



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΝΘΕΣΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΙΧΜΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΓΛΥΠΤΙΚΗ

Διδακτορική Διατριβή

Γ.-Φοίβος Σαργέντης
Πολιτικός Μηχανικός

Αθήνα 2006

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΝΘΕΣΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΙΧΜΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΙΜ. Γ. ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ

Η ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΓΛΥΠΤΙΚΗ

Γ.-ΦΟΙΒΟΣ ΣΑΡΓΕΝΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π.
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΙΜ. Γ. ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ



Διδακτορική Διατριβή

ΑΘΗΝΑ 2005

Πού εκπονήθηκε η εργασία

- Εργαστήριο Πλαστικής Ε.Μ.Π.
- Καλλιτεχνικά εργαστήρια
- Βιβλιοθήκες

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ Ε.Μ.Π.

Περιεχόμενα παρουσίασης

- Εισαγωγή
- Τεχνικές
- Η εξέλιξη της τεχνικής
- Τεχνολογική συμπεριφορά υλικών
- Γήρανση των υλικών λόγω ηλιακής ακτινοβολίας

Ο μηχανικός και η γλυπτική

Στόχος της εργασίας:
Γέφυρα μεταξύ των
διαφορετικών αντιλήψεων

Μηχανικός



Αποκωδικοποιεί και εκφράζει
ποσοτικά τα στοιχεία (υλικά-
περιβάλλον) με τα οποία
συνδιαλέγεται

Γλύπτης



Χρησιμοποιεί εμπειρικά τα υλικά
δημιουργώντας μορφές



Προφορική μετάδοση της γνώσης
Μυστικά

Ο Μηχανικός και η Γλυπτική



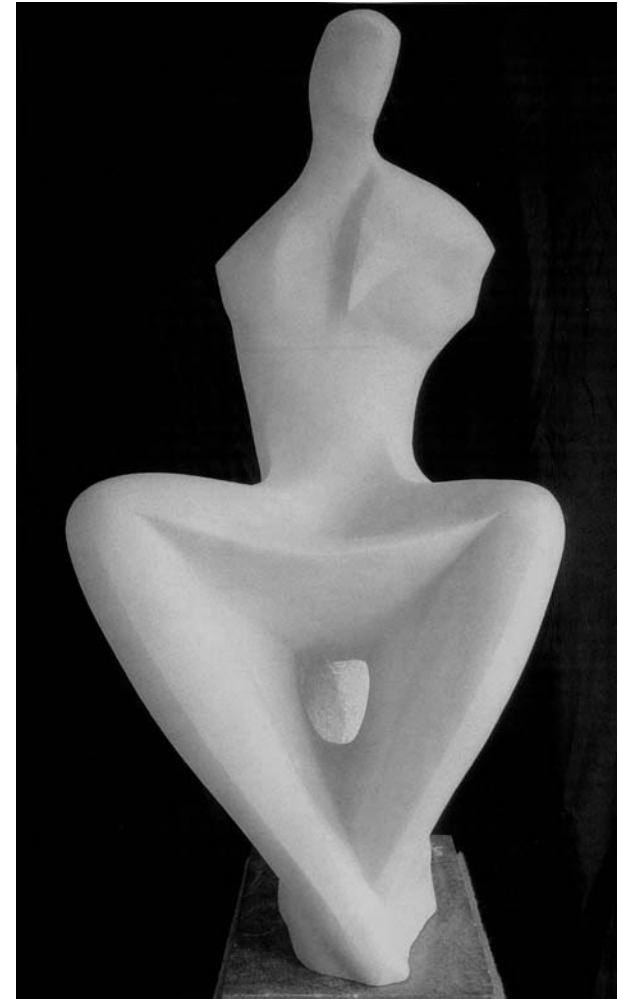


Musée des arts et métiers

Γιατί εγώ και τα υλικά;

Υλικά-δημιουργία

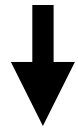
- Η ποιητική των υλικών
- Η διαλεκτική των υλικών



Η διαφωνία των υλικών

Η δημιουργία ενός γλυπτού

Ιδέα-έμπνευση

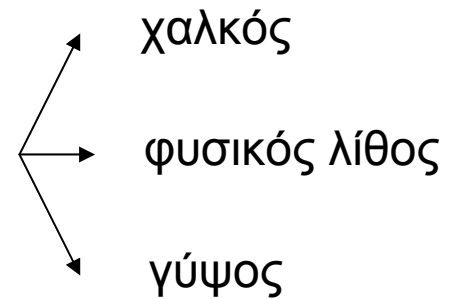


Σύλληψη και σχεδιασμός του έργου



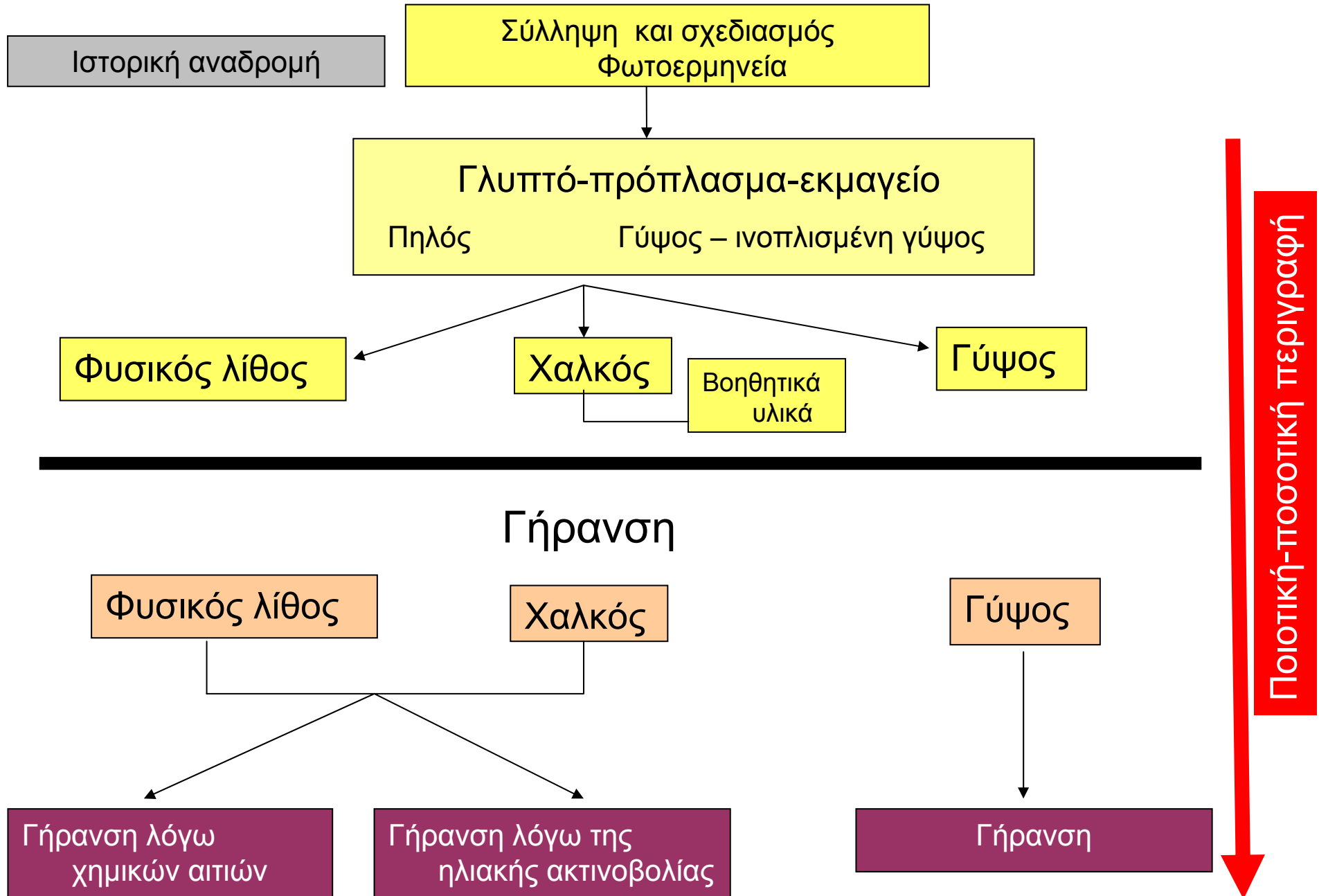
Κατασκευή

πρόπλασμα

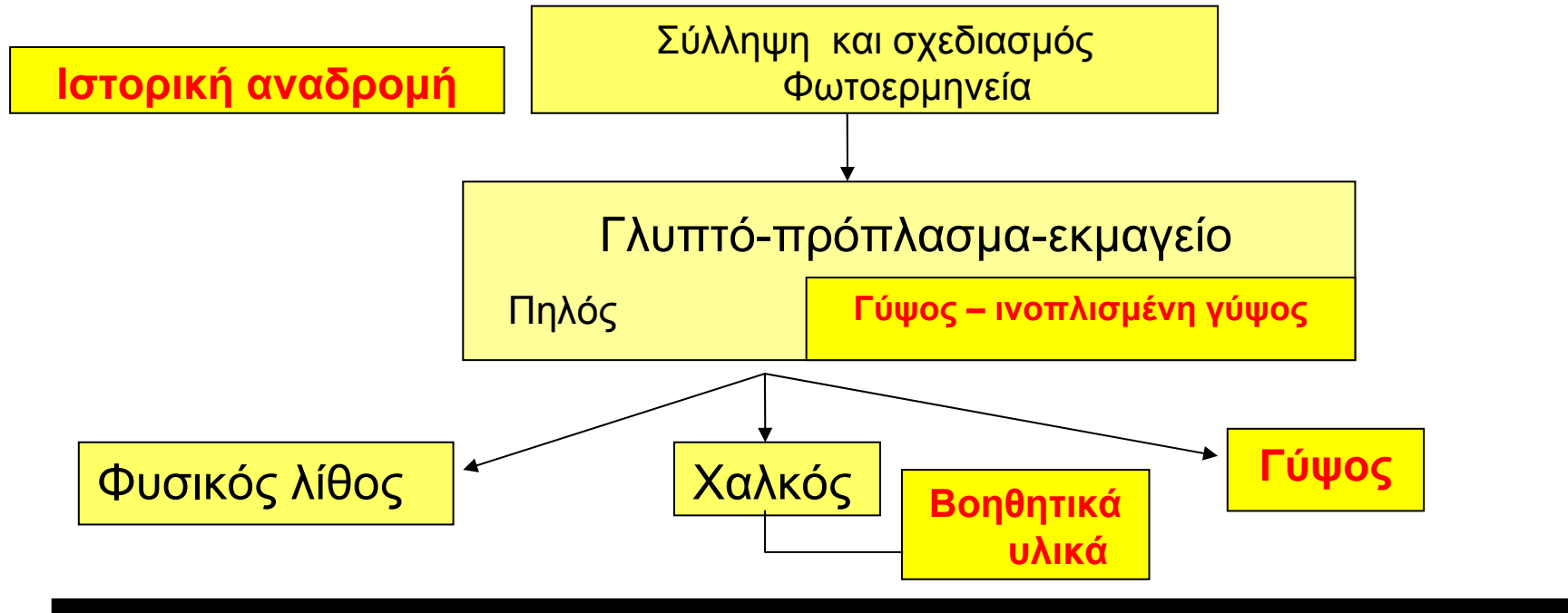


Γήρανση των υλικών

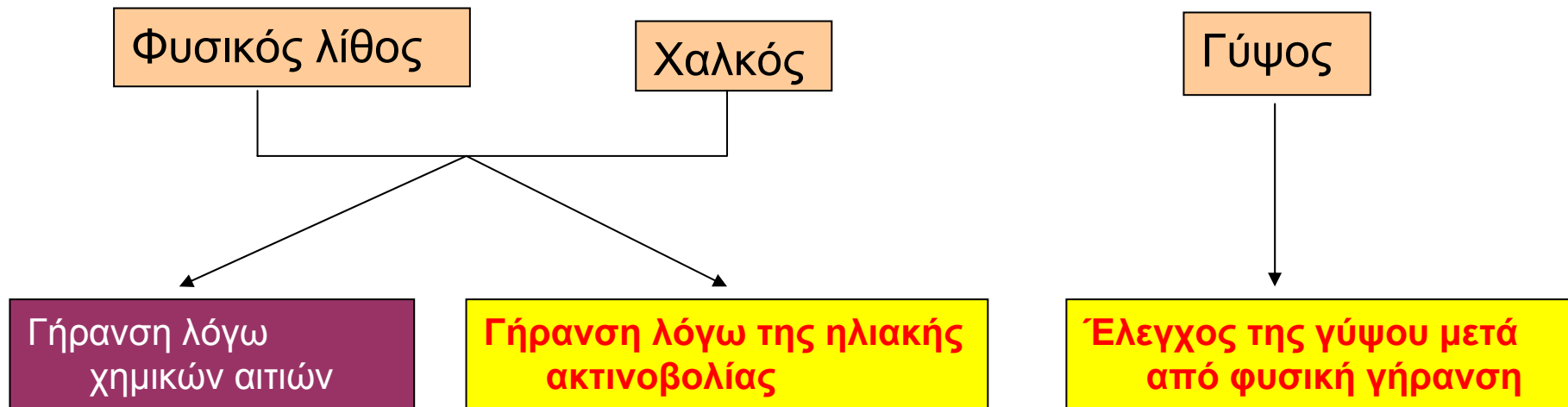
Χαρακτηριστικά σημεία της εργασίας



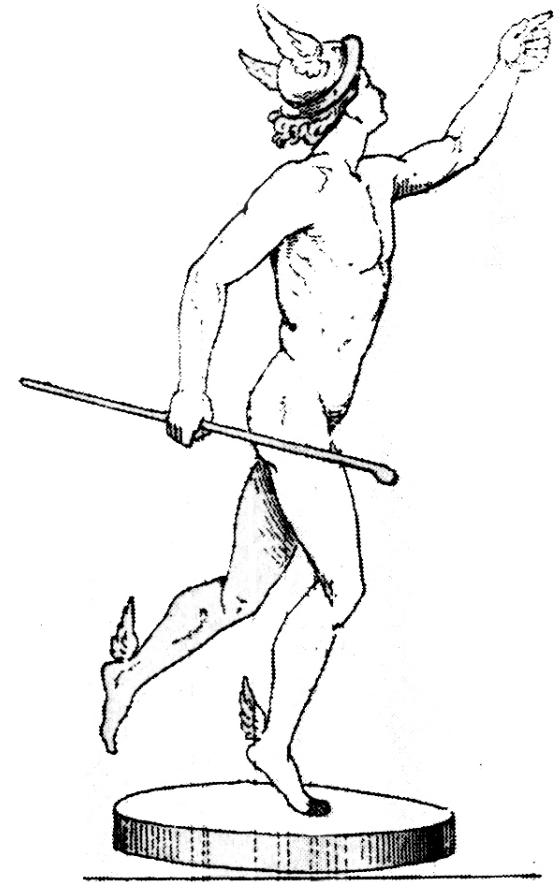
Συμβολή της εργασίας



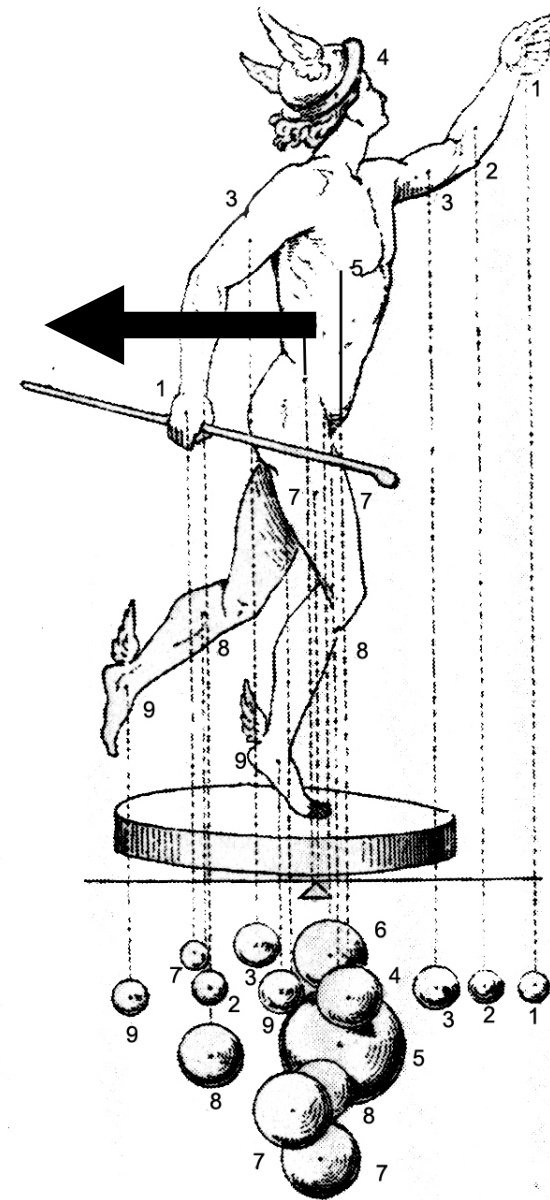
Γήρανση



Φορτίσεις



Φορτίσεις Στατικές Δυναμικές

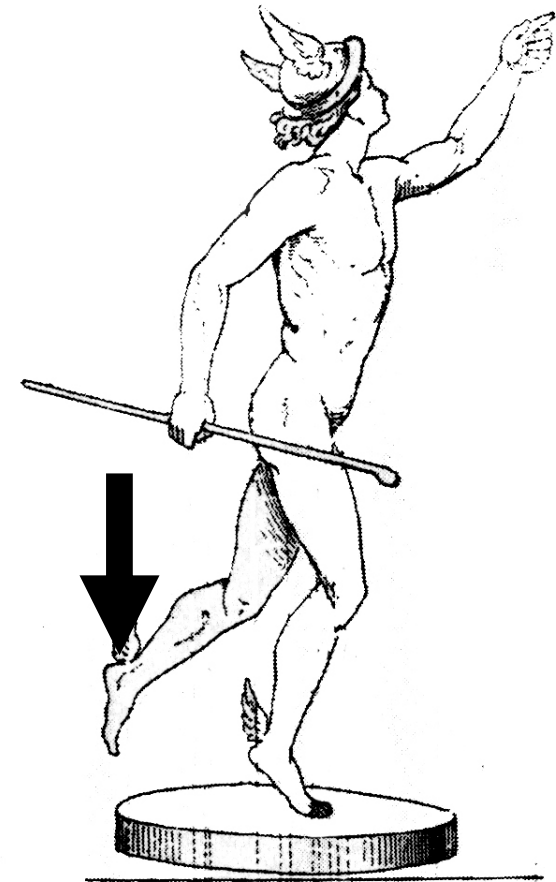


Φορτίσεις

Στατικές

Δυναμικές

Κρουστικές



Φορτίσεις

Στατικές

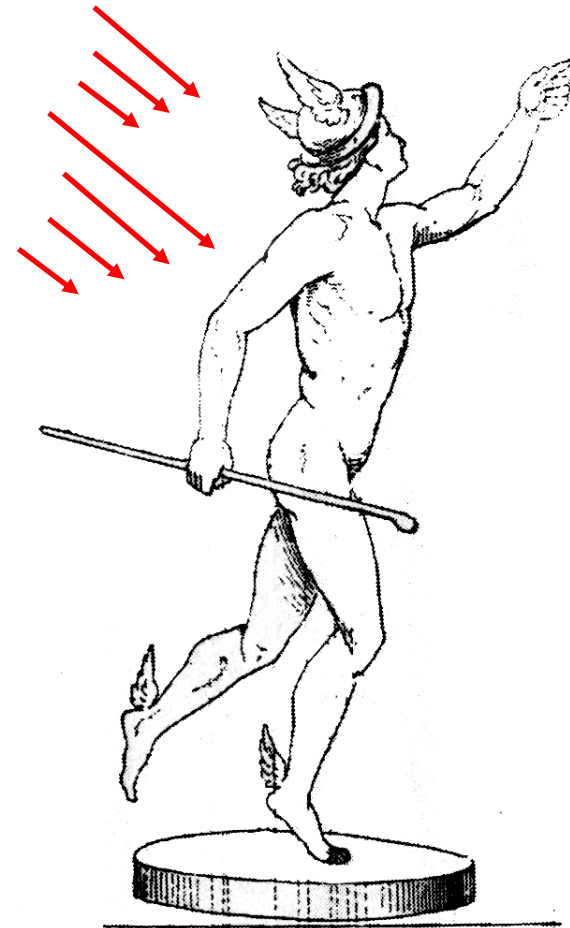
Δυναμικές

Κρουστικές

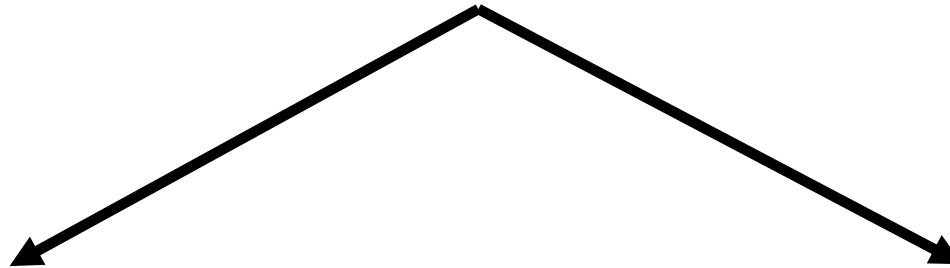
Γήρανση

Η επιλογή μορφής-υλικού
παίζει ρόλο στην παραλαβή
των φορτίων και είναι
υπεύθυνη για
χαρακτηριστικές αστοχίες

Σχετικό ερευνητικό έργο Εργαστήριο
Αντισεισμικής Τεχνολογίας Ε.Μ.Π.



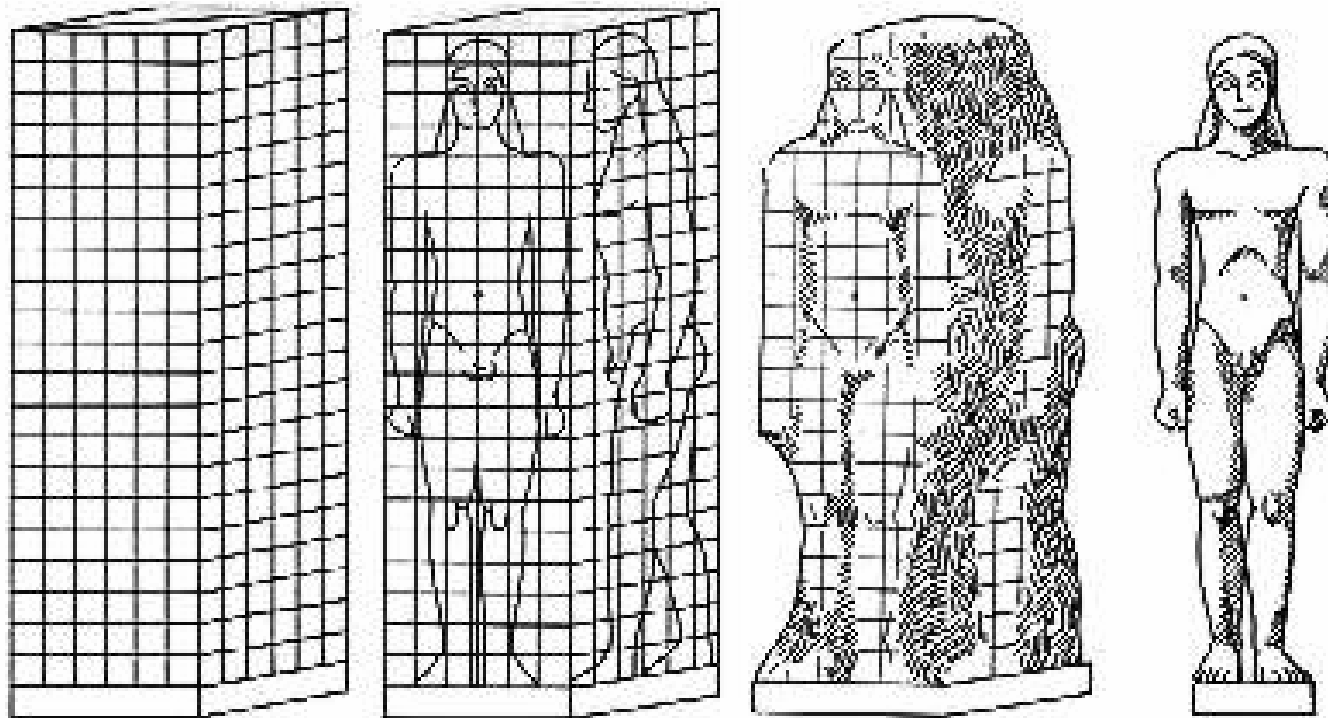
Υλικό
Τεχνική



Φυσικός λίθος
Αφαιρετική μέθοδος

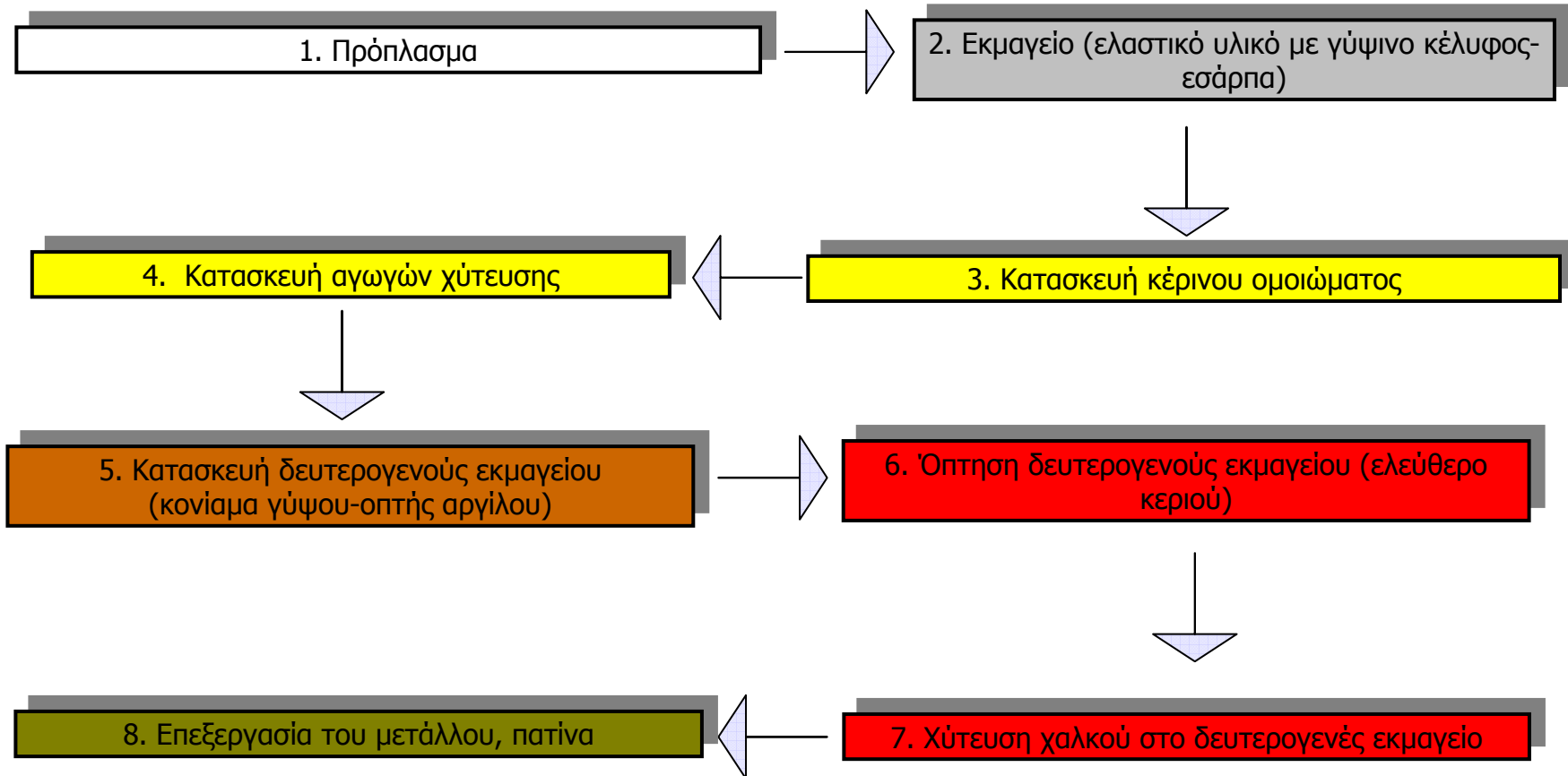
Χαλκός
Χύτευση

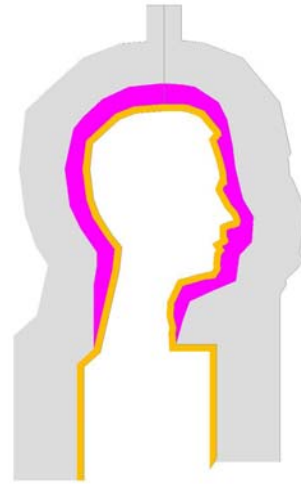
Κατασκευή του γλυπτού από φυσικό λίθο



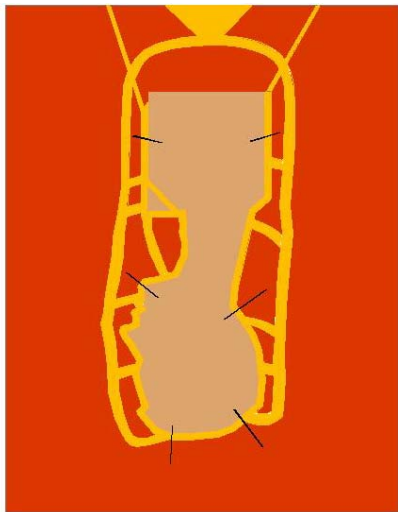
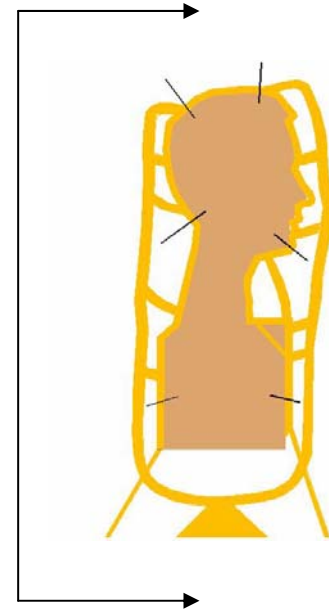
Κατασκευή του γλυπτού από μέταλλο

Χύτευση μετάλλου

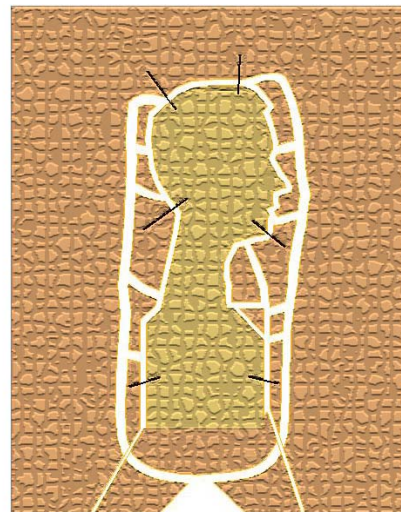




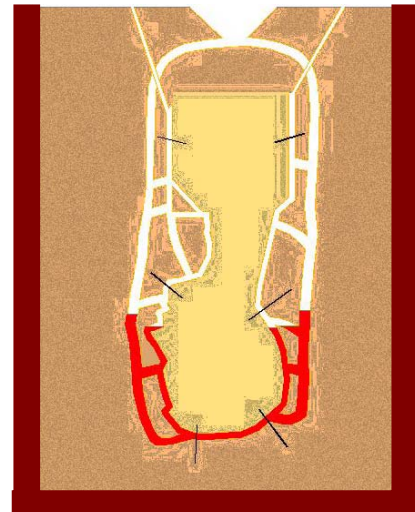
Αρχαία Ελλάδα



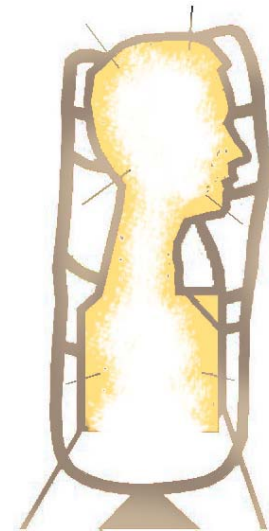
Τα υλικά στην
αρχαιότητα



Όπτηση του εκμαγείου



Θερμικό κρουστικό
φορτίο



Αξιολόγηση της διαδικασίας

- Εξαιρετικά σύνθετη διαδικασία
- Η αντίληψη της συμπεριφοράς των υλικών και της γεωμετρίας της κατασκευής έχει κρίσιμο ρόλο στην διαδικασία



Χαλκός

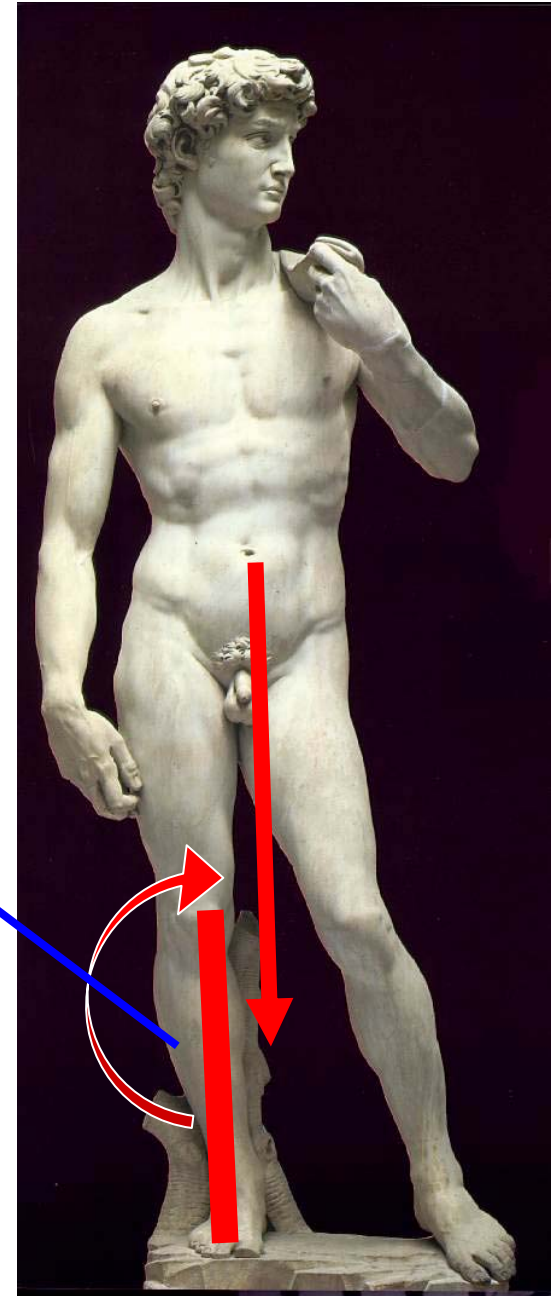


Χαρακτηριστικός
πρόβολος

Σημείο ενίσχυσης-
αστοχίες

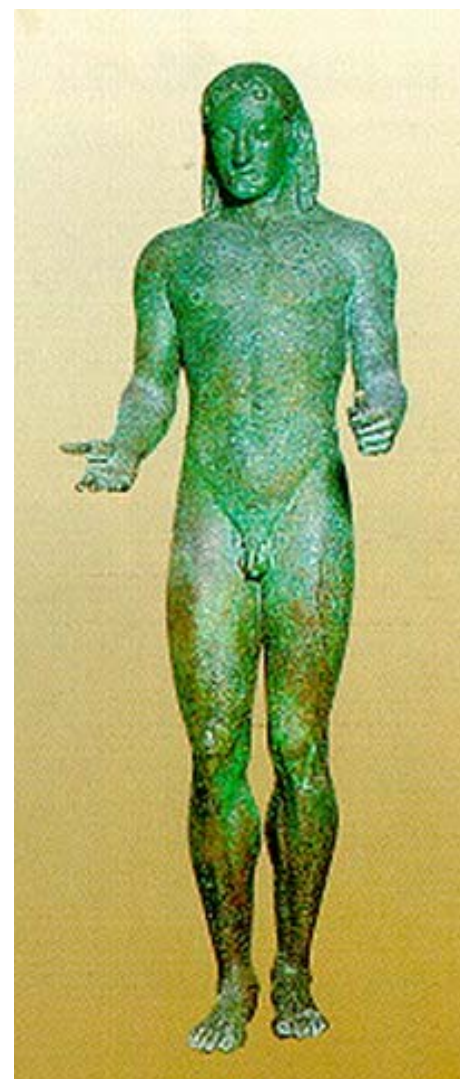
Σχετικό Ερευνητικό έργο MIT

Φυσικός λίθος

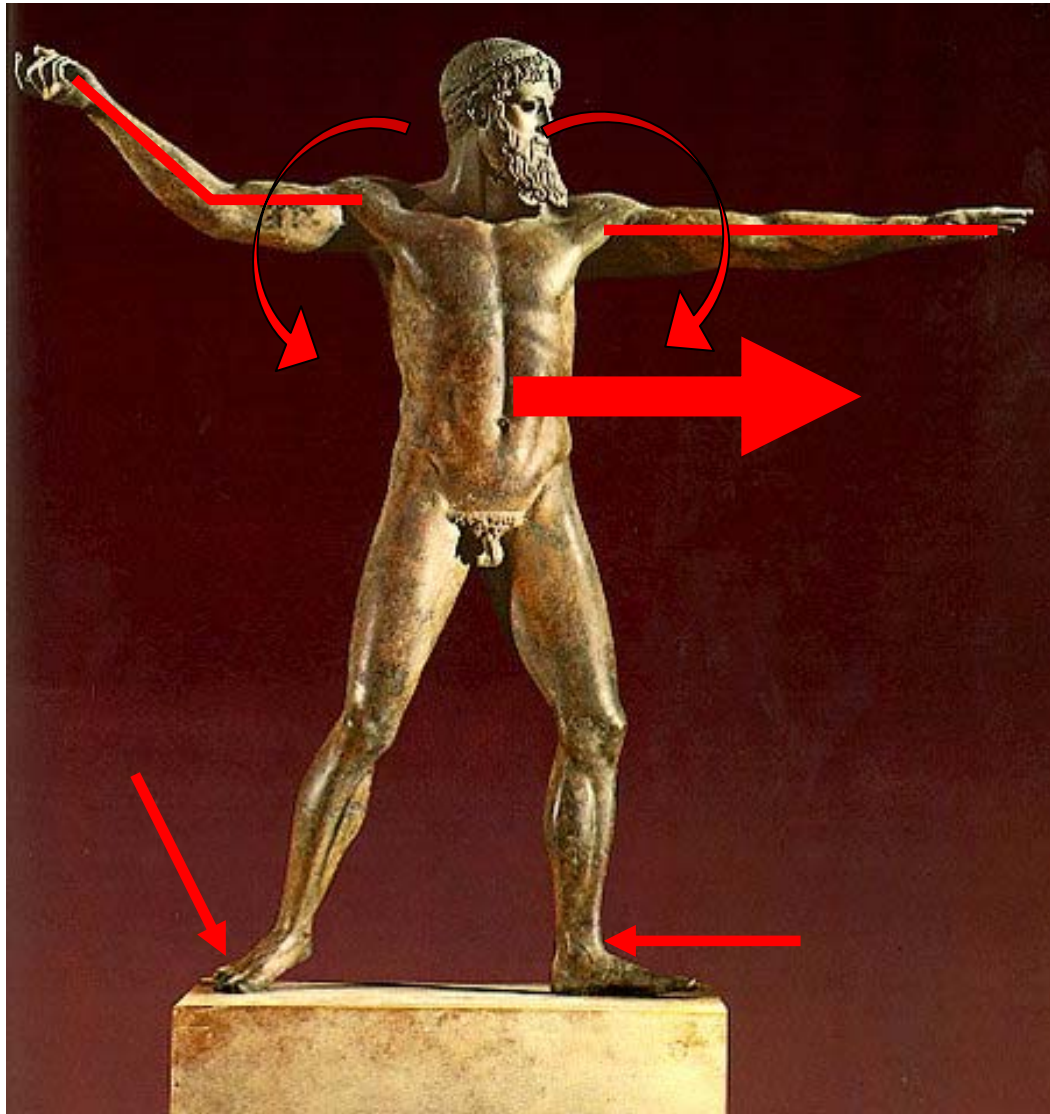


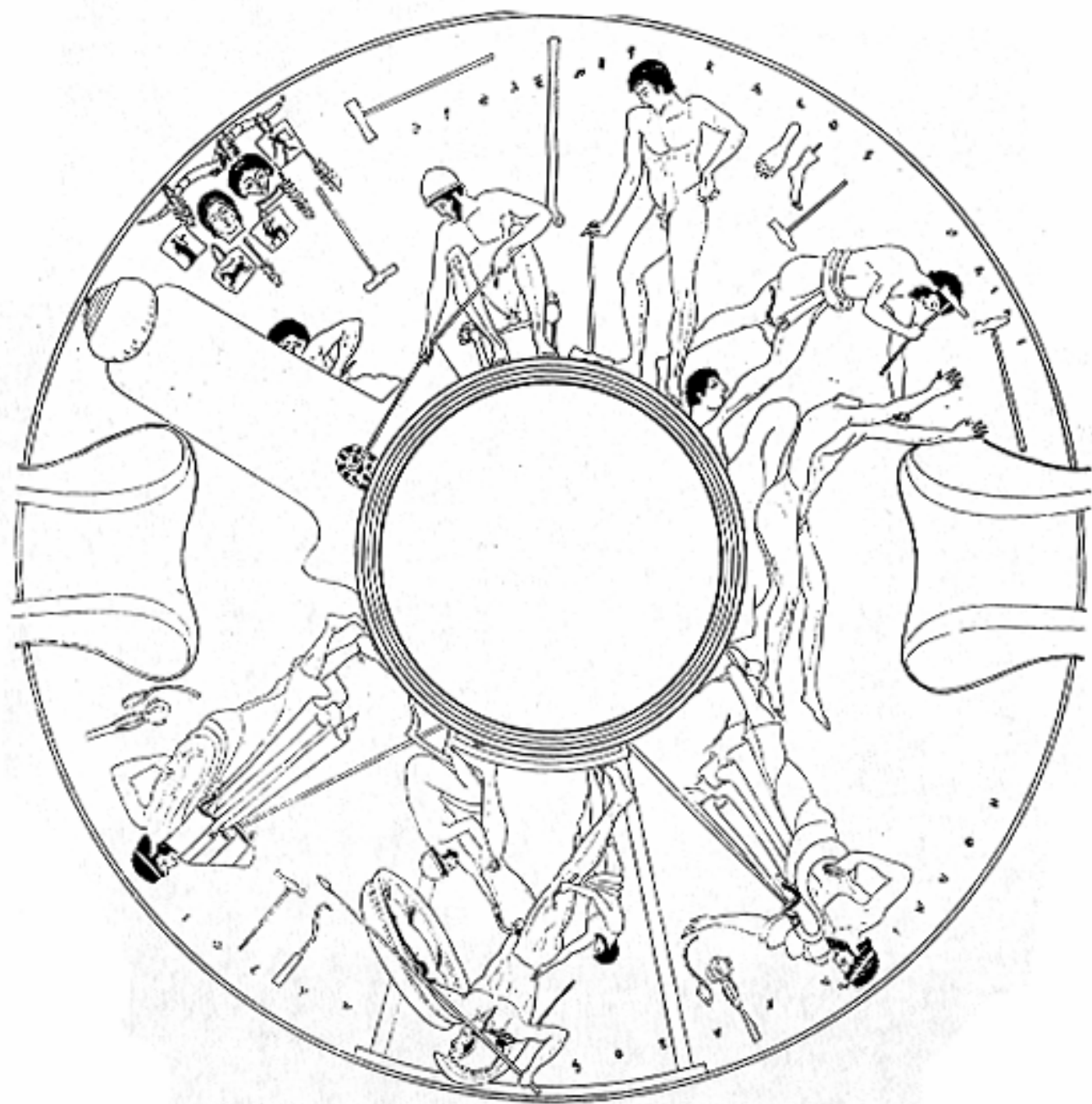
Η εξέλιξη της τεχνικής

Πριν τους κλασικούς χρόνους



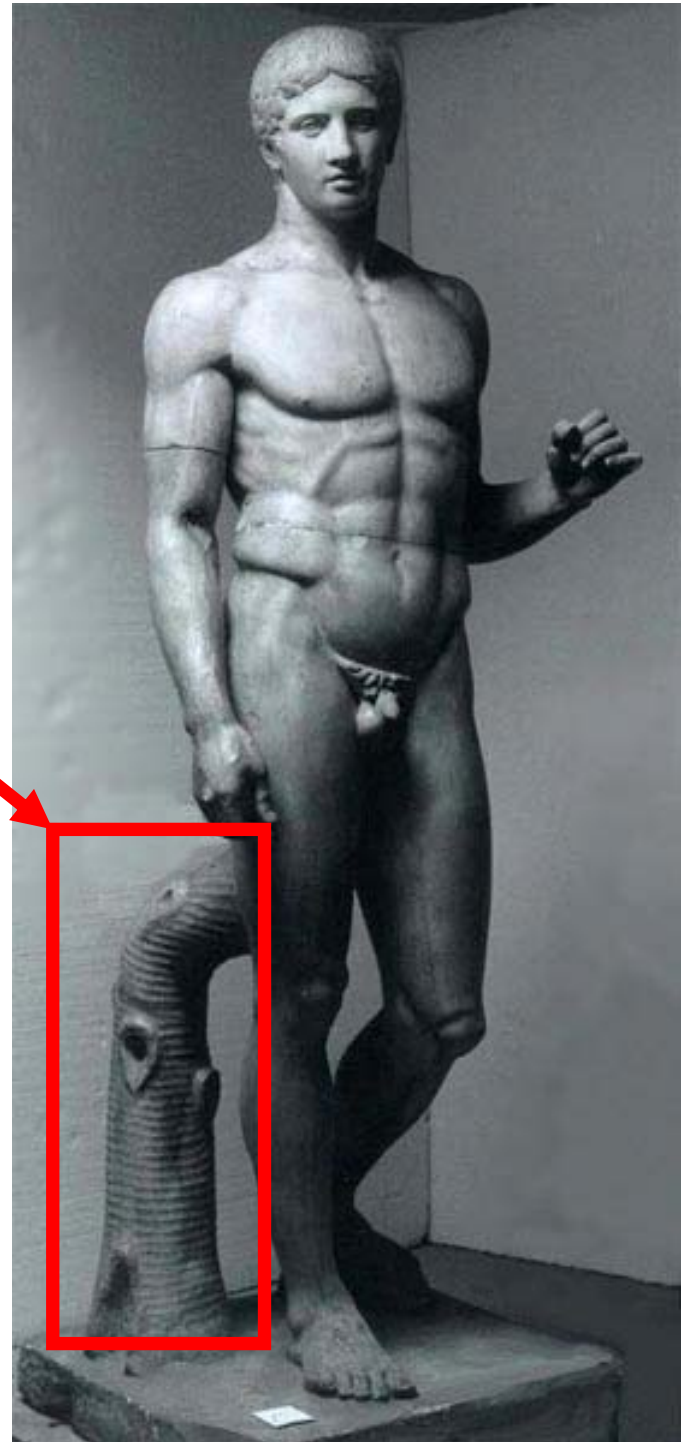
Κλασικοί χρόνοι





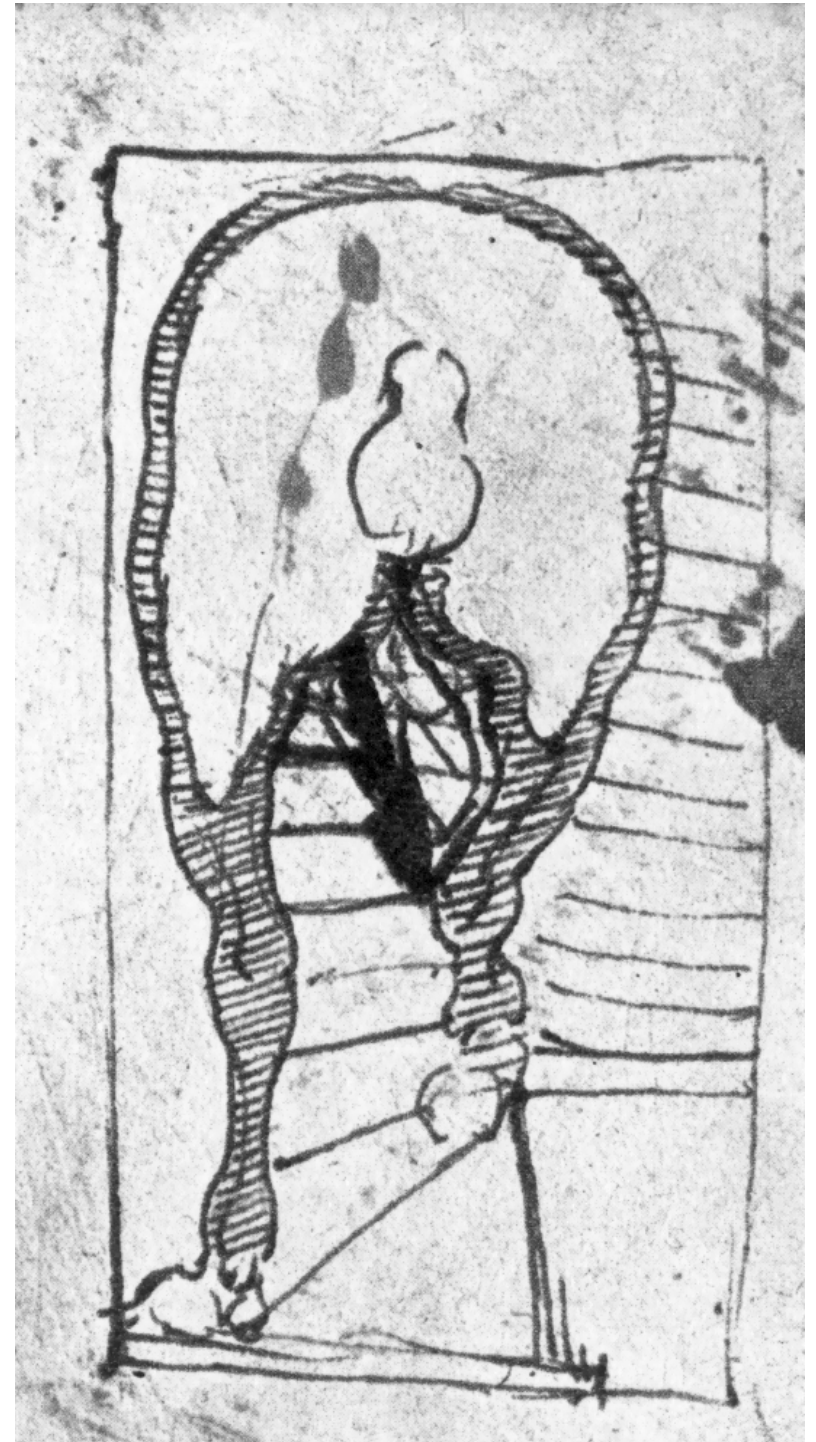
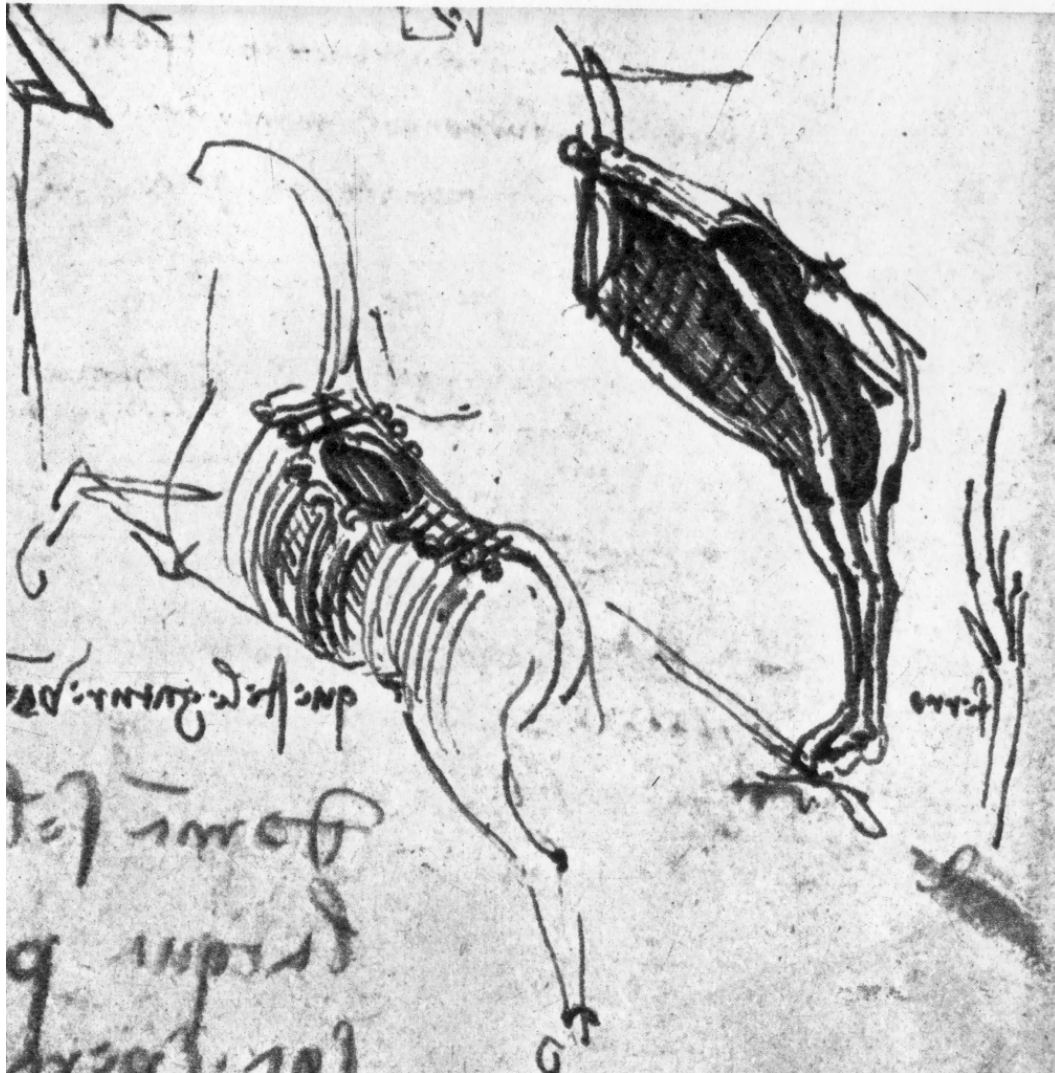


Ενίσχυση

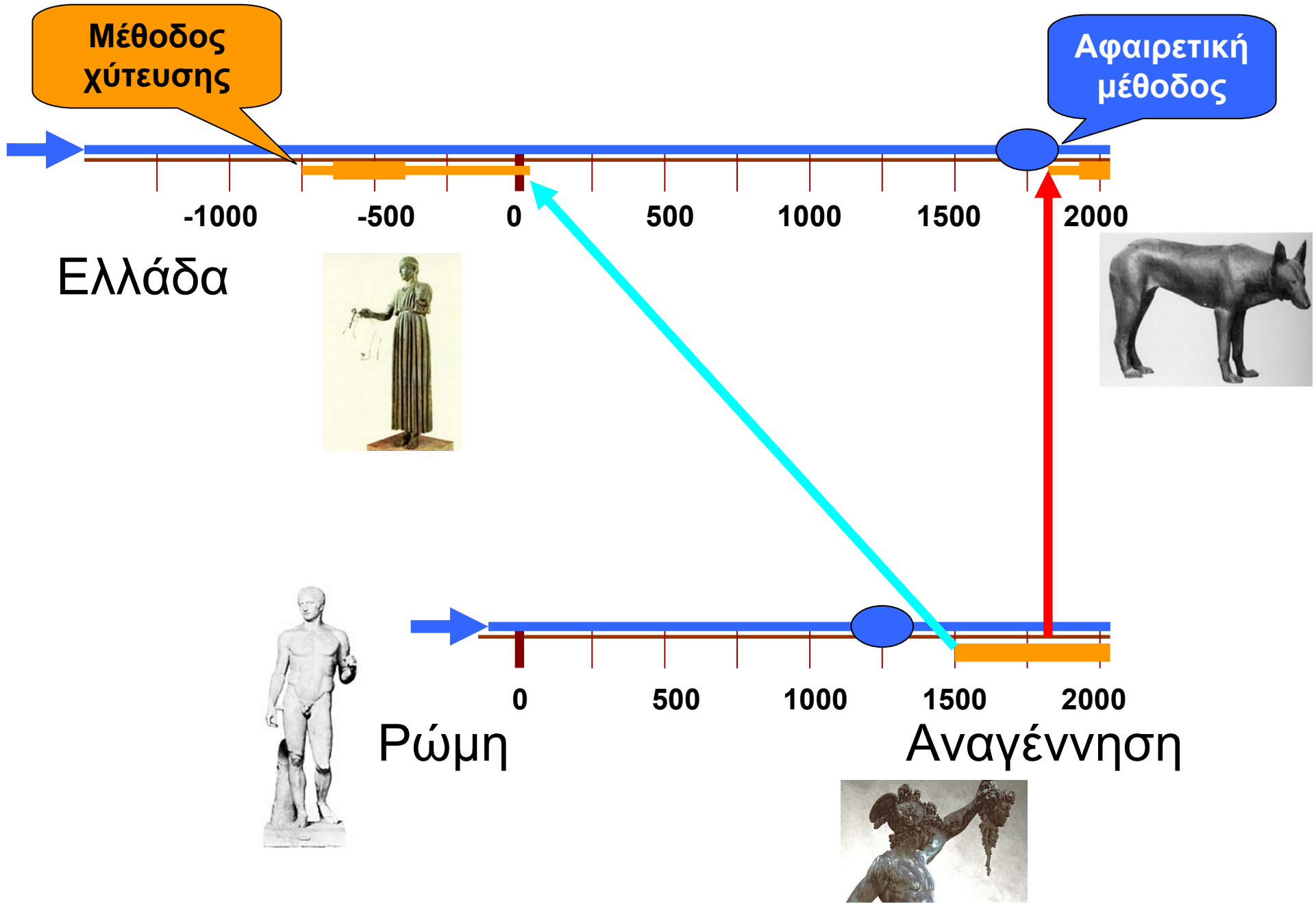


Τυπική αστοχία

Αναγέννηση



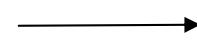




1^ο Συμπέρασμα

Ιστορική αναδρομή

Αφαιρετική μέθοδος
(σκάλισμα φυσικών λίθων)



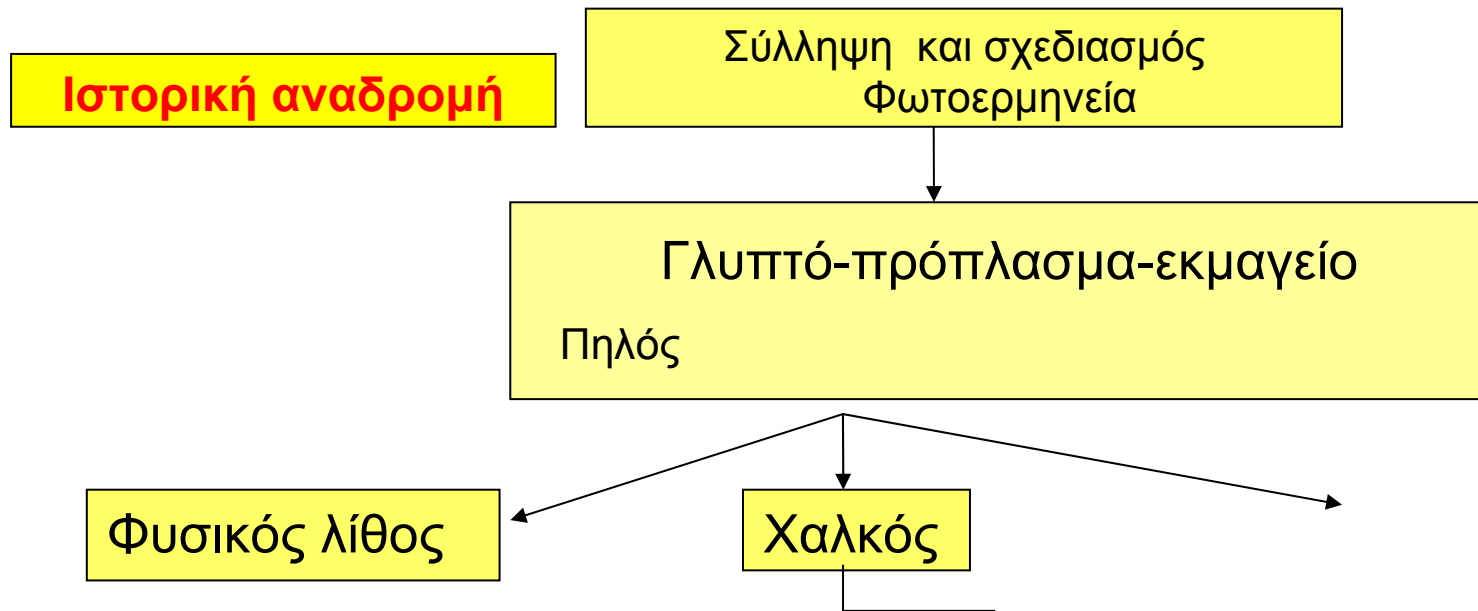
σύνθετες τεχνικές
(σφυρηλάτηση και η
χύτευση μετάλλων)

Διαπιστώνεται ότι η μέθοδος της χύτευσης χρησιμοποιείται στην Κλασική Αρχαιότητα αλλά εξαφανίζεται κατά τους μέσους χρόνους ενώ κατά την Ιταλική Αναγέννηση πραγματοποιείται συστηματική διερεύνηση για τον επαναπροσδιορισμό της διαδικασίας της.

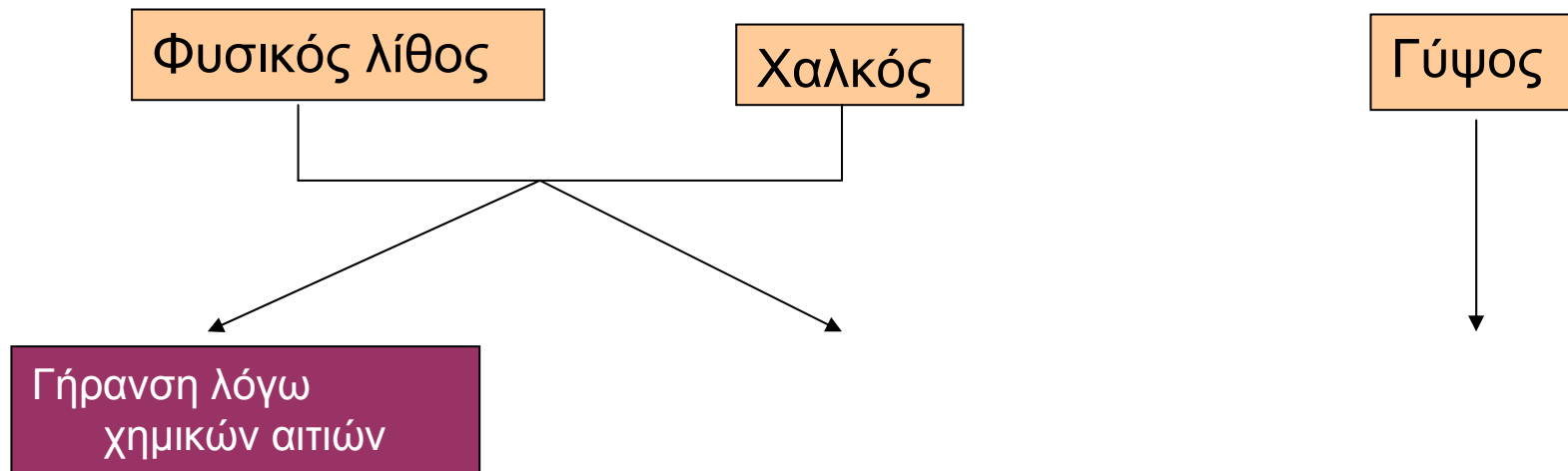
Γλυπτική-συλλογική έκφραση →

Η εξέλιξη της τεχνικής, η ανάπτυξη των χυτεύσεων και η δημιουργία σύνθετων κατασκευών αποτελούν ένα **Δείκτη** του πολιτισμού σε κάθε ιστορική περίοδο

Συμβολή της εργασίας



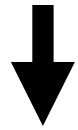
Γήρανση



Κατασκευή

Η δημιουργία ενός γλυπτού

Ιδέα-έμπνευση

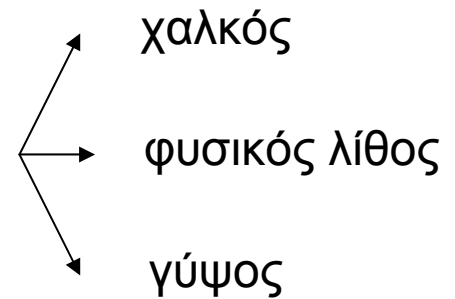


Σύλληψη και σχεδιασμός του έργου

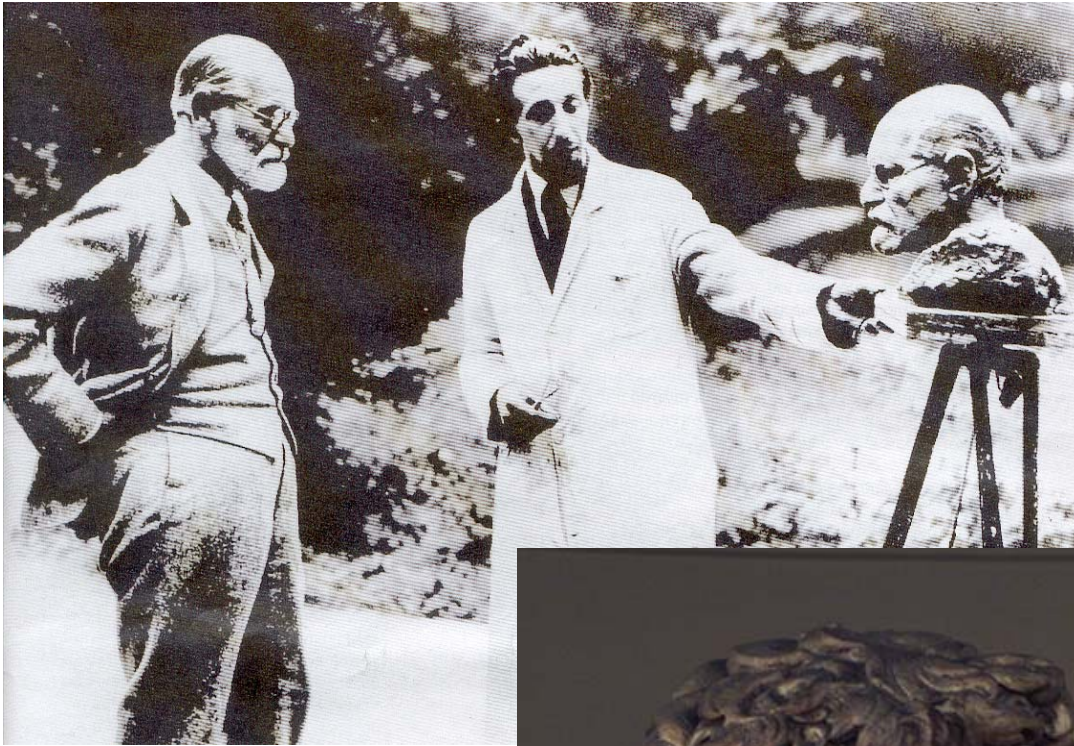


Κατασκευή

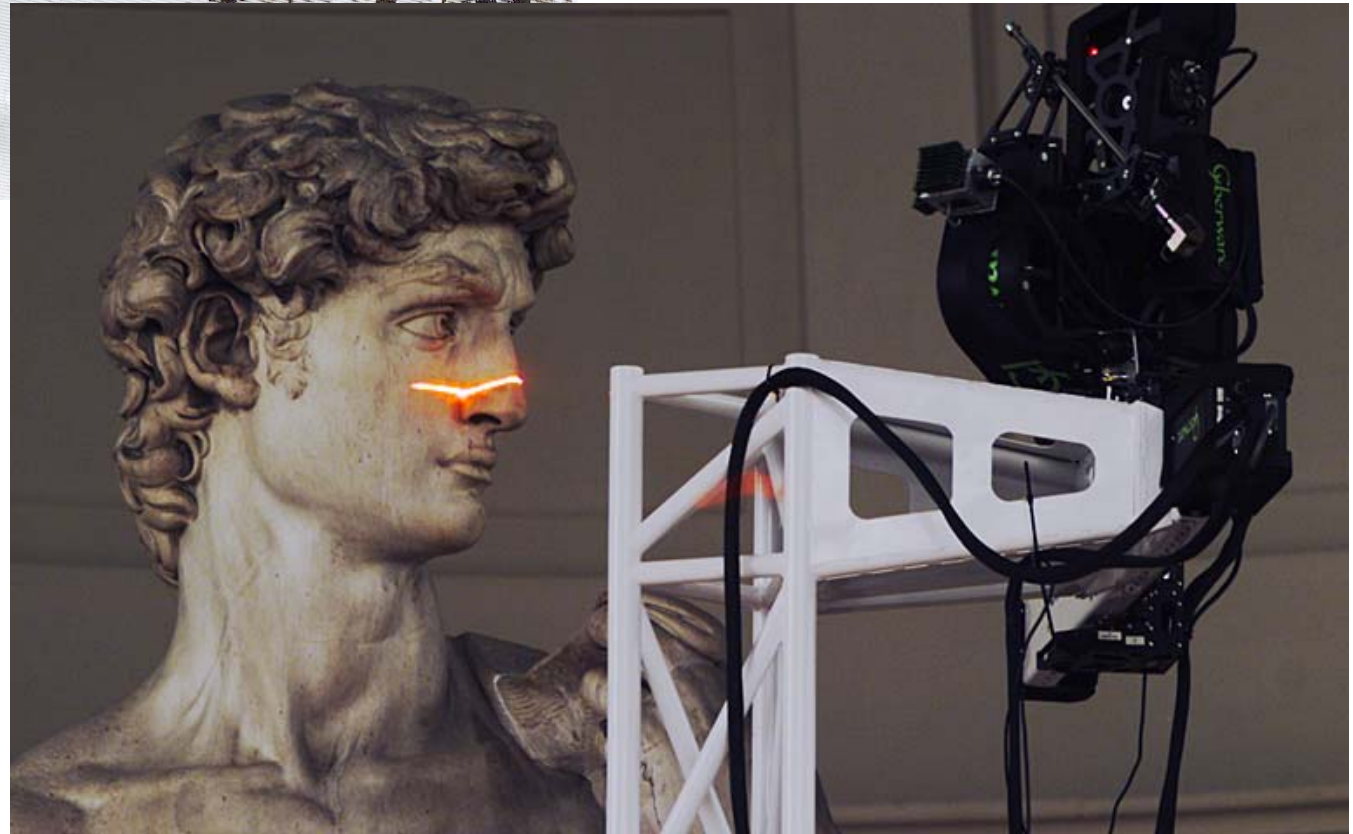
→ πρόπλασμα



Γήρανση των υλικών

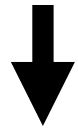


3d scanner
Φωτοερμηνεία



Η δημιουργία ενός γλυπτού

Ιδέα-έμπνευση



Σύλληψη και σχεδιασμός του έργου



Κατασκευή

πρόπλασμα
↓
(πηλός-γύψος)

χαλκός
φυσικός λίθος
γύψος



Γήρανση των υλικών

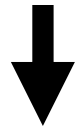
Υλικά κατασκευής

- Πηλός
- Κονιάματα-σκυροδέματα
- Ελαφροσκυρόδεμα
- Ξύλο
- Πάγος
- Γυαλί
- Κράματα σιδήρου
- Κερί
- Ελαστικά
- Ρητίνες
- Πεπιεσμένο χαρτί
- Άμμος

Γύψος
Μάρμαρο
Κράματα χαλκού

Η δημιουργία ενός γλυπτού

Ιδέα-έμπνευση



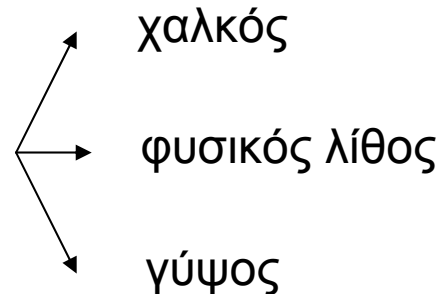
Σύλληψη και σχεδιασμός του έργου



Κατασκευή



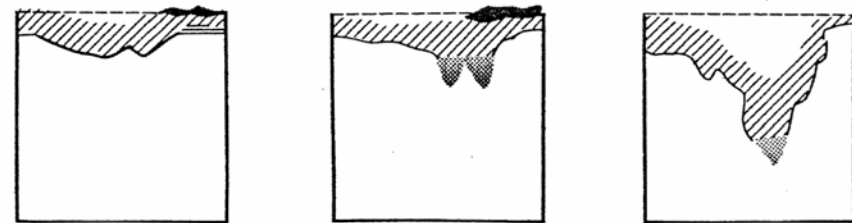
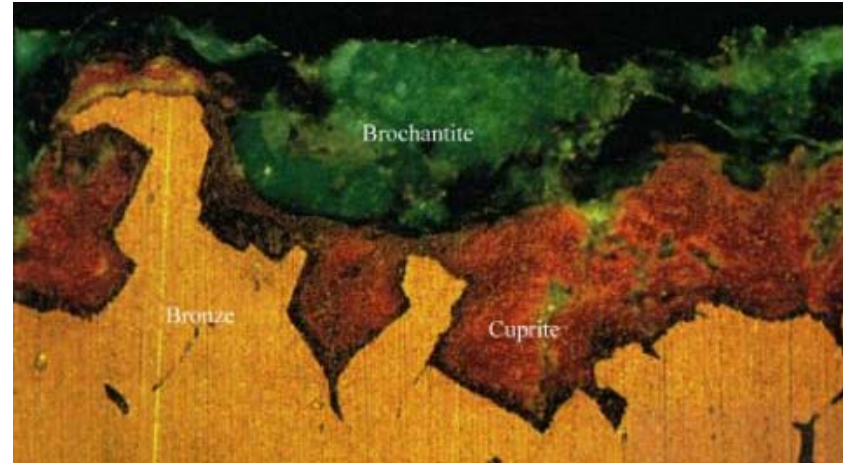
Γήρανση των υλικών



Φυσικός λίθος



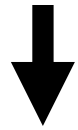
Παθολογία



Χαλκός

Ερωτήματα

Ιδέα-έμπνευση



Σύλληψη και σχεδιασμός του έργου



Κατασκευή



Γήρανση των υλικών

χαλκός

Κονίαμα
χύτευσης

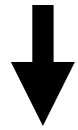
γύψος

γύψος

ινοπλισμένη
γύψος

Που εμφανίστηκαν

Ιδέα-έμπνευση



Σύλληψη και σχεδιασμός του έργου



Κατασκευή

Χύτευση γλυπτών της Καλλιτεχνικής Περιουσίας του Ε.Μ.Πολυτεχνείου

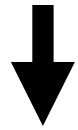
Ηρακλής του Farnese



Γήρανση των υλικών

Ερωτήματα

Ιδέα-έμπνευση



Σύλληψη και σχεδιασμός του έργου



Κατασκευή



Γήρανση των υλικών

Πώς μεταβάλλονται οι ιδιότητες της γύψου μετά από φυσική γήρανση

Πώς επηρεάζει η ηλιακή ακτινοβολία τα υλικά στο βάθος του χρόνου

Που εμφανίστηκαν

Ιδέα-έμπνευση



Σύλληψη και σχεδιασμός του έργου



Κατασκευή



Γήρανση των υλικών

Ηρακλής του Farnese

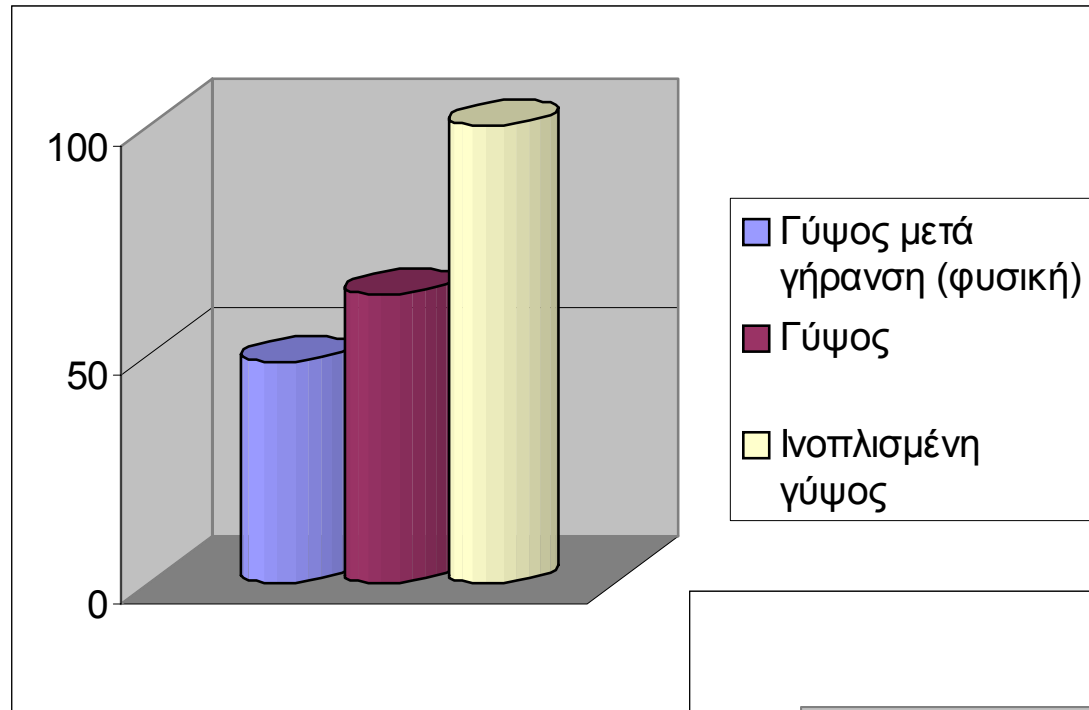
Παρατηρήσεις με
θερμοκάμερα στα
πλαίσια της έρευνας
της Δ.Δ.

Γύψος

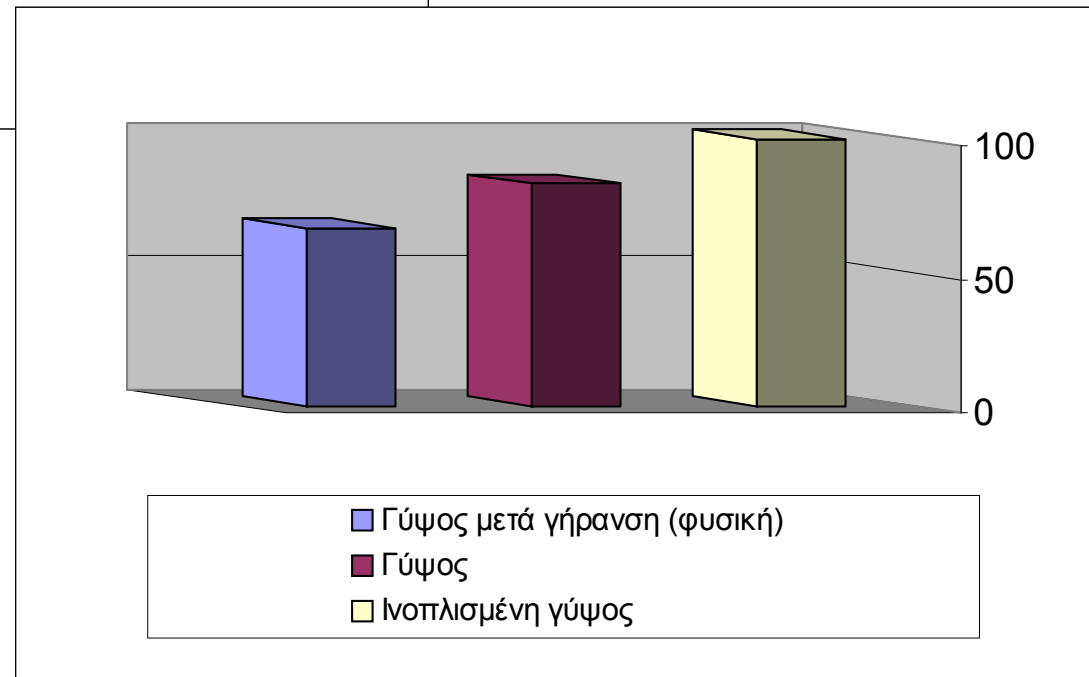
- Γύψος
- Ινοπλισμένη γύψος
- Γύψος μετά από φυσική γήρανση

Μηχανικές αντοχές γύψου, ινοπλισμένης γύψου και γύψου μετά από φυσική γήρανση

Δοκιμές	Μονάδες	Γύψος		Γύψος μετά γήρανση	Παρατηρήσεις Διαφορά %
Αντοχή σε θλίψη	MPa	Άοπλη	11,84	8,24	-30 %
		Ινοπλισμένη	13,28	–	–
Αντοχή σε εφελκυσμό από κάμψη	MPa	Άοπλη	1,69	1,29	-23 %
		Ινοπλισμένη	2,68	–	–
Αντοχή σε τριβή	$10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2$	Άοπλη	6,1	4,0	-34 %
		Ινοπλισμένη	5,4	–	–
Αντοχή σε κρούση	Joule/m ²	Άοπλη	107,91	78,48	-27 %
		Ινοπλισμένη	127,53	–	–
Διαστολή σκλήρυνσης	%	Άοπλη	1,1%	–	–
		Ινοπλισμένη	0,9%	–	–
Τάσις ρηγμάτωσης		Άοπλη	Άνευ ρηγμάτωσης	τριχοειδής	–
		Ινοπλισμένη	Άνευ ρηγμάτωσης		–



Αντοχή σε εφελκυσμό %



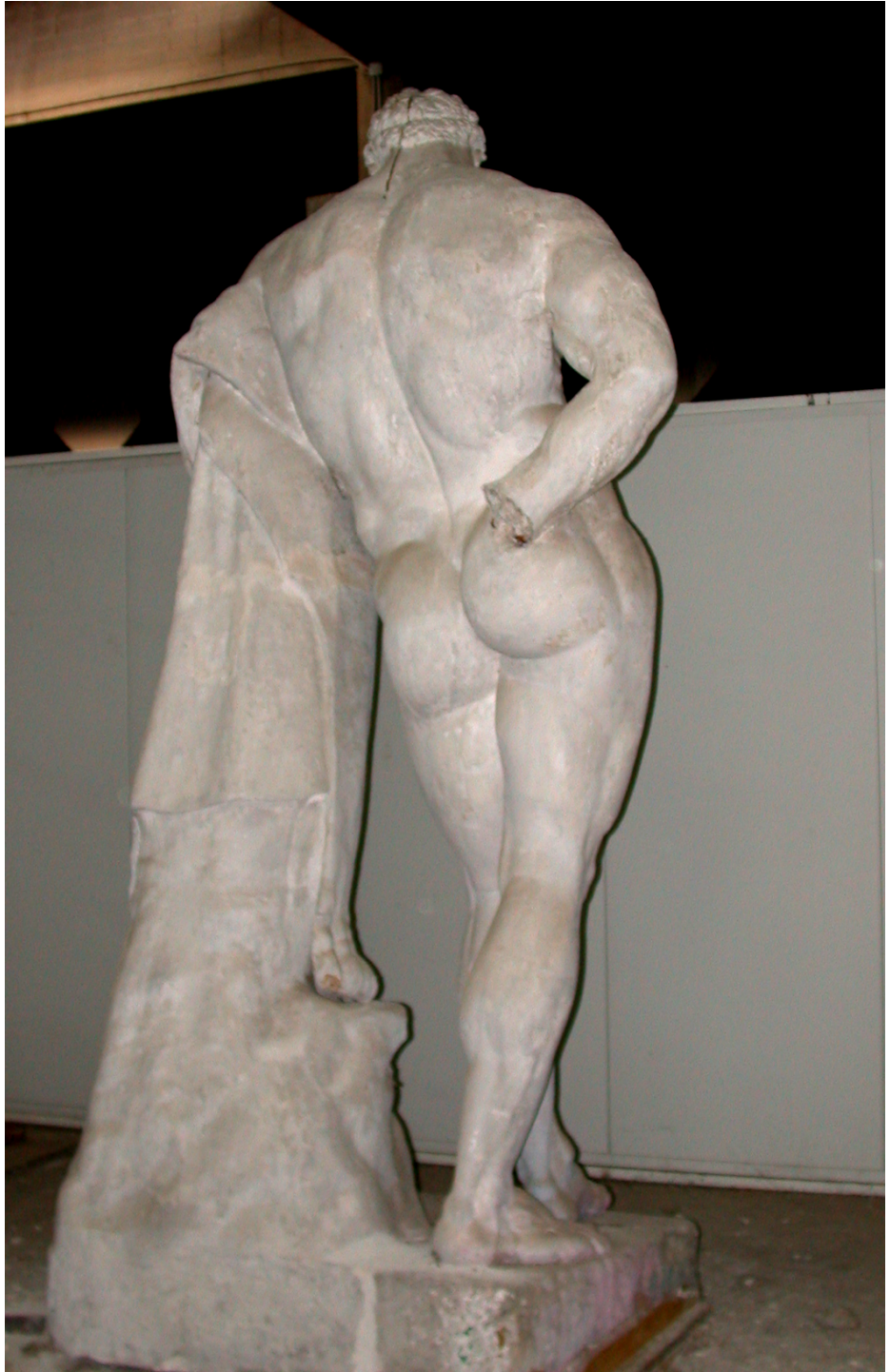
Αντοχή σε κρούση %

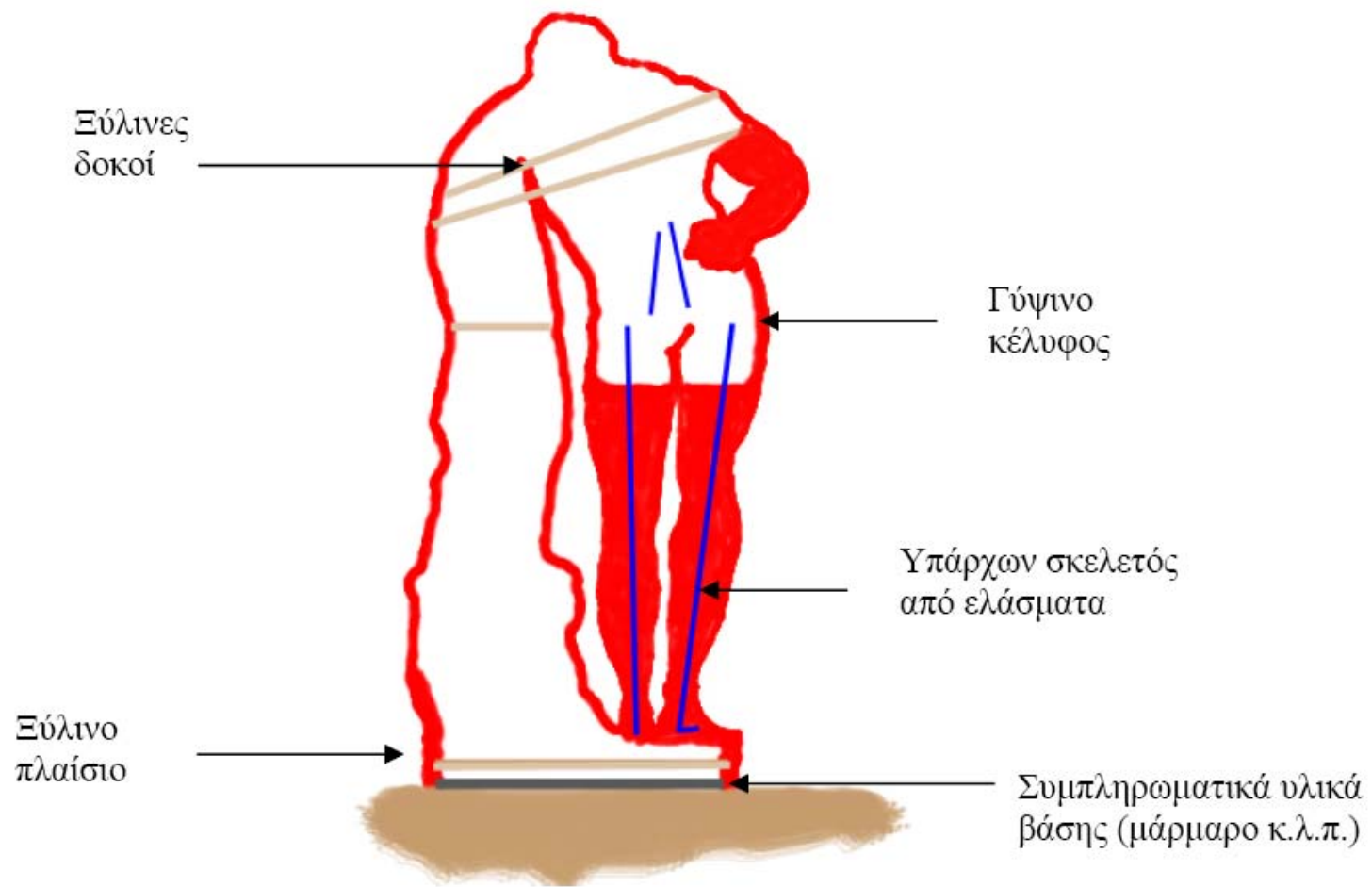
Εργασίες συντήρησης του έργου

Λεβητοστάσιο Ε.Μ.Π.

Οκτώβριος 2003 –
Φεβρουάριος 2004

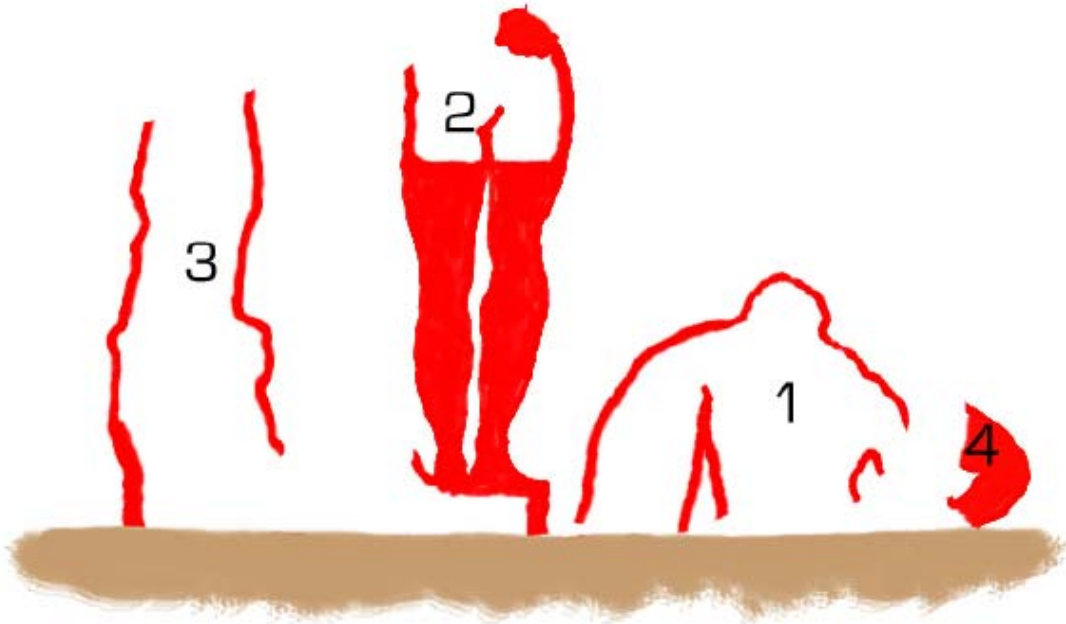


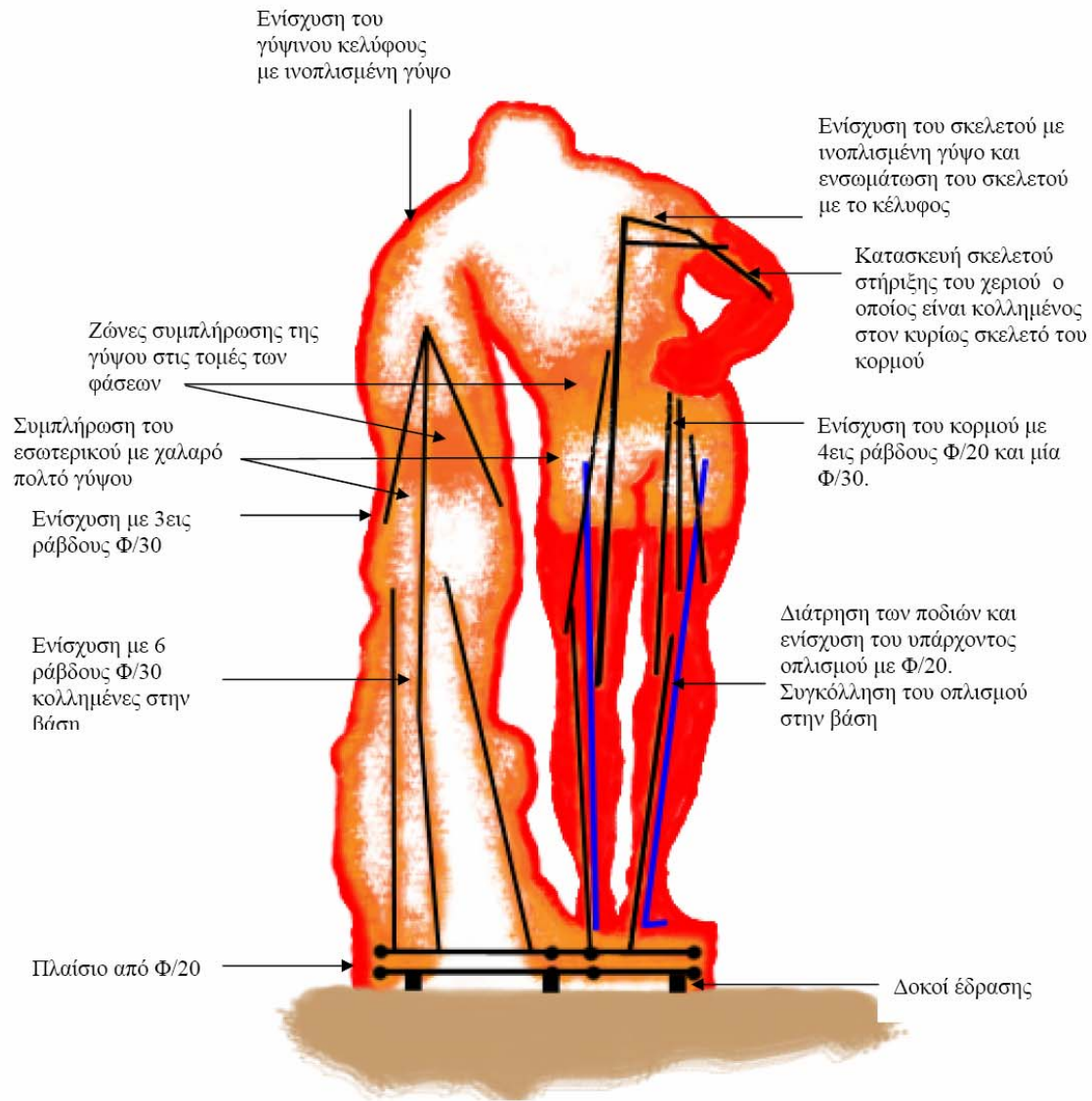




Χρωματικό υπόμνημα

- | | | | |
|---|----------------------------|---|---------------------------------------|
| ● | Γύψινο κέλυφος | ● | Υπάρχων σκελετός (σιδερένια ελάσματα) |
| ● | Συμπληρωματικά υλικά βάσης | ● | Εύλινες δοκοί |

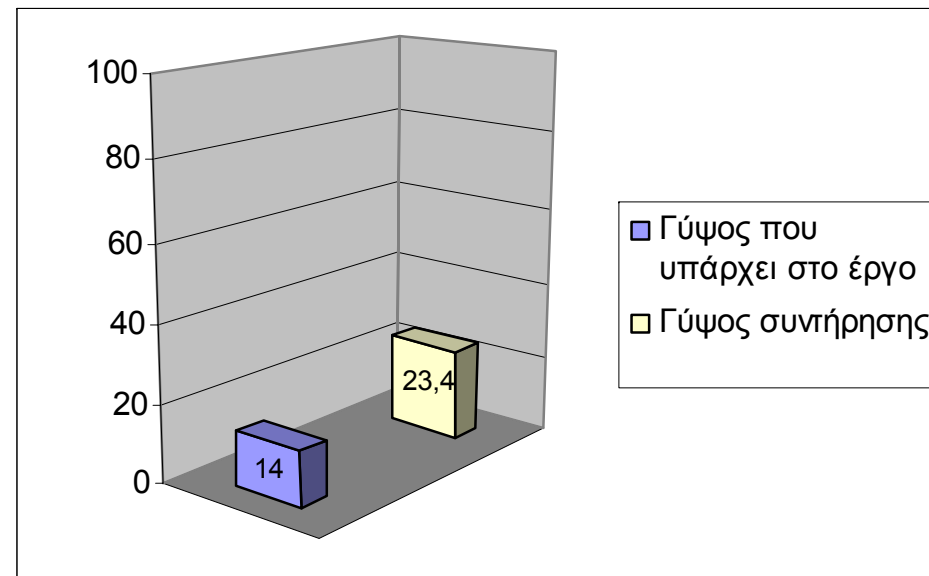




Χρωματικό υπόμνημα

- | | |
|----------------------------|---|
| ● Γύψινο κέλυφος | ● Υπάρχον σκελετός |
| ● Συμπληρώσεις με νέα γύψο | ● Κατασκευή νέου σκελετού |
| ● Ινοπλισμένη γύψο | ● Συμπληρώσεις με χαλαρό πολτό γύψου-χάρτου |

- Συμπλήρωση ατελειών
- Διαμόρφωση υφής
- Πατίνα



Περιεκτικότητα σε υγρασία











2^ο Συμπέρασμα-εφαρμογή

πρόπλασμα → τελικό υλικό κατασκευής



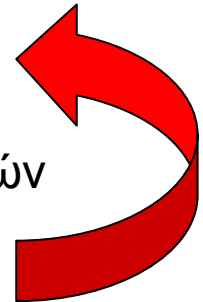
Κρίσιμο υλικό: γύψος

- Ινοπλισμένη γύψος
- Γύψος
- Γύψος μετά από φυσική γήρανση



Πειραματικός προσδιορισμός των
μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών

Μεταβολή $\approx 30\%$



Εργαστήριο Τεχνικών Υλικών Ε.Μ.Π. Ιανουάριος 2003-Ιούλιος 2003

Εφαρμογή

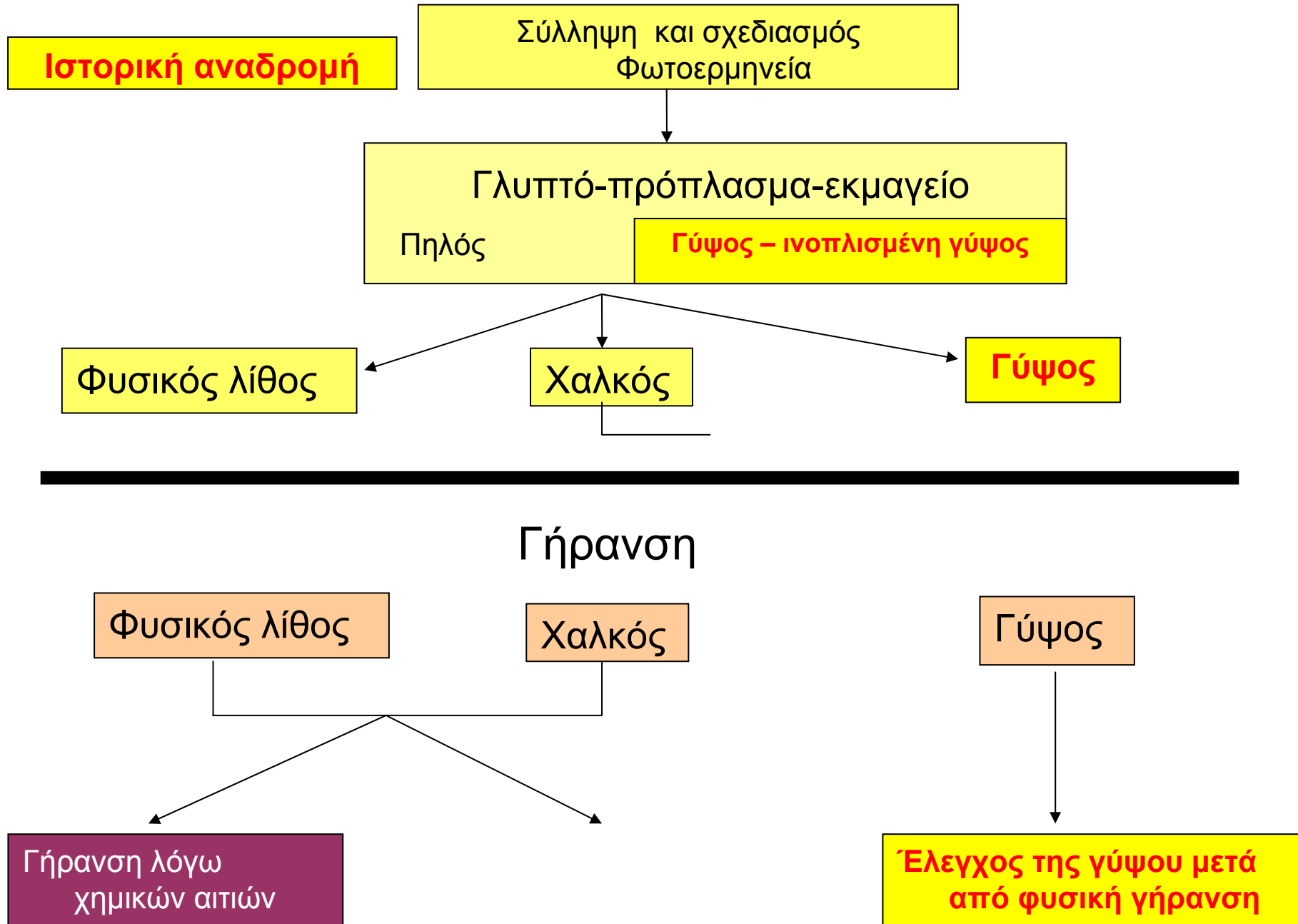


Λεβητοστάσιο Ε.Μ.Π.

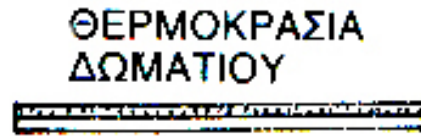
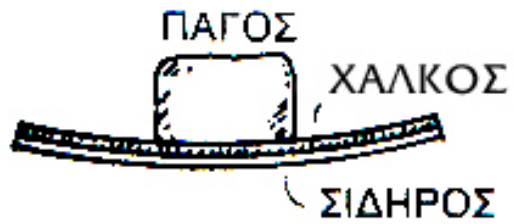
Οκτώβριος 2003 – Φεβρουάριος 2004

Ολοκλήρωση της εφαρμογής
Ιστορική Πρωτανεία Ε.Μ.Π. 2004

Συμβολή της εργασίας

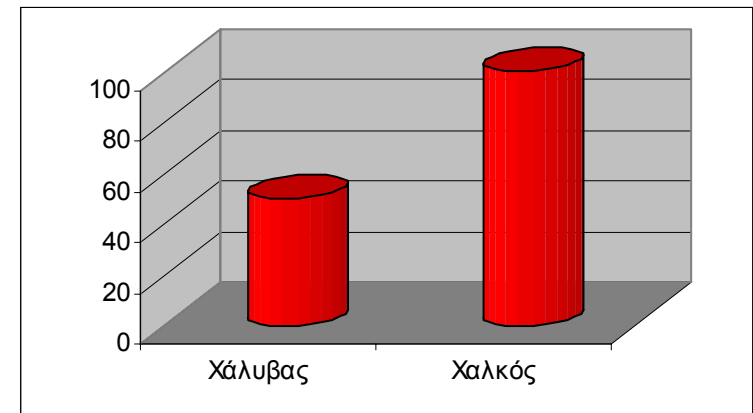


Θερμική διαστολή

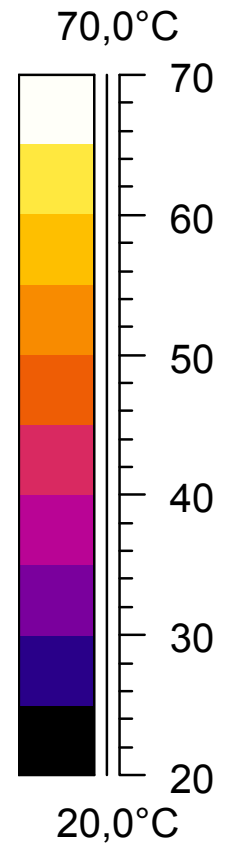
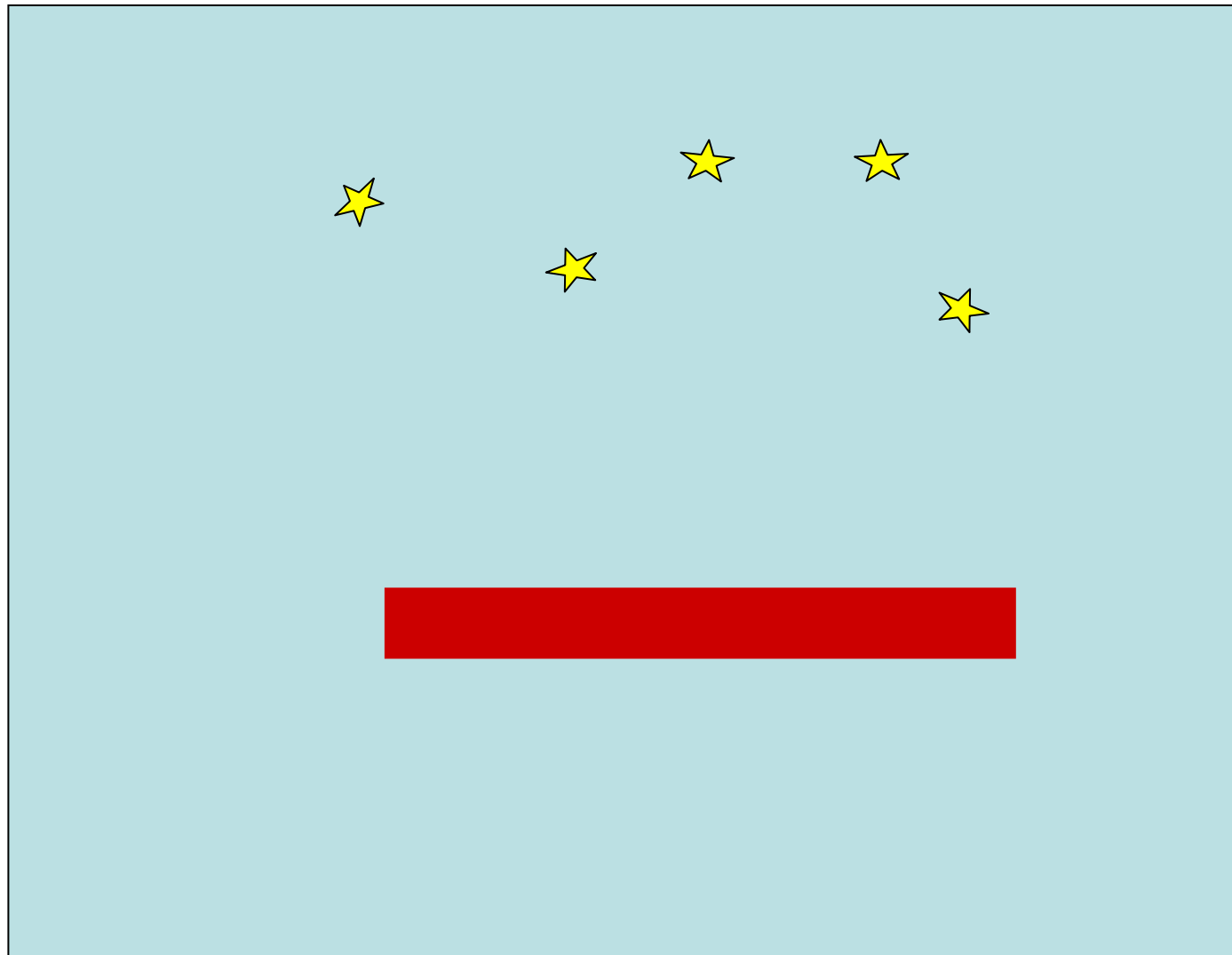


Συντελεστής θερμικής διαστολής

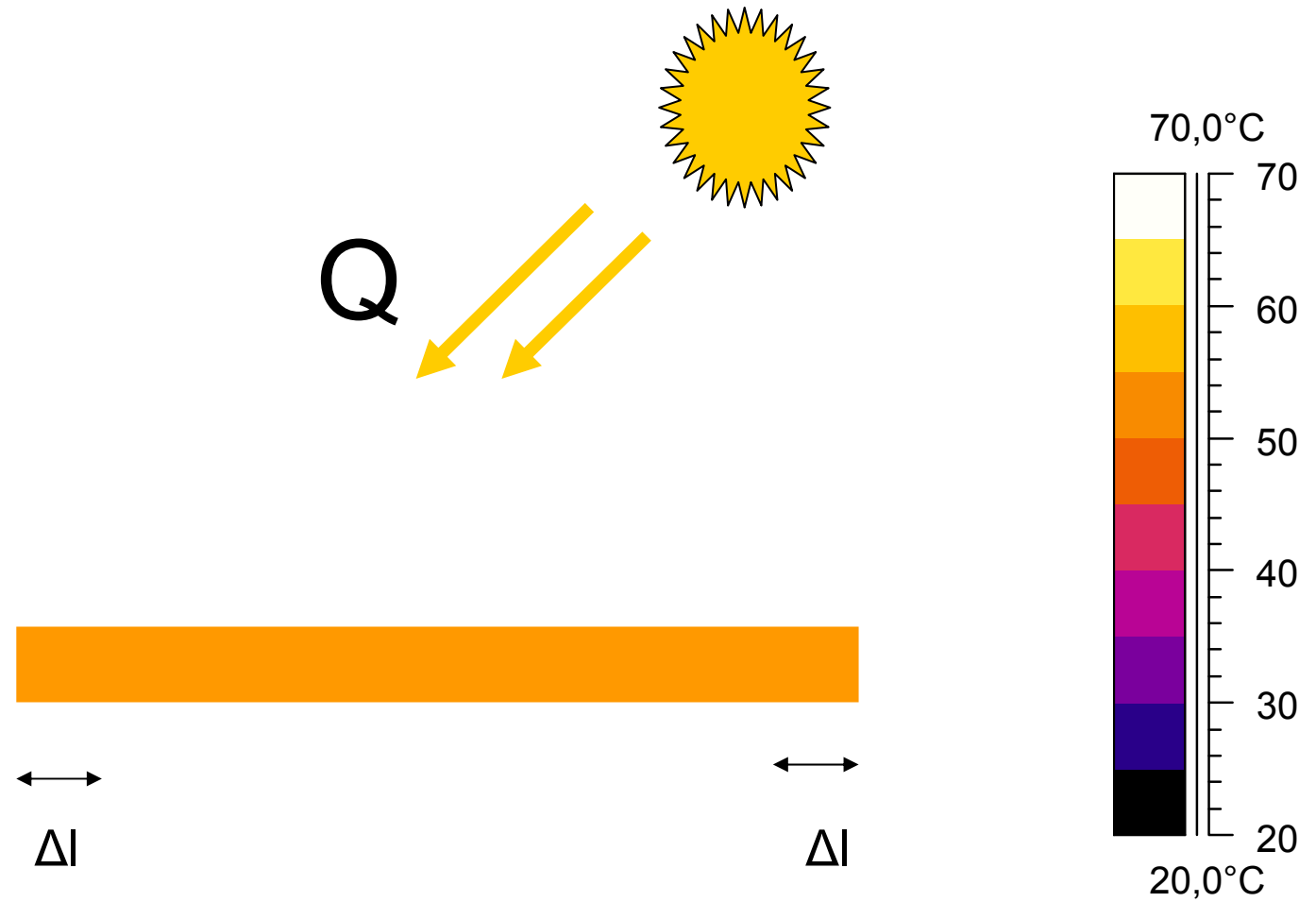
W/m*K



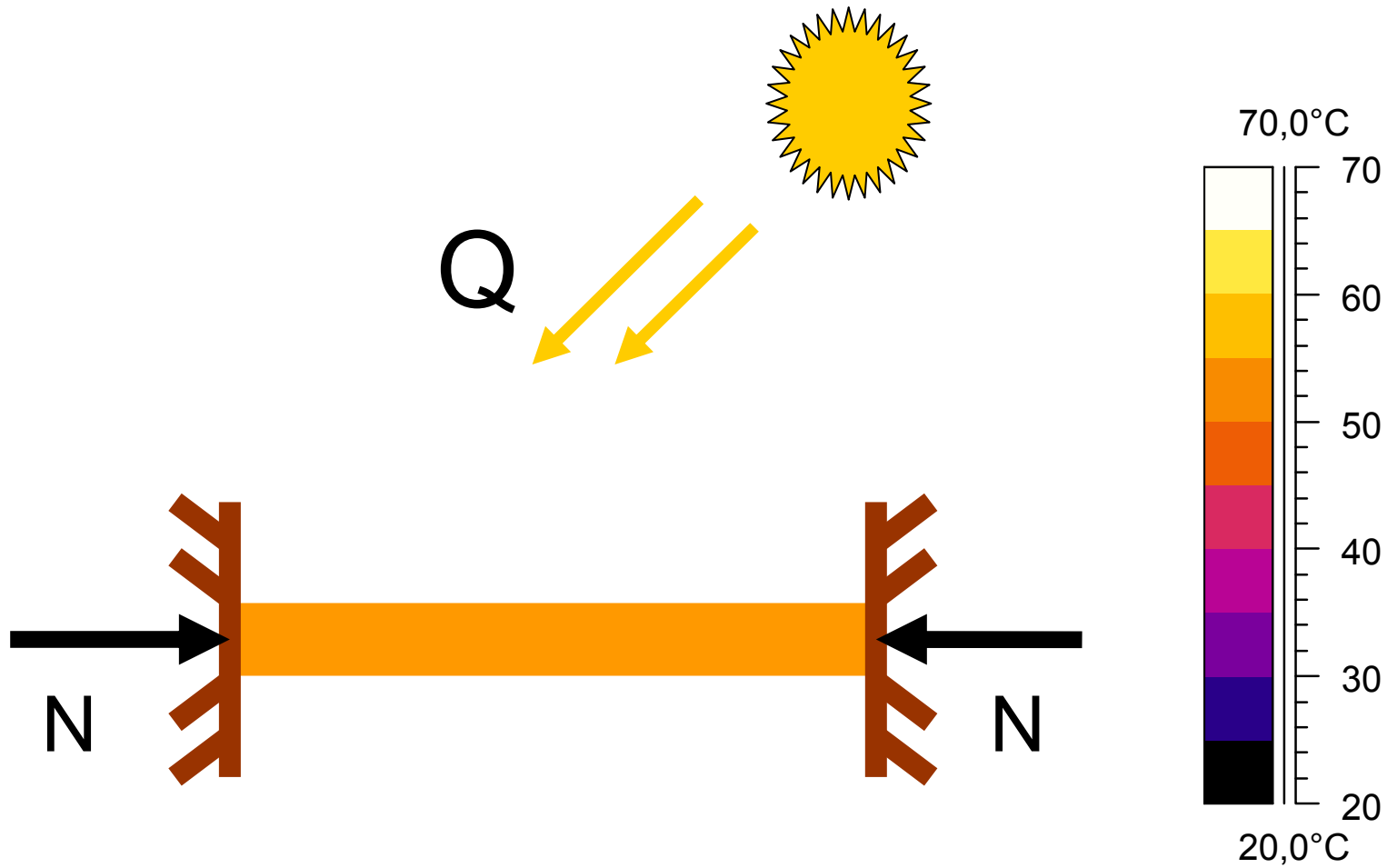
Θερμική διαστολή



Θερμική διαστολή



Θερμικές τάσεις



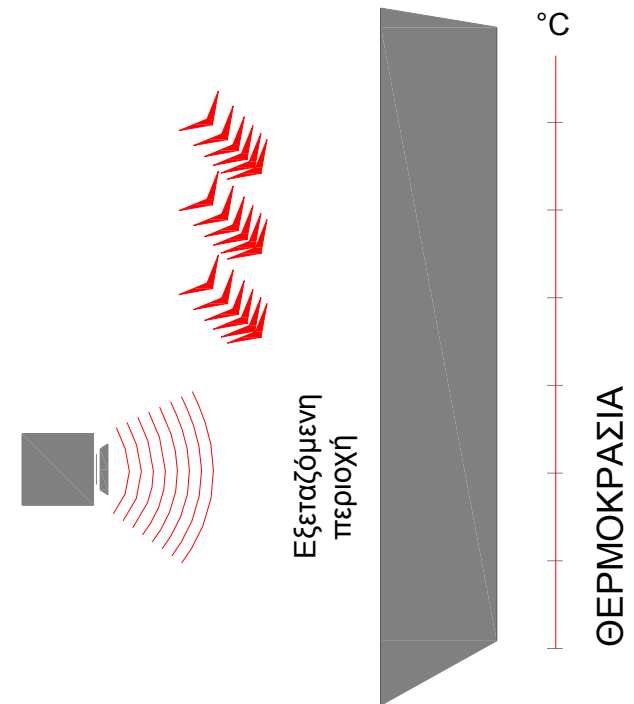
Θερμικές τάσεις

Τα υλικά παραμορφώνονται υπό την επίδραση μεταβολών της θερμοκρασίας. Εφόσον η θερμική διαστολή είτε η συστολή, παρεμποδίζεται, αναπτύσσονται θερμικές τάσεις. Οι τάσεις αυτές μπορεί να οδηγήσουν σε αστοχία, υπό μορφή ρηγματώσεως ή μόνιμες παραμορφώσεις στο υλικό, σε μικρό χρονικό διάστημα ή και στο βάθος του χρόνου

Τι είναι η θερμογραφία

Όλα τα σώματα εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία η οποία εξαρτάται από την θερμοκρασία που βρίσκονται, τον συντελεστή εκπομπής τους, και διάφορες άλλες παραμέτρους. Η ηλιακή ενέργεια φτάνει στην γη αποκλειστικά με αυτό τον τρόπο μεταφοράς.

Η μεταφορά θερμότητας με ακτινοβολία μεταδίδεται με ηλεκτρομαγνητικά κύματα και δεν απαιτείται η παρουσία ενός ενδιάμεσου μέσου. Όταν η ακτινοβολία προσπέσει σε ένα άλλο σώμα ή θα απορροφηθεί ή θα ανακλαστεί η θα μεταφερθεί. Η θερμότητα που απορροφάται εμφανίζεται ως αύξηση θερμοκρασίας ενός σώματος.



Αποτελέσματα

Η θερμογραφία ή η υπέρυθρη φωτογράφιση, ανιχνεύει την εκπομπή θερμικής ακτινοβολίας και προκύπτει οπτική απεικόνιση του θερμικού σήματος (θερμογράφημα).



Θερμογράφημα χωρίς έννοια πειραματικών μετρήσεων.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως «νυχτερινή όραση».



Θερμογράφημα δοκιμών

Πρέπει να προσδιοριστούν επακριβώς οι καιρικές συνθήκες κατά τη λήψη, ο συντελεστής εκπομπής του σώματος, η απόσταση κ.α.

Θερμοκάμερα

Θερμοκάμερα Εργαστηρίου Τεχνικών Υλικών
Agema 570



Λογισμικό επεξεργασίας “IRwin Report 5.21”



Θερμογραφήματα

Χύτευση χαλκού
κονίαμα γύψου-οπτής αργίλου





Συγκριτικός έλεγχος αντοχών κονιαμάτων διαφορετικής σύνθεσης εκμαγείου χύτευσης

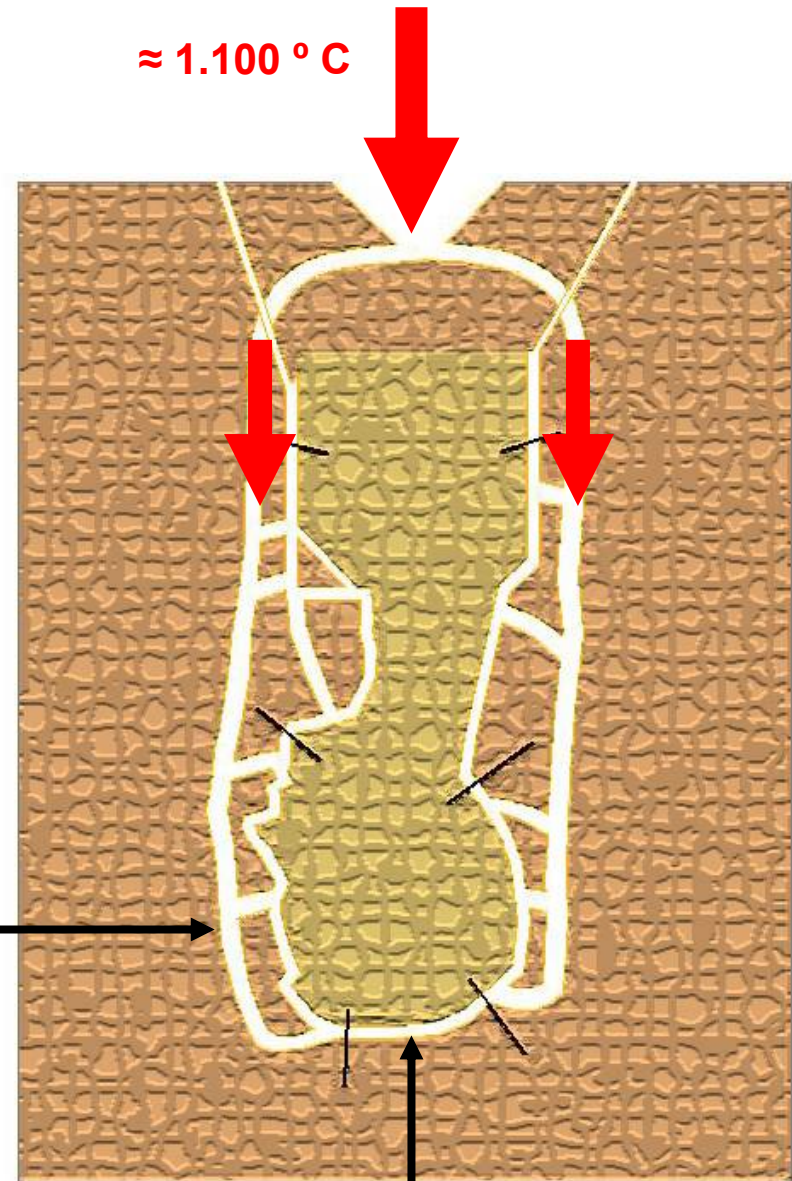
Εργαστήριο Τεχνικών Υλικών Ε.Μ.Π. Σεπτέμβριος 2003-Μάρτιος 2004

Δοκιμές		Μονάδες	1:5	1:6	1:7	Οπτή άργιλος		Γύψος	Παρατηρήσεις								
			Γύψος –οπτή άργιλος	Γύψος –οπτή άργιλος	Γύψος –οπτή άργιλος	Συνθήκες περιβάλλοντος	Δεν πήγηνται Δεν σκληρώνεται										
Αντοχή σε θλίψη	Προ θερμικής κατεργασίας	MPa	8,47	7,36	6,30			Συνθήκες περιβάλλοντος	Δεν πήγηνται Δεν σκληρώνεται	Συνθήκες περιβάλλοντος	Ψαθούρα θραύση						
	Μετά θερμική κατεργασία [72h 350°C]		7,45	6,47	5,50	11,77											
Αντοχή σε εφελκυσμό από κάμψη	Προ θερμικής κατεργασίας	MPa	1,19	1,03	0,88	Συνθήκες περιβάλλοντος	Δεν πήγηνται Δεν σκληρώνεται					Συνθήκες περιβάλλοντος	Ψαθούρα θραύση				
	Μετά θερμική κατεργασία [72h 350°C]		1,07	0,93	0,79									1,67			
Αντοχή σε τριβή	Προ θερμικής κατεργασίας	$10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2$	5,18	4,50	3,81									Συνθήκες περιβάλλοντος	Δεν πήγηνται Δεν σκληρώνεται	Συνθήκες περιβάλλοντος	Ψαθούρα θραύση
	Μετά θερμική κατεργασία [72h 350°C]		4,66	4,00	3,41												
Αντοχή σε κρούση	Προ θερμικής κατεργασίας	Joule/m ²	137,34	127,53	117,72												
	Μετά θερμική κατεργασία [72h 350°C]		117,72	107,91	98,1			107,91									
Μακροσκοπικές παρατηρήσεις	Προ θερμικής κατεργασίας		Άνευ ρηγμάτωσης	Άνευ ρηγμάτωσης	Άνευ ρηγμάτωσης			Συνθήκες περιβάλλοντος	Δεν πήγηνται Δεν σκληρώνεται	Συνθήκες περιβάλλοντος	Ψαθούρα θραύση						
	Μετά θερμική κατεργασία [72h 350°C]		(Τοπική ρηγμάτωση δέρμα κροκοδείλου)	Ουδεμία μεταβολή	Τοπικά αραχνοειδής	Άνευ ρηγμάτωσης											
Διαστολή σκλήρυνσης		%	0,88	0,80	0,72	Συνθήκες περιβάλλοντος	Δεν πήγηνται Δεν σκληρώνεται					Συνθήκες περιβάλλοντος	Ψαθούρα θραύση				
					1,1												

Δευτερογενές εκμαγείο

Το κονίαμα έχει υποστεί όπτηση
(ελεύθερο κεριού) χάνοντας μέρος
της συνάφειάς του

Αγωγός χύτευσης $\approx \Phi/10$ mm



Κέλυφος 5-7mm

$T^{\circ}C$ κελύφους \approx περιβάλλοντος



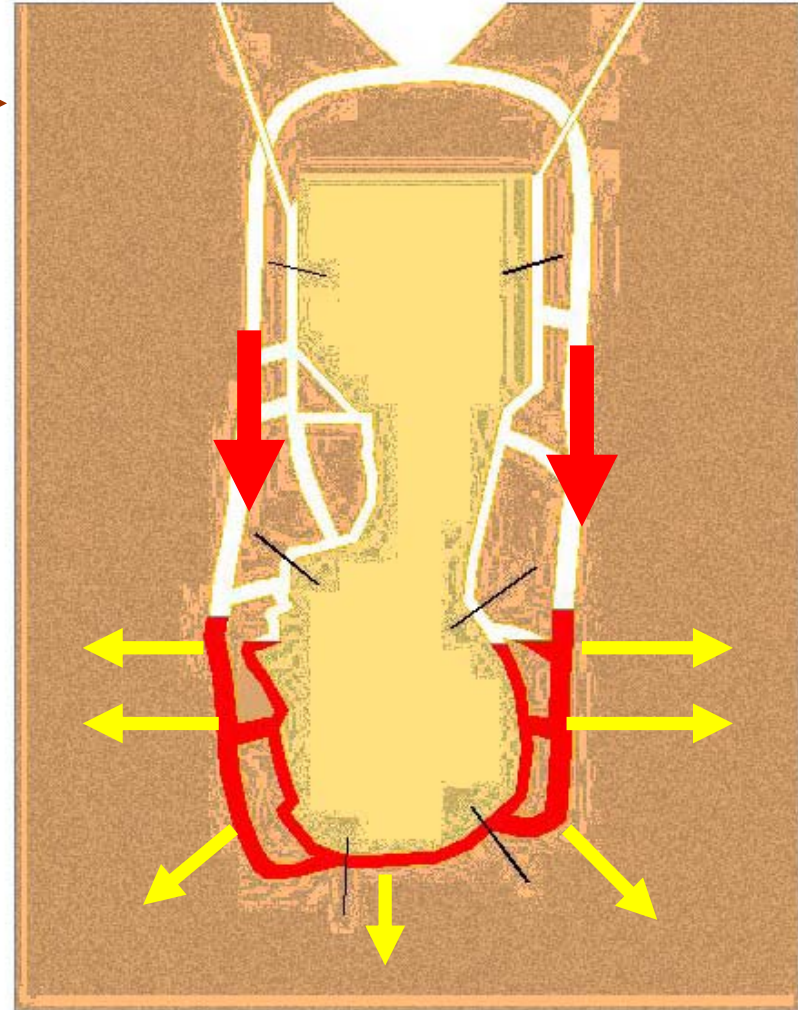
Κρουστικό φορτίο

Χρονικός περιορισμός
των τάσεων

Τοπικός περιορισμός
των τάσεων

Θερμικό κρουστικό
φορτίο

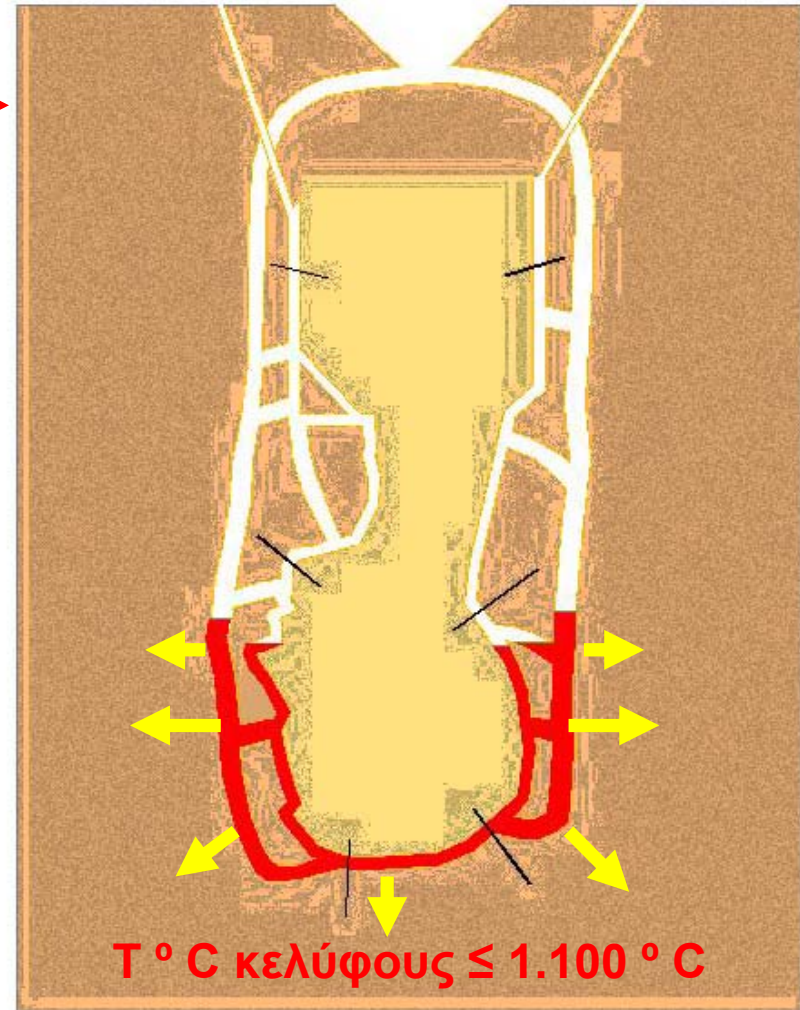
Το κονίαμα φορτίζεται με θερμικές τάσεις λόγω
των απότομων μεταβολών θερμοκρασίας

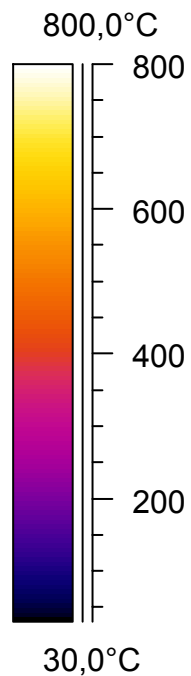
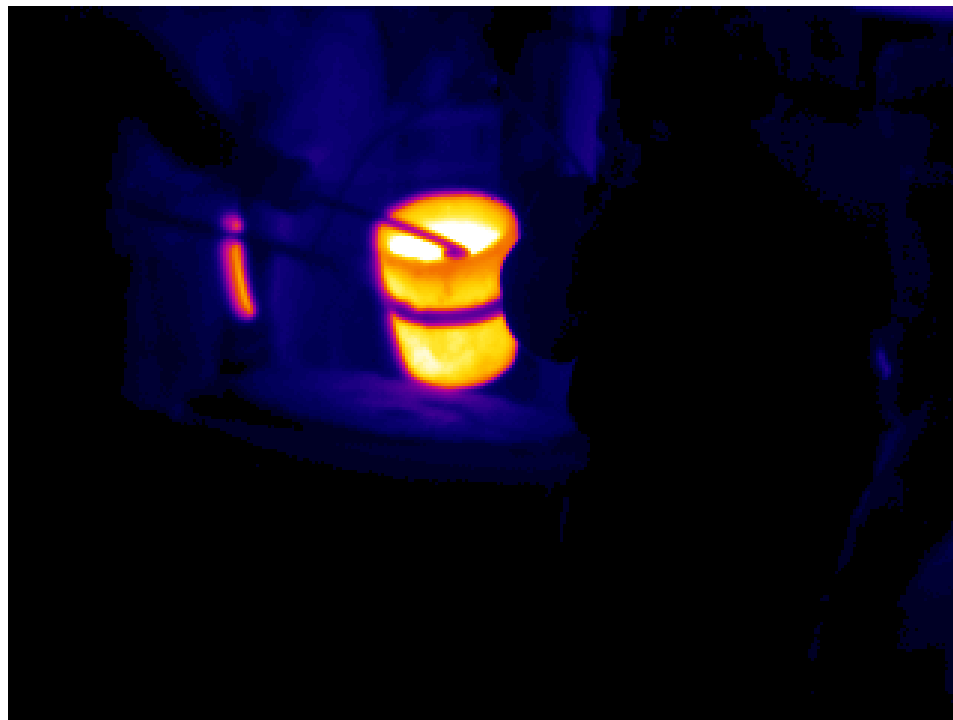


$T^{\circ}C$ κελύφους \geq περιβάλλοντος

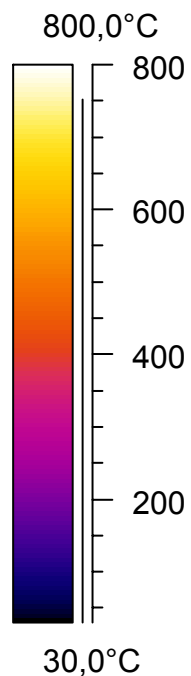
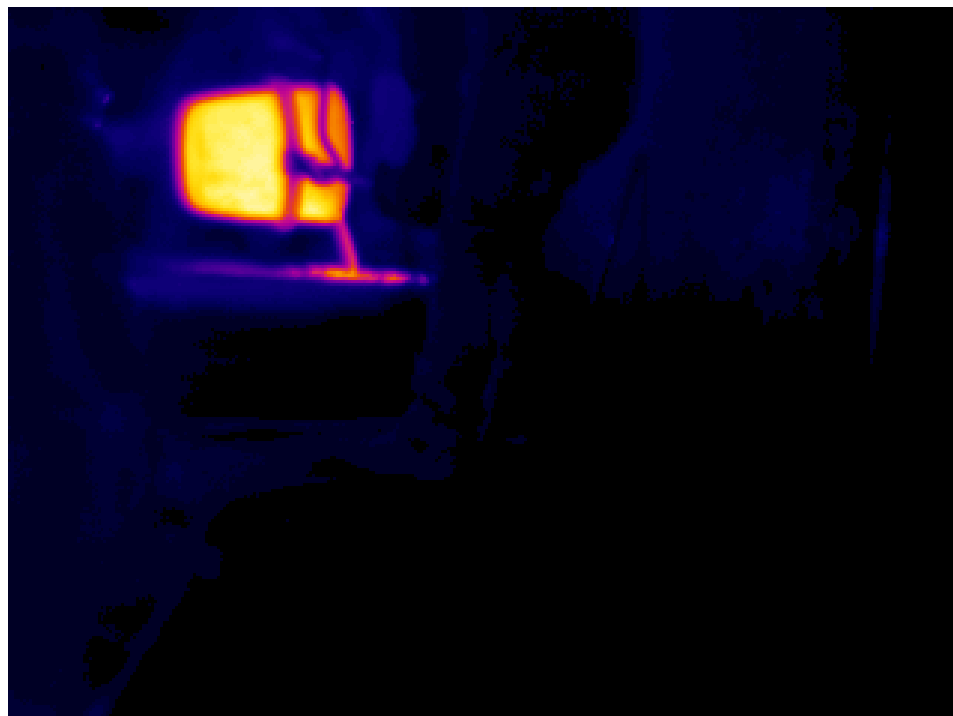


Ερώτημα: πώς
παραλαμβάνονται
και αποσβένονται οι
θερμικές τάσεις





Υπέρυθρη φωτογράφιση
θερμοκρασιακών διαφορών
κατά την χύτευση



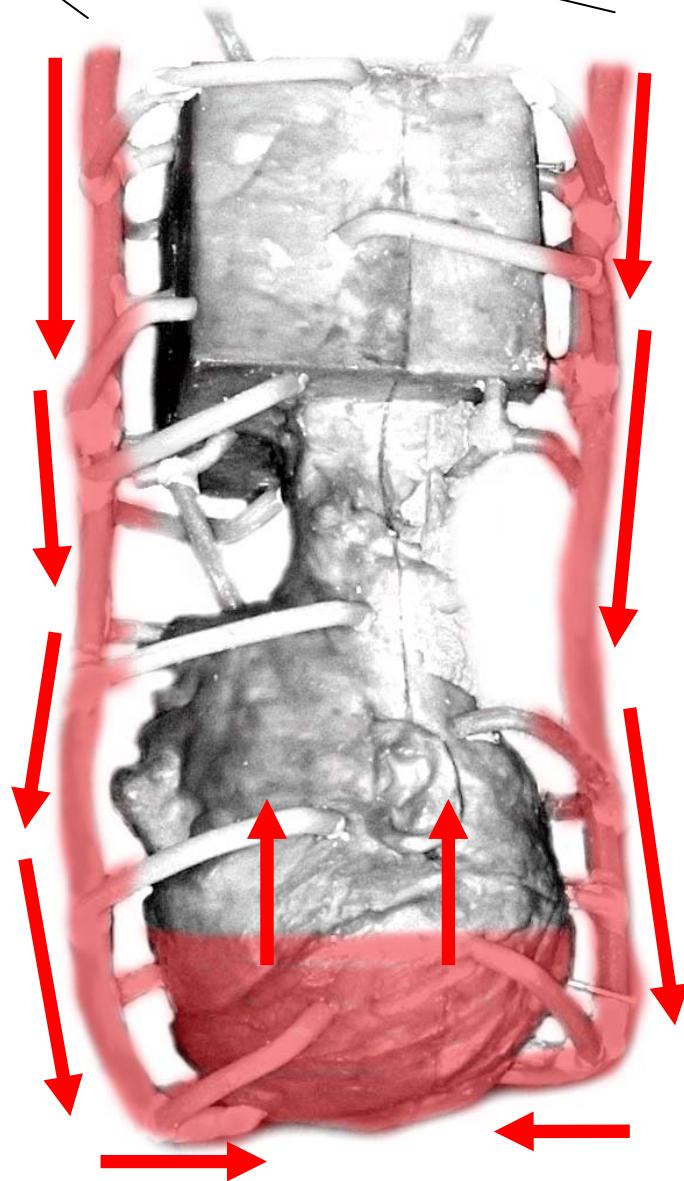
Εργαστήριο
χαλκοχυτικής

26.04.04

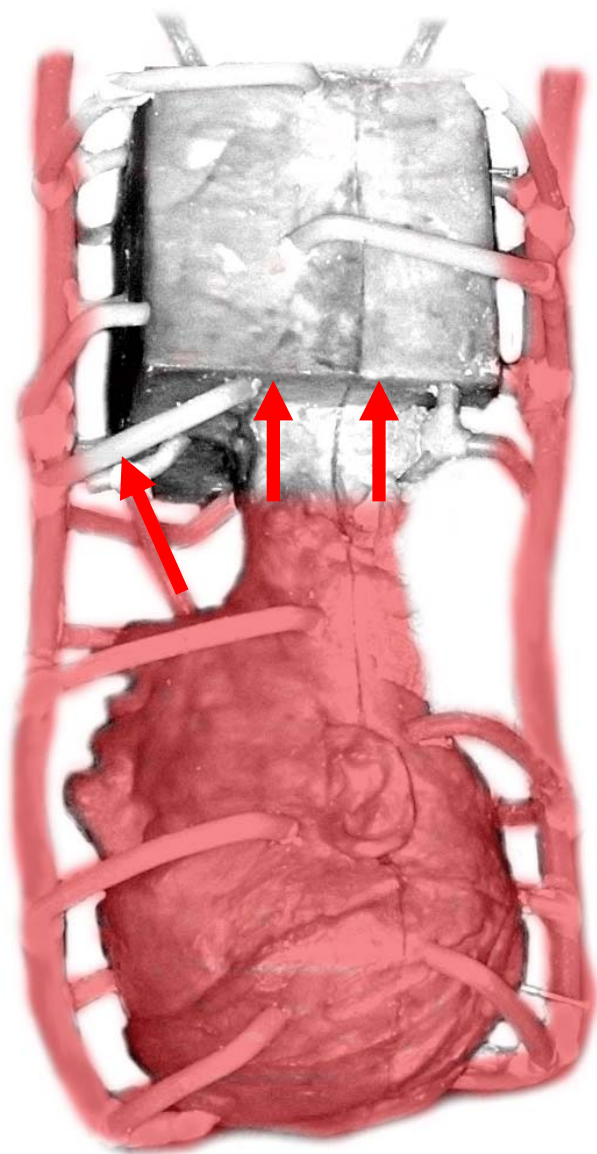


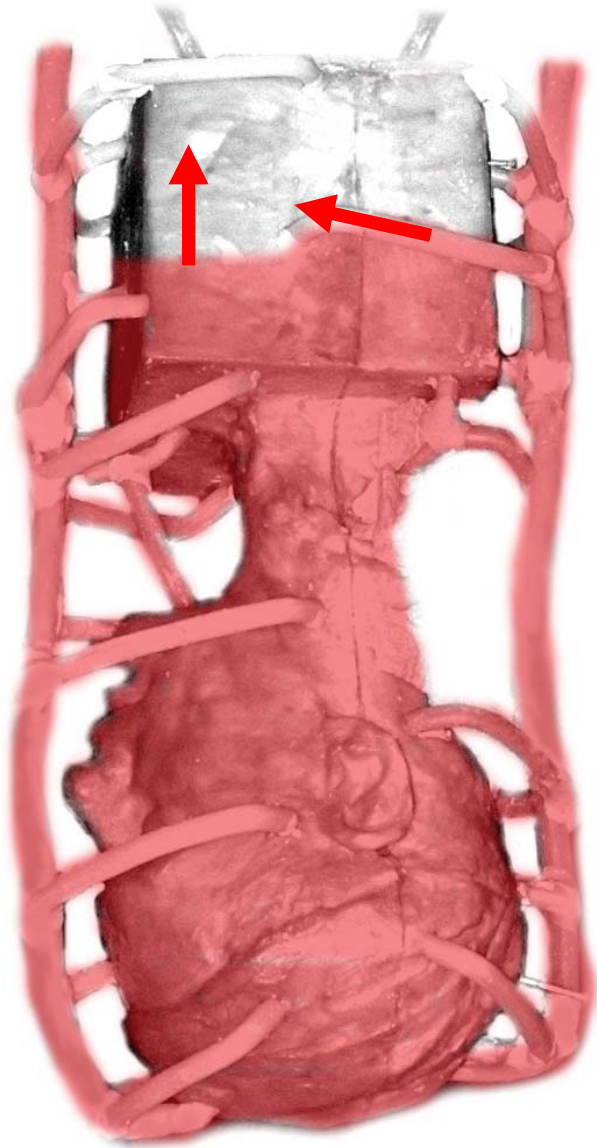
Το εκμαγείο
Ελεύθερο κεριού

Μπουκαδούρα

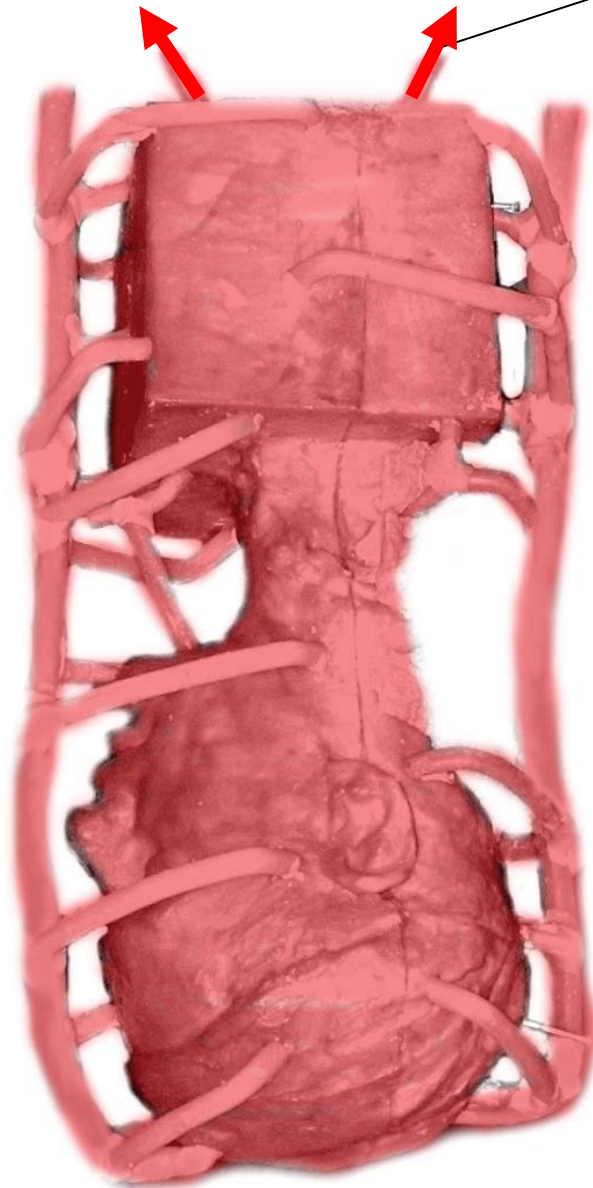


Θερμικό κρουστικό
φορτίο

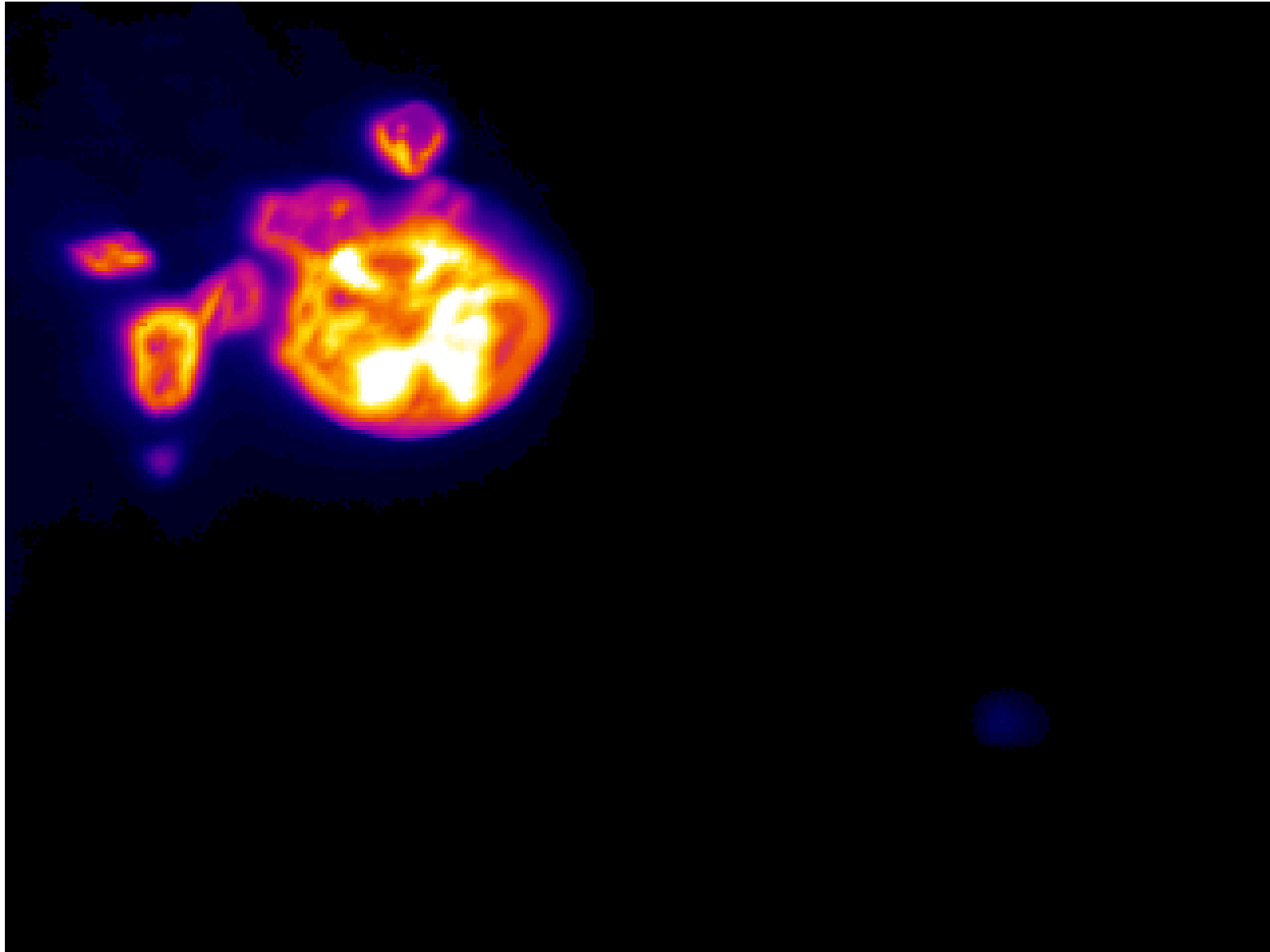




Αέρηδες



Πλήρωση του
εκμαγείου με
μέταλλο



800,0°C

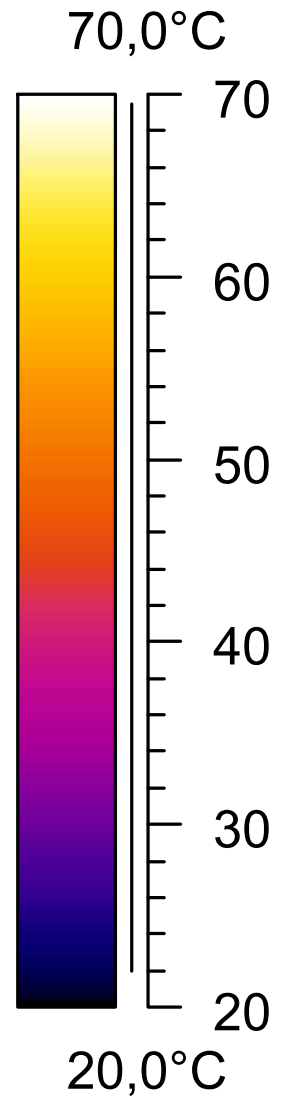
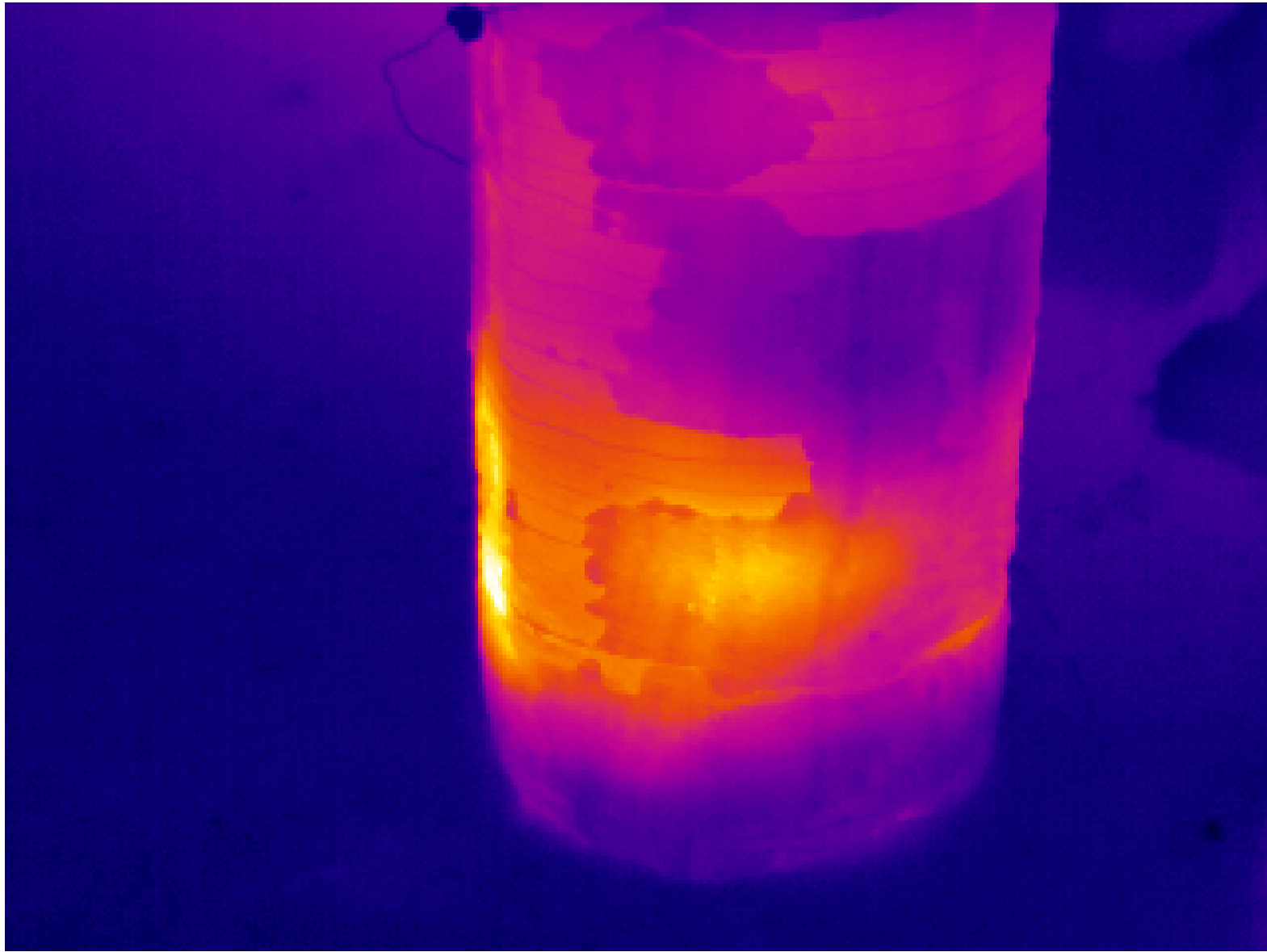
800

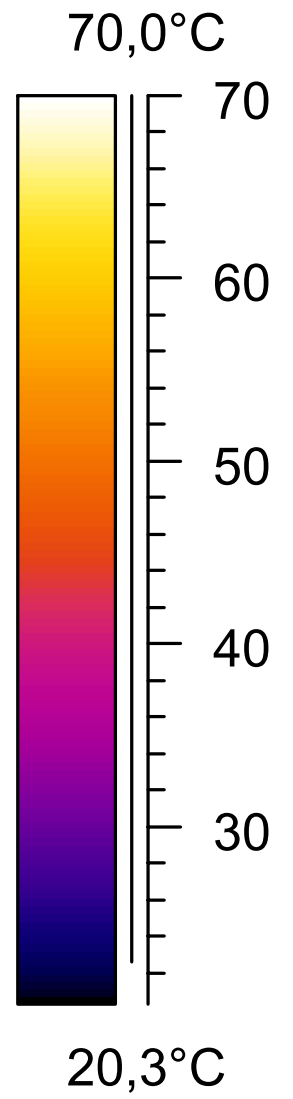
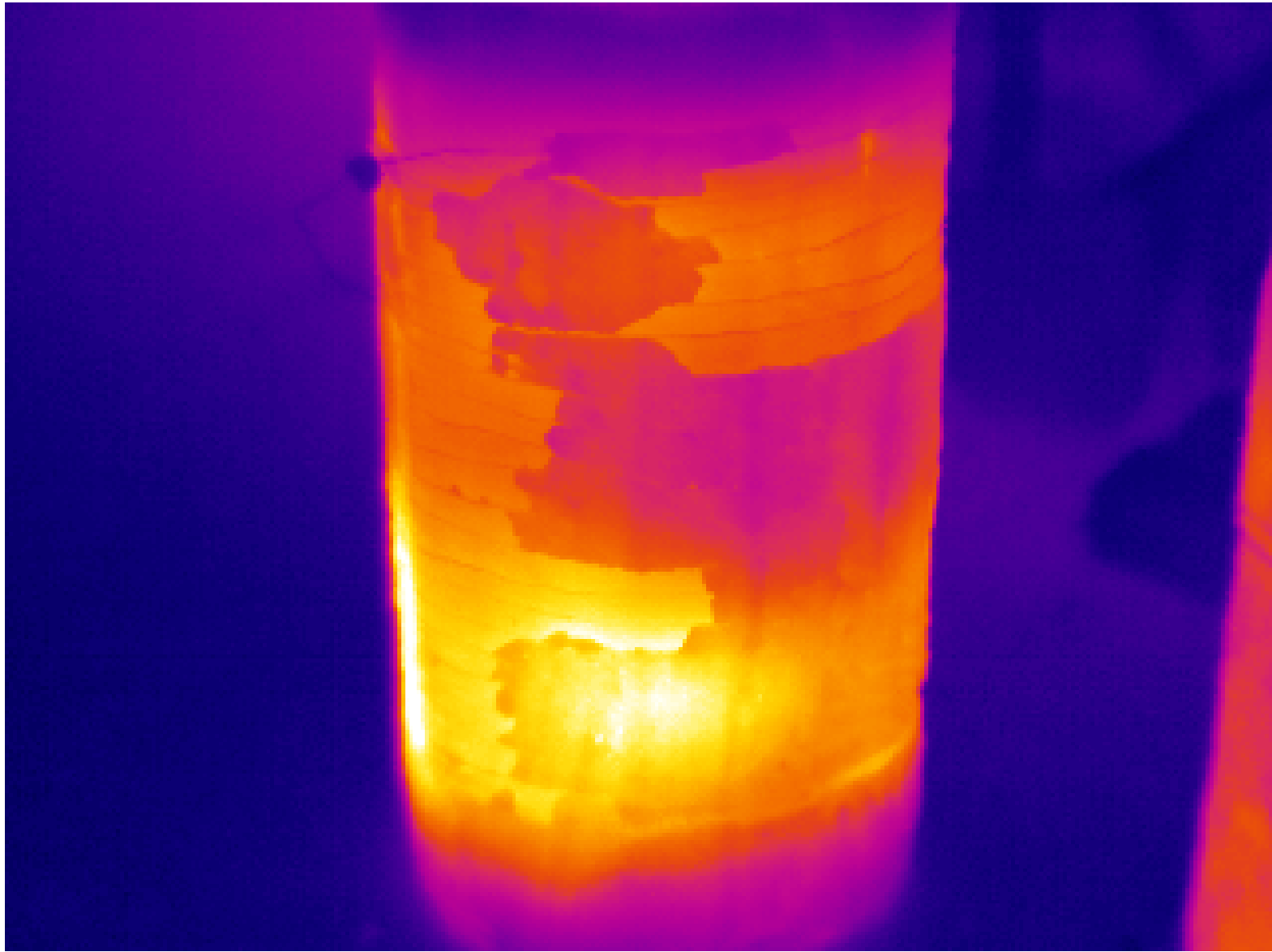
600

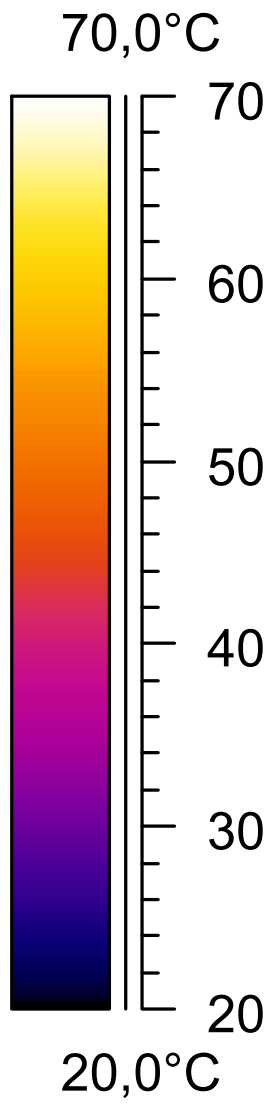
400

200

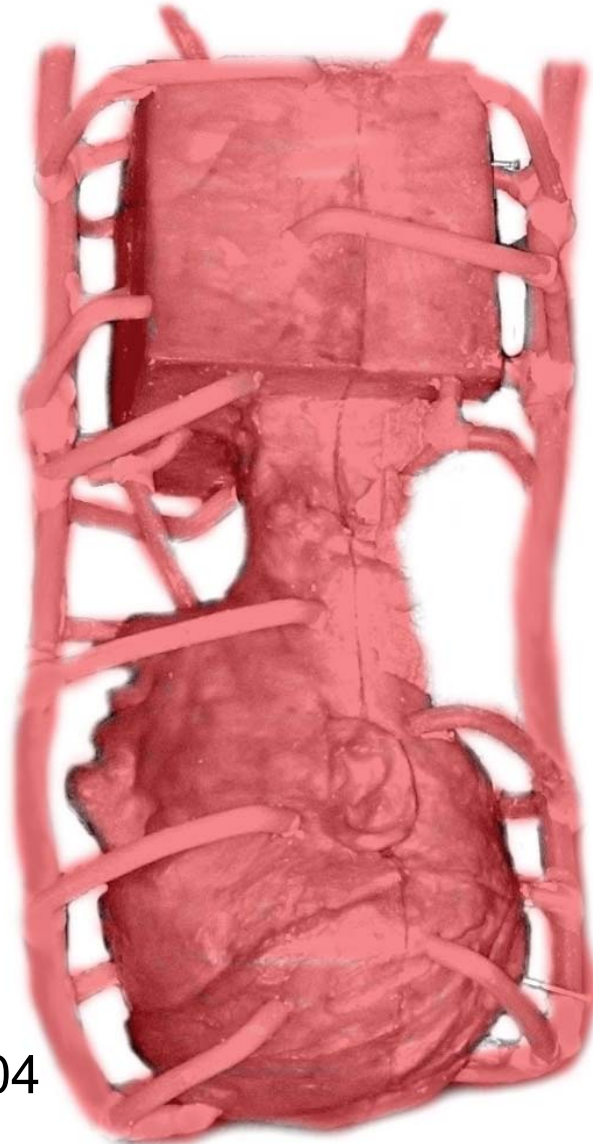
30,0°C







Επεξεργασία και αξιολόγηση θερμογραφημάτων



Απόσβεση των
θερμικών τάσεων



Ομαλή
θερμοκρασιακή
κατανομή στην
εξωτερική παρειά
του κελύφους

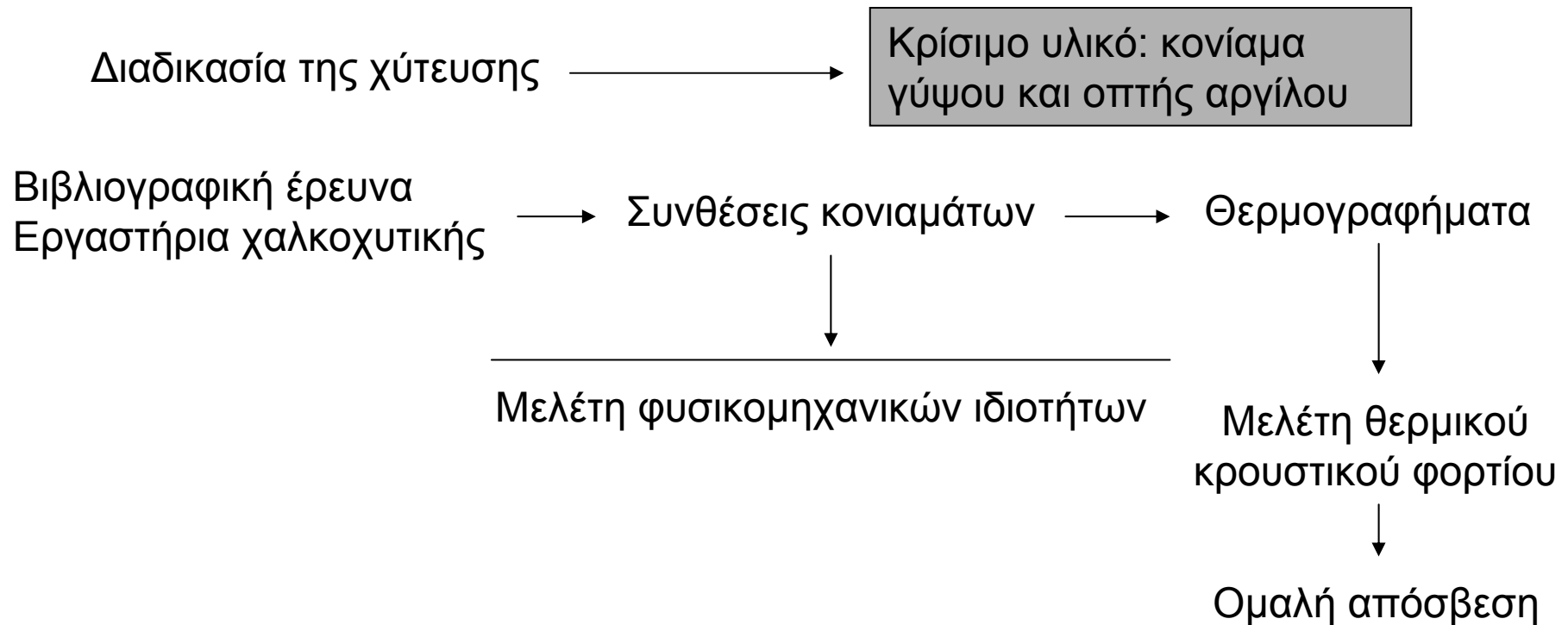
Εργαστήριο Τεχνικών
Υλικών

Απρίλιος-Αύγουστος 2004

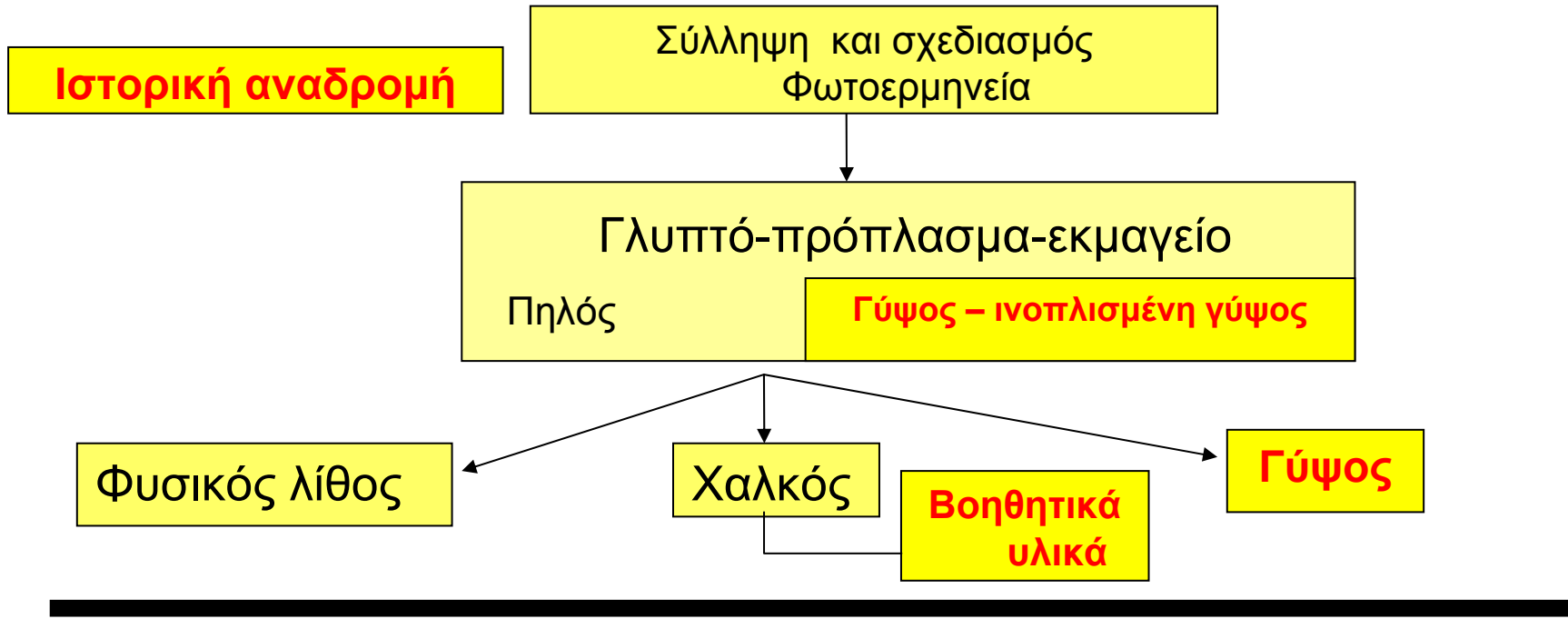


3^ο Συμπέρασμα

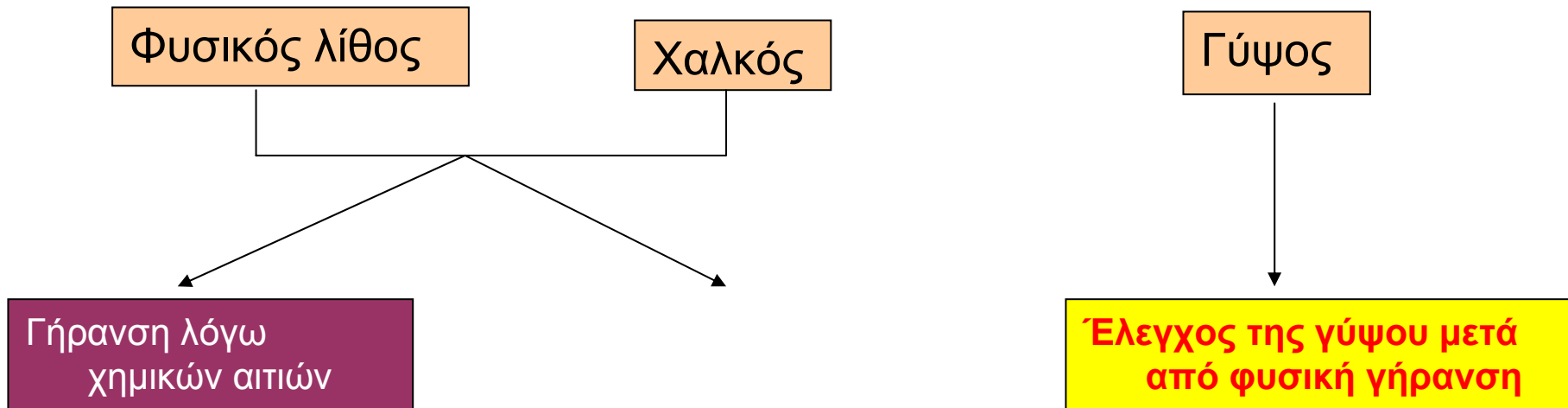
Απόσβεση του θερμικού κρουστικού φορτίου



Συμβολή της εργασίας

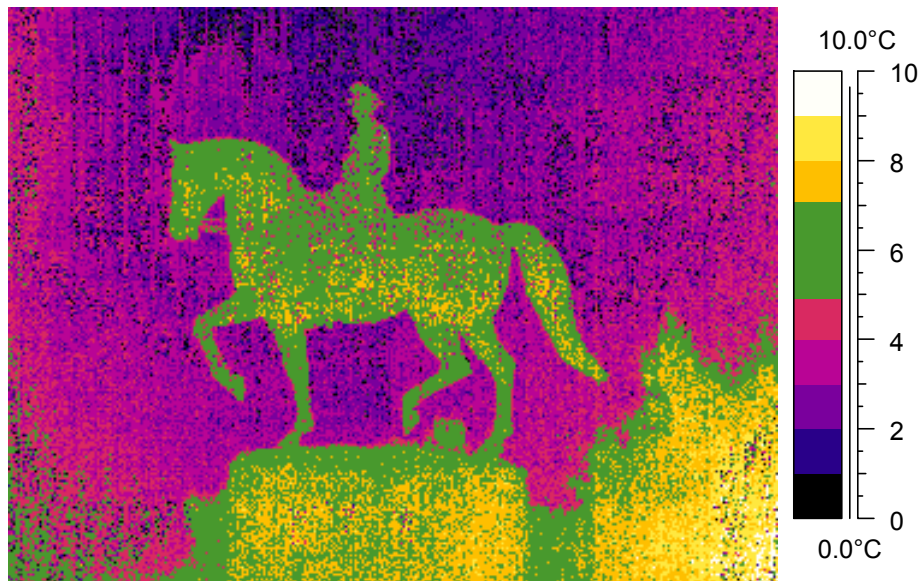


Γήρανση

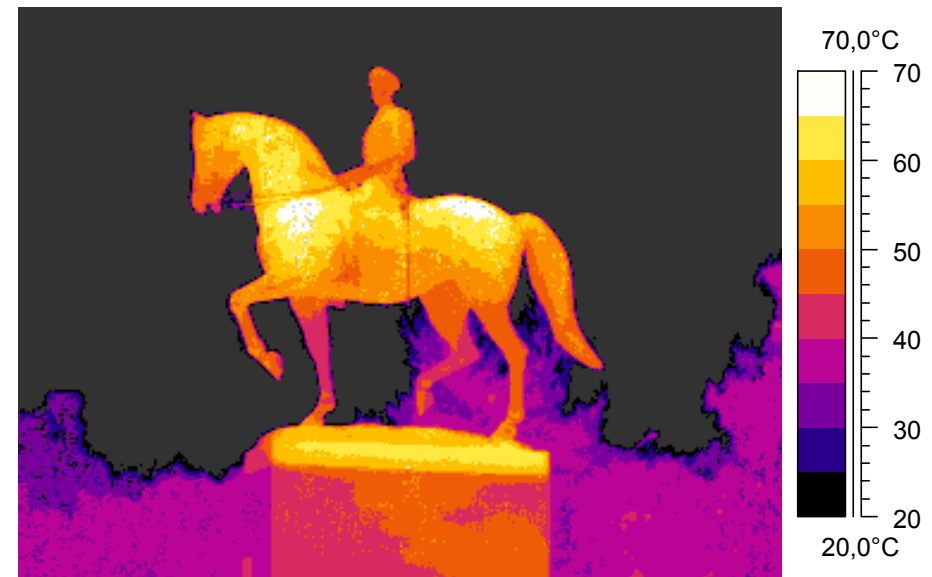


Γήρανση-ηλιακή ακτινοβολία

Θερμική συμπεριφορά γλυπτών-θερμογραφία

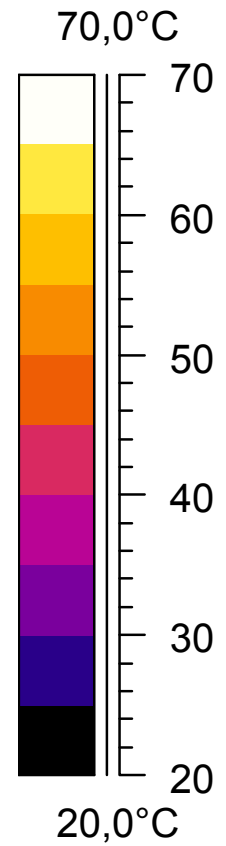


Θερμογράφημα έφιππου ανδριάντα
17-2-2003 (χειμερινή ημέρα με σύννεφα)



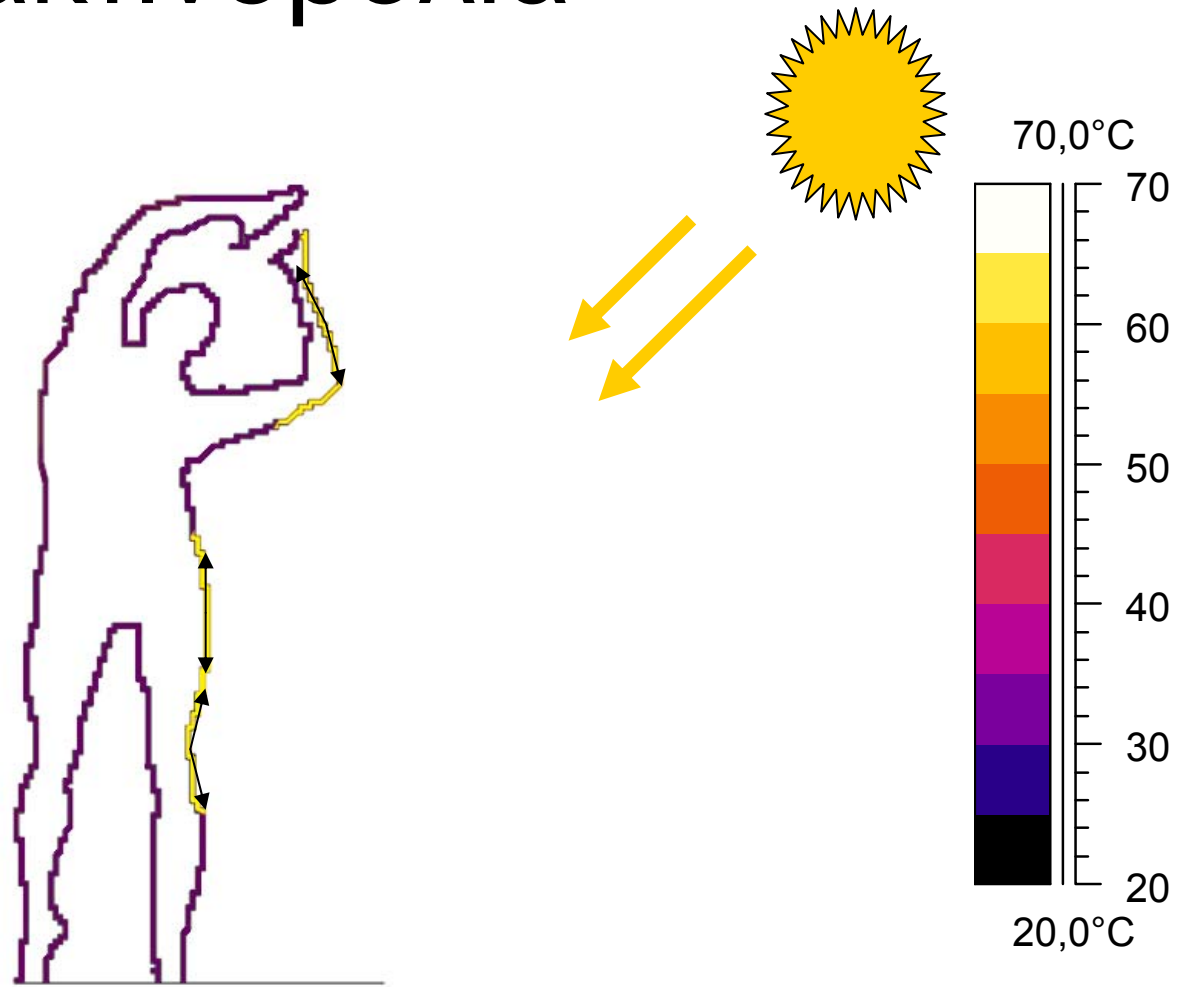
Θερμογράφημα έφιππου ανδριάντα
1-7-03 (θερινή ημέρα με ηλιοφάνεια) ώρα 15:00

Θερμικές τάσεις-ηλιακή ακτινοβολία



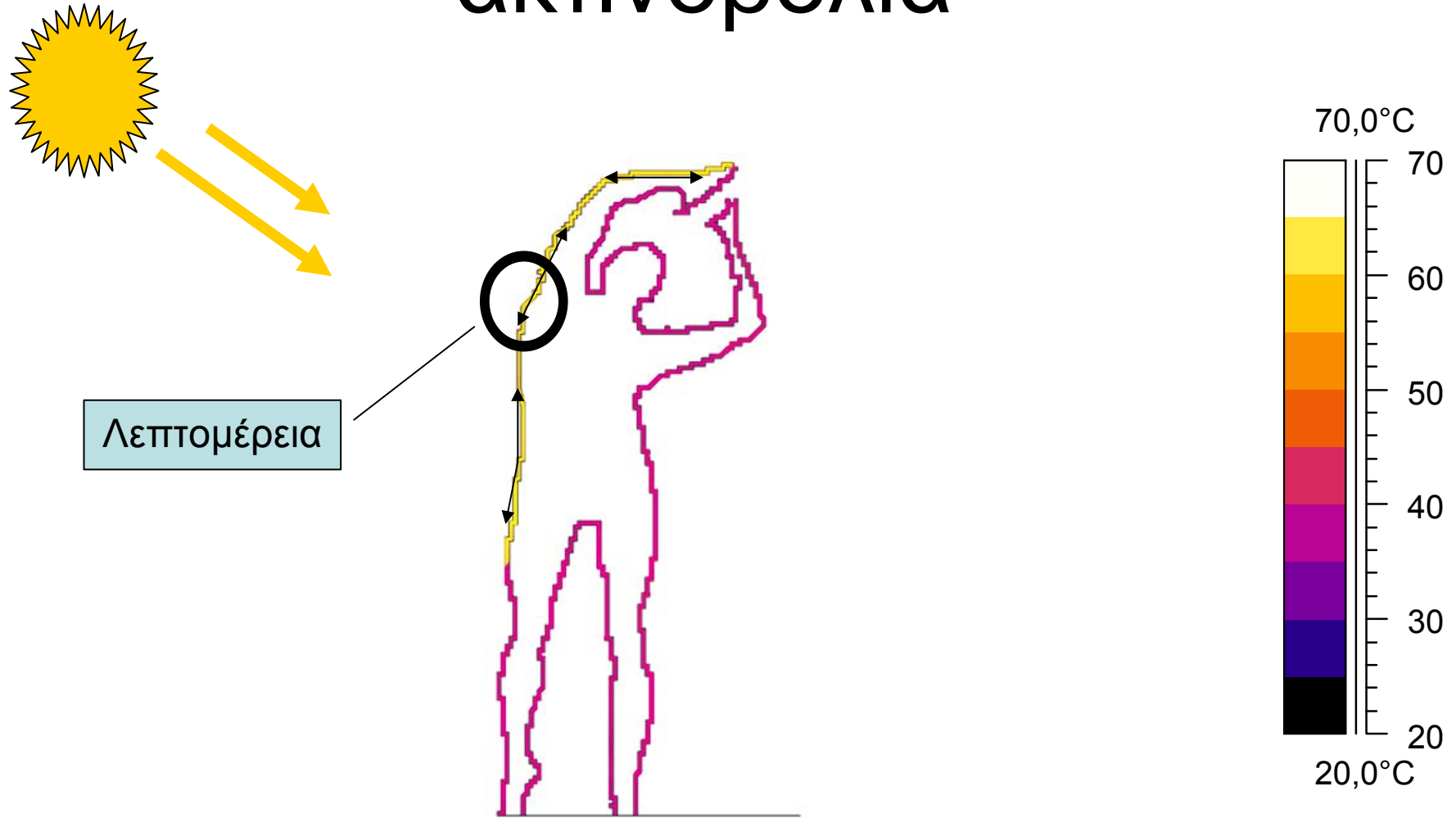
Νυχτερινές ώρες

Θερμικές τάσεις-ηλιακή ακτινοβολία



Πρωινές ώρες

Θερμικές τάσεις-ηλιακή ακτινοβολία



Μεσημεριανές ώρες

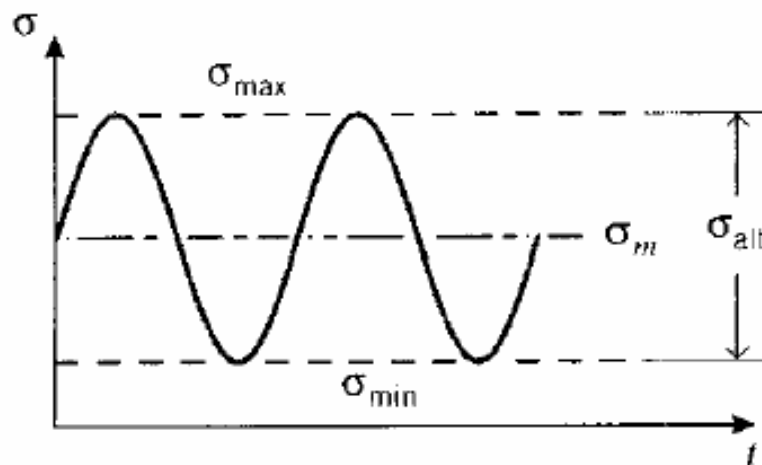
Θερμικές τάσεις-ηλιακή ακτινοβολία



Κόπωση

Η μεταβολή των θερμοκρασιών προκαλεί θερμικές τάσεις οι οποίες προκαλούν κόπωση στο υλικό.

- **Τάσεις κόπωσης** ονομάζονται οι τάσεις που αναπτύσσονται σε μέλη κατασκευών και οι οποίες μεταβάλλονται περιοδικά με το χρόνο
- **Αντοχή κόπωσης** ονομάζεται η ονομαστική εναλλασσόμενη τάση, η οποία προκαλεί αστοχία για καθορισμένη μέση τάση και κύκλους εναλλαγών.
- **Όριο κόπωσης** ονομάζεται η αντοχή κόπωσης που λαμβάνεται για καθορισμένη μέση τάση, όταν για οποιαδήποτε αύξηση των εναλλαγών φόρτισης δεν παρατηρείται μείωση της αντοχής.



Στην έρευνα αυτή αναπτύχθηκε η παρακάτω μεθοδολογία για να προσδιοριστούν ενδεχόμενες θέσεις αστοχίας από τις θερμοκρασιακές αιχμές:

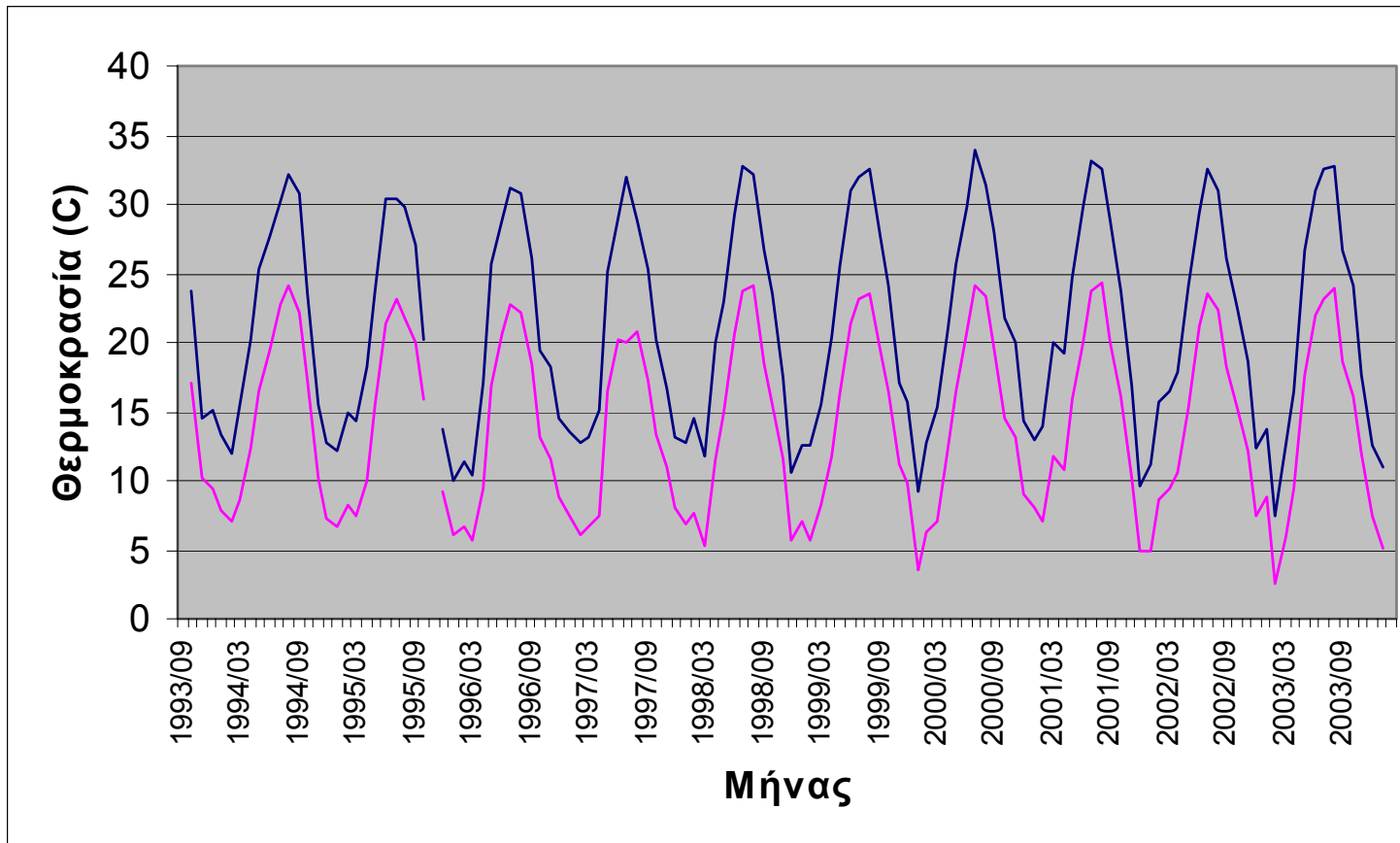
- **Μετρήσεις** των θερμικών πεδίων
- **Ανίχνευση και Προσδιορισμός** κατανομής θερμοκρασιών
- **Σχεδιασμός** ισόθερμων καμπύλων
- **Εντοπισμός** μέγιστων θερμοκρασιακών διαφορών που αναπτύσσονται στην επιφάνεια του κελύφους

Με τον συνδυασμό και την ολοκλήρωση της εφαρμογής της ανωτέρω μεθόδου (επεξεργασία των θερμογραφημάτων), εντοπίζονται οι θέσεις στις οποίες αναμένεται να αστοχήσει το υλικό στο βάθος του χρόνου.

Κλιματολογικά δεδομένα

που ελήφθησαν υπ' όψη στα συμπεράσματα της έρευνας

- Για τον προσδιορισμό των τυπικών ημερών και ωρών των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε διερεύνηση των δεδομένων καιρικών συνθηκών του μετεωρολογικού σταθμού του Ε.Μ.Πολυτεχνείου (www.itia.ntua.gr) με το λογισμικό «Υδρογνώμονας».
- Σύμφωνα με τα δεδομένα, ο μέσος όρος των μεγίστων και ο μέσος όρος των ελαχίστων ημερησίων τιμών ανά μήνα, παρουσιάζεται σε παρακάτω διάγραμμα.
- Στην περιοχή της Αττικής κατά την θερινή περίοδο αναμένονται θερμοκρασίες μεταξύ των 25-32°C ενώ οι αντίστοιχες θερμοκρασίες τις νυχτερινές ώρες είναι 20-25°C.
- Συγκεκριμένα διαπιστώνεται ότι η θερμοκρασία ξεπερνάει τους 30°C εξακόσιες πενήντα φορές τα τελευταία δέκα χρόνια ενώ η μέση τιμή των θερμοκρασιών που ξεπερνούν τους 30°C είναι 32,78°C. Τις αντίστοιχες ημέρες η μέση τιμή των ελαχίστων θερμοκρασιών κατά τις νυχτερινές ώρες είναι 23,45°C.
- Σύμφωνα με την διερεύνηση και από την παραβολή των δεδομένων του μετεωρολογικού σταθμού προκύπτει ότι το 85% των ημερών με θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 30°C υπάρχει έντονη ηλιοφάνεια κατά τις πρωινές ώρες.



Μέσος όρος μεγίστων και ελαχίστων τιμών, ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος στην περιοχή Αττικής (1993-2003)

Γλυπτά δοκιμών

Χαλκός

Μάρμαρο



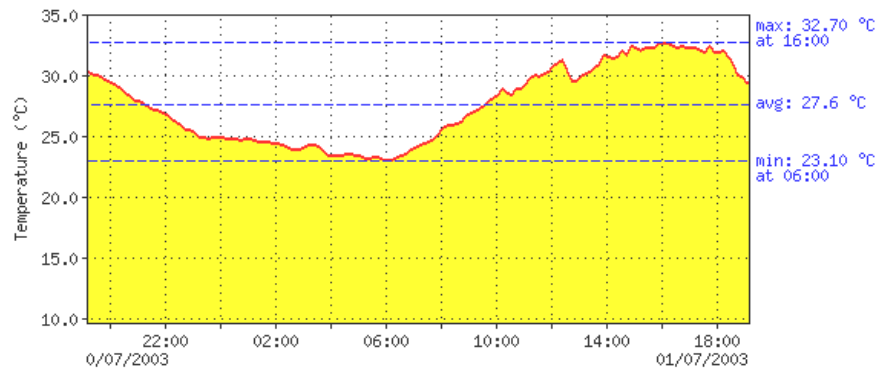
Περίοδος μετρήσεων (θερμογραφήματα)

Ιανουάριος-Ιούλιος 2002

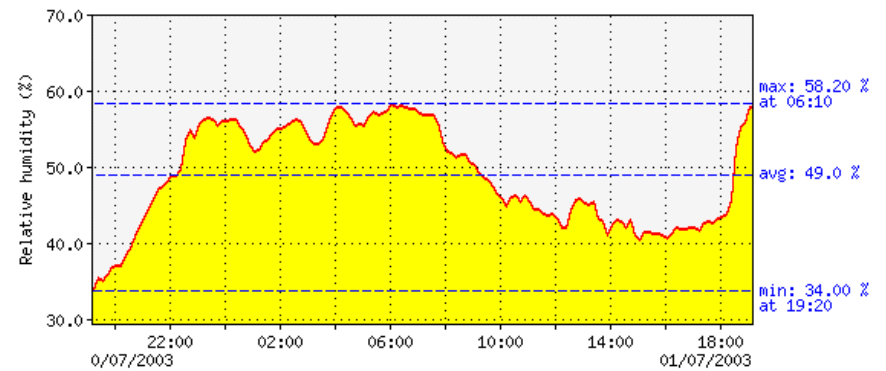
Ιούνιος-Ιούλιος 2003

Επεξεργασία 2003-2004

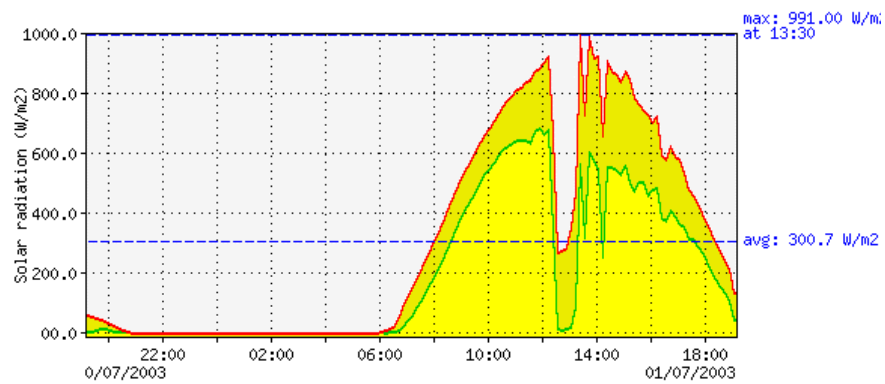
Μέθοδος ανάλυσης



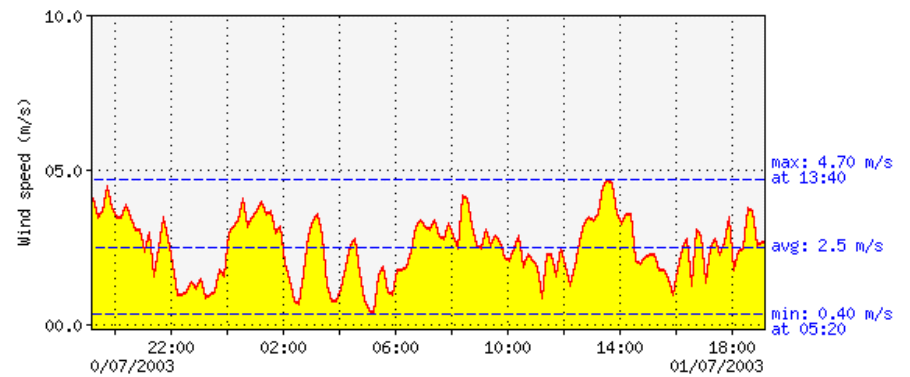
Θερμοκρασία



Σχετική υγρασία

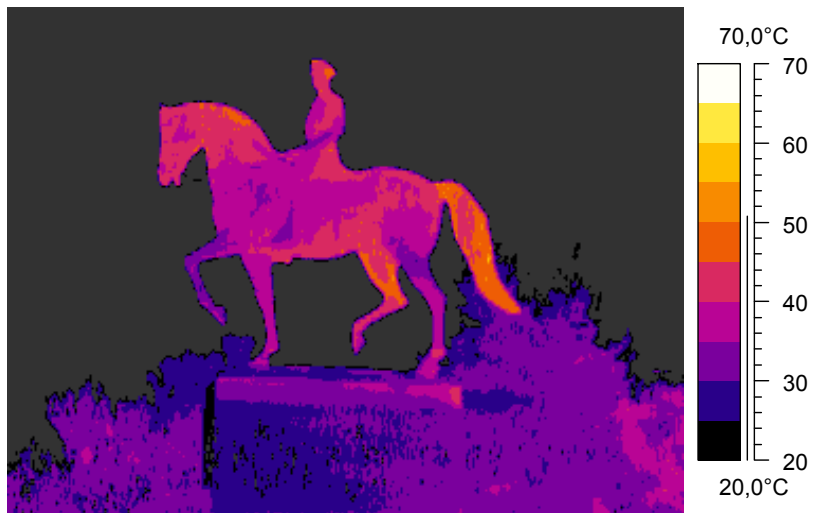


Ηλιακή ακτινοβολία

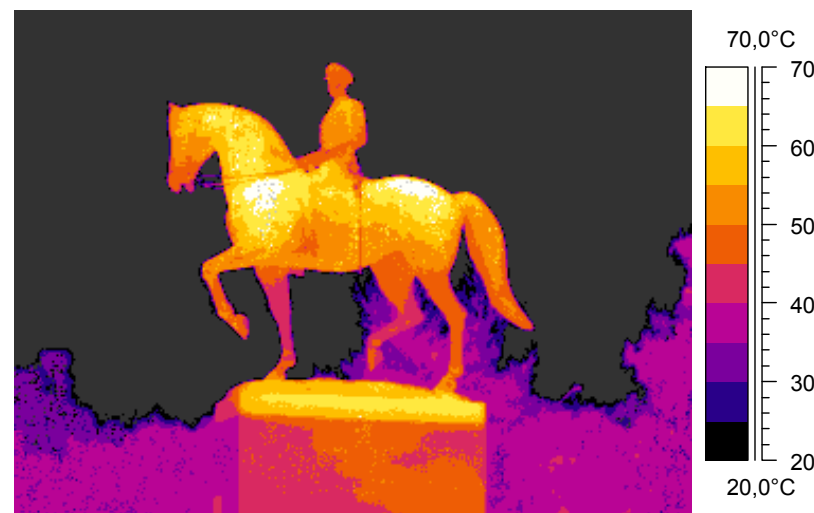


Ταχύτητα ανέμου

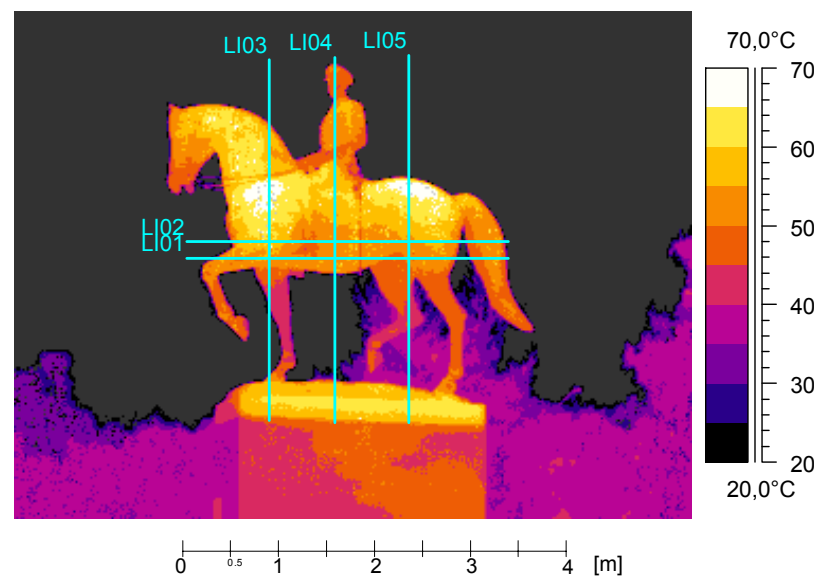
Καιρικές συνθήκες την 1-7-2003



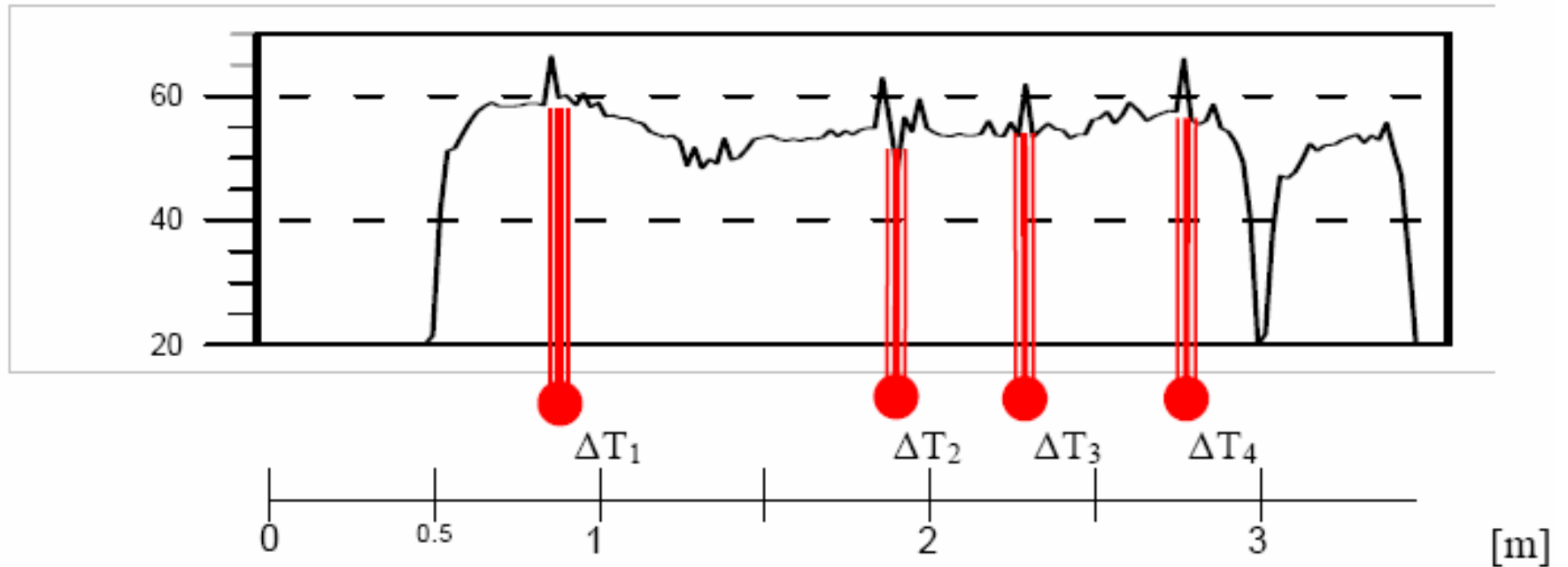
Θερμογράφημα (1-7-2003, ώρα 10:00)



Θερμογράφημα (1-7-2003, ώρα 15:00)

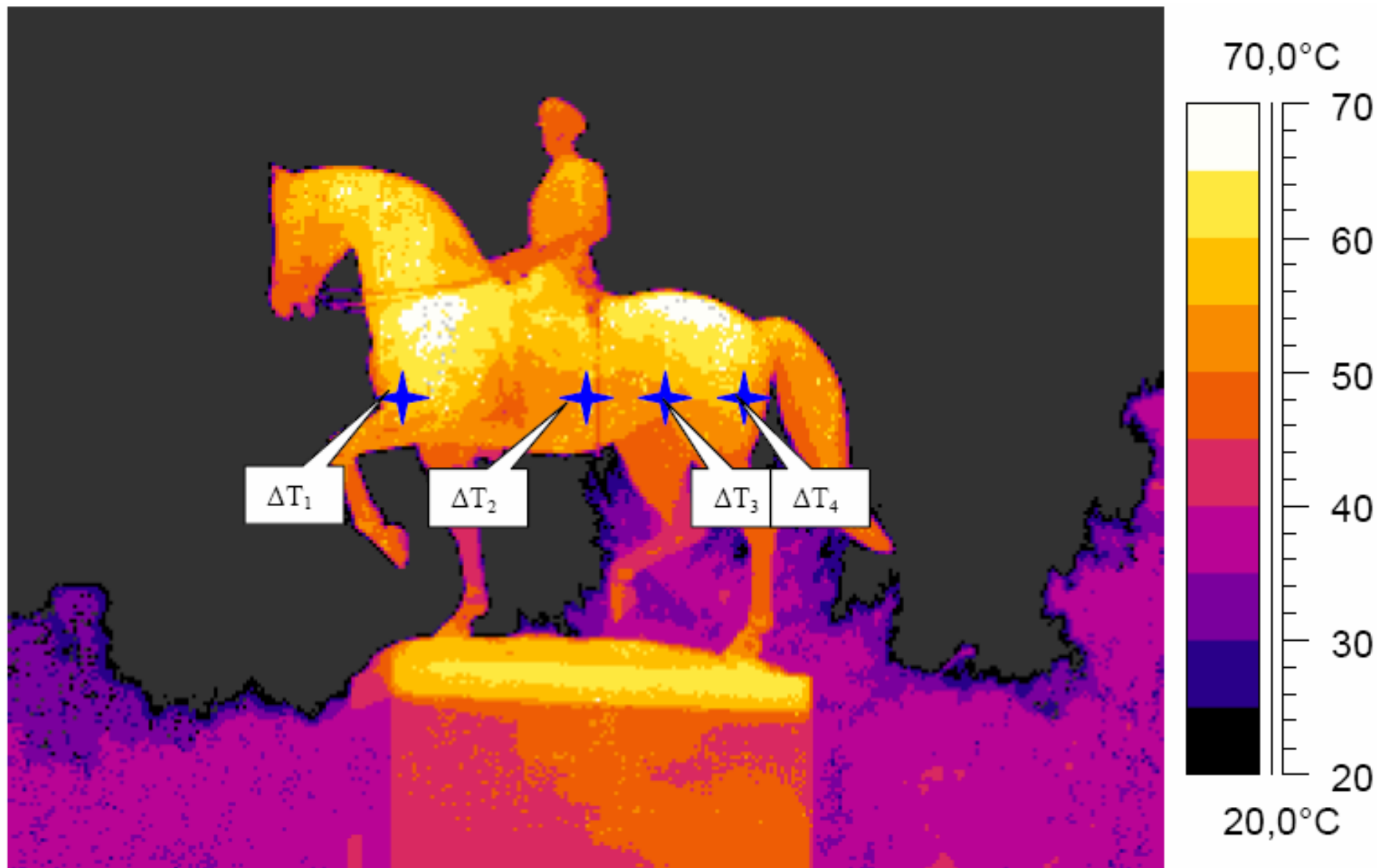


LIO1

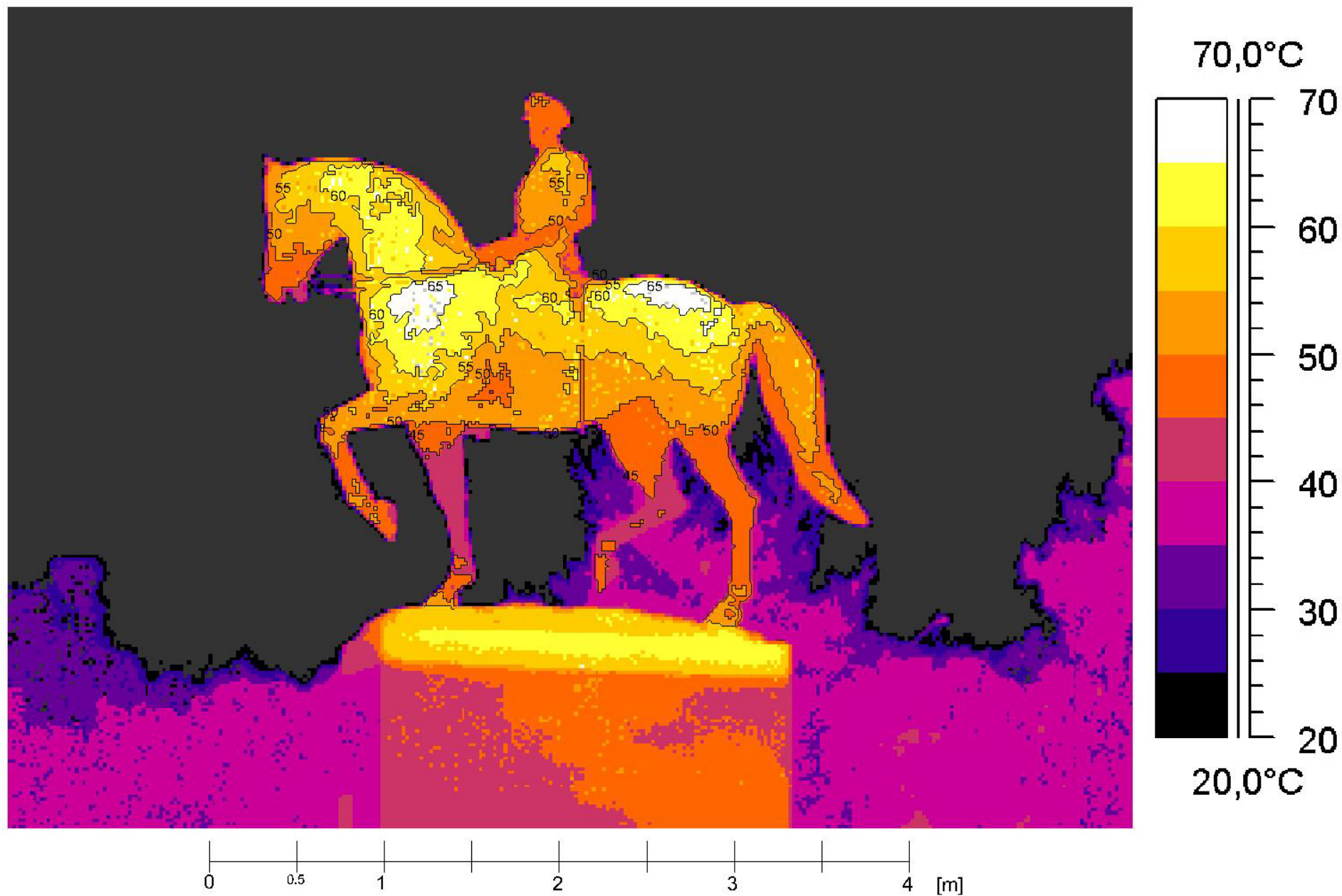


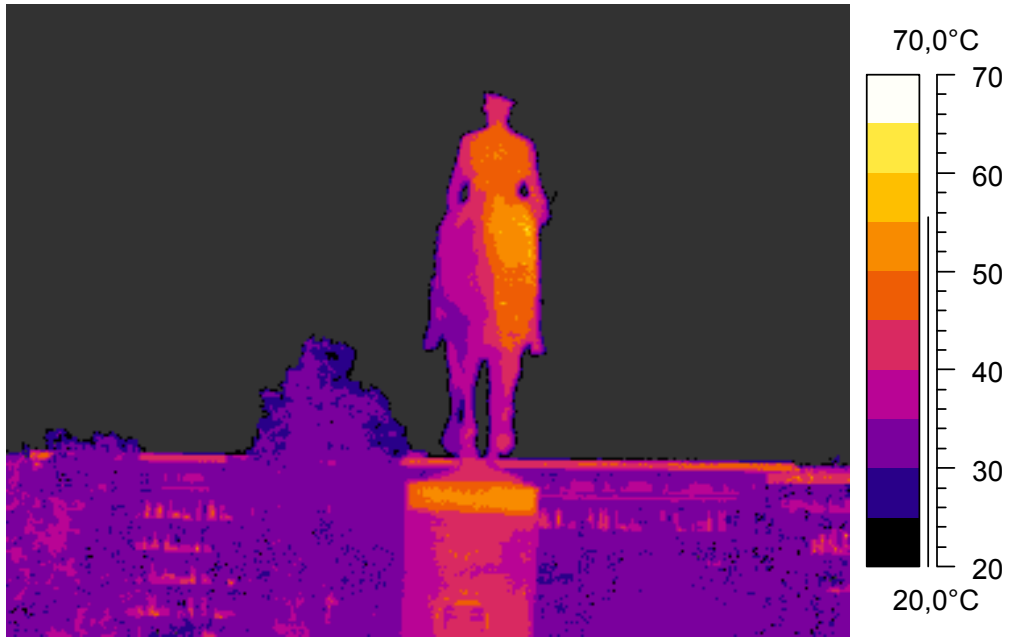
$\Delta T_1 = 8,25 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm}$	$\rightarrow 1,65 \text{ }^\circ\text{C/cm}$	$\Delta T_3 = 8,50 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm}$	$\rightarrow 1,7 \text{ }^\circ\text{C/cm}$
$\Delta T_2 = 11,25 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm}$	$\rightarrow 2,25 \text{ }^\circ\text{C/cm}$	$\Delta T_4 = 11,00 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm}$	$\rightarrow 2,20 \text{ }^\circ\text{C/cm}$

Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών σε χαρακτηριστική τομή του θερμογραφήματος



Θέσεις μεγίστων διαφορών





Θερμογράφημα (1-7-2003, ώρα 10:00)



Θερμογράφημα (1-7-2003, ώρα 15:00)

Υλικό: κράμα χαλκού



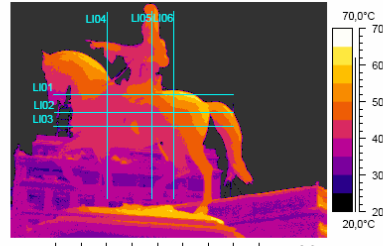
Εικόνα 2.1.: Πλάγια όψη



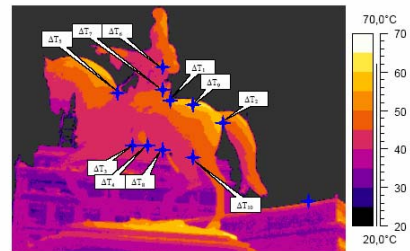
Εικόνα 2.2.: Θερμογράφημα (3-7-2003, ώρα 10:00)



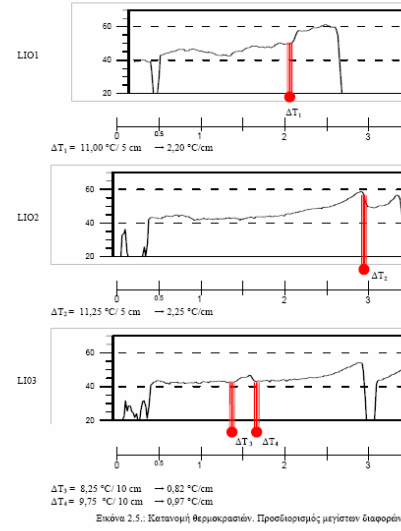
Εικόνα 2.3.: Θερμογράφημα (3-7-2003, ώρα 15:00)



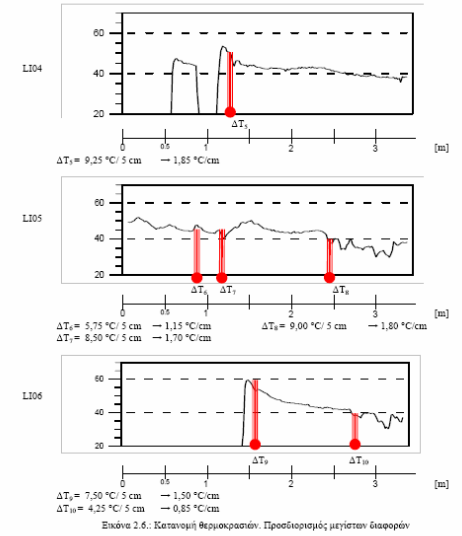
Εικόνα 2.4.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές, Θερμογράφημα 3-7-03 ώρα 15:00. Ακραίες τιμές



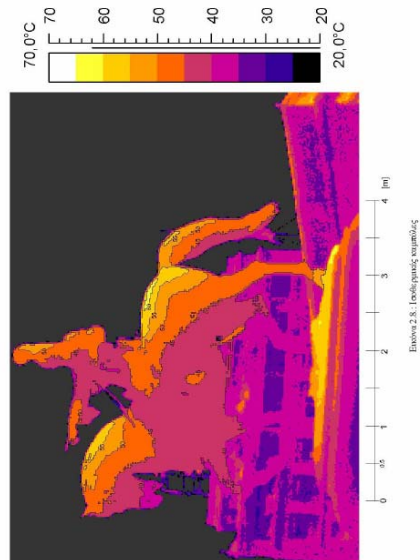
Εικόνα 2.7.: Θέσεις μεγίστων διαφορών



Εικόνα 2.5.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προεπιβλεπόμες μέγιστες διαφορές



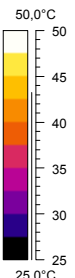
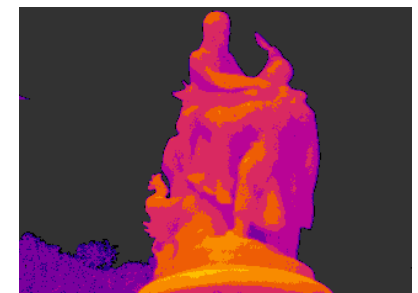
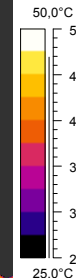
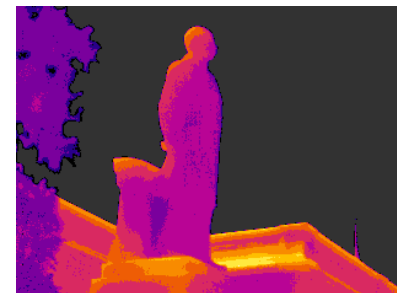
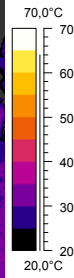
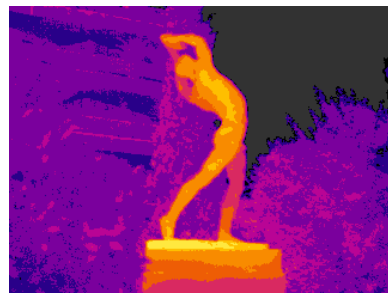
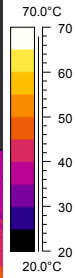
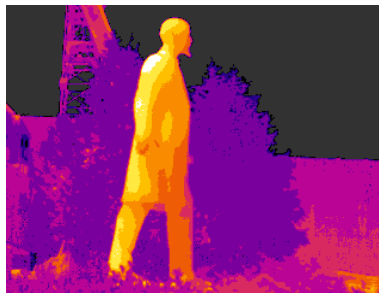
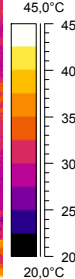
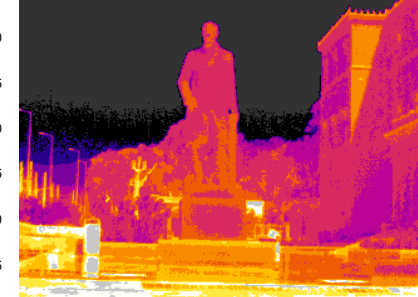
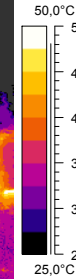
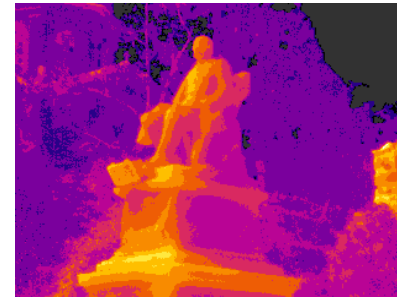
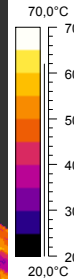
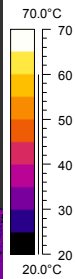
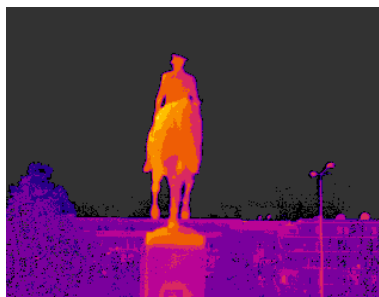
Εικόνα 2.6.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προεπιβλεπόμες μέγιστες διαφορές



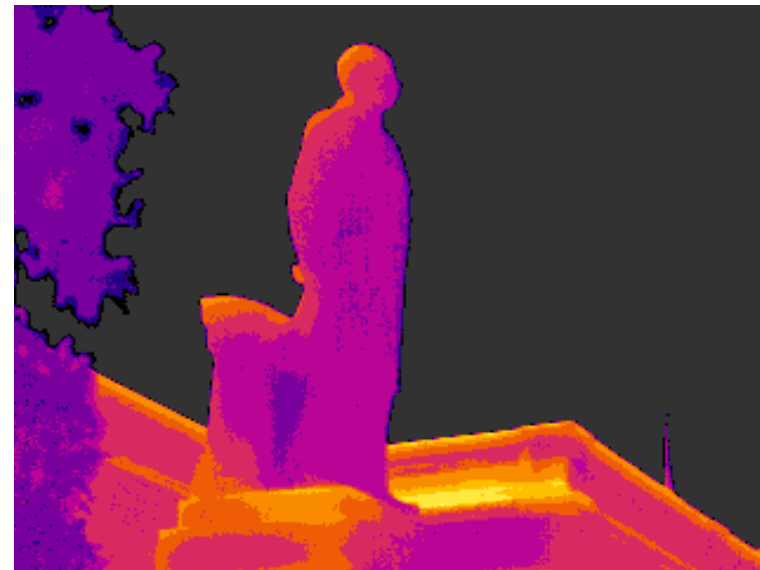
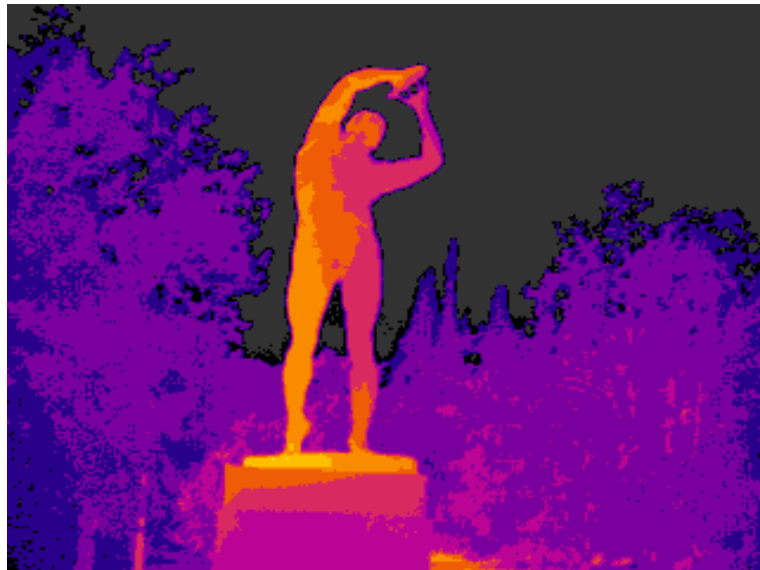
Χαρακτηριστικά θερμογραφήματα

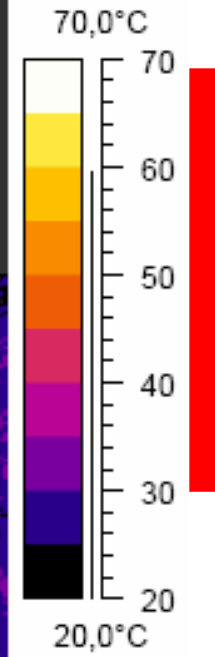
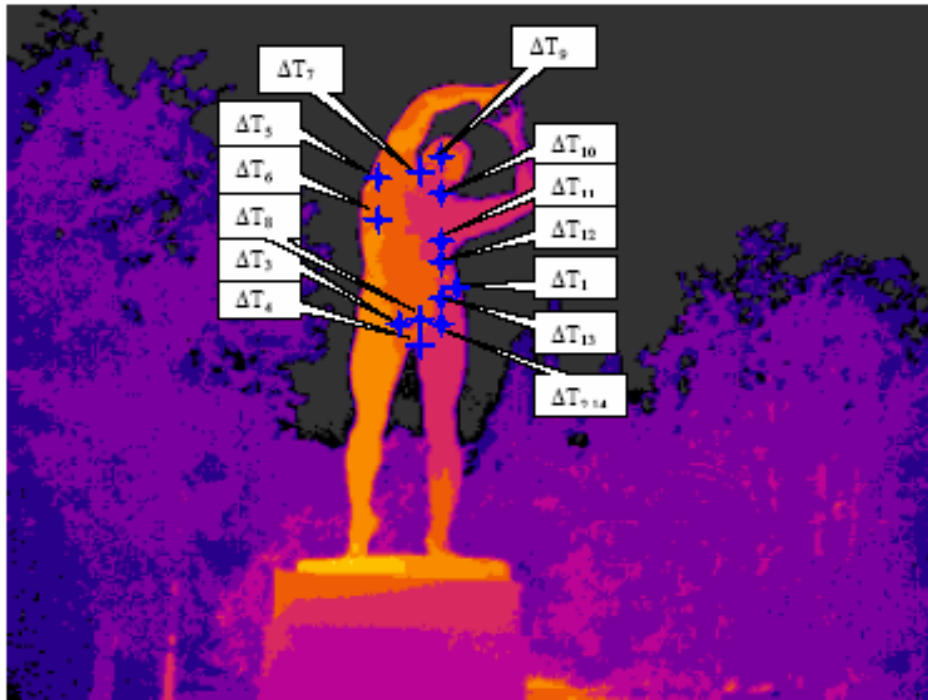
Χαλκός

Μάρμαρο

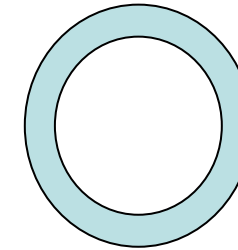


Σύγκριση θερμογραφημάτων

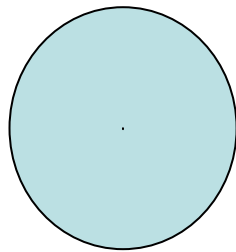




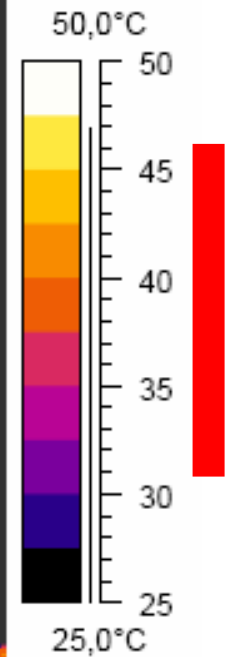
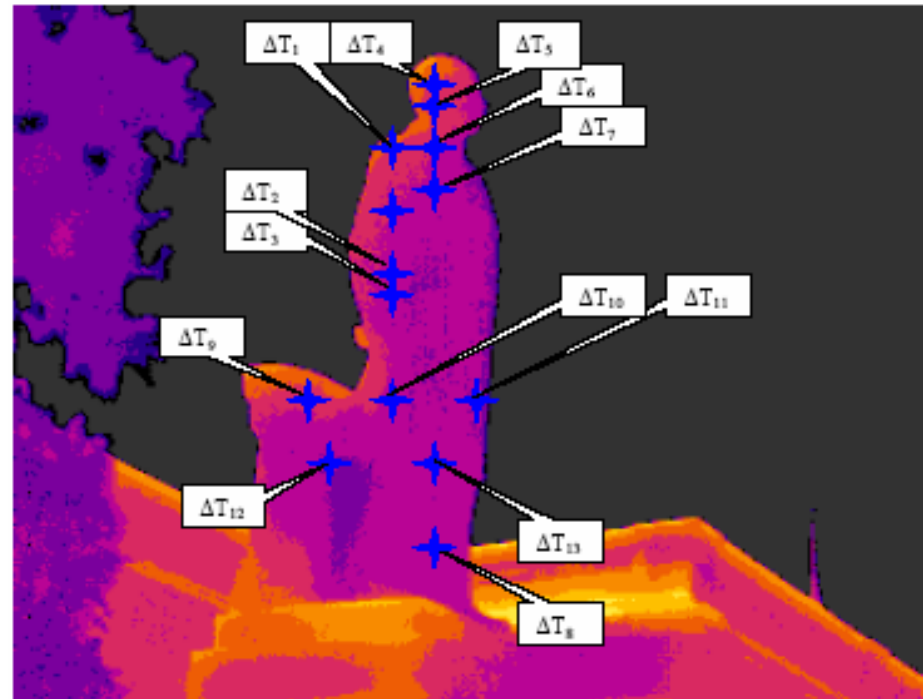
Μέγιστα ΔT , περίπου $2,5^\circ \text{C/cm}$



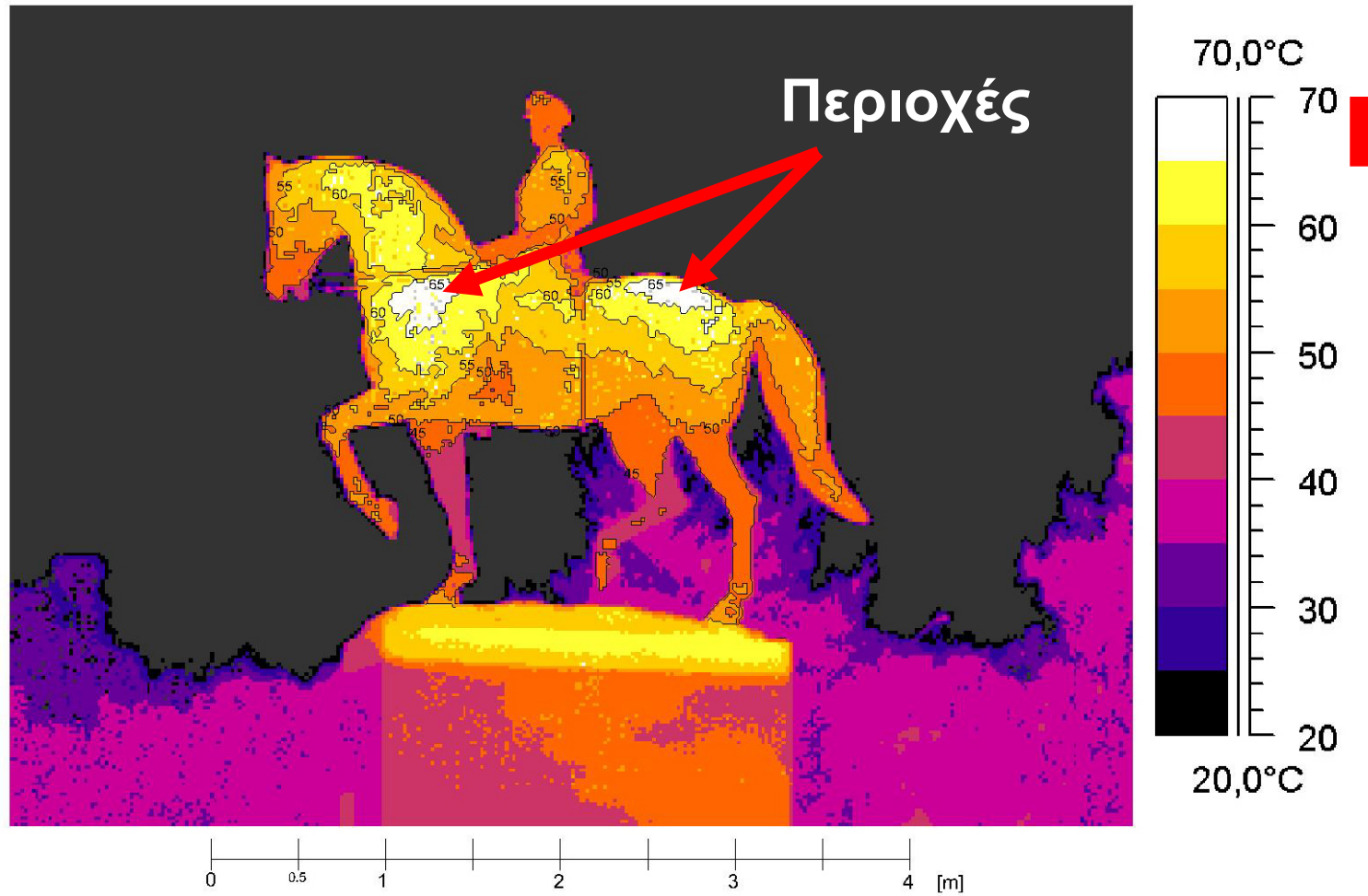
Κέλυφος
5-7 mm



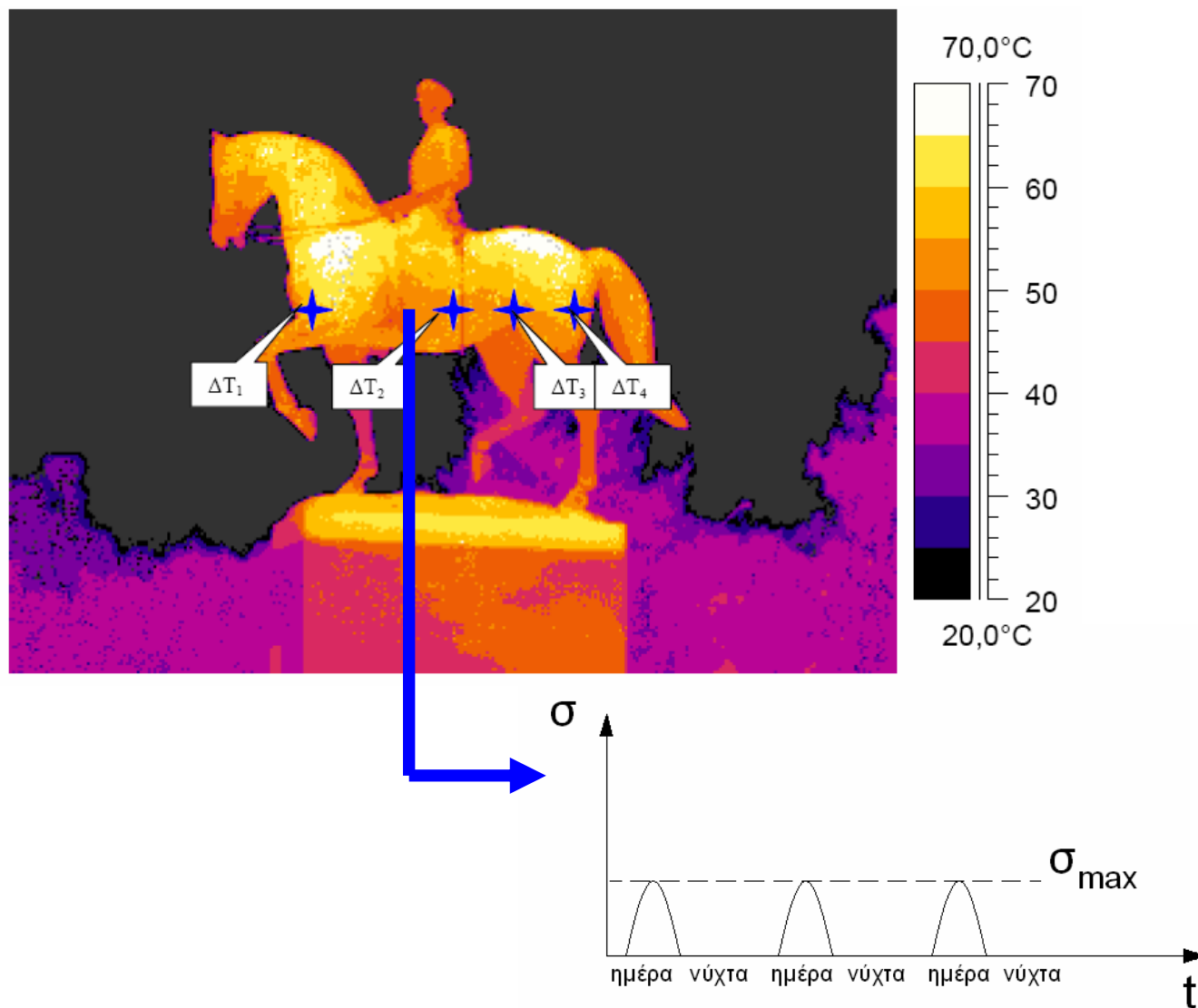
Μέγιστα ΔT , περίπου $1,25^\circ \text{C/cm}$



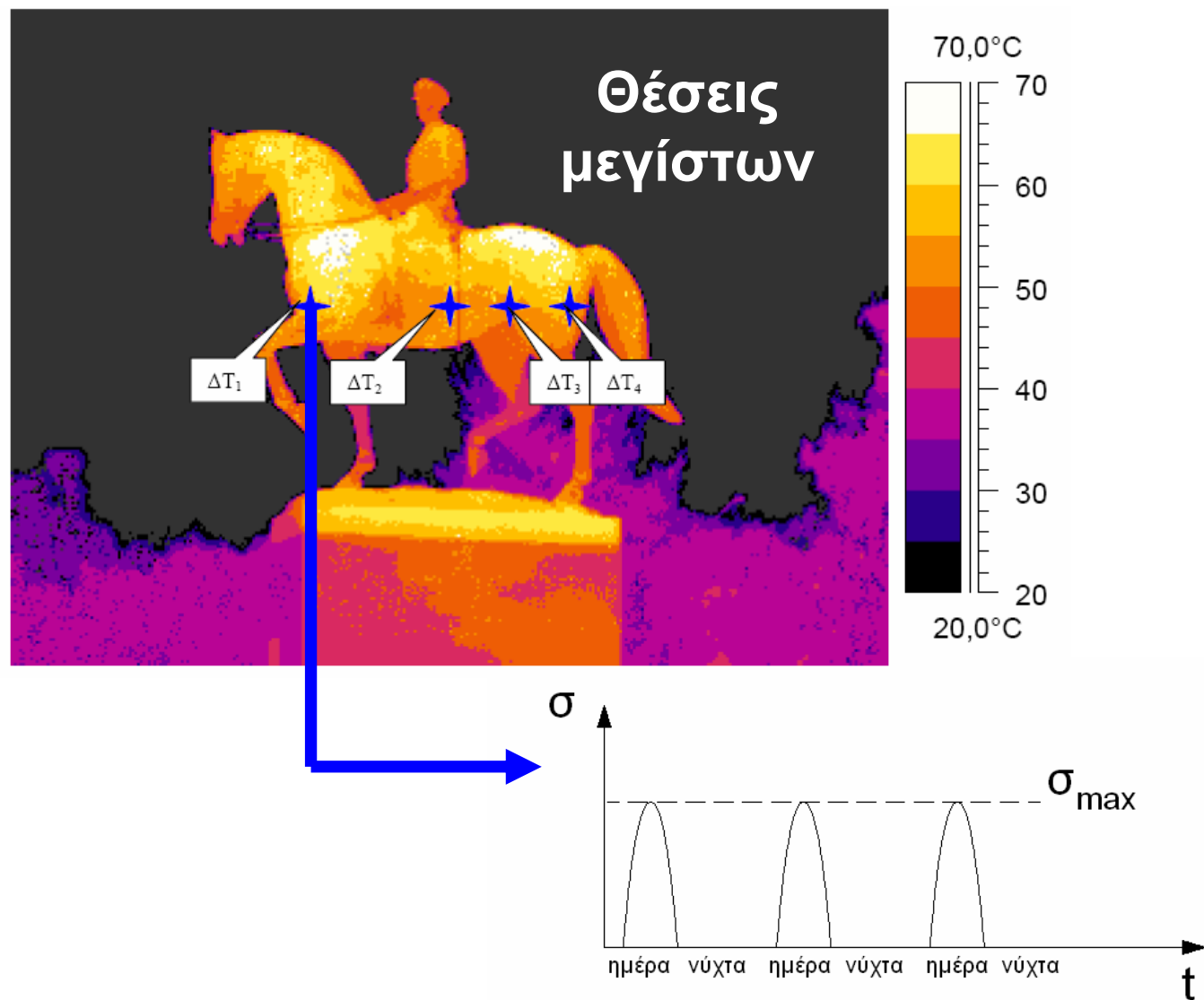
Θερμικές τάσεις



Θερμικές τάσεις



Θερμικές τάσεις



4^ο Συμπέρασμα

Όσον αφορά την γήρανση των υλικών της γλυπτικής “in situ” δεν έχουν καταγραφεί μελέτες για την καταπόνηση των υλικών υπό την επίδραση των μεταβολών της θερμοκρασίας λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας.

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε ενδεδειγμένη μελέτη με την μέθοδο της θερμογραφίας από την οποία διαπιστώνεται ότι στα γλυπτά αναπτύσσονται σημαντικές θερμοκρασιακές μεταβολές κατά την παραμονή τους στο περιβάλλον.

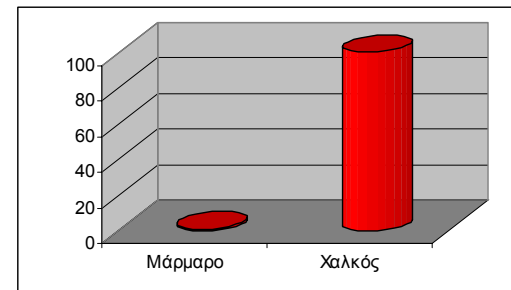


Μάρμαρο → Δεν αναπτύσσονται μεγάλες θερμοκρασιακές αιχμές και αυτές που αναπτύσσονται εκτιμάται ότι αποσβένονται ομαλώς από το υλικό. (περιοχές μεγίστων $\approx +15^{\circ}\text{C}$)

Χαλκός → Αναπτύσσονται μεγάλες θερμοκρασιακές αιχμές οι οποίες εκτιμάται ότι στο βάθος χρόνου υπάρχει το ενδεχόμενο να προκαλέσουν αστοχίες στο υλικό. (περιοχές μεγίστων $\approx +40^{\circ}\text{C}$)

Συντελεστής θερμικής διαστολής
W/m*K

Μάρμαρο \approx 100 φορές μικρότερο του χαλκού



Εφαρμογή → γλυπτά μεγάλης κλίμακας σε φυσικό περιβάλλον

Προσομοίωση προ της κατασκευής



Προπλάσματα-ομοιώματα σε μικρή κλίμακα



Κατάλληλη προσπίπτουσα ακτινοβολία

Εξαρτάται από την θέση και τον προσανατολισμό του έργου in situ



Εντοπισμός ενδεχομένων θέσεων μεγίστων θερμοκρασιακών διαφορών έτσι ώστε να προκύψουν τα σημεία αστοχίας

Χωροθέτηση

Ομαλοποίηση του θερμοκρασιακού πεδίου

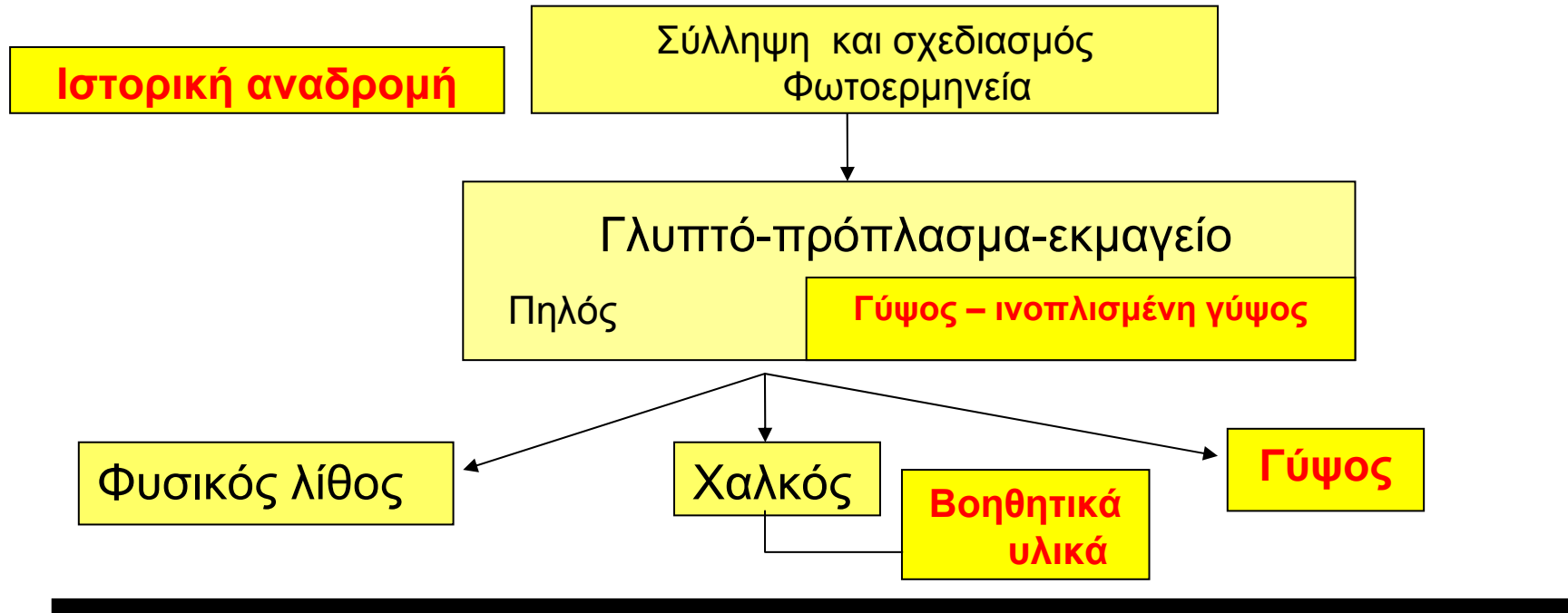


Έντεχνος σκιασμός με πράσινο ή κατάλληλος προσανατολισμός του έργου

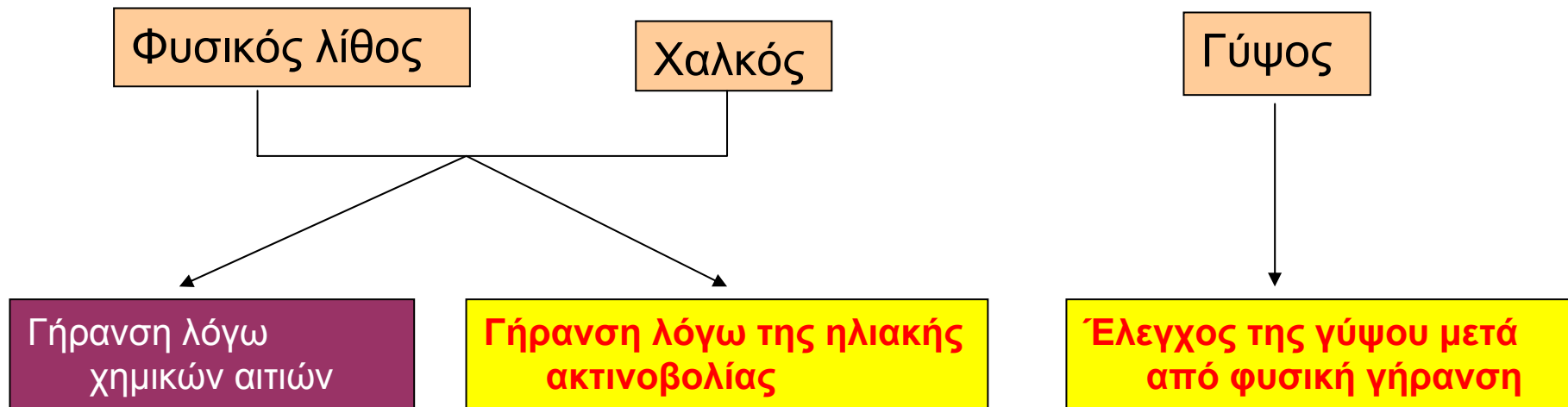
Κατάλληλη διαστασιολόγηση, Χάλκινα γλυπτά, π.χ. αύξηση του πάχους του κελύφους σε κατάλληλες θέσεις

Μείωση των μεγίστων θερμοκρασιακών διαφορών και ομαλοποίηση της κατανομής θερμοκρασιών

Συμβολή της εργασίας



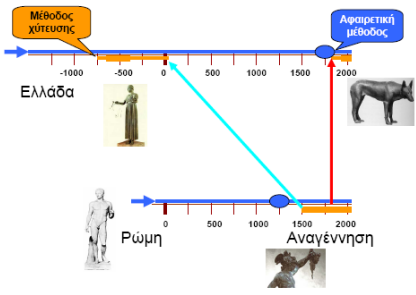
Γήρανση



Συμβολή της εργασίας

Σύλληψη και σχεδιασμός
Φωτοερμηνεία

Ιστορική αναδρομή



Γλυπτό-πρόπλασμα-εκμαγείο
Πηλός

Φυσικός λίθος

Χαλκός

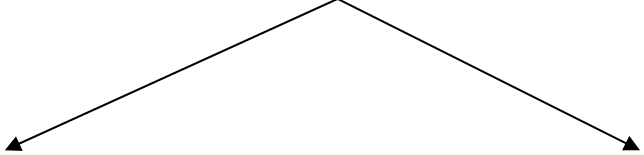
Γήρανση

Φυσικός λίθος

Χαλκός

Γύψος

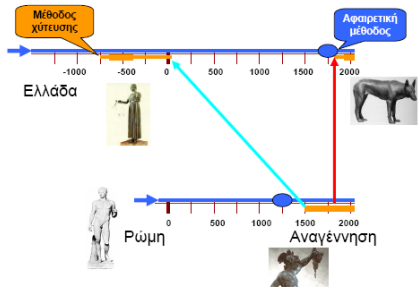
Γήρανση λόγω
χημικών αιτιών



Συμβολή της εργασίας

Σύλληψη και σχεδιασμός
Φωτοερμηνεία

Ιστορική αναδρομή



Γλυπτό-πρόπλασμα-εκμαγείο
Πηλός
Γύψος – ινοπλισμένη γύψος



Φυσικός λίθος

Χαλκός

Γύψος

Γήρανση

Φυσικός λίθος

Χαλκός

Γύψος



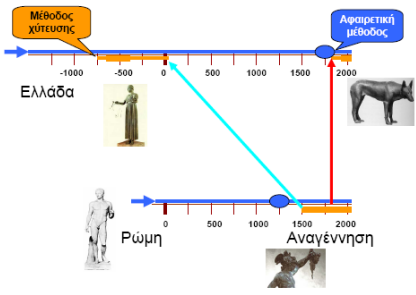
Γήρανση λόγω
χημικών αιτιών

Έλεγχος της γύψου μετά
από φυσική γήρανση

Συμβολή της εργασίας

Σύλληψη και σχεδιασμός
Φωτοερμηνεία

Ιστορική αναδρομή



Γλυπτό-πρόπλασμα-εκμαγείο
Πηλός
Γύψος – ινοπλισμένη γύψος



Φυσικός λίθος

Χαλκός

Βοηθητικά υλικά



Γύψος

Γήρανση

Φυσικός λίθος

Χαλκός

Γύψος



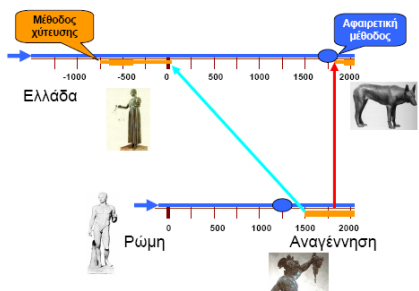
Γήρανση λόγω
χημικών αιτιών

**Έλεγχος της γύψου μετά
από φυσική γήρανση**

Συμβολή της εργασίας

Σύλληψη και σχεδιασμός
Φωτοερμηνεία

Ιστορική αναδρομή



Γλυπτό-πρόπλασμα-εκμαγείο
Πηλός **Γύψος – ινοπλισμένη γύψος**



Φυσικός λίθος

Χαλκός

Βοηθητικά υλικά



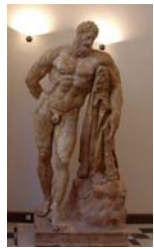
Γύψος

Γήρανση

Φυσικός λίθος

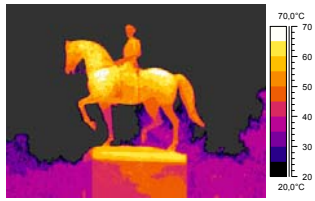
Χαλκός

Γύψος



Γήρανση λόγω χημικών αιτιών

Γήρανση λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας



Έλεγχος της γύψου μετά από φυσική γήρανση



Θερμογραφία

Περαιτέρω έρευνα

Αρχαία Ελληνική Τεχνολογία

Χύτευση μετάλλου

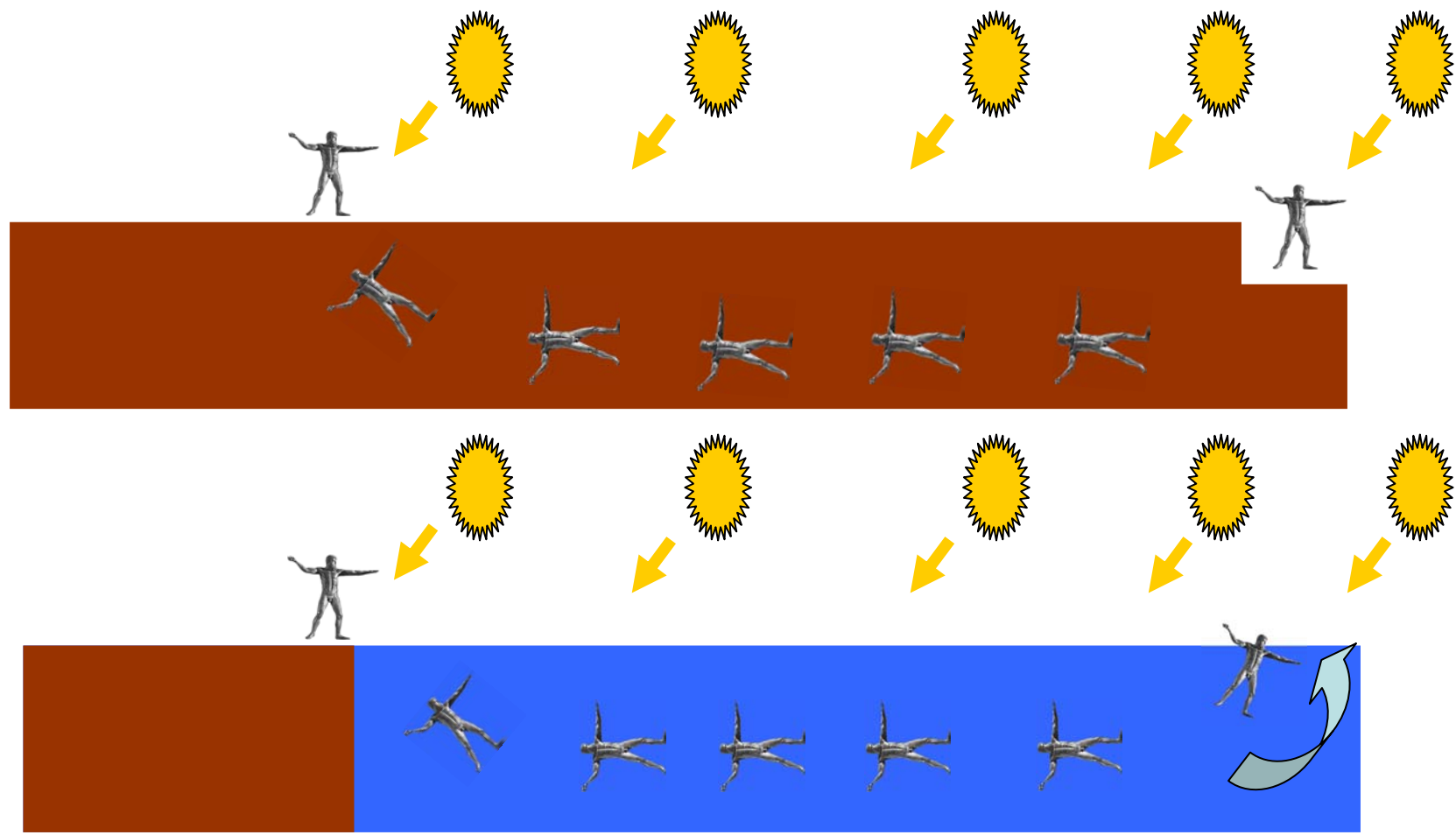
- Μέθοδος (\approx)
- Υλικά (\approx)

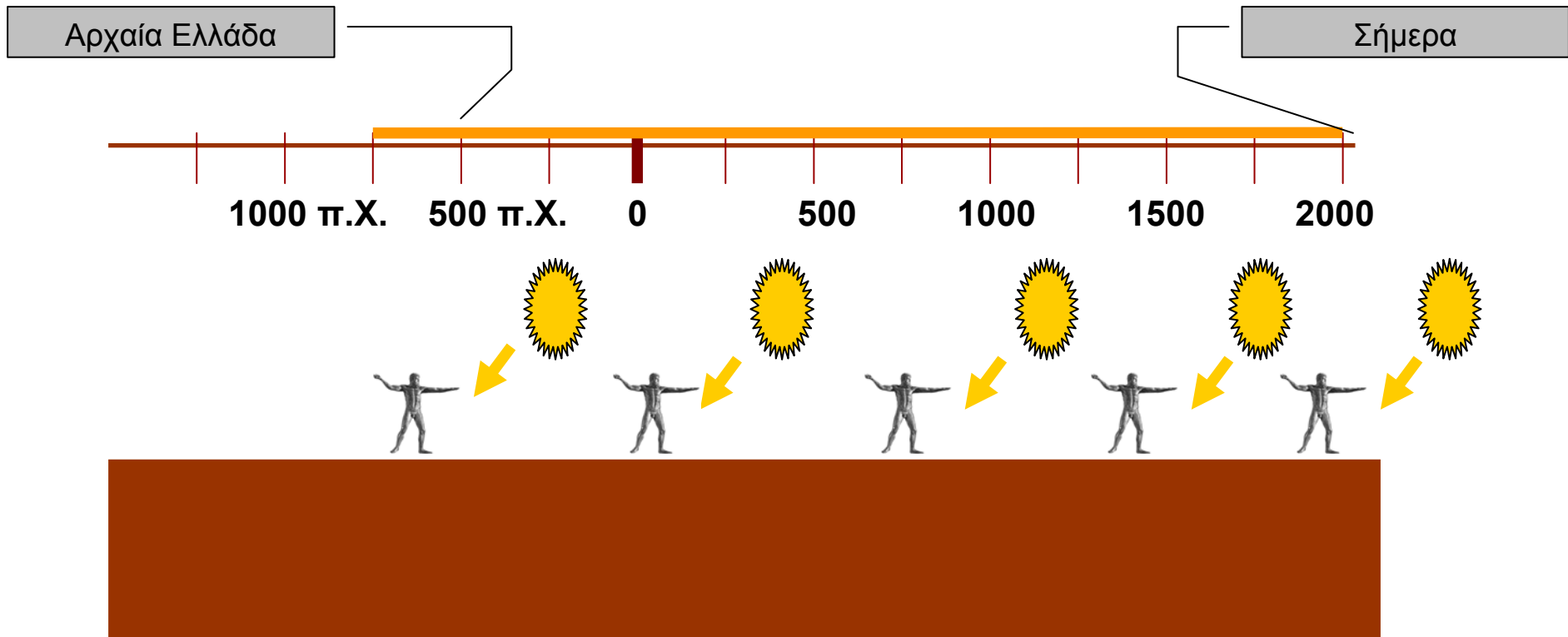
Εργαστηριακός έλεγχος και αξιολόγηση

Αρχαία Ελλάδα

χάλκινα γλυπτά-ανακύκλωση

Σήμερα

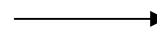




Ομοίωμα σε μικρή κλίματα



Δοκιμές με κατάλληλη ακτινοβολία (προσανατολισμός)



Εντοπισμός μεγίστων θερμοκρασιακών διαφορών

Φωτοερμηνεία



Δημιουργία ψηφιακού ομοιώματος



Ανάλυση φορτίσεων με πεπερασμένα στοιχεία



Κόπωση-σημεία αστοχίας

Επιλεγόμενα