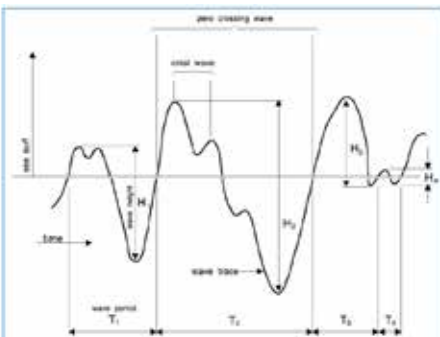


Γιγαντιαία κύματα

Δεκέμβριος 1978, λίγο πριν τα Χριστούγεννα, το MS München ταξιδεύει στον Ατλαντικό. Είχε φύγει από τη Γερμανία με ένα φορτίο ατσάλι. Είναι συνηθισμένο να πλέει σε αυτά τα νερά και με όλους τους καιρούς. Ήταν το 62ο ταξίδι του. Η τελευταία του επικοινωνία με άλλα πλοία ήταν τη νύχτα της 11ης Δεκεμβρίου. Μαινόταν θύελλα, αλλά διαχειρίσιμη, ανέφερε ο ασυρματιστής, Jörg Ernst. Έκτοτε χάθηκε μαζί με τους 28 άντρες του πληρώματος. Το πιο πιθανόν είναι να χτυπήθηκε από ένα γιγαντιαίο κύμα και να καταστράφηκε.

Γιγαντιαία κύματα, "rogue waves, freak waves, monster waves" στα αγγλικά, "vagues scélérates" για τους Γάλλους. Μόνο η σκέψη τους προκαλεί τρόμο. Δεν είναι μύθος που σουρωμένοι ναυτικοί διηγούνται στα καπνελιά. Για χρόνια νομίζαμε ότι υπήρχαν μόνο ανατολικά του ακρωτηρίου της Καλής Ελπίδας στη Νότιο Αφρική, αλλά σιγά σιγά είδαμε ότι μπορεί να τα συναντήσουμε λίγο πολύ παντού, σε όλες τις θάλασσες. Το 1995 σε μια πλατφόρμα πετρελαίου στη Νορβηγία, για πρώτη φορά μετρίεται επιστημονικά το ύψος ενός γιγαντιαίου κύματος, 25,6m μέτρα. Έκτοτε το ονομάζουμε «κύμα Draupner» και σημαδεύει την αρχή της έρευνας γύρω από αυτά τα κύματα. Το επιβατηγό Pont Aven (μήκους $L=182m$) με 1149 επιβάτες, τη νύχτα της 21-22 Μαΐου 2006 ΝΔ της νήσου Ouessant ανοικτά της Brest, μετά τη Μάχη στη Γαλλία, χτυπήθηκε από ένα κύμα ύψους περίπου 15m. Αλλά και η δικιά μας η Μεσόγειος, δεν υστερεί σε τέτοια

Σχήμα 1. Χαρακτηριστικά μεγέθη των κυμάτων της θάλασσας, ύψος H και περίοδος T

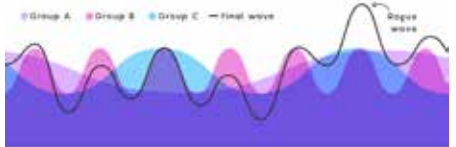


Σχήμα 2. Δύο πιθανά μοντέλα δημιουργίας γιγαντιαίων κυμάτων

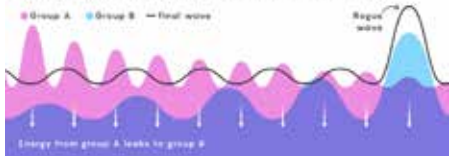
Two Ideas About Rogue Waves

For years, the theory of rogue waves has been dominated by two ideas. The first holds that a simple addition of independent sea swells can explain rogue waves. The second argues that swells interact in complex ways.

Linear Addition: Groups of independent waves travel at different speeds. Occasionally, stray wave peaks will overlap, producing a rogue wave.



Nonlinear Focusing: Waves can interact with one another, transferring energy between them. These interactions can conspire to create a rogue wave.



φαινόμενα. Το Jean Nicoli ($L=200m$) πρώην Πασιφάη Παλάς, βρήκε στον δρόμο του ένα άλλο κύμα ύψους 20m, στις 6 Μαρτίου 2017, μεταξύ της Κορσικής και των ακτών της νότιας Γαλλίας, προξενώντας αρκετές ζημιές.

Τα πήραμε λοιπόν στα σοβαρά και πολλοί ερευνητές ασχολούνται με αυτά. Πριν συνεχίσουμε καλό είναι να θυμηθούμε μερικές έννοιες που διδαχτήκαμε στο λύκειο. Ένα κύμα, όποιο και αν είναι, οπτικό, ακουστικό, ηλεκτρομαγνητικό, χαρακτηρίζεται, από το μήκος κύματος λ , την περίοδο του T , και το πλάτος ή το ύψος του κύματος, όταν μιλάμε για θαλάσσια κύματα. Τα κύματα στη θάλασσα δεν είναι τόσο ομοιόμορφα όπως ένα ακουστικό κύμα πχ, και στο **Σχήμα 1** θα δούμε τον ορισμό της περιόδου T και του ύψους του κύματος H .

Θα ονομάσουμε ύψος του κύματος την απόσταση μεταξύ δύο συνεχόμενων κορυφών που έχουν ξεπεράσει, θετικά (κορυφή) και αρνητικά (πηγάδι) το επίπεδο ισορροπίας, δηλαδή τη «λάδι θάλασσα». Μια άλλη ενδιαφέρουσα μεταβλητή, είναι η μέση τιμή, H_s του ύψους του 1/3 των μεγαλύτερων κυμάτων, για κάποιο χρονικό διάστημα. Θα πούμε γιγαντιαίο κύμα, ένα κύμα που το ύψος του υπερβαίνει κατά δύο φορές το ύψος H_s στο ίδιο χρονικό διάστημα. Εάν $H_s = 5m$ τότε για να πούμε ένα κύμα γιγαντιαίο θα πρέπει να έχει ύψος 10m το λιγότερο. Έτσι έχουμε την εντύπωση ότι το κύμα εμφανίζεται συχνά από το πουθενά!

Μετά από την παρατήρηση και τη μέτρηση του ύψους του κύματος Draupner, πολλά ερευνητικά κέντρα ενδιαφέρθηκαν να καταλάβουν τον μηχανισμό δημιουργίας αυτών των κυμάτων. Άλλοι θεωρητικά, επινοώντας διάφορα φυσικό-μαθηματικά μοντέλα και άλλοι πειραματικά προσπαθώντας να τα αναπαράγουν στα εργαστήρια. Σε ένα από τα μοντέλα, έχουμε μεταφορά ενέργειας από τα γύρω κύματα, προς ένα μοναδικό που γιγαντώνεται και τα άλλα γύρω του μειώνονται σε απλό κυματισμό, **Σχήμα 2**. Είναι γνωστό φαινόμενο στην κυματική και περιγράφεται από μια εξίσωση για την οποία δεν έχουμε αναλυτικές λύσεις, δηλαδή έναν τύπο,

αλλά μόνο αριθμητικές με τη βοήθεια υπολογιστών. Το σύστημα μας δεν είναι γραμμικό και μπαίνουμε σε πολλές μαθηματικές δυσκολίες. Όμως στις λύσεις αυτής της εξίσωσης θα βρούμε, σπάνια βέβαια, ένα γιγαντιαίο κύμα! Ένα άλλο μοντέλο πιο απλό και γραμμικό, ίσως να ήταν και το πρώτο, υποθέτει ότι υπάρχουν πολλές ομάδες κυμάτων που ταξιδεύουν με διαφορετικές ταχύτητες. Έτσι κάποια στιγμή μια ομάδα προφταίνει, με κάποια σωστή γωνία, αυτήν που είναι μπροστά της και τα ύψη των κυμάτων προστίθενται, δημιουργώντας σιγά σιγά ένα γιγαντιαίο κύμα. Και δεν είναι τα μόνα μοντέλα. Οι συνάδελφοι έχουν φαντασία! Η αλήθεια ίσως είναι πολύ πιο πολύπλοκη γιατί δεν υπάρχει ένα και μοναδικό γιγαντιαίο κύμα αλλά πολλά με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Το βέβαιο είναι ότι τα κύματα υπάρχουν και βύθισαν μεγάλα σκάφη αΐτανδρα.

Τι γίνεται στις ελληνικές θάλασσες; Δεν γνωρίζω αν έχει ποτέ αναφερθεί κάποιο γιγαντιαίο κύμα, που δεν σημαίνει ότι δεν έχει γίνει ή ότι δεν θα γίνει. Ήταν όμως η ευκαιρία για να σχηματίσω μια ιδέα για το ύψος των

Σχήμα 3. Τα κόκκινα σημεία, είναι η θέση των σταθμών που μετράνε το ύψος των κυμάτων και κάτω φαίνεται ένας σταθμός



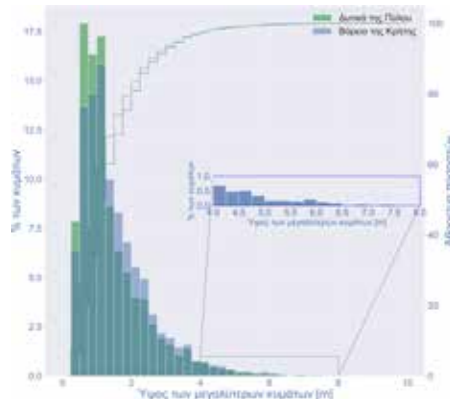
κυμάτων, βασισμένη σε μετρήσεις και όχι στα λεγόμενα φίλων ιστιοπλόων, όσο και αν τους εκτιμώ! Για να το κάνω αυτό προσέτρεξα στο δίκτυο παρακολούθησης του συστήματος ΠΟ-ΣΕΙΔΩΝ που αποτελείται από μια σειρά από πλατφόρμες διαφορετικών τύπων που καταγράφουν δεδομένα στην ευρύτερη περιοχή που καλύπτουν οι ελληνικές θάλασσες. Τρεις σταθμοί στη θάλασσα καταγράφουν το ύψος των κυμάτων ανά χρονικά διαστήματα και τα δεδομένα τους μετά από μικρή επεξεργασία καταλήγουν σε μια βάση δεδομένων ανοιχτή για το ευρύ κοινό. Διάλεξα 2 σταθμούς, έναν βόρεια από το Ηράκλειο και έναν άλλο δυτικά της Πύλου, **Σχήμα 3**, για αυτό το άρθρο.

Στη βάση των δεδομένων του ΠΟ-ΣΕΙΔΩΝ (<https://poseidon.hcmr.gr/el/synistoses/kentro-dedomenon/foi-dedomenon>) είναι καταγραμμένο το μέγιστο ύψος κύματος, H_{max} (μέγιστο του συνόλου των H_i) ανά χρονικά διαστήματα. Για αυτό το άρθρο χρησιμοποιήσαμε τα δεδομένα των σταθμών, όπου λειτουργούσαν, από την 1/1/2016, μέχρι σήμερα, που αντιστοιχούν σε 18395 μετρήσεις για ένα χρονικό διάστημα σχεδόν 8 χρόνων. Ο μεγάλος αριθμός μετρήσεων περιορίζει σημαντικά το στατιστικό λάθος. Στο **Σχήμα 4** απεικονίζεται η κατανομή του μέγιστου ύψους H_{max} για τους δύο σταθμούς. Η μέση τιμή του ύψους του μέγιστου κύματος είναι της τάξης του 1m, και είναι λίγο μεγαλύτερη βόρεια της Κρήτης. Κύματα μεγαλύτερα των 4m ή και 6m αν και σπάνια, υπάρχουν. Αποτελούν περίπου το 2,5% του συνόλου των κυμάτων όπως θα δούμε στην ένθετη εικόνα του σχήματος 4. Το **Σχήμα 5** μας δείχνει τις τιμές του H_{max} κατά

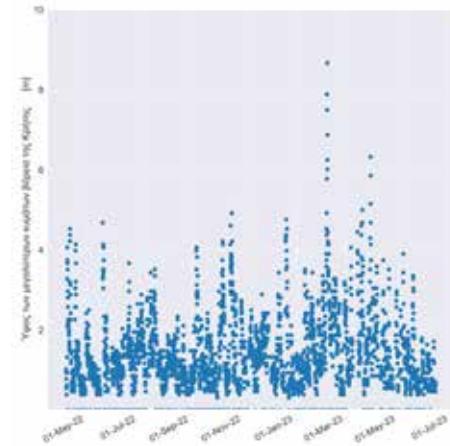
τον τελευταίο χρόνο. Αρχές Φεβρουαρίου 2023 (5-9/2) ένα κύμα βόρεια της Κρήτης ξεπέρασε σε ύψος τα 8m!

Η κατανομή της μέσης τιμής του 1/3 των μεγαλύτερων κυμάτων, είναι ένας δείκτης του ύψους ενός μεγάλου κύματος, που μπορεί κάποια στιγμή να συναντήσουμε. Στο **Σχήμα 6** βλέπουμε ότι στατιστικά ο αριθμός των κυμάτων πάνω από δύο μέτρα ύψος βόρεια της Κρήτης, είναι της τάξεως του 10%. Αν κοιτάξουμε τον περίφημο Βισκαϊκό κόλπο, 40% των κυμάτων είναι μεγαλύτερα των δύο μέτρων.

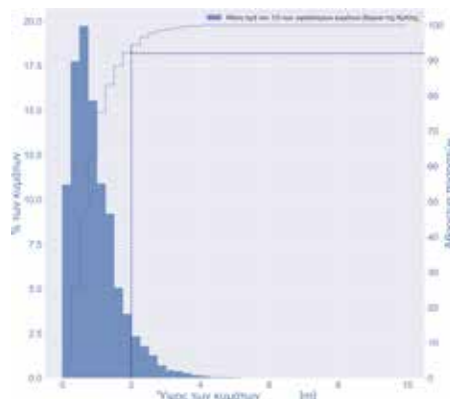
Σχήμα 4. Κατανομή του μέγιστου ύψους κύματος H_{max}



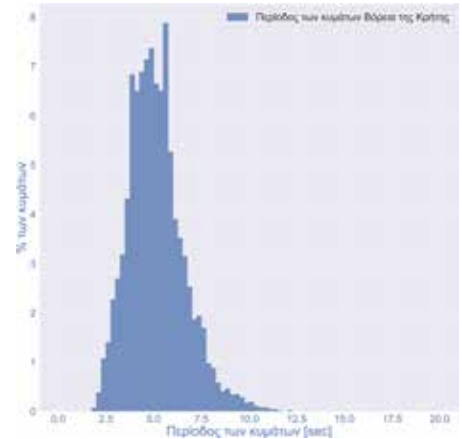
Σχήμα 5. Μέγιστο ύψος κύματος τον τελευταίο χρόνο (2022-2023)



Σχήμα 6. Κατανομή της μέσης τιμής του ύψους του 1/3 των υψηλότερων κυμάτων ανά χρονικά διαστήματα.



Σχήμα 7. Περίοδος των κυμάτων σε δευτερόλεπτα



Το **Σχήμα 7** δείχνει την περίοδο των κυμάτων βόρεια της Κρήτης. Βλέπουμε ότι τα κύματα είναι πολύ κοντά το ένα με το άλλο και η μέση τιμή της περιόδου είναι $T = 5$ δευτερόλεπτα, που μας δίνει ένα μήκος κύματος $\lambda = 40m$ ($\lambda = gT^2/2\pi$ όπου $g=9,81m/s^2$, $\lambda \approx 1,56 \times T^2$ σε βαθιά νερά), και ταχύτητα διάδοσης $v = 8m/s$ ($v = gT/2\pi$). Αντίθετα στον Βισκαϊκό, η περίοδος είναι πολύ μεγαλύτερη και κύματα λίγο μεγαλύτερα από τα δικά μας είναι ακόμα διαχειρίσιμα.

Τα μερικά σχέδια που παρουσιάζω εδώ, αφορούν μόνο δύο σταθμούς μετρήσεων και δεν καλύπτουν όλες τις ελληνικές θάλασσες. Θα ήταν ενδιαφέρον να είχαμε ανάλογα δεδομένα για τη βόρεια Ελλάδα και το ακρωτήριο Άθως, όπου ο Μαρδόνιος, Πέρσης στρατηγός, έχασε 300 πλοία και 20.000 άνδρες, σε μια τρικυμία! Αλλά ίσως να υπερβάλει ο Ηρόδοτος! Και μια και μίλησα για την τρικυμία, η λέξη δείχνει ότι κάθε τρίτο κύμα είναι μεγαλύτερο. Έτσι μάλλον οι αρχαίοι παρουσιάζανε τη χαοτική κατάσταση του ύψους των κυμάτων. Βέβαια δεν είναι κάθε τρίτο πιο ψηλό, αλλά κάθε νιοστό, όπου το v αλλάζει. Διαλέγοντας το τρίτο ίσως αυτό να ήθελαν να μεταδώσουν.

Συμπέρασμα. Τα γιγαντιαία κύματα είναι πραγματικότητα. Οι ναυπηγοί τα λαμβάνουν υπόψη τους σχεδιάζοντας τις αντοχές των σύγχρονων πλοίων. Πρέπει να τα φοβόμαστε; Η πιθανότητα να συναντήσουμε ένα τέτοιο στο Αιγαίο ή το Ιόνιο είναι πολύ μικρή, όχι μηδενική! Εκατοντάδες χιλιάδες παίζουν λαχείο, αλλά ένας ή κανένας κερδίζει!!

ΥΓ. Χρησιμοποίησα δημόσια δεδομένα και μια φωτογραφία από την ιστοσελίδα του ΠΟ-ΣΕΙΔΩΝ, (<https://poseidon.hcmr.gr/el>), και θα ήθελα να τους ευχαριστήσω γι' αυτό. Τα διάφορα σχέδια είναι αποτέλεσμα δικής μου ανάλυσης των δεδομένων των δύο σταθμών του ΠΟ-ΣΕΙΔΩΝ. Ελπίζω να μην έχω κάνει κάποιο λάθος που και αυτό δεν έχει μηδενική πιθανότητα!