

Σεισμός, Ηφαίστειο και Τσουνάμι

Στην Ινδονησία συναντούμε ποικιλία φυσικών καταστροφών. Σχεδόν όλες οι φυσικές καταστροφές, όπως εκρήξεις ηφαιστειών, σεισμοί και τσουνάμι μπορούν να συμβούν στην Ινδονησία.

A. Η Έκρηξη του ηφαιστείου Merapi



(Εικ. 1: Το πυροκλαστικό νέφος κατά την έκρηξη του ηφαιστείου Merapi, Φωτογραφία από το γραφείο ηφαιστειολογίας της Yogyakarta, BPPTKG)

Το ηφαίστειο Merapi στην Yogyakarta είναι ένα από τα πιο ενεργά ηφαίστεια στην Ιάβα. Οι πυροκλαστικές εκροές όταν καταρρέει ο θόλος λάβας είναι ένα πολύ γνωστό χαρακτηριστικό της έκρηξης του ηφαιστείου.

Στις 26 Οκτωβρίου του 2010 το Merapi φανέρωσε τον εκρηκτικό του χαρακτήρα παράγοντας ένα νέφος στάχτης που έφτασε σε ύψος 12 km (Εικ. 1) και πυροκλαστικά ρεύματα, αναγκάζοντας περισσότερους από 20.000 ανθρώπους γύρω από το ηφαίστειο να εγκαταλείψουν τα σπίτια τους.

Ας δούμε τι προκάλεσε τη μεγαλύτερη έκρηξη του Merapi το 2010. Είναι γνωστό στους γεωφυσικούς ότι η επίδραση του εξωτερικού νερού στο μάγμα παίζει σημαντικό ρόλο στο πώς συμπεριφέρεται το ηφαίστειο κατά την έκρηξη του (υδρο-μαγματικές εκρήξεις). Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα ηφαίστειο, το οποίο είναι ένα σύστημα αποτελούμενο από μίγμα μαγματικών σωματιδίων και νερού. Η ατμόσφαιρα και οι κρατήρες του ηφαιστείου είναι τα όρια του συστήματος. Θεωρούμε ότι η έκρηξη συμβαίνει σε δύο στάδια, (1) μια στιγμιαία αλληλεπίδραση μεταξύ μάγματος και νερού και (2) διαστολή του συστήματος. Κατά το πρώτο στάδιο, ποσότητα μάγματος μάζας (m_m) και απόλυτης θερμοκρασίας (T_m) αναμιγνύεται με νερό μάζας (m_w) και απόλυτης θερμοκρασίας (T_w). Η θερμική ισορροπία επέρχεται σχεδόν ακαριαία. Αυτή η αλληλεπίδραση μπορεί να θεωρηθεί ως μια διεργασία, η οποία διατηρεί σχεδόν σταθερό τον όγκο. Η λανθάνουσα θερμότητα της εξάτμισης του νερού και η λανθάνουσα θερμότητα της πήξης του μάγματος μπορούν να αγνοηθούν.

A.1	Να βρείτε τη θερμοκρασία ισορροπίας στο πρώτο στάδιο ως συνάρτηση των μαζών και των ειδικών θερμοτήτων νερού C_{Vw} και μάγματος C_{Vm} .	0.5 pt.
A.2	Να προσδιορίσετε την πίεση ισορροπίας στο πρώτο στάδιο υποθέτοντας ότι το μίγμα μπορεί να θεωρηθεί ως ιδανικό αέριο. Υποθέστε ότι ο γραμμομοριακός όγκος (όγκος ανά μονάδα mole) του μίγματος είναι V_e .	0.3 pt.

Το σύστημα μπορεί να διασταλεί (δεύτερο στάδιο) για διάφορους λόγους και ένας από αυτούς είναι η θερμική έκρηξη. Παρόλο που τέτοιες διαδικασίες είναι αρκετά πολύπλοκες, μπορούμε εμπειρικά να μετρήσουμε τη σχετική ταχύτητα του εκρηγνυόμενου μίγματος. Η ταχύτητα του αερίου κατά τη διάρκεια της έκρηξης εξαρτάται από την πίεση p , τη ολική μάζα m και τον όγκο V του μίγματος μέσα στον αγωγό (δηλαδή στο εσωτερικό) του ηφαιστείου.

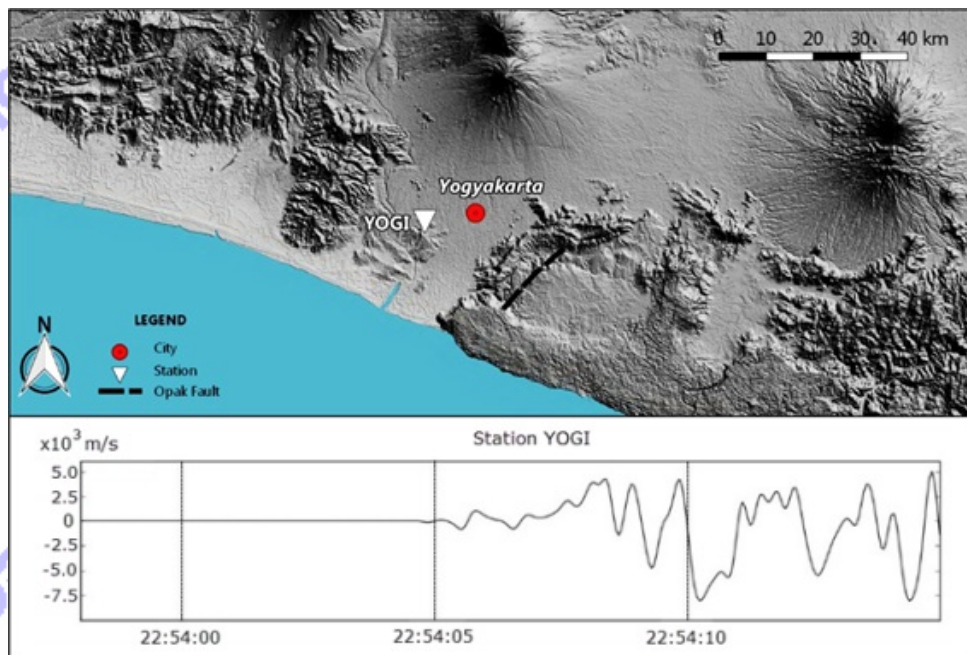
A.3	Να βρείτε την ταχύτητα του μίγματος κατά τη διάρκεια της έκρηξης, συναρτήσει των p , m και V και μία σταθερά αναλογίας K .	0.5 pt.
-----	--	---------

Η πίεση που παρατηρείται είναι της τάξεως των 100 MPa. Αυτό σημαίνει ότι η σχετική ταχύτητα κατά την έκρηξη μπορεί είναι τόσο μεγάλη όσο η ταχύτητα εκτόξευσης.

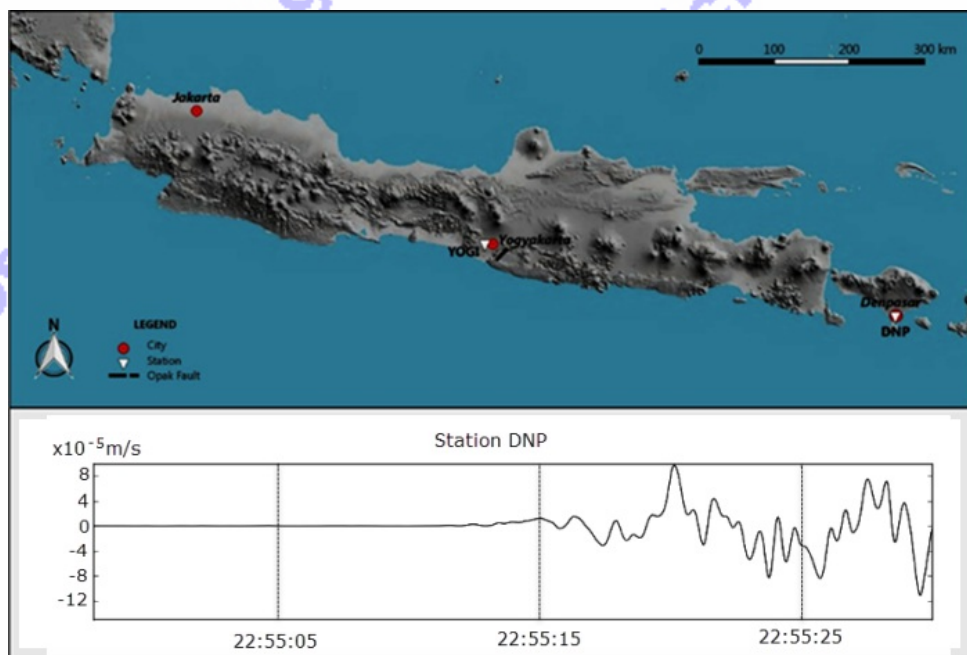
B. Ο Σεισμός της Yogyakarta

Το 2006 ο σεισμός της Yogyakarta μεγέθους $M_w = 6,4$, ο οποίος κατάρτησε πολλά κτίρια στις περιοχές Bantul και Yogyakarta, συνέβηκε στις 05:54:00,00 τοπική ώρα ή 22:54:00,00 UTC. Ο σεισμός προκλήθηκε από ξαφνική μετατόπιση τμήματος του ρήγματος Opak (βλέπε Εικ. 2). Το σημείο εκδήλωσης (υπόκεντρο) του σεισμού ήταν 15 km κάτω από την επιφάνεια.

Τα σεισμικά κύματα τα οποία διδιδονται στο φλοιό της γης μπορούν να καταγραφούν με σειсмоγράφο. Το διάγραμμα που λαμβάνουμε από ένα σειсмоγράφο, ονομάζεται σειсмоγράμμα (Εικ. 2 και 3, στο κάτω μέρος). Τα σειсмоγράμματα αναπαριστούν την κατακόρυφη συνιστώσα της ταχύτητας εδάφους συναρτήσει του χρόνου όπως την κατέγραψαν οι σταθμοί καταγραφής σεισμών στο Gamping Station Yogyakarta (YOGI) (Εικ. 2) και στο Denpasar, Bali (DNP) (Εικ. 3). Γενικά τα σεισμικά κύματα αποτελούνται από τρία είδη κυμάτων: τα διαμήκη ή πρωτεύοντα (P -κύμα), τα εγκάρσια ή δευτερεύοντα (S -κύμα), και τα επιφανειακά κύματα. Τα κύματα P και S διδιδονται στο υπέδαφος, ενώ τα επιφανειακά κύματα διδιδονται στην επιφάνεια της Γης. Τα σεισμικά κύματα, που διδιδονται κάτω από την επιφάνεια προς τους σταθμούς, διαχωρίζονται σε αυτά που διδιδονται σε ευθεία γραμμή, σε εκείνα που ανακλώνται στο όριο ενός στρώματος και σε αυτά που διαθλώνται περνώντας στο επόμενο στρώμα. Τα διαμήκη κύματα ή τα πρωτεύοντα κύματα έχουν τη μεγαλύτερη ταχύτητα, ενώ τα επιφανειακά κύματα έχουν τη μικρότερη ταχύτητα, περίπου 60% της ταχύτητας των P -κυμάτων.



(Εικ. 2: Ο χάρτης θέσης του YOGI)



((Εικ. 3: Ο χάρτης θέσης του DNP (Denpasar))

Η απόσταση μεταξύ του επίκεντρου (η προβολή του υπόκεντρου στην επιφάνεια της Γης) και των σταθμών YOGI και DNP είναι 22,5 km και 500 km αντίστοιχα. Το βάθος του στρώματος του φλοιού της Γης στην Ιάβα, της Ινδονησίας, είναι 30 km. Κάτω από τον φλοιό της Γης βρίσκεται το στρώμα του μανδύα. Στα σεισμικά κύματα ισχύει ο νόμος του Snell. Σε αυτό το πρόβλημα υποθέτουμε ότι η καμπυλότητα της γης είναι αμελητέα.

B.1	Στην Εικ. 2 φαίνεται το σεισμόγραμμα από τον σταθμό YOGI. Να χρησιμοποιήσετε τα δεδομένα για να υπολογίσετε την ταχύτητα του P -κύματος στον φλοιό της Γης.	0.5 pt.
B.2	Να υπολογίσετε τον χρόνο διάδοσης του P κύματος που ταξιδεύει ευθεία και του κύματος από ανάκλαση που καταγράφηκαν στο σταθμό DNP του Denpasar, κατά το σεισμό της Yogyakarta.	0.6 pt.

Υποθέτοντας ότι η Γη αποτελείται μόνο από δύο στρώματα, τον φλοιό και τον μανδύα, τα πρωτεύοντα κύματα διαδίδονται στον φλοιό και στον μανδύα με ταχύτητες σταθερού μέτρου, διαφορετικές μεταξύ τους. Η ταχύτητα στο μανδύα είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα στο φλοιό. Σημειώστε ότι το P -κύμα που διαθλάστηκε στο μανδύα υπό ορθή γωνία (90°) εν μέρει διαθλάται πίσω στο φλοιό καθ' όλο το μήκος της διεύθυνσης διάδοσης στο όριο φλοιού-μανδύα.

B.3	Να υπολογίσετε την ταχύτητα του P -κύματος στο μανδύα.	1.2 pt.
-----	--	---------

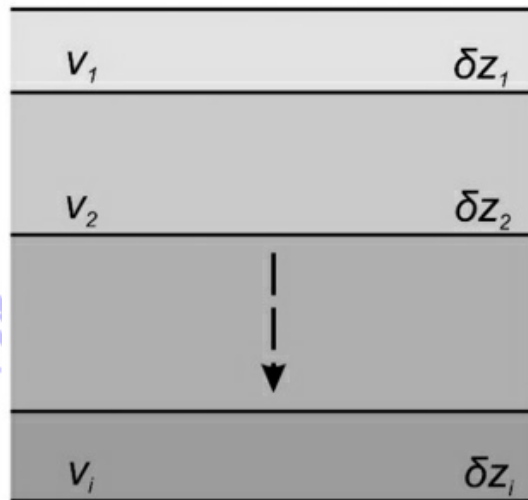
Σε μια πιο ρεαλιστική δομή της Γης, ο φλοιός μπορεί να διαχωριστεί σε πλήθος λεπτών στρωμάτων, έτσι ώστε η ταχύτητα των σεισμικών κυμάτων να είναι συνάρτηση του βάθους z σύμφωνα με τη σχέση $v(z) = v_0 + az$ όπου a είναι μία σταθερά και το υπόκεντρο είναι κατα προσέγγιση στην επιφάνεια (μηδενικό εστιακό βάθος). Σε αυτό το μοντέλο η πορεία του κύματος καμπυλώνεται.

B.4	Ορίζουμε ως παράμετρο ακτίνας $p = \sin \theta(z)/v(z)$, όπου $\theta(z)$ είναι η γωνία ανάμεσα στην ακτίνα και την κάθετη στην επιφάνεια της Γης. Υποθέστε ότι ένα σεισμικό κύμα φτάνει στο σταθμό με παράμετρο ακτίνας p . Εκφράστε την απόσταση μέχρι το υπόκεντρο συναρτήσει των p , v_0 , και a . Υποθέστε ότι το υπόκεντρο είναι πολύ κοντά στην επιφάνεια του εδάφους.	1.4 pt.
-----	--	---------

B.5	Να υπολογίσετε το χρόνο T που χρειάζεται το κύμα να φτάσει από το υπόκεντρο σε οποιοδήποτε σταθμό, υπό μορφή ολοκληρώματος ως προς z .	1.0 pt.
-----	--	---------

Η γη αποτελείται από μια στοίβα ομογενών στρωμάτων και η ταχύτητα του κάθε στρώματος είναι v_i και το πάχος του δz_i .

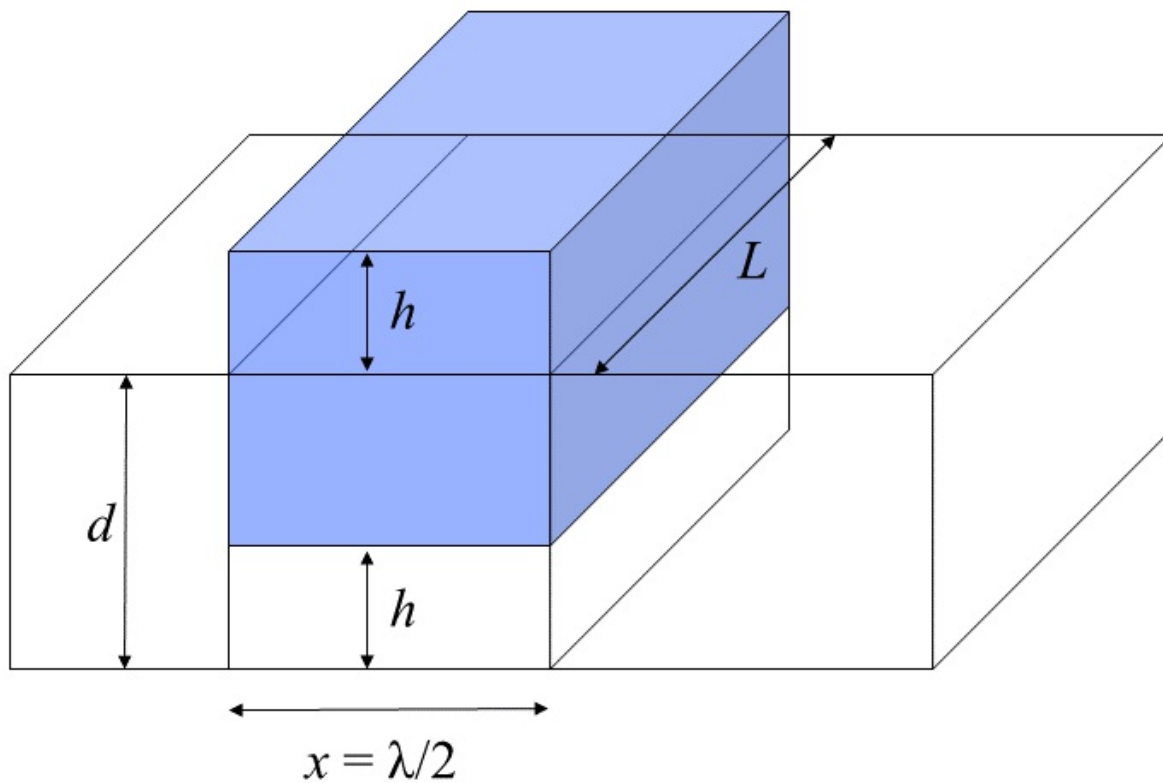
B.6	Από την απάντηση του προηγούμενου προβλήματος, βρείτε μια προσεγγιστική τιμή του χρόνου (T) μετάβασης από το υπόκεντρο στον σταθμό DNP υποθέτοντας ότι ο φλοιός αποτελείται από τρία μόνο διακριτά στρώματα, ($i = 1, 2, 3$), και με τιμές $v_1 = 6,65$ km/sec, $v_2 = 6,97$ km/sec, $v_3 = 6,99$ km/sec, $p = 0,143$, $\delta z_1 = 6,0$ km, $\delta z_2 = 9,0$ km, $\delta z_3 = 15$ km.	1.0 pt.
-----	---	---------



Εικ. 4: Απλοποιημένο μοντέλο των στρωμάτων της γης.

Γ. Το Τσουνάμι της Ιάβας

Στις 17 Ιουλίου του 2006, στις 15:19:27 τοπική ώρα καταγράφηκε σεισμός και τσουνάμι στο Pangandaran, στις δυτικές και κεντρικές ακτές της Ιάβας. Κατά τη διάρκεια ενός σεισμού, το επίκεντρο του οποίου είναι στο βυθό του ωκεανού, μπορεί να σημειωθεί μετατόπιση του ρήγματος, η οποία προκαλεί ένα εντυπωσιακά μεγάλο υδάτινο κύμα, που αποκαλείται τσουνάμι. Δηλαδή, ένα τσουνάμι είναι ένα υδάτινο κύμα σε ρηχά νερά που ξεκίνησε με μικρό πλάτος αλλά με τεράστιο μήκος κύματος. Υποθέστε ότι ένα ξαφνικό τράνταγμα προκαλεί ανύψωση ενός μέρους του βυθού του ωκεανού, όπως φαίνεται στην Εικ. 5. Θεωρήστε ότι η ενέργεια του σεισμού μετατρέπεται σε δυναμική ενέργεια της ανυψούμενης ποσότητας νερού. Για απλοποίηση του μοντέλου θεωρούμε ότι το ανυψούμενο νερό έχει σχήμα ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου με εμβαδό $\lambda L/2$ (όπου $L \gg \lambda$) και ύψος h .



Εικ. 5: Αναπαράσταση του τσουνάμι σε ωκεανό βάθους d .

Γ.1	Να βρείτε τη δυναμική ενέργεια που αποθηκεύεται στην ανυψωμένη ποσότητα νερού του ωκεανού λόγω του σεισμού σε σχέση με την κανονική επιφάνεια του ωκεανού. Θωρήστε ότι η πυκνότητα του θαλασσινού νερού είναι ρ .	0.5 pt.
Γ.2	Να βρείτε την ταχύτητα του κύματος τσουνάμι με απροσδιοριστία ενός αδιάστατου παράγοντα.	1.2 pt.
Γ.3	Χρησιμοποιώντας επιχειρήματα με βάση την ενέργεια, να βρείτε το πλάτος του κύματος τσουνάμι ως συνάρτηση του βάθους, θεωρώντας ότι το βάθος μεταβάλλεται αργά και ότι σε βάθος d_0 το πλάτος είναι A_0 .	1.3 pt.

Κωδικός Μαθητή						
----------------	--	--	--	--	--	--

Σεισμός Ηφαίστειο και Τσουνάμι

Α. Η έκρηξη του ηφαιστείου Merapi

Question	Answer	Marks
A.1 (0.5 pt.)	$T_e =$	
A.2 (0.3 pt.)	$p_e =$	
A.3 (0.5 pt.)	$v_g =$	

B. Ο Σεισμός της Yogyakarta

Question	Answer	Marks
B.1 (0.5 pt.)	$v_p =$	
B.2 (0.6 pt.)	$t_{direct} =$ $t_{reflected} =$	
B.3 (1.2 pt.)	$v_m =$	
B.4 (1.4 pt.)	$X =$	
B.5 (1.0 pt.)	$T =$	
B.6 (1.0 pt.)	$T(p) =$	

C. Το Τσουνάμι της Ιάβας

Question	Answer	Marks
C.1 (0.5 pt.)	$E_p =$	
C.2 (1.2 pt.)	$v =$	
C.3 (1.3 pt.)	$A =$	

----- ΜΗ ΓΡΑΦΕΤΕ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΑΥΤΗ ΤΗ ΓΡΑΜΜΗ -----

SECTION	SCORE
Section A	
Section B	
Section C	
TOTAL	