

“ΕΛΕΥΘΕΡΟ” ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΥΔΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ, ΠΑΡΑΚΤΙΑΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ & ΩΚΕΑΝΟΓΡΑΦΙΑΣ

Μακρής Χ.Β., Κρεστενίτης Γ.Ν.

Εργαστήριο Θαλάσσιας Τεχνικής & Θαλάσσιων Έργων, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών,

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, ynkerst@civil.auth.gr

Περίληψη

Μία σύγχρονη, εκπαιδευτικού τύπου, απαίτηση αποτελεί η διαμόρφωση εύχρηστου λογισμικού, το οποίο να βασίζεται σε υπάρχουσες καθιερωμένες επιστημονικές μεθόδους ανάλυσης των πολύπλοκων διεργασιών, οι οποίες σχετίζονται με τα αντικείμενα της θαλάσσιας υδροδυναμικής, της παράκτιας τεχνικής και της επιχειρησιακής ωκεανογραφίας. Σε αυτό το πλαίσιο αναπτύχθηκε μία σειρά “ελεύθερων” υπολογιστικών εφαρμογών από το Εργαστήριο Θαλάσσιας Τεχνικής & Θαλάσσιων Έργων του Τ.Π.Μ. του Α.Π.Θ., σχετικά με μονοχρωματικούς και σύνθετους κυματισμούς, στερεομεταφορά παράκτιου ιζήματος, μετεωρολογική παλίρροια, τσουνάμι και στάσιμα κύματα. Κυρίαρχος στόχος είναι η υποβοήθηση των μελών Δ.Ε.Π. στη μετάδοση της γνώσης στα συναφή επιστημονικά πεδία και η διευκόλυνση των αντίστοιχων φοιτητών στην κατανόηση της θεωρίας και στην απόδοση ικανοποιητικών αποτελεσμάτων σε απλές συναφείς εφαρμογές.

Λέξεις κλειδιά: εύχρηστες υπολογιστικές εφαρμογές, κυματισμοί, μετεωρολογική παλίρροια, παράκτιο ίζημα, τσουνάμι.

“FREE” EDUCATIONAL SOFTWARE ON MARITIME HYDRODYNAMICS, COASTAL ENGINEERING & OCEANOGRAPHY

Makris C. V., Krestenitis Y. N.

Laboratory of Maritime Engineering & Maritime Works, Department of Civil Engineering,

Aristotle University of Thessaloniki, ynkrestl@civil.auth.gr

Abstract

One of today's, educational type, demands is the development of handy software based upon existing established scientific methods of analysis of the complicated processes related to the subjects of maritime hydrodynamics, coastal engineering and operational oceanography. In this framework, a series of “freeware” computational applications was developed by the Laboratory of Maritime Engineering & Maritime Works of the Dept. of Civil Engineering in A.U.Th., concerning monochromatic and irregular waves, sediment transport, storm surges, tsunamis and seiches. Primary goal is the assistance of teaching and educational university staff in communicating knowledge on related scientific fields and the facilitation of students on the conception of theory and implementation of rather simple relative applications.

Keywords: handy computational applications, waves, coastal sediment, storm surge, tsunami.

1. Εισαγωγή

Το θαλάσσιο περιβάλλον αποτελούσε πάντοτε προκλητικό πεδίο έρευνας, λόγω της εξαιρετικής πολυπλοκότητας των φυσικών διεργασιών, οι οποίες λαμβάνουν χώρα σε αυτό. Αντίστοιχα περίπλοκες είναι η μαθηματική θεωρία και οι υπολογιστικές εφαρμογές της, οι οποίες αφορούν στο αντικείμενο της θαλάσσιας υδροδυναμικής, της παράκτιας τεχνικής και της επιχειρησιακής ωκεανογραφίας. Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται έντονα η ανάγκη ανάπτυξης “ελεύθερου” λογισμικού για την εφαρμογή απλών μεθόδων περιγραφής των διεργασιών, οι οποίες λαμβάνουν χώρα στην παράκτια ζώνη αλλά και στην ανοιχτή θάλασσα. Ταυτόχρονα τίθεται το ζήτημα, αυτές να βασίζονται σε κλασσικές και δοκιμασμένες αναλυτικές μεθόδους, ώστε να καλύπτουν απαιτήσεις κύρια εκπαιδευτικού και παράλληλα επιχειρησιακού χαρακτήρα.

Σε αυτό το πλαίσιο αναπτύχθηκε μία σειρά “ανοιχτών” υπολογιστικών εφαρμογών σε μορφή αρ-

χείων “.xls” από το Εργαστήριο Θαλάσσιας Τεχνικής & Θαλάσσιων Έργων του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του Αριστοτέλειου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης. Τα προγράμματα απευθύνονται κατά κύριο λόγο σε προπτυχιακούς και μεταπτυχιακούς φοιτητές των διαφόρων πανεπιστημιακών σχολών με συνάφεια επιστημονικού αντικειμένου, καθώς και σε επιστήμονες, ερευνητές, καθηγητές και μελετητές μηχανικούς, οι οποίοι ενδιαφέρονται να πάρουν γρήγορα και εύκολα προκαταρκτικά αποτελέσματα και εκτιμήσεις σε απλές εκφάνσεις ζητημάτων θαλάσσιας υδραυλικής, παράκτιας τεχνικής, ακτομηχανικής, λιμενικών έργων και ωκεανογραφίας. Τα παραπάνω αποτελέσματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν, εκτός των άλλων, ως βάση σύγκρισης με πιο σύνθετες μεθόδους υπολογιστικής προσομοίωσης. Το απαραίτητο επίπεδο γνώσεων για τη χρήση των προγραμμάτων είναι αυτό ενός προπτυχιακού φοιτητή με βασικές γνώσεις στα παραπάνω επιστημονικά πεδία. Σε ορισμένα σημεία απαιτείται πιο προχωρημένη γνώση ειδίκευσης, π.χ. τελειόφοιτου ή μεταπτυχιακού φοιτητή σε αντίστοιχες σχολές.

2. Λογισμικό

Το σύνολο των εφαρμογών έχει χωριστεί σε διακριτά θεματικά πακέτα και μπορεί να εντοπιστεί στην ηλεκτρονική διεύθυνση: <http://edusoft.civil.auth.gr>. Το πρώτο πακέτο λογισμικού (Monochromatic Waves) περιλαμβάνει εφαρμογές (RLWC, RWBC, RLWLAC) σχετικές με τον υπολογισμό των χαρακτηριστικών μονοχρωματικών κυματισμών στο θαλάσσιο περιβάλλον. Το δεύτερο πακέτο (Irregular Waves: IWC, IWBC, WSFC) σχετίζεται με την πρόγνωση των στοιχείων ενεργειακού φάσματος σύνθετων κυματισμών και τον υπολογισμό των αντίστοιχων χαρακτηριστικών τους. Το τρίτο πακέτο (Seiches, Storm Surge & Tsunami: SWC, SSC, SC) αφορά σε εφαρμογές υπολογισμού μοναχικού κύματος (solitary wave) τύπου τσουνάμι, κύματος καταγίδας (μετεωρολογικής παλίρροιας) και στάσιμου κύματος σε ανοιχτές και κλειστές λεκάνες με μικρές (π.χ. λιμενολεκάνες) ή μεγάλες διαστάσεις (π.χ. λιμνοθάλασσες). Το τέταρτο πακέτο (Sediment Transport) περιλαμβάνει αρχεία (PBFWDC, DoCC, LSTC, SEaSGC) υπολογισμού χαρακτηριστικών μεγεθών, τα οποία σχετίζονται με την επίδραση μη συνεκτικού πυθμενικού ιζήματος στο υδροδυναμικό πεδίο της παράκτιας ζώνης και αντίστροφα.

3. Μεθοδολογία – Αποτελέσματα

3.1 ΠΑΚΕΤΟ “MONOCHROMATIC WAVES”

Το πρόγραμμα RLWC υπολογίζει τα χαρακτηριστικά μονοχρωματικού γραμμικού κυματισμού σε τυχαίο βάθος, με βάση τα στοιχεία του στα βαθιά. Λαμβάνεται υπόψη η προέλαση και ο αντίστοιχος μετασχηματισμός του κύματος λόγω ρήχωσης, με βάση τη γραμμική θεωρία (Airy) και διάθλασης, με βάση το νόμο του Snell. Χρησιμοποιούνται κριτήρια θραύσης για τον περιορισμό του ύψους κύματος κατά τη ρήχωση από McCowan (1891) και Κουτίτα (1994). Εκτός των κλασικών χαρακτηριστικών του κύματος (μήκος, ύψος, φασική ταχύτητα κύματος, κυματαριθμός, ταχύτητα ομάδας, κτλ), υπολογίζονται διάφορες παράμετροι διασποράς και μη γραμμικότητας του κύματος, χαρακτηριστικές τιμές ενέργειας, πίεσης, τάσεων ακτινοβολίας, ταχύτητας μορίων πυθμένα και ρεύματος μεταφοράς μάζας κατά Stokes.

Για πιο ενδελεχή αποτύπωση της διεργασίας της θραύσης μονοχρωματικών κυματισμών λόγω ρήχωσης, προτείνεται το πρόγραμμα RWBC. Το τελευταίο υπολογίζει το βάθος της Γραμμής Θραύσης (ΓΘ) και τα χαρακτηριστικά του κύματος στην περιοχή, με βάση τα στοιχεία του κύματος στα βαθιά, με επιπρόσθετο κριτήριο κατά Weggel (1972). Ο ρητός υπολογισμός του ύψους κύματος στη ΓΘ βασίζεται στους Munk (1949) και Komar & Caughan (1973). Ως αποτελέσματα παρέχονται το ύψος κύματος στη ΓΘ και το βάθος της, ο τύπος του θραυόμενου κυματισμού, το πλάτος της Ζώνης

Θραύσης (ΖΘ) και η μέση ανύψωση της Μέσης Στάθμης Θάλασσας (ΜΣΘ) λόγω κύματος στην ακτογραμμή κατά Dean & Dalrymple (1984).

Επιπρόσθετα στο πρόγραμμα RLWLAC επιχειρείται η σύγκριση διαφόρων αναλυτικών προσεγγιστικών μεθόδων υπολογισμού του μήκους μονοχρωματικού γραμμικού κύματος, μεταξύ τους, αλλά και με την αναδρομική αναλυτική σχέση, η οποία προκύπτει από τη γραμμική εξίσωση διασποράς. Γίνεται χρήση πέντε ρητών αναλυτικών σχέσεων που βασίζονται στις αντίστοιχες εργασίες των Eckart, Hunt, Nielsen, Fenton (CEM, 2002) και Guo (2002). Παράλληλα υπολογίζεται το ποσοστό λάθους της κάθε μεθόδου και αποτιμάται η καταλληλότητά της.

3.2 ΠΑΚΕΤΟ “IRREGULAR WAVES”

Το πρόγραμμα WSFC εκτελεί πρόγνωση των φασματικών χαρακτηριστικών σύνθετων κυματισμών με τη χρήση αναλυτικών εκφράσεων από τρεις τύπους ενεργειακών φασμάτων, βάσει της διάρκειας πνοής ανέμου, της ταχύτητας ανέμου και του ενεργού αναπτύγματος πελάγους (fetch). Τα φάσματα είναι τύπου Pierson-Moskowitz (για πλήρως αναπτυγμένους κυματισμούς), Jonswap (για σύνθετους κυματισμούς χωρίς πλήρη ανάπτυξη) και SMB, όπως παρουσιάζονται από τον Κουτίτα (1994). Με την παραδοχή ότι η κατανομή των υψών κύματος ακολουθεί την κατανομή Rayleigh, υπολογίζονται τα χαρακτηριστικά σύνθετων κυματισμών στα βαθιά (σημαντικό ύψος και περίοδος κορυφής ενεργειακού φάσματος, μέσο τετραγωνικό, μέσο και μέγιστο ύψος, μέσος όρος του 1/10 και 1/100 των μέγιστων τιμών υψών καταγραφής ακολουθίας κυμάτων, οι αντίστοιχες περίοδοι κτλ). Επίσης δίνονται ενδεικτικά στατιστικά στοιχεία με βάση την κλασική θεωρία ενεργειακών φασμάτων (Κουτίτας, 1994 - Goda, 1985).

Το πρόγραμμα IWC υπολογίζει τα χαρακτηριστικά ακολουθίας κυματισμών σε τυχαίο βάθος, με βάση τα στοιχεία του στα βαθιά σύμφωνα με τη φασματική θεωρία του Goda (1985). Χρησιμοποιούνται τα ίδια κριτήρια θραύσης και παρέχονται τα ίδια αποτελέσματα όπως και στο RLWC. Για την περίπτωση μη θραυόμενων κυματισμών και παραδοχής κατανομής υψών κύματος κατά Rayleigh, υπολογίζονται τα χαρακτηριστικά ακολουθίας κυματισμών, όπως στο WSFC.

Ακόλουθα η ενδελεχής περιγραφή της θραύσης σύνθετων κυματισμών λόγω ρήχωσης γίνεται με το πρόγραμμα IWBC, το οποίο υπολογίζει τα χαρακτηριστικά μεγέθη της κορεσμένης ΖΘ, με βάση τα στοιχεία των κυμάτων στα βαθιά. Γίνεται χρήση τριών κριτηρίων θραύσης κατά Thornton & Guza (1983), Miche (1951) και Goda (1985). Για το ρητό υπολογισμό του ύψους κύματος στη ΓΘ γίνεται χρήση των μεθόδων του RWBC, ενώ ειδικά για τις μεθόδους των Miche (1951) και Goda (1985) δίνεται η εναλλακτική της επαναληπτικής διαδικασίας υπολογισμού. Τα αποτελέσματα που παρέχει το πρόγραμμα είναι όμοια με αυτά του RWBC με την προσθήκη της μέσης ανύψωσης της ΜΣΘ, λόγω διακροτήματος εντός ΖΘ (Surf Beat).

3.3 ΠΑΚΕΤΟ “SEICHES, STORM SURGE & TSUNAMI”

Το πρόγραμμα SWC υπολογίζει τα χαρακτηριστικά Μοναχικού Κύματος (MK), τύπου τσουνάμι, γνωστού ύψους που προελαύνει σε τυχαίο βάθος (Κουτίτας, 1994) σε συνδυασμό με κριτήρια θραύσης κατά McCowan (1891) και SPM (1984), για τον περιορισμό του ύψους του MK στα ρηχά. Υπολογίζονται όλα τα βασικά χαρακτηριστικά (ύψος, μήκος, κυματαριθμός) καθώς και η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας στην ελεύθερη επιφάνεια (ΕΕ), η ενέργεια ανά μέτρο πλάτους στο σύνολο του μήκους κύματος, ο όγκος νερού πάνω από τη ΜΣΘ, η διαφορά πίεσης στον πυθμένα, ο αριθμός Ursell και η ανύψωση της ΕΕ σε τυχαία απόσταση και χρόνο.

Το πρόγραμμα SC επιχειρεί την καταγραφή των χαρακτηριστικών στάσιμου κύματος σε ανοιχτή και κλειστή θαλάσσια λεκάνη σταθερού βάθους για τυχαίες χαρακτηριστικές διαμήκεις και εγκάρσιες διαστάσεις αυτής και τυχαία περίοδο κυματικής διέγερσης (Κουτίτας, 1994 – CEM, 2002).

Υπολογίζονται οι ιδιοπερίοδοι ταλάντωσης και ελέγχεται η περίπτωση συντονισμού με ορισμένο όριο ασφαλείας για την απόκλιση από την τιμή της εξωτερικής διέγερσης αλλά και των (υπο)διπλάσιων τιμών αυτής. Συνεκδοχικά προτείνεται ενδεικτική κατασκευαστική λύση μεγέθυνσης ή βράχυνσης των διαστάσεων της λεκάνης για την αποφυγή συνθηκών συντονισμού.

Το πρόγραμμα SSC υπολογίζει την ανύψωση της ΜΣΘ λόγω πνοής πολύ ισχυρών ανέμων θύελλας ή τυφώνα πάνω από υφαλοκρηπίδα με σταθερό βάθος ή με ομοιόμορφη γραμμική κλίση πυθμένα και βασίζεται στην απλουστευμένη θεωρία των Dean & Dalrymple (1984). Η εν λόγω ανύψωση μπορεί να υπολογιστεί σε οποιαδήποτε οριζόντια απόσταση από το πέρας της υφαλοκρηπίδας προς την ακτογραμμή. Η τριβή και η διατμητική τάση στη διεπιφάνεια αέρα νερού γίνεται με βάση τις μεθόδους των Van Dorn (Dean & Dalrymple, 1984), Krylov (Massel, 1989) και Smith & Banke (1975). Η τριβή πυθμένα υπολογίζεται μέσω ενός συντελεστή τύπου Darcy-Weisbach και λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της δύναμης Coriolis.

3.4 ΠΑΚΕΤΟ "SEDIMENT TRANSPORT"

Το πρόγραμμα PBFWDC υπολογίζει τις ενεργειακές απώλειες κυματισμού, λόγω τριβής σε πορώδη πυθμένα και την αντίστοιχη μείωση του ύψους κύματος, το οποίο προελαύνει σε θάλασσα σταθερού βάθους για τυχαία απόσταση. Γίνεται χρήση των μεθόδων των Reid & Kajiwara, του Liu και της ανάλυσης του Lorentz, όπως αυτές παρουσιάζονται από τους Dean & Dalrymple (1984). Για τη μέθοδο κατά Lorentz χρησιμοποιούνται τέσσερα μοντέλα τριβής σε στερεό πυθμενικό όριο, λόγω τραχείας τυρβώδους ροής, των Nielsen, Swart, Jonsson και Soulsby (Dingemans, 1997). Επιπρόσθετα το πρόγραμμα υπολογίζει το ρυθμό ενεργειακών απωλειών λόγω τριβής στον πορώδη πυθμένα και επιρροής του οριακού στρώματος, τη διαφορά φάσης λόγω διασποράς σε τυχαία απόσταση και την οριζόντια ταχύτητα μορίων πυθμένα λόγω επιρροής πορώδους πυθμένα.

Το πρόγραμμα DoCC υπολογίζει το τερματικό βάθος μηδενικής αιώρησης ιζήματος, λόγω κυματισμών, με βάση εμπειρικές τιμές και αναλυτικούς ημι-εμπειρικούς τύπους από τον Wells, τον Vellinga, τους Walton & Chiu, τον Hallermeier, τον Birkemeier, τον Hands, τους Hanson & Kraus (CEM, 2002) και μία υπερ-συντηρητική εκτίμηση κατά Swart & Flemming (1980). Ως δεδομένα εισάγονται τα χαρακτηριστικά του κύματος στα βαθιά, το ενεργό σημαντικό ύψος κύματος (συχνότητας εμφάνισης $12\text{hrs/year}=0.137\%$), το μέσο ετήσιο σημαντικό ύψος κύματος, η τυπική απόκλιση του τελευταίου και η κοκκομετρία του πυθμένα.

Το πρόγραμμα LSTC υπολογίζει την κατά μήκος της ακτής (κμα) στερεοπαροχή ιζήματος τυχαίας τυπικής διαμέτρου κόκκων, λόγω κυματογενούς ρεύματος. Γίνεται χρήση δύο μεθόδων. Πρώτη είναι αυτή της ροής της κυματικής ενέργειας εντός ΖΘ, η οποία προτείνεται από το CERC του USACE, όπως αυτή παρουσιάζεται στους Κουτίτα (1994), CEM (2002) και Kamphuis *et al.* (1986). Η δεύτερη μέθοδος είναι αυτή του παράκτιου ρεύματος εντός ΖΘ κατά Longuet-Higgins (1970). Τα απαραίτητα δεδομένα εισαγωγής είναι τα στοιχεία του κύματος στη ΓΘ, η συχνότητα εμφάνισης κυματικών συνθηκών ανά μονάδα χρόνου, τα χαρακτηριστικά των κόκκων του πυθμενικού ιζήματος και της ροής γύρω από αυτά, η ταχύτητα παράκτιου ρεύματος εντός ΖΘ από μετρήσεις και η απόσταση διεξαγωγής των τελευταίων. Το πρόγραμμα συνολικά υπολογίζει την κμα ροή της κυματικής ενέργειας (ισχύς κύματος), τη θεωρητική στερεοπαροχή, δηλαδή το ρυθμό στερεομεταφοράς όγκου ιζήματος ανά μονάδα χρόνου και την παροχή (ρυθμό στερεομεταφοράς) βυθισμένου βάρους ιζήματος.

Το πρόγραμμα SEaSGC επιχειρεί τον υπολογισμό και την περιγραφή της μεταβολής της ακτογραμμής, λόγω της ύπαρξης μοναχικού αδιαπέρατου προβόλου (κάθετο στην ακτή έργο προστασίας). Επιχειρείται η αποτύπωση του σχήματος της ακτογραμμής για τυχαίο χρόνο και μήκος προβόλου και δεδομένη στερεοπαροχή, με τη μέθοδο Pelnard-Considère (1956). Υπολογίζεται επίσης

ο χρόνος πλήρωσης ανάντι του προβόλου με ίζημα μέχρι την παράκαμψη του από το πυθμενικό υλικό και τα αντίστοιχα προηγούμενα στοιχεία για αυτόν το χρόνο. Ως δεδομένα στην ανάλυση εισάγονται τα στοιχεία του θραυόμενου κυματισμού, η συχνότητα εμφάνισής τους, το μήκος του προβόλου, χαρακτηριστική τιμή διαμέτρου κόκκων ιζήματος, το τερματικό βάθος αιώρησης ιζήματος (DoCC) και η κμα στερεοπαροχή (LSTC).

4. Σχόλια

Καταλήγοντας συμπεραίνουμε, ότι επιχειρείται μία πρωτότυπη απόπειρα, για τα ελληνικά δεδομένα, να διαμορφωθεί ένα ευρύ πακέτο απλών, εύχρηστων και “ανοιχτών” υπολογιστικών εφαρμογών, πάνω στα επιστημονικά πεδία της θαλάσσιας υδροδυναμικής και ωκεανογραφίας. Προσεχείς προσπάθειες περιλαμβάνουν πιο εκλεπτυσμένες εφαρμογές, οι οποίες επικεντρώνονται, εκτός των παραπάνω, σε θέματα διάλυσης, λόγω διάχυσης και διασποράς λυμάτων εκροής από αγωγό και διαχυτήρα, απλών μοντέλων τεχνητής τροφοδότησης ακτής με ίζημα, μορφοδυναμικής αποτύπωσης απλού εγκάρσιου παράκτιου προφίλ, διαστασιολόγησης ήπιων (π.χ. ύφαλων) έργων προστασίας ακτής, πλημμύρας λόγω υπερπήδησης παράκτιων κατασκευών, υπολογισμού μακρών κυματισμών τύπου “edge wave”, πρόγνωσης παλίρροιας, παλιρροιακής απόκρισης κλειστού κόλπου, ανύψωσης ΜΣΘ λόγω χαμηλού βαρομετρικού, υπολογισμού καταστατικής εξίσωσης της UNESCO για πυκνότητα – θερμοκρασία – αλατότητα, υπολογισμού γεωστροφικών ρευμάτων κ.ά.

5. Ευχαριστίες

Τα παραπάνω πακέτα λογισμικού αναπτύχθηκαν στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος «Αναμόρφωση προγράμματος προπτυχιακών σπουδών Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών» (2006), για το Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Εκπαίδευση και Αρχική Επαγγελματική Κατάρτιση II.

6. Βιβλιογραφικές Αναφορές

- CEM, 2002. *Coastal Engineering Manual*, CERC, USACE, Vicksburg, Mississippi, USA.
- Dean, R.G. & Dalrymple, R.A., 1984. *Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists*, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA.
- Dingemans, M.W., 1997. *Water Wave Propagation over Uneven Bottoms*, Pt. 1: Linear Wave Propagation, P.L.F. Liu (Ed), Advanced Series on Ocean Engineering, Vol. 13, World Scientific Press.
- Goda, Y., 1985. *Random Seas and design of Maritime Structures*, University of Tokyo Press, Tokyo, Japan.
- Guo, J., 2002. Simple and explicit solution of wave dispersion equation, *Coastal Engineering*, 45: 71-74 pp.
- Kamphuis, J.W., Davies, M.H., Nairn, R.B. & Sayao, O.J., 1986. Calculation of Littoral Sand Transport Rate, *Coastal Engineering*, 10 (1): 1-22 pp.
- Komar, P.D. & Gaughan, M.K. 1973. Airy Wave Theory and Breaker Height Prediction, *Proc. 13th Coastal Engineering Conference*, ASCE, 405 pp.
- Κουτίτας, Χ.Γ., 1994. *Εισαγωγή στην Παράκτια Τεχνική και τα Λιμενικά Έργα*, Εκδ. Ζήτη, Θεσσαλονίκη.
- Longuet-Higgins, M.S., 1970. Longshore Currents Generated by Obliquely Incident Sea Waves, *J. Geoph. Res.*, 75 (33): 6778-6801 pp.
- Massel, S.R., 1989. *Hydrodynamics of Coastal Zones*, Elsevier Oceanography Series, 48: 181-182 pp.
- McCowan, J., 1891. On the Solitary Wave, *Philosophical Magazine*, 5th Series, 36: 430-437 pp.
- Miche, M., 1951. Le Pouvoir Réfléchissant des Ouvrages Maritimes Exposés à l'Action de la Houle, *Annals des Ponts et Chaussées*, 121e Année, 285-319 pp (translated by Lincoln & Chevron, Univ. of California, Berkeley, Wave Research Laboratory, 3 (363), June 1954).
- Munk, W.H., 1949. The Solitary Wave Theory and Its Applications to Surf Problems, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 51: 376-462 pp.
- Pelnaud-Considère, R., 1956. Essai de theorie de l'évolution des formes de rivage en plages de sable et de galets, *4th Journees de l'Hydraulique*, Les Energies de la Mer, Société Hydrotechnique de France, Paris, III (1): 289-298 pp.
- Smith, S.D. & Banke, E.G., 1975. Variation of sea surface drag coefficient with wind speed, *Quart. J. R. Met. Soc.*, 101: 663-673 pp.
- SPM (1984). *Shore Protection Manual*, CERC, USACE, Vicksburg, Mississippi, USA.

- Swart, H. & Flemming, C., 1980. Longshore Water and Sediment Movement, *Proc. 17th Interantional Conference on Coastal Engineering*, ASCE, Sydney, Austarlia, 1275-1294 pp.
- Thornton, E.B. & Guza, R.T., 1983. Transformation of Wave Height Distribution, *J. Geoph. Res.*, 88 (C10): 5925-5938 pp.
- Weggel, J.R., 1972. Maximum Breaker Height, *J. of Waterways, Harbors & Coast. Eng. Div.*, 98 (WW4): 529-548 pp.

