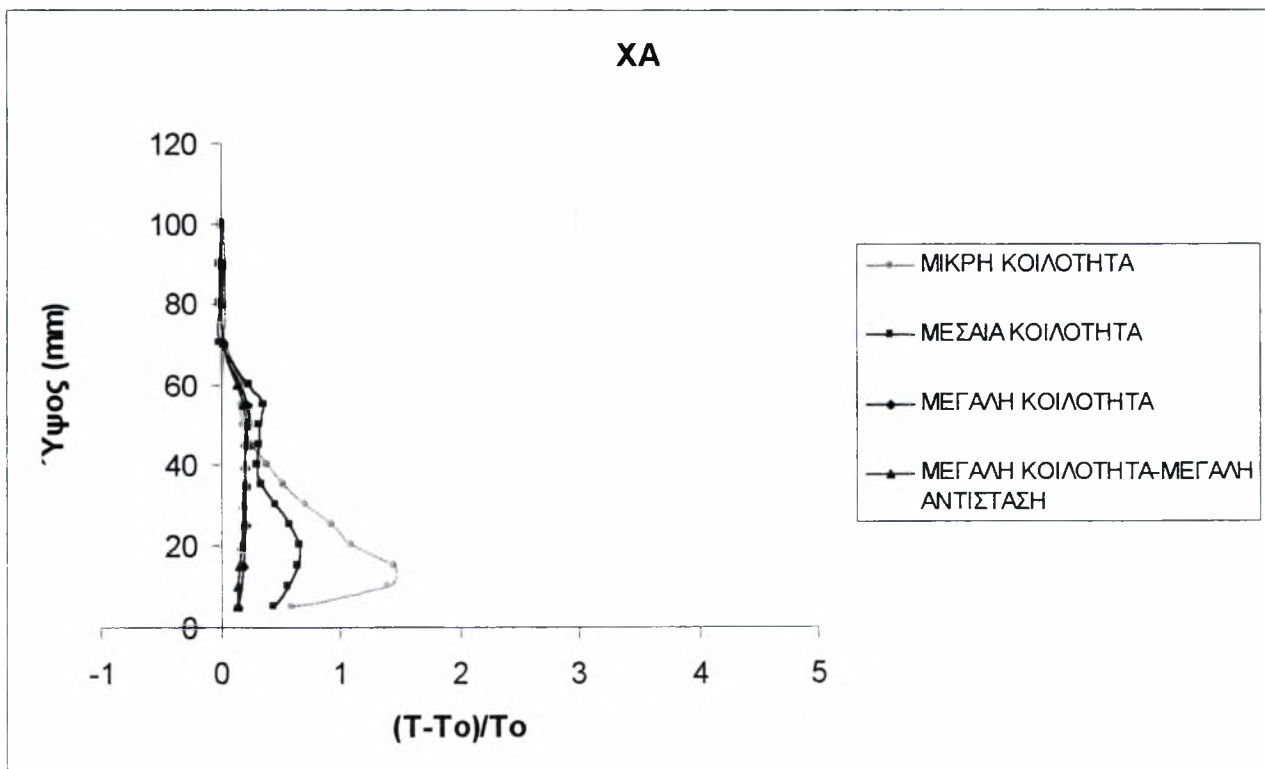
Στα επόμενα διαγράμματα παρουσιάζονται οι κατανομές θερμοκρασίας και της διακύμανσης της σε τρεις διαφορετικές θέσεις στις κοιλότητες. Αυτές οι θέσεις είναι η κεντρική (XM) και άλλες δύο σε απόσταση $W/3$ δεξιά και αριστερά από το XM αντίστοιχα (W είναι το πλάτος της κάθε κοιλότητας). Για την ειδική περίπτωση της μεγάλης κοιλότητας με την αντίσταση κάτω, έγινε χρήση ενδεικτικών τιμών, γιατί δεν πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις προφίλ θερμοκρασιών, καθώς το θέμα αυτό έχει καλυφθεί από άλλη διπλωματική. Τα διαγράμματα είναι αδιαστατοποιημένα με μια θερμοκρασία αναφοράς T_0 . Έτσι η θερμοκρασία είναι αδιαστατοποιημένη με τον όρο $(T-T_0)/T_0$ και η διακύμανση με τον όρο $(T_{rms}/T_0)\%$.



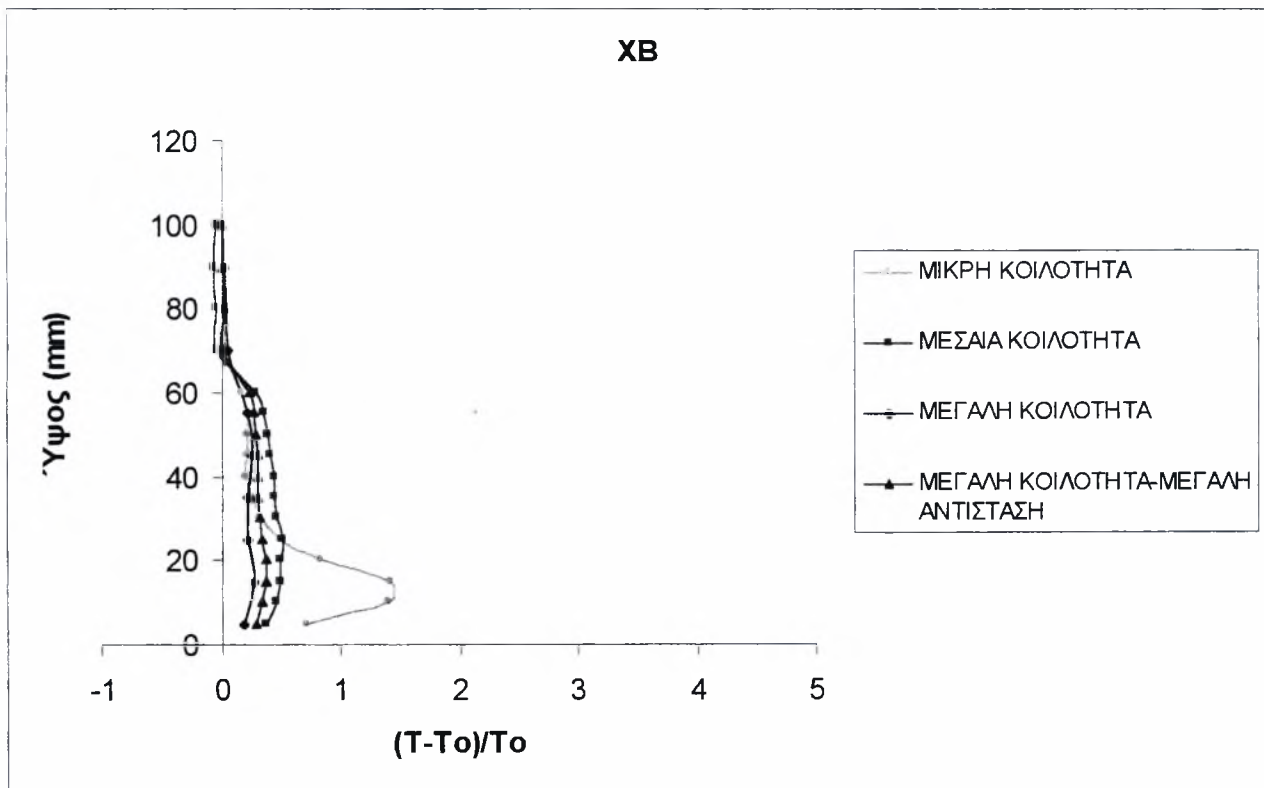
5.1.1 Αποτελέσματα με την αντίσταση στο κάτω μέρος της κοιλότητας



Σχήμα 5.13:Μεταβολή της αδιάστατης θερμοκρασίας με το ύψος



Σχήμα 5.14:Μεταβολή της αδιάστατης θερμοκρασίας με το ύψος



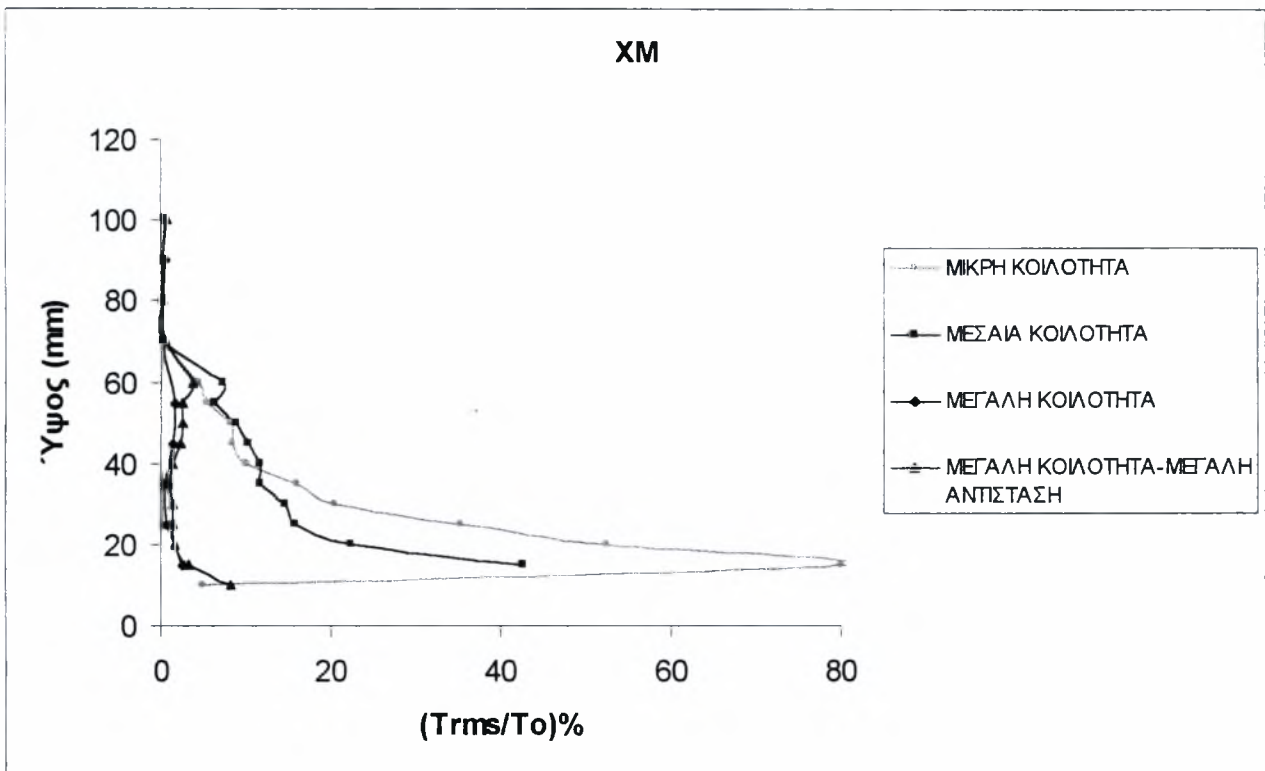
Σχήμα 5.15: Μεταβολή της αδιάστατης θερμοκρασίας με το ύψος

Για τη θέση ΧΜ φαίνεται πως στην περίπτωση της μικρής κοιλότητας η θερμοκρασία ξεκινάει από μια πολύ υψηλή τιμή στα 1cm (5.18T₀). Στη συνέχεια μειώνεται συνεχώς μέχρι τα 7cm όπου παίρνει την τιμή 0.95T₀ την οποία και διατηρεί μέχρι το μέγιστο ύψος. Όταν υπάρχει η μεσαία κοιλότητα η θερμοκρασία ξεκινάει από την τιμή 2.62T₀ και μειώνεται σχεδόν γραμμικά μέχρι τα 6cm και την τιμή 1.37T₀. Από τα 2cm και μέχρι τα 6cm η θερμοκρασία είναι υψηλότερη όταν υπάρχει η μεσαία κοιλότητα. Στην περίπτωση της μεγάλης κοιλότητας η θερμοκρασία παραμένει σχεδόν σταθερή μέχρι τα 6cm έχοντας τιμή 1.28T₀. Στη συνέχεια μειώνεται και στα 10cm γίνεται ίση με τη θερμοκρασία αναφοράς T₀. Χαρακτηριστικό είναι πως ανεξάρτητα από το μέγεθος της πηγής οι θερμοκρασίες στη μεγάλη κοιλότητα είναι ίδιες.

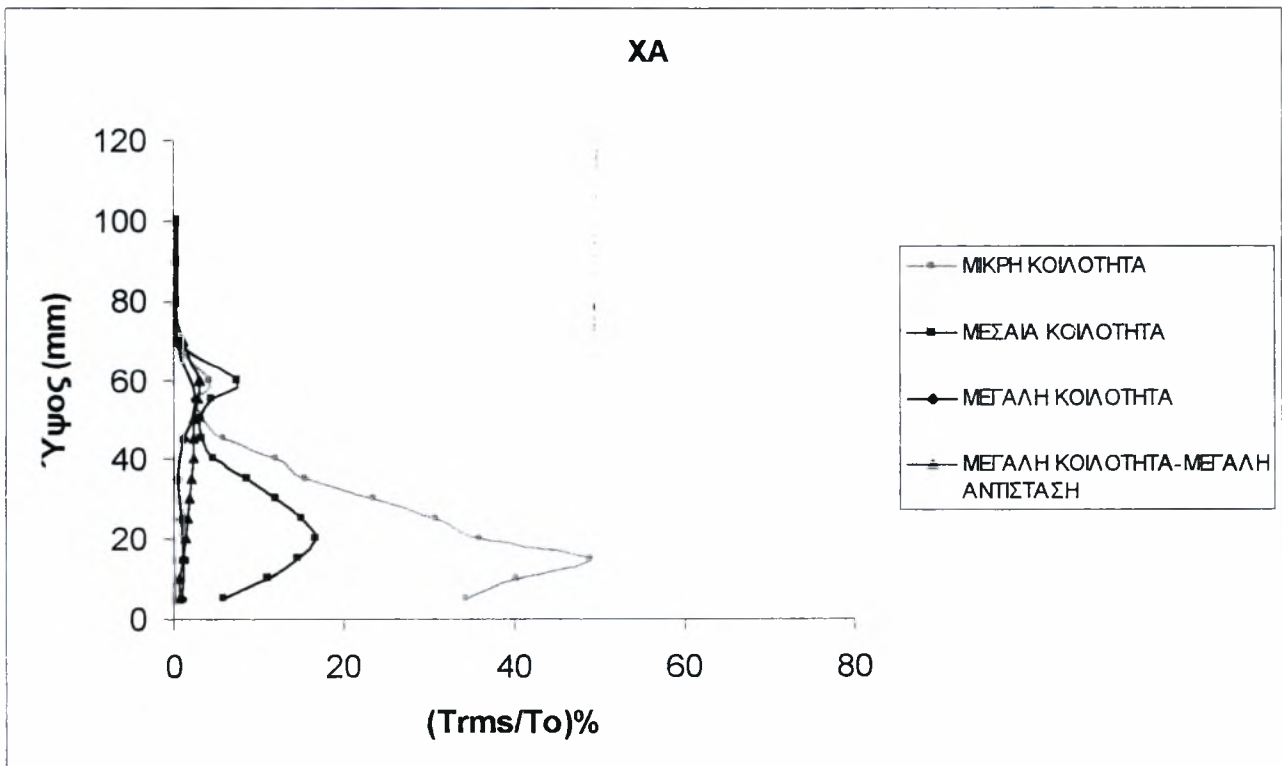
Στη θέση ΧΑ παρατηρείται πως μέχρι τα 4cm η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη όταν υπάρχει η μικρή κοιλότητα. Έτσι ξεκινάει από μια υψηλή τιμή (2.45T₀) και μειώνεται συνεχώς έως τα 7cm όπου παίρνει την τιμή T₀. Στην περίπτωση της μεσαίας κοιλότητας η θερμοκρασία ξεκινώντας από την τιμή 1.66T₀ μειώνεται συνεχώς μέχρι τα 4cm (1.3T₀). Αυτή η τιμή διατηρείται έως τα 5.5cm και στη συνέχεια μειώνεται μέχρι τα 7cm όπου παίρνει την τιμή T₀. Όταν υπάρχει η μεγάλη κοιλότητα από τα διαγράμματα φαίνεται πως η θερμοκρασία είναι σχεδόν ίδια ανεξάρτητα από το μέγεθος της πηγής. Έτσι η θερμοκρασία παραμένει σταθερή μέχρι τα 5.5cm έχοντας τιμή 1.15T₀ και στη συνέχεια μειώνεται μέχρι τη θερμοκρασία αναφοράς.

Στη θέση ΧΒ φαίνεται πως όταν υπάρχει η μικρή κοιλότητα η θερμοκρασία αυξάνει μέχρι τα 1.5cm παίρνοντας τη μέγιστη τιμή (2.4T₀). Στη συνέχεια μειώνεται συνεχώς μέχρι την τιμή της θερμοκρασίας αναφοράς. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις από το διάγραμμα παρατηρείται πως η θερμοκρασία είναι σχεδόν σταθερή μέχρι τα 6cm. Έτσι όταν υπάρχει η μεσαία κοιλότητα έχει τιμή 1.46T₀, όταν είναι η μεγάλη κοιλότητα έχει τιμή 1.22T₀ και όταν είναι η μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση η τιμή της θερμοκρασίας είναι λίγο μεγαλύτερη (1.32T₀). Σε όλες τις περιπτώσεις η θερμοκρασία μειώνεται από τα 6cm και στο μέγιστο ύψος γίνεται ίση με τη θερμοκρασία αναφοράς.

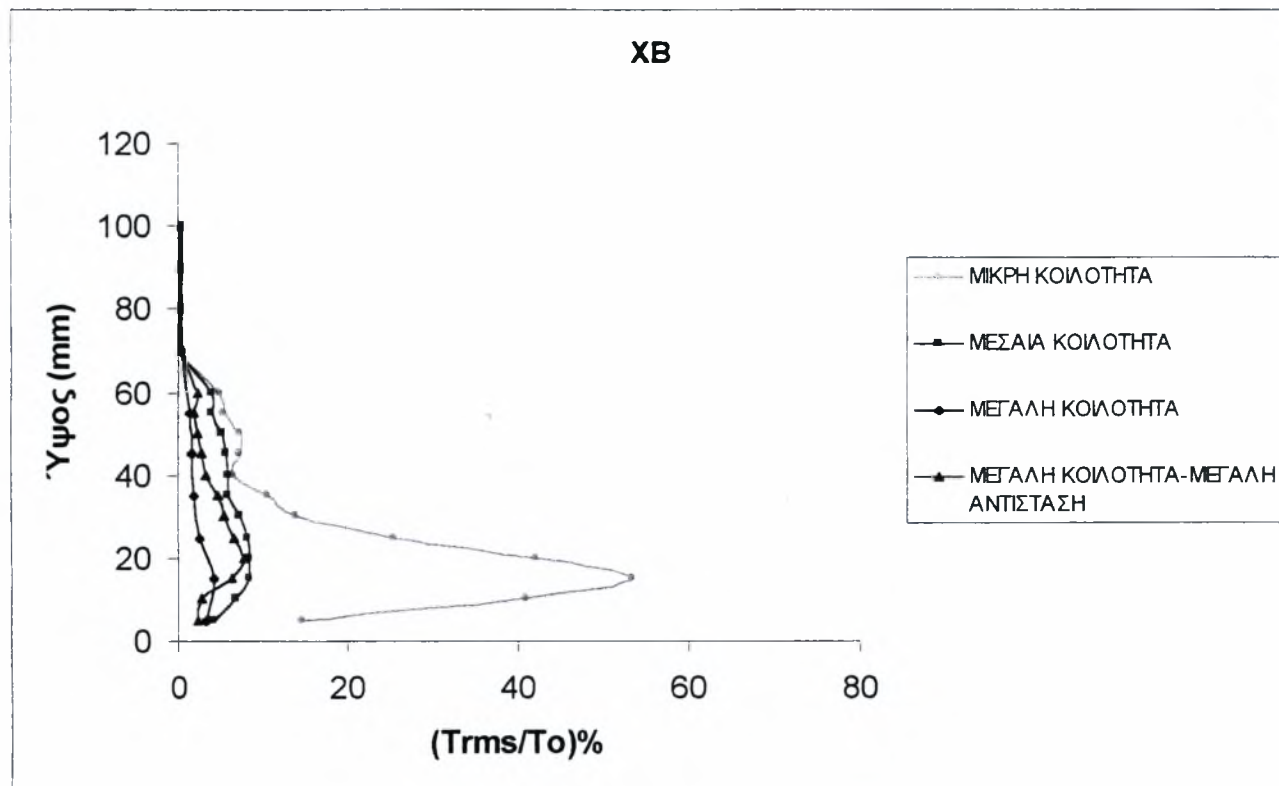
Και στις τρεις θέσεις παρατηρείται πως όταν υπάρχει η μικρή κοιλότητα μέχρι τα 3.5cm η θερμοκρασία είναι αρκετά πιο υψηλή σε σύγκριση με τις άλλες περιπτώσεις. Επίσης σε όλες τις θέσεις οι χαμηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στη μεγάλη κοιλότητα. Επίσης παρατηρείται πως σε όλες τις κοιλότητες η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη στη θέση ΧΑ από ότι στη θέση ΧΒ και επομένως η ροή έχει φορά αντίθετη με αυτή των δεικτών του ρολογιού.



Σχήμα 5.16: Μεταβολή της αδιάστατης διακύμανσης της θερμοκρασίας με το ύψος



Σχήμα 5.17: Μεταβολή της αδιάστατης διακύμανσης της θερμοκρασίας με το ύψος



Σχήμα 5.18: Μεταβολή της αδιάστατης διακύμανσης της θερμοκρασίας με το ύψος

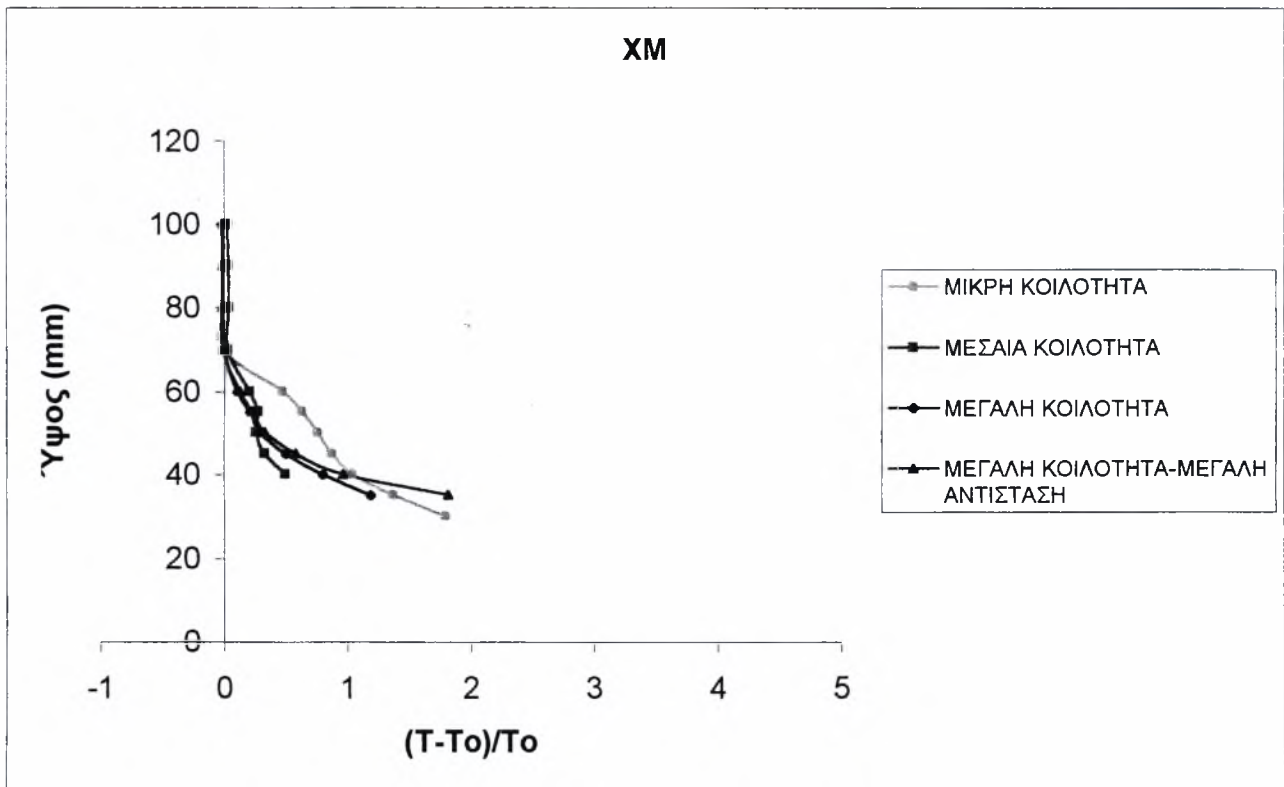
Από το διάγραμμα της διακύμανσης της θερμοκρασίας για τη θέση ΧΜ φαίνεται πως όταν υπάρχει η μικρή κοιλότητα η διακύμανση ξεκινάει από την τιμή 5%, αυξάνει ραγδαία μέχρι τα 1.5cm και την τιμή 80% και στη συνέχεια μειώνεται συνεχώς μέχρι το μέγιστο ύψος. Στην περίπτωση της μεσαίας κοιλότητας η διακύμανση ξεκινάει με μια υψηλή τιμή (42.52%) και ύστερα μειώνεται μέχρι την ελάχιστη τιμή της στα 10cm. Όταν υπάρχει η μεγάλη κοιλότητα εμφανίζονται μικρές διακυμάνσεις με τις μεγαλύτερες στην περίπτωση που υπάρχει η μεγάλη αντίσταση.

Για τη θέση ΧΑ φαίνεται πως όταν υπάρχει η μικρή κοιλότητα η διακύμανση έχει υψηλή τιμή (49%) στα 1.5cm και στη συνέχεια μειώνεται συνεχώς, εκτός από ένα τοπικό μέγιστο το οποίο εμφανίζεται στα 6cm και έχει τιμή 4.3%. Στην περίπτωση της μεσαίας κοιλότητας παρατηρείται μια παρόμοια συμπεριφορά με δύο μέγιστα, το πρώτο στα 2cm με τιμή 16.7% και το δεύτερο στα 6cm με τιμή 7.6%. Όταν υπάρχει η μεγάλη κοιλότητα η διακύμανση της θερμοκρασίας είναι αρκετά μικρή με τις μεγαλύτερες τιμές να παρατηρούνται στην περίπτωση που είναι τοποθετημένη η μεγάλη αντίσταση.

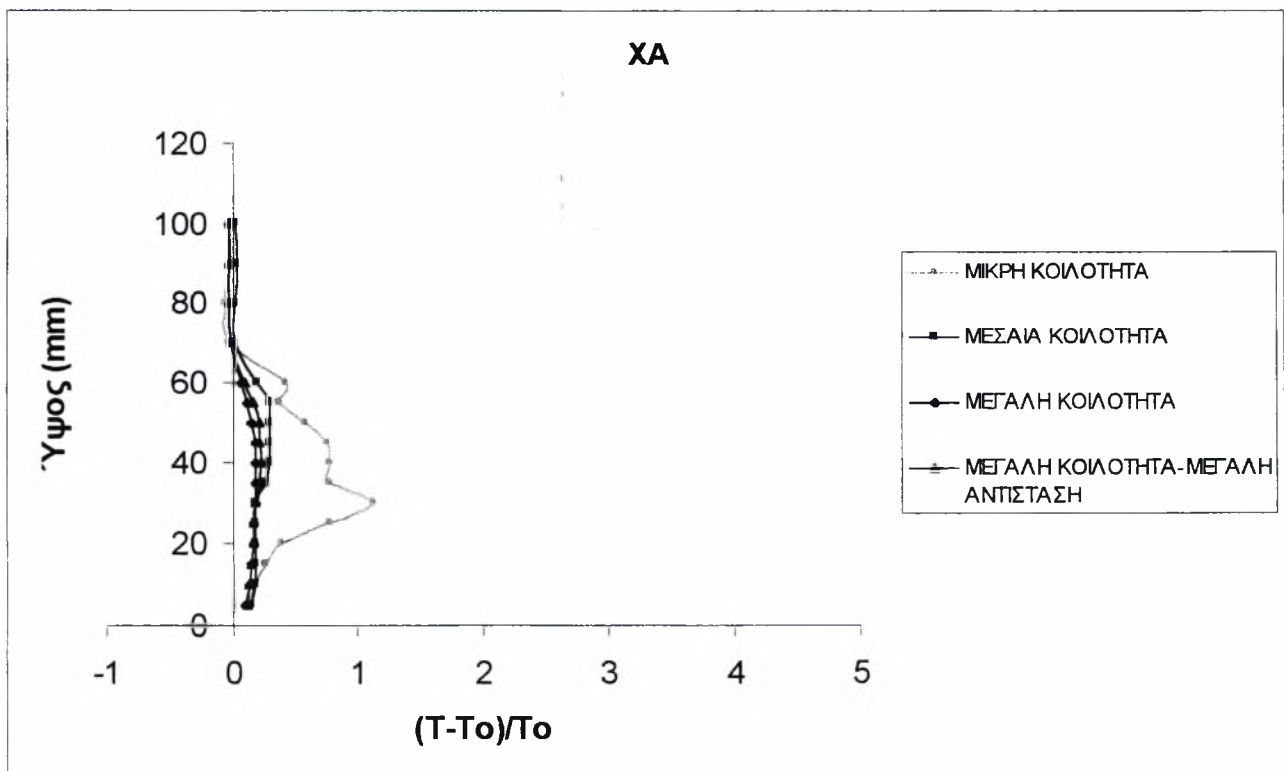
Στη θέση ΧΒ παρατηρείται πως στην περίπτωση της μικρής κοιλότητας η διακύμανση αυξάνει απότομα μέχρι τα 1.5cm και την τιμή 53.5%. Στη συνέχεια ακολουθεί μια συνεχής μείωση εκτός από ένα τοπικό μέγιστο στα 5cm (7.4%). Όταν υπάρχει η μεσαία κοιλότητα η διακύμανση αυξάνει έως τα 1.5cm όπου παίρνει την τιμή 8.4% και στη συνέχεια παραμένει σταθερή μέχρι το ύψος της κοιλότητας. Στην περίπτωση της μεγάλης κοιλότητας η διαταραχή παραμένει σχεδόν σταθερή με τιμή 2.61%. Δεν συμβαίνει το ίδιο όταν υπάρχει η μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση, αφού η διακύμανση αυξάνει μέχρι τα 2cm παίρνοντας τιμή 7.65%. Αυτή η τιμή παραμένει σχεδόν σταθερή έως τα 6cm.

Και στις τρεις θέσεις φαίνεται πως μέχρι τα 3cm οι μεγαλύτερες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας εμφανίζονται όταν υπάρχει η μικρή κοιλότητα. Στη συνέχεια ακολουθεί η μεσαία κοιλότητα, ενώ πολύ μικρές παρατηρούνται στην περίπτωση της μεγάλης. Τέλος από τα διαγράμματα φαίνεται πως από το ύψος της κοιλότητας και μέχρι τα 10cm η διακύμανση της θερμοκρασίας είναι σχεδόν μηδενική.

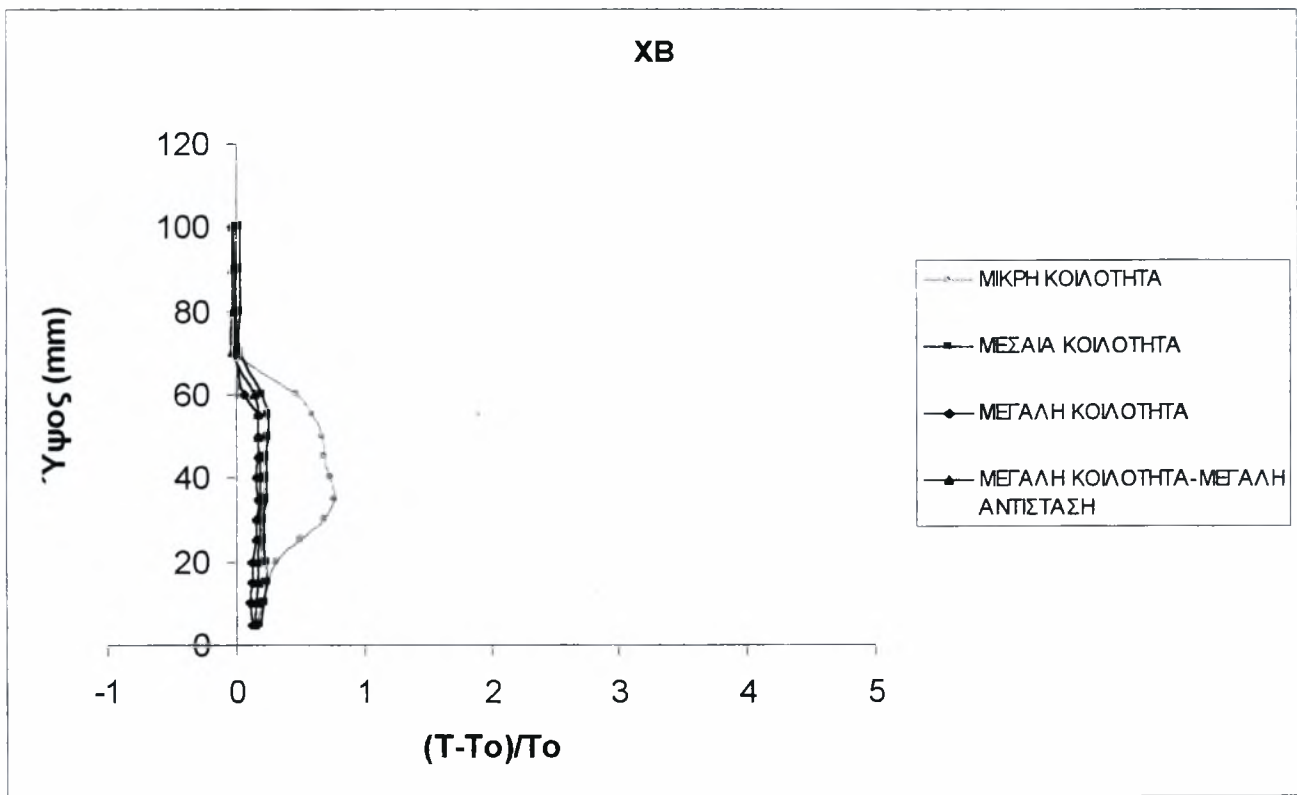
5.1.2 Αποτελέσματα με την αντίσταση στο κέντρο της κοιλότητας



Σχήμα 5.19: Μεταβολή της αδιάστατης θερμοκρασίας με το ύψος



Σχήμα 5.20: Μεταβολή της αδιάστατης θερμοκρασίας με το ύψος

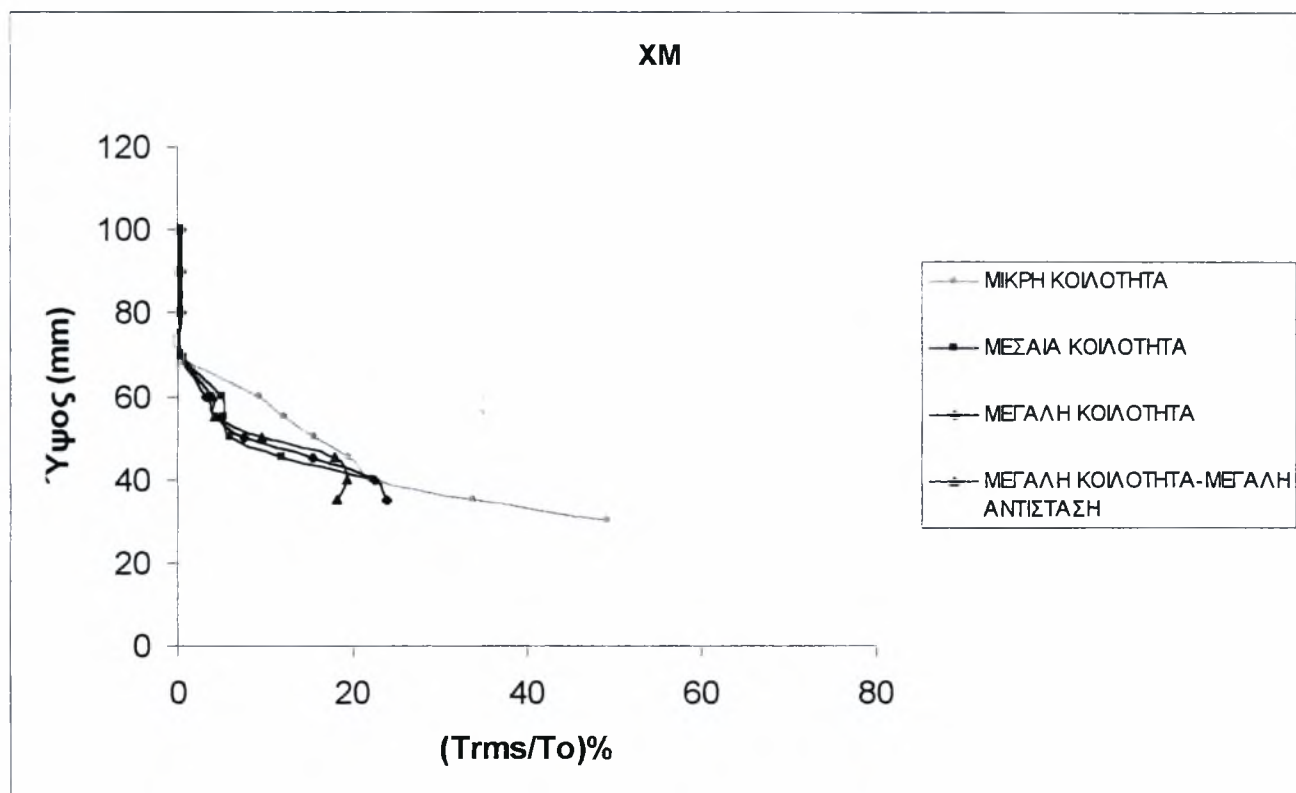


Σχήμα 5.21: Μεταβολή της αδιάστατης θερμοκρασίας με το ύψος

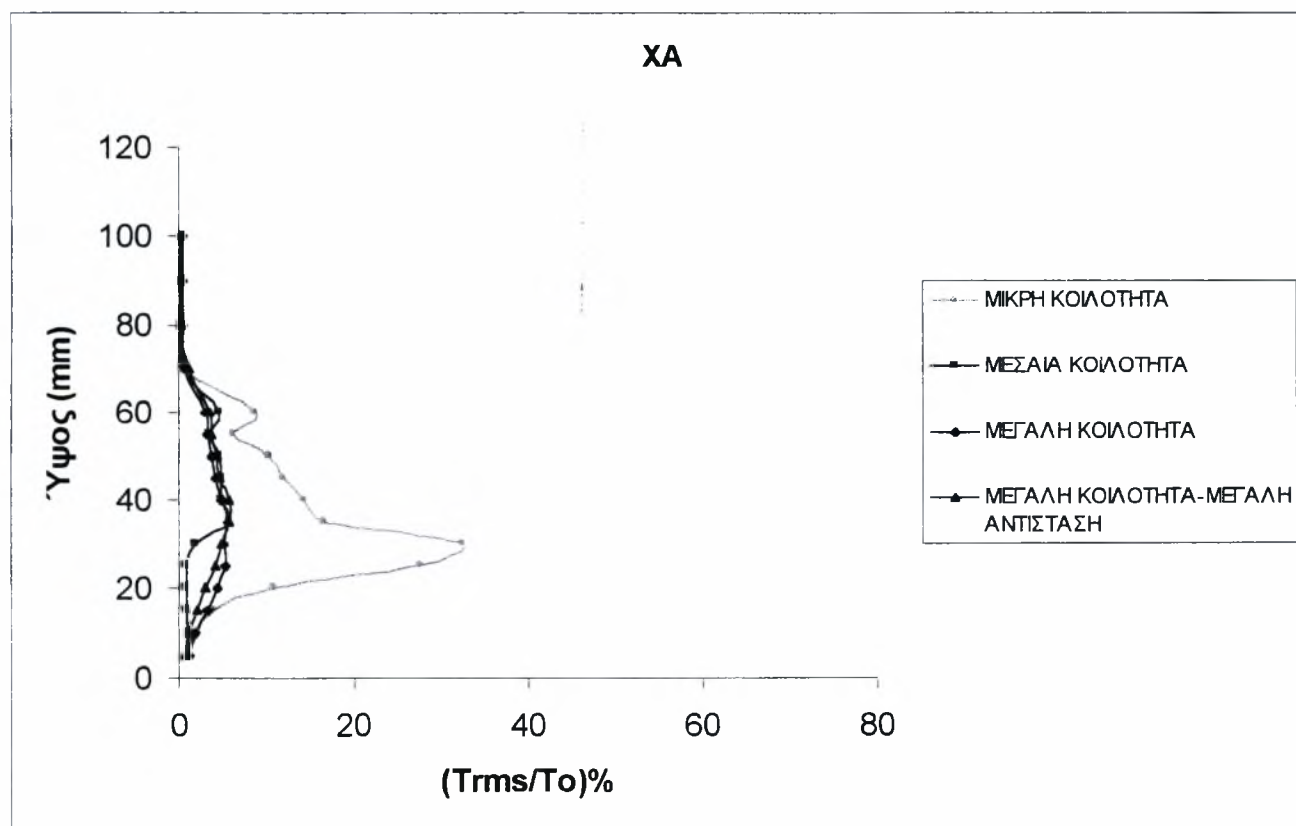
Στη θέση ΧΜ φαίνεται πως τόσο όταν υπάρχει η μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση όσο και όταν υπάρχει η μικρή κοιλότητα η θερμοκρασία ξεκινάει από την τιμή 2.8T₀. Στη συνέχεια μειώνεται συνεχώς με τον μεγαλύτερο ρυθμό να παρατηρείται στην πρώτη περίπτωση. Όταν υπάρχει η μεγάλη κοιλότητα η θερμοκρασία έχει τιμή 2.19T₀ στα 3.5cm και στη συνέχεια μειώνεται μέχρι τα 7cm. Παρόμοια συμπεριφορά ακολουθεί και η μεσαία κοιλότητα αφού ξεκινάει με τιμή 1.49T₀ και ύστερα μειώνεται μέχρι τα 7cm και τη θερμοκρασία αναφοράς T₀. Σε όλες τις παραπάνω περιπτώσεις από τα 7cm και μέχρι το μέγιστο ύψος η θερμοκρασία παραμένει σχεδόν σταθερή.

Στη θέση ΧΑ φαίνεται πως όταν υπάρχει η μικρή κοιλότητα η θερμοκρασία αυξάνει έως το κέντρο της κοιλότητας και την τιμή 2.12T₀. Έπειτα ακολουθεί μια συνεχής μείωση, εκτός από ένα τοπικό μέγιστο στα 6cm (1.41T₀). Όταν υπάρχει η μεσαία κοιλότητα η θερμοκρασία είναι σταθερή μέχρι το ύψος της κοιλότητας με τιμή 1.3T₀. Σταθερή είναι η θερμοκρασία και στη περίπτωση της μεγάλης κοιλότητας με τις μεγαλύτερες τιμές να παρατηρούνται όταν υπάρχει η μεγάλη αντίσταση. Από τα 7cm και έως το μέγιστο ύψος η θερμοκρασία παραμένει σχεδόν σταθερή.

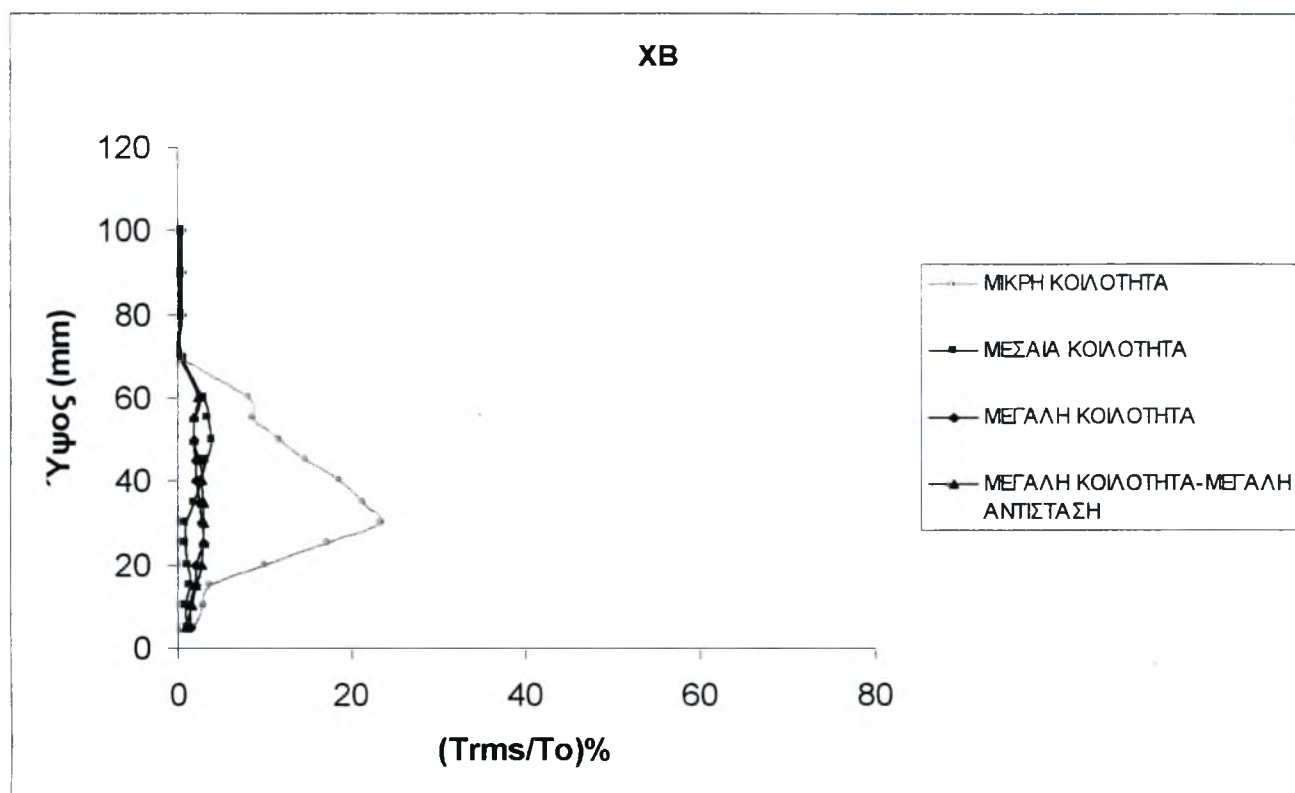
Στη θέση ΧΒ η μεγαλύτερες θερμοκρασίες παρατηρούνται όταν υπάρχει η μικρή κοιλότητα. Έτσι η θερμοκρασία αυξάνει μέχρι τα 3.5cm όπου παίρνει τιμή 1.77T₀ και στη συνέχεια μειώνεται μέχρι τα 7cm όπου γίνεται ίση με τη θερμοκρασία αναφοράς. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις η κατανομή της θερμοκρασίας είναι παρόμοια και σταθερή μέχρι τα 6cm με τη μεσαία κοιλότητα να εμφανίζει λίγο μεγαλύτερες τιμές. Επίσης στη μικρή κοιλότητα φαίνεται πως η θερμοκρασία στη θέση ΧΑ είναι υψηλότερη από τη θέση ΧΒ και επομένως η ροή έχει φορά αντίθετη από αυτή των δεικτών του ρολογιού.



Σχήμα 5.22: Μεταβολή της αδιάστατης διακύμανσης της θερμοκρασίας με το ύψος



Σχήμα 5.23: Μεταβολή της αδιάστατης διακύμανσης της θερμοκρασίας με το ύψος



Σχήμα 5.24: Μεταβολή της αδιάστατης διακύμανσης της θερμοκρασίας με το ύψος

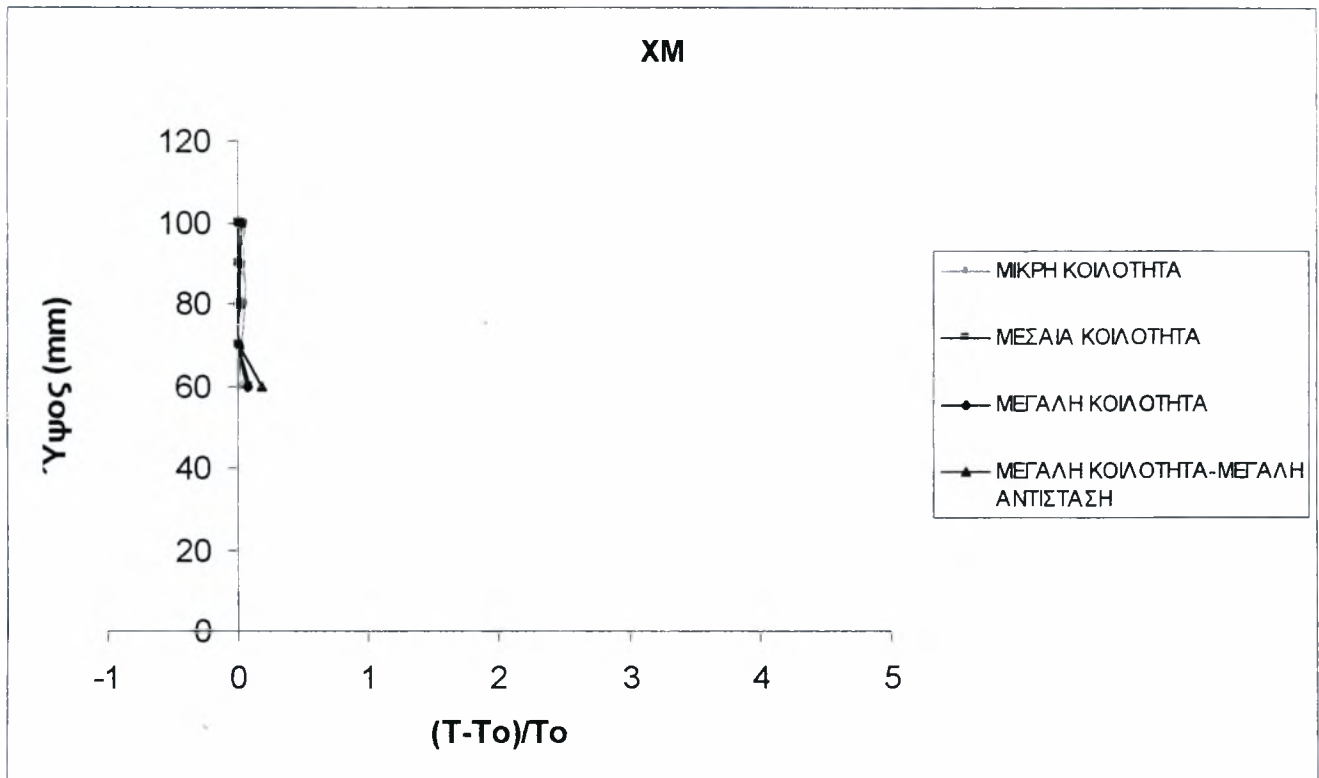
Από το διάγραμμα της διακύμανσης της θερμοκρασίας φαίνεται ότι η διακύμανση έχει μεγαλύτερες τιμές όταν υπάρχει η μικρή κοιλότητα. Έτσι ξεκινάει από μια πολύ μεγάλη τιμή στα 3cm (49%) και στη συνέχεια μειώνεται μέχρι τα 7cm. Όταν υπάρχει η μεγάλη και η μεσαία κοιλότητα η διαταραχή ξεκινάει από την τιμή 23%. Στη συνέχεια ακολουθεί μείωση και στις δύο περιπτώσεις με τις μεγαλύτερες τιμές να παρατηρούνται στη μεγάλη κοιλότητα. Όταν υπάρχει η μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση η διακύμανση είναι λίγο πιο αυξημένη.

Για τη θέση ΧΑ φαίνεται μια ραγδαία αύξηση της διακύμανσης όταν υπάρχει η μικρή κοιλότητα μέχρι τα 3cm και την τιμή 33%. Έπειτα ακολουθεί μια συνεχής μείωση εκτός από ένα τοπικό μέγιστο στα 6cm (8.75%). Στην περίπτωση που υπάρχει η μεγάλη κοιλότητα, ανεξάρτητα από το μέγεθος της πηγής, η διακύμανση είναι σταθερή μέχρι τα 6cm έχοντας τιμή 5%. Στην περίπτωση της μεσαίας κοιλότητας η διακύμανση ξεκινάει από μια πολύ μικρή τιμή και αυξάνει μέχρι τα 3cm (5%). Αυτή η τιμή διατηρείται έως το ύψος της κοιλότητας.

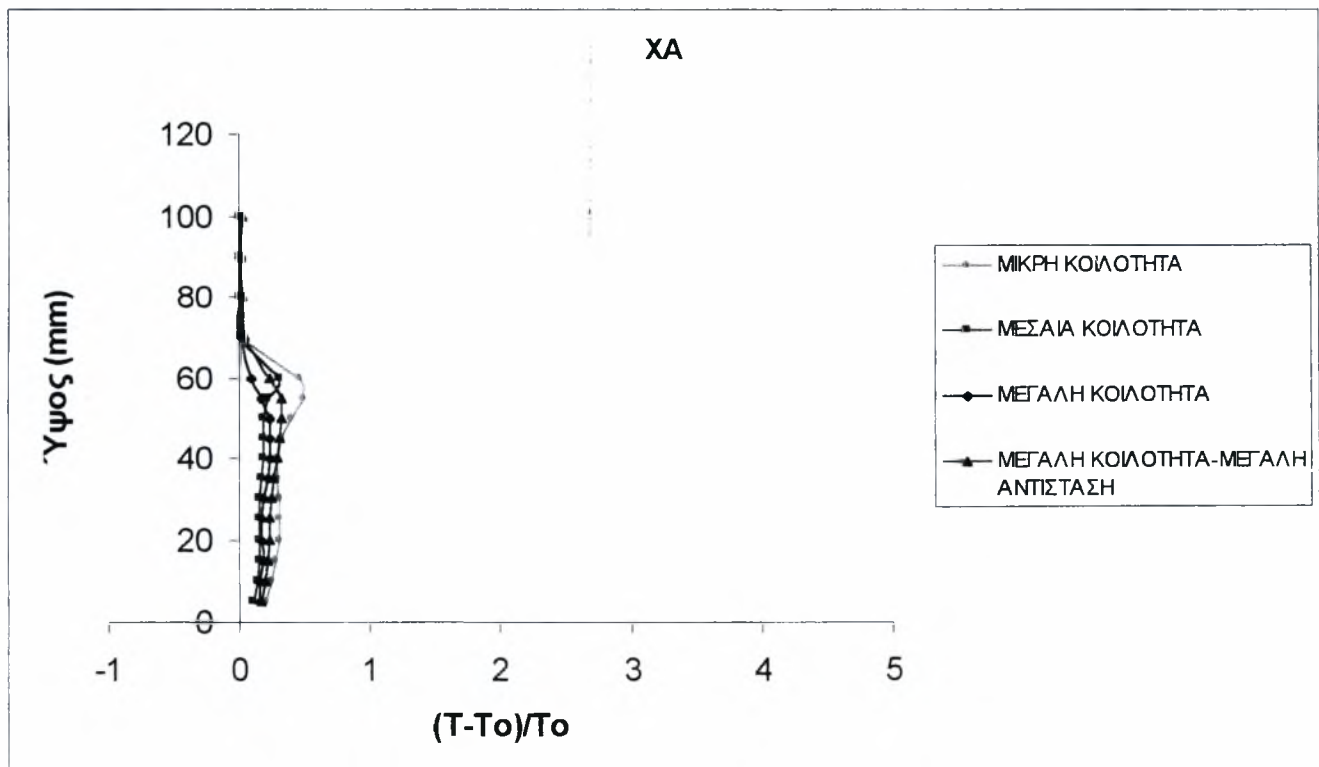
Στη θέση ΧΒ φαίνεται πως όταν υπάρχει η μικρή κοιλότητα η διακύμανση της θερμοκρασίας αυξάνει μέχρι το κέντρο της κοιλότητας όπου παίρνει την τιμή 23.5%. Στη συνέχεια ακολουθεί μείωση της διακύμανσης έως το ύψος της κοιλότητας και την τιμή 8.38%. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις η διακύμανση παραμένει σχεδόν σταθερή μέσα στην κοιλότητα με τιμή 2.5%.

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρείται ότι η διακύμανση της θερμοκρασίας σε όλες τις θέσεις έχει αρκετά μεγαλύτερες τιμές όταν υπάρχει η μικρή κοιλότητα. Επίσης έξω από την κοιλότητα η διακύμανση είναι σχεδόν μηδενική.

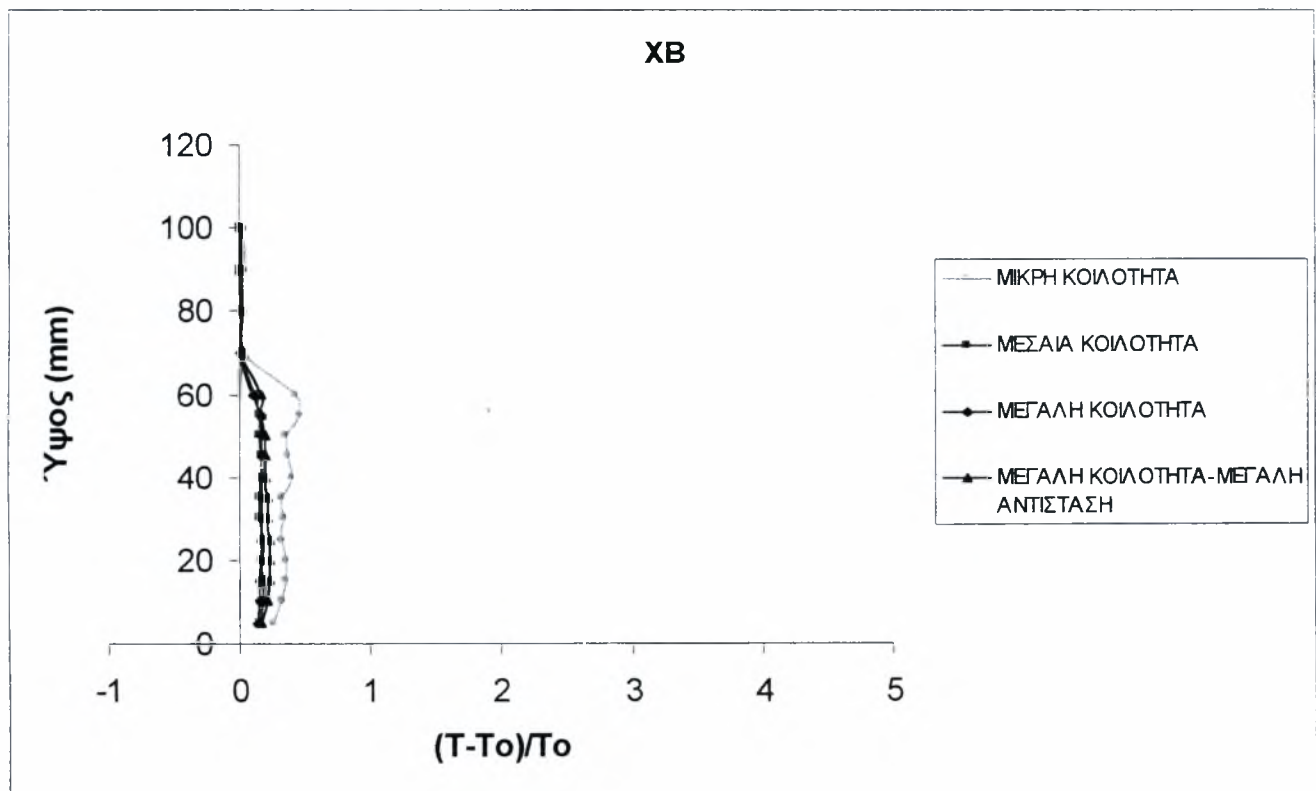
5.1.3 Αποτελέσματα με την αντίσταση στο ύψος της κοιλότητας



Σχήμα 5.25: Μεταβολή της αδιάστατης θερμοκρασίας με το ύψος



Σχήμα 5.26: Μεταβολή της αδιάστατης θερμοκρασίας με το ύψος



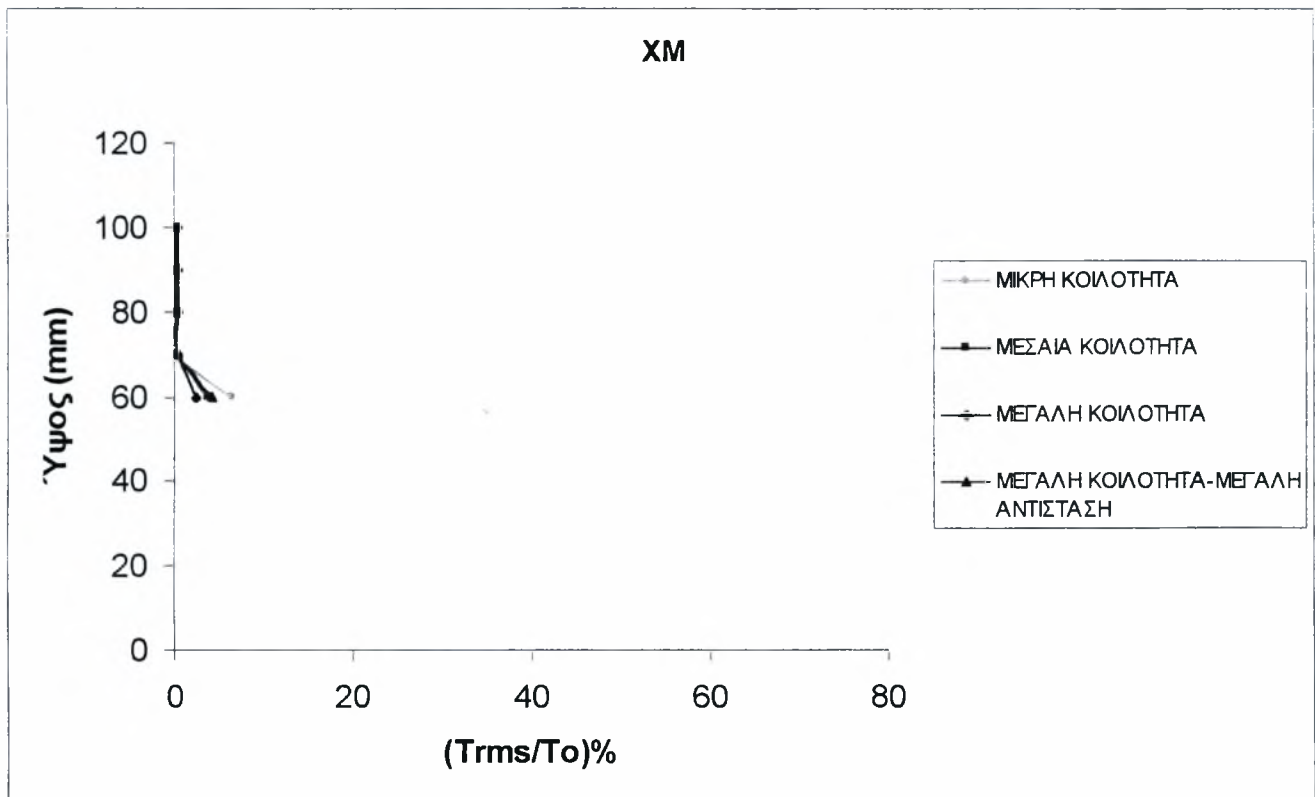
Σχήμα 5.27: Μεταβολή της αδιάστατης θερμοκρασίας με το ύψος

Από το διάγραμμα της θερμοκρασίας φαίνεται πως στη θέση ΧΜ η θερμοκρασία είναι σταθερή από τα 6cm και μέχρι το μέγιστο ύψος για όλες σχεδόν τις περιπτώσεις. Όταν υπάρχει η μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση παρατηρείται λίγο μεγαλύτερη τιμή στα 6cm (1.18To).

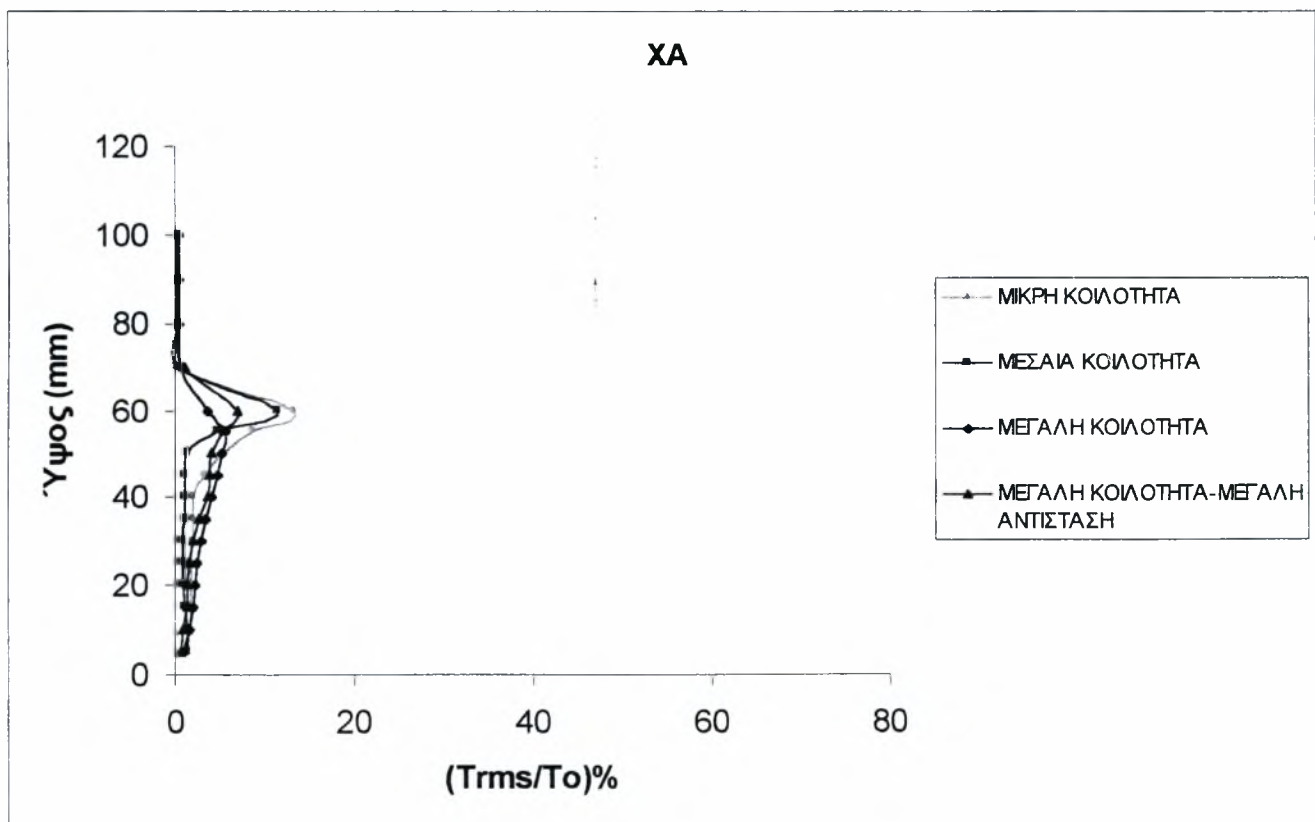
Στη θέση ΧΑ η θερμοκρασία παραμένει σχεδόν σταθερή μέχρι το ύψος της κοιλότητας. Οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται όταν υπάρχει η μικρή κοιλότητα (1.45To) με την περίπτωση της μεγάλης κοιλότητας με τη μεγάλη αντίσταση να ακολουθεί (1.35To). Στις άλλες δύο περιπτώσεις η θερμοκρασία είναι παρόμοια και ίση περίπου με 1.18To.

Και στη θέση ΧΒ η θερμοκρασία παραμένει σχεδόν σταθερή μέσα στην κοιλότητα για όλες τις περιπτώσεις. Όταν υπάρχει η μικρή κοιλότητα η θερμοκρασία παρουσιάζει την μεγαλύτερη τιμή (1.35To), ενώ στις υπόλοιπες περιπτώσεις είναι περίπου ίση με 1.2To.

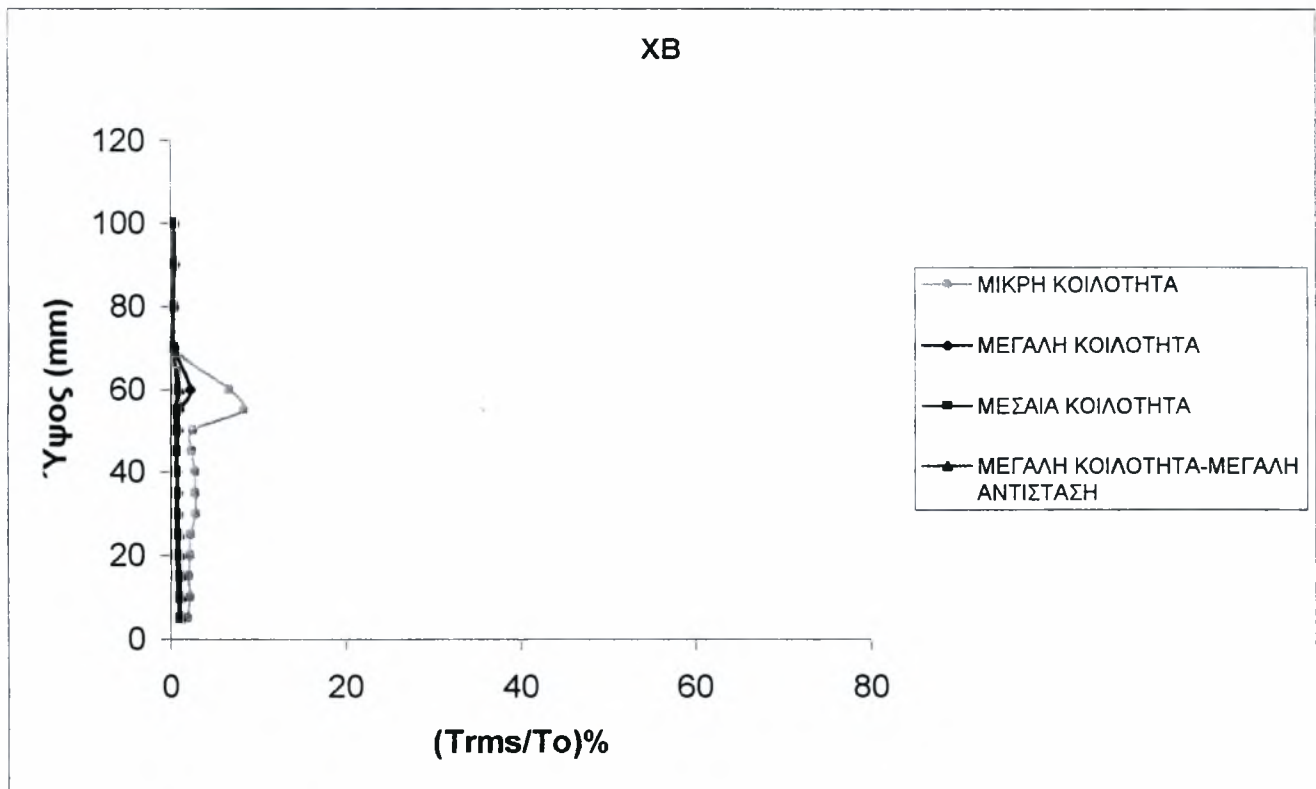
Από τα διαγράμματα της θερμοκρασίας φαίνεται πως η θερμοκρασία έχει μεγαλύτερη τιμή σε όλες τις θέσεις όταν υπάρχει η μικρή κοιλότητα. Όταν υπάρχουν οι υπόλοιπες κοιλότητες η θερμοκρασία παίρνει σχεδόν την ίδια τιμή. Επίσης από τα 6cm και μέχρι το μέγιστο ύψος γίνεται ίση με τη θερμοκρασία αναφοράς To.



Σχήμα 5.28: Μεταβολή της αδιάστατης διακύμανσης της θερμοκρασίας με το ύψος



Σχήμα 5.29: Μεταβολή της αδιάστατης διακύμανσης της θερμοκρασίας με το ύψος



Σχήμα 5.30: Μεταβολή της αδιάστατης διακύμανσης της θερμοκρασίας με το ύψος

Για τη θέση ΧΜ φαίνεται πως η διακύμανση ξεκινάει από μια αρκετά χαμηλή τιμή σε όλες τις περιπτώσεις (περίπου 4%). Στη συνέχεια μειώνεται ακόμα περισσότερο και στο μέγιστο ύψος παίρνει την τιμή 0.9%.

Για τη θέση ΧΑ φαίνεται πως σε όλες τις περιπτώσεις η διακύμανση αυξάνει σχεδόν γραμμικά μέχρι τα 6cm όπου παίρνει και την μέγιστη τιμή της. Αυτή η τιμή είναι 13.28% όταν υπάρχει η μικρή κοιλότητα, 11.38% όταν υπάρχει η μεσαία, 6.87% όταν είναι η μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση και 3.6% όταν υπάρχει η μεγάλη κοιλότητα. Στη συνέχεια ακολουθεί μείωση μέχρι τα 7cm και την τιμή 0.6%. Αυτή η τιμή παραμένει σχεδόν σταθερή έως τα 10cm για όλες τις περιπτώσεις.

Στη θέση ΧΒ φαίνεται πως η διακύμανση παραμένει σταθερή, με πολύ μικρή τιμή (1.1%), όταν υπάρχει η μεγάλη και η μεσαία κοιλότητα. Όταν υπάρχει η μικρή κοιλότητα η διακύμανση είναι σταθερή μέχρι τα 5cm με τιμή 2.5%. Στη συνέχεια αυξάνεται και στα 5.5cm γίνεται ίση με 8.37%. Έπειτα ακολουθεί μια μείωση μέχρι τα 7cm και την τιμή 0.35%. Αυτή η τιμή παραμένει έως τα 10cm για όλες τις περιπτώσεις.

Γενικά και στην περίπτωση που η αντίσταση είναι στο ύψος της κοιλότητας η διακύμανση είναι μεγαλύτερη, για όλες τις θέσεις, στη μικρή κοιλότητα. Στις άλλες κοιλότητες η διακύμανση είναι σχεδόν σταθερή έχοντας αρκετά μικρή τιμή.

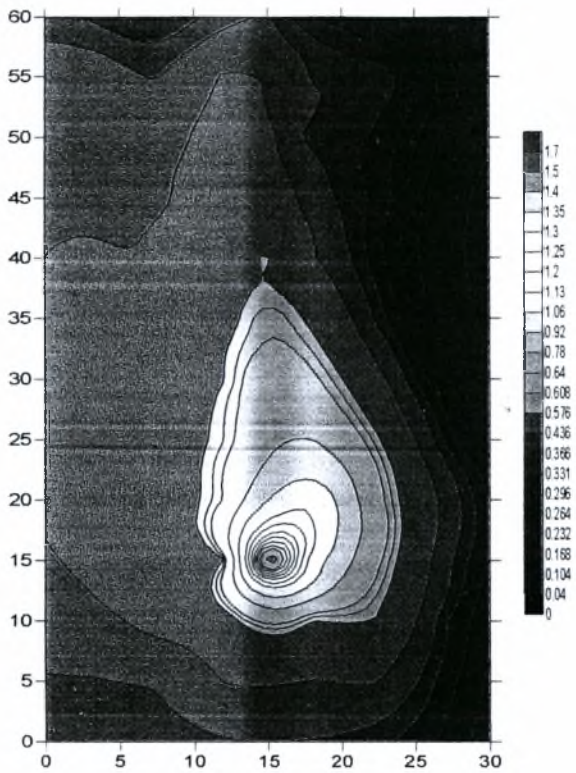
5.1.4 Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω αποτελέσματα προέκυψε ότι τόσο η θερμοκρασία όσο και η διακύμανση της επηρεάζονται από τη θέση της αντίστασης και τη γεωμετρία της κοιλότητας. Όταν η αντίσταση είναι τοποθετημένη στο βάθος της κοιλότητας οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στη μικρή κοιλότητα, όταν είναι στο κέντρο εμφανίζονται στη μικρή και στη μεγάλη και όταν είναι στο ύψος της κοιλότητας οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες εμφανίζονται στη μεσαία κοιλότητα. Όσον αφορά τη γεωμετρία η θερμοκρασία παίρνει τις μεγαλύτερες τιμές της στη μικρή κοιλότητα. Επίσης φαίνεται πως όταν η αντίσταση είναι τοποθετημένη στο κάτω μέρος της κοιλότητας η ροή έχει φορά αντίθετη με αυτή των δεικτών του ρολογιού. Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση της μικρής κοιλότητας με την αντίσταση στο κέντρο. Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις δεν μπορεί να φανεί η φορά της ροής από τις κατανομές θερμοκρασίας. Τέλος φαίνεται πως η θερμοκρασία πέφτει πιο γρήγορα όσο απομακρυνόμαστε από την πηγή στη μικρή κοιλότητα. Ο ρυθμός μείωσης είναι αρκετά μικρότερος στις άλλες κοιλότητες.

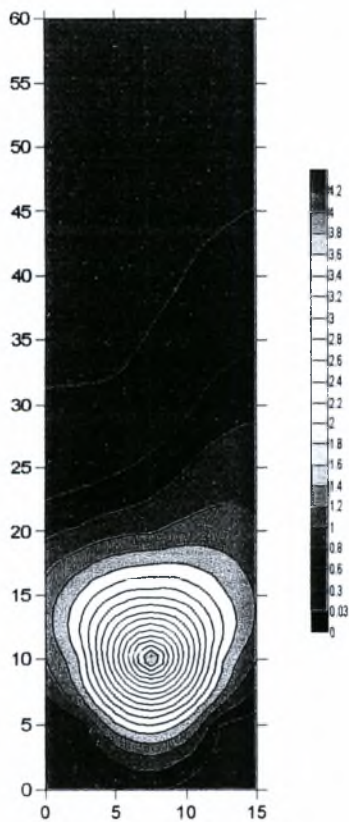
5.2 ΚΑΤΑΝΟΜΕΣ ΙΣΟΨΩΝ ΑΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ T ΚΑΙ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ T_{rms}

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα ισοψών (contours) της θερμοκρασίας και της διακύμανσης που προέκυψαν από μετρήσεις μέσα στις κοιλότητες. Η παρουσίαση κατηγοριοποιείται ανάλογα με τη θέση της αντίστασης μέσα στις κοιλότητες. Και εδώ επίσης η θερμοκρασία και η διαταραχή έχει αδιαστατοποιηθεί με μια θερμοκρασία αναφοράς T_0 . Στην περίπτωση της μικρής κοιλότητας επειδή οι θερμοκρασίες ήταν πολύ υψηλές χρησιμοποιήθηκε διαφορετικό κλίμακα.

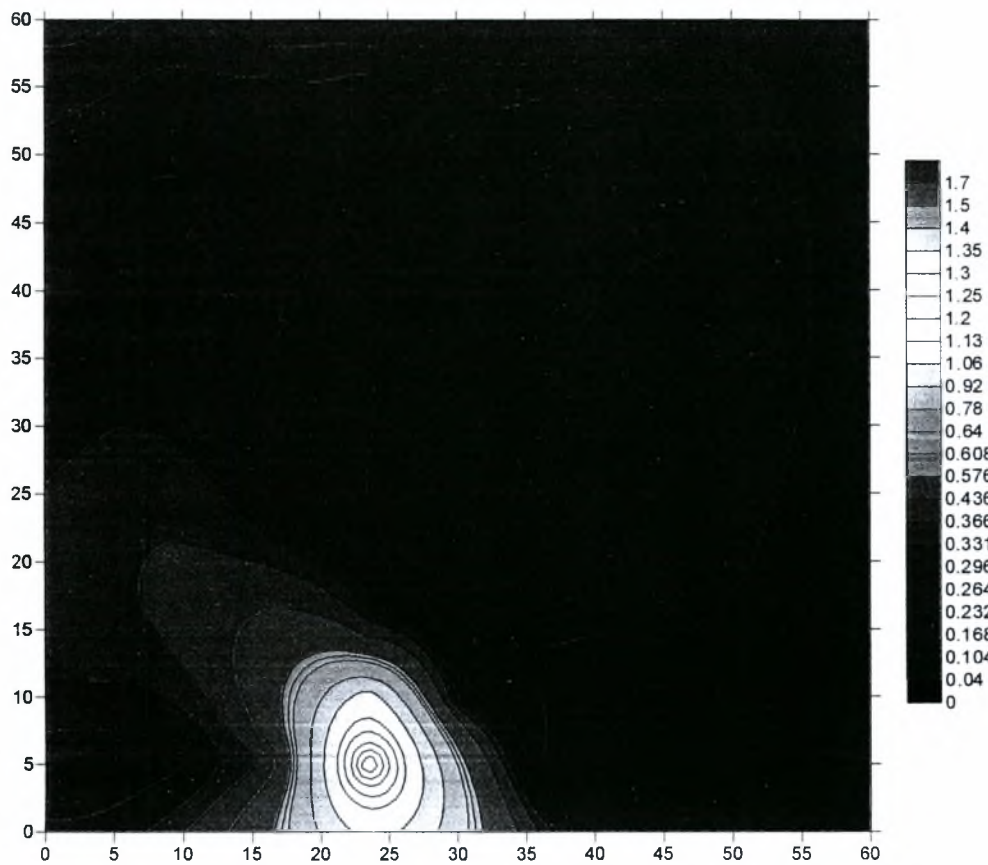
5.2.1 Ισοϋψείς με την αντίσταση στο κάτω μέρος της κοιλότητας



Σχήμα 5.31: Ισοϋψείς αδιάστατης T για τη μεσαία κοιλότητα

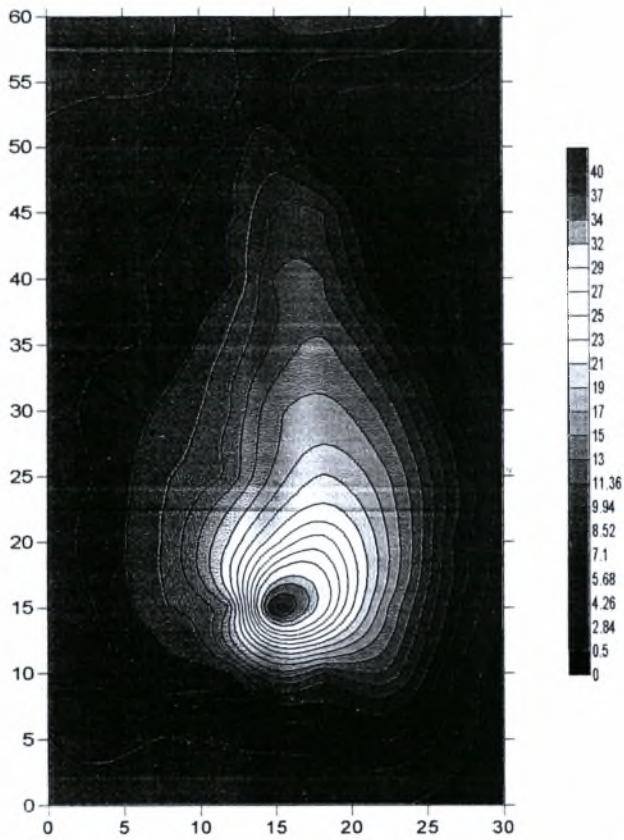


Σχήμα 5.32: Ισοϋψείς αδιάστατης T για τη μεσαία κοιλότητα

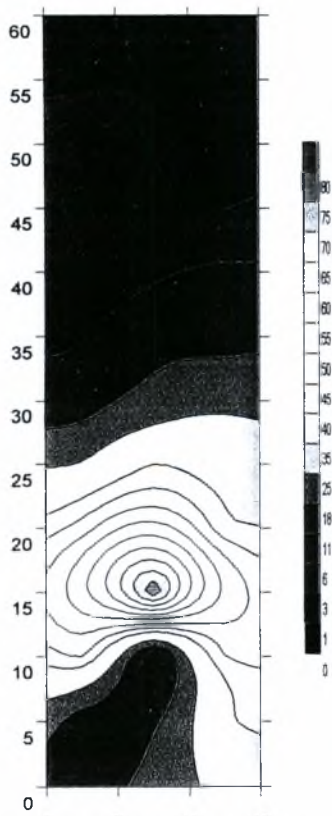


Σχήμα 5.33: Ισοϋψείς αδιάστατης T για τη μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση

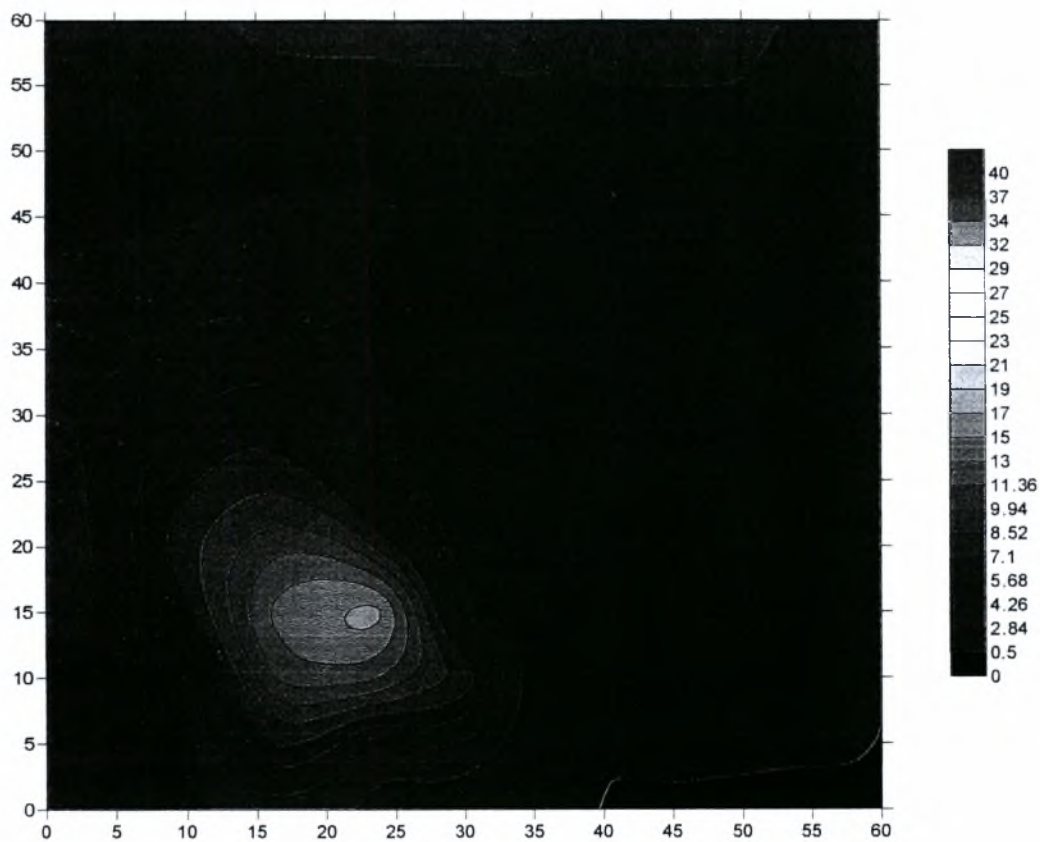
Από τα contours των ισοϋψών της θερμοκρασίας φαίνεται πως όταν η αντίσταση είναι στο κάτω μέρος μεγαλύτερες τιμές θερμοκρασίας παρατηρούνται στη μικρή κοιλότητα. Η τιμή της θερμοκρασίας γύρω από την πηγή είναι σχεδόν τρεις φορές μεγαλύτερη από ότι στις άλλες κοιλότητες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι όσο πιο στενή γίνεται η κοιλότητα τόσο πιο δύσκολα φτάνει ο αέρας στον πάτο με αποτέλεσμα η ταχύτητα του κοντά στην αντίσταση να είναι πολύ μικρή. Έτσι δεν υπάρχει καλή μεταφορά θερμότητας και η θερμοκρασία γύρω από την αντίσταση είναι πολύ μεγάλη. Για τον ίδιο λόγο οι χαμηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στη μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση και ενδιάμεσες στη μεσαία κοιλότητα. Στη μεσαία κοιλότητα φαίνεται πως λόγω της θέρμανσης του αέρα και της χαμηλής του ταχύτητας, ασκούνται στο ρευστό ανυψωτικές δυνάμεις. Επίσης στη μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση φαίνεται πως, λόγω της δίνης που διαμορφώνεται, η θερμοκρασία έχει μεγαλύτερες τιμές αριστερά από την πηγή και όχι από πάνω. Στη μεσαία κοιλότητα φαίνεται πιο έντονα πως η ροή έχει φορά όμοια αυτή των δεικτών του ρολογιού.



Σχήμα 5.34: Ισοϋψείς αδιάστατου T_{rms} για τη μεσαία κοιλότητα



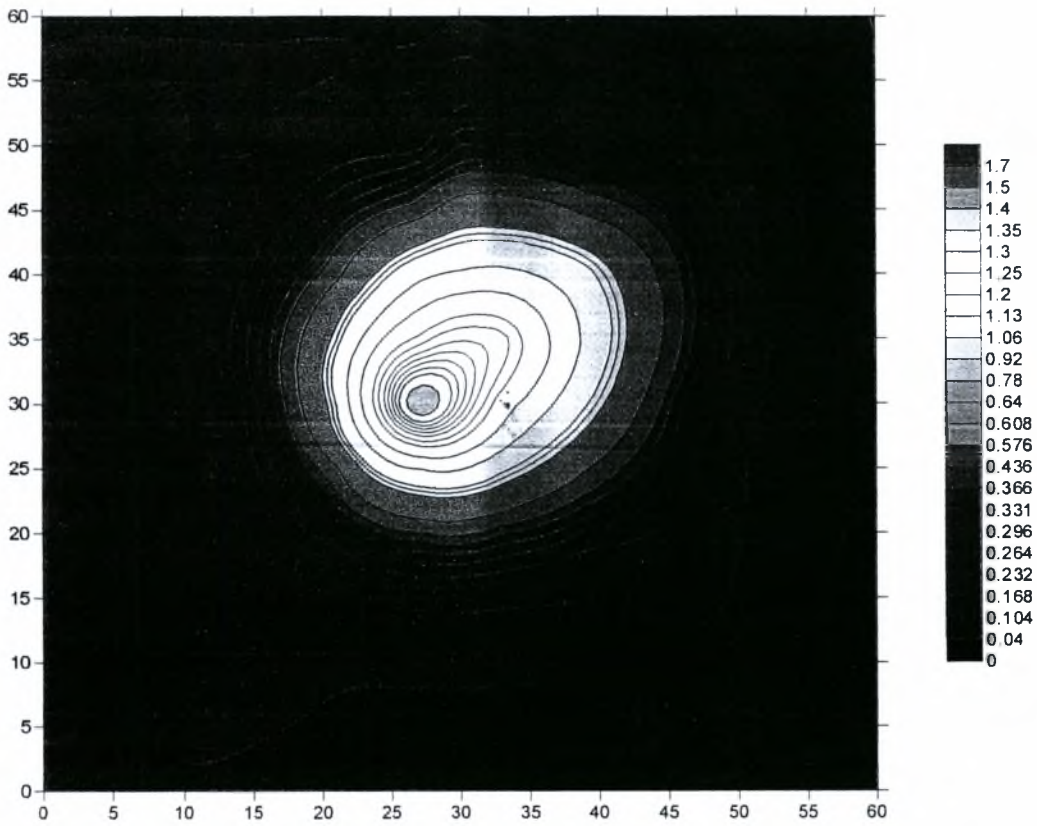
Σχήμα 5.35: Ισοϋψείς αδιάστατου T_{rms} για τη μικρή κοιλότητα



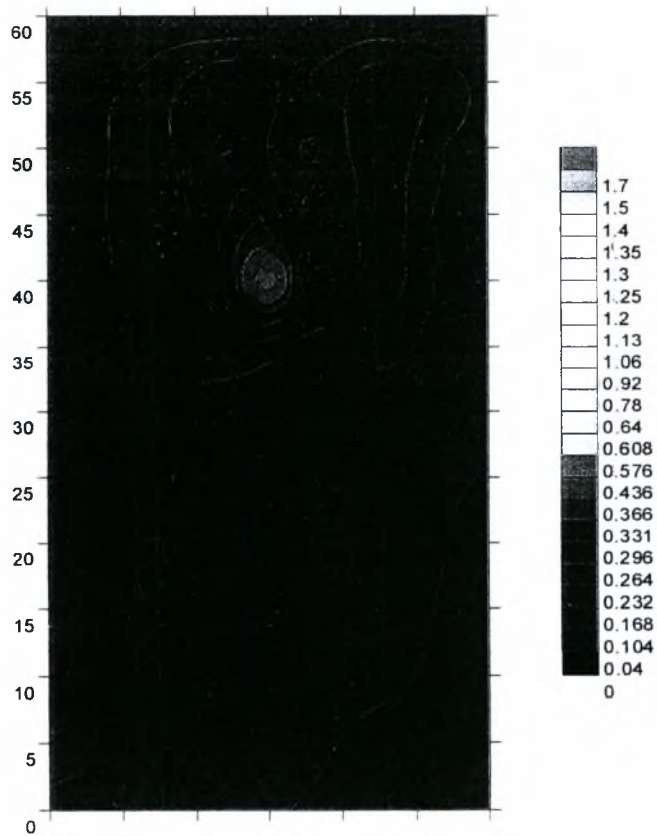
Σχήμα 5.36: Ισοϋψείς αδιάστατου Trms για τη μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση

Από τα contours των ισοϋψών της διακύμανσης της θερμοκρασίας φαίνεται πως στη μικρή κοιλότητα η διακύμανση παίρνει πολύ μεγάλες τιμές, μέχρι και 80% κοντά στην πηγή. Μεγάλες διακυμάνσεις παρατηρούνται και στη μεσαία κοιλότητα με τιμή περίπου 40% γύρω από την πηγή, ενώ στη μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση η διακύμανση δεν ξεπερνάει το 25%.

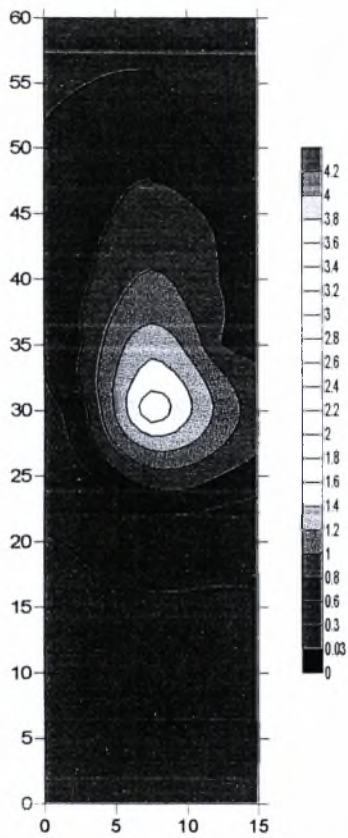
5.2.2 Ισοϋψείς με την αντίσταση στο κέντρο της κοιλότητας



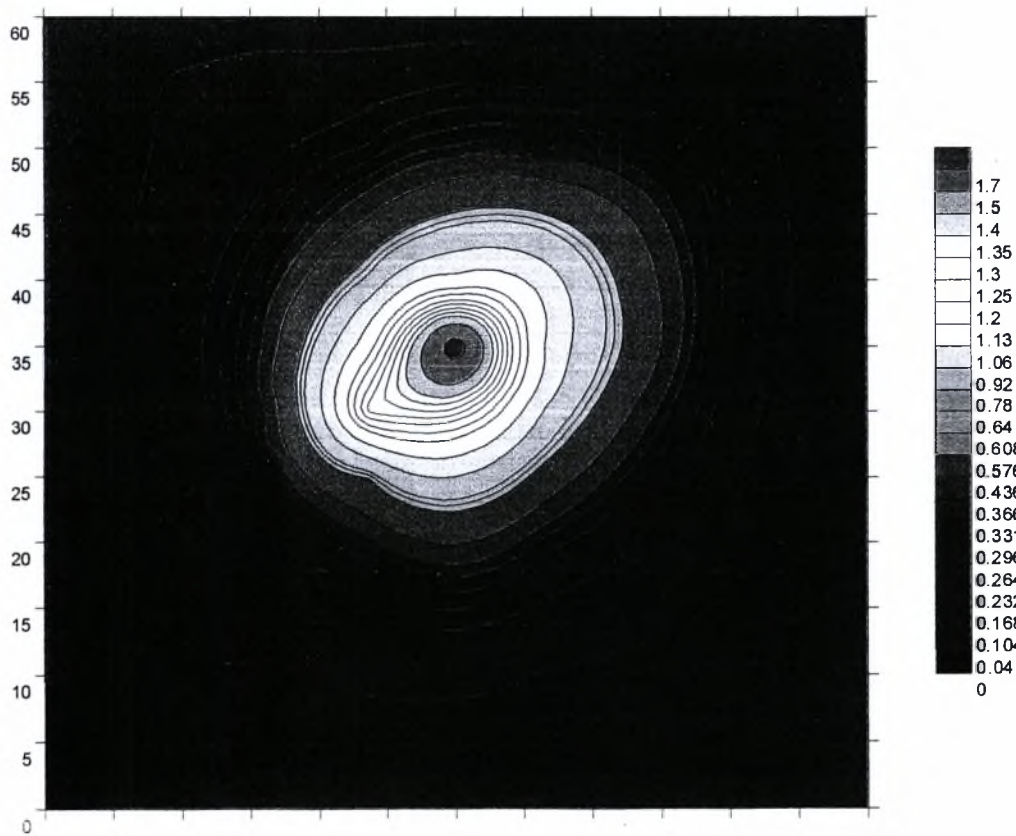
Σχήμα 5.37: Ισοϋψείς αδιάστατης T για τη μεγάλη κοιλότητα



Σχήμα 5.38: Ισοϋψείς αδιάστατης T για τη μεσαία κοιλότητα

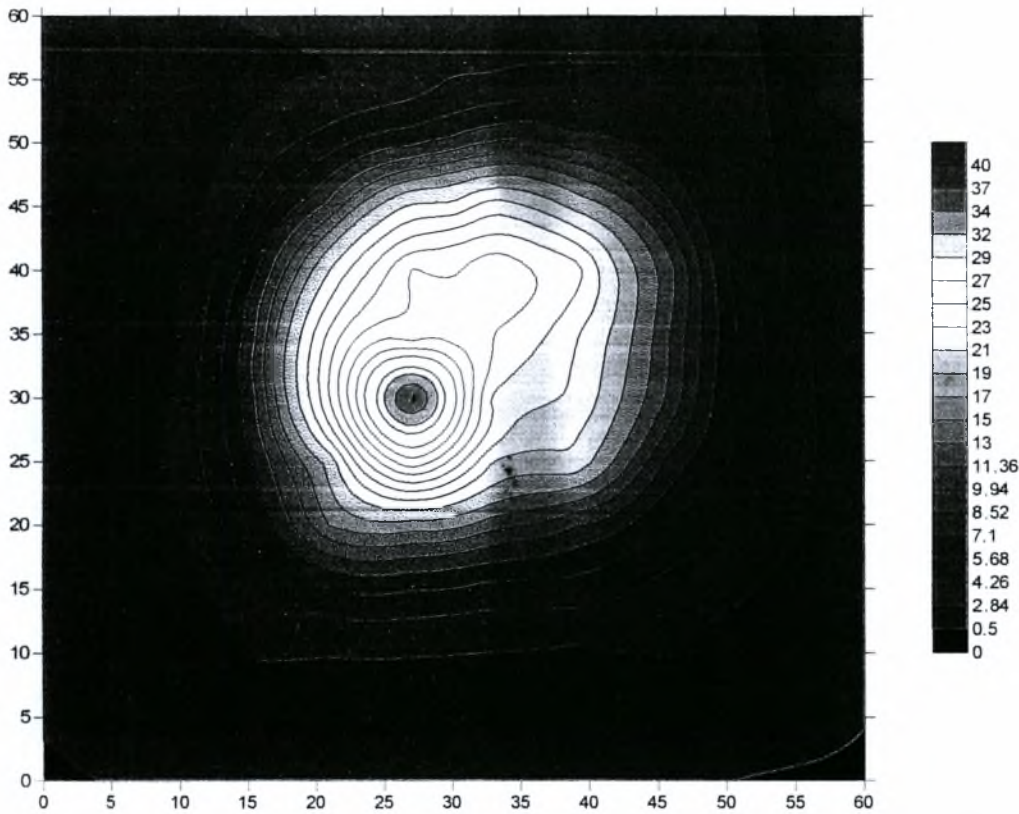


Σχήμα 5.39: Ισοϋψείς αδιάστατης T για τη μικρή κοιλότητα

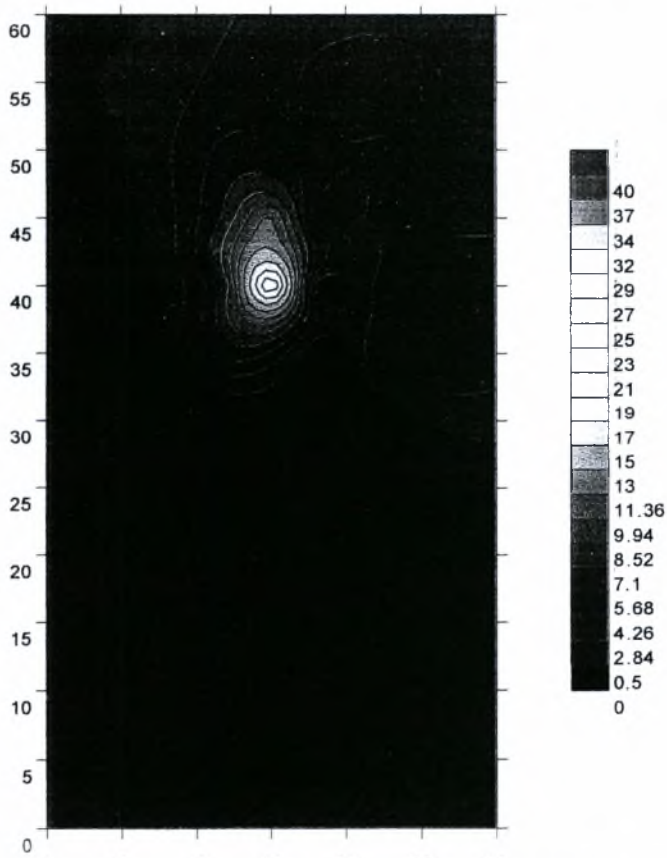


Σχήμα 5.40: Ισοϋψείς αδιάστατης T για τη μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση

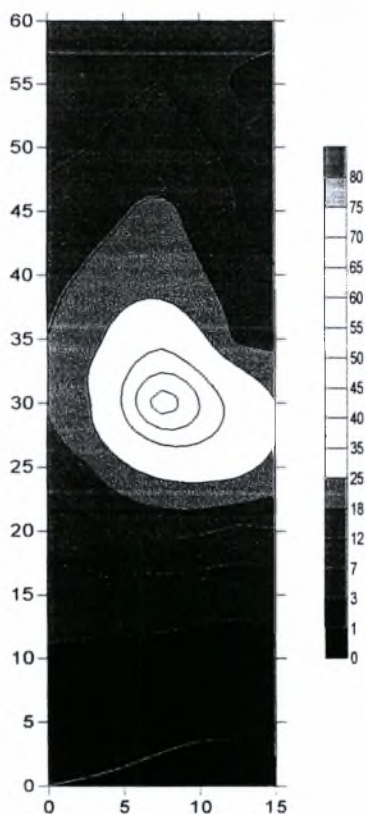
Από τα contours των ισοϋψών της θερμοκρασίας φαίνεται πως, όταν η αντίσταση είναι στο κέντρο, η θερμοκρασία παίρνει τις μεγαλύτερες τιμές στη μεγάλη κοιλότητα (ανεξάρτητα από την αντίσταση) και στη μικρή. Στη μικρή κοιλότητα παίρνει μεγάλες τιμές η θερμοκρασία επειδή ο αέρας έχει πολύ μικρή ταχύτητα σε όλη την κοιλότητα με αποτέλεσμα την άσχημη μεταφοράς θερμότητας. Στη μεγάλη κοιλότητα το κέντρο της κύριας δίνης βρίσκεται στο γεωμετρικό κέντρο της κοιλότητας με αποτέλεσμα ο αέρας γύρω από την πηγή να έχει σχεδόν μηδενική ταχύτητα. Έτσι και σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει καλή μεταφορά θερμότητας από την αντίσταση στο ρευστό. Στη μεσαία κοιλότητα το κέντρο της δίνης βρίσκεται πιο χαμηλά από το κέντρο της κοιλότητας και κατά συνέπεια η αντίσταση ψύχεται πιο γρήγορα.



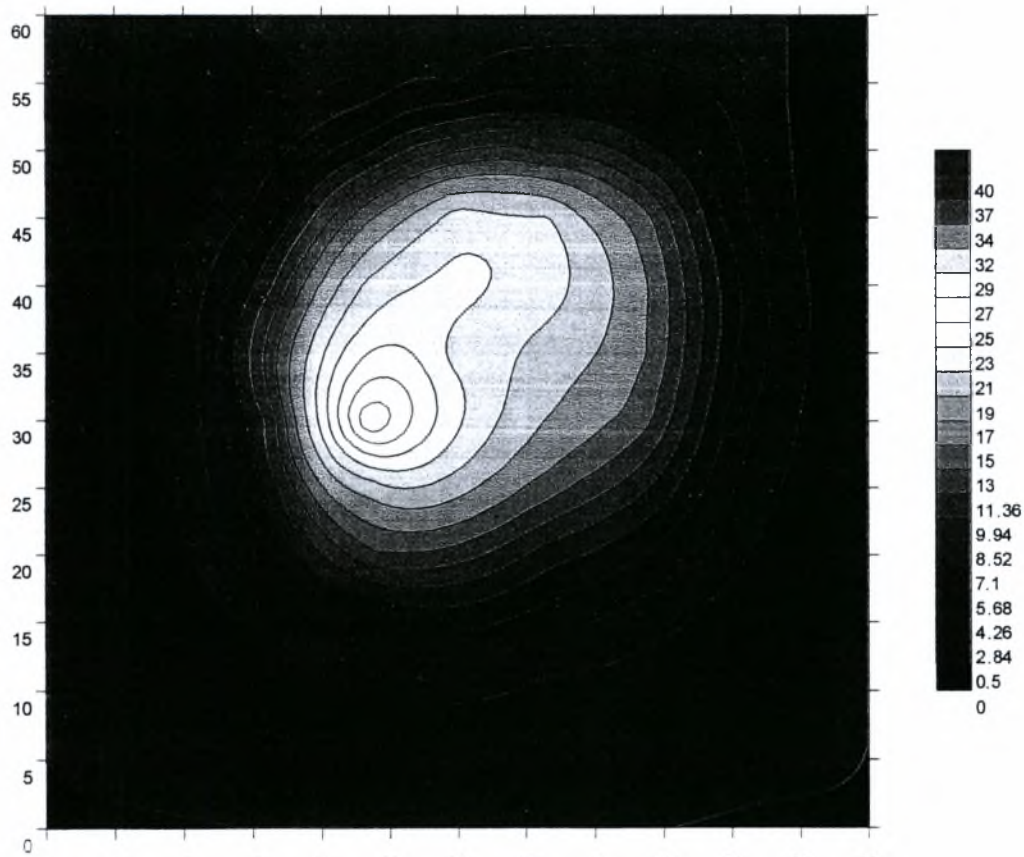
Σχήμα 5.41: Ισοϋψείς αδιάστατου T_{rms} για τη μεγάλη κοιλότητα



Σχήμα 5.42: Ισοϋψείς αδιάστατου T_{rms} για τη μεσαία κοιλότητα



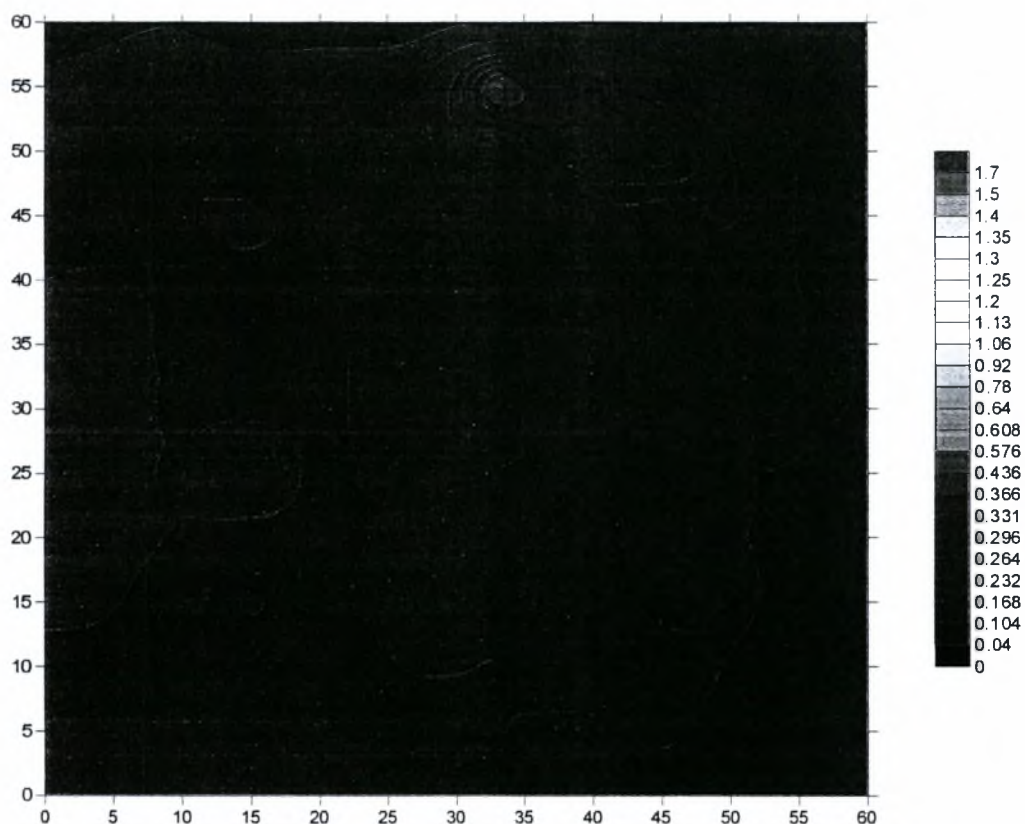
Σχήμα 5.43: Ισοϋψείς αδιάστατου T_{rms} για τη μικρή κοιλότητα



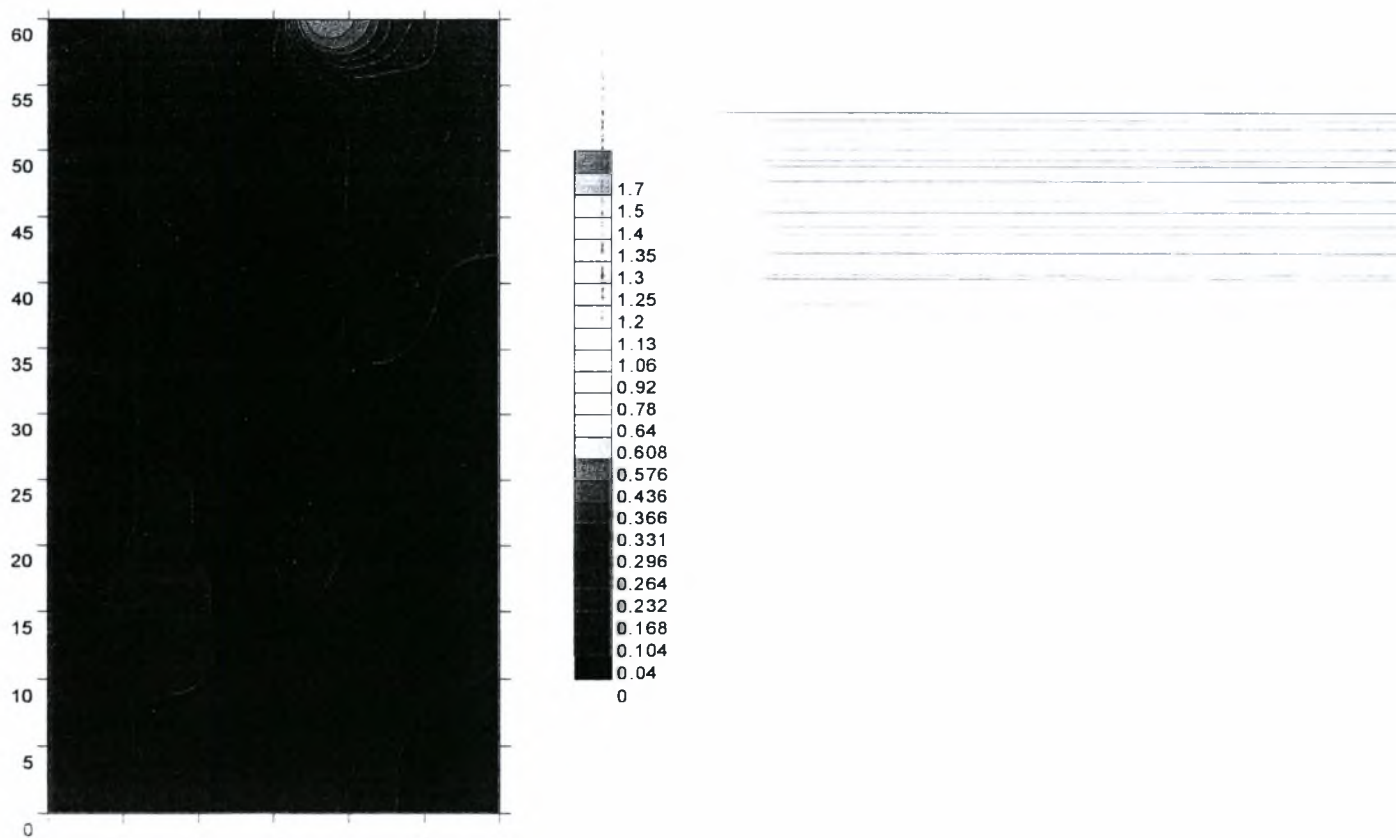
Σχήμα 5.44: Ισοϋψείς αδιάστατου T_{rms} για τη μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση

Από τα contours των ισοϋψών της διακύμανσης της θερμοκρασίας φαίνεται πως μεγαλύτερες διακυμάνσεις παρατηρούνται στη μεγάλη και στη μικρή κοιλότητα με τιμές περίπου 40%. Στις περιπτώσεις της μεσαίας και της μεγάλης κοιλότητας με τη μεγάλη αντίσταση η διακύμανση της θερμοκρασίας παίρνει μεγαλύτερες τιμές 20% και 25% αντίστοιχα, γύρω από την πηγή.

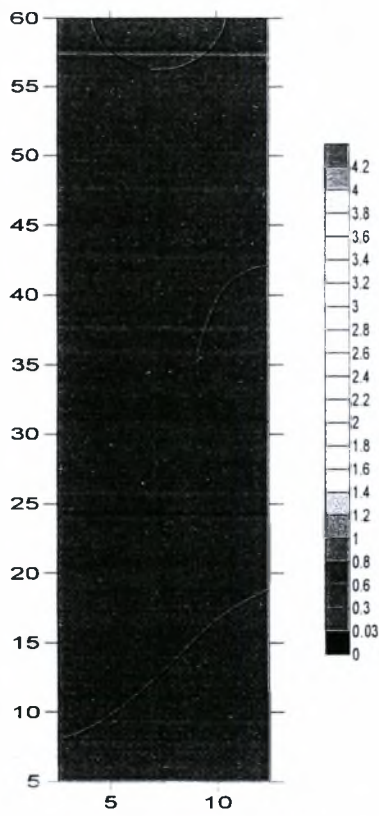
5.2.3 Ισοϋψείς με την αντίσταση στο ύψος της κοιλότητας



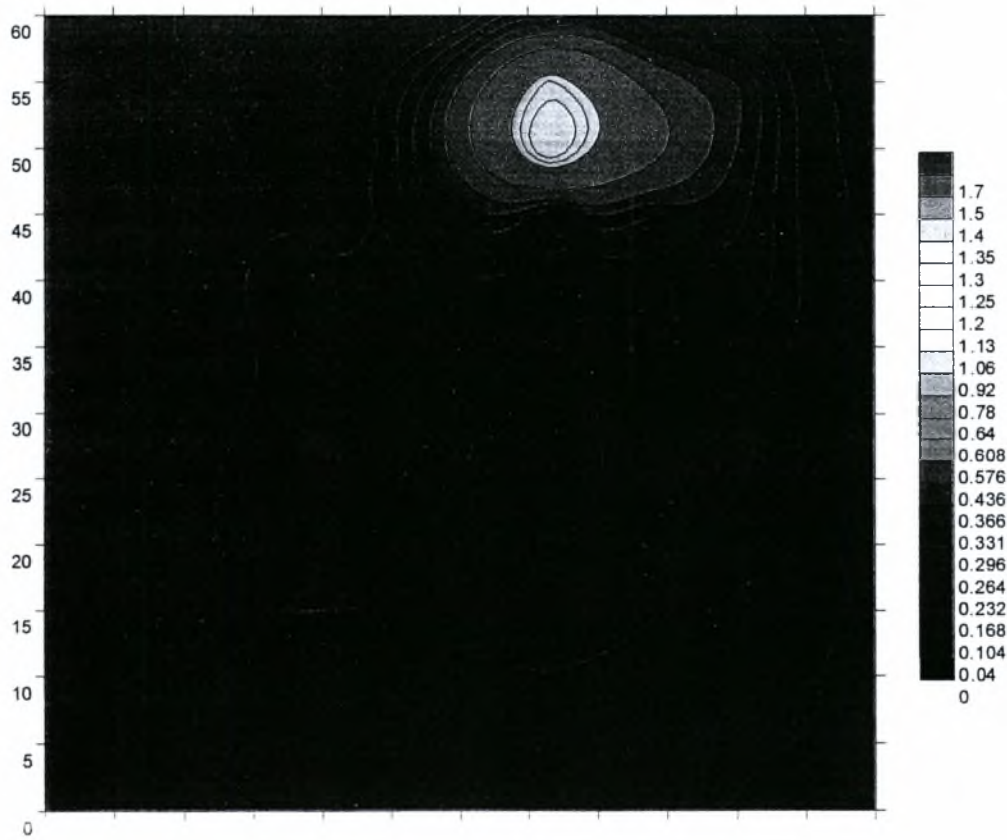
Σχήμα 5.45: Ισοϋψείς αδιάστατης T για τη μεγάλη κοιλότητα



Σχήμα 5.46: Ισοϋψείς αδιάστατης T για τη μεσαία κοιλότητα

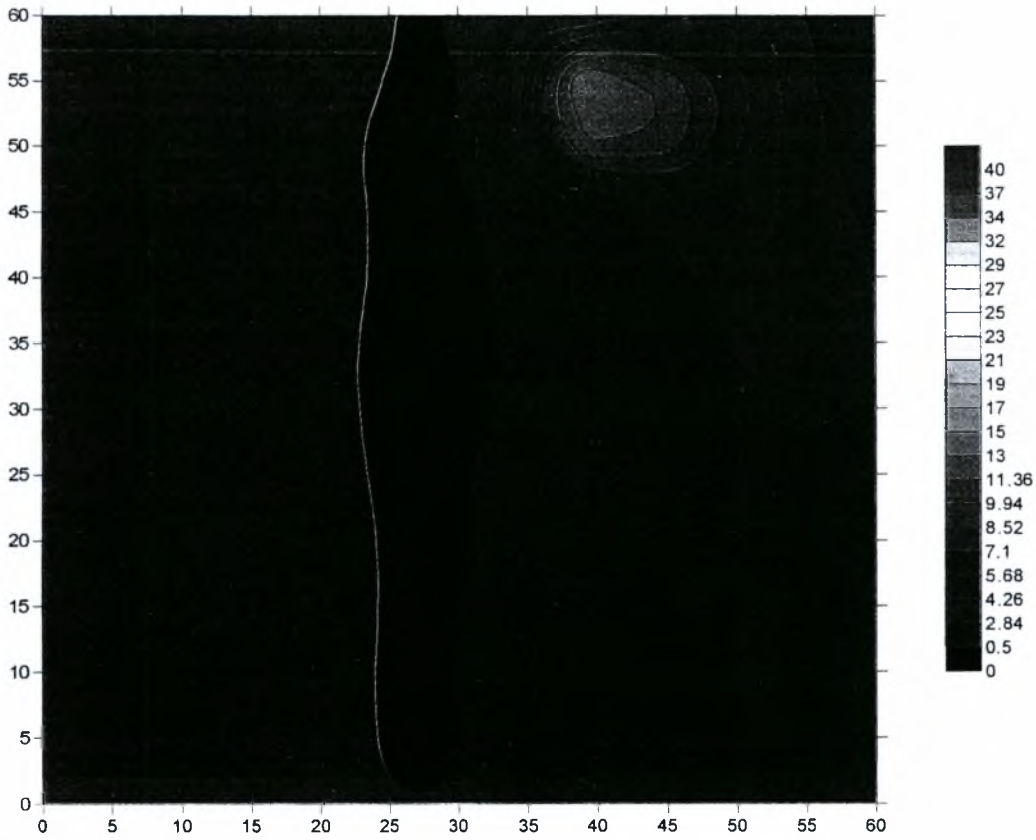


Σχήμα 5.47: Ισοϋψείς αδιάστατης T για τη μικρή κοιλότητα

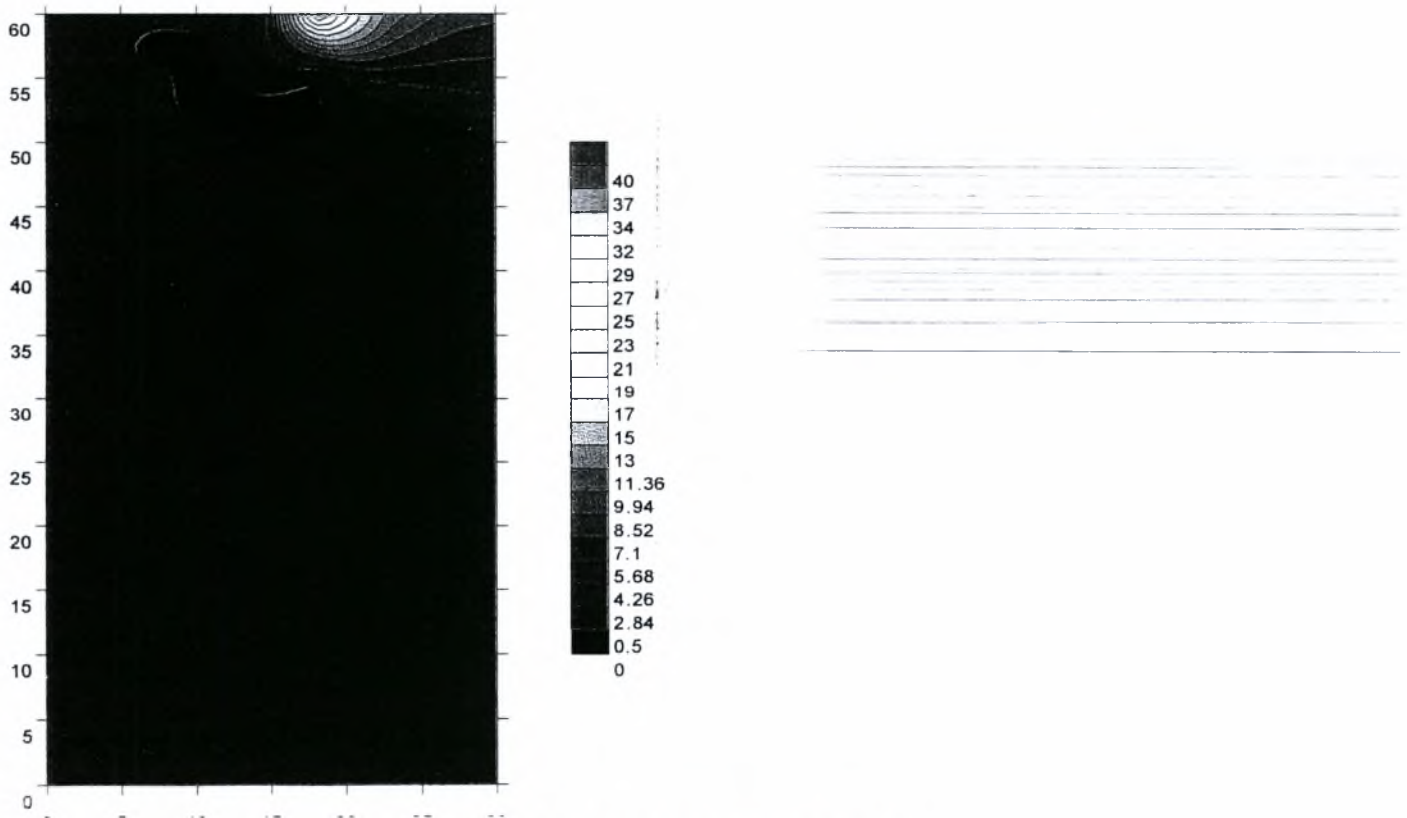


Σχήμα 5.48: Ισοϋψείς αδιάστατης T για τη μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση

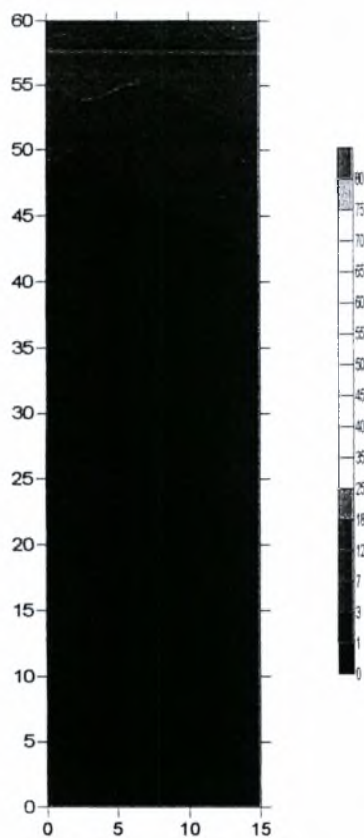
Από τα contours των ισοϋψών της θερμοκρασίας φαίνεται πως όταν η αντίσταση είναι τοποθετημένη στο ύψος της κοιλότητας η θερμοκρασία παίρνει τις μεγαλύτερες τιμές στη μεσαία κοιλότητα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο ύψος της κοιλότητας διαμορφώνεται μια δεύτερη κύρια δίνη με αποτέλεσμα η ταχύτητα του αέρα γύρω από την πηγή να είναι πολύ μικρή. Έτσι δεν υπάρχει καλή μεταφορά θερμότητας και η θερμοκρασία γύρω από την πηγή είναι αυξημένη. Στη μεγάλη και στη μικρή κοιλότητα ο αέρας περνάει πάνω από την πηγή με αποτέλεσμα τη γρήγορη ψύξη της. Στη μεγάλη κοιλότητα παρατηρούνται μεγαλύτερες θερμοκρασίες δεξιά από την πηγή και όχι από πάνω.



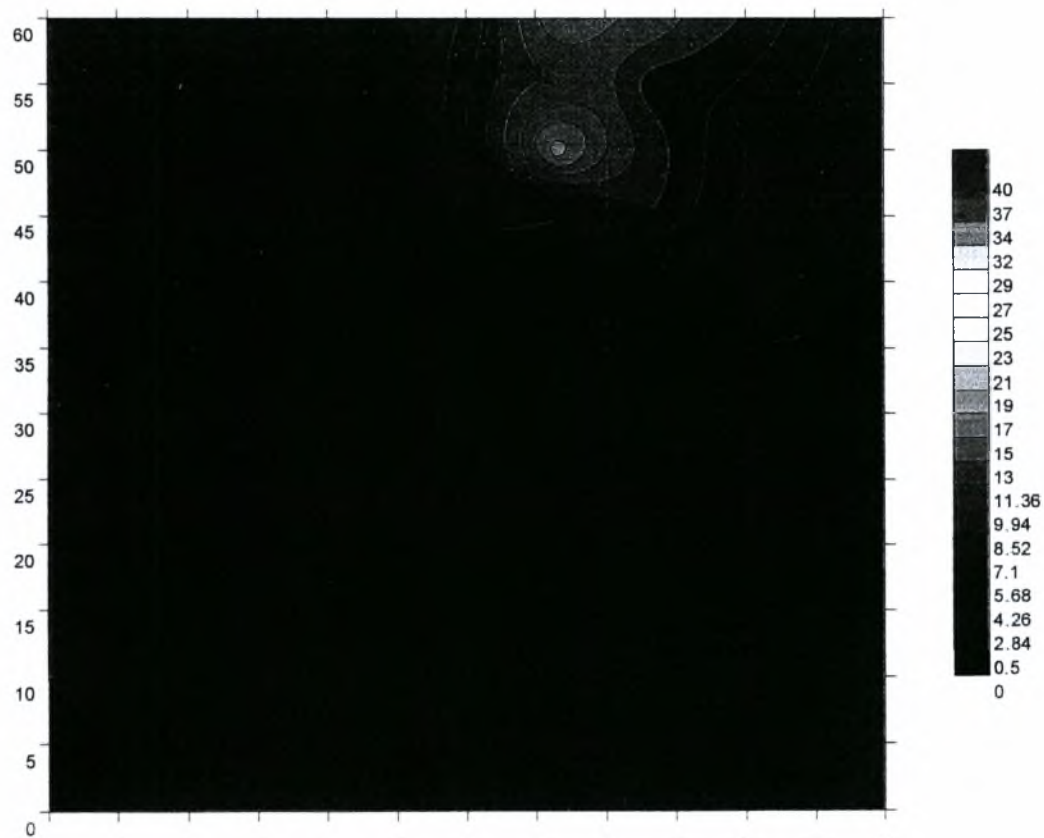
Σχήμα 5.49: Ισοϋψείς αδιάστατου T_{rms} για τη μεγάλη κοιλότητα



Σχήμα 5.50: Ισοϋψείς αδιάστατου T_{rms} για τη μεσαία κοιλότητα



Σχήμα 5.51: Ισοϋψείς αδιάστατου T_{rms} για τη μικρή κοιλότητα



Σχήμα 5.52: Ισοϋψείς αδιάστατου T_{rms} για τη μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση

Από τα contours των ισοϋψών της διακύμανσης της θερμοκρασίας φαίνεται πως μεγαλύτερες διαταραχές παρατηρούνται στη μεσαία κοιλότητα και στη μεγάλη με τη μεγάλη αντίσταση με τιμές περίπου 20%. Στις άλλες δύο περιπτώσεις (μεγάλη και μικρή κοιλότητα) η διακύμανση δεν ξεπερνάει το 10%.

5.2.4 Συμπεράσματα

Από τις ισοϋψείς προέκυψε ότι τόσο η θερμοκρασία όσο και η διακύμανση της επηρεάζονται από τη θέση της αντίστασης και τη γεωμετρία της κοιλότητας. Όταν η αντίσταση είναι τοποθετημένη στο βάθος της κοιλότητας οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στη μικρή κοιλότητα, όταν είναι στο κέντρο εμφανίζονται στη μικρή και στη μεγάλη και όταν είναι στο ύψος της κοιλότητας οι μεγαλύτερες θερμοκρασίες εμφανίζονται στη μεσαία κοιλότητα. Σε ότι αφορά τη γεωμετρία της κοιλότητας, η θερμοκρασία παίρνει τις μεγαλύτερες τιμές στη μικρή κοιλότητα. Επειδή οι τιμές ήταν πολύ μεγαλύτερες από ότι στις άλλες περιπτώσεις χρησιμοποιήθηκε διαφορετική κλίμακα. Επίσης σε μερικές περιπτώσεις φαινόταν η φορά της ροής να είναι όμοια με αυτή των δεικτών του ρολογιού. Στη μικρή και τη μεσαία κοιλότητα, όταν η αντίσταση είναι στο κάτω μέρος, φαίνεται πως τα διαγράμματα μοιάζουν με την περίπτωση κατά την οποία δεν υπάρχει ροή. Έτσι λόγω της θέρμανσης του ρευστού ασκούνται σε αυτό μόνο ανυψωτικές δυνάμεις, κάτι το οποίο φαίνεται στις ισοϋψείς.

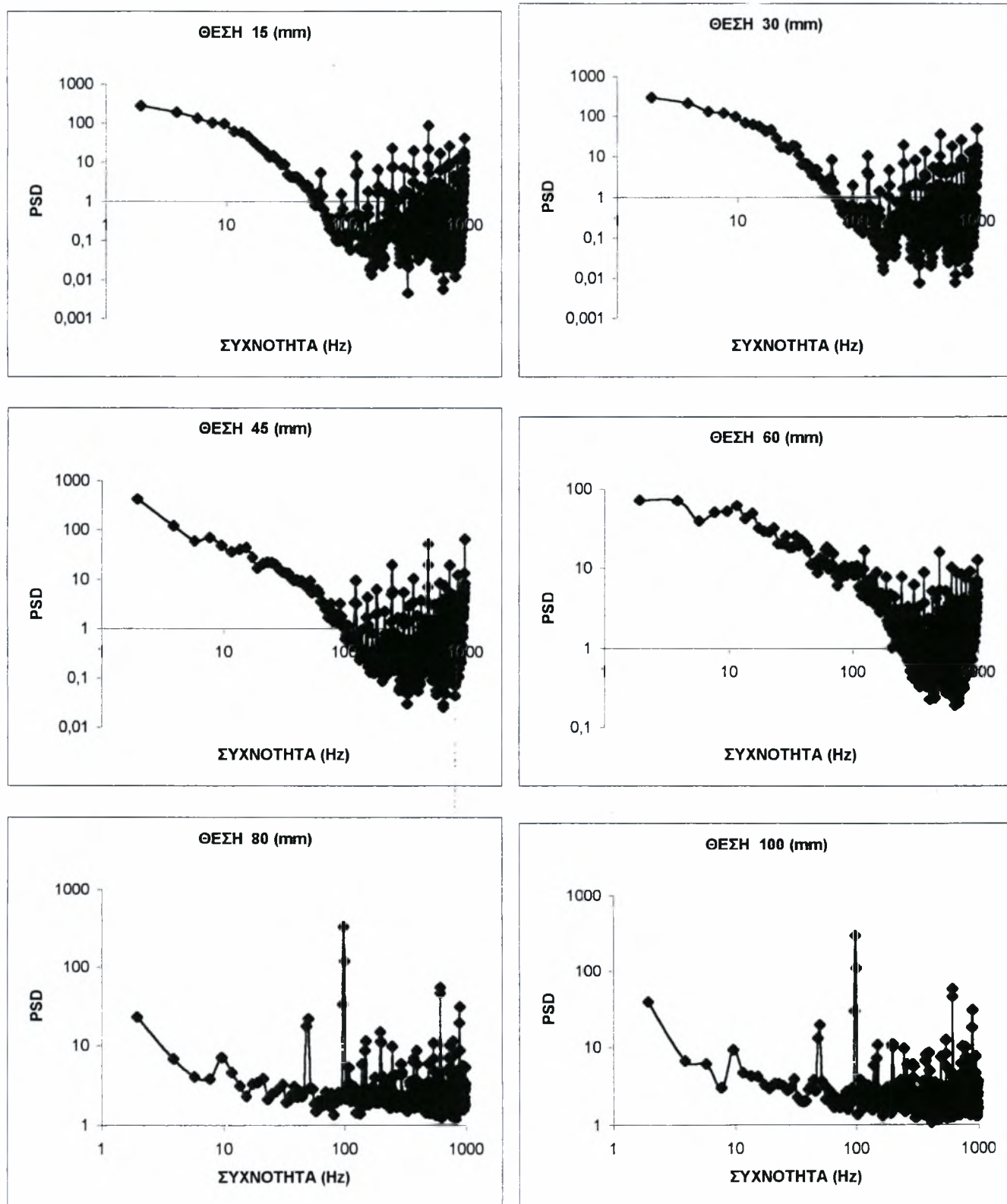
5.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΦΑΣΜΑΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ(SPECTRA)

Εδώ παρουσιάζονται και αναλύονται τα φάσματα θερμοκρασιών που προέκυψαν από μετρήσεις που έγιναν μέσα στις κοιλότητες. Τα spectra που ακολουθούν κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη θέση της αντίστασης και τη γεωμετρία της κοιλότητας. Και σε αυτή την περίπτωση όπως και στις κατανομές της θερμοκρασίας και της διακύμανσης τα spectra αντιστοιχούν στις θέσεις ΧΜ, ΧΑ, ΧΒ.

5.3.1 Αποτελέσματα με την αντίσταση στο κάτω μέρος της κοιλότητας

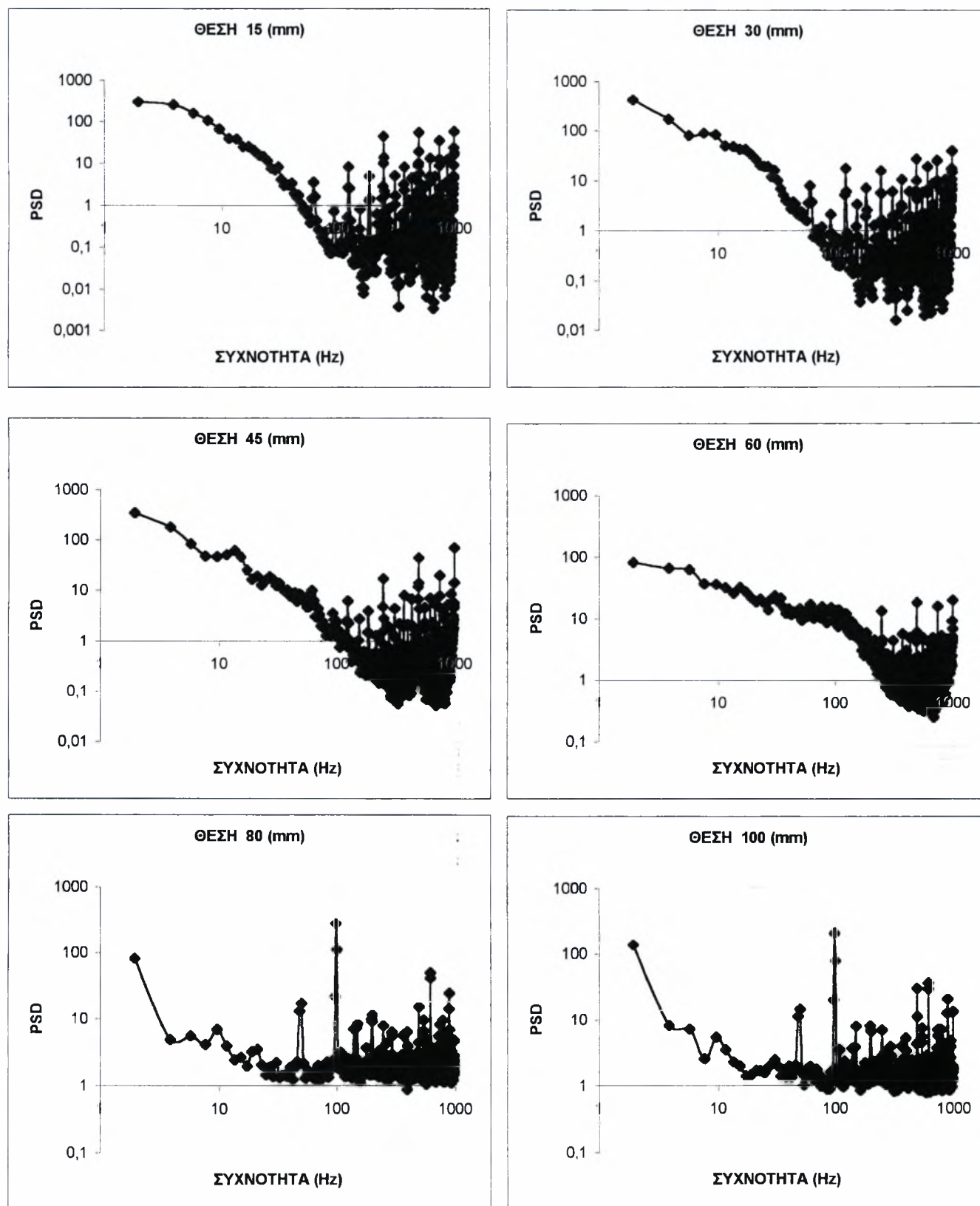
5.3.1.1 Θέση ΧΜ

Α) Μεσαία κοιλότητα



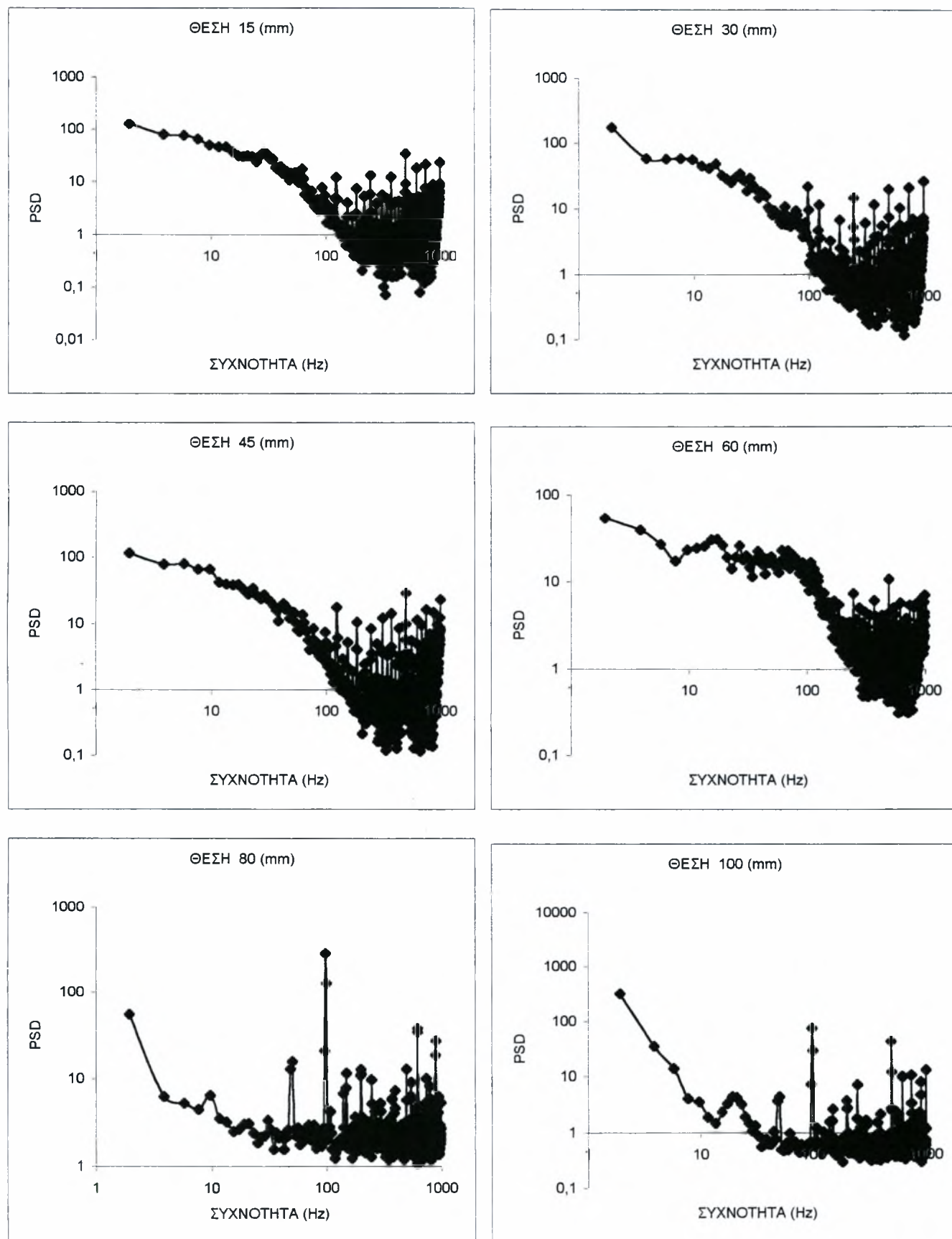
Σχήμα 5.53: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μεσαία κοιλότητα

Β) Μικρή κοιλότητα



Σχήμα 5.54: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μικρή κοιλότητα

Γ) Μεγάλη κοιλότητα με μεγάλη αντίσταση



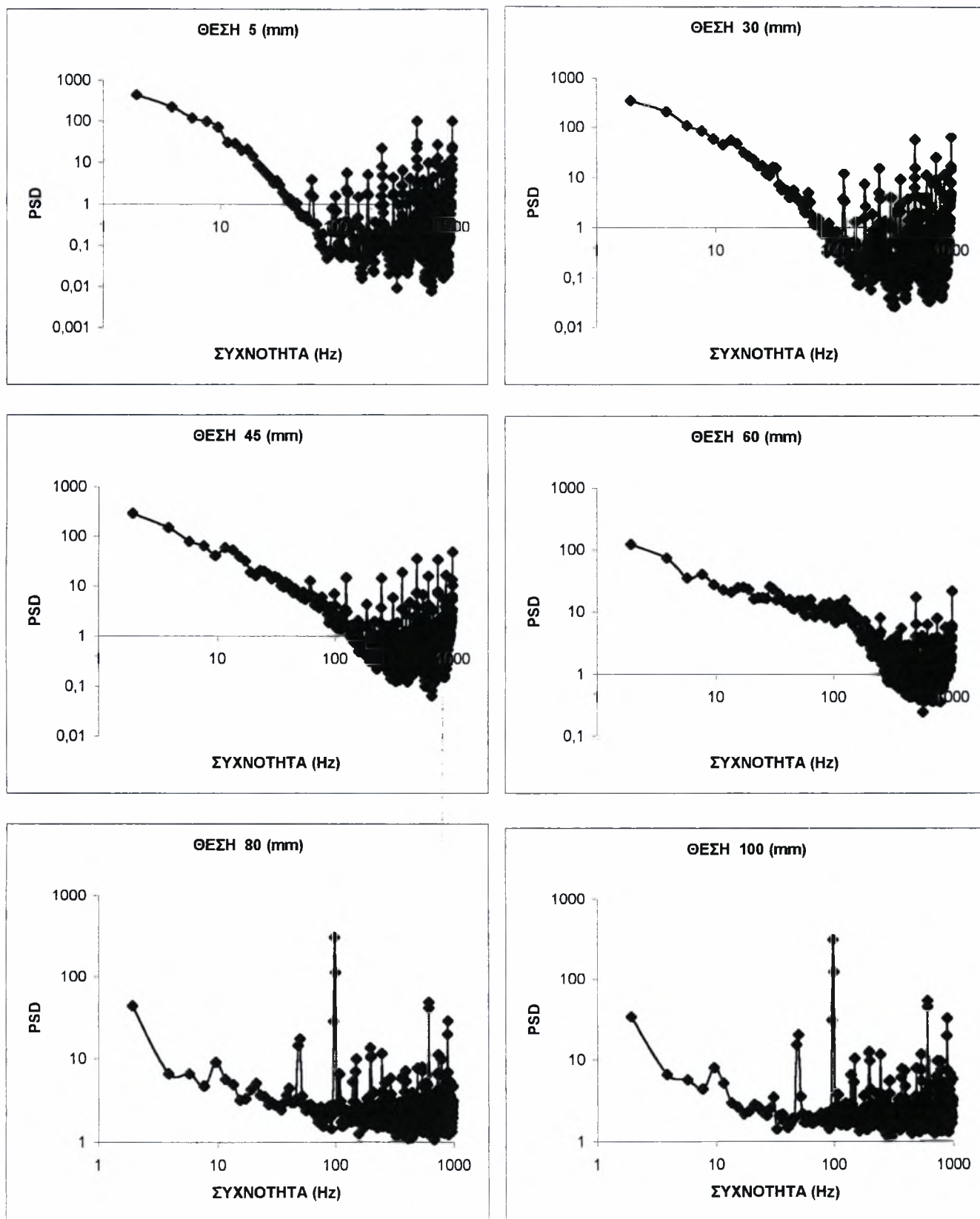
Σχήμα 5.55: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση

Για τη θέση XM στην περίπτωση της μεσαίας κοιλότητας δύο συχνότητες είναι πιθανόν να αποτελούν τις συχνότητες των δινών. Αυτές είναι οι 11.71 και 9.76Hz. Επίσης στα spectra έξω από την κοιλότητα παρατηρείται μια συχνότητα (50.78Hz) η οποία οφείλεται στη ταλάντωση του μετρητικού οργάνου.

Όταν υπάρχει η μικρή κοιλότητα μία πιθανή συχνότητα είναι η 13.67Hz, ενώ η ίδια ακριβώς παρατηρείται και στην περίπτωση της μεγάλης κοιλότητας με τη μεγάλη αντίσταση. Ωστόσο όλα τα διαγράμματα spectra μέσα στην κοιλότητα είναι αδύνατα λόγω της υψηλής τύρβης. Η τύρβη μπορεί να παρατηρηθεί από την κλίση της γραμμής όπου μέσα στη κοιλότητα είναι περίπου $-5/3$ και όπως προκύπτει από τη βιβλιογραφία αντιστοιχεί σε τυρβώδη ροή. Επίσης φαίνεται πως καθώς μειώνεται το πλάτος της κοιλότητας τα spectra γίνονται πιο απότομα.

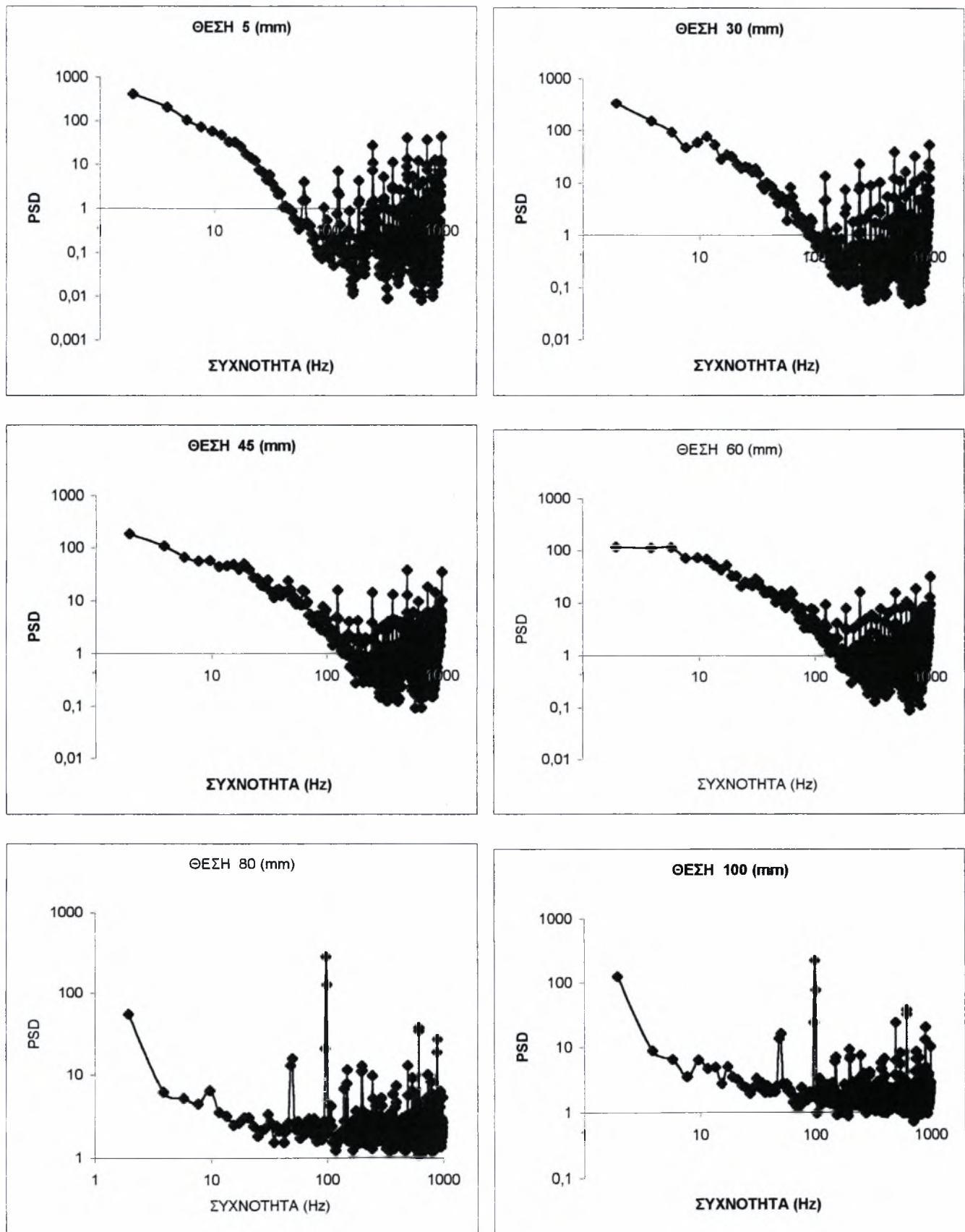
5.3.1.2 Θέση ΧΑ

Α) Μεσαία κοιλότητα



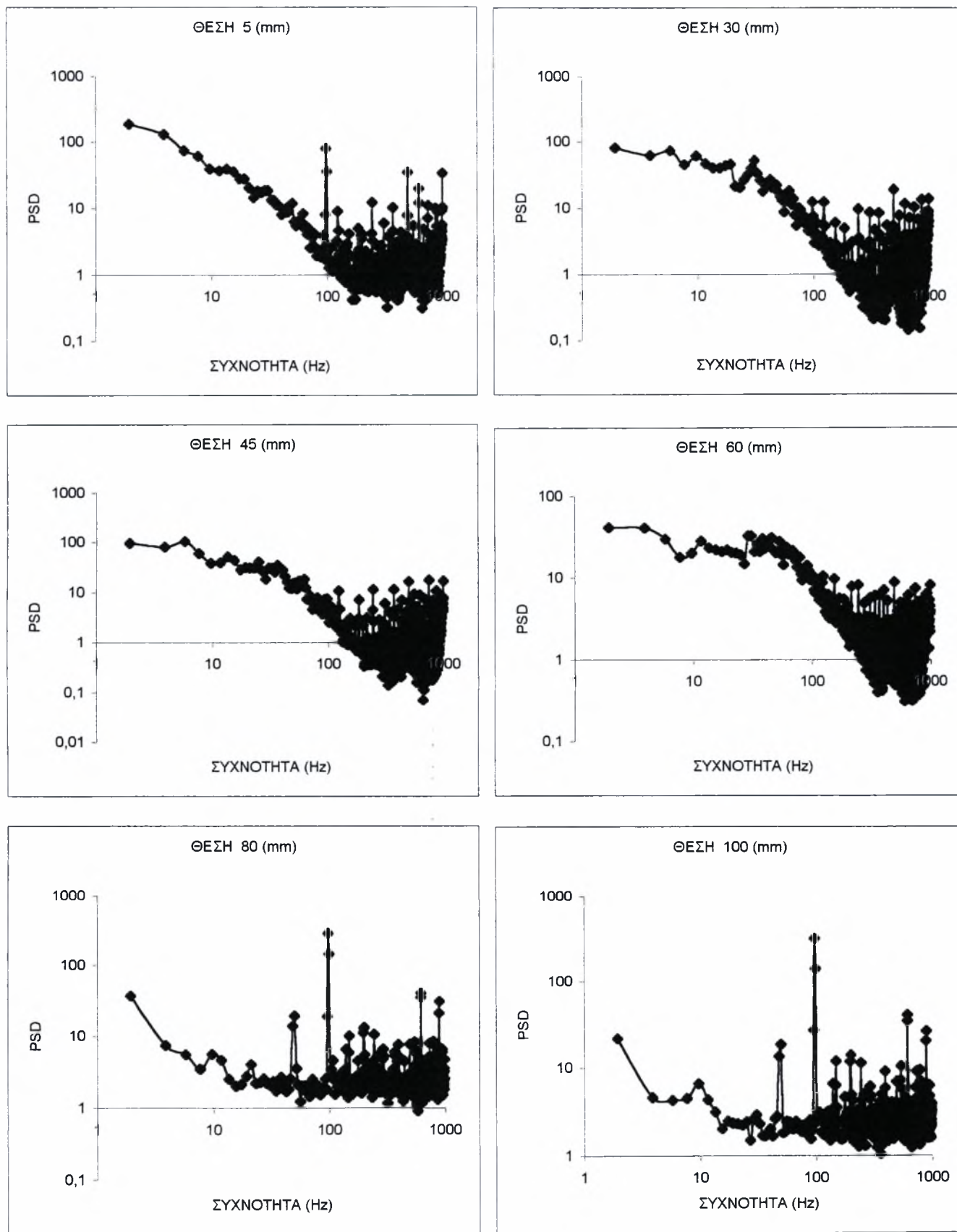
Σχήμα 5.56: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μεσαία κοιλότητα

Β) Μικρή κοιλότητα



Σχήμα 5.57: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μικρή κοιλότητα

B) Μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση

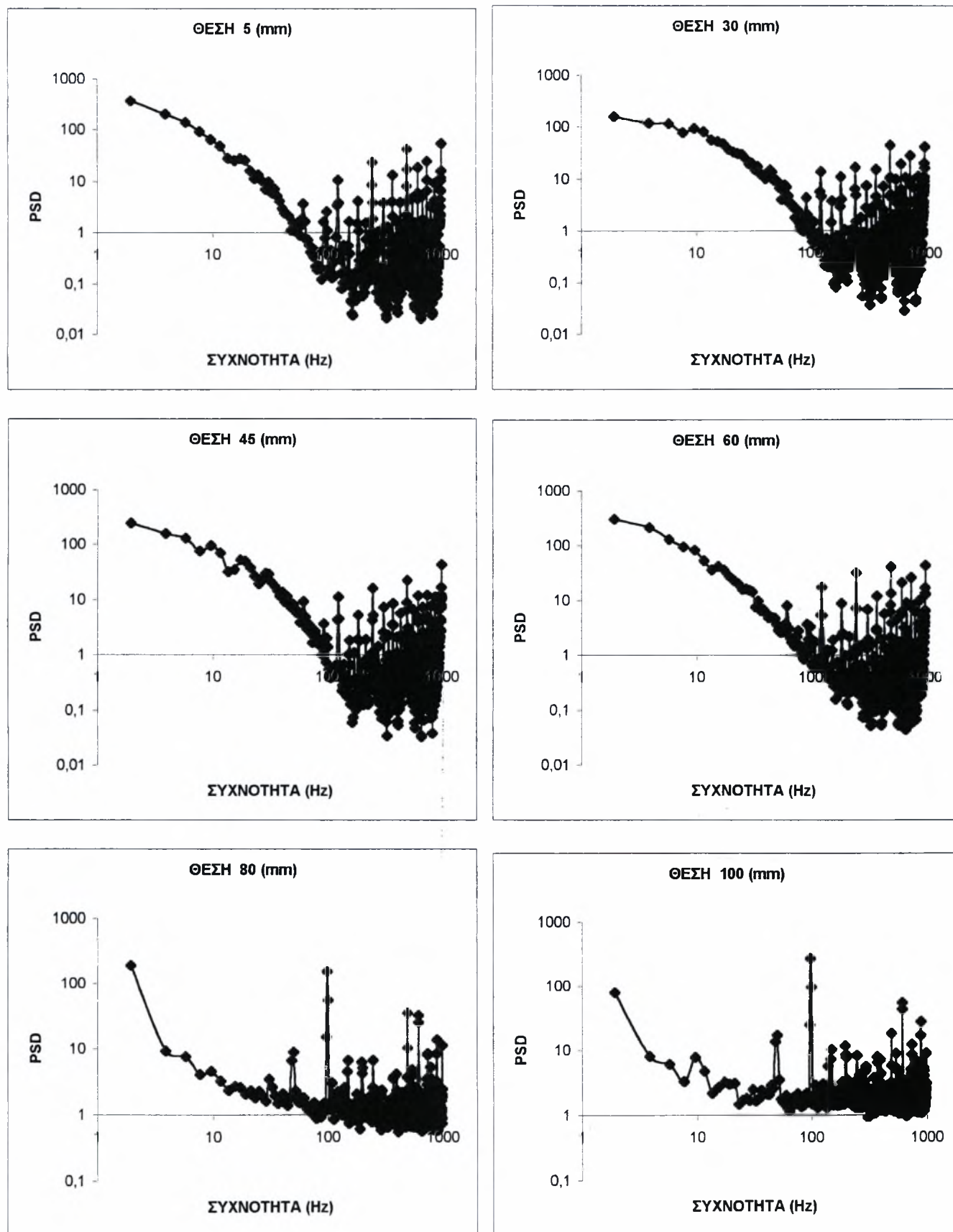


Σχήμα 5.58: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση

Για τη θέση ΧΑ από τα παραπάνω διαγράμματα spectra φαίνεται οι συχνότητες των δινών δεν είναι ευδιάκριτες λόγω της τύρβης. Στην περίπτωση της μεσαίας κοιλότητας παρατηρείται μία συχνότητα 13.67Hz η οποία είναι πιθανό να αποτελεί τη κύρια συχνότητα των δινών. Όταν υπάρχει η μικρή κοιλότητα η συχνότητα των δινών είναι 11.71Hz, ενώ η ίδια τιμή παρατηρείται και στην περίπτωση της μεγάλης κοιλότητας με τη μεγάλη αντίσταση. Επίσης σε όλες τις περιπτώσεις σε θέσεις έξω από την κοιλότητα παρατηρείται μία συχνότητα στα 9.76Hz καθώς και στα 50.78Hz η οποία αποτελεί μια ταλάντωση. Στα σημεία μέσα στην κοιλότητα η κλίση του γραφήματος είναι περίπου $-5/3$ και συνεπώς η ροή μοιάζει να είναι αρκετά τυρβώδης. Επίσης φαίνεται πως καθώς μειώνεται το πλάτος της κοιλότητας τα spectra γίνονται πιο απότομα.

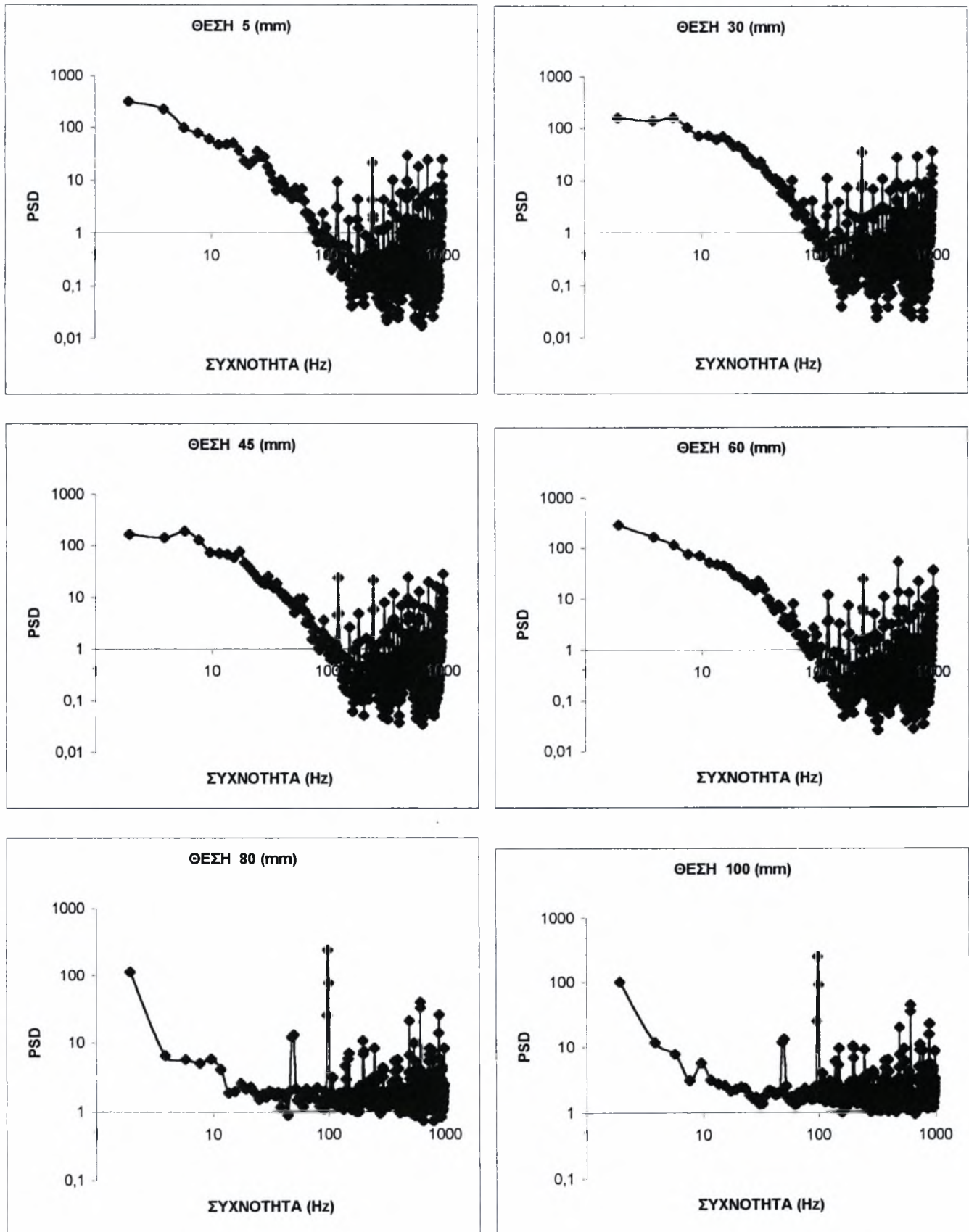
5.3.1.3 Θέση XB

A) Μεσαία κοιλότητα



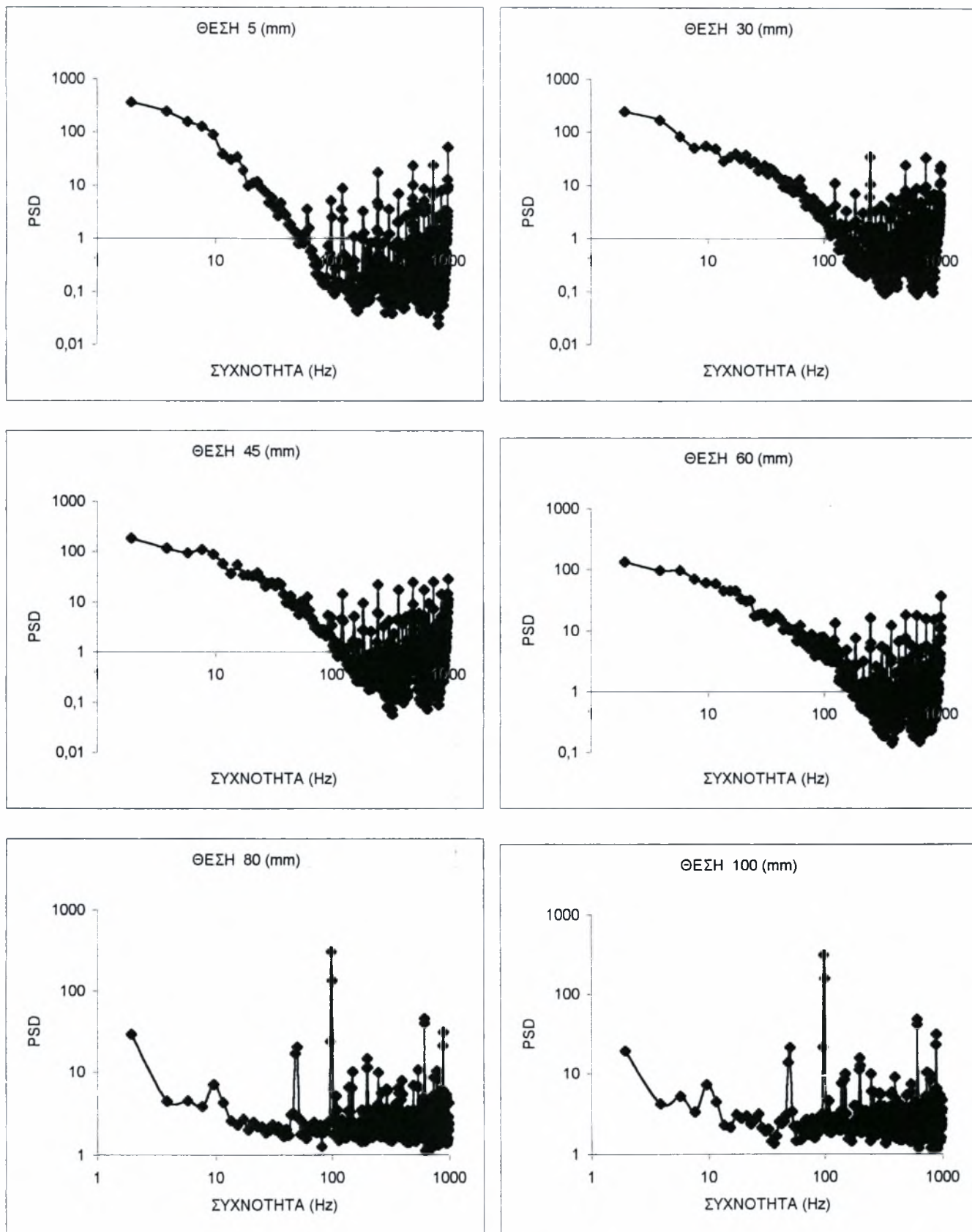
Σχήμα 5.59: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μεσαία κοιλότητα

Β) Μικρή κοιλότητα



Σχήμα 5.60: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μικρή κοιλότητα

Δ) Μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση



Σχήμα 5.61: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση

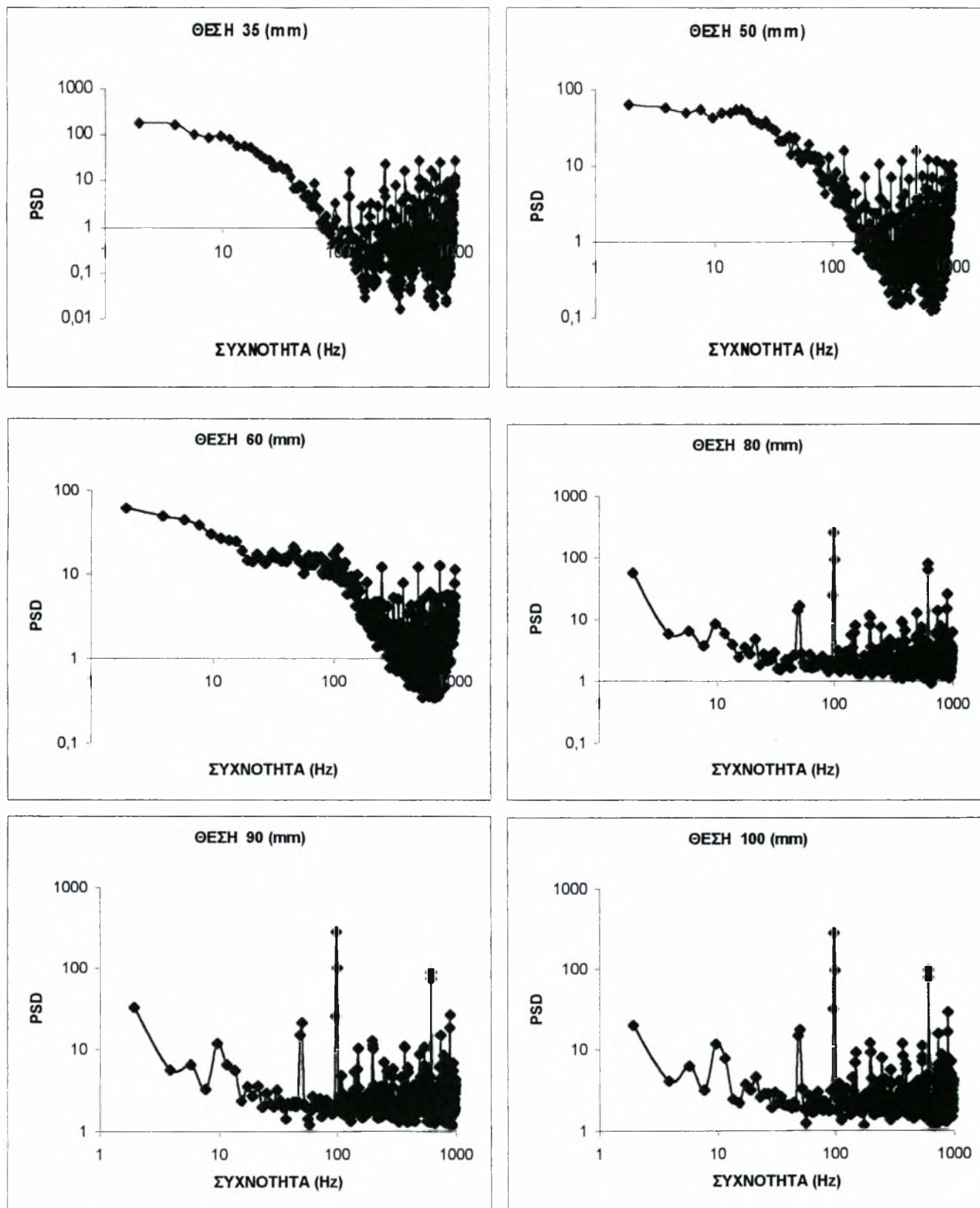
Για τη θέση XB στην περίπτωση της μεσαίας κοιλότητας δύο συχνότητες ξεχωρίζουν από τα spectra και αυτές είναι 9.76 και 17.57Hz. Στην μικρή κοιλότητα οι πιθανές κύριες συχνότητες των δινών είναι 11.71 και 17.57Hz, ενώ στη μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση είναι 11.71Hz. Και σε αυτή τη θέση όλα τα spectra μέσα στη κοιλότητα είναι αδύνατα αφού δεν ξεχωρίζει έντονα κάποια συχνότητα.

Μέσα στην κοιλότητα τα spectra έχουν κλίση περίπου $-5/3$, το οποίο δείχνει ότι η ροή είναι αρκετά τυρβώδης, ενώ έξω από την κοιλότητα οι συχνότητες είναι πιο έντονες λόγω μειωμένης τύρβης. Επίσης φαίνεται πως καθώς μειώνεται το πλάτος της κοιλότητας τα spectra γίνονται πιο απότομα.

5.3.2 Αποτελέσματα με την αντίσταση στο κέντρο της κοιλότητας

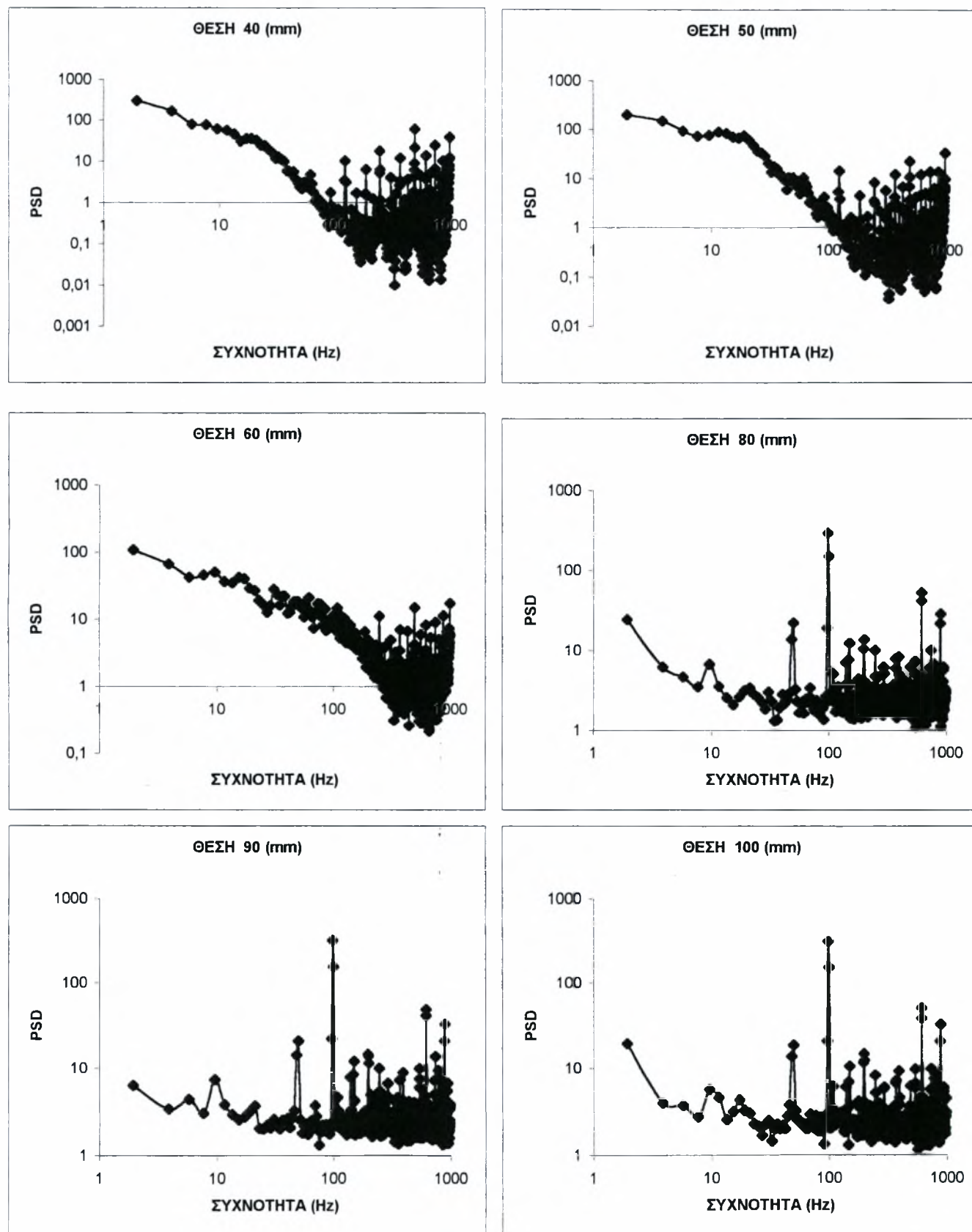
5.3.2.1 Θέση ΧΜ

Α) Μεγάλη κοιλότητα



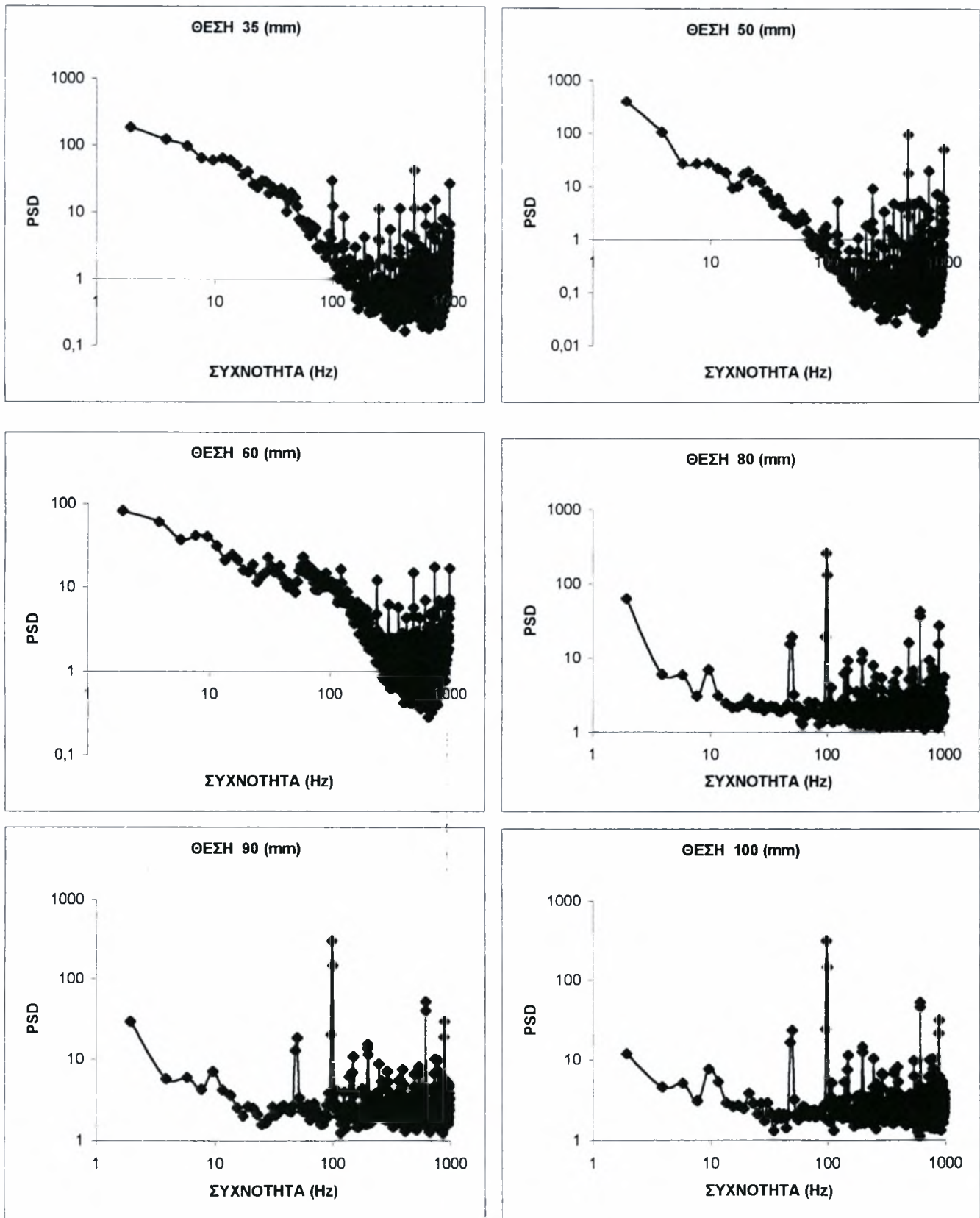
Σχήμα 5.62: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μεγάλη κοιλότητα

Β) Μεσαία κοιλότητα



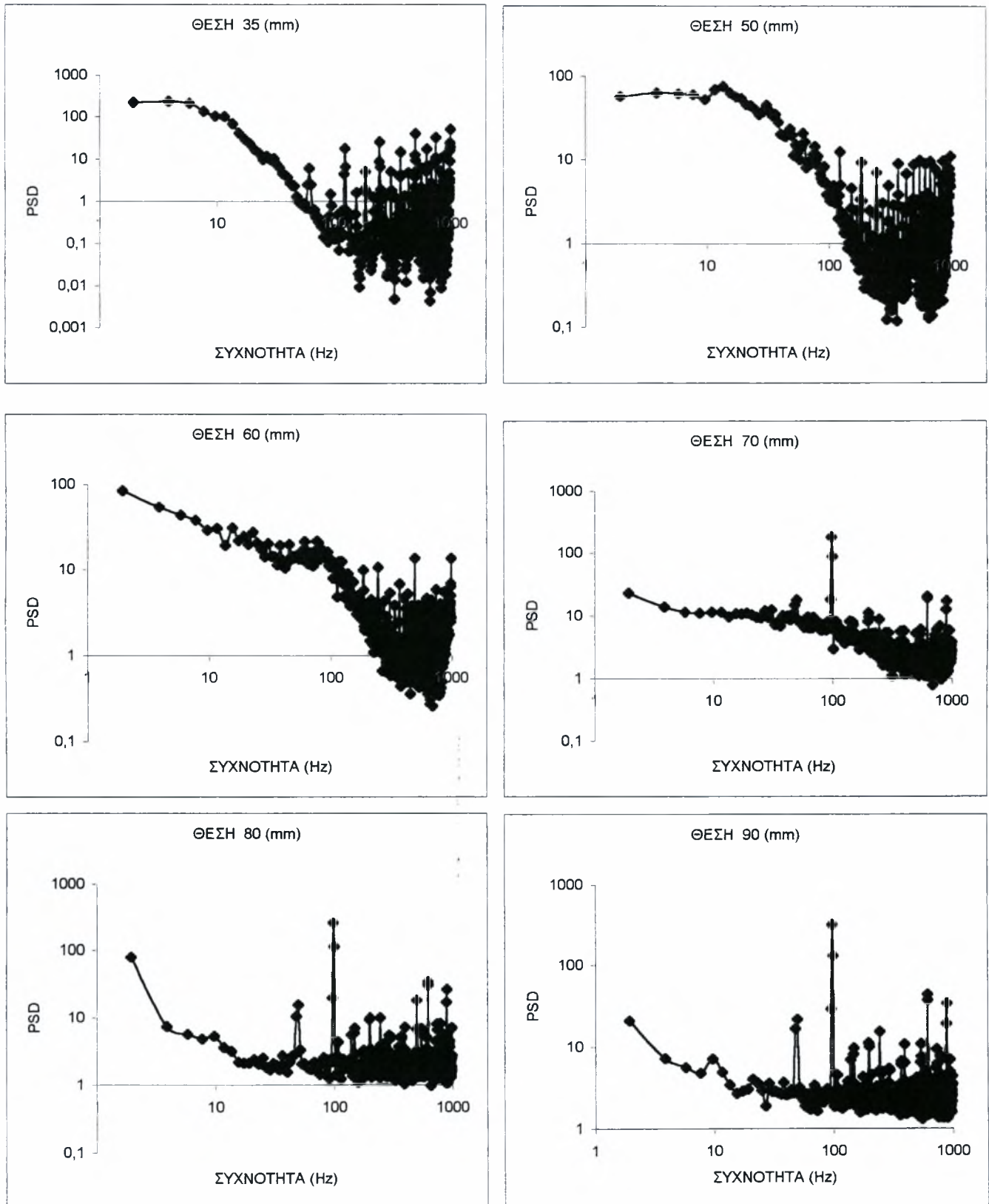
Σχήμα 5.63: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μεσαία κοιλότητα

Γ) Μικρή κοιλότητα



Σχήμα 5.64: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μικρή κοιλότητα

Δ) Μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση

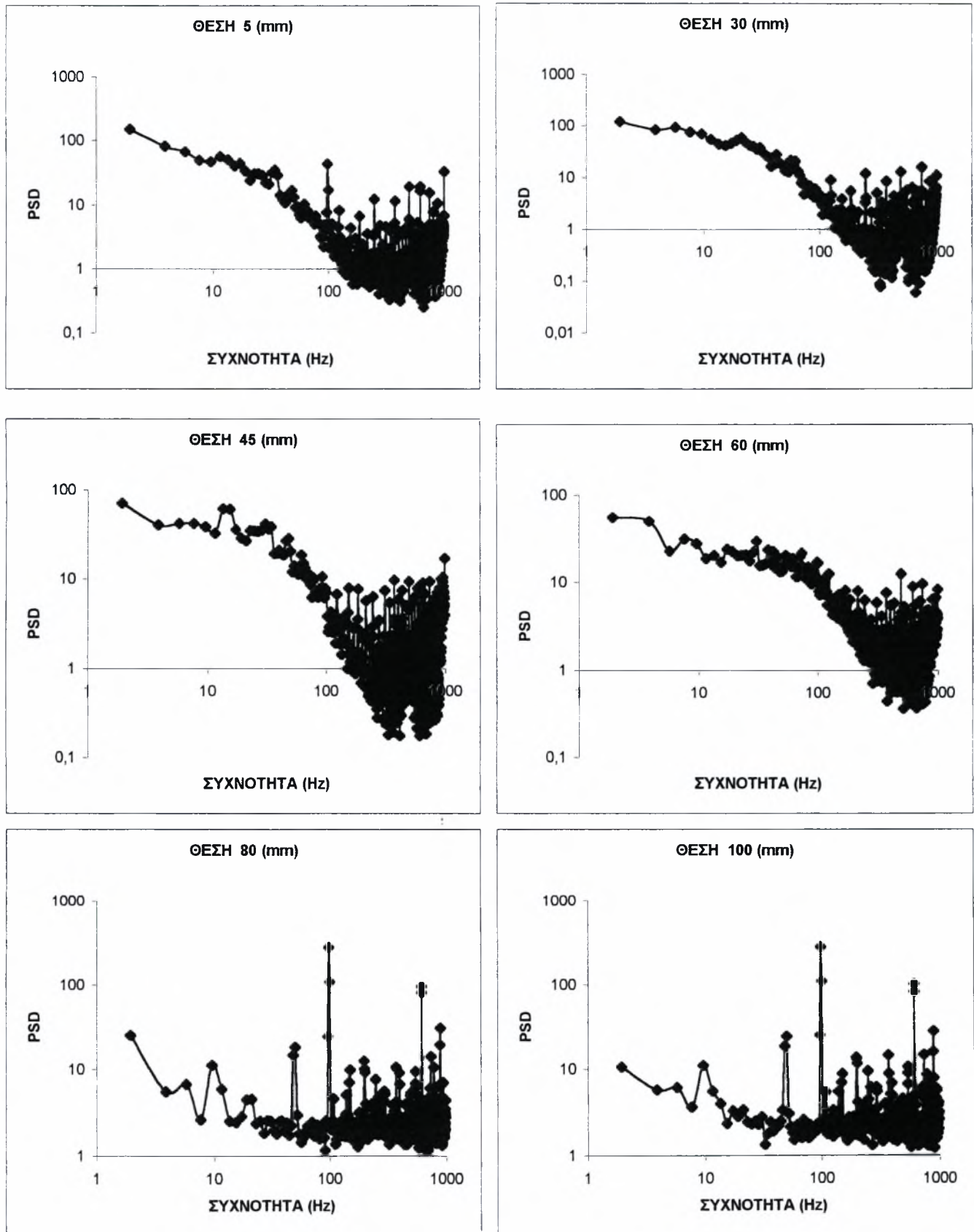


Σχήμα 5.65: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση

Στη θέση ΧΜ όταν υπάρχει η μεγάλη κοιλότητα η συχνότητα των δινών είναι 11.71Hz, ενώ στην περίπτωση της μεσαίας και της μικρής είναι 9.76Hz. Όταν υπάρχει η μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση η κύρια συχνότητα των δινών είναι 13.67Hz. Έξω από την κοιλότητα σε όλες τις κοιλότητες παρατηρείται η συχνότητα 50.78Hz λόγω της ταλάντωσης του μετρητικού οργάνου. Επίσης, στα σημεία μέσα στην κοιλότητα η κλίση του γραφήματος είναι περίπου $-5/3$ και συνεπώς η ροή μοιάζει να είναι αρκετά τυρβώδης, κάτι το οποίο δεν συμβαίνει έξω από την κοιλότητα όπου η τύρβη είναι αρκετά μειωμένη και οι συχνότητες είναι πιο ευδιάκριτες. Επίσης φαίνεται πως καθώς μειώνεται το πλάτος της κοιλότητας τα spectra γίνονται πιο απότομα.

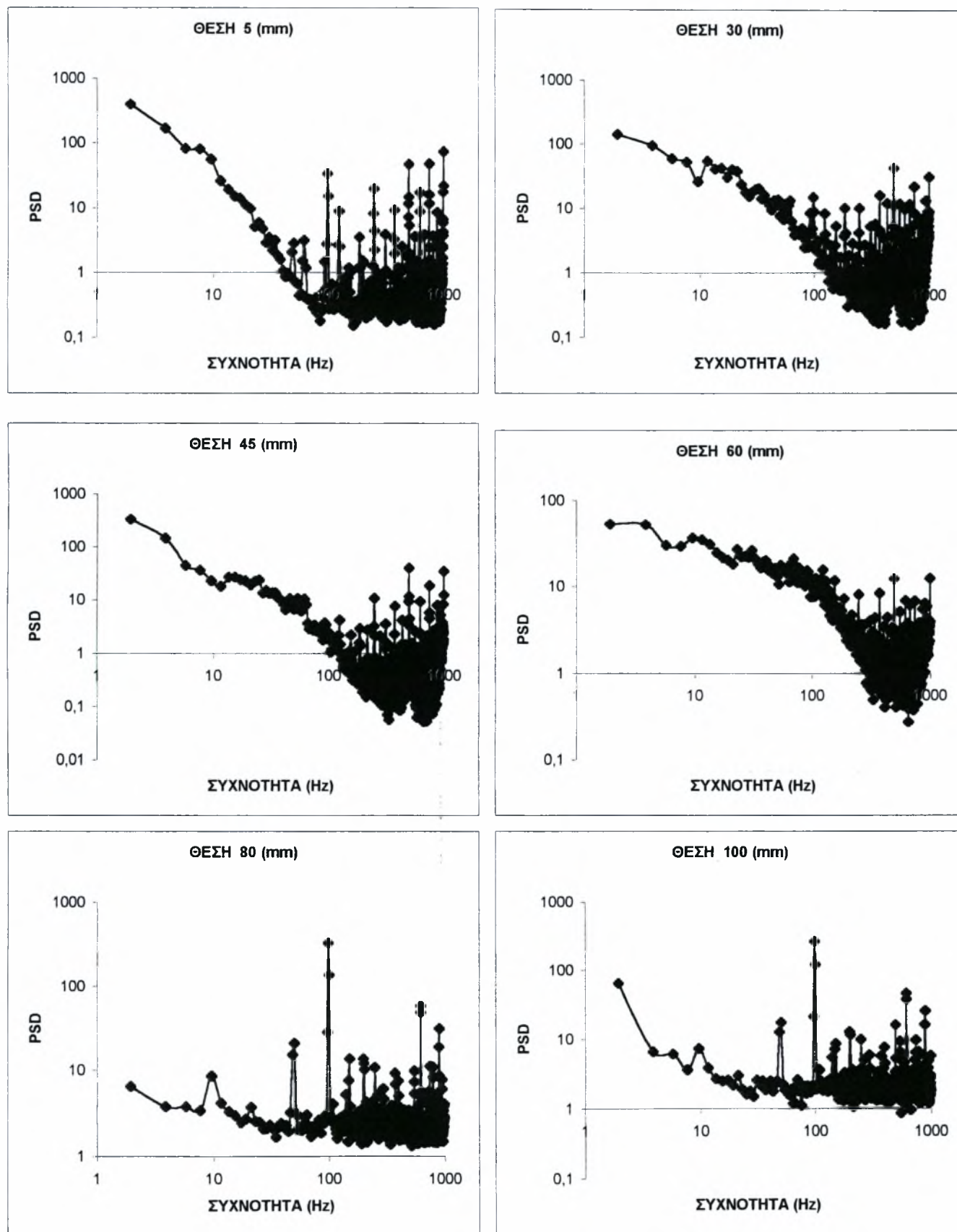
5.3.2.2 Θέση ΧΑ

Α) Μεγάλη κοιλότητα



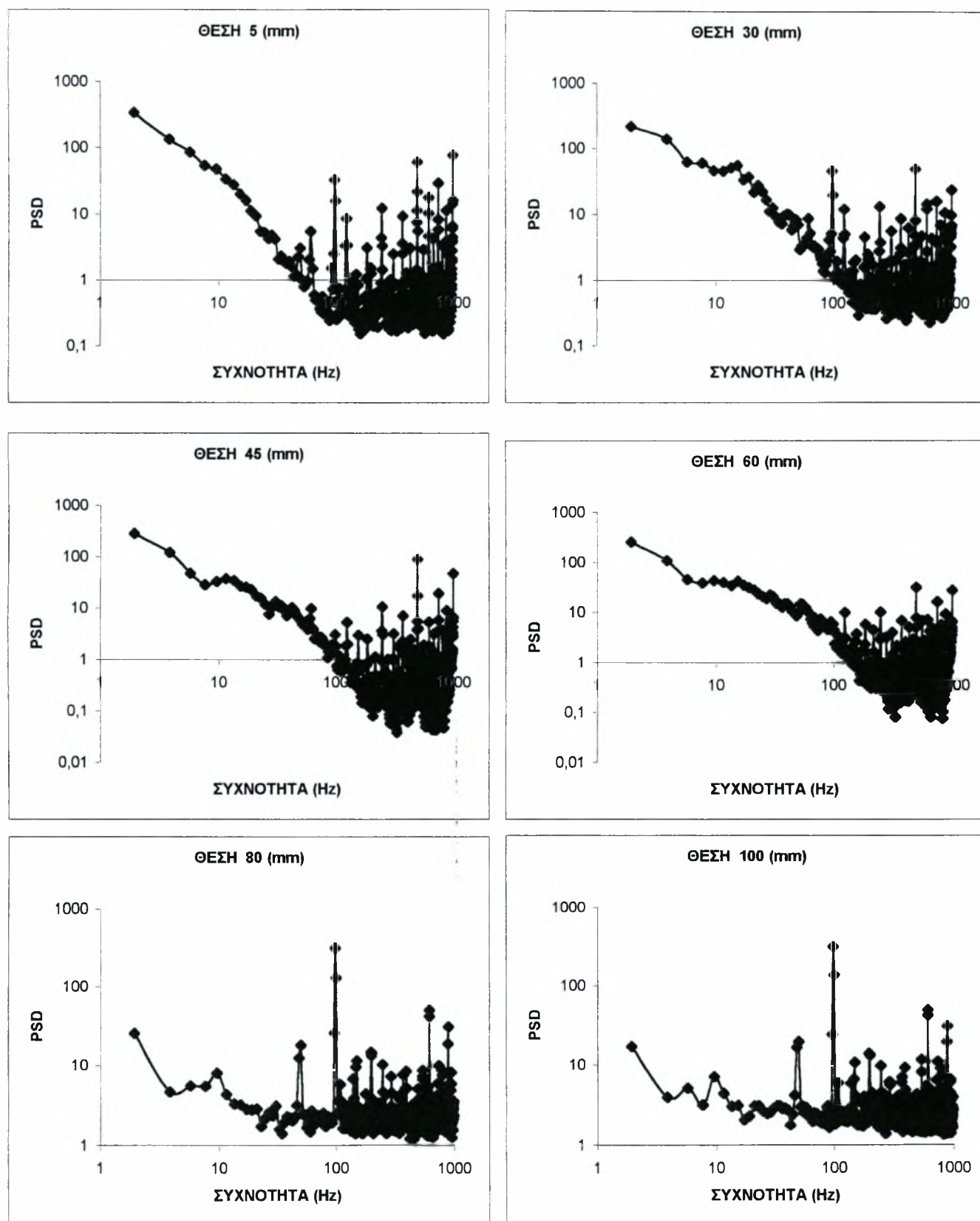
Σχήμα 5.66: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μεγάλη κοιλότητα

Β) Μεσαία κοιλότητα



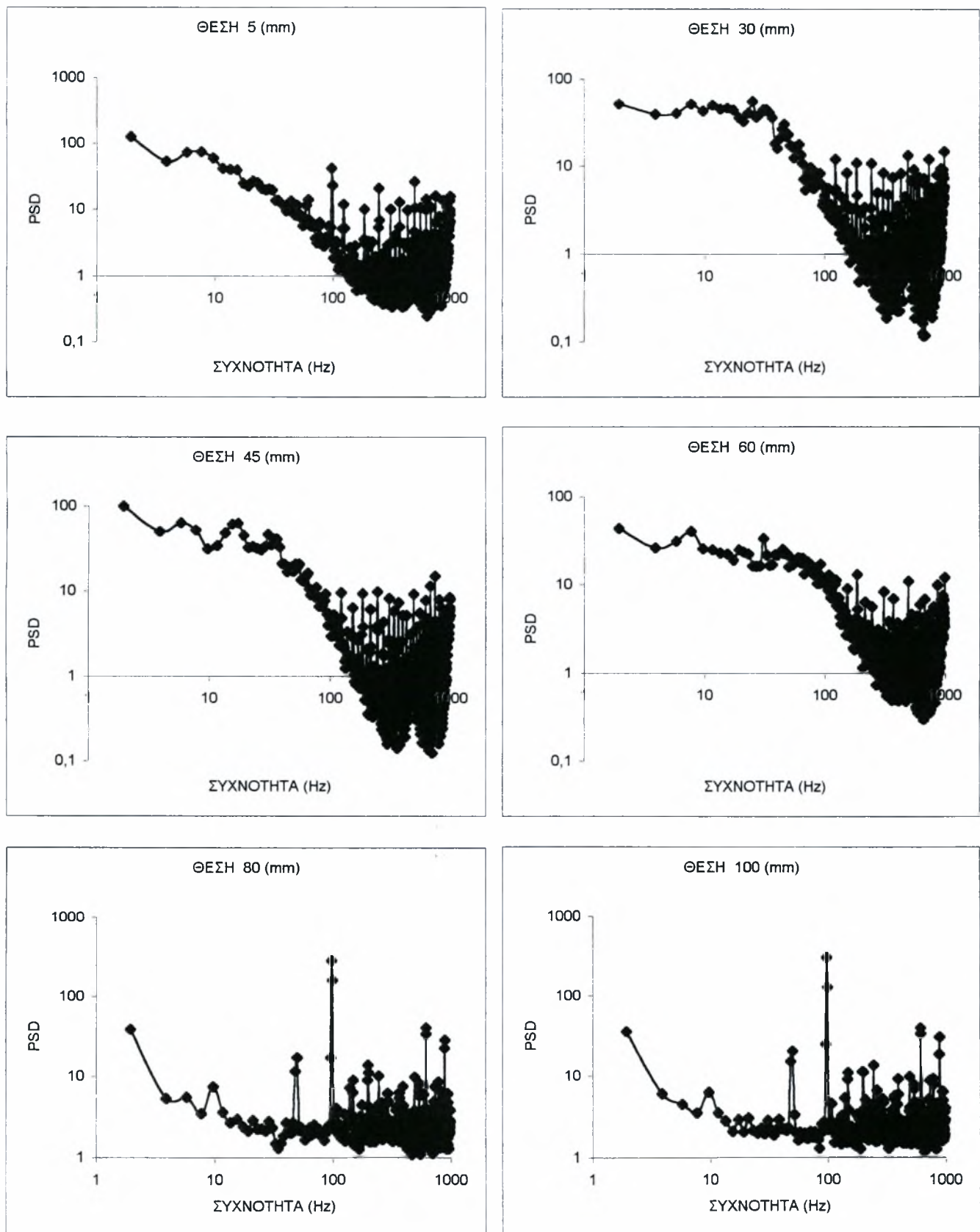
Σχήμα 5.67: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μεσαία κοιλότητα

Γ) Μικρή κοιλότητα



Σχήμα 5.68: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μικρή κοιλότητα

Δ) Μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση

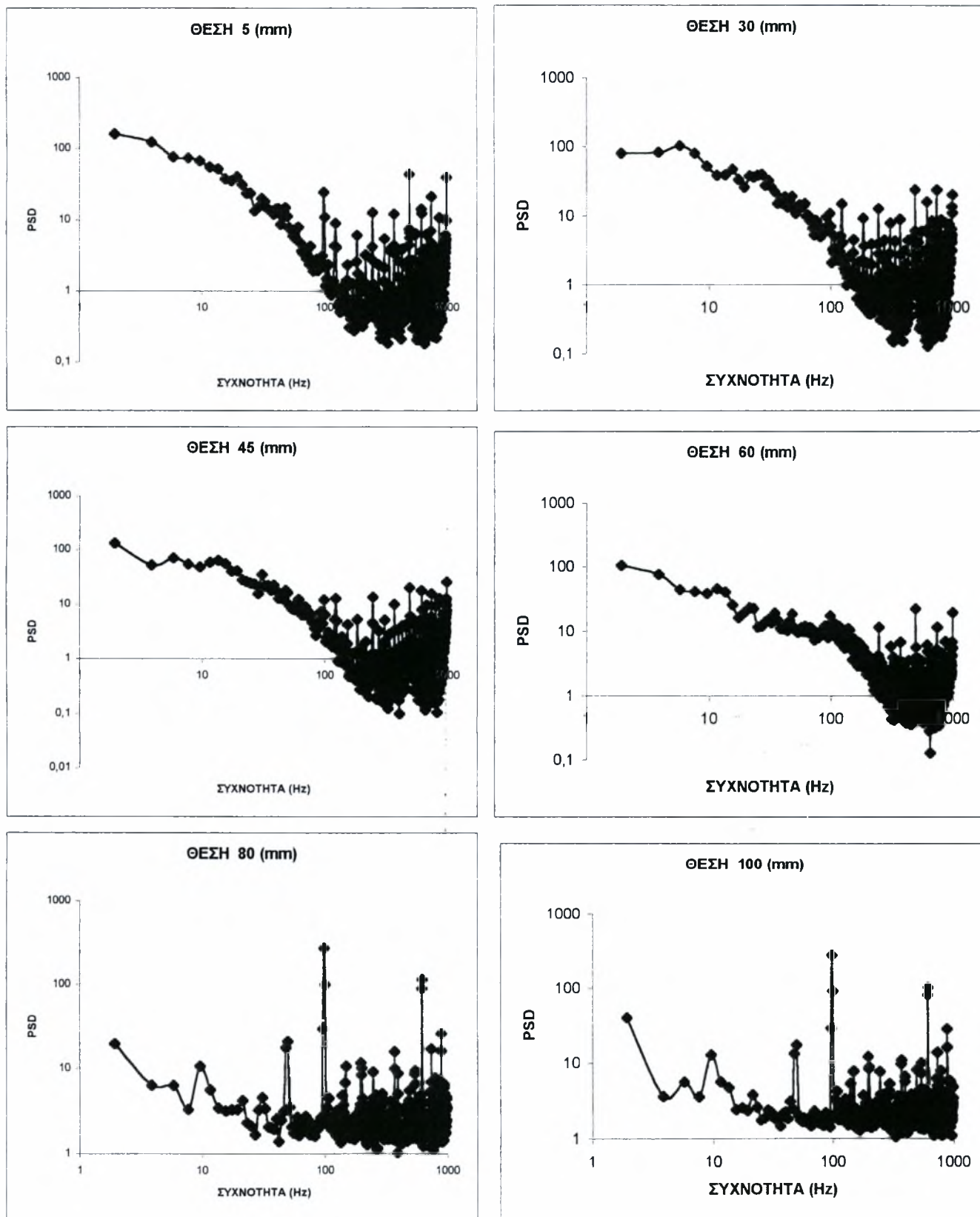


Σχήμα 5.69: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση

Και στη θέση ΧΑ τα διαγράμματα spectra είναι αδύνατα αφού δεν υπάρχει κάποια συχνότητα που να ξεχωρίζει. Έτσι όταν είναι η μεγάλη κοιλότητα η κύρια συχνότητα των δινών είναι 13.67Hz, ενώ στην περίπτωση της μεσαίας και της μικρής κοιλότητας η συχνότητα των δινών είναι 11.71Hz. Όταν υπάρχει η μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση η συχνότητα των δινών είναι 9.76Hz. Σε όλα τα σημεία έξω από την κοιλότητα παρατηρείται η συχνότητα 50.78Hz λόγω της ταλάντωσης του μετρητικού οργάνου. Στα σημεία μέσα στην κοιλότητα η κλίση του γραφήματος είναι περίπου $-5/3$ και συνεπώς η ροή είναι τυρβώδης κάτι το οποίο δεν συμβαίνει έξω από αυτή. Επίσης φαίνεται πως καθώς μειώνεται το πλάτος της κοιλότητας τα spectra γίνονται πιο απότομα.

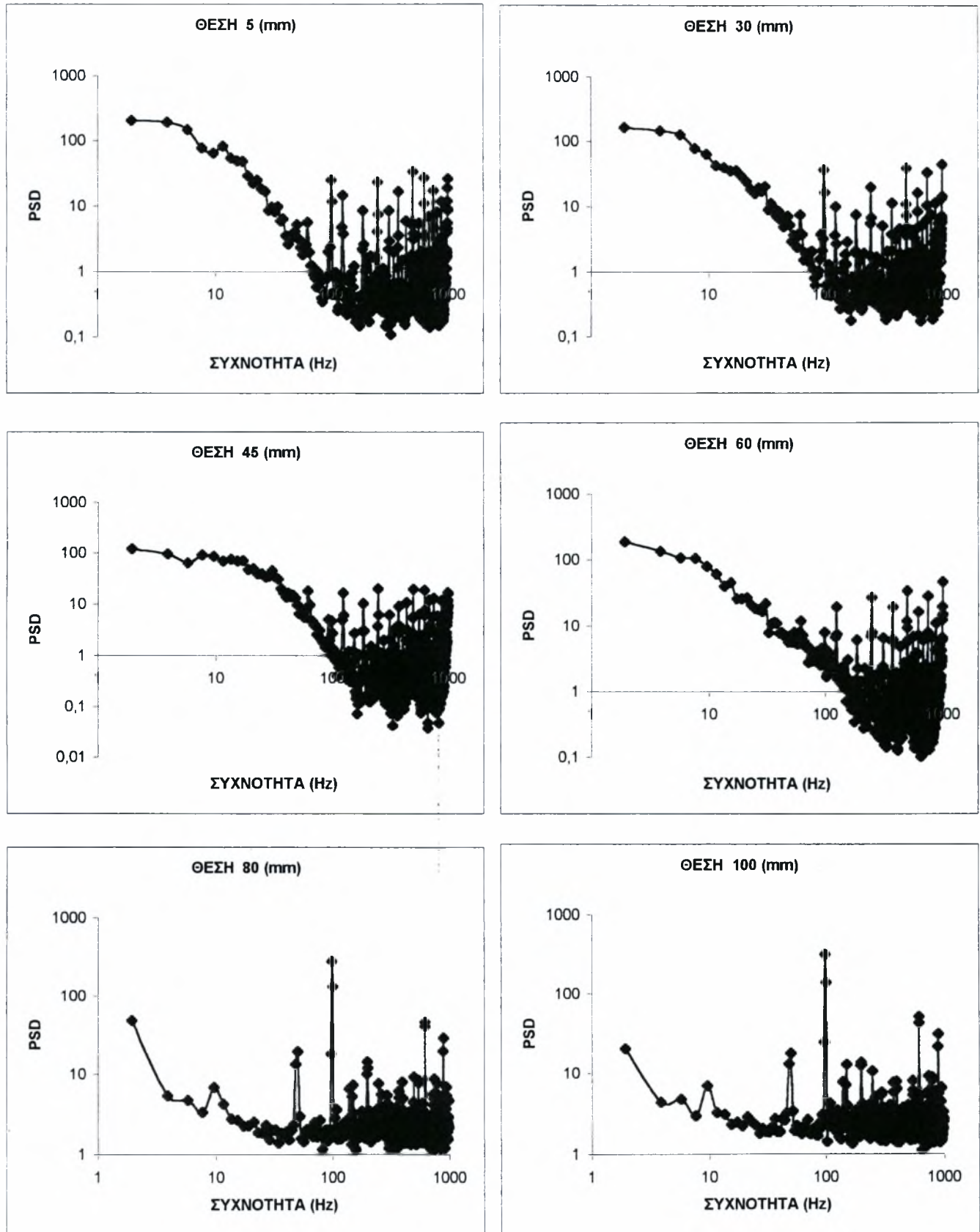
5.3.2.3 Θέση XB

A) Μεγάλη κοιλότητα



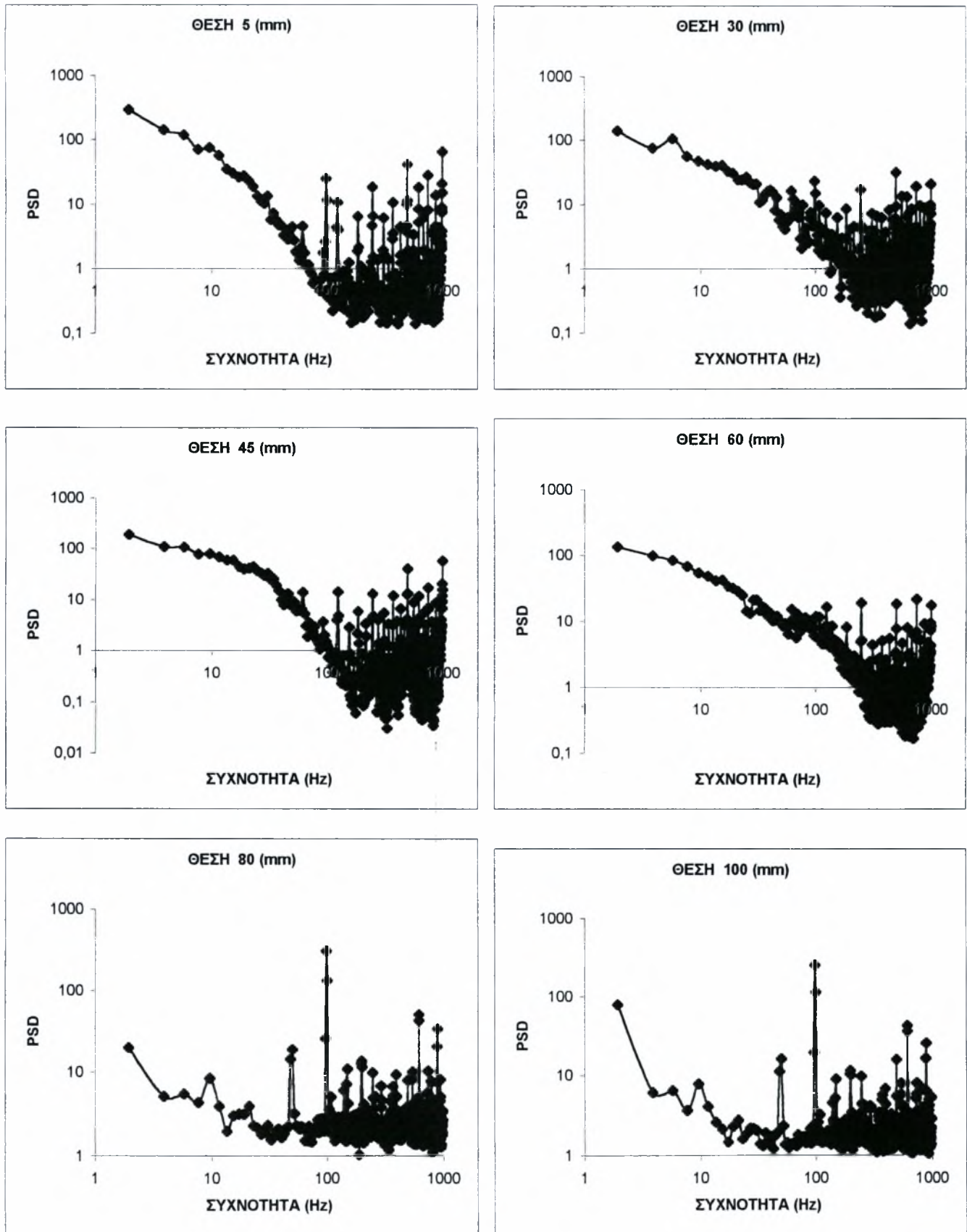
Σχήμα 5.70: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μεγάλη κοιλότητα

Β) Μεσαία κοιλότητα



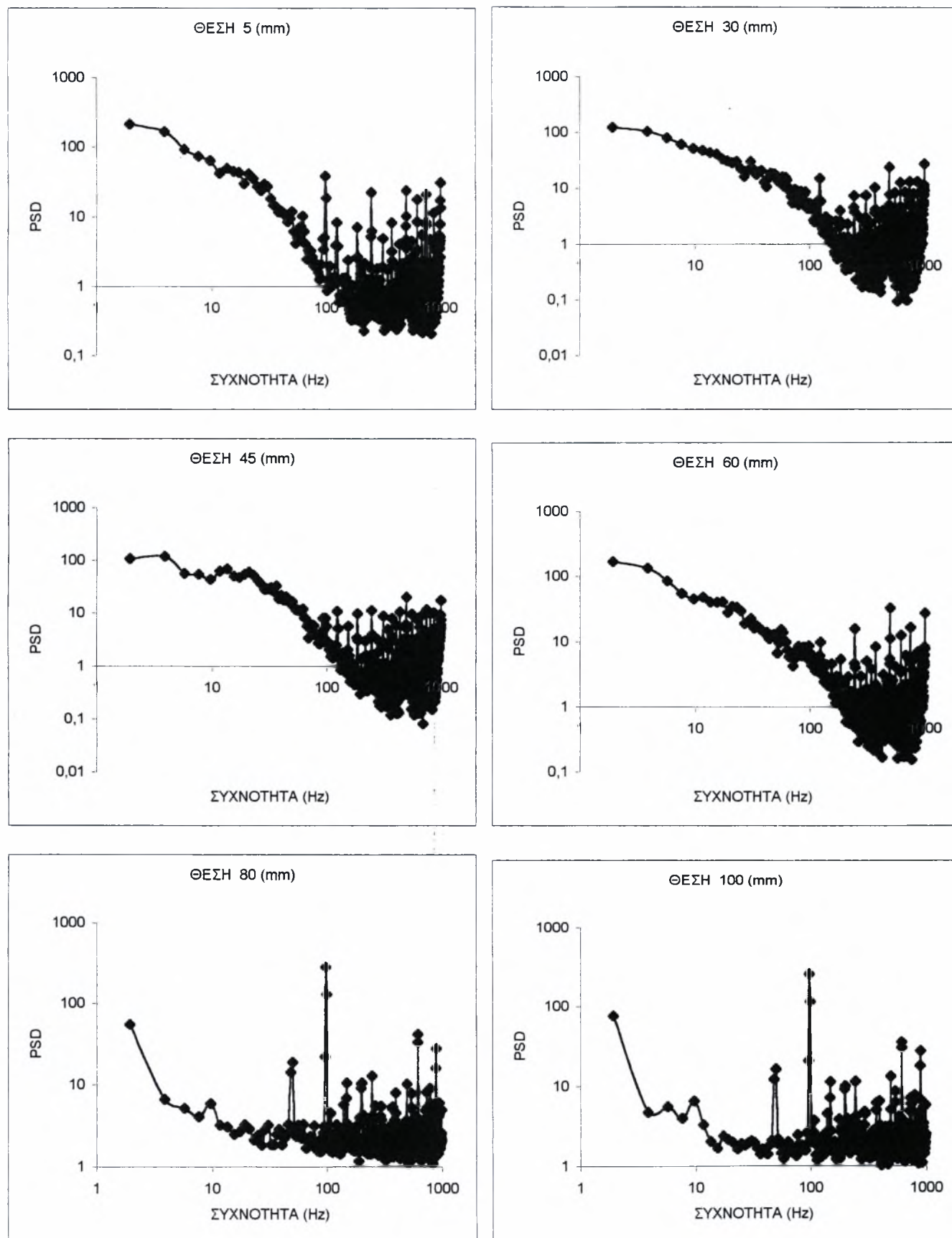
Σχήμα 5.71: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μεσαία κοιλότητα

Γ) Μικρή κοιλότητα



Σχήμα 5.72: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μικρή κοιλότητα

Δ) Μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση



Σχήμα 5.73: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση

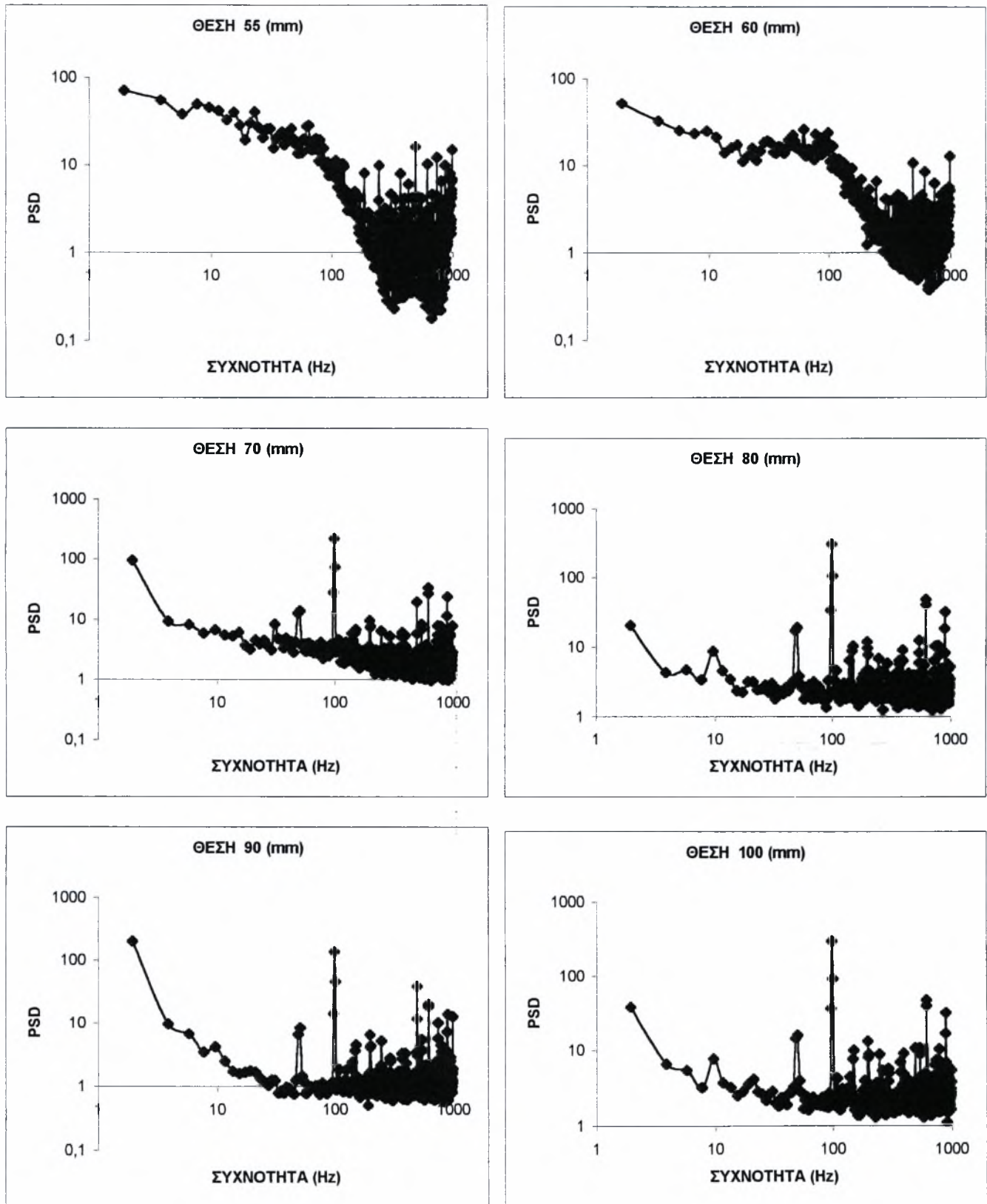
Για τη θέση XB φαίνεται πως όταν είναι η μεγάλη κοιλότητα η συχνότητα των δινών είναι 11.71Hz, όταν είναι η μεσαία η συχνότητα είναι 13.67Hz και όταν υπάρχει η μικρή κοιλότητα είναι 9.76Hz. Στη περίπτωση της μεγάλης κοιλότητας με τη μεγάλη αντίσταση η κύρια συχνότητα των δινών είναι 13.67Hz.

Γενικά και στην περίπτωση που η αντίσταση βρίσκεται στο κέντρο της κοιλότητας τα spectra μέσα στην κοιλότητα είναι αδύνατα και έτσι δεν είναι ευδιάκριτες οι κύριες συχνότητες των δινών. Επίσης τα διαγράμματα έχουν κλίση περίπου $-5/3$ κάτι τι οποίο δείχνει ότι υπάρχει μεγάλη διαταραχή. Επίσης φαίνεται πως καθώς μειώνεται το πλάτος της κοιλότητας τα spectra γίνονται πιο απότομα.

5.3.3 Αποτελέσματα με την αντίσταση στο ύψος της κοιλότητας

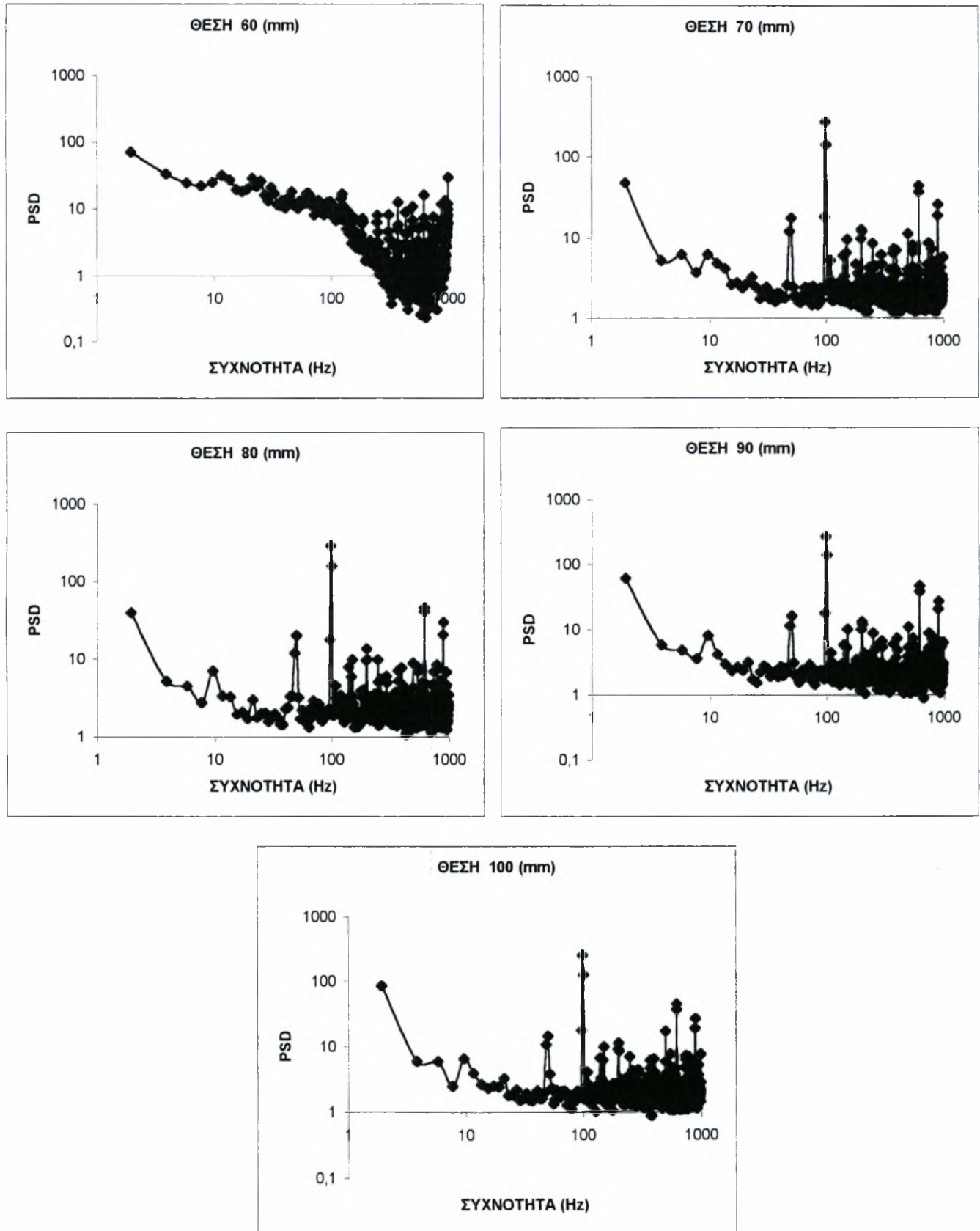
5.3.3.1 Θέση XM

A) Μεγάλη κοιλότητα



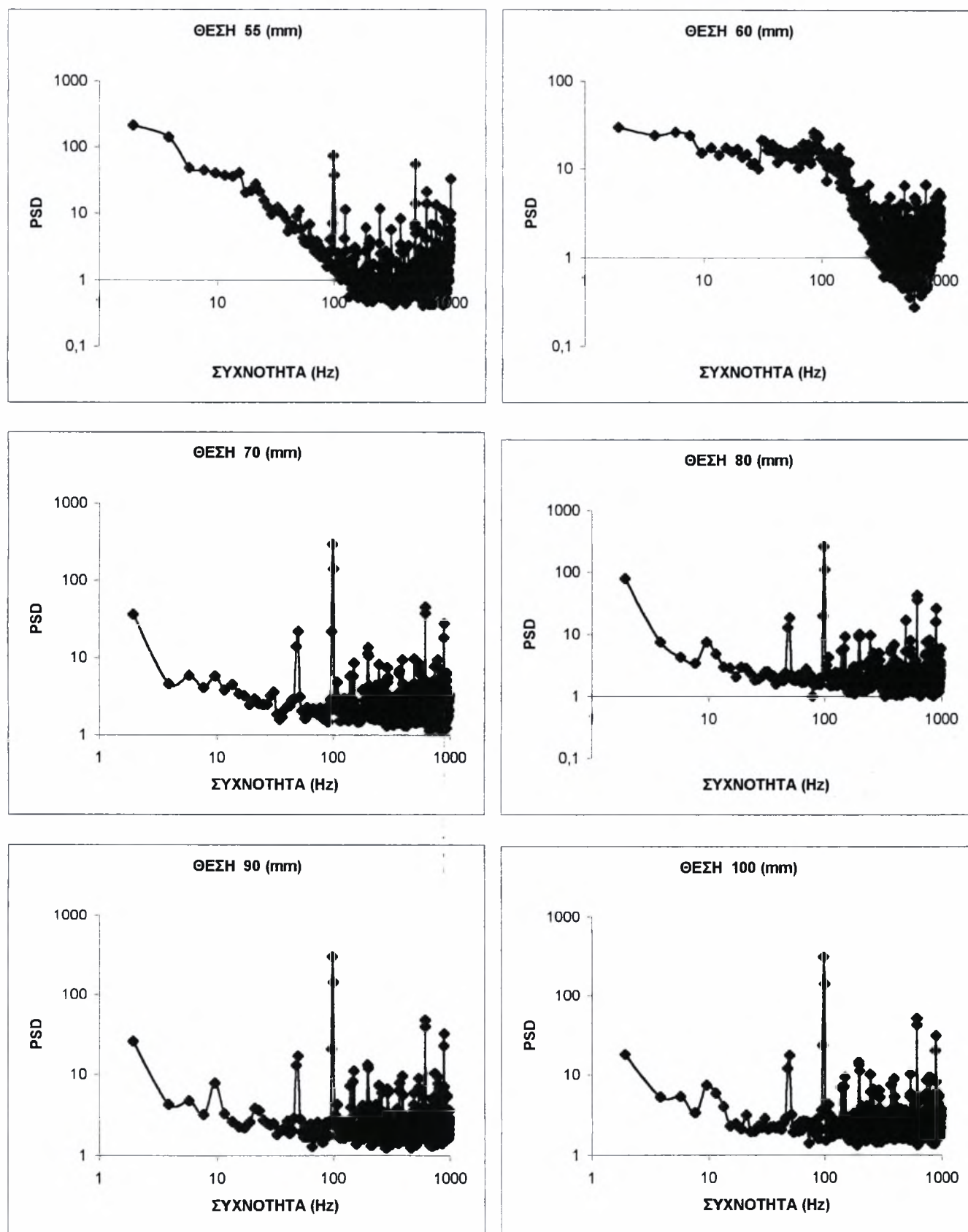
Σχήμα 5.74: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μεγάλη κοιλότητα

Β) Μεσαία κοιλότητα



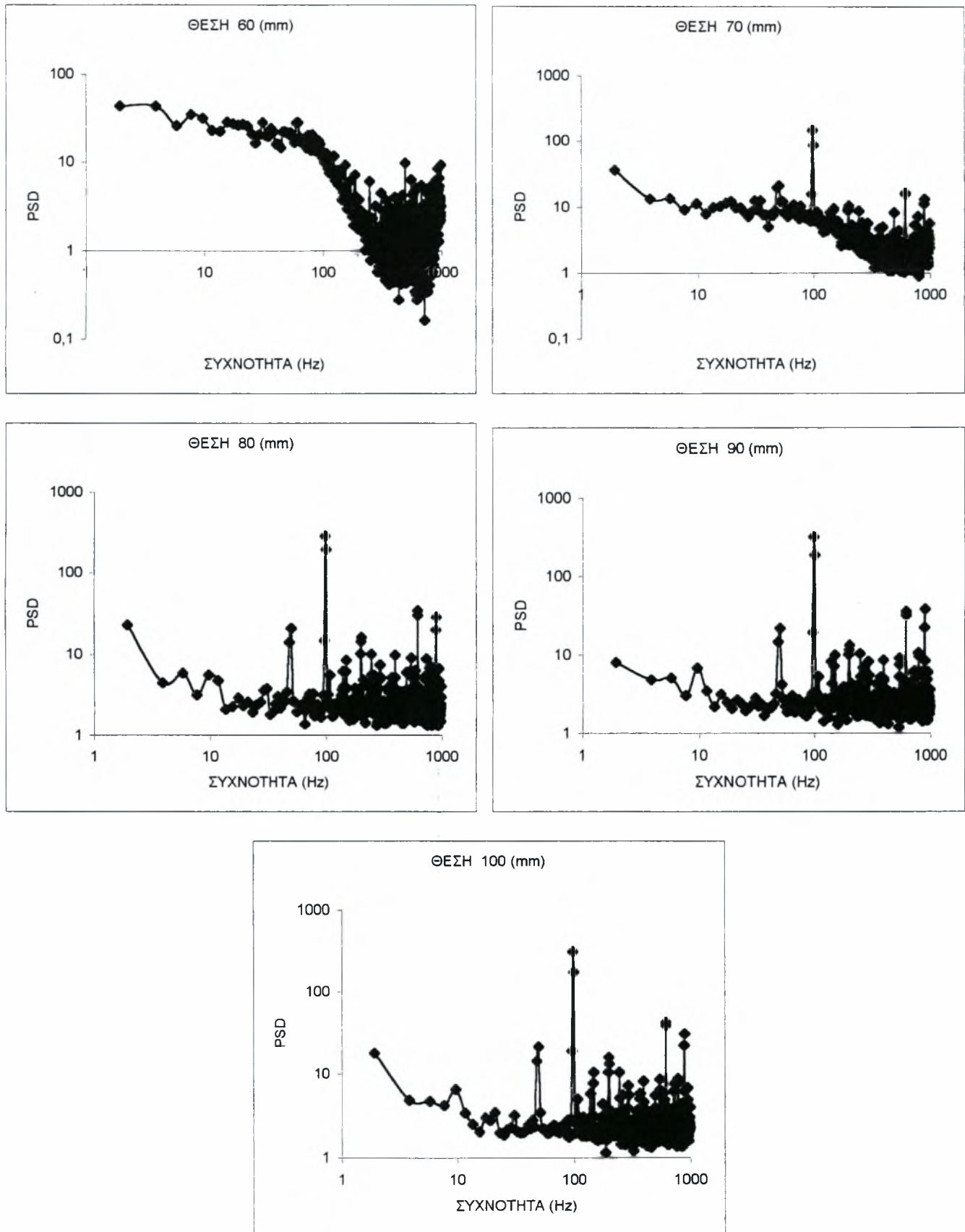
Σχήμα 5.75: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μεσαία κοιλότητα

Γ) Μικρή κοιλότητα



Σχήμα 5.76: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μικρή κοιλότητα

Δ) Μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση

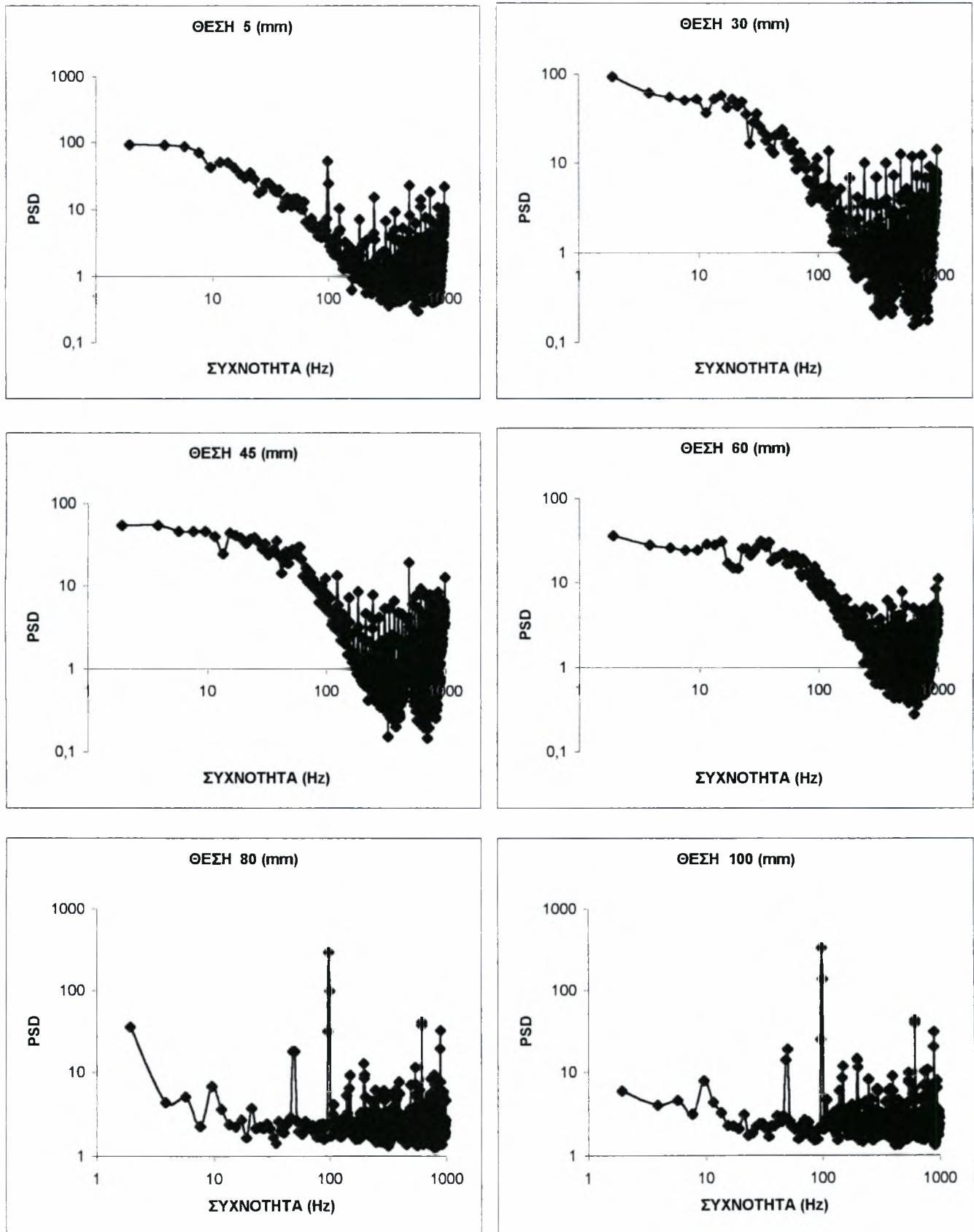


Σχήμα 5.77: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση

Από τα spectra για τη θέση ΧΜ φαίνεται πως η κύρια συχνότητα των δινών είναι ίδια και για τις τρεις κοιλότητες (μεγάλη, μεσαία, μικρή) και έχει τιμή 11.71Hz. Στην περίπτωση της μεγάλης κοιλότητας με τη μεγάλη αντίσταση η συχνότητα των δινών είναι 9.76Hz. Επίσης έξω από την κοιλότητα παρατηρείται σε όλα τα ύψη μια ταλάντωση με συχνότητα 50.78Hz. Στα σημεία μέσα στην κοιλότητα η κλίση του γραφήματος είναι περίπου $-5/3$ και συνεπώς η ροή μοιάζει να είναι αρκετά τυρβώδης κάτι το οποίο δεν συμβαίνει έξω από αυτή. Επίσης φαίνεται πως καθώς μειώνεται το πλάτος της κοιλότητας τα spectra γίνονται πιο απότομα.

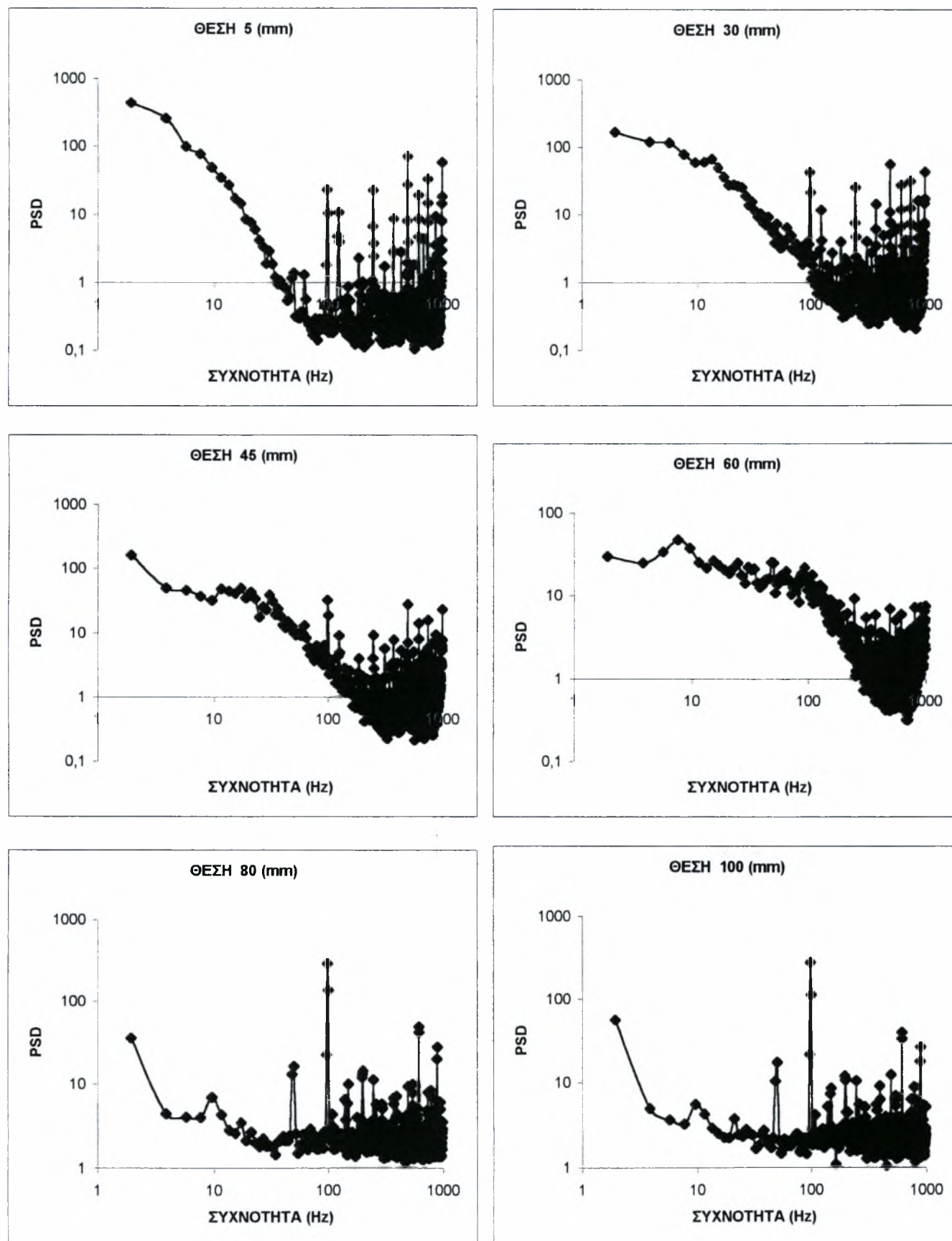
5.3.3.2 Θέση ΧΑ

Α) Μεγάλη κοιλότητα



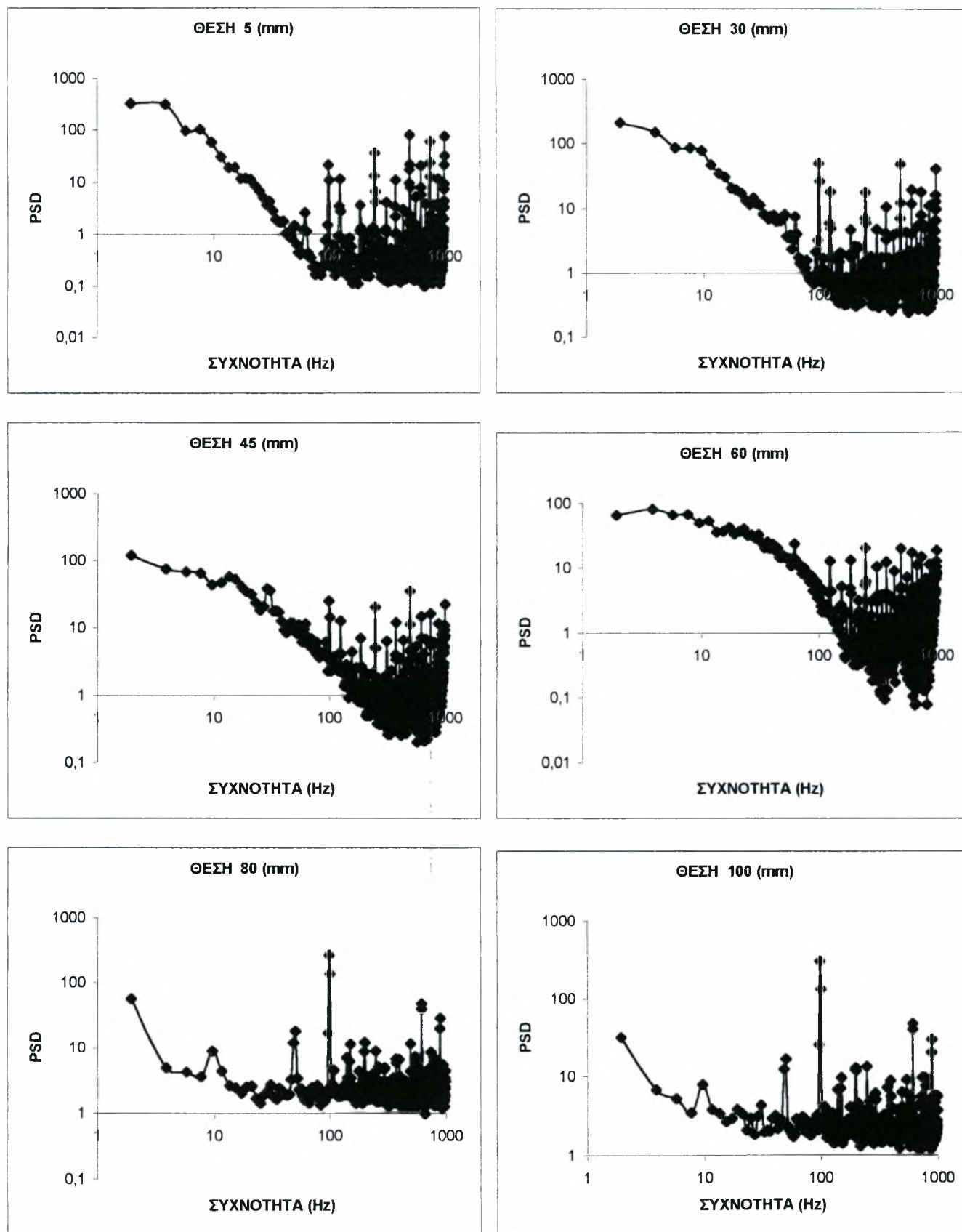
Σχήμα 5.78: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μεγάλη κοιλότητα

Β) Μεσαία κοιλότητα



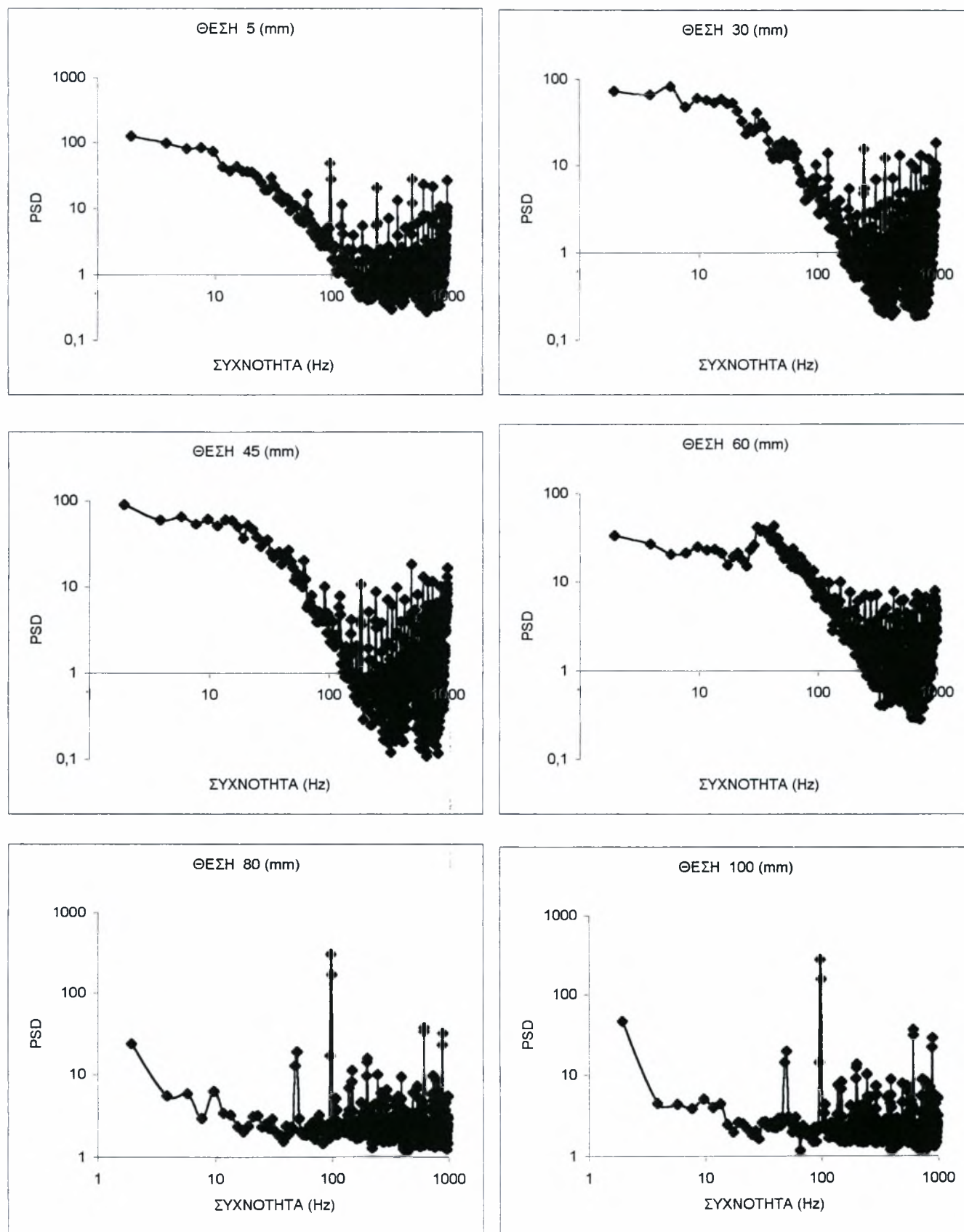
Σχήμα 5.79: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μεσαία κοιλότητα

Γ) Μικρή κοιλότητα



Σχήμα 5.80: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μικρή κοιλότητα

Δ) Μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση

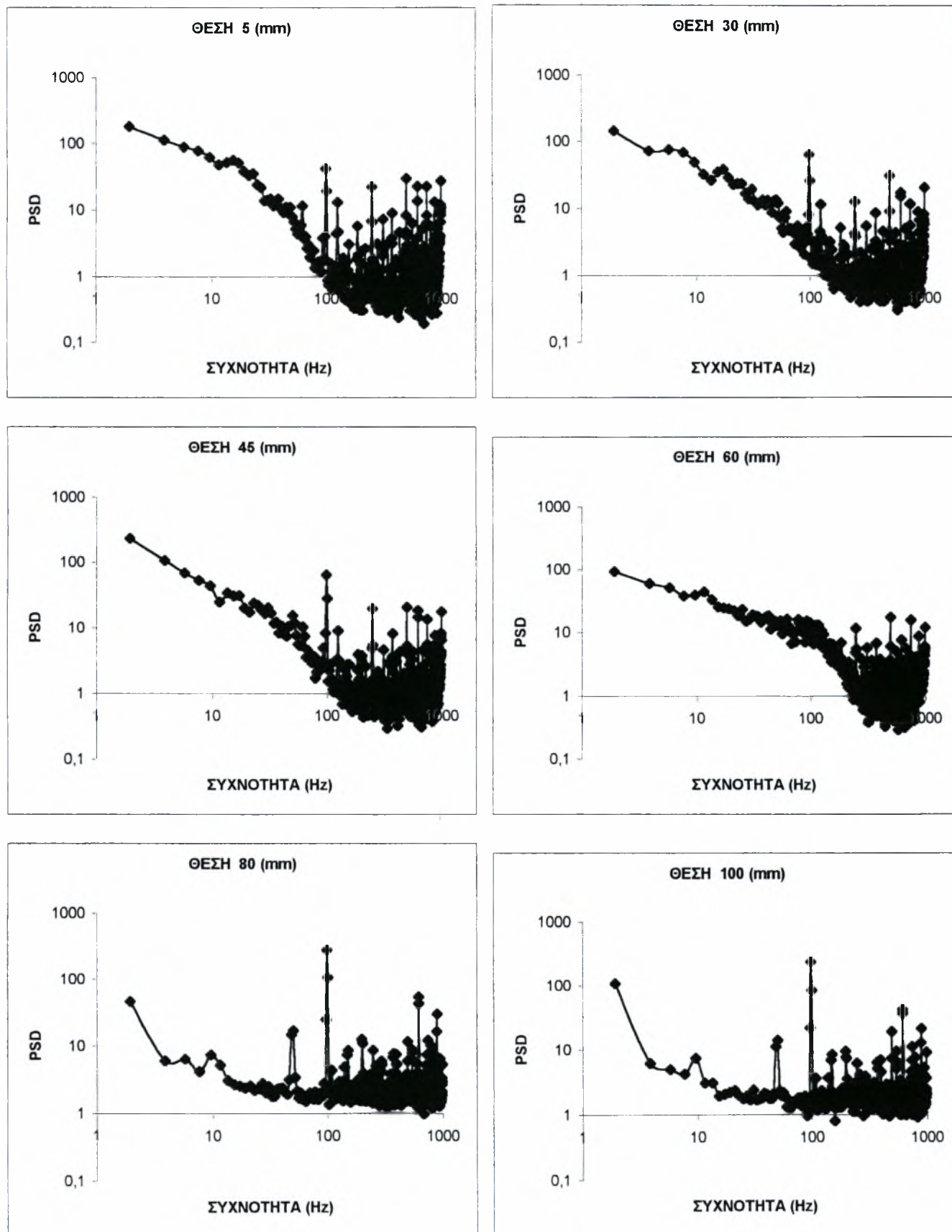


Σχήμα 5.81: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση

Για τη θέση ΧΑ φαίνεται πως στην περίπτωση της μεγάλης και της μικρής κοιλότητας η κύρια συχνότητα των δινών είναι 11.71Hz. Αντίστοιχα όταν υπάρχει η μεσαία ή μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση η συχνότητα των δινών είναι 13.67Hz. Και σε αυτή την θέση παρατηρείται έξω από την κοιλότητα μια ταλάντωση σε συχνότητα 50.78Hz. Στα σημεία μέσα στην κοιλότητα η κλίση του γραφήματος είναι περίπου $-5/3$ και συνεπώς η ροή είναι τυρβώδης κάτι το οποίο δεν συμβαίνει έξω από αυτή. Επίσης φαίνεται πως καθώς μειώνεται το πλάτος της κοιλότητας τα spectra γίνονται πιο απότομα.

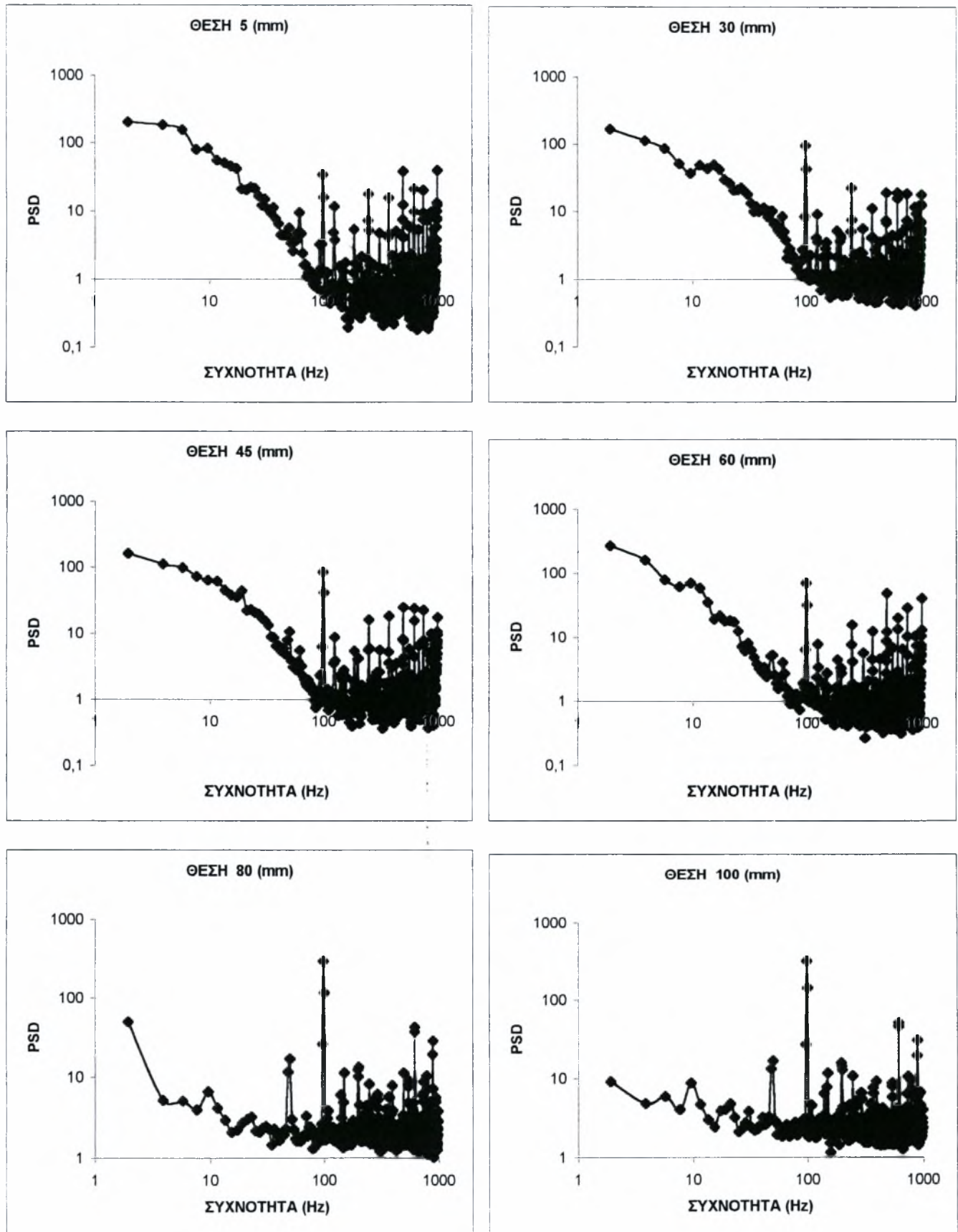
5.3.3.3 Θέση XB

A) Μεγάλη κοιλότητα



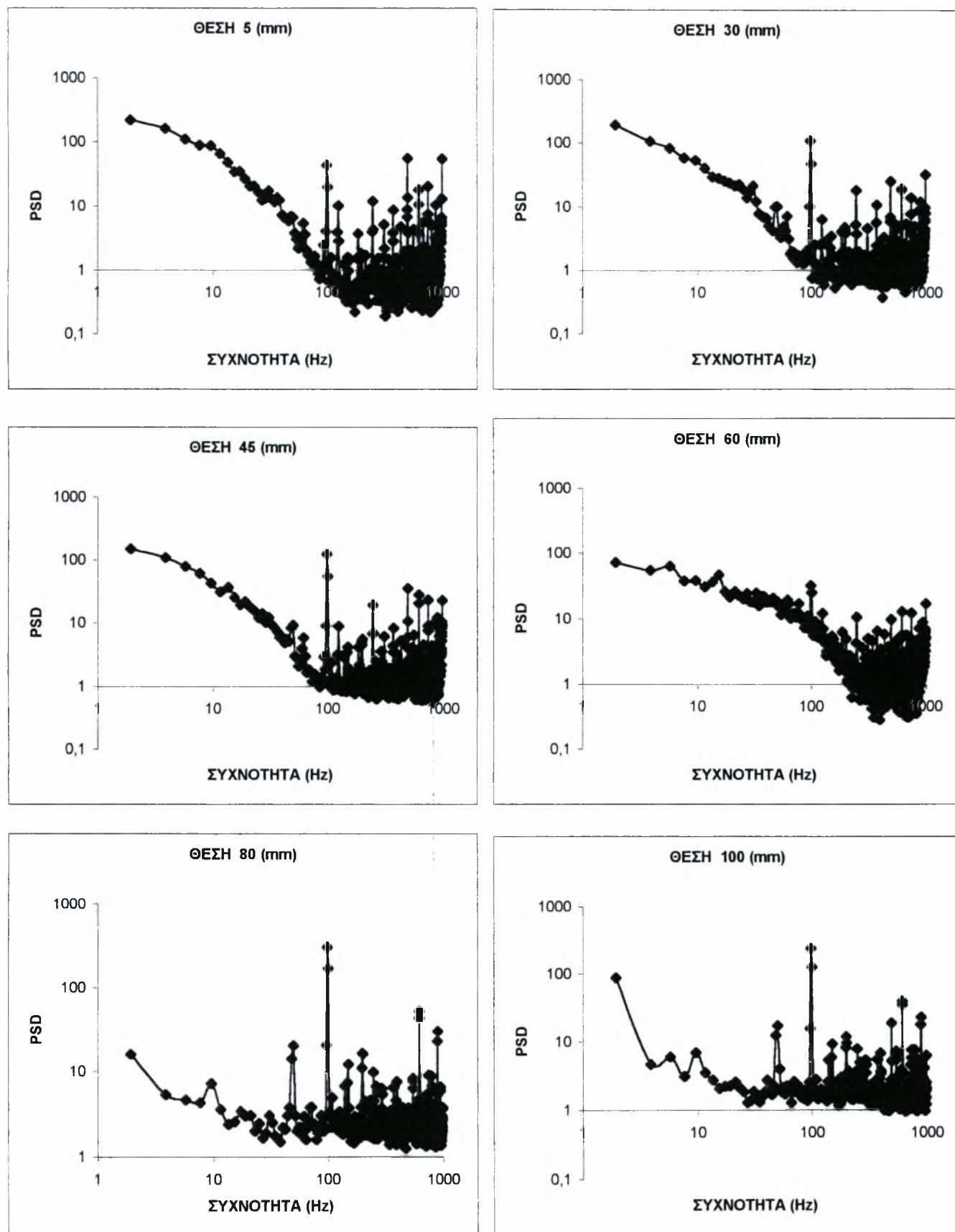
Σχήμα 5.82: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μεγάλη κοιλότητα

Β) Μεσαία κοιλότητα



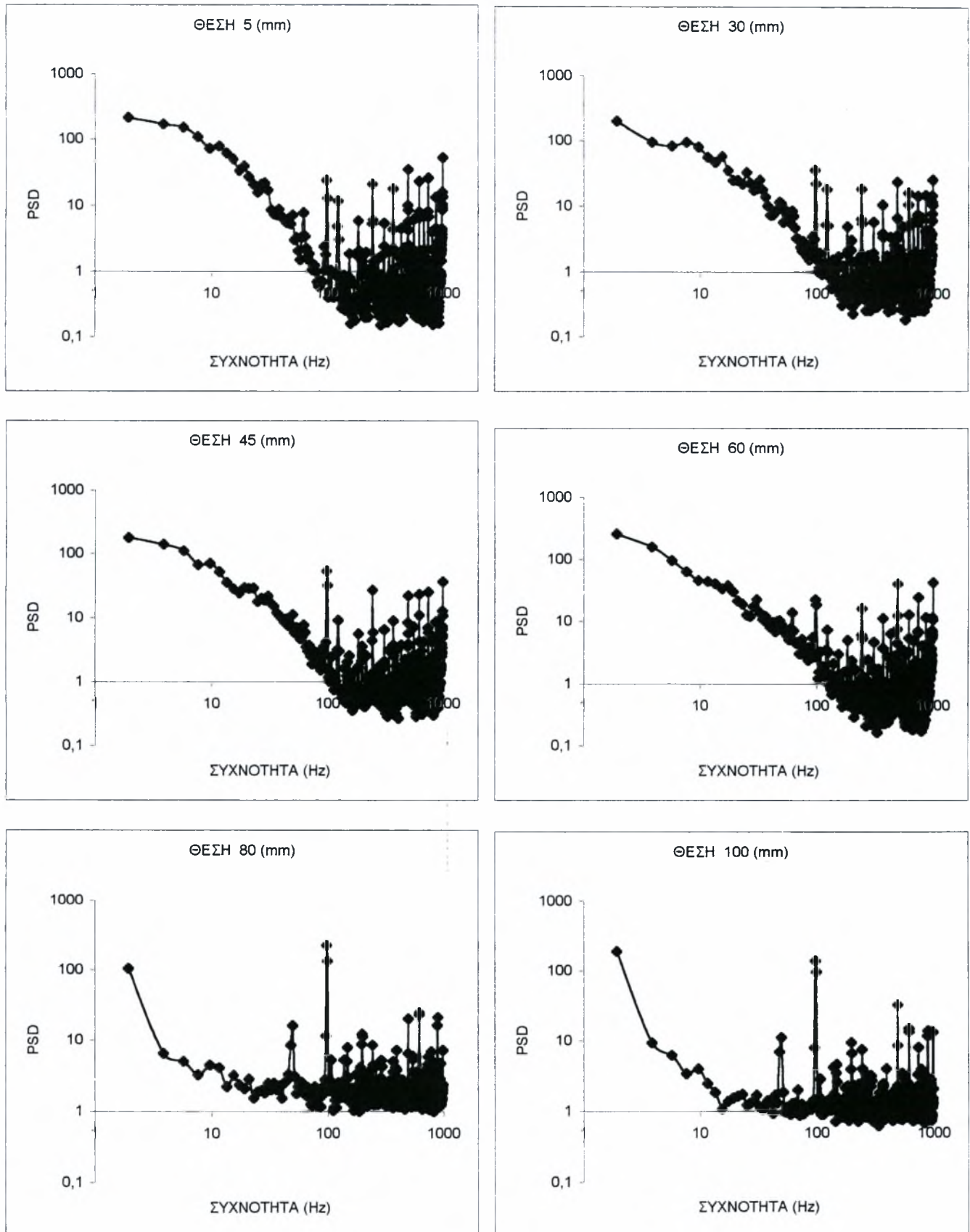
Σχήμα 5.83: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μεσαία κοιλότητα

Γ) Μικρή κοιλότητα



Σχήμα 5.84: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μικρή κοιλότητα

Δ) Μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση



Σχήμα 5.85: Φάσματα θερμοκρασίας για τη μεγάλη κοιλότητα με τη μεγάλη αντίσταση

Στη θέση XB φαίνεται πως όταν υπάρχει η μεγάλη ή η μεσαία κοιλότητα η κύρια συχνότητα των δινών είναι 13.67Hz. Αντίστοιχα στις άλλες δυο περιπτώσεις η συχνότητα των δινών είναι 11.71Hz.

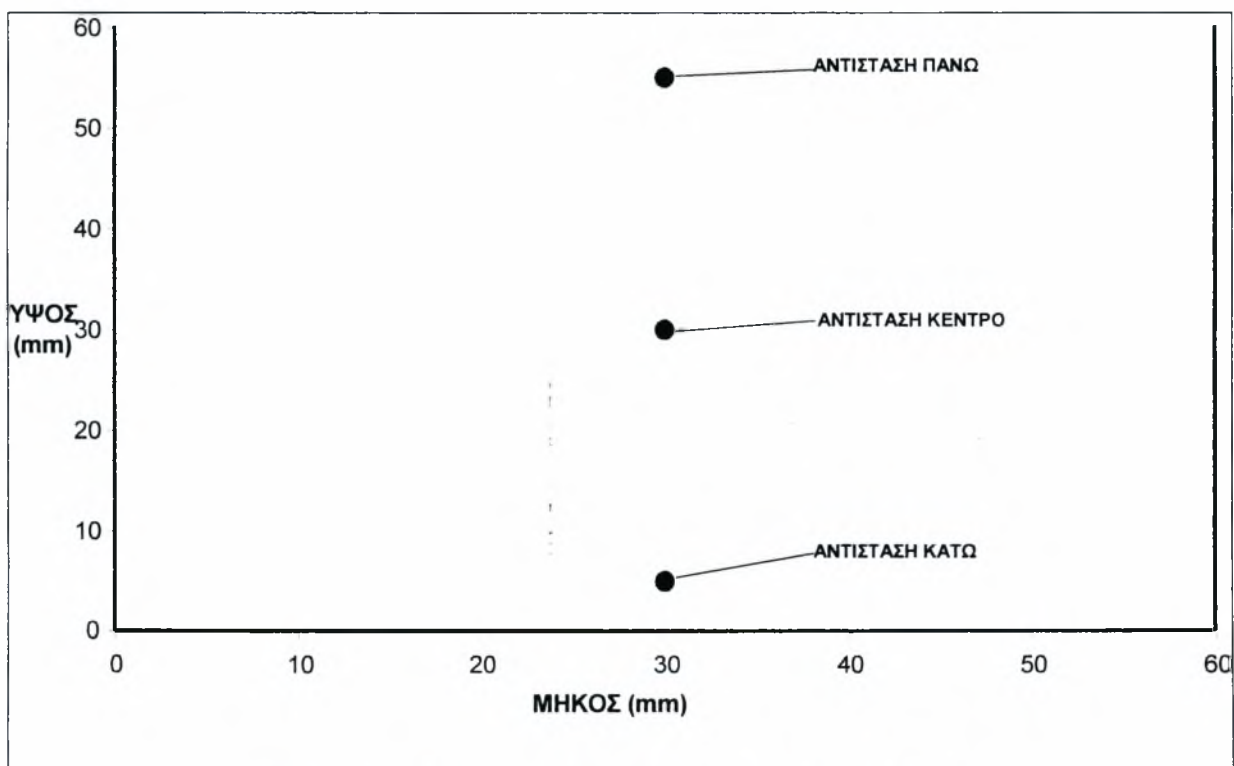
Όπως και στις άλλες θέσεις της αντίστασης έτσι και εδώ τα διαγράμματα spectra είναι αδύνατα με αποτέλεσμα να μην είναι ευδιάκριτες οι κύριες συχνότητες των δινών. Επίσης, στα σημεία μέσα στην κοιλότητα η κλίση του γραφήματος είναι περίπου $-5/3$ και συνεπώς η ροή μοιάζει να είναι αρκετά τυρβώδης κάτι το οποίο δεν συμβαίνει έξω από αυτή. Επίσης φαίνεται πως καθώς μειώνεται το πλάτος της κοιλότητας τα spectra γίνονται πιο απότομα.

5.3.4 Συμπεράσματα

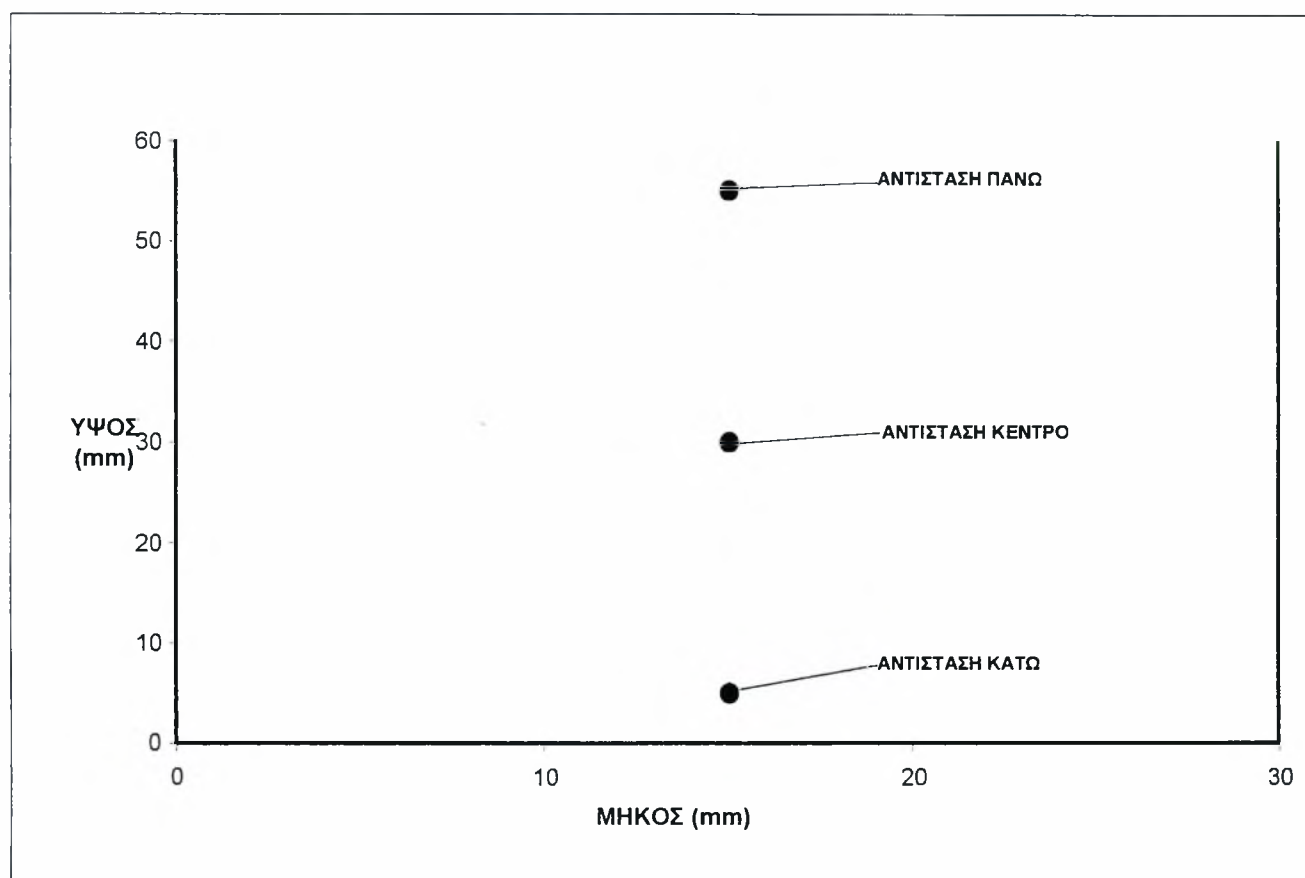
Από τα φάσματα της θερμοκρασίας φαίνεται πως μέσα στην κοιλότητα το γράφημα έχει κλίση περίπου $-5/3$ το οποίο οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η ροή μοιάζει να είναι αρκετά τυρβώδης. Επίσης φαίνεται πως καθώς μειώνεται το πλάτος της κοιλότητας τα spectra γίνονται πιο απότομα. Τέλος τα spectra μέσα στην κοιλότητα είναι αδύνατα, λόγω της τύρβης που εμποδίζει την εμφάνιση περιοδικότητας, ενώ έξω από αυτή οι συχνότητες είναι πιο ευδιάκριτες.

6. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ, ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΗΣ ΚΟΙΛΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ ΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ

Αυτό το πείραμα έγινε για να δειχθεί η επίδραση της θέσης της πηγής και της γεωμετρίας της κοιλότητας στη θερμοκρασία της πηγής. Χρησιμοποιήθηκαν δύο κοιλότητες (μεγάλη, μεσαία) και μετρήθηκε η θερμοκρασία της μεγάλης αντίστασης (διαμέτρου 6.5mm) σε τρεις διαφορετικές θέσεις (μέσα στις κοιλότητες) και σε τέσσερις ταχύτητες. Οι συνθήκες του πειράματος ήταν $T_0=24\text{ }^{\circ}\text{C}$ και το θερμικό φορτίο $22.25\text{ Volts} \times 0.625\text{ A} = 13.90\text{ Watt}$. Στους παρακάτω πίνακες δίνονται τα αποτελέσματα που προέκυψαν.



Σχήμα 6.1: Θέσεις αντίστασης στη μεγάλη κοιλότητα



Σχήμα 6.2: Θέσεις αντίστασης στη μεσαία κοιλότητα

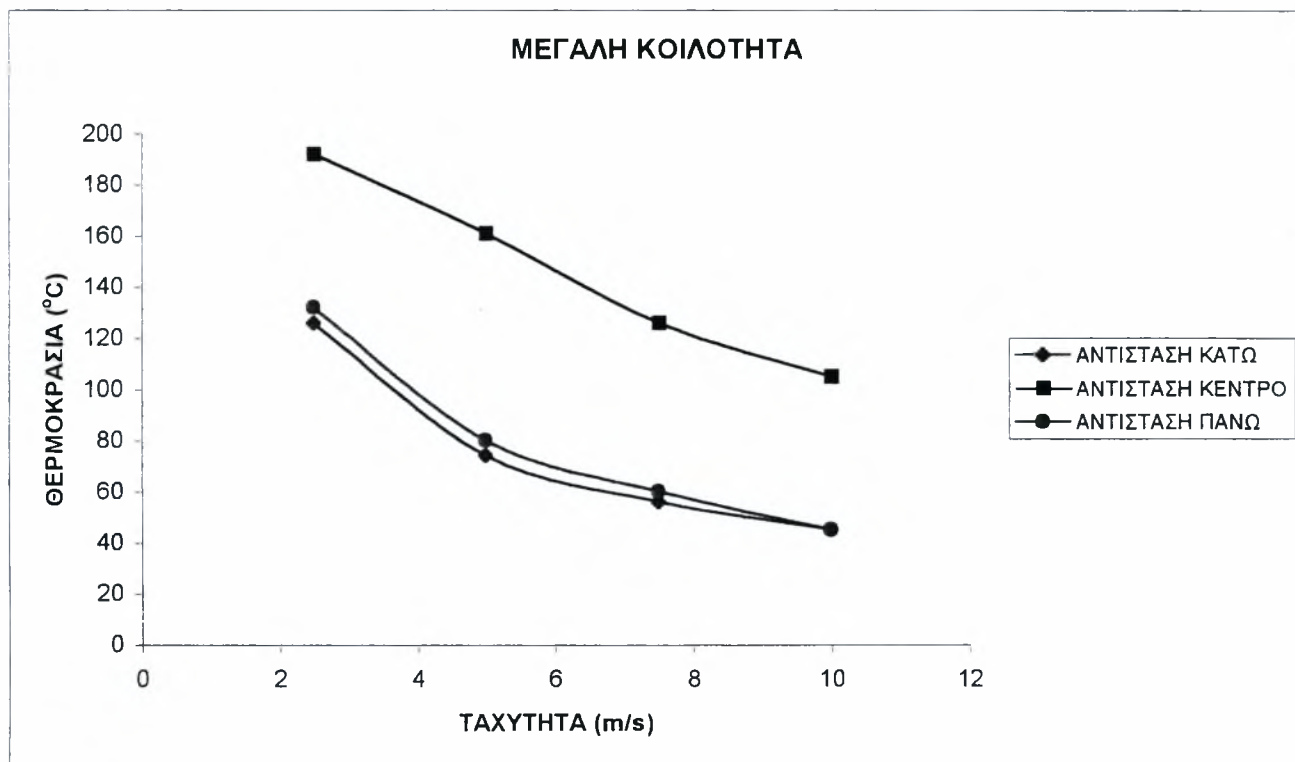
U (m/s)	Hz	Αντίσταση κάτω	Αντίσταση κέντρο	Αντίσταση πάνω
2.5	8.4	126	192	132
5	16.7	74	161	80
7.5	25.1	56	126	60
10	33.4	45	105	45

Πίνακας 6.1: Τιμές θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$) της μεγάλης αντίστασης στη μεγάλη κοιλότητα

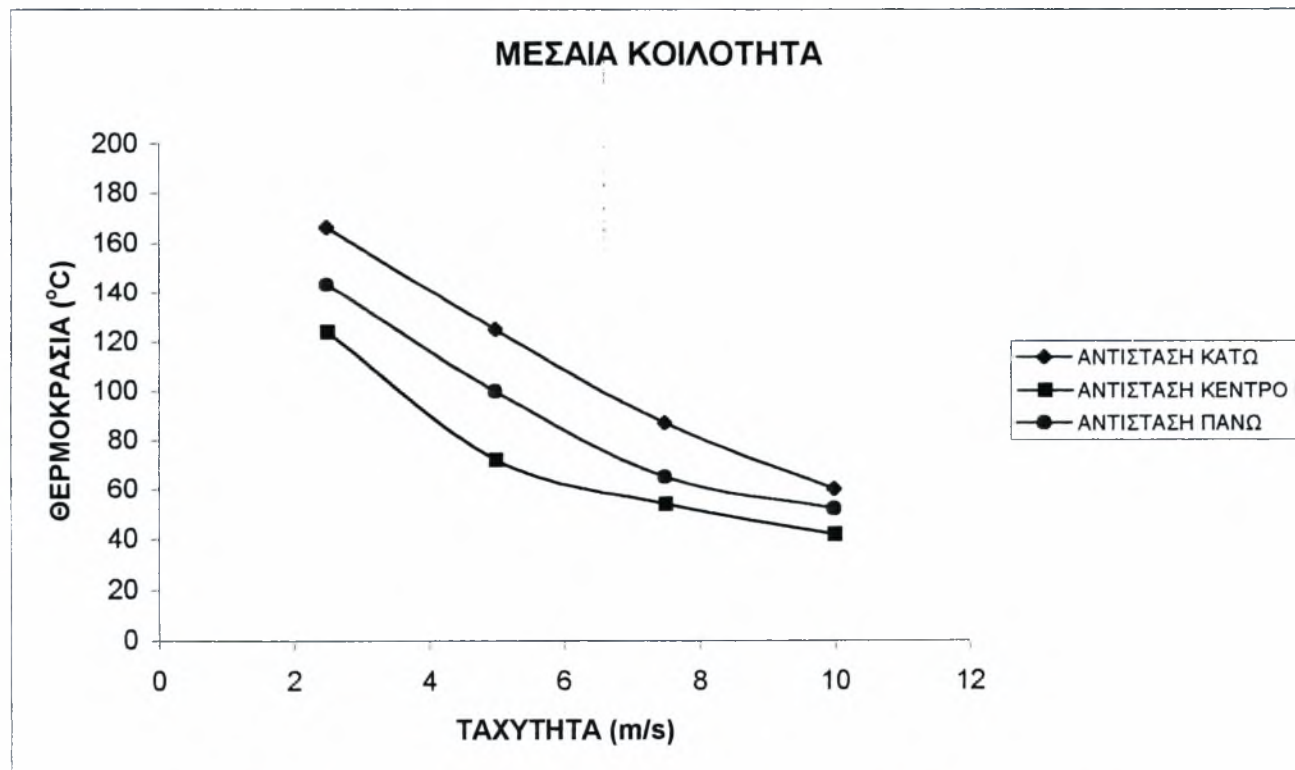
U (m/s)	Hz	Αντίσταση κάτω	Αντίσταση κέντρο	Αντίσταση πάνω
2.5	8.4	166	124	143
5	16.7	125	72	100
7.5	25.1	87	54	65
10	33.4	60	42	52

Πίνακας 6.2: Τιμές θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$) της μεγάλης αντίστασης στη μεσαία κοιλότητα

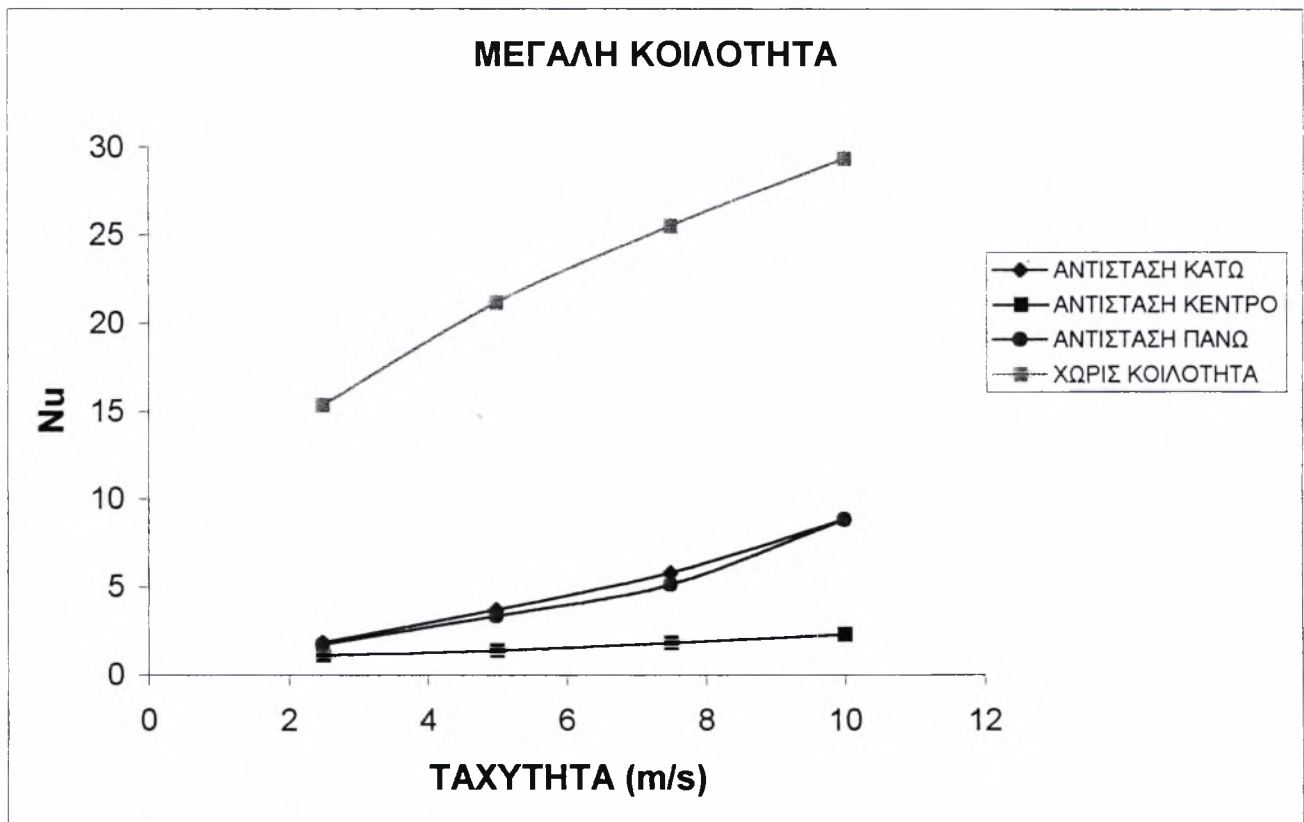
6.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ



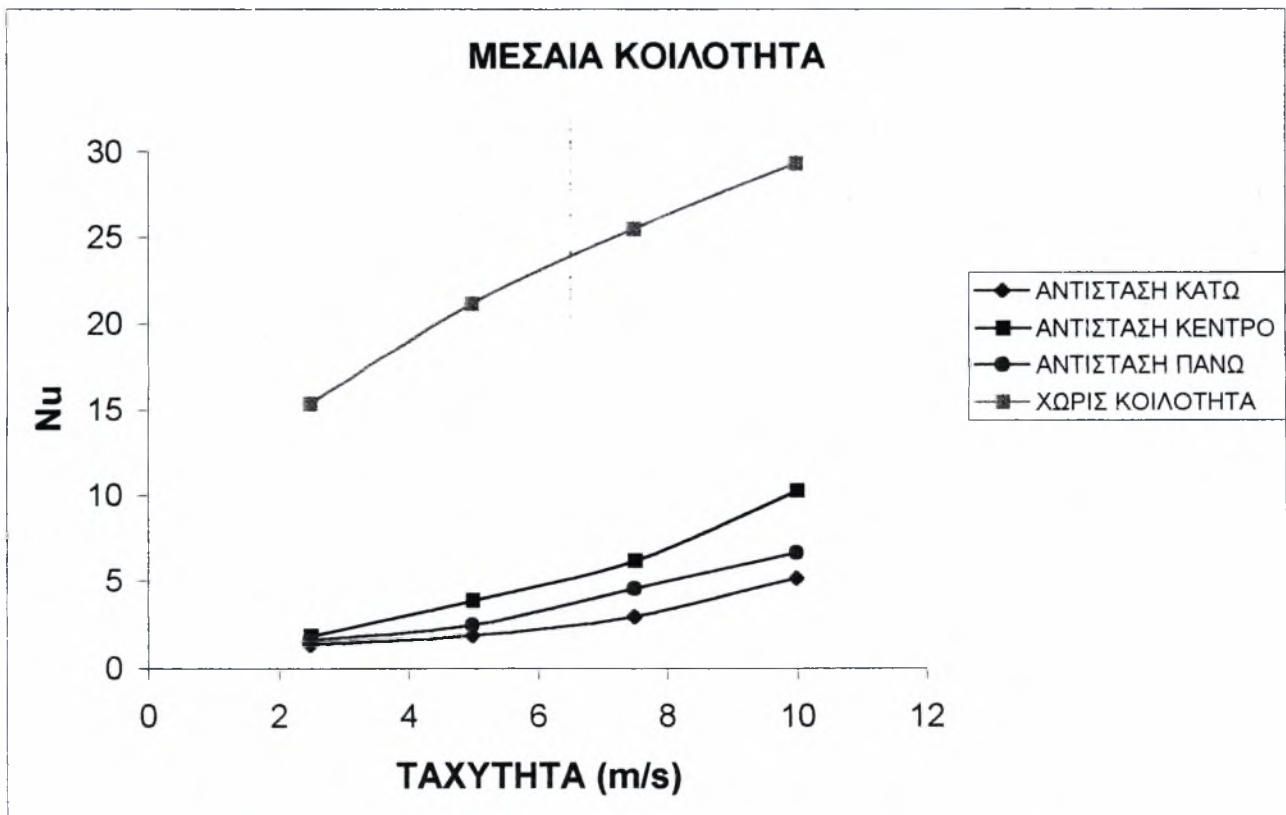
Σχήμα 6.3:Μεταβολή της θερμοκρασίας με την ταχύτητα της ροής



Σχήμα 6.4:Μεταβολή της θερμοκρασίας με την ταχύτητα της ροής



Σχήμα 6.5: Μεταβολή του αριθμού Nusselt με την ταχύτητα της ροής



Σχήμα 6.6: Μεταβολή του αριθμού Nusselt με την ταχύτητα της ροής

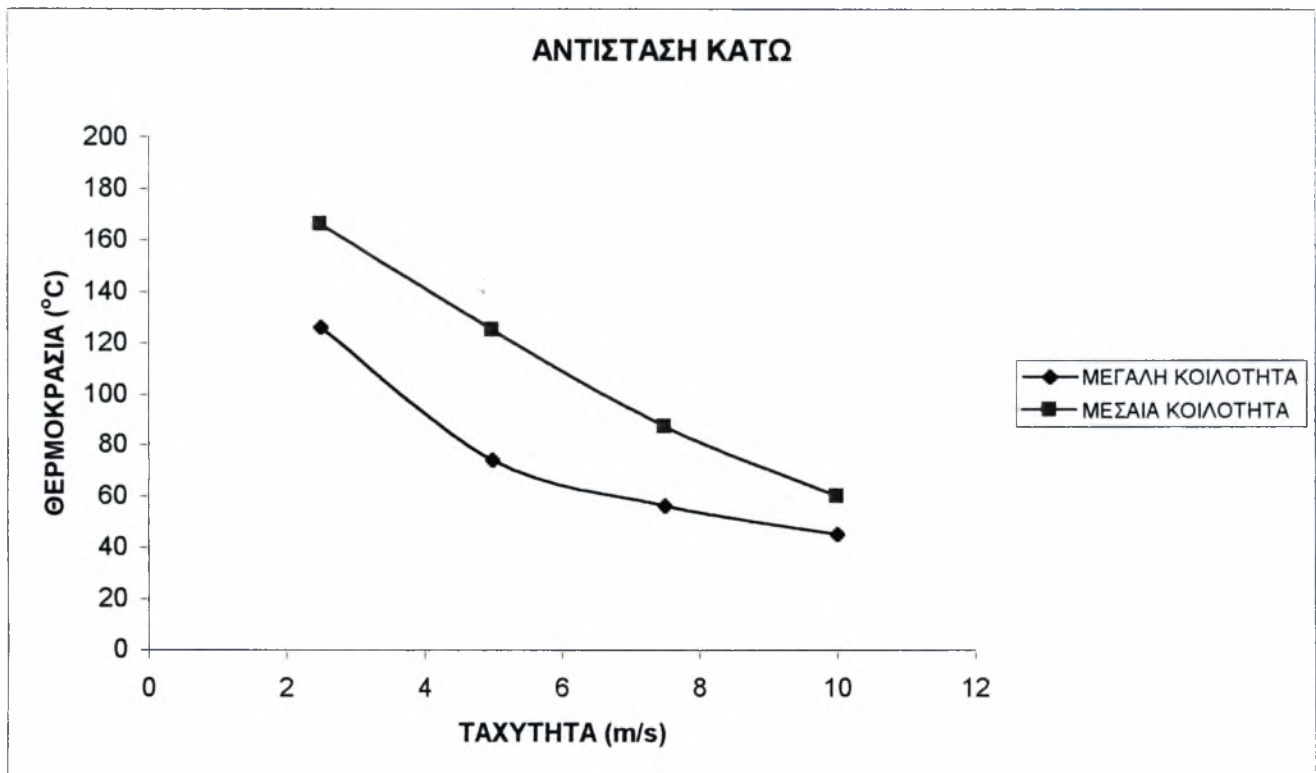
Από τα διαγράμματα για τη μεγάλη κοιλότητα φαίνεται πως η αντίσταση έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία όταν βρίσκεται στο κέντρο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στο κέντρο της κοιλότητας διαμορφώνεται η κύρια δίνη με αποτέλεσμα η ταχύτητα του αέρα γύρω από την αντίσταση να είναι πολύ μικρή και να υπάρχει χαμηλή μεταφορά θερμότητας. Όταν η αντίσταση βρίσκεται στις άλλες δύο θέσεις της κοιλότητας η θερμοκρασία της αντίστασης είναι παρόμοια με τις μεγαλύτερες τιμές να αντιστοιχούν όταν βρίσκεται πάνω

Για τη μεσαία κοιλότητα φαίνεται πως η αντίσταση έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία όταν βρίσκεται στο κάτω μέρος της κοιλότητας. Αυτό συμβαίνει γιατί όσο πιο στενή γίνεται η κοιλότητα τόσο πιο δύσκολα κατεβαίνει ο αέρας με αποτέλεσμα να παρατηρούνται χαμηλές ταχύτητες γύρω από την αντίσταση. Έτσι υπάρχει χαμηλή μεταφορά θερμότητας. Σε αντίθεση με τη μεγάλη κοιλότητα εδώ φαίνεται πως όταν η αντίσταση βρίσκεται στο κέντρο έχει μικρότερη θερμοκρασία από ότι όταν βρίσκεται πάνω. Αυτό οφείλεται στη γεωμετρία της κοιλότητας. Όταν το ύψος της κοιλότητας είναι διπλάσιο του πλάτους της η κύρια δίνη μετατοπίζεται χαμηλότερα από το κέντρο και έτσι η ταχύτητα του αέρα γύρω από την αντίσταση στο κέντρο είναι υψηλότερη. Αυτό δίνει καλύτερη μεταφορά θερμότητας. Παράλληλα διαμορφώνεται και μια δεύτερη, κύρια, αντίθετα περιστρεφόμενη, δίνη στο ύψος της κοιλότητας η οποία είναι υπεύθυνη για τις χαμηλές ταχύτητες αέρα και κατά συνέπεια για τις υψηλές τιμές θερμοκρασίας της αντίστασης σε εκείνη τη θέση.

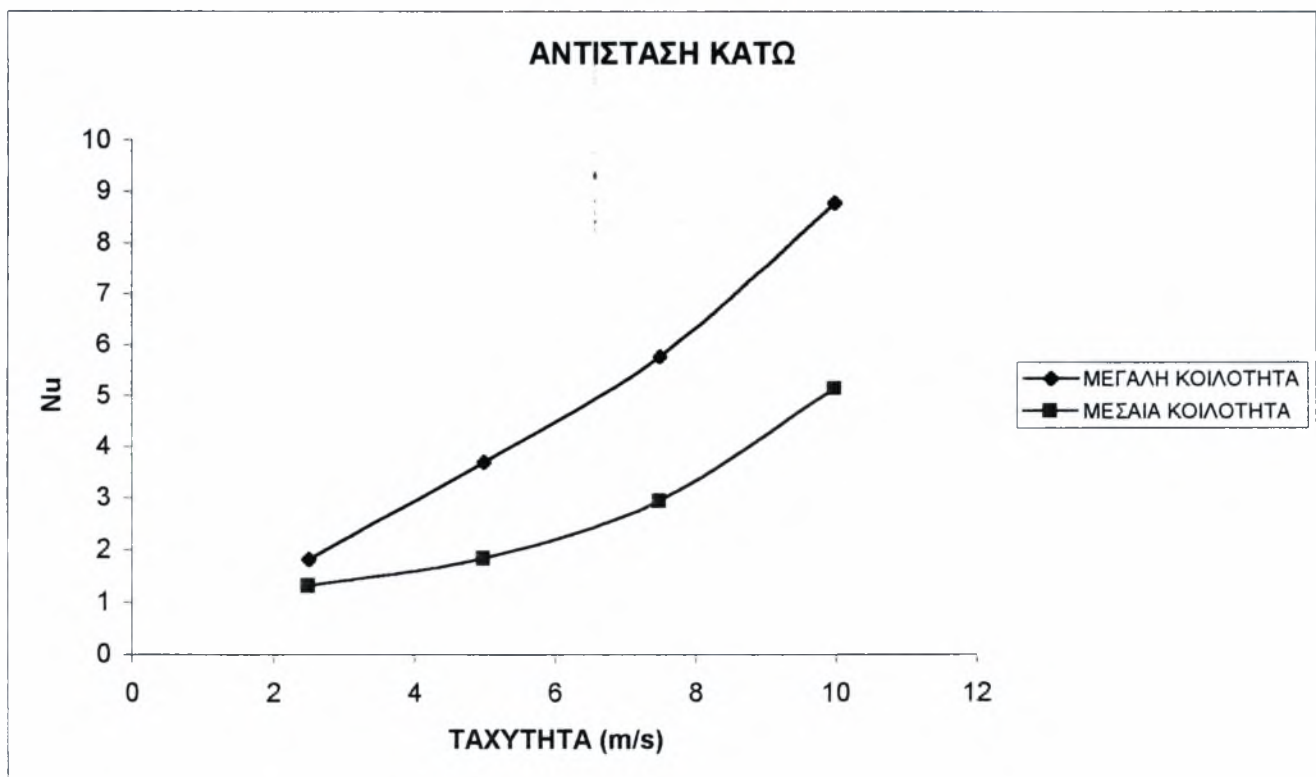
Όταν δεν υπάρχει κοιλότητα από τα παραπάνω σχήματα φαίνεται πως προκύπτουν αριθμοί Nusselt πολύ μεγαλύτεροι με αποτέλεσμα την καλύτερη μεταφορά θερμότητας. Η γραμμή που αντιστοιχεί στην περίπτωση που δεν υπάρχει κοιλότητα προέκυψε από την εμπειρική σχέση του **Hilpert**:

$Nu_D = C Re_D^m Pr^{0.33}$ αφού η πηγή θεωρήθηκε σαν ένας θερμαινόμενος κύλινδρος. Οι σταθερές C, m προκύπτουν από πίνακες ανάλογα με τον αριθμό Reynolds.

6.2 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΤΗΣ ΚΟΙΛΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΠΗΓΗΣ

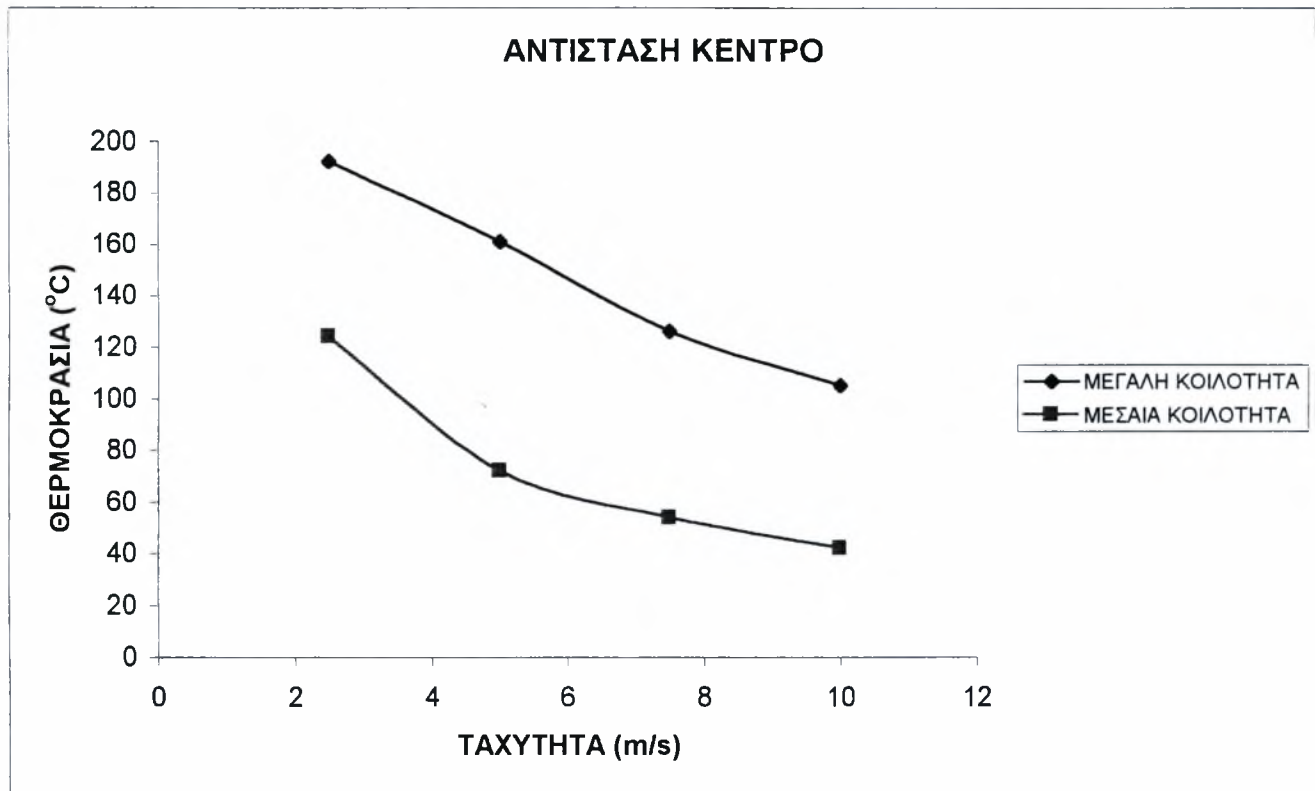


Σχήμα 6.7: Μεταβολή της θερμοκρασίας με την ταχύτητα της ροής

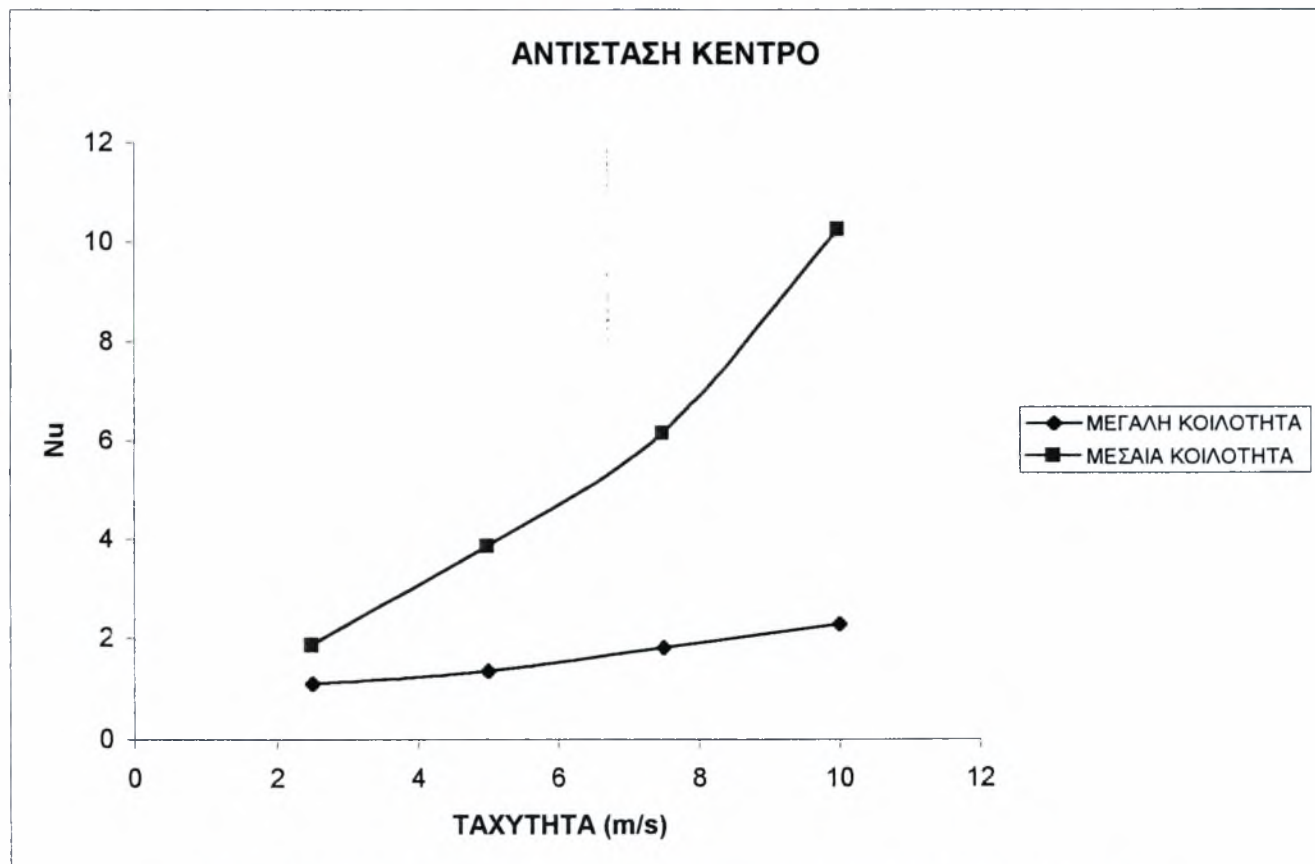


Σχήμα 6.8: Μεταβολή του αριθμού Nusselt με την ταχύτητα της ροής

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται πως τοποθετώντας την αντίσταση στο κάτω μέρος μεγαλύτερες τιμές της θερμοκρασίας εμφανίζονται όταν βρίσκεται στη μεσαία κοιλότητα από ότι στη μεγάλη. Από το διάγραμμα $Nu=f(U)$ φαίνεται πως όταν υπάρχει η μεγάλη κοιλότητα ο αριθμός Nusselt παίρνει διπλάσιες σχεδόν τιμές σε σχέση με τη μεσαία κοιλότητα με αποτέλεσμα να παρατηρείται αρκετά μεγαλύτερη μεταφορά θερμότητας. Στη μεσαία κοιλότητα ο αέρας έχει μικρότερη τιμή ταχύτητας γύρω από την αντίσταση με αποτέλεσμα να μην γίνεται καλή μεταφορά θερμότητας.

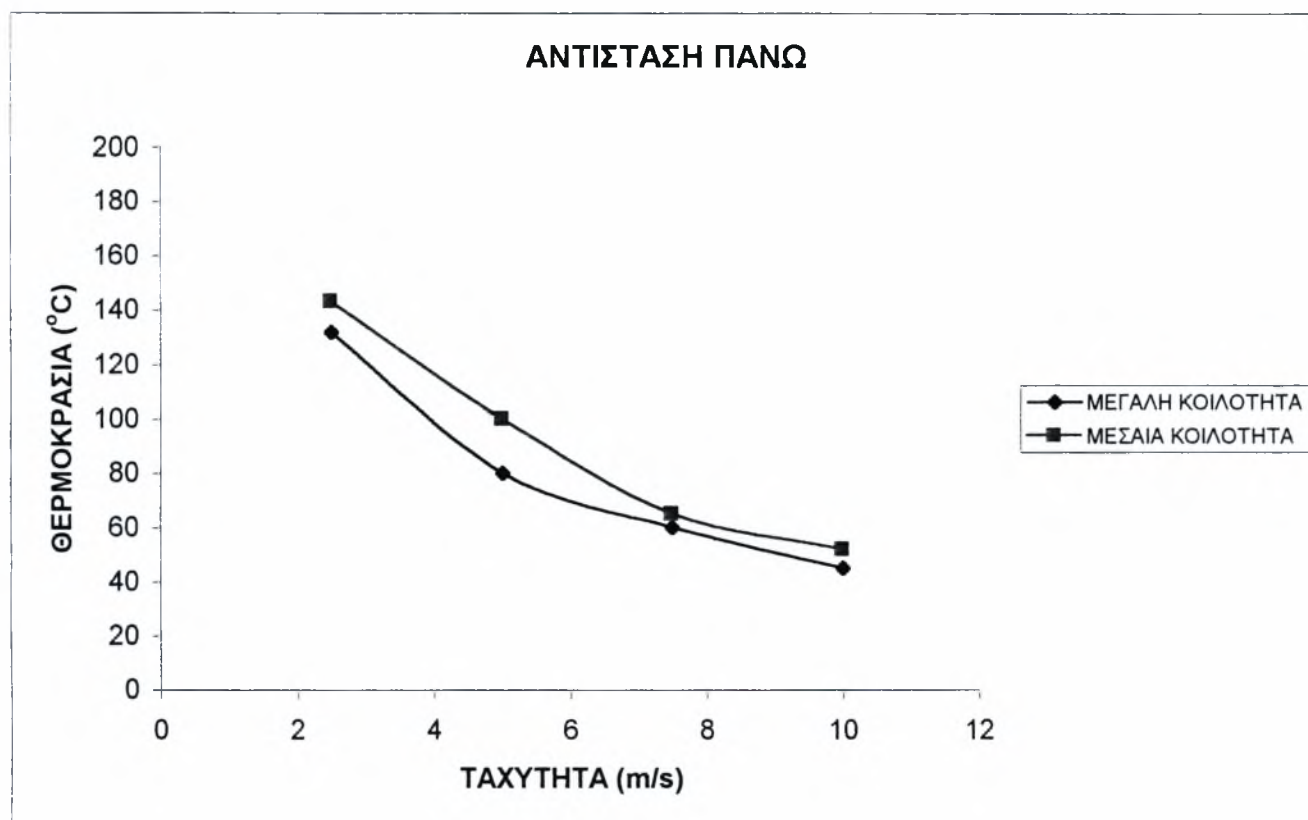


Σχήμα 6.9: Μεταβολή της θερμοκρασίας με την ταχύτητα της ροής

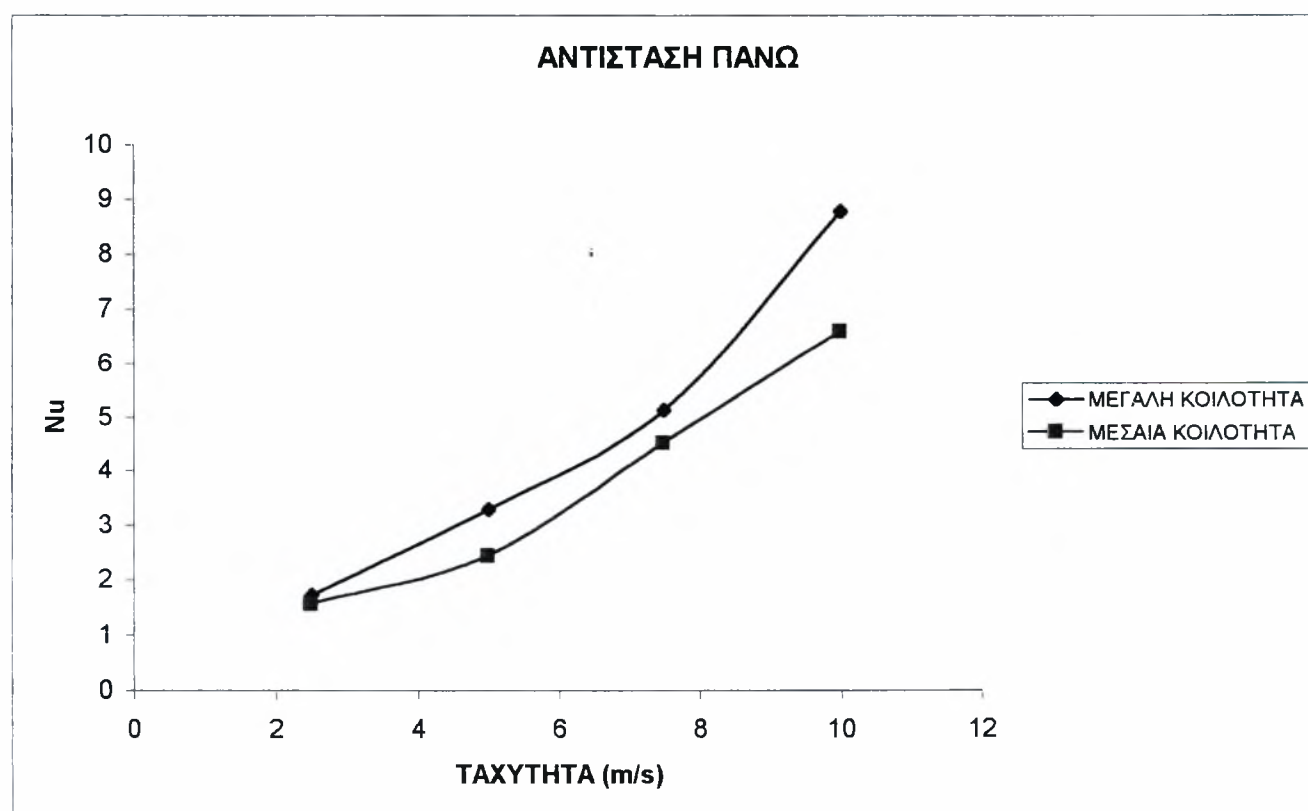


Σχήμα 6.10: Μεταβολή του αριθμού Nusselt με την ταχύτητα της ροής

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται πως τοποθετώντας την αντίσταση στο κέντρο μεγαλύτερες τιμές θερμοκρασίας προέκυψαν όταν βρισκόταν στη μεγάλη κοιλότητα από ότι στη μεσαία. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στη μεγάλη κοιλότητα η αντίσταση βρίσκεται στο κέντρο της δίνης παίρνοντας έτσι πολύ υψηλές τιμές. Από τα διαγράμματα $Nu=f(U)$ φαίνεται πως στην περίπτωση της μεγάλης κοιλότητας η σχέση Nu -ταχύτητας είναι γραμμική με μικρή όμως κλίση. Σχεδόν γραμμική είναι η σχέση και στην περίπτωση της μεσαίας κοιλότητας. Ωστόσο η κλίση εδώ είναι πολύ μεγαλύτερη με αποτέλεσμα να παρατηρείται μεγάλη αύξηση της μεταφοράς θερμότητας με την ταχύτητα.



Σχήμα 6.11:Μεταβολή της θερμοκρασίας με την ταχύτητα της ροής



Σχήμα 6.12:Μεταβολή του αριθμού Nusselt με την ταχύτητα της ροής

Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται πως τοποθετώντας την αντίσταση επάνω μεγαλύτερες τιμές θερμοκρασίας προέκυψαν όταν βρισκόταν στη μεσαία κοιλότητα από ότι στη μεγάλη. Αυτό οφείλεται στη δίνη που διαμορφώνεται στο ύψος της μεσαίας κοιλότητας και είναι υπεύθυνη για τις χαμηλές ταχύτητες αέρα και κατά συνέπεια για τις υψηλές τιμές της θερμοκρασίας της αντίστασης. Έτσι μεγαλύτεροι αριθμοί Nusselt παρατηρούνται στη μεγάλη κοιλότητα χωρίς ωστόσο να υπάρχουν πολύ μεγάλες διαφορές, όπως στην περίπτωση που η αντίσταση βρισκόταν στο κέντρο.

6.3 Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω αποτελέσματα φαίνεται πως η θερμοκρασία επιφάνειας της πηγής εξαρτάται από τη γεωμετρία της κοιλότητας και από τη θέση της πηγής. Έτσι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται στη μεγάλη κοιλότητα όταν η αντίσταση είναι στο κέντρο και στη μεσαία κοιλότητα όταν η αντίσταση είναι στο κάτω μέρος. Αυτά εξηγούνται από το ροϊκό πεδίο μέσα στην κοιλότητα και τις δίνες που διαμορφώνονται σε αυτήν. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει η κοιλότητα η θερμοκρασία επιφάνειας της πηγής είναι αρκετά μικρότερη λόγω των υψηλότερων ταχυτήτων γύρω από την αντίσταση, που συμπεριφέρεται σαν κύλινδρος. Έτσι προκύπτουν μεγαλύτεροι αριθμοί Nusselt με αποτέλεσμα την καλύτερη μεταφορά θερμότητας.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ & ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

1. Όταν χρησιμοποιήθηκε μόνο ο κύλινδρος προέκυψε αριθμός Strouhal με τιμή 0.21, ανεξάρτητα από τη διάμετρο, κάτι το οποίο συμφωνεί με τη βιβλιογραφία.
2. Όταν χρησιμοποιήθηκε μόνο η κοιλότητα ο αριθμός Strouhal κυμαίνονταν από 0.12 έως 0.175 με τη μεγαλύτερη σταθερότητα να παρατηρείται στη μικρή κοιλότητα όπου ήταν περίπου 0.14. Στη βιβλιογραφία ο αριθμός Strouhal για ροή σε κοιλότητα είναι 0.14.
3. Όταν στο πείραμα χρησιμοποιήθηκε και κύλινδρος και κοιλότητα η δυναμική των δινών επηρεάζονταν σχεδόν πάντα από τον κύλινδρο και λιγότερο από την κοιλότητα. Η κοιλότητα ασκούσε μια μικρή επίδραση μόνο στις χαμηλές ταχύτητες. Σε αυτές τις περιπτώσεις δεν υπολογίστηκε ο αριθμός Strouhal αφού στη βιβλιογραφία δεν υπήρχε αναφορά στο χαρακτηριστικό μήκος το οποίο έπρεπε να επιλεγεί.
4. Η θερμοκρασία και η διακύμανση της, εξαρτώνται από τη γεωμετρία της κοιλότητας και τη θέση της αντίστασης. Οι τιμές που προέκυψαν στη μικρή κοιλότητα ήταν πολύ μεγαλύτερες από τις άλλες δύο. Σε σχέση με τη θέση της πηγής οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται όταν είναι τοποθετημένη στο κέντρο της μεγάλης κοιλότητας και όταν είναι στο κάτω μέρος της μεσαίας και της μικρής κοιλότητας.
5. Από τα φάσματα της θερμοκρασίας σε όλες τις κοιλότητες προέκυψε ότι η κλίση του γραφήματος μέσα στην κοιλότητα είναι περίπου $-5/3$ και επομένως η ροή μοιάζει να είναι αρκετά τυρβώδης.
6. Η θερμοκρασία επιφάνειας της πηγής επηρεάζεται από την ταχύτητα της ροής, τη γεωμετρία της κοιλότητας και από τη θέση της πηγής. Ειδικότερα στη μεγάλη κοιλότητα η πηγή έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία όταν είναι τοποθετημένη στο κέντρο, ενώ στη μεσαία όταν είναι τοποθετημένη στο κάτω μέρος της κοιλότητας. Όσο αυξάνεται η ταχύτητα μειώνεται η θερμοκρασία της πηγής.

7. Στο μέλλον θα μπορούσε να πραγματοποιηθούν τα ίδια πειράματα για τις μετρήσεις θερμοκρασιών με την παρουσία κάποιου κυλίνδρου πριν την κοιλότητα έτσι ώστε η ροή να εισέρχεται διαταραγμένη μέσα σε αυτή.
8. Επίσης χρήσιμο είναι να βρεθεί κάποιος τρόπος ώστε να υπολογιστεί ο αριθμός Strouhal όταν στο μοντέλο χρησιμοποιείται και κύλινδρος και κοιλότητα.

Σύγκριση συμπερασμάτων με ανυψωμένη κοιλότητα

Εδώ γίνεται σύγκριση με τα αποτελέσματα που προέκυψαν όταν η κοιλότητα ήταν ανυψωμένη μεταξύ των πλακών (Μόσχος Ιωάννης, 2004. ‘Μεταβολή της διανομής ρυπαντή στο εσωτερικό ορθογωνικών κοιλοτήτων με διαφορετικά διατάματα: Περίπτωση ανυψωμένης κοιλότητας’).

Έτσι στην περίπτωση της ανυψωμένης κοιλότητας προέκυψαν τα εξής:

- Όταν χρησιμοποιήθηκε στο μοντέλο μόνο η κοιλότητα οι αριθμοί Strouhal που προέκυψαν ήταν 0.22 για τη μεγάλη κοιλότητα, 0.25 για τη μεσαία και 0.29 για τη μικρή.
- Και εδώ η δυναμική των δυνάμεων επηρεάζεται περισσότερο από τον κύλινδρο και λιγότερο από την κοιλότητα.
- Η θερμοκρασία παίρνει τις μεγαλύτερες τιμές της στη μικρή κοιλότητα, οι οποίες όμως είναι πολύ μικρότερες από την περίπτωση της βυθισμένης κοιλότητας.
- Η θερμοκρασία και η διακύμανση της μέσα στη κοιλότητα, όπως και η μεταφορά θερμότητας από την πηγή, επηρεάζονται από τη θέση της πηγής και τη γεωμετρία της κοιλότητας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

K	[W/mK]	ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας
f	[Hz]	η συχνότητα απόσπασης των δινών
St		ο αριθμός Strouhal
Re		ο αριθμός Reynolds
Nu		ο αριθμός Nusselt
W	[m]	το πλάτος της κοιλότητας
H	[m]	το ύψος της κοιλότητας
D	[m]	η διάμετρος του κυλίνδρου
U_o	[m/s]	η ταχύτητα του ελεύθερου ρεύματος της ροής
U	[m/s]	η ταχύτητα στο σημείο μέτρησης
T_o	[°C]	η θερμοκρασία του ελεύθερου ρεύματος της ροής
T	[°C]	η θερμοκρασία στο σημείο μέτρησης
T_{rms}	[°C]	η διαταραχή της θερμοκρασίας
(T-T_o)/T_o		αδιάστατη θερμοκρασία
(T_{rms}/T_o)%		αδιάστατη διακύμανση της θερμοκρασίας
P.S.D.		η πυκνότητα φάσματος ισχύος
Q	[Watt]	το θερμικό φορτίο της αντίστασης

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Benson, J.D., Aidun, C.K., 1992. Transition to unsteady nonperiodic state in a trough-flow lid-driven cavity.

Berkowicz, R., 1997. Modeling street canyon pollution: model requirements and expectations. *International Journal of Environment and Pollution* 8 (3-6), 609-619.

Capannelli, G., Gollo, E., Munari, S., Ratto, G., 1977. Nitrogen oxides : analysis of urban pollution in the city of Genoa. *Atmospheric Environment* 11, 719-727.

Chauvet, C., Leit, B., Schatzmann, M., 2001. High resolution flow measurements in an idealised urban street canyon. *Third International Conference on Urban Air Quality*, Loutraki, Greece.

DePaul, F.T., Sheih, C.M., 1985. A tracer study of dispersion in an urban street canyon. *Atmospheric Environment* 19 (4), 555-559.

DePaul, F.T., Sheih, C.M., 1986. Measurements of wind velocities in a street canyon. *Atmospheric Environment* 20 (3), 455-459.

Elgar Peter, 1998. Αισθητήρες μέτρησης και ελέγχου, σελ.158

Eskrlge, R.E., Rao, S.T., 1986. Turbulent diffusion behind Vehicles: experimentally determined turbulence mixing parameters. *Atmospheric Environment* 20, 851-860.

Esteve, M.J., Reulet, P., Millan, P. Flow field characterization within a rectangular cavity.

Gayev, Y.A., Savory, E., 1999. Influence of street obstructions on flow processes within urban canyons. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 82, 89-103.

Gerdes, F., Olivari, D., 1999. Analysis of pollutant dispersion in an urban street canyon. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 82, 105-124.

Holroyd, R.J., 1983. 'On the behaviour of open-topped oil storage tanks in high winds, Part I, Aerodynamics aspects'. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamic*, 12, 329-352, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.

Hoydysh, W.G., Dabberdt, W.F., 1994. Concentration fields at urban intersections: fluid modelling studies. *Atmospheric Environment* 28 (11), 1849-1860.

Huang, C.H., 1979. A theory of dispersion in turbulent shear flow. *Atmospheric Environment* 13, 453-463.

Hunter, L.J., Johnson, G.T., Watson, I.D., 1992. An investigation of three-dimensional characteristics of flow regimes within the urban canyon. *Atmospheric Environment* 26B(4), 425-432

Jeong, S.J., Andrews, M.J., 2002. Application of the k-e turbulence model to the high Reynolds number skimming flow field of an urban street canyon. *Atmospheric Environment* 36, 1137-1145

Jicha, M., Pospisil, J., Katolicky, J., 2000. Dispersion of pollutants in street canyon under traffic induced flow and turbulence. *Environmental Monitoring and Assessment* 65, 343-351.

Johnson, G.T., Hunter, L.J., 1999. Some insights into typical urban canyon airflows. *Atmospheric Environment* 33, 3991-3999.

Jordan, S.A., Ragab, S.A., 1993. On the unsteady and turbulent characteristics of the three dimensional shear- driven cavity flow.

Kirn, J.-J., Baik, J.-J., 2001. Urban street-canyon flows with bottom heating. *Atmospheric Environment* 35, 3395-3404

Kovar-Panskus, A., Moulinneuf, L., Robins, A., Savory, E., Toy, N., 2001a. The influence of solar-induced wall heating on the flow regime within urban street canyons. *Third International Conference on Urban Air Quality, Loutraki, Greece.*

Le Bihan, O., Wahlin, P., Ketzel, M., Palmgren, F., Berkowicz, R., 2001. Application of dispersion modeling for analysis of particle pollution sources in a street canyon. Third International Conference on Urban Air Quality, Loutraki, Greece.

Le Bihan, O., Wahlin, P., Ketzel, M., Palmgren, F., Berkowicz, R., 2001. Application of dispersion modeling for analysis of particle pollution sources in a street canyon. Third International Conference on Urban Air Quality, Loutraki, Greece.

Leiti, B.M., Chauvet, C., Schatzmann, M., 2001. Effects of geometrical simplification and idealization on the accuracy of micro

Lohmeyer, A., Mueller, W.J., Baechlin, W., 2002. A comparison of street canyon concentration predictions by different modelers: final results now available from the Podbi exercise. *Atmospheric Environment* 36, 157-158.

Meroney, R.N. Turbulent diffusion near buildings.

Meroney, R.N., Pavageau, M., Rafailidis, S., Schatzmann, M., 1996. Study of line source characteristics for 2-D physical modeling of pollutant dispersion in street canyons. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 62, 37-56.

Nakamura, Y., Oke, T.R., 1988. Wind, temperature and stability conditions in an east-west oriented urban canyon. *Atmospheric Environment* 22, 2691-2700.

Nicholson, S.E., 1975. A pollution model for street-level air. *Atmospheric Environment* 9, 19-31.

Rafailidis, S., 1997. Influence of building area density and roof shape on the wind characteristics above a town. *Boundary Layer Meteorology* 85, 255-271.

Rafailidis, S., 2000. Near-field geometry effects on urban street canyon measurements for model validation. *International Journal of Environment and Pollution* 14 (1-6), 538-546.

Riain, C.M.N., Fisher, B., Martin, C.J., Littler, J., 1998. Flow field and pollution dispersion in a central London street. *Environmental Monitoring and Assessment* 52, 299 - 314.

Richards, R.F., Young, M.F., Haiad, J.C., 1987. Turbulent forced convection heat transfer from a bottom heated open surface cavity.

Sotiris Vardoulakis .Bernard E.A. Fisher,Koulis Pericleous,Norbert Gonzaiez-Flesca, "Modeling air quality in street canyons :a review"

Tanigugh, Y., Evans, W.J., 1991. Some measurements of the penetration of turbulence into small cavities.

Theurer, W., 1999. Typical building arrangements for urban air pollution modelling. *Atmospheric Environment* 33, 4057-4066.

Vachon, G., Loukci, P., Rosant, J.-M., Mestayer, P., Sini, J.-F., 2001. Measurements of traffic-induced turbulence within a street canyon during the Nantes '99 experiment. *Third International Conference on Urban Air Quality*, Loutraki, Greece.

Vardoulakis, S., Bernard E.A. Fisher, Koulis Pericleous,Norbert Gonzaiez-Flesca, "Modeling air quality in street canyons :a review"

Μπόλωσης Θεόδωρος 2003, Διπλωματική εργασία: “Πειραματική μελέτη του θερμοροϊκού πεδίου εδραζόμενης ορθογωνικής κοιλότητας εγκάρσια σε ασταθή ροή”

Παπαϊωάννου. Θ. Άγγελος, 1996. ‘ Μηχανική των ρευστών’.

Πασπαλάς. Γ. Κωνσταντίνος, 1993. “Μετάδοση θερμότητας”.



