



Πανεπιστήμιο  
Αιγαίου

Ανοικτά  
Ακαδημαϊκά  
Μαθήματα



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΓΣΠ

Διευθυντής: καθηγητής Ι. Ν. Χατζόπουλος



# Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση (326Ε)

Καθηγητής Ιωάννης Ν. Χατζόπουλος

[ihat@aegean.gr](mailto:ihat@aegean.gr)

[http://www.env.aegean.gr/labs/Remote\\_sensing/Remote\\_sensing.htm](http://www.env.aegean.gr/labs/Remote_sensing/Remote_sensing.htm)



Εργαστήριο-07  
Θερμικό υπέρυθρο

# Άδειες Χρήσης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, διαγράμματα, κείμενα, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



# Χρηματοδότηση

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα. Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.



Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



# ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ 7

## Θερμικό υπέρυθρο

1. Χρησιμοποιώντας τις εικόνες του Σχήματος 5.18 α) ερμηνεύστε τα φωτεινά γνωρίσματα του δολομίτη στη θερμική εικόνα, β) εξηγήστε τα ψυχρά γραμμικά χαρακτηριστικά στοιχεία των ενώσεων (joints), κατατμήσεων και των ρηγμάτων, και γ) εξηγήστε γιατί τα γεωλογικά χαρακτηριστικά εμφανίζονται καλύτερα στην υπέρυθρη εικόνα παρά στην παγχρωματική αεροφωτογραφία και προτείνετε τρεις θέσεις για γεωτρήσεις νερού.
2. Χρησιμοποιώντας τη θερμική εικόνα του Σχήματος 5.19 δείξτε, σχεδιάζοντας έναν χάρτη, τα δύο πιο πιθανά ενεργά ηφαίστεια στην ξηρά. Υπάρχουν κάποιες θερμοκρασιακές ανωμαλίες στη θάλασσα και, αν ναι, τι μπορεί να υποδηλώνουν;
3. Γιατί οι μάζες νερού θεωρούνται σώματα που υποδεικνύουν το χρόνο λήψης των θερμικών καταγραφών;





Σχήμα 5.18 Η άνω εικόνα είναι παγχρωματική αεροφωτογραφία και η κάτω είναι εικόνα της ίδιας περιοχής στη Νότιο Αφρική στο θερμικό υπέρυθρο (8 έως 14  $\mu\text{m}$ ) που λήφθηκε τη νύκτα.





Σχήμα 5.19 Μωσαϊκό  
θερμικών  
καταγραφών (8 έως  
14  $\mu\text{m}$ ) που λήφθηκε  
νωρίς το πρωί τον  
Μάιο του 1973  
(πηγή, Sabíns, 1986).

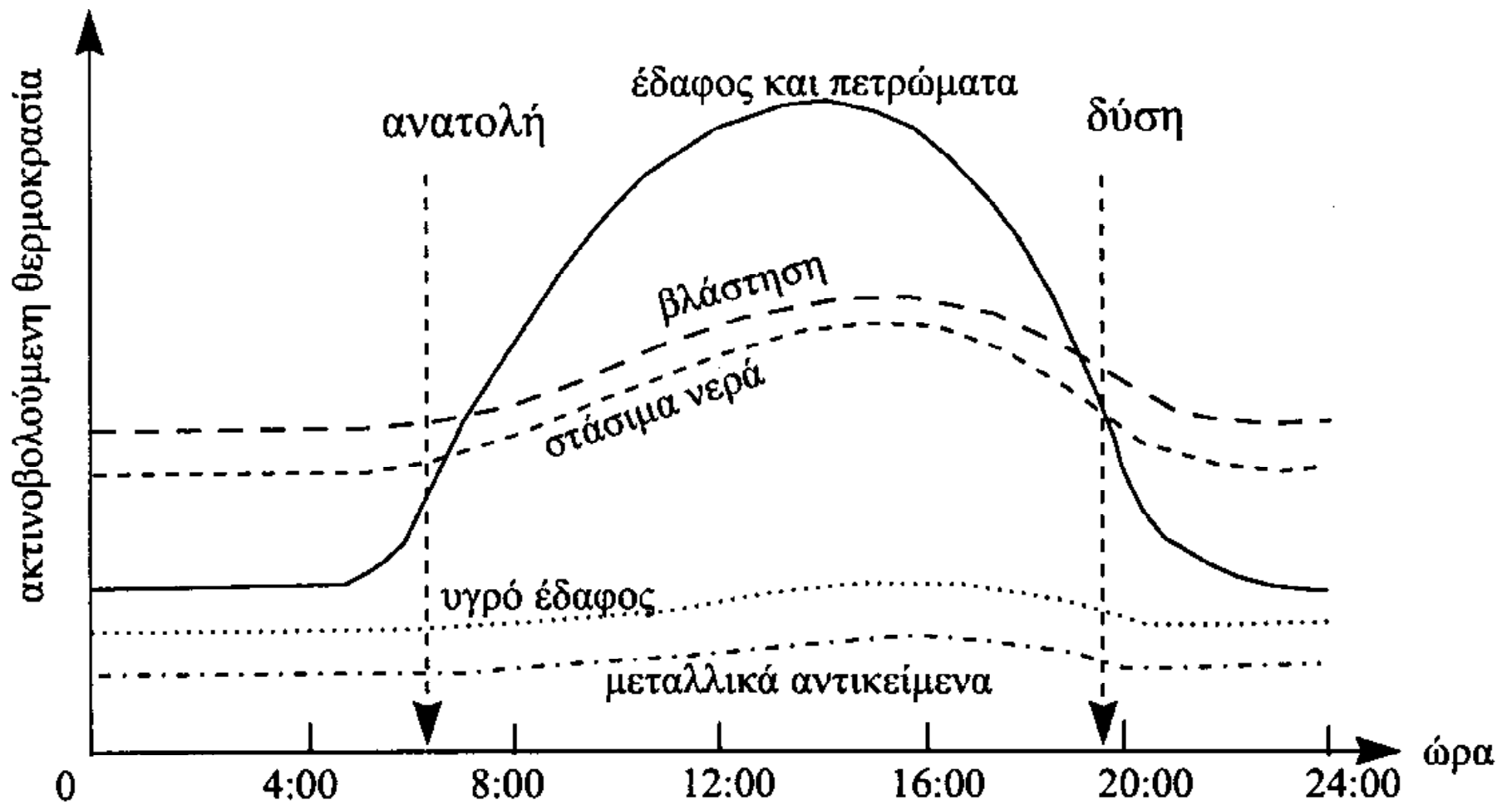
Στο Σχήμα 5.18 η πρώτη εικόνα είναι παγχρωματική αεροφωτογραφία μιας περιοχής στη Νότια Αφρική. Τα υποκείμενα στρώματα είναι δολομίτες ( $\delta=2600\text{kg/m}^3$ ,  $P=750\text{cal}/(\text{m}^2\text{C}^{\circ}\text{s}^{1/2})$ ), οι οποίοι όμως εδώ δεν αποκαλύπτονται. Σε αντίθεση με την αεροφωτογραφία, μια θερμική απεικόνιση (Σχήμα 5.18, κάτω εικόνα) αποκαλύπτει αρκετές γεωλογικές πληροφορίες, όπως γραμμώσεις των πετρωμάτων, που αντιστοιχούν σε διακλάσεις και ρήγματα. Στη θερμική εικόνα εμφανίζονται τρία είδη γραμμώσεων: ( 1 ) παράλληλες στενές γραμμές μικρότερες από 0,2 km, που αντιστοιχούν στις διακλάσεις στον δολομίτη και δεν προϋποθέτουν μετατοπίσεις εδαφών, (2) γραμμές μεγαλύτερες του 0,2 km, τυχαία διασκορπισμένες στην εικόνα, που πιθανόν να είναι ρήγματα, και (3) μία πλατιά οριζόντια μαύρη ζώνη που εκτείνεται από τα αριστερά προς τα δεξιά της θερμικής εικόνας.

Η ζώνη αυτή προήλθε από διάβρωση και εμπεριέχει ανοικτούς τόνους του γκρίζου που αντιστοιχούν σε αλλουβιακές αποθέσεις και πιθανόν να εγκλωβίζουν τον υδροφόρο ορίζοντα. Έτσι, χρησιμοποιώντας κανείς τη θερμική αυτή εικόνα, θα μπορούσε να προτείνει πιθανές θέσεις για γεωτρήσεις νερού.

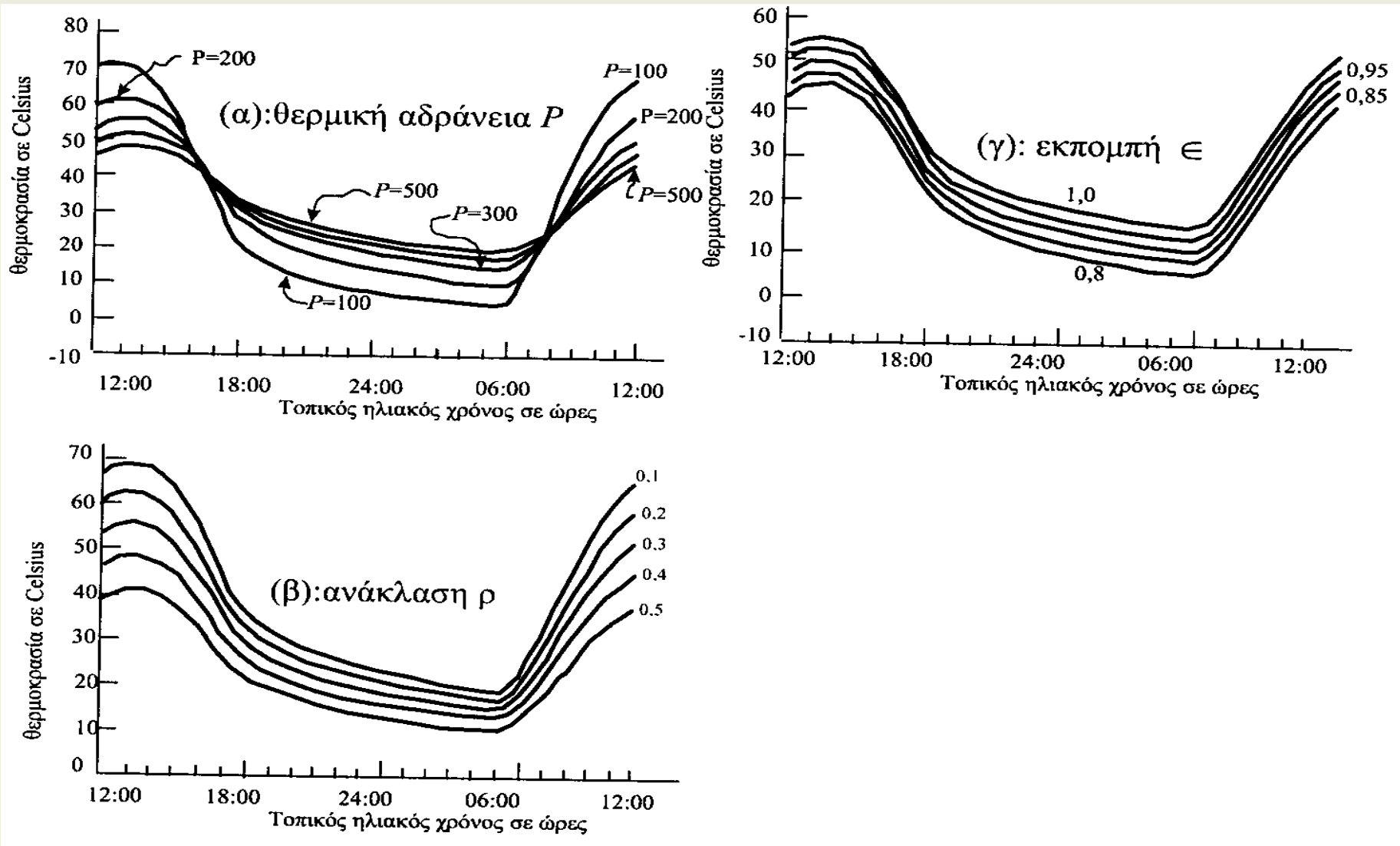
# Χαρτογράφηση επιφανειακής υγρασίας

- Στο υγρό έδαφος, λόγω της υγρασίας, δημιουργείται εξάτμιση η οποία το ψύχει, και επομένως αυτό εμφανίζει ψυχρότερα φασματικά χαρακτηριστικά (σκουρότερο) από ότι το ξηρό έδαφος κατά τη διάρκεια και της ημέρας αλλά και της νύχτας (βλέπε Σχήμα 5.15). Πολλά γεωλογικά ρήγματα ανιχνεύονται με θερμικές καταγραφές από τις ψυχρές (σκούρες) γραμμικές ανωμαλίες (γραμμώσεις) που αποκαλύπτονται από τη συγκεντρωμένη υγρασία κατά μήκος της ζώνης ρήξεως.





Σχήμα 5.15 Ημερήσιες διακυμάνσεις της ακτινοβολούμενης θερμοκρασίας διαφόρων υλικών .



Σχ. 5.4 Η συμπεριφορά της θερμοκρασίας διαφόρων σωμάτων σε συνάρτηση με τον συντελεστή θερμικής αδράνειας  $P$ , με τον συντελεστή ανάκλασης  $\rho$ , και τον συντελεστή εκπομπής  $\epsilon$ .

Υλικό	Συντελεστής Θερμικής αγωγιμότητας Κ [cal/m.s.°C]	Πυκνότητα δ [Kg/m <sup>3</sup> ]	Ειδική Θερμότητα c <sub>p</sub> [cal/kg °C]	Θερμική αδράνεια P cal/(m <sup>2</sup> s <sup>1/2</sup> °C)
Βασάλτης (basalt)	0,50	2800	200	530
Αργιλικό έδαφος, υγρό (Clay)	0,30	1700	350	420
Δολομίτης (dolomite) 1,20		2600	180	750
Γάββρος (Gabbro)	0,60	3000	170	550
Γρανίτης (Granite)	0,75	2600	160	560
Χάλικες (Gravel)	0,30	2000	180	330
Ασβεστόλιθος (Limestone)	0,48	2500	170	450
Μάρμαρο (Marble)	0,55	2700	210	560
Οψιδιανός(Obsidian) 0,30		2400	170	350
Περιδοτίτης(Peridotite)	1,10	3200	200	840
Κίσηρης (Pumice)	0,06	1000	160	90
Χαλαζίτης (Quartzite) 1,20		2700	170	740
Ρυόλιθος(Rhyolite)	0,55	2500	160	470
Αμμώδεις χάλικες (Sandy gravel)	0,60	2100	200	500
Αμμώδες έδαφος (Sandy soil)	0,14	1800	240	240
Χαλαζιακός ψαμμίτης (Sandstone)	1,20	2500	190	750
Σερπεντίτης (Serpentine)	0,63	2400	230	590
Αργιλικός σχιστόλιθος (Shale)	0,42	2300	170	410
Φυλλίτης (Slate)	0,50	2800	170	490
Συηνίτης (Syenite)	0,77	2200	230	620
Εξαλλοιωμένος τόφφος (Tuff welded)	0,28	1800	200	320
Αλουμίνιο	0,54	2690	215	558
Μόλυβδος	0,08	11340	31	171
Χαλκός	0,94	8930	92	879
Νερό	0,13	1000	1010	370

Πίνακας 5.1 Μερικές τοπικές τιμές υλικών στους 20 °C (Πηγή Janza et al., 1975).

4. Οι λείες μεταλλικές επιφάνειες έχουν συντελεστές εκπομπής  $\epsilon$  πολύ μικρούς (γύρω στο 0,06). Ο γρανίτης και η χαλαζιακή άμμος έχουν υψηλούς συντελεστές εκπομπής ( $\epsilon = 0,815$  και  $\epsilon = 0,914$  αντίστοιχα). Τι σημαίνει αυτό από πλευράς εκπεμπόμενης ακτινοβολίας των σωμάτων αυτών; Ποια είναι η ακτινοβολούμενη (ραδιομετρική) θερμοκρασία που θα ανιχνευθεί από θερμικό ανιχνευτή αν η θερμοκρασία επαφής (θερμοδυναμική) της χαλαζιακής άμμου είναι  $18^{\circ}\text{C}$ ;
5. Χρησιμοποιώντας το διάγραμμα του Σχήματος 5.15 ποιες ώρες θα επιδιώκατε να καταγράψετε θερμικά τη γήινη επιφάνεια ώστε να έχετε έντονη την αντίθεση μεταξύ άμμου και νερού; Ποιες ώρες της ημέρας προσπαθούμε να πραγματοποιήσουμε θερμικές καταγραφές και γιατί;



Για να καθορισθεί η σχέση της ακτινοβολούμενης (ραδιομετρικής)  $T_R$  και της κινητικής (Θερμοδυναμικής) θερμοκρασίας  $T_k$ , θεωρήστε ότι μελανό σώμα ( $\epsilon=1$ ) και πραγματικό σώμα έχουν την ίδια πυκνότητα ακτινοβολίας  $M_\lambda$  σε  $[W/m^2]$  αλλά προφανώς διαφορετικές κινητικές θερμοκρασίες  $T_k$ . Για το μελανό σώμα η πυκνότητα ακτινοβολίας  $M_{b,\lambda}$  και η θερμοκρασία  $T_k$  σχετίζονται σύμφωνα με τον νόμο του Steffan-Boltzmann, και η κινητική θερμοκρασία είναι ίση με την ακτινοβολούμενη ( $T_k = T_R$ ) επειδή δεν υπάρχουν απώλειες, δηλαδή:

$$M_{b,\lambda} = \sigma T_R^4 = \sigma T_k^4 \quad (5.6)$$

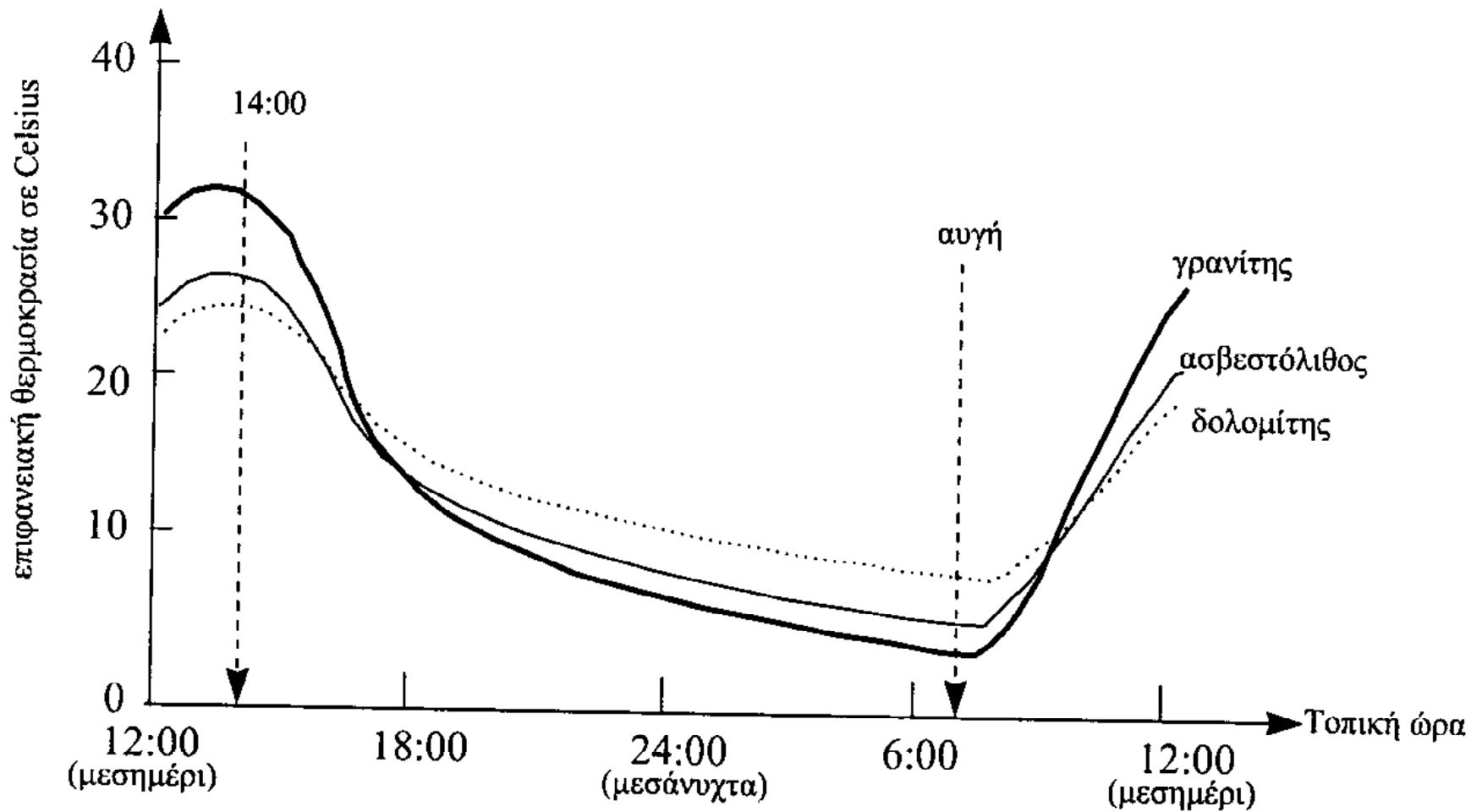
όπου  $\sigma$  είναι η σταθερά του Steffan-Boltzmann ίση με  $5,67 \times 10^{-8} [W/(m^2 K^4)]$ . Για ένα πραγματικό σώμα όμως η πυκνότητα ακτινοβολίας  $M_\lambda$  σε  $[W/m^2]$  είναι:

$$M_\lambda = \epsilon \sigma T_R^4 \quad (5.7)$$

Άρα, εφόσον οι πυκνότητες ακτινοβολίας είναι ίσες ( $M_{b,\lambda} = M_\lambda$ ), η ακτινοβολούμενη θερμοκρασία  $T_R$  και η κινητική  $T_k$  εκφράζονται ως:

$$T_R = \epsilon^{1/4} T_k \quad (5.8)$$

Για υλικά γνωστού συντελεστή εκπομπής  $\epsilon$  και γνωστής κινητικής θερμοκρασίας  $T_k$  η παραπάνω εξίσωση (5.8) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της ακτινοβολούμενης θερμοκρασίας  $T_R$ . Για όλα τα πραγματικά σώματα ( $0 < \epsilon < 1$ ) η ακτινοβολούμενη θερμοκρασία  $T_R$  είναι προφανώς πάντα μικρότερη από την κινητική θερμοκρασία  $T_k$ .



Σχήμα 5.17 Ημερήσια θερμική διακύμανση του δολομίτη, του ασβεστόλιθου και του γρανίτη.

6. Πέτρωμα και μελανό σώμα θερμαίνονται στην ίδια κινητική (θερμοδυναμική) θερμοκρασία. Το πέτρωμα εμφανίζει πυκνότητα ακτινοβολίας  $M = 9 \times 10^{-2} \text{ [W/cm}^2\text{]}$ , ενώ το μελανό σώμα  $M_b = 9,8 \times 10^{-2} \text{ [W/cm}^2\text{]}$ . Ποιος είναι ο συντελεστής της εκπομπής  $\epsilon$  του παραπάνω πετρώματος;
7. Εργοστάσιο απορρίπτει θερμικά απόβλητα σε λίμνη. Η θερμοκρασία του απορριπτόμενου θερμού νερού εμφανίζει μέγιστη ενέργεια σε μήκη κύματος που κυμαίνονται από 6 έως 7  $\mu\text{m}$ . Μπορεί αυτή η φασματική ζώνη να καταγραφεί από συστήματα Τηλεπισκόπησης; Τεκμηριώστε την απάντησή σας.

•Όταν η θερμοκρασία  $T$  του μελανού σώματος αυξάνει, το μήκος κύματος  $\lambda_{\max}$  που αντιστοιχεί στο μέγιστο της ακτινοβολίας ελαττώνεται (νόμος μετατοπίσεων του Wien):  $\lambda_{\max} = 2897/T$  [ $\mu\text{m} \cdot \text{K}$ ]

•Ο νόμος του Stefan-Boltzmann περιγράφει μαθηματικά την αύξηση της ολικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται για ένα εύρος μηκών κύματος καθώς η θερμοκρασία του σώματος αυξάνει

$$(\sigma T^4 \rightarrow 5.6699 \times 10^{-12} T^4 \text{ [W/(cm}^2 \cdot \text{K}^4)])$$

•**Ο συντελεστής εκπομπής**  $\varepsilon(\lambda)$  (spectral emissivity) περιγράφει την ικανότητα της επιφάνειας ενός σώματος να εκπέμπει ακτινοβολία σε μια δεδομένη θερμοκρασία.

•Ορίζεται ο λόγος της εκπεμπόμενης ισχύος  $M(\lambda)$  ενός σώματος προς την αντίστοιχη εκπεμπόμενη ισχύ  $M_b(\lambda)$  από ένα μελανό σώμα της ίδιας θερμοκρασίας, δηλαδή:

$$\varepsilon(\lambda) = M(\lambda) / M_b(\lambda) \quad (5.4)$$



# Παράθυρα διαπερατότητας της ατμόσφαιρας από την ΗΜΑ

