



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ

ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ

46,7 ΧΛΜ ΛΕΩΦ. ΑΘΗΝΩΝ-ΣΟΥΝΙΟΥ, Τ.Θ. 712, Τ.Κ. 19013, ΑΝΑΒΥΣΣΟΣ

ΤΕΧΝΙΚΗ ΕΚΘΕΣΗ

Περιβαλλοντική παρακολούθηση του όρου 4.3.4.8 της ΚΥΑ 18744/2020 για την «Χωροθέτηση και έγκριση περιβαλλοντικών όρων Μαρίνας Βουλιαγμένης» (ΦΕΚ 810/Δ/16.12.2020)

Αποτελέσματα έρευνας της 15^{ης} Ιουλίου 2021

Ιούλιος 2021

Ανάβυσσος

Επιστημονικός Υπεύθυνος

Δρ Βασίλειος Καψιμάλης

Διευθυντής Ερευνών, Ι.Ω./ΕΛ.ΚΕ.Θ.Ε.

Θαλάσσιος Γεωλόγος - Ιζηματολόγος

Επιστημονικό και τεχνικό προσωπικό από το Ινστιτούτο Ωκεανογραφίας

Παναγιωτόπουλος Ι. Θαλάσσιος Γεωλόγος-Ιζηματολόγος (Δρ)

Μόρφης Ι. Μηχανικός Ηλεκτρολόγος – Η/Υ (MSc)

Πετράκης Σ. Γεωλόγος- (Υποψ. Δρ)

Εισαγωγικές πληροφορίες

Το έργο

Οι εργασίες βυθοκόρησης του έργου «Επέκταση Μαρίνας Βουλιαγμένης» εκτελούνται σύμφωνα με την ΚΥΑ 18744/2020 για την «Χωροθέτηση και έγκριση περιβαλλοντικών όρων Μαρίνας Βουλιαγμένης» (ΦΕΚ 810/Δ/16.12.2020), αφού έχει προηγηθεί έγκριση της σχετικής Ειδικής Τεχνικής Περιβαλλοντικής Μελέτης για την «Αξιολόγηση ποιότητας βυθοκορημάτων της Μαρίνας Βουλιαγμένης και επιλογή του βέλτιστου θαλάσσιου χώρου επανατοποθέτησης αυτών στον ΝΑ Σαρωνικό Κόλπο» (ΤΕΠΕΜ-ΔΒ-2021).

Το έργο αφορά στην εκσκαφή από τον πυθμένα της λιμενολεκάνης και του περιβάλλοντα χώρου εντός της θαλάσσιας ζώνης (συνολικής έκτασης 54 στρεμμάτων) αδρανούς γαιώδους υλικού, όγκου περίπου 95.000 m³, πλήρως απαλλαγμένου από χημικούς οργανικούς (υδρογονάνθρακες και οργανοχλωριωμένες ενώσεις) και ανόργανους (βαρέα μέταλλα) ρύπους. Η γεωτεχνική μελέτη του έργου, η οποία βασίστηκε στην ανάλυση οκτώ γεωτρήσεων, διαπίστωσε την ύπαρξη επιφανειακής στρώσης θαλάσσιων ιζημάτων αμμο-ιλυώδους έως αργιλο-αμμώδους σύστασης και μεταβαλλόμενου πάχους (από ελάχιστα εκατοστά μέχρι 1,5 μ). Το υποκείμενο των θαλάσσιων αποθέσεων βραχώδες γεωλογικό υπόβαθρο, το οποίο σε κάποια τμήματα του πυθμένα της μαρίνας αλλά και του παρακείμενου θαλάσσιου χώρου αναδύεται στην επιφάνεια, αποτελείται από νεογενείς μάργες, κροκαλοπαγή-λατυποπαγή και ασβεστόλιθους λατυποπαγούς δομής ή ασβεστολιθικά λατυποπαγή.

Λόγω της αναμενόμενης διάχυσης αιωρημένου υλικού που παράγεται κατά τη διάρκεια των εργασιών βυθοκόρησης και θραύσης του βραχώδους υποστρώματος, απαιτείται περιβαλλοντική παρακολούθηση της θολερότητας, όπως αναφέρεται στον όρο 4.3.4.8.2, «*επιτόπια εξέταση και συλλογή δειγμάτων για τον προσδιορισμό της θολερότητας του θαλασσινού νερού (σε Nephelometric Turbidity Units-NTUs), τουλάχιστον μία φορά την εβδομάδα, εφόσον οι εργασίες διεξάγονται κατά τη διάρκεια της τουριστικής περιόδου. Η εξέταση θα γίνεται σε σημεία που βρίσκονται σε απόσταση 50, 100 και 150 m από το έργο. Εάν διαπιστωθεί σημαντική αύξηση της θολερότητας θα εφαρμόζονται αμέσως επιπρόσθετα μέτρα συγκράτησης των στερεών αιωρήσεων*». Με την από 07/04/2021 Σύμβαση Ανάθεσης Έργου μεταξύ της ΤΕΚΑΛ Α.Ε. και του ΕΛΚΕΘΕ, επιστημονική ομάδα του Ινστιτούτου Ωκεανογραφίας διενέργησε την 15/07/2021 ωκεανογραφική έρευνα για τη μέτρηση της θολερότητας στην υδάτινη στήλη τόσο εντός της μαρίνας όσο και περιμετρικά αυτής, ώστε να αποφευχθεί η διάχυση του παραγόμενου από τις εργασίες εκβάθυνσης πλουμίου εκτός της περιοχής του έργου.

Η παράμετρος της θολερότητα

Με τον όρο θολερότητα (ή θολότητα, turbidity) εννοείται η απουσία διαύγειας σε ένα υγρό μέσο, η οποία προκαλείται από την παρουσία μέσα σε αυτό διαφόρων οργανικών και ανόργανων σωματιδίων υπό μορφή αιωρούμενου ή/και κολλοειδούς υλικού (1-1000 νανόμετρα). Η θολερότητα είναι ένα θεμελιώδες οπτικό χαρακτηριστικό του υγρού μέσου το οποίο σχετίζεται με την εξασθένηση της έντασης της διερχόμενης φωτεινής ακτινοβολίας λόγω φαινομένων σκέδασης στα σωματίδια της υδάτινης στήλης.

Η μέτρηση της θολερότητας γίνεται με ένα αισθητήρα που ονομάζεται νεφελόμετρο. Η αρχή της μέτρησης βασίζεται στη σύγκριση της έντασης του φωτός που υφίσταται σκέδαση υπό γωνία 90° με την προσπίπτουσα φωτεινή δέσμη στο σωματιδιακό υλικό της υδάτινης στήλης με εκείνη την ένταση του φωτός που υφίσταται σκέδαση κατά τη διέλευσή του από ένα πρότυπο αιώρημα κάτω από τις ίδιες φυσικές συνθήκες. Σύμφωνα με τον νόμο του Rayleigh ισχύει η παρακάτω σχέση μεταξύ της έντασης του σκεδαζόμενου φωτός και της συγκέντρωσης των σωματιδίων στο υδάτινο μέσο:

$$I_1 = k \frac{V^2}{\lambda^2} n$$

όπου:

I_1 είναι η ένταση του σκεδαζόμενου φωτός,

V είναι ο όγκος κάθε σωματιδίου του υδάτινου μέσου (εάν θεωρηθεί ότι όλα τα σωματίδια έχουν τον ίδιο όγκο),

λ είναι το μήκος κύματος του φωτός,

n είναι ο αριθμός των σωματιδίων στην μονάδα όγκου του υδάτινου μέσου και, τέλος,

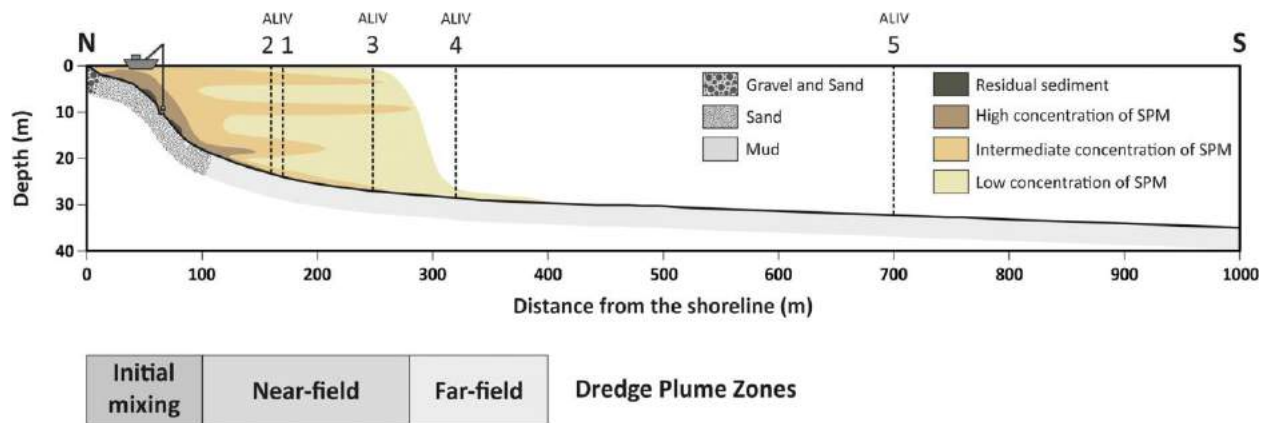
k είναι μία φυσική σταθερά.

Οι μονάδες μέτρησης θολερότητας που έχουν καθιερωθεί από τον Διεθνή Οργανισμό Τυποποίησης (ISO) καθώς και από την Environmental Protection Agency (EPA) είναι η Formazine Turbidity Unit (FTU) και η Nephelometric Turbidity Unit (NTU), αντίστοιχα, με την σχέση τους να είναι 1:1.

Θολερότητα προερχόμενη από βυθοκόρηση

Κατά τη διάρκεια των εργασιών βυθοκόρησης, σωματίδια ιζημάτων απομακρύνονται από τον πυθμένα και εισέρχονται στην υδάτινη στήλη. Η ποσότητα, η υφή και η ποιότητα των επαναιωρημένων σωματιδίων εξαρτώνται από διάφορους παράγοντες (Luger et al. 1998) που σχετίζονται με: (α) τα χαρακτηριστικά του ιζήματος (μέγεθος κόκκου, πυκνότητα, ορυκτολογία, ικανότητα πρόσφυσης και περιεχόμενο σε οργανική ύλη), (β) τις συνθήκες του χώρου εκσκαφής (βάθος νερού, εκτεθειμένη επιφάνεια, ρεύματα και κύματα που επικρατούν, παρουσία φυσικών ή τεχνητών εμποδίων) και (γ) τις επιχειρησιακές πρακτικές (ρυθμός παραγωγής, πάχος εκσκαφής υλικών, τύπος εξοπλισμού βυθοκόρησης, μέθοδος λειτουργίας και ικανότητα του χειριστή).

Όταν το επαναιωρημένο σωματιδιακό υλικό παραμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα σε αιώρηση, παρασύρεται από τα θαλάσσια ρεύματα και μεταφέρεται με μορφή πλουμίου σε περιοχές μακριά από τη θέση βυθοκόρησης. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του προκύπτοντος νεφελώματος διακρίνονται συνήθως τρεις ζώνες (Εικόνα 1): (α) της «αρχικής ανάμιξης», όπου η δραστηριότητα βυθοκόρησης κυριαρχεί έναντι των φυσικών διεργασιών, (β) του «κοντινού πεδίου», όπου επικρατεί διασπορά και ταχεία καθίζηση αιωρούμενων στερεών, και (γ) του «μακρινού πεδίου», όπου η συγκέντρωση του επαναιωρημένου σωματιδιακού υλικού στην υδάτινη στήλη μειώνεται σταδιακά και τα φαινόμενα της μεταγωγής και καθίζησης ισορροπούν. Ένα άλλο υποπροϊόν των εργασιών βυθοκόρησης είναι το παραμένον (αδιατάρακτο ή αναμοχλευθέν) ίζημα που εμφανίζεται είτε εντός είτε δίπλα στη ζώνη βυθοκόρησης.



Εικόνα 1: Ζώνες διάχυσης του νέφους των επαναιωρημένων στερεών υλικών που προέκυψε από εντατική βυθοκόρηση στη περιοχή του Αλιβερίου, Νότιος Ευβοϊκός Κόλπος (Kanellopoulos et al. 2020).

Το παρόν πρόγραμμα παρακολούθησης της θολερότητας στην Μαρίνα Βουλιαγμένης ακολουθεί την μεθοδολογία και τις κατευθύνσεις που παρουσιάζονται στα τεχνικά εγχειρίδια των van Rijn (2019) και Bundgaard (2020).

Όρια θολερότητας

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, το πόσιμο νερό (για κατανάλωση από τον άνθρωπο) θα πρέπει να έχει επίπεδα θολερότητας κάτω από 1 NTU/FTU, αν και για ορισμένες περιοχές, επιτρέπεται έως και 5 NTU/FTU.

Δεν υπάρχουν εθνικά και ευρωπαϊκά θεσμοθετημένα όρια θολερότητας για το θαλασσινό νερό, ωστόσο, στις ΗΠΑ επικρατεί η άποψη ότι τιμές μεγαλύτερες των 25 με 50 NTU/FTU είναι «μη ανεκτές» από πολλούς ευαίσθητους οργανισμούς όπως χέλια, χελώνες, Μαρέκα (Wigeons) και λειμώνες θαλάσσιας βλάστησης, και για αυτό θα πρέπει να αποφεύγονται. Αντίθετα, τιμές μικρότερες των 25 ή 50 NTU είναι «ανεκτές» από τους οργανισμούς και δεν προκαλούν ανεπανόρθωτες βλάβες (βλέπε Πίνακα 1, σελίδα 135 της δημοσίευσης των Clarke and Wilber 2008).

Επίσης, στην Αυστραλία έχει υιοθετηθεί η εξής διαβάθμιση (McCaffrey and Catchment 2018): όταν η θολερότητα είναι >10 NTU η κατάσταση των υδάτων θεωρείται ως «εξαιρετική», όταν κυμαίνεται από 15 έως 30 NTU θεωρείται ως «ικανοποιητική» και όταν είναι >30 NTU θεωρείται ως «φτωχή».

Με δεδομένο ότι στο Όρμο Βουλιαγμένης το πιο ευαίσθητο θαλάσσιο οικοσύστημα στη αύξηση της θολερότητας είναι ο λειμώνας Ποσειδωνίας (δες παραδείγματα στις εργασίες των Ruiz and Romero 2003, Capello et al. 2014, Hounghandan et al. 2020, Li et al., 2021) και σε συνδυασμό με τα προαναφερθέντα όρια, υιοθετείται οι παρακάτω κατηγορίες για τις ζώνες «κοντινού» και «μακρινού» πεδίου κατά τη διάρκεια της ενεργού βυθοκόρησης:

Θολερότητα	FTU
Εξαιρετική	≤1
Φυσιολογική	1-5
Ικανοποιητική	5-15
Ανεκτή	15-30
Μη ανεκτή	>30

Εξοπλισμός και εργασίες πεδίου

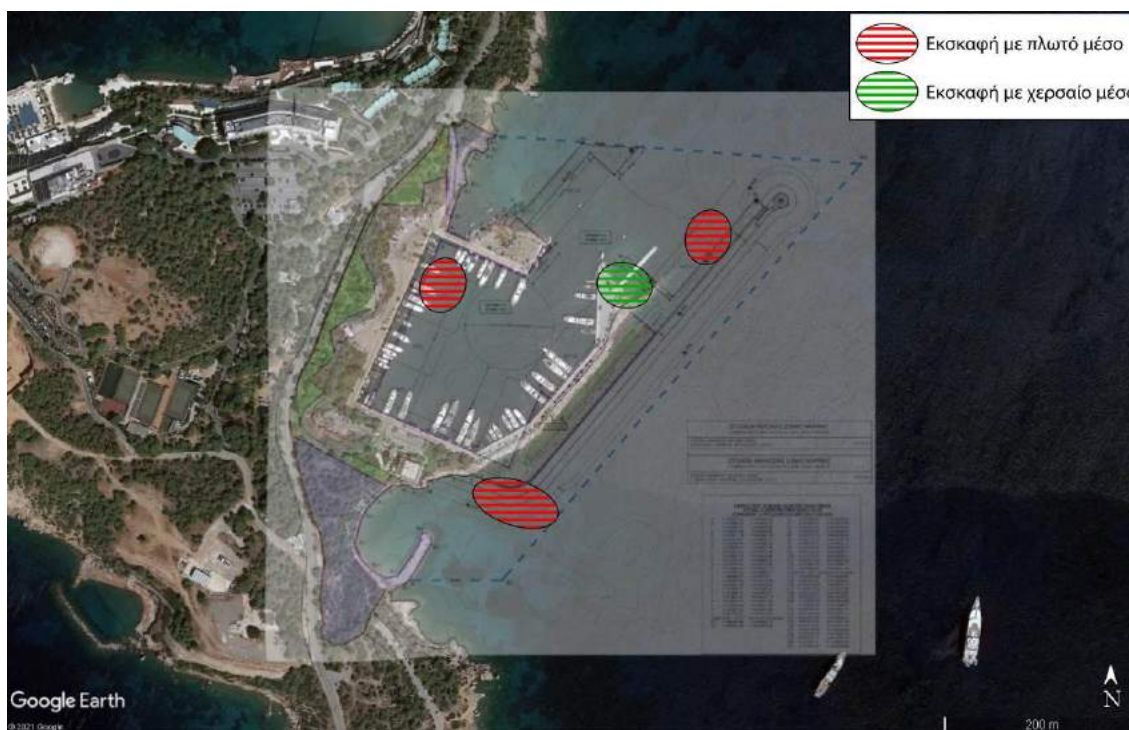
Η συλλογή των μετρήσεων θολερότητας έγινε με τη χρήση του νεφελόμετρου 'Seapoint Turbidity Meter' (εύρος μετρήσεων 0-1250 FTU, απόκλιση $\pm 2\%$) προσαρμοσμένο σε αυτογραφικό όργανο CTD (conductivity, temperature, density) (Εικόνα 2). Την 15^η Ιουλίου 2021 πραγματοποιήθηκαν κάθετες καταγραφές στην υδάτινη στήλη (από το βάθος του ~ 1 m μέχρι τον πυθμένα) σε 12 θέσεις, ευρισκόμενες εντός αλλά και περιμετρικά της Μαρίνας Βουλιαγμένης (Εικόνα 3). Η επιλογή των θέσεων πόντισης του αυτογραφικού οργάνου CTD πραγματοποιήθηκε με βάση τις απαιτήσεις του περιβαλλοντικού όρου 4.3.4.8 της ΚΥΑ 18744/2020 για την «Χωροθέτηση και έγκριση περιβαλλοντικών όρων Μαρίνας Βουλιαγμένης» (ΦΕΚ 810/Δ/16.12.2020) και σε σχέση με τις τρεις περιοχές των εκσκαφών (Εικόνα 4).



Εικόνα 2: Εργασίες πεδίου με νεφελόμετρο προσαρμοσμένο σε αυτογραφικό σύστημα CTD, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή μετρήσεων στην περιοχή του έργου της Μαρίνας Βουλιαγμένης την 15^η Ιουλίου 2021



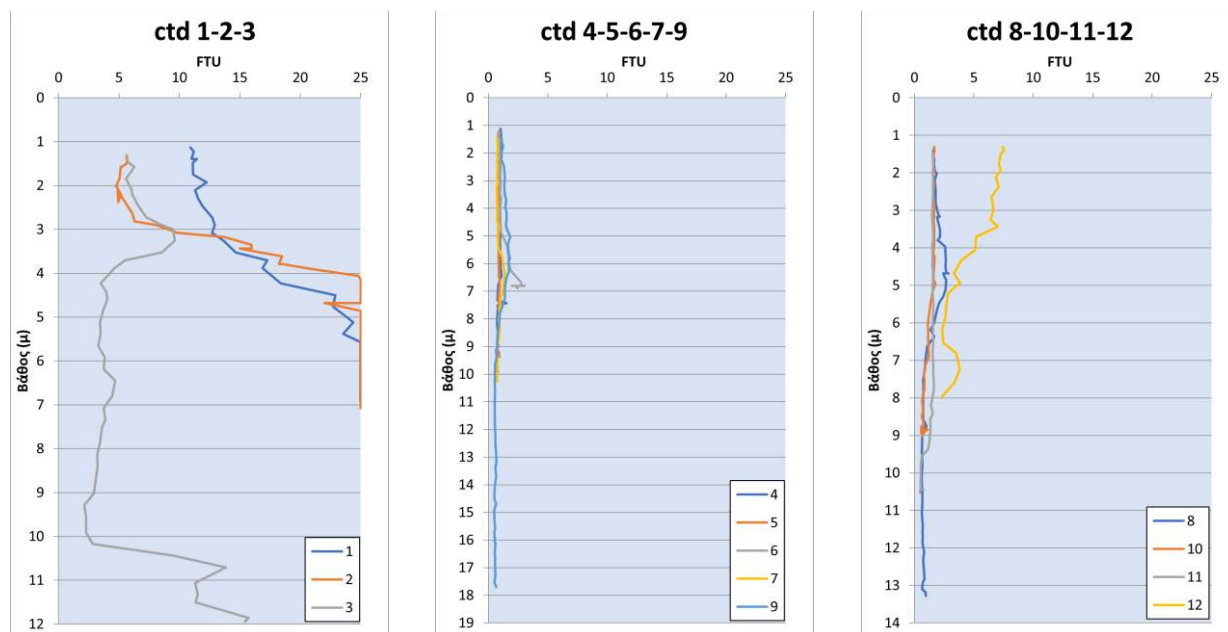
Εικόνα 3: Θέσεις μέτρησης της θολερότητας στην περιοχή του έργου της Μαρίνας Βουλιαγμένης κατά τη διάρκεια της 15^{ης} Ιουλίου 2021. Η άσπρη, η κόκκινη και η κίτρινη γραμμή αντιπροσωπεύει τη γεωγραφική θέση της τομής της Εικόνας 8α, 8β και 8γ, αντίστοιχα.



Εικόνα 4: Ενεργές εκσκαφές/βυθοκορήσεις στην περιοχή των έργων της Μαρίνας Βουλιαγμένης κατά τη διάρκεια της 15^{ης} Ιουλίου 2021.

Αποτελέσματα

Οι καταγεγραμμένες κατακόρυφες μετρήσεις της θολερότητας σε όλες τις θέσεις πόντισης του αυτογραφικού οργάνου CTD φαίνονται στην Εικόνα 5, ενώ οι αναλυτικές τιμές των μετρήσεων παρουσιάζονται στο παράρτημα της παρούσας Τεχνικής Έκθεσης.

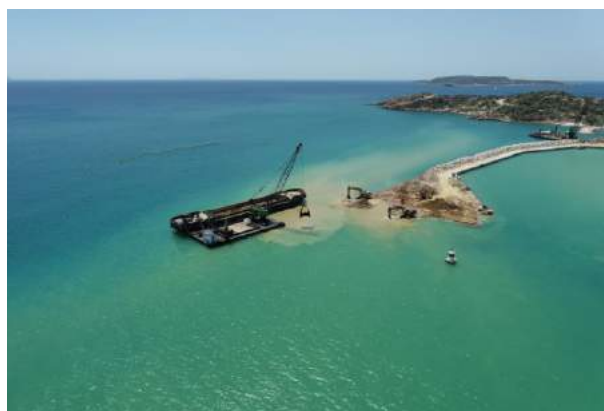


Εικόνα 5: Κατακόρυφες καταγραφές της θολερότητας (σε FTU) στην περιοχή του έργου της Μαρίνας Βουλιαγμένης κατά τη διάρκεια της 15^{ης} Ιουλίου 2021. Για τις θέσεις των μετρήσεων βλέπε την Εικόνα 3.

Εντός της λιμενολεκάνης της Μαρίνας Βουλιαγμένης, στη θέση MV1, οι τιμές θολερότητας κυμαίνονταν μεταξύ 10,9 και 32,6 FTU λόγω της εντατικής βυθοκόρησης στον ανατολικό τμήμα αυτής (Εικόνα 6α).



(α)



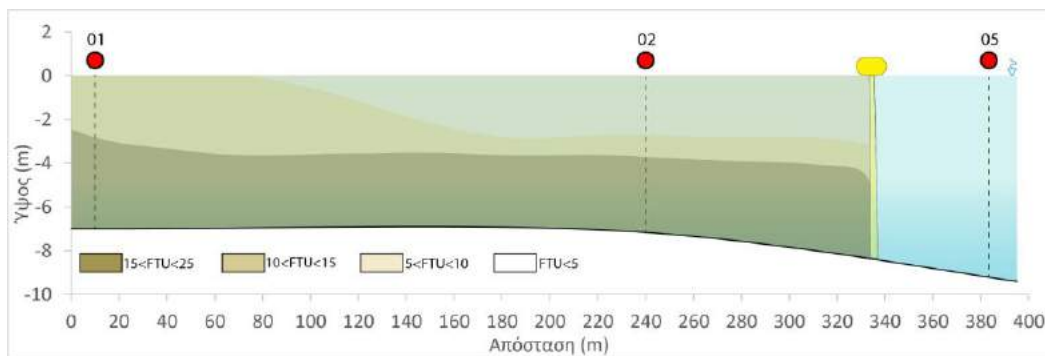
(β)

Εικόνα 6: Αεροφωτογραφίες που δείχνουν το επιφανειακό νεφέλωμα που παρήχθη από την ενεργή βυθοκόρηση (α) στο ανατολικό τμήμα της λιμενολεκάνης και (β) στο βόρειο τμήμα του προσήνεμου μόλου.

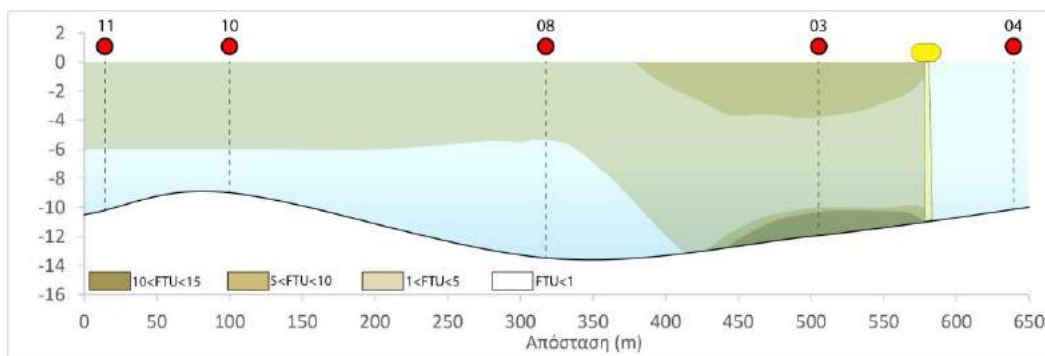
Στην είσοδο της λιμενολεκάνης (θέση MV2), όπου οι εργασίες εκσκαφής στο χερσαίο και το υποθαλάσσιο τμήμα του προσήνεμου μόλου ήταν ταυτόχρονες και έντονες (Εικόνα 6β), η θολερότητα

παρουσιάστηκε σχετικά αυξημένη στο επιφανειακό υδάτινο στρώμα (4,7-9,8 FTU σε βάθος νερού μέχρι 3 m) και πολύ αυξημένη στο πυθμενικό στρώμα (39,4 FTU) (Εικόνα 7α). Στη θέση MV3, η οποία βρίσκεται βορειοδυτικά του σημείου ενεργούς εκσκαφής/βυθοκόρησης, η θολερότητα είναι μικρότερη (2,1-15,7 FTU με τις μεγαλύτερες τιμές να καταγράφονται στο πυθμενικό στρώμα) από τις αντίστοιχες της θέσης MV2.

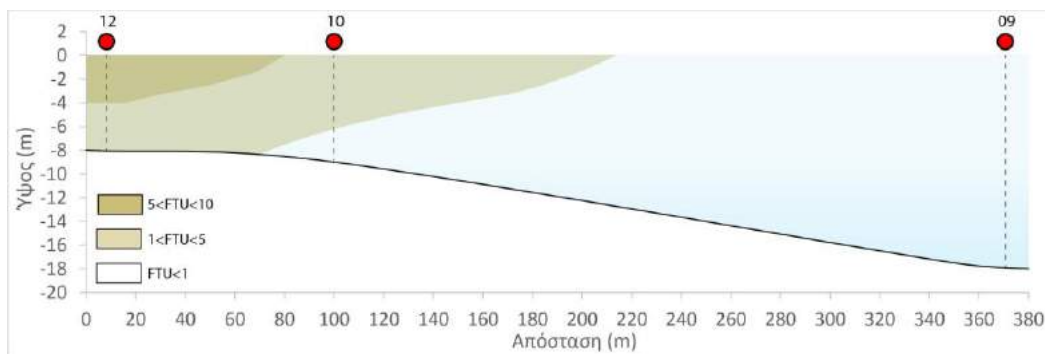
Όπως φαίνεται στην Εικόνα 6β, βόρειοι άνεμοι δημιούργησαν κυματογενή ρεύματα, τα οποία εξανάγκασαν το νεφέλωμα να διαχυθεί/διασπαρεί προς τα νότια, με αποτέλεσμα η θολερότητα στη θέση MV3 να μην είναι ιδιαίτερα αυξημένη. Στο «μακρινό πεδίο» των συγκεκριμένων εκσκαφών/βυθοκορήσεων, που αντιπροσωπεύεται από τις θέσεις MV7 και MV8, η θολερότητα δεν ξεπέρασε την τιμή των 1,4 και 2,8 FTU, αντίστοιχα.



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 7: Σχηματική αναπαράσταση της διασποράς/διάχυσης του παραγόμενου νεφελώματος από τις εργασίες εκσκαφής/βυθοκόρησης της 15^{ης} Ιουλίου 2021. Για τις θέσεις των μετρήσεων βλέπε την Εικόνα 3

Στο νοτιοανατολικό άκρο του προσήνεμου μόλου πραγματοποιείτο καθαίρεση των φυσικών ασύνδετων ογκολίθων και τοποθέτησή αυτών στον παρακείμενο θαλάσσιο χώρο με χρήση πλωτής αρπάγης (δαγκάνας), προκαλώντας περιορισμένη επαναιώρηση ιζημάτων και δημιουργία ήπιου νεφελώματος. Στο «κοντινό πεδίο» των εν λόγω εργασιών (θέση MV12), η θολερότητα ήταν < 5 FTU (μέγιστη τιμή 7,6 FTU) στο επιφανειακό υδάτινο στρώμα (μέχρι βάθος 4 m) και < 5 FTU (ελάχιστη τιμή 2,3 FTU) στο βαθύτερο στρώμα (σε βάθος 4-8 m) (Εικόνα 5). Στις θέσεις MV10 και MV11 που βρίσκονταν στο «μακρινό πεδίο», σε απόσταση τουλάχιστον 100 m από την πλωτή αρπάγη, η θολερότητα στην υδάτινη στήλη κυμαίνονταν από 0,6 μέχρι 1,8 FTU και από 0,5 μέχρι 1,7 FTU, αντίστοιχα, δηλώνοντας ότι η διασπορά/διάχυση του νεφελώματος ήταν περιορισμένη εντός των ορίων του έργου.

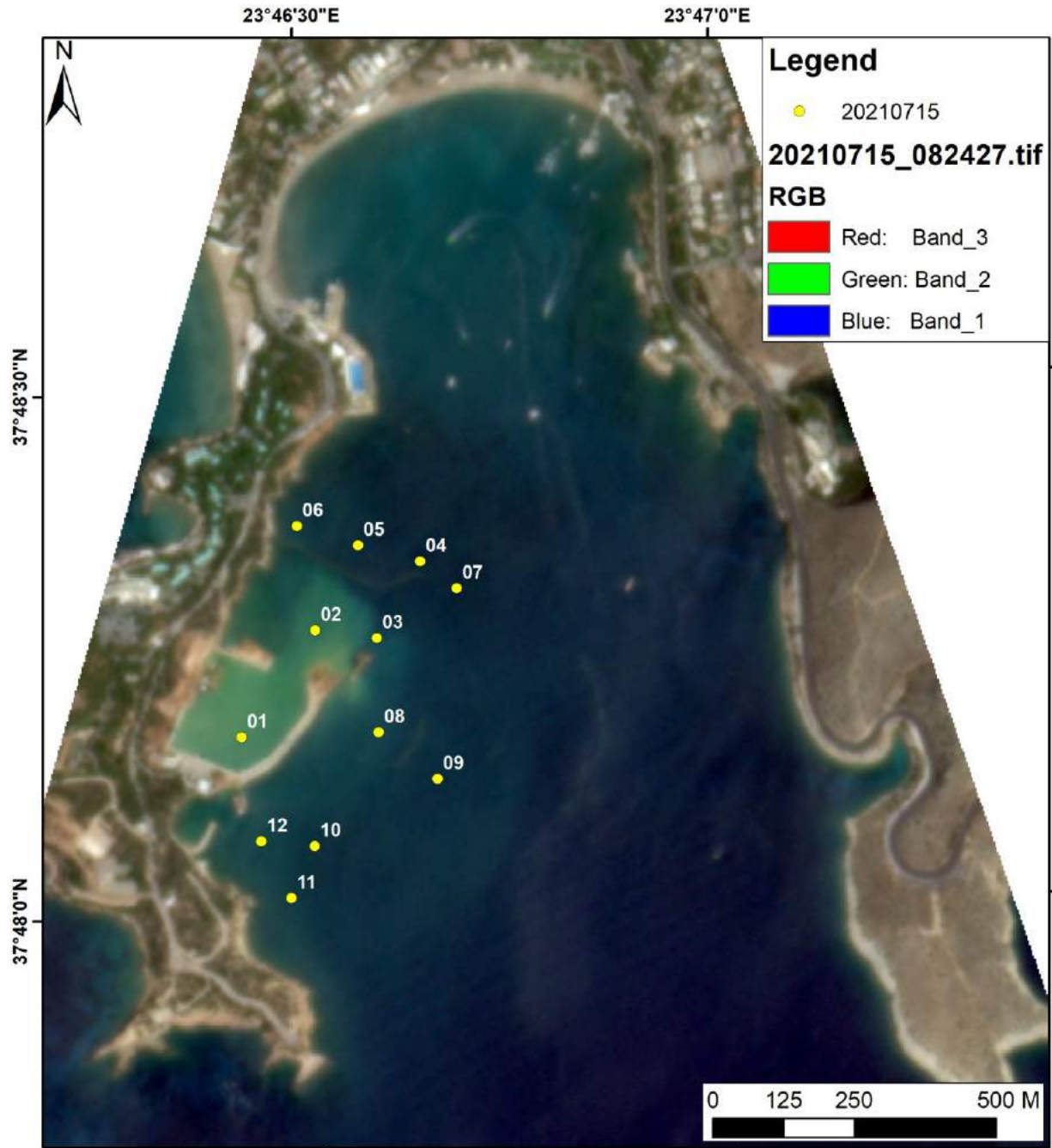
Τέλος, οι κατακόρυφες κατανομές θολερότητας στις θέσεις που βρισκόταν ανάντη των κουρτινών ιλύος (υδατοφραγμάτων) έδειξαν ότι το νεφέλωμα συγκρατείτο εντός των ορίων του έργου. Στις θέσεις MV04, MV05 και MV06 οι τιμές θολερότητας κυμαίνονταν από 0,65 έως 1,53 FTU (μέση τιμή $0,93 \pm 0,15$ FTU), από 0,76 έως 0,95 FTU (μέση τιμή $0,86 \pm 0,04$ FTU) και από 0,86 έως 3,00 FTU (μέση τιμή $1,47 \pm 0,71$ FTU), αντίστοιχα. Η σχετικά αυξημένες τιμές στη θέση MV06, πιθανώς να οφείλονται σε περιορισμένη διαφυγή του νεφελώματος από το δυτικότερο άκρο του βόρειου υδατοφράγματος. Στη θέση MV9 η διακύμανση της θολερότητας ήταν από 0,48 έως 1,85 FTU (μέση τιμή $0,93 \pm 0,44$ FTU).

Γενικά, οι μετρήσεις της θολερότητας έδειξαν ότι η διασπορά/διάχυση του νεφελώματος που παρήχθη από τις εργασίες εκσκαφής/βυθοκόρησης της 15^{ης} Ιουλίου 2021 περιορίστηκε εντός των ορίων του τεχνικού έργου. Σημαντικό ρόλο στη συγκράτηση των αιωρημάτων παίζει και η εγκατάσταση προστατευτικών κουρτινών ιλύος (silt curtains) στο τμήμα εισόδου/εξόδου της μαρίνας, όπως φαίνεται στη εναέρια φωτογραφία της Εικόνας 8.



Εικόνα 8: Εναέρια φωτογραφία που δείχνει τη συγκράτηση του παραγόμενου νεφελώματος από τις εργασίες εκσκαφής/βυθοκόρησης της 15^{ης} Ιουλίου 2021 στη βόρεια προστατευτική κουρτίνα ιλύος (silt curtains).

Επιπρόσθετα, από τη δορυφορική εικόνα που ελήφθη κατά τη διάρκεια των εργασιών εκβάθυνσης της 15^{ης} Ιουλίου 2021 (11:24 ώρα Ελλάδος) επιβεβαιώνεται ότι το επιφανειακό πλούμιο των επαναιωρούμενων ιζημάτων περιορίζεται εντός των ορίων του τεχνικού έργου και δεν διασκορπίζεται/διαχέεται στην ευρύτερη περιοχή του Όρμου Βουλιαγμένης (Εικόνα 9).



Εικόνα 9: Δορυφορική εικόνα της περιοχής του έργου της Μαρίνας Βουλιαγμένης που δείχνει τα όρια διασποράς/διάχυσης του επιφανειακού νεφελοειδούς στρώματος (πλουμίου), το οποίο προέκυψε από τις εργασίες βυθοκόρησης της 15^{ης} Ιουλίου 2021 (11:24 ώρα Ελλάδος).

Συμπεράσματα

Η θολερότητα που προέκυψε στην υδάτινη στήλη από τις εργασίες βυθοκόρησης στη Μαρίνα Βουλιαγμένης κατά την 15^η Ιουλίου 2021 παρουσιάστηκε πολύ αυξημένη εντός της λιμενολεκάνης και στη είσοδο αυτής. Ωστόσο, οι τιμές αυτές είναι ελάχιστα μεγαλύτερες των 30 FTU και εντοπίζονται σε περιοχή που προβλέπεται να τροποποιηθεί κατά τη διάρκεια του έργου. Επομένως, δεν αναμένεται να επηρεάσει αρνητικά το ποιοτικά φτωχό οικοσύστημα της λιμενολεκάνης.

Σε απόσταση 50-100 m από τα σημεία των ενεργών θέσεων εκσκαφής/βυθοκόρησης («κοντινά πεδία»), η θολερότητα δημιουργεί συνθήκες που χαρακτηρίζονται από «ικανοποιητικές» έως «ανεκτές» για τους θαλάσσιους οργανισμούς.

Επισημαίνεται ότι οι τιμές της θολερότητας που μετρήθηκαν στα «μακρινά πεδία», δηλαδή σε περιοχές που βρίσκονται σε απόσταση μεγαλύτερη των 100-150 m από τα σημεία ενεργής βυθοκόρησης, κυμάνθηκαν σε φυσιολογικά επίπεδα (<5 FTU) για παράκτια ύδατα, και θεωρούνται απόλυτα ασφαλείς για το τοπικό θαλάσσιο οικοσύστημα του Όρμου Βουλιαγμένης.

Τέλος, διαπιστώθηκε ότι το παραγόμενο από τις εργασίες βυθοκόρησης νεφέλωμα δεν διαχύθηκε προς το βόρειο και κεντρικό τμήμα του Όρμου Βουλιαγμένης, λόγω της παρουσίας των προστατευτικών κουρτινών ιλύος. Οι τιμές θολερότητας στις περιοχές εκτός των ορίων του έργου (θέσεις δειγματοληψίας MV4, MV5, MV6 και MV9) κυμαίνονταν από 0,5 έως 2,8 FTU, με την κατάσταση του ύδατος να χαρακτηρίζεται από «εξαιρετική» έως «φυσιολογική».

Βιβλιογραφία

- Bundgaard, K. (2020). Assessing and evaluating environmental turbidity limits for dredging. *Terra et Aqua*, 159, 27-42.
- Capello, M., Cutroneo, L., Ferranti, M. P., Budillon, G., Bertolotto, R. M., Ciappa, A., ... Tucci, S. (2014). Simulations of dredged sediment spreading on a *Posidonia oceanica* meadow off the Ligurian coast, Northwestern Mediterranean. *Marine pollution bulletin*, 79(1-2), 196-204.
- Clarke, D., Wilber, D. (2008). Compliance monitoring of dredging-induced turbidity: defective designs and potential solutions. In proceedings of the *Western Dredging Association 28th technical conference* (pp. 129-142).
- Houngnandan, F., Kéfi, S., Deter, J. (2020). Identifying key-conservation areas for *Posidonia oceanica* seagrass beds. *Biological Conservation*, 247, 108546.
- Kanellopoulos, T.D., Panagiotopoulos, I.P., Karageorgis, A.P., Kikaki, A., Morfis, I., Hatiris, G.A., Kapsimalis, V. (2020). Assessment of the physical impact of a short-term dredging operation on a semi-enclosed environment: South Euboean Gulf, Greece. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(1), 1-20.
- Li, C., Zhang, Y. H., Wu, X. X., Jiang, Y. S., Li, W. T., Zhang, P. D. (2021). Changes in survival and growth in response to different combinations of turbidity and duration in eelgrass *Zostera marina* plants. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 249, 107108.
- Luger, S.A., Schoonees, J.S., Mocke, G.P., Smit, F. (1998). Predicting and evaluating turbidity caused by dredging in the environmentally sensitive Saldanha Bay. In Proceedings of the *26th International Conference on Coastal Engineering*, Copenhagen, Denmark (Vol. 3, pp. 3561-3574). Reston: American Society of Civil engineers.
- McCaffrey, S., Catchment, N. (2018). Water Quality Parameters and Indicators. Waterwatch, New South Wales.
- Ruiz, J. M., Romero, J. (2003). Effects of disturbances caused by coastal constructions on spatial structure, growth dynamics and photosynthesis of the seagrass *Posidonia oceanica*. *Marine pollution bulletin*, 46(12), 1523-1533.
- van Rijn, L.C. (2019). Turbidity due to dredging and dumping of sediments. <https://www.leovanrijn-sediment.com/papers/Turbiditydredging2020.pdf>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

MV1		MV2		MV3		MV4		MV5		MV6	
Depth (m)	FTU (NTU)	Depth (m)	FTU (NTU)	Depth (m)	FTU (NTU)	Depth (m)	FTU (NTU)	Depth (m)	FTU (NTU)	Depth (m)	FTU (NTU)
1.13	10.90	1.31	5.64	1.40	5.60	1.13	1.01	1.22	0.88	1.22	0.94
1.22	11.20	1.49	5.67	1.49	5.82	1.31	1.03	1.31	0.82	1.31	0.89
1.40	10.99	1.58	5.24	1.58	6.25	1.40	1.07	1.58	0.82	1.49	0.90
1.40	11.44	1.58	5.15	1.67	6.04	1.40	1.06	1.67	0.83	1.58	0.95
1.49	11.11	1.67	5.10	1.84	5.57	1.58	1.05	1.84	0.84	1.58	0.92
1.75	11.12	1.84	5.06	2.11	6.06	1.58	0.98	2.02	0.86	1.75	0.89
1.93	12.25	2.02	4.74	2.20	6.09	1.67	1.05	2.11	0.83	2.02	0.98
2.11	11.31	2.02	4.78	2.46	6.58	1.84	1.03	2.20	0.93	2.20	0.99
2.29	11.52	2.02	4.80	2.73	7.25	2.02	1.07	2.46	0.85	2.37	1.00
2.46	11.89	2.20	5.17	2.91	8.53	2.20	1.04	2.73	0.82	2.55	0.98
2.73	12.69	2.37	4.92	2.99	9.46	2.37	0.99	2.99	0.83	2.82	1.00
2.91	12.92	2.11	4.89	3.26	9.60	2.55	1.01	3.17	0.86	2.99	0.98
3.08	12.69	2.46	5.68	3.53	8.54	2.82	0.98	3.53	0.87	3.26	1.00
3.26	13.66	2.64	6.12	3.70	5.48	3.08	1.02	3.70	0.85	3.53	0.98
3.53	14.66	2.82	6.27	3.88	4.63	3.26	1.00	3.88	0.84	3.62	1.08
3.70	17.26	2.91	8.08	4.24	3.47	3.53	0.97	3.97	0.84	3.88	1.02
3.88	16.87	3.08	9.83	4.41	3.92	3.70	0.98	4.32	0.85	4.15	0.97
4.24	18.39	3.17	13.72	4.59	4.04	4.06	0.97	4.50	0.86	4.41	1.02
4.50	22.90	3.35	15.94	4.86	3.66	4.15	0.98	4.77	0.83	4.59	1.01
4.77	22.69	3.44	15.98	5.12	3.41	4.41	1.00	5.12	0.87	4.86	1.04
4.94	23.56	3.44	15.01	5.39	3.47	4.59	1.02	5.48	0.87	5.12	1.34
5.12	24.38	3.53	16.71	5.65	3.28	4.77	0.96	5.65	0.84	5.39	1.59
5.39	23.54	3.62	18.49	5.92	3.81	5.03	1.00	6.01	0.88	5.74	1.68
5.57	24.98	3.79	18.23	6.19	3.74	5.21	0.97	6.19	0.87	6.01	1.70
5.74	25.69	3.79	18.52	6.45	4.68	5.39	0.98	6.45	0.87	6.27	1.93
5.92	26.87	3.88	20.50	6.81	4.42	5.48	1.00	6.54	0.93	6.63	2.68
6.19	27.32	4.06	24.80	7.07	3.74	5.57	0.99	6.81	0.95	6.81	2.83
6.36	28.11	4.15	24.99	7.34	3.88	5.65	1.02	6.98	0.90	6.81	2.86
6.63	27.55	4.32	24.99	7.52	3.60	5.74	1.01	7.25	0.87	6.81	3.00
6.72	28.38	4.41	24.99	7.87	3.42	5.92	1.02	7.60	0.89	6.81	2.58
6.89	28.21	4.41	24.99	8.14	3.21	6.19	1.03	7.96	0.93	6.81	2.00
6.89	28.06	4.59	24.99	8.40	3.24	6.27	1.08	8.14	0.88	6.81	2.27
6.89	29.58	4.68	24.99	8.76	3.05	6.45	1.10	8.40	0.82	6.89	2.47
6.89	30.21	4.68	22.01	9.02	2.91	6.63	0.94	8.67	0.82		
6.98	32.61	4.86	24.99	9.29	2.14	6.72	0.86	8.93	0.82		
		5.03	25.68	9.55	2.26	6.81	0.82	9.02	0.76		
		5.03	26.32	9.91	2.28	6.98	0.78	9.20	0.78		
		5.12	26.87	10.17	2.85	7.34	0.75	9.20	0.91		
		5.39	28.22	10.44	9.45	7.43	1.53	9.29	0.91		
		5.48	29.87	10.71	13.85	7.52	0.77	9.29	0.92		
		5.65	31.28	11.06	11.29	7.60	0.81	9.38	0.92		
		5.74	32.54	11.33	11.51	7.78	0.78				
		5.83	33.87	11.50	11.34	8.05	0.73				
		5.92	32.91	11.86	15.72	8.22	0.75				
		5.92	33.81	11.95	15.42	8.49	0.78				
		6.10	34.99			8.67	0.75				
		6.19	35.88			8.84	0.72				
		6.27	36.97			8.93	0.84				
		6.36	35.77			9.11	0.75				
		6.36	34.99			9.11	0.65				
		6.36	36.19			9.38	0.71				

6.45	38.21
6.54	38.54
6.72	38.11
6.81	39.26
6.89	39.12
6.98	38.63
6.98	39.44
6.98	39.08
6.98	38.62
6.98	38.03
7.07	39.22

9.64	0.71
9.82	0.70
9.82	0.71
9.91	0.78

MV7		MV8		MV9		MV10		MV11		MV12	
Depth (m)	FTU (NTU)	Depth (m)	FTU (NTU)	Depth (m)	FTU (NTU)	Depth (m)	FTU (NTU)	Depth (m)	FTU (NTU)	Depth (m)	FTU (NTU)
1.49	0.76	1.40	1.59	1.49	1.14	1.31	1.65	1.49	1.53	1.31	7.39
1.67	0.77	1.58	1.62	1.58	1.11	1.40	1.70	1.75	1.62	1.40	7.57
1.75	0.79	1.67	1.69	1.67	1.18	1.58	1.60	2.02	1.52	1.49	7.27
1.93	0.76	1.75	1.63	1.75	1.14	1.75	1.58	2.11	1.56	1.75	7.09
2.11	0.75	1.93	1.71	1.75	1.24	1.84	1.59	2.11	1.59	1.93	7.24
2.20	0.80	2.02	1.86	2.02	1.07	1.93	1.66	2.46	1.56	2.11	6.86
2.29	0.72	2.20	1.71	2.11	1.12	2.02	1.58	2.64	1.56	2.37	7.08
2.46	0.75	2.37	1.75	2.20	1.09	2.20	1.59	2.82	1.53	2.64	6.50
2.64	0.76	2.46	1.80	2.29	1.14	2.29	1.63	3.17	1.47	2.99	6.64
2.91	0.73	2.64	1.78	2.46	1.29	2.37	1.61	3.35	1.52	3.26	6.40
3.08	0.78	2.82	1.79	2.73	1.36	2.46	1.59	3.70	1.60	3.44	7.02
3.26	0.71	3.08	1.98	2.91	1.38	2.64	1.58	3.97	1.51	3.70	5.17
3.53	0.72	3.17	2.13	3.17	1.33	2.91	1.69	4.32	1.53	4.06	5.12
3.79	0.75	3.17	1.91	3.26	1.34	3.17	1.65	4.50	1.51	4.32	3.96
4.06	0.76	3.26	1.97	3.53	1.39	3.35	1.61	4.59	1.55	4.68	3.31
4.32	0.73	3.53	2.16	3.70	1.50	3.44	1.69	4.86	1.55	4.94	3.83
4.50	0.77	3.70	2.17	3.97	1.43	3.79	1.68	5.12	1.53	5.21	2.80
4.68	0.92	3.79	1.97	4.15	1.53	3.97	1.65	5.48	1.59	5.57	2.67
4.86	0.79	3.97	2.58	4.41	1.52	4.15	1.58	5.65	1.58	5.83	2.61
5.12	0.80	4.32	2.65	4.59	1.46	4.24	1.69	5.83	1.55	6.19	2.32
5.21	0.83	4.50	2.62	4.77	1.56	4.41	1.67	6.01	1.55	6.54	2.44
5.39	0.81	4.59	2.65	5.03	1.85	4.68	1.61	6.27	1.57	6.81	3.52
5.74	1.14	4.68	2.71	5.30	1.65	4.86	1.62	6.54	1.60	7.25	3.80
6.01	1.22	4.68	2.80	5.48	1.67	4.94	1.76	6.81	1.54	7.60	3.35
6.27	1.37	4.68	2.42	5.65	1.72	5.12	1.60	6.98	1.57	7.96	2.33
6.54	1.36	4.86	2.66	5.83	1.80	5.21	1.49	7.16	1.58		
6.72	1.27	5.12	2.62	5.92	1.70	5.48	1.37	7.34	1.60		
7.07	1.20	5.30	2.41	6.27	1.74	5.74	1.26	7.52	1.61		
7.25	1.01	5.48	2.08	6.54	1.51	6.01	1.14	7.78	1.65		
7.52	1.00	5.65	1.91	6.89	1.39	6.27	1.17	7.96	1.53		
7.60	0.95	6.01	1.64	7.25	1.37	6.45	1.16	8.22	1.40		
7.78	0.95	6.19	1.35	7.52	1.22	6.63	1.18	8.40	1.56		
8.05	0.86	6.36	1.67	7.78	0.95	6.89	1.20	8.58	1.33		
8.22	0.95	6.63	1.07	8.14	0.89	7.16	0.87	8.84	1.35		
8.76	0.86	6.98	0.92	8.49	0.79	7.43	0.78	9.02	1.26		
9.11	0.71	7.25	0.88	8.84	0.74	7.52	0.84	9.11	1.29		
9.38	0.76	7.52	0.74	9.29	0.75	7.78	0.81	9.38	1.14		
9.55	0.75	7.78	0.76	9.64	0.55	8.05	0.65	9.55	0.62		
9.82	0.76	7.96	0.74	9.82	0.57	8.31	0.70	9.82	0.53		
10.00	0.75	8.14	0.74	10.17	0.54	8.40	0.68	10.17	0.53		
10.26	0.73	8.40	0.73	10.35	0.53	8.49	0.62	10.26	0.51		
		8.58	0.75	10.62	0.57	8.67	0.75	10.35	0.52		
		8.76	1.01	10.97	0.53	8.76	0.71	10.44	0.51		
		9.02	0.66	11.15	0.53	8.76	0.75	10.44	0.50		
		9.11	0.65	11.33	0.53	8.76	0.67	10.44	0.50		
		9.20	0.64	11.68	0.53	8.76	0.73	10.44	0.71		
		9.47	0.63	12.04	0.56	8.76	0.71	10.44	0.50		
		9.55	0.64	12.30	0.60	8.76	0.68	10.44	0.56		
		9.82	0.67	12.57	0.59	8.84	0.85	10.44	0.57		
		9.91	0.65	12.83	0.64	8.84	0.65	10.44	0.60		
		10.00	0.61	13.19	0.67	8.76	0.66	10.44	0.52		
		10.00	0.62	13.37	0.59	8.84	0.59	10.44	0.54		
		10.26	0.62	13.72	0.64	8.84	1.14	10.44	0.51		
		10.44	0.64	13.99	0.56	8.93	0.59	10.53	0.46		

10.71	0.68	14.25	0.52	8.93	0.67
10.97	0.66	14.52	0.51	8.93	0.60
10.97	0.66	14.70	0.64	8.84	0.61
11.06	0.62	14.87	0.53	8.93	0.61
11.42	0.70	14.96	0.48	8.93	0.66
11.59	0.67	15.14	0.52	8.84	0.65
11.68	0.69	15.32	0.51	8.93	0.65
11.86	0.68	15.40	0.54	8.84	0.61
12.12	0.82	15.58	0.55	8.93	0.69
12.30	0.73	15.67	0.51	8.93	0.65
12.57	0.79	15.85	0.51	8.84	0.62
12.83	0.86	15.94	0.56	8.84	0.62
12.92	0.70	16.03	0.51	8.93	0.57
13.10	0.65	16.11	0.59	8.76	0.59
13.19	0.96	16.29	0.55	8.93	0.59
13.19	0.93	16.47	0.54	8.93	0.59
13.28	0.95	16.65	0.56	8.84	0.73
		16.73	0.55	8.93	0.59
		17.00	0.55	8.93	0.59
		17.27	0.59	8.93	0.75
		17.53	0.50	9.02	0.64
		17.62	0.59		
		17.71	0.65		