

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ



ΔΙΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΟ-ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΔΑΤΙΚΩΝ ΠΟΡΩΝ»

**ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΡΟΒΟΛΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ
ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΑΚΤΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΙΖΗΜΑΤΟΣ**

ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

**ΕΠΙΣΤΗΜΗ
ΚΑΙ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ
ΥΔΑΤΙΚΩΝ
ΠΟΡΩΝ**

Επιβλέπων: Κ. Μέμος,
Ομότιμος Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, 2019

Ευχαριστίες

Στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας οφείλω να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου , κ. Κωνσταντίνο Μέμο, για την ανάθεση της εργασίας , καθώς και για την συνεχή βοήθεια και καθοδήγηση του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησής της.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και την σύντροφο μου για την στήριξη και την ενθάρρυνση τους σε όλη μου την προσπάθεια.

Με εκτίμηση ,

Βασιλείου Ευάγγελος

Αθήνα ,Ιούνιος 2019

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα Πινάκων	6
Περιεχόμενα Σχημάτων	6
Ορισμός Βασικών Συμβόλων	14
Περίληψη	15
Extended Abstract.....	16
Introduction	16
Theoretical background	16
Groyne System	16
Description of the calculations	17
Conclusion.....	21
Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή.....	23
1.1 Αντικείμενο και σκοπός της μεταπτυχιακής εργασίας.....	23
Κεφάλαιο 2. Παράκτια ζώνη.....	24
2.1 Εισαγωγή.....	24
2.2 Παράκτια Ρεύματα.....	25
2.3 Παράκτια ιζήματα	29
Κεφάλαιο 3. Έργα προστασίας της ακτής - Πρόβολοι.....	33
3.1 Εισαγωγή.....	33
3.2 Πρόβολοι.....	33
3.3 Συστήματα προβόλων διαφορετικών διατάξεων.....	35
Κεφάλαιο 4. Περιγραφή και θεωρητικό υπόβαθρο αριθμητικών μοντέλων	47
4.1 Αριθμητική Προσομοίωση με το Πρόγραμμα MIKE 21 DHI	47
4.2 Εφαρμογή του μοντέλου MIKE 21 Coupled Model FM	64
Κεφάλαιο 5. Αποτελέσματα.....	68
Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα.....	76
6.1 Σύνοψη συμπερασμάτων	76
6.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	77
Βιβλιογραφία.....	78
Παράρτημα	80
Αποτελέσματα αναλύσεων κυματικού μοντέλου	80
Αποτελέσματα αναλύσεων υδροδυναμικού μοντέλου	81
Αποτελέσματα αναλύσεων στερεομεταφοράς και τροποποίησης υψομέτρων πυθμένα .	109

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 2.3.1 : Ταξινόμηση εδαφών ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων (Καραμπάς,2015)....	29
Πίνακας 3.3.1: Παράμετροι κυματικών σεναρίων και κατά μήκος της ακτής στερεομεταφορά. 36	
Πίνακας 3.3.2: Χαρακτηριστικά κυματισμών στη θραύση	37
Πίνακας 3.3.3: Τιμές γεωμετρικού συντελεστή R	39
Πίνακας 5.1: Βαθμός αποδοτικότητας διατάξεων.....	75

Περιεχόμενα Σχημάτων

Σχήμα 2.1 Υποδιαίρεση παράκτιας ζώνης σε επιμέρους τμήματα με βάση τα μορφολογικά χαρακτηριστικά και το τύπο των κυματικών διεργασιών (USACE,2002)	25
Σχήμα 2.2.1 Σχηματοποιημένη αναπαράσταση κυματογενούς ρεύματος (Καραμπάς,2015)	26
Σχήμα 2.2.2 Εγκάρσιο προφίλ του κατά μήκος της ακτής ρεύματος (USASCE,2006).....	27
Σχήμα 2.2.3 Τρισδιάστατο δευτερογενές ρεύμα εγκάρσια στην ακτή (Καραμπάς,2015).....	28
Σχήμα 2.2.4 Βελοειδής ρεύματα στην παράκτια ζώνη (USACE,2002)	28
Σχήμα 2.3.1 Συνιστώσες στερεομεταφοράς: παράλληλη (qx) και κάθετη (qy) στην ακτή (USACE, 2006)	30
Σχήμα 2.3.2 Επίδραση της ασυμμετρίας του κυματισμού στη μέση στερεοπαροχή (Καραμπάς,2015)	31
Σχήμα 3.2.1 Τυπική διατομή προβόλου (Coghlan et al 2013)	34
Σχήμα 3.2.2 Μορφή της ακτογραμμής με εγκάρσιους προβόλους για μια ή διάφορες διευθύνσεις κυματισμών. (Leo C. van Rijn,2013).....	35
Σχήμα 3.3.1 Μήκος προβόλου σε σχέση με τα πλάτη της ζώνης θραύσης	38
Σχήμα 3.3.2 Μορφές ροής σε πεδίο με προβόλους (Predwojski, 1995).....	39
Σχήμα 3.3.3 Σύστημα εγκάρσιων προβόλων λόγου R = 2.....	40
Σχήμα 3.3.4 Σύστημα εγκάρσιων προβόλων λόγου R = 1.33.....	41
Σχήμα 3.3.5 Σύστημα εγκάρσιων προβόλων λόγου R = 1.....	42
Σχήμα 3.3.6 Σύστημα εγκάρσιων προβόλων λόγου R = 0.8.....	42
Σχήμα 3.3.7 Σύστημα εγκάρσιων προβόλων λόγου R = 0.66.....	43
Σχήμα 3.3.8 Σύστημα εγκάρσιων προβόλων λόγου R = 0.57.....	43
Σχήμα 3.3.9 Σύστημα εγκάρσιων προβόλων λόγου R = 0.50.....	44
Σχήμα 3.3.10 Σύστημα εγκάρσιων προβόλων λόγου R = 0.44.....	44
Σχήμα 3.3.11 Σύστημα εγκάρσιων προβόλων λόγου R = 0.40.....	45
Σχήμα 3.3.12 Σύστημα εγκάρσιων προβόλων λόγου R = 0.36.....	45
Σχήμα 3.3.13 Σύστημα εγκάρσιων προβόλων λόγου R = 0.33.....	46
Σχήμα 3.3.14 Σύστημα εγκάρσιων προβόλων λόγου R = 0.30.....	46
Σχήμα 4.2 Εισαγωγή περιοχής μελέτης με τα εγκάρσια έργα	64
Σχήμα 4.3 Τομές πυθμένα κατά μήκος της ακτογραμμής	67
Σχήμα 5.1 Εγκάρσιο προφίλ του κατά μήκος της ακτής ρεύματος.....	69
Σχήμα 5.2 Μέση μετατόπιση της ακτογραμμής για τις τιμές του γεωμετρικού συντελεστή $R=L_g/L_f$ για σύστημα 2 προβόλων	69

Σχήμα 5.3 Μέση μετατόπιση της ακτογραμμής για τις τιμές του γεωμετρικού συντελεστή $R=L_g/L_f$ για σύστημα 3 ^{ων} προβόλων	70
Σχήμα 5.4 Μέση μετατόπιση της ακτογραμμής για τις τιμές του γεωμετρικού συντελεστή $R=L_g/L_f$ για σύστημα 4 ^{ων} προβόλων	70
Σχήμα 5.5 Μορφές ροής στα πεδία των προβόλων ανάλογα με την απόσταση μεταξύ τους.....	71
Σχήμα 5.6 Υδροδυναμικό πεδίο με σχηματοποιημένη μορφή ροής τύπου 2 εντός του πεδίου των προβόλων για $R=1$	72
Σχήμα 5.7 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για σχηματοποιημένη μορφή ροής υδροδυναμικού πεδίου τύπου 2 εντός του πεδίου των προβόλων για $R=1$	72
Σχήμα 5.9 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για μη σχηματοποιημένη μορφή ροής υδροδυναμικού πεδίου εντός του πεδίου των προβόλων για $R=0.67$	73
Σχήμα A.1 Κυματικό πεδίο ακτής χωρίς προβόλους και $H_s = 1.5m$	80
Σχήμα A.2 Κυματικό πεδίο ακτής χωρίς προβόλους και $H_s = 1m$	80
Σχήμα A.3 Υδροδυναμικό πεδίο ακτής χωρίς προβόλους και $H_s = 1.5m$	81
Σχήμα A.4 Υδροδυναμικό πεδίο ακτής χωρίς προβόλους και $H_s = 1m$	81
Σχήμα A.5 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=2$ και $H_s = 1.5m$ για 2 προβόλους (Τύπος 1)	82
Σχήμα A.6 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=2$ και $H_s = 1.5m$ για 3 προβόλους (Τύπος 1)	82
Σχήμα A.7 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=2$ και $H_s = 1.5m$ για 4 προβόλους (Τύπος 1)	83
Σχήμα A.8 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=2$ και $H_s = 1m$ για 2 προβόλους (Τύπος 1)	83
Σχήμα A.9 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=2$ και $H_s = 1m$ για 3 προβόλους (Τύπος 1)	84
Σχήμα A.10 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=2$ και $H_s = 1m$ για 4 προβόλους (Τύπος 1)	84
Σχήμα A.11 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=1.33$ και $H_s = 1.5m$ για 2 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος)	85
Σχήμα A.12 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=1.33$ και $H_s = 1.5m$ για 3 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος)	85
Σχήμα A.13 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=1.33$ και $H_s = 1.5m$ για 2 προβόλους (Τύπος 2)	86
Σχήμα A.14 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=1.33$ και $H_s = 1m$ για 2 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος)	86
Σχήμα A.15 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=1.33$ και $H_s = 1m$ για 3 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος)	87
Σχήμα A.16 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=1.33$ και $H_s = 1m$ για 4 προβόλους (Τύπος 2)	87
Σχήμα A.17 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=1$ και $H_s = 1.5m$ για 2 προβόλους (Τύπος 2)	88
Σχήμα A.18 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=1$ και $H_s = 1.5m$ για 3 προβόλους (Τύπος 2)	88
Σχήμα A.19 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=1$ και $H_s = 1.5m$ για 4 προβόλους (Τύπος 2)	89

Σχήμα A.20 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=1$ και $H_s = 1\text{m}$ για 2 προβόλους (Τύπος 2).....	89
Σχήμα A.21 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=1$ και $H_s = 1\text{m}$ για 3 προβόλους (Τύπος 2).....	90
Σχήμα A.22 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=1$ και $H_s = 1\text{m}$ για 4 προβόλους (Τύπος 2).....	90
Σχήμα A.23 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.8$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 2 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 2).....	91
Σχήμα A.24 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.8$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 3 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 2).....	91
Σχήμα A.25 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.8$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 4 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3).....	92
Σχήμα A.26 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.8$ και $H_s = 1\text{m}$ για 2 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3).....	92
Σχήμα A.27 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.8$ και $H_s = 1\text{m}$ για 3 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 2).....	92
Σχήμα A.28 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.8$ και $H_s = 1\text{m}$ για 4 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 2).....	93
Σχήμα A.29 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.67$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 2 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3).....	93
Σχήμα A.30 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.67$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 3 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος).....	93
Σχήμα A.31 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.67$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 4 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος).....	94
Σχήμα A.32 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.67$ και $H_s = 1\text{m}$ για 2 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3).....	94
Σχήμα A.33 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.67$ και $H_s = 1\text{m}$ για 3 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3).....	94
Σχήμα A.34 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.67$ και $H_s = 1\text{m}$ για 4 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος).....	95
Σχήμα A.35 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.57$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 2 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3).....	95
Σχήμα A.36 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.57$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 3 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3).....	95
Σχήμα A.37 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.57$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 4 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος).....	96
Σχήμα A.38 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.57$ και $H_s = 1\text{m}$ για 2 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος).....	96
Σχήμα A.39 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.57$ και $H_s = 1\text{m}$ για 3 προβόλους (Κοντά σε τύπο 3).....	96
Σχήμα A.40 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.57$ και $H_s = 1\text{m}$ για 4 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος).....	97
Σχήμα A.41 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.5$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 2 προβόλους (Τύπος 3).....	97

Σχήμα A.42 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.5$ και $H_s = 1.5m$ για 3 προβόλους (Τύπος 3).....	97
Σχήμα A.43 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.5$ και $H_s = 1.5m$ για 4 προβόλους (Τύπος 3).....	98
Σχήμα A.44 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.5$ και $H_s = 1m$ για 2 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3).....	98
Σχήμα A.45 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.5$ και $H_s = 1m$ για 3 προβόλους (Τύπος 3).....	98
Σχήμα A.46 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.5$ και $H_s = 1m$ για 4 προβόλους (Τύπος 3).....	99
Σχήμα A.47 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.44$ και $H_s = 1.5m$ για 2 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος).....	99
Σχήμα A.48 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.44$ και $H_s = 1.5m$ για 3 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος).....	99
Σχήμα A.49 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.44$ και $H_s = 1.5m$ για 4 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος).....	100
Σχήμα A.50 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.44$ και $H_s = 1m$ για 2 προβόλους (Κοντά σε τύπο 3).....	100
Σχήμα A.51 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.44$ και $H_s = 1m$ για 3 προβόλους (Κοντά σε τύπο 3).....	100
Σχήμα A.52 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.44$ και $H_s = 1m$ για 4 προβόλους (Κοντά σε τύπο 3).....	101
Σχήμα A.53 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.4$ και $H_s = 1.5m$ για 2 προβόλους (Ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα).....	101
Σχήμα A.54 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.4$ και $H_s = 1.5m$ για 3 προβόλους (Κοντά σε τύπο 3).....	101
Σχήμα A.55 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.4$ και $H_s = 1.5m$ για 4 προβόλους (Ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα).....	102
Σχήμα A.56 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.4$ και $H_s = 1m$ για 2 προβόλους (Τύπος 3).....	102
Σχήμα A.57 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.4$ και $H_s = 1m$ για 3 προβόλους (Τύπος 3).....	102
Σχήμα A.58 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.4$ και $H_s = 1m$ για 4 προβόλους (Τύπος 3).....	103
Σχήμα A.59 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.36$ και $H_s = 1.5m$ για 2 προβόλους (Ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα).....	103
Σχήμα A.60 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.36$ και $H_s = 1.5m$ για 3 προβόλους (Τύπος 3).....	103
Σχήμα A.61 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.36$ και $H_s = 1.5m$ για 4 προβόλους (Ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα).....	104
Σχήμα A.62 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.36$ και $H_s = 1m$ για 2 προβόλους (Ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα).....	104
Σχήμα A.63 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.36$ και $H_s = 1m$ για 3 προβόλους (Ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα).....	104

Σχήμα A.64 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.36$ και $H_s = 1m$ για 4 προβόλους (Ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα).....	105
Σχήμα A.65 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.33$ και $H_s = 1.5m$ για 2 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3)	105
Σχήμα A.66 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.33$ και $H_s = 1.5m$ για 3 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος)	105
Σχήμα A.67 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.33$ και $H_s = 1.5m$ για 4 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3)	106
Σχήμα A.68 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.33$ και $H_s = 1m$ για 2 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3)	106
Σχήμα A.69 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.33$ και $H_s = 1m$ για 3 προβόλους (Ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα)	106
Σχήμα A.70 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.33$ και $H_s = 1m$ για 4 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3)	107
Σχήμα A.71 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.3$ και $H_s = 1.5m$ για 2 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3)	107
Σχήμα A.72 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.3$ και $H_s = 1.5m$ για 3 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3)	107
Σχήμα A.73 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.3$ και $H_s = 1.5m$ για 4 προβόλους (Ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα)	108
Σχήμα A.74 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.3$ και $H_s = 1m$ για 2 προβόλους (Ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα)	108
Σχήμα A.75 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.3$ και $H_s = 1m$ για 3 προβόλους (Ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα)	108
Σχήμα A.76 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.3$ και $H_s = 1m$ για 4 προβόλους (Ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα)	109
Σχήμα A.77 Αρχική βαθυμετρία περιοχής μελέτης.....	109
Σχήμα A.78 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για $H_s = 1.5m$ χωρίς προβόλους	109
Σχήμα A.79 Βαθυμετρία περιοχής μελέτης για $H_s=1.5m$ χωρίς προβόλους	110
Σχήμα A.82 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=2$ και $H_s = 1.5m$ για 2 προβόλους	110
Σχήμα A.83 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=2$ και $H_s = 1.5m$ για 3 προβόλους	111
Σχήμα A.84 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=2$ και $H_s = 1.5m$ για 4 προβόλους	111
Σχήμα A.85 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=2$ και $H_s = 1m$ για 2 προβόλους	111
Σχήμα A.86 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=2$ και $H_s = 1m$ για 3 προβόλους	112
Σχήμα A.87 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=2$ και $H_s = 1m$ για 4 προβόλους	112
Σχήμα A.88 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=1.33$ και $H_s = 1.5m$ για 2 προβόλους	112

Σχήμα A.89 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=1.33$ και $H_s = 1.5m$ για 3 προβόλους	113
Σχήμα A.90 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=1.33$ και $H_s = 1.5m$ για 4 προβόλους	113
Σχήμα A.91 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=1.33$ και $H_s = 1m$ για 2 προβόλους	113
Σχήμα A.92 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=1.33$ και $H_s = 1m$ για 3 προβόλους	114
Σχήμα A.93 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=1.33$ και $H_s = 1m$ για 4 προβόλους	114
Σχήμα A.94 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=1$ και $H_s = 1.5m$ για 2 προβόλους	114
Σχήμα A.95 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=1$ και $H_s = 1.5m$ για 3 προβόλους	115
Σχήμα A.96 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=1$ και $H_s = 1.5m$ για 4 προβόλους	115
Σχήμα A.97 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=1$ και $H_s = 1m$ για 2 προβόλους	115
Σχήμα A.98 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=1$ και $H_s = 1m$ για 3 προβόλους	116
Σχήμα A.99 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=1$ και $H_s = 1m$ για 2 προβόλους	116
Σχήμα A.100 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.8$ και $H_s = 1.5m$ για 2 προβόλους	116
Σχήμα A.101 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.8$ και $H_s = 1.5m$ για 3 προβόλους	117
Σχήμα A.102 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.8$ και $H_s = 1.5m$ για 4 προβόλους	117
Σχήμα A.103 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.8$ και $H_s = 1m$ για 2 προβόλους	117
Σχήμα A.104 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.8$ και $H_s = 1m$ για 3 προβόλους	118
Σχήμα A.105 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.8$ και $H_s = 1m$ για 4 προβόλους	118
Σχήμα A.106 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.67$ και $H_s = 1.5m$ για 2 προβόλους	118
Σχήμα A.107 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.67$ και $H_s = 1.5m$ για 3 προβόλους	119
Σχήμα A.108 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.67$ και $H_s = 1.5m$ για 4 προβόλους	119
Σχήμα A.109 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.67$ και $H_s = 1m$ για 2 προβόλους	120
Σχήμα A.110 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.67$ και $H_s = 1m$ για 3 προβόλους	120

Σχήμα A.111 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.67$ και $H_s = 1\text{m}$ για 4 προβόλους	120
Σχήμα A.112 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.57$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 2 προβόλους	121
Σχήμα A.113 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.57$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 3 προβόλους	121
Σχήμα A.114 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.57$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 4 προβόλους	121
Σχήμα A.115 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.57$ και $H_s = 1\text{m}$ για 2 προβόλους	122
Σχήμα A.116 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.57$ και $H_s = 1\text{m}$ για 3 προβόλους	122
Σχήμα A.117 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.57$ και $H_s = 1\text{m}$ για 4 προβόλους	122
Σχήμα A.118 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.5$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 2 προβόλους	123
Σχήμα A.119 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.5$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 3 προβόλους	123
Σχήμα A.120 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.5$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 4 προβόλους	124
Σχήμα A.121 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.5$ και $H_s = 1\text{m}$ για 2 προβόλους	124
Σχήμα A.122 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.5$ και $H_s = 1\text{m}$ για 3 προβόλους	125
Σχήμα A.123 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.5$ και $H_s = 1\text{m}$ για 4 προβόλους	125
Σχήμα A.124 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.44$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 2 προβόλους	126
Σχήμα A.125 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.44$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 3 προβόλους	126
Σχήμα A.126 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.44$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 4 προβόλους	127
Σχήμα A.127 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.44$ και $H_s = 1\text{m}$ για 2 προβόλους	127
Σχήμα A.128 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.44$ και $H_s = 1\text{m}$ για 3 προβόλους	127
Σχήμα A.129 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.44$ και $H_s = 1\text{m}$ για 4 προβόλους	128
Σχήμα A.130 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.4$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 2 προβόλους	128
Σχήμα A.131 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.4$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 3 προβόλους	129
Σχήμα A.132 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.4$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 4 προβόλους	129

Σχήμα A.133 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.4$ και $H_s = 1\text{m}$ για 2 προβόλους	129
Σχήμα A.134 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.4$ και $H_s = 1\text{m}$ για 3 προβόλους	130
Σχήμα A.135 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.4$ και $H_s = 1\text{m}$ για 4 προβόλους	130
Σχήμα A.136 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.36$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 2 προβόλους	131
Σχήμα A.137 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.36$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 3 προβόλους	131
Σχήμα A.138 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.36$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 4 προβόλους	132
Σχήμα A.139 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.36$ και $H_s = 1\text{m}$ για 2 προβόλους	132
Σχήμα A.140 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.36$ και $H_s = 1\text{m}$ για 3 προβόλους	132
Σχήμα A.141 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.36$ και $H_s = 1\text{m}$ για 4 προβόλους	133
Σχήμα A.142 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.33$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 2 προβόλους	133
Σχήμα A.143 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.33$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 3 προβόλους	134
Σχήμα A.144 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.33$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 4 προβόλους	134
Σχήμα A.145 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.33$ και $H_s = 1\text{m}$ για 2 προβόλους	134
Σχήμα A.146 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.33$ και $H_s = 1\text{m}$ για 3 προβόλους	135
Σχήμα A.147 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.33$ και $H_s = 1\text{m}$ για 4 προβόλους	135
Σχήμα A.148 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.3$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 2 προβόλους	136
Σχήμα A.149 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.3$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 3 προβόλους	136
Σχήμα A.150 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.3$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 4 προβόλους	136
Σχήμα A.151 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.3$ και $H_s = 1\text{m}$ για 2 προβόλους	137
Σχήμα A.152 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.3$ και $H_s = 1\text{m}$ για 3 προβόλους	137
Σχήμα A.153 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.3$ και $H_s = 1\text{m}$ για 4 προβόλους	137

Ορισμός Βασικών Συμβόλων

C : Ταχύτητα διάδοσης κυματισμών (m/s)

D₅₀: Μέση διάμετρος κόκκων ιζήματος ακτής (m)

d : Βάθος (m)

d_b: Βάθος θραύσης (m)

H_b: Ύψος κύματος θραύσης (m)

H_s: Χαρακτηριστικό ύψος κύματος (m)

m: Κλίση πυθμένα

L_g: Μήκος Προβόλου (m)

L_f: Απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών προβόλων (m)

L_s: Μήκος κύματος (m)

Q_i: Κατά μήκος της ακτής στερεομεταφορά (m³/yr)

R : Γεωμετρικός λόγος μήκους προβόλου προς απόσταση δύο διαδοχικών προβόλων

T_p: Περίοδος κορυφής φάσματος (s)

V_c: Ταχύτητα ρεύματος (m/s)

X_b: Πλάτος ζώνης θραύσης (m)

α: Γωνία διεύθυνσης κύματος (°)

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η εξαγωγή ενός συμβουλευτικού εγχειριδίου γεωμετρικών χαρακτηριστικών, προς μελετητές και κατασκευαστές μηχανικούς, που έχουν ως αντικείμενο την μελέτη και κατασκευή εγκάρσιων στην ακτή έργων. Μελετάται η επίδραση συστημάτων προβόλων διαφορετικών ως προς την απόσταση μεταξύ τους διαστάσεων στην μεταφορά φερτών ιζημάτων στην ακτογραμμή, για διάφορα κυματικά σενάρια.

Αρχικά γίνεται περιγραφή της παράκτιας ζώνης και των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα σε αυτήν. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στους τύπους ρευμάτων που παρατηρούνται στα ρηχά ύδατα και είναι υπεύθυνα για την παράλληλη ως προς την ακτή στερεομεταφορά. Επίσης αναφέρονται συνοπτικά τα χαρακτηριστικά των παράκτιων ιζημάτων και οι μηχανισμοί στερεομεταφοράς.

Στην συνέχεια περιγράφεται αναλυτικά η λειτουργία και οι βασικές παράμετροι ενός συστήματος προβόλων καθώς και οι υπολογισμοί που προηγήθηκαν για την μελέτη των διατάξεων αυτών. Έπειτα εφαρμόζονται τρία αριθμητικά μοντέλα –κυματικό (SW), υδροδυναμικό (HD) και στερεομεταφοράς (ST)- του εμπορικού υπολογιστικού πακέτου MIKE21 του Danish Hydraulic Institute (DHI) για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Επιπλέον, από τα αποτελέσματα των αναλύσεων του MIKE 21 παράγονται διαγράμματα καθώς και ένας συγκεντρωτικός πίνακας των αποδόσεων ως προς την εξέλιξη της ακτογραμμής, που αποτελούν μια ποιοτική προσέγγιση για την βέλτιστη απόσταση ενός συστήματος προβόλων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως συμβουλευτικά εργαλεία για ακτομηχανικούς.

Συμπερασματικά από τα αποτελέσματα του MIKE 21 προκύπτει ότι η βέλτιστη απόσταση μεταξύ των κενών των προβόλων είναι ανάμεσα σε 2 με 0.5 φορές το μήκος τους. Τέλος αν λάβουμε ως γνώμονα μόνο την διάβρωση σε μια ακτή από το κατά μήκος της ακτής ρεύμα, όλες οι διατάξεις προβόλων αποδίδουν με αποτέλεσμα την σταθεροποίηση της ακτογραμμής, σε σύγκριση με την υφιστάμενη κατάσταση της ακτής όπου δεν υπήρχαν παρεμβάσεις και παρατηρούνταν διάβρωση.

Extended Abstract

Introduction

The purpose of this postgraduate thesis is to draw up a manual of geometrical characteristics to engineers who have as their object the study and construction of cross-shore structures. The change in the morphology of a shoreline is affected in the short and long term by the ripples and currents that contribute to it. The cross-shore structures are built with the first aim of protecting against erosion and secondly the advancement of the shoreline. For this reason, it is being investigated that optimization of groyne system in order to maximize efficiency in the transport of sediment to the coast. Different types of groyne system (different length and space between them) are designed and the regime of sediment transport is being investigated in detail. Different types of groyne system (different space between them) are designed and the regime of sediment transport is being investigated in detail. Moreover, the computational program MIKE21 of Danish Hydraulic Institute (DHI) is used for the simulation of wave propagation, current flow and sediment transport and the comparison of the results as well.

Theoretical background

Wave action is the main factor of the sediment transport, while afterwards the longshore currents are responsible for their horizontal transport, because the longshore currents generated by wave breaking. Sediment transport can be divided into three modes, the suspended load, which involves the sediment in suspension, the bed load which is in continuous contact with the bed and the wash load that consist of very small particles transported with water motion.

Groyne System

Groynes are the oldest type of coastal protection structures, effective against erosion in areas where longshore sediment transport rate is great. The optimization of the groynes system for sediment transport will be explored by the effect of the groynes geometry change, keeping the length (L_g) of the groynes stable, the research focuses on the variation of the distance between the goynes (L_f). The results from different scenarios are presented in figures which can be used for the selection of the most optimum system. This will result in the differentiation of the flow types that develop into the hydrodynamic field within the groynes from the flow of the long-shore current entering it. In turn, the flows are the ones that direct the suspended load and the sediment bed load to the various locations on the coast. The range of distances L_f was selected from 20 to 130 meters, with the basic criterion being the ability to construct all the systems to be explored on the respective beach. Table 1 shows the ratio $R = L_g / L_f$, which eventually range from 0.3 to 2.

Table 1: Geometric values of coefficient R

L_g (m)	L_f (m)	$R=L_g/L_f$
40	20	2.00
40	30	1.33
40	40	1.00
40	50	0.80
40	60	0.66
40	70	0.57
40	80	0.50
40	90	0.44
40	100	0.40
40	110	0.36
40	120	0.33
40	130	0.30

Description of the calculations

Input Data

The input data in the sediment transport model are as follows:

Wave model: The waves characteristics are $T=6s$, $H_s=1m$ and $1.5m$, with a northwest wind direction 45° and slope=4% of the shore.

Sediment model: It consist of lowest size particles of sand, with $d_{50}=0.2$ mm and $\rho_s=2650kg/m^3$

Results

Based on the analysis of MIKE 21 HD, the values of the long shore current were calculated, which affect the coast for the two analyzed waveforms $H_s = 1$ m and $H_s = 1.5$ m, as shown in Figure 1 their cross-sectional distribution. With these results, the average velocity of the long-shore current V_c were calculated for each of the two cross-profiles, where for $H_s = 1$ m the mean velocity of the long-shore current produced the shore was $V_c = 0.23$ m / s and for $H_s = 1.5$ m the average speed of the current produced along the shore is $V_c = 0.45$ m / s.

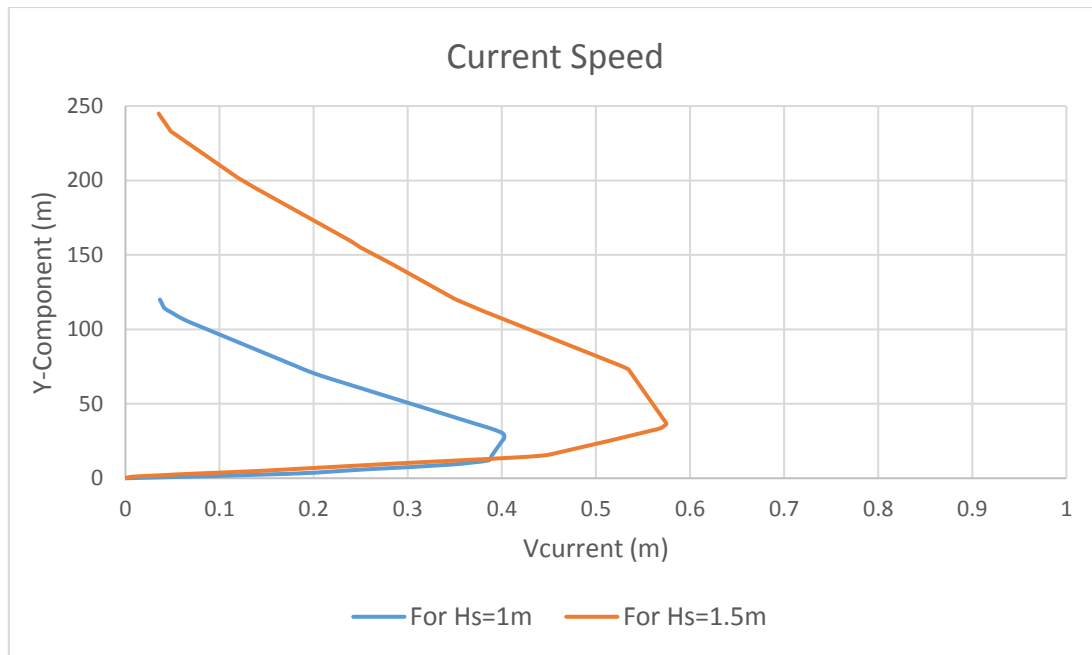


Figure 1: Cross-shore profile for the long-shore current

The Figures 2, 3, and 4 presents the results obtained from the analysis the MIKE 21 sediment transport model. The values on the horizontal axis relate to the geometric coefficient R (length of Groyne divided with the distance from the downstream Groyne), while on the vertical axis the average coastline advancement in meters, where the mean advancement was calculated based on the cross-sections made at the bottom of the shore per 10 meters.

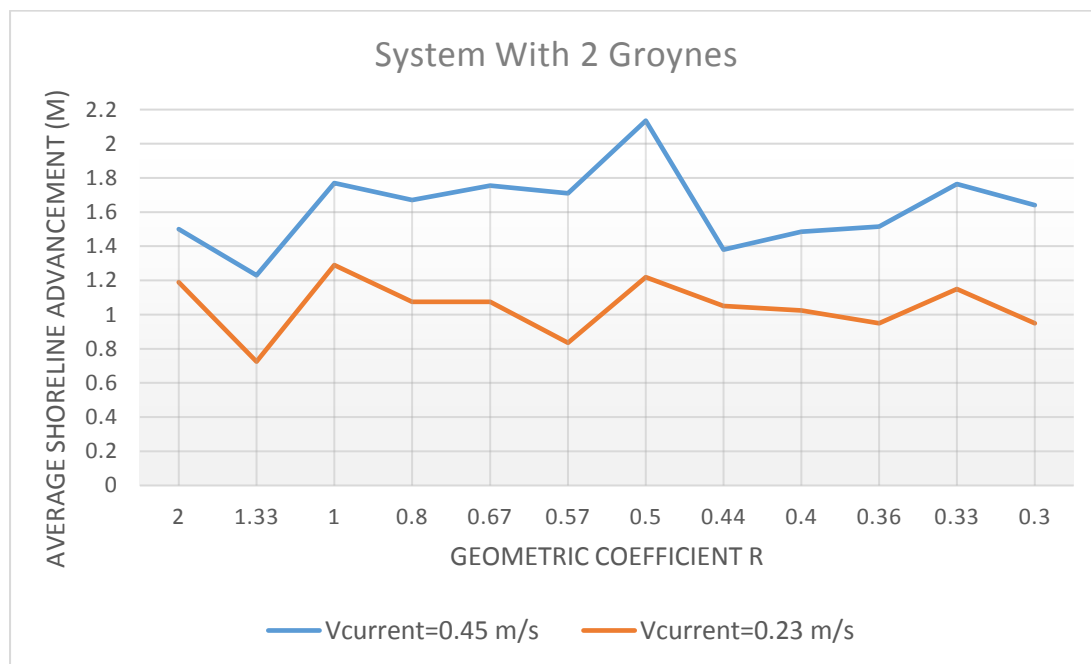


Figure 2: Average shoreline advancement for system with 2 groynes

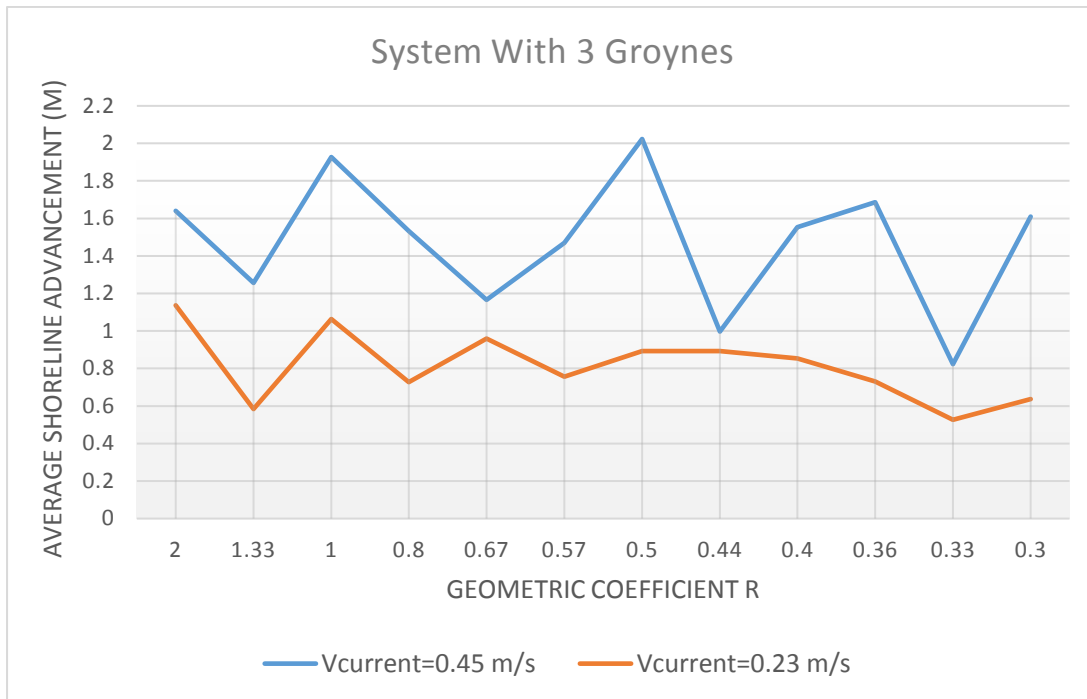


Figure 3: Average shoreline advancement for system with 3 groynes

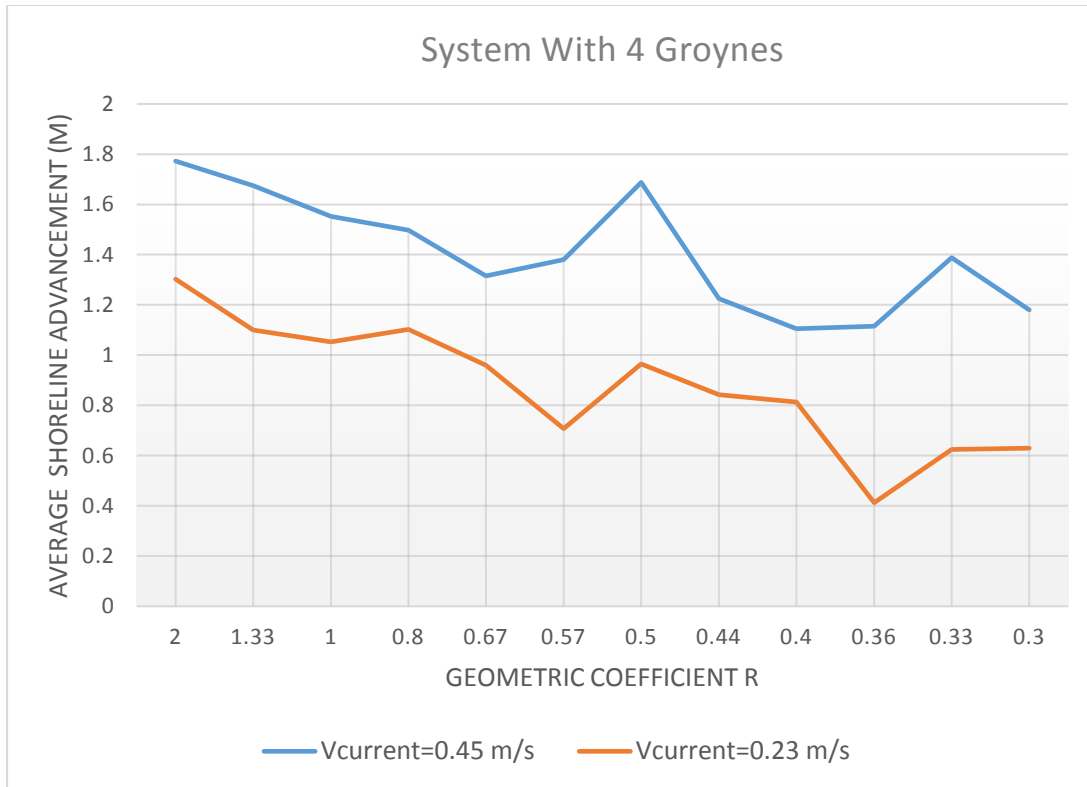


Figure 4: Average shoreline advancement for system with 4 groynes

The analysis of MIKE 21 ST revealed the new bathymetry of the systems following the wave events that took place, based on the cross-sections made along the coastline (Figure 5), the mean advancement of the coastline to the shallows was calculated. The comparisons of the displacement shoreline values for each system, resulted in the degree of efficiency for each geometry coefficient R. The table 2 summarizes the degree of efficiency of the systems, which is classified into low, medium and high efficiency classes according to the number of the Groynes and the R factor.

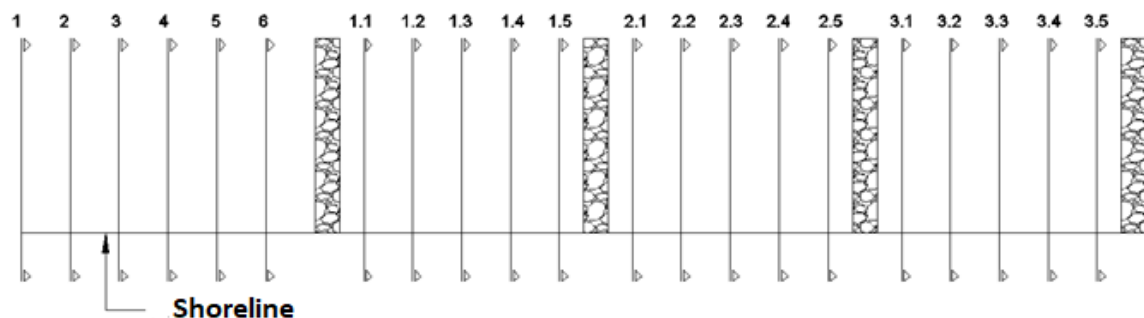


Figure 5: Cross-sections made along the coastline

Table 2: Degree of the efficiency for groynes system

Efficiency Measure	Low Efficiency		Medium Efficiency		High Efficiency	
Geometric Coefficient	System with 2 Groynes		System with 3 Groynes		System with 4 Groynes	
$R=L_g/L_d$	Hs=1m	Hs=1.5m	Hs=1m	Hs=1.5m	Hs=1m	Hs=1.5m
R= 0.30	Low	Medium	Low	Medium	Low	Low
R=0.33	High	Medium	Low	Low	Low	Medium
R=0.36	Low	Low	Low	High	Low	Low
R=0.4	Medium	Low	Medium	Medium	Medium	Low
R=0.44	Medium	Low	Medium	Low	Medium	Low
R=0.5	High	High	High	High	Medium	High
R=0.57	Low	High	Medium	Medium	Low	Medium
R=0.67	Medium	High	High	Low	Medium	Medium
R=0.8	Medium	Medium	Medium	Medium	High	Medium
R=1	High	High	High	High	High	High
R=1.33	Low	Low	Low	Low	High	High
R=2	High	Medium	High	High	High	High

Conclusion

The optimization of the groynes system arrangements was carried out in order to achieve as much efficiency as possible in the transport of sediment to the shore. Highest efficiency rates for most of the system and wave characteristics are observed when the distance between the groyne ranges from 2 to 0.5 times the length of groynes. In the majority of systems, when the distance between the groynes exceeds twice the length of their, the system ceases to behave as a single one and each groynes operates individual. There is no uniformity between adjacent values of the R coefficient in terms of the degree of sediment transport efficiency. Tand because all of the arrangements do not form satisfactorily one of the three types of flow (Figure 6) in their hydrodynamic field (Figure 7) in order for the sediment to be trapped in the gaps of the brackets (Figure 8) and do not move downstream. Finally, the closer the distances between the groynes are, the better distribution exists in the sharing of sediment within their fields.

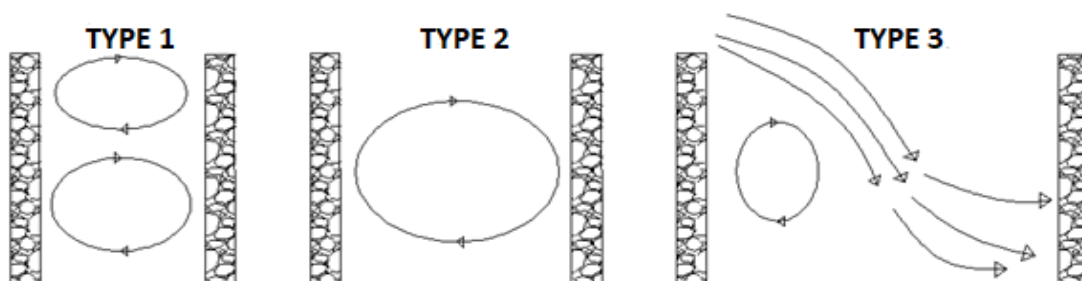


Figure 6: Types of flow inside the fields

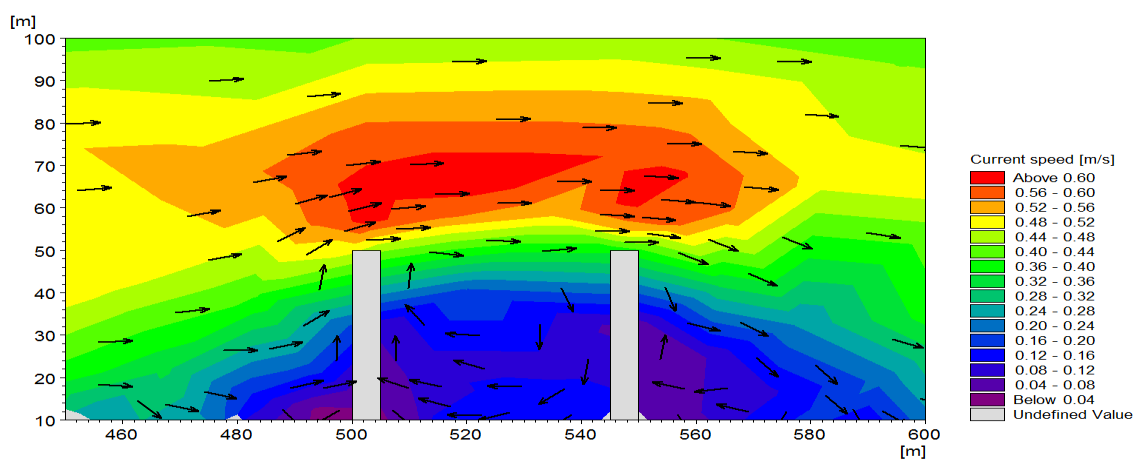


Figure 7: Hydrodynamic field with second type of flow

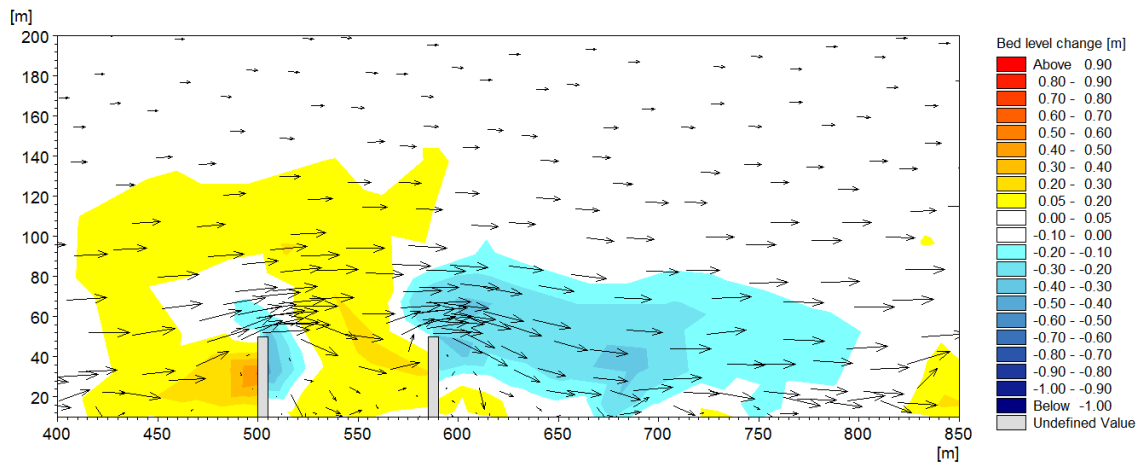


Figure 8: Bed level change and sediment transport produced by second type flow of hydrodynamic field

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο και σκοπός της μεταπτυχιακής εργασίας

Αντικείμενο και σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας είναι η εξαγωγή ενός συμβουλευτικού εγχειριδίου γεωμετρικών χαρακτηριστικών, προς μελετητές και κατασκευαστές μηχανικούς, που έχουν ως αντικείμενο την μελέτη και κατασκευή εγκάρσιων στην ακτή έργων. Η μεταβολή της μορφολογίας μιας ακτογραμμής επηρεάζεται βραχυχρόνια καθώς και μακροχρόνια από τους κυματισμούς και τα ρεύματα που συμβάλλουν σε αυτήν. Τα εγκάρσια προς την ακτή έργα λοιπόν κατασκευάζονται με πρώτο στόχο την προστασία από την διάβρωση και σαν δεύτερο στόχο την εξέλιξη της ακτογραμμής. Ερευνάται λοιπόν η βελτιστοποίηση των διατάξεων συστημάτων προβόλων ως προς την απόσταση μεταξύ τους, ώστε να υπάρχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αποδοτικότητα στην μεταφορά φερτών υλών στην ακτή. Δεδομένου ότι τα ακτομηχανικά έργα είναι μεγάλης κλίμακας έργα και τυχόν λάθος εκτιμήσεις μπορεί να επιφέρουν μη αναστρέψιμες επιπτώσεις στο παράκτιο περιβάλλον, κρίνεται σκόπιμο το να εξαχθεί ένα συμβουλευτικό εγχειρίδιο, αποτελούμενο από διαγράμματα και πίνακες που θα παρουσιάζουν τις βέλτιστες κατασκευαστικές λύσεις πριν το σχεδιασμό κάποιο εγκάρσιου έργου, ανάλογα με την χωρητικότητα σε μήκος της κάθε παραλίας.

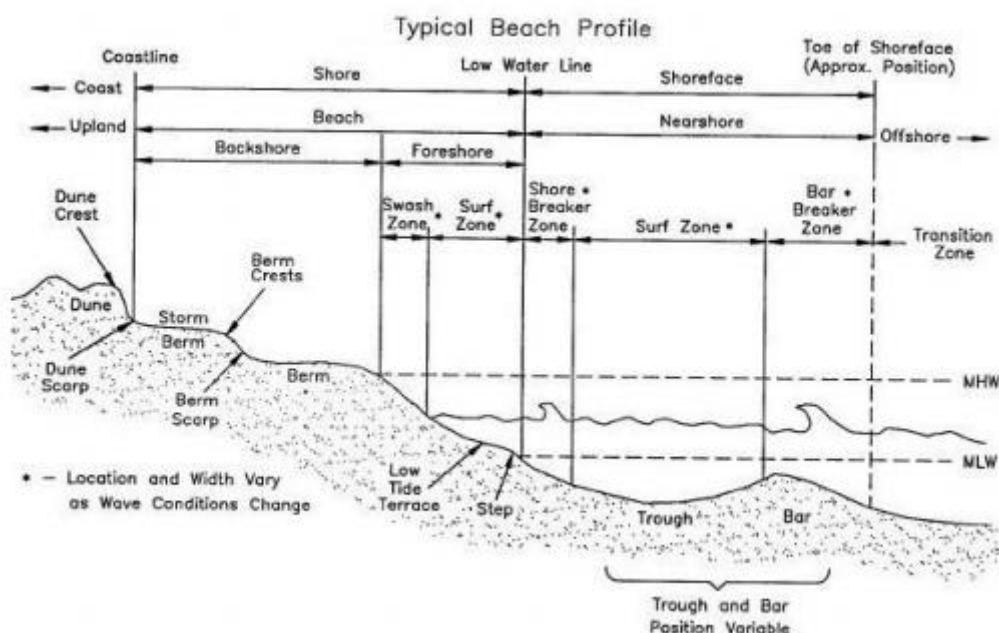
Αρχικά εφαρμόζονται τρία αριθμητικά μοντέλα – κυματικό (SW), υδροδυναμικό (HD) και στερεομεταφοράς (ST), του εμπορικού υπολογιστικού πακέτου MIKE 21 του Danish Hydraulic Institute (DHI) για διάφορες αναλογίες του μήκους και της απόστασης μεταξύ των προβόλων, για δύο χαρακτηριστικά κυματικά σενάρια, όπου από τα αποτελέσματα των αναλύσεων του MIKE 21 παράγονται διαγράμματα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την σύγκριση των διαφορετικών διατάξεων προβόλων, καθώς και για την επιλογή της βέλτιστης ως την εξέλιξη της ακτογραμμής διάταξης.

Κεφάλαιο 2. Παράκτια ζώνη

2.1 Εισαγωγή

Με τον όρο παράκτια ζώνη ονομάζεται η περιοχή που οριοθετείται από θαλάσσιο τμήμα και χερσαίο τμήμα. Το θαλάσσιο τμήμα του παράκτιου χώρου εκτείνεται μέχρι το όριο των βαθιών υδάτων ($d \approx 2 \cdot H_s$ ή $L_s/4$) όπου ο πυθμένας παρουσιάζει μεγάλες κλίσεις με γωνίες μεγαλύτερες των 30° (υφαλοκρηπίδα). Το προς την ξηρά χερσαίο τμήμα του παράκτιου χώρου επεκτείνεται και πέραν της χρονικά και χωρικά μεταβαλλόμενης ακτογραμμής (το όριο μεταξύ ξηράς και θάλασσας) συμπεριλαμβάνοντας και την περιοχή παράκτιων οικισμών, οικονομικών δραστηριοτήτων που σχετίζονται με την ακτή και θάλασσα. Ο παράκτιος χώρος παρουσιάζει πολλές ιδιαιτερότητες ειδικότερα όσο πλησιάζουμε στην ακτή όπου τα φαινόμενα είναι πιο σύνθετα. Το μεγαλύτερο χαρακτηριστικό της παράκτιας ζώνης (Σχήμα 2.1) είναι οι θαλάσσιοι επιφανειακοί κυματισμοί όπου εισερχόμενοι από τα βαθιά ύδατα μεταβάλλονται συνεχώς, όπου φτάνουν στην ζώνη θραύσης (break zone) και θραύονται ανάλογα με το ύψος κύματος του κάθε κυματισμού, καθώς και την μορφολογία της κάθε ακτής, απελευθερώνοντας ενέργεια που προκαλεί την κίνηση μεγάλων ποσοτήτων των υλικών των ακτών. Οι θαλάσσιοι κυματισμοί είναι επίσης αυτοί που ευθύνονται για την καταπόνηση των τεχνικών έργων που βρίσκονται στις ακτές ή και αντίστροφα η κύρια αιτία κατασκευής παράκτιων και λιμενικών έργων.

Οι μετακινήσεις των θαλάσσιων μαζών, όπως τα θαλάσσια ρεύματα είναι ένα επιπλέον χαρακτηριστικό των παράκτιων περιοχών, τα οποία επηρεάζονται από την παρουσία του πυθμένα της ακτής μέσω της διατμητικής τάσης (τριβής πυθμένα), σε αντίθεση με την βαθιά θάλασσα όπου ο ωκεάνιος πυθμένας δεν επηρεάζει σχεδόν καθόλου την κατά βάθος κατανομή της ταχύτητας. Ένα τρίτο σημαντικό φαινόμενο το οποίο όμως στις ελληνικές ακτογραμμές δεν λαμβάνει χώρα συχνά είναι η αστρονομική παλίρροια και τα παλιρροιακά ρεύματα, έχοντας ως επίπτωση την άνοδο της στάθμης της θάλασσας στην παράκτια λεκάνη.



Σχήμα 2.1 Υποδιαίρεση παράκτιας ζώνης σε επιμέρους τμήματα με βάση τα μορφολογικά χαρακτηριστικά και το τύπο των κυματικών διεργασιών (USACE,2002)

Η παράκτια ζώνη υποδιαιρείται στην επάκτια (inshore) και προάκτια (foreshore) ζώνη, των οποίων το όριο είναι η γραμμή κατώτατης ρηχίας. Επιπλέον περιλαμβάνει την ζώνη πριν από την θραύση, όπου εμφανίζονται οι παραμορφώσεις των κυματισμών. Την ζώνη θραύσης (break zone) η οποία με την σειρά της υποδιαιρείται στην ζώνη απόσβεσης (surf zone), όπου αποσβένεται το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας του θραυόμενου κύματος, και στη ζώνη διαβροχής (swash zone) με όρια την κατώτερη και ανώτερη θέση της ακτογραμμής. (USACE,2002)

2.2 Παράκτια Ρεύματα

2.2.1 Κατά μήκος της ακτής ρεύμα

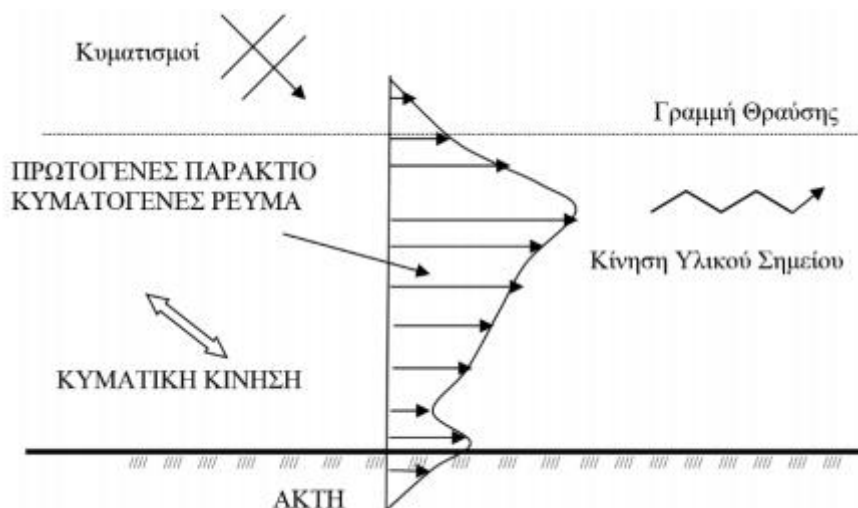
Εάν ο κυματισμός προσπίπτει υπό γωνία στην ακτή, η θραύση μειώνει την ενέργεια του κύματος

E και επομένως και την τάση ακτινοβολίας $S_{xy} = \frac{E}{2} n \sin 2\theta$, όπου $n = C_g/C$ και θ η γωνία

πρόσπτωσης του κύματος. Η μεταβολή αυτή εξισορροπείται (2^{ος} Νόμος του Νεύτωνα) από

δύναμη $F_y = -\frac{\partial S_{xy}}{\partial x}$ (Μέμος,2016). Η δύναμη αυτή είναι υπεύθυνη για την δημιουργία

ρευμάτων κατά μήκος της ακτής (longshore current) εντός της ζώνης θραύσεως, την ανάπτυξη διατμητικών τάσεων στον πυθμένα και εν συνεχεία την μεταφορά ιζημάτων στην παράκτια ζώνη (Σχήμα 2.2.1). Η φορά αυτών των ρευμάτων καθορίζεται από την μορφή της ακτογραμμής και τη διεύθυνση των προσπίπτοντων κυματισμών. Επιμήκη ρεύματα αναπτύσσονται περισσότερο κατά μήκος ευθύγραμμων ακτών. Το μέτρο της ταχύτητας των ρευμάτων εξαρτάται από το ύψος θραύσης των κυματισμών, την περίοδο, την αύξηση της γωνίας μεταξύ της γραμμής θραύσης και της ακτής, και τέλος με την αύξηση της κλίσης των πρανών της ακτής.



Σχήμα 2.2.1 Σχηματοποιημένη αναπαράσταση κυματογενούς ρεύματος (Καραμπάς,2015)

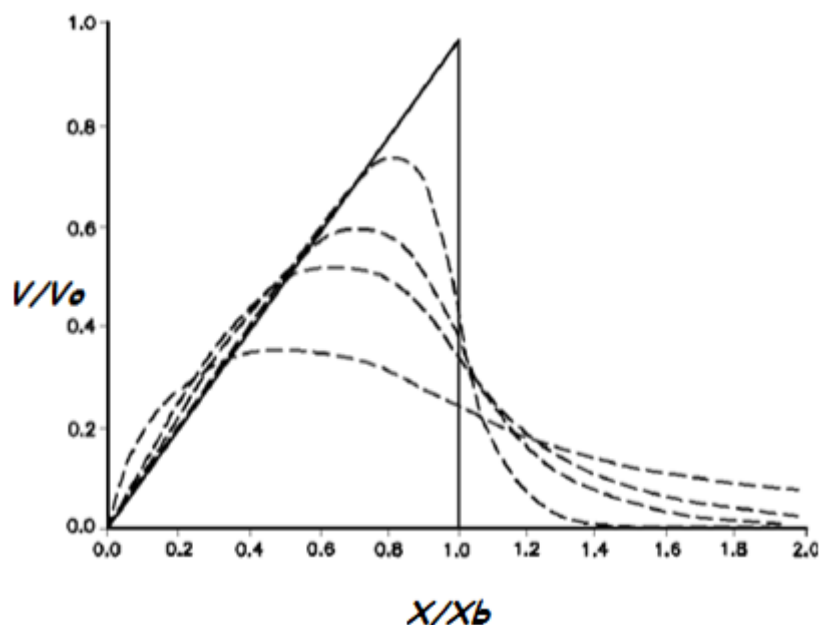
Κάτω από απλοποιητικές παραδοχές, με σημαντικότερες την ομοιόμορφη θραύση κυμάτων σε όλο το εύρος της ζώνης θραύσεως τον ομαλό επίπεδο πυθμένα και τη μικρή γωνία α μεταξύ μετώπου κυματισμού και ισοβαθών, η γραμμική θεωρία δίδει την ταχύτητα V του ρεύματος (Longuet-Higgins, 1970):

$$V = \frac{5\pi}{16} \frac{\tan \beta^*}{C_f} k (gh_b)^{1/2} \sin a \cos a \quad (2.1)$$

Όπου $\tan \beta^*$ η κλίση του πυθμένα τροποποιημένη ώστε να συμπεριλάβει και την ανύψωση της στάθμης της ελεύθερης επιφάνειας λόγω κυματισμών wave setup:

$$\tan \beta^* = \frac{\tan \beta}{1 + 3 \frac{\kappa^2}{8}} \quad (2.2)$$

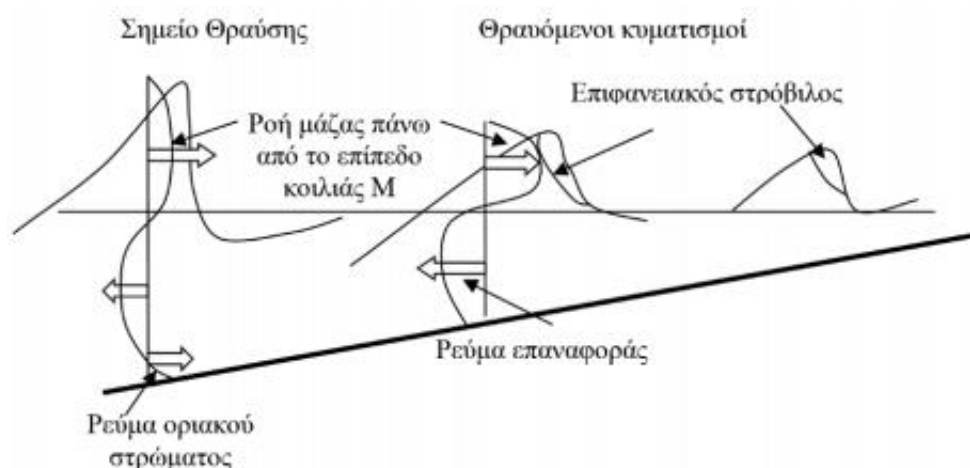
C_f : συντελεστής τριβής του πυθμένα με τυπικές τιμές 0.005 ~ 0.01. Η ταχύτητα V γίνεται μέγιστη (V_0) στη γραμμή θραύσεως ($\max h_b$) μηδέν στην ακτογραμμή ($h_b=0$). Η παρουσία οριζόντιας ανάμειξης, καθώς και οποιασδήποτε μεταβολής του ύψους κύματος και της θέσης της γραμμής θραύσης, τροποποιεί το προφίλ της ταχύτητας του ρεύματος, μετατοπίζοντας το μέγιστο προς την ακτή, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.2.2.



Σχήμα 2.2.2 Εγκάρσιο προφίλ του κατά μήκος της ακτής ρεύματος (USASCE,2006)

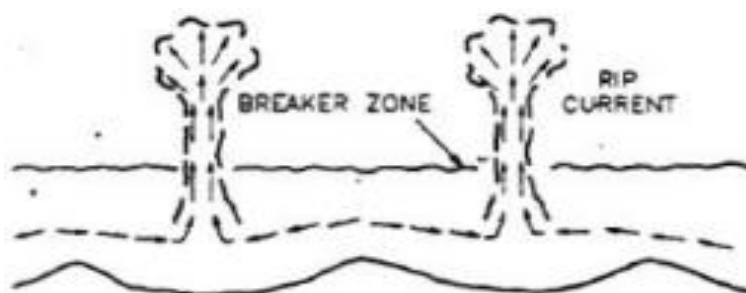
2.2.2 Τρισδιάστατα δευτερογενή ρεύματα

Ένα ακόμα ρεύμα που αναπτύσσεται είναι όταν οι κυματισμοί διαδίδονται εγκάρσια προς την ακτή, η οποία αποτελείται από ένα στερεό αδιαπέρατο όριο, η μεταφορά μάζας προς την ακτή συμβαίνει κυρίως μεταξύ κορυφής και κοιλίας, για να εξισορροπήσει τη ροή μάζας πάνω από την κοιλία του κύματος δημιουργείται ένα υποβρύχιο ρεύμα επαναφοράς (undertow) κοντά στο πυθμένα με κατεύθυνση προς τα ανοιχτά, τυπικού μεγέθους $8 \sim 10 (gh)^{1/2}$, όπου h το άθροισμα του βάρους και την ανύψωσης της μέσης στάθμης της θάλασσας. Το προφίλ της ταχύτητας κατά την κατακόρυφο (Σχήμα 2.2.3) προσδιορίζεται από το ισοζύγιο της τάσης ακτινοβολίας με την κλίση πίεσης λόγω της ανύψωσης της μέσης στάθμης αλλά και από τη μείξη κατά την κατακόρυφη έννοια (Μέμος,2016).



Σχήμα 2.2.3 Τρισδιάστατο δευτερογενές ρεύμα εγκάρσια στην ακτή (Καραμπάς,2015)

Ένα τρίτο ρεύμα που δημιουργείται στην παράκτια ζώνη είναι το βελοειδές ρεύμα (rip current). Τα βελοειδή ρεύματα αναπτύσσονται στα σημεία όπου συναντώνται δύο επιμήκη ρεύματα αντίθετων διευθύνσεων (Σχήμα 2.2.4). Τα βελοειδή ρεύματα μπορεί να προκληθούν και από μεταβολές του wave setup κατά μήκος της ακτής λόγω αντίστοιχης μεταβολής του ύψους θραύσεις των κυμάτων κ.μ.α. Η τελευταία μπορεί να οφείλεται σε διάφορες αιτίες, όπως ύπαρξη αποσπασμένων κυματοθραυστών, διάθλαση κυμάτων σε μεταβαλλόμενη τοπογραφία, γεωμετρία της ακτογραμμής, κλπ (Μέμος,2016).



Σχήμα 2.2.4 Βελοειδής ρεύματα στην παράκτια ζώνη (USACE,2002)

2.3 Παράκτια ιζήματα

2.3.1 Βασικές ιδιότητες ιζημάτων

Οι φυσικές παραλίες αποτελούνται συνήθως από ανόργανα υλικά με φυσικές ιδιότητες που επηρεάζουν τις διεργασίες μεταφοράς του ιζήματος. Τα ιζήματα αυτά σχηματίζονται κυρίως από φυσικές ή/και χημικές διαβρώσεις των βραχωδών υλικών του φλοιού της γης. Ως προς τη σύστασή τους, τα κυριότερα ιζήματα αποτελούνται από χαλαζιακά και αργιλικά ορυκτά. Βασισμένα στη γενετική τους προέλευση μπορούν να ταξινομηθούν σε λιθογενή, βιογενή, υδρογενή (ή αυθιγενή) και κοσμογενή ιζήματα (Δασενάκης et al., 2015).

Το ίζημα της παράκτιας ζώνης αποτελείται από σωματίδια που ποικίλουν σε μεγέθη και ιδιότητες. Περιλαμβάνει από τα μεγαλύτερα σωματίδια όπως χάλικες και άμμοι μέχρι τα μικρότερα σωματίδια όπως ιλύες, άργιλοι και κολλοειδή. Το κύριο φυσικό χαρακτηριστικό είναι το μέγεθος των κόκκων που βρίσκεται με κοκκομετρική ανάλυση στο εργαστήριο, με πρότυπα κόσκινα ή πειράματα καθίζησης. Με βάση τη χαρακτηριστική (μέση) διάμετρο κόκκων (π.χ. το d_{50}) χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 2.3.1 : Ταξινόμηση εδαφών ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων (Καραμπάς,2015)

Όνομασία	Διάμετρος (mm)
Κροκάλες	250-60
Χάλικες	32-4
Άμμος	2-0,1
Ιλύς	0,03-0,004
Άργιλος	0,002-0,0002

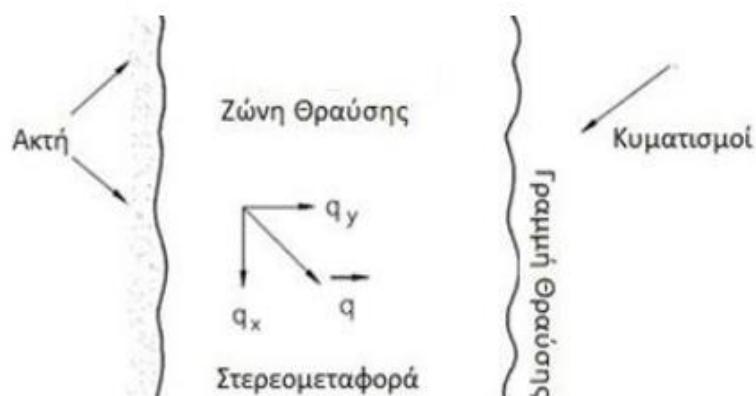
Άλλες σημαντικές παράμετροι ιζημάτων είναι η διαβάθμιση σ , που απεικονίζει την απόκλιση από το μέσο μέγεθος των κόκκων, όπου όσο μικρότερη είναι η διαβάθμιση τόσο πιο ομοιόμορφο είναι το δείγμα. Η λοξότητα SK που απεικονίζει το βαθμό ασυμμετρίας κατανομής των κόκκων, όπου αρνητική λοξότητα σημαίνει ότι υπερτερούν τα χονδρόκοκκα υλικά και στην περιοχή μελέτης πιθανότατα υπάρχει κάποιο έντονο ρεύμα που προκαλεί διάβρωση. Τέλος η κύρτωση, που εκφράζει την απόκλιση της κατανομής των κόκκων από την κανονική κατανομή. Από τις παραπάνω στατιστικές παραμέτρους καθώς επίσης και από το σχήμα, τη μορφή και τον

προσανατολισμό των κόκκων μπορούμε να εξάγουμε συμπεράσματα σχετικά με τη δυναμική του μέσου μεταφοράς των φερτών και του περιβάλλοντος απόθεσης τους (Κονισπολιάτης,2009).

2.3.2 Μηχανισμοί στερεομεταφοράς

Η εκκίνηση του φαινομένου που προκαλεί διάβρωση των ακτών επηρεάζεται σημαντικά από τις εξής παραμέτρους:

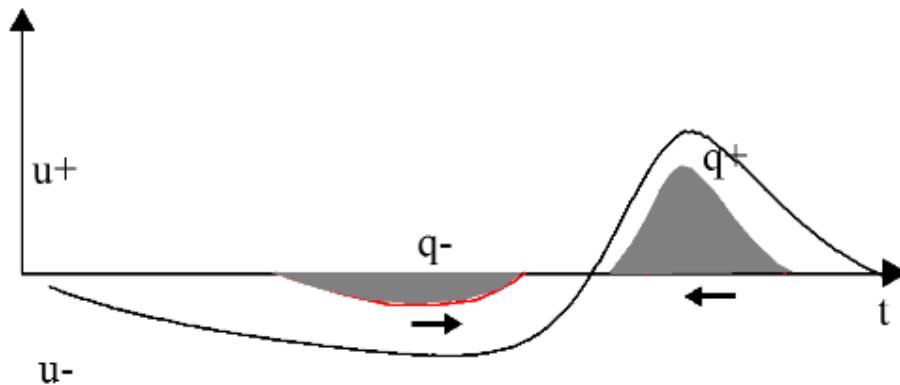
- Στερεομεταφορά λόγω θραύσης κυματισμών στα ρηχά και παράκτιων κυματογενών ρευμάτων. Στην παράκτια ζώνη όπου οι (θραυόμενοι και μη) κυματισμοί συνυπάρχουν με το παράκτιο κυματογενές ρεύμα, η ροή κοντά στον πυθμένα αποσταθεροποιεί και θέτει σε κίνηση τους κόκκους των ιζημάτων. Αφού ξεκινήσει η κίνηση των κόκκων, αυτοί μεταφέρονται προς την κατεύθυνση των επιδρώντων ρευμάτων, σύμφωνα με τη μέση ταχύτητα ροής. Ο μηχανισμός αυτός ενδέχεται να μεταφέρει το ίζημα είτε προς την ακτή είτε προς τα ανοικτά, είτε παράλληλα στην ακτή ανάλογα τη διεύθυνση πνοής (Σχήμα 2.3.1).



Σχήμα 2.3.1 Συνιστώσες στερεομεταφοράς: παράλληλη (q_x) και κάθετη (q_y) στην ακτή (USACE, 2006)

- Στερεομεταφορά λόγω κυματικής ασυμμετρίας. Λόγω της μη συμμετρίας των κυματισμών στα ρηχά η κίνηση των φερτών είναι και αυτή ασύμμετρη. Κάτω από την κορυφή του κύματος, όπου η ταχύτητα είναι μεγάλη και με κατεύθυνση προς την ακτή, πραγματοποιείται η μεγαλύτερη μεταφορά φερτών προς την ακτή. Κάτω από την κοιλιά, η ταχύτητα είναι μικρότερη και με φορά προς τα ανοικτά και κατ' επέκταση η στερεομεταφορά πραγματοποιείται προς τα ανοικτά (Σχήμα 2.3.2). Σαν συνολικό

αποτέλεσμα (μέσο ως προς την περίοδο του κύματος) έχουμε τη μεταφορά φερτών στη διεύθυνση μετάδοσης των κυματισμών (προς την ακτή). (Καραμπάς, 2015)



Σχήμα 2.3.2 Επίδραση της ασυμμετρίας του κυματισμού στη μέση στερεοπαροχή (Καραμπάς, 2015)

- Μεταφορά λόγω δευτερογενών κυματογενών ρευμάτων. Του ρεύματος επαναφοράς (undertow), με κατεύθυνση προς τα ανοιχτά. Του ρεύματος κοντά στον πυθμένα, δηλαδή στο οριακό στρώμα του κυματισμού, με κατεύθυνση αυτήν της μετάδοσης του κυματισμού.
- Ορθές και διατμητικές τάσεις που προκαλούνται από τη δυναμική της ροής του νερού στον πυθμένα.
- Συγκρούσεις και δεσμοί συνοχής μεταξύ των κόκκων του ιζήματος του πυθμένα.
- Υδροδυναμική υποπίεση που προκαλείται λόγω της διήθησης του νερού στο σώμα του πυθμένα.
- Το φαινόμενο του wave run up στην ακτή.
- Το σύνολο των κόκκων που συνθέτουν τον πυθμένα και οι μεταξύ τους αλληλεπιδράσεις κατά την επίδραση των παραπάνω διαβρωτικών δυνάμεων.

2.3.3 Στερεομεταφορά κατά μήκος της ακτής (longshore sediment transport)

Η κατά μήκος (παράλληλη) μεταφορά φερτών υλών της ακτής εκτείνεται σε όλο το πλάτος της ζώνης επιδράσεως των κυματισμών στο υλικό της ακτής, αλλά όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως μεγιστοποιείται στην ζώνη θραύσεως όπου η τύρβη του νερού αποκτά τους μέγιστους ρυθμούς γενέσεως και αποσβέσεως, όπου διαμορφώνεται το παράκτιο ρεύμα λόγω λοξής θραύσεως. Αυτή η συνιστώσα της στερεομεταφορά είναι από τις πιο σημαντικές διεργασίες που επηρεάζουν τη μορφολογία μιας ακτής και ελέγχει σε μεγάλο βαθμό κατά πόσο

θα συμβεί διάβρωση, απόθεση ή αν η ακτογραμμή θα παραμένει σταθερή. Ο υπολογισμός της στερεομεταφοράς κατά μήκος της ακτής είναι απαραίτητος για το σχεδιασμό παράκτιων τεχνικών έργων και την εκτίμηση των επιπτώσεων των κατασκευών αυτών στην ακτή. Η κατά μήκος της ακτής στερεομεταφορά εξαρτάται σημαντικά από το κυματικό καθεστώς της ακτής καθώς αν η φορά των κυματισμών ανά έτος δεν έχει χαρακτηριστική κατεύθυνση, η καθαρή στερεομεταφορά μπορεί να γίνεται προς τη μια κατεύθυνση τη μια χρονιά και προς την άλλη την επόμενη.

Κεφάλαιο 3. Έργα προστασίας της ακτής - Πρόβολοι

3.1 Εισαγωγή

Η διάβρωση των ακτών είναι ένα φαινόμενο που απασχολεί τις κοινωνίες που βρίσκονται σε παράκτιες περιοχές διότι αποτελεί το βασικότερο μειονέκτημα σε κάθε είδους δραστηριότητα που θα μπορούσε να αναπτυχθεί κοντά σε αυτές. Ο ακτομηχανικός καλείται οπότε να δώσει μια αποτελεσματική και βιώσιμη προστασία της ακτής κατασκευάζοντας έργα προστασίας, σε περίπτωση όπου το ισοζύγιο των φερτών υλικών είναι αρνητικό για την περιοχή και θα ήταν δυνατόν να υπάρξουν παρεμβάσεις βελτίωσης. Κρίνεται λοιπόν σαφές ότι τα έργα προστασίας της ακτής έχουν νόημα όταν υπάρχει στερεομεταφορά που επιφέρει διάβρωση καθώς και αστοχίες στην παράκτια ζώνη (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1 Διάβρωση παραλιακού μετώπου από προσπίπτοντες κυματισμούς (Dhigroup.com)

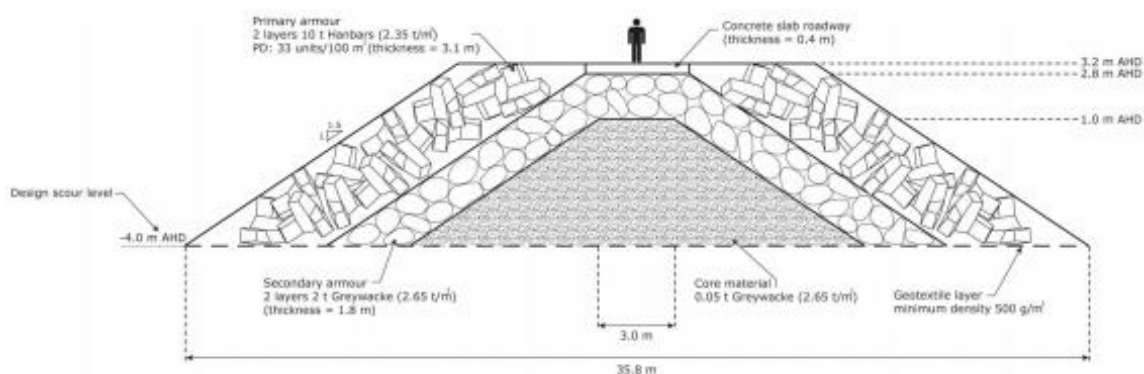
3.2 Πρόβολοι

Τα έργα προστασίας ακτής, του οποίου ο διαμήκης άξονας είναι κάθετος στην ακτογραμμή και συνήθως συνδέεται με την ακτή, έχει καθιερωθεί να ονομάζεται πρόβολος (groyne ή groin). Είναι κατά πάσα πιθανότητα, ο παλαιότερος τύπος έργου με κύριους στόχους είτε την προστασία της ακτής, είτε την τεχνητή συσσώρευση ιζήματος. Ειδικότεροι στόχοι μπορεί να είναι η

σταθεροποίηση μιας ακτής, η μείωση παροχής στερεομεταφοράς, η παρεμπόδιση της επιχώσεως μιας λιμενολεκάνης στα κατάντη κτλπ.

Η γεωμετρία της διατομής ενός προβόλου είναι συνήθως παρόμοια με την διατομή ενός κυματοθραύστη (Σχήμα 3.2.1), όμως η χρησιμότητα είναι διαφορετική. Ο κυματοθραύστης προσφέρει προστασία από του κυματισμούς που προσπίπτουν κάθετα ή υπό γωνία στην ακτογραμμή, καθώς εξασφαλίζει ανακοπή μέρους της ενέργειας των κυματισμών. Σε αντίθεση με τους προβόλους όπου επηρεάζουν την ενέργεια που κινείται κατά μήκος της ακτής και επιδρά άμεσα στο φορτίο ιζημάτων του πυθμένα και σε αιώρηση. Κατά συνέπεια είναι κρίσιμο σημείο το τι γεωμετρία θα έχουν οι πρόβολοι κατά τον σχεδιασμό τους καθώς θα είναι αυτή που θα επηρεάσει την ενέργεια κατά μήκος της ακτής.

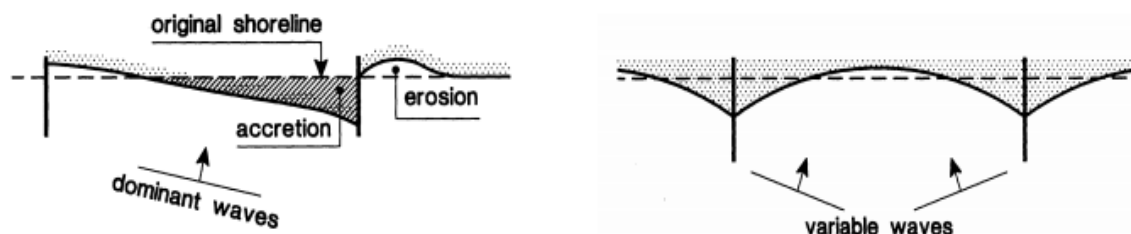
Η εφαρμογή των έργων μέχρι σήμερα έχει δείξει ότι σχεδόν ποτέ δεν επαρκεί μόνο ένας πρόβολος για την προστασία της ακτής, οπότε απαιτείται ένα σύστημα προβόλων το οποίο θα καλύπτει το μήκος της ακτής υπό προστασία. Πριν από τον σχεδιασμό και την εφαρμογή του συστήματος των προβόλων είναι απαραίτητη η πλήρης κατανόηση των παράκτιων διαδικασιών στην μελετώμενη περιοχή, όπως ο υπολογισμός της φοράς και του μεγέθους της στερεοπαροχής κατά μήκος στην ακτογραμμή καθώς και η πρόβλεψη πιθανών επιδράσεων στην ακτή.



Σχήμα 3.2.1 Τυπική διατομή προβόλου (Coghlan et al 2013)

Στα ανάντη ενός προβόλου ή ενός συστήματος προβόλων παρατηρείται επέκταση της ακτής λόγω προσχώσεως της παράκτιας ζώνης, ενώ στα αμέσως κατάντη εμφανίζεται υποχώρηση λόγω διαβρώσεως. Στο σχήμα 3.2.2 παρουσιάζονται οι μορφές που μπορεί να πάρει η ακτογραμμή με εγκάρσιους προβόλους για μία συγκεκριμένη ή διάφορες διευθύνσεις κυματισμών. Αυτό μας παραπέμπει αυτόματα ότι θα πρέπει να επικρατεί μία όσο το δυνατόν ισορροπία ανάμεσα στο

ανάντη και το κατάντη μέρος ενός προβόλου με το άθροισμα τους να είναι πάντα θετικό, δηλαδή να επικρατεί κατά πολύ η πρόσχωση έναντι της διάβρωσης.



Σχήμα 3.2.2 Μορφή της ακτογραμμής με εγκάρσιους προβόλους για μια ή διάφορες διευθύνσεις κυματισμών. (Leo C. van Rijn, 2013)

Σύμφωνα με όσα εκτέθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια το 80% έως 90% της στερεομεταφοράς κατά μήκος μίας ακτής σημειώνεται στην ζώνη μετά την θραύση, κατά συνέπεια το μήκος των προβόλων επιβάλλεται να φτάνει πριν από την θραύση, η επιλογή της γραμμής θραύσεως σχεδιασμού θα πρέπει να γίνεται με κριτήριο την συχνότητα εμφάνισης της μέσα από υπολογισμούς. Γενικά η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών προβόλων σ' ένα σύστημα ορίζεται σαν απλή συνάρτηση του μήκους του προβόλου. Έχουν προταθεί διάφορες σχέσεις, σύμφωνα με τις οποίες η απόσταση επιβάλλεται να είναι η φορές το μήκος των προβόλων με το συντελεστή να λαμβάνεται ίσος με 1 έως 4. Μιας και ο καθορισμός αυτός θεωρείται ενδεικτικός, σκοπός των μετρήσεων που θα πραγματοποιηθούν είναι να υπάρξει μια πιο ακριβής κατηγοριοποίηση για τον καθορισμό της απόστασης μεταξύ των προβόλων, ώστε ανάλογα με το μήκος της κάθε παράκτιας ζώνης που θα προτείνονται για κατασκευή τα παραπάνω έργα να επιλέγεται και η βέλτιστη, ως προς την απόθεση, απόσταση.

3.3 Συστήματα προβόλων διαφορετικών διατάξεων

3.3.1 Παράμετροι Σχεδιασμού

Γενικά ο προσδιορισμός του βέλτιστου συνδυασμού μήκους-πλάτους απαιτεί προσοχή, γιατί όπως θα δούμε στην συνέχεια είναι πιθανόν προκύψουν αποτελέσματα εντελώς διαφορετικά από τα επιδιωκόμενα. Το σύστημα των προβόλων επιλέγεται ως μέτρο προστασίας της ακτής

από διάβρωση μόνο στην περίπτωση που υπάρχει κατά μήκος της ακτής στερεομεταφορά. Έχοντας αυτό ως δεδομένο επιλέχθηκαν δύο διαφορετικά κυματικά σενάρια χαρακτηριστικού ύψους κύματος στα βαθιά (Πίνακας 3.3.1). Ο ρυθμός της κατά μήκος της ακτής στερεομεταφοράς (Σχέση 3.3.1) ήταν σημαντικός και στις δύο περιπτώσεις ώστε να υπάρξει η απαίτηση κατασκευής του συστήματος προβόλων με απώτερο στόχο της βελτιστοποίηση της διάταξης τους ως προς την απόσταση μεταξύ τους για την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη συσσώρευση ιζήματος στην ακτογραμμή.

$$Q_l = 2.05 \cdot H_0^{5/2} (\cos \alpha_o)^{1/4} \sin 2\alpha_o, \text{ (USASCE,2006)} \quad (3.3.1)$$

Πίνακας 3.3.1: Παράμετροι κυματικών σεναρίων και κατά μήκος της ακτής στερεομεταφορά

α/α	Hs (m)	Tp (s)	α _ο (°)	Q _l (10 ⁶ m ³ /yr)
1	1.5	6	45	5.16
2	1	6	45	1.88

Η γωνία πρόσπτωσης των κυματισμών επιλέχθηκε 45°, όπου η κατά μήκος της ακτής στερεομεταφορά λαμβάνει την μέγιστη τιμή της σε συνάρτηση με την γωνία πρόσπτωσης των κυματισμών, όπως δίνετε να εννοηθεί στην σχέση 3.3.1 καθώς και από πειραματικές μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί.

Μελετήθηκε μία παράκτια ζώνη με ευθύγραμμη ακτογραμμή, η κλίση της ακτής επιλέχθηκε ίση με m=4% και η μέση διάμετρος του ιζήματος πυθμένα D₅₀=0.2mm. Για τον καθορισμό του μήκους των προβόλων και εν συνεχεία του μέγιστου βάθους έδρασης τους, είναι απαραίτητο να καθοριστεί η ζώνη θραύσης της ακτής X_b, έτσι ώστε οι πρόβολοι να εκτείνονται στο 80-90% του πλάτους της ζώνης με αποτέλεσμα να επιτρέπουν μέρος της στερεομεταφοράς να τους διαπερνά, για να υπάρχει ομοιόμορφη συμπεριφορά ιζήματος σε όλο το μήκος της διάταξης.

Η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε με την επίδραση σύνθετων κυματισμών με αποτέλεσμα να κάνουμε λόγο για ζώνη θραύσης, εξαιτίας των πολλών συνιστωσών διαφορετικών περιόδων και υψών κύματος και όχι για γραμμή θραύσης όπως στους μονοχρωματικούς κυματισμούς. Αυτό συνεπάγεται στο γεγονός πως για τον υπολογισμό της θραύσης χρησιμοποιείται το κριτήριο των Thornton & Guza (1983) για σύνθετους κυματισμούς :

$$H_{m0b} = 0.6h \quad (3.3.2)$$

Το ύψος κύματος όπου ξεκινάει η θραύση H_{m0b} υπολογίστηκε κάνοντας διόδευση του χαρακτηριστικού ύψους κύματος H_s από τα βαθιά στα ρηχά, με την επίδραση των φαινομένων της διάθλασης και της ρήξης και την μεταβολή των χαρακτηριστικών του κύματος λόγω μεταβολής του βάθους (στα αβαθή).

Το φαινόμενο της ρήξης περιγράφεται με το συντελεστή $k_s = \sqrt{n_o L_o / n_d L_d}$, όπου

$n_d = 0.5 \cdot (1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)})$, $k=2\pi/L$ ο κυματαριθμός και $n_o=0.5$ στα βαθιά. Για το φαινόμενο της

διάθλασης χρησιμοποιείται ο νόμος του Snell και υπολογίζεται η νέα γωνία κυματισμών ως προς

την ακτή $a_d = \arcsin(\frac{L_d \sin a_o}{L_o})$ στο βάθος ενδιαφέροντος κάθε φορά. Το μήκος κύματος στο

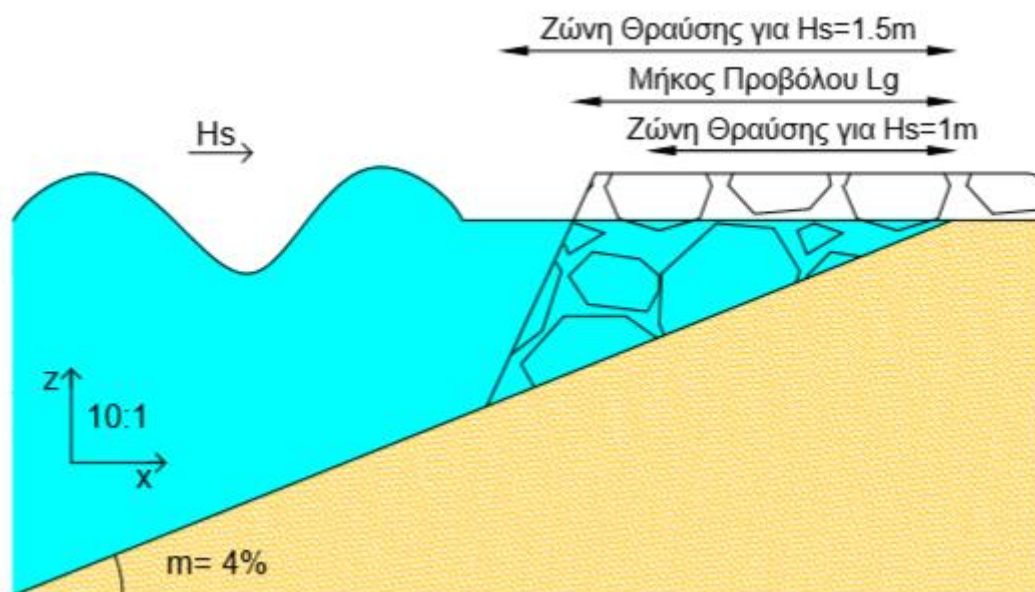
συγκεκριμένο βάθος που θέλουμε να γίνει η μεταφορά του κύματος υπολογίζεται από την γενική

εξίσωση $L_d = L_o \cdot \tanh(\frac{2\pi d}{L_d})$. Έτσι, ο συντελεστής διάθλασης προκύπτει $k_R = \sqrt{\cos a_o / \cos a_d}$.

Το ύψος κύματος υπολογίζεται για το βάθος θραύσης με $H_d = H_s \cdot k_s \cdot k_R$ ακολουθώντας επαναληπτική διαδικασία έως ότου σε κάποιο βάθος το ύψος κύματος λάβει τέτοια τιμή ώστε να ισχύει το κριτήριο των Thornton & Guza. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για την ακτή με κλίση πυθμένα $m=4\%$ παρουσιάζονται στο Πίνακα 3.3.2. Επειδή οι κυματισμοί από ακτή σε ακτή είναι ένα ευμετάβλητο φαινόμενο, για την όσο το δυνατόν καλύτερη προσέγγιση της θεώρησης της βελτιστοποίησης του συστήματος προβόλων με την πραγματικότητα, επιλέχθηκε ένα μέσο μήκος προβόλων σε σχέση με το πλάτος της ζώνης θραύσης των δύο κυματικών σεναρίων. Το μήκος των προβόλων είναι $L_g = 40m$ (Σχήμα 3.3.1), πράγμα που σημαίνει ότι οι πρόβολοι θα τοποθετηθούν στο εύρος του 85% της ζώνης θραύσης για το σενάριο 1, ενώ για το σενάριο 2 η θραύση ξεκινάει μέσα στο πεδίο των προβόλων. Γεγονός που θα έχει ενδιαφέρον για την έκβαση των αποτελεσμάτων στο πόσο επηρεάζει την κατανομή του ιζήματος το πλάτος της ζώνης θραύσης.

Πίνακας 3.3.2: Χαρακτηριστικά κυματισμών στη θραύση

H_s (m)	T_p (s)	α_o (°)	H_b (m)	α_b (°)	d_b (m)	X_b (m)
1.5	6	45	1.15	23	1.91	47.75
1	6	45	0.76	22	1.26	31.66

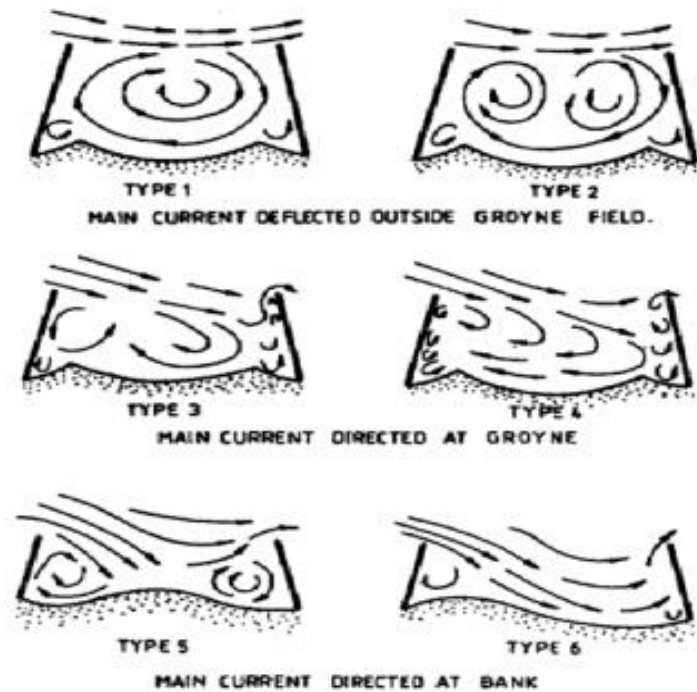


Σχήμα 3.3.1 Μήκος προβόλου σε σχέση με τα πλάτη της ζώνης θραύσης

Η βελτιστοποίηση του συστήματος των προβόλων με στόχο την μεγαλύτερη συσσώρευση ιζήματος κοντά στην ακτή, καθώς και εξάλειψης σε μεγάλο ποσοστό του φαινομένου της διάβρωσης, θα διερευνηθεί με την επίδραση της αλλαγής της γεωμετρίας των προβόλων, κρατώντας σταθερό το μήκος των προβόλων L_g , η έρευνα εστιάζεται στην αυξομείωση της απόστασης L_f μεταξύ των προβόλων. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την διαφοροποίηση των στρόβιλων που αναπτύσσονται στο υδροδυναμικό πεδίο εντός των προβόλων, από την ροή του παράκτιου κυματογενούς ρεύματος που εισέρχεται σε αυτό (Σχήμα 3.3.2). Με την σειρά τους οι στρόβιλοι είναι αυτοί που κατευθύνουν το αιωρούμενο φορτίο και το φορτίο πυθμένα ιζήματος στις διάφορες θέσεις στην ακτή. Ο Uijtewaal, 1999 στις παρατηρήσεις του από την επίδραση της γεωμετρίας στο πεδίο των προβόλων, στο πεδίο της ροής σε ποταμούς, αναφέρει ότι ο λόγος μήκος/πλάτος του πεδίου των προβόλων καθορίζει τον αριθμό και το σχήμα των στρόβιλων που εμφανίζονται στην περιοχή της στάσιμης ροής. Με βάση την θεώρηση αυτή και καθώς το κυματογενές ρεύμα εντός του πεδίου των προβόλων έχει μικρότερη τιμή, ο λόγος $R = \text{μήκος}/\text{πλάτος}$ θα εξεταστεί η συμπεριφορά του αυτήν την φορά σε παράκτιο περιβάλλον. Το εύρος των αποστάσεων L_f επιλέχθηκε από 20 έως 130 μέτρα με βασικό κριτήριο την δυνατότητα κατασκευής όλων των διατάξεων που θα διερευνηθούν στην αντίστοιχη παραλία. Στον πίνακα 3.3.3 παρουσιάζεται ο λόγος $R = L_g/L_f$ όπου τελικά θα κυμανθεί από 0.3 έως 2.

Πίνακας 3.3.3: Τιμές γεωμετρικού συντελεστή R

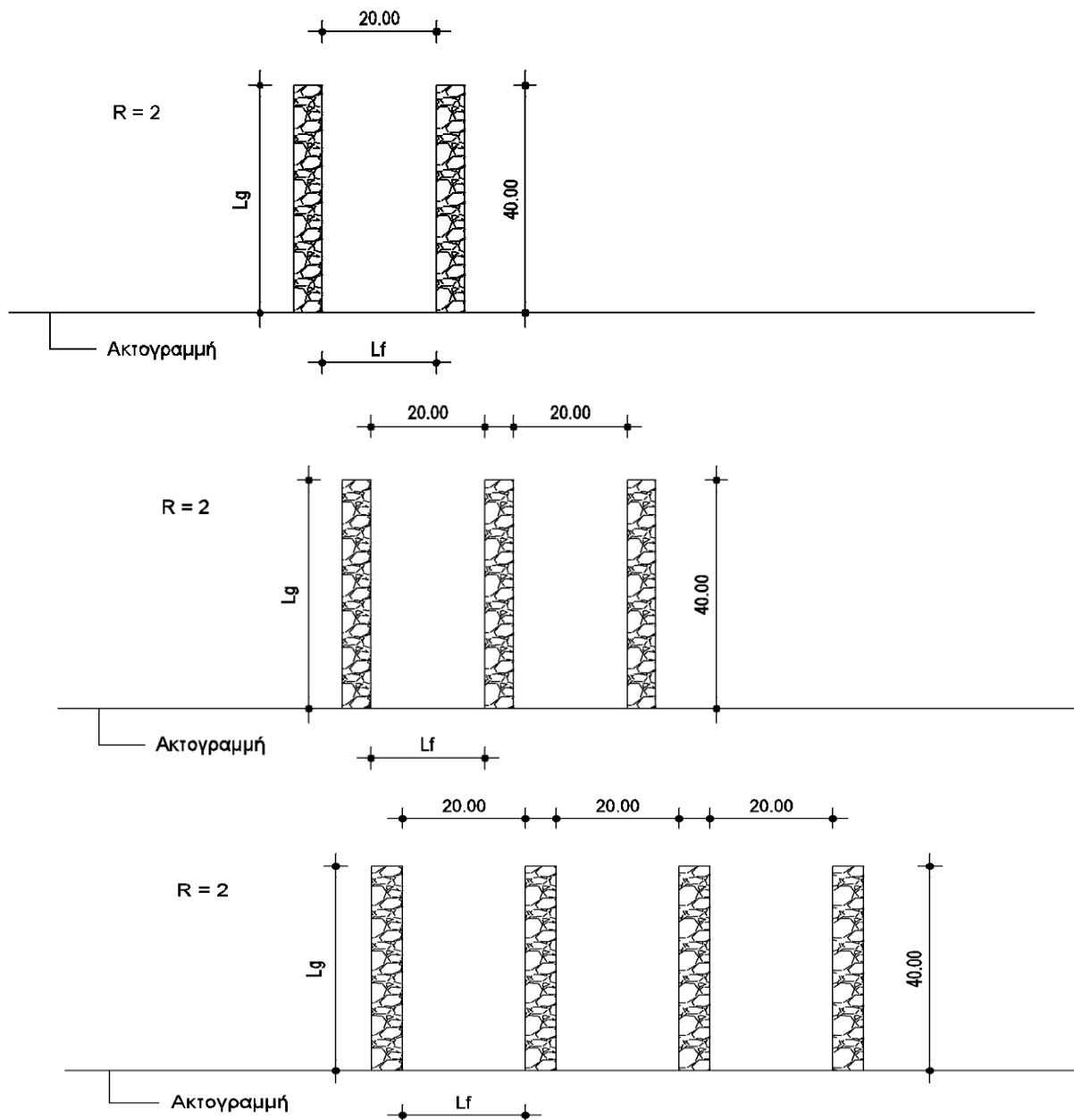
L_g (m)	L_f (m)	$R=L_g/L_f$
40	20	2.00
40	30	1.33
40	40	1.00
40	50	0.80
40	60	0.66
40	70	0.57
40	80	0.50
40	90	0.44
40	100	0.40
40	110	0.36
40	120	0.33
40	130	0.30



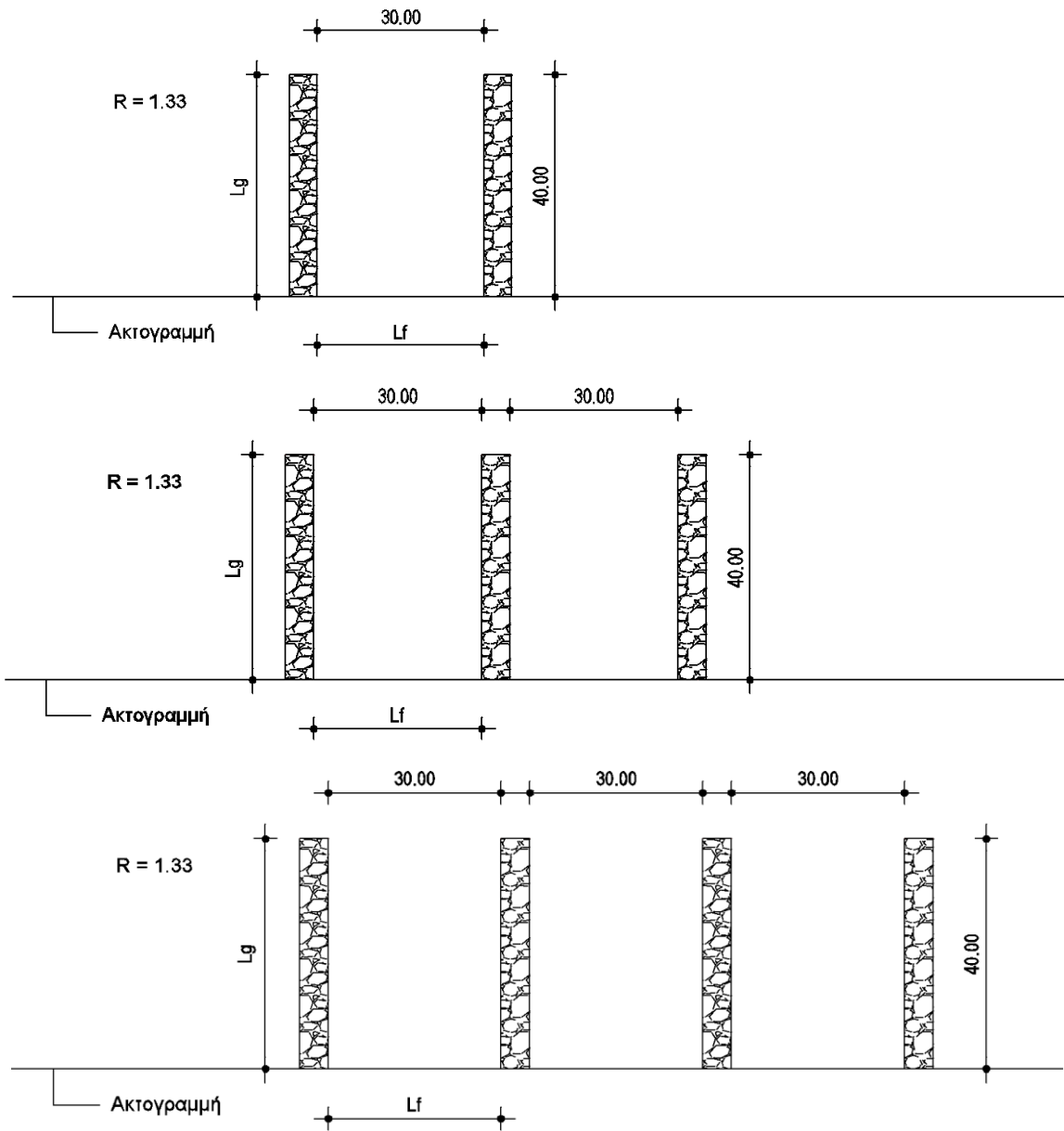
Σχήμα 3.3.2 Μορφές ροής σε πεδίο με προβόλους (Predwojski, 1995)

3.3.2 Διατάξεις προβόλων που θα χρησιμοποιηθούν

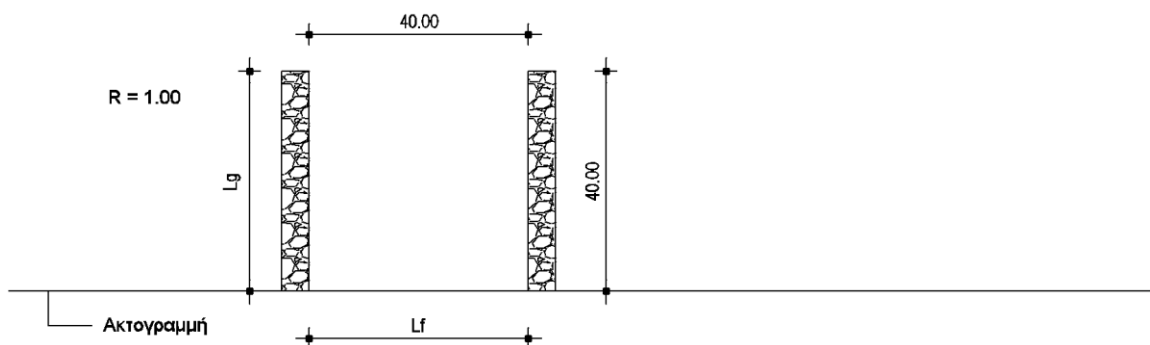
Συνολικά εξετάστηκαν 36 διαφορετικές διατάξεις προβόλων όπου τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα. Οι διατάξεις χωρίστηκαν σε 12 κατηγορίες ανάλογες του γεωμετρικού συντελεστή R, όπου μέσα σε αυτές χωρίζονται 3 υποκατηγορίες ανάλογα με το πλήθος των προβόλων που κατασκευάζονται.

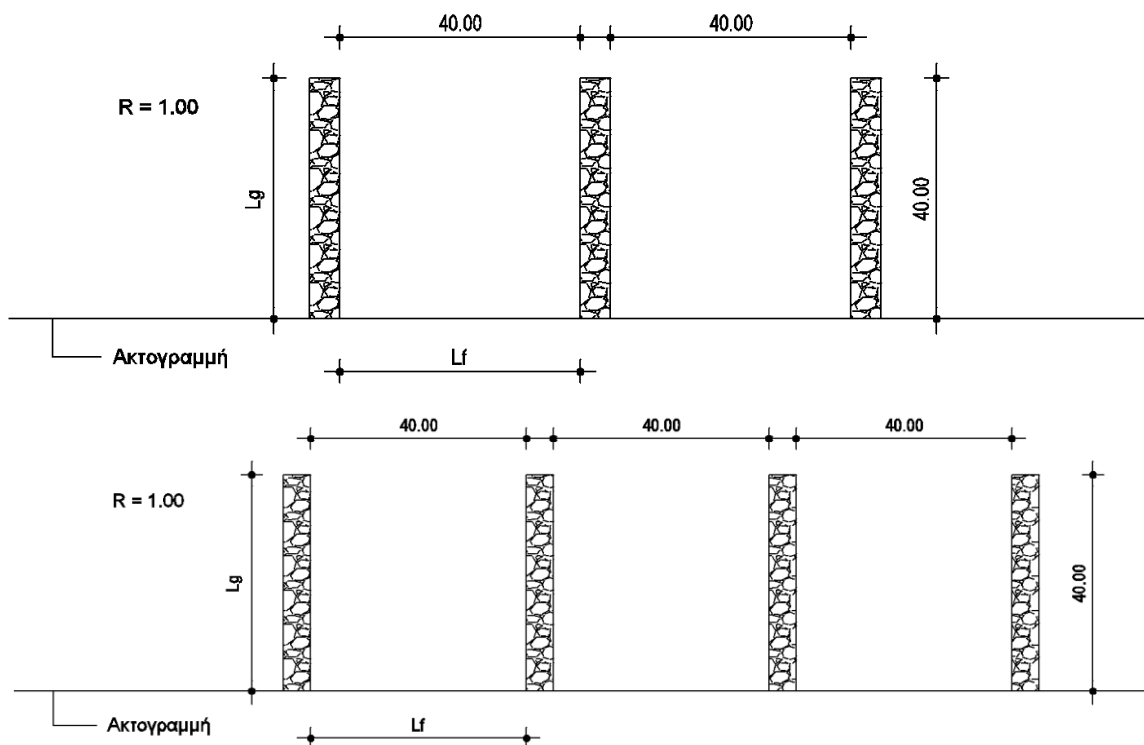


Σχήμα 3.3.3 Σύστημα εγκάρσιων προβόλων λόγου R = 2

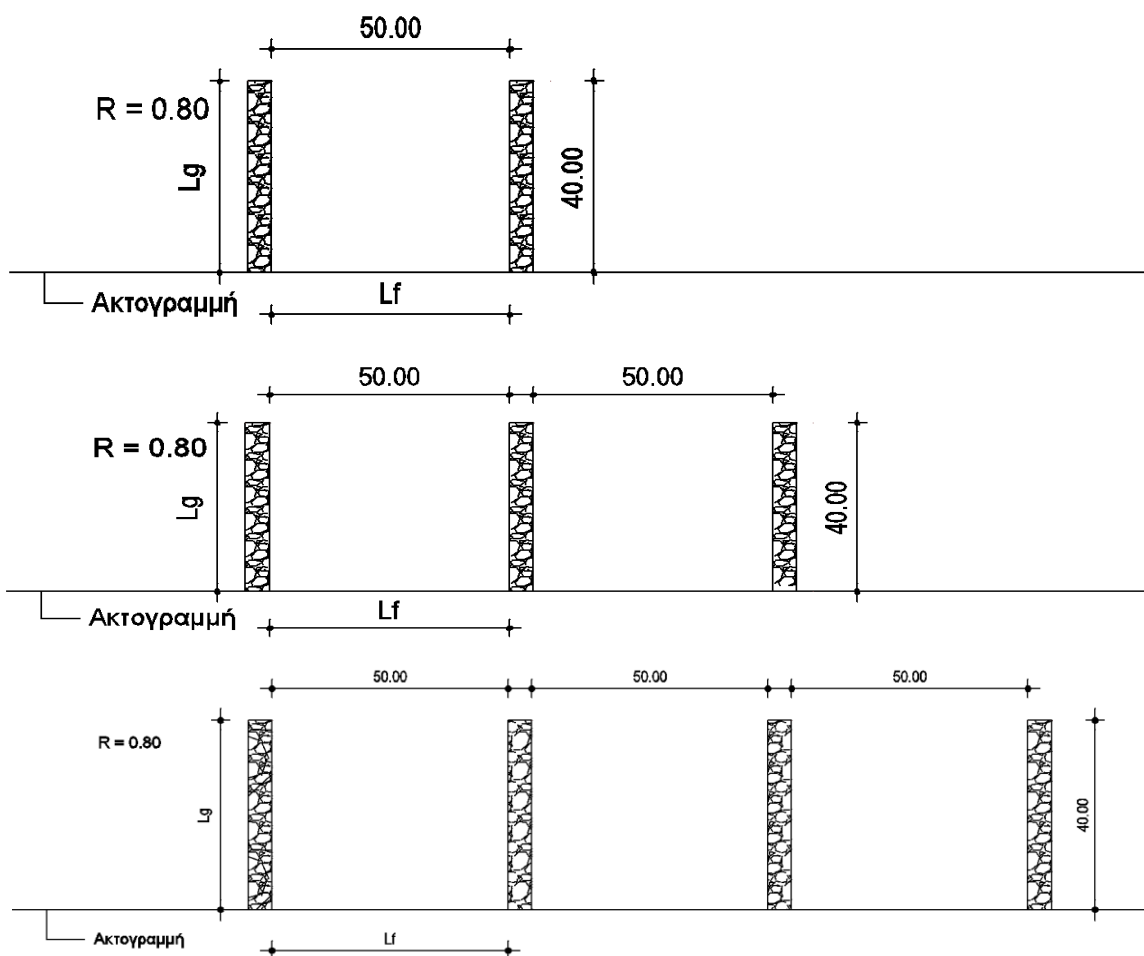


Σχήμα 3.3.4 Σύστημα εγκάρσιων προβόλων λόγου $R = 1.33$

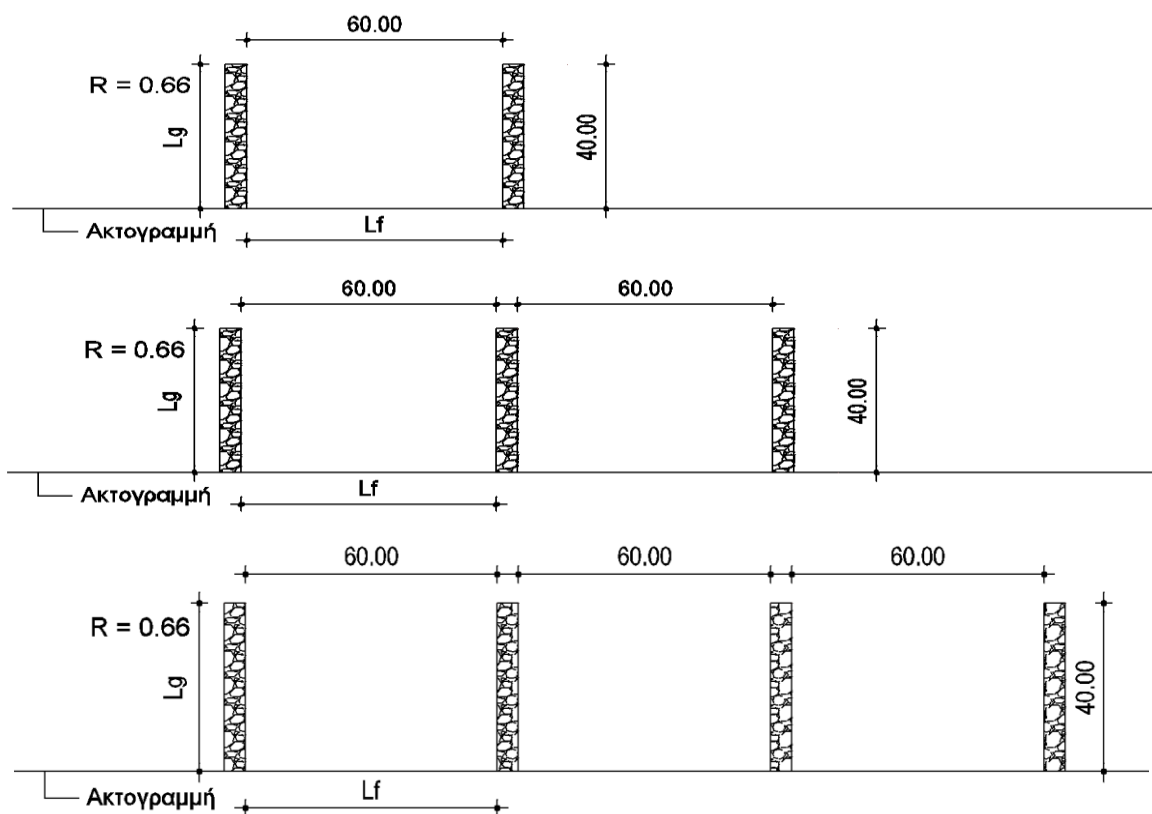




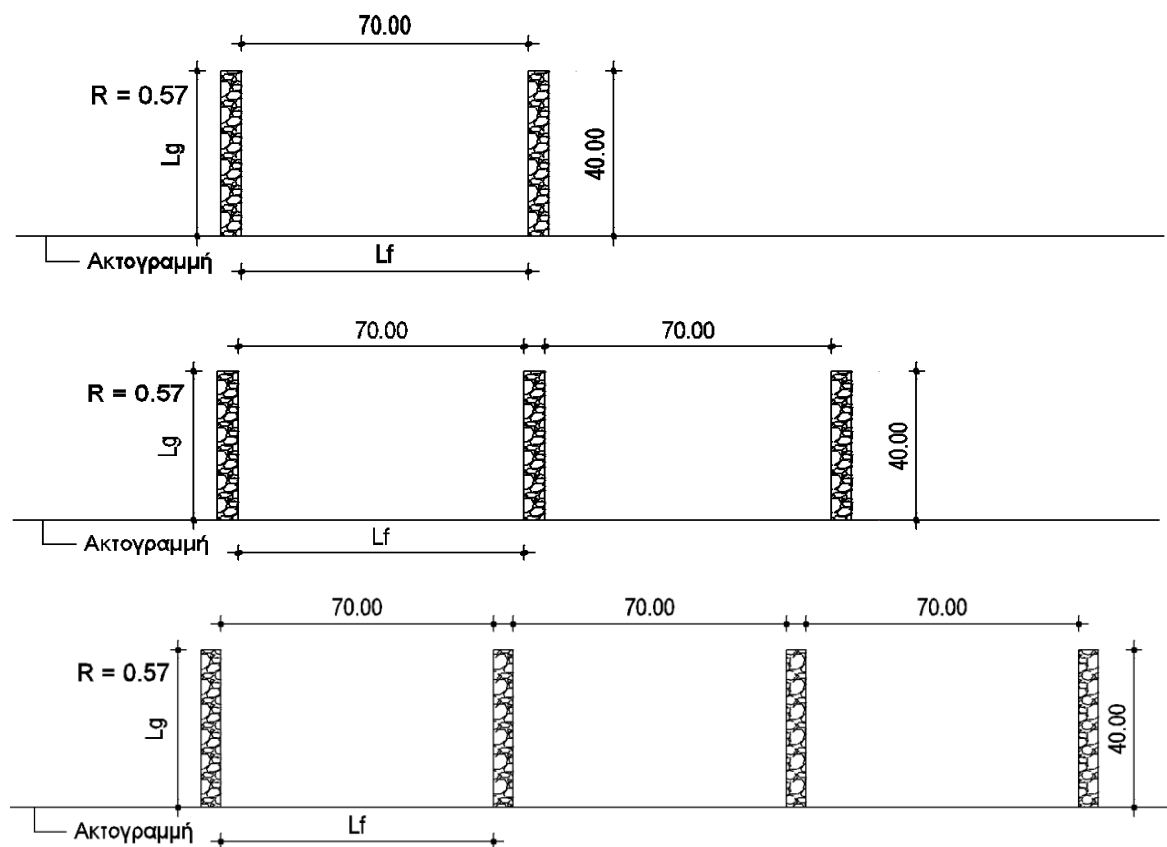
Σχήμα 3.3.5 Σύστημα εγκάρσιων προβόλων λόγου $R = 1$



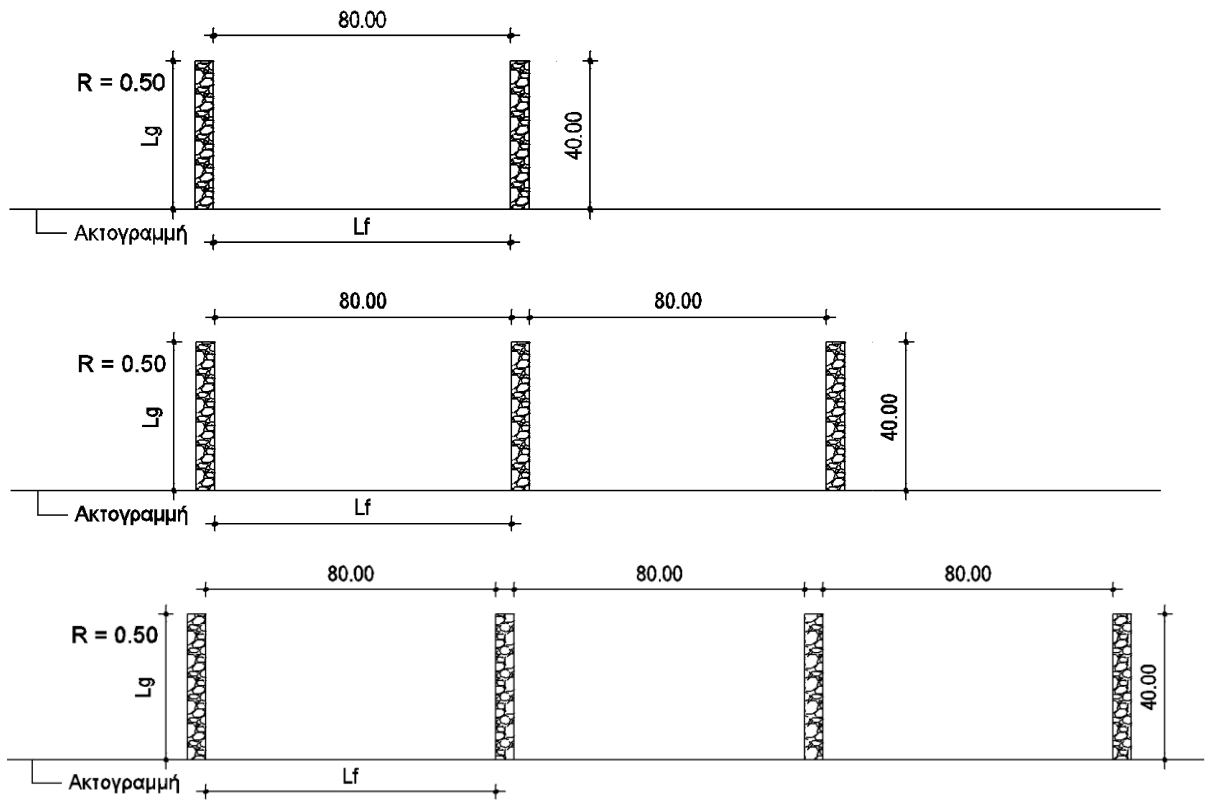
Σχήμα 3.3.6 Σύστημα εγκάρσιων προβόλων λόγου $R = 0.8$



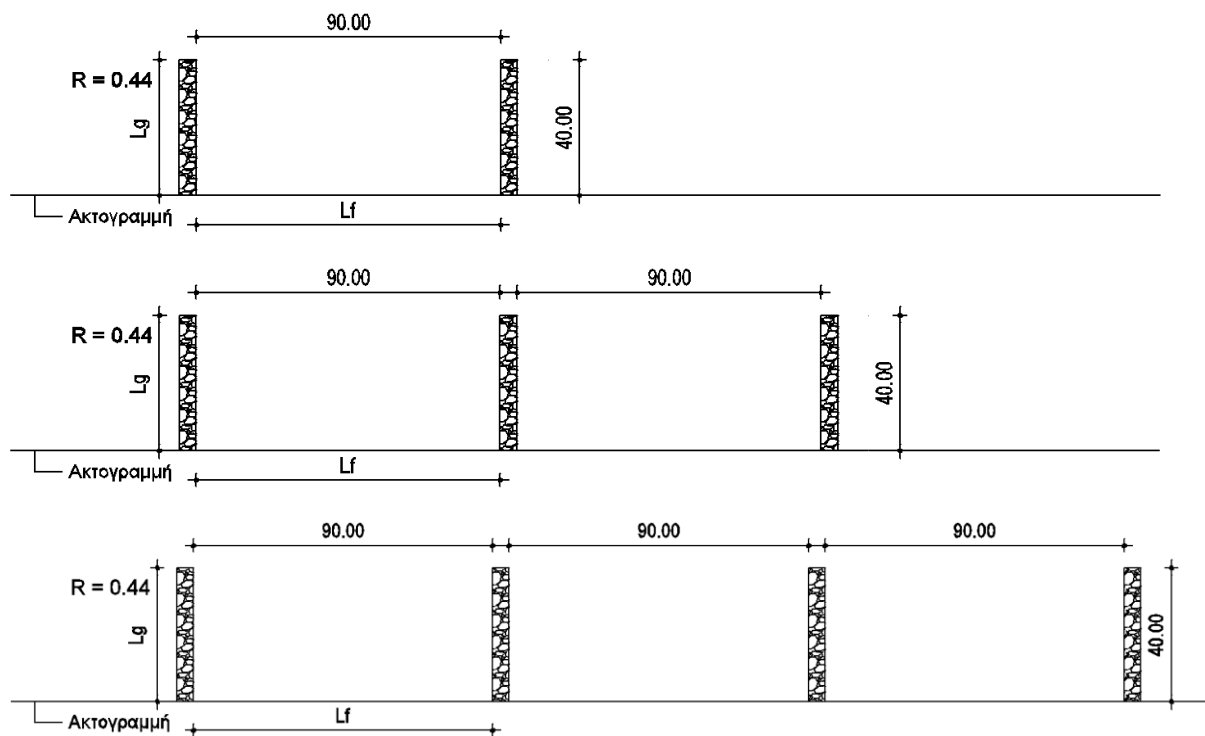
Σχήμα 3.3.7 Σύστημα εγκάρσιων προβόλων λόγου $R = 0.66$



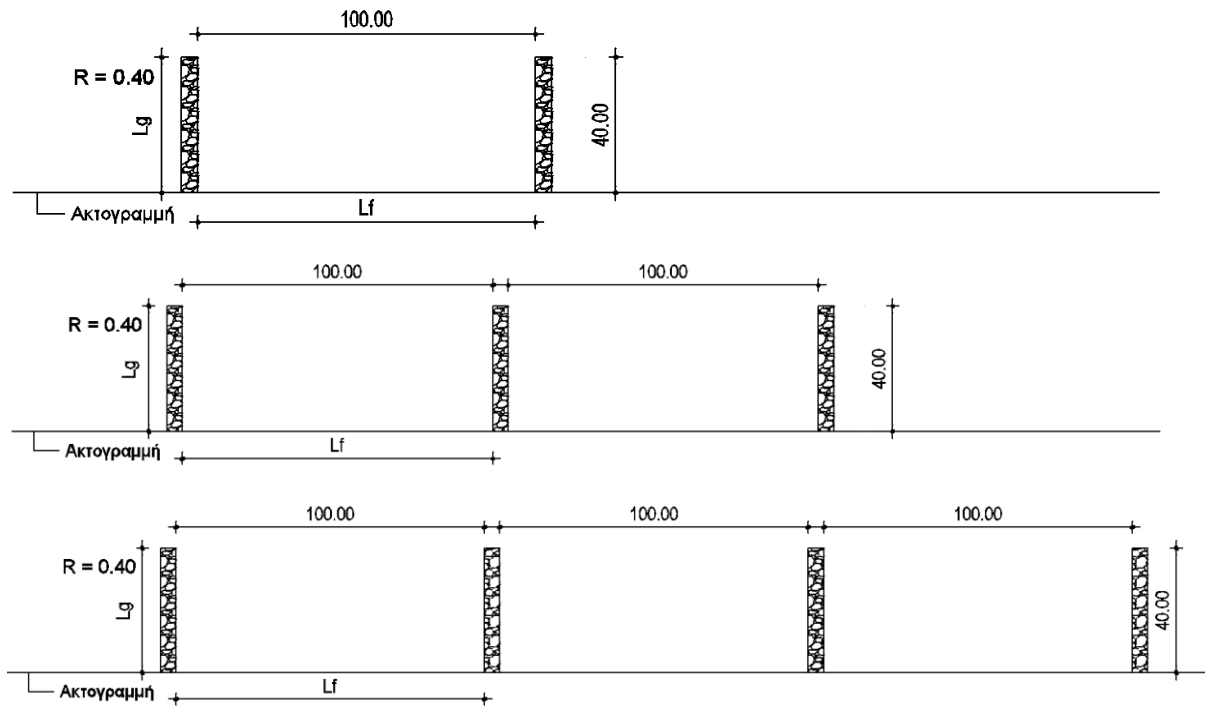
Σχήμα 3.3.8 Σύστημα εγκάρσιων προβόλων λόγου $R = 0.57$



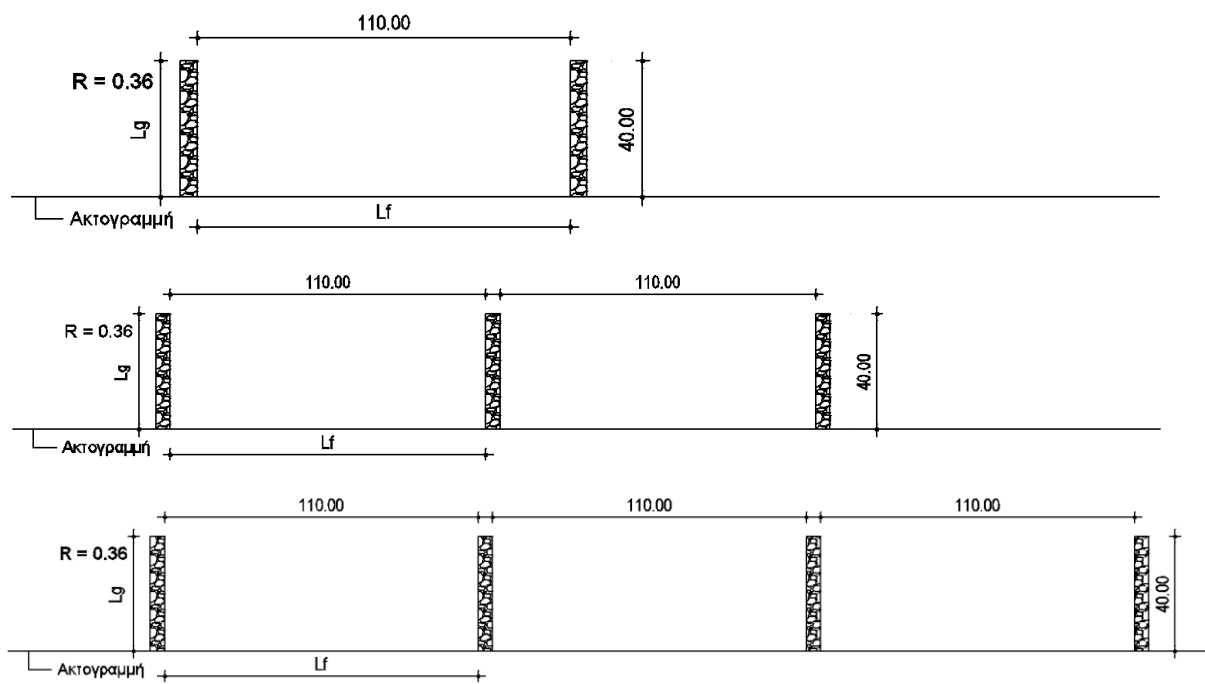
Σχήμα 3.3.9 Σύστημα εγκάρσιων προβόλων λόγου $R = 0.50$



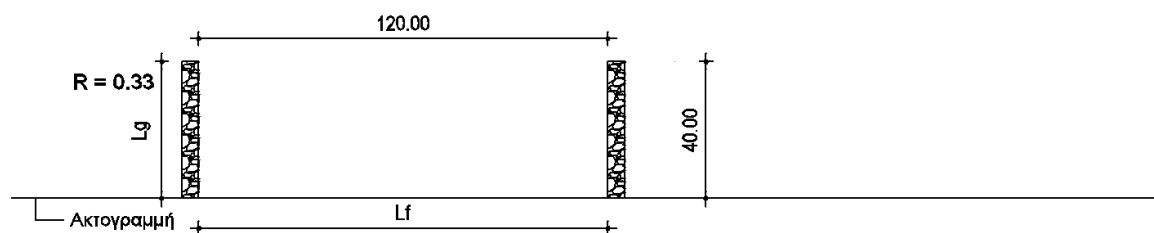
Σχήμα 3.3.10 Σύστημα εγκάρσιων προβόλων λόγου $R = 0.44$

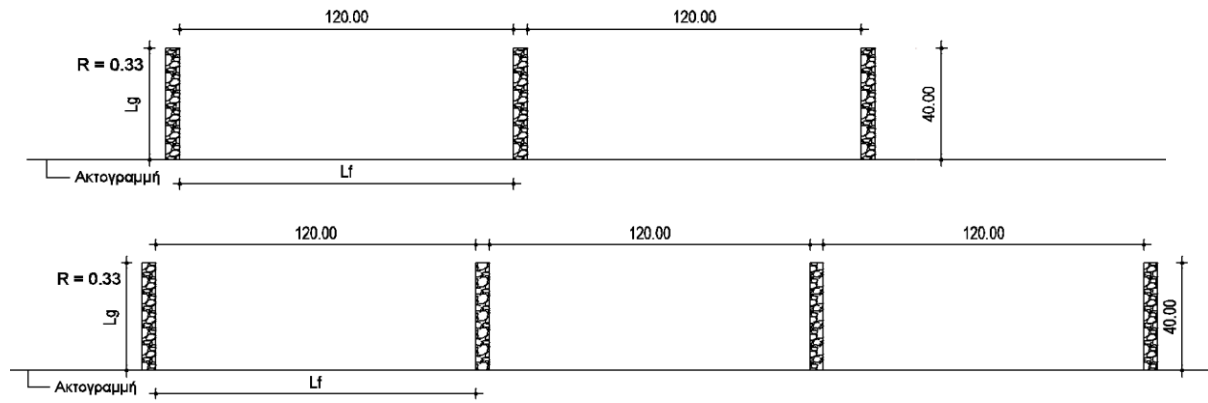


Σχήμα 3.3.11 Σύστημα εγκάρσιων προβόλων λόγου $R = 0.40$

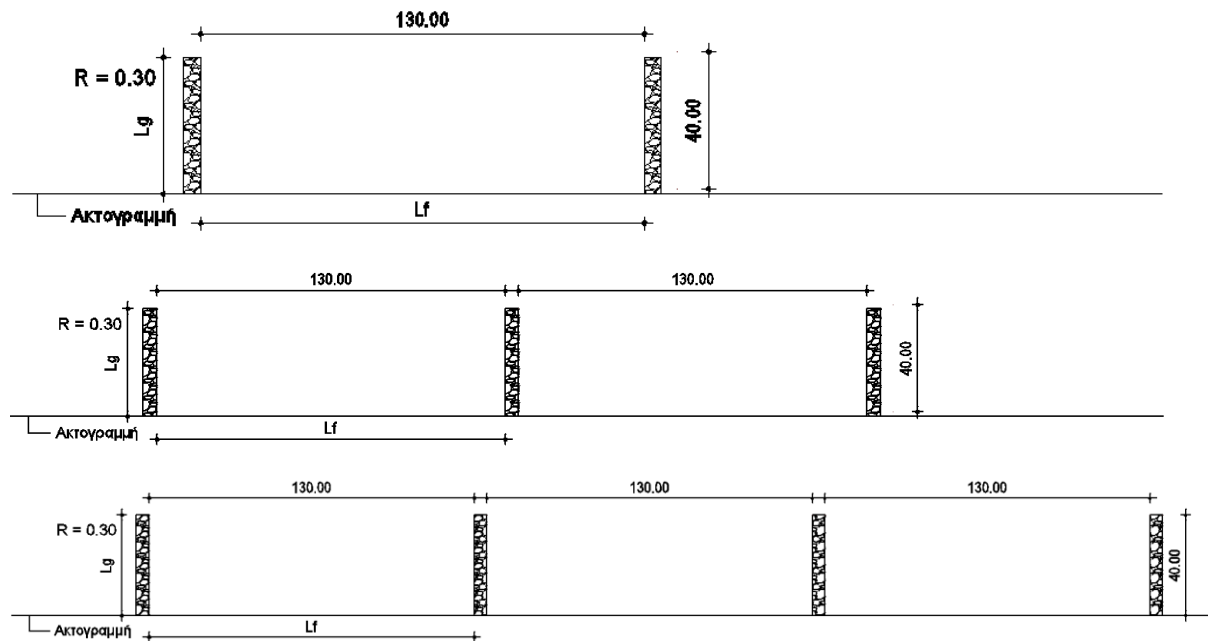


Σχήμα 3.3.12 Σύστημα εγκάρσιων προβόλων λόγου $R = 0.36$





Σχήμα 3.3.13 Σύστημα εγκάρσιων προβόλων λόγου $R = 0.33$



Σχήμα 3.3.14 Σύστημα εγκάρσιων προβόλων λόγου $R = 0.30$

Κεφάλαιο 4. Περιγραφή και θεωρητικό υπόβαθρο αριθμητικών μοντέλων

4.1 Αριθμητική Προσομοίωση με το Πρόγραμμα MIKE 21 DHI

Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα MIKE 21 DHI (Danish Hydraulic Institute) με το οποίο προσομοιώθηκαν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή το κυματικό πεδίο και υδροδυναμικό πεδίο του μοντέλου της ακτής με την εφαρμογή των εγκάρσιων προβόλων, καθώς και η παράκτια στερομεταφορά από την αλληλουχία αυτή. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν το μοντέλο Mike 21 Spectral Waves FM για τον υπολογισμό των κυματικών χαρακτηριστικών και των τάσεων ακτινοβολίας της περιοχής μελέτης, το υδροδυναμικό μοντέλο Flow Model FM Hydrodynamic για τον υπολογισμό του κυματογενούς ρεύματος καθώς και το μοντέλο στερομεταφοράς Flow Model FM Sand Transport για την εκτίμηση του φορτίου στερομεταφοράς καθώς και της αλλαγής του πυθμένα με βάση τις περιοχές όπου επικρατεί απόθεση ή διάβρωση ιζήματος. Τα συγκεκριμένα μοντέλα επιλέχθηκαν διότι επιτρέπουν την εισαγωγή της βαθυμετρίας σε τριγωνικό κάναβο Flexible Mesh, σε αντίθεση με προγενέστερα μοντέλα όπου ο κάναβος ήταν ορθογωνικός και απαιτούσε περισσότερο χρόνο στην προσαρμογή του μοντέλου.

4.1.1 Πρόγραμμα MIKE 21 SW (Spectral Waves)

4.1.1.1 Γενικά στοιχεία του μοντέλου

Το MIKE 21 SW είναι τρίτης γενιάς φασματικό μοντέλο κυμάτων και ανέμων, το οποίο προσομοιώνει την ανάπτυξη, την απόσβεση και τον μετασχηματισμό των ανεμογενών κυμάτων και των Swell στην ζώνη των βαθέων υδάτων και στις παράκτιες περιοχές. Το μοντέλο περιλαμβάνει δύο διαφορετικά είδη σύνθεσης :

- Πλήρως φασματική ανάπτυξη
- Κατευθυντική ανάλυση μεμονωμένων παραμέτρων

Η πλήρως φασματική ανάπτυξη βασίζεται στην εξίσωση διατήρησης της κυματικής δράσης όπως περιγράφεται από τους Komar (1994) και Young (1999). Η κατευθυντική ανάλυση μεμονωμένων παραμέτρων βασίζεται στην παραμετροποίηση της εξίσωσης της κυματικής δράσης. Η

παραμετροποίηση αυτή πραγματοποιείται στον χώρο των συχνοτήτων εισάγοντας τη μηδενική και την αρχική στιγμή του φάσματος της κυματικής ενέργειας.

Τα φαινόμενα που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς του MIKE 21 SW είναι :

- Η ανάπτυξη των κυματισμών από τη δράση των ανέμων
- Η μη γραμμική αλληλεπίδραση των κυμάτων
- Η διασπορά λόγω της θραύσης στην ανοικτή θάλασσα
- Η διασπορά λόγω της τριβής στον πυθμένα
- Η διασπορά λόγω της θραύσης των κυματισμών
- Η διάθλαση και ρήχωση
- Η αλληλεπίδραση κύματος και ρεύματος
- Η επίδραση του χρονικά μεταβαλλόμενου βάθους του νερού
- Η επίδραση του πάγου στη περιοχή των κυμάτων

Το MIKE 21 SW χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του κυματικού κλίματος στην περιοχή των βαθέων υδάτων και στις παράκτιες περιοχές σε hindcast και forecast προσομοιώσεις. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιείται κυρίως στον σχεδιασμό έργων ανοικτής θαλάσσης καθώς και παράκτιων και λιμενικών έργων, όπου η ακριβής εκτίμηση των κυματικών φορτίων αποτελεί υψίστης σημασίας παράγοντα για τον ασφαλή και οικονομικό σχεδιασμό αυτών των κατασκευών.

Τα βασικά στοιχεία που προκύπτουν από το μοντέλο είναι ολοκληρωμένες κυματικές παράμετροι, όπως το σημαντικό ύψος κύματος (H_{m0}), η περίοδος αιχμής (T_p), η μέση περίοδος (T_{01}), η μέγιστη και μέση κατεύθυνση των κυματισμών (θ_p και θ_m αντίστοιχα), η κατευθυντική τυπική απόκλιση (σ), καθώς επίσης και οι τάσεις ακτινοβολίας (S_{xx}, S_{xy}, S_{yy}) οι οποίες συμβάλλουν στην δημιουργία των κυματογενών ρευμάτων.

4.1.1.2 Θεωρητικές εξισώσεις μοντέλου

Στο μοντέλο MIKE 21 SW, τα ανεμογενή κύματα αναπαρίστανται από τη φασματική πυκνότητα της κυματικής δράσης $N(\sigma, \theta)$. Ως ανεξάρτητες παράμετροι έχουν επιλεγθεί η σχετική γωνιακή συχνότητα ($\sigma = 2\pi f$) και η διεύθυνση του προσπίπτοντος κυματισμού θ . Η σχέση μεταξύ της

σχετικής γωνιακής συχνότητας και της απόλυτης γωνιακής συχνότητας ω δίνεται από την γραμμική σχέση διασποράς :

$$\sigma = \sqrt{gk \tanh(kd)} = \omega - \bar{k} \cdot \bar{U} \quad (4.1)$$

Όπου g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας, d το βάθος του νερού, \bar{U} το διάνυσμα της ταχύτητας του ρεύματος και \bar{k} το διάνυσμα του κύματος με μέτρο k και διεύθυνση ϑ . Η πυκνότητα δράσης $N(\sigma, \vartheta)$ σχετίζεται με την πυκνότητα της ενέργειας $E(\sigma, \vartheta)$ μέσω της σχέσης :

$$N = \frac{E}{\sigma} \quad (4.2)$$

➤ Πλήρως Φασματική ανάπτυξη

Η εξίσωση που διέπει το MIKE 21 SW είναι η εξίσωση ισορροπίας της κυματικής δράσης σε καρτεσιανές ή σφαιρικές συντεταγμένες. Στις οριζόντιες καρτεσιανές συντεταγμένες, η εξίσωση διατήρησης της κυματικής δράσης είναι η εξής:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{v}N) = \frac{S}{\sigma} \quad (4.3)$$

Όπου $N = (\bar{x}, \sigma, \theta, t)$ είναι η πυκνότητα δράσης, t ο χρόνος, $\bar{x} = (x, y)$ είναι οι καρτεσιανές συντεταγμένες, $\bar{v} = (c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$ είναι η ταχύτητα διάδοσης ομάδας κυμάτων σε τεσσάρων διαστάσεων χώρο, S η πηγή για την εξίσωση ισορροπίας της κυματικής ενέργειας, ∇ ο τεσσάρων διαστάσεων διαφορικός τελεστής στο χώρο \bar{x}, σ, θ . Οι συνιστώσες των ταχυτήτων διάδοσης δίνονται από τις γραμμικές κινηματικές σχέσεις :

$$(c_x, c_y) = \frac{d\bar{x}}{dt} = \bar{c}_g + \bar{U} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)} \right) \frac{\sigma}{k} + \bar{U} \quad (4.4\alpha)$$

$$c_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left[\frac{\partial d}{\partial t} + \bar{U} \cdot \nabla_{\bar{x}} d \right] - c_g \bar{k} \cdot \frac{\partial \bar{U}}{\partial s} \quad (4.4\beta)$$

$$c_\theta = \frac{d\theta}{dt} = -\frac{1}{k} \left[\frac{\partial \sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + \bar{k} \cdot \frac{\partial \bar{U}}{\partial m} \right] \quad (4.4\gamma)$$

Όπου s είναι η χωρική συντεταγμένη της διεύθυνσης ϑ του κυματισμού, m είναι η συντεταγμένη κάθετη στο s , $\nabla_{\bar{x}}$ είναι ο δισδιάστατος διαφορικός τελεστής στο χώρο \bar{x} .

➤ Εξίσωση πηγής

Ο όρος της πηγής στο β' μέλος της εξίσωσης διατήρησης της κυματικής δράσης δίνεται από την σχέση:

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{surf} \quad (4.5)$$

Όπου το S_{in} αναπαριστά τη στιγμιαία μετάδοση της ενέργειας του ανέμου για την γένεση των κυματισμών, S_{nl} η μεταφορά ενέργειας λόγω της μη γραμμικής αλληλεπίδρασης των κυματισμών, S_{ds} η διασπορά της κυματικής ενέργειας λόγω της θραύσης της κορυφής των κυμάτων στα βαθιά, S_{bot} η διασπορά λόγω της τριβής στο πυθμένα και S_{surf} η διασπορά της κυματικής ενέργειας λόγω της θραύσης των κυματισμών.

➤ Κατευθυντική ανάλυση μεμονωμένων παραμέτρων

Η παραμετροποίηση της εξίσωσης διατήρησης της κυματικής δράσης οδηγεί στις ακόλουθες εξισώσεις:

$$\frac{\partial(m_0)}{\partial t} + \frac{\partial(c_x m_0)}{\partial x} + \frac{\partial(c_y m_0)}{\partial y} + \frac{\partial(c_\theta m_0)}{\partial \theta} = T_0 \quad (4.6)$$

$$\frac{\partial(m_1)}{\partial t} + \frac{\partial(c_x m_1)}{\partial x} + \frac{\partial(c_y m_1)}{\partial y} + \frac{\partial(c_\theta m_1)}{\partial \theta} = T_1 \quad (4.7)$$

Όπου $m_0(x, y, \vartheta)$ και $m_1(x, y, \vartheta)$ είναι η μηδενική και η αρχική στιγμή του φάσματος δράσης $N(x, y, \sigma, \vartheta)$, $T_0(x, y, \vartheta)$ και $T_1(x, y, \vartheta)$ είναι οι συναρτήσεις πηγής στο φάσμα δράσης. Τα στιγμιότυπα $m_n(x, y, \vartheta)$ ορίζονται με την σχέση :

$$m_n(x, y, \vartheta) = \int_0^\infty \omega^n N(x, y, \omega, \vartheta) d\omega \quad (4.8)$$

Οι συναρτήσεις της πηγής T_0 και T_1 λαμβάνουν υπόψιν την επίδραση της δημιουργίας των τοπικών (για την λειτουργία stationary = στάσιμων κυμάτων) και της διασποράς της ενέργειας λόγω της τριβής στον πυθμένα και της θραύσης των κυματισμών. Επιπρόσθετα περιλαμβάνεται το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης των κυμάτων-ρευμάτων. Οι συναρτήσεις πηγής για την τοπική δημιουργία ανέμων προέρχονται από τις εμπειρικές σχέσεις εξέλιξης Johnson (1998).

4.1.1.2 Βασικές παράμετροι εισόδου

Η ορθότητα των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης σε σχέση με τα πραγματικά δεδομένα, εξαρτάται από τις παραμέτρους εισόδου του μοντέλου που θα εισαχθούν στο πρόγραμμα. Οι κατηγορίες αυτών είναι οι εξής :

- Πεδίο Μελέτης και χρονικές παράμετροι
 - Κάναβος περιοχής μελέτης
 - Τύπος συντεταγμένων (καρτεσιανές ή σφαιρικές)
 - Χρόνος προσομοίωσης και χρονικό βήμα
- Εξισώσεις, διακριτοποίηση και μέθοδος επίλυσης
 - Μέθοδος σύνθεσης
 - Συχνότητα και κατευθυντική διακριτοποίηση
 - Αριθμός ομάδων χρονικών βημάτων
- Κινητήριες Παράμετροι
 - Δεδομένα στάθμης θαλάσσιας επιφάνειας
 - Δεδομένα ρευμάτων
 - Δεδομένα ανέμων
 - Δεδομένα κάλυψης πάγου
- Παράμετροι Συναρτήσεων Πηγής
 - Μη γραμμική μετάδοση ενέργειας
 - Θραύση κυματισμών (ρηχά νερά)
 - Τριβή πυθμένα
 - Θραύση στα ανοιχτά λόγω πνοής ανέμου
- Αρχικές συνθήκες
 - Μηδενικό φάσμα (cold start)
 - Εμπειρικά δεδομένα
 - Αρχεία δεδομένα από προηγούμενο μοντέλο προσομοίωσης

- Οριακές συνθήκες
 - Κλειστά όρια
 - Ανοιχτά όρια

4.1.2 Πρόγραμμα MIKE 21 Flow Model FM – Hydrodynamic Module

4.1.2.1 Γενικά στοιχεία μοντέλου

Το MIKE 21 Flow Model FM είναι ένα ολοκληρωμένο μοντέλο υπολογισμού δισδιάστατων ροών με ελεύθερη επιφάνεια το οποίο βασίζεται στο χωρικό πλέγμα Flexible Mesh. Το μοντέλο βρίσκει εφαρμογή στην προσομοίωση υδραυλικών και περιβαλλοντικών φαινομένων, σε λίμνες, εκβολές ποταμών, παράκτιες περιοχές και στην ανοιχτή θάλασσα. Η δυνατότητα που δίνει στο χρήστη για την επιλογή αυτού του είδους τριγωνικού κανάβου καλύπτει την αυξημένη ζήτηση για ρεαλιστικές απεικονίσεις της περιοχής μελέτης και για προσομοίωση αλληλένδετων διαδικασιών.

Το υδροδυναμικό μοντέλο (HD) αποτελεί τη βάση του μοντέλου MIK21 FLOW Model FM καθώς προσομοιώνει τη μεταβολή της στάθμης του νερού και τη ροή, παράγοντας στοιχεία που αποτελούν δεδομένα για άλλα αυτόνομα μοντέλα. Μεταξύ άλλων, μπορεί να εφαρμοσθεί για τον υπολογισμό των ανεμογενών και κυματογενών ρευμάτων σε μια παράκτια περιοχή, των κυματικών καταιγίδων και την μοντελοποίηση των παλιρροιών.

Στους υπολογισμούς αυτού του μοντέλου λαμβάνονται υπόψη:

- Η διατμητική τάση στον πυθμένα (bottom shear stress)
- Η διατμητική τάση από τον άνεμο (wind shear stress)
- Οι μεταβολές της βαρομετρικής πίεσης (Barometric pressure gradients)
- Η δύναμη Coriolis (Coriolis force)
- Η διασπορά της ορμής (momentum dispersion)
- Οι παροχές εισόδου και εξόδου (sources and sinks)
- Οι μεταβολές της στάθμης της θάλασσας (flooding and drying)
- Οι τάσεις ακτινοβολίας (wave radiation stresses)

Τα βασικά στοιχεία που προκύπτουν από το μοντέλο Flow Model FM Hydrodynamic module για κάθε στοιχείο του Mesh και για κάθε χρονικό βήμα είναι το βάθος νερού, η στάθμη της θαλάσσιας επιφάνειας, οι πυκνότητες ροής κατά x και y (P flux και Q flux αντίστοιχα) , οι ταχύτητες κατά x και y (U και V αντίστοιχα) , καθώς και η ταχύτητα του κυματογενούς ρεύματος.

4.1.2.2 Θεωρητικές εξισώσεις μοντέλου

Το MIKE 21 Flow Model FM βασίζεται στην αριθμητική λύση της δισδιάστατης/τριδιάστατης κατά Reynolds ολοκληρωμένης εξίσωσης Navier-Stokes ασυμπίεστης ροής που υπακούν στις παραδοχές του Boussinesq και της υδροστατικής πίεσης. Συνεπώς, το μοντέλο αποτελείται από εξισώσεις συνέχειας, ορμής, θερμοκρασίας, αλατότητας και πυκνότητας και προσεγγίζεται από μοντέλα τύρβης (τάσεις ακτινοβολίας) που επιλύουν το "κλείσιμο" της εξίσωσης Navier Stokes (turbulent closure scheme). Η πυκνότητα δεν εξαρτάται από την πίεση, αλλά μόνο από την θερμοκρασία και την αλατότητα. Η εξίσωση συνέχειας περιγράφεται ως εξής :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S \quad (4.9)$$

και οι δυο οριζόντιες εξισώσεις ορμής κατά x και κατά y αντίστοιχα.

Οι εξισώσεις διατήρησης ποσότητας κίνησης κατά την οριζόντια και κατακόρυφη διεύθυνση, αντίστοιχα, ε

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = f_v - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_o} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_o} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_o h} \left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) \\ + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S \end{aligned} \quad (4.10)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial wv}{\partial z} = -f_u - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_o} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_o} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho_o h} \left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) \\ + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S \end{aligned} \quad (4.11)$$

Όπου

t : ο χρόνος (σε s)

x, y, z : οι καρτεσιανές συντεταγμένες

$\eta(x, y, t)$: η ανύψωση της ελεύθερης επιφάνειας (σε m)

d : το χρονικά μεταβαλλόμενο βάθος του νερού (σε m)

h : (= $\eta+d$) το συνολικό βάθος νερού (σε m)

u, v, w : οι συνιστώσες της ταχύτητας κατά x, y, z

f : (= $2\Omega \sin\varphi$) η παράμετρος Coriolis

g : η επιτάχυνση της βαρύτητας (σε m/s^2)

ρ_w : η πυκνότητα του νερού (σε kg/m^3)

$S_{xx}, S_{xy}, S_{yx}, S_{yy}$: οι συνιστώσες του τανυστή των τάσεων ακτινοβολίας

v_t : το κινηματικό ιξώδες (m^2/s)

p_a : η ατμοσφαιρική πίεση σε ($kg/m/s^2$)

ρ_o : η πυκνότητα του νερού

S : το μέγεθος φόρτισης λόγω των σημειακών πηγών

u_s, v_s : η ταχύτητα με την οποία το νερό εκχέεται στο περιβάλλον νερό

Οι όροι των οριζόντιων τάσεων περιγράφονται χρησιμοποιώντας τις παρακάτω σχέσεις :

$$F_u = \frac{\partial}{\partial x} \left(2A \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) \quad (4.12)$$

$$F_v = \frac{\partial}{\partial x} \left(A \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(2A \frac{\partial v}{\partial y} \right) \quad (4.13)$$

Όπου A είναι η οριζόντια τυρβώδης συνεκτικότητα.

Οι συνθήκες για την ελεύθερη επιφάνεια και τον πυθμένα για τις u, v, w είναι:

➤ Στο $z=\eta$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \frac{\partial \eta}{\partial y} - w = 0, \quad \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \frac{1}{\rho_o v_t} (\tau_{sx}, \tau_{sy}) \quad (4.14)$$

➤ Στο $z=-d$

$$u \frac{\partial d}{\partial x} + v \frac{\partial d}{\partial y} + w = 0, \quad \left(\frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \frac{1}{\rho_0 v_t} (\tau_{bx}, \tau_{by}) \quad (4.15)$$

Όπου (τ_{xx}, τ_{yy}) και (τ_{bx}, τ_{by}) είναι οι συνιστώσες κατά χ και γ των τάσεων του ανέμου στην ελεύθερη επιφάνεια και των τάσεων στον πυθμένα αντίστοιχα.

Στο υδροδυναμικό μοντέλο οι υπολογισμοί για την μεταφορά της θερμότητας T και της αλατότητας s ακολουθούν την γενική εξίσωση μεταφοράς και διάχυσης που περιγράφεται από τις σχέσεις :

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} + \frac{\partial wT}{\partial z} = F_T + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \hat{H} + T_s S \quad (4.16)$$

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial us}{\partial x} + \frac{\partial vs}{\partial y} + \frac{\partial ws}{\partial z} = F_s + \frac{\partial}{\partial z} \left(D_v \frac{\partial s}{\partial z} \right) + s_s S \quad (4.17)$$

Όπου

D_v : ο συντελεστής κάθετης τυρβώδους διάχυσης

\hat{H} : όρος πηγής λόγω μετάδοσης θερμότητας στην ατμόσφαιρα

T_s και s_s : η θερμοκρασία και η αλατότητα της πηγής

Ο όρος F αναφέρεται στην οριζόντια διάχυση και ορίζεται από τη σχέση :

$$(F_T, F_s) = \left[\frac{\partial}{\partial x} (D_h \frac{\partial}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (D_h \frac{\partial}{\partial y}) \right] (T, s) \quad (4.18)$$

Όπου D_h είναι ο συντελεστής οριζόντιας διάχυσης.

4.1.2.2 Βασικές παράμετροι εισόδου

Όπως και προηγουμένως, η ορθότητα των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης σε σχέση με τα πραγματικά δεδομένα, εξαρτάται από τις παραμέτρους εισόδου του μοντέλου που θα εισαχθούν στο πρόγραμμα. Οι κατηγορίες αυτών είναι οι εξής :

- Πεδίο μελέτης και χρονικές παράμετροι
 - Υπολογιστικό πλέγμα και βαθυμετρία
 - Διάρκεια προσομοίωσης και χρονικό βήμα
- Συντελεστές βαθμονόμησης
 - Αντίσταση πυθμένα
 - Συντελεστής διασποράς ορμής
 - Συντελεστής τριβής ανέμου
- Αρχικές Συνθήκες
 - Επίπεδο θαλάσσιας στάθμης
 - Συνιστώσες ταχύτητας
- Οριακές Συνθήκες
 - Κλειστές / Ανοιχτές
 - Στάθμη ύδατος
- Άλλες κινητήριες δυνάμεις
 - Ταχύτητα και κατεύθυνση ανέμου
 - Παλίρροια
 - Πηγές
 - Τάσεις ακτινοβολίας κυμάτων

4.1.3 Πρόγραμμα MIKE 21 Flow Model FM – Sand Transport Module

4.1.3.1 Γενικά στοιχεία του μοντέλου

Το MIKE 21 FM Sand Transport Module (ST) είναι ένα αριθμητικό μοντέλο του λογισμικού MIKE 21 FM που υπολογίζει τους ρυθμούς στερεομεταφοράς μη συνεκτικών ιζημάτων (άμμος) και των σχετικών αρχικών ρυθμών μεταβολής της στάθμης του πυθμένα σε περιπτώσεις αμιγούς ρεύματος ή σε συνδυασμένη δράση ρεύματος και κύματος. Το MIKE 21 FM ST υπολογίζει τους ρυθμούς στερεομεταφοράς στο χωρικό πλέγμα flexible mesh, βασιζόμενα σε υδροδυναμικά δεδομένα τα οποία προκύπτουν από την προσομοίωση του μοντέλου MIKE 21 FM HD και σε συνδυασμό με τα στοιχεία που αφορούν το ίζημα της περιοχής μελέτης. Επιπλέον είναι εφικτό να συμπεριληφθεί η ανάδραση μεταξύ βαθυμετρίας και του ρυθμού μεταβολής της στάθμης του πυθμένα, έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η μορφολογική εξέλιξη του πυθμένα.

Το μοντέλο ST προσομοιώνει αρκετές διαφορετικές περιοχές εφαρμογής. Οι πιο συνηθισμένες είναι οι εξής :

- Διαχείριση παράκτιας ζώνης
- Βελτιστοποίηση διατάξεων λιμένα
- Έργα προστασίας ακτογραμμής
- Ευστάθεια λόγω παλιρροιακών φαινομένων
- Απόθεση ιζήματος σε βυθοκορήσεις και εισόδους λιμένων
- Διάβρωση υποθαλάσσιων αγωγών
- Μορφολογία ποταμών

Τα αποτελέσματα του μοντέλου μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο είδη, το ρυθμό στερεομεταφοράς και τις μορφολογικές εξελίξεις του πυθμένα. Συγκεκριμένα, τα βασικά στοιχεία που προκύπτουν για κάθε χρονικό βήμα σε κάθε στοιχείο του χωρικού πλέγματος flexible mesh είναι το φορτίο πυθμένα, το φορτίο του αιωρούμενου ιζήματος και το συνολικό κατά x και y , ο ρυθμός μεταβολής της στάθμης του πυθμένα, η αλλαγή της στάθμης του και η στιγμιαία στάθμη πυθμένα.

4.1.3.2 Θεωρητικές εξισώσεις μοντέλου

Στο μοντέλο MIKE 21 ST FM είναι διαθέσιμες πέντε διαφορετικές θεωρίες υπολογισμού της στερεομεταφοράς, σε συνθήκες αμιγούς ρεύματος.

➤ Θεωρία ολικού φορτίου μεταφοράς των Engelund & Hansen

Το μοντέλο των Engelund και Hansen (1967) είναι ένα μοντέλο που υπολογίζει το ολικό φορτίο στερεομεταφοράς και χρειάζεται πληροφορίες από το χρήστη για να διαχωρίσει το φορτίο στερεομεταφοράς σε φορτίο πυθμένα και φορτίο αιωρήσεως. Οι ρυθμοί στερεομεταφοράς προέρχονται από τις σχέσεις:

$$S_{bl} = k_b \cdot S_{tl} \quad (4.20)$$

$$S_{sl} = k_s \cdot S_{tl} \quad (4.21)$$

Όπου το ολικό φορτίο στερεομεταφοράς προκύπτει από τη σχέση:

$$S_{sl} = 00.5 \frac{c^2}{g} \theta^{\frac{5}{2}} \sqrt{(s-1)gd_{50}^3} \quad (4.22)$$

Η συγκέντρωση ισορροπίας ορίζεται ως το φορτίο αιώρησης διαιρούμενο από τη ροή νερού και μετατρέπεται από ογκομετρική συγκέντρωση σε συγκέντρωση μάζας από τον τύπο :

$$c_e = \frac{S_{sl}}{V \cdot h} \cdot s \cdot 10^6 \quad (4.23)$$

➤ Θεωρία ολικού φορτίου μεταφοράς των Engelund & Fredsøe

Επίσης, χρησιμοποιείται η θεωρία του ολικού φορτίου μεταφοράς των Engelund & Fredsøe. Ο ρυθμός μεταφοράς του συνολικού φορτίου (q_t) υπολογίζεται ως το άθροισμα του φορτίου πυθμένα (q_b) και του φορτίου σε αιώρηση (q_s), ήτοι $q_t = q_b + q_s$. Γίνεται η θεώρηση ότι η στερεομεταφορά στον πυθμένα λαμβάνει χώρα σε ένα στρώμα πάχους ίσο με τη διάμετρο των κόκκων του ιζήματος και η στερεοπαροχή υπολογίζεται από τη σχέση :

$$q_b = 5p(\sqrt{\theta'} - 0.07\sqrt{\theta_c})\sqrt{(s-1)gD} \quad (4.24)$$

Όπου p η πιθανότητα όλοι οι κόκκοι σε κάποιο στρώμα να βρίσκονται σε κίνηση, θ' η αδιάστατη διατμητική τάση στον πυθμένα (παράμετρος Shields) σε σχέση με την τριβή της διεπιφάνειας ρευστού-στερεού (skin friction) και θ_c η κρίσιμη διατμητική τάση πυθμένα για την έναρξη της κίνησης του ιζήματος. Η αδιάστατη διατμητική τάση στον πυθμένα σε σχέση με την τριβή της διεπιφάνειας ρευστού – στερεού (skin friction) θ' και η πιθανότητα p δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις :

$$\theta' = \frac{u_f'^2}{(s-1)gD} \quad (4.25)$$

$$p = \left[1 + \left(\frac{\frac{\pi\beta_f}{6}}{\theta' - \theta_c} \right)^4 \right]^{-0.25} \quad (4.26)$$

Όπου u_f' η διατμητική ταχύτητα σχετιζόμενη με την τριβή της διεπιφάνειας ρευστού-στερεού (skin friction) και β_f ο δυναμικός συντελεστής τριβής. Το φορτίο σε αιώρηση υπολογίζεται ως:

$$q_s = 11,6U_f'^2 c_b a \left[I_1 \ln \left(\frac{30d}{k_N} \right) + I_2 \right] \quad (4.27)$$

Όπου C_b η συγκέντρωση στον πυθμένα του αιωρούμενου ιζήματος, $\alpha=2d$ το επίπεδο αναφοράς για το C_b , I_1 και I_2 τα ολοκληρώματα του Einstein, d το βάθος του νερού και $k_N = 2,5D$ η ισοδύναμη τραχύτητα του Nikuradse. Τα ολοκληρώματα I_1 και I_2 αποτελούν μια συνάρτηση του αδιάστατου επιπέδου αναφοράς $A=r/d$ και του αριθμού Rouse $z^* = W_f / \kappa U_{f,wc}$, με W_f να απεικονίζει την ταχύτητα καθίζησης του αιρούμενου ιζήματος, $\kappa=0,4$ η σταθερά του Von Karman και $U_{f,wc}$ η διατμητική ταχύτητα υπό τη συνδυασμένη δράση ρεύματος και κύματος και έχουν όρια το διάστημα (α,d) , όπου το y μετράτε πάνω από το σταθερό επίπεδο του πυθμένα. Στο επίπεδο αναφοράς $\alpha=2d$ η συγκέντρωση C_b υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$c_b = \frac{0,65}{(1+1/\lambda)^3} \quad (4.28)$$

Όπου λ παράμετρος που δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\lambda = \sqrt{\frac{\theta' - \theta_c - \pi p \beta / 6}{0,027 s \theta'}}, \quad \text{για } \theta' > \theta_c + \pi p \beta / 6 \quad (4.29)$$

Λόγω του ότι η θεωρία των Engelund & Fredsøe αναπτύχθηκε βάση αποτελεσμάτων που προέκυψαν από πειράματα με αμμώδες υλικό πυθμένα, η θεωρία ισχύει μόνο σε περιπτώσεις στις οποίες το υλικό, που εισάγεται ως δεδομένο, έχει διάμετρο κόκκων παρόμοια με της άμμου.

➤ Θεώρημα ολικού φορτίου μεταφοράς του Van- Rijn

Ο Van-Rijn (1984) πρότεινε μια νέα θεωρία για τον υπολογισμό του φορτίου πυθμένα και αιωρήσεως ξεχωριστά. Συγκεκριμένα, για το φορτίο πυθμένα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$S_{bl} = 0.053 \frac{T^{2.1}}{D_*^{0.3}} \sqrt{(s-1) g d_{50}^3} \quad (4.30)$$

Όπου T είναι η αδιάστατη παράμετρος του βαθμού στερεομεταφοράς που υπολογίζεται από τον τύπο

$$T = \left(\frac{u'_f}{u_{f,c}} \right)^2 - 1 \quad (4.31)$$

Όπου το u'_f είναι η διατμητική ταχύτητα πυθμένα που σχετίζεται με την κοκκομετρία του υλικού του, και $u_{f,c}$ είναι η κρίσιμη διατμητική ταχύτητα πυθμένα.

Επιπλέον ο όρος D^* στην εξίσωση του φορτίου πυθμένα του Van-Rijn ορίζεται ως :

$$D_* = d_{50} \left(\frac{(s-1)g}{\nu^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4.32)$$

Όπου ν είναι η κινηματική συνεκτικότητα

Η στερεομεταφορά με αιώρηση πραγματοποιείται μόνο όταν πληρείται ένα από τα επόμενα κριτήρια :

$$u_f > \frac{4w_s}{D_*}, \quad \text{για } D_* < 10 \quad (4.33)$$

$$u_f > 0.4w_s, \quad \text{για } D_* > 10 \quad (4.34)$$

Το επίπεδο αναφοράς στο οποίο πραγματοποιείται η συγκέντρωση ιζήματος στο πυθμένα ορίζεται από τη σχέση :

$$a = \max \left(\frac{0.01h}{2d_{50}} \right) \quad (4.35)$$

Η ογκομετρική συγκέντρωση πυθμένα υπολογίζεται από τη σχέση:

$$c_a = 0.015 \cdot \frac{d_{50} T^{1.5}}{a D_*^{0.3}} \quad (4.36)$$

Ένας διορθωτικός συντελεστής εφαρμόζεται στο υδροδυναμικό συντελεστή διάχυσης έτσι ώστε να τον μετατρέψει σε συντελεστή διάχυσης για το αιωρούμενο ίζημα :

$$\beta = 1 + 2 \left(\frac{w_s}{u_f} \right)^2 \quad (4.37)$$

Ο Van Rijn ορίζει επίσης έναν διορθωτικό παράγοντα για το προφίλ συγκέντρωσης του ιζήματος που ορίζεται από τη σχέση:

$$\varphi = \frac{5}{2} \left(\frac{w_s}{u_f} \right)^{0.8} \left(\frac{c_a}{c_o} \right)^{0.4} \quad (4.38)$$

Το C_o είναι η μέγιστη συγκέντρωση ιζήματος, η οποία είναι ίση με 0.65.

Εφαρμόζοντας τους διορθωτικούς συντελεστές που αναφέρθηκαν ανωτέρω, προκύπτει η παράμετρος Z για το εναιώρημα :

$$Z = \frac{w_s}{\beta \kappa_{uf}} + \varphi \quad (4.39)$$

Τελικώς το φορτίο αιωρούμενου ιζήματος που είναι εξαρτώμενο από το βάθος υπολογίζεται από τον εξής τύπο :

$$S_{sl} = f \cdot c_a \cdot V \cdot h \quad (4.40)$$

Όπου ο διορθωτικός συντελεστής για το αιωρούμενο ίζημα προκύπτει από τη σχέση :

$$f = \frac{\left(\frac{a}{h} \right)^Z - \left(\frac{a}{h} \right)^{1.2}}{\left(1 - \frac{a}{h} \right)^Z (1.2 - Z)} \quad (4.41)$$

➤ Θεώρημα μεταφοράς φορτίου πυθμένα των Meyer-Peter & Müller

Κατά τη θεωρία αυτή, ο αδιάστατος ρυθμός μεταφοράς του φορτίου πυθμένα υπολογίζεται ως:

$$\Phi_b = 8(\theta' - \theta_c)^{1.5} \quad (4.42)$$

$$\Phi_b = \frac{q_b}{\sqrt{(s-1)gD^3}} \quad (4.43)$$

Πρέπει να αναλογισθεί κανείς ότι σε περιπτώσεις όπου το ίζημα είναι πολύ λεπτόκοκκο και/ή η ταχύτητα του ρεύματος μεγάλη, με τη φόρμουλα αυτή υπολογίζονται μικρότεροι ρυθμοί

στερεομεταφοράς από τους πραγματικούς, καθώς λαμβάνεται υπόψιν μόνο η συνεισφορά του φορτίου πυθμένα.

Αναφορικά με τη στερεομεταφορά από συνδυασμένη δράση κυμάτων και ρευμάτων, αυτή υπολογίζεται ως το άθροισμα του φορτίου πυθμένα και του φορτίου αιωρήσεως. Στο μοντέλο STPQ3D χρησιμοποιείται το φορτίο πυθμένα των Engelund και Fredsøe, όπου υπολογίζεται από τη στιγμιαία παράμετρο του Shields. Στην περίπτωση που το φορτίο πυθμένα είναι χονδρόκοκκο με την μορφή κροκάλων υφίσταται μόνο φορτίο πυθμένα και ο υπολογισμός του είναι διαφορετικός από αυτόν της άμμου.

Η κατακόρυφη μεταβολή της συγκέντρωσης του αιωρούμενου ιζήματος υπολογίζεται από την εξίσωση κατακόρυφης διάχυσης για αιωρούμενο ίζημα σύμφωνα με το Fredsøe et al (1985). Η στερεομεταφορά του αιωρούμενου ιζήματος είναι η απότοκος της στιγμιαίας ταχύτητας ροής και της στιγμιαίας συγκέντρωσης ιζήματος.

$$q_s = \frac{1}{T} \int_0^T \int_{0}^{2d} (uc) dz dt \quad (4.44)$$

Η χρονική ολοκλήρωση της εξίσωσης διάχυσης για το αιωρούμενο ίζημα επαναλαμβάνεται έως ότου προκύψει μια περιοδική λύση.

Ως προς τη μορφολογική εξέλιξη του πυθμένα, ο καθοριστικός παράγοντας είναι ο ρυθμός

αλλαγής του $\frac{\partial z}{\partial t}$ σε όλα τα στοιχεία του κανάβου. Αυτή η παράμετρος μπορεί να υπολογιστεί με

πολλούς τρόπους, αλλά γενικώς όλες οι μέθοδοι βασίζονται στην εξίσωση Exner που αποτελεί την εξίσωση συνέχειας του ιζήματος και εκφράζεται με τον τύπο:

$$-(1-n) \frac{\partial z}{\partial t} = \frac{\partial s_x}{\partial x} + \frac{\partial s_y}{\partial y} - \Delta S \quad (4.45)$$

Όπου

n : το πορώδες του πυθμένα

z : η στάθμη του πυθμένα

t : ο χρόνος

S_x : το φορτίο πυθμένα ή το ολικό φορτίο στερεομεταφοράς κατά τη διεύθυνση x

S_y : το φορτίο πυθμένα ή το ολικό φορτίο στερεομεταφοράς κατά τη διεύθυνση y

ΔS : το φορτίο πηγής ιζήματος

Ο πυθμένας ανανεώνεται συνεχώς κατά την προσομοίωση της μορφολογικής εξέλιξης (στο βήμα προσομοίωσης του HD) βασιζόμενο στους εκτιμημένους ρυθμούς μεταβολής της στάθμης του πυθμένα. Οι νέες αυτές τιμές εκτιμώνται σε κάθε νιοστό χρονικό βήμα του HD, όπου N είναι ο χρονικός παράγοντας που εισάγεται από τον χρήστη. Οι νέες στάθμες του πυθμένα προκύπτουν με μια μελλοντική διαφορά φάσης που περιγράφεται από τη σχέση :

$$z_{new} = z_{old} + \frac{1}{1-n} \frac{\partial z}{\partial t} \Delta t_{HD} \quad (4.46)$$

4.1.3.2 Βασικές παράμετροι εισόδου

Για την καλύτερη δυνατή προσέγγιση των πραγματικών συνθηκών και για την ορθότητα των αποτελεσμάτων, πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στις παραμέτρους του προγράμματος που αποτελούν και τα βασικά δεδομένα εισόδου του μοντέλου. Αυτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν στις εξής ομάδες :

- Πεδίο μελέτης
 - Βαθυμετρικά δεδομένα (flexible mesh)
 - Σημεία εγκάρσιων έργων ακτής
- Υδροδυναμικά δεδομένα
 - Βάθος νερού και πεδία ροής (που παρέχονται από το HD)
- Κυματικά δεδομένα
 - Ύψος κύματος, περίοδος και διεύθυνση (που παρέχονται από το SW)
- Ιδιότητες Ιζήματος
 - Μέγεθος και διαβάθμιση του υλικού του πυθμένα
- Παράμετροι μορφολογίας
 - Συχνότητα συγχρονισμού

Στην παρούσα περίπτωση, υπάρχει στερεομεταφορά λόγω συνδυασμένης δράση κύματος και ρεύματος, οπότε είναι απαραίτητο ως δεδομένο εισόδου ένας πίνακας στερεομεταφοράς, ο οποίος περιλαμβάνει έναν αντιπροσωπευτικό αριθμό ρυθμών στερεομεταφοράς για την παρεμβολή κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης. Ο πίνακας στερεομεταφοράς μπορεί να

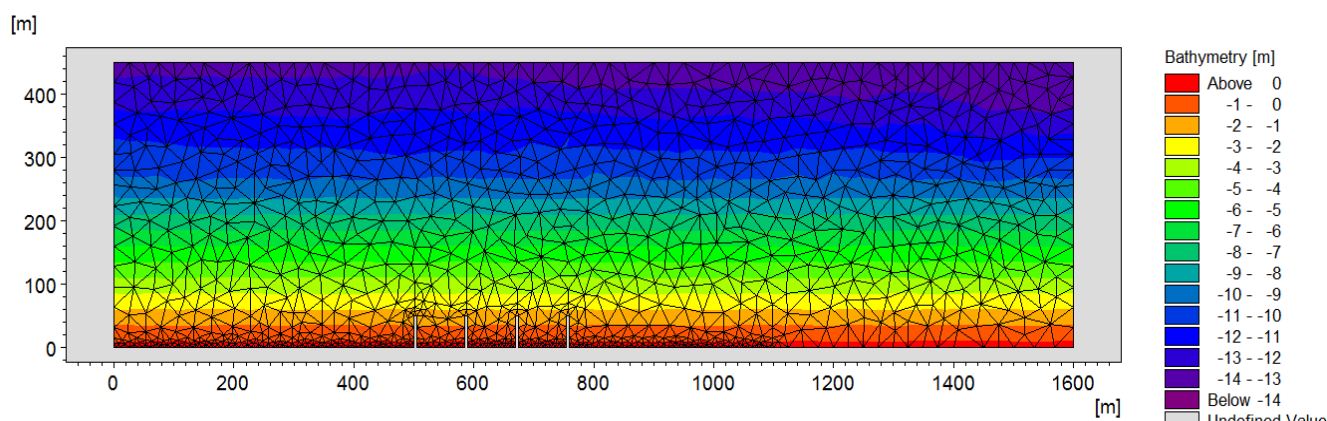
παραχθεί με την χρήση του εργαλείου MIKE 21 Toolbox 'Generation of Q3D Sediment Tables'. Η παραγωγή των ρυθμών στερεομεταφοράς στο πίνακα βασίζεται σε μια σχεδόν τρισδιάστατη προσέγγιση, όπου λαμβάνονται υπόψιν οι τοπικές κυματικές συνθήκες, τα προφίλ των κυματογενών ρευμάτων και οι ιδιότητες στην κοκκομετρία του ιζήματος. Επιπλέον μπορούν να συμπεριληφθούν στο πίνακα και κατ' επέκτασιν οι επιδράσεις των εξής παραμέτρων:

- Της γωνίας διάδοσης των κυματισμών σε σχέση με την διεύθυνση ροής
- Η απώλεια ενέργειας λόγω θραύσης των κυματισμών
- Οι ιδιότητες του ιζήματος
- Η κλίση του πυθμένα
- Τα υπόγεια ρεύματα
- Η κυματική ασυμμετρία
- Τα ρεύματα

4.2 Εφαρμογή του μοντέλου MIKE 21 Coupled Model FM

1. Πεδίο Μελέτης (Domain)

Στην πρώτη καρτέλα εισάγεται η βαθυμετρία της περιοχής η οποία επιλέχθηκε με κλίση $m=5\%$ και αποτελείται από σημεία με τριγωνικό κανάβο, με μεγαλύτερη πύκνωση κοντά στην ακτογραμμή καθώς και περιμετρικά των εγκάρσιων έργων που παρεμβάλλονται για μεγαλύτερη υπολογιστική ακρίβεια (Εικόνα 4.2). Τέλος η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε με τον επανυπολογισμό των στοιχείων του κανάβου σε κάθε χρονικό βήμα.



Σχήμα 4.2 Εισαγωγή περιοχής μελέτης με τα εγκάρσια έργα

2. Χρόνος (Time)

Το δεύτερο βήμα αφορά τον χρόνο προσομοίωσης στο οποίο εισάχθηκε ο αριθμός των χρονικών βημάτων της προσομοίωσης που ήταν ίσος με $N=1440$ με διάρκεια βήματος $dt=30$ sec και συνολικό χρόνο διάρκειας της προσομοίωσης ίσο με 7 ημέρες προκειμένου να υπάρχει αξιοπιστία στους ρυθμούς στερεομεταφορά και στην αλλαγή βαθυμετρίας του πυθμένα.

3. Ενότητα φασματικού κύματος (Spectral wave module)

Η κυματική προσομοίωση πραγματοποιήθηκε με την μαθηματική διατύπωση της μη συζευγμένης κατευθυντικής παραμετρικής ανάλυσης όπου βασίζεται στην παραμετροποίηση της εξίσωσης της διατήρησης της κυματικής ενέργειας, η οποία πραγματοποιείται στο πεδίο της συχνότητας, εισάγοντας τα αρχικά βήματα του κυματικού φάσματος σαν ανεξάρτητες μεταβλητές, κατά Holthuijzen (1989) και επιλέχθηκε ο τύπος των σχεδόν στατικών κυματισμών (quasi-stationary formulation).

Τα στοιχεία για την εισαγωγή των ρευμάτων εισήχθησαν από τα παραγόμενα αποτελέσματα του υδροδυναμικού μοντέλου μέσω επιλογής του προγράμματος. Για την θραύση των κυματισμών ο συντελεστής γ τροποποιήθηκε από 0.8 που υπήρχε σαν προεπιλογή σε 0.6 μιας και αναφερόμαστε σε πραγματικούς κυματισμούς όπως αναφέραμε παραπάνω. Τα εγκάρσια έργα ορίστηκαν σαν οριακές συνθήκες εδάφους (zero normal velocity) όπως και η ακτή, τα πλευρικά όρια ορίστηκαν σαν απορροφητικά όρια για την ευστάθεια του μοντέλου και τέλος στο ανοιχτό όριο εισήχθησαν τα κυματικά χαρακτηριστικά τα οποία ήταν σταθερά καθ' όλη την διάρκεια της προσομοίωσης. Οι υπόλοιπες τιμές για της ανάγκες της προσομοίωσης παρέμειναν στην υπάρχουσα προεπιλογή.

4. Ενότητα υδροδυναμικού μοντέλου (Hydrodynamic module)

Για την ενεργοποίηση του υδροδυναμικού μοντέλου στην προσομοίωση εισάγονται αυτόματα οι τάσεις ακτινοβολίας που εξάγονται από το κυματικό μοντέλο. Για την ευστάθεια του μοντέλου μέσω του ρητού συστήματος επίλυσης, χρησιμοποιείται ο αδιάστατος παράγοντας Courant-Friedrich-Levy, όπου για τις εξισώσεις στα ρητά νερά με καρτεσιανές συντεταγμένες ορίζεται ως:

$$CFL_{HD} = (\sqrt{gh} + |u|) \frac{\Delta t}{\Delta x} + (\sqrt{gh} + |v|) \frac{\Delta t}{\Delta y} \quad (4.47)$$

Όπου το h είναι το συνολικό βάθος νερού, u και v οι συνιστώσες ταχύτητας κατά x και y , g η επιτάχυνση της βαρύτητας και Δx και Δy είναι ένα χαρακτηριστικό μήκος κλίμακας κατά x και y αντίστοιχα για ένα στοιχείο και Δt το χρονικό βήμα. Το χαρακτηριστικό μήκος κλίμακας υπολογίζεται από τη μικρότερη αιχμή κλίμακας για κάθε στοιχείο και από το βάθος νερού, ενώ οι συνιστώσες ταχύτητες εκτιμώνται στο κέντρο του στοιχείου. Ο αριθμός CFL επιλέχθηκε 0.8. Η τυρβώδης συνεκτικότητα ορίστηκε με την μέθοδο Smagorinsky (1963) με την σταθερά C_s να ορίζεται 0.28. Η αντίσταση του πυθμένα περιγράφεται με τον συντελεστή Manning με τιμή $M=32 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Η δύναμη Coriolis, η παλίρροια και η επίδραση του ανέμου δεν λήφθηκαν υπόψη. Για τις οριακές συνθήκες τα πλαϊνά όρια όπως και το απέναντι όριο καθορίζονται με μηδενική θαλάσσια ανύψωση. Τέλος η ακτή ορίζεται με συνθήκες Land (zero normal velocity) καθώς οι συνιστώσες ταχύτητας είναι μηδενικές.

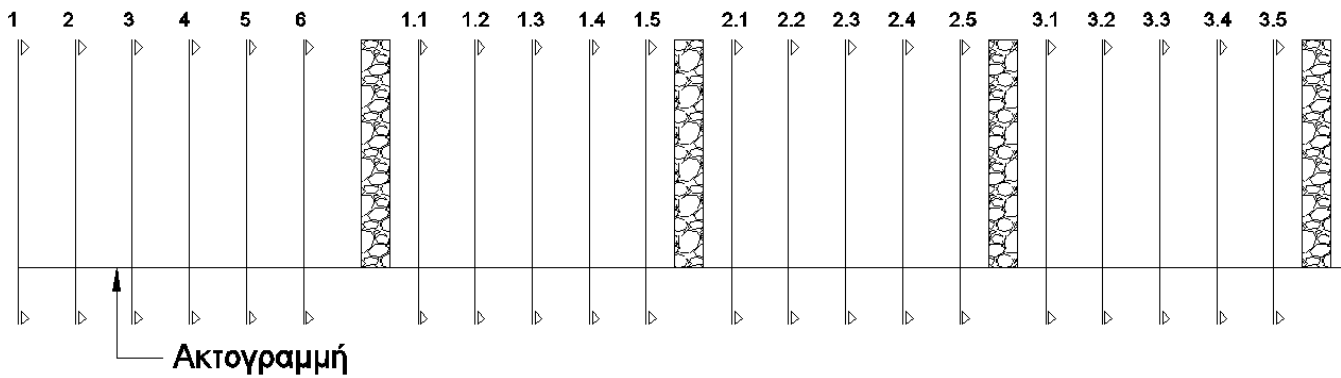
5. Ενότητα μοντέλου στερεομεταφοράς (Sand Transport module)

Εξάγοντας τις απαιτούμενες πληροφορίες του κυματικού και υδροδυναμικού μοντέλου (χαρακτηριστικά κύματος, παραγόμενα ρεύματα) ενεργοποιείται η προσομοίωση της στερεομεταφοράς μη συνεκτικών ιζημάτων, ST Module, όπου θα μας υποδείξει τις πιθανές θέσεις απόθεσης και διάβρωσης στην ακτή καθώς και μια εκτίμηση του ρυθμού στερεομεταφοράς. Στις ιδιότητες του ιζήματος ορίστηκε η διάμετρος $D_{50}=0.2\text{mm}$, ο συντελεστής διαβάθμισης του υλικού που είναι ίσος με 1.25 καθώς και το πορώδες $n=0.4$. Οι δράσεις που λήφθηκαν υπόψη για την στερεομεταφορά είναι ο συνδυασμός κυμάτων και ρευμάτων. Στις οριακές συνθήκες του κανάβου ορίστηκε ως επιλογή η zero sediment flux gradient, zero bed change for inflow, δηλαδή η μηδενική στερεομεταφορά εκτός των ορίων, όπως και η μηδενική αλλαγή του πυθμένας των ορίων.

6. Δεδομένα εξόδου (Outputs)

Τα αποτελέσματα εξήχθησαν σε δισδιάστατη απεικόνιση για όλα τα σημεία της περιοχής μελέτης. Από το κυματικό μοντέλο εξήχθησαν η μεταβολή του χαρακτηριστικού ύψους κύματος H_s από τα βαθιά στην ακτή καθώς και η αλλαγή της κατεύθυνσης του λόγω διάθλασης. Στο υδροδυναμικό μοντέλο παρουσιάζεται το μέτρο της ταχύτητας του ρεύματος καθώς και η φορά που ακολουθεί πράγμα το οποίο θα μας δώσει την εικόνα για το πώς διαμορφώνονται οι στρόβιλοι στο πεδίο ροής. Τέλος παρουσιάζονται οι θέσεις απόθεσης και διάβρωσης πριν και μετά την εφαρμογή των έργων όπως και η αλλαγή πυθμένα μετά το πέρας των κυματισμών.

Έπειτα πραγματοποιήθηκε εξαγωγή του εγκάρσιου προφίλ του κατά μήκος της ακτής ρεύματος με αποτέλεσμα να υπολογιστεί η μέση κατά μήκος ταχύτητα των δυο ρευμάτων για τα αντίστοιχα κυματικά σενάρια και να γίνει σύγκριση με την θεωρία του σχήματος 2.2.2. Στην συνέχεια για να προσδιοριστεί αναλυτικά ο βαθμός αποδοτικότητας της κάθε διάταξης, πραγματοποιήθηκαν τομές ανά 10 μέτρα κατά μήκος της ακτογραμμής (Σχήμα 4.3) όπου εξάχθηκαν τα προφίλ του πυθμένα πριν και μετά την εφαρμογή των κυματισμών. Με αποτέλεσμα για κάθε κενό ανάμεσα στους προβόλους να υπολογιστεί ένας μέσος όρος για τον βαθμό αποδοτικότητας της κάθε διάταξης, ο οποίος εξαρτάται από το πόσο έχει μετακινηθεί το προφίλ του πυθμένα της παραλίας σε σχέση με πριν αλλά και σε σχέση με τις άλλες διατάξεις. Τέλος δημιουργήθηκαν τρία διαγράμματα ανάλογα τους προβόλους που είναι δυνατόν να τοποθετηθούν για την παράκτια ζώνη ενδιαφέροντος, όπου παρουσιάζουν τον βαθμό αποδοτικότητας του κάθε γεωμετρικούς συντελεστή για τα κυματικά σενάρια που εξετάστηκαν.

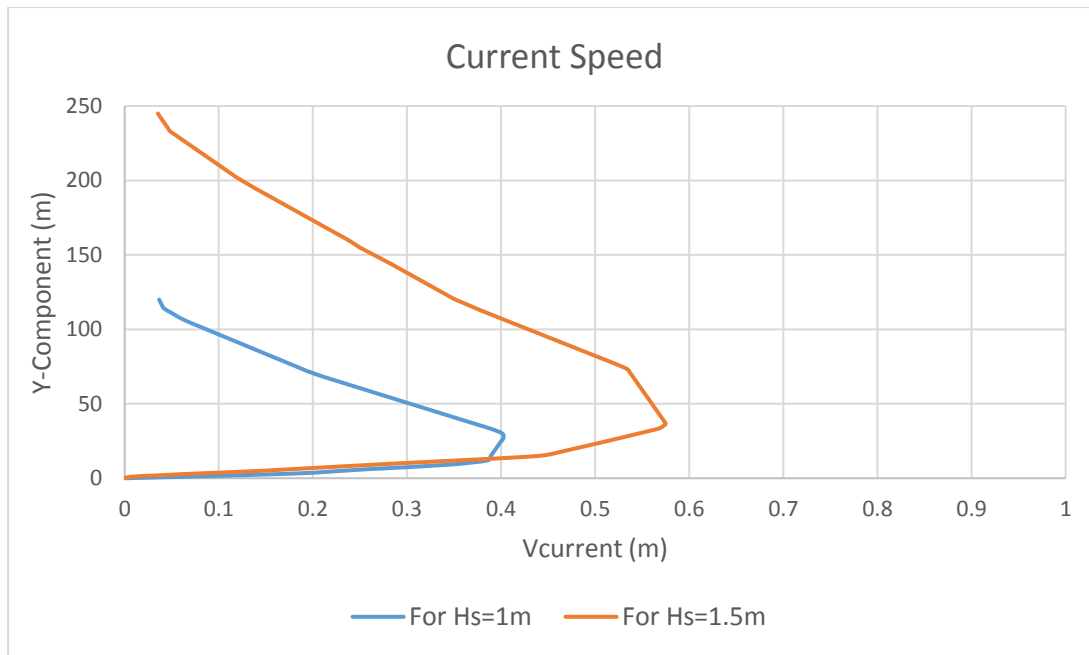


Σχήμα 4.3 Τομές πυθμένα κατά μήκος της ακτογραμμής

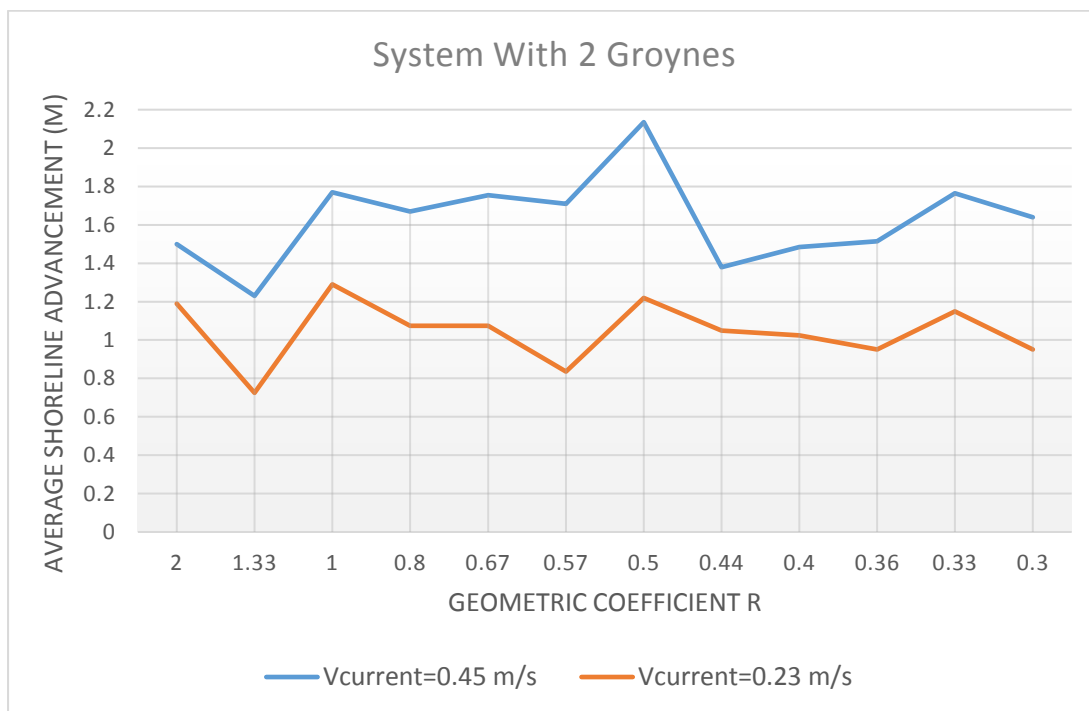
Κεφάλαιο 5. Αποτελέσματα

Με βάση την ανάλυση του MIKE 21 HD, υπολογίστηκαν οι τιμές του κατά μήκος ρεύματος που επιδρά στην ακτή για τα δύο υπό εξέταση κυματικά σενάρια $H_s=1$ m και $H_s=1.5$ m, όπου στο Σχήμα 5.1 παρουσιάζεται η εγκάρσια κατανομή τους, με τον κατακόρυφο άξονα να συμβολίζει την απόσταση από την ακτή και τον οριζόντιο άξονα να συμβολίζει το μέτρο της ταχύτητας του παραγόμενου ρεύματος από τους κυματισμούς. Με τα αποτελέσματα αυτά υπολογίστηκε η μέση τιμή της ταχύτητας του ρεύματος V_c για κάθε ένα από τα δύο εγκάρσια προφίλ, όπου προέκυψε για $H_s=1$ m η μέση ταχύτητα του παραγόμενου κατά μήκος της ακτής ρεύματος να είναι $V_c=0.23$ m/s και για $H_s=1.5$ m η μέση ταχύτητα του παραγόμενου κατά μήκος της ακτής ρεύματος να είναι $V_c=0.45$ m/s. Το βασικότερο συμπέρασμα που προκύπτει από το σχήμα 5.1 είναι ότι το ρεύμα λαμβάνει την μέγιστη τιμή του στην αρχή της ζώνης θραύσης του κάθε σεναρίου ($H_s=1$ m – $X_b=31.66$ m, $H_s=1.5$ m – $X_b=47.75$ m) πράγμα που επιβεβαιώνει τις βιβλιογραφικές αναφορές και προσδίδει αξιοπιστία στο σύνολο της προσομοίωσης.

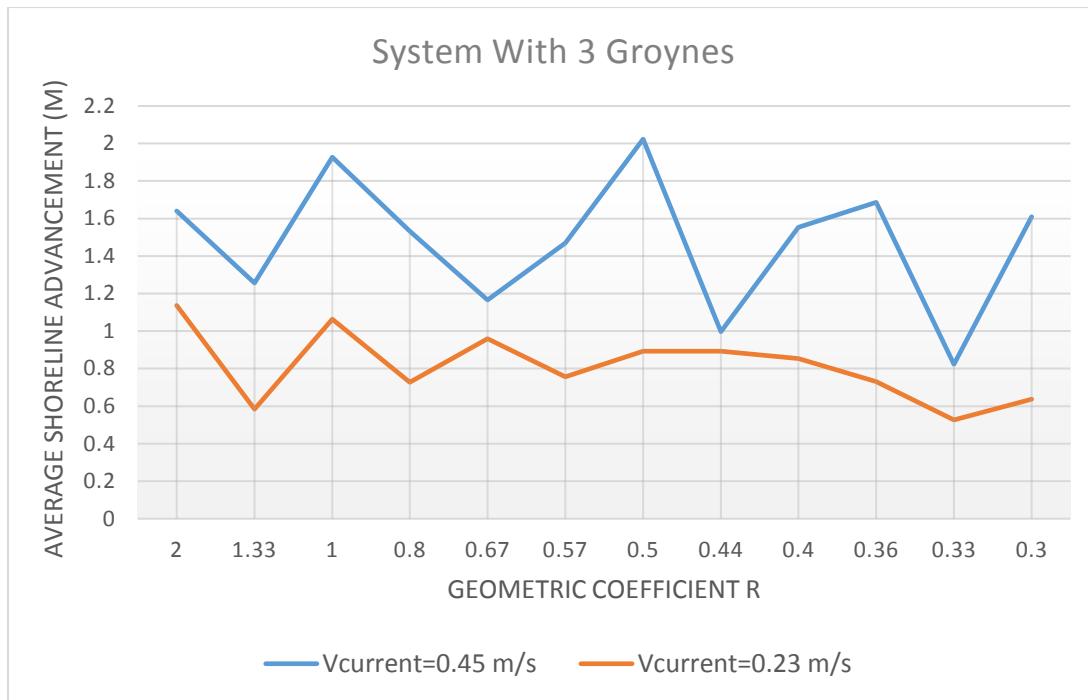
Στα Σχήματα 5.2, 5.3 και 5.4 παρουσιάζονται σε διαγράμματα τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις αναλύσεις του μοντέλου στερεομεταφοράς MIKE21 ST. Οι τιμές στον οριζόντιο άξονα αφορούν τον γεωμετρικό συντελεστή R (μήκος προβόλου προς απόσταση από κατάντη πρόβολο), ενώ στον κατακόρυφο άξονα την μέση μετατόπιση της ακτογραμμής σε μέτρα, η οποία μέση μετατόπιση υπολογίστηκε με βάση τις τομές που πραγματοποιήθηκαν στον πυθμένα της ακτής ανά 10 μέτρα (Σχήμα 4.3). Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης διαπιστώνεται, πως όσοι παραπάνω πρόβολοι τοποθετούνται στα κατάντη της φοράς του ρεύματος τόσο μειώνεται στα ανάντη το μέτρο της ταχύτητας του.



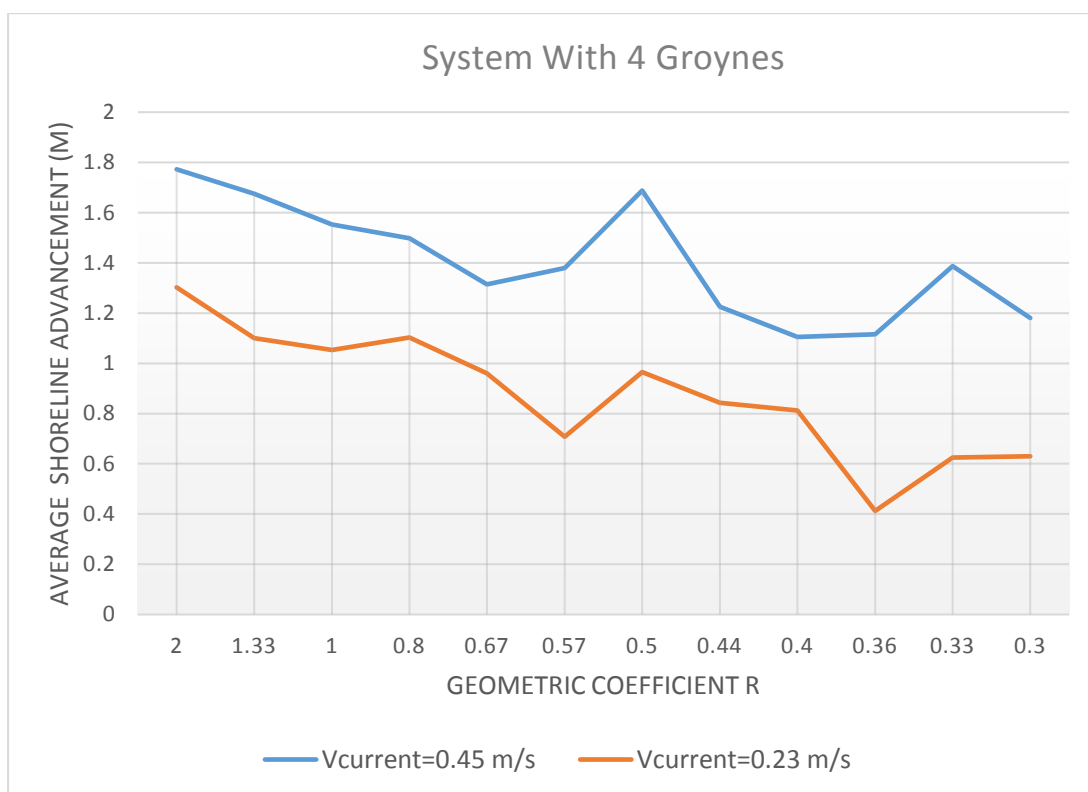
Σχήμα 5.1 Εγκάρσιο προφίλ του κατά μήκος της ακτής ρεύματος



Σχήμα 5.2 Μέση μετατόπιση της ακτογραμμής για τις τιμές του γεωμετρικού συντελεστή $R=L_g/L_f$ για σύστημα 2 προβόλων

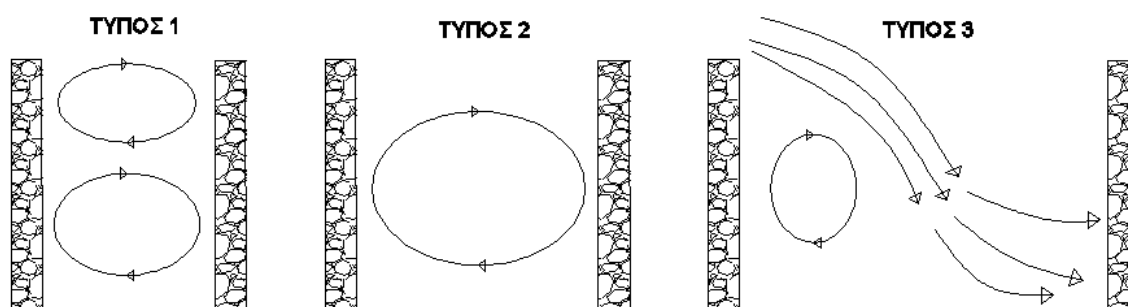


Σχήμα 5.3 Μέση μετατόπιση της ακτογραμμής για τις τιμές του γεωμετρικού συντελεστή $R=L_g/L_f$ για σύστημα 3^{ων} προβόλων

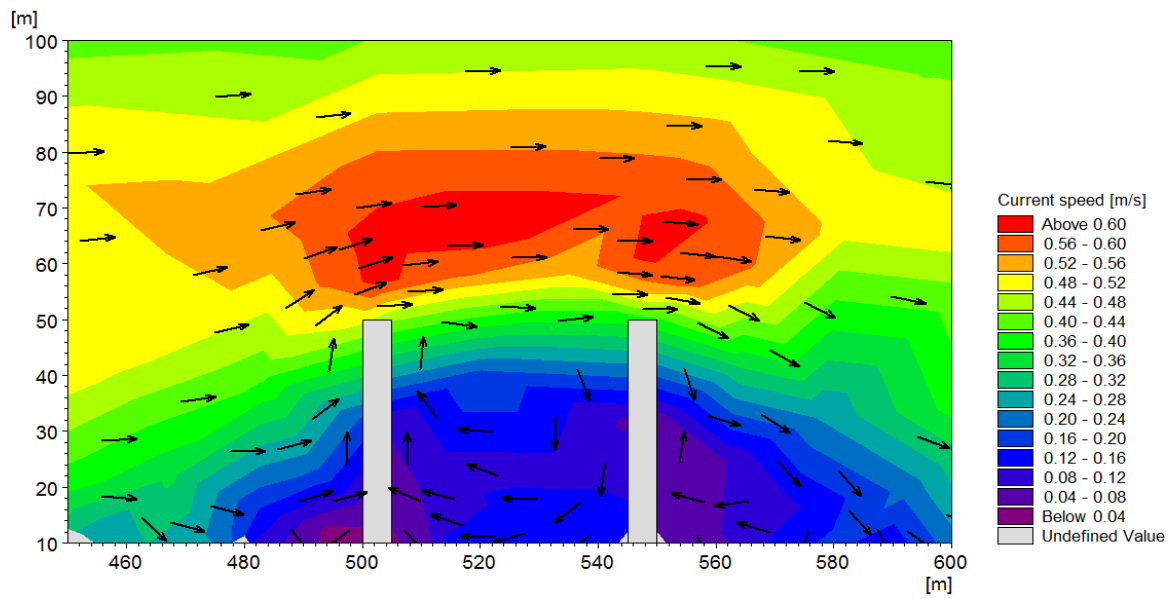


Σχήμα 5.4 Μέση μετατόπιση της ακτογραμμής για τις τιμές του γεωμετρικού συντελεστή $R=L_g/L_f$ για σύστημα 4^{ων} προβόλων

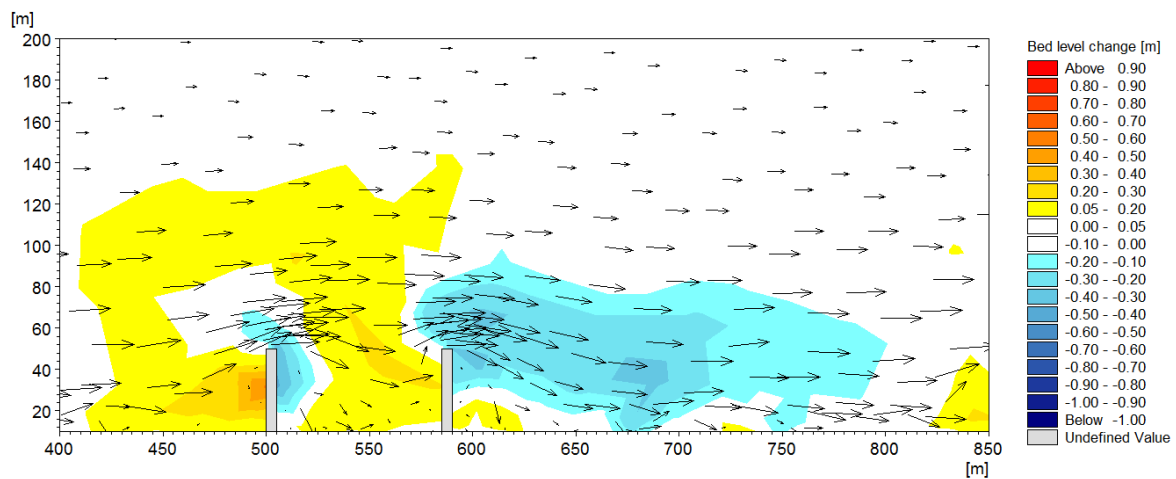
Το κυριότερο συμπέρασμα που προκύπτει από την ανάγνωση των τριών διαγραμμάτων στερεομεταφοράς (Σχήματα 5.2-5.3-5.4) είναι πως δεν υπάρχει ομοιόμορφη συμπεριφορά στις γειτονικές τιμές του συντελεστή R ως προς την μέση μετατόπιση της ακτογραμμής. Η εξήγηση στο γεγονός αυτό προκύπτει από την συνδυαστική παρατήρηση των αποτελεσμάτων του υδροδυναμικού πεδίου και της υψομετρικής αλλαγής πυθμένα, όπου διαπιστώνεται πως ο βαθμός απόδοσης εξαρτάται εξολοκλήρου από το υδροδυναμικό πεδίο. Δηλαδή κατά πόσο το υδροδυναμικό πεδίο μπορεί να σχηματίσει ολοκληρωμένους στροβίλους ή ολοκληρωμένες μορφές ροής ρευμάτων εντός των διάκενων των προβόλων (Σχήμα 5.5). Με αποτέλεσμα οι διατάξεις που στο υδροδυναμικό τους πεδίο σχηματίζουν αυτούς τους τρεις τύπους ροών και στροβίλων να έχουν πολύ καλύτερο βαθμό απόθεσης ιζήματος προς την ακτή (Σχήματα 5.6-5.7), έναντι των διατάξεων που τείνουν να σχηματοποιήσουν αυτές τις ροές στα πεδία τους χωρίς όμως να το καταφέρνουν, με την επίπτωση η ροή να κινείται ακανόνιστα εντός των πεδίων των προβόλων και να μην μπορεί το ίζημα να συγκρατηθεί (Σχήματα 5.8-5.9). Επίσης παρατηρείται πως η απόκλιση στις τιμές της μέση μετατόπισης της ακτογραμμής μεταξύ δυο κοντινών τιμών του συντελεστή R , μειώνεται όσο μικραίνει η τιμή του παραγόμενου από τους κυματισμούς ρεύματος και αυξάνεται όσο μεγαλώνει το χαρακτηριστικό ύψος κύματος στην περιοχή μελέτης. Τέλος διαπιστώνεται πως όσο κοντινότερες είναι οι αποστάσεις μεταξύ των προβόλων τόσο πιο καλύτερη κατανομή υπάρχει στο διαμοιρασμό του ιζήματος στα πεδία μεταξύ τους.



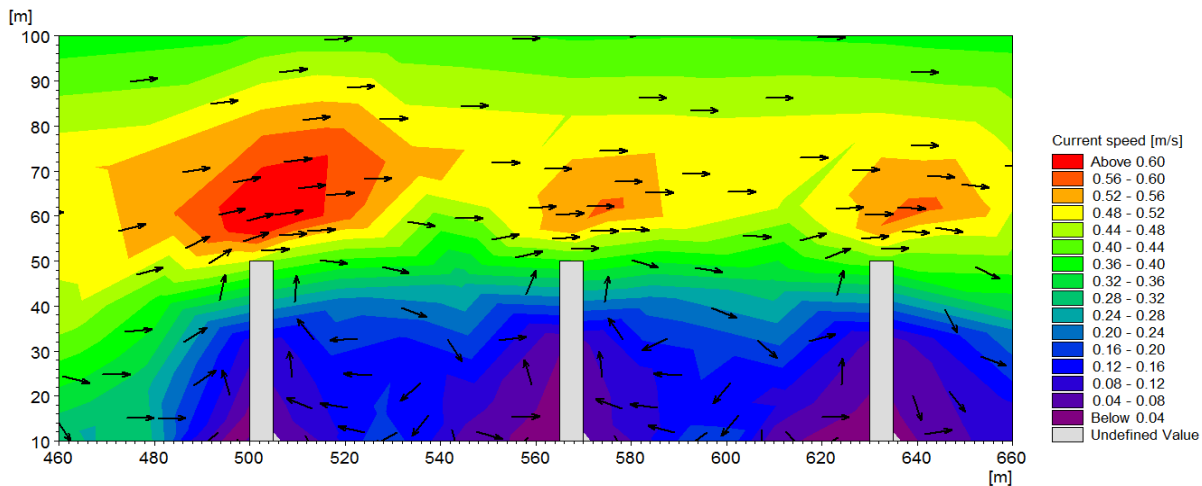
Σχήμα 5.5 Μορφές ροής στα πεδία των προβόλων ανάλογα με την απόσταση μεταξύ τους



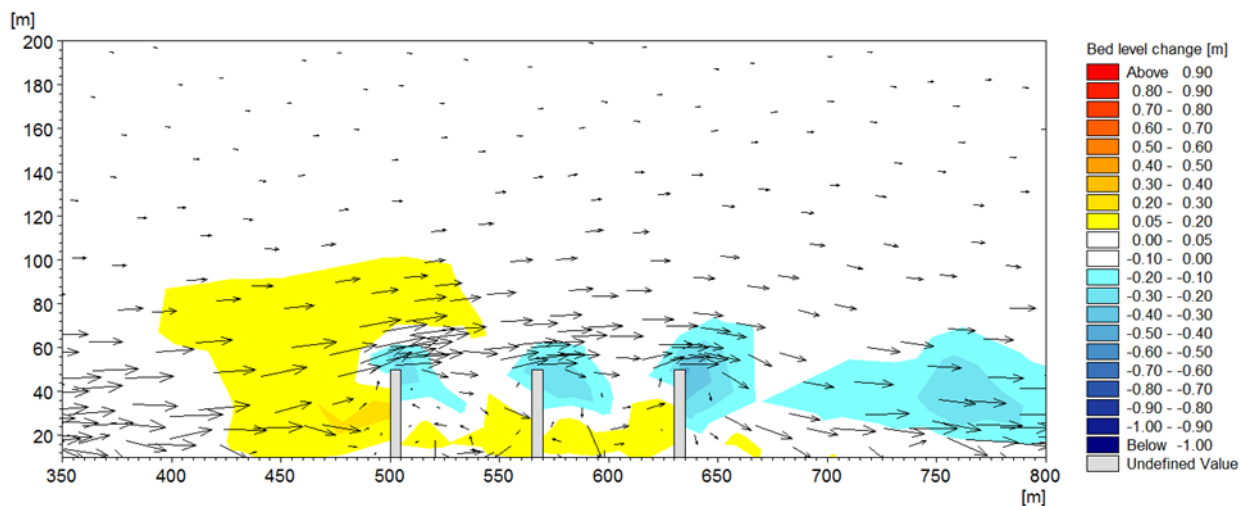
Σχήμα 5.6 Υδροδυναμικό πεδίο με σχηματοποιημένη μορφή ροής τύπου 2 εντός του πεδίου των προβόλων για $R=1$



Σχήμα 5.7 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για σχηματοποιημένη μορφή ροής υδροδυναμικού πεδίου τύπου 2 εντός του πεδίου των προβόλων για $R=1$

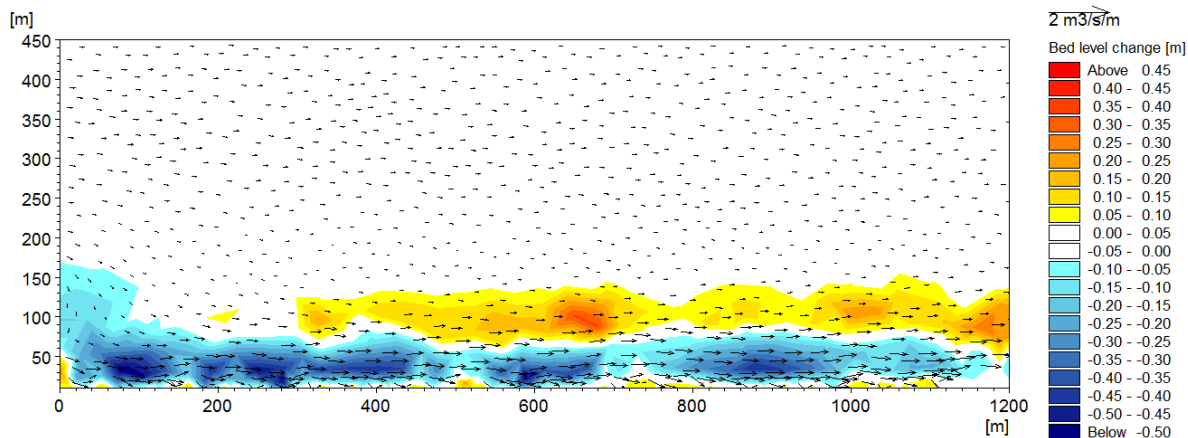


Σχήμα 5.8 Υδροδυναμικό πεδίο με σχηματοποιημένη μορφή ροής εντός του πεδίου των προβόλων για $R=0.67$

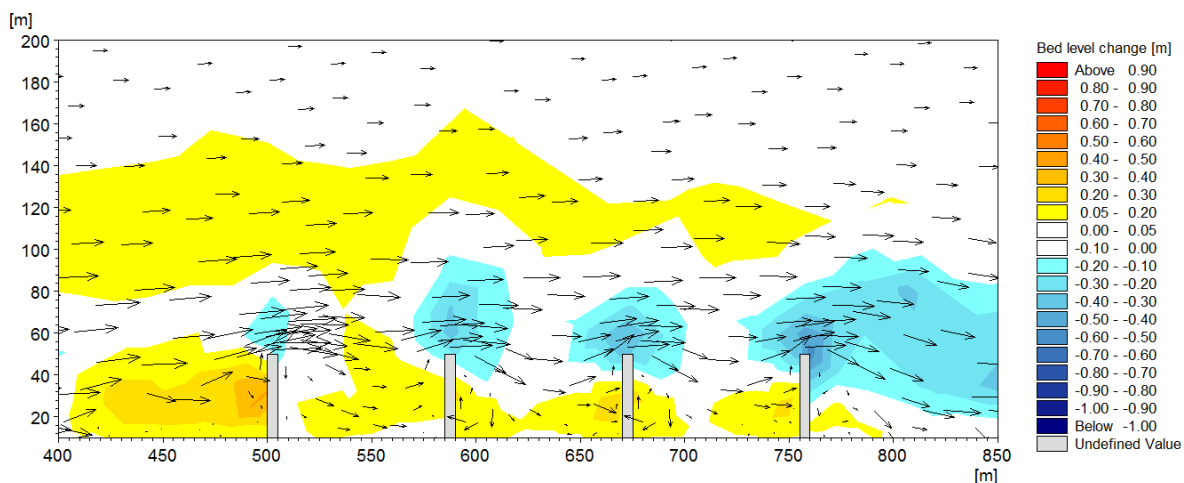


Σχήμα 5.9 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για μη σχηματοποιημένη μορφή ροής υδροδυναμικού πεδίου εντός του πεδίου των προβόλων για $R=0.67$

Αυτό που γίνεται αντιληπτό παρατηρώντας την κατάσταση πριν και μετά την εφαρμογή των εγκαρσίων προβόλων (Σχήματα 5.10 - 5.11) είναι πως σίγουρα όλες οι διατάξεις φέρνουν ίζημα στην ακτή. Όμως αν αναλογιστεί κανείς την κλίμακα τέτοιων έργων πάνω σε ένα φυσικό περιβάλλον που μέχρι τώρα δεν έχει δεχθεί ανθρώπινες παρεμβάσεις, καταλαβαίνει πως είναι απαραίτητο τα έργα αυτά να σχεδιάζονται με γνώμονα την μέγιστη απόδοση, μιας και είναι δύσκολο να υπάρξει τροποποίηση τους σε περίπτωση μη ικανοποιητικών αποτελεσμάτων.



Σχήμα 5.10 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για $H_s = 1.5\text{m}$ χωρίς προβόλους



Σχήμα 5.11 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για $H_s = 1.5\text{m}$ με χρήση προβόλων

Από την ανάλυση του MIKE 21 ST προέκυψε η νέα βαθυμετρία των διατάξεων ύστερα από τα κυματικά γεγονότα που έλαβαν χώρα. Με βάση τις τομές που πραγματοποιήθηκαν σε όλο το μήκος της ακτής (σχήμα 4.3) υπολογίστηκε η μέση μετατόπιση της ακτογραμμής προς τα βαθιά, για κάθε διάταξη. Κατανέμοντας τις τιμές των μέσων μετατοπίσεων της ακτογραμμής των διατάξεων σε αύξουσα σειρά προέκυψε ο βαθμός αποδοτικότητας για κάθε γεωμετρικό συντελεστή R , με τις 4 πρώτες διατάξεις που είχαν την μεγαλύτερη μετατόπιση να χαρακτηρίζονται ως διατάξεις με υψηλή αποδοτικότητα, τις 4 επόμενες ως διατάξεις με μεσαία αποδοτικότητα και τέλος τις υπόλοιπες 4 ως διατάξεις με χαμηλή αποδοτικότητα. Στον πίνακα 5.1 απεικονίζεται συγκεντρωτικά ο βαθμός αποδοτικότητας των διατάξεων, ανάλογα με το πλήθος των προβόλων και τον συντελεστή R για κάθε ένα από τα κυματικά σενάρια, σύμφωνα με το κριτήριο που αναφέρθηκε παραπάνω. Κοιτώντας τον πίνακα διαπιστώνεται ότι η περιοχή

που έχει τα υψηλότερα ποσοστά αποδοτικότητας ως προς την μετατόπιση της ακτογραμμής προς τα βαθιά, κατά πλειοψηφία των διατάξεων και των κυματικών χαρακτηριστικών, είναι όταν η τιμή R λαμβάνει τιμές μεταξύ 0.5 έως 2, δηλαδή όταν η απόσταση μεταξύ των προβόλων κυμαίνεται από 2 έως 0.5 φορές το μήκος των προβόλων:

$$0.5L_g < L_f < 2L_g \quad (5.1)$$

Η απόσταση μεταξύ των προβόλων που προτείνεται ως βέλτιστη από την ASCE (1994) είναι $2L_g < L_f < 3L_g$ και η διαφορά με την σχέση 5.1 οφείλεται στο γεγονός πως στην Αμερική οι κλίσεις των ακτών είναι ηπιότερες σε σχέση με την Ελλάδα, με αποτέλεσμα το κύμα να διανύει μεγαλύτερη απόσταση έως ότου θραυτεί, οπότε χρειάζεται και μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ των προβόλων για να μπορέσει το ίζημα να συγκρατηθεί στην περιοχή των έργων. Σε αντίθεση με την κλίση της ακτής (4%) που μελετήθηκε όπου διαπιστώνεται μέσα από τον πίνακα 5.1 πως όταν η απόσταση είναι μεγαλύτερη από 2 φορές του μήκους του προβόλου, στην πλειοψηφία των διατάξεων, παύει το σύστημα να συμπεριφέρεται ενιαία και ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα.

Πίνακας 5.1: Βαθμός αποδοτικότητας διατάξεων

Efficiency Measure	Low Efficiency		Medium Efficiency		High Efficiency	
	System with 2 Groynes		System with 3 Groynes		System with 4 Groynes	
Geometric Coefficient $R=L_g/L_d$	Hs=1m	Hs=1.5m	Hs=1m	Hs=1.5m	Hs=1m	Hs=1.5m
R= 0.30	Low	Medium	Low	Medium	Low	Low
R=0.33	High	Medium	Low	Low	Low	Medium
R=0.36	Low	Low	Low	High	Low	Low
R=0.4	Medium	Low	Medium	Medium	Medium	Low
R=0.44	Medium	Low	Medium	Low	Medium	Low
R=0.5	High	High	High	High	Medium	High
R=0.57	Low	High	Medium	Medium	Low	Medium
R=0.67	Medium	High	High	Low	Medium	Medium
R=0.8	Medium	Medium	Medium	Medium	High	Medium
R=1	High	High	High	High	High	High
R=1.33	Low	Low	Low	Low	High	High
R=2	High	Medium	High	High	High	High

Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα

6.1 Σύνοψη συμπερασμάτων

Στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας διερευνήθηκε η βελτιστοποίηση των διατάξεων συστημάτων προβόλων ως προς την απόσταση μεταξύ τους, ώστε να υπάρχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αποδοτικότητα στην μεταφορά φερτών υλών στην ακτή. Βασικό κριτήριο για την επιλογή των προβόλων ως μέσο προστασίας, είναι να παρατηρείται σε σημαντικό βαθμό η κατά μήκος της ακτής στερεομεταφορά. Σημαντικό κριτήριο για την επιλογή της βέλτιστης διάταξης, είναι το πόσοι πρόβολοι μπορούν να κατασκευαστούν με βάση το συνολικό διαθέσιμο μήκος της ακτής, γι' αυτόν ακριβώς τον λόγο μελετήθηκαν συστήματα όπου αποτελούνταν από 2 έως 4 πρόβλους το καθένα.

Έχοντας υπόψη όλα τα παραπάνω τα κυριότερα συμπεράσματα που εξήχθησαν μέσα από την μεταπτυχιακή εργασία είναι:

- Τα υψηλότερα ποσοστά αποδοτικότητας ως προς την μέση μετατόπιση της ακτογραμμής, κατά πλειοψηφία των διατάξεων και των κυματικών χαρακτηριστικών παρατηρούνται όταν η απόσταση μεταξύ των προβόλων κυμαίνεται από 2 έως 0.5 φορές το μήκος των προβόλων.
- Αν λάβουμε ως γνώμονα μόνο την διάβρωση σε μια ακτή από το κατά μήκος της ακτής ρεύμα, όλες οι διατάξεις προβόλων αποδίδουν σε σχέση με την υφιστάμενη κατάσταση της ακτής όπου δεν υπήρχαν παρεμβάσεις με αποτέλεσμα την σταθεροποίηση της ακτογραμμής.
- Δεν υπάρχει ομοιόμορφη συμπεριφορά ανάμεσα σε γειτονικές τιμές του συντελεστή R, ως προς την μέση μετατόπιση της ακτογραμμής και αυτό γιατί δεν σχηματίζουν όλες οι διατάξεις ικανοποιητικά έναν από τους τρεις τύπους ροής στο υδροδυναμικό τους πεδίο, προκειμένου το ίζημα να εγκλωβιστεί στα διάκενα των προβόλων και να μην μεταφέρεται προς τα κατάντη.
- Στην πλειοψηφία των διατάξεων όταν η απόσταση μεταξύ των προβόλων ξεπερνά το διπλάσιο του μήκους τους, το σύστημα παύει να συμπεριφέρεται σαν ενιαίο και ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα.
- Το κατά μήκος της ακτής ρεύμα λαμβάνει την μέγιστη τιμή του στην αρχή της ζώνης θραύσης του κάθε κυματικού σεναρίου. Επίσης όσοι περισσότεροι πρόβολοι τοποθετούνται στα κατάντη, τόσο μικραίνει το μέτρο της ταχύτητας του στα ανάντη.

- Τέλος όσο κοντινότερες είναι οι αποστάσεις μεταξύ των προβόλων τόσο πιο καλύτερη κατανομή υπάρχει στο διαμοιρασμό του ιζήματος εντός των πεδίων τους.

6.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία αφορά μια βασική εκτίμηση του βαθμού αποδοτικότητας στερεομεταφοράς των προβόλων σε σχέση με την απόσταση μεταξύ τους. Η μεθοδολογία αυτή παρέχει ικανοποιητικά αποτελέσματα για την ποιοτική εκτίμηση της βέλτιστης διάταξης προβόλων, η οποία συγκρατεί το περισσότερο ίζημα στην ακτή έναντι των άλλων διατάξεων και εξαλείφει σε μεγάλο ποσοστό το φαινόμενο της διάβρωσης. Ωστόσο για μια περισσότερο ολοκληρωμένη προσέγγιση υπολογισμού της βέλτιστης ως προς την απόσταση διάταξης προβόλων, θα πρέπει να εξεταστούν και άλλες ακτές με διαφορετική κλίση, καθώς και περισσότερα κυματικά σενάρια. Αυτό θα οδηγήσει επίσης και στην αλλαγή του μήκους των προβόλου μιας και το πλάτος της ζώνης θραύσης θα μεταβληθεί.

Επομένως προτείνεται για μελλοντική έρευνα η προσπάθεια εφαρμογής του μοντέλου που αναπτύχθηκε στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία, με τα επιπλέον δεδομένα που περιγράφονται παραπάνω. Με αποτέλεσμα να παραχθούν ακριβέστερα αποτελέσματα και μια πιο ευρεία εικόνα για την απόδοση των διατάξεων, ώστε στο τέλος να μπορέσει να εξαχθεί ένας οδηγός για μελετητές και κατασκευαστές ακτομηχανικούς που θα μπορεί να εφαρμοστεί στην πράξη.

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση βιβλιογραφία

Καραμπάς Θ., Κρεσενίτης Ι. και Κουτίτας Χ., 2015, Ακτομηχανική Έργα Προστασίας Ακτών, Αθήνα.

Κονισπολιάτης Ν., 2009. Σημειώσεις στο μάθημα Παράκτιο Περιβάλλον. ΕΜΠ, Αθήνα.

Κρεσενίτης Ι., Κομπιάδου Κ., Μακρής Χ., Ανδρουλιδάκης Ι., Καραμπάς Θ., 2015, Παράκτια Μηχανική Θαλάσσια Περιβαλλοντική Υδραυλική, Αθήνα.

Μέμος Κ. Δ. (2017). «Θαλάσσια Υδροδυναμική», Σημειώσεις Μαθήματος ΔΠΜΣ «Επιστήμη και Τεχνολογία Υδατικών Πόρων», Αθήνα 2017.

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

American Society of Civil Engineers (ASCE), 1994. Coastal Groins and Nearshore Breakwaters. ASCE, New York.

Coghlan I, J Carley , R Cox , E Davey , M Blacka , J Lofthouse, (2011). Concept Designs For A Groyne Field On The Far North NSW Coast. Technical Report 2011/25, Draft, December.

DHI, 2017. User Guide and Reference Manual. Danish Hydraulic Institute, Water and Environment, Demark.

Longuet-Higgins M.S., 1970a. Longshore Currents Generated by Obliquely Incident Sea Waves 1. Journal of Geophysical Research Vol. 75 No 33: 6790-6801.

Longuet-Higgins M.S., 1970b. Longshore Currents Generated by Obliquely Incident Sea Waves 2. Journal of Geophysical Research Vol. 75 No 33: 6790-6801.

Memos C. D. (2009), «Shoreline Erosion Management», International Post-graduate Course —Educate , WREM 404, Athens.

Mohamed F.M. Yossef, 2015. Morphodynamics of rivers with groynes. Delft Hydraulics, Netherlands.

MIKE21 HD (2017). «MIKE 21 Flow Model, Hydrodynamic module, Scientific Documention», Danish Hydraulic Institute, Water and Environment, Denmark.

MIKE21 ST (2017). «MIKE 21 Non-cohesive Sediment Transport module, Scientific Documention », Danish Hydraulic Institute, Water and Environment, Denmark.

MIKE21 SW (2017). «MIKE 21 Flow Model, Spectral Wave module, Scientific Documention», Danish Hydraulic Institute, Water and Environment, Denmark.

Przedwojski, B., Blazejewski, R., and Pilarczyk, K.W., (1995), "River training techniques fundamentals, design and application", A.A. Balkema, Rotterdam.

Rijn, Van L. C., 2013. Design of Hard Coastal Structures Against Erosion. Delft Hydraulics, www.leovanrijn-sediment.com.

Rijn, Van L. C., 1989. Handbook on Sediment Transport by Current and Waves. Delft Hydraulics, Report H461, pp. 12.1-12.27.

USACE (US Army Corps of Engineers), 2006. Coastal Engineering Manual (CEM).

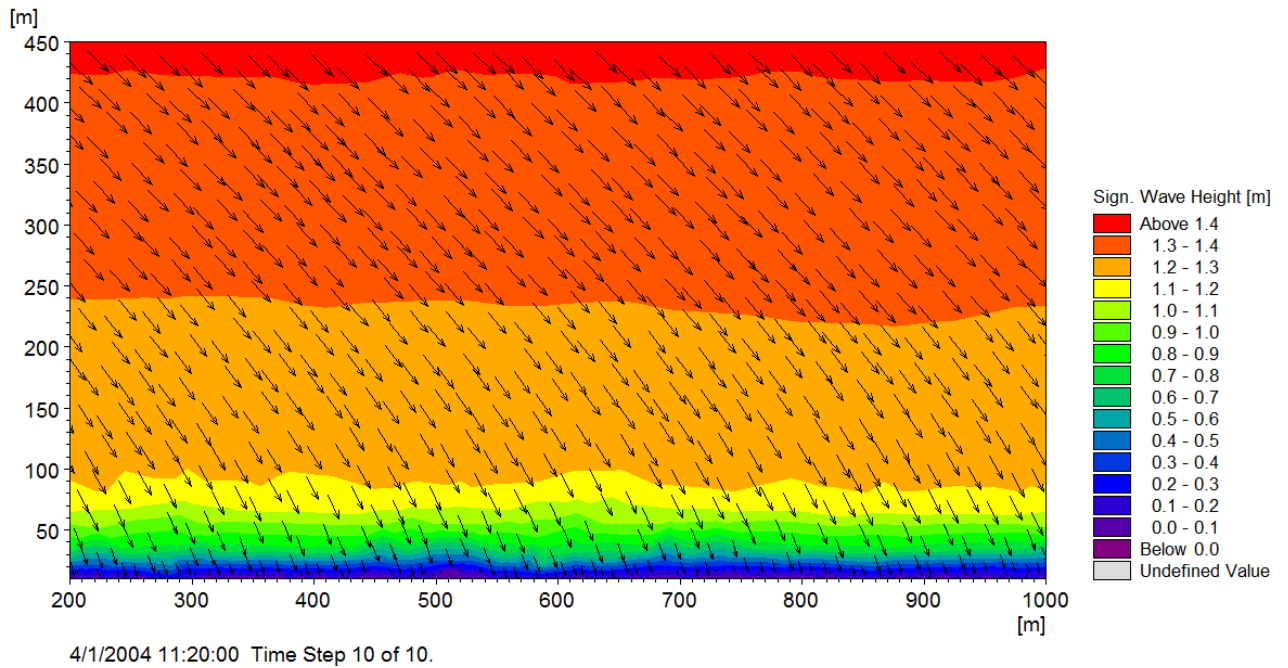
US Army Corps of Engineers, 2002. Coastal Engineering Manual.

US Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center (1984). Shore Protection Manual.

Παράρτημα

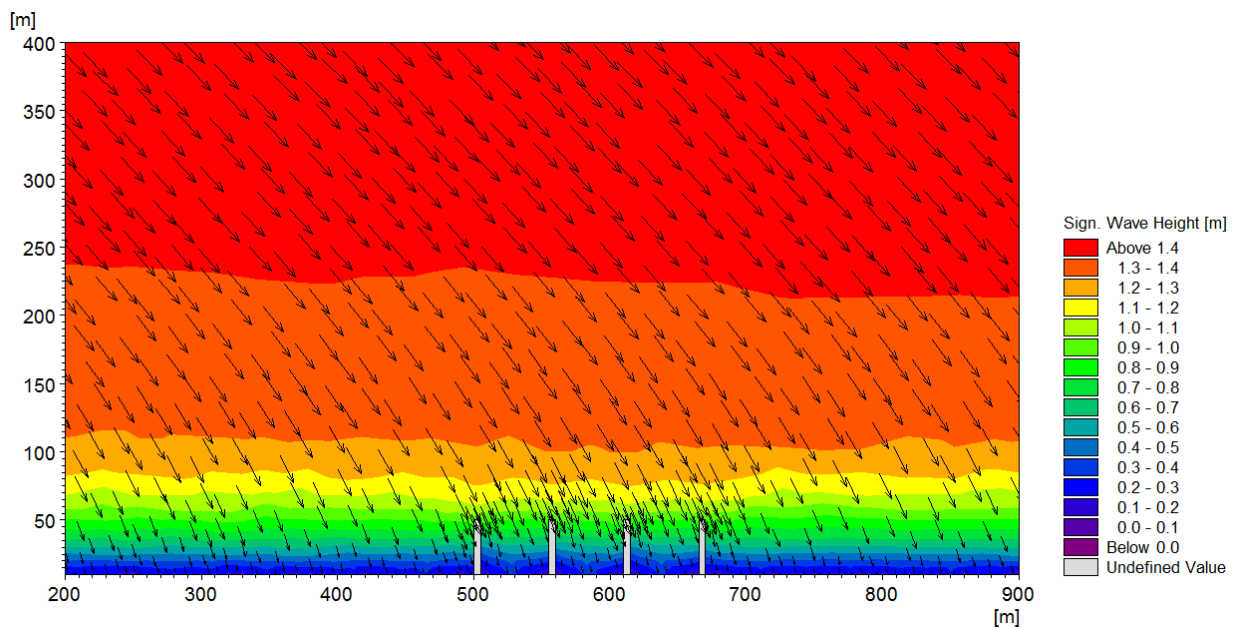
Αποτελέσματα αναλύσεων κυματικού μοντέλου

- Ακτή Χωρίς Προβόλους και $H_s = 1.5m$



Σχήμα A.1 Κυματικό πεδίο ακτής χωρίς προβόλους και $H_s = 1.5m$

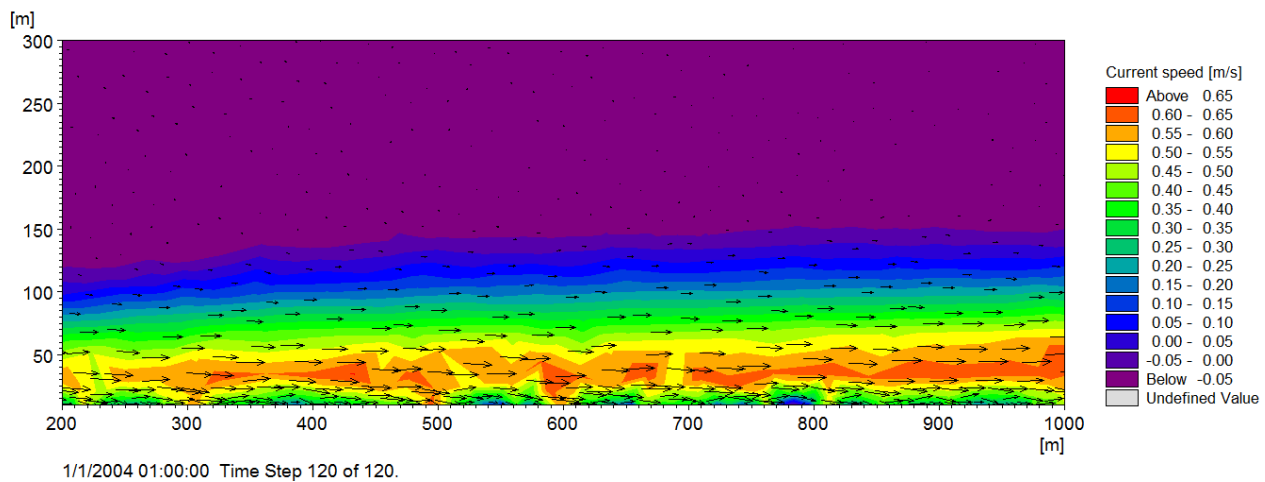
- Ακτή με προβόλους και $H_s = 1.5m$



Σχήμα A.2 Κυματικό πεδίο ακτής χωρίς προβόλους και $H_s = 1m$

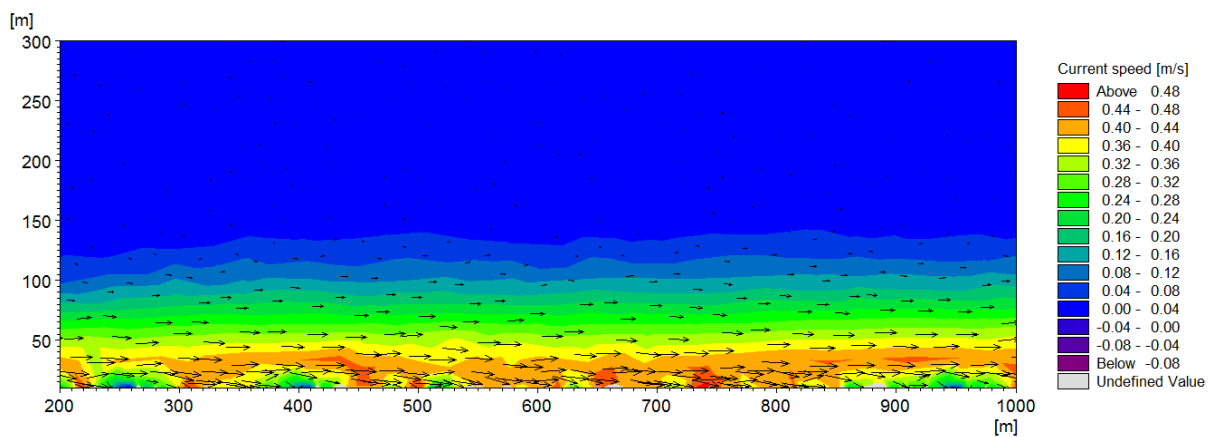
Αποτελέσματα αναλύσεων υδροδυναμικού μοντέλου

- Ακτή Χωρίς Προβόλους και $H_s=1.5\text{m}$



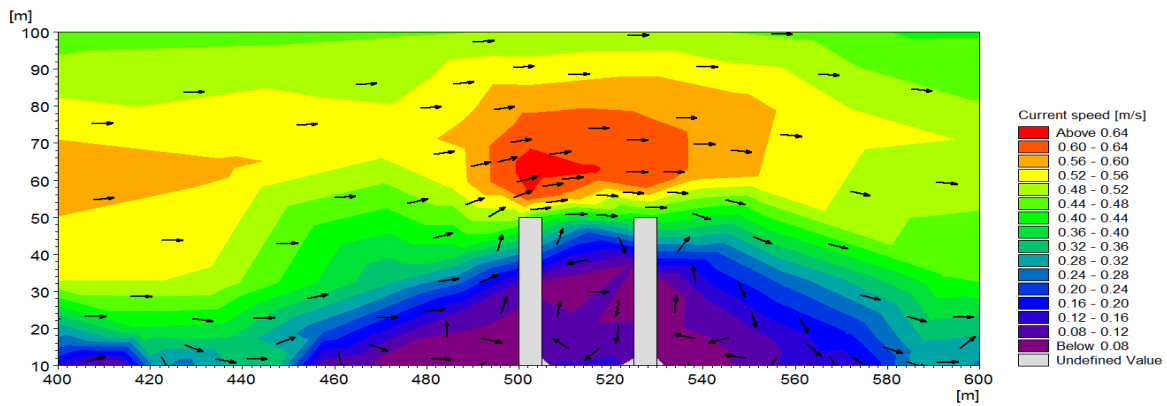
Σχήμα Α.3 Υδροδυναμικό πεδίο ακτής χωρίς προβόλους και $H_s = 1.5\text{m}$

- Ακτή Χωρίς Προβόλους και $H_s=1\text{m}$

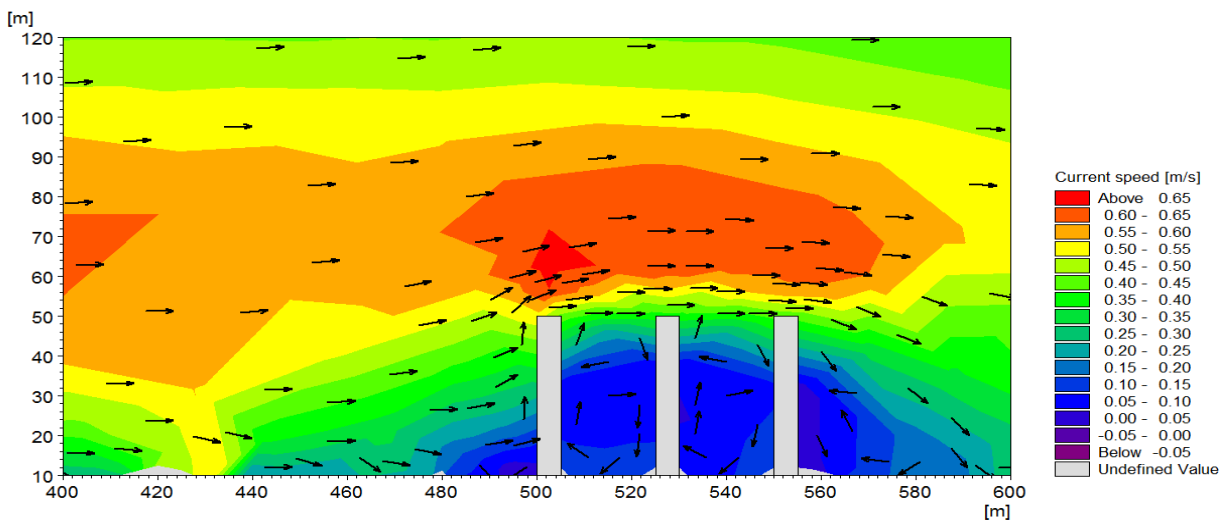


Σχήμα Α.4 Υδροδυναμικό πεδίο ακτής χωρίς προβόλους και $H_s = 1\text{m}$

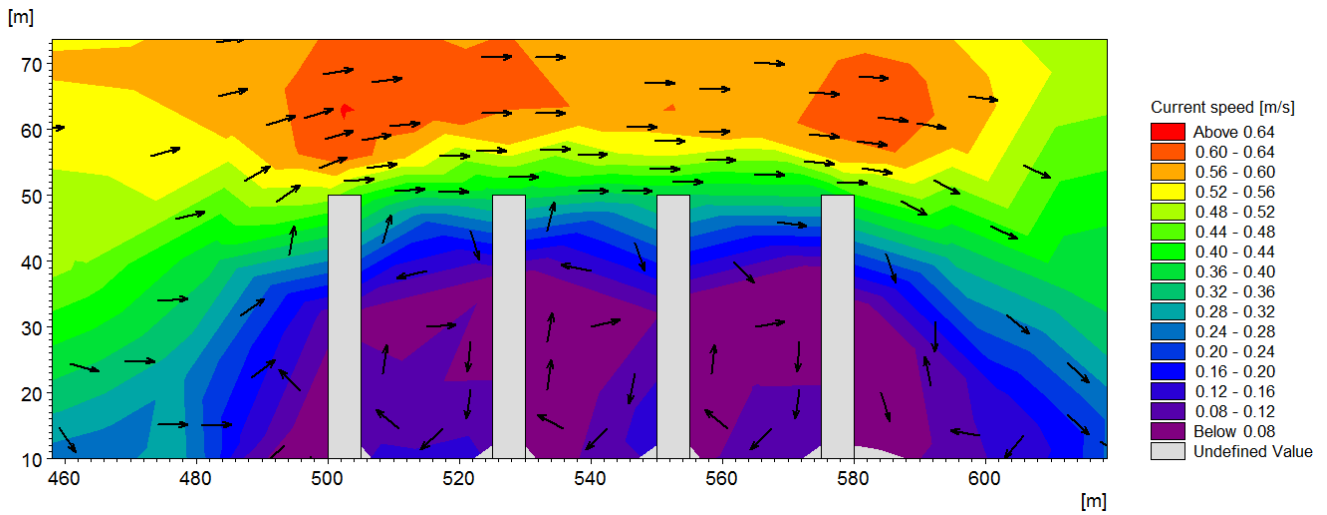
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=2$ και $H_s=1.5\text{m}$



Σχήμα Α.5 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=2$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 2 προβόλους (Τύπος 1)

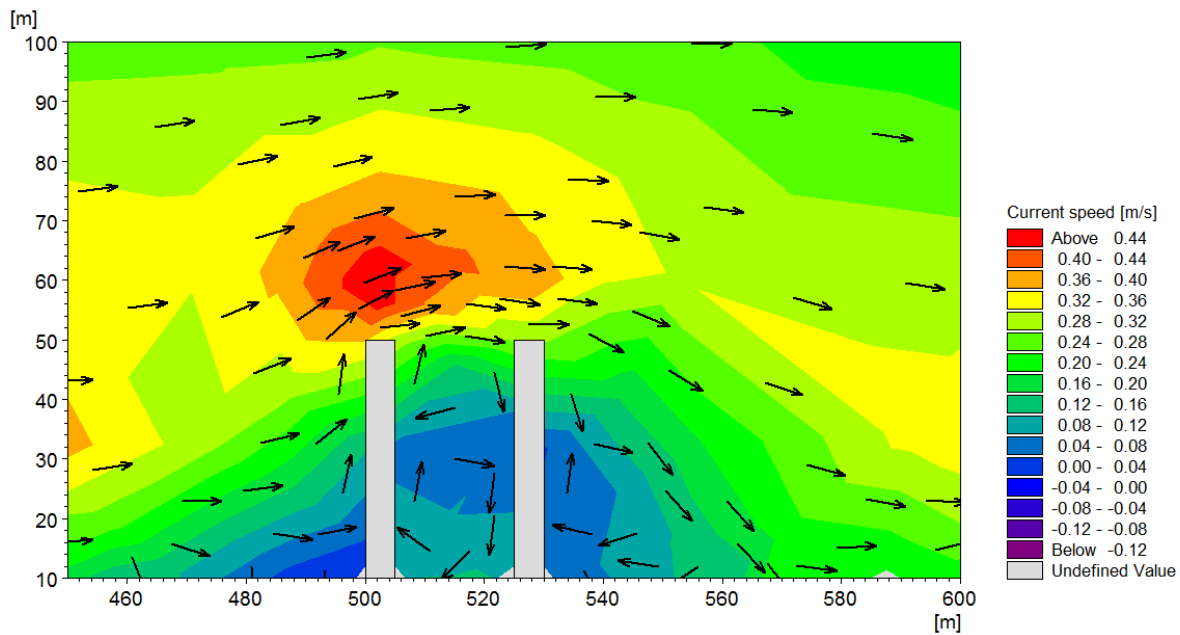


Σχήμα Α.6 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=2$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 3 προβόλους (Τύπος 1)

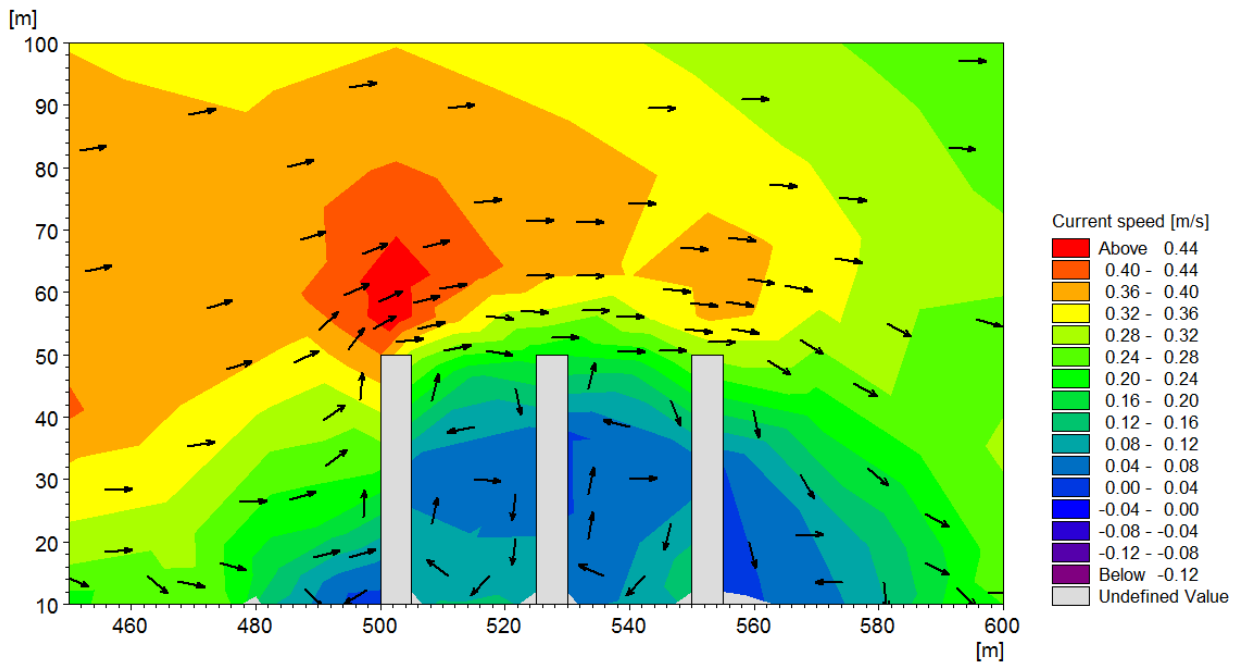


Σχήμα Α.7 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=2$ και $H_s=1.5m$ για 4 προβόλους (Τύπος 1)

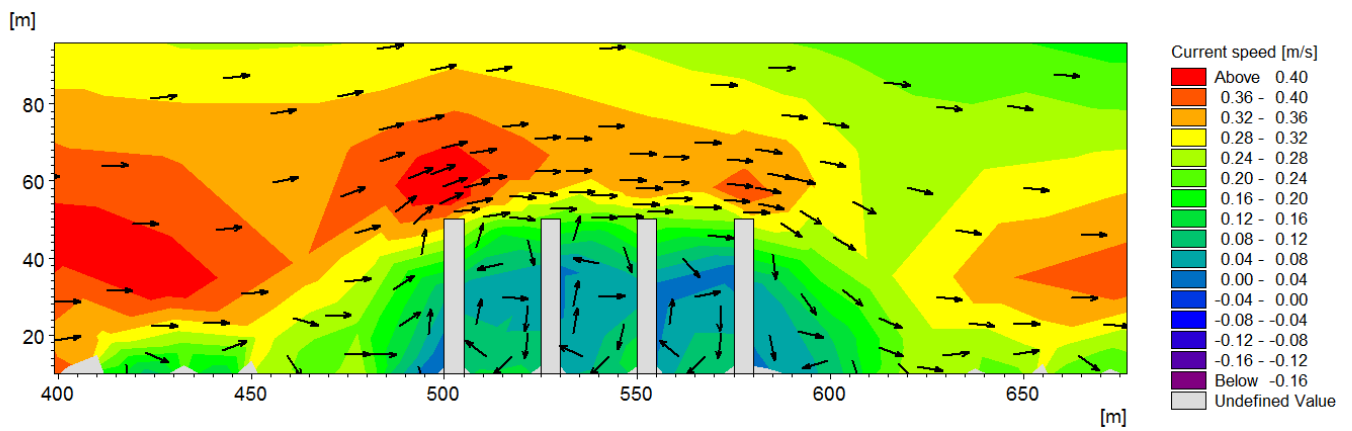
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=2$ και $H_s=1m$



Σχήμα Α.8 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=2$ και $H_s=1m$ για 2 προβόλους (Τύπος 1)

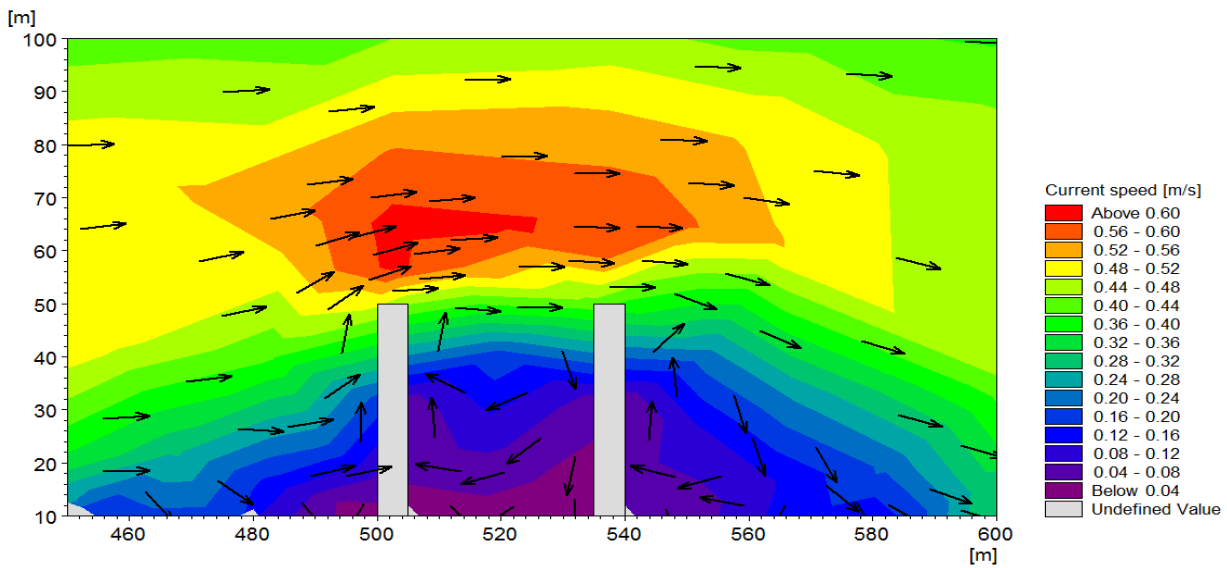


Σχήμα Α.9 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=2$ και $H_s = 1\text{m}$ για 3 προβόλους (Τύπος 1)

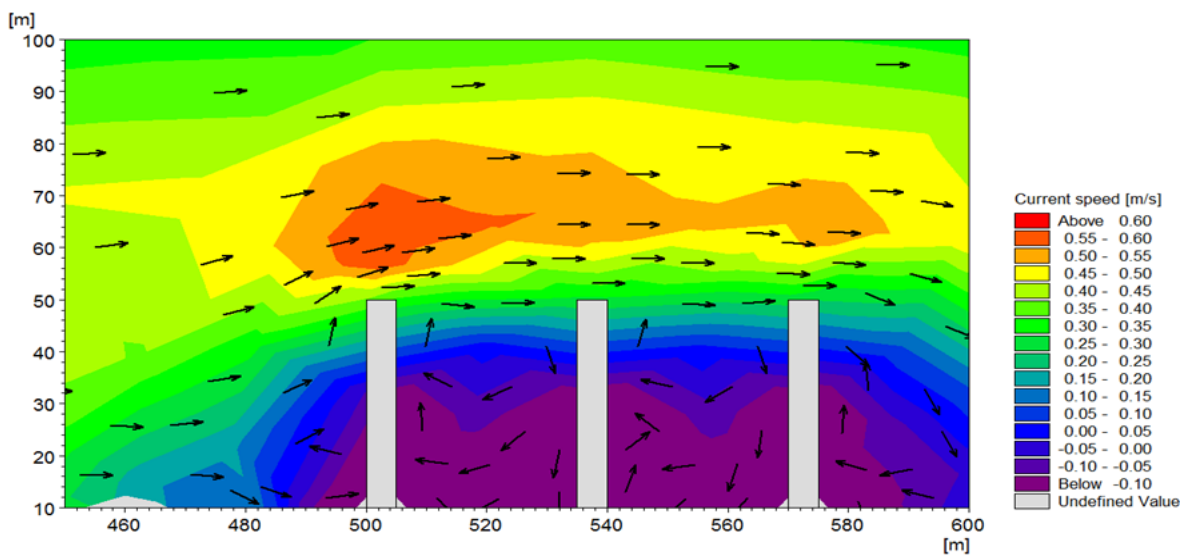


Σχήμα Α.10 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=2$ και $H_s = 1\text{m}$ για 4 προβόλους (Τύπος 1)

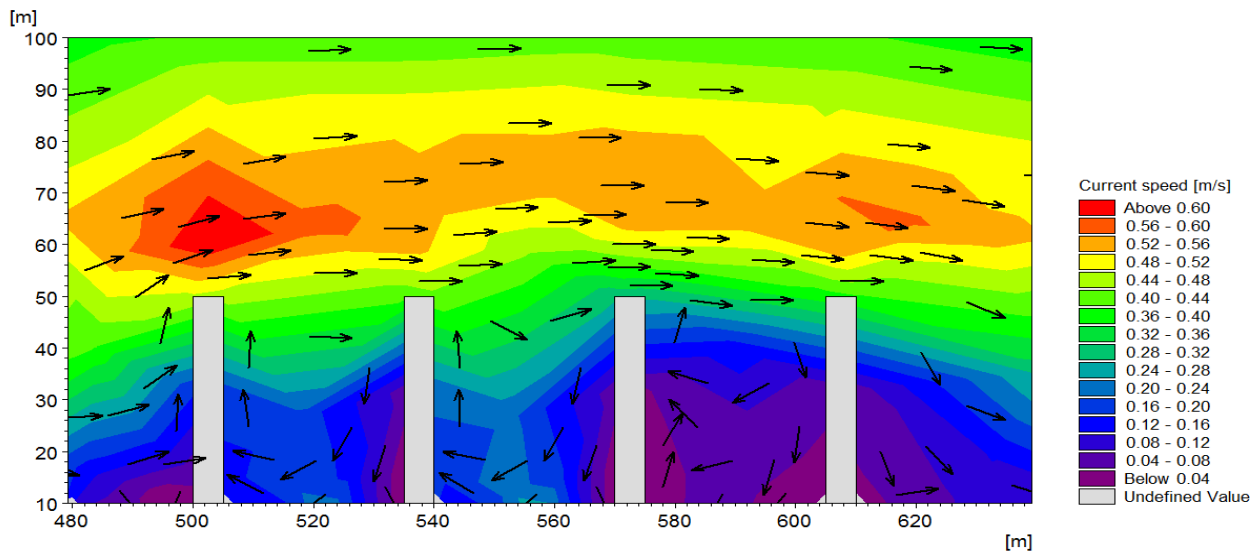
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=1.33$ και $H_s=1.5m$



Σχήμα A.11 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=1.33$ και $H_s = 1.5m$ για 2 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος)

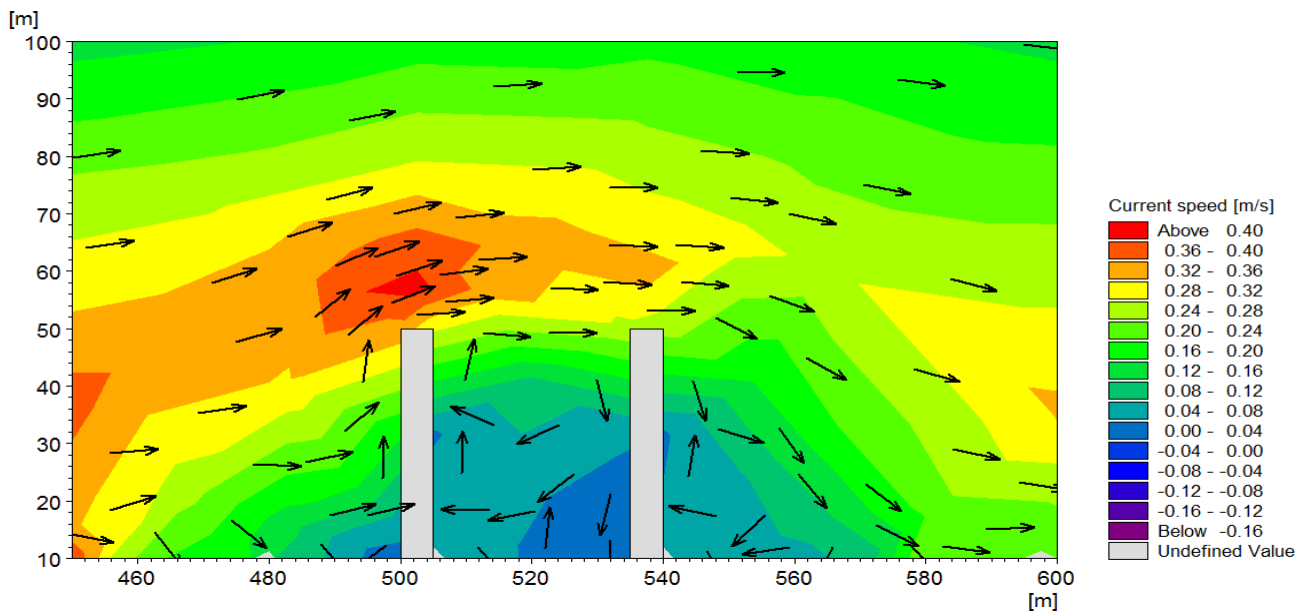


Σχήμα A.12 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=1.33$ και $H_s = 1.5m$ για 3 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος)

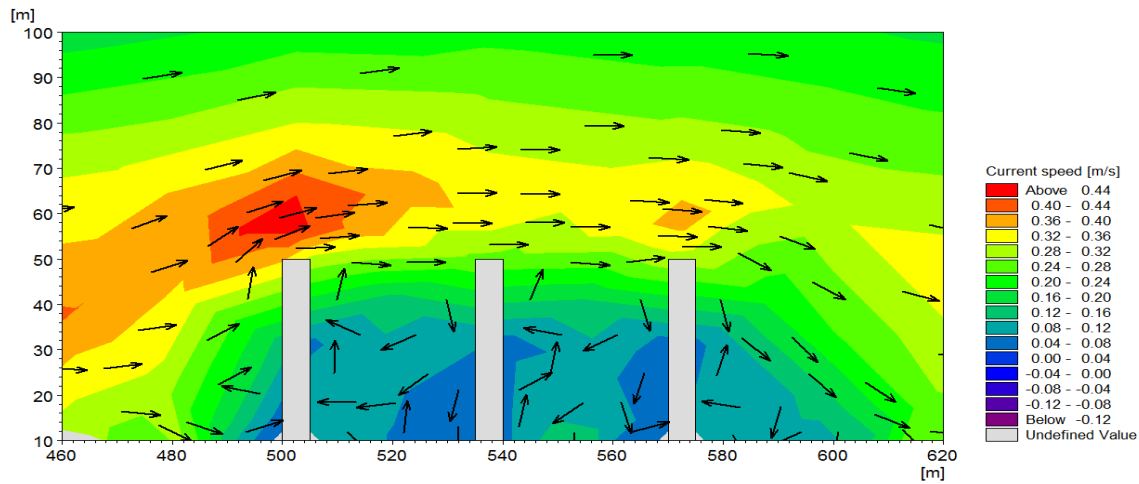


Σχήμα A.13 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=1.33$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 2 προβόλους (Τύπος 2)

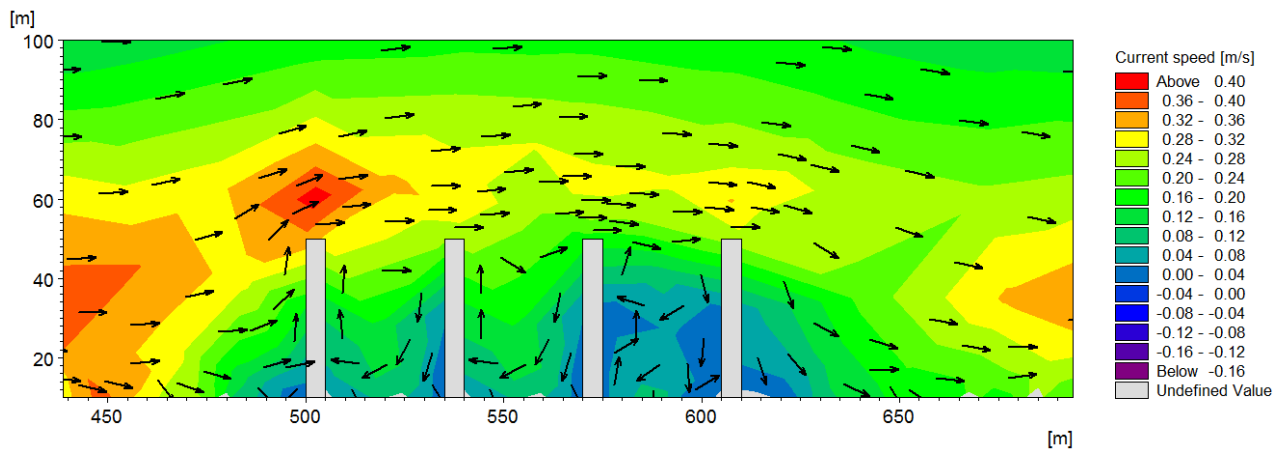
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=1.33$ και $H_s=1\text{m}$



Σχήμα A.14 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=1.33$ και $H_s=1\text{m}$ για 2 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος)

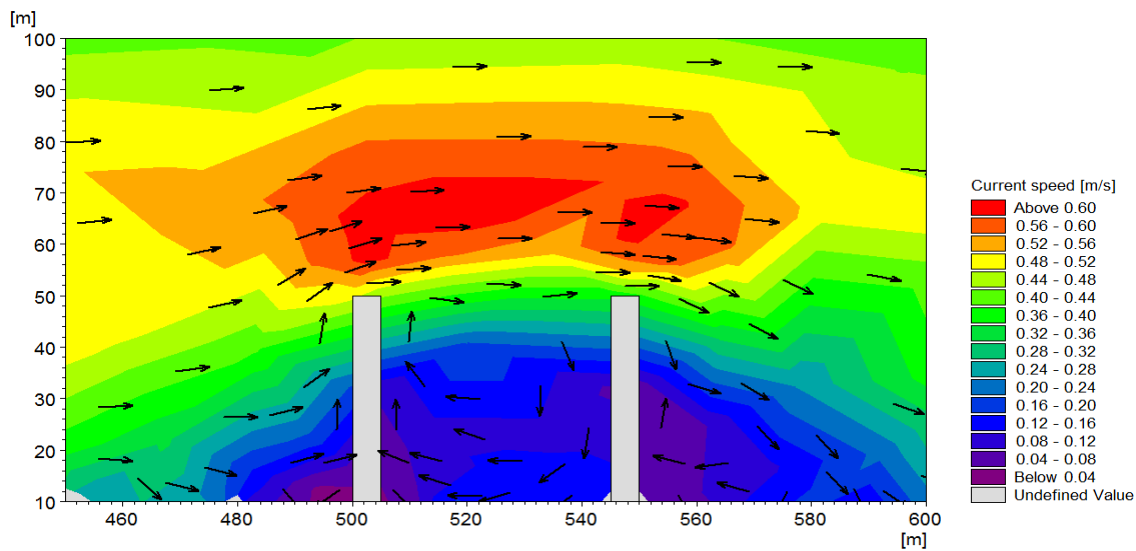


Σχήμα A.15 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=1.33$ και $H_s = 1\text{m}$ για 3 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος)

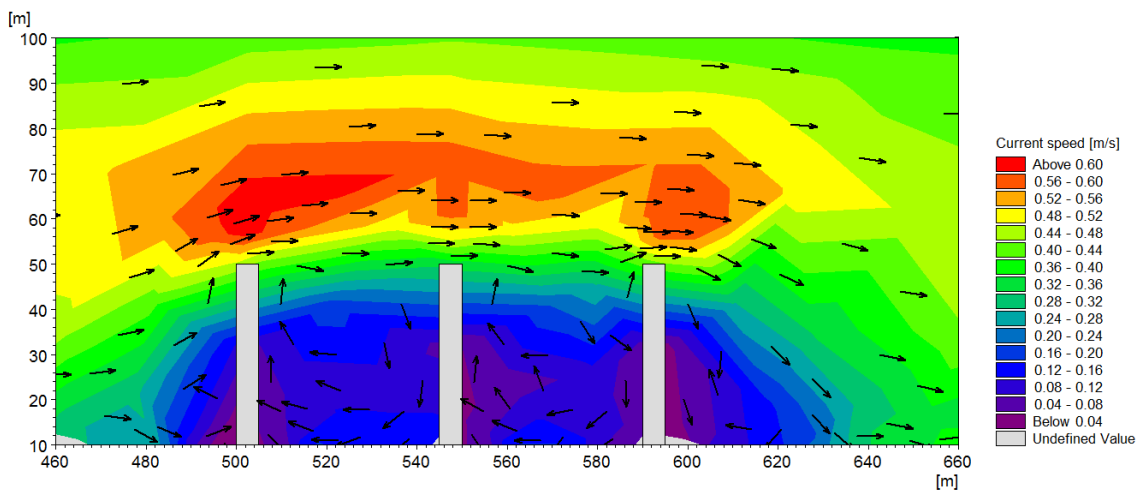


Σχήμα A.16 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=1.33$ και $H_s = 1\text{m}$ για 4 προβόλους (Τύπος 2)

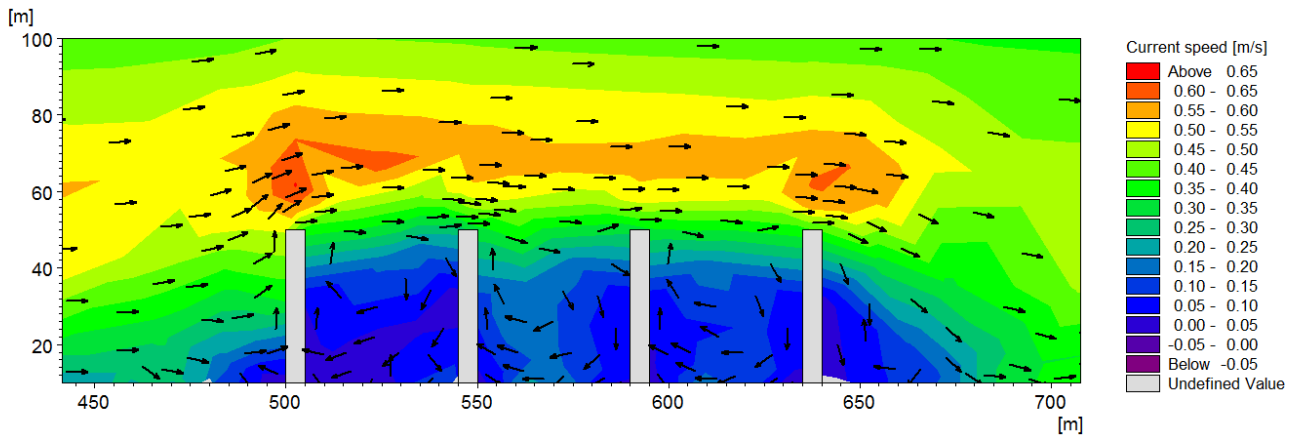
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=1$ και $H_s=1.5\text{m}$



Σχήμα A.17 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=1$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 2 προβόλους (Τύπος 2)

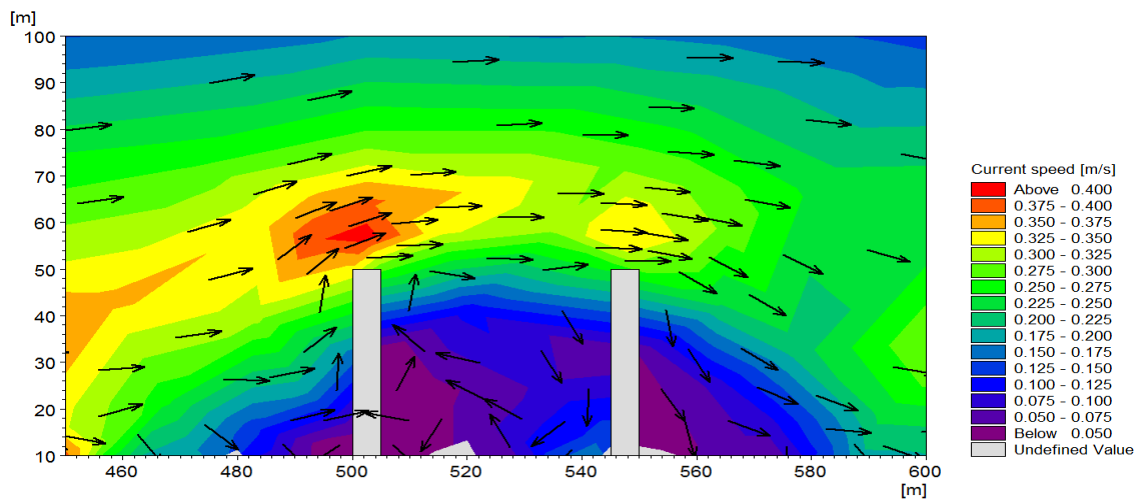


Σχήμα A.18 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=1$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 3 προβόλους (Τύπος 2)

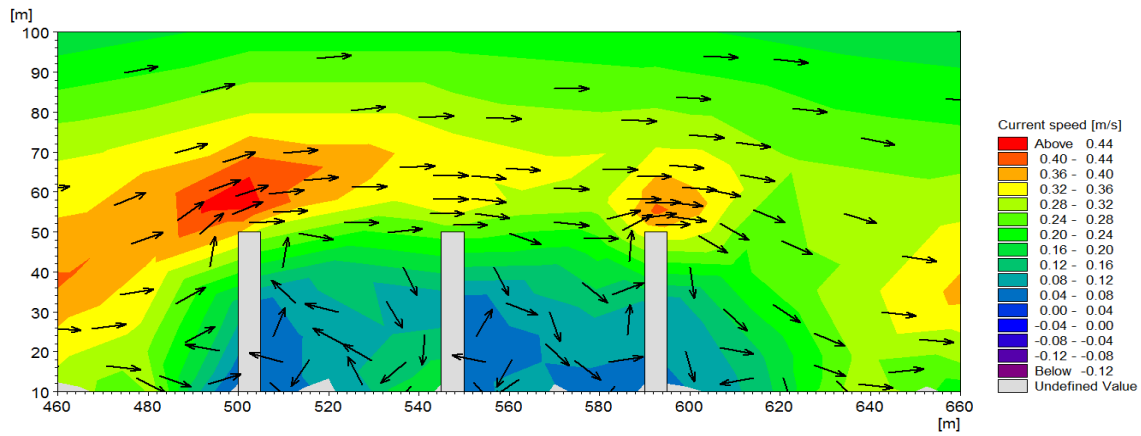


Σχήμα A.19 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=1$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 4 προβόλους (Τύπος 2)

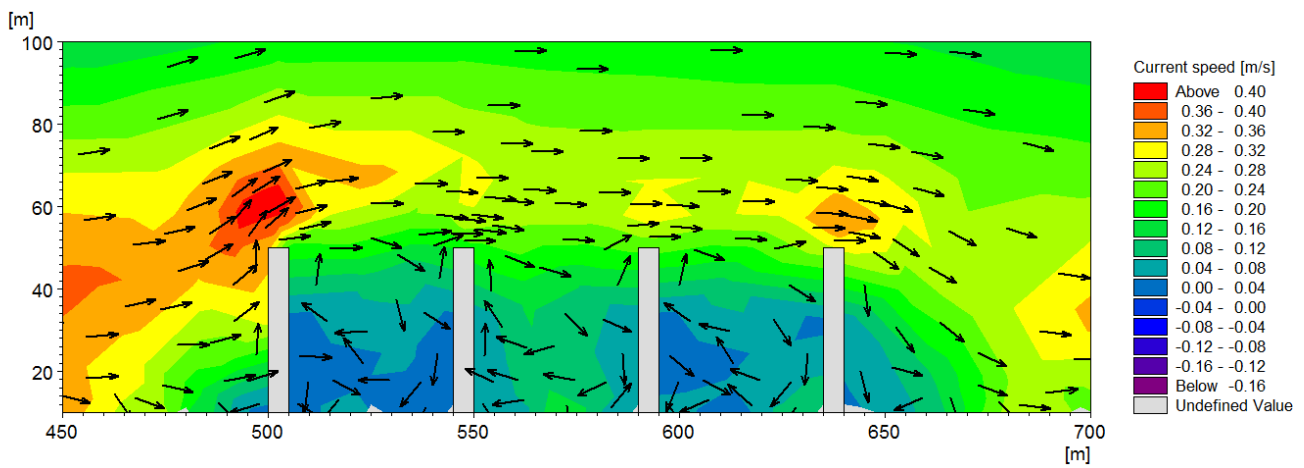
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=1$ και $H_s=1\text{m}$



Σχήμα A.20 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=1$ και $H_s=1\text{m}$ για 2 προβόλους (Τύπος 2)

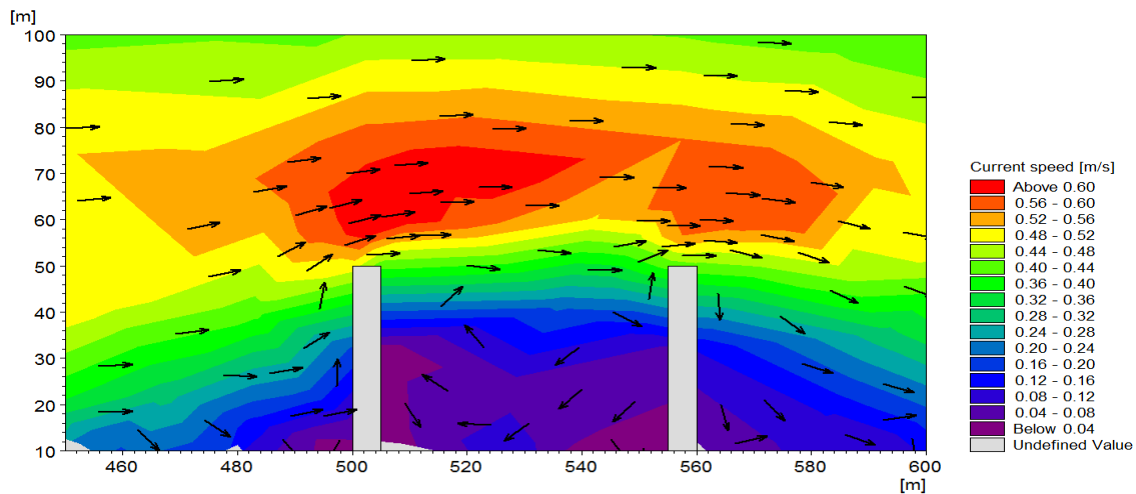


Σχήμα Α.21 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=1$ και $H_s = 1\text{m}$ για 3 προβόλους (Τύπος 2)

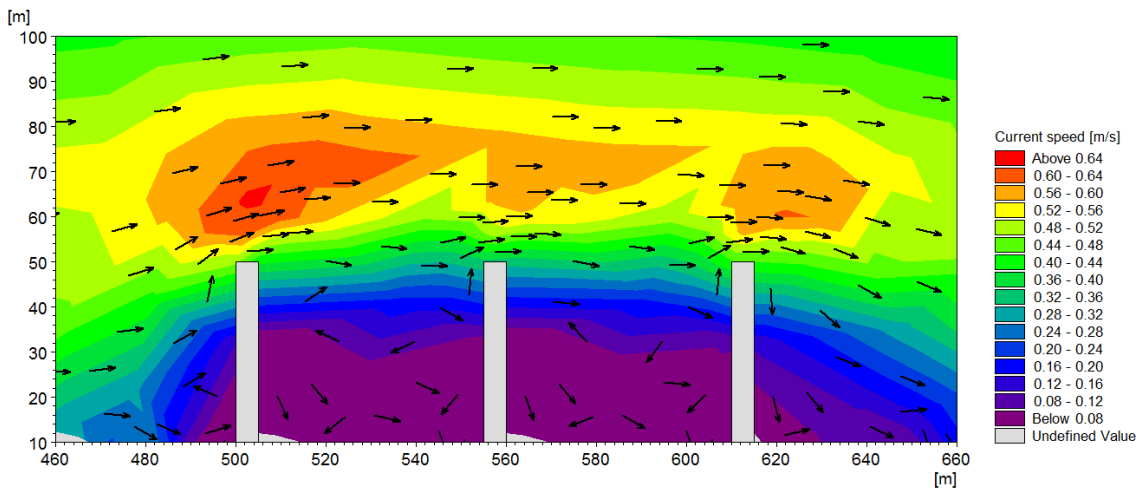


Σχήμα Α.22 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=1$ και $H_s = 1\text{m}$ για 4 προβόλους (Τύπος 2)

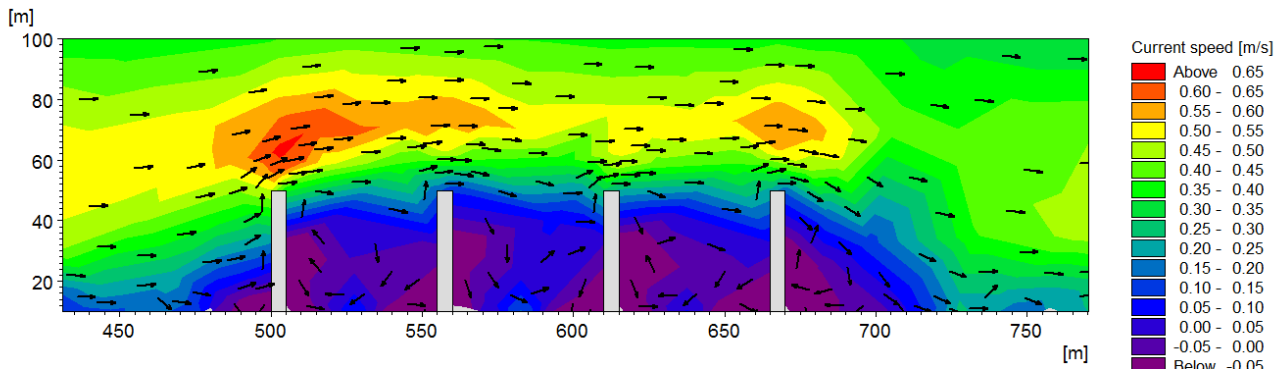
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.8$ και $H_s=1.5m$



Σχήμα A.23 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.8$ και $H_s = 1.5m$ για 2 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 2)

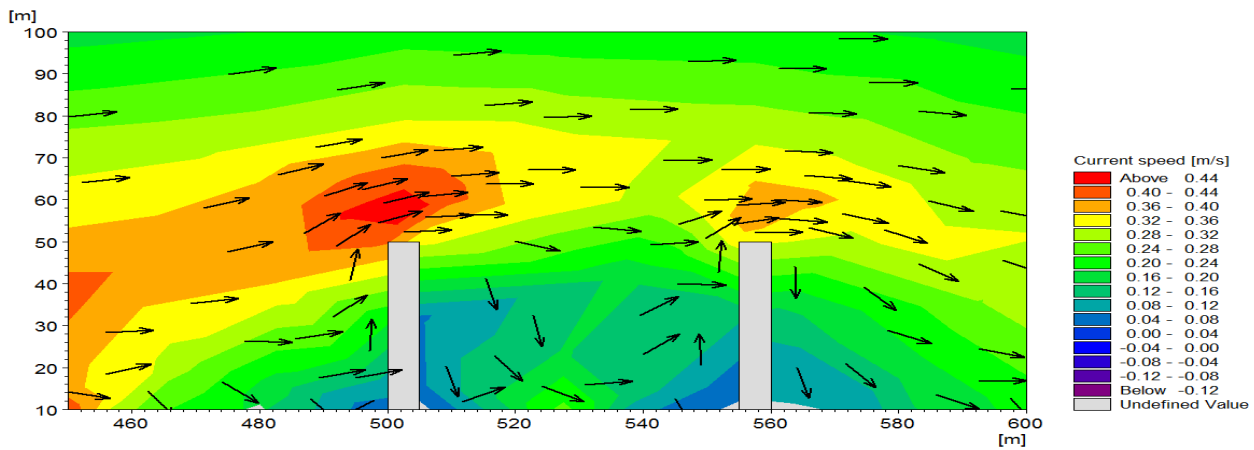


Σχήμα A.24 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.8$ και $H_s = 1.5m$ για 3 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 2)

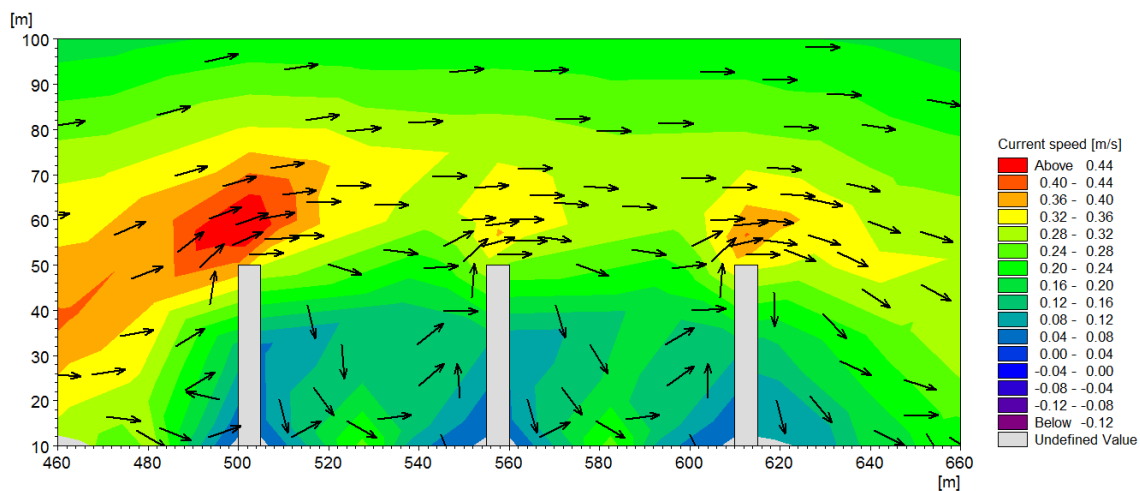


Σχήμα A.25 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.8$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 4 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3)

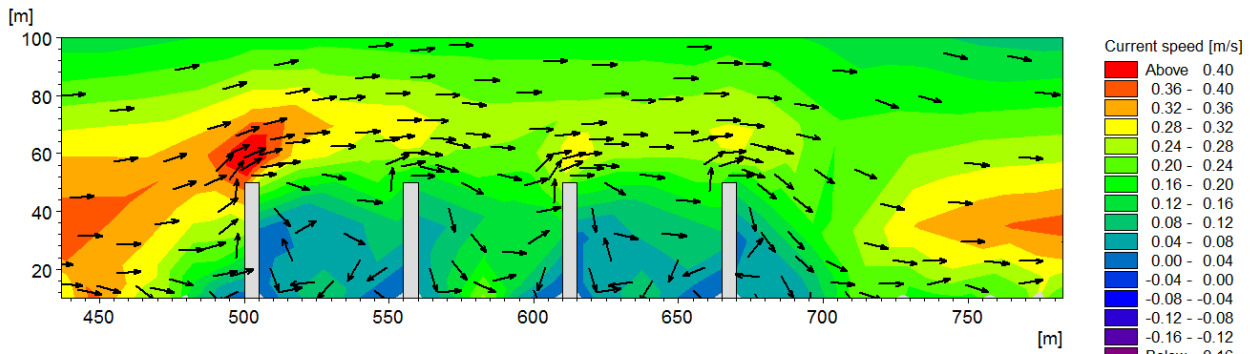
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.8$ και $H_s=1\text{m}$



Σχήμα A.26 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.8$ και $H_s=1\text{m}$ για 2 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3)

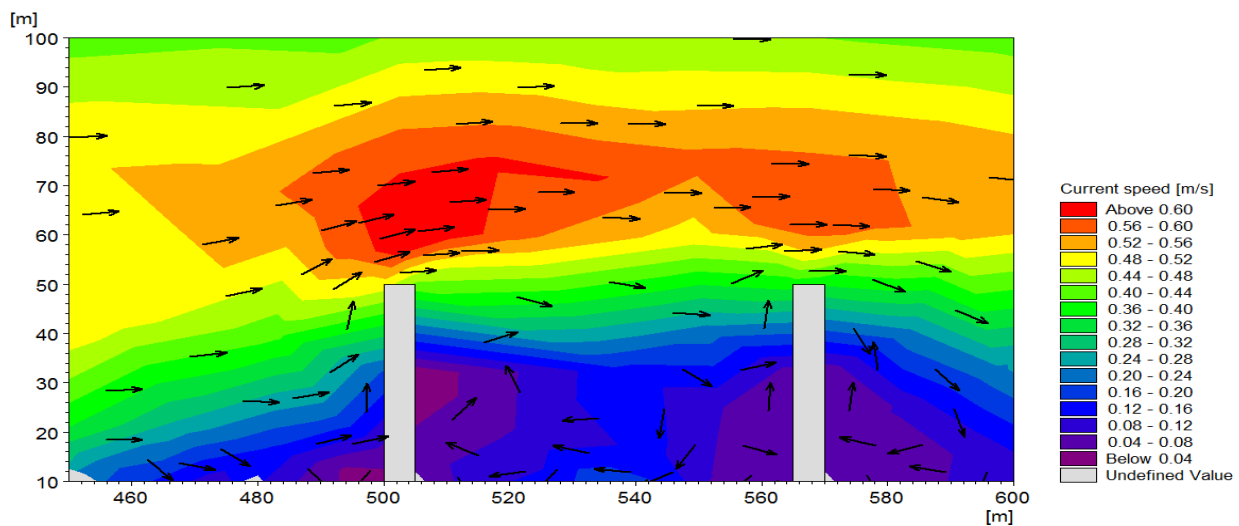


Σχήμα A.27 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.8$ και $H_s=1\text{m}$ για 3 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 2)

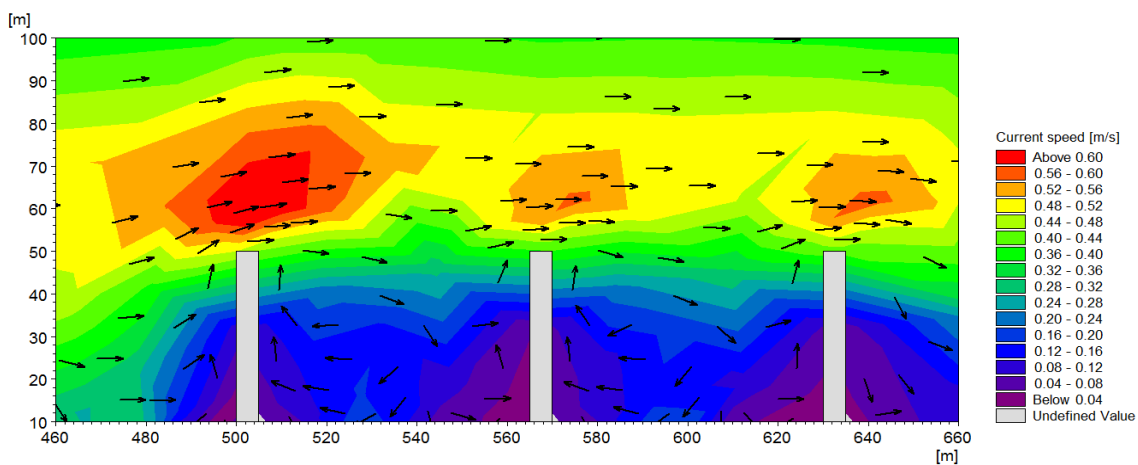


Σχήμα A.28 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.8$ και $H_s=1\text{m}$ για 4 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 2)

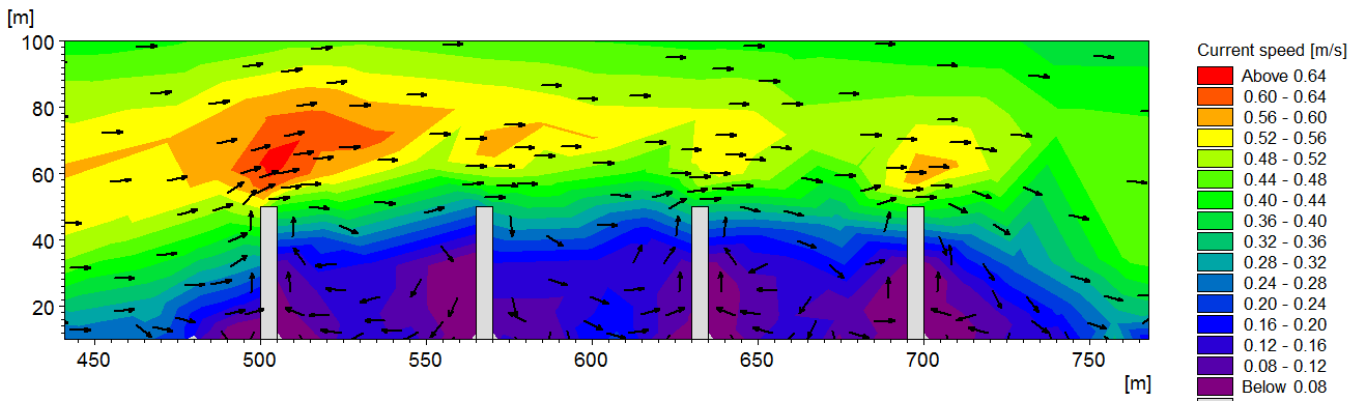
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.66$ και $H_s=1.5\text{m}$



Σχήμα A.29 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.67$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 2 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3)

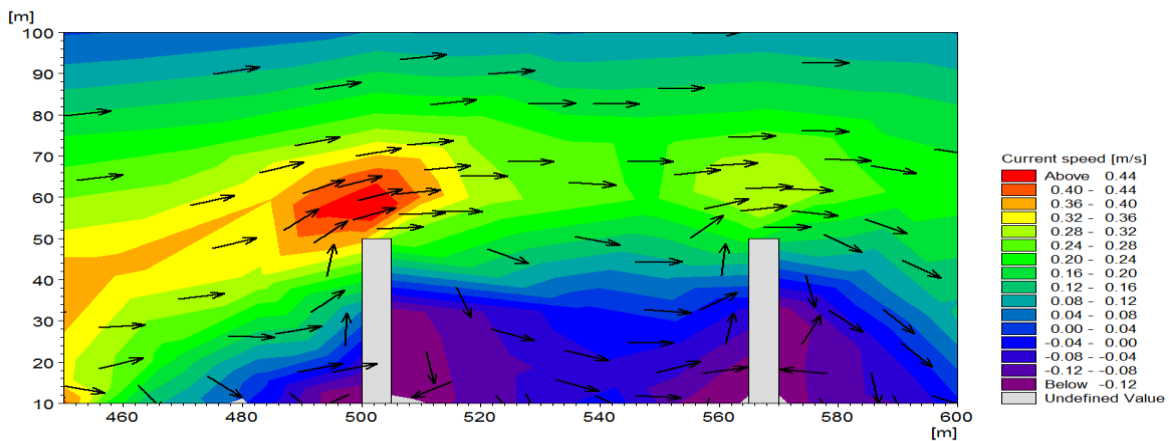


Σχήμα A.30 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.67$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 3 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος)

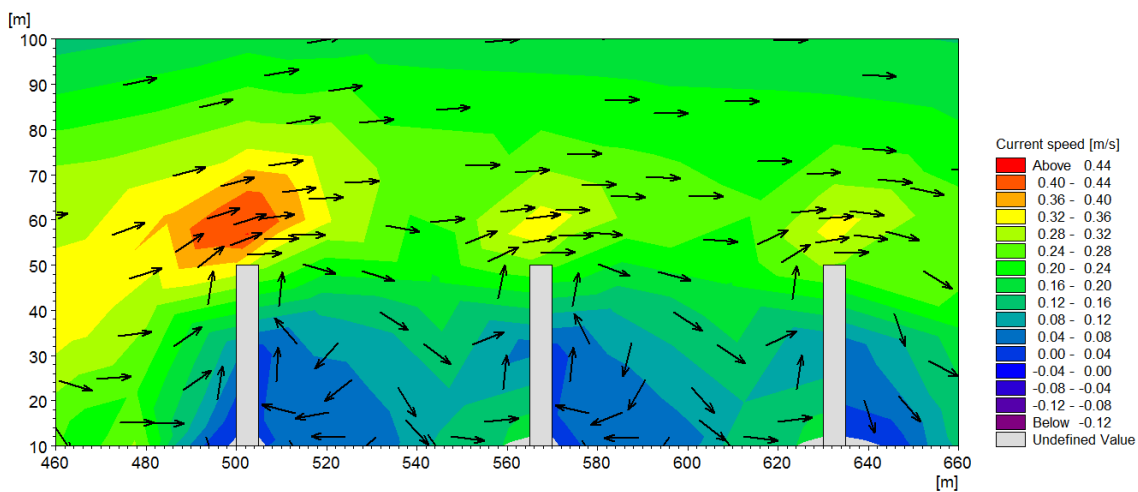


Σχήμα A.31 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.67$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 4 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος)

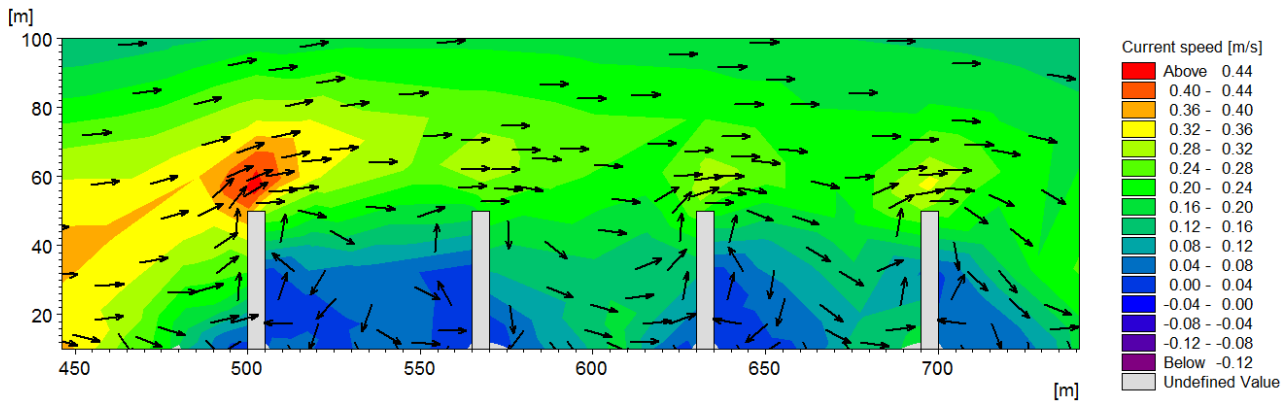
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.66$ και $H_s=1\text{m}$



Σχήμα A.32 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.67$ και $H_s=1\text{m}$ για 2 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3)

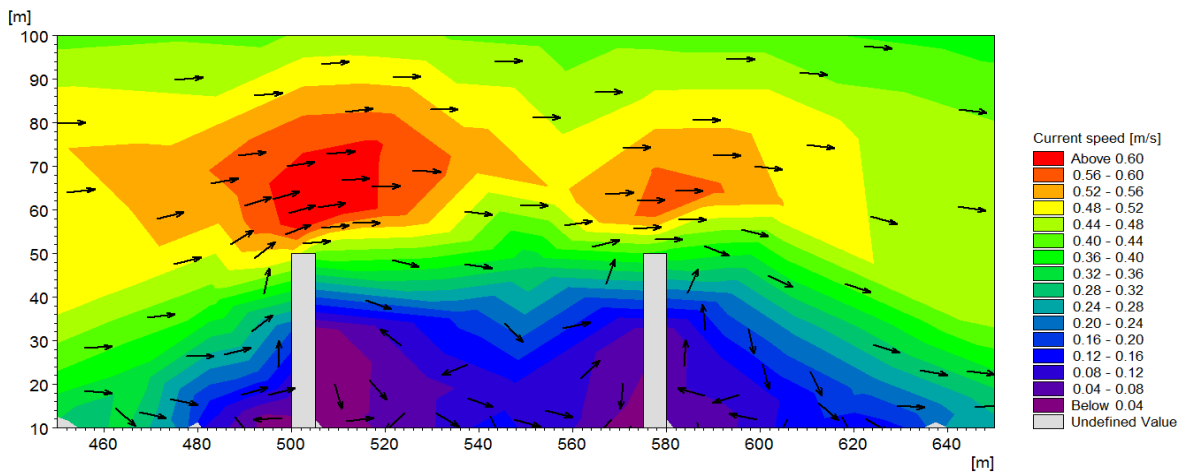


Σχήμα A.33 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.67$ και $H_s=1\text{m}$ για 3 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3)

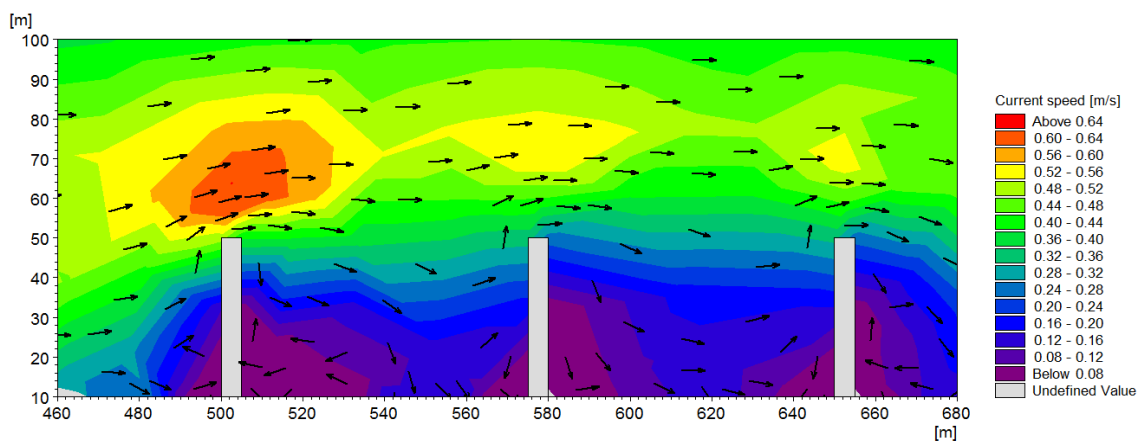


Σχήμα A.34 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.67$ και $H_s = 1\text{m}$ για 4 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος)

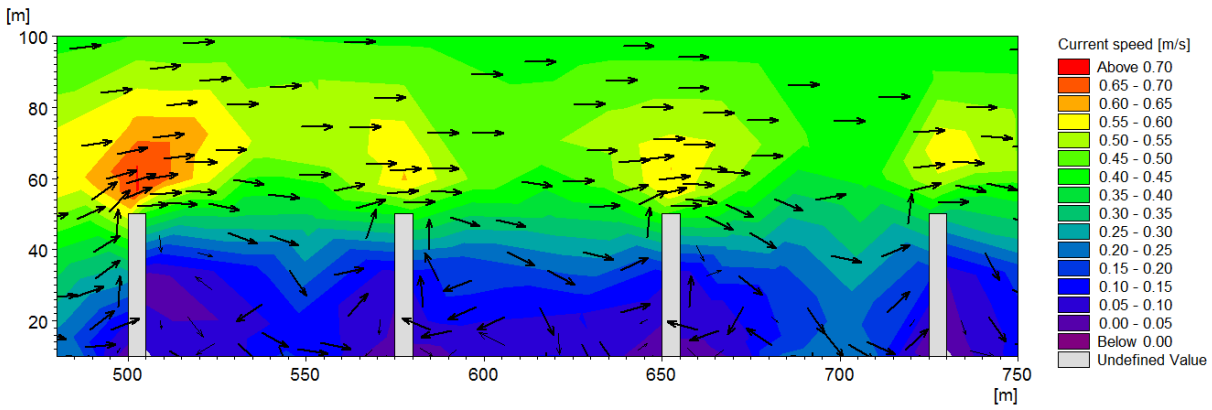
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.57$ και $H_s=1.5\text{m}$



Σχήμα A.35 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.57$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 2 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3)

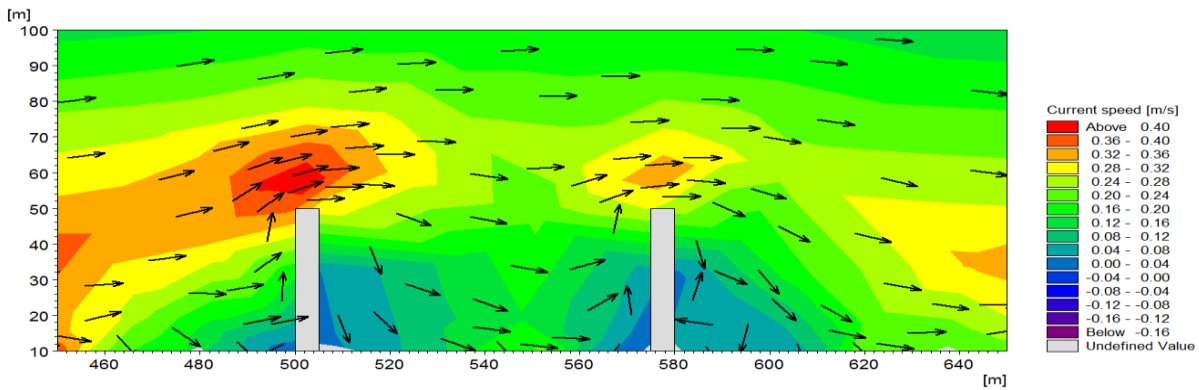


Σχήμα A.36 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.57$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 3 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3)

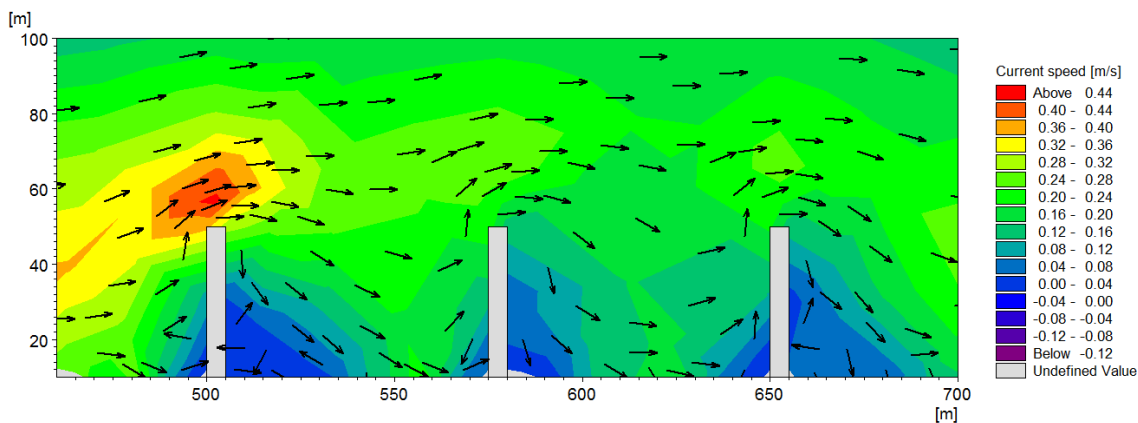


Σχήμα A.37 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.57$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 4 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος)

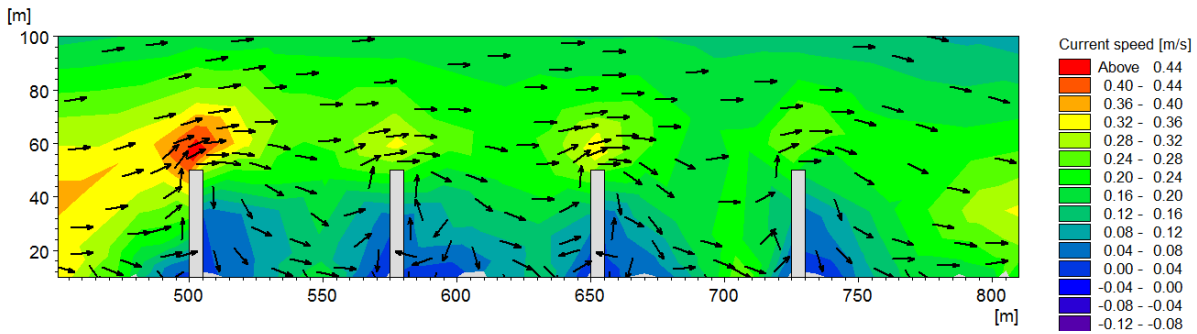
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.57$ και $H_s=1\text{m}$



Σχήμα A.38 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.57$ και $H_s=1\text{m}$ για 2 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος)

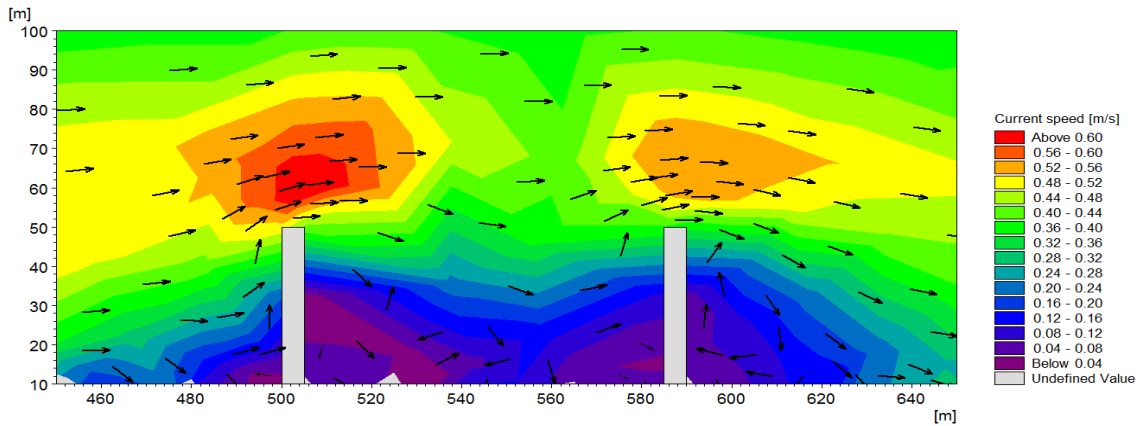


Σχήμα A.39 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.57$ και $H_s=1\text{m}$ για 3 προβόλους (Κοντά σε τύπο 3)

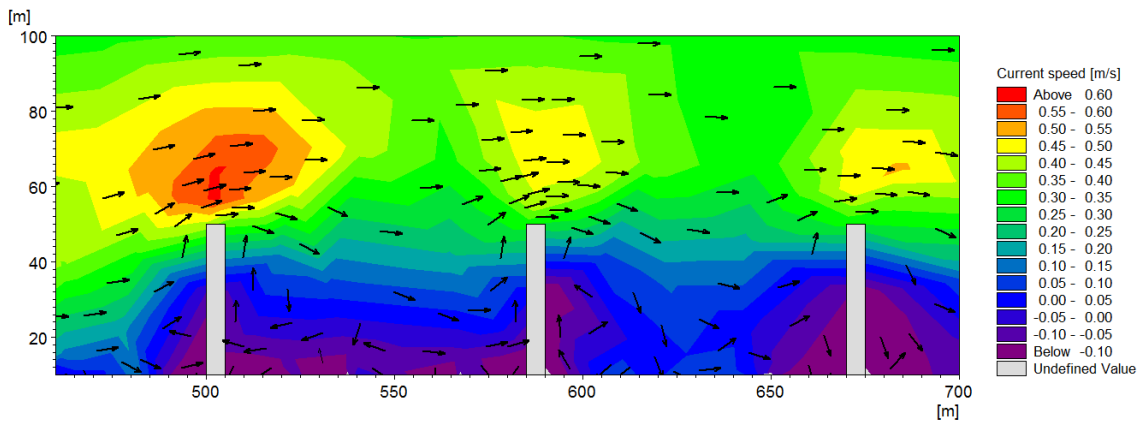


Σχήμα A.40 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.57$ και $H_s=1\text{m}$ για 4 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος)

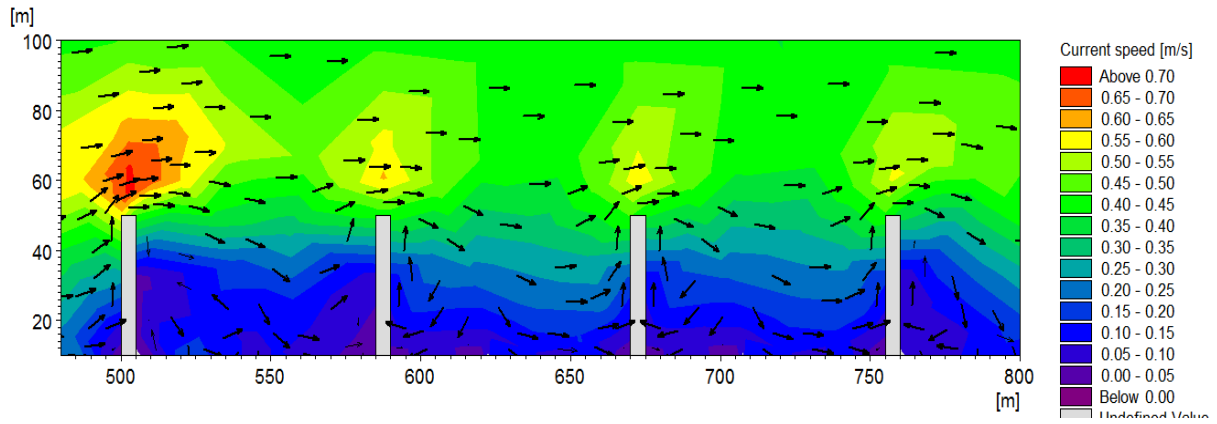
• Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.5$ και $H_s=1.5\text{m}$



Σχήμα A.41 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.5$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 2 προβόλους (Τύπος 3)

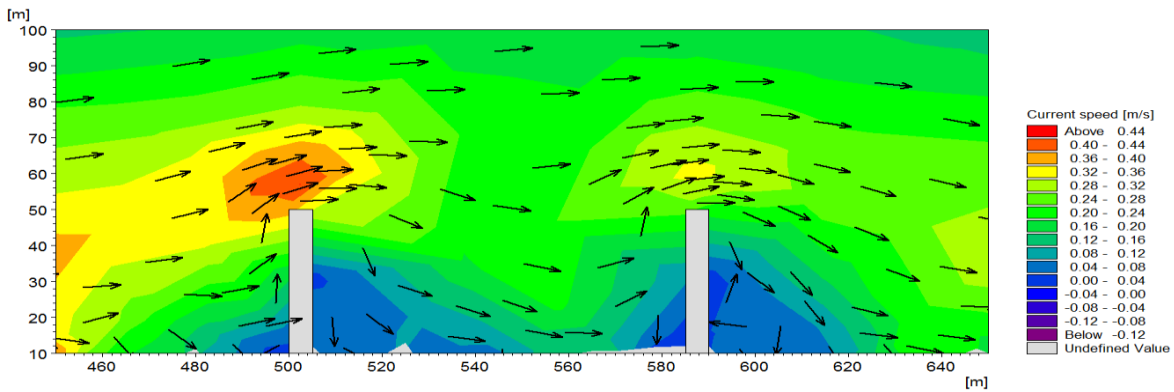


Σχήμα A.42 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.5$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 3 προβόλους (Τύπος 3)

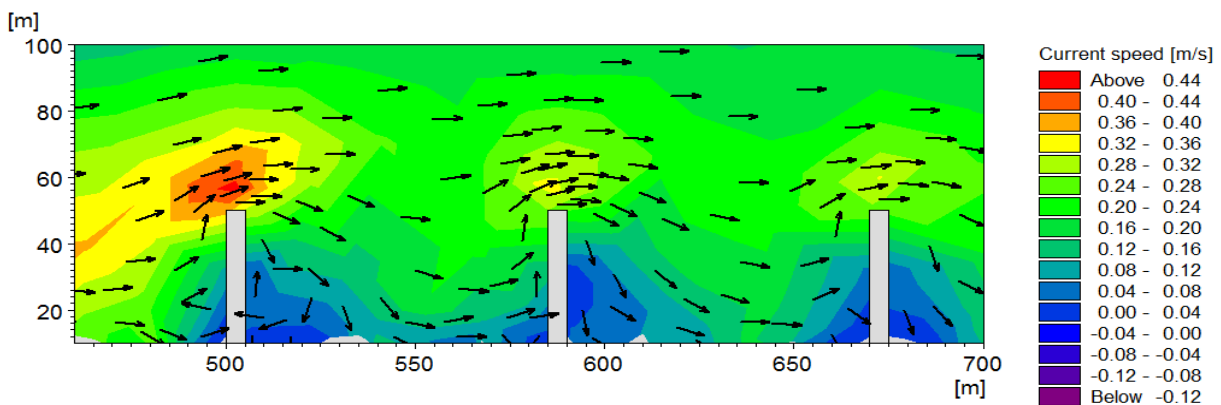


Σχήμα A.43 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.5$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 4 προβόλους (Τύπος 3)

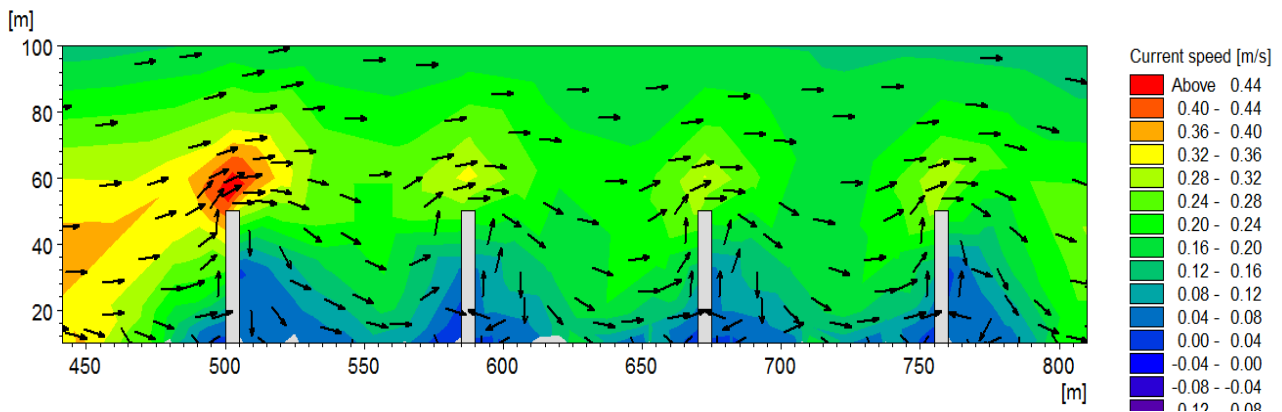
• Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.5$ και $H_s=1\text{m}$



Σχήμα A.44 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.5$ και $H_s=1\text{m}$ για 2 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3)

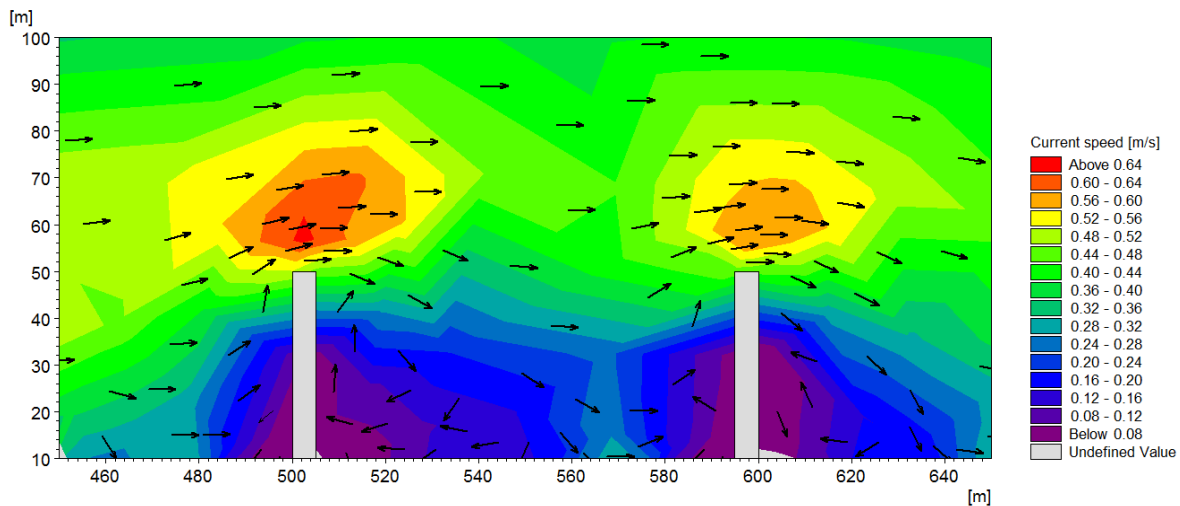


Σχήμα A.45 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.5$ και $H_s=1\text{m}$ για 3 προβόλους (Τύπος 3)

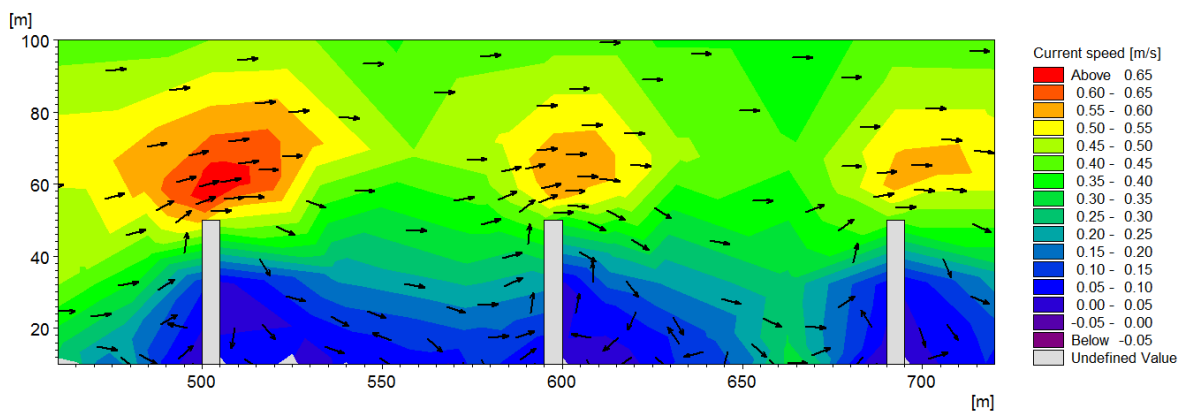


Σχήμα A.46 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.5$ και $H_s=1\text{m}$ για 4 προβόλους (Τύπος 3)

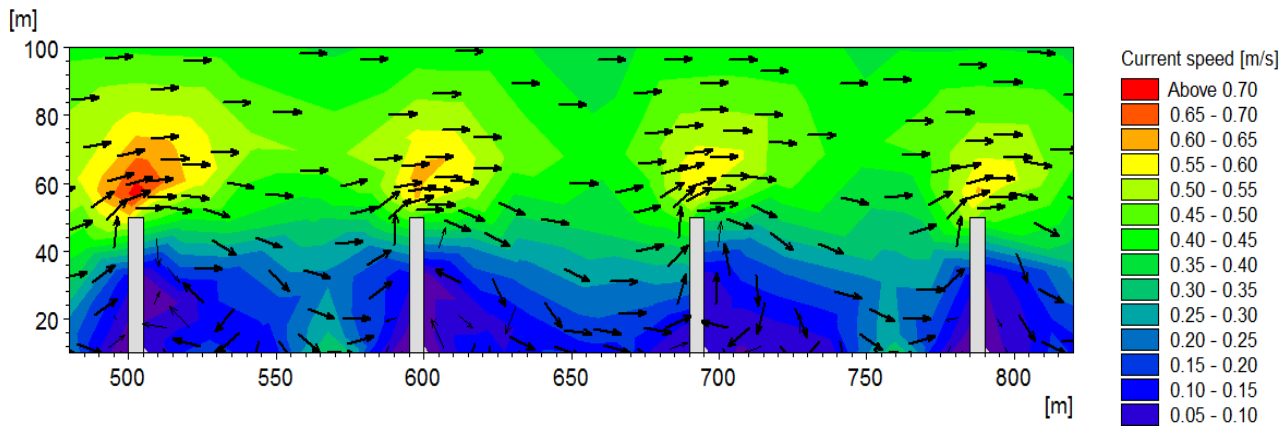
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.44$ και $H_s=1.5\text{m}$



Σχήμα A.47 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.44$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 2 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος)

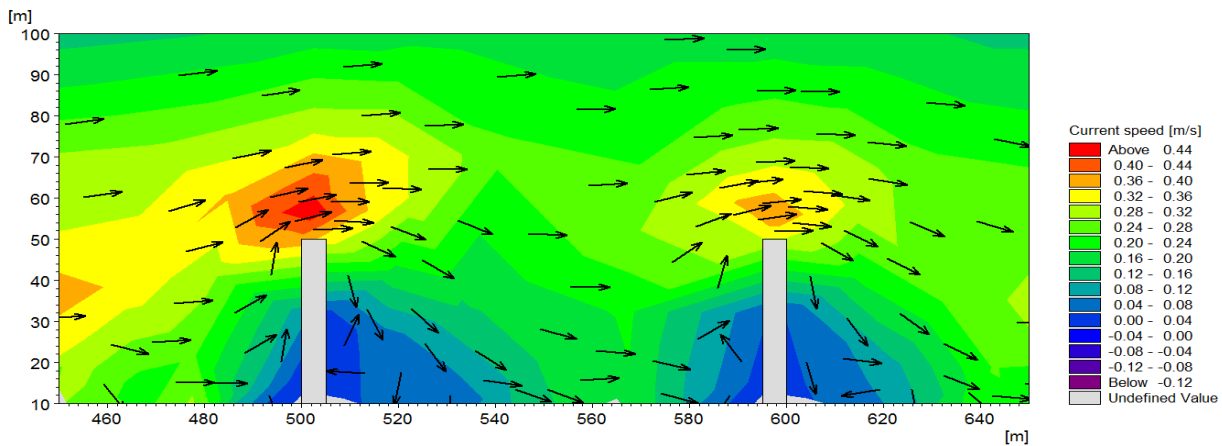


Σχήμα A.48 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.44$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 3 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος)

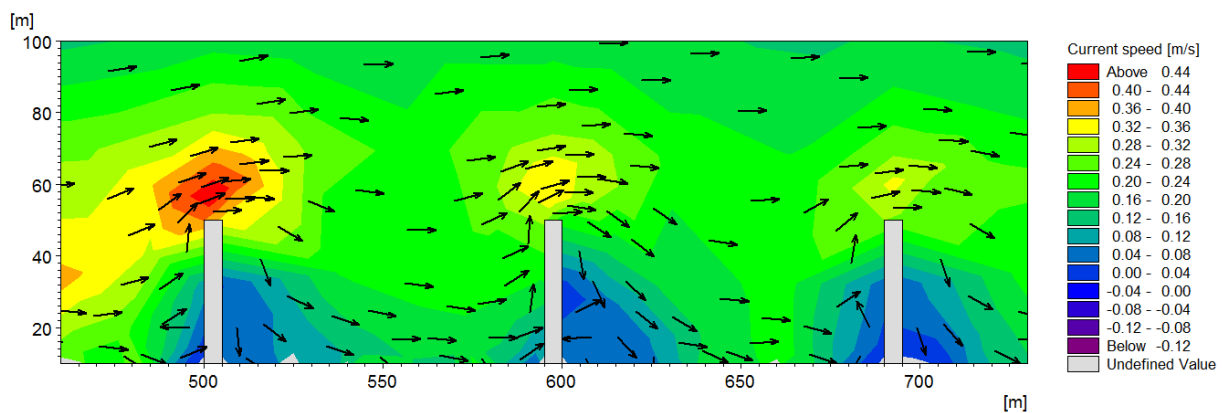


Σχήμα A.49 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.44$ και $H_s=1.5m$ για 4 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος)

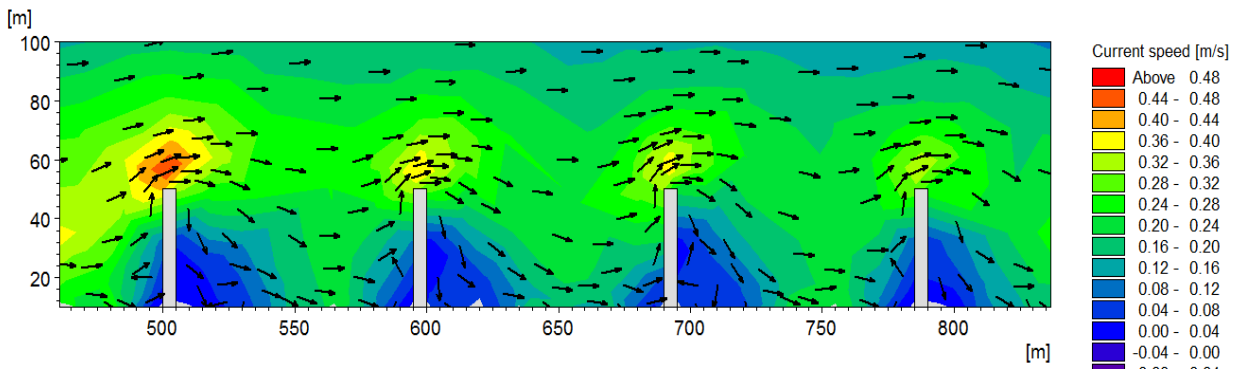
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.44$ και $H_s=1m$



Σχήμα A.50 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.44$ και $H_s=1m$ για 2 προβόλους (Κοντά σε τύπο 3)

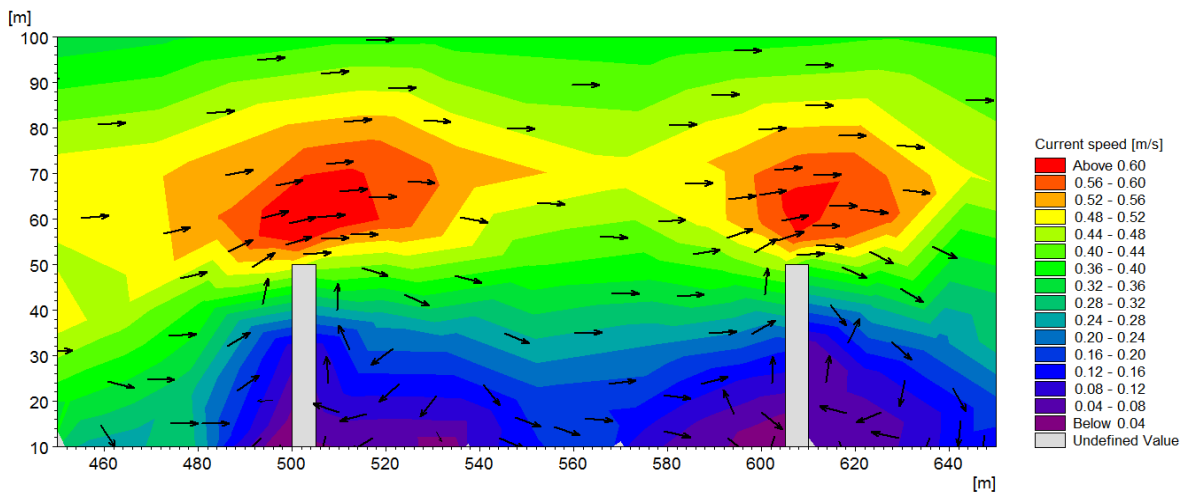


Σχήμα A.51 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.44$ και $H_s=1m$ για 3 προβόλους (Κοντά σε τύπο 3)

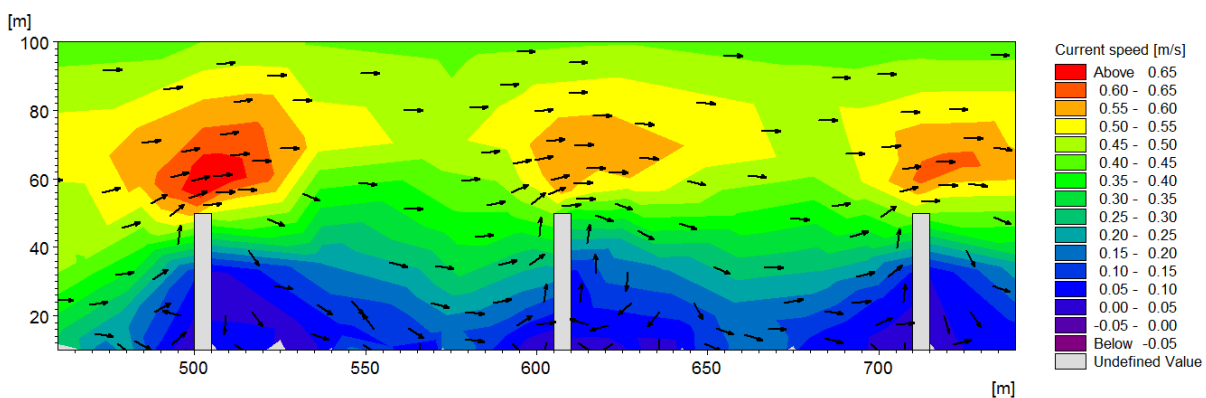


Σχήμα A.52 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.44$ και $H_s=1\text{m}$ για 4 προβόλους (Κοντά σε τύπο 3)

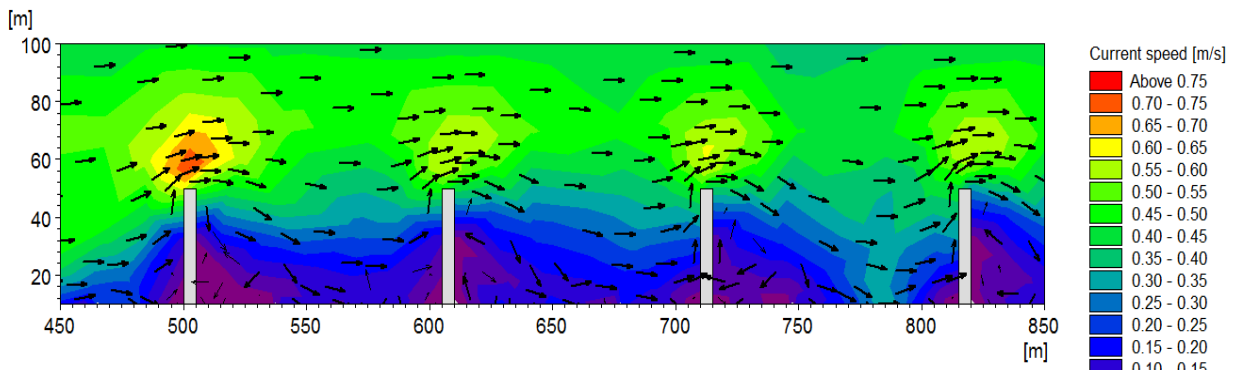
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.4$ και $H_s=1.5\text{m}$



Σχήμα A.53 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.4$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 2 προβόλους (Ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα)

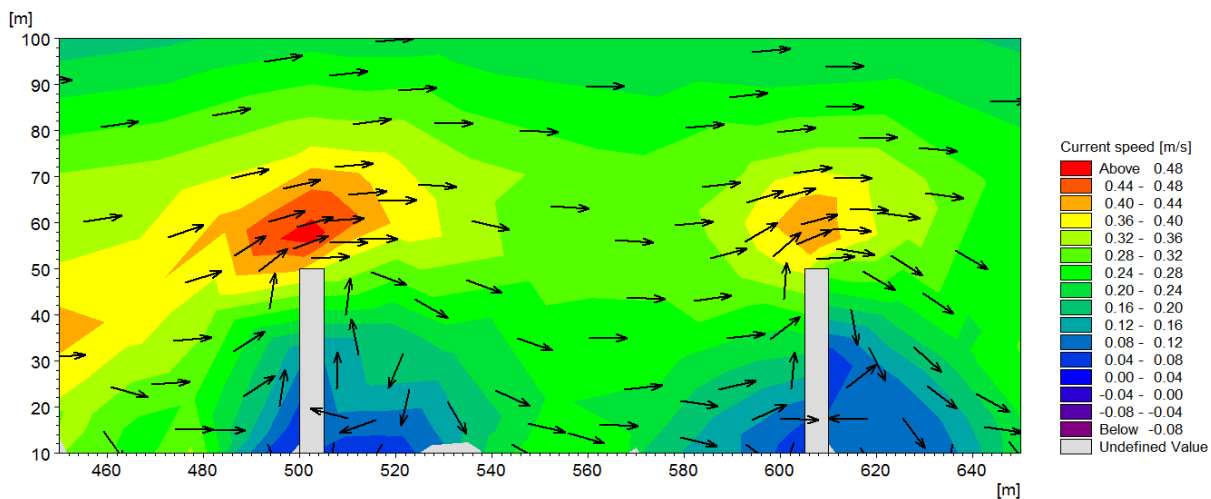


Σχήμα A.54 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.4$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 3 προβόλους (Κοντά σε τύπο 3)

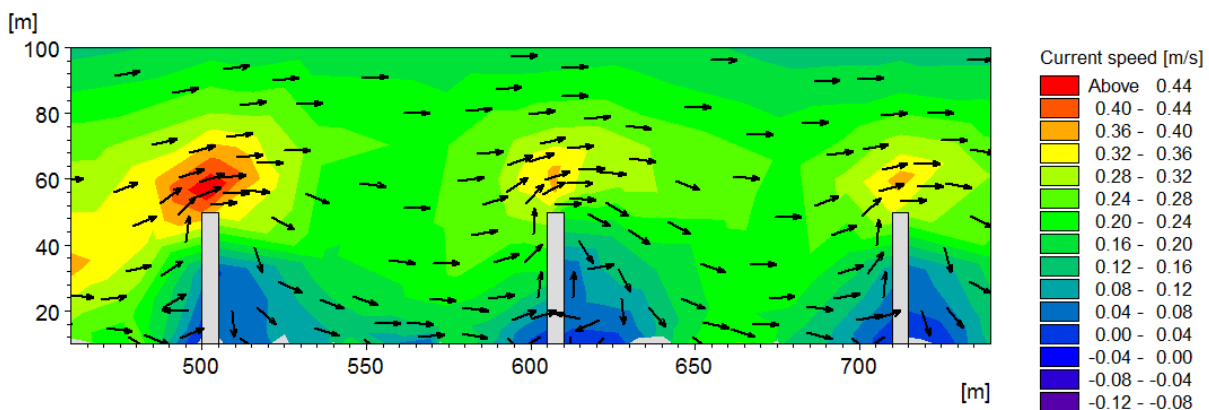


Σχήμα A.55 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.4$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 4 προβόλους (Ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα)

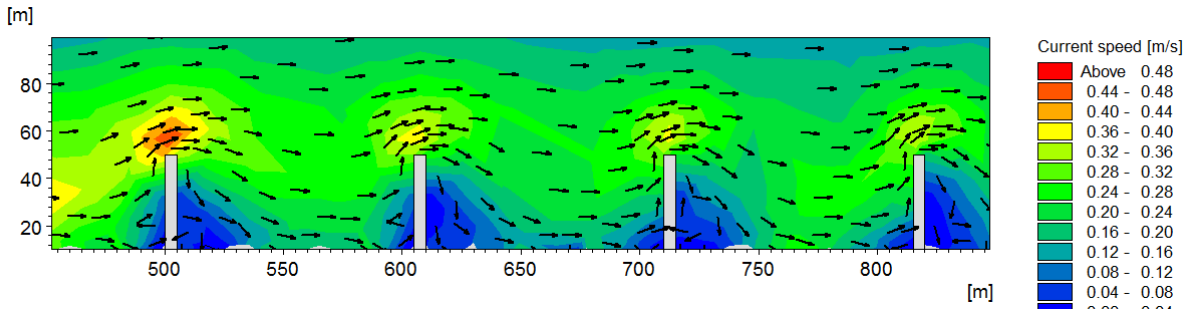
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.40$ και $H_s=1\text{m}$



Σχήμα A.56 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.4$ και $H_s=1\text{m}$ για 2 προβόλους (Τύπος 3)

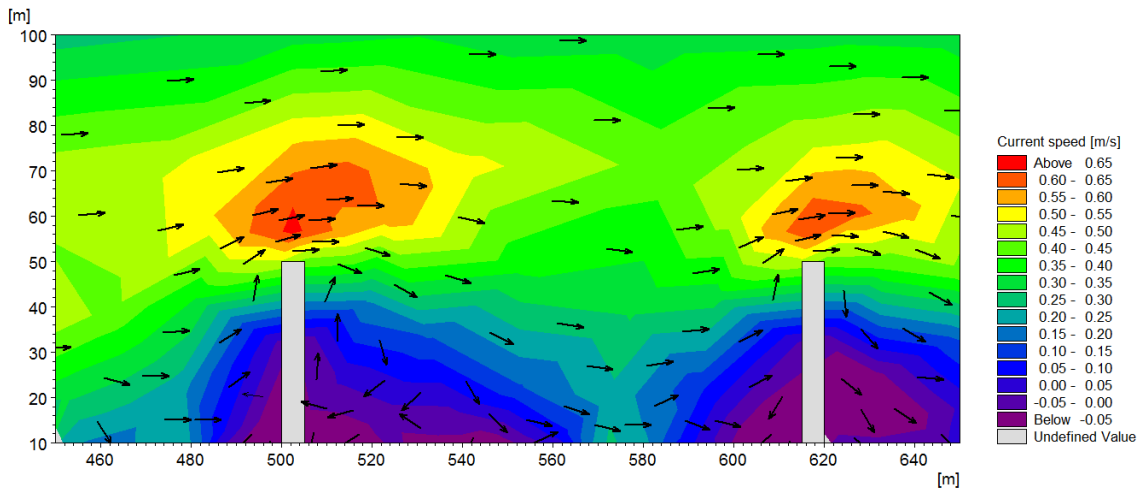


Σχήμα A.57 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.4$ και $H_s=1\text{m}$ για 3 προβόλους (Τύπος 3)

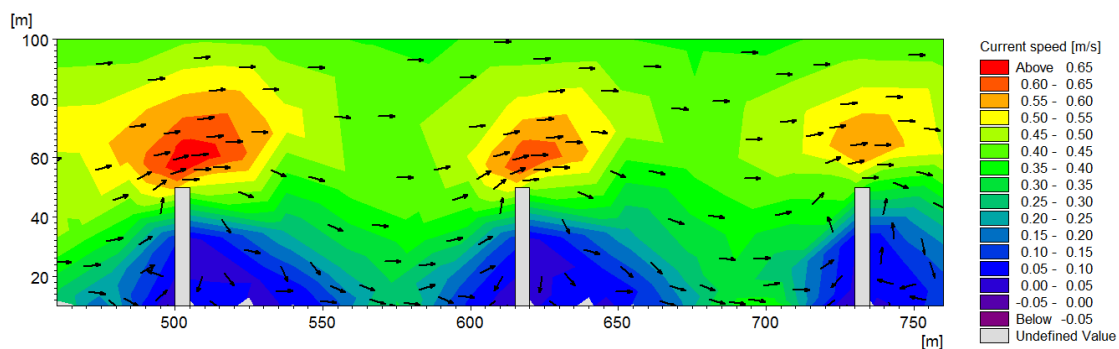


Σχήμα A.58 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.4$ και $H_s=1\text{m}$ για 4 προβόλους (Τύπος 3)

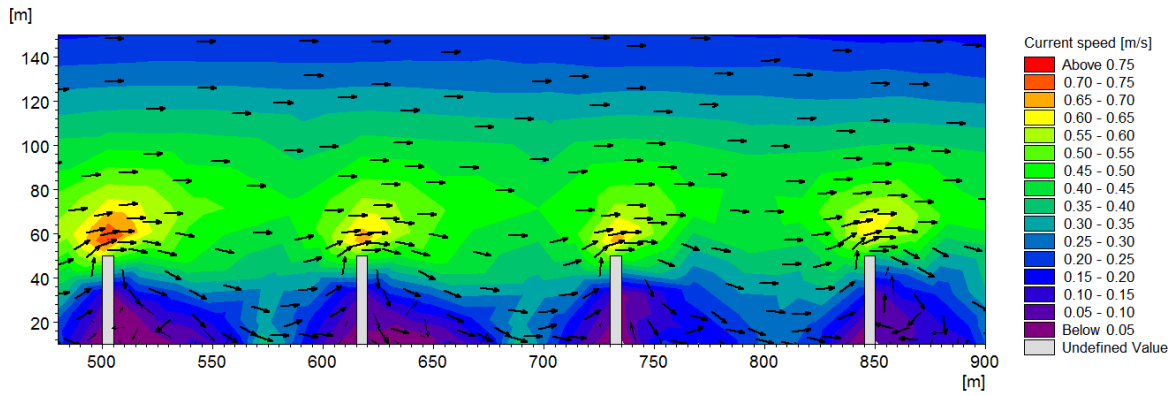
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.36$ και $H_s=1.5\text{m}$



Σχήμα A.59 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.36$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 2 προβόλους (Ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα)

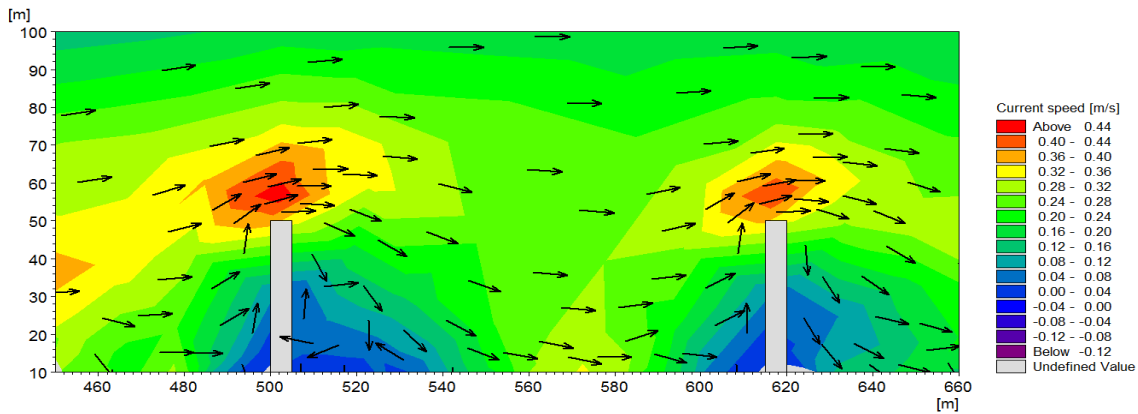


Σχήμα A.60 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.36$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 3 προβόλους (Τύπος 3)

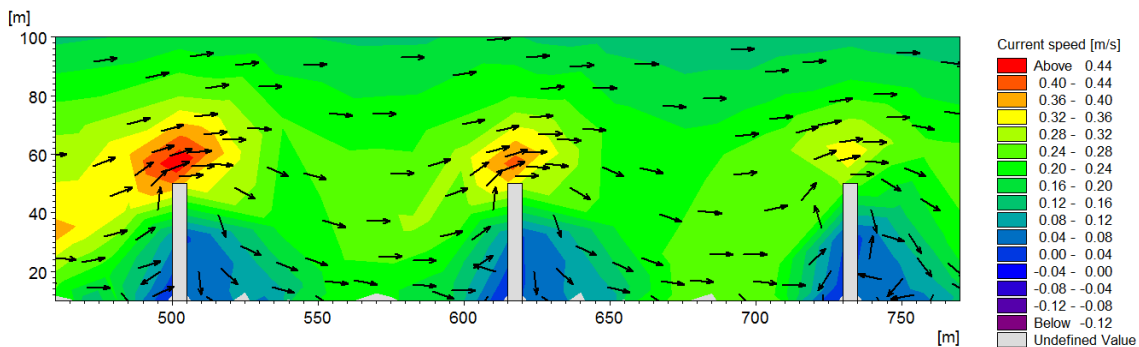


Σχήμα A.61 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.36$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 4 προβόλους (Ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα)

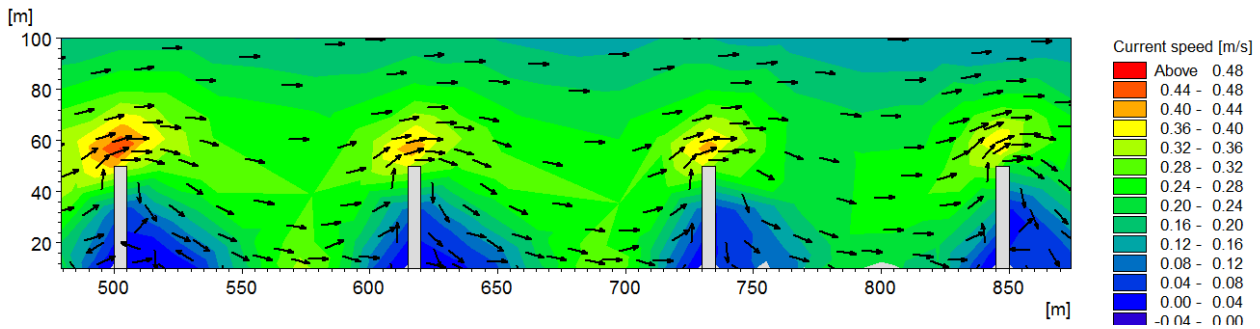
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.36$ και $H_s=1\text{m}$



Σχήμα A.62 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.36$ και $H_s=1\text{m}$ για 2 προβόλους (Ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα)

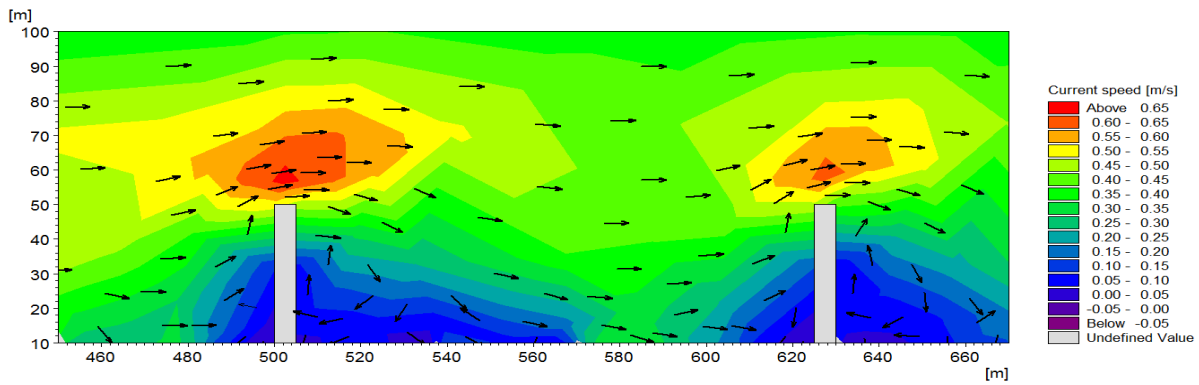


Σχήμα A.63 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.36$ και $H_s=1\text{m}$ για 3 προβόλους (Ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα)

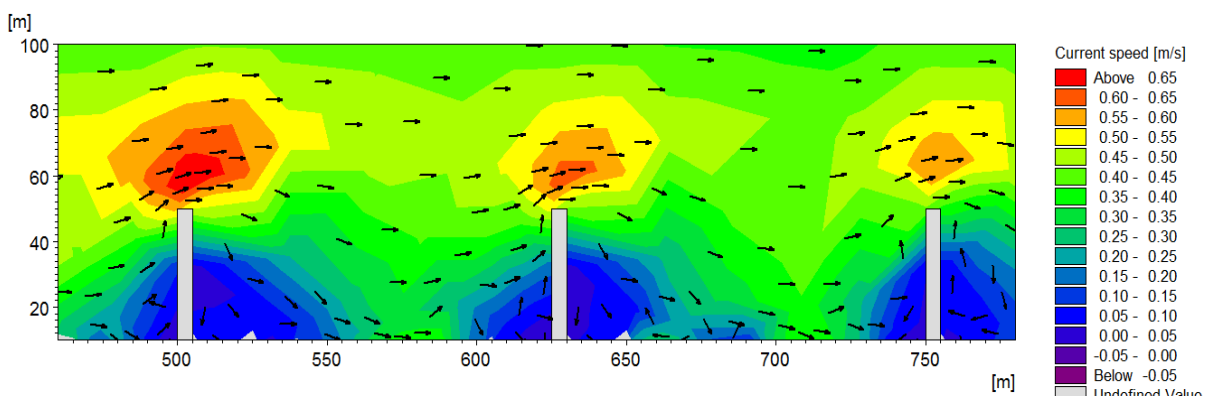


Σχήμα A.64 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.36$ και $H_s=1\text{m}$ για 4 προβόλους (Ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα)

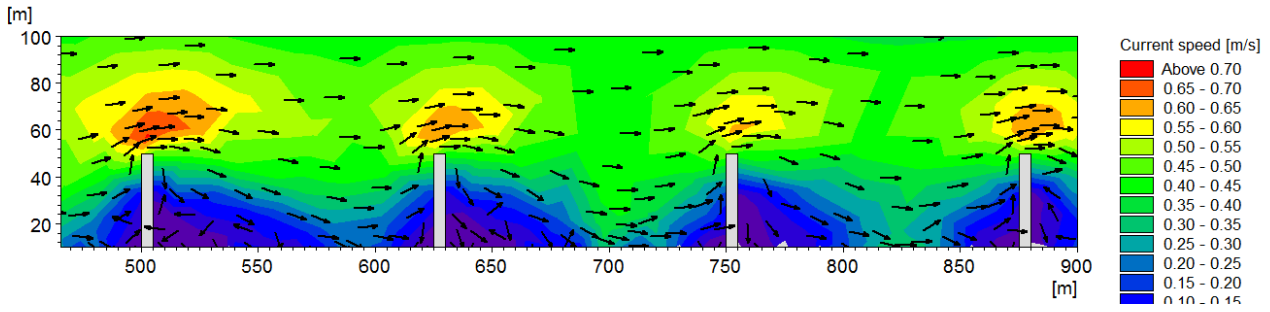
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.33$ και $H_s=1.5\text{m}$



Σχήμα A.65 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.33$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 2 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3)

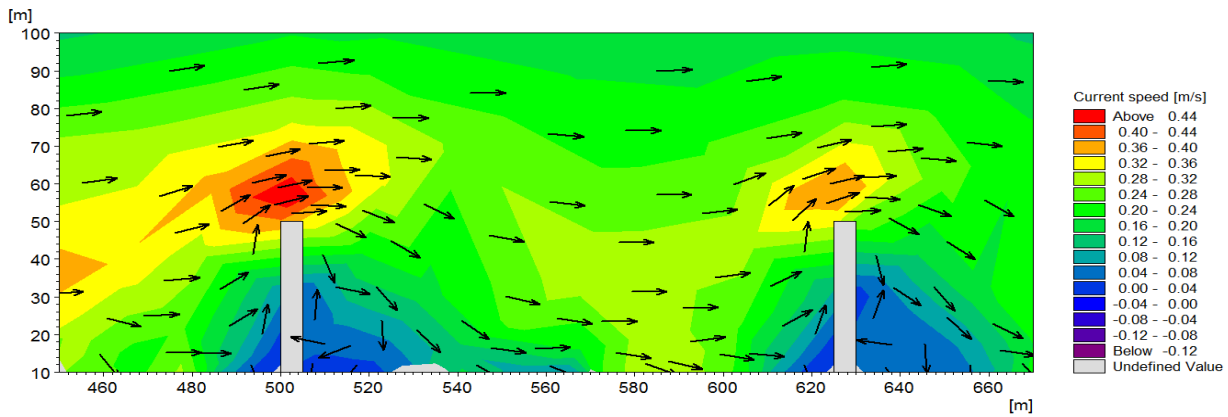


Σχήμα A.66 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.33$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 3 προβόλους (Αδιευκρίνιστος Τύπος)

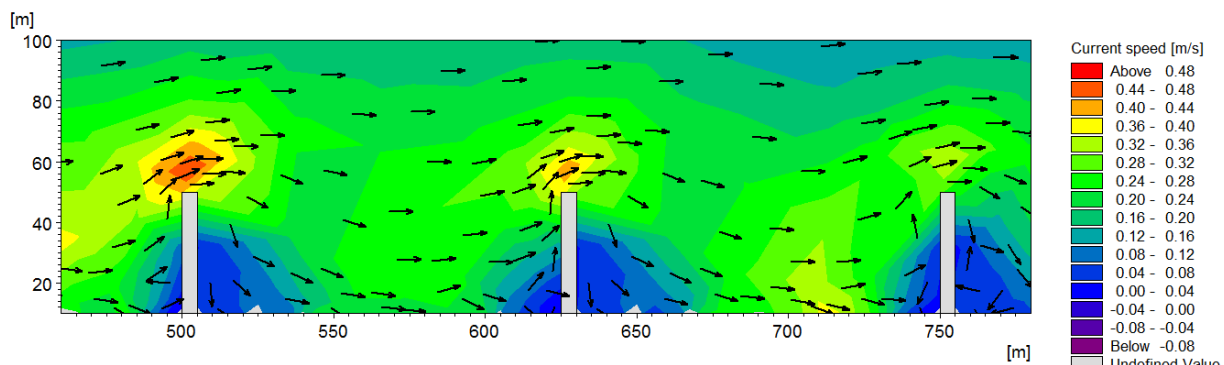


Σχήμα A.67 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.33$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 4 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3)

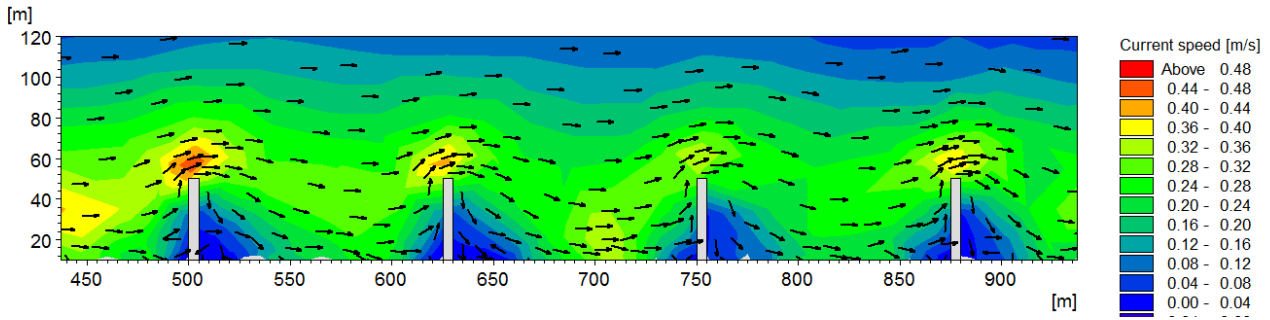
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.33$ και $H_s=1\text{m}$



Σχήμα A.68 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.33$ και $H_s=1\text{m}$ για 2 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3)

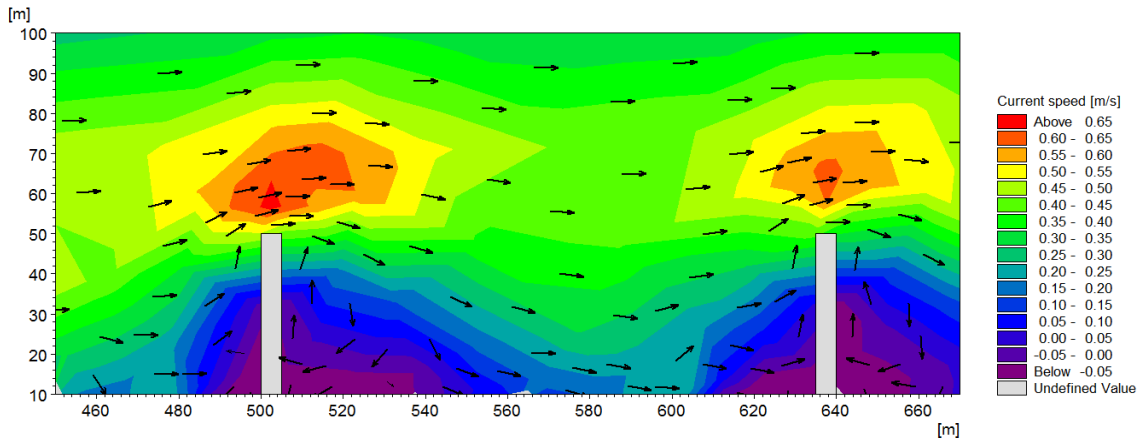


Σχήμα A.69 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.33$ και $H_s=1\text{m}$ για 3 προβόλους (Ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα)

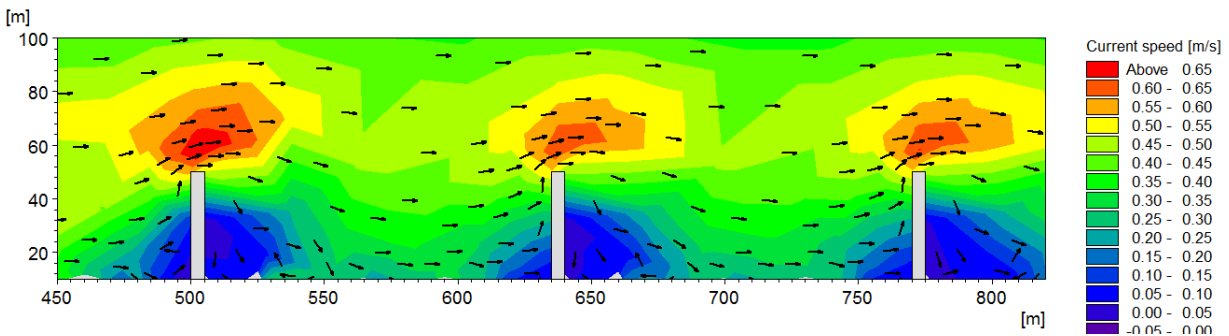


Σχήμα A.70 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.33$ και $H_s=1\text{m}$ για 4 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3)

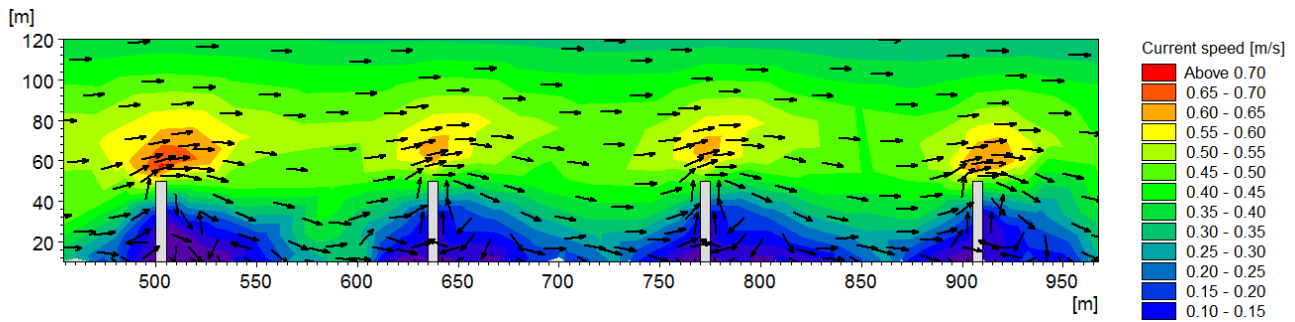
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.30$ και $H_s=1.5\text{m}$



Σχήμα A.71 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.3$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 2 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3)

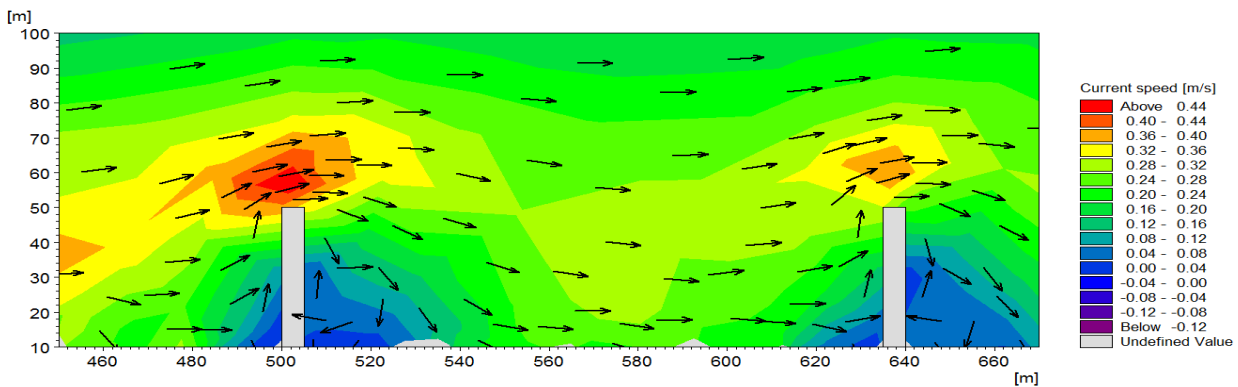


Σχήμα A.72 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.3$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 3 προβόλους (Κοντά σε Τύπο 3)

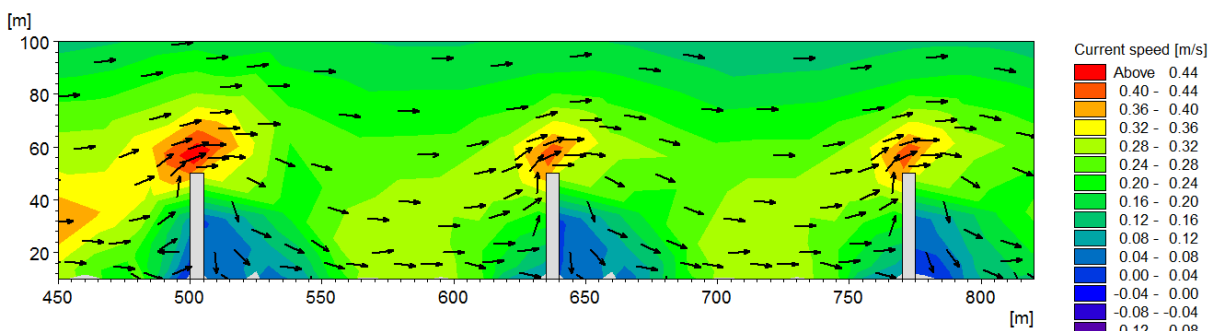


Σχήμα A.73 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.3$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 4 προβόλους (Ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα)

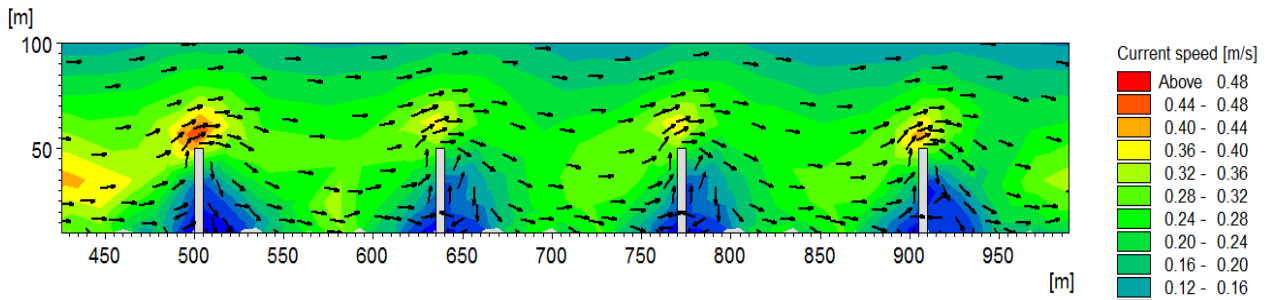
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.30$ και $H_s=1\text{m}$



Σχήμα A.74 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.3$ και $H_s=1\text{m}$ για 2 προβόλους (Ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα)



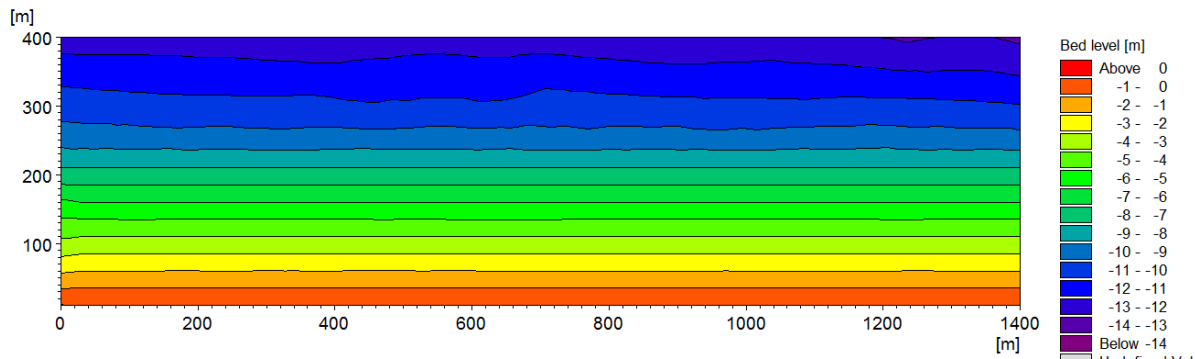
Σχήμα A.75 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.3$ και $H_s=1\text{m}$ για 3 προβόλους (Ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα)



Σχήμα A.76 Υδροδυναμικό πεδίο γεωμετρικού συντελεστή $R=0.3$ και $H_s=1\text{m}$ για 4 προβόλους (Ο κάθε πρόβολος λειτουργεί μεμονωμένα)

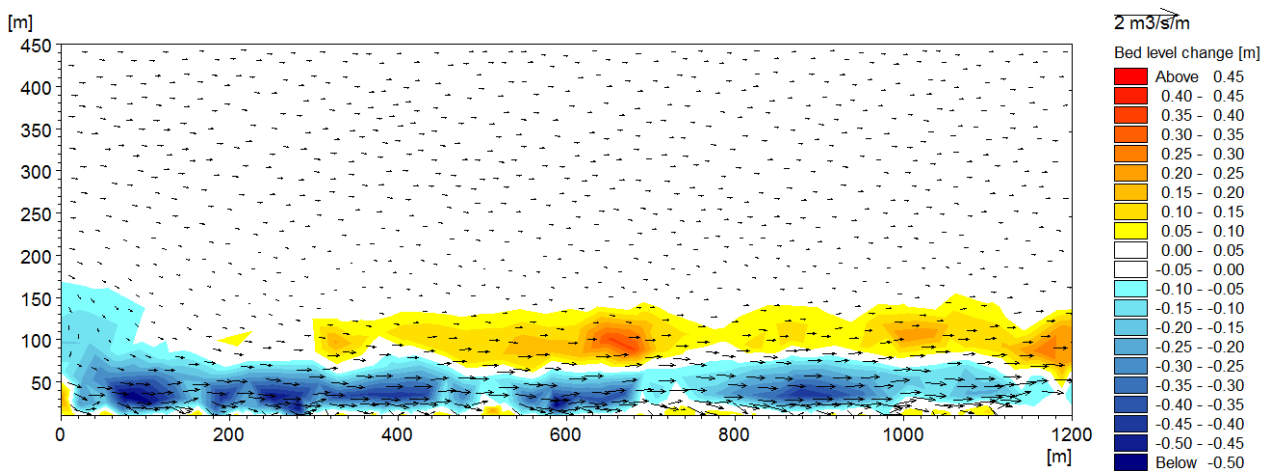
Αποτελέσματα αναλύσεων στερεομεταφοράς και τροποποίησης υψομέτρων πυθμένα

- Αρχική Βαθυμετρία

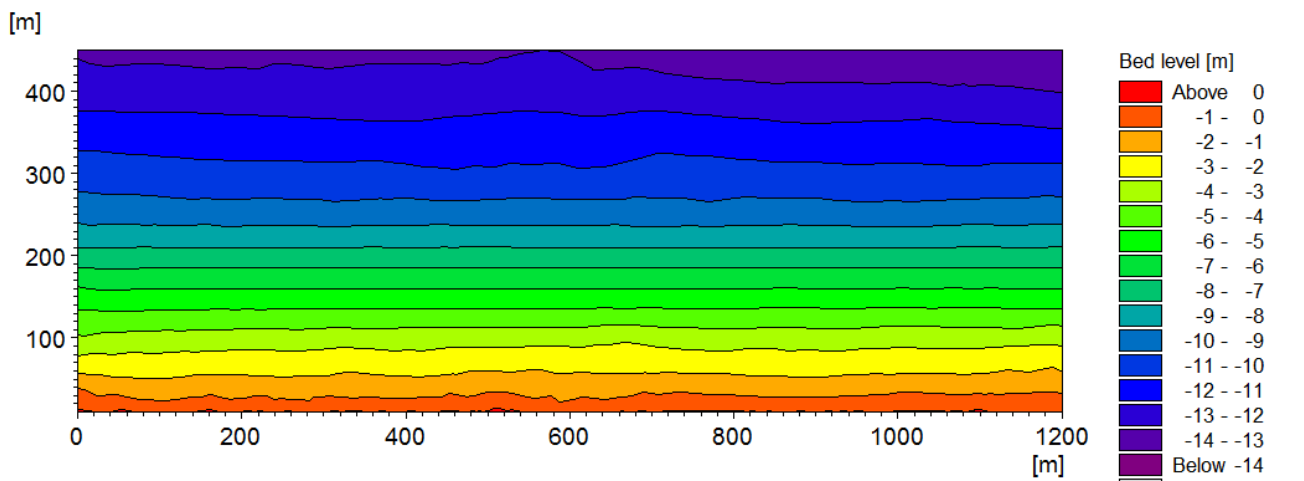


Σχήμα A.77 Αρχική βαθυμετρία περιοχής μελέτης

- Ακτή Χωρίς Προβόλους για $H_s=1.5\text{m}$

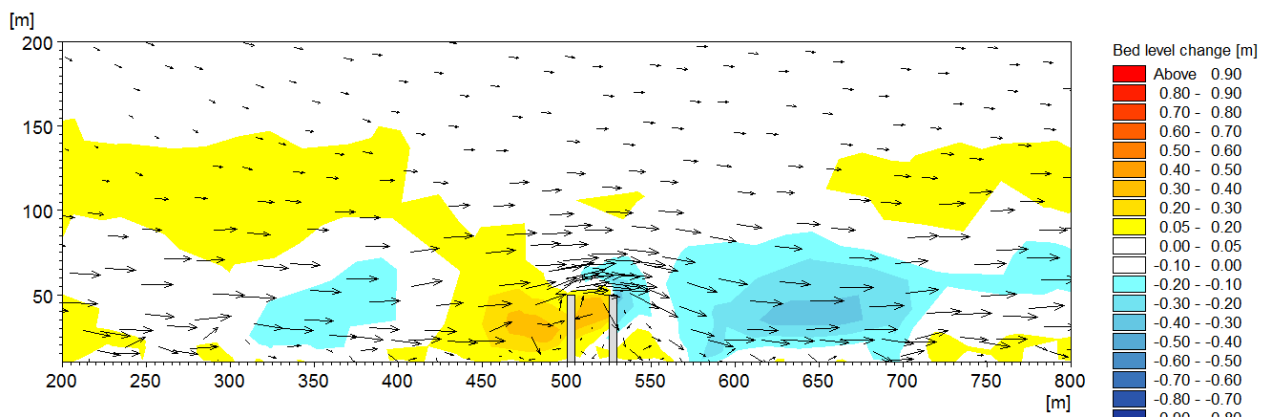


Σχήμα A.78 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για $H_s=1.5\text{m}$ χωρίς προβόλους

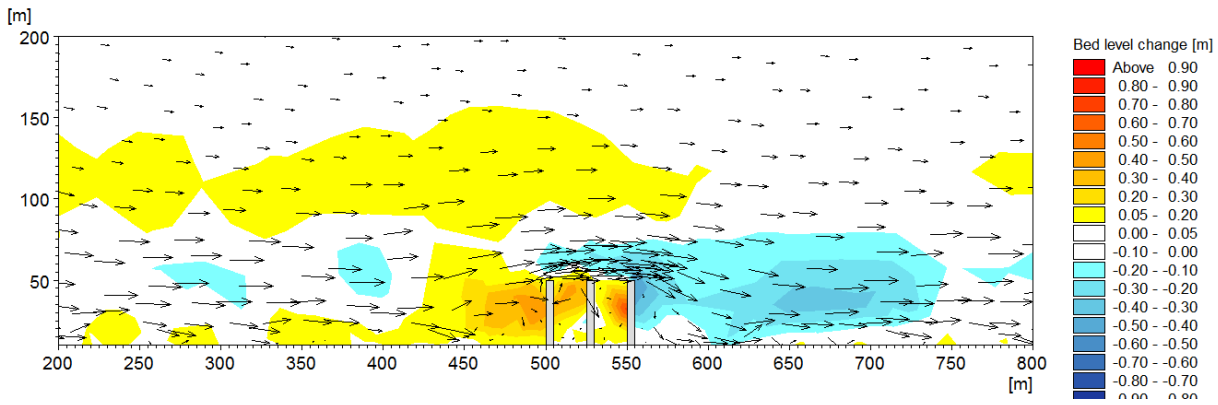


Σχήμα A.79 Βαθυμετρία περιοχής μελέτης για $H_s=1.5m$ χωρίς προβόλους

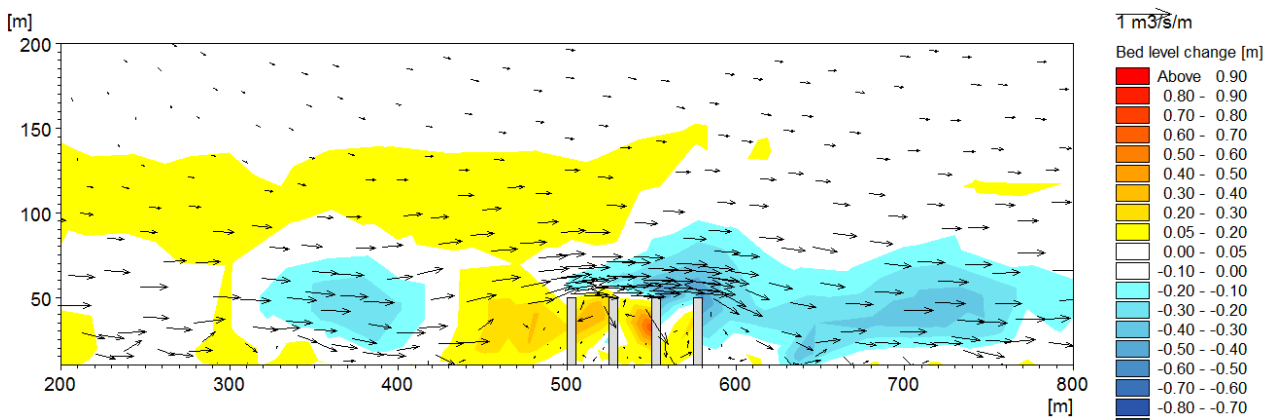
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=2$ και $H_s=1.5m$



Σχήμα A.82 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=2$ και $H_s=1.5m$ για 2 προβόλους

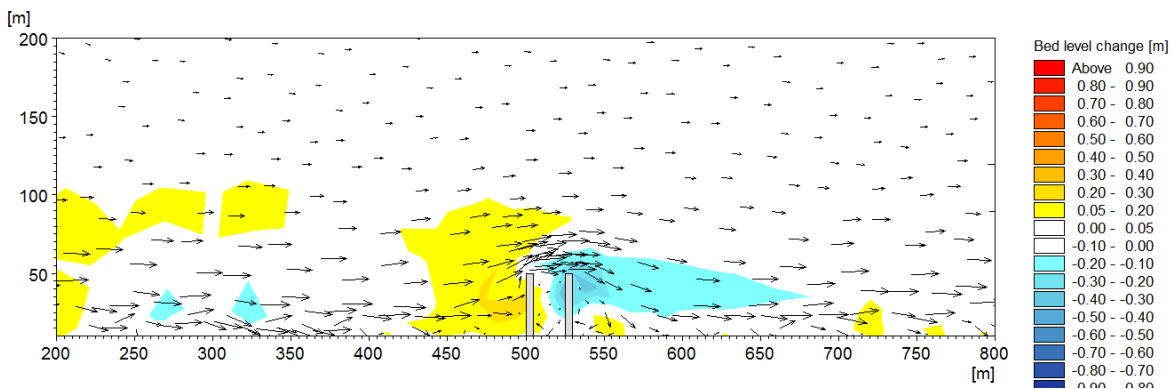


Σχήμα A.83 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=2$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 3 προβόλους

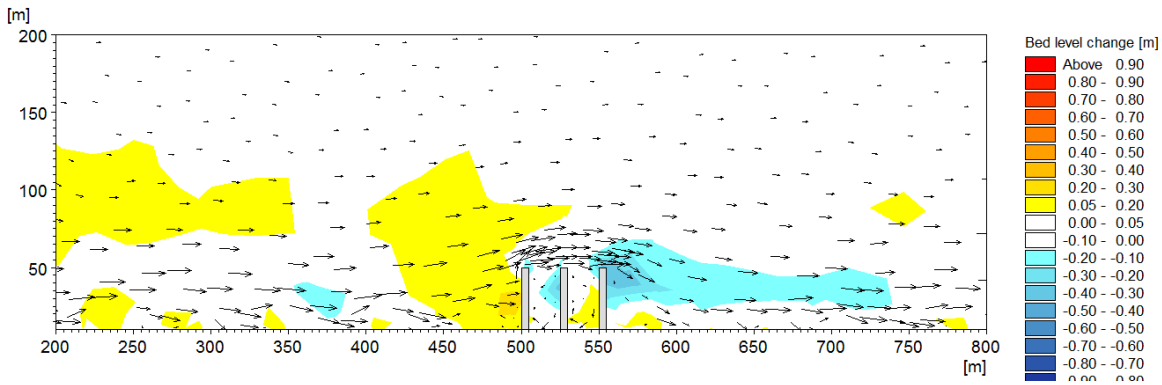


Σχήμα A.84 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=2$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 4 προβόλους

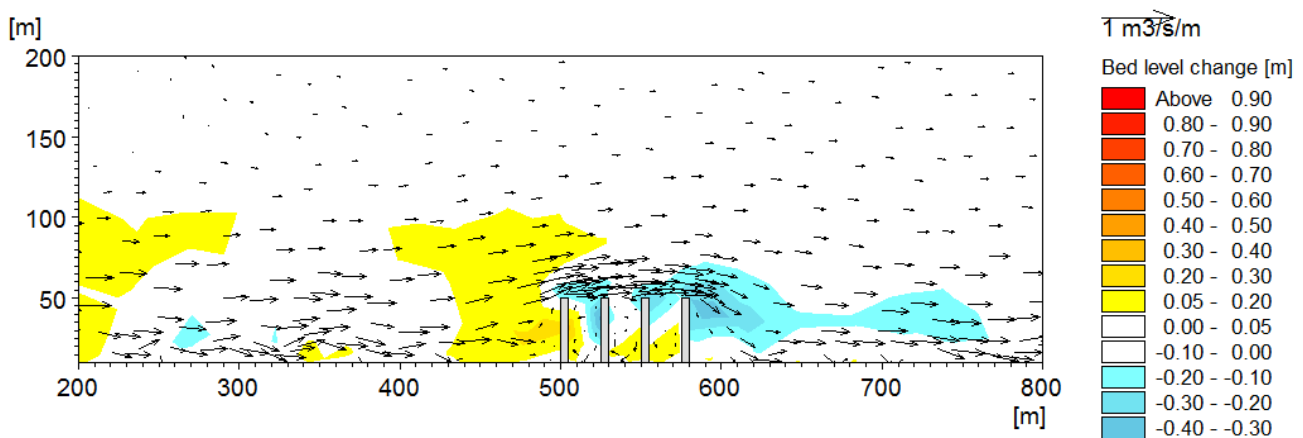
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=2$ και $H_s=1\text{m}$



Σχήμα A.85 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=2$ και $H_s=1\text{m}$ για 2 προβόλους

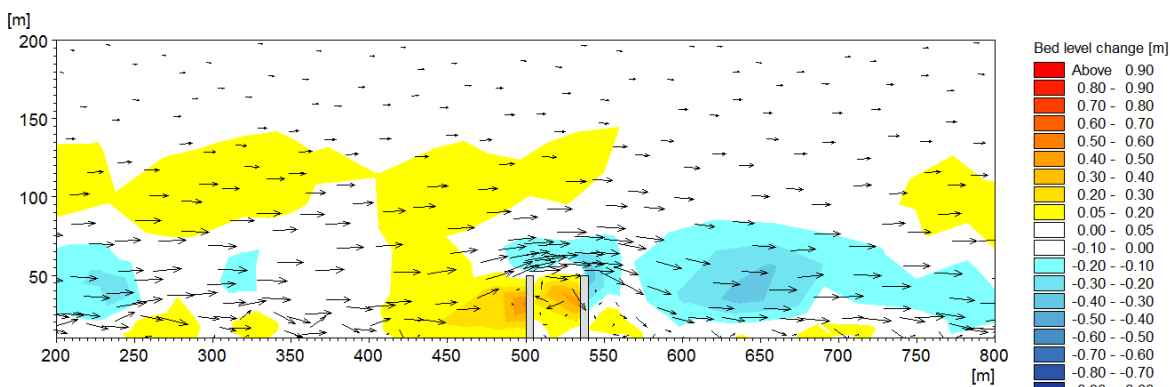


Σχήμα A.86 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=2$ και $H_s = 1\text{m}$ για 3 προβόλους

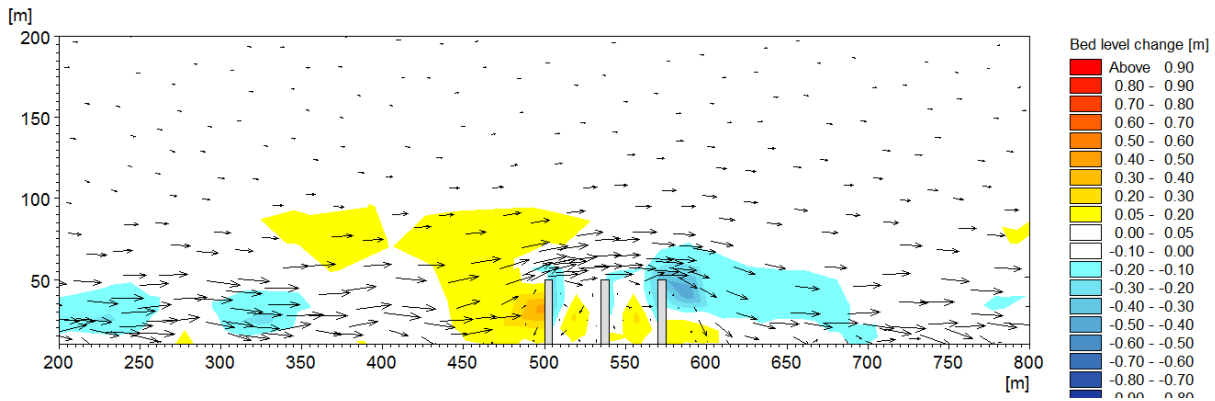


Σχήμα A.87 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=2$ και $H_s = 1\text{m}$ για 4 προβόλους

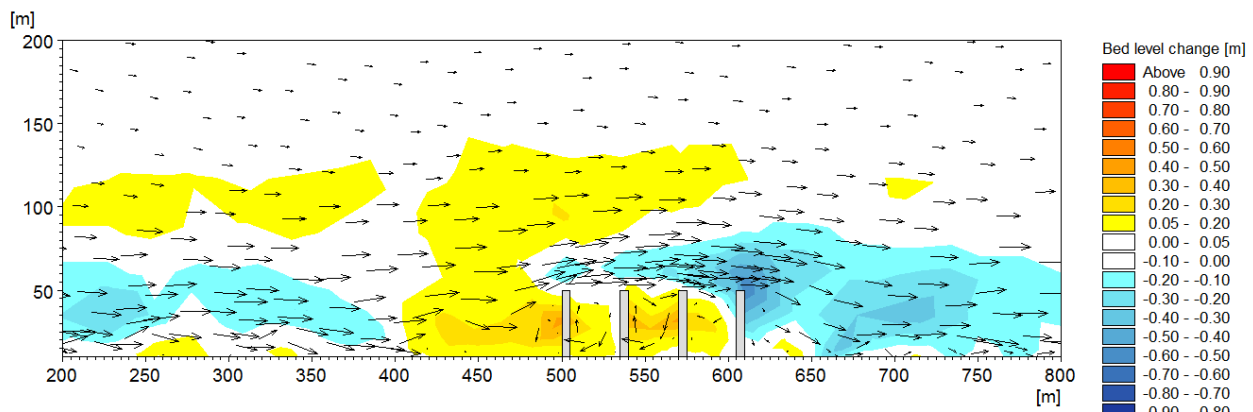
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=1.33$ και $H_s=1.5\text{m}$



Σχήμα A.88 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=1.33$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 2 προβόλους

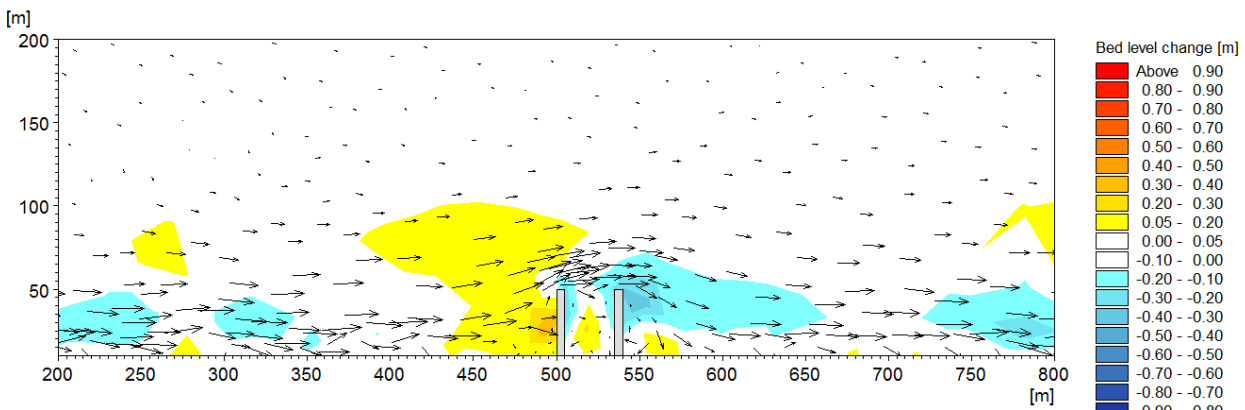


Σχήμα A.89 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=1.33$ και $H_s=1.5m$ για 3 προβόλους

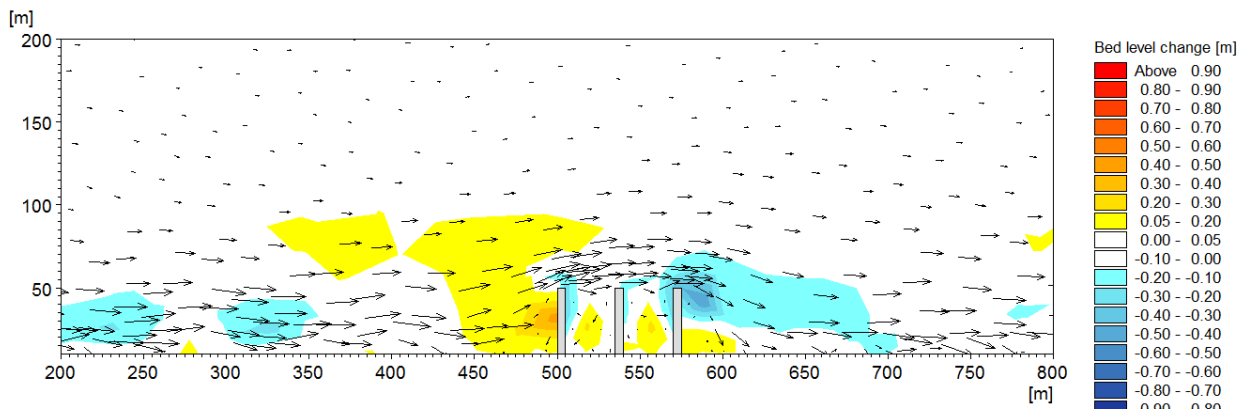


Σχήμα A.90 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=1.33$ και $H_s=1.5m$ για 4 προβόλους

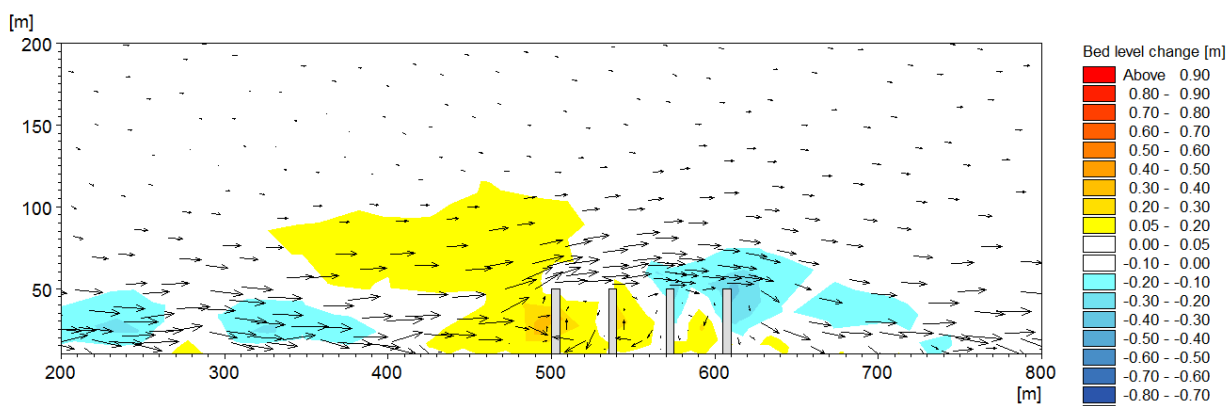
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=1.33m$ και $H_s=1m$



Σχήμα A.91 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=1.33$ και $H_s=1m$ για 2 προβόλους

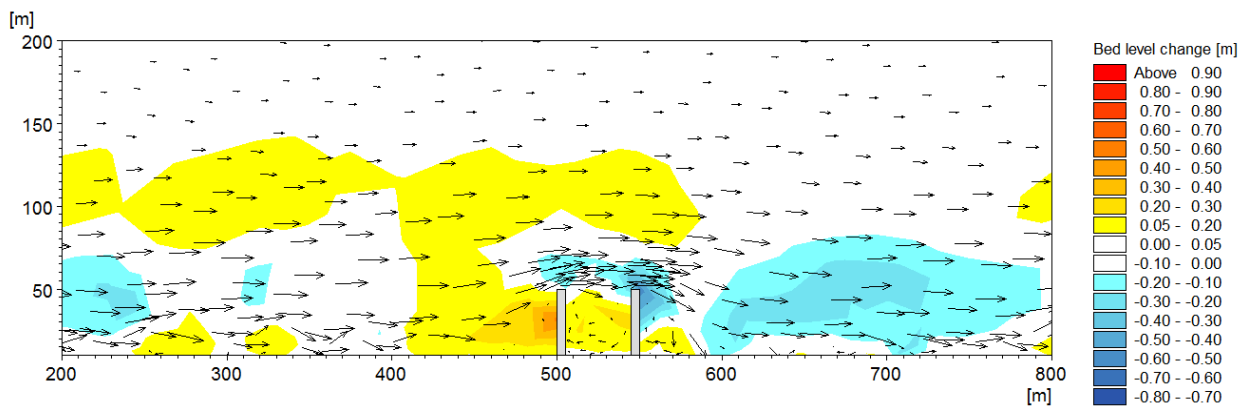


Σχήμα A.92 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=1.33$ και $H_s=1\text{m}$ για 3 προβόλους

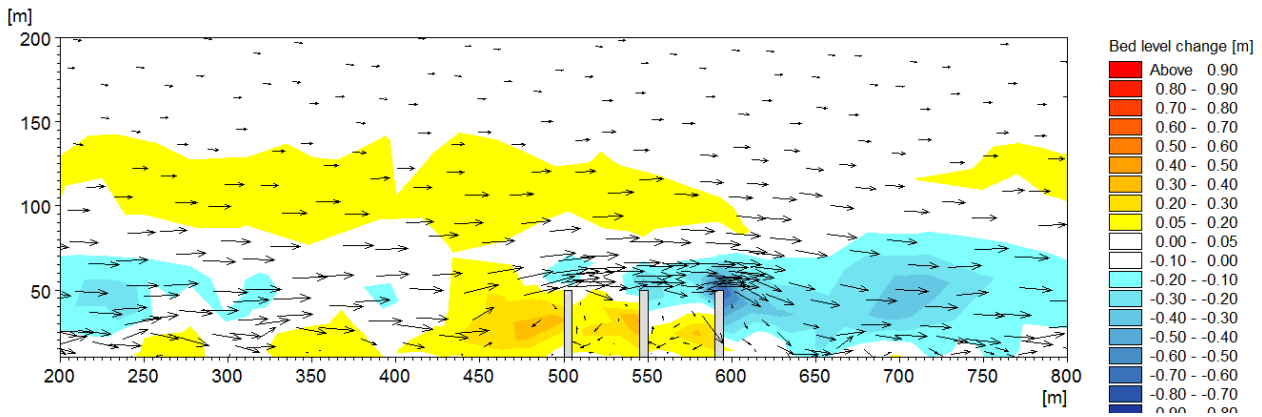


Σχήμα A.93 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=1.33$ και $H_s=1\text{m}$ για 4 προβόλους

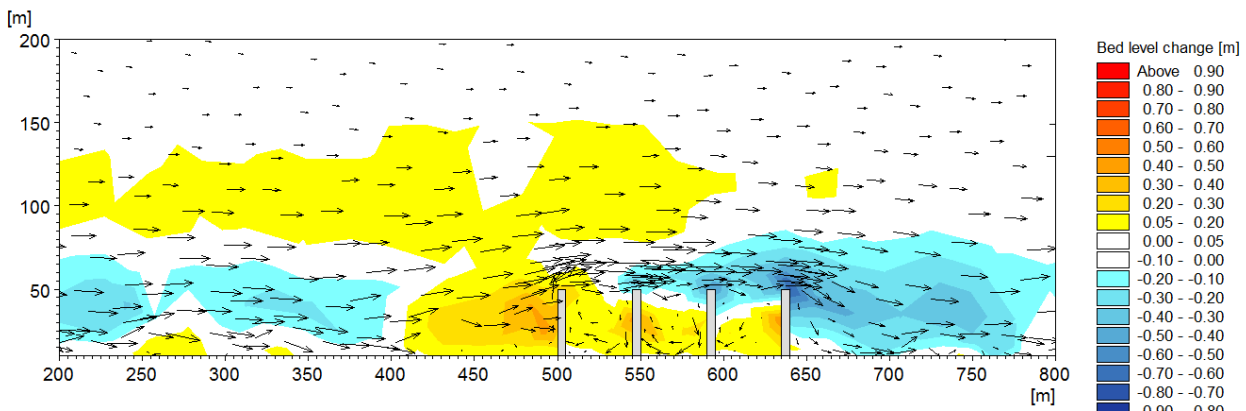
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=1$ και $H_s=1.5\text{m}$



Σχήμα A.94 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=1$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 2 προβόλους

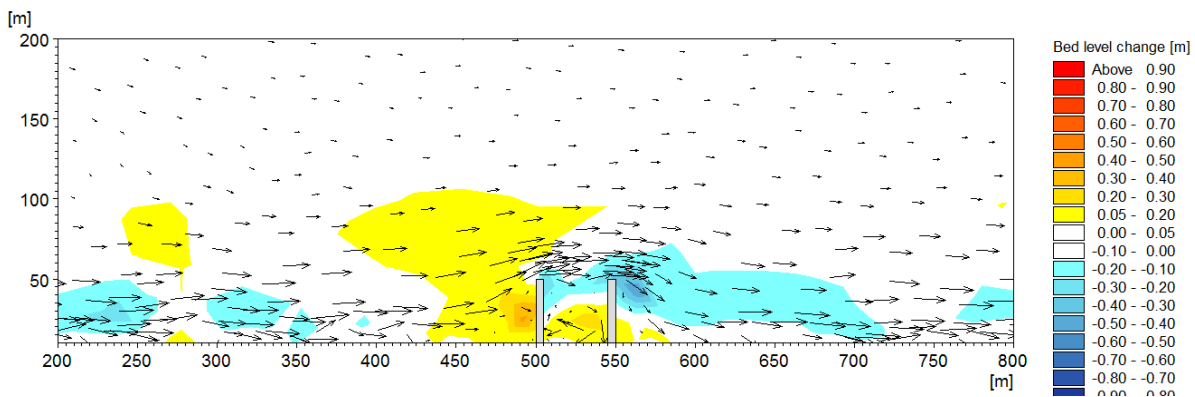


Σχήμα A.95 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=1$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 3 προβόλους

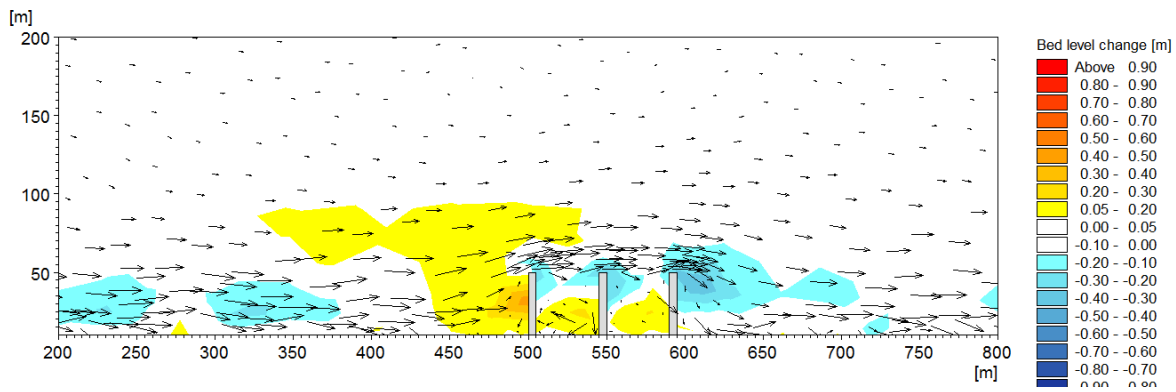


Σχήμα A.96 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=1$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 4 προβόλους

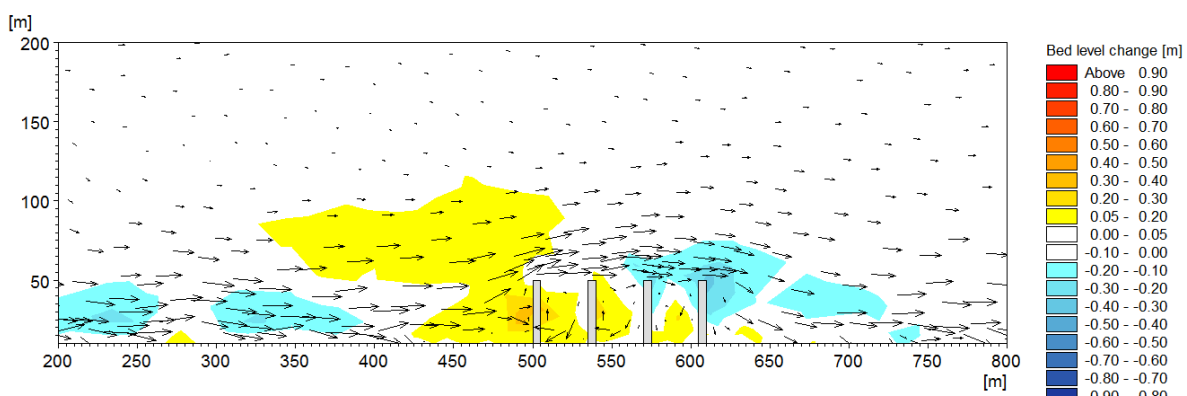
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=1$ και $H_s=1\text{m}$



Σχήμα A.97 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=1$ και $H_s=1\text{m}$ για 2 προβόλους

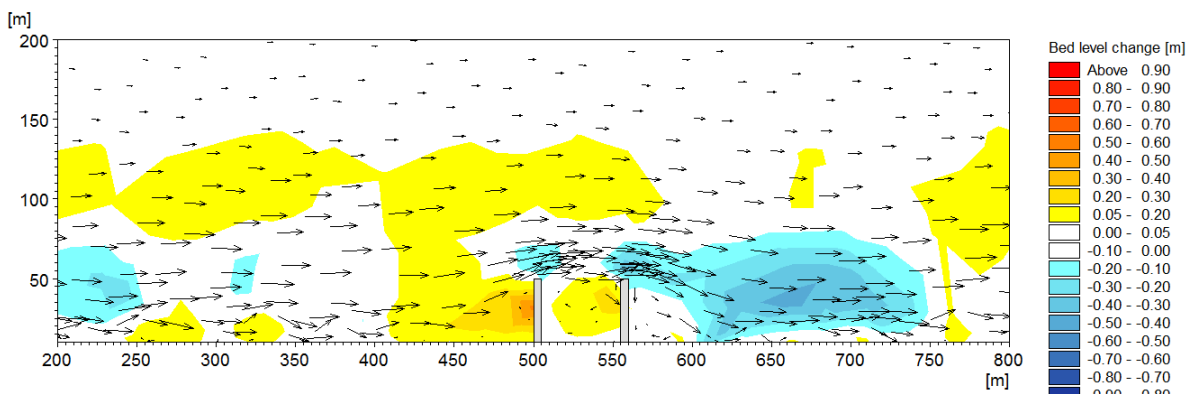


Σχήμα A.98 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=1$ και $H_s = 1\text{m}$ για 3 προβόλους

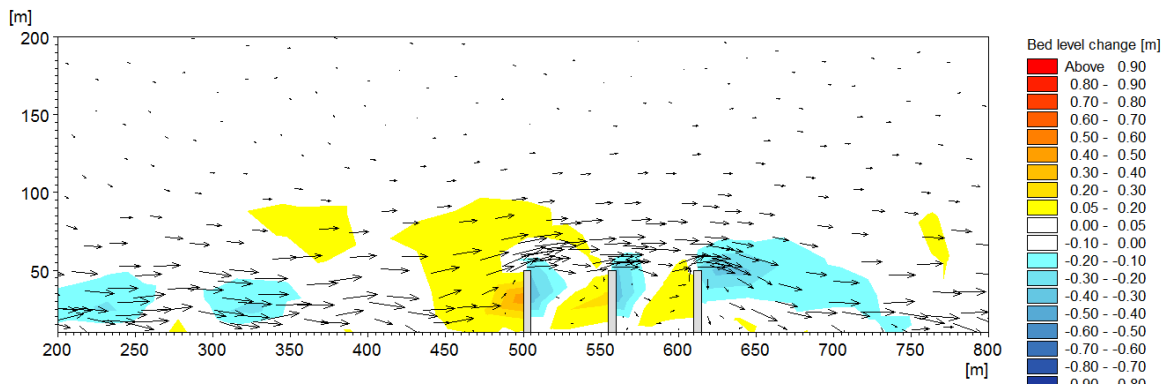


Σχήμα A.99 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=1$ και $H_s = 1\text{m}$ για 2 προβόλους

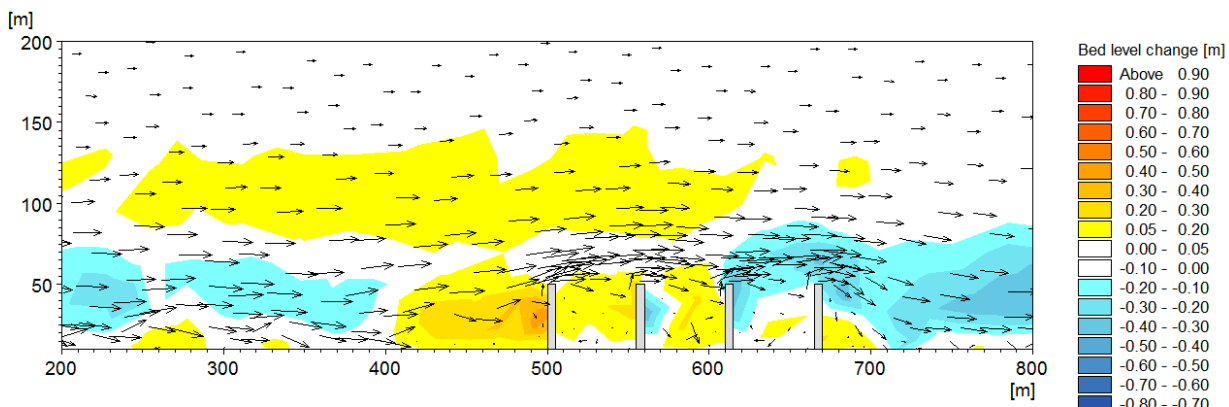
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.8$ και $H_s=1.5\text{m}$



Σχήμα A.100 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.8$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 2 προβόλους

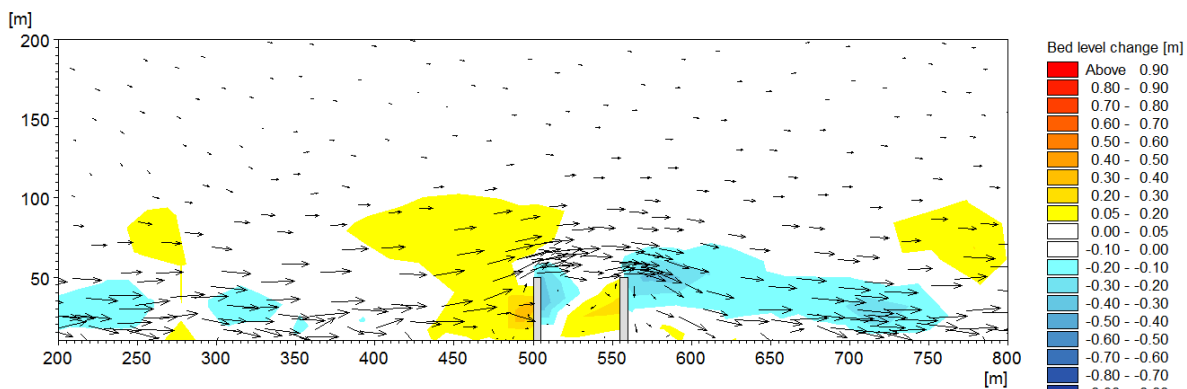


Σχήμα Α.101 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.8$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 3 προβόλους

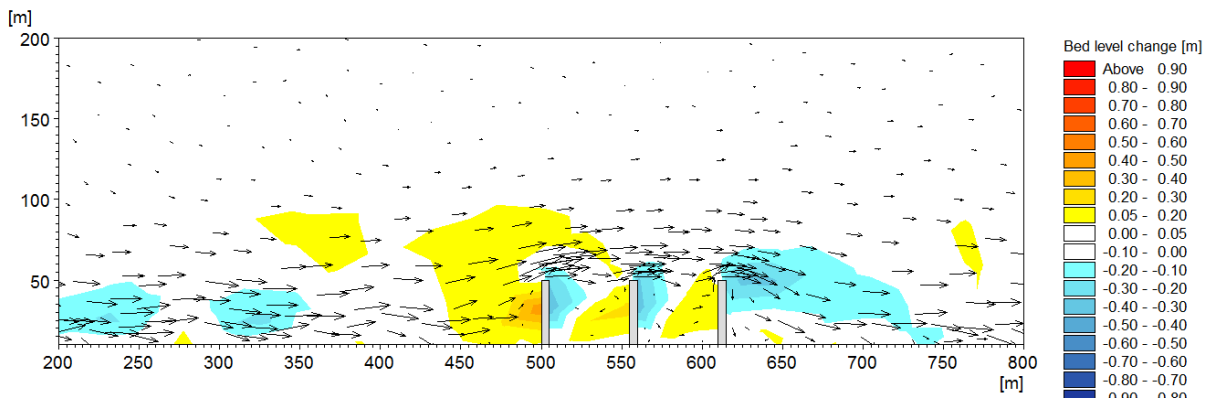


Σχήμα Α.102 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.8$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 4 προβόλους

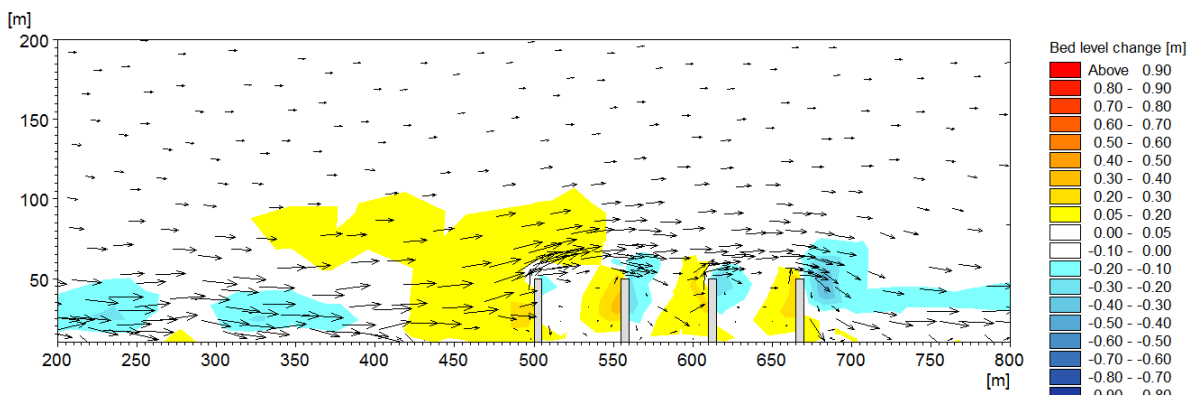
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.8$ και $H_s=1\text{m}$



Σχήμα Α.103 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.8$ και $H_s=1\text{m}$ για 2 προβόλους

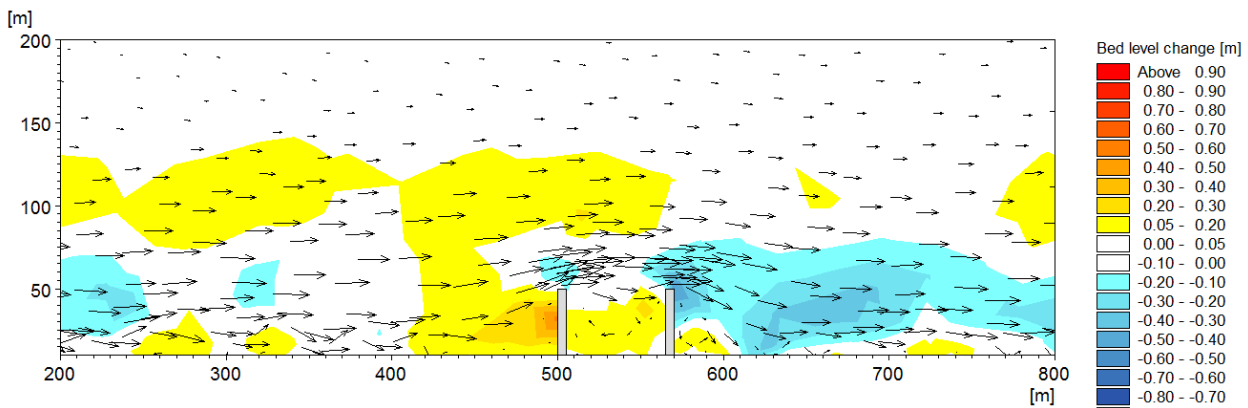


Σχήμα A.104 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.8$ και $H_s=1\text{m}$ για 3 προβόλους

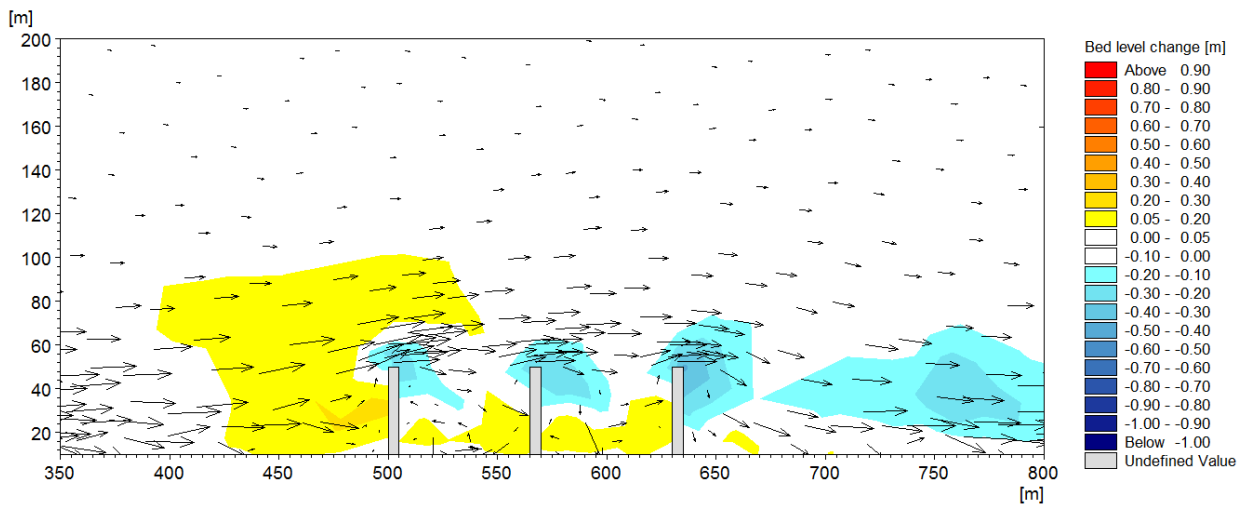


Σχήμα A.105 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.8$ και $H_s=1\text{m}$ για 4 προβόλους

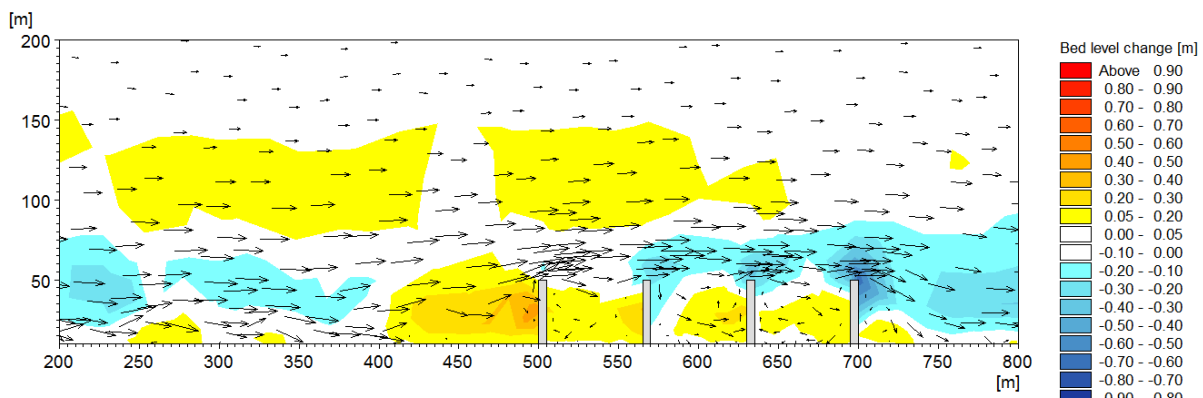
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.67$ και $H_s=1.5\text{m}$



Σχήμα A.106 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.67$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 2 προβόλους

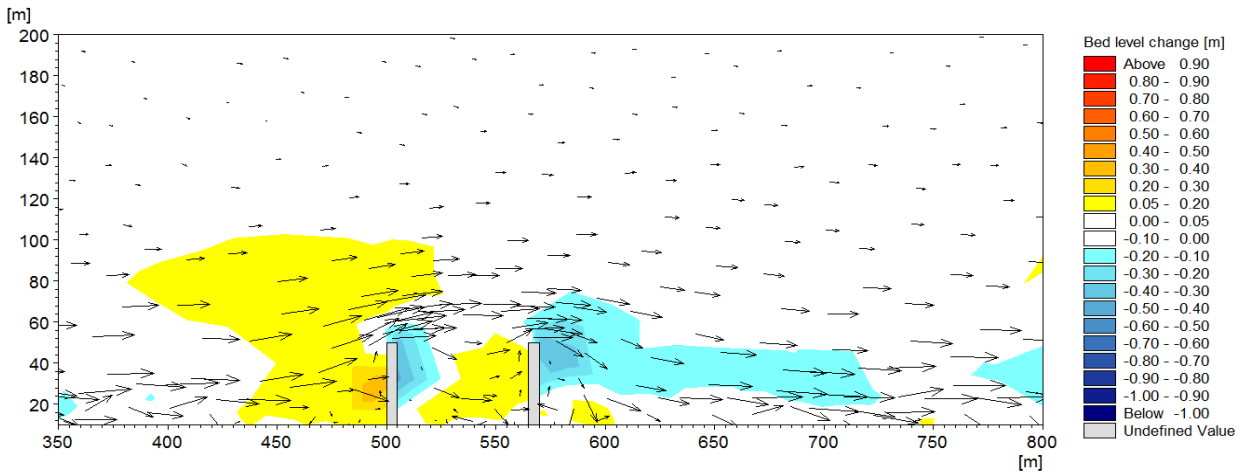


Σχήμα A.107 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.67$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 3 προβόλους

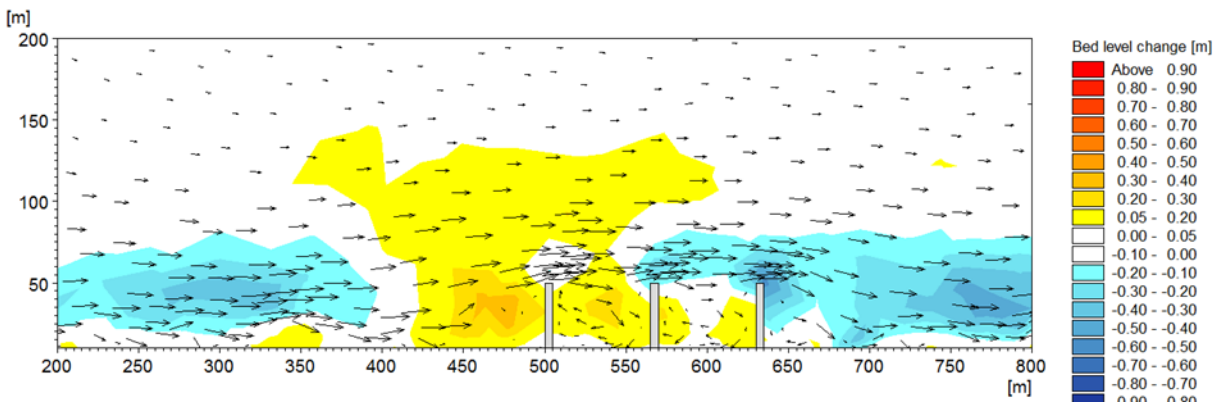


Σχήμα A.108 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.67$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 4 προβόλους

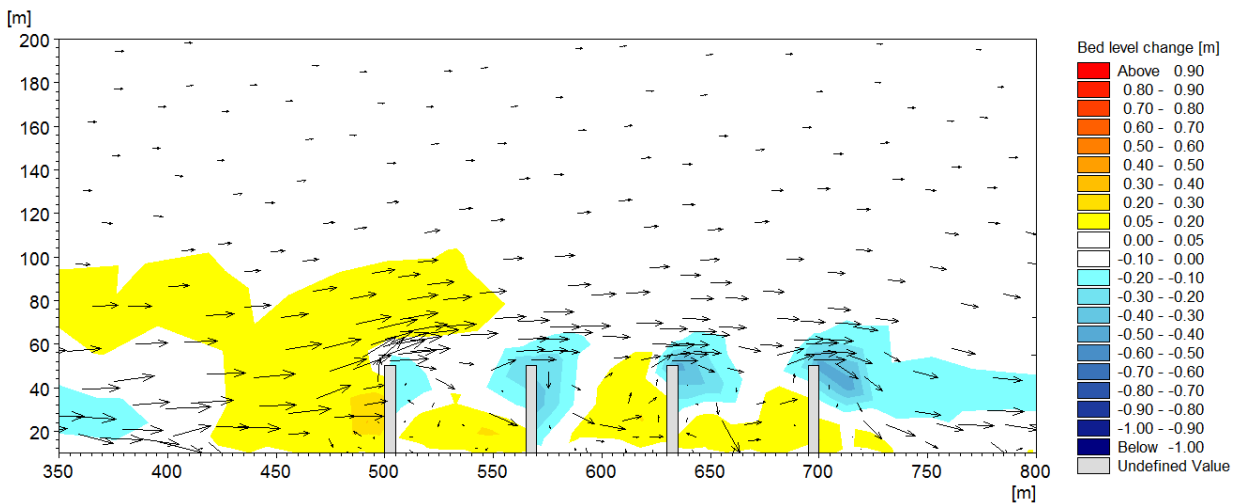
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.66$ και $H_s=1\text{m}$



Σχήμα Α.109 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.67$ και $H_s=1m$ για 2 προβόλους

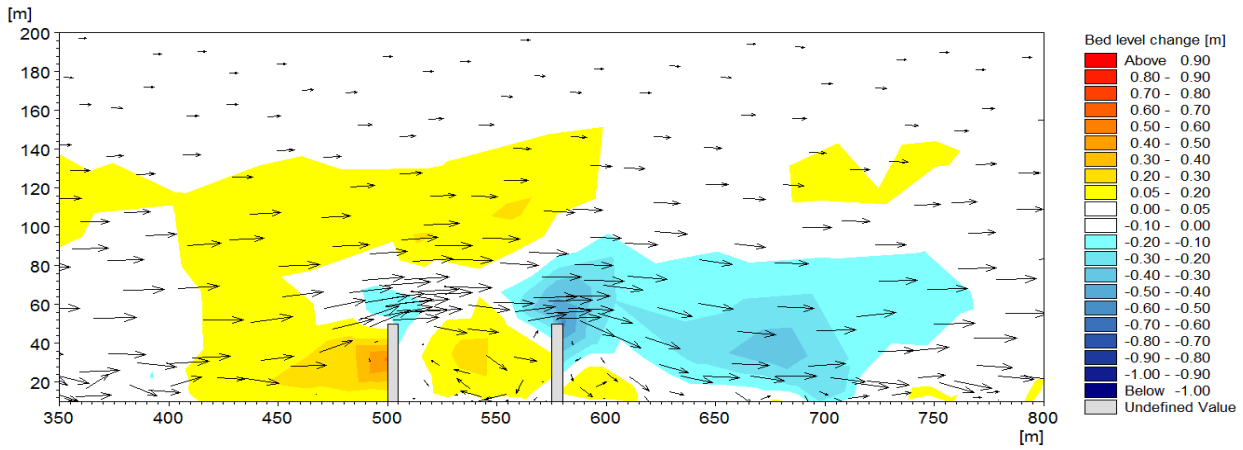


Σχήμα Α.110 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.67$ και $H_s=1m$ για 3 προβόλους

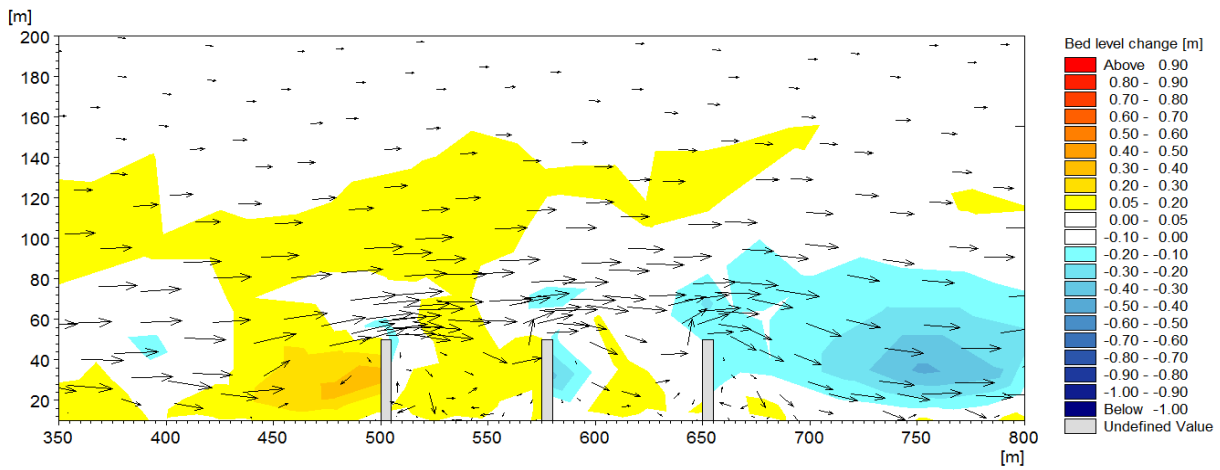


Σχήμα Α.111 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.67$ και $H_s=1m$ για 4 προβόλους

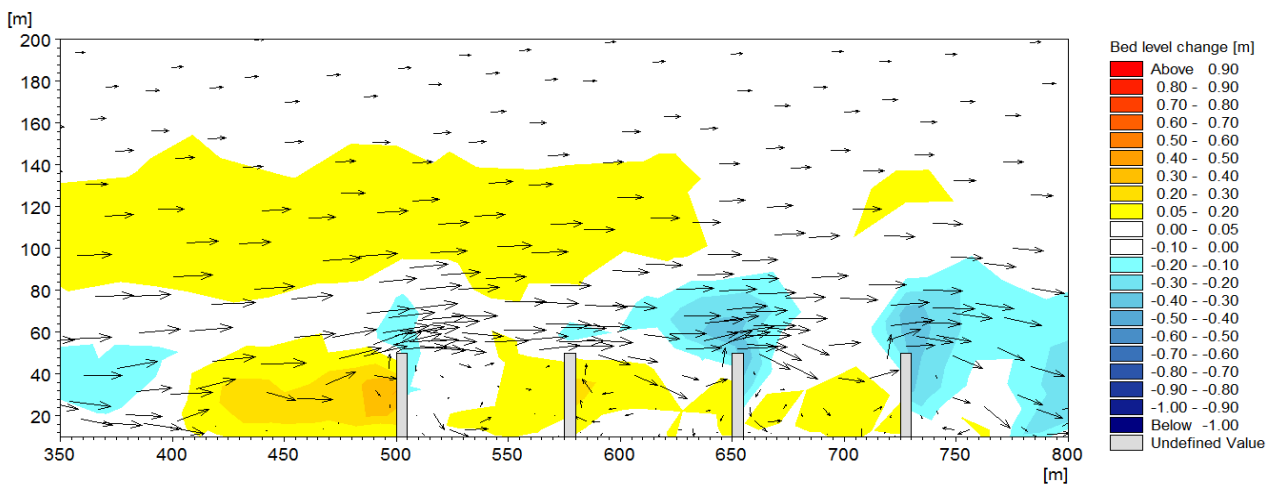
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.57$ και $H_s=1.5m$



Σχήμα Α.112 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.57$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 2 προβόλους

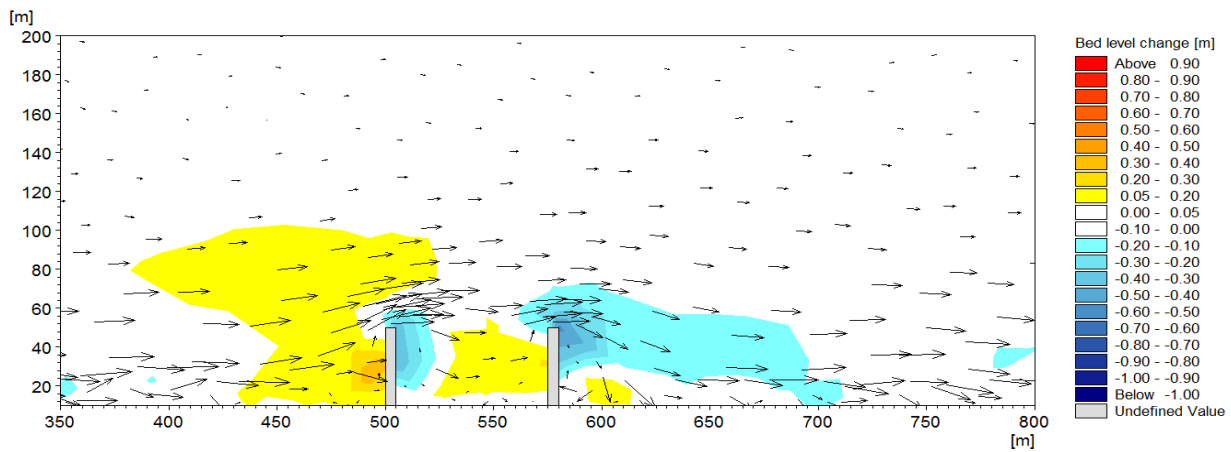


Σχήμα Α.113 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.57$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 3 προβόλους

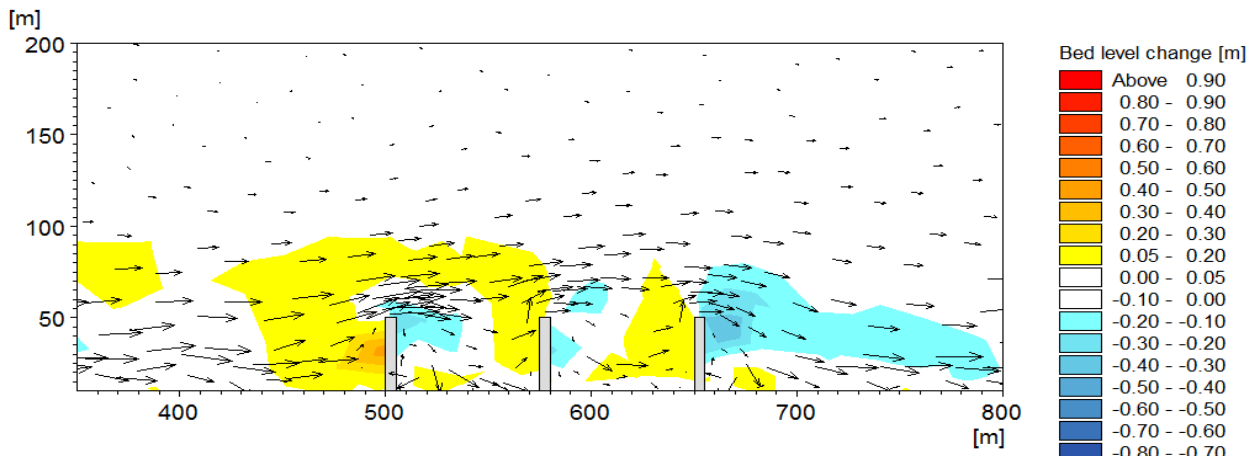


Σχήμα Α.114 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.57$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 4 προβόλους

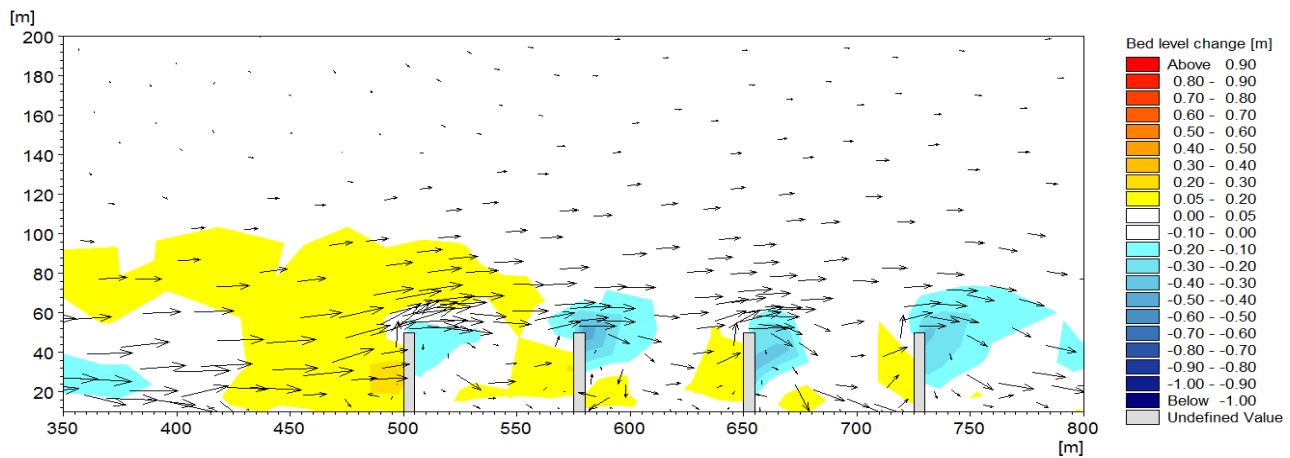
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.57$ και $H_s=1m$



Σχήμα A.115 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.57$ και $H_s = 1m$ για 2 προβόλους

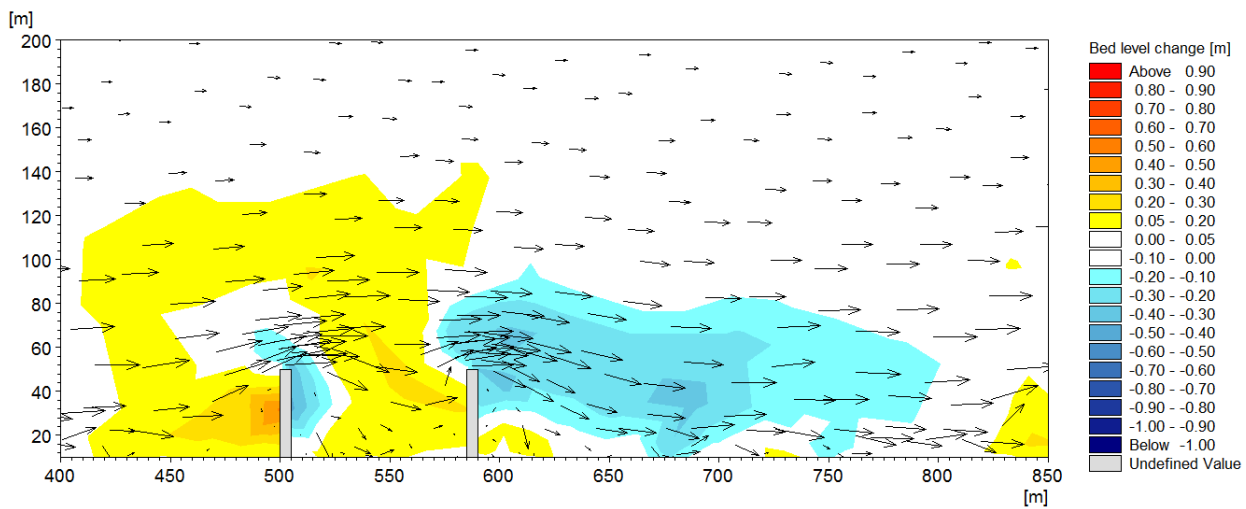


Σχήμα A.116 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.57$ και $H_s = 1m$ για 3 προβόλους

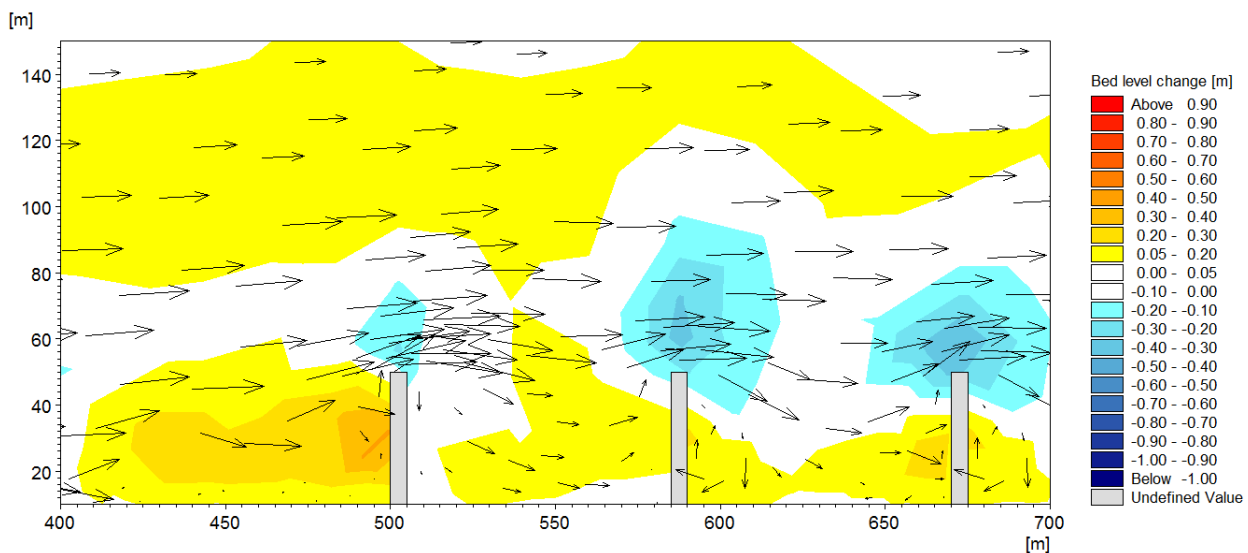


Σχήμα A.117 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.57$ και $H_s = 1m$ για 4 προβόλους

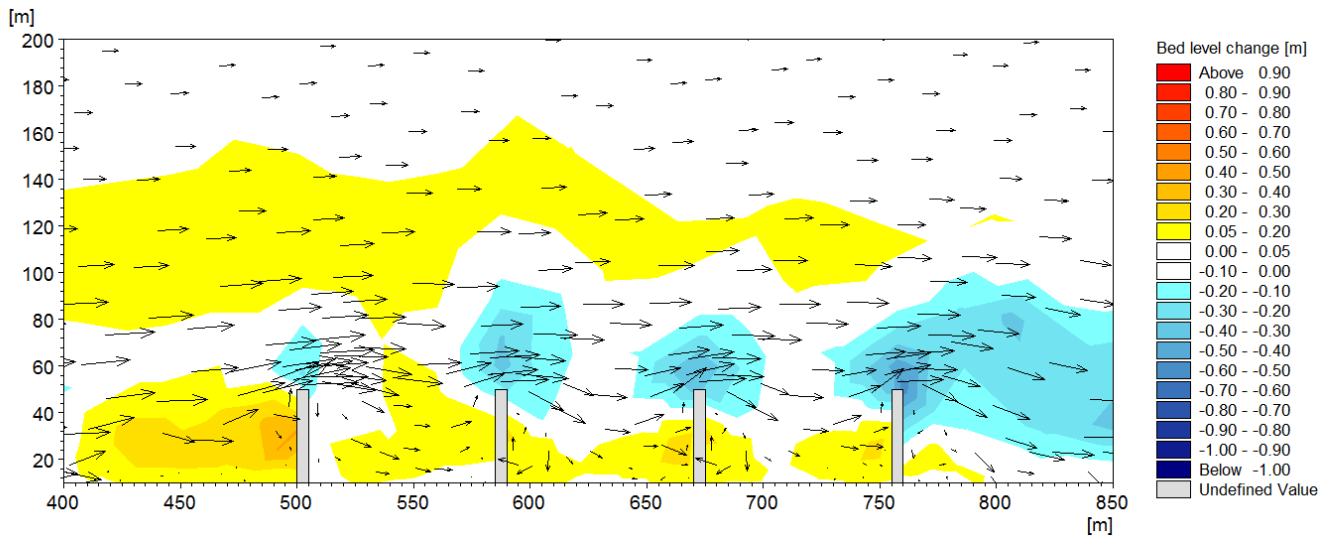
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.5$ και $H_s=1.5m$



Σχήμα A.118 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.5$ και $H_s = 1.5m$ για 2 προβόλους

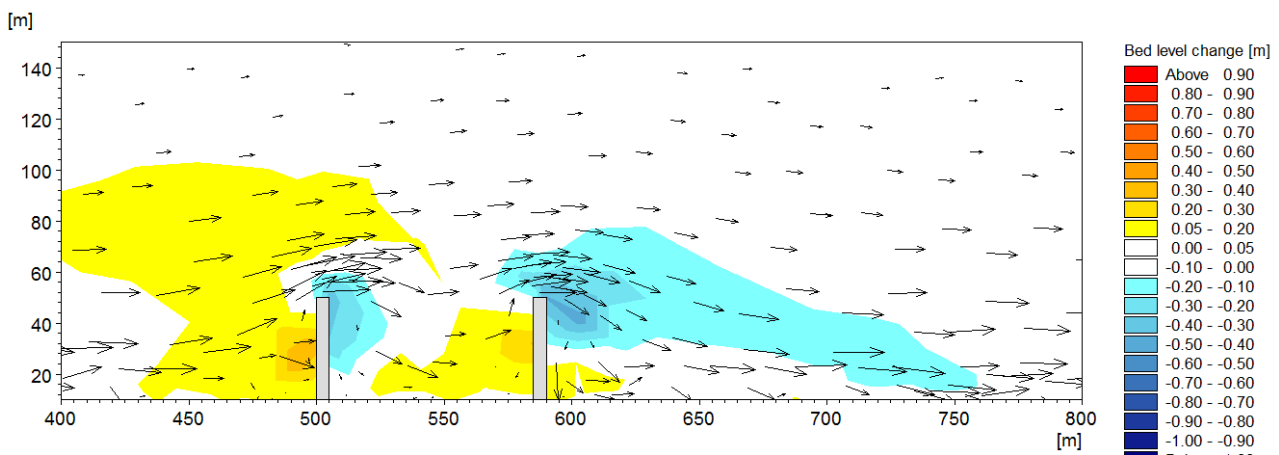


Σχήμα A.119 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.5$ και $H_s = 1.5m$ για 3 προβόλους

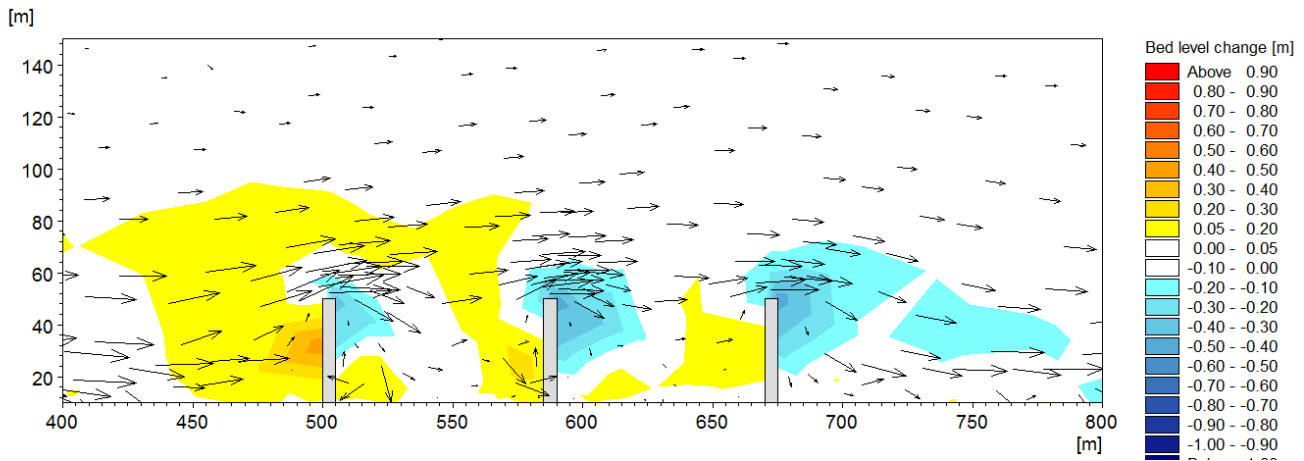


Σχήμα A.120 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.5$ και $H_s=1.5m$ για 4 προβόλους

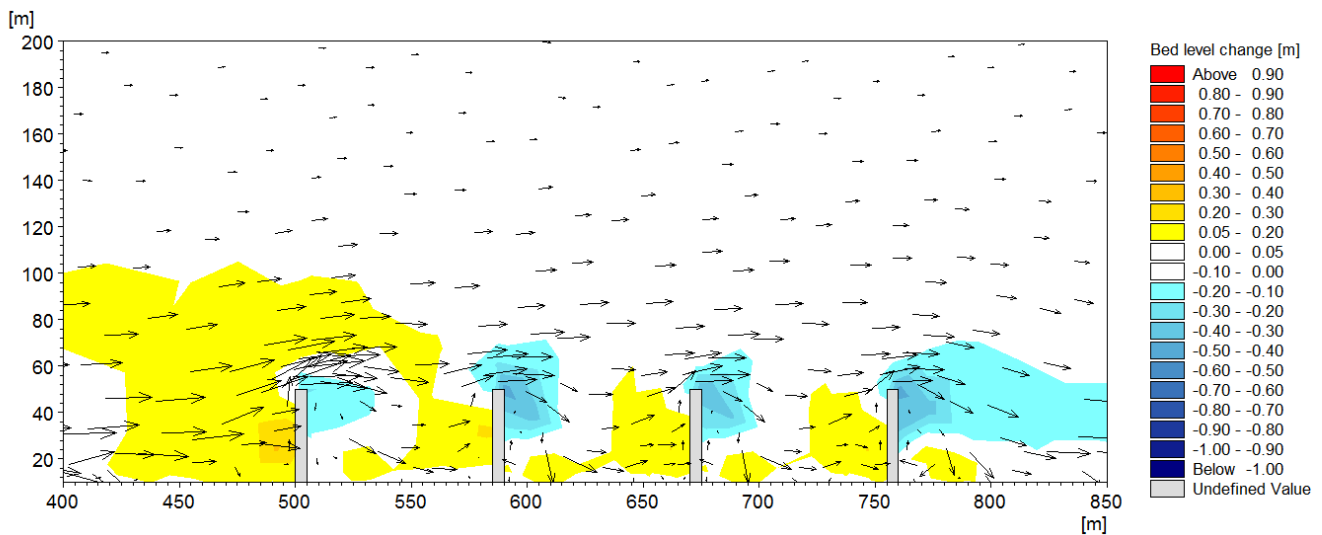
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.5$ και $H_s=1m$



Σχήμα A.121 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.5$ και $H_s=1m$ για 2 προβόλους

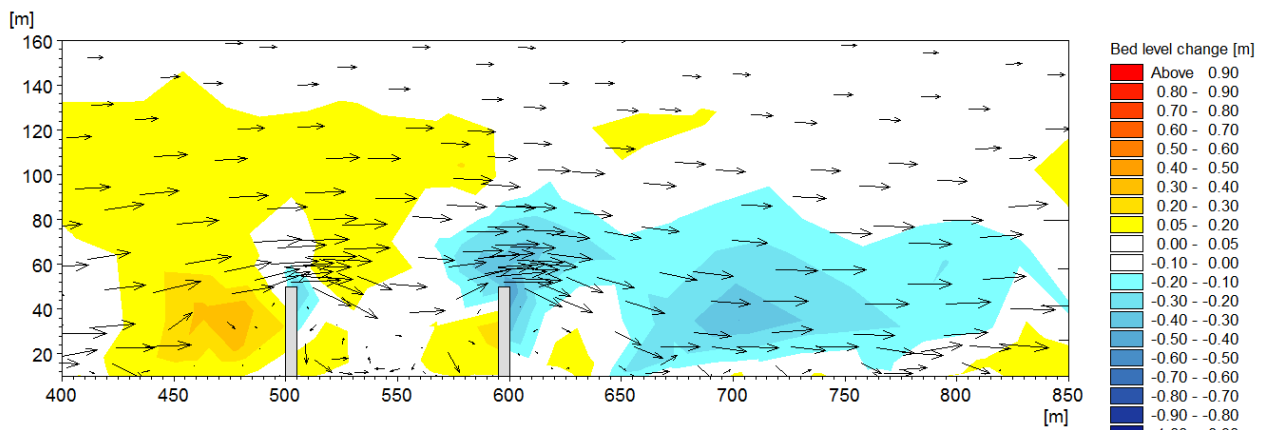


Σχήμα A.122 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.5$ και $H_s=1\text{m}$ για 3 προβόλους

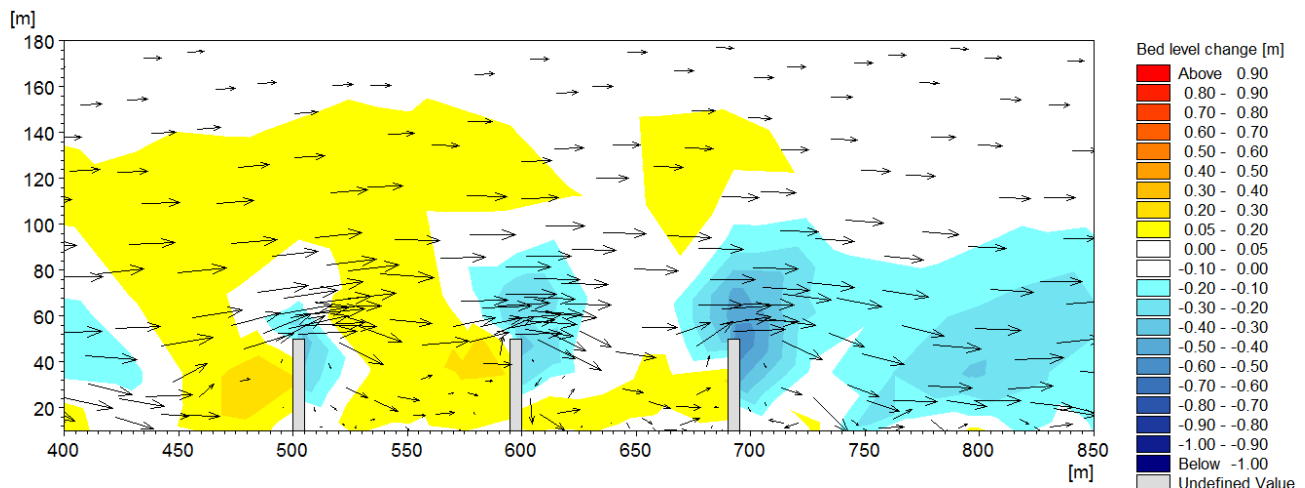


Σχήμα A.123 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.5$ και $H_s=1\text{m}$ για 4 προβόλους

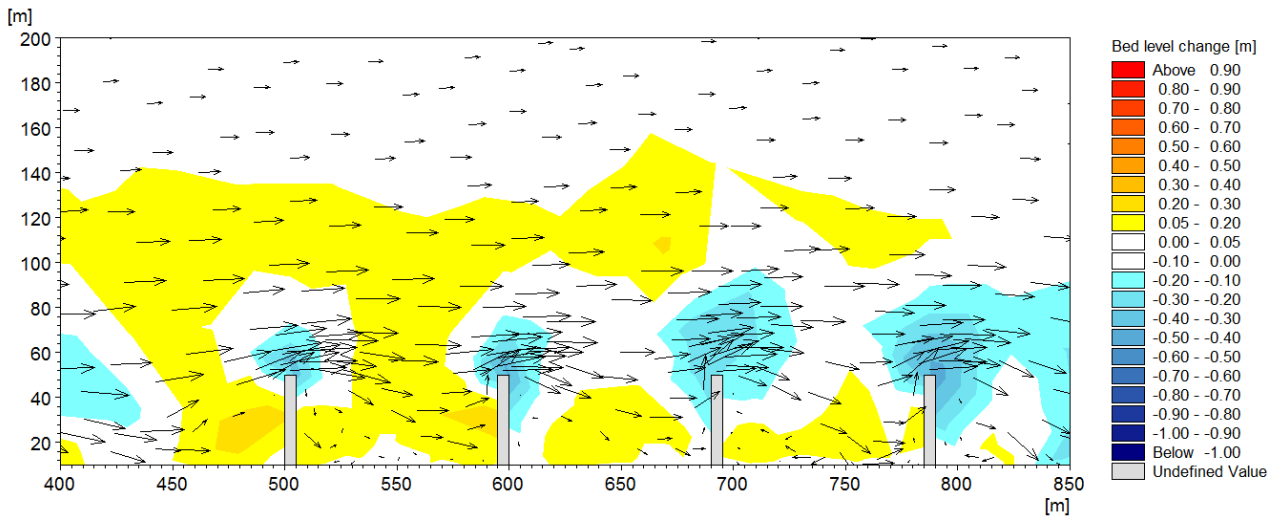
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.44$ και $H_s=1.5\text{m}$



Σχήμα A.124 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.44$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 2 προβόλους

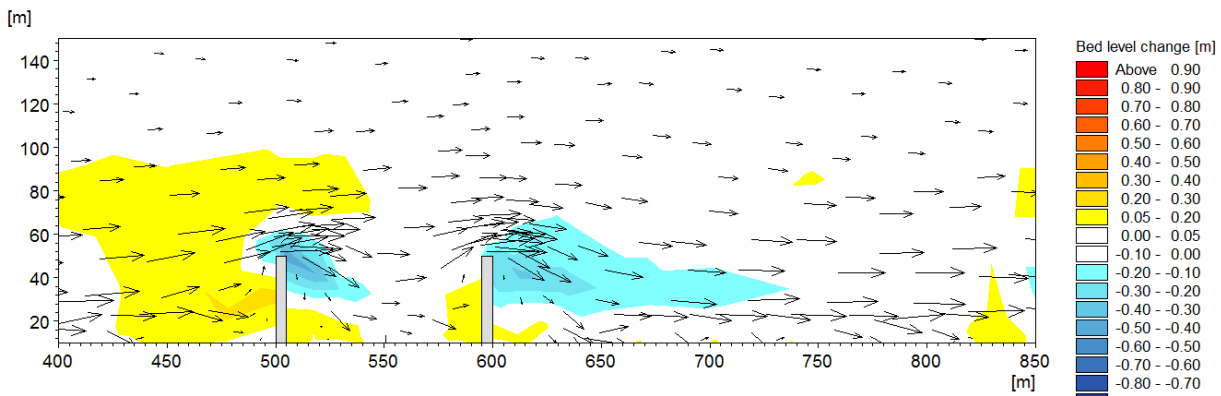


Σχήμα A.125 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.44$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 3 προβόλους

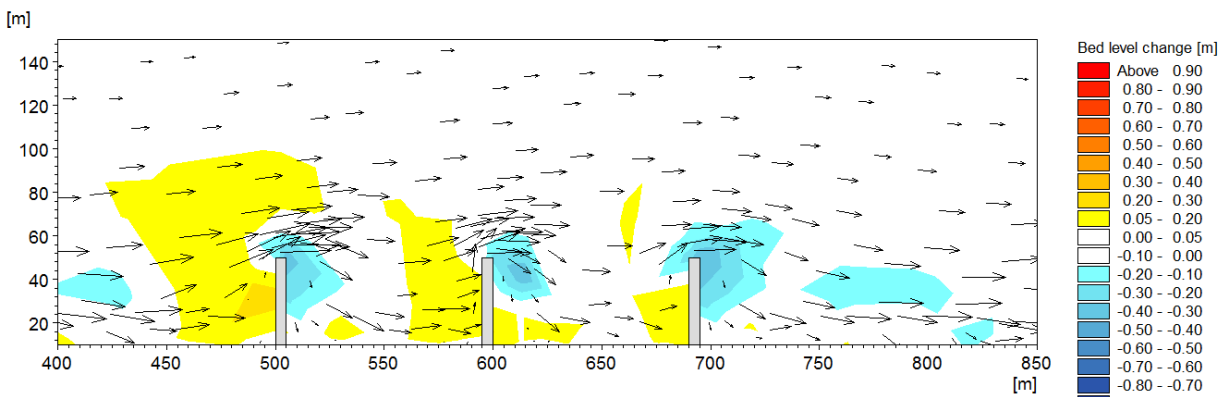


Σχήμα A.126 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.44$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 4 προβόλους

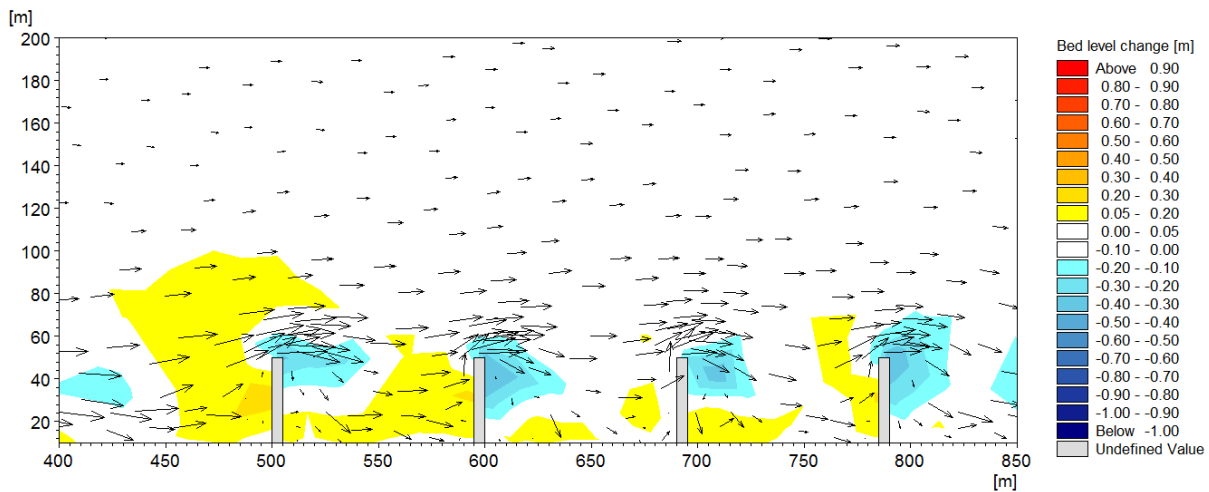
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.44$ και $H_s=1\text{m}$



Σχήμα A.127 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.44$ και $H_s = 1\text{m}$ για 2 προβόλους

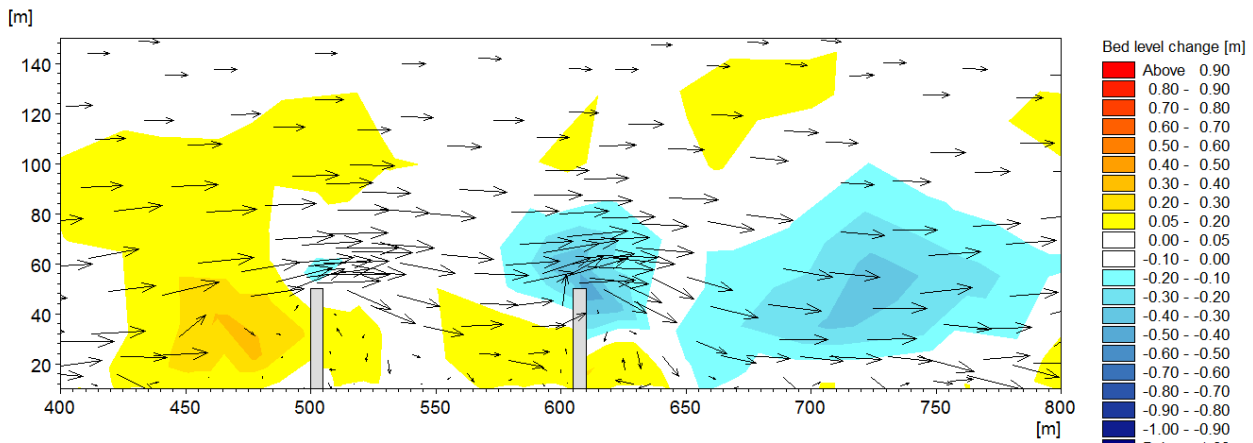


Σχήμα A.128 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.44$ και $H_s = 1\text{m}$ για 3 προβόλους

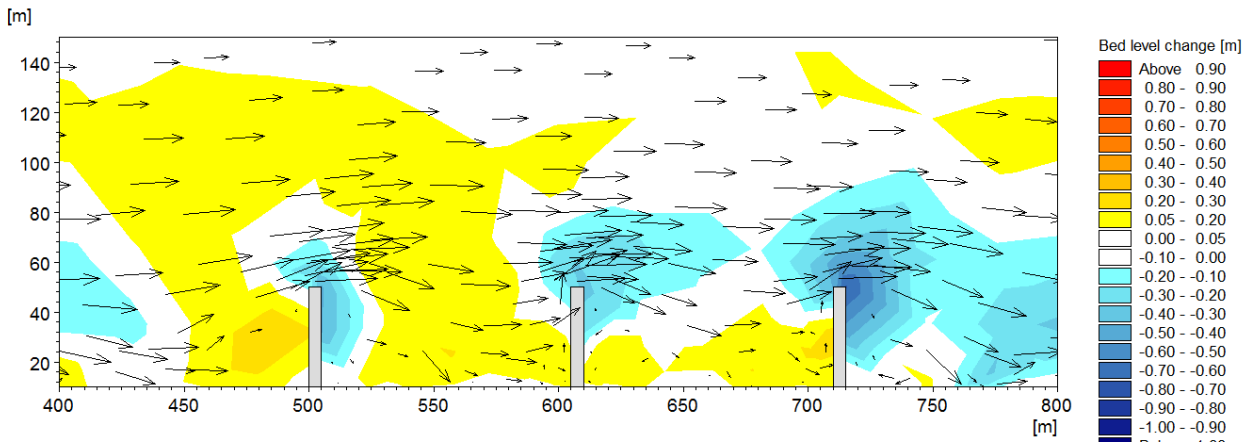


Σχήμα A.129 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.44$ και $H_s=1m$ για 4 προβόλους

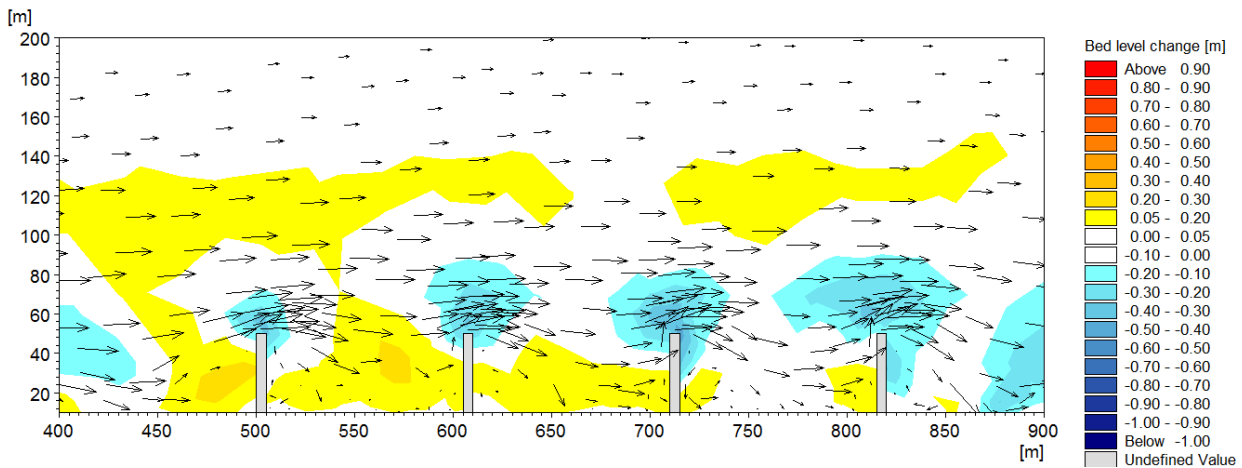
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.4$ και $H_s=1.5m$



Σχήμα A.130 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.4$ και $H_s=1.5m$ για 2 προβόλους

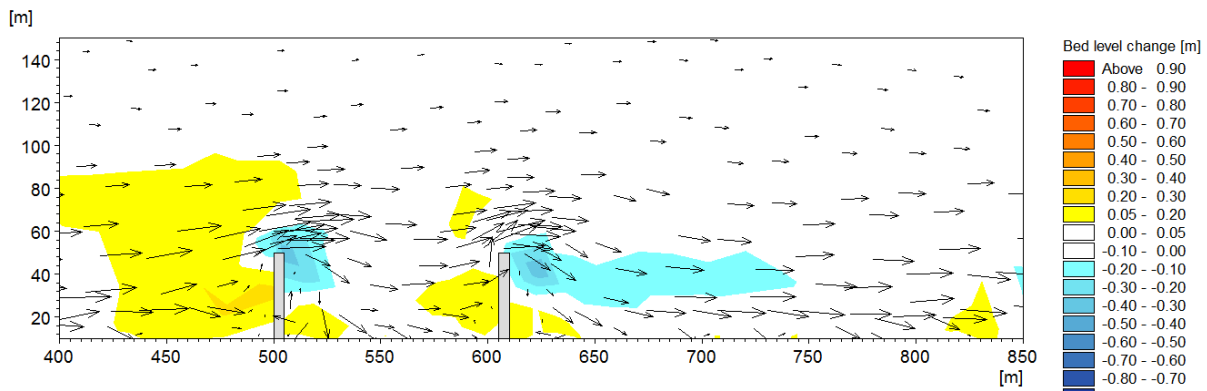


Σχήμα A.131 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.4$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 3 προβόλους

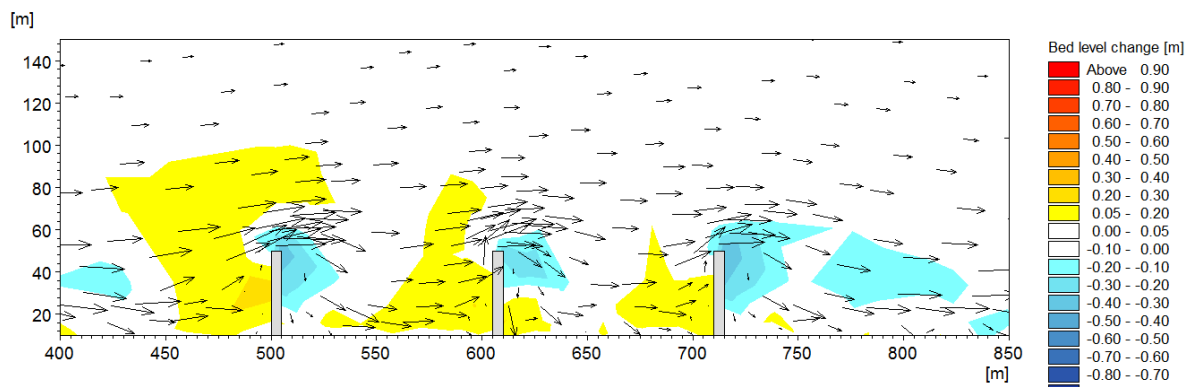


Σχήμα A.132 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.4$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 4 προβόλους

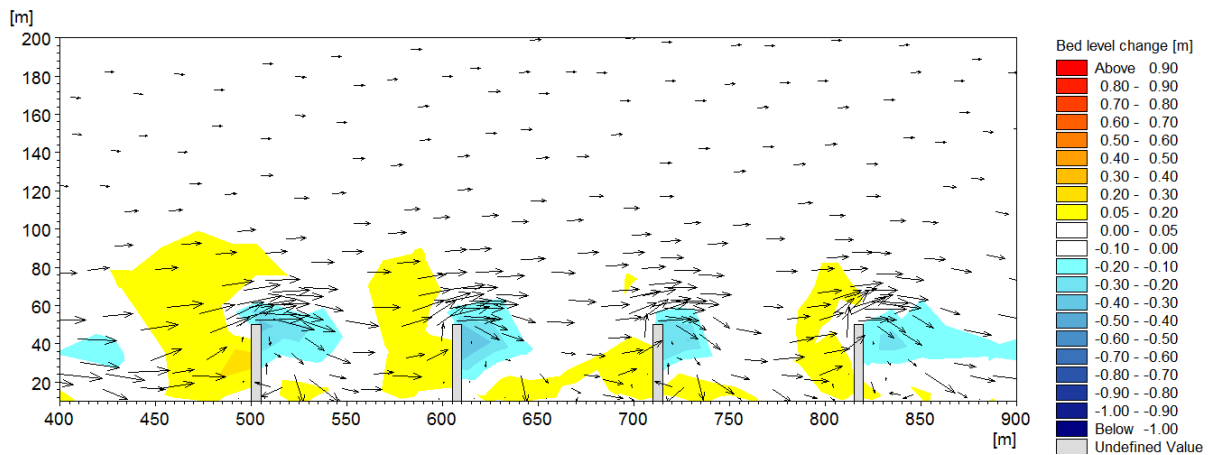
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.4$ και $H_s=1\text{m}$



Σχήμα A.133 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.4$ και $H_s = 1\text{m}$ για 2 προβόλους

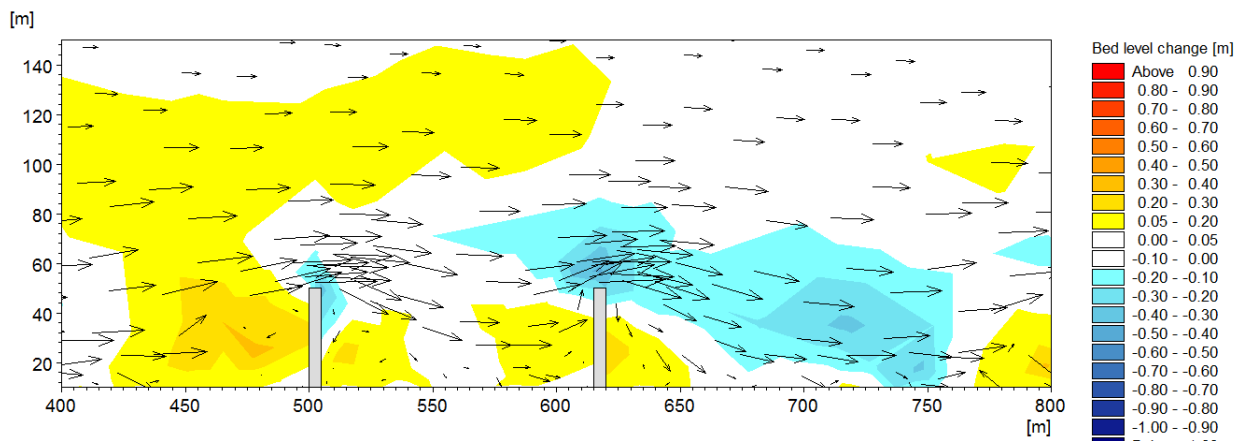


Σχήμα A.134 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.4$ και $H_s=1\text{m}$ για 3 προβόλους

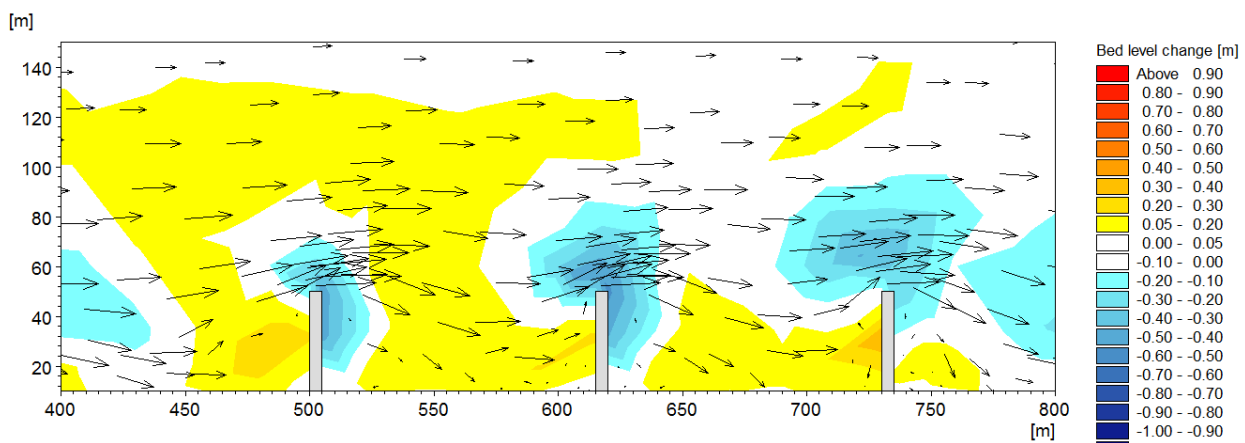


Σχήμα A.135 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.4$ και $H_s=1\text{m}$ για 4 προβόλους

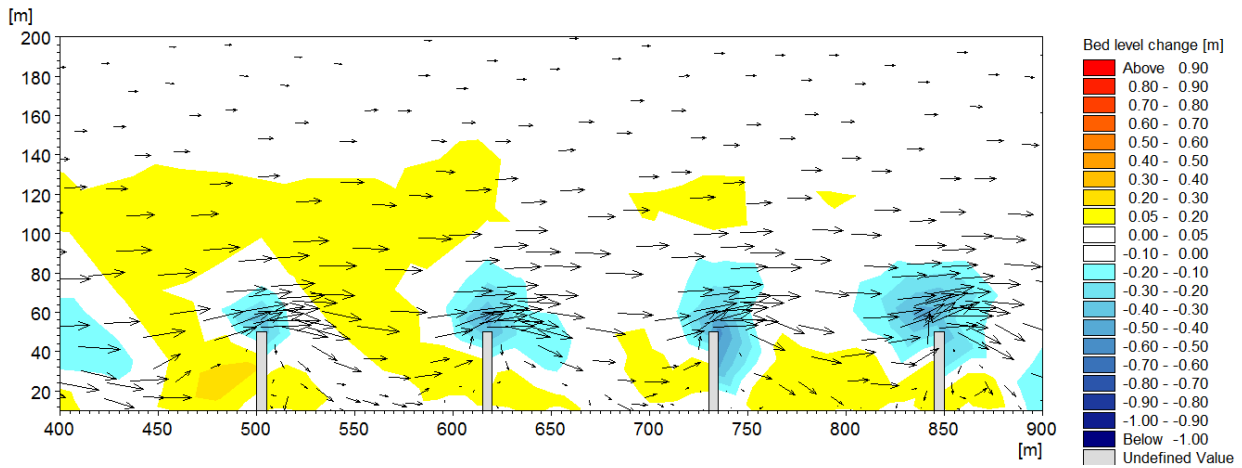
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.36$ και $H_s=1.5\text{m}$



Σχήμα A.136 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.36$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 2 προβόλους

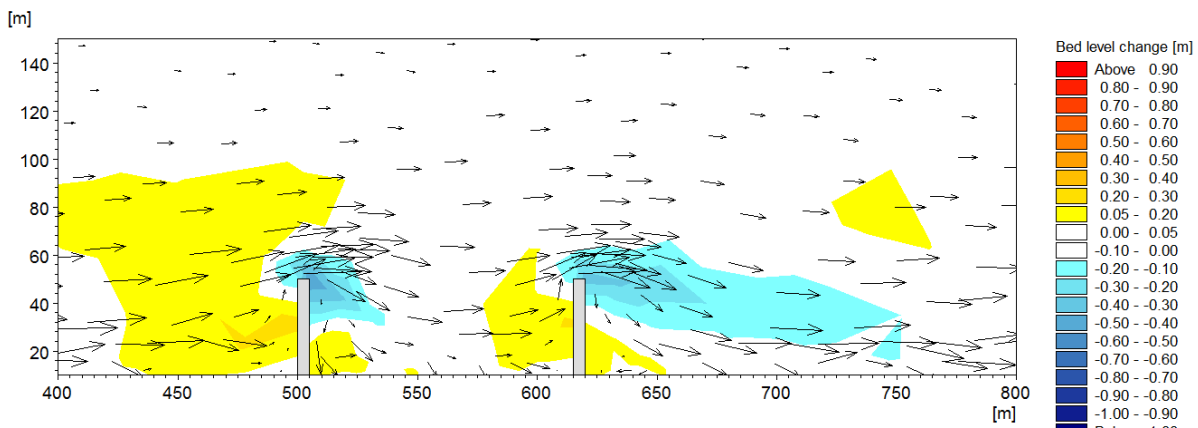


Σχήμα A.137 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.36$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 3 προβόλους

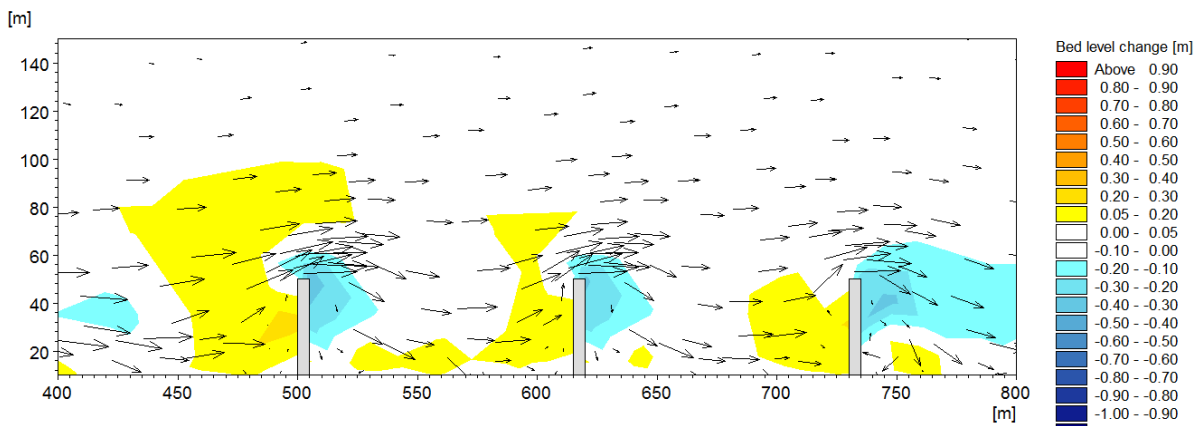


Σχήμα A.138 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.36$ και $H_s=1.5\text{m}$ για 4 προβόλους

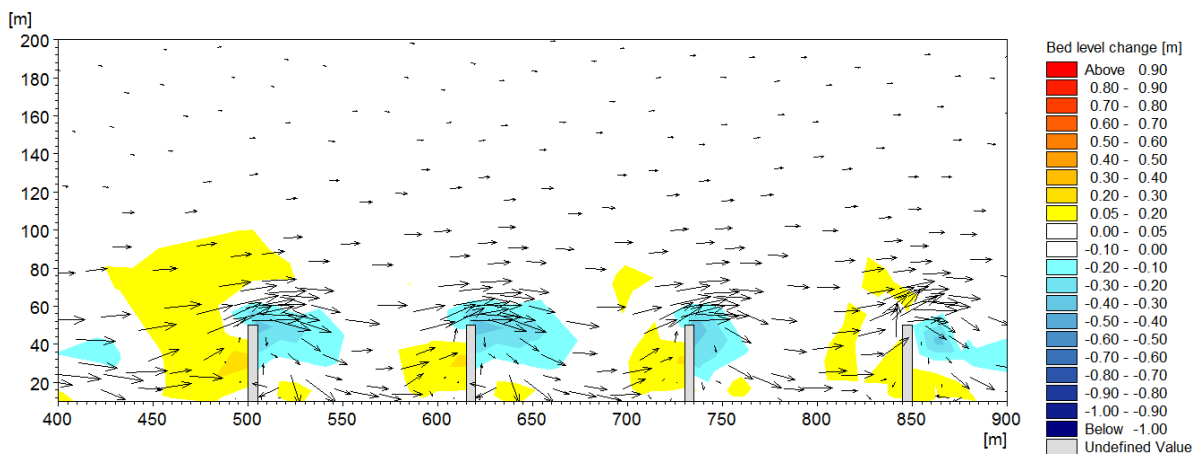
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.36$ και $H_s=1\text{m}$



Σχήμα A.139 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.36$ και $H_s=1\text{m}$ για 2 προβόλους

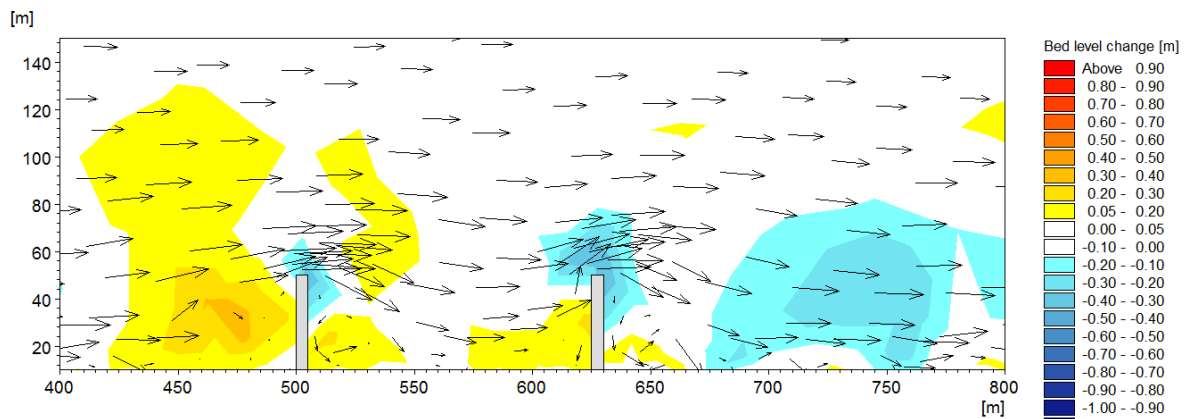


Σχήμα A.140 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.36$ και $H_s=1\text{m}$ για 3 προβόλους

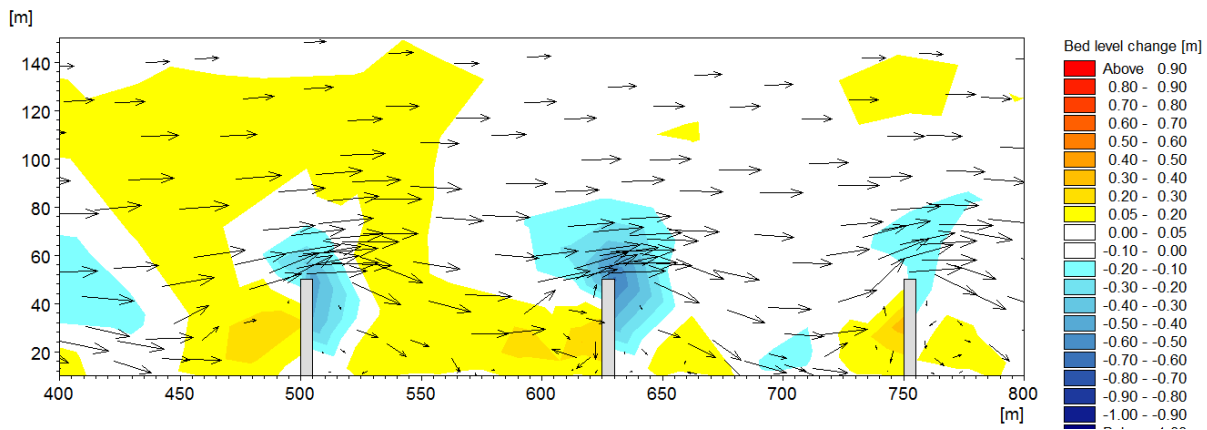


Σχήμα Α.141 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.36$ και $H_s = 1\text{m}$ για 4 προβόλους

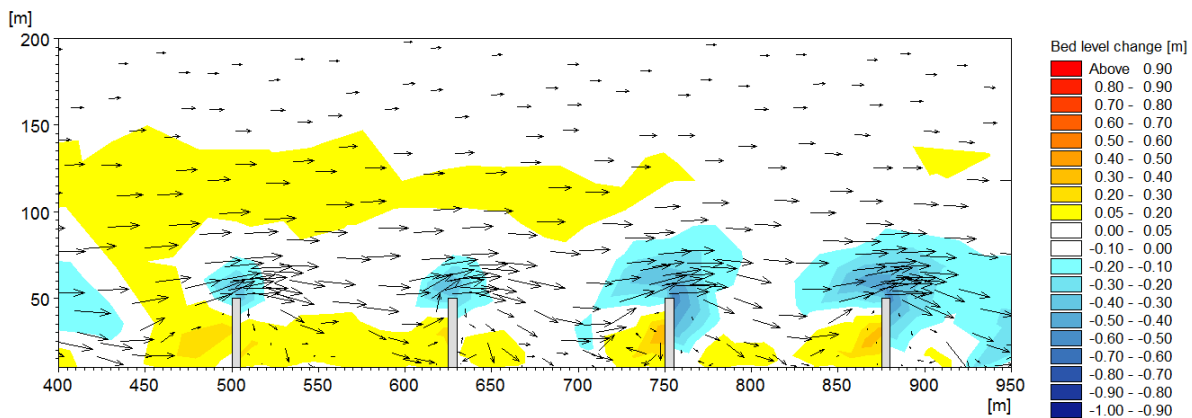
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.33$ και $H_s=1.5\text{m}$



Σχήμα Α.142 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.33$ και $H_s = 1.5\text{m}$ για 2 προβόλους

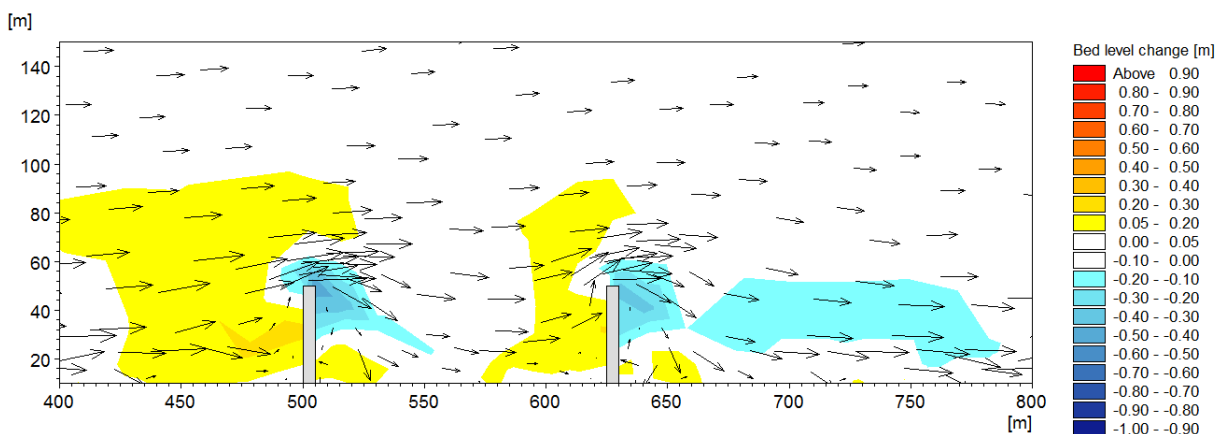


Σχήμα Α.143 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.33$ και $H_s=1.5m$ για 3 προβόλους

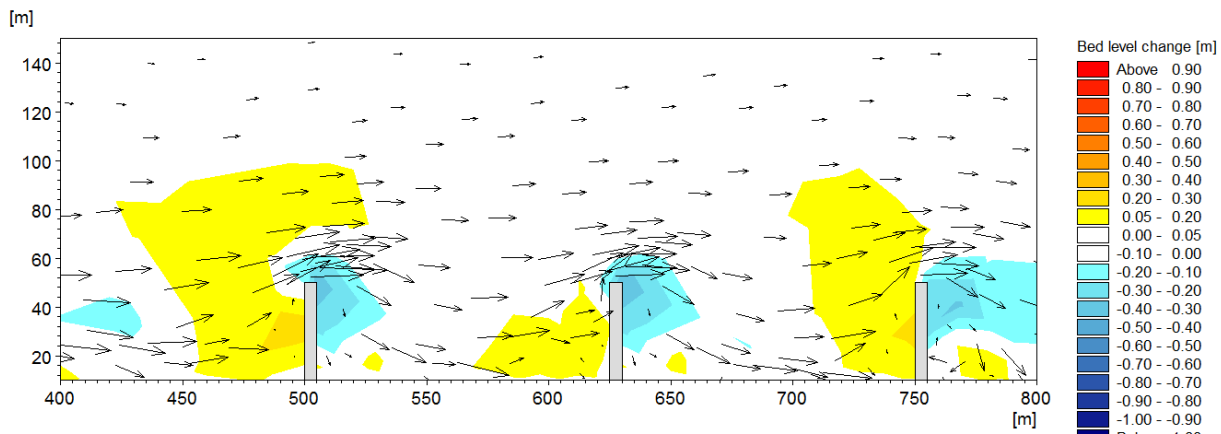


Σχήμα Α.144 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.33$ και $H_s=1.5m$ για 4 προβόλους

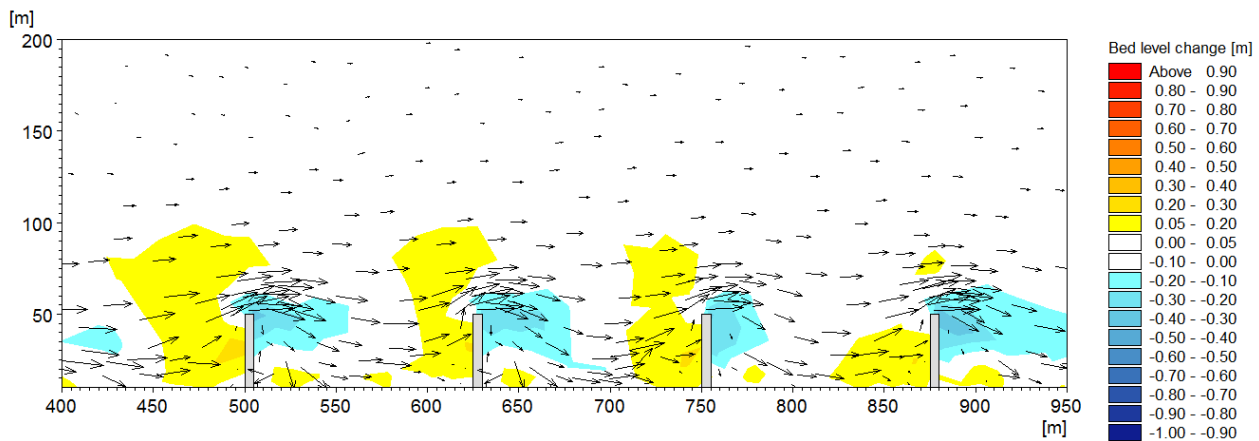
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.33$ και $H_s=1m$



Σχήμα Α.145 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.33$ και $H_s=1m$ για 2 προβόλους

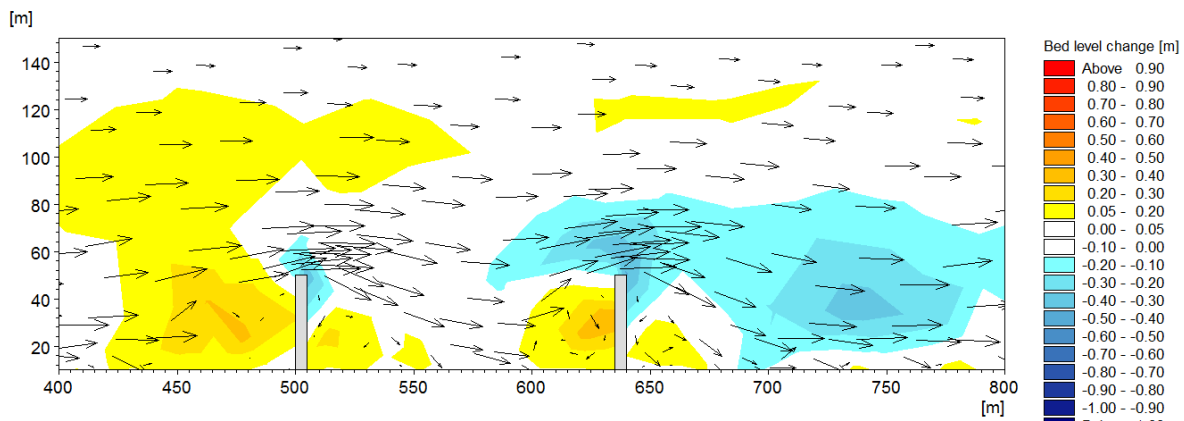


Σχήμα A.146 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.33$ και $H_s = 1\text{m}$ για 3 προβόλους

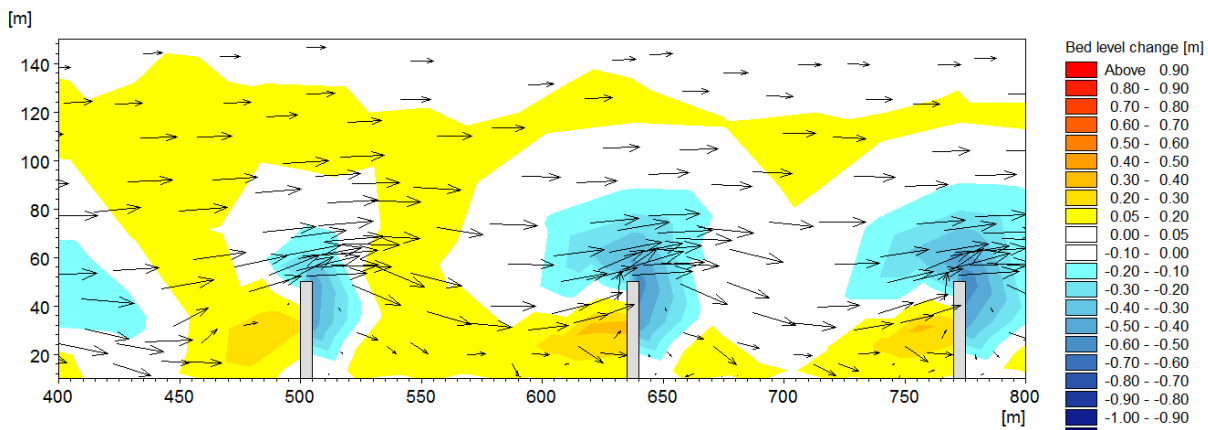


Σχήμα A.147 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.33$ και $H_s = 1\text{m}$ για 4 προβόλους

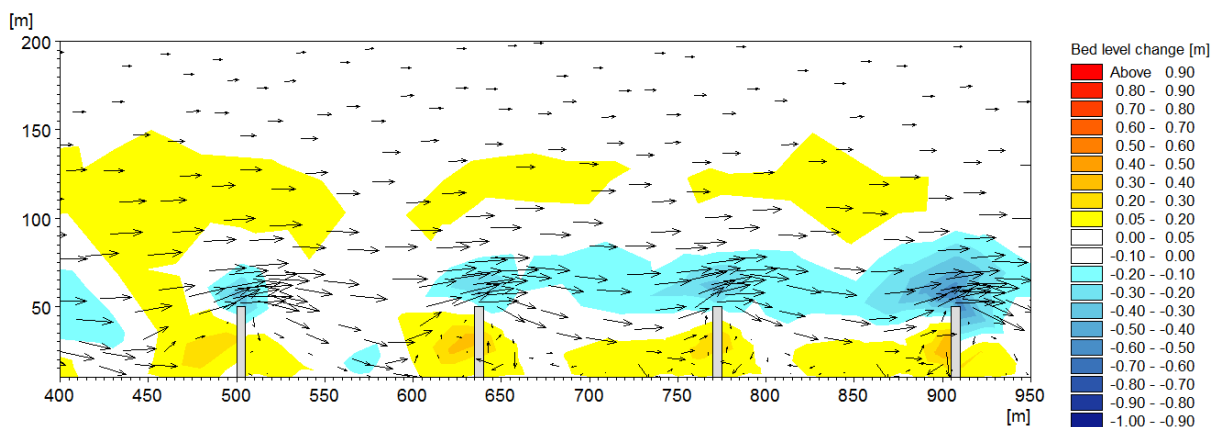
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.3$ και $H_s=1.5m$



Σχήμα A.148 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.3$ και $H_s = 1.5m$ για 2 προβόλους

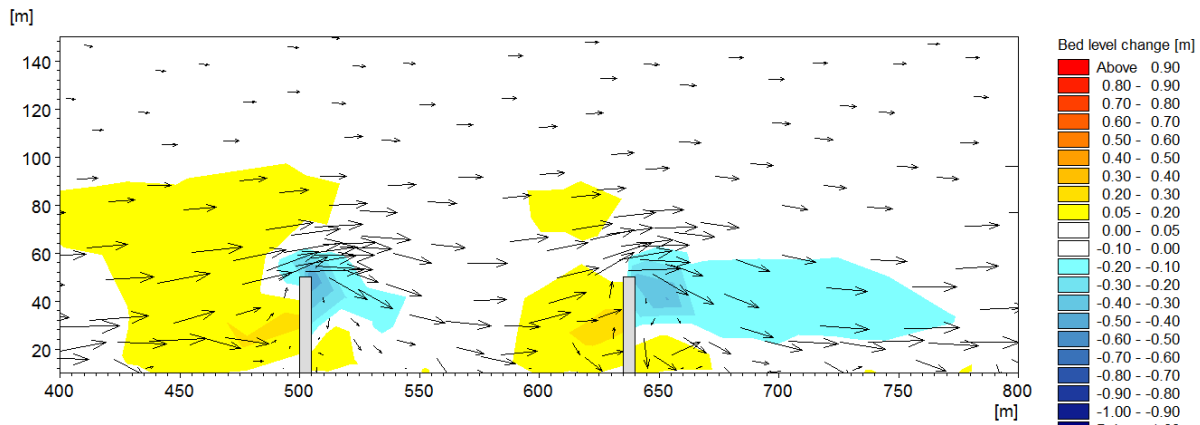


Σχήμα A.149 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.3$ και $H_s = 1.5m$ για 3 προβόλους

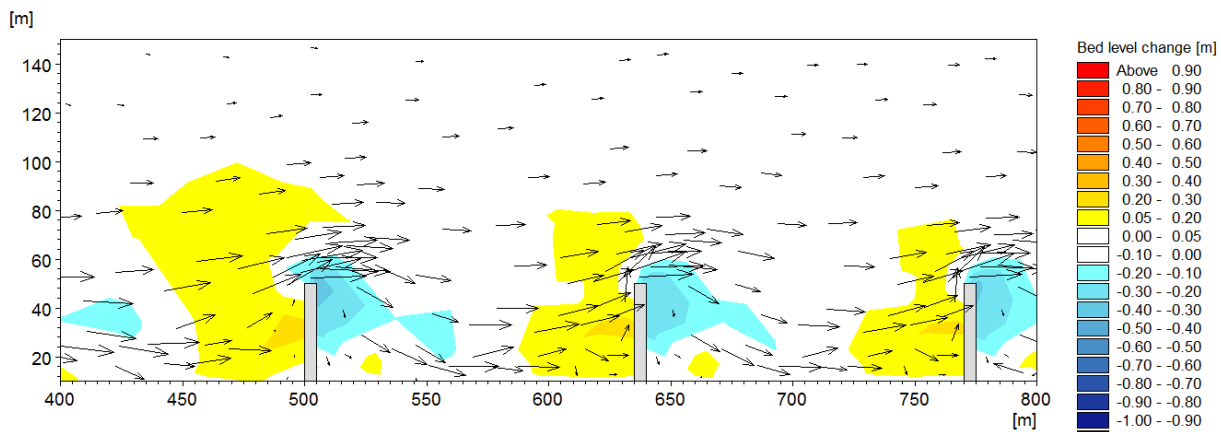


Σχήμα A.150 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.3$ και $H_s = 1.5m$ για 4 προβόλους

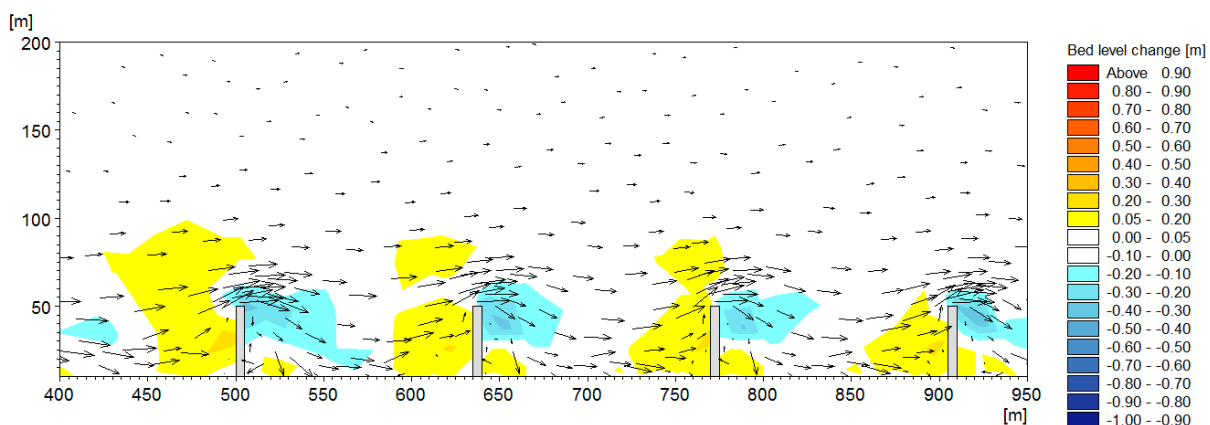
- Γεωμετρικός Συντελεστής $R=0.3$ και $H_s=1m$



Σχήμα Α.151 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.3$ και $H_s=1m$ για 2 προβόλους



Σχήμα Α.152 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.3$ και $H_s=1m$ για 3 προβόλους



Σχήμα Α.153 Στερεομεταφορά και τροποποίηση υψομέτρων πυθμένα για γεωμετρικό συντελεστή $R=0.3$ και $H_s=1m$ για 4 προβόλους