

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

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

ΜΕΡΟΣ Α΄

Γ.-ΦΟΙΒΟΣ ΣΑΡΓΕΝΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π.

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΙΜ. Γ. ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ



Διδακτορική Διατριβή

ΑΘΗΝΑ 2005

«Η έγκρισις διδακτορικής διατριβής υπό της Ανωτάτης Σχολής Αρχιτεκτόνων του Ε.Μ.Πολυτεχνείου
δεν υποδηλοί αποδοχήν των γνώμων του συγγραφέως». (Ν. 5343/1932 άρθρο 202)

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΙΜ. Γ. ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ

Η ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΓΛΥΠΤΙΚΗ

ΜΕΡΟΣ Α΄

Γ.-ΦΟΙΒΟΣ ΣΑΡΓΕΝΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π.

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΙΜ. Γ. ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ

Διδακτορική Διατριβή

ΑΘΗΝΑ 2005

Στους Θεούς

ΜΕΡΟΣ Α΄

Η ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

ΜΕΡΟΣ Β΄

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

ΜΕΡΟΣ Γ΄

ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ-ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ, ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΜΕΡΟΣ Α΄
Η ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κατάλογος εικόνων	11
Κατάλογος πινάκων	15
Πρόλογος	16
1 Εισαγωγή	17
2 Τέχνη και Γλυπτική	18
2.1 Τέχνη	18
2.2 Γλυπτική	21
2.3 Τα μηνύματα της γλυπτικής	22
3 Υλικά - δημιουργία	25
3.1 Προς μία «ποιητική» των υλικών	25
3.2 Η «διαλεκτική» των υλικών	27
3.2.1 Γενικά	27
3.2.2 Όραση και αφή	28
3.2.3 Η υφή του υλικού	30
3.2.4 Η «διαφωνία» των υλικών	30
4 Τεχνικές	32
4.1 Γενικά	32
4.2 Αφαιρετική μέθοδος	32
4.3 Χύτευση	33
4.4 Σφυρηλάτηση	33
4.5 Κεραμική	34
4.6 Σύνθεση-κατασκευή μεγάλων έργων	34
5 Η εξέλιξη της τεχνικής	36
5.1 Γενικά	36
5.2 Αρχαία Ελλάδα	36
5.2.1 Μινωική και Κυκλαδική Τέχνη	36
5.2.2 Πριν τους Κλασσικούς χρόνους	37
5.2.3 Κλασσικοί χρόνοι	38
5.2.4 Ελληνιστικοί χρόνοι	40

5.3	Βυζάντιο	40
5.4	Ρώμη – Αναγέννηση	41
5.5	Μετά την Αναγέννηση	44
5.6	Η γλυπτική στην Νεότερη Ελλάδα	45
5.7	Παρατηρήσεις σχετικές με την εξέλιξη της τεχνικής	47
6	Γενικά στοιχεία σχεδιασμού του γλυπτού	48
6.1	Μέγεθος γλυπτού	48
6.2	Βάση του γλυπτού	48
6.2.1	Γλυπτά μικρού μεγέθους	49
6.2.2	Γλυπτά μεγάλου μεγέθους	49
6.2.3	Άλλες προσεγγίσεις της βάσης ενός γλυπτού	50
6.3	Τοπίο και γλυπτό	50
6.4	Γλυπτική και αρχιτεκτονική	52
6.5	Γλυπτική και φως	54
7	Ανάγνωση και σχεδιασμός	55
7.1	Ανατομία	55
7.2	Σχέδιο	57
7.3	Μορφή και πρόπλασμα (μακέτα)	59
7.4	Σύγχρονες μέθοδοι ανάγνωσης και σχεδιασμού	61
7.5	Εφαρμογή της φωτοερμηνείας στον σχεδιασμό ενός γλυπτού	62
7.5.1	Σκοπός της εφαρμογής	62
7.5.2	Συλλογή στοιχείων	62
7.5.3	Πορεία εργασιών για την εφαρμογή της φωτοερμηνείας	63
7.5.4	Μετρήσεις	64
7.5.5	Επίλυση τριγωνισμού	64
7.5.6	Παράδειγμα εφαρμογής	65
7.6	Παρατηρήσεις σχετικές με τις σύγχρονες μεθόδους ανάγνωσης και σχεδιασμού	67
8	Εισαγωγή στην δημιουργία	68
8.1	Ο χώρος της δημιουργίας	68
8.2	Σκελετός – οπλισμός (αρματούρα)	69
8.3	Υλικά κατασκευής	72
	Γενικά	72
	Πηλός	72
	Φυσικοί λίθοι	73
	Γύψος	73
	Κονιάματα-σκυροδέματα	74

	Ελαφρόσκυρόδεμα	74
	Ξύλο	74
	Κράματα σιδήρου	74
	Κράματα χαλκού	74
	Κερί	75
	Ελαστικά	75
	Ρητίνες	75
	Πεπιεσμένο χαρτί	75
	Άμμος	76
	Πάγος	76
	Γυαλί	76
9	Πρόπλασμα	77
9.1	Γενικά	77
9.2	Πηλός	79
9.2.1	Γενικά	79
9.2.2	Πηλός και νερό	81
9.2.3	Ο πηλός ως ευκατέργαστο υλικό	86
9.2.4	Κοκκομετρική διαβάθμιση και ποιότητα του πηλού	87
9.2.5	Κατασκευή ενός προπλάσματος, χρήση των εργαλείων του πηλού	89
10	Εκμαγεία	94
10.1	Γενικά	94
10.1.1	Εκμαγεία χωρίς «εσάρπα» (κέλυφος)	95
10.1.2	Εκμαγεία με εσάρπα	95
10.2	Γύψος	98
10.2.1	Γενικά	98
10.2.2	Ιδιότητες της γύψου	98
10.2.3	Χρήση της γύψου	100
10.3	Ελαστικά	101
10.3.1	Γενικά	101
10.3.2	Ιδιότητες των ελαστικών	101
	Αναλογία πρόσμιξης	101
	Ικανότητα παραμόρφωσης του ελαστικού	101
	Ιξώδες	102
10.3.3	Συνήθη ελαστικά υλικά εκμαγείων	102
	Latex (καουτσούκ)	102
	Ελαστικά πολυσουλφίδια	103
	Ελαστικά σιλικόνης	103
	Ελαστικά πολυουρεθάνης	104

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

11 Κατασκευή του έργου	105
11.1 Γενικά	105
11.2 Φυσικός λίθος	105
11.3 Κονιάματα-σκυροδέματα	105
11.4 Μεταλλικό κέλυφος	106
11.4.1 Μορφοποιημένο μεταλλικό κέλυφος με σφυρηλάτηση	106
11.4.2 Μορφοποιημένο μεταλλικό κέλυφος με χύτευση	106
11.4.3 Εσωτερικός σκελετός υποστήριξης	106
12 Κατασκευή του γλυπτού από μέταλλο	107
12.1 Ιστορική εξέλιξη	107
12.2 Η χύτευση των μετάλλων στην αρχαία Ελλάδα	109
12.3 Η τεχνική της χύτευσης μετάλλων στην αρχαιότητα	113
12.3.1 Μέταλλα	113
12.3.2 Καμίνια	114
12.3.3 Χωνιά χυτεύσεως	114
12.3.4 Εκμαγεία	115
12.3.5 Συγκολλήσεις	116
12.3.6 Αγωγοί χύτευσης	117
12.3.7 Η άμεση μέθοδος χύτευσης με την τεχνική του «χαμένου κεριού»	117
12.3.8 Η έμμεση μέθοδος χύτευσης με την τεχνική του «χαμένου κεριού»	119
12.4 Τα χυτήρια και η εξέλιξή τους	119
12.5 Η χύτευση των μετάλλων σήμερα	122
12.6 Συνήθη κράματα χαλκού	123
12.7 Άμεση και έμμεση μέθοδος χύτευσης με «χαμένο κεριό»	125
12.7.1 Κατασκευή πρωτογενούς εκμαγείου.	126
12.7.2 Κατασκευή κέρινου προπλάσματος.	126
12.7.3 Δευτερογενές εκμαγείο. Κεραμικό κέλυφος	129
12.7.4 Όπτηση-ελεύθερο κεριού	130
12.7.5 Χύτευση	132
12.7.6 Κατεργασία λεπτομερειών, ολοκλήρωση του έργου	132
12.7.7 Προβλήματα εφαρμογής της μεθόδου «χαμένου κεριού»	132
12.8 Χύτευση σε εκμαγείο άμμου	133
13 Κατασκευή γλυπτού από φυσικό λίθο	137
13.1.1 Γενικά	137
13.1.2 Περιγραφή της αφαιρετικής μεθόδου	138
14 Πατίνα	142

14.1	Γενικά	142
14.2	Πατίνα μαρμάρου	142
14.3	Πατίνα χαλκού	143
15	Γήρανση	146
15.1	Γενικά	146
15.2	Όξινη βροχή	147
15.2.1	Κλίμα-υγρασία περιβάλλοντος	147
15.2.2	Ατμοσφαιρική μόλυνση	148
15.2.3	Η πόλη	149
15.3	Φυσικοί λίθοι-μάρμαρο	149
15.4	Κράματα χαλκού	151
15.4.1	Γενικά	151
15.4.2	Γαλβανική διάβρωση	153
15.5	Γύψος	154

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1.1: Rodin A., Η εποχή του χαλκού, 1875-77.....	17
Εικόνα 2.1: Hirst D., Ατσάλι, γυαλί, φορμαλδεΐδη, πρόβατο, 1994	20
Εικόνα 2.2: Καλακαλλάς Γ., Σκέψη, 1966.....	22
Εικόνα 3.1: Διμεταλλική ταινία	28
Εικόνα 3.2: Σαργέντης Γ. - Φ., Χάδι, 2000.....	29
Εικόνα 3.3: «Κένταυρος» και «σκύλος».....	30
Εικόνα 4.1: Αφαιρετική μέθοδος	32
Εικόνα 4.2: Χύτευση.....	33
Εικόνα 4.3: Σφυρηλάτηση.....	34
Εικόνα 4.4: Calder A., Flamingo, 1972.....	35
Εικόνα 5.1: Κυκλαδική γυναικεία φιγούρα σε μάρμαρο Νάξου, 4.500 π.Χ.....	36
Εικόνα 5.2: Μινωική γλυπτική, 17 ^{ος} -15 ^{ος} αι. π.Χ.....	36
Εικόνα 5.3: Χάλκινα γλυπτά της γεωμετρικής περιόδου, 750 π.Χ.....	37
Εικόνα 5.4: Κούρος, 5ος αι.π.Χ.....	38
Εικόνα 5.5: Απόλλωνας, 520 π.Χ.....	38
Εικόνα 5.6: Ο Ποσειδώνας του Αρτεμισίου, 460 π.Χ. (χαλκός).....	39
Εικόνα 5.7: Ο Δισκοβόλος του Μύρωνα, 450 π.Χ. Ρωμαϊκό αντίγραφο (μάρμαρο).....	39
Εικόνα 5.8: Σχηματική απόδοση της κατανομής βάρους του Ερμή του Gianbologna, 15ος αι. μ.Χ.....	39
Εικόνα 5.9: Ο Ερμής του Πραξιτέλη, 330 π.Χ.....	39
Εικόνα 5.10: Η Νίκη της Σαμοθράκης, 3 ^{ος} αι. π.Χ.....	40
Εικόνα 5.11: Καίσαρας Οκτάβιος-Αύγουστος, 1 ^{ος} αι. μ.Χ.....	41
Εικόνα 5.12: Notre Dame 1.200-1.300 μ.Χ.....	42
Εικόνα 5.13: Cellini B., Περσέας, 1540-5 μ.Χ.....	43
Εικόνα 5.14: Μιχαήλ-Άγγελος., Δαβίδ, 1501-4 μ.Χ.....	43
Εικόνα 5.15: Gianlorenzo B., Δαβίδ, 1623	44
Εικόνα 5.16: Σχέδιο του εσωτερικού του κεφαλιού του αγάλματος της Ελευθερίας	45
Εικόνα 5.17: Τρισδιάστατη αναπαράσταση του εσωτερικού του κεφαλιού του αγάλματος της Ελευθερίας	45
Εικόνα 5.18: Κατασκευαστική λεπτομέρεια	45
Εικόνα 5.19: Bartholdi A., Κατασκευή του έργου: «Η ελευθερία που φωτίζει τον κόσμο», 1885.....	45
Εικόνα 5.20: Χαλεπάς Γ., Ο Σάτυρος παίζει με τον Έρωτα, 1877.....	46
Εικόνα 5.21: Εργαλεία γλύπτη του 19ου αιώνα. [110].....	46
Εικόνα 5.22: Απάρτης Θ., Σκύλα, 1955	47
Εικόνα 6.1: Falconet E.-M., Ο Μεγάλος Πέτρος, 1782 [34].....	49
Εικόνα 6.2: Mustangs Square στη Las Colinas	50
Εικόνα 6.3: Περικλειόμενα τοπία [126].....	51
Εικόνα 6.4: Αρχιτεκτονική λύση του Α. Κωσταντινίδη για το Λεωνίδα στις Θερμοπύλες.....	51
Εικόνα 6.5: Μερική αντίληψη ενός εικαστικού έργου.....	51
Εικόνα 6.6: Το μουσείο Guggenheim στο Bilbao.....	52
Εικόνα 6.7: Η πλατεία του Duomo στο Μιλάνο	53

Εικόνα 6.8: Λεπτομέρεια από τις κολώνες του ναού	53
Εικόνα 6.9: Λεπτομέρεια της κεντρικής πύλης του ναού	53
Εικόνα 7.1: Αναλογίες ανθρώπινου σώματος στην αρχαία Αίγυπτο	55
Εικόνα 7.2: Δορυφόρος ή Κανόνας του Πολύκλειτου 450 π.Χ. Ρωμαϊκό αντίγραφο	55
Εικόνα 7.3: Ο Κανόνας. Leonardo da Vinci, 1485-90	56
Εικόνα 7.4: Γυναικείο και ανδρικό σώμα	57
Εικόνα 7.5: Σκίτσα και σχέδια γλυπτικής	58
Εικόνα 7.6: Σημεία μέτρησης για την κατασκευή μίας προτομής	59
Εικόνα 7.7: Μετρήσεις με κομπάσο για την κατασκευή προτομής	60
Εικόνα 7.8: Βοηθητικές γραμμές και επιφάνειες για την κατασκευή μίας προτομής [80]	60
Εικόνα 7.9: Παράσταση των αξόνων για την κατασκευή σώματος [70]	61
Εικόνα 7.10: Ο S. Freud επιβλέπει προτομή του που έχει φιλοτεχνηθεί από τον γλύπτη O. Nimon το 1931 [125].....	61
Εικόνα 7.11: Σαρωτής όγκου (3d scanner) κατά την παραγωγή ψηφιακό μοντέλου της κεφαλής του Δαβίδ του Μιχαήλ Αγγελου [31].....	62
Εικόνα 7.12: Φωτογράφιση γλυπτού από διαφορετικές γωνίες για την δημιουργία ψηφιακού μοντέλου.....	63
Εικόνα 7.13: Εφαρμογή της φωτοερμηνείας σε Ρωμαϊκό ανάγλυφο. Τοποθέτηση φωτοσταθερών	63
Εικόνα 7.14: Επίλυση τριγωνισμού του ψηφιακού μοντέλου, λεπτομέρεια	65
Εικόνα 7.15: Ορθοεικόνα του ρωμαϊκού ανάγλυφου, λεπτομέρεια.....	65
Εικόνα 7.16: Η εικαστική πρόταση.....	66
Εικόνα 7.17: Κατασκευή του έργου σε κλίμακα 1:10.....	66
Εικόνα 7.18: Τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο	66
Εικόνα 7.19: Φωτορεαλιστική απεικόνιση του τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου.....	66
Εικόνα 7.20: Το γλυπτό μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής	66
Εικόνα 7.21: Ψηφιακό μοντέλο του κεφαλιού του Δαβίδ του Μιχαήλ Αγγελου	67
Εικόνα 8.1: «Αρματούρα» για μικρά γλυπτά [70]	69
Εικόνα 8.2: Σύνθετη «αρματούρα» για μεσαίου μεγέθους γλυπτό [70]	69
Εικόνα 8.3: Αρματούρα για γλυπτά μεγάλου μεγέθους [60]	70
Εικόνα 8.4: Αρματούρα [81].....	71
Εικόνα 8.5: Εφαρμογή της μεθόδου του Michail M. Gerasimov από τον γλύπτη Steve Lester	72
Εικόνα 9.1: Μείωση όγκου του χρησιμοποιούμενου υλικού σε αρματούρα προτομής.....	78
Εικόνα 9.2: Ηλεκτρικά φορτία στην επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων και προσροφημένα ιόντα νερού σε αργιλικό πλακίδιο	83
Εικόνα 9.3: Ηλεκτρικά φορτία στην επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων και προσροφημένα ιόντα νερού σε αργιλικό πλακίδιο	83
Εικόνα 9.4: Αργίλοι- νερό. Αποβολή του μηχανικά ενωμένου νερού	85
Εικόνα 9.5: Ποιοτική παράσταση της μηχανικής συμπεριφοράς του πηλού ανάλογα με το ποσοστό υγρασίας	85
Εικόνα 9.6: Συστολή και παραμόρφωση του πηλού κατά την στερεοποίησή του [76].....	87
Εικόνα 9.7: Εργαλεία για την κατασκευή πήλινου προπλάσματος.....	89
Εικόνα 9.8: Προετοιμασία πηλού.....	90
Εικόνα 9.9: Προπαρασκευή προπλάσματος.....	91
Εικόνα 9.10: Εργαλεία πηλού και χρήση τους.....	91
Εικόνα 9.11: Εργαλεία πηλού και χρήση τους.....	91
Εικόνα 9.12: Εργαλεία πηλού και χρήση τους.....	92

Εικόνα 9.13: Εργαλεία πηλού και χρήση τους.....	92
Εικόνα 9.14: Εργαλεία πηλού και χρήση τους.....	92
Εικόνα 9.15: Εργαλεία πηλού και χρήση τους.....	93
Εικόνα 10.1: Κατασκευή ελαστικών εκμαγείων χωρίς εσάρπα.....	95
Εικόνα 10.2: Προεργασία ελαστικών εκμαγείων με εσάρπα.....	96
Εικόνα 10.3: Κατασκευή ελαστικών εκμαγείων με εσάρπα.....	96
Εικόνα 10.4: Κατασκευή ελαστικών εκμαγείων με εσάρπα.....	96
Εικόνα 10.5: Κατασκευή ελαστικού εκμαγείου με εσάρπα.....	97
Εικόνα 10.6: Κατασκευή ελαστικού εκμαγείου με εσάρπα.....	97
Εικόνα 11.1: Τρισδιάστατη απεικόνιση του ερευνητικού έργου του Matreya Statue.....	105
Εικόνα 12.1: Cellini B., Περσέας, 1545.....	109
Εικόνα 12.2: Άλογο από την Ολυμπία, Γεωμετρική περίοδος, 7ος αι. π.Χ.....	110
Εικόνα 12.3: Ο κρατήρας του Βερολίνου, 6ος αι. π.Χ.....	112
Εικόνα 12.4: Αιγυπτιακό σχέδιο παράστασης κατεργασίας χαλκού [30].....	113
Εικόνα 12.5: Αιγυπτιακό σχέδια παράστασης φούρνου κεραμικής, 3000 π.Χ. [30].....	114
Εικόνα 12.6: Αιγυπτιακό σχέδια παράστασης χωνιού χυτεύσεως 2500 π.Χ. [30].....	115
Εικόνα 12.7: Πιθανός χειρισμός χωνιού χυτεύσεως κατά την αρχαιότητα.....	115
Εικόνα 12.8: Σχηματική παράσταση της χύτευσης με τη άμεση μέθοδο του χαμένου κεριού.....	117
Εικόνα 12.9: Πήλινος πυρήνας με σχηματοποιημένη μορφή.....	118
Εικόνα 12.10: Το πρόπλασμα σε τελική μορφή.....	118
Εικόνα 12.11: Δημιουργία κελύφους χύτευσης από πηλό.....	118
Εικόνα 12.12: Πολεμιστής με ξίφος. Μεσσοποταμία, 2500 π.Χ.....	119
Εικόνα 12.13: Χάρτης των κυριότερων τοποθεσιών προέλευσης μεταλλευμάτων το 3000 π.Χ.[36].....	120
Εικόνα 12.14: Μελέτες του Leonardo Da Vinci για την χύτευση με χαμένο κερί.....	121
Εικόνα 12.15: Οπτηση του δευτερογενούς εκμαγείου [9].....	122
Εικόνα 12.16: Κέρινα πρόπλασμα χυτεύσεως για την μέθοδο του χαμένου κεριού [65].....	127
Εικόνα 12.17: Σχεδιασμός του συστήματος εισόδων και εξόδων του μετάλλου. [65].....	127
Εικόνα 12.18: Το έργο μέσα στο δευτερογενές εκμαγείο. [65].....	127
Εικόνα 12.19: Σχεδιασμός αγωγών χύτευσης σε κέρινο πρόπλασμα χυτεύσεως.....	128
Εικόνα 12.20: Κατασκευή αγωγών χύτευσης σε κέρινο πρόπλασμα χυτεύσεως.....	128
Εικόνα 12.21: Κέλυφος από κονίαμα γύψου-οπτής αργίλου.....	130
Εικόνα 12.22: Κέλυφος από ασβεστόγαλα.....	130
Εικόνα 12.23: Χώρος αποκέρωσης.....	131
Εικόνα 12.24: Χώρος αποκέρωσης για κέλυφος από ασβεστόγαλα.....	131
Εικόνα 12.25: Χύτευση χαλκού.....	132
Εικόνα 12.26: Χύτευση χαλκού (θερμογράφημα).....	132
Εικόνα 12.27: Χύτευση χαλκού σε άμμο με κοίλο εσωτερικό [54].....	134
Εικόνα 12.28: Χύτευση χαλκού σε άμμο [51].....	135
Εικόνα 12.29: Χύτευση χαλκού σε άμμο.....	135
Εικόνα 12.30: Χύτευση χαλκού με χαμένο αφρό.....	135
Εικόνα 13.1: Λατομείο μαρμάρου.....	137
Εικόνα 13.2: Ακατέργαστοι όγκοι μαρμάρου.....	137
Εικόνα 13.3: Φειδίας, Αγάλματα από τα αετώματα του Παρθενώνα 430 π.Χ. [35].....	138
Εικόνα 13.4: Το βουνό Rushmore πριν την γλυπτική παρέμβαση.....	138
Εικόνα 13.5: Η γλυπτική παρέμβαση στο βουνό Rushmore.....	138
Εικόνα 13.6: Αφαιρετική μέθοδος [94].....	139

Εικόνα 13.7: Εργαλεία κατεργασίας μαρμάρου.....	139
Εικόνα 13.8: Προπαρασκευή και εργαλεία της κατεργασίας του μαρμάρου.....	140
Εικόνα 13.9: Στάδια κατά την γλυπτική κατεργασία.....	140
Εικόνα 13.10: Εργαλεία και τελικό αποτέλεσμα της κατεργασίας του μαρμάρου.....	140
Εικόνα 13.11: Αντιγραφή του έργου με μετρητικές διατάξεις από γύψο σε φυσικό λίθο.....	141
Εικόνα 15.1: Αποτύπωση φθορών του έργου «Θησεύς σώζων Ιπποδάμειαν» στην πλατεία Βικτορίας [95].....	146
Εικόνα 15.2: Εκπομπές του διοξειδίου του θείου στην Ευρώπη μεταξύ του 1980 και 1990 [61].....	148
Εικόνα 15.3: Μεταβολή του όξινου χαρακτήρα (PH) της βροχής μεταξύ 1957 και 1970 [92].....	149
Εικόνα 15.4: Κρύσταλλοι γύψου επικαθήμενοι σε μάρμαρο μετά από διάβρωση του μαρμάρου (φωτογραφία από μικροσκόπιο) [40].....	150
Εικόνα 15.5: Ανάγλυφο από την μετόπη του Παρθενώνα.....	151
Εικόνα 15.6: Λεπτομέρεια διάβρωσης σε κεφάλι αλόγου της μετόπης του Παρθενώνα.....	151
Εικόνα 15.7: Μηχανισμός διάβρωσης χάλκινων γλυπτών στον περιβάλλοντα χώρο [51].....	152
Εικόνα 15.8: Τομή χαλκού σε γλυπτό περιβάλλοντα χώρου (φωτογραφία από μικροσκόπιο) [37].....	153
Εικόνα 15.9: Διάβρωση σε χάλκινο έργο.....	153
Εικόνα 15.10: Διάβρωση σε χάλκινο έργο.....	153
Εικόνα 15.11: Franz von Stuck, Αμαζόνα σε άλογο, 1936.....	154
Εικόνα 15.12: Λεπτομέρεια γαλβανικής διάβρωσης στο δεξιό χέρι της αμαζόνας εξαιτίας εσωτερικού υποστηρικτικού σκελετού από σιδηρούχο κράμα [37].....	154

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 10.1: Ιξώδες. Χαρακτηριστικές τιμές	102
Πίνακας 12.1: Τοπική και χρονική εξέλιξη της παραγωγής χάλκινων γλυπτών	120
Πίνακας 12.2: Αναλογίες ανάμιξης κεριών χύτευσης (1 ^η στρώση)	126
Πίνακας 12.3: Αναλογίες ανάμιξης κεριών χύτευσης (2 ^η στρώση)	127
Πίνακας 12.4: Κονιάματα εκμαγείων χύτευσης. Κεραμικό κέλυφος	129
Πίνακας 14.1: Πατίνα χαλκού. Πράσινο-καφέ	144
Πίνακας 14.2: Πατίνα χαλκού. «Πράσινο»	144
Πίνακας 14.3: Πατίνα χαλκού. Κίτρινο-πράσινο	144
Πίνακας 14.4: Πατίνα χαλκού. Μπλε	144
Πίνακας 14.5: Πατίνα χαλκού. Ανοιχτό πράσινο	144
Πίνακας 14.6: Πατίνα χαλκού. Ανοιχτό πράσινο	144
Πίνακας 14.7: Πατίνα χαλκού. Μαύρο	145
Πίνακας 14.8: Πατίνα χαλκού. Μπλε	145
Πίνακας 14.9: Πατίνα χαλκού. Καφέ προς μαύρο	145
Πίνακας 15.1: Κλιματολογικές συνθήκες και δείκτες ατμοσφαιρικής μόλυνσης στις πόλεις Göteborg, Μοναχο και Αθήνα. [37]	147
Πίνακας 15.2: Διάβρωση χαλκού και κραμάτων χαλκού [86]	152

Πρόλογος

«Έχω επίγνωση του ότι υπάρχουν άνθρωποι που προτιμούν την τροφή του κορμιού από την τροφή της ψυχής. Δεν έχω να πω τίποτα σε αυτούς του ανθρώπους. Τους αξίζει να είναι οικονομολόγοι και σε αυτό τον κόσμο, καθώς και στον άλλο» [5].

T. Gautier

Σκοπός και στόχος της παρακάτω εργασίας είναι να υπηρετήσει την Επιστήμη αλλά και την Τέχνη.

Ο γλύπτης είναι ο «είλωτας της Τέχνης». Ο γλύπτης αναγκάζεται να μάχεται με τα υλικά και να συνδιαλέγεται μαζί τους. Για τον λόγο αυτό είναι φανερό ότι η γλυπτική μεταχειρίζεται κατασκευαστικές τεχνικές ενώ παράλληλα χρησιμοποιεί και την επιστημονική γνώση της κάθε εποχής μιας και η γλυπτική είναι κατ' ουσία κατασκευαστική Τέχνη.

Ακόμα και σήμερα, λόγω της φύσης του αντικειμένου, η γνώση επάνω στην κατασκευή του γλυπτού δεν διατίθεται με μεγάλη ευκολία. Κατά κανόνα διατίθεται με τον προφορικό περισσότερο, παρά με τον γραπτό λόγο. Παρ' όλα αυτά οι κατασκευαστικές μέθοδοι της γλυπτικής μολονότι εφαρμόζονται με βάση εμπειρικές μεθόδους, έχουν καθαρά επιστημονικό χαρακτήρα και απαιτούν επιστημονική έρευνα.

Κλείνοντας τον πρόλογο, θέλω να ευχαριστήσω τον Καθηγητή μου κ. Αιμίλιο Κορωναίο, για τις πολύτιμες εμπειρίες που έζησα δίπλα του, τις συμβουλές του, την υποστήριξή του και την συμπαράστασή του σε όλα τα στάδια της εκπόνησης της διατριβής.

Με συγκινεί ιδιαίτερα το γεγονός ότι με την ολοκλήρωση αυτού του έργου θα χρεωθώ «παιδί» του.

Γ.-Φοίβος Σαργέντης

Λαύριο Ιούλιος 2004

1 Εισαγωγή



Εικόνα 1.1: Rodin A., Η εποχή του χαλκού, 1875-77

Κατά την διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής πραγματοποιήθηκε εκτενής βιβλιογραφική έρευνα σχετικά με τις τεχνικές και τα υλικά που χρησιμοποιήσαν οι γλύπτες σε διάφορες ιστορικές περιόδους. Ιδιαίτερη σημασία στην εξέλιξη της τεχνικής δόθηκε στην κατασκευή των γλυπτών από «χαλκό».

Η γλυπτική εξελίσσεται σε πολιτισμούς που έχουν μία δυναμική σχέση με την τέχνη ενώ έχει παρατηρηθεί ότι φθίνει σε σκοτεινούς χρόνους. Σε κάθε επανεμφάνισή της η γλυπτική ξεκινάει με την αφαιρετική τεχνική (σκάλισμα των φυσικών λίθων ή ξύλων) και ακολούθως αναπτύσσεται η δημιουργία των γλυπτών από μέταλλο (χύτευση μετάλλου).

Κατά την εξελικτική διαδικασία η κατασκευή του γλυπτού από μέταλλο απελευθερώνει την μορφή και ανοίγει νέες δυνατότητες στην έκφραση των καλλιτεχνών (Εικόνα 1.1).

Ακολούθως έγινε εκτενής βιβλιογραφική έρευνα για την χρήση διαφόρων υλικών τα οποία χρησιμοποιούνται σήμερα στην γλυπτική, παρουσιάζονται οι τεχνικές της χρήσης τους και γίνεται αναφορά σε διάφορες ιδιότητές τους.

Στο πειραματικό μέρος της εργασίας πραγματοποιήθηκε έλεγχος της τεχνολογικής συμπεριφοράς υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των γλυπτών όπως:

- το μάρμαρο και η συμπεριφορά του στην επίδραση της ατμόσφαιρας
- το υλικό εκμαγείων χύτευσης χάλκινων¹ γλυπτών (κονίαμα γύψου-οπτής αργίλου)
- η γύψος και η γύψος η οποία έχει υποστεί φυσική γήρανση μεγάλης χρονικής διάρκειας

Παράλληλα πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για τον έλεγχο της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε γλυπτά που βρίσκονται σε εξωτερικούς χώρους.

¹ Γενικά, στο κείμενο ως χαλκός εννοείται το κράμα του χαλκού με κασσίτερο -κρατέρωμα- ευρύτερα γνωστό σαν μπρούτζος

2 Τέχνη και Γλυπτική

2.1 Τέχνη

«Η Τέχνη μας παραστέκει για να μη μας συντρίψει η αλήθεια» [5].

Φρ. Νίτσε

Είναι βέβαιο ότι η Τέχνη είναι αληθινή πλην όμως οι αλήθειες της Τέχνης διαφέρουν από τις αλήθειες της φιλοσοφίας και της επιστήμης. Οι αλήθειες της επιστήμης και της φιλοσοφίας πολλές φορές εγκλωβίζουν τον άνθρωπο, με την έννοια ότι εισηγούνται ασκήσεις, νόμους και περιορισμούς. Η Τέχνη όμως έχει λυτρωτικό χαρακτήρα και συμπαρίσταται στον άνθρωπο και στο όλο εγχείρημα του πολιτισμού του.

Από τα αρχαία χρόνια ο άνθρωπος κατάλαβε ότι με το να βρει το σχήμα ενός πράγματος έχει ολοκληρωθεί ως νοήμων ζωο. Έχει κατακτήσει αυτό για το οποίο έχει γεννηθεί. Εκ των υστέρων βέβαια όλα τα συμπεράσματα τα οποία έχει βγάλει ο άνθρωπος από την Φύση προέρχονται ως αποτελέσματα της Λογικής. Αλλά δεν είναι η Λογική που μας ενδιαφέρουν στην Τέχνη. Η Τέχνη, είτε ο Ρενουάρ, είναι ένα πράγμα που δεν ξέρουμε τι είναι. Γι' αυτό και θα μας ενδιαφέρει αιώνως [5].

Σύμφωνα με τον Πλάτωνα [5] αυτό που λέμε Τέχνη είναι μια διαλεκτική σχέση του δημιουργού με την ιδεατή εικόνα του «Άλλου Χώρου». Ο δημιουργός αλλά και ο θεατής έχει τριπλή υποχρέωση:

- γνώση της φύσης του προτύπου,
- γνώση της ορθότητας του αντιγράφου
- γνώση της εντέλειας με την οποία γίνεται το αντίγραφο

Από την κλασσική αρχαιότητα, οι γλύπτες, δεν απεικόνιζαν αδιαμαρτύρητα τις μορφές της φύσης. Για την επίτευξη του Ωραίου τόνιζαν ή αφαιρούσαν χαρακτηριστικά έτσι ώστε να ενταθεί η μορφή του γλυπτού.

Για όλες τις τέχνες, μέθοδος για την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος, είναι η παρατήρηση. Ο Μπέρτολτ Μπρέχτ διδάσκει ότι «εκείνος που παρατηρεί τον εαυτό του μονάχα, ποτέ δεν μπορεί τους ανθρώπους να γνωρίσει. Όλη του η έγνοια είναι να κρύψει τον εαυτό του απ' τα μάτια του. Και ποιος το καταφέρνει αυτό καλύτερα απ' τον ίδιο; Για τούτο, τη σπουδή σας πρέπει να την αρχίσετε ανάμεσα στους ζωντανούς ανθρώπους. Εκεί παρατηρήστε τον καθένα, τον ξένο σαν να 'ταν γνώριμός σας, τον γνώριμο σαν να σας ήταν ξένος» [117].

Μέσω της συστηματικής παρατήρησης του περιβάλλοντος, ο δημιουργός μπορεί και επικοινωνεί με το κοινωνικό σύνολο και τελικά με τον εαυτό του. Η Τέχνη εξ άλλου, ανέκαθεν ήταν κυρίαρχος άξονας

της επικοινωνίας των ανθρώπων είτε μεταξύ τους είτε με το Θεό, ιδιαίτερα δε, των ανθρώπων με τους νεκρούς.

Η επικοινωνία αυτή οδηγεί τον καθένα να ανακαλύπτει σύμφωνα με τις ανάγκες του, κάτι σαν διεγέρσεις, οι οποίες μεταφράζονται σαν δέος, ευχαρίστηση κ.λ.π. από την δημιουργία ή την παρατήρηση ενός έργου. Δυστυχώς δεν είναι συγκεκριμένοι οι κανόνες οι οποίοι θα μπορούσαν να ταξινομήσουν τα κλειδιά για την ερμηνεία των φαινομένων αυτών γι αυτό εξ άλλου υπάρχουν διαφορετικές αισθητικές θεωρίες σε κάθε εποχή, ανάλογα με την αντίληψη του κόσμου σε αυτήν. Στη σφαίρα του υποκειμενικού λοιπόν καλυπτόμαστε από αυτές τις «διεγέρσεις». Τις «διεγέρσεις» που επικοινωνούν με το Ωραίο σε αυτόν που όρισε ο Πλάτωνας ιδεατό «Άλλο Χώρο». Ανεξάρτητα με το αν Δημιουργούμε ή «Αφουγκραζόμαστε».

Σύμφωνα με τον Νίτσε «η Τέχνη πλησιάζει, σαν λυτρωτική θεραπεύτρια μάγισσα και μόνον αυτή μπορεί να μετατρέψει εκείνους τους φοβερούς στοχασμούς για την φρίκη και τον παραλογισμό της ύπαρξης, σε παραστάσεις με τις οποίες μπορεί να ζήσει ο άνθρωπος. Αυτές είναι η παράσταση του υπέροχου ως καλλιτεχνική κατάκτηση του τρομακτικού και του κωμικού, ως καλλιτεχνική απαλλαγή από τη ναυτία του παραλόγου» [102].

Στα πλαίσια της αντίληψης της Τέχνης, καθένας από εμάς κάνει κάποια στιγμή τη λογική διεργασία και λέει "αυτό είναι Ωραίο". Αυτό είναι το αξίωμα για τη θεμελίωση του αισθητικού κανόνα. Εκεί έγκειται και η δυσκολία της υπόθεσης. Μέχρι σήμερα αξίωμα της λογικής είναι ότι "α ≡ α" και αυτό είναι μάλλον σίγουρο. Τα κριτήρια όμως της αισθητικής δηλαδή του τι είναι Ωραίο, διαρκώς μεταβάλλονται και δεν είναι μονοσήμαντα. Εξ άλλου κάθε δημιούργημα ανήκει σε μια συγκεκριμένη πολιτιστική παράδοση. Αυτό που είναι ωραίο για εμάς δεν είναι ωραίο για τον Κινέζο αγρότη. Μπορεί όλοι να συμφωνούμε ότι ο Πικάσο ήταν ιδιοφυΐα αλλά δεν θα τον γνώριζε κανείς από εμάς αν κάποια μουσεία και κάποιες ομάδες δεν φροντίζανε να μάθουμε τον Πικάσο. Για αυτό οι λέξεις όπως «αισθητική» και «ομορφιά» προκαλούν μια αίσθηση προσωρινότητας.

Όλοι οι πολιτισμοί αναρωτιόντουσαν πάντοτε από τι προκύπτει το ωραίο και πώς μπορούμε να το ταξινομήσουμε. Ανάλογα με τις πολιτισμικές αναφορές της κάθε εποχής το «Άλλο» που καθρεφτίζεται στον δικό μας χώρο ποικίλει διακριτά. Οι πολιτισμοί μαθαίνουν να δημιουργούν και να «αφουγκράζονται» με βάση κοινούς αισθητικά τόπους που εκφράζονται σαν αισθητικοί κανόνες και τελικά τους χαρακτηρίζουν [111].

Η βιομηχανική επανάσταση του 20^{ου} αιώνα έφερε μεγάλες αλλαγές στην αντίληψη του ωραίου ξεκινώντας από τον ενθουσιασμό που προκάλεσε η αισθητική των μηχανών. Έτσι ο Φουτουρισμός καλεί δια στόματος του Μαρινέτι να σκοτώσουμε το σεληνόφως ως ανόητο ποιητικό φληνάφημα.

Η έκφραση της πρόκλησης είναι εκείνη που προτείνεται από διάφορα πρωτοποριακά κινήματα τον Φουτουρισμό στον Κυβισμό, από τον Εξπρεσιονισμό στον Υπερρεαλισμό, από τον Πικάσο και τους

μεγάλους δασκάλους της μη παραστατικής τέχνης. Η τέχνη της πρωτοπορίας δεν θέτει το πρόβλημα της ομορφιάς γιατί η πρωτοποριακή πρόκληση παραβιάζει όλους τους αισθητικούς κανόνες που μέχρι αυτή τη στιγμή ήταν σεβαστοί. Αντιθέτως θέλει να μας μάθει να ερμηνεύουμε τον κόσμο με διαφορετική ματιά, να απολαμβάνουμε την επιστροφή στο αρχαϊκό και εξωτικό πρότυπο, το σύμπαν του ονείρου και των φαντασιών [97.1].

Για τον λόγο αυτό οι καλλιτέχνες εκφράζονται σήμερα τελείως ελεύθερα χωρίς να υπάρχουν νόμοι, κανόνες, όρια (Εικόνα 2.1).

Οι σημαντικές πρωτοπορίες ή καλύτερα μεταλλαγές της Τέχνης που εμφανίζονται στις αρχές του 20ου αιώνα χαρακτηρίζονται από την απουσία κανονικότητας. Όπως παρατηρεί ο Καστοριάδης [102], η περίπτωση της μοντέρνας Τέχνης η οποία εξερευνά και δημιουργεί μορφές, με την ισχυρή και αυστηρή έννοια του όρου για αυτόν τον λόγο είναι δημοκρατική δηλαδή απελευθερωτική, ακόμα και όταν αυτοί που την αντιπροσωπεύουν είναι αντιδραστικοί.



Εικόνα 2.1: Hirst D., Ατσάλι, γυαλί, φορμαλδεΰδη, πρόβατο, 1994

Η μοντέρνα Τέχνη έγινε, μπορεί να πει κανείς, φιλοσοφική. Είναι εξερεύνηση. Δεν είναι βέβαια φιλοσοφία, αλλά είναι φιλοσοφική γιατί είναι εξερεύνηση ολοένα και πιο καινούργιων στιβάνων της ψυχής, της κοινωνίας, του ορατού, του ακουστού. Η εξερεύνηση των στοιβάνων αυτών, αποσκοπεί με αυτόν τον μοναδικό τρόπο να δώσει μορφή στο χάος.

Επάνω στον προβληματισμό αυτό ο γλύπτης Bourdelle μαθητής του Rodin και δάσκαλος του Απάρτη συμβούλευε τους μαθητές του: «να μην χάνετε τον καιρό σας με ιδέες που θέλουνε να λέγονται καινούργιες γιατί στη δουλειά του γλύπτη καινούργιο τίποτα δεν υπάρχει. Το καινούργιο στοιχείο είναι η σταδιακή τελειοποίηση εκείνου που ο καλλιτέχνης ήδη γνωρίζει» [103].

2.2 Γλυπτική

«Γλυπτική είναι τα ανεξόφλητα χρέη μας για τον διπλανό μας, που συνιστούν γραμμάτιο των ηθικών χρεών έναντι του Πλάστη» [101].

Θ. Απάρτης

Η γλυπτική στην αρχαία Ελλάδα δεν θεωρούνταν Τέχνη αλλά τεχνική. Παρ' όλη την μαζική απήχηση που είχαν τα γλυπτά στον πολιτισμικό ιστό, η γλυπτική βρισκόταν στο περιθώριο των Τεχνών. Στην αρχαία Ελλάδα ο Γλύπτης αποτελούσε τον «είλωτα της Τέχνης» ενώ οι Έλληνες απαγόρευαν στους δούλους να μαθαίνουν ζωγραφική γιατί η Τέχνη της ζωγραφικής ήταν ανέκαθεν αξία των ελευθέρων πνευμάτων και των ευγενών ψυχών σε αντίθεση με την Τέχνη της γλυπτικής.

Όσον αφορά τη γλυπτική στο Βυζάντιο, η εγκατάλειψη της παραστατικότητας και των μορφών του ελληνισμού σήμαινε ότι η τέχνη της γλυπτικής ήταν σε ακόμα μικρότερη εκτίμηση, γι αυτό και η παραγωγή γλυπτών και αγαλμάτων έγινε πολύ γρήγορα η τέχνη των ανάγλυφων.

Η ίδια αντίληψη επικρατεί και κατά τη διάρκεια της Αναγέννησης. Ο Λεονάρντο Ντα Βίντσι αναφέρει ότι «η ζωγραφική είναι γνήσια κόρη της Φύσης και απευθύνεται στην ευγενέστερη από τις αισθήσεις ενώ καταπιάνεται όχι μόνο με τα έργα της φύσης, αλλά και μ' ένα άπειρο πλήθος πραγμάτων που ποτέ δεν δημιούργησε η φύση». Ο Ντα Βίντσι αντίθετα δεν εξαιρεί την γλυπτική για την οποία αναφέρει ότι «αυτή δεν απαιτεί τόση ευφυΐα και προκαλεί σωματικό κάματο» [116].

Μόλις στα μέσα του 19ου αιώνα ο Σοπενχάουερ παρατηρεί ότι η γλυπτική είναι πιο κατάλληλη για την έκφραση της ανθρώπινης ομορφιάς και χάρις, ενώ η ζωγραφική είναι κατάλληλη για τα γνωρίσματα του ανθρώπινου χαρακτήρα. [5]

Σήμερα, δεν μπορεί να πει κανείς ότι η γλυπτική ορίζεται μονοσήμαντα. Ένας προσδιορισμός της είναι: η αισθητική έκφραση στην οποία σκληρά ή πλάσιμα υλικά έχουν δουλευτεί με τέτοιο τρόπο ώστε να αποτελούν τρισδιάστατα αντικείμενα Τέχνης. Άλλος προσδιορισμός της είναι: η οργάνωση και η έκφραση μίας εμπειρίας σε μία μορφή. Μεγάλη ποικιλία υλικών μπορεί να οδηγήσει σε αυτό το αισθητικό αποτέλεσμα συμπεριλαμβανομένου του πηλού, του κεριού, της πέτρας, των μετάλλων, του γύψου, των πλαστικών αλλά και πολλών άλλων.

Πριν τον εικοστό αιώνα η γλυπτική θεωρείτο παραστατική Τέχνη. Όμως, επίδραση του μοντερνισμού και των πρωτοποριών του 20ου αιώνα, της άλλαξαν τον χαρακτήρα αυτό. Έτσι σήμερα μπορεί να θεωρηθεί μία καρέκλα, ένα κτήριο, ή μια γέφυρα ως γλυπτό, έργο Τέχνης. Εξάλλου πριν τον 20ο αιώνα ήτανε δεδομένη η αποτύπωση της μορφής του σχήματος το οποίο παραμένει ακίνητο. Σήμερα με την ανάπτυξη της κινητικής γλυπτικής δεν υπάρχει το οτιδήποτε σαν δεδομένο. Η γλυπτική του 20ου αιώνα απόκλινε από την παραδοσιακή διαδικασία του προπλάσματος και του εκμαγείου με τα συνήθη υλικά που χρησιμοποιούσαν οι γλύπτες και οδηγήθηκε στην ανεικονική παράσταση.



Εικόνα 2.2: Καλακαλλάς Γ., Σκέψη, 1966

Για τον λόγο αυτό σήμερα δεν υπάρχει κάποια συγκεκριμένη μεθοδολογία για το πώς εργάζεται ένας γλύπτης. Η εικαστική παρέμβαση είναι εντελώς ελεύθερη. Ο καθένας νομιμοποιείται να κάνει κάτι και να το ονομάσει «Έργο Τέχνης». Η υποκειμενικότητα του χαρακτηρισμού αυτού του «Έργου» καταλήγει να είναι κοινωνική σύμβαση, η οποία προσδιορίζει την αξία του «Έργου» με το αν αυτό εκτίθεται σε Μουσεία, Χώρους Τέχνης, Ιδιωτικές Συλλογές Έργων Τέχνης (και όσον αφορά στη γλυπτική Πλατείες, Δημόσιους Χώρους κ.ο.κ.).

Στην αναζήτηση του Ωραίου μέσα από την Μορφή ο Πλωτίνος αναφέρει:

«Ας πάρουμε για παράδειγμα δύο πέτρινους όγκους που βρίσκονται ο ένας πλάι στον άλλον: ο ένας είναι άμορφος, εντελώς ανέγγιχτος από την Τέχνη, ο άλλος έχει σφραγισθεί από την Τέχνη και έχει γίνει άγαλμα.

Το άγαλμα δεν είναι απεικόνισμα αλλά δημιουργία στην οποία η Τέχνη του γλύπτη έχει συγκεντρώσει όλη την ομορφιά» (Εικόνα 2.2) [100.1].

Είναι φανερό ότι η πέτρα, στην οποία η Τέχνη εισήγαγε την ομορφιά μιας μορφής, είναι ωραία όχι επειδή είναι πέτρα, αλλά χάρη στην Μορφή που η Ιδέα έβαλε μέσω της Τέχνης στο υλικό. Η μορφή αυτή δεν υπήρχε στο υλικό υπήρχε στην σκέψη του καλλιτέχνη προτού μπει μέσα στην πέτρα και υπήρχε στον δημιουργό όχι επειδή αυτός είχε μάτια ή χέρια αλλά επειδή μετείχε της Τέχνης.

2.3 Τα μηνύματα της γλυπτικής

Ένα γλυπτό είναι έργο τέχνης που φτιάχτηκε σε κάποια δεδομένη στιγμή και για κάποιο λόγο. Εμπεριέχει επομένως ταυτόχρονα και πληροφορίες που αφορούν την πολιτιστική ζωή του τόπου, την καλλιτεχνική δημιουργία, την τεχνολογία και πάνω απ' όλα την ιστορία. Ακόμα και αν η αισθητική-καλλιτεχνική αξία αρκετών γλυπτών αμφισβητείται, θα πρέπει να αναγνωρίσουμε το γεγονός ότι είναι προϊόντα ενός πολιτισμού που σε δεδομένη ιστορική στιγμή και κατόπιν συλλογικών διαδικασιών απέκτησαν δημόσιο χαρακτήρα αποτελώντας στοιχεία των υπαίθριων χώρων της πόλης και επομένως συνδέθηκαν άμεσα με την εικόνα της. Με άλλα λόγια και πέρα από οποιοδήποτε άλλο ενδιαφέρον αποτελούν τεκμήριο της ιστορίας της πόλης και ενέχουν μία καθαρά διδακτική λειτουργία.

Βέβαιο είναι ότι όλες οι μορφές της Τέχνης συνθέτουν μία μορφή γλώσσας και δημιουργούν κώδικες επικοινωνίας. Οι κώδικες αυτοί έχει αποδειχθεί ότι επηρεάζονται από κοινωνικές συμπεριφορές του μέρους στο οποίο αναπτύσσεται η καλλιτεχνική δημιουργία και αποτελούν κατά κύριο λόγο μαρτυρίες του συλλογικού υποσυνειδήτου της ιστορικής περιόδου στην οποία κατασκευάζεται το έργο.

Μετά την πτώση του πύργου της Βαβέλ ο άνθρωπος αντιμετώπισε την αδυναμία της επικοινωνίας με άλλους συνανθρώπους του. Όσο δε τα νοήματα εξελίσσονταν σε όλο και περισσότερο σύνθετες έννοιες σε διαφορετικούς πολιτισμικούς άξονες τόσο εντονότερη ήταν η αδυναμία αυτή. Η ακεραιότητα της «Γλώσσας της Τέχνης» κάλυψε το κενό αυτό και μετέφερε ακέραια τα μηνύματα δια μέσου των αιώνων. Είναι λοιπόν ιστορικό ντοκουμέντο η παρατήρηση του Παρθενώνα και του Ερμή του Πραξιτέλη. Με την αποκωδικοποίηση των έργων η ανθρωπότητα μπορεί να διαβάσει τον χαρακτήρα ενός πολιτισμού που έχει παρέλθει.

Αξιολογώντας την γλυπτική και την αρχιτεκτονική, σε σύγκριση με τις άλλες τέχνες μπορούμε να πούμε ότι είναι χαρακτηριστικές εκφράσεις που έχουν διάρκεια μέσα στην διάρκεια του χρόνου [120].

Περνώντας διαμέσου σκοτεινών χρόνων, όπως των πρώτων Μεταχριστιανικών αιώνων, η ιστορία έδειξε ότι όλες οι άλλες τέχνες πλην της αρχιτεκτονικής και της γλυπτικής έχουν πολύ μικρές αντοχές στον χρόνο. Η ποιητική και γενικότερα τα γραπτά κείμενα, φθείρονται εύκολα, ενώ όσα αντέχουν στην ιστορική διαδρομή, έρχονται πολλές φορές αποσπασματικά. Παράλληλα η εκφραστικότητα της μουσικής εξαφανίζεται σαν όνειρο.

Αλλά και τα ζωγραφικά έργα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα με το πέρασμα του χρόνου. Μεγάλοι ζωγράφοι δημιούργησαν εικόνες οι οποίες καταστράφηκαν σχεδόν εν τη γενέσει τους καλυπτόμενες από αδιάφορες και ασήμαντες παραστάσεις. Εξάλλου η ζωγραφική διηγείται στο επίπεδο και η αναπόφευκτη γήρανση των υλικών θα αλλοιώσει δραστικά το σύνολο της εικόνας. Αντίθετα η γήρανση των υλικών στο τρισδιάστατο έργο (αρχιτεκτόνημα, γλυπτό) μπορεί να αλλοιώσει τα υλικά του χωρίς όμως να επηρεάσει σημαντικά την μορφή του.

Σήμερα υπερεκτιμώντας τις δυνατότητες της εποχής μας, επεξεργαζόμαστε τεράστιο όγκο δεδομένων, που αποθηκεύουμε σε ψηφιακή μορφή μέσα σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές και σκληρούς δίσκους. Συγγράφεται μεγάλο έργο από λεξιλάγνα κείμενα καθότι εύκολα πλέον γράφει κανείς ένα βιβλίο, χωρίς όμως να υπάρχει στοιχειώδης αξιολόγησή του. Κυκλοφορεί ένας τεράστιος απροσδιόριστος αριθμός, επιστημονικών και μη, κειμένων στο διαδίκτυο. Σχεδιάζονται ακόμα και ακλόνητα καταφύγια σε εγκαταλειμμένα λατομεία για να αποθηκευτούν ασφαλώς ιστορικά αρχεία. Όμως ποια είναι η τεχνογνωσία που θα μας επιτρέψει σε 10-20 χρόνια να διαβάσουμε τα ηλεκτρονικά αρχεία των σκληρών δίσκων που έχουμε σήμερα, αφού σήμερα δεν μπορούμε να διαβάσουμε τα ηλεκτρονικά αρχεία που έχουν δημιουργηθεί πριν 20 χρόνια; Πόσες φορές δεν έχουμε δει στην διάρκεια των

αιώνων βιβλία να καίγονται; Πώς θα βλέπουμε τα κινηματογραφικά ιστορικά ντοκουμέντα, αφού σήμερα, είναι ιδιαίτερα δύσκολο να βρεθεί μηχανή προβολής ταινιών του 1950; Και τι μας κάνει τελικά να πιστεύουμε ότι αυτοί που θα διαβάσουν τα αρχεία που θα βρουν θα χρησιμοποιούν μία από τις γλώσσες που μιλάμε σήμερα;

Η έκφραση λοιπόν μέσω της γλυπτικής και της αρχιτεκτονικής είναι ακέραιη και δεν περιορίζεται μονοσήμαντα στην γλώσσα που μιλάει ο παρατηρητής. Η έκφραση μέσω της αρχιτεκτονικής και της γλυπτικής είναι αναλλοίωτη στην διάρκεια του χρόνου. Είναι αυτά τα στοιχεία που κάνουν τις Τέχνες να παραμένουν ως αποδεικτικά στοιχεία της ιστορίας ενός τόπου. Εξάλλου, τα γλυπτά μπορούν να μας οδηγήσουν σε αυτοδύναμα συμπεράσματα για την πολιτισμική θέση της κάθε εποχής. Η τεχνογνωσία, τα εργαλεία, τα μεγέθη, η αισθητική, που χαρακτηρίζουν την μορφή ενός γλυπτού έργου αποτελούν δείκτες της κοινωνικής ευμάρειας και του κοινωνικού ιστού. Το στοιχείο αυτό της γλυπτικής την οριοθετεί σαν μία λαλίστατη διαδικασία η οποία χαρακτηρίζει την πολιτισμική φάση της κάθε εποχής, αφού συνδιαλέγεται με την Τέχνη, την επιστήμη, την φύση και τα υλικά με έναν μοναδικά εκφραστικό τρόπο.

Έτσι λοιπόν η γλυπτική και η αρχιτεκτονική περιέχουν «φέρουσα ιστορική ικανότητα διήγησης» . Περισσότερο συγκεκριμένα τα διηγήματά τους αναφέρονται:

- Στο συλλογικό πνεύμα που εκφράζει κυρίως η γλυπτική
- Στην ιστορία της κοινωνικής δομής και της ποιότητας ζωής, που εκφράζει κυρίως η αρχιτεκτονική (κτήρια, υδραυλικά έργα, δημόσιοι χώροι κ.λ.π.)

Αξίζει να σημειωθεί ότι σημαντική παράμετρο της «φέρουσας ιστορικής ικανότητας διήγησης» των έργων είναι η αντοχή των υλικών τους στην γήρανση καθώς επίσης και η δυνατότητα της ανακύκλωσης των υλικών από τα οποία αποτελείται ένα έργο. Γλυπτά από υλικά που ανακυκλώνονται όπως ο χαλκός², εξαφανίστηκαν μέσα στην διαδρομή της ιστορίας. Αντίθετα πολλά μαρμάρινα έργα έχουν παραμείνει να διηγούνται ιστορικές μνήμες.

² Γενικά, στο κείμενο ως χαλκός εννοείται το κράμα του χαλκού με κασσίτερο-κρατέρωμα- γνωστό και ως μπρούτζος

3 Υλικά - δημιουργία

3.1 Προς μία «ποιητική» των υλικών

«Το προβάλλον λέγειν είναι ποίηση: λέει τον κόσμο και τη γη, λέει το χώρο διεξαγωγής της διαμάχης τους, μαζί και τον τόπο της εγγύτητας και της απόστασης των θεών» [127].

Μ. Χάϊντέγκερ

«Η ποίηση είναι απαραίτητη, μόνο ας ήξερα γιατί» αναφωνεί ο Κοκτώ [102]. Τα ποιήματα δεν είναι πιο απαραίτητα από τα τεχνικά βιβλία. Όμως θα προτιμούσα να ζω χωρίς αεροπλάνα παρά χωρίς τριαντάφυλλα.

Αναζητώντας την τέχνη και την μορφοποίηση των υλικών μέσα από την γλυπτική μπορούμε να σχολιάσουμε την διαδικασία παραγωγής και χρήσης τους, τον χρόνο ζωής τους, και πάρα πολλά άλλα θέματα. Όμως προκύπτει το εξής ερώτημα. Πού μπορεί να βρίσκεται η ποιητική των υλικών που την αποτελούν;

Ποίηση, γενικά είναι η παραγωγή έργου και μάλιστα η παραγωγή έργου με την πλήρη εκμετάλλευση των δυνατοτήτων της ύλης που χρησιμοποιείται για την πραγμάτωσή του. Στην ευρύτετη αυτή σημασία του, ο όρος χρησιμοποιείται κυρίως μεταφορικά για το χαρακτηρισμό κάθε έργου το οποίο εξ αιτίας της τέλει κατασκευής του υπερβαίνει το χρηστικό σκοπό του και αποκτά, ως «ποίημα» στο είδος του, αξία επιτεύγματος καθαυτό.

Σύμφωνα με το λεξικό του Τριανταφυλλίδη [123] «ποίημα είναι ένα λογοτεχνικό έργο διατυπωμένο σε στίχους» αλλά και «κάθε τι ωραίο από αισθητική άποψη». Μπορούμε να πούμε ότι σκοπός και στόχος του ποιήματος είναι η νοηματική αποκρυστάλλωση της βαθύτερης έννοιας (ή της ουσίας της έννοιας) που ο ποιητής πραγματεύεται διατηρώντας αισθητική αρτιότητα στο λόγο του (ή γενικότερα το έργο του). Εξάλλου κατά τον Αριστοτέλη η ποίηση εικάζει αυτό που θα μπορούσε ή θα έπρεπε να είχε συμβεί (το καθόλου) ενώ η ιστορία ενδιαφέρεται για το ό,τι συνέβη ή συμβαίνει (για το επιμέρους).

Ο Χάϊντέγκερ αναφέρει ότι: «Η τέχνη ως εν-έργω-καθίδρυση [=ενεργοποίηση και σταθεροποίηση] της αλήθειας είναι ποίηση. Όχι μόνο η δημιουργία του έργου τέχνης είναι κάτι ποιητικό· εξίσου ποιητική, αλλά και κατά τον δικό της τρόπο, είναι και η αλήθευση του έργου τέχνης... Προέλευση ενός πράγματος είναι εκείνο απ' όπου προέρχεται η ουσία του. Το ερώτημα που αναζητά την καταγωγή του έργου τέχνης ζητά την καταγωγή της ουσίας του» [127].

Αλλά πώς διερευνάται η καταγωγή της ουσίας του; Κατά την εγκυκλοπαίδεια Δρανδάκη «ουσία είναι η ύπαρξη κατ' αντίθεσιν με την γέννηση, το σταθερό των όντων κατ' αντίθεσιν προς τις μεταβαλλόμενες καταστάσεις και ιδιότητες» ενώ σύμφωνα με την εγκυκλοπαίδεια του Πάπυρου «ουσία είναι το σταθερό που ενυπάρχει στα πράγματα, αυτό που αποτελεί την ταυτότητα ενός αντικειμένου προς εαυτό, παρά την πολλαπλότητα των μορφών του στο χρόνο και τις αλλαγές που επέρχονται σε αυτό» [123].

Κατά την Πλατωνική φιλοσοφία και τον Αριστοτέλη, ουσία είναι η αληθινή φύση κάποιου πράγματος, ο αληθινός ορισμός του, είναι ακόμη και η πραγματικότητα, το όντως είναι, σε αντίθεση με το μη-είναι. Ο όρος χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά με φιλοσοφική σημασία από τον Πλάτωνα. Στην καθημερινή κοινή του χρήση σήμαινε τα υπάρχοντα, την περιουσία την οποία κατέχει κάποιος και η ουσία του διασφαλίζει την συντήρηση του. Κατ' αναλογία εισήγαγε ο Πλάτων τον όρο στο φιλοσοφικό στοχασμό για να δηλώσει ότι υπάρχει ένα σταθερό και αναλλοίωτο θεμέλιο της πραγματικότητας, κάτι που συντηρεί τα όντα και τους δίνει ύπαρξη. Ουσία λοιπόν σημαίνει την αληθινή φύση των πραγμάτων σε αντίθεση με τη φαινομενικότητά τους, το «όντως όν» σε αντίθεση με το «μη όν». Εδώ βέβαια όπως έχει αναφερθεί το μη όν που αναφέρει ο Πλάτων δε είναι το αντίθετο του όντος αλλά η θετική έννοια της διαφοράς γιατί διαφορετικά θα σήμαινε ότι τα είδωλα των ιδεών, των αρχών των όντων θα ήταν πραγματικά και θα αποκτούσαν σχετική ύπαρξη, πράγμα ασυμβίβαστο με την ίδια την φύση της απολυτότητας που διέπει τις ιδέες ως αρχές των όντων.

Κατά το Δημόκριτο τα άτομα είναι μικρές ουσίες που ο Αριστοτέλης ονόμαζε φυσικές ουσίες.

Στο νεώτερα φιλοσοφικά συστήματα η ουσία (substantia) είναι κυρίως ο σταθερός φορέας των εναλλασσόμενων ιδιοτήτων των όντων με διάφορες παραλλαγές στις λεπτομέρειες.

Στον Καρτέσιο υπάρχουν δύο είδη ουσίας, αφενός η απόλυτος και αυτοτελής ουσία δηλαδή ο Θεός και αφετέρου η παραγωγός ουσία η οποία διαιρείται στην ουσία την κατέχουσα χώρο και στην νοούσα ουσία (δυϊσμός).

Κατά το Σπινόζα μία μόνο άπειρη ουσία υπάρχει, την οποία μπορεί κανείς να ονομάσει Θεό ή Φύση.

Κατά τον Κάντ ουσία είναι απλώς η έννοια, προϊόν της διάνοιας του ανθρώπου, η οποία είναι απαραίτητη για να κατανοήσει ο άνθρωπος τα όντα και δια της οποίας προσπαθεί αυτός να εκφράσει κάθε τι που βρίσκεται στο βάθος των φαινομένων και έχει σταθερή και πραγματική υπόσταση.

Οι Αποκρυφιστές ονομάζουν ουσία την αρχική ύλη που βρίσκεται στη βάση κάθε υλικής εκδήλωσης ή υλικού όντος [123]. Παραμένει μία, απαλλαγμένη της πολλαπλότητας των φαινομένων του υλικού κόσμου. Η ουσία είναι η ρίζα της υλικής φύσης και ταυτίζεται με το «Μούλο Πρόκριτι» δηλαδή την Παρθένα ύλη της Ινδικής απόκρυφης κοσμοθεωρίας και την πρώτη ύλη των Ερμητιστών των Μέσων χρόνων. Η ουσία είναι διαχυμένη στο Σύμπαν αλλά είναι ασύλληπτη στις ανθρώπινες αισθήσεις.

Τι σχέση μπορεί να έχει η προσπάθεια ερμηνείας των εννοιών αυτών; Και πώς συνδέεται το πλέξιμό τους; Αυτό οφείλεται στην προσπάθεια αντίληψης της φράσης του Χάιντεγγερ: «Η ουσία της τέχνης είναι η ποίηση. Αλλά η ουσία της ποίησης είναι η εγκαθίδρυση της αλήθειας» [127].

Αλλά ο φορέας της γλυπτικής είναι τα υλικά της αφού αυτά δίνουν την κατ' εξοχήν μορφή στο αντικείμενο. Άρα ο φορέας των εννοιών που περιγράφει ο Χάιντεγγερ, της ουσίας, της ποίησης και της αλήθειας, όσον αφορά την γλυπτική είναι τα υλικά της.

Έτσι αποκτά νόημα η ευχή: «αχ και να 'τανε οι όγκοι ποίημα...»

3.2 Η «διαλεκτική» των υλικών

3.2.1 Γενικά

Για να εντοπίσουμε την διαλεκτική των υλικών είναι προφανές ότι δεν είναι δυνατό να ελέγξουμε με δοκιμές ή με μετρήσεις τα υλικά που θέλουμε να εξετάσουμε. Απαραίτητο είναι να εντοπιστούν οι ικανότητες εκείνες που όταν τις αμβλύνουμε, εντοπίζουμε την διαλεκτική των υλικών μας. Για να εντοπίσουμε λοιπόν την διαλεκτική των υλικών ασκούμε

- το Ένστικτο
- την Αντίληψη
- την Έμπνευση

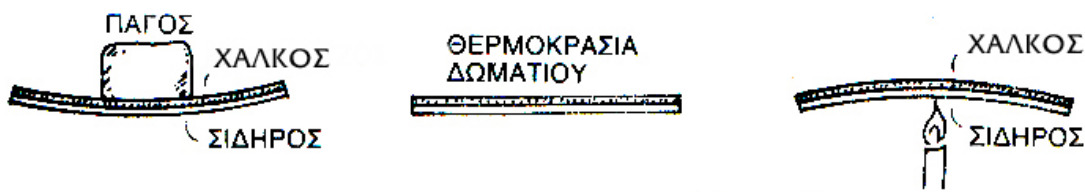
Η ίδια η Δημιουργία έχει συνθέσει την Ύλη πριν από δισεκατομμύρια χρόνια. Η Ύλη μορφοποιείται σε υλικά ή και ζωή, η ζωή σε υλικά, τα υλικά σε αντικείμενα, τα αντικείμενα σε απόβλητα. Σίγουρο είναι ότι δεν υπάρχει καμία συγκεκριμένη παράμετρος που να καθορίζει την επικοινωνιακή ικανότητα των υλικών αλλά αυτό που μας υπαγορεύει το ένστικτο είναι ότι ένα υλικό έχει ζωή που εντοπίζεται στην ουσία του, έχει πορεία στο χρόνο και επικοινωνεί με το περιβάλλον του. Για τον λόγο αυτό έχει διαπιστωθεί ότι πολλά υλικά έχουν ποιότητα χωρίς περαιτέρω επεξεργασία.

Το κάθε υλικό που περιέχει την διαδρομή της μνήμης της δημιουργίας του, αποκτά συνείδηση της ποιότητας και της ουσίας του. Αρχίζει λοιπόν να επικοινωνεί με έναν δικό του προσωπικό τρόπο. Αντίστοιχη ήταν και η αντίληψη των αλχημιστών για την ύλη. Οι αλχημιστές προσωποποιούσαν την ύλη και τα υλικά.

Παρατηρώντας την διαδρομή της δημιουργίας όταν επιλέγουμε να μιλήσουμε με κάποιο από τα νεότερα υλικά όπως τα πλαστικά, αντιλαμβανόμαστε την ομιλία αυτή σαν ομιλία μικρού παιδιού και όχι σαν ομιλία μεγάλου ανθρώπου. Η χρήση του πλαστικού είναι δυνατόν να δώσει ώθηση και νεανικότητα σε ένα πρωτοποριακό μήνυμα. Επίσης έχει παρατηρηθεί ότι και γλυπτά από πλαστικά μπορούν να αποκτήσουν μνημειακό χαρακτήρα αντίστοιχων γλυπτών από χαλκό ή μάρμαρο (Εικόνα 4.4) [21.1].

Βέβαιο είναι ότι κάποια πράγματα είναι αδιάφορα μέχρι να τ' αγαπήσουμε. Μετά παύουν να είναι ίδια. Βέβαιο είναι επίσης ότι δεν αισθανόμαστε μόνο τα υλικά της γλυπτικής αλλά όλα τα υλικά που έχουν συμβάλει ή θα συμβάλουν στην δημιουργία χαρακτηριστικών αντικειμένων που εμπεριέχουν μνήμες.

Η σχέση του ανθρώπου με τα υλικά, πολλές φορές αποκτά την ένταση του διαλόγου. Οι χαλκείς που έχουν αντιληφθεί τις ιδιότητες των μετάλλων χωρίς να μπορούν να τις αποκωδικοποιήσουν πολλές φορές προσωποποιούν τα υλικά. Σύμφωνα με έναν χαλκουργό «ο χαλκός είναι ζωντανό υλικό· περπατάει, ενώ αντίθετα το σίδηρο είναι ψόφιο». Αυτό γιατί ο χαλκός όταν θερμαίνεται παρουσιάζει έντονες θερμικές διαστολές (περπατώντας) σε αντίθεση με το σίδηρο που θερμαίνεται και παρουσιάζει πολύ μικρές θερμικές μετακινήσεις (Εικόνα 3.1).



Εικόνα 3.1: Διμεταλλική ταινία

Ο χαλκός διαστέλλεται (ή συστέλλεται) περισσότερο από το σίδηρο όταν ζεσταθεί (ή όταν κρυώσει). Έτσι η ταινία κάμπτεται όπως φαίνεται στο σχήμα.[29]

Άλλος χαλκέας όταν θέλησε να πει ότι σε έναν πρόβολο μετά την άσκηση δύναμης στο άκρο, ασκείται ροπή στην πάκτωση λέει: «ακούει εκεί» δείχνοντας την πάκτωση. Για τον χαλκέα η δύναμη είναι η φωνή και το υλικό την αντιλαμβάνεται.

Πολλά είναι τα υλικά ή τα αντικείμενα που μπορούμε να προσωποποιήσουμε. Όμως, οι «μάχες» που δίνουν με τα υλικά οι χαλκείς, χωρίς ίσως την επιστημονική εμβάθυνση, τους φέρνουν περισσότερο κοντά στην προσωποποίησή τους.

Στην γλυπτική, η μόρφωση του υλικού είναι τέτοια, έτσι ώστε να απαιτείται από αυτό όλη η επικοινωνιακή του ικανότητα. Το υλικό στην γλυπτική μορφώνεται με σκοπό την επικοινωνία του με τον γλύπτη, αλλά και με τους ανθρώπους που θα το παρατηρήσουν. Η διαδρομή του γλυπτού, από την στιγμή της γέννησής του και μετά, είναι μια πορεία μέσα στον χρόνο που έχει σκοπό και στόχο μόνον αυτό.

3.2.2 Όραση και αφή

Στην γλυπτική, την διαλεκτική των υλικών, την αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής αλλά και ο γλύπτης με την αίσθηση της όρασης, την οποία χρησιμοποιεί και με την έννοια της αφής. *Η αφή για τον άνθρωπο που γεννήθηκε γλύπτης έχει μεγαλύτερη σπουδαιότητα από την όραση ή μάλλον οι δύο αισθήσεις συγκλίνουν και σμίγουν σε μία και μόνη, για να διδάξουν στον καλλιτέχνη την μορφή του κόσμου.* Η συνισταμένη αυτή αίσθηση είναι η ικανότητα του καλλιτέχνη και του παρατηρητή να χαϊδεύει με το βλέμμα του, το αντικείμενο που παρατηρεί. Εξάλλου όπως έχει παρατηρηθεί κυρίαρχη ανάγκη του

παρατηρητή ενός ωραίου γλυπτού, είναι να το ακουμπήσει με το χέρι του, να «νιώσει» το αντικείμενο.

Η αφή είναι μία από τις αισθήσεις που επηρεάζει σημαντικά τον ψυχισμό του ανθρώπου. Η χειραψία σ' έναν χαιρετισμό δεν καθιερώθηκε τυχαία. Η επαφή των χεριών πέρα από την αίσθηση της ζεστασιάς δίνει και την αίσθηση της οικειότητας (Εικόνα 3.2). Κατά την Ελληνική Μυθολογία ο Ανταίος έπαιρνε την δύναμή του κατά την επαφή του μόνο με την γη [123].

Τα υλικά επηρεάζουν τόσο πολύ τον ψυχισμό των ανθρώπων που σε πολλές περιπτώσεις ειδικοί μελετητές χρησιμοποιούν υλικά «θερμά» ή «ψυχρά», προκειμένου να πετύχουν την αντίδραση που επιθυμούν. Σε πείραμα που έχει γίνει όταν επελέγησαν τρία διαφορετικά υλικά για τους πάγκους της υποδοχής ξενοδοχείων παρατηρήθηκε ότι σε αυτούς που ήταν από ξύλο επέλεξαν οι περισσότεροι να ακουμπήσουν για να υπογράψουν. Σε αυτούς που ήταν από μάρμαρο λιγότεροι και σε αυτούς που ήταν από χάλυβα ακόμα πιο λίγοι. Αυτό δείχνει ότι προτιμάται η επαφή με το θερμότερο υλικό, που στην προκειμένη περίπτωση αποδείχτηκε το ξύλο. Με βάση τέτοιου είδους πειράματα φάνηκε η γενικότερη σχέση της επαφής του ανθρώπου από τα υλικά που τον περιβάλλουν.

Τα υλικά στην γλυπτική έχουν δύο ακροατήρια. Αυτό γιατί διαφορετική είναι η διαλεκτική των υλικών με τον άνθρωπο που τα κατεργάζεται (γλύπτη) και διαφορετική είναι η διαλεκτική των υλικών από αυτούς που τα παρατηρούν. Γενικά, μπορεί να διατυπωθεί η παρατήρηση ότι ο γλύπτης εργάζεται (γενικά) σε «θερμά» υλικά (πηλός, ξύλο, γύψος) για να δημιουργήσει το πρόπλασμα. Όμως το τελικό αποτέλεσμα επιλέγεται να παρουσιαστεί σε ψυχρά υλικά όπως το μάρμαρο ή ο χαλκός. Η έκφραση αυτή μπορεί βεβαίως να είναι αποτέλεσμα της επιλογής της αντοχής των υλικών στον χρόνο παρ' όλα αυτά έργα που έχουν δημιουργηθεί από θερμά υλικά όπως το κεραμικό υποβαθμίζονται σε σχέση με έργα από χαλκό ή μάρμαρο.

Σαν εικασία λοιπόν μπορούμε να πούμε ότι η προτίμηση της χρήσης των ψυχρών υλικών στην γλυπτική μπορεί να προήλθε από την ανάγκη της επιβολής της απόστασης. Να γίνει δηλαδή κατανοητό στον παρατηρητή ότι το έργο πρέπει να παρατηρηθεί από απόσταση έτσι ώστε αυτός να το αναγνώσει στο σύνολό του, να χρησιμοποιήσει την «οπτική αφή» για να μπορέσει να αναπτύξει την κατάλληλη διαλεκτική με το υλικό και τα μηνύματα που αυτό μεταφέρει.



Εικόνα 3.2: Σαργέντης Γ. - Φ.,
Χάδι, 2000

3.2.3 Η υφή του υλικού

Στην διαλεκτική που αναπτύσσεται ανάμεσα στα υλικά και τον άνθρωπο σημαντικό σκέλος αποτελεί η υφή του υλικού.



Εικόνα 3.3: «Κένταυρος» και «σκύλος»

Έργα των Γ. Καλακαλλά και Α. Giacometti. Και στα δύο έργα αξιοποιείται ιδιαίτερα φυσιογνωμία που αποδίδεται σε ένα γλυπτό λόγω της υφής με την οποία είναι δυνατό να διαμορφωθεί ένα υλικό.

Η υφή ενός έργου έχει άμεση σχέση με την οπτική παρατήρηση του έργου από τον ακροατή. Όταν ένας γλύπτης «μιλάει» με την κατασκευή ενός γλυπτού απαιτείται να επεξεργαστεί την υφή του λόγου του. Η υφή του υλικού θα διαμορφώσει και την τελική υφή του λόγου του γλυπτού (Εικόνα 3.3).

Το κάθε υλικό «προτείνει» εναλλακτικές λύσεις για την υφή της τελικής επιφάνειας του έργου. Διαφορετικές δυνατότητες υφής είναι αυτές που μπορεί να δώσει ένας γλύπτης σε μαρμάρινο έργο και διαφορετικές δυνατότητες υφής σε ένα χάλκινο έργο.

3.2.4 Η «διαφωνία» των υλικών

«Ο γλύπτης μαθαίνει να αγαπά την ακατέργαστη πέτρα όπως πρέπει να αγαπάς κάθε τι που καλείσαι να παλέψεις μαζί του» [116].

Μ. Μπριόν

Εκτός από την επιρροή του υλικού στην ψυχοσύνθεση του παρατηρητή, το υλικό υπαγορεύει και οδηγίες στον δημιουργό ενώ παράλληλα του περιορίζει τις δημιουργικές δράσεις του.

Για παράδειγμα όταν ένα γλυπτό σχεδιάζεται να κατασκευαστεί σε χαλκό, το έργο αυτό μπορεί να είναι περισσότερο ελεύθερο σχεδιαστικά από ένα γλυπτό σε μάρμαρο. Εξάλλου η κατασκευή ενός γλυπτού από ξύλο (αν το ξύλο είναι κλαδί ή κορμός δέντρου) πολλές φορές μπορεί να υπαγορεύσει ακόμα και την μορφή του τελικού έργου.

Ο Henri Moore σχολιάζει σχετικά: «Είμαι από την φύση μου ένας γλύπτης που σμιλεύει την πέτρα, δεν κάνει προπλάσματα. Μου αρέσει να σκαλίζω και να κόβω παρά να χτίζω. Μου αρέσει η αντίσταση του σκληρού υλικού».

Είναι βέβαιο ότι τα υλικά εμπνέουν αλλά και προβληματίζουν με τις διαφωνίες τους. Όλα τα υλικά, ακόμα και τα περισσότερο εύπλαστα όπως ο πηλός, δεν συμμορφώνονται αδιαμαρτύρητα στις κατασκευαστικές επιδιώξεις του καλλιτέχνη.

Για τον λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί πολλές και διαφορετικές τεχνικές που διευκολύνουν την δημιουργία ενός αντικειμένου που έχει συλλάβει ένας γλύπτης.

4 Τεχνικές

4.1 Γενικά

Ανάλογα με την τεχνική, την μεθοδολογία και τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ενός έργου, καθοδηγείται η μορφή, το μέγεθος και ο βαθμός της σχεδιαστικής ελευθερίας του σχήματος του αντικειμένου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τεχνικές που εφαρμόστηκαν για την κατασκευή των γλυπτών, πολλές φορές, εφαρμόστηκαν πρωτοποριακά χωρίς να έχουν κατανοηθεί πλήρως από τον άνθρωπο και χωρίς να έχουν εφαρμοστεί σε άλλη κατασκευαστική του διαδικασία. Αυτό γιατί κατά την αρχαιότητα η γλυπτική και γενικά η Τέχνη ήταν απαραίτητη στην διάπλαση της κοινωνικής αντίληψης.

Η γλυπτική στην οποία εμφανίζεται το αντικείμενο σε λιγότερο από το μισό του όγκο λέγεται χαμηλού ανάγλυφου. Η γλυπτική στην οποία εμφανίζεται το αντικείμενο περισσότερο από το μισό του όγκο λέγεται υψηλού ανάγλυφου, ενώ όταν το αντικείμενο είναι πλήρως αποκομμένο από το φόντο λέγεται ολόγλυφο [68].

Δύο είναι οι κυρίως τρόποι κατασκευής γλυπτών. Η αφαιρετική μέθοδος και η μέθοδος χύτευσης. Σε αυτές προστίθεται και η σφυρηλάτηση, η κεραμική και η «κατασκευή». Η κατασκευή είναι έργα πολύ μεγάλης κλίμακας που απαιτούν ειδική σύνθεση, αναλυτικό σχεδιασμό, στατική μελέτη.

4.2 Αφαιρετική μέθοδος

Τα αρχαιότερα προϊστορικά γλυπτά δεν ήτανε τίποτα περισσότερο από φιγούρες χαραγμένες σε μία επιφάνεια πηλού ή πέτρας. Στην διάρκεια του χρόνου οι προϊστορικοί γλύπτες ανακάλυψαν ότι, σκαλίζοντας το φόντο, περικλείανε το σχήμα του αντικειμένου που θέλανε να παραστήσουν και το αντικείμενο φαινότανε περισσότερο αληθινό (Εικόνα 4.1). Αυτή ήτανε και η αρχή του ανάγλυφου που αργότερα οδήγησε στην γλυπτική.

Στην αφαιρετική μέθοδο αφαιρούνται τα «περιττά» μέρη από έναν όγκο υλικού. Συνήθη υλικά που κατασκευάζονται γλυπτά με την διαδικασία αυτή είναι διάφορα πετρώματα, ξύλο, ελεφαντοστό κ.α.

Η απ' ευθείας λάξευση, παλαιά όσο και ο άνθρωπος, εφαρμόστηκε από πρωτοπόρους της τέχνης του πρώιμου εικοστού αιώνα, όπως ο Modigliani, ο Caudier-Brzeska, ο Brancusi, ο Eric Grill, ο Epstein και



Εικόνα 4.1: Αφαιρετική μέθοδος

Η Αφροδίτη του Willendorf (ασβεστόλιθος), 22-24.000 π.Χ.

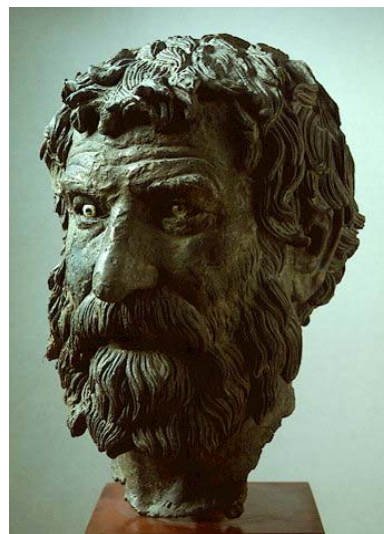
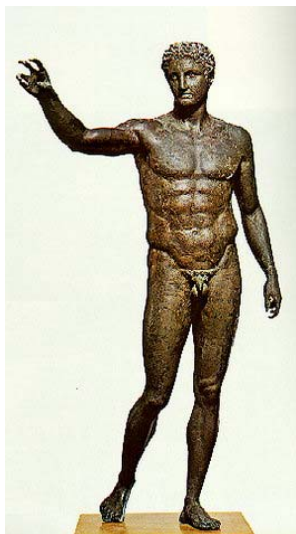
αργότερα ο Ηenri Moore στην προσπάθειά τους να αποκαταστήσουν την χαμένη εσωτερική σχέση μεταξύ της μορφής και του υλικού.

4.3 Χύτευση

Χύτευση είναι η διαδικασία κατά την οποία ένα γλυπτό παράγεται με την χύτευση ενός υλικό (συνήθως μετάλλου) μέσα σε κατάλληλο εκμαγείο.

Στην αρχαιότητα χυτεύονταν μέταλλα, κυρίως χαλκός, (Εικόνα 4.2) ενώ σήμερα χυτεύονται και άλλα υλικά όπως τσιμέντο, γύψος, πολυεστέρας [97].

Η χύτευση είναι μία σύνθετη διαδικασία η οποία απαιτεί προτυποποίηση, τεχνογνωσία και κατάλληλο εξοπλισμό. Η χύτευση εμφανίζεται αργότερα από την αφαιρετική μέθοδο.



Εικόνα 4.2: Χύτευση

Ο έφηβος των Αντικυθήρων, 340 π.Χ.

Ο φιλόσοφος των Αντικυθήρων, 250-200 π.Χ.

4.4 Σφυρηλάτηση

Η σφυρηλάτηση των μετάλλων εμφανίζεται από τους αρχαίους χρόνους. Για να σφυρηλατηθεί ένα έργο πιέζεται μέταλλο ελασματικής μορφής με σφύρες και αιχμηρά εργαλεία από την εσωτερική όψη του και αυτό δημιουργεί διόγκωση στην εξωτερική του όψη. Με αυτόν το τρόπο δημιουργούνται έργα χαμηλού ανάγλυφου. Για να επιτευχθεί η σχεδιαστική ακρίβεια των έργων χρησιμοποιείται ένα εκμαγείο από σταθερό υλικό (συνήθως ξύλο). Με τη σφυρηλάτηση του μετάλλου επάνω στο αρνητικό κατασκευάζεται ένα τρισδιάστατο έλασμα γλυπτικής μορφής. Ευρεία χρήση της τεχνικής αυτής παρατηρείται πάνω σε κοσμήματα, διακοσμήσεις όπλων ασπίδων κ.α. (Εικόνα 4.3)

Η σφυρηλάτηση μπορεί να εφαρμοστεί και αντίστροφα. Πάνω σε γλυπτό από σταθερό υλικό (ξύλο) μπορεί να σφυρηλατηθεί το μέταλλο και να πάρει την μορφή του γλυπτού. Έτσι εκτιμάται ότι ήταν κατασκευασμένο το χρυσελεφάντινο άγαλμα της Αθηνάς στην αρχαία Ελλάδα. Με την ίδια κατασκευαστική αντίληψη κατασκευάστηκε και το άγαλμα της Ελευθερίας που βρίσκεται στην Νέα Υόρκη.



Εικόνα 4.3: Σφυρηλάτηση

4.5 Κεραμική

Χάλκινος θώρακας Κρητικού εργαστηρίου, 670-660 π.Χ

Για να κατασκευαστεί το κεραμικό, δίδεται το κατάλληλο σχήμα στο πρόπλασμα του πηλού και μετά, αφού ο πηλός στερεοποιηθεί, το έργο υφίσταται όπτηση σε πολύ υψηλή θερμοκρασία. Με την διαδικασία αυτή δημιουργούνται τα κεραμικά.

Μολονότι, από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα, έχουν δημιουργηθεί εξαιρετικά γλυπτά, κυρίως μικρού μεγέθους, η κεραμική δεν θεωρείται μέθοδος της γλυπτικής [71, 72]. Αυτό γιατί το κεραμικό αν και δίνει σταθερό αντικείμενο στο χρόνο, είναι ψαθυρό και θραύεται εύκολα. Παράλληλα, με την κεραμική κατασκευάζονται μικρά αντικείμενα που είναι συνυφασμένα με την διακοσμητική. Για τον λόγο αυτό η κεραμική, θεωρείται το βήμα κατά το οποίο ο άνθρωπος ανακαλύπτει τις υψηλές θερμοκρασίες 1000-1100°C που θα τις χρησιμοποιήσει αργότερα για την χύτευση γλυπτών σε μέταλλο. Η χρήση του πηλού όμως είναι πάντα σημείο αναφοράς αφού ήτανε και είναι από τα περισσότερο συνηθισμένα υλικά στην γλυπτική δημιουργία.

4.6 Σύνθεση-κατασκευή μεγάλων έργων

Για την κατασκευή ενός μεγάλου έργου, η κατασκευαστική λύση διαφέρει από έργο σε έργο λόγω στατικών προβλημάτων που προκύπτουν από το μεγάλο ίδιο βάρος. Κατά την διαδικασία αυτή προκύπτουν προβλήματα επιλογής των υλικών από τα οποία θα μορφοποιηθεί το έργο καθώς επίσης και προβλήματα του στατικού φορέα του έργου (όπως: υποστηρικτικός σκελετός). Η σύνθεση κάθε τέτοιου έργου ποικίλει ανάλογα με την μορφή, την στατική επίλυση κ.λ.π. Στα μεγάλα έργα είναι ιδιαίτερα σημαντική η συμβολή της γνώσης και της επιστήμης διότι αν δεν σταθεί το έργο ακυρώνεται η ίδια η Τέχνη. Παράλληλα στα μεγάλα έργα επιβάλλεται η οικονομική υποστήριξη του εγχειρήματος.

Ιδιαίτερες δυσκολίες παρουσιάζονται στο σχεδιασμό ενός τέτοιου έργου αφού είναι δυσχερής η σχεδιαστική μεταφορά ενός μικρού προπλάσματος στη τελική μορφή του έργου. Για τον λόγο αυτό τέτοιου τύπου έργα πολλές φορές στερούνται κανονικών αναλογιών και επιτυχούς σχεδιασμού. Φαίνεται δηλαδή ότι επικρατεί η παρατήρηση του γλύπτη Λάζαρου Σώχου: «Εις την γλυπτικήν, όσον

μεγαλώνει το έργο τον τόσον μεγαλώνουν τα ελαττώματά του, ενώ τα προτερήματά μένουν τα αυτά»[110].

Μεγάλου τύπου κατασκευές εμφανίζονται κατ' αρχήν στην Αίγυπτο (Σφίγγα κ.α.) στην Αρχαία Ελλάδα (Κολοσσός της Ρόδου) ενώ αρκετά αργότερα εμφανίζονται στην Αμερική (Το άγαλμα της Ελευθερίας) στην Ρωσία και αλλού. Στην Ελλάδα υπάρχουν σήμερα αρκετά παραδείγματα μεγάλων έργων που δημιουργήθηκαν κυρίως τον 20ο αιώνα ενώ φαίνεται ότι το πρώτο έργο μεγάλης κλίμακας του σύγχρονου Ελληνικού χώρου είναι ο Αχιλλέας (χαλκός) ύψους 11μ. στο Αχιλλείο της Κέρκυρας.

Η κατασκευή μεγάλων γλυπτών αναφέρεται κυρίως σε μνημεία. Το μνημείο είναι μία κατασκευή η οποία δημιουργείται για αναμνηστικούς ή συμβολικούς λόγους περισσότερο παρά για οποιαδήποτε λειτουργική χρήση. Τα μνημεία κατασκευάζονται για να τιμήσουν ένα πρόσωπο ή να θυμίσουν ένα γεγονός ενώ παράλληλα είναι καλλιτεχνικά αντικείμενα τα οποία διαμορφώνουν και καλλωπίζουν τον τόπο που τα φιλοξενεί [35.1].

Η σχέση του μνημείου με τον χώρο είναι ιδιαίτερα σημαντική. Πολλά μνημεία προτάσσουν -με την ευρεία έννοια με την οποία η Τέχνη εκπαιδεύει τον άνθρωπο- πολύ σημαντικές πολιτισμικές απόψεις. Πολλές φορές εξάλλου η σχέση του μνημείου με τον χώρο διαμορφώνει και την ιστορία ενός τόπου. Στην σύγχρονη κοινωνία, η σχέση ενός μνημείου με τον τόπο είναι δυνατόν να



Εικόνα 4.4: Calder A., Flamingo, 1972

εκφράζει και ένα όραμα το οποίο μπορεί να προέρχεται από μία δραστηριότητα ενός μέρους του κοινωνικού συνόλου. Τέτοιου τύπου γλυπτά-μνημεία δημιουργούνται σήμερα σε κεντρικές εισόδους δημοσίων κτηρίων ή εταιρειών και τα μηνύματά τους συνδιαλέγονται με το παράπλευρο αρχιτεκτόνημα (Εικόνα 4.4) [21.1].

5 Η εξέλιξη της τεχνικής

5.1 Γενικά

Επειδή η Τέχνη αναπτύσσεται με διάφορους ρυθμούς ανά τον κόσμο θα εξεταστεί η γλυπτική στην Ελλάδα. Στην διαδρομή αυτή και επειδή η γλυπτική και ιδιαίτερα η χαλκοχυτική παρακμάζει κατά τους Μέσους Χρόνους, θα γίνει αναφορά στην Ιταλική Αναγέννηση και την Ευρώπη, χώρους από τους οποίους επανήλθε η γλυπτική στην Ελλάδα.

5.2 Αρχαία Ελλάδα

5.2.1 Μινωική και Κυκλαδική Τέχνη

Η μορφή των Μινωικών και των Κυκλαδικών έργων καθώς επίσης και η μη ύπαρξη τότε των κατάλληλων εργαλείων σκαλίσματος προκύπτει ότι πιθανόν τα έργα αυτά να είχαν γίνει με την τριβή της μίας πέτρας στην άλλη. Αυτός θα πρέπει να είναι και ο λόγος για τον οποίο στα πρώτα Κυκλαδικά έργα αποφεύγονται οι κοιλότητες (Εικόνα 5.1).



Εικόνα 5.1: Κυκλαδική γυναικεία φιγούρα σε μάρμαρο Νάξου, 4.500 π.Χ.



Εικόνα 5.2: Μινωική γλυπτική³, 17^{ος}-15^{ος} αι. π.Χ.

Αξιοσημείωτα είναι τα επιτεύγματα του Μινωικού πολιτισμού πάνω στην τεχνογνωσία της αφαιρετικής κατεργασίας των γλυπτών αλλά και των συγκολλήσεων διαφόρων υλικών. Στο κεφάλι του ταύρου παρατηρούνται διάφορα υλικά (πέτρα, κρύσταλλοι, όστρακα). Αυτό μας δείχνει ότι οι καλλιτέχνες, όχι μόνο είχαν ιδιαίτερες ικανότητες στην κατεργασία του έργου, αλλά είχαν βαθιά

³ Κεφάλι ταύρου σκαλισμένο σε μαύρο στεατίτη. Οι λεπτομέρειες του κεφαλιού είναι πρόσθετες. Τα μάτια είναι από κρύσταλλο ενώ η μύτη έχει κατασκευαστεί από άσπρο όστρακο.

γνώση των συγκολλητικών μέσων που επέτρεπαν την χρήση διαφορετικών υλικών στο ίδιο έργο (Εικόνα 5.2).

Τα πρώτα αγάλματα με χύτευση από χαλκό στον Ελλαδικό χώρο κατασκευάστηκαν στην Κρήτη τον 16 αιώνα π.Χ. Η χύτευση του χαλκού στον Μινωικό πολιτισμό άρχιζε και τελείωνε με την κατασκευή μικρών γλυπτών με την μέθοδο του χαμένου κεριού την οποία οι Κρήτες δεν γνώριζαν σε βάθος. Τα χάλκινα μετά την χύτευση δεν τα επεξεργάζονταν καθόλου, ήταν μικρά σε μέγεθος και χωρίς κοίλο εσωτερικό [22].

5.2.2 Πριν τους Κλασσικούς χρόνους



Εικόνα 5.3: Χάλκινα γλυπτά της γεωμετρικής περιόδου, 750 π.Χ.

Στην Προ-Κλασσική Ελλάδα δεν ήταν ευρέως γνωστή η κατασκευή μεγάλης κλίμακας χάλκινων έργων. Τα μεγάλα έργα από μάρμαρο οι «Κούροι», παρουσίαζαν μορφές που ήταν «δεμένες» με το υλικό τους. Τα χέρια ήτανε κολλημένα στον κυρίως κορμό και η κίνηση φαινότανε μόνο από το άνοιγμα των ποδιών. Αντίθετα με τα μεγάλα μαρμάρινα έργα που είχανε κατασκευαστεί με την αφαιρετική μέθοδο τα μικρού μεγέθους χάλκινα έργα της γεωμετρικής περιόδου απελευθέρωναν αφαιρετικά την μορφή αναπτύσσοντας κίνηση (Εικόνα 5.3).

Δεν είναι γνωστό ακόμα πως προέκυψε η χύτευση των μεγάλων χάλκινων έργων στην αρχαιότητα. Οι υποθέσεις

που γίνονται είναι οι εξής:

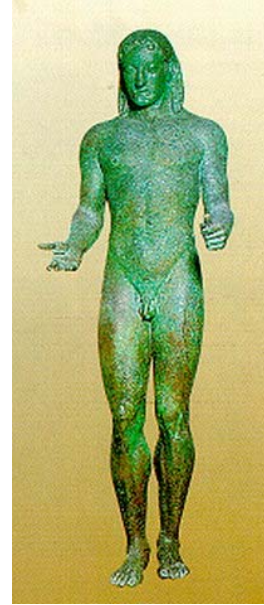
1. Οι αρχαίοι Έλληνες οδηγήθηκαν σε συστηματική έρευνα για να μπορέσουν να ολοκληρώσουν το όραμα της χύτευσης μεγάλων γλυπτών έργων που θα τους έδιναν τις δυνατότητες της απελευθέρωσης της μορφής που ήδη μπορούσαν να έχουν τα μικρά έργα
2. Οι αρχαίοι Έλληνες οδηγήθηκαν σε συστηματική έρευνα γιατί η αστοχία των μεγάλων έργων από μάρμαρο (πολλοί Κούροι είχαν αστοχήσει στο ύψος του αστραγάλου και του γόνατου μάλλον από οριζόντιες καταπονήσεις) οδήγησε στην αναζήτηση μιας άλλης μεθοδολογίας κατασκευής μεγάλων έργων.

Ο χαλκός και τα άλλα μέταλλα είχαν διάφορες εφαρμογές στην οικοδομική και την διακοσμητική των αρχαίων Ελλήνων και κυρίως στην κατασκευή όπλων. Χρησιμοποιούνταν σε επικάλυψη μεγάλων επιφανειών για να επενδυθούν τοίχοι και άλλα οικοδομικά στοιχεία. Στην οικοδομική δραστηριότητα των αρχαίων Ελλήνων δεν ήτανε απαραίτητη η χύτευση μεγάλων χάλκινων αντικειμένων. Αντίθετα χυτεύανε μέσα από αγωγούς μόλυβδο για την σταθεροποίηση της λιθοδομής με την βοήθεια σιδηρών συνδέσμων [119].

Κατά την κλασική αρχαιότητα λοιπόν, υπήρχε επαρκής γνώση της χρήσεως των μετάλλων και των ιδιοτήτων τους. Η διεθνής βιβλιογραφία οδηγείται γενικά στο συμπέρασμα ότι η εξέλιξη της μορφής φαίνεται να είναι το πρωταρχικό στοιχείο για την ερευνητική αναζήτηση στην χύτευση των μεγάλων χάλκινων έργων από τους Αρχαίους Έλληνες.



Εικόνα 5.4: Κούρος, 5ος αι.π.Χ



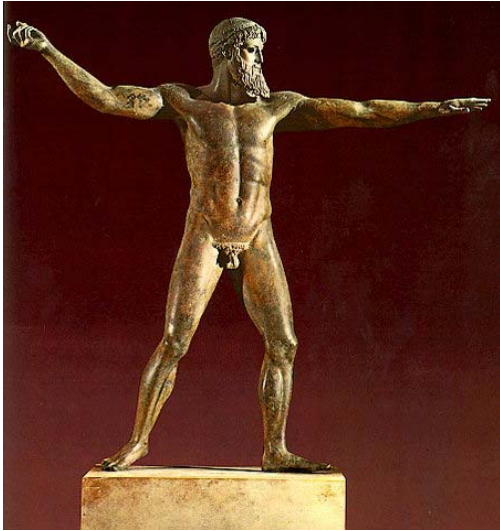
Εικόνα 5.5: Απόλλωνας, 520 π.Χ.

5.2.3 Κλασικοί χρόνοι

Η ανάπτυξη της τεχνικής της χύτευσης βοήθησε στην απελευθέρωση της μορφής των έργων [79]. Παρατηρώντας το χάλκινο άγαλμα του Απόλλωνα της ύστερο- αρχαϊκής περιόδου μπορούμε να δούμε ότι ακόμα δεν ήταν γνωστές οι δυνατότητες προσφοράς του υλικού. Για τον λόγο αυτό ο Απόλλωνας (Εικόνα 5.5) σχεδιάζεται όμοια με έναν Κούρο (Εικόνα 5.4). Αυτός ο σχεδιασμός θα απελευθερωθεί αμέσως μετά με την ανάπτυξη της τεχνικής των χυτεύσεων. Χαρακτηριστικό είναι το προ-κλασσικό έργο του Ποσειδώνα του Αρτεμισίου. Ο σχεδιασμός του είναι τώρα περισσότερο ελεύθερος με μεγάλο άνοιγμα στα πόδια και τα χέρια και ιδιαίτερη έμφαση στην ένταση της κίνησης στην λεπτομέρεια της ανύψωσης του μπροστινού μέρους του αριστερού ποδιού. Με την κίνηση αυτή το γλυπτό στηρίζεται μόνο στην φτέρνα του αριστερού ποδιού εξαιτίας της ανύψωσης του μπροστινού μέρους. Αυτό είναι κάτι που σε αντίστοιχης κλίμακας μαρμάρινο γλυπτό δεν συναντηθεί.

Η κατασκευή του έργου με χαλκό επέτρεπε στον γλύπτη τον ελεύθερο σχεδιασμό της μορφής. Αυτό γιατί η χύτευση του έργου με χαμένο κερί οδηγούσε στην δημιουργία έργων υπό μορφή κελύφους που είχαν πάχος τέσσερα έως επτά χιλιοστά. Άρα τα ίδια βάρη ενός γλυπτού από μέταλλο ήταν σημαντικά μικρότερα από τα ίδια βάρη ενός μαρμάρινου έργου. Τα πάχη του μετάλλου ήταν ελεγχόμενα κατά την κατασκευή, γι αυτό, όπου απαιτούνταν αυξημένες αντοχές αυξάνονταν σχετικά και τα πάχη του μετάλλου στη μορφή.

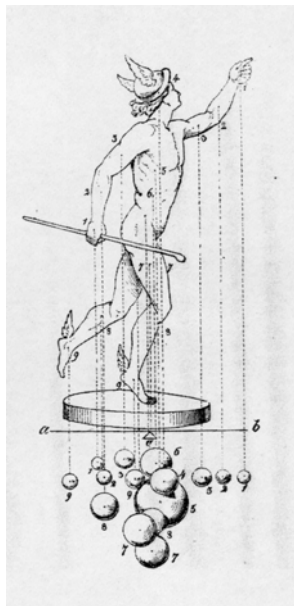
Τις δυνατότητες της μεθόδου της χυτεύσεως θα τις παρατηρήσουμε στην διαφορά των κλασσικών πρωτοτύπων (Εικόνα 5.6) με τα υπάρχοντα Ρωμαϊκά αντίγραφα (Εικόνα 5.7) [84]. Οι κατασκευαστικές δυνατότητες που προέκυπταν από τον χαλκό, έδωσαν τους καλλιτέχνες την δυνατότητα να σχεδιάζουν και να κατασκευάζουν γλυπτά με έντονη ελεύθερη στάση (Εικόνα 5.8).



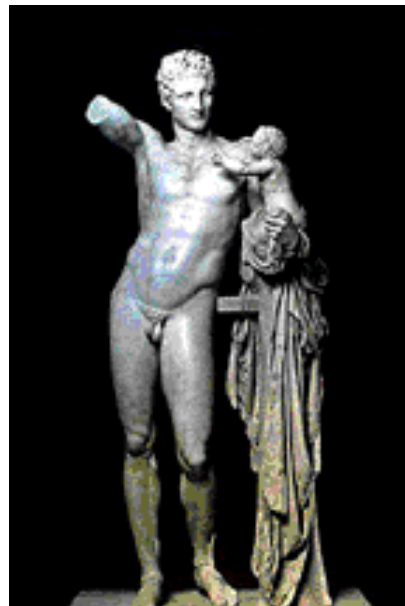
Εικόνα 5.6: Ο Ποσειδώνας του Αρτεμισίου, 460 π.Χ. (χαλκός)



Εικόνα 5.7: Ο Δισκοβόλος του Μύωνα, 450 π.Χ. Ρωμαϊκό αντίγραφο (μάρμαρο)



Εικόνα 5.8: Σχηματική απόδοση της κατανομής βάρους του Ερμή του Gianbologna, 15ος αι. μ.Χ.



Εικόνα 5.9: Ο Ερμής του Πραξιτέλη, 330 π.Χ.

Αντίθετα η κατασκευή του έργου με μάρμαρο προϋποθέτει ότι το έργο θα έχει μεγάλα ίδια βάρη και μεγάλο βάρος στο άνω τμήμα του (ιδιαίτερα στο κορμό). Εκτός της καταστάσεως ισορροπίας οι αστράγαλοι, που είναι και το λεπτότερο σημείο του ποδιού, υπάρχει πιθανότητα να αστοχήσουν σε

κρίσιμη εγκάρσια καταπόνηση λόγω των τάσεων που αναπτύσσονται. Για τον λόγο αυτό, οι καλλιτέχνες συνήθως αφήνουν στα έργα ένα στήριγμα που ανέρχεται από την βάση εφάπτεται από το κάτω μέρος του ποδιού μέχρι τον μηρό έτσι ώστε να υποστηρίζεται το έργο.

Οι αρχαίοι Έλληνες γλύπτες έφτασαν σε εκπληκτική τελειότητα αναζητώντας την τέλεια μορφή μέσα από το γλυπτό. Η αναζήτηση αυτή τους οδήγησε πολλά έργα να καταλήξουν σε κατάσταση ασταθούς ισορροπίας. Στην δημιουργία τους, τους βοήθησε η τεχνική της «χαλκοχυτικής». Με εξαίρεση τον Πραξιτέλη (Εικόνα 5.9) οι περισσότεροι μεγάλοι γλύπτες της αρχαιότητας αναφέρονται σαν γνώστες της «χαλκοχυτικής».

5.2.4 Ελληνιστικοί χρόνοι



Εικόνα 5.10: Η Νίκη της Σαμοθράκης, 3^{ος} αι. π.Χ.

Αν στην Κλασική Ελλάδα η Αττική ήτανε κέντρο δημιουργίας και γνώσης, στους Ελληνιστικούς χρόνους αναπτύχθηκαν και άλλοι τόποι κατασκευής έργων Τέχνης. Κυριότερα κέντρα ήτανε η Ρόδος η Αλεξάνδρεια η Πέργαμος και η Αντιόχεια.

Κατά τους χρόνους αυτούς οι τεχνικές που ήτανε σε χρήση για την κατασκευή αγαλμάτων δεν είχαν σημαντικές διαφορές από τις τεχνικές της κλασικής Ελλάδας (Εικόνα 5.10). Καινοτομία της Ελληνιστικής εποχής στην κατασκευή μεγάλων έργων αποτελεί ο Κολοσσός της Ρόδου έργο το οποίο ανεγέρθηκε περί τον 3^ο αιώνα π.Χ. Ο πλαισιώτος σκελετός του Κολοσσού της Ρόδου αποτελεί πιθανόν την πρώτη μεγάλη σιδηρά κατασκευή. Το άγαλμα ανεγέρθηκε μεταξύ 304-292 π.Χ. Σύμφωνα με τον Έλληνα μαθηματικό Φίλωνα, οι πάνω από 40 μέτρα μήκος σιδερένιες ράβδοι, ζύγιζαν περίπου 7.5 τόνους. Οι ράβδοι φαίνεται ότι είχαν ενωθεί μεταξύ τους σε κατάλληλα σημεία «με σφυρηλάτηση χρησιμοποιώντας Κυκλώπεια δύναμη» [113].

5.3 Βυζάντιο

Μετά τους Ελληνιστικούς χρόνους ακολούθησε η Ρωμαϊκή κατοχή και η σκοτεινή προχριστιανική περίοδος, κατά την οποία καταστράφηκαν σημαντικά μνημεία του προγενέστερου πολιτισμού και σπουδαία γλυπτά από μέταλλο χάθηκαν προς χάριν της ανακύκλωσής σε χρηστικότερα αντικείμενα.

Οι πρώτοι πατέρες της Χριστιανικής εκκλησίας ήταν τόσο απορροφημένοι από το τεράστιο θεολογικό τους έργο ώστε να μην έχουν την άνεση να επιδοθούν σε θεωρητικές έρευνες και πρακτικές άσχετες

με τα ενδιαφέροντά τους. Οι τέχνες συνδέονταν στενά με τον Ελληνικό και τον Ρωμαϊκό πολιτισμό και ο Χριστιανισμός είχε έρθει να σώσει τον κόσμο από την «κίβδηλη» θρησκεία τους. Εκείνη την εποχή πολλοί από τους πρώτους εκκλησιαστικούς ηγέτες όπως ο Τερτυλλιανός (3αι. μ.Χ) ήθελαν να αποκηρυχθεί όλη η κοσμική μάθηση και όλες οι ανιερές σπουδές. Η συμβουλή του ευτυχώς δεν επικράτησε και ότι είχε διασωθεί εντάχθηκε σαν θεμιτό στάδιο στην παιδεία, που τότε σήμαινε πορεία του ανθρώπου προς τη θεολογική γνώση.

Η βυζαντινοί γλύπτες κατασκεύαζαν γλυπτά μικρών κυρίως διαστάσεων. Τα πιο επιτυχημένα έργα ήταν ανάγλυφα μικρών διαστάσεων σκαλισμένα σε μέταλλο, σε στεατίτη και ακόμη πιο συχνά σε ελεφαντοκόκαλο. Σε όλη τη βυζαντινή εποχή επίσης έφτιαχναν κοσμηματοθήκες, και λειψανοθήκες, υπατικά δίπτυχα, καλύμματα βιβλίων και λατρευτικά δίπτυχα ή τρίπτυχα από σκαλισμένο ελεφαντοκόκαλο [107].

5.4 Ρώμη – Αναγέννηση



Εικόνα 5.11: Καίσαρας Οκτάβιος-Αύγουστος, 1^{ος} αι. μ.Χ.

Η Ρωμαϊκή Τέχνη έχει τις ρίζες της στους προκατόχους των Ρωμαίων τους Ετρούσκους οι οποίοι είναι βέβαιο ότι διδάχθηκαν από τους Έλληνες τεχνίτες.

Οι Ρωμαίοι γενικά δεν πρότειναν καινοτομίες. Οι μορφές και οι τεχνικές της Ρωμαϊκής Τέχνης ήτανε δανεισμένες από άλλους πολιτισμούς για να καλύψουνε αρχιτεκτονικά- διακοσμητικά προβλήματα [55].

Από τον 2ο αιώνα π.Χ. οι Ρωμαίοι στρατηγοί ξεκίνησαν μια συστηματική λεηλασία των πόλεων της Ελλάδας λεηλατώντας Ελληνικά γλυπτά για να δοξάσουν την θριαμβευτική τους πορεία. Καθώς η δύναμη της Ρώμης μεγάλωνε Έλληνες καλλιτέχνες μετανάστευσαν στην Ρώμη για να υπηρετήσουν τους κατακτητές.

Τα πλούσια ρωμαϊκά ανάκτορα ήτανε γεμάτα από έργα που παρίσταναν ελληνικές παραδόσεις, ελληνικό τρόπο ζωής, ελληνικούς Θεούς ενώ χρησιμοποιούνταν ακόμα και ελληνικά καθημερινά χρηστικά αντικείμενα [1].

Σίγουρα όμως η Ρωμαϊκή Τέχνη μόνο την γενική ιδέα του έργου αναπαριστούσε στον χώρο καθότι η χρήση της ήτανε κυρίως διακοσμητική [15]. Έτσι η Ελληνική Τέχνη αποκρυσταλλώθηκε από την εσωτερικότητά της. Αφού δανείστηκαν πολλά στοιχεία από την θρησκεία των Ελλήνων οι Ρωμαίοι αντιγραφείς αντέγραψαν γλυπτά από Έλληνες Θεούς και Θεές. Ο συστηματικός τρόπος εργασίας των

Ρωμαίων τους οδήγησε σε πολύ πιστές αποδόσεις ιστορικών προσώπων τα οποία έχουνε πολύ σημαντική καλλιτεχνική αλλά και ιστορική αξία (Εικόνα 5.11).

Από τον 4^ο αιώνα που η Ρωμαϊκή Αυτοκρατορία δέχθηκε σαν επίσημη θρησκεία το Χριστιανισμό η γλυπτική και γενικότερα οι τέχνες απόχτησαν αυστηρά συμβολικό χαρακτήρα. Η χρήση της γλυπτικής ήτανε κυρίως ενταγμένη σε αρχιτεκτονικές λύσεις.

Οι πρώτοι μεταχριστιανικοί χρόνοι δεν ανέδειξαν μεγάλα έργα στην ιστορία της γλυπτικής. Κατά τους ύστερους Μέσους Χρόνους εμφανίζεται ο Γοτθικός ρυθμός, όπου λιθοξόοι εξαιρετικής δεξιοτεχνίας μορφοποιούσαν κατασκευαστικά μέλη, αλλά και εντυπωσιακά γλυπτά που ενσωματώνονταν στην κατασκευή, με την αφαιρετική μέθοδο (Εικόνα 5.12).



Εικόνα 5.12: Notre Dame 1.200-1.300 μ.Χ.

Σε ευρύτερο πλαίσιο, το σύνολο των τεχνών τους σκοτεινούς αυτούς χρόνους δεν έχουνε να επιδείξουνε σημαντική πρόοδο. Θα έλεγε κανείς μάλιστα ότι μείνανε τόσο στάσιμες που στην επόμενη φωτεινή αναλαμπή της ανθρωπότητας που σηματοδοτήθηκε από την Αναγέννηση, παρατηρήθηκε μια σαφής επιστροφή στις τεχνικές και τις αντιλήψεις του αρχαίου Ελληνικού πολιτισμού [64].

Η επιστροφή στο Ελληνικό πνεύμα ήτανε τόσο επί των θεμάτων (οι καλλιτέχνες αναπαριστούσαν συχνά εικόνες από Ελληνικούς μύθους) όσο και της τεχνικής που χρησιμοποιήθηκε. Τους Μέσους Χρόνους η «ακινήσια» των γραμμάτων και των τεχνών, οδήγησε στο να χαθούν όχι μόνο οι τεχνικές που κατά κύριο λόγο μεταφέρονται με την εμπειρία, αλλά και τα κείμενα που ενδεχόμενος να περιείχαν περιγραφή τους.

Στην γλυπτική του Cellini παρατηρείται η προσπάθεια ανάκλησης των στοιχείων αυτών. Στο μνημειώδες έργο του Cellini Περσέας παρατηρείται ότι το θέμα προέρχεται κατ' ευθείαν από την Ελληνική μυθολογία. Από τεχνικής απόψεως η τεχνική του χαμένου κεριού για την χύτευση μεγάλων έργων είχε χαθεί τους Μέσους Χρόνους. Έτσι ο Cellini να αναγκάστηκε να ανακαλύψει ξανά την τεχνική του χαμένου κεριού με την βοήθεια των (ελλειπτικών) περιγραφών του Ρωμαίου Ιστορικού Πλίνιου [13].

Αντίθετα από τα έργα του Cellini, πολλά έργα του Μιχαήλ Άγγελου είχανε κυρίως θρησκευτικό χαρακτήρα. Παρ' όλα αυτά διαφαίνεται η προσπάθεια του γλύπτη να πλησιάσει την πλαστικότητα των

όγκων των Ελληνικών έργων, μια προσπάθεια που στηρίζονταν όχι στην ίδια αντίληψη των όγκων αλλά κυρίως στην κίνηση και την αρμονία του σχεδίου τους. Την επικοινωνία αυτή ο γλύπτης την επιδίωξε και με έργα του που είχαν Ελληνικά θέματα (Βάκχο κ.α.). Ο Μιχαήλ Άγγελος προγενέστερος του Cellini, αν και χύτευσε μεγάλα έργα, δεν ασχολήθηκε συστηματικά με την χύτευση αλλά κυρίως με την μαρμαρογλυπτική. Οι τεχνικές που ακολούθησε λαμβανομένης υπ' όψη της αρμονίας των έργων, ήτανε συγγενείς με τις τεχνικές των αρχαίων (αρχικά πρόπλασμα σε εύπλαστο υλικό και ακολούθως αντιγραφή στο μάρμαρο). Η οδηγία του ήτανε ότι «όταν σκαλίζουμε ένα μάρμαρο πρέπει να το σκαλίζουμε με τέτοιο τρόπο ώστε να απελευθερώσουμε την μορφή που είναι εγκλωβισμένη μέσα σε αυτό» [116].

Και στην εξέλιξη της γλυπτικής την Αναγέννηση παρατηρείται ότι οι μορφές της γλυπτικής απελευθερώνονται με την χύτευση. Στον Περσέα του Cellini, (Εικόνα 5.12) το σχέδιο έχει ξεδιπλωθεί από την μορφή με το μεγάλο και άνετο άνοιγμα του αριστερού χεριού παρόλο τον όγκο του κεφαλιού της Μέδουσας. Τέτοια στοιχεία δεν παρατηρούνται στο έργο του Μιχαήλ Άγγελου αφού οι μορφές του είναι γενικά εγκλωβισμένες από το υλικό τους (Εικόνα 5.13). Αξίζει να παρατηρηθεί ο κορμός του δέντρου στην κνήμη του έργου Δαβίδ, απαραίτητο για την ασφαλή στήριξη του έργου.



Εικόνα 5.13: Cellini B., Περσέας, 1540-5 μ.Χ. Εικόνα 5.14: Μιχαήλ-Άγγελος., Δαβίδ, 1501-4 μ.Χ.

Μέχρι τα τέλη της Αναγέννησης οι γλύπτες δημιουργούσανε μόνοι τους τα γλυπτά τους μέχρι το τελικό σημείο του έργου. Από τα τέλη της Αναγέννησης και μετά την κατασκευή του έργου στο τελικό υλικό την αναλάμβαναν συνήθως εξειδικευμένα εργαστήρια.

5.5 Μετά την Αναγέννηση

Μετά την Αναγέννηση η γλυπτική όπως και όλες οι υπόλοιπες τέχνες επιστρέφουν σε περισσότερο ελαφριά και διακοσμητική διάθεση. Η τάση του Baroque και του Rococo κάλυψε κυρίως διακοσμητικές ανάγκες. Η γλυπτική της εποχής του Baroque χαρακτηρίζεται κυρίως από μαρμάρινα έργα ενώ λόγω της μεγάλης παραγωγής έργων αρχίζουν και εμφανίζονται εξειδικευμένα εργαστήρια που κατασκευάζουν το πρόπλασμα στο τελικό υλικό (συνήθως μάρμαρο). Ο χαρακτήρας των έργων είναι μάλλον επιθετικός το σχέδιο ελεύθερο, χωρίς την δομή των κλασικών και των Αναγεννησιακών έργων (Εικόνα 5.14).



Εικόνα 5.15: Gianlorenzo B.,
Δαβίδ, 1623

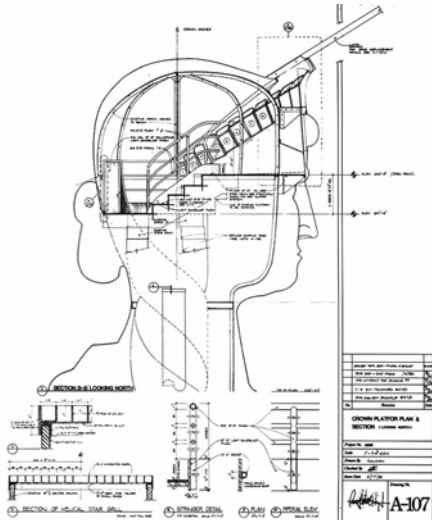
Μετά την επιθετικότητα του Baroque επικρατεί ο Νεοκλασικισμός. Ο Νεοκλασικισμός ξεκινάει από την Ρώμη το 1750 και επηρεάζει το σύνολο των τεχνών στην Ευρώπη και την Αμερική. Η εποχή συμπίπτει με την εμφάνιση της Βιομηχανικής Επανάστασης.

Αν και κατά την διάρκεια του Baroque δεν έγιναν ιδιαίτερες πρόοδοι στην χύτευση, εφόσον η αισθητική του οδήγησε τους καλλιτέχνες σε δημιουργία μαρμάρινων έργων, τους αιώνες που ακολούθησαν υπήρξαν σαφής εξελικτικές διαδικασίες στην κατασκευή και την χύτευση μετάλλων [45].

Για να καλυφθούν οι ανάγκες της παραγωγής μηχανών και εργαλείων που εμφανίστηκαν στην βιομηχανική επανάσταση απαιτήθηκε επί της ουσίας κατανόηση των χυτεύσεων, της συμπεριφοράς και της συγκόλλησης των μετάλλων.

Ακραία έκφραση της τεχνογνωσίας στην έκφραση του νεοκλασικισμού αποτέλεσε το Άγαλμα της Ελευθερίας. Το έργο αυτό σχεδιάστηκε από τον Frederic Auguste Bartholdi το 1876 και κατασκευάστηκε σε χαλύβδινο σκελετό που σχεδίασε ο Alexander Gustave Eiffel στην τελική του μορφή το 1885.

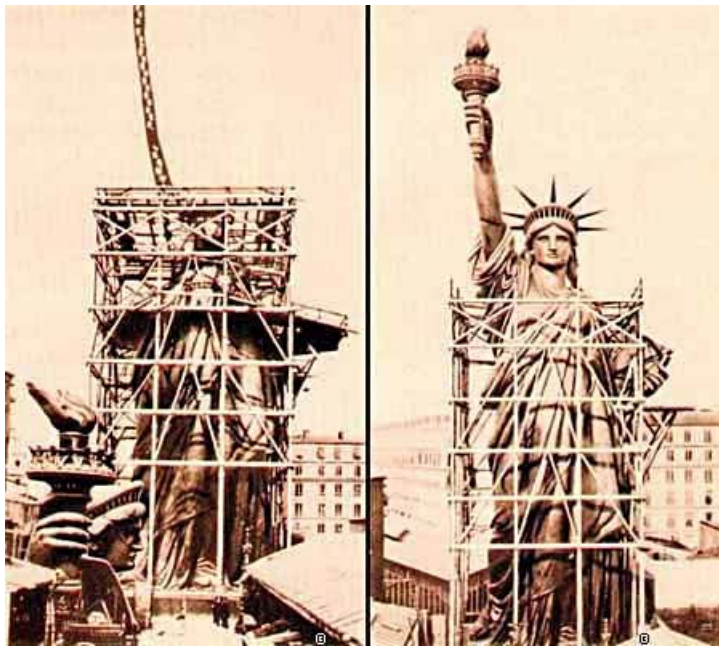
Η διαδικασία της κατασκευής του έργου αυτού ήταν ιδιαίτερα σύνθετη. Το αρχικό σχέδιο σε πηλό χυτεύτηκε με τη μέθοδο του χαμένου κεριού σε χαλκό και είχε ύψος μόλις τέσσερα πόδια. Ακολούθως, το έργο κατασκευάστηκε σε διαδοχικά μεγαλύτερα μεγέθη τα οποία οδήγησαν στην τελική του μορφή. Το τελικό πρόπλασμα του έργου έγινε από ξύλο. Λεπτά φύλλα χαλκού σφυρηλατήθηκαν στο ξύλο για να πάρουν την μορφή του. Τα φύλλα ενώθηκαν στον σκελετό που σύνθεσε ο Eiffel, και έτσι το έργο παρουσιάζεται στην τελική του μορφή σε χαλκό (Εικόνες 5.15, 5.16, 5.17, 5.18).



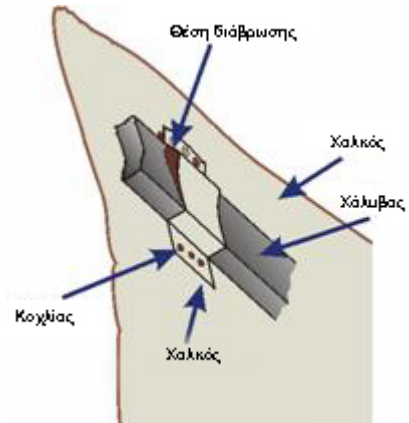
Εικόνα 5.16: Σχέδιο του εσωτερικού του κεφαλιού του αγάλματος της Ελευθερίας



Εικόνα 5.17: Τρισδιάστατη αναπαράσταση του εσωτερικού του κεφαλιού του αγάλματος της Ελευθερίας



Εικόνα 5.19: Bartholdi A., Κατασκευή του έργου: «Η ελευθερία που φωτίζει τον κόσμο», 1885



Εικόνα 5.18: Κατασκευαστική λεπτομέρεια

Χαλύβδινος σκελετός στον οποίο ενώνονται με την διάταξη του σχήματος τα φύλλα χαλκού. Στις ενώσεις του σκελετού με το κέλυφος εμφανίζεται γαλβανική διάβρωση

5.6 Η γλυπτική στην Νεότερη Ελλάδα

Η νεοελληνική γλυπτική αρχίζει να διαμορφώνεται στα πλαίσια της μεταβυζαντινής λαϊκής Τέχνης και παραμένει σε γενικές γραμμές δέσμια της διακόσμησης. Την αποδέσμευσή της αυτή την συναντούμε για πρώτη φορά στον Κερκυραίο γλύπτη Παύλο Προσαλέντη (1784-1837) τον πρεσβύτερο, που μεταφέρει από την Ιταλία, τις αρχές του νεοκλασικισμού στον ελλαδικό χώρο. Η

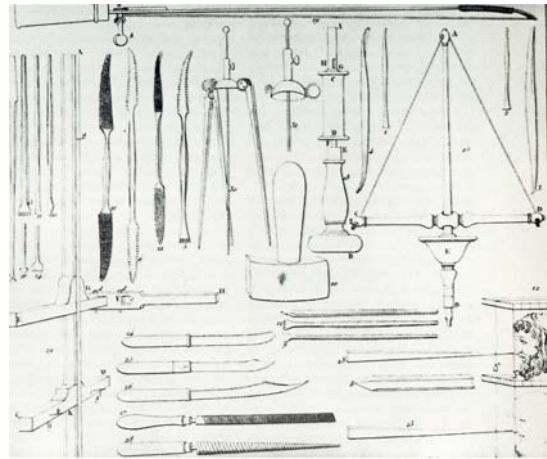
θέση του Προσαλέντη στην ιστορία της γλυπτικής ήταν ιδιαίτερα σημαντική για τον ελληνικό χώρο [110].

Ο Προσαλέντης αντιλήφθηκε τον ιδιαίτερο και σημαντικό του ρόλο εφόσον έπρεπε να εισάγει όλα τα στοιχεία που θα οδηγούσαν στην επικοινωνία του αρχαίου Ελληνικού πνεύματος με τον σύγχρονο τρόπο σκέψης. Για τον λόγο αυτό έδειξε ιδιαίτερο σεβασμό στην αρχαία Ελληνική παράδοση και επιδίωξε συστηματικά την επικοινωνία με το Αρχαίο Ελληνικό πνεύμα και μέσω της γλυπτικής του αλλά και με άλλες μελέτες του Ο Προσαλέντης επιχειρεί να βρει λύσεις και στον τομέα της «χαλκοχυτικής». Βασιζόμενος σε παραδοσιακά χυτήρια για καμπάνες που είχαν μεγάλη παράδοση στην Κέρκυρα ο Προσαλέντης καταφέρνει να χυτεύσει ολόσωμο άγαλμα σε χαλκό στις αρχές του 19 αιώνα στην Κέρκυρα. Αυτό αποτέλεσε φωτεινή αναλαμπή της «χαλκοχυτικής» στην νεότερη Ελλάδα. Όμως λόγω της επιβαλλόμενης αισθητικής του νεοκλασικισμού (γλυπτική σε μάρμαρο) η «χαλκοχυτική» άργησε να επανεμφανιστεί.

Στα μέσα του 19ου αιώνα ο Κ. Ζήκελ είναι ο πρώτος ακαδημαϊκός δάσκαλος της γλυπτικής στο Σχολείο των Τεχνών (αργότερα Ε.Μ.Πολυτεχνείο). Οι περιορισμένες του δημιουργικές δυνατότητες δεν τον εμπόδισαν να μεταδώσει στους μαθητές του Λάζαρο και Γεώργιο Φυτάλη την γνώση της τεχνικής της γλυπτικής. Στο εργαστήριο των «Φυτάληδων» μαθητεύουν γλύπτες που αργότερα θα αναπτύξουν την γλυπτική στην νεότερη Ελλάδα. Το νεοκλασικό ακαδημαϊκό σχέδιο που επικρατεί στην νεότερη Ελλάδα οδηγεί κυρίως μέσω της αφαιρετικής μεθόδου σε μαρμαρόγλυφες μορφές που χαρακτηρίζουν την αισθητική αυτών των χρόνων (Εικόνες 5.20, 5.21).



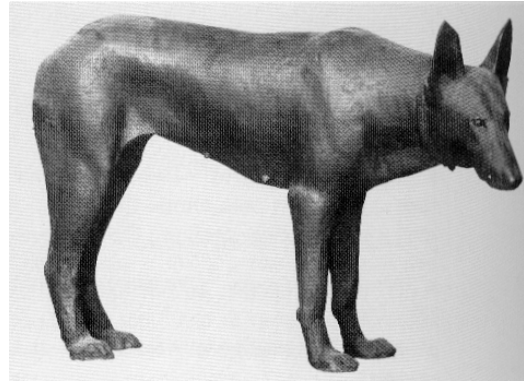
Εικόνα 5.20: Χαλεπάς Γ., Ο Σάτυρος παίζει με τον Έρωτα, 1877



Εικόνα 5.21: Εργαλεία γλύπτη του 19ου αιώνα. [110]

Στις αρχές του 20ου αιώνα οι γλύπτες Α. Σώχος και Μ Τόμπρος (καθηγητές του Ε.Μ.Πολυτεχνείου) εισάγουν μία καινούργια αντίληψη στην Ελληνική γλυπτική την οποία ελευθερώνουν και αποδεσμεύουν από την αρχαιοελληνική αισθητική. Η γλυπτική τους παρουσιάζεται συστηματικά με χάλκινα χυτά έργα. Τα χάλκινα αυτά έργα χυτεύονταν στο εξωτερικό (Ιταλία).

Την τεχνική για την χύτευση χάλκινων έργων, την εισήγαγε στην Ελλάδα από την Γαλλία ο γλύπτης Θ. Απάρτης, που μαθήτευσε στον Burdelle, στα μέσα σχεδόν του 20ου αιώνα (Εικόνα 5.19) [101]. Ο Απάρτης δίδαξε από το 1961 στο Ε.Μ.Πολυτεχνείο με λαμπρή διδασκαλική απήχηση στους πολυπληθείς μαθητές του. Από αυτόν κυρίως προήλθε και η γνώση της «χαλκοχυτικής» που εφαρμόζεται ακόμα και σήμερα σε εργαστήρια της σύγχρονης Ελλάδας.



Εικόνα 5.22: Απάρτης Θ., Σκύλα, 1955

5.7 Παρατηρήσεις σχετικές με την εξέλιξη της τεχνικής

Η γλυπτική στην Ελλάδα αναπτύσσεται, χάνεται και ξαναεμφανίζεται κάνοντας μία παράπλευρη διαδρομή στους σκοτεινούς χρόνους μέσα από την Δύση.

Η Τέχνη ήτανε και είναι μία πολυτέλεια την οποία την βλέπουμε να αναπτύσσεται σε ακμαίες κοινωνικά συνθήκες. Σε συνάρτηση με αυτό βλέπουμε και την γλυπτική να ανθίζει σε συνάρτηση με τις κοινωνικές συνθήκες της κάθε εποχής. Η εξέλιξη αυτή είναι φυσιολογική αφού η Τέχνη όπως και η Αισθητική ορίζουνε την πολιτισμική ταυτότητα της κάθε εποχής. Η ανάπτυξη της «μη χρήσιμης» Τέχνης χαρακτηρίζει τον ανθρώπινο πολιτισμό και αποκαλύπτεται εκεί όπου αυτός ακμάζει.

Η αποκάλυψη αυτή γίνεται ιδιαίτερα κατανοητή μέσα από την κατασκευή χάλκινων γλυπτών, κατασκευή που απαιτεί τεχνογνωσία, τεχνικές ικανότητες και υψηλό κόστος. Εξάλλου, γενικότερα οι χυτεύσεις των μετάλλων προσδιορίζουν τα στάδια της ανάπτυξης των φάσεων του ανθρώπινου πολιτισμού.

Έτσι λοιπόν, η κοινωνική αντοχή στην δημιουργία αυτή σημαίνει πολιτισμική ευμάρεια, συστηματική μελέτη, οργανωμένη κατασκευή και αποτελεί ένα δείκτη πολιτισμού αφού το γλυπτό εκτός των άλλων περιέχει και μεγάλη «φέρουσα ιστορική ικανότητα διήγησης».

Για τους παραπάνω λόγους θα εξεταστεί περισσότερο αναλυτικά η εξέλιξη των χυτεύσεων των μετάλλων από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα.

6 Γενικά στοιχεία σχεδιασμού του γλυπτού

6.1 Μέγεθος γλυπτού

Για να διαφυλάξει ένα γλυπτό την ιστορική μνήμη του πολιτισμού που το γέννησε δεν είναι απαραίτητο να είναι υπερφυσικού μεγέθους. Έχει παρατηρηθεί, ότι πολλά μεγάλα έργα που δέσποζαν ως τοπόσημα στην εποχή τους, καταστράφηκαν κατά τις πολιτισμικές αλλαγές που έγιναν. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η απεικόνιση του Δία στην Ολυμπία και το Χρυσελεφάντινο άγαλμα της Αθηνάς στον Παρθενώνα.

Αντίθετα έχει παρατηρηθεί ότι έργα τα οποία είναι περισσότερο σεμνά ως προς το μέγεθός τους, και έργα τα οποία περιέχουν εσωτερική σκέψη στην υλική τους υπόσταση, όπως έχει απεικονιστεί η κατασκευαστική ευφυΐα του Πραξιτέλη στον Ερμή, καθώς και η μαθηματική έκφραση των ανθρώπινων αναλογιών του Πολύκλειτου στον Δορυφόρο, μας μεταφέρουν ακέραια την μνήμη του πολιτισμού που τα δημιούργησε.

Η απόρριψη των μηνυμάτων που περιέχει ένα γλυπτό είναι ιδιαίτερα εύκολο να εκφραστούν με την καταστροφή του, για τον λόγο αυτό, έργα που διακρίθηκαν για την σεμνότητά τους, έχει διαπιστωθεί ότι αντέχουν περισσότερο στον χρόνο και στις ενδεχόμενες πολιτισμικές διαφωνίες και μεταλλάξεις.

6.2 Βάση του γλυπτού

Σε κάθε περίπτωση η βάση ενός γλυπτού παίζει μεγάλο ρόλο στην παρουσίαση ενός έργου. Ενώ έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες μορφές βάσεων για μεγάλα ή μικρά γλυπτά, δεν υπάρχουν συγκεκριμένοι κανόνες για την κατασκευή της βάσης ενός γλυπτού.

Την βάση ενός έργου την καθορίζει η θέση παρατήρησης του έργου. Η θέση παρατήρησης του έργου είναι η θέση στην οποία το έργο πρέπει να περιέχεται ολόκληρο μέσα στο οπτικό πεδίο του παρατηρητή. Απαραίτητο είναι η βάση του έργου να δίνει με άνεση στον παρατηρητή την δυνατότητα αυτή.

Η βάση του γλυπτού είναι δυνατό να αποτελέσει μείζον πρόβλημα της κατασκευής ενός έργου. Ιστορικά αναφέρεται ο τεχνικός άθλος που έγινε τον 18^ο αιώνα από τον Έλληνα μηχανικό Μαρίνο Χαρβούρη για την κατασκευή της βάσης του γλυπτού του Μεγάλου Πέτρου στην Πετρούπολη (Εικόνα 6.1). Η κατασκευή της βάσης αυτής έγινε από βράχο βάρους 2.000 τόνων ο οποίος μετακινήθηκε 20 χλμ. από την υπάρχουσα θέση του έως την τελική θέση του γλυπτού [96, 98].

Ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο, παίζει ο χώρος της τελικής έκθεσης του αντικειμένου. Ο Henry Moore παρατηρεί ότι: «Δεν είναι δηλαδή δυνατόν ένα μικρό κομμάτι γλυπτού να σταθεί στον εξωτερικό

χώρο. Απλώς χάνεται. Πρέπει να είναι πάνω από την ζωντανή κλίμακα γιατί ο ανοιχτός ορίζοντας μειώνει το αντικείμενο στην πραγματική του κλίμακα».



Εικόνα 6.1: Falconet E.-M., Ο Μεγάλος Πέτρος, 1782 [34]

6.2.1 Γλυπτά μικρού μεγέθους

Τα γλυπτά μικρού μεγέθους συνήθως δίνουν σημασία στην λεπτομέρεια. Σε τέτοιου τύπου γλυπτά, για να αξιολογήσει ο παρατηρητής τις πληροφορίες του παρατηρούμενου αντικειμένου, πρέπει να έρχεται σε άμεση επαφή με το έργο και να το βλέπει χωρίς να σκύβει ή να σηκώνει το κεφάλι του. Άρα για μικρά έργα, η βάση πρέπει να είναι τέτοια, ώστε το κέντρο του όγκου του γλυπτού, να βρίσκεται λίγο χαμηλότερα από το μέσο ύψος του ματιού δηλαδή σε ύψος περίπου 1,70m.

Γλυπτά μικρού μεγέθους πρέπει σε κάτοψη να περιέχονται στην βάση του έργου

6.2.2 Γλυπτά μεγάλου μεγέθους

Τα γλυπτά μεγάλου μεγέθους, έχουν στόχο να αναδείξουν την μορφή ενός έργου και όχι τις λεπτομέρειές του.

Τα γλυπτά μεγάλου μεγέθους απαραίτητο είναι να εξασφαλίζουν στον παρατηρητή (από όποιο σημείο και να τα δει όσο κοντά του επιτρέπεται να είναι) την παρατήρηση ολόκληρου του έργου. Αυτό διότι, δεν έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον να παρατηρήσει κανείς μία μύτη μήκους 20cm ή ένα δάχτυλο 15cm. Η εικόνα της παρατήρησης αυτής απομονώνει το υπόλοιπο έργο και χάνεται τελείως η ουσία της μορφής του.

Για τον λόγο αυτό, μεγάλα έργα παρουσιάζονται συνήθως σε υψηλά βάθρα (υψηλότερα του 1.5-2m) έτσι ώστε ο παρατηρητής να παρατηρεί το έργο στο σύνολό του και να μην χάνει την αίσθηση της μορφής του.

6.2.3 Άλλες προσεγγίσεις της βάσης ενός γλυπτού

Η βάση του γλυπτού δεν είναι μόνο ο όγκος στον οποίο θα τοποθετηθεί επάνω ένα γλυπτό. Είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί με εντυπωσιακό τρόπο το κινούμενο νερό για να δώσει «ζωή» σε διάφορα γλυπτά. Τα εντυπωσιακά άλογα στην Mustangs Square στη Las Colinas είναι αποτέλεσμα προσεκτικής έρευνας για το πώς θα μπορέσουν οι υδάτινοι πίδακες να προσδώσουν με ακρίβεια την κίνηση των ζώων στα γλυπτά (Εικόνα 6.2).



Εικόνα 6.2: Mustangs Square στη Las Colinas

6.3 Τοπίο και γλυπτό

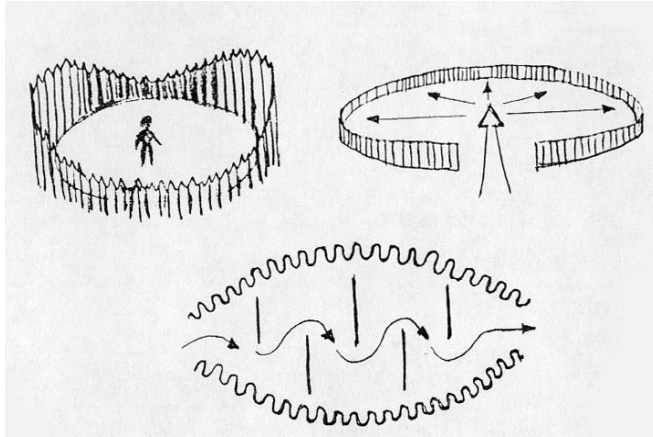
Πόλος εστίασης είναι το μέρος του τοπίου το οποίο ξεχωρίζει από το υπόλοιπο τοπίο λόγω υψής χρώματος ή μεγέθους. Ο πόλος εστίασης προσελκύει τον παρατηρητή [3].

Μαγνητικός πόλος εστίασης είναι το μέρος του τοπίου το οποίο έχει τα χαρακτηριστικά του πόλου εστίασης ενώ συγχρόνως αποτελεί ευχάριστο αισθητικό θέμα. Το γλυπτό γενικά αποτελεί μαγνητικό πόλο εστίασης ενός μικρού ή μεγάλου τοπίου [47].

Ένα τοπίο δεν είναι δόκιμο να έχει πολλούς μαγνητικούς πόλους εστίασης. Όσο περισσότεροι είναι οι μαγνητικοί πόλοι εστίασης στο τοπίο δημιουργείται θόρυβος στο τοπίο. Ένας μαγνητικός πόλος εστίασης στο τοπίο είναι δυνατό να «ψιθυρίσει», να τον ακούσεις και να τον προσέξεις με ευχαρίστηση, όμως πολλοί μαγνητικοί πόλοι εστίασης θα επιδιώκουν όλοι να γίνουν αντιληπτοί, με αποτέλεσμα τον «θόρυβο» στο τοπίο.

Η θέση του γλυπτού αλλά και κάθε μαγνητικού πόλου εστίασης αποκαλύπτεται με μεγαλύτερη ένταση σε ένα περικλειόμενο τοπίο. Τα περικλειόμενα τοπία όμως είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα και απαιτείται μεγάλη διαχειριστική ευαισθησία για να συνδιαλέγονται αρμονικά με το έργο (Εικόνα 6.3).

Σε πολλές περιπτώσεις δημιουργούνται τεχνητά περικλυόμενα τοπία έτσι ώστε να αναδειχθεί αρχιτεκτονικά το γλυπτό που βρίσκεται στο τοπίο αυτό (Εικόνα 6.4).



Εικόνα 6.3: Περικλειόμενα τοπία [126]

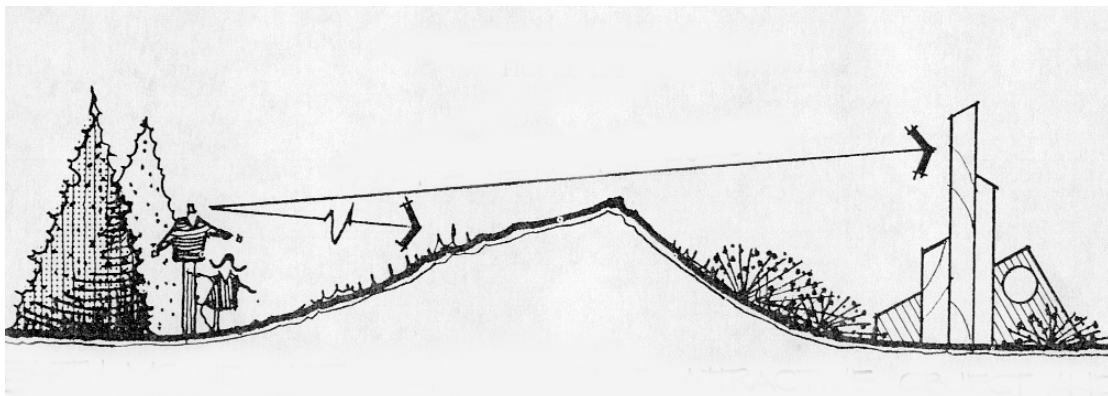
Το περικλειόμενο τοπίο συνήθως έχει καθορισμένο όριο, όπου χαρακτηριστικά αντικείμενα αποκτούν ιδιαίτερη έμφαση



Εικόνα 6.4: Αρχιτεκτονική λύση του Α. Κωσταντινίδη για το Λεωνίδα στις Θερμοπύλες

Ένα γλυπτό συνήθως αντιτίθεται στο τοπίο. Αυτή είναι χαρακτηριστική ιδιότητά που οφείλει να αξιοποιείται κατά τον σχεδιασμό του.

Έχει επίσης παρατηρηθεί ότι εμπόδια που δεν επιτρέπουν ολόκληρη την θέα ενός εικαστικού αντικειμένου (γλυπτού) δημιουργούν δυσφορία στον παρατηρητή και πρέπει να αποφεύγονται κατά τον σχεδιασμό του τοπίου που το περιέχει (Εικόνα 6.5) [10, 63].



Εικόνα 6.5: Μερική αντίληψη ενός εικαστικού έργου

Ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες του κάθε έργου και του τοπίου στο οποίο θα τοποθετηθεί είναι κατανοητό ότι μπορούν να αξιοποιηθούν πολλά και διαφορετικά στοιχεία, όπως για παράδειγμα βουνά, βράχοι, δέντρα, μορφολογία, υδάτινο στοιχείο.

Το νερό είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί σαν καθρέφτης ή σαν όριο σε γλυπτό που βρίσκεται μέσα στο νερό, πάνω από το νερό ή δίπλα στο νερό. Φυσικά στοιχεία όπως μεγάλα δέντρα ή επιφάνειες μπορεί να χρησιμοποιηθούν στο οπτικό υπόβαθρο για τις πίσω όψεις του έργου. Φυσικοί, υπάρχοντες λίθοι είναι δυνατό, με μικρή διαμόρφωση, να γίνουν εξαιρετικές βάσεις για την παρουσίαση του έργου.

Η επιλογή του υλικού στο οποίο θα είναι κατασκευασμένη η τελική μορφή του έργου, δεσμεύει την τοποθέτηση του γλυπτού στο αν αυτό θα παραμείνει σε εσωτερικό ή εξωτερικό τόπο.

Η κατασκευή του έργου σε σταθερό υλικό και η μορφή της τελικής επιφάνειάς του είναι σκόπιμο να συνδυάζονται με το τοπίο έκθεσης του έργου έτσι ώστε να μην προκύπτουν κατασκευαστικά προβλήματα κατά την παραμονή του έργου στον περιβάλλοντα χώρο. Για τον λόγο αυτό πρέπει να μελετάται η αντοχή των υλικών του έργου στις περιβαλλοντικές συνθήκες του τόπου που θα παραμείνει το έργο όπως επίσης και η αισθητική συμπεριφορά των υλικών του έργου σε σχέση με το τοπίο που αυτό εκτίθεται (στιλβωμένες-πατιναρισμένες επιφάνειες, αντανakλάσεις, λευκαύγεια κ.λ.π.).

6.4 Γλυπτική και αρχιτεκτονική

Πολλές φορές έχει γίνει χρήση της γλυπτικής μορφής στην αρχιτεκτονική. Με τον τρόπο αυτό ο αρχιτέκτονας αξιοποιεί όλη την εκφραστική δυνατότητα των υλικών και των μορφών. Πλαστικές μορφές μπορούν να



Εικόνα 6.6: Το μουσείο Guggenheim στο Bilbao.

ενσωματωθούν στην δομή του έργου και στον ίδιο του τον σκελετό. Επίσης μπορούν να ενσωματωθούν με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε το γλυπτό να συνδιαλέγεται με το αρχιτεκτόνημα.

Η εκφραστικότητα των υλικών στην γλυπτική διευρύνει τις δυνατότητες της αρχιτεκτονικής και ζωντανεύει το αρχιτεκτόνημα. Παράλληλα διαπιστώνεται ότι γλυπτική μορφή μπορεί να έχει το ίδιο το αρχιτεκτόνημα (Εικόνα 6.6)..

Ακραία έκφραση του συνδυασμού της γλυπτικής με την αρχιτεκτονική παρουσιάζεται στον καθεδρικό ναό του Duomo του Μιλάνο (Εικόνες 6.7, 6.8, 6.9). Στο έργο αυτό που κατασκευάζονταν από τον 13^ο αιώνα και για σχεδόν δύο αιώνες παρουσιάζεται στο σύνολο του η σύνθεση της γλυπτικής με την αρχιτεκτονική σε όλες τις κλίμακες. Κατ' αρχήν μόλις φτάνει κανείς μέσα στο πεδίο του τοπίου του Καθεδρικού ναού,



Εικόνα 6.7: Η πλατεία του Duomo στο Μιλάνο

παρατηρεί το γλυπτό στην πλατεία να συνδιαλέγεται άμεσα με το ναό. Στην συνέχεια, μπορεί να δει κανείς στις βάσεις από τις κολώνες του ναού μορφές σε σχεδόν φυσική κλίμακα.

Η γλυπτική έκφραση του αρχιτεκτονήματος εξακολουθεί να υφίσταται σε όλες τις κλίμακες. Παρατηρώντας την κεντρική πύλη του ναού βλέπουμε γλυπτική έκφραση των παραστάσεων της ζωής του Χριστού σε μέγεθος 30 cm.



Εικόνα 6.8: Λεπτομέρεια από τις κολώνες του ναού



Εικόνα 6.9: Λεπτομέρεια της κεντρικής πύλης του ναού

6.5 Γλυπτική και φως

Κατά την διάρκεια της δημιουργίας ενός τρισδιάστατου αντικειμένου ο γλύπτης αποκτά ιδιαίτερη σχέση με το φως και τα επίπεδα που το αντανακλούν. Μόνο με το σωστό φωτισμό η δημιουργία μπορεί να έχει το ακριβές μελετημένο σχήμα και τον χαρακτήρα της [62].

Ο γλύπτης πρέπει να επιδιώκει να έχει τον κατάλληλο φυσικό φωτισμό στην τελική έκθεση ενός έργου. Η τοποθέτηση του έργου σε φωτισμό διαφορετικό από το οποίο είναι μελετημένο το έργο, μπορεί να ακυρώσει δημιουργικά χαρακτηριστικά του έργου.

Σε τέτοιου τύπου «παιχνίδια» η γλυπτική σε αντίθεση με την ζωγραφική είναι πολύ ευάλωτη. Οι τρεις διαστάσεις μπορούν να παγιδεύσουν πολλές φορές το μάτι ανάλογα με την οπτική γωνία και το φωτισμό. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να έχουμε (εκούσια ή ακούσια) διαφορετικό αποτέλεσμα. Εξάλλου η μορφή της ύλης αλλοιώνεται από τον τεχνητό φωτισμό και η μορφή του έργου αποκτά διαστάσεις οπτασίας (μάσκας). Απομονωμένο από τα υλικά του και με κύριο άξονα της ανάγνωσης τα φώτα που εμφανίζονται στην επιφάνειά του, το έργο αποφορτίζεται από τον όγκο του παίρνοντας μία περισσότερο εικονική (ονειρική) διάσταση η οποία δεν είναι πάντα επιθυμητή.

Το φως επηρεάζει την δημιουργία αλλά όχι την κατασκευή ενός έργου. Ενεργοποιεί όμως κατασκευαστικές λύσεις όταν προβλέπεται η κατασκευή ενός έργου σε δημόσιους χώρους σύμφωνα με την επιλογή των υλικών που θα προταθούν [85].

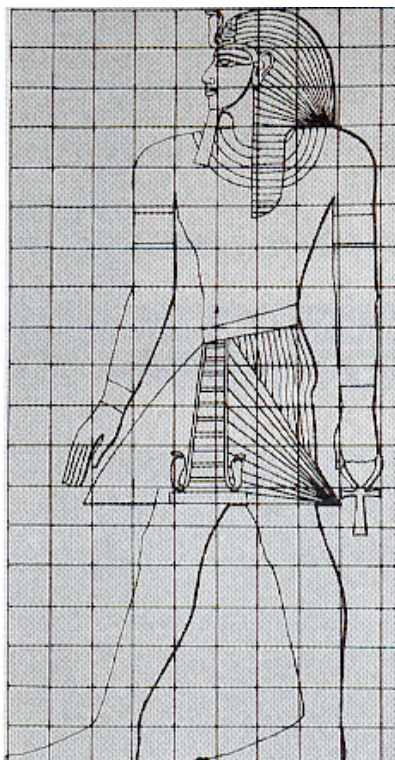
Σημειώνεται ότι διαφορετικά συμπεριφέρονται στο φως (αντανάκλαση απορρόφηση) τα μέταλλα από τους λίθους, ο πηλός από την γύψο κ.λ.π.

Εξάλλου, το φως διαφέρει από τόπο σε τόπο. Ο Henry Moore ανέφερε ότι «το ελληνικό φως είναι κάτι που δεν μπορείς να το φανταστείς προτού το βιώσεις. Στην Αγγλία το μισό φως, κατά κάποιο τρόπο, απορροφάται μέσα στο αντικείμενο, όμως στην Ελλάδα το αντικείμενο μοιάζει να αναδίδει φως σαν να φωτίζεται το ίδιο από μέσα».

7 Ανάγνωση και σχεδιασμός

7.1 Ανατομία

Κυρίαρχη πραγματεία της γλυπτικής είναι το ανθρώπινο σώμα. Παρακάτω, θα αναφερθούν ορισμένα βασικά στοιχεία που βοηθούν (χωρίς να ορίζουν) τον σχεδιασμό ενός ανθρώπινου σώματος [59,74].



Εικόνα 7.1: Αναλογίες ανθρώπινου σώματος στην αρχαία Αίγυπτο



Εικόνα 7.2: Δορυφόρος ή Κανόνας του Πολύκλειτου 450 π.Χ. Ρωμαϊκό αντίγραφο

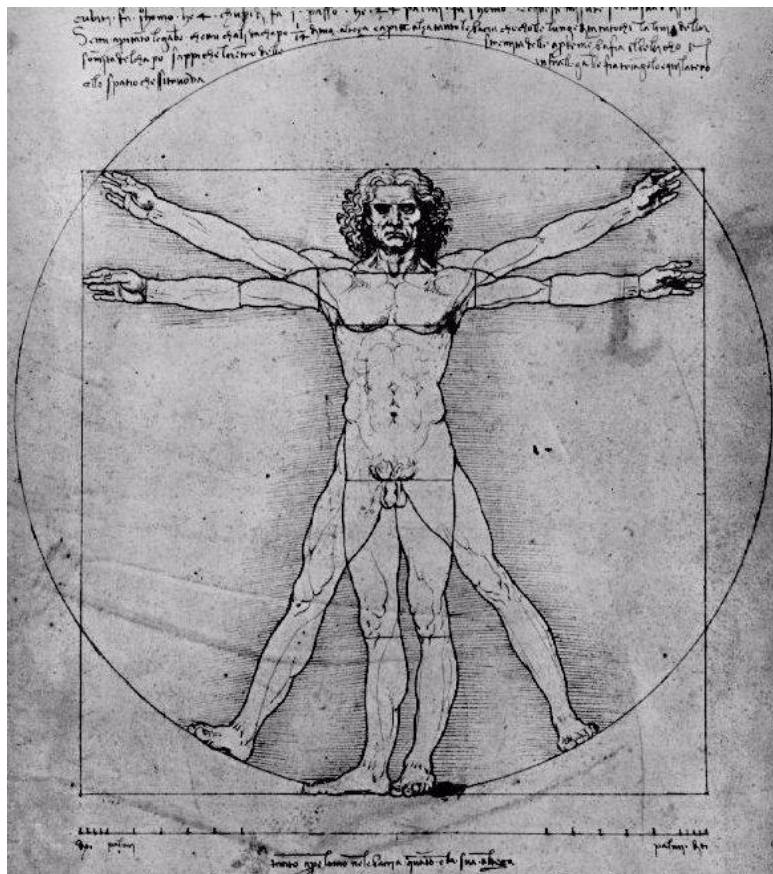
Πριν ακόμα τους ιστορικούς χρόνους εντοπίστηκε η ανάγκη της χάραξης ενός οδηγού για τους κανόνες που διέπουν την μορφή του ανθρώπινου σώματος. Ο οδηγός αυτός έπρεπε να περιέχει μαθηματικές εκφράσεις τέτοιες ώστε να μεταφράζουν τις αναλογίες του. Τέτοιου τύπου κανόνες για την βοήθεια του καλλιτέχνη, ονομάζονται ανατομικοί πίνακες. Κάθε εποχή αντιλαμβάνονταν διαφορετικά τις αρχές σχεδιασμού ενός ανθρώπινου σώματος (Εικόνες 7.1, 7.2).

Οι Αιγύπτιοι πρωτοπόροι στην μαθηματική έκφραση και την μετάφραση της φύσης, ανέπτυξαν μαθηματικές εκφράσεις οι οποίες υποστήριζαν το σύνολο των Τεχνών. Η αρχαιότερη γνωστή ανατομική περιγραφή δίδεται σε Αιγυπτιακό πάπυρο που χρονολογείται το 1600 π.Χ. Αλλά και οι Έλληνες δημιούργησαν κανόνες για την μετάφραση του ανθρώπινου σώματος. Την αποκωδικοποίηση αυτή οι Έλληνες καλλιτέχνες την μετέφεραν με παραδείγματα έργων όπως ο Κούρος του Σουνίου και

ο Κανόνας του Πολύκλειτου. Είναι εντυπωσιακό ο συσχετισμός της Τέχνης με την επιστήμη αφού αμέσως μετά την πρώτη ιατρική αποκωδικοποίηση του σώματος και λίγο πριν από την έκφραση του κανόνα του Πολύκλειτου ο Ιπποκράτης διατύπωσε τις πρώτες φυσικές ερμηνείες του ανθρώπινου σώματος. Τέχνη και ιατρική ανέκαθεν είχαν στενή σχέση, καθώς και οι δύο ασχολούνται με το ανθρώπινο σώμα, έστω και με διαφορετικό σκοπό, οι γιατροί για να το θεραπεύσουν και οι καλλιτέχνες για να το ερμηνεύσουν.

Μετά τον Ιπποκράτη και ο Αριστοτέλης ασχολήθηκε με την ανατομία του ανθρώπινου σώματος αλλά και των ζώων. Το σημαντικότερο βήμα όμως στην ανάπτυξη της γνώσης της ανατομίας έγινε τον 3^ο αιώνα π.Χ. από τον Ιερόφιλο και τον Ερασίστρατο που εντόπισαν πολλές λειτουργίες του ανθρώπινου σώματος όπως το μυϊκό σύστημα και το νευρικό σύστημα.

Η περίοδος της Αναγέννησης, που λάτρευε το ανθρώπινο σώμα και τον άνθρωπο, οδήγησε την σκέψη στην ανάγκη επαναδιερεύνησης της ανατομίας.

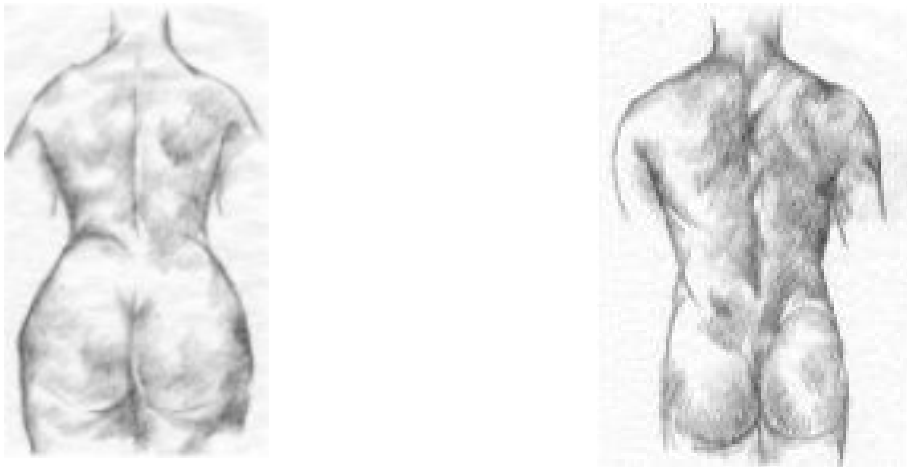


Εικόνα 7.3: Ο Κανόνας. Leonardo da Vinci, 1485-90

Ο Leonardo da Vinci μελέτησε το ανθρώπινο σώμα επιστημονικά και μέτρησε το μέσο όρο από τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένα ανθρώπινο σώμα χρησιμοποιώντας το κεφάλι σαν μονάδα μέτρησης. Η σύγχρονη δυτική σκέψη επηρεάστηκε σημαντικά από την εργασία του Leonardo da Vinci (Εικόνα 7.3).

Συγχρόνως με τον Da Vinci ο Βέλγος ανατόμος Andrea Versalius θεμελίωσε με την δημοσίευση της μελέτης του για το ανθρώπινο σώμα το 1543 την «νέα ανατομία». Πριν την δημοσίευση της κλασικής εργασίας του ανατόμου η ανατομική γνώση είχε ως βάση τις προγενέστερες κατά χιλίων ετών παρατηρήσεις του Έλληνα φυσιολόγου Γαλένου που είχαν ως αντικείμενο την παρατήρηση των ζώων.

Έχει διαπιστωθεί ότι κατά μέσο όρο το μήκος του σώματος είναι 7 1/2 φορές το μήκος του κεφαλιού. Προς χάριν απλότητας το σημερινό μέτρο είναι η αρχή του ενός ογδού. Το πρώτο μέρος τελειώνει στο κάτω μέρος της σιαγόνας, το δεύτερο μέρος τελειώνει στην βάση του στήθους, το τρίτο μέρος τελειώνει στον ομφαλό, το τέταρτο μέρος τελειώνει στην σύμφυση το πέμπτο μέρος τελειώνει στο μέσο του μηρού, το έκτο μέρος τελειώνει στο χαμηλότερο σημείο του γόνατου, το έβδομο μέρος τελειώνει στο μέσο της γάμπας, ενώ το όγδοο μέρος τελειώνει στο έδαφος.



Εικόνα 7.4: Γυναικείο και ανδρικό σώμα

Ούτως ή άλλως ακόμα και οι γενικές αναλογίες ποικίλουν από άνθρωπο σε άνθρωπο και εξαρτώνται από τον τύπο την ηλικία και πολλές φορές το επάγγελμα του μοντέλου. Έχει παρατηρηθεί ότι ιδιαίτερα η γυναικεία ανατομία είναι περισσότερο ατίθαση στην κανονικοποίησή της (Εικόνα 7.4).

Η έρευνα για την εύρεση κανονικότητας στις αναλογίες του ανθρώπινου σώματος δεν μπορεί να πει κανείς ότι έχει ολοκληρωθεί. Γενικά σήμερα παραδεχόμαστε ότι ένα τυπικό ανθρώπινο σώμα έχει ύψος 1,82m επιφάνεια 1,8m² [49].

Γνωρίζοντας λοιπόν ανατομία και στοιχεία ανατομίας είναι περισσότερο εύκολο για τον γλύπτη να κατανοήσει την κίνηση του μοντέλου και τους όγκους που αυτό δημιουργεί.

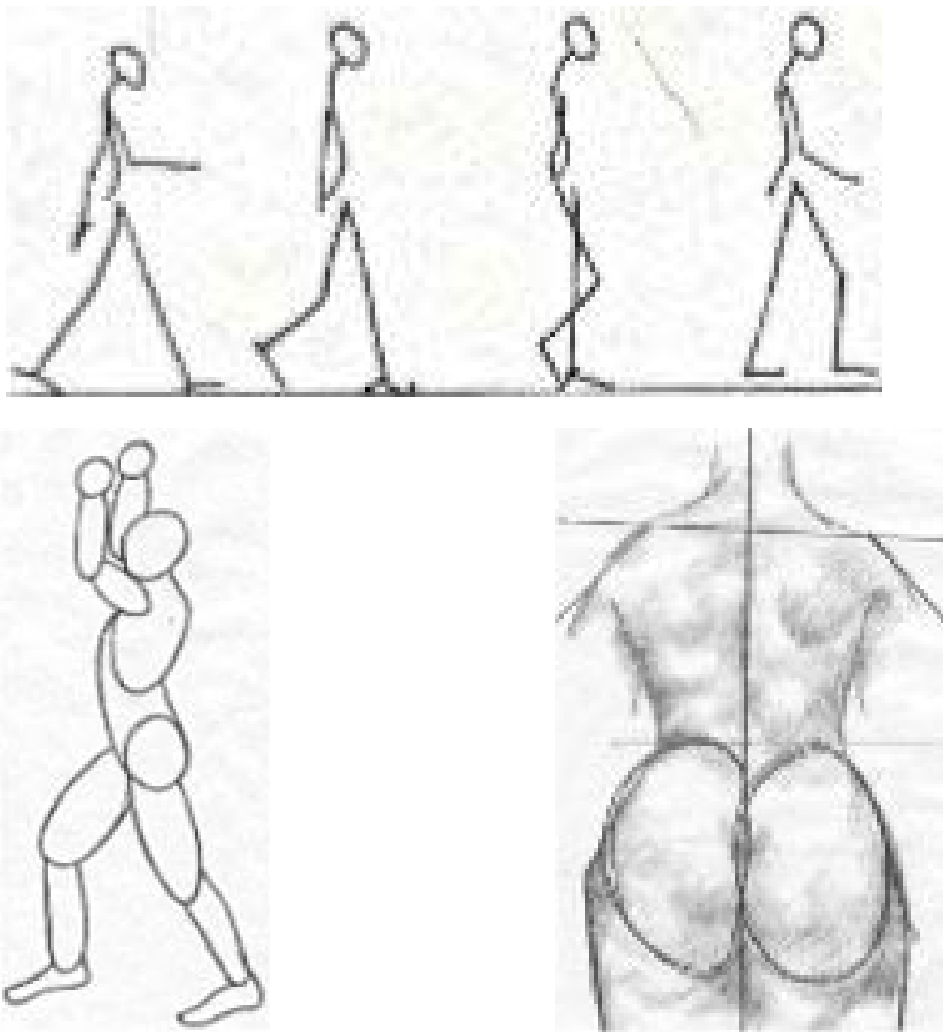
7.2 Σχέδιο

Για να αποδώσει ο καλλιτέχνης την κίνηση του μοντέλου πρέπει να μπορεί να την θυμάται. Και αυτό δεν γίνεται με την άμεση κατασκευή ενός γλυπτού. Το σχέδιο είναι δυνατό να δώσει στον καλλιτέχνη το απαιτούμενο ερέθισμα της μνήμης (την κίνηση του μοντέλου) για την κατασκευή ενός γλυπτού. Το

σχέδιο στην γλυπτική είναι επικουρικό μέσο για την δημιουργία ενός γλυπτού. Για τον λόγο αυτό δεν δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στο τέλειο σχέδιο. Τα σχέδια ενός γλύπτη παρουσιάζουν κυρίως την κίνηση και τους όγκους, όχι την φυσιογνωμία του αντικειμένου

Ο γλύπτης Bourdelle έδινε ιδιαίτερη βαρύτητα στο σχέδιο, το οποίο θεωρούσε ουσιώδες για την γλυπτική δημιουργία και προέτρεπε τους μαθητές του να είναι πάντοτε εφοδιασμένοι με χαρτί και μολύβι και να σχεδιάζουν σε κάθε ευκαιρία.

Το σκίτσο είναι η απλούστερη έκφραση κατανόησης της κίνησης. Το σκίτσο διευκολύνει ιδιαίτερα στην κατανόηση της κίνησης και της συμπεριφοράς του σώματος γύρω από το κέντρο βάρους του (Εικόνα 7.5).



Εικόνα 7.5: Σκίτσα και σχέδια γλυπτικής

Τα σύντομα (διάρκειας ενός λεπτού) σκίτσα συχνά χρησιμοποιούνται για εξάσκηση στις σχολές Καλών Τεχνών. Αυτό γίνεται γιατί μέσω τέτοιου τύπου σκίτσων είναι δυνατός ο σχηματισμός της «φιγούρας» έτσι ώστε να εντοπιστεί η αίσθηση που απορρέει από το μοντέλο. Αφού σχηματιστεί η

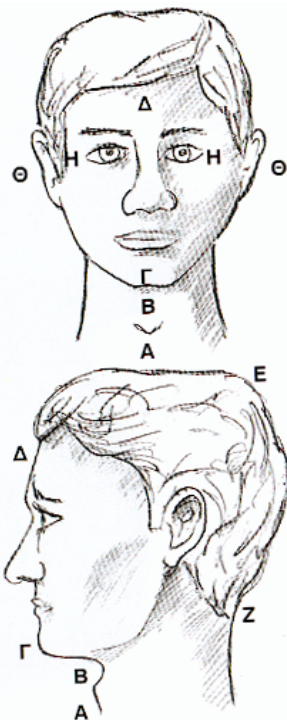
«φιγούρα» ο σχεδιασμός γίνεται συνήθως με θεμέλιο τους άξονες του σχεδίου ενώ επάνω σε αυτούς γίνονται οι μετρήσεις της «φιγούρας». Ακολούθως διαμορφώνεται το πρόπλασμα του έργου.

Ανεξάρτητα από το αν γίνεται προσπάθεια να δημιουργηθεί ένα αφηρημένο ή ένα συγκεκριμένο γλυπτό το σχέδιο πρέπει να χρησιμεύσει μόνο στην κατανόηση του όγκου που πρέπει να μορφοποιηθεί. Επειδή το σχέδιο αποδίδεται στις δύο διαστάσεις δεν θα είναι αντίστοιχο με την μορφή του γλυπτού που θα μορφοποιηθεί. Επομένως καλό θα είναι οι αποφάσεις σε σχέση με την μορφή του γλυπτού να λαμβάνονται κατά την κατασκευή.

Για παράδειγμα όταν μία πραγματική μορφή πλάθεται με πηλό το σχέδιο βοηθάει ιδιαίτερα στην επιτυχημένη κατασκευή του οπλισμού (αρματούρας) του γλυπτού χωρίς όμως να δίνει περισσότερες πληροφορίες για την τελική μορφή του έργου.

Το σχέδιο μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή ή συναρμολόγηση γλυπτών για να καθοριστούν οι πιθανές σχέσεις των διαφόρων τμημάτων και η μεταξύ τους σχέση.

7.3 Μορφή και πρόπλασμα (μακέτα)



Εικόνα 7.6: Σημεία μέτρησης για την κατασκευή μίας προτομής

Για την κατασκευή ενός γλυπτού στον χώρο πρέπει ο δημιουργός να έχει την αντίληψη των όγκων και των διαστάσεών του. Σε μία μορφή είναι απαραίτητος ο ακριβής εντοπισμός των συντεταγμένων των σημείων του έργου στον χώρο καθώς επίσης, των επιπέδων που το συνθέτουν όπως εξάλλου και των αξόνων του έργου.

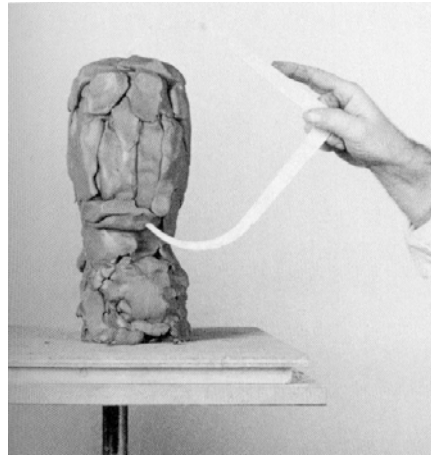
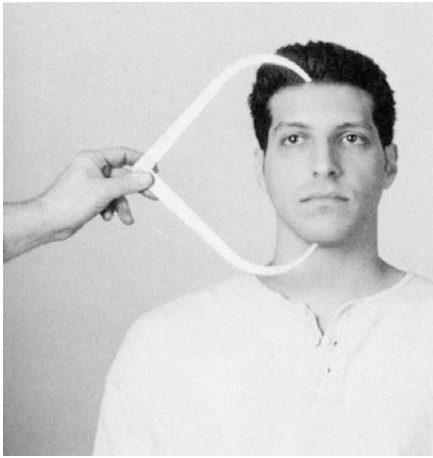
Το ανθρώπινο κεφάλι είναι ένα από τα καλύτερα εκφραστικά στοιχεία που μπορεί να πραγματευτεί ένας δημιουργός. Ανθρώπινα κεφάλια έχουν κατασκευαστεί και σε κλασσικές αλλά και σε αφηρημένες μορφές γλυπτικής.

Για να εντοπιστεί η μορφολογία του ανθρώπινου κεφαλιού υπάρχουν ορισμένα βασικά σημεία που είναι απαραίτητο να εντοπιστούν (Εικόνα 7.6).

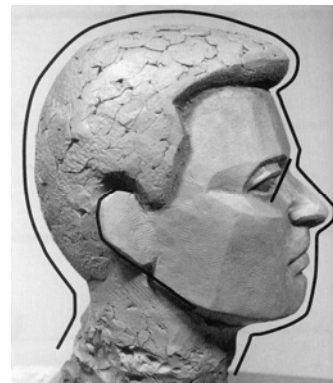
Ο εντοπισμός των στοιχείων αυτόν γίνεται με το «κομπάσο» ένα ειδικό διαμορφωμένο όργανο που μοιάζει με τον διαβήτη. Για τον εντοπισμό των σημείων ενός γλυπτού ο γλύπτης μετράει τις αποστάσεις του πρωτοτύπου και ακολούθως τις απεικονίζει επάνω στο πρόπλασμα (Εικόνα 7.7).

Στην συνέχεια γίνεται προσπάθεια εντοπισμού του περιγράμματος και κυρίως των επιπέδων για την απεικόνιση της μορφολογίας της μορφής στον πηλό. Τα κυριότερα επίπεδα που πρέπει να εντοπιστούν

σε ένα κεφάλι περιγράφονται κατωτέρω (Εικόνα 7.8) [80]. Γενικά, ένας γλύπτης καλείται να εντοπίσει πολύ περισσότερα επίπεδα όταν θελήσει να κατασκευάσει ένα ανθρώπινο σώμα.



Εικόνα 7.7:
Μετρήσεις με
κομπάσο για την
κατασκευή
προτομής

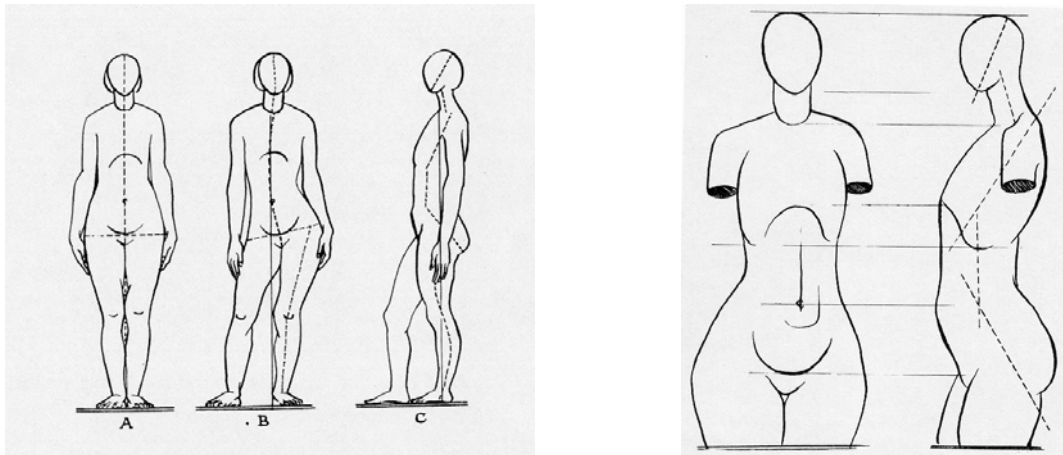


Εικόνα 7.8: Βοηθητικές γραμμές και επιφάνειες για την κατασκευή μιάς προτομής [80]

Το ανθρώπινο πρόσωπο είναι ιδιαίτερα σύνθετο και εκφραστικό μέσο και είναι μάλλον απίθανο το ενδεχόμενο ότι μόνο με το μέτρημα ο καλλιτέχνης θα μπορέσει να εντοπίσει επακριβώς την εικόνα και την έκφρασή του (Εικόνα 7.10).

Όσον αφορά το ανθρώπινο σώμα απαραίτητος είναι ο εντοπισμός των αξόνων που δημιουργούν την κίνηση και δευτερευόντως η μορφή του σχηματισμού των όγκων. Ο εντοπισμός των αξόνων της

κίνησης θα διευκολύνει και στον σχεδιασμό του σκελετού (αρματούρας) του προπλάσματος στοιχείο ιδιαίτερα σημαντικό για την κατασκευή του (Εικόνα 7.9).



Εικόνα 7.9: Παράσταση των αξόνων για την κατασκευή σώματος [70]

Παράλληλα με το σχέδιο, η κατασκευή μίας μακέτας, είναι μία πολύ καλή άσκηση η οποία βοηθάει να εκτιμηθεί το εάν και κατά πόσον η μορφή ενός γλυπτού που έχει συλλάβει ο γλύπτης είναι όμορφη όταν γίνει τρισδιάστατη. Ο πηλός είναι το ιδανικό υλικό για μία «μακέτα».



Εικόνα 7.10: Ο S. Freud επιβλέπει προτομή του που έχει φιλοτεχνηθεί από τον γλύπτη O. Nimon το 1931 [125]

Μία μακέτα από πηλό είναι ένας καλός οδηγός της τελικής εικόνας

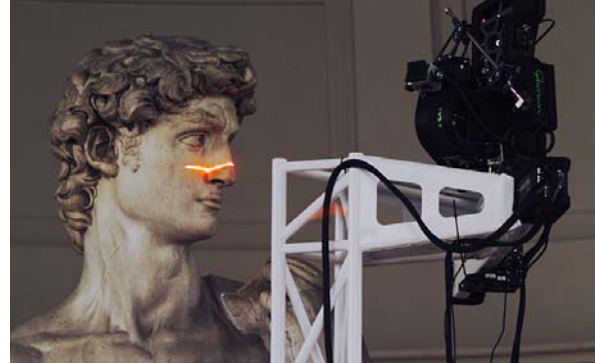
του έργου μολονότι δεν είναι πάντα επιτυχής η μεταφορά της μακέτας στην οριστική κλίμακα του έργου. Αυτό γιατί στην διάρκεια της αλλαγής κλίμακας του προπλάσματος του έργου από την μακέτα αλλοιώνεται η μορφή του έργου. Για τον λόγο αυτό όταν γίνεται αλλαγή της κλίμακας ενός έργου, το έργο αυτό μεγαλώνει σε στάδια και πολλές ενδιάμεσες κλίμακες με συνεχόμενες οπτικές διορθώσεις μέχρι την τελική του κλίμακα.

7.4 Σύγχρονες μέθοδοι ανάγνωσης και σχεδιασμού

Το πρόβλημα που προκύπτει στην κατασκευή ενός γλυπτού είναι ο εντοπισμός της μορφής του έργου στο χώρο. Αυτό θα μπορούσε να επιλυθεί αν περιγράφονταν η μορφή σε ένα σύστημα συντεταγμένων. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος, βρίσκουν εφαρμογή σαρωτές όγκου Laser (3d scanner), οι οποίοι εισάγουν δεδομένα ενός τρισδιάστατου αντικειμένου σε ένα υπολογιστή μέσω

ακτίνας λέιζερ η οποία, προσπίπτει στο αντικείμενο και καταγράφει τις συντεταγμένες του αντικειμένου στο χώρο. Έτσι γίνονται επακριβώς γνωστές οι συντεταγμένες του έργου και το πρόπλασμα είναι δυνατό να κατασκευαστεί με ακρίβεια σε διάφορες κλίμακες, χωρίς να αλλοιωθεί η αρχική του μορφή (Εικόνα 7.11).

Μέχρι σήμερα, οι σαρωτές αυτοί είναι ικανοί να σαρώσουν μικρά κυρίως έργα 10-20 cm. και μόνο σε ειδικές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερα έργα. Σημαντικό μειονέκτημα των σαρωτών είναι ότι δεν είναι δυνατό να απεικονίσουν ζωντανό μοντέλο, εφόσον το ζωντανό μοντέλο δεν είναι ποτέ ακίνητο.



Εικόνα 7.11: Σαρωτής όγκου (3d scanner) κατά την παραγωγή ψηφιακό μοντέλου της κεφαλής του Δαβίδ του Μιχαήλ Αγγελου [31]

Για να αποφευχθούν οι περιορισμοί των σαρωτών, είναι δυνατό να γίνει εφαρμογή της φωτοερμηνείας για τον εντοπισμό των συντεταγμένων ενός αντικειμένου στο χώρο.

Με την μέθοδο αυτή, δεν υπάρχει πλέον κανένας περιορισμός ως προς το μέγεθος του γλυπτού και είναι δυνατό να εντοπιστούν οι συντεταγμένες και σε ζωντανά αντικείμενα [114].

7.5 Εφαρμογή της φωτοερμηνείας στον σχεδιασμό ενός γλυπτού

7.5.1 Σκοπός της εφαρμογής

Η εφαρμογή της φωτοερμηνείας στην ανάγνωση και τον σχεδιασμό ενός γλυπτού βοηθάει στον εντοπισμό των συντεταγμένων διαφόρων σημείων του στο χώρο. Τα δεδομένα αυτά είναι ιδιαίτερα χρήσιμα κατά την διαδικασία κατασκευής του [20].

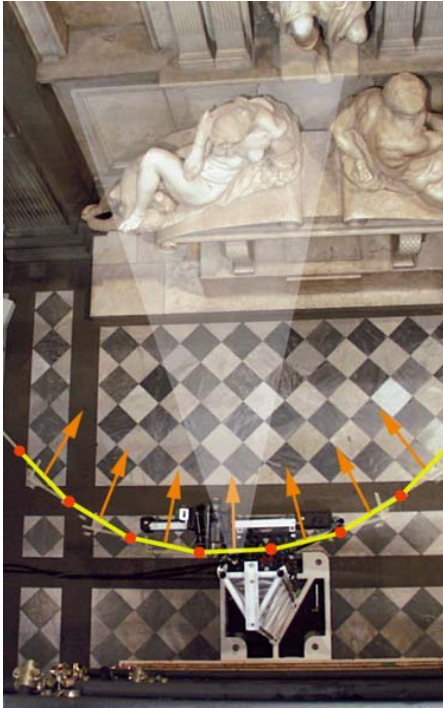
Με τη φωτοερμηνεία ενός γλυπτού μπορούμε επίσης να έχουμε ακριβείς συντεταγμένες για την ενδεχόμενη αλλαγή κλίμακας ενός γλυπτού.

Όταν έχουμε ένα μεγάλο έργο και θέλουμε να καθορίσουμε σημεία για την κατασκευή του σε μικρότερη κλίμακα, είναι δυσχερής ο προσδιορισμός των συντεταγμένων των διαφόρων σημείων του. Από την στιγμή του προσδιορισμού τους, υπεισέρχονται πολλοί παράμετροι σφαλμάτων και υπάρχει δυσκολία στον προσδιορισμό των αξόνων και των επιφανειών του. Με την φωτοερμηνεία είναι δυνατό να αποφευχθούν τα σφάλματα αυτά.

7.5.2 Συλλογή στοιχείων

Το μοντέλο που θέλουμε να ερμηνευτεί πρέπει να φωτογραφηθεί από διαφορετικές γωνίες ακίνητο έτσι ώστε να μπορέσουμε να έχουμε την εικόνα του στερεοσκοπικά [6].

Η συλλογή των στοιχείων γίνεται ως εξής: Απαιτούνται τουλάχιστον δύο φωτογραφίες του μοντέλου (Εικόνα 7.12) από δύο διαφορετικές γωνίες, χωρίς μεγάλες αποκλίσεις της απόστασης, που να απεικονίζουν την ίδια όψη του. Η επικάλυψη των φωτογραφιών αυτών πρέπει να είναι το λιγότερο εξήντα τοις εκατό. Δηλαδή πρέπει να βγάλουμε τις φωτογραφίες κινούμενοι σε άξονα σχεδόν παράλληλο με την όψη που θέλουμε να απεικονίσουμε για μερικά μέτρα φροντίζοντας οι διαδοχικές φωτογραφίες να επικαλύπτονται κατά τουλάχιστον 60 τοις εκατό.



Εικόνα 7.12: Φωτογράφιση γλυπτού από διαφορετικές γωνίες για την δημιουργία ψηφιακού μοντέλου



Εικόνα 7.13: Εφαρμογή της φωτοερμηνείας σε Ρωμαϊκό ανάγλυφο. Τοποθέτηση φωτοσταθερών

Είναι σκόπιμο περί το μοντέλο να υπάρχει οδηγός για «φωτοσταθερά». Τέτοιος οδηγός μπορεί να είναι περιμετρικά φωτοσταθερά, τα οποία να έχουν οριστεί πριν από την φωτογράφιση του μοντέλο που θέλουμε να ερμηνεύσουμε και να βρίσκονται γύρω ή ακόμα και πάνω στο μοντέλο (Εικόνα 7.13). Όσα περισσότερα είναι τα φωτοσταθερά τόσο μεγαλύτερη ακρίβεια προκύπτει. Επτά φωτοσταθερά περιμετρικά του μοντέλου δίνουν μία ικανή ακρίβεια.

7.5.3 Πορεία εργασιών για την εφαρμογή της φωτοερμηνείας

Αρχικά εντοπίζεται στα ζεύγη των φωτογραφιών το εξεταζόμενο τμήμα που θέλουμε να εξετάσουμε και ελέγχεται η καταλληλότητά τους. Οι φωτογραφίες πρέπει να είναι σε ψηφιακή μορφή, ενώ εάν βρίσκονται σε αναλογική μορφή πρέπει να μετατραπούν με την βοήθεια σαρωτών από αναλογική μορφή σε ψηφιακή μορφή..

Η εισαγωγή των συντεταγμένων των φωτοσταθερών (Φ/Σ) και ο προσδιορισμός των σημείων σύνδεσης γίνονται σε Ψηφιακό Φωτογραμμετρικό Σταθμό (ΨΦΣ) και δίνουν πληροφορία για τον υπολογισμό των αγνώστων συντεταγμένων.

7.5.4 Μετρήσεις

Ο εσωτερικός προσανατολισμός των φωτογραφιών γίνεται με μετρήσεις των τεσσάρων εικονοσημάτων (ευδιάκριτων χαρακτηριστικών σημείων) της κάθε φωτογραφίας. Τα εικονοσημάτα αυτά έχουν σημειωθεί και μετρηθεί από πριν για κάθε φωτογραφία. Ο εσωτερικός προσανατολισμός κατά την επίλυση του παρουσιάζει τυπικές αποκλίσεις των σφαλμάτων των πέντε μικρομέτρων.

Σε κάθε μοντέλο σκοπεύονται τουλάχιστον δέκα σημεία σύνδεσης φωτογραφιών τα οποία επιλέγονται έτσι ώστε να κατανέμονται καλύτερα στο χώρο και την περιοχή του μοντέλου που θα χρησιμοποιηθεί για απόδοση. Επιπλέον μετρούνται σημεία σύνδεσης με τις γειτονικές λωρίδες, όπου αυτό είναι απαραίτητο (για περισσότερες από δύο φωτογραφίες).

Μετρούνται επίσης όσα από τα προσημασμένα φωτοσταθερά φαίνονται σε κάθε μοντέλο. Τα φωτοσταθερά έχουν οριστεί πριν από την φωτογράφιση του μοντέλου έτσι ώστε να διευκολυνθεί η επεξεργασία της εικόνας του.

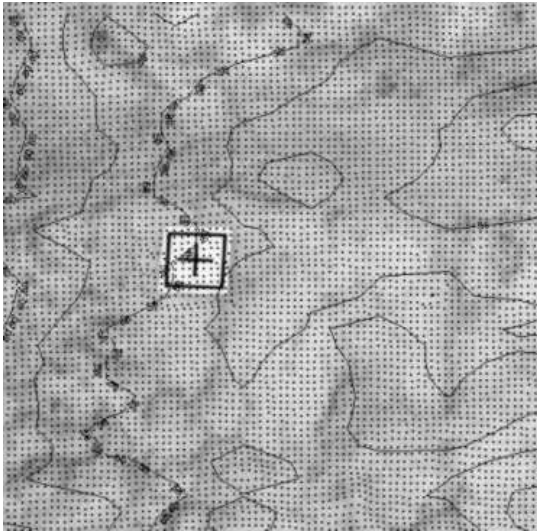
7.5.5 Επίλυση τριγωνισμού

Αφού ολοκληρωθούν οι μετρήσεις του εσωτερικού, σχετικού και απόλυτου προσανατολισμού γίνεται η επίλυση του τριγωνισμού με το λογισμικό Ψηφιακού Φωτογραμμετρικού Σταθμού, που χρησιμοποιεί τη μέθοδο δέσμης. Είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί το λογισμικό επίλυσης δεσμών Photo-T.

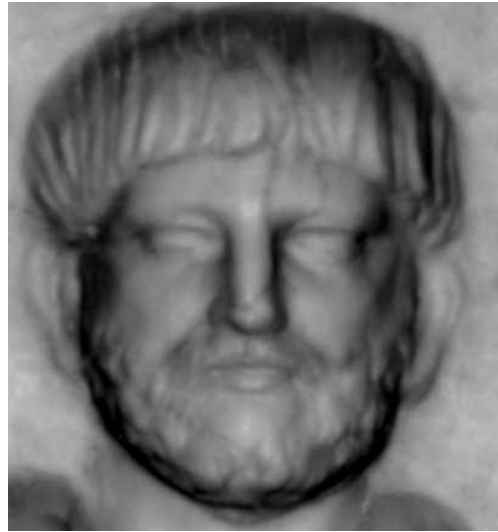
Στόχος της επίλυσης τριγωνισμού (Εικόνα 7.14) είναι ο υπολογισμός των συντεταγμένων όλων των σκοπευθέντων σημείων, φωτοσταθερών και σημείων σύνδεσης, του απόλυτου προσανατολισμού κάθε ζεύγους που σχετίζεται με τους εξωτερικούς προσανατολισμούς των αντίστοιχων εικόνων. Η επίλυση γίνεται με συνόρθωση περισσοτέρων παρατηρήσεων από τις απαιτούμενες για τον υπολογισμό των αγνώστων παραμέτρων. Εκτός των παραπάνω στοιχείων εντοπίζονται και διορθώνονται ή απομονώνονται τυχόν χονδροειδή σφάλματα στις μετρήσεις, ενώ τα εναπομείναντα σφάλματα των μετρήσεων αντιμετωπίζονται με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ακρίβεια αποτελεσμάτων.

Στην υποπεριοχή του μοντέλου αποδίδονται στερεοσκοπικά με τη βοήθεια Ψηφιακού Φωτογραμμετρικού Σταθμού, οι γραμμές αλλαγής κλίσης, οι σχεδιαστικοί άξονες και η κατεύθυνσή τους, τα σημεία αιχμής (άκρη μύτης), οι κοιλότητες (βλέφαρα, χείλη), οι αυχένες (όπως ο αυχένας της μύτης) καθώς και μεμονωμένα σημεία. Στη συνέχεια αποδίδεται στερεοσκοπικά το ψηφιακό μοντέλο (DTM), σε κানাβο με διαστάσεις οι οποίες εξαρτώνται από την ακρίβεια που επιδιώκεται. Για

παράδειγμα, για την κατασκευή κεφαλιού σε κλίμακα 1:1 θα μπορούσε να γίνει η απόδοση με κάναβο 5X5cm και πυκνώσεις σημείων σε συγκεκριμένα μέρη λεπτομερειών.



Εικόνα 7.14: Επίλυση τριγωνισμού του ψηφιακού μοντέλου, λεπτομέρεια



Εικόνα 7.15: Ορθοεικόνα του ρωμαϊκού ανάγλυφου, λεπτομέρεια

Αφού φτιαχτεί το ψηφιακό μοντέλο, μπορούν να παραχθούν ορθοεικόνες με την χρήση κατάλληλου λογισμικού. Οι ορθοεικόνες περιέχουν πληροφορίες που είναι σχετικές με τα υψόμετρα και συντεταγμένες του αντικειμένου (Εικόνα 7.15).

Με την σύνδεση ορθοεικόνων από διαφορετικές όψεις ενός γλυπτού δημιουργείται το τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο.

7.5.6 Παράδειγμα εφαρμογής

Τον Ιούλιο του 1999 η εταιρία Danfab (μεταλλικές κατασκευές) ξεκίνησε την κατασκευή ενός μνημείου-ρολογιού ύψους 10 m στην πόλη Melton. Το μνημείο στηρίζεται σε περιστρεφόμενη βάση ύψους 2,8 m.

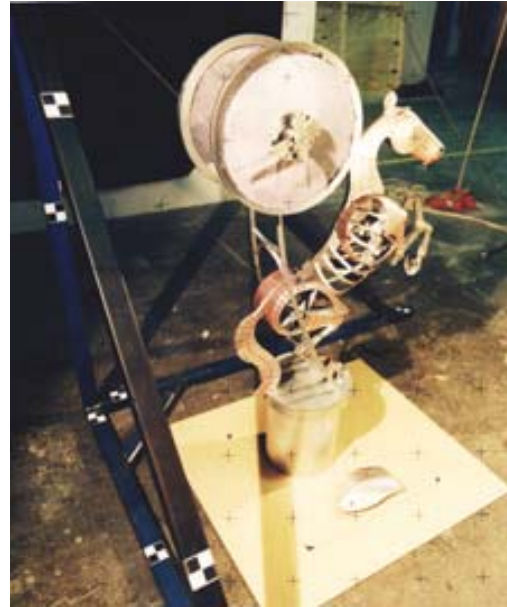
Σχεδιάστηκαν εικαστικές προτάσεις από διάφορους καλλιτέχνες και το γλυπτό που επιλέχθηκε κατασκευάστηκε σε μέγεθος περίπου ενός μέτρου (κλίμακα 1:10) από πλαστικά υλικά και ξύλο (Εικόνα 7.16,7.17).

Το γλυπτό που κατασκευάστηκε φωτογραφήθηκε, οι εικόνες επεξεργάστηκαν με την μέθοδο της φωτοερμηνείας και δημιουργήθηκε ένα τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο. Το τρισδιάστατο μοντέλο εβοήθησε στην διαμόρφωση της τελικής μορφής της οποίας η επεξεργασία πραγματοποιήθηκε με φωτορεαλιστικές απεικονίσεις, καθώς επίσης και στον σχεδιασμό της κατασκευής του έργου.

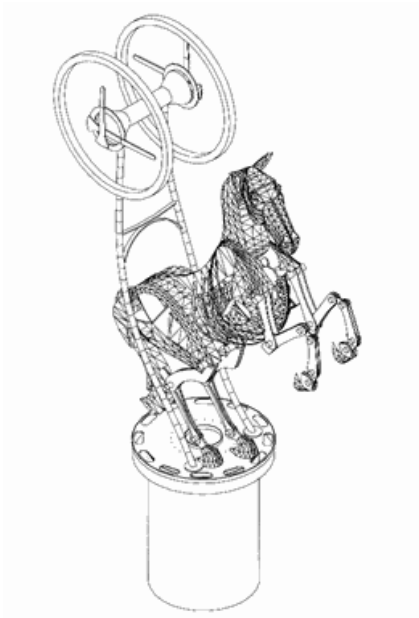
Η κατασκευή του έργου έγινε από χάλυβα και στο τρισδιάστατο μοντέλο έγινε ο σχεδιασμός και ο υπολογισμός των φορέων του έργου καθώς επίσης και όλων των κατασκευαστικών λεπτομερειών του (Εικόνες 7.18, 7.19, 7.20).



Εικόνα 7.16: Η εικαστική πρόταση



Εικόνα 7.17: Κατασκευή του έργου σε κλίμακα 1:10



Εικόνα 7.18: Τρισδιάστατο ψηφιακό μοντέλο



Εικόνα 7.19: Φωτορεαλιστική απεικόνιση του τρισδιάστατου ψηφιακού μοντέλου



Εικόνα 7.20: Το γλυπτό μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής

7.6 Παρατηρήσεις σχετικές με τις σύγχρονες μεθόδους ανάγνωσης και σχεδιασμού

Μετά την δημιουργία του ανάγλυφου του μοντέλου τα σχέδια και οι ορθοεικόνες που δημιουργούνται μπορούν να βοηθήσουν τον γλύπτη στην κατασκευή ενός γλυπτού και στην απόδοση ζωντανών μοντέλων. Η φωτογραμμετρική απόδοση γλυπτών είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για την αλλαγή της κλίμακάς τους. Εκτός των ανωτέρω η παραγωγή ενός ψηφιακού μοντέλου ενός έργου, μπορεί να βοηθήσει εργασίες συντήρησης και αποκατάστασης του έργου (Εικόνα 7.21).



Εικόνα 7.21: Ψηφιακό μοντέλο του κεφαλιού του Δαβίδ του Μιχαήλ Άγγελου

Η φωτοερμηνεία ως μέθοδος για την αποτύπωση ενός μοντέλου σίγουρα είναι σύνθετη και πολύπλοκη η διαδικασία η οποία απαιτεί εξειδικευμένα μηχανήματα και προσωπικό. Όμως, ο εντοπισμός των συντεταγμένων συγκεκριμένων σημείων θα βοηθούσε να απεικονιστεί σε οποιοδήποτε χώρο και σε οποιαδήποτε κλίμακα το οποιοδήποτε μοντέλο. Αυτό θα οδηγούσε σε αξιόπιστη πρώτη εκτίμηση της κατασκευής του σκελετού αλλά και των επιφανειών που θα διαμορφώσουν την τελική επιφάνεια του έργου.

Γενικά, όμως η φωτοερμηνεία δεν μπορεί να δώσει λύσεις σε κάθε πρόβλημα. Αν για παράδειγμα ένας ο γλύπτης, θέλει να μεγεθύνει ένα έργο, αυξάνει διαδοχικά το μέγεθος του έργου. Ένα έργο που έχει ύψος 10 cm και επιθυμούμε να γίνει 4 m θα κατασκευαστεί αρχικά σε ύψος 0,5 m, μετά σε ύψος 1 m μετά σε ύψος 2 m και τελικά σε ύψος 4 m (ενδεικτικά στάδια). Καθ' όλες αυτές τις μεταφορές λοιπόν ο γλύπτης θα κάνει οπτικές διορθώσεις στο έργο οι οποίες είναι απαραίτητες για την κατασκευή ενός μεγάλου έργου.

8 Εισαγωγή στην δημιουργία

8.1 Ο χώρος της δημιουργίας

Σίγουρο είναι ότι τα μεγάλα έργα καλλιτεχνικών δημιουργών αρχικά δεν έχουν σχέση με την υλική τους υπόσταση. Τα μεγάλα έργα φωτίζουν τους καλλιτέχνες από μέσα τους και το φως που προσλαμβάνει η καλλιτεχνική φύση πρέπει να το διαμορφώσει σε Υλικό, Σύμβολο, Μήνυμα.

Αυτή η αλληλεπίδραση αποτελεί δημιουργική πρόκληση για τον καλλιτέχνη. Το φως που ακτινοβολεί εσωτερικά στον καλλιτέχνη, η φυσιογνωμία του έργου που υπάρχει μέσα του, είναι άσχετο με την κατασκευαστική δραστηριότητα. Όμως είναι απαραίτητο το φως αυτό να μορφοποιηθεί, να πάρει σχήμα. Αυτή η σχέση αλληλεπίδρασης εσωτερικό φως-καλλιτέχνης-υλικά διαμορφώνεται από συγκεκριμένο χώρο, μέσα στο εργαστήριο του καλλιτέχνη.

Η σχέση του καλλιτέχνη με τον χώρο στον οποίο δημιουργεί αποτελεί μία ιδιαίτερη περίπτωση ανθρώπου-χώρου. Ο χώρος πρέπει να είναι κατάλληλος να εξυπηρετεί λειτουργικές ανάγκες και να εμπνέει τον καλλιτέχνη για την δημιουργία του. Όμως ο κάθε δημιουργός πρέπει να γίνεται ακροατής και αρωγός του χώρου του για να μπορέσει να μορφοποιήσει τα υλικά του σε έναν ιδανικό χώρο.

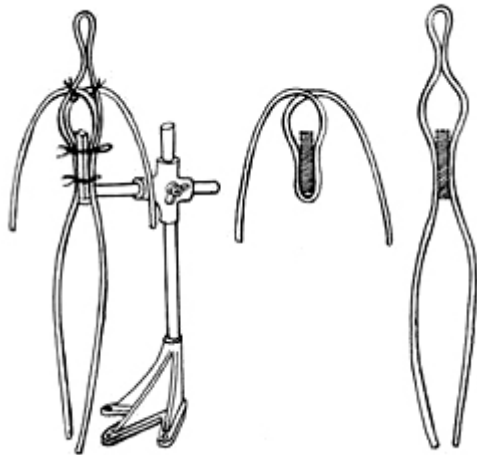
Έτσι ο καλλιτέχνης αποκτά μία ιδιαίτερη σχέση με τον χώρο και τα εργαλεία του δημιουργώντας τις κατάλληλες συνθήκες που θα του επιτρέψουν την ιδανική εργασία και τελικά την δημιουργία του. Οι προϋποθέσεις της ιδανικής εργασίας δεν ορίζονται μονοσήμαντα. Για παράδειγμα, ένας καλλιτέχνης μπορεί να επιζητά το φυσικό φως κατά την διάρκεια της δημιουργίας του (όπως ο Moore) ή να προσπαθεί να απομονώσει τον φυσικό φως κατά την διάρκεια της δημιουργία του (όπως έκαναν ο Rodin και ο Caravaggio).

Για να δημιουργηθεί ένα γλυπτό υπάρχουν διάφοροι κατασκευαστικοί τρόποι. Ο συνηθέστερος τρόπος παρουσιάζεται σε παρακάτω παραγράφους και αποτελεί μία συνηθισμένη τεχνική διαδικασία η οποία οδηγεί στην δημιουργία ενός γλυπτού.

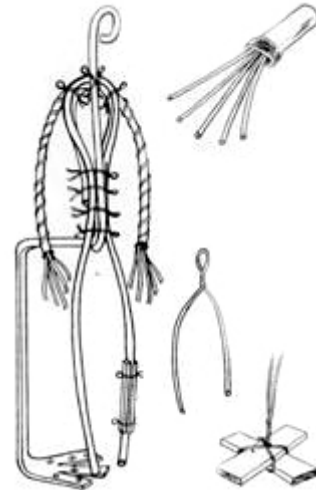
Ανάλογα με την μορφή υπάρχουν έργα που ευνοούνται από την τεχνική και άλλα τα οποία δεν ευνοούνται από την τεχνική. Ο αυτοσχεδιασμός επάνω στην τεχνική πραγματοποιείται κυρίως σε έργα μικρού μεγέθους. Συνήθως όμως, όταν δημιουργούνται μεγάλα έργα, είναι απαραίτητο να ακολουθηθεί μία διαδικασία (σκελετός του έργου-πρόπλασμα) έτσι ώστε να υπάρχει πιστότητα στην μεταφορά της αντίληψης που έχει ο καλλιτέχνης για το έργο.

8.2 Σκελετός – οπλισμός (αρματούρα)

Για την μορφοποίηση του προπλάσματος είναι απαραίτητος ο σχεδιασμός του σκελετού του έργου πριν από την κατασκευή του. Αυτό γιατί τα εύπλαστα υλικά κατά την φάση της επεξεργασίας τους πριν από την σκλήρυνση δεν δύνανται να φέρουν το ίδιο βάρος του έργου (Εικόνες 8.1, 8.2).



Εικόνα 8.1: «Αρματούρα» για μικρά γλυπτά [70]

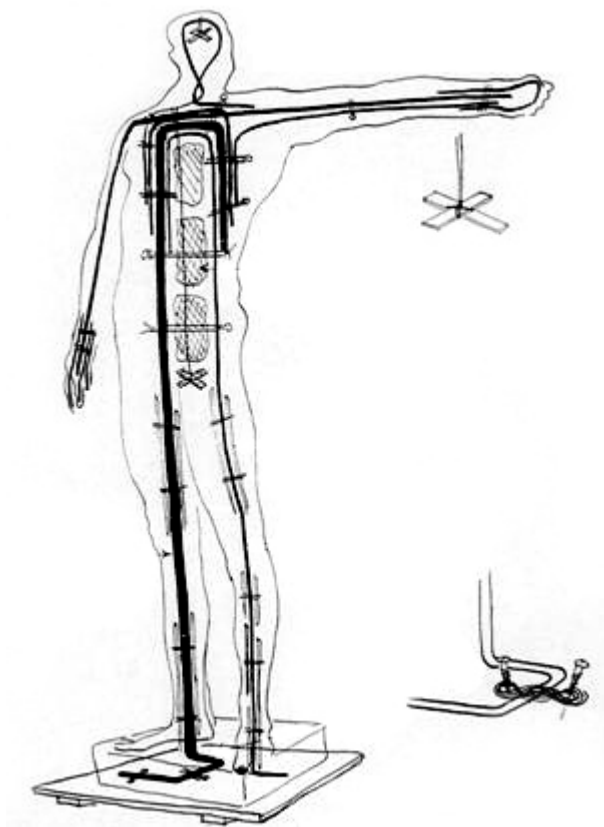


Εικόνα 8.2: Σύνθετη «αρματούρα» για μεσαίου μεγέθους γλυπτό [70]

Σε ορισμένες περιπτώσεις αντί του σκελετού επιλέγεται η κατασκευή του έργου από μέσα προς τα έξω από εύπλαστο υλικό με διαδοχική σκλήρυνση του υλικού.

Η διαδικασία αυτή δεν είναι ιδιαίτερα δόκιμη καθότι μπορεί να δημιουργηθούν απρόβλεπτες συνέπειες κατά την διάρκεια της κατασκευής (αστοχία του εσωτερικού μέρους του υλικού) και να μην είναι δυνατή η επισκευή του έργου. Εξάλλου η λύση αυτή είναι δυνατή όταν έχουμε να κάνουμε με μικρούς όγκους υλικού δηλαδή με γλυπτά μεγέθους 10-30 cm. χωρίς ανοίγματα (χέρια, πόδια σε έκταση). Η λύση αυτή διευκολύνει στην δημιουργία της μακέτας ενός γλυπτού.

Ο ρόλος της αρματούρας είναι να υποστηρίζει τον πηλό ή οποιοδήποτε άλλο υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή ενός γλυπτού. Η αρματούρα έχει ιδιαίτερη σημασία εάν το έργο το οποίο κατασκευάζεται έχει μεγάλες εκτάσεις και προβόλους λεπτής διατομής όπως χέρια σε έκταση τα οποία χρειάζονται υποστήριξη. Ανεξάρτητα εάν η τελική στρώση γίνει από πηλό, γύψο, κερί, ή άλλα μέσα, η υποστήριξη ενός έργου μέσω της αρματούρας είναι η πρώτη βασική αρχή που πρέπει να αναπτύξει ένας εκπαιδευόμενος γλύπτης την επιδεξιότητά του.



Εικόνα 8.3: Αρματούρα για γλυπτά μεγάλου μεγέθους [60]

Υπάρχουν πολλοί τρόποι για να κατασκευαστεί μία αρματούρα.

Ένας απλός τρόπος για να γίνει είναι μια μεταλλική ή ξύλινη βέργα στερεωμένη σε ένα ξύλινο υποστήριγμα. Για την δημιουργία μιας τέτοιας κατασκευής σε ένα κομμάτι ξύλου ανοίγεται μία οπή. Μέσα στην οπή αυτή προσαρμόζεται το μεταλλικό ή το ξύλινο υποστήριγμα. Απλούστερα, για μονολιθικές μορφές (όπως ένα κεφάλι) είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν ως αρματούρες μπουκάλια ή άλλου είδους αντικείμενα.

Είναι απαραίτητο η αρματούρα να είναι ακριβής, μολονότι η χρήση της είναι τέτοια ώστε να δώσει το γενικό σχήμα του τελικού γλυπτού. Αυτό γιατί η αρματούρα αποτελεί τον οδηγό της κατασκευής και μια άσχημα σχεδιασμένη αρματούρα, μπορεί εύκολα να οδηγήσει σε κατασκευαστικά λάθη (λάθος

ανατομικές αναλογίες) ιδιαίτερα όταν έχουμε να πραγματευτούμε με ένα ανθρώπινο μοντέλο.

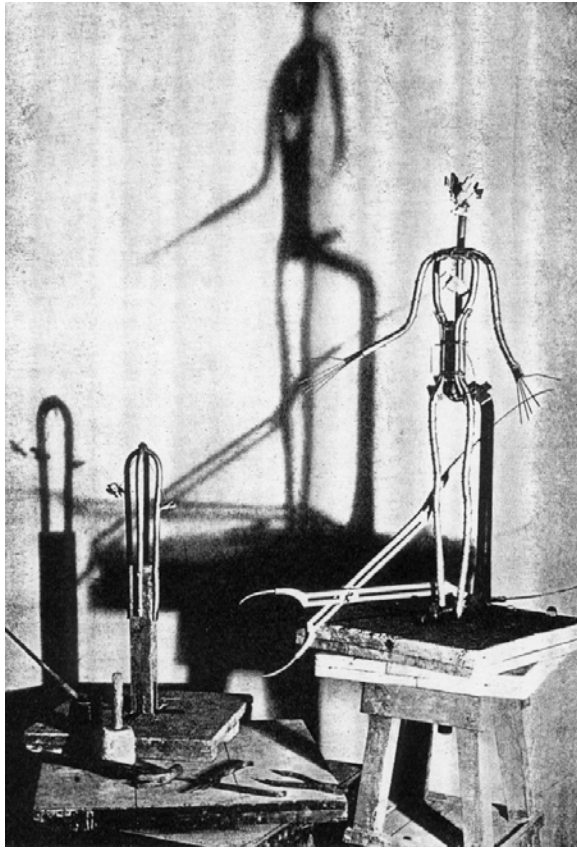
Άλλη σημαντική παράμετρος είναι ότι η αρματούρα πρέπει να είναι μικρότερη από το τελικό έργο. Πρέπει δηλαδή να περιέχεται στην μορφή (Εικόνα 8.3).

Εάν το σχεδιαζόμενο γλυπτό έχει «ανοίγματα» όπως για παράδειγμα εκτάσεις χεριών ή ποδιών απαιτείται μια περισσότερο σύνθετη διαδικασία. Η καλύτερη μέθοδος για μικρά γλυπτά μέχρι περίπου 30 εκατοστά είναι το ατσάλινο σύρμα. Πρέπει λοιπόν να επιλεγεί τέτοιο ατσάλινο σύρμα έτσι ώστε να κάμπτεται εύκολα. Ακολούθως το σύρμα αυτό πρέπει να κολληθεί σε ξύλινη βάση ή ενδεχομένως σε μεταλλική πλάκα. Στην συνέχεια το σύρμα πρέπει να μορφοποιηθεί έτσι ώστε να περιέχεται σε χώρο της μορφής του έργου.

Η σύνδεση μετάλλου και ξύλου είναι το δεύτερο βήμα στην κατασκευή μίας αρματούρας. Το ξύλο μπορεί να κολληθεί επάνω στο μέταλλο ή και να στερεωθεί επάνω σε αυτό.

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό η αρματούρα να κατασκευάζεται ισχυρή και σταθερή. Δεν υπάρχει τίποτε δυσμενέστερο από κατασκευή μιας σύνθετης αρματούρας η οποία καταρρέει κατά την διάρκεια της κατασκευής του προπλάσματος. Ο πηλός και ιδιαίτερα ο γύψος ανάλογα με το μέγεθος του έργου μπορεί να αποτελέσουν σημαντικά φορτία στην καταπόνησή της.

Ο καλύτερος τρόπος για την κατασκευή μιας αρματούρας, ιδιαίτερα σε μεσαίου και μεγάλου μεγέθους έργα είναι με μεταλλικά στοιχεία συνδεδεμένα με οξυγονοκόλληση (Εικόνα 8.4).



Εικόνα 8.4: Αρματούρα [81]

συρμάτινα δικτύωμα που περιγράφουν στον χώρο την τελική επιφάνεια της κατασκευής μειώνεται το απαιτούμενο υλικό.

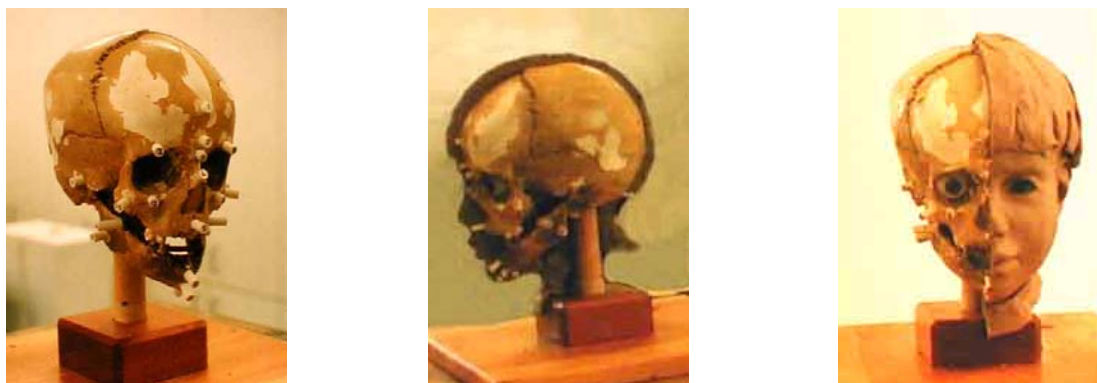
Σύνηθες σφάλμα που παρατηρείται στις αρματούρες είναι ότι ο σκελετός της αρματούρας δεν ακολουθεί την μορφή του φυσικού σκελετού (για παράδειγμα η μορφή της λεκάνης θα μπορούσε να σχηματιστεί επάνω στην αρματούρα). Η παράλειψη αυτού του σχεδιασμού, πολλές φορές, παρασύρει σε λάθος κατασκευαστικές λύσεις. Η κατασκευή ενός σκελετού όμοιου με τον φυσικό σκελετό βοηθάει έναν καλλιτέχνη και αποτελεί οδηγό για την κατασκευή του γλυπτού.

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα αναπτύχθηκε στη Μόσχα από τον Michail M. Gerasimov μία τεχνική στην οποία ως σκελετός του έργου χρησιμοποιείται η πραγματική εσωτερική δομή ενός σώματος, δηλαδή τα οστά του (Εικόνα 8.5) [32]. Σύμφωνα με την τεχνική αυτή είναι καθορισμένες οι αποστάσεις της τελικής επιφάνειας του δέρματος από τα οστά. Με τον τρόπο αυτό αναπαράγονται προτομές που εκτιμάται ότι είναι πολύ κοντά στην πραγματική μορφή των ανθρώπων. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται ευρέως στην ανθρωπολογία και στην ταυτοποίηση μη αναγνωρισμένων πτωμάτων.

Η κατασκευή των μεγάλων έργων διευκολύνεται με την σωστή κατασκευή αρματούρας.

Όταν κατασκευάζονται μεγάλα έργα, αφού τα κεντρικά στελέχη της αρματούρας έχουν κατασκευασθεί με μεταλλικό σκελετό, τυλίγεται ένα λεπτό σύρμα γύρω από τον μεταλλικό σκελετό της αρματούρας. Μετά το τύλιγμα του σύρματος πάνω στην αρματούρα το σύρμα αναπτύσσεται και στον χώρο με την βοήθεια ξύλινων στοιχείων δημιουργώντας ένα είδος συρμάτινου δικτύωματος. Το σύρμα παίζει σημαντικό ρόλο διότι:

- Στην χρήση της γύψου, η γύψος ολισθαίνει μέσα στο σύρμα και το σύρμα λειτουργεί σαν οπλισμός που ενισχύει την αρματούρα και το ίδιο το έργο.
- Στην οικονομία του υλικού. Χρησιμοποιώντας τα πρόχειρα



Εικόνα 8.5: Εφαρμογή της μεθόδου του Michail M. Gerasimov από τον γλύπτη Steve Lester

8.3 Υλικά κατασκευής

Γενικά

Τα υλικά που χρησιμοποιηθούν στην μορφοποίηση ενός έργου χωρίζονται κυρίως σε τρεις γενικές κατηγορίες.

1. Υλικά κατασκευής γλυπτού
2. Υλικά ένωσης και σταθεροποίησης
3. Υλικά χρωματισμού

Τα υλικά της κατασκευής του γλυπτού περιλαμβάνουν πηλό, γύψο, πεπιεσμένο χαρτί, ξύλο, πέτρα, ελαφρό σκυρόδεμα, κράματα σιδήρου, κράματα χαλκού κ.α.

Στην συναρμολόγηση ενός γλυπτού εκτός των καθιερωμένων συγκολλητικών μέσων (ηλεκτροκολλήσεις, οξυγονοκολλήσεις, κόλλες διαφόρων τύπων κ.ο.κ), μπορεί να χρησιμοποιηθούν υλικά καθημερινής χρήσεως. Τα υλικά ένωσης και σταθεροποίησης μπορεί να είναι και ξύλινοι πύροι για την ένωση ξύλινων κομματιών, βίδες, ούπα, παξιμάδια, ροδέλες βέργες συνδετήρες.

Τα υλικά χρωματισμού είναι χρώματα διαφόρων τύπων με τα οποία συνήθως επιδιώκουμε να μην καλύπτουν ολοκληρωτικά την επιφάνεια του γλυπτού ώστε το υλικό να αποκαλύπτεται μέσα από αυτά. Συνήθως, στην γλυπτική χρησιμοποιούνται χημικές ουσίες οι οποίες αντιδρούν με το υλικό και «πατινάρουν» την επιφάνεια του υλικού χρωματίζοντάς το. Έτσι αποκαλύπτεται το υλικό, πράγμα το οποίο είναι ιδιαίτερα σημαντικό ώστε να αναδεικνύεται η καλλιτεχνική δημιουργία ενός γλυπτού.

Τα υλικά που συνήθως χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ενός έργου είναι τα εξής [74]:

Πηλός

- Κατασκευή προπλάσματος, μόρφωση, βοηθητικές χρήσεις

- Ο λεπτόκοκκος πηλός και ο πηλός με πρόσθετους κόκκους ψημένου πηλού είναι οι δύο βασικοί τύποι
- Ο λεπτόκοκκος πηλός χρησιμοποιείται για γλυπτά από τα οποία θα κατασκευαστεί αντίγραφο σε άλλο υλικό και στην περίπτωση που πρέπει να τονίζονται οι λεπτομέρειες του πηλού. Ο πηλός με κόκκους ψημένου πηλού είναι κατάλληλος για μεγάλα γλυπτά.
- Ο πηλός είναι εύχρηστο υλικό για την κατασκευή προπλασμάτων και παρουσιάζει πολύ καλή συμπεριφορά. Κατά την διάρκεια της σκλήρυνσης συστέλλεται, ενώ όταν δεν είναι καλά συμπυκνωμένος και έχει εγκλωβιστεί αέρας στο εσωτερικό του μπορεί να παρουσιάσει ρωγμές. Στην περίπτωση γλυπτού από πηλό με αρματούρα, πρέπει να βγει εκμαγείο του έργου πριν ο πηλός σκληρυνθεί γιατί λόγω της συστολής που θα παρουσιάσει κατά την σκλήρυνση θα ρηγματωθεί.

Φυσικοί λίθοι

- Σκάλισμα (αφαιρετική μέθοδος)
- Τα είδη των φυσικών λίθων ποικίλουν. Ανάλογα με το είδος του φυσικού λίθου, διαφοροποιείται το χρώμα, η υφή της επιφάνειας του και η ευχέρεια του σκαλίσματος.
- Η σκληρότητα του φυσικού λίθου και οι εσωτερικές ρωγμές που μπορεί να περιέχει το υλικό είναι τα κύρια στοιχεία που μπορεί να επηρεάσουν μία κατασκευή. Ένας φυσικός λίθος, κατά την διάρκεια του σκαλίσματός του είναι δυνατόν να αποκαλύψει ρωγή σε τελείως ανεπιθύμητο σημείο και να οδηγήσει σε αστοχία όλου του έργου.
- Για να περιορίζονται οι κεκριμένες ασυνέχειες του υλικού επιλέγονται κατά το δυνατόν ισότροπα υλικά όπως το μάρμαρο, από ειδικευμένους χώρους κατεργασίας.
- Κατά την λείανση των φυσικών λίθων παράγεται λεπτή σκόνη η οποία δημιουργεί προβλήματα στο αναπνευστικό σύστημα. Για τον λόγο αυτό πρέπει κατά την κατεργασία των φυσικών λίθων να προστατεύεται η αναπνευστική δίοδος με μάσκα

Γύψος

- Κατασκευή εκμαγείων, κατασκευή προπλάσματος, σκάλισμα (αφαιρετική μέθοδος), κατασκευή αντιγράφων (χύτευση)
- Η γύψος χρησιμοποιείται κυρίως στην κατασκευή εκμαγείων και αντιγράφων.
- Η γύψος πρέπει να αποθηκεύεται πάντα σε ξηρό μέρος ώστε να μην απορροφά την υγρασία της ατμόσφαιρας. Αν απορροφήσει νερό, θα επιβραδυνθούν οι χρόνοι πήξης και σκλήρυνσης και θα επηρεαστεί η αντοχή του υλικού.
- Κατά την χρήση της διαχέεται στο χώρο λεπτή σκόνη της οποίας πρέπει να αποφεύγεται η εισπνοή. Για τον λόγο αυτό πρέπει κατά την χρήση της γύψου να προστατεύεται η αναπνευστική δίοδος.

Κονιάματα-σκυροδέματα

- Κατασκευή αντιγράφων (χύτευση), πλάσιμο
- Επιλέγεται τσιμέντο που κυκλοφορεί σε διάφορους τύπους στο εμπόριο τέτοιο ώστε όταν αναμιχθεί με νερό, άμμο και άλλο αδρανές υλικό προκύπτει συμπαγής μάζα (σκυρόδεμα)
- Το σκυρόδεμα είναι ανθεκτικό και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για γλυπτά εξωτερικών χώρων [24]
- Το σκυρόδεμα είναι υλικό εύκολο στην χρήση. Απαιτεί όμως ιδιαίτερη επιδεξιότητα το ανάπτυγμα της τελική υφής του έργου

Ελαφρόσκυρόδεμα

- Σκάλισμα (αφαιρετική μέθοδος)
- Το ελαφροσκυρόδεμα βρίσκεται στο εμπόριο σε πολλούς και διαφορετικού τύπους. Είναι ιδιαίτερα εύχρηστο στην κοπή και το σκάλισμα και ιδανικό για την κατασκευή γλυπτών με την αφαιρετική μέθοδο. Το ελαφροσκυρόδεμα δημιουργεί πολύ ενδιαφέρουσα υφή στο τελικό έργο.
- Το ελαφροσκυρόδεμα είναι ψαθυρό υλικό μικρής αντοχής και απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά το σκάλισμα για να μην αστοχήσει το έργο.

Ξύλο

- Σκάλισμα (αφαιρετική μέθοδος), κατασκευή
- Το ξύλο βρίσκεται σε πολλές μορφές στο εμπόριο, αλλά ο γλύπτης μπορεί να το προμηθευτεί και κατ' ευθείαν από την φύση (με κοπή κάποιου φυσικού ξύλου). Το ξύλο διατίθεται στο εμπόριο σε διαφορετικές διαστάσεις και σκληρότητες.
- Το επεξεργασμένο ξύλο είναι κατάλληλο για κατασκευές. Αυτό χρησιμοποιείται όταν δεν παίζει μεγάλο ρόλο η εμφάνιση αλλά η κατασκευαστική ποιότητα. Από την σκληρότητα του ξύλου εξαρτάται η ευκολία του σκαλίσματός του.

Κράματα σιδήρου

- Κατασκευή, χύτευση
- Ηλεκτροκόλληση, οξυγονοκόλληση, πριτσίωμα, σφυρηλάτηση, κατασκευή αντιγράφων (χύτευση)
- Τα κράματα σιδήρου διατίθενται σε διάφορες μορφές (ράβδους, σωλήνες, ελάσματα) και σε διάφορα μεγέθη κατάλληλα για την κάθε εργασία.
- Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που απαιτούνται για την κατεργασία τους όταν γίνεται χρήση τους πρέπει πάντα να παίρνονται ειδικά μέτρα.

Κράματα χαλκού

- Κατασκευή, χύτευση
- Οξυγονοκόλληση, πριτσίωμα, σφυρηλάτηση, κατασκευή αντιγράφων (χύτευση)

- Τα κράματα χαλκού διατίθενται σε διάφορες μορφές (ράβδους, σωλήνες, ελάσματα) σε διάφορα μεγέθη κατάλληλα για την κάθε εργασία.
- Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που απαιτούνται για την κατεργασία τους κατά την χρήση τους πρέπει πάντα να παίρνονται ειδικά μέτρα.
- Τα κράματα του χαλκού έχουν μικρότερες μηχανικές αντοχές από τα κράματα σιδήρου, ενώ παρουσιάζουν καλύτερη «χημική» αντοχή. Επίσης τα κράματα χαλκού έχουν καλύτερη συμπεριφορά κατά την χύτευσή τους και κατεργάζονται ευκολότερα.

Κερί

- Κατασκευή προπλάσματος, πλάσιμο, σκάλισμα, κατασκευή αντιγράφων (χύτευση)
- Ανάλογα με την ανάμιξη διαφόρων τύπων κεριών μεταβάλλεται η συμπεριφορά και η σκληρότητα του υλικού. Η συμπεριφορά του κεριού εξαρτάται επίσης και από την θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Ελαστικά

- Κατασκευή εκμαγείων
- Τα ελαστικά διατίθενται σε υγρά και σε στερεά μορφή. Τα ελαστικά πρέπει να αναμειχθούν με σκληρυντικό ή με άλλο τρόπο (π.χ. θέρμανση) ώστε να έρθουν σε ρευστή μορφή η οποία κατόπιν θα στερεοποιηθεί.
- Κατά την διαδικασία χρήσης τους είναι σημαντική η προσεκτική και ακριβής μέτρηση των συστατικών που θα απαιτηθούν
- Τα περισσότερα ελαστικά εκμαγεία διαρκούν αρκετό καιρό και για τον λόγο αυτό μπορεί να αποθηκεύονται και να χρησιμοποιούνται ξανά.

Ρητίνες

- Κατασκευή αντιγράφων (χύτευση), μόρφωση
- Η πολυεστερική ρητίνη είναι σύνθετο χημικό υγρό προϊόν που σκληραίνει με την προσθήκη ενός σκληρυντικού. Βρίσκεται σε διάφορους τύπους στο εμπόριο.
- Κατά την διαδικασία χρήσης της είναι σημαντική η προσεκτική και ακριβής μέτρηση των συστατικών που θα απαιτηθούν.
- Είναι ιδιαίτερα τοξική. Γενικά πρέπει να λαμβάνονται ειδικές προφυλάξεις.

Πεπιεσμένο χαρτί

- Κατασκευή προπλάσματος, μόρφωση
- Το πεπιεσμένο χαρτί προκύπτει από μικρά κομμάτια χαρτιού με ανάμιξη κόλλας ταπετσαρίας ή αραιωμένης κόλλας PVA
- Επειδή το πεπιεσμένο χαρτί ξηραίνεται σε μακρό χρονικό διάστημα, σκόπιμο είναι να κατασκευάζεται κατά στρώσεις ειδικότερα για τις κάθετες και «κρεμαστές» επιφάνειες.

- Όταν το πεπιεσμένο χαρτί στεγνώσει είναι ιδιαίτερα σκληρό και ανθεκτικό και μπορεί ακόμα και να λειανθεί.
- Για την χρήση του πεπιεσμένου χαρτιού πρέπει απαραίτητως να επιλέγονται συγκολλητικές ύλες (κόλλες) με πιστοποίηση του βαθμού επικινδυνότητάς τους από αξιόπιστο φορέα δεδομένου ότι πολλές εξ αυτών είναι ιδιαίτερα τοξικές.

Άμμος

- Μορφοποιείται κατά στάδια ή με εκμαγεία και χρησιμοποιείται στην κατασκευή προσωρινών έργων.
- Βρέχεται και συμπιέζεται έτσι ώστε να αποκτήσει αντοχή και πλάθεται με σχετικά εύκολο τρόπο.
- Χρησιμοποιείται για την κατασκευή μεγάλων έργων κυρίως για ειδικές εκδηλώσεις.

Πάγος

- Μορφοποιείται με την αφαιρετική μέθοδο για την κατασκευή προσωρινών έργων.
- Έχει υψηλές αντοχές και για τον λόγο αυτό είναι πολύ εύκολο να δημιουργηθούν εξαιρετικές μορφές.
- Όπως και η άμμος χρησιμοποιείται στην κατασκευή μεγάλων έργων κυρίως για ειδικές εκδηλώσεις.

Γυαλί

- Μορφοποιείται με διάφορους τρόπους όπως χύτευση, «φυσητό γυαλί» κ.α.
- Χρησιμοποιείται ευρέως στην γλυπτική συγκολλώντας διαμορφωμένες γυάλινες επιφάνειες έτσι ώστε το έργο αποκτά σταδιακά όγκο.
- Έχει ικανοποιητική αντοχή και είναι εύκολο να δημιουργηθούν εξαιρετικές μορφές.
- Έχει μεγάλο ειδικό βάρος.
- Έχει εξαιρετική αλληλεπίδραση με το φυσικό ή τεχνητό φως.

9 Πρόπλασμα

9.1 Γενικά

Πρόπλασμα λέγεται το αρχικό έργο στο οποίο ο γλύπτης δημιουργεί την μορφή του έργου (συνήθως από υλικό με κατάλληλο εργάσιμο). Ακολούθως το πρόπλασμα αυτό μεταφέρεται από το εύπλαστο υλικό σε σταθερότερο υλικό με διαδικασίες οι οποίες θα περιγραφούν.

Ο γλύπτης πρέπει να έχει εκ των προτέρων αποφασίσει σε τι υλικό θα κατασκευαστεί το τελικό έργο έτσι ώστε να μελετήσει το σχεδιασμό του. Το μάρμαρο παρουσιάζει προβλήματα στην κατασκευή μορφών με μεγάλες εκτάσεις, ενώ ο χαλκός παρουσιάζει δυσκολίες σε έργα μεγάλου μεγέθους γιατί απαιτείται η κατασκευή του χάλκινου έργου σε τμήματα και η σύνθεσή του.

Δεν είναι εύκολο να κατασκευαστούν μεγάλα έργα σε χαλκό από ένα εκμαγείο. Για τον λόγο αυτό, το εκμαγείο κατασκευάζεται σε πολλά τμήματα. Αυτό είναι και το κρισιμότερο σημείο της κατασκευής του έργου. Κατά την κατάτμηση του έργου, υπάρχει πιθανότητα να χαθούν από το έργο λεπτομέρειες που δεν είναι δυνατό να μεταφερθούν στο εκμαγείο. Για τον λόγο αυτό ο γλύπτης πρέπει να γνωρίζει την όλη διαδικασία της κατασκευής του έργου έτσι ώστε να μπορέσει να διευκολύνει τους κατασκευαστές του έργου για να υπάρχει η βέλτιστη ταύτιση του τελικού έργου με το πρόπλασμα. Η αποκατάσταση των λεπτομερειών στο τελικό έργο είναι δύσκολη διαδικασία και μερικές φορές αδύνατη.

Τα προπλάσματα διακρίνονται σε

- Μικρού μεγέθους (διαστάσεων περίπου) έως 20 εκατοστά
- Μεσαίου μεγέθους (διαστάσεων περίπου) έως 100 εκατοστά
- Μεγάλου μεγέθους (διαστάσεων περίπου) έως 200 εκατοστά
- Πολύ μεγάλου μεγέθους διαστάσεων άνω των 200 εκατοστά.

Για την κατασκευή ενός προπλάσματος μπορεί να χρησιμοποιηθούν διάφορα υλικά.

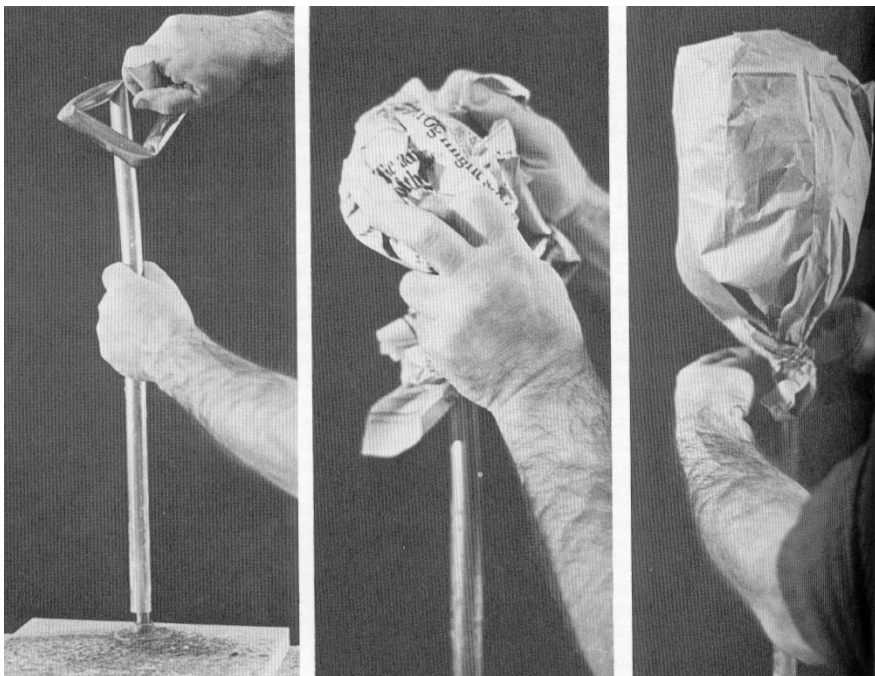
Παραδοσιακά χρησιμοποιείται ο πηλός (μικρού, μεσαίου, μεγάλου μεγέθους έργα), το φυσικό κερι (μικρού μεγέθους έργα) αλλά και η γύψος (μεσαίου, μεγάλου, πολύ μεγάλου μεγέθους έργα), ενώ σήμερα χρησιμοποιούνται πλήθος άλλων υλικών τα οποία συμπεριφέρονται αντίστοιχα με τον πηλό (πλαστελίνες ή πηλός βελτιωμένων ιδιοτήτων) για την ευκολότερη κατασκευή του προπλάσματος [59].

Ο πηλός είναι το περισσότερο συνηθισμένο μέσο που χρησιμοποιείται στα προπλάσματα της γλυπτικής. Μετά την κατασκευή της αρματούρας συμπιέζεται ο πηλός επάνω στο έργο. Ένας χρήσιμος τρόπος για να μορφοποιηθεί το υλικό επάνω στο έργο είναι να κοπεί σε φολίδες (2-7 cm

πάχους) ανάλογα με το μέγεθος του έργου και οι φολίδες να εφαρμοστούν σφιχτά επάνω στην αρματούρα. Έτσι θα δημιουργηθεί ένα αρχικό στρώμα επάνω στο οποίο αφού σκληρυνθεί μερικώς θα δημιουργηθούν επόμενα στρώματα που θα οδηγήσουν στην τελική επιφάνεια του έργου.

Η χρήση της γύψου στην κατασκευή ενός προπλάσματος διαφέρει από τον πηλό. Γενικά δεν θεωρείται δόκιμη η κατασκευή ενός προπλάσματος κατ' ευθείαν από γύψο. Το πρόπλασμα από γύψο είναι δυνατό να κατασκευάζεται επί μακρόν χρονικό διάστημα (κάτι που δεν συμβαίνει με τον πηλό) όπου ο γλύπτης μπορεί να εργαστεί χωρίς να της δίνει ιδιαίτερη φροντίδα. Όμως η γύψος βρίσκεται για πολύ λίγο χρόνο σε πλάσιμη κατάσταση, μέχρι την αρχή της σκλήρυνσης (λιγότερο από μισή ώρα). Ο χρόνος αυτός δεν επαρκεί στην περίπτωση που θα χρειαστεί να συλλογιστεί ο γλύπτης επάνω στο υλικό για να του δώσει την απαιτούμενη ογκοπλαστική διαμόρφωση. Έμπειροι γλύπτες χρησιμοποιούν την γύψο για την κατασκευή προπλασμάτων αλλά απαιτείται ιδιαίτερα αναπτυγμένη αντίληψη των ιδιοτήτων του υλικού και της ογκοπλαστικής σύλληψης που επιθυμούν να κατασκευάσουν.

Για την μείωση του όγκου του χρησιμοποιούμενου υλικού υπάρχουν πολλές λύσεις, κατά την διάρκεια εφαρμογής του στην αρματούρα (Εικόνα 9.1). Συνήθως τοποθετείται υλικό από ίνες γυψοτεχνείας, ή ύφασμα, τα οποία εμβαπτίζονται μέσα στην γύψο και μετά τοποθετούνται επάνω στο σκελετό πριν από την πήξη της. Συμπληρωματικά, είναι δυνατό σε επόμενες στρώσεις να εμβαπτίζεται η γύψος σε εφημερίδες για να μειώνονται το ίδιο βάρος του έργου. Έτσι διαμορφώνονται οι κύριοι όγκοι του έργου πριν την τελική επιφάνεια.



Εικόνα 9.1: Μείωση όγκου του χρησιμοποιούμενου υλικού σε αρματούρα προτομής

Επειδή η γύψος ανανακλά καλύτερα το φως από τον πηλό, έχει παρατηρηθεί ότι τα γύψινα προπλάσματα αποκαλύπτουν περισσότερο τις αδυναμίες που ενδεχομένως παρουσιάζονται, σε αντίθεση με τον πηλό.

Συνοπτικά, η επιλογή των βασικών υλικών (πηλού-γύψου) για την κατασκευή του προπλάσματος χαρακτηρίζεται από τις παρακάτω παραμέτρους:

- Η γύψος είναι υλικό στο οποίο όταν ακολουθηθεί η σωστή διαδικασία της χρήσης της δεν επιφυλάσσει μεγάλες εκπλήξεις (αστοχίες-ρηγματώσεις λόγω συστολών-διαστολών σκληρύνσεως που παρουσιάζονται στο βάθος χρόνου στον πηλό)
- Η επεξεργασία της γύψου δεν γίνεται με το χέρι. Για να δουλευτεί η γύψος χρησιμοποιούνται μαχαίρια κουτάλια και άλλα εργαλεία ενώ για να σκαλιστεί μπορεί να χρησιμοποιηθεί λίμα ή και καλέμι. Γενικά είναι δύσχρηστη εν σχέση με τον πηλό.
- Ο πηλός μπορεί να παραμείνει για αρκετό χρόνο σε μη σκληρηθίσα κατάσταση. Αντίθετα η πήξη της γύψου ξεκινάει σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα (10-15 λεπτά). Αυτό σημαίνει ότι αφού τοποθετηθεί η γύψος στο έργο σκληρύνεται και αφού σκληρυνθεί αφαιρείται με λίμα, καλέμι ή πριόνι από το έργο έτσι ώστε να μορφοποιηθεί η ογκοπλαστική πρόταση του γλύπτη. Για την μορφοποίηση του έργου με γύψο απαιτείται πολύ μεγάλη εμπειρία.

9.2 Πηλός

9.2.1 Γενικά

Υπάρχουν πολλοί και διαφορετικοί τύποι πηλού που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή ενός έργου από τους οποίους εξαρτάται και η τελική εμφάνιση και η τελική υφή του έργου.

Συνοπτικά τα είδη του πηλού που κυκλοφορούν σήμερα στο εμπόριο είναι τα εξής:

- Αερικός Πηλός: Αερικοί πηλοί είναι τα περισσότερα είδη πηλού που πρέπει να διατηρούνται σε υδαρή κατάσταση έως την χρήση τους στην κατασκευή του γλυπτού.
- Ζυμωτός πηλός: Συνήθως χρησιμοποιείται σαν υλικό για παιδιά. Είναι μαλακός, εύπλαστος και σκληραίνει μετά το τελικό πλάσιμο.
- Συνθετικός πηλός: Μετά την ανάμειξή του με νερό σκληραίνει και αποκτά αντίστοιχες αντοχές με την γύψο σε περίπου τριάντα λεπτά. Βάφεται με οποιοδήποτε χρώμα και με μικρή προστασία με βερνίκι είναι ανθεκτικός.
- Πολυμερής Πηλός: Εύπλαστος πηλός που υφίσταται όπτηση σε θερμοκρασίες $T = 150-200^{\circ}\text{C}$. Χρησιμοποιείται για μικρά κυρίως γλυπτά, (κούκλες μαριονέτες κ.λ.π.) καθώς επίσης και κοσμήματα από πηλό. Δίνει πολύ στιλπνή υφή στο τελικό έργο.

Από τα είδη πηλών που αναφέρθηκαν οι φυσικοί αερικοί πηλοί είναι το περισσότερο σύνηθες και ασφαλές υλικό για την κατασκευή του προπλάσματος [78].

Για τις συγκεκριμένες χρήσεις ως πηλό εννοούμε την άργιλο. Η άργιλος είναι προϊόν αποσάθρωσης αρχαϊκών πυριγενών πετρωμάτων, με βασικό συστατικό τον καολινίτη $2 \text{SiO}_2 \cdot 2 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Άργιλοι με περιεκτικότητα κόκκων μεγέθους μικρότερου των 2 μm ονομάζονται πηλοί, με κόκκους $2 \div 63$ μm χονδρόκοκκοι πηλοί ή ιλύς και με κόκκους μεγέθους μεγαλύτερου των 63 μm άμμος.

Οι κοινοί άργιλοι περιέχουν οξείδιο αργιλίου, πυριτίου, υδροξείδιο σιδήρου, οξείδια σιδήρου, οξείδια αλκαλίων, χαλαζία, ανθρακικό ασβέστιο και ανθρακικό μαγνήσιο και έχουν χρώμα κίτρινο ως ερυθρό. Τα καλύτερα είδη αργίλων έχουν χρώμα ανοικτό, τεφρό, κίτρινο και πράσινο-μπλε. Από τα είδη αυτά παράγονται κεραμικά προϊόντα λευκά, κίτρινα ή φαιά.

Οι συνήθεις πλαστικοί άργιλοι είναι μίγματα διαφόρων ορυκτών που περιέχουν ενώσεις υδροξειδίων του αργιλίου και πυριτικού οξέος, χαλαζία, υδροξειδίου του σιδήρου, οξειδίου του τιτανίου, ανθρακικού και πυριτικού ασβεστίου και μαγνησίου και πυριτικών αλκαλίων. Η δομική μονάδα των φυλλόμορφων αργίλων αποτελείται από φύλλα τετράεδρων πυριτίου ($\text{Si} (\text{O}_2 \text{OH})_4$) και οκτάεδρων ενός μετάλλου M ($\text{O}_2 \text{OH})_6$ όπου $M = \text{Al}^{+3}$, Mg^{+2} , $\text{Fe}^{+3,+2}$.

Η άργιλος είναι το υλικό που ίσως υπάρχει σε περισσότερη αφθονία στην γη από οποιοδήποτε άλλο υλικό. Υπολογίζεται ότι υπάρχουν 10^{25} gr αργίλων στην γη. Η ποσότητα αυτή ίσως φαίνεται μικρή αν πούμε ότι η συνολική μάζα του πλανήτη είναι $6 \cdot 10^{27}$ gr. Οι άργιλοι όμως είναι συγκεντρωμένοι στην εξωτερική στιβάδα ($2,5 \cdot 10^{25}$ gr). Για τον λόγο αυτό η άργιλος θεωρείται σημαντικό κλάσμα του μοναδικού τμήματος της γης που μπορούμε να μελετήσουμε άμεσα. Οι άργιλοι αποτελούν μια από τις σημαντικότερες πρώτες ύλες στην χώρα μας. Σήμερα η Ελλάδα είναι η δεύτερη μεγαλύτερη παραγωγός αργίλου στον κόσμο μετά τις ΗΠΑ.

Ο πηλός είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο υλικό για την κατασκευή σκευών καθημερινής χρήσεως και διακοσμητικών αντικειμένων. Αυτό γιατί ο πηλός μετά την όπτηση υαλοποιείται και προκύπτει το κεραμικό, υλικό με πολύ μεγαλύτερες αντοχές από αυτές του πηλού. Το πρώτο κεραμικό που σχηματίστηκε, εκτιμάται ότι ήταν ο πηλός που ήταν κάτω από την εστία μιας ανθρώπινης οικίας. Για να γίνει δυνατή η αναγνώριση των ιδιοτήτων του πηλού από τον πρωτόγονο άνθρωπο απαιτήθηκε χρόνος και εκτιμάται ότι για να αναπτυχθεί η κεραμική τέχνη χρειάστηκε μια μόνιμη εγκατάσταση του ανθρώπου σε περιοχή με στοιχειώδη κοινωνική οργάνωση. Εκτιμάται λοιπόν ότι η κεραμική τέχνη εμφανίστηκε μετά την εποχή της καρποσυλλογής και του κυνηγιού, κατά την περίοδο της ανάπτυξης της γεωργίας και της κτηνοτροφίας, δηλαδή προς το τέλος της νεολιθικής εποχής.

Η χρησιμότητα του πηλού στην αρχαιότητα εκτός από την διακοσμητική χρησιμοποιήθηκε την φαρμακευτική και στον καθαρισμό του ματιού. Οι φυλλόμορφοι άργιλοι ήταν γνωστοί και στους αρχαίους Αιγυπτίους ενώ ο Θεόφραστος στο σύγγραμμά του "Περί λίθων" αναφέρει ότι γινόταν εξόρυξη αυτών στη Μήλο και την Λήμνο. Κατά τους Μέσους Χρόνους και την Αναγέννηση η χρήση

των αργίλων εξαπλώθηκε σε ευρεία κλίμακα ενώ σήμερα χρησιμοποιούνται σε κατεργασμένη ή ακατέργαστη μορφή σε πολλές εφαρμογές.

Αξίζει να σημειωθεί η παρατήρηση του Bernal [7] για την σύνδεση των αργίλων με την ίδια την προέλευση της ζωής. Σύμφωνα με την υπόθεση αυτή ένα είδος φυλλόμορφου αργίλου ο μοντμοριλλονίτης αποτέλεσε το πρώτο υπόστρωμα για την καταλυτική σύνθεση των πρώτων βιομορίων. Αυτό συνάδει με την αντίληψη των Αλχημιστών που πίστευαν ότι «το σκοτάδι και ο πηλός δημιουργούν ζωή».

9.2.2 Πηλός και νερό

Το ευκατέργαστο και η ικανότητα συγκολλησεως του πηλού οφείλεται στα πολύ μικρού μεγέθους κρυσταλλικά σωματίδια ορισμένων ορυκτών και τη συμπεριφορά τους με το νερό.

Η ανάμιξη του πηλού με κατάλληλη ποσότητα νερού δίνει πολύ με κατάλληλο εργάσιμο. Το νερό δεν πρέπει να περιέχει άλατα που θα προκαλέσουν εξανθήματα κατά την ξήρανση των προϊόντων του πηλού. Οι πηλοί έχουν χαρακτηριστική μικροκρυσταλλική μορφή και αποτελούνται από πλακοειδείς κρυστάλλους με μεγάλη ποσότητα νερού ανάμεσά τους.

Λόγω των ιδιαίτερα μικρών διαστάσεων και της πλακειδοειδούς μορφής των αργιλικών ορυκτών, η αλληλεπίδραση μεταξύ των πλακιδίων διέπεται και από άλλες δυνάμεις πέραν της βαρύτητας και της τριβής μεταξύ των πλακιδίων. Ειδικότερα η επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων είναι ηλεκτρικά φορτισμένη, οι άνω και κάτω μεγάλες επιφάνειες φέρουν αρνητικά φορτία και η περιφέρεια (το πάχος) φέρει ίσα και αντίθετα θετικά φορτία. Οι επιφανειακές ηλεκτρικές δυνάμεις έλξης και άπωσης, που μειώνονται όσο περισσότερο χονδρόκοκκο είναι το υλικό κυριαρχούν στα λεπτόκοκκα υλικά. Η έντασή τους είναι αρκετά ισχυρότερη από τις δυνάμεις βαρύτητας. Περισσότερο συγκεκριμένα ο λόγος των ηλεκτρικών δυνάμεων (που είναι ανάλογες της επιφάνειας) προς τις δυνάμεις βαρύτητας (που είναι ανάλογες της μάζας) εξαρτάται από την ειδική επιφάνεια, δηλαδή το λόγο της επιφάνειας προς τη μάζα του πλακιδίου. Η ειδική επιφάνεια ενός σφαιρικού κόκκου μεσόκοκκης άμμου είναι $2.3 \text{ m}^2 / \text{Kg}$, ενώ η ειδική επιφάνεια του καολίνη είναι $15000 \text{ m}^2 / \text{Kg}$ και του μοντμοριλλονίτη είναι $800.000 \text{ m}^2 / \text{Kg}$.

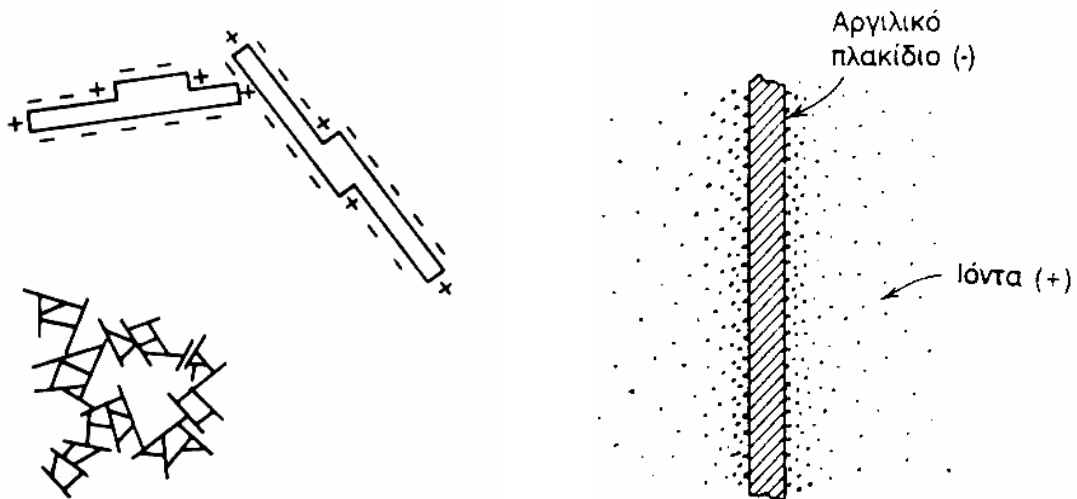
Η συμπεριφορά των αργιλικών υλικών επηρεάζεται σημαντικά από την παρουσία και την ποσότητα του νερού στους πόρους. Η επιρροή αυτή οφείλεται κυρίως στην ηλεκτρική αλληλεπίδραση του νερού από φορτισμένες επιφάνειες των αργιλικών πλακιδίων. Το μόριο του νερού αν και ηλεκτρικά ουδέτερο παρουσιάζει τις ιδιότητες ηλεκτρικού δίπολου με κέντρα θετικού και αρνητικού φορτίου που δεν ταυτίζονται. Τα ηλεκτρικά δίπολα έλκονται προς την ηλεκτρικά φορτισμένη επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων και προσροφώνται σε αυτή, δηλαδή συνδέονται ισχυρά με την επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων και αποτελούν ένα σώμα. Η έλξη των δίπολων του νερού προς τα αργιλικά πλακίδια είναι πολύ ισχυρή κοντά στην επιφάνεια και μειώνεται ραγδαία με την απόσταση από την

επιφάνεια, επειδή οι ηλεκτρικές δυνάμεις είναι αντιστρόφως ανάλογες του τετραγώνου της απόστασης. Έτσι δημιουργείται μια ζώνη γύρω από τα αργιλικά πλακίδια στην οποία το προσροφημένο νερό έχει ιδιότητες πολύ διαφορετικές από το ελεύθερο νερό που βρίσκεται έξω από την ζώνη αυτή. Η ζώνη-στρώση του προσροφημένου νερού γύρω από το αργιλικό πλακίδιο ονομάζεται διπλή στρώση επειδή αναπτύσσεται και στις δύο επιφάνειες του πλακιδίου. Η ύπαρξη και το μέγεθος της διπλής στρώσης είναι καθοριστικοί παράγοντες των μηχανικών ιδιοτήτων των αργίλων. Έτσι με την αύξηση της υγρασίας δηλαδή της ποσότητας του νερού στους πόρους των αργίλων αυξάνει αρχικά και το πάχος της διπλής στρώσης επειδή ένα μέρος του διαθέσιμου νερού προσροφάται στην επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων. Εάν το ποσοστό της υγρασίας αυξηθεί πέρα από κάποιο όριο, το πάχος της διπλής στρώσης γίνεται πολύ μεγάλο, οπότε τα μόρια του νερού που βρίσκονται στο απομακρυσμένο από τα πλακίδια όρια της διπλής στρώσης και είναι ασθενώς συνδεδεμένα με τη διπλή στρώση λόγω της πτώσης του ηλεκτρικού δυναμικού με την απόσταση, αποκτούν ιδιότητες ελεύθερου νερού (εμφανίζουν μικρή έως μηδενική διατμητική αντοχή). Κατά συνέπεια οι επαφές μεταξύ των πλακιδίων μέσω των μορίων του νερού που είναι ασθενώς συνδεδεμένα με τις διπλές στρώσεις οδηγεί στην βαθμιαία μείωση της διατμητικής αντοχής της αργίλου και στην μετάπτωσή της από τη στερεά μορφή (για μικρά ποσοστά υγρασίας) στην υδαρή κατάσταση. Αντίθετα η μείωση της υγρασίας έχει σαν συνέπεια την μείωση του πάχους των διπλών στρώσεων, την ισχυρότερη ηλεκτρική αλληλεπίδραση μεταξύ των αργιλικών πλακιδίων (έλξη της θετικά φορτισμένης περιφέρειας ενός πλακιδίου προς τις αρνητικά φορτισμένες παρειές ενός άλλου). Εάν το σύνολο του προσροφημένου νερού απομακρυνθεί (κεραμικά) τότε οι ηλεκτρικές δράσεις είναι ισχυρότατες λόγω της μικρής απόστασης και η διατμητική αντοχή μέγιστη. Στην περίπτωση αυτή η αλληλεπίδραση των πλακιδίων είναι τόσο ισχυρή που ακόμα και αν η άργιλος βραχεί, τα πλακίδια δεν απομακρύνονται και δεν επιτρέπουν την είσοδο νερού στους πόρους. Έτσι δεν είναι δυνατό να σχηματιστούν δίπολα προσροφημένου νερού. Για τον λόγο αυτό τα καλά κεραμικά δεν απορροφούν νερό και δεν χάνουν την αντοχή τους εάν βραχούν.

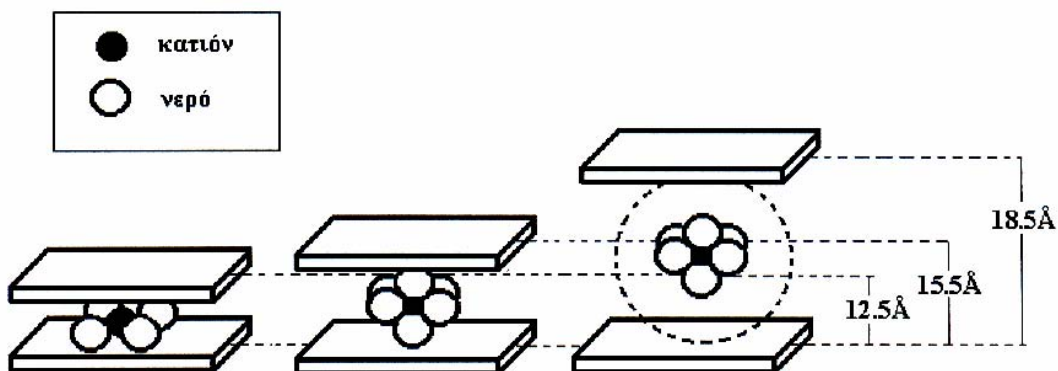
Οι άργιλοι λοιπόν διογκώνονται με το νερό. Γενικά, το ευκατέργαστο, η απορροφητικότητα και η συμπεριφορά του πηλού κατά την ξήρανση εξαρτώνται από την κοκκομετρική σύνθεση και ειδικότερα από το ποσοστό κόκκων μεγέθους μικρότερο των 2 μm. Τα αργιλοπυριτικά φύλλα των αργίλων συγκρατούνται σε παράλληλη διάταξη το ένα με το άλλο. Εάν η άργιλος τοποθετηθεί σε ένα πολικό διαλύτη π.χ. νερό, τα πολωμένα μόρια του διαλύτη εισέρχονται στον ενδοστρωματικό χώρο της αργίλου προκαλώντας την ενυδάτωση των κατιόντων με αποτέλεσμα την διόγκωσή του. Το νερό που υπάρχει ανάμεσα στους κρυστάλλους δρα σαν λιπαντικό και δημιουργεί ολίσθηση στους κρυστάλλους προσδίδοντας το ευκατέργαστο στον πηλό (Εικόνα 9.2, 9.3).

Μια πλαστική άργιλος μπορεί να συγκρατήσει μέχρι 70% του βάρους της σε νερό χωρίς να πλεονάζει. Η διαδικασία διόγκωσης εξαρτάται από το είδος του αντισταθμιστικού κατιόντος που υπάρχει στην σύνθεση της αργίλου. Στην άργιλο μίκα, εξαιτίας του μεγάλου της αρνητικού φορτίου τα

αντισταθμιστικά κατίοντα καλίου δεν ενυδατώνονται και συνεπώς δεν προκαλείται διόγκωση. Αντίθετα ο μοντμοριλλονίτης όταν εμβαπτιστεί σε νερό διογκώνεται λόγω της ενυδάτωσής των κατιόντων του και η διόγκωση αυτή μπορεί να οδηγήσει μέχρι πλήρους αποφυλλοποίησής του. Η διαδικασία διόγκωσης είναι αντιστρεπτή και η άργιλος επανέρχεται στην αρχική της κατάσταση με αφυδάτωση. Κατά την αντίστροφη διαδικασία οι κρύσταλλοι πλησιάζουν μεταξύ τους και χάνεται η εργασιμότητα του υλικού.



Εικόνα 9.2: Ηλεκτρικά φορτία στην επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων και προσροφημένα ιόντα νερού σε αργιλικό πλακίδιο



Εικόνα 9.3: Ηλεκτρικά φορτία στην επιφάνεια των αργιλικών πλακιδίων και προσροφημένα ιόντα νερού σε αργιλικό πλακίδιο

Η ιοναλλακτική ικανότητα των αργίλων είναι μία άλλη ιδιότητα ιδιαίτερης σημασίας για την αγγειοπλαστική. Η αντικατάσταση κατιόντων με κάλιο νάτριο και ασβέστιο χαμηλώνει το απαιτούμενο σημείο όπτησης και διευκολύνει την παραγωγή υαλωμάτων. Κατά την αρχαιότητα σε αιώρημα πηλού προστίθετο ποσότητα στάχτης με αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό της αργίλου με ιόντα καλίου. Αυτό γίνεται επειδή η στάχτη των ξύλων είναι πλούσια σε ανθρακικό κάλιο. Με την

εφαρμογή αυτού του αιωρήματος, στην επιφάνεια του κεραμικού δημιουργείται με την όπτηση ένα λεπτό αδιαπέραστο στρώμα, το «γάνωμα».

Το νερό στον πηλό κατά την σκλήρυνσή του, αποβάλλεται κατ' αρχήν από την εξωτερική στιβάδα του και μετά εξατμίζεται από το εσωτερικό του υλικού.

Υπάρχουν δύο είδη απώλειας νερού και δύο μορφές συρρίκνωσης των πηλών.

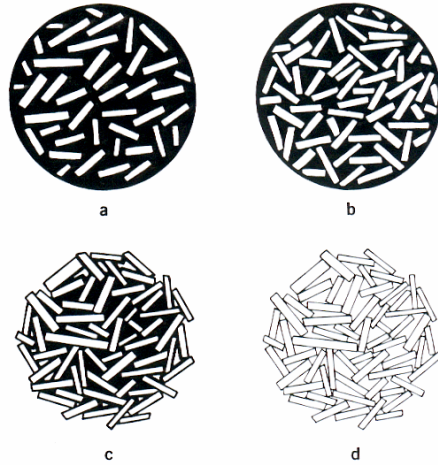
- Το νερό που είναι μηχανικά ενωμένο με τον πηλό
- Το χημικά ενωμένο νερό που δεν χάνεται κατά την ξήρανση του πηλού στον αέρα αλλά η απομάκρυνση του γίνεται από μετά την όπτηση το υλικού.

Το φαινόμενο της συστολής σκλήρυνσης γίνεται γιατί τα μόρια του πηλού χωρίζονται από το νερό από μία ουσιώδη απόσταση. Η συρρίκνωση παρουσιάζεται κατά την αποβολή του μηχανικά συνδεδεμένου νερού που έχει απορροφήσει ο πηλός. Όταν το μηχανικά ενωμένο νερό αποβάλλεται η μάζα συρρικνώνεται. Καθώς όμως αυξάνεται η επιφανειακή τάση του νερού που μένει τα μόρια έλκονται ισχυρότερα. Τα πλακιδόμορφα μόρια του πηλού συσσωρεύονται πυκνότερα μέχρι τελικά να ενωθούν. Η συρρίκνωση τελειώνει όταν τα μόρια έχουν έρθει σε επαφή το ένα με το άλλο φτιάχνοντας ένα πλαίσιο ή σκελετό. Αυτός ο σκελετός δεν μπορεί να ελαττωθεί σε μέγεθος ακόμα και αν το νερό που έχει παραμείνει στους πόρους απομακρυνθεί σε θερμοκρασία δωματίου ή με χαμηλή όπτηση στους 105-110°C.

Το νερό που παραμένει στο σύστημα ονομάζεται νερό των πόρων και γεμίζει το νερό της δομής των μορίων του πηλού. Σαν μέρος του μηχανικά συνδεδεμένου νερού που προστέθηκε για να κάνει την άργιλο πλαστική, συγκρατείται χαλαρά και εύκολα αποβάλλεται στον αέρα. Μετά την συρρίκνωση όμως οι πόροι είναι πολύ μικροί και το νερό χρειάζεται περισσότερο χρόνο να κινηθεί από μέσα προς τα έξω. Η ξήρανση λοιπόν σε αυτό το στάδιο είναι βραδύτερη.

Το νερό των πόρων μπορεί να αποτελεί το 10-26% του πραγματικού όγκου του σώματος του πηλού το οποίο εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων. Λεπτόκκοκοι πηλοί έχουν περισσότερους πόρους και για αυτό το λόγο περισσότερο νερό. Επειδή το νερό των πόρων δεν περιβάλλει και δεν ξεχωρίζει τα πλακιδόμορφα στρώματα του πηλού που τώρα βρίσκονται σε επαφή, η απώλειά του δεν επηρεάζει τον όγκο του πηλού και δεν επιτρέπει περαιτέρω συρρίκνωση.

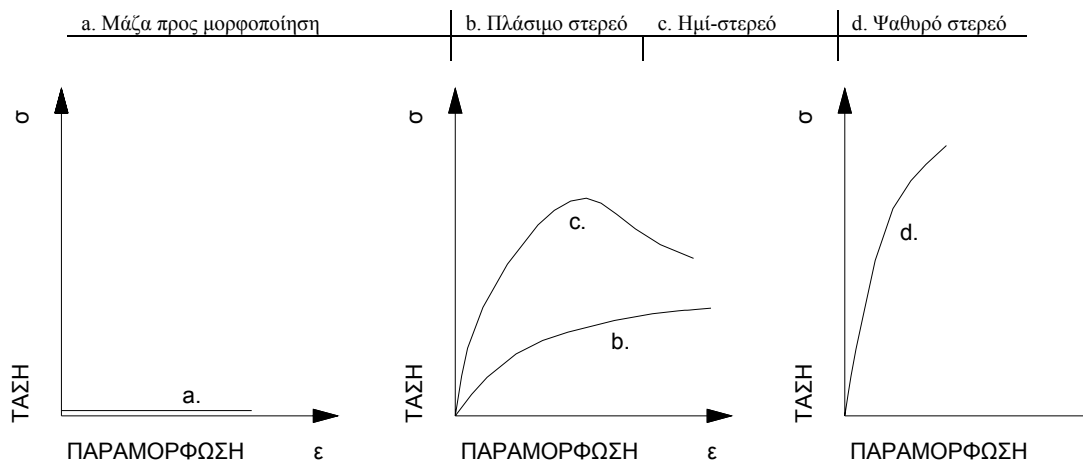
Η παρουσία του νερού στους πόρους του υλικού επηρεάζει σαφώς την μηχανική του συμπεριφορά. Η επιρροή αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική και διακρίνονται τέσσερις καταστάσεις στις οποίες ένα υλικό μεταπίπτει διαδοχικά με την αύξηση του ποσοστού υγρασίας. Αυτό προσδιορίζεται από τα όρια Atterberg. Τα όρια Aldeberg αποτελούν χαρακτηριστικές ιδιότητες κάθε συνεκτικού υλικού και προσδιορίζονται με πρότυπες δοκιμές (Εικόνα 9.4, 9.5).



Εικόνα 9.4: Άργιλοι- νερό. Αποβολή του μηχανικά ενωμένου νερού

- a. Κορεσμένος υδαρής πηλός που συγκρατεί ελεύθερο νερό
 - b. Η κρίσιμη περιοχή ανάμεσα στον επιφανειακή ζήρανση του πηλού και την υδαρή περιοχή του. Το νερό στην περίπτωση αυτή είναι μηχανικά ενωμένο νερό.
 - c. Το μηχανικά ενωμένο νερό εξατμίζεται από το κέντρο προς την επιφανειακή στρώση του υλικού.
 - d. Στερεοποιημένος πηλός
- [48]

- a. Παχύρρευστο υγρό. Στην κατάσταση αυτή το υλικό δεν μπορεί να έχει διατμητικές τάσεις χωρίς συνεχιζόμενη παραμόρφωση (ροή). Στο κάτω όριο της κατάστασης αυτής το υλικό παρουσιάζει χαρακτηριστικά ερπυσμού, η συμπεριφορά του όμως με την αύξηση του ποσοστού υγρασίας γρήγορα εξελίσσεται σε πραγματική ροή.
- b. Πλάσιμο στερεό. Στην κατάσταση αυτή το υλικό μπορεί να πλάθεται δηλαδή να υφίσταται σημαντικές πλαστικές (μη αντιστρεπτές) παραμορφώσεις χωρίς ρηγματώσεις και θραύση (θρυμματισμό). Ο δείκτης δυσκαμψίας μειώνεται βαθμιαία με την αύξηση του ποσοστού υγρασίας.
- c. Ημι-στερεό. Είναι μία μεταβατική κατάσταση μεταξύ της προηγούμενης (εύθρυπτου στερεού) και της επόμενης (πλάσιμου στερεού) με ενδιάμεσα χαρακτηριστικά.
- d. Ψαθυρό στερεό. Στην κατάσταση αυτή το υλικό παρουσιάζει μικρή δυνατότητα παραμορφώσεων και η θραύση του είναι απότομη και ψαθυρή. Ποιοτικά, η συμπεριφορά του είναι ανάλογη με τα ψαθυρά υλικά. [100]



Εικόνα 9.5: Ποιοτική παράσταση της μηχανικής συμπεριφοράς του πηλού ανάλογα με το ποσοστό υγρασίας

9.2.3 Ο πηλός ως ευκατέργαστο υλικό

Η ιδιότητα του πηλού που ενδιαφέρει την παρούσα εργασία είναι το ευκατέργαστό του. Αυτό επιτρέπει στον πηλό να πάρει οποιαδήποτε μορφή και να την διατηρεί [108]. Η ιδιότητα αυτή χάνεται όταν το απορροφούμενο νερό αποβληθεί και ο πηλός στερεοποιηθεί. Μολονότι ο πηλός στερεοποιείται, το σχήμα του αντικειμένου παραμένει. Όμως λόγω της συστολής μπορεί να χαθούν πολλές από τις λεπτομέρειες του. Η ιδιότητα αυτή μπορεί να επανέλθει με νέα ύγρανση του πηλού αλλά το σχήμα του υλικού θα αλλοιωθεί. Με την όπτηση οι πηλοί γίνονται σκληροί και εξαιρετικά ανθεκτικοί στην έκθεση στον αέρα. Μετά την όπτηση του υλικού (που εξαρτάται από το είδος του πηλού) η εργασιμότητα εξαφανίζεται μόνιμα και ο πηλός γίνεται κεραμικό.

Κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν το ευκατέργαστο του πηλού είναι

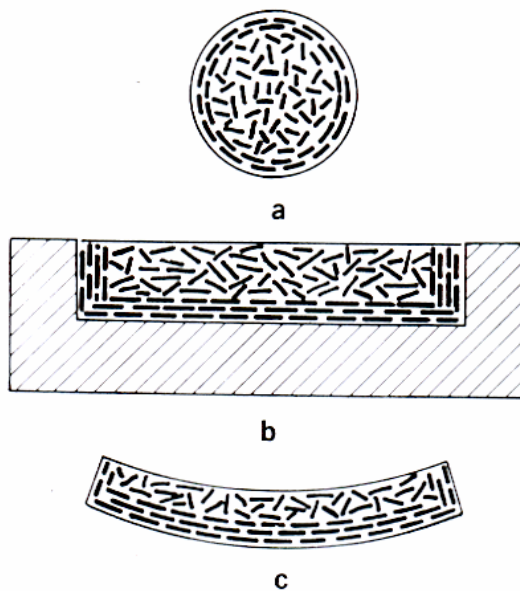
- Το μέγεθος των σωματιδίων του πηλού.
- Το σχήμα των σωματιδίων του πηλού
- Η επιφανειακή τάση του νερού
- Η ρευστότητα του νερού
- Τα απορροφούμενα ιόντα
- Η σύσταση του ορυκτού πηλού
- Η προέλευση του πηλού
- Οι οργανικές προσμίξεις του πηλού
- Τα μη αργιλικά συστατικά του πηλού
- Η θερμοκρασία.

Οι περισσότερες από τις ιδιότητες του συστήματος νερού πηλού και ιδιαίτερα της εργασιμότητάς του είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης πηλού και νερού στην επιφάνεια των μορίων του πηλού.

Όταν το νερό αναμιχθεί με τον πηλό, στρώμα από το απορροφούμενου νερό περιβάλλει τα μόρια του πηλού δρώντας σαν λιπαντικό και έτσι επιτρέπει στα πλακιδόμορα στρώματα να γλιστρούν το ένα πάνω στο άλλο. Η επιφανειακή τάση του νερού αναφέρεται στις ενδομοριακές αλληλεπιδράσεις λεπτού στρώματος νερού, που καλύπτει τα μόρια του πηλού και συγκρατεί με ασθενείς δυνάμεις τα μόρια του πηλού μεταξύ τους. Όταν υπάρχει μεγαλύτερη επιφανειακή τάση εξαιτίας του νερού τότε ο πηλός είναι περισσότερο ευκατέργαστος. Στην περίπτωση που προστεθεί μεγάλη ποσότητα του νερού στο πηλό η επιφανειακή τάση μειώνεται και επομένως μειώνεται το ευκατέργαστο και η αντοχή στον διαχωρισμό της μάζας του πηλού. Ένα άλλο σημείο από το οποίο εξαρτάται το ευκατέργαστο ενός πηλού είναι η ειδική επιφάνειά του και ο όγκος των τριχοειδών του ανά μονάδα όγκου. Έτσι οι καλής ποιότητας λεπτόκοκκοι πηλοί είναι περισσότερο ευκατέργαστοι από τους τραχείς που διαθέτουν μικρότερη ειδική επιφάνεια και πορώδη δομή.

Στην κατασκευή του προπλάσματος ενός γλυπτού ενδιαφέρει κυρίως η συρρίκνωση του πήλινου αντικειμένου κατά την ξήρανση και δευτερευόντως η συμπεριφορά του πηλού κατά την όπτηση (μόνο εάν το έργο πρόκειται να γίνει κεραμικό). Για να μελετηθεί η μεταβολή των διαστάσεων επί τοις εκατό κατά την ξήρανση του υλικού κατασκευάζονται πρίσματα γνωστών διαστάσεων και μελετάται η μεταβολή το όγκου τους. Η γνώση της συμπεριφοράς της συστολής του πηλού πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την μορφοποίηση του πηλού ώστε το τελικό έργο να έχει τις επιθυμητές διαστάσεις.

Ο πηλός κατά την σκλήρυνσή του χάνει μέρος των λεπτομερειών του και λόγω της συστολής του θα παρουσιάσει ρηγματώσεις στην συνεργασία του με την αρματούρα. Για τον λόγο αυτό από το πρόπλασμα εξάγεται αντίγραφο σε σταθερότερο υλικό (π.χ. γύψο) όταν το πρόπλασμα περιέχει ακόμα μεγάλο ποσοστό υγρασίας (Εικόνα 9.6).



Εικόνα 9.6: Συστολή και παραμόρφωση του πηλού κατά την στερεοποίησή του [76]

Στην περίπτωση που επιλεγεί η όπτηση του υλικού για την παρασκευή κεραμικού η μάζα του υλικού αφήνεται να ξηραθεί. Η ξήρανση είναι δυσχερές στάδιο με κίνδυνο να προκληθούν αστοχίες και παραμορφώσεις. Οι περισσότερες παραμορφώσεις προκύπτουν διότι κατά την διάρκεια της ξήρανσης το στρώμα του νερού που περιέχεται σε ανομοιόμορφες στρώσεις στο υλικό εξατμίζεται και οι στρώσεις έρχονται πιο κοντά προκαλώντας την ανομοιόμορφη συρρίκνωση του τοιχώματος του πηλού (παραμόρφωση ή και εξαφάνιση των λεπτομερειών του έργου).

Παράλληλα, η κατεργασία και το πλάσιμο του πηλού προκαλεί αλλαγές στην

μορφολογία της μικροδομής του υλικού.

9.2.4 Κοκκομετρική διαβάθμιση και ποιότητα του πηλού

Το μέγεθος των κόκκων του πηλού παίζει σημαντικό ρόλο στην κατεργασία του. Η μείωση του μεγέθους των κόκκων οδηγεί στην βελτίωση του ευκατέργαστου του πηλού αφού αυξάνεται το ποσοστό των κόκκων που θα αποκτήσει κολλοειδείς διαστάσεις. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με φυσικές διαδικασίες είτε με την ανάμιξη πηλών με διαφορετικές διαστάσεις κόκκων.

Οι διεργασίες για την ελάττωση του μεγέθους των κόκκων είναι:

- Απομάκρυνση από τον πηλό των ξένων υλικών (αδρανή μεγάλων διαστάσεων, φυτικές ίνες κ.λ.π.)
- Παραμονή του πηλού στο ύπαιθρο, κάτω από διάφορες καιρικές συνθήκες όπου προκαλείται διαδοχική ύγρανση και ξήρανση του πηλού με αποτέλεσμα τον παραπέρα θρυμματισμό και ελάττωση του μεγέθους των κόκκων. Ένα πολύ λεπτό αργιλικό υλικό διαφοροποιείται και μεταφέρεται με την βροχή σε χαμηλότερα σημεία του αναγλύφου και επομένως γύρω από την ποσότητα του πηλού, δημιουργείται μία κλειστή «κατασκευή» για συλλογή των υδάτων που περιέχει τον πηλό σε λεπτό καταμερισμό.
- Ομογενοποίηση του υλικού με ζύμωμα συνήθως με τα πόδια ή με κάποιο ειδικό εργαλείο.
- Αποθήκευση του πηλού σε σκιερό μέρος όπου η ανάπτυξη μικροοργανισμών (φύκη, μύκητες, βακτήρια) οδηγεί σε ακόμη μεγαλύτερη ελάττωση του μεγέθους των κόκκων.
- Κατεργασία με νερό όπου το προκατεργασμένο υλικό ρίχεται σε δεξαμενή με νερό και αναμειγνύεται καλά. Τα λεπτά σωμάτια του πηλού παραμένουν στο αιώρημα ενώ τα μεγαλύτερα καθιζάνουν. Το αιώρημα και τα λεπτά σωμάτια του πηλού χύνεται σε άλλη δεξαμενή όπου αφήνεται να ηρεμήσει για περισσότερο χρόνο κ.ο.κ οπότε παίρνουμε πηλούς διαφορετικού μεγέθους κόκκων. Όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος ηρεμίας τόσο πιο λεπτό θα είναι το υλικό. Τα υλικά με διαφορετικό μέγεθος κόκκων μπορεί να διαφέρουν και ως προς την χημική σύσταση των αργίλων που περιέχουν επειδή η ικανότητα δημιουργίας κολλοειδών διαλυμάτων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την χημική σύσταση της αργίλου. Άρα υπάρχει το ενδεχόμενο στο σύστημα των δεξαμενών οι δεξαμενές να μην περιέχουν πηλό με την ίδια κοκομετρική διαβάθμιση. Ο πηλός που έχει κατακαθίσει στις τελευταίες δεξαμενές έχει την μορφή πυκνού πολτού και μεταφέρεται σε αβαθείς δεξαμενές με τούβλα που απορροφούν την μεγάλη ποσότητα του νερού και στην συνέχεια η μάζα του πηλού κόβεται σε κομμάτια και όταν σκληρυνθεί αρκετά μπορεί να αποκολληθεί από τα τούβλα.
- Ακολουθώς ο πηλός αφήνεται να ωριμάζει σε σκιερό μέρος (πχ. υπόγειο).
- Ο ώριμος πηλός ζυμώνεται είτε με τα πόδια είτε με μηχανικό ζυμωτήριο για να ομογενοποιηθεί. Η πρώτη ύλη είναι έτοιμη για χρήση αφού πριν την μόρφωση ο γλύπτης την ζυμώσει για μία ακόμη φορά.
- Η παρουσία ασβεστούχων υλών στην αργιλομάζα έχει σαν συνέπεια την ασβεστοποίηση κατά τη διάρκεια της όπτησης, με αποτέλεσμα την πιθανή ρηγμάτωση των αντικειμένων

Όταν ο γλύπτης θέλει να δημιουργήσει ένα περισσότερο ψαθυρό πηλό από τον πηλό που ήδη έχει πρέπει να αναμίξει τον πηλό με υλικό με κόκκους μεγαλύτερου μεγέθους. Τέτοια υλικά είναι συνήθως η άμμος αλλά και η οπτή άργιλος (κεραμάλευρο). Η οπτή άργιλος είναι καλύτερη γιατί δεν επηρεάζει την υφή του τελικού προϊόντος. Αργιλομάζα με περιεκτικότητα άμμου μικρότερη του 20% κ.β. ονομάζεται παχύς πηλός και με αναλογία 20% ÷ 60% ισχνός πηλός.

Μαρτυρίες αναφέρουν ότι εξαιρετικής ποιότητας πηλό χρησιμοποιούσε ο γλύπτης Γιαννούλης Χαλεπάς. Ο Χαλεπάς μάζευε πηλό με το κουταλάκι από τα κενά ανάμεσα από τους μαρμάρινους όγκους στα λατομεία μαρμάρου.

9.2.5 Κατασκευή ενός προπλάσματος, χρήση των εργαλείων του πηλού

Κυρίαρχο εργαλείο σε όλη τη γλυπτική δημιουργία είναι τα χέρια. Επικουρικά ανάλογα με την εργασία που θέλει να κάνει κανείς υπάρχει μεγάλη ποικιλία κατάλληλων εργαλείων για την διαμόρφωση του πηλού (Εικόνα 9.7).

Μείζον πρόβλημα στην κατασκευή ενός έργου είναι να διατηρήσει ο πηλός το αρχικό του εργάσιμο. Για να επιτευχθεί αυτό απαιτείται σχετική εμπειρία κατά την κατασκευή. Περιγραφικά σημειώνεται ότι:

- Ο πηλός μορφοποιείται επάνω στην αρματούρα όταν είναι εύπλαστος, έτσι ώστε να είναι εύκολη η διαμόρφωσή του. Επίσης μορφοποιείται σε στρώματα έτσι ώστε να μπορεί να συνεργάζεται το εσωτερικό μέρος του υλικού με την αρματούρα μόλις ο πηλός χάσει μέρος της υγρασίας του και μεταβληθεί το εργάσιμο.
- Κατά την στερεοποίησή του, ο πηλός στερεοποιείται από έξω προς τα μέσα και το εσωτερικό του υλικού βρίσκεται σε υδαρή κατάσταση. Το γεγονός αυτό μπορεί να ξεγελάσει τον γλύπτη στο πρώτο στάδιο κατασκευής. Το πρόβλημα προκύπτει σε έργα που δεν έχουν αρματούρα. Ο γλύπτης μπορεί να θεωρήσει ότι ο πηλός έχει αναπτύξει μηχανικές αντοχές ενώ στην πραγματικότητα το μεγαλύτερο μέρος του υλικού μπορεί να βρίσκεται σε υδαρή κατάσταση.
- Για να διατηρηθεί ο πηλός με ικανοποιητική υγρασία διαβρέχεται κατά την πορεία των εργασιών με ψεκάσμο ενώ κατά το τέλος της εργασίας το έργο καλύπτεται με αδιαπέρατη μεμβράνη. Αν θέλουμε να αυξηθεί η πλασιμότητα του πηλού, το έργο καλύπτεται με βρεγμένο πανί και μετά με αδιαπέρατη μεμβράνη. Στην περίπτωση όμως που ο πηλός μείνει στην κατάσταση αυτή για αρκετό καιρό (1 εβδομάδα) υπάρχει ο κίνδυνος να χαθούν λεπτομέρειες από το έργο ενώ αν το έργο δεν παραμορφούται λόγω των ιδιοτήτων του σκληρηθέντος πηλού υπάρχει ο κίνδυνος της αστοχίας.



Εικόνα 9.7: Εργαλεία για την κατασκευή πήλινου προπλάσματος

- Μέχρι το τελικό στάδιο φροντίζουμε ώστε ο πηλός να είναι σχετικά υδαρής. Αυτό γιατί κατά την σκλήρυνση του πηλού το υλικό συστέλλεται και χάνονται πολλές από τις λεπτομέρειες που απεικονίζει.
- Επιπλέον η συστολή που παρουσιάζεται στον πηλό κατά την σκλήρυνσή του μπορεί να δημιουργήσει εσωτερικές τάσεις και αστοχία στο υλικό.

Για να κατασκευαστεί ένα έργο αρχικά μορφοποιείται το γενικό περίγραμμα του έργου επάνω στην αρματούρα. Για να γίνει αυτό διαμορφώνεται ο πηλός σε κύβους και μετά σε λεπτές πλάκες η οποίες μπορούν να διαμορφωθούν και με πλάστη πάχους 2 έως 7 cm (Εικόνα 9.8).



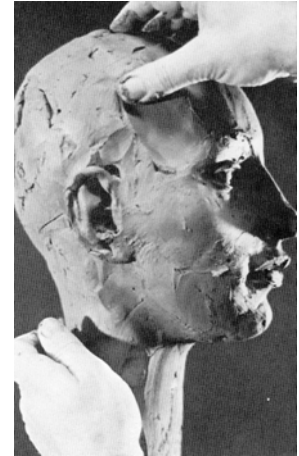
Εικόνα 9.8: Προετοιμασία πηλού

Ακολουθως οι πλάκες αυτές ενσωματώνονται διαδοχικά στην αρματούρα ενώ στην συνέχεια πλάθεται με τα χέρια ο κύριος όγκος του έργου (Εικόνα 9.9) [52].

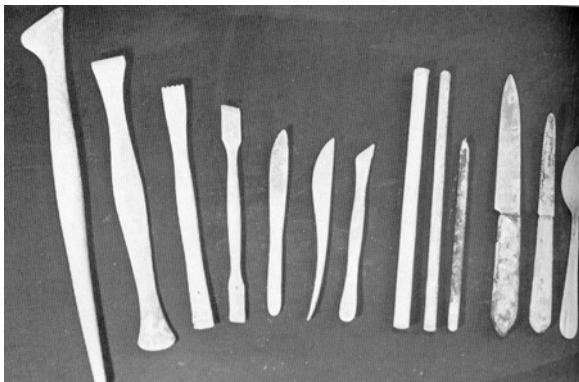
Μετά την διαμόρφωση του κύριου όγκου του έργου, ο πηλός είτε αφαιρείται είτε προστίθεται στο έργο. Όταν συμπιέζεται ο πηλός σε μία όψη του έργου, αυτό μπορεί να δημιουργήσει ανωμαλία σε κάποιο άλλο σημείο του έργου ή αστοχίες στην εσωτερική δομή του υλικού.

Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται ξύλινες γλυφίδες ή κουτάλια για την διαμόρφωση του έργου σε αρχικά στάδια. Κατά την κατεργασία του υλικού προτιμότερο είναι η αφαίρεση των όγκων με εργαλεία και η πρόσθεση του πηλού επάνω στο έργο με το χέρι. Οι ξυλογλυφίδες και τα κουτάλια μορφοποιούν τον προστιθέμενο όγκο στο έργο ενσωματώνοντας το επάνω στο γλυπτό (Εικόνα 9.10, 9.11).

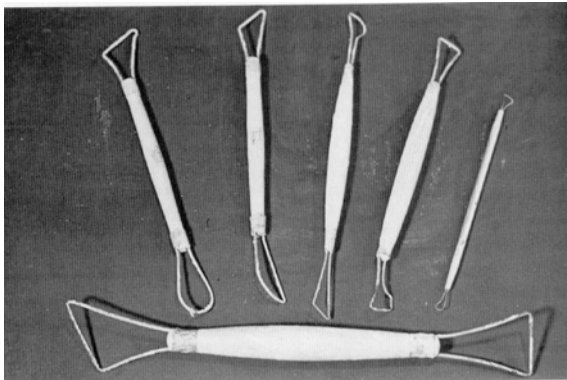
Στην περίπτωση που πρέπει να διαμορφωθεί μεγάλο μέρος της επιφάνειας του πηλού γίνεται χρήση λεπτών φύλων μετάλλου (συνήθως χαλκού). Με το φύλο του μετάλλου αφαιρείται εύκολα μεγάλο μέρος του επιφάνειας του προπλάσματος.



Εικόνα 9.9: Προπαρασκευή προπλάσματος

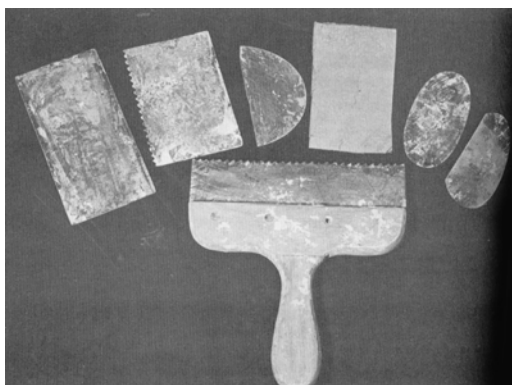


Εικόνα 9.10: Εργαλεία πηλού και χρήση τους

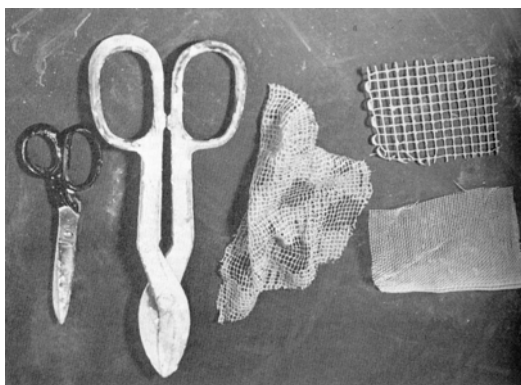


Εικόνα 9.11: Εργαλεία πηλού και χρήση τους

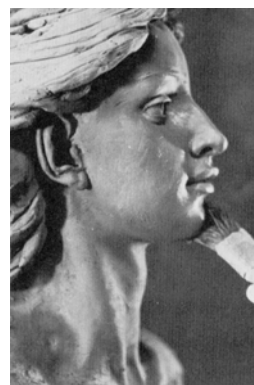
Όταν είναι απαραίτητο να αφαιρεθούν ελαφρά επιφανειακοί όγκοι χωρίς να αλλάξει η δομή του έργου γίνεται χρήση συρματοπλέγματος το οποίο εφαρμόζεται με μικρή δύναμη επάνω στο έργο και σύρεται. Έτσι αφαιρείται στιβάδα της εξωτερικής επιδερμίδας του έργου η οποία μετά μπορεί να λειανθεί με βρεγμένο πανί ή βρεγμένο σφουγγάρι. Ανάλογα με το μέγεθος της επέμβασης επιλέγεται το κατάλληλο συρματοπλέγμα (Εικόνα 9.12, 9.13).



Εικόνα 9.12: Εργαλεία πηλού και χρήση τους



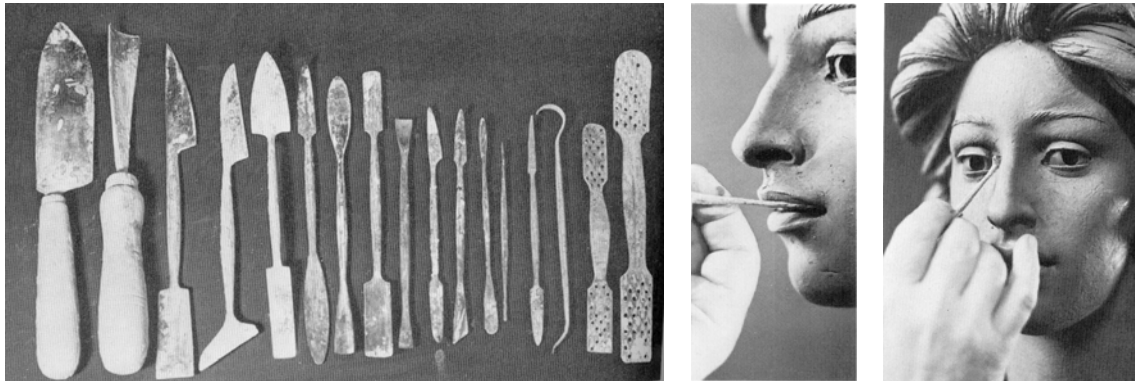
Εικόνα 9.13: Εργαλεία πηλού και χρήση τους



Εικόνα 9.14: Εργαλεία πηλού και χρήση τους

Για την επίτευξη κατάλληλης υφής στην τελική επιφάνεια του έργου χρησιμοποιούνται πινέλα και βούρτσες τα οποία ανάλογα με την σκληρότητά τους μπορεί να αφαιρούν μέρος της επιφανείας του έργου ή απλά να διαμορφώνουν την επιδερμίδα και την επιφάνεια του έργου χωρίς να αλλοιώνουν την ογκοπλαστική του διαμόρφωση αμβλύνοντας έντονες γραμμές που ενδεχομένως έχουν εμφανιστεί (Εικόνα 9.14).

Οι τελικές λεπτομέρειες στο έργο γίνονται αφού έχει περάσει αρκετός χρόνος και ο πηλός έχει χάσει ένα μέρος του εργασίμου του (χωρίς να έχει σκληρυνθεί) με την χρήση μεταλλικών εργαλείων (Εικόνα 9.15).



Εικόνα 9.15: Εργαλεία πηλού και χρήση τους

Μετά την χρήση μεταλλικού εργαλείου για την διαμόρφωση της υφής και των λεπτομερειών του έργου γίνεται χρήση λεπτών και μαλακών πινέλων. Εναλλακτικά γίνεται χρήση τυλιγμένου βαμβακιού ή μαλακού υφάσματος στην αιχμή μυτερού εργαλείου.

10 Εκμαγεία

10.1 Γενικά

Η κατασκευή εκμαγείων χρονολογείται εδώ και χιλιάδες χρόνια. Τα πρώτα εκμαγεία κατασκευάστηκαν στην αρχαία Αίγυπτο και στην Κίνα. Έχουν χρησιμοποιηθεί πολλά και διαφορετικά υλικά για την κατασκευή εκμαγείων στα οποία περιλαμβάνονται η άμμος το κερί, οι κόλες, το δέρμα ζώων, η γύψος τα μέταλλα και άλλα υλικά.

Το κύριο πρόβλημα στην επιλογή των εκμαγείων προκύπτει από το μέγεθος και την μορφή του έργου. Εάν το έργο είναι μεγάλο το εκμαγείο πρέπει να γίνει σε τμήματα και αυτά να συνδεθούν χωρίς να χαθεί η μορφή του προπλάσματος του έργου. Εάν το έργο έχει πολλές κοίλες επιφάνειες είναι απαραίτητη η χρήση ελαστικών μέσων.

Το βέλτιστο εκμαγείο προπλάσματος προκύπτει με την εξ' ολοκλήρου κατασκευή εκμαγείου από γύψο (όταν το πρόπλασμα είναι νωπό σε πηλό) και ακολούθως η χύτευση στο εκμαγείο σταθερότερου υλικού. Για την κατασκευή αντιγράφων η γύψος είναι το περισσότερο συνηθισμένο υλικό χύτευσης.

Η γύψος είναι ιδανικό υλικό για εκμαγεία γιατί λόγω της διαστολής της κατά την σκλήρυνση αποκολλάται εύκολα από το πρόπλασμα δημιουργώντας, μικρά σφάλματα. Κατά την εκμάγευση του έργου μπορεί να καταστραφεί το εκμαγείο. Βασικό μειονέκτημα του γύψινου εκμαγείου πήλινου προπλάσματος είναι ότι δεν επιτρέπονται λάθη γιατί ένα σφάλμα στο εκμαγείο μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την καταστροφή ολόκληρου του έργου. Παράλληλα είναι δυνατή μόνο η κατασκευή ενός αντιγράφου.

Τα γύψινα εκμαγεία αποτελούνται κατά περίπτωση από δύο και έως πεντακόσια κομμάτια (σπαστό καλούπι) ανάλογα με το μέγεθος και τις δυσκολίες του πρωτότυπου έργου.

Για να γίνει η κατασκευή ενός εκμαγείου, το πρόπλασμα του γλυπτού καθαρίζεται επιμελώς και ακολούθως επαλείφεται με υγρό που βοηθάει στην αποκόλληση του εκμαγείου. Το υγρό αυτό είναι συνήθως πυκνό διάλυμα σαπουνιού σε νερό (μονωτικό για την γύψο) ή πυκνό διάλυμα πηλού (μονωτικό για ελαστικά). Επάνω από το διάλυμα αυτό, το έργο καλύπτεται με λάδι.

Το πρόπλασμα χωρίζεται με λεπτές λωρίδες πηλού σε τμήματα κατά ζώνες. Σε αυτές ο εκμαγέας διαστρώνει λεπτό στρώμα παχύρευστης γύψου και μόλις η γύψος σκληρυνθεί, τα τμήματα διαμορφώνονται εντέχνως έτσι ώστε να ταυτίζονται μεταξύ τους και να δημιουργούν μία ενιαία επιφάνεια.

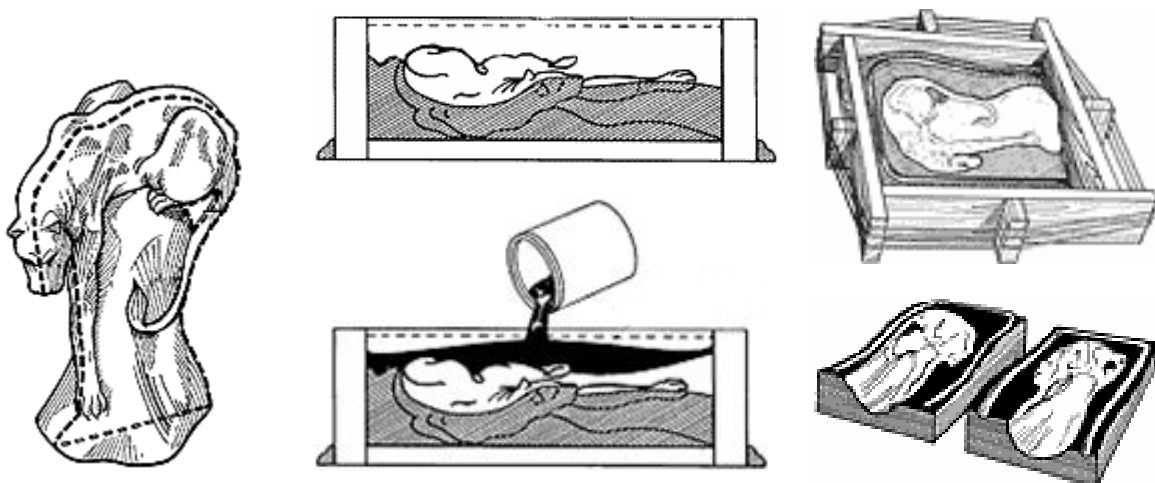
Όταν έχει ολοκληρωθεί η εκμάγευση και η επεξεργασία όλων των τμημάτων, τα τμήματα συναρμολογούνται και πάνω από αυτά τοποθετείται δεύτερο στρώμα γύψου ο «μανδύας» ή «εσάρπα».

Κάθε εσάρπα περικλείει ένα μέρος του εκμαγείου και όχι ολόκληρο το εκμαγείο. Πάνω από την εσάρπα απλώνεται τρίτο στρώμα γύψου ενισχυμένου με ίνες. Στο γύψινο εκμαγείο μπορεί να χυτευτεί γύψος και να κατασκευαστεί γύψινο θετικό.

Το γύψινο εκμαγείο είναι ακριβές αλλά είναι δύσκολο στην κατασκευή του. Για τον λόγο αυτό, συνηθίζεται να κατασκευάζονται εκμαγεία από ελαστικά με ή χωρίς γύψινη «εσάρπα» (κέλυφος). Χωρίς να είναι πάντα απαραίτητη, η εσάρπα βοηθάει στην σταθεροποίηση του ελαστικού και την τοποθέτησή του σε ακριβή θέση.

10.1.1 Εκμαγεία χωρίς «εσάρπα» (κέλυφος)

Τα εκμαγεία χωρίς εσάρπα γίνονται για μικρά κυρίως γλυπτά που παρουσιάζουν ισορροπία κατ' άξονα. Γενικά για να κατασκευαστεί το εκμαγείο ενός έργου χωρίς εσάρπα το πρόπλασμα πρέπει να είναι κωνικής μορφής. Το έργο τοποθετείται σε μία σταθερή κιβωτιόσχημη μορφή και χυτεύεται ελαστικό. Ακολούθως το ελαστικό κόβεται με κοπίδι σε δύο μέρη έτσι ώστε το έργο να μπορεί να αφαιρεθεί εύκολα μέσα από αυτό (Εικόνα 10.1).



Εικόνα 10.1: Κατασκευή ελαστικών εκμαγείων χωρίς εσάρπα

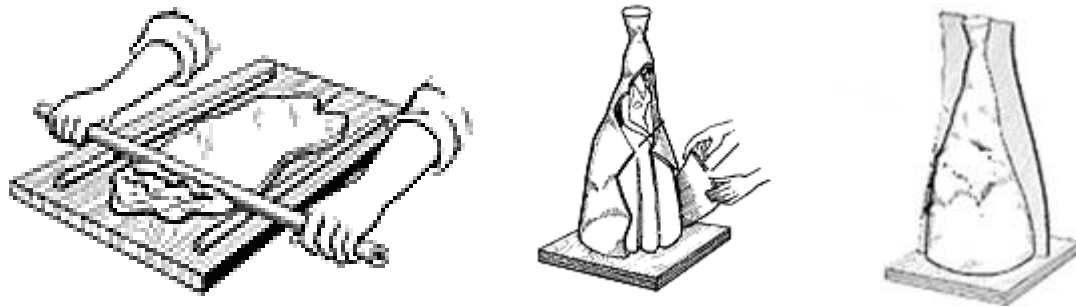
10.1.2 Εκμαγεία με εσάρπα

Το πρόπλασμα καλύπτεται με φύλλο πηλού πάχους 3-5 cm, το οποίο με την σειρά του καλύπτεται με γύψινη εσάρπα (Εικόνες 10.2, 10.3, 10.4, 10.5, 10.6).

Σε κάθε μέρος κατασκευάζεται διαδοχικά μία εσάρπα από γύψο. Στο πρώτο μέρος σκαλίζονται εσοχές έτσι ώστε μόλις κατασκευαστεί το δεύτερο μέρος, οι εσοχές αυτές να γίνουν οδηγοί και να ταυτίζεται η ένωση στα τμήματα της εσάρπας.

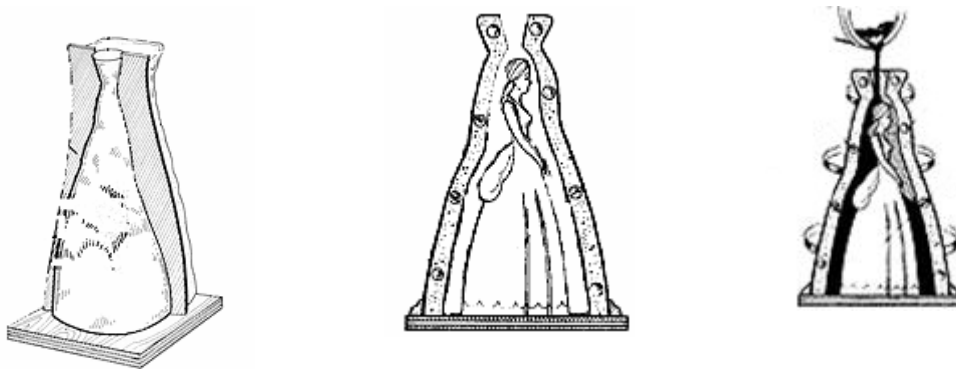
Όταν η γύψος σκληρυνθεί, αφαιρείται η εσάρπα και καθαρίζονται σχολαστικά ο πηλός και το πρόπλασμα. Καθαρό πλέον, το πρόπλασμα περιβάλλεται από την εσάρπα από την οποία έχουν αφαιρεθεί τα υπολείμματα της πλαστελίνης ή του πηλού. Στην εσάρπα ανοίγεται μία κεντρική οπή

και μικρότερες σπές εξαερισμού. Από την κεντρική οπή διοχετεύεται ελαστικό υλικό σε υγρή μορφή το οποίο περιβάλλει το πρόπλασμα. Με την στερεοποίηση του ελαστικού δημιουργείται το ελαστικό εκμαγείο.

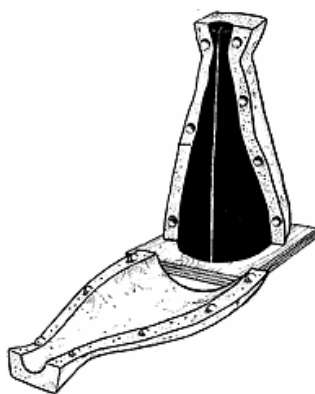


Εικόνα 10.2: Προεργασία ελαστικών εκμαγείων με εσάρπα

Μετά την αφαίρεση της εσάρπας, το ελαστικό κόβεται έτσι ώστε η ένωση των μερών του ελαστικού να μην συμπίπτει με την ένωση των μερών της εσάρπας (Εικόνα 10.4).



Εικόνα 10.3: Κατασκευή ελαστικών εκμαγείων με εσάρπα



Εικόνα 10.4: Κατασκευή ελαστικών εκμαγείων με εσάρπα

Εναλλακτικά μπορεί το ελαστικό να χυτευτεί σε δύο μέρη, για να αποφευχθεί η εκ των υστέρων κοπή του. Για να γίνει αυτό χωρίζονται τα μέρη του προπλάσματος που θα χυτευτεί το ελαστικό με οδηγούς από πηλό. Ακολούθως χυτεύεται το ελαστικό στο πρώτο μέρος του έργου ενώ μετά την πήξη του πρώτου μέρους χυτεύεται και το δεύτερο μέρος αφού έχει επαλειφθεί η επιφάνεια της ένωσης με μονωτικό υλικό (αν είναι απαραίτητο) έτσι ώστε να μην συγκολληθούν τα δύο ελαστικά μεταξύ τους.

Εκτός από τα ελαστικά σε υγρή μορφή, έχουν αναπτυχθεί και ελαστικά τα οποία είναι σε στερεά μορφή και ζυμώνονται με καταλύτη για να αποκτήσουν την

τελική τους μορφή. Τα ελαστικά αυτά εφαρμόζονται με πίεση επάνω στο έργο και αποφεύγεται η διαδικασία της χύτευσης του ελαστικού. Εξάλλου ο ψεκασμός, η επάλειψη αλλά και η εφαρμογή του ελαστικού με πίεση στο έργο προφυλάσσει από τις εκπλήξεις που μπορεί να επιφυλάσσει η χύτευση του ελαστικού.

Σημαντικό μειονέκτημα κατά την διαδικασία της χύτευσης, είναι ότι στις κοιλότητες του προπλάσματος εγκλωβίζεται αέρας ο οποίος δεν επιτρέπει στο ελαστικό να πάρει την θέση του επάνω στο πρόπλασμα. Αυτή είναι μία συνήθης αστοχία που παρατηρείται σε εκμαγεία από χυτά ελαστικά.



Για να αποφευχθεί αυτό δημιουργούνται κατασκευαστικές λύσεις έτσι ώστε να διευκολύνεται η διαφυγή του αέρα κατά την χύτευση του ελαστικού του εκμαγείου (σχεδιασμός που είναι απαραίτητος σε κάθε μορφή χύτευσης). Η χύτευση του ελαστικού γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε με την είσοδο του ρευστού

ελαστικού να αποβάλλεται ο αέρας (που ενδεχομένως εγκλωβίζεται) προς το εξωτερικό του μητρικού εκμαγείου.



Εικόνα 10.6: Κατασκευή ελαστικού εκμαγείου με εσάρπα

Για την κατασκευή κάθε εκμαγείου απαιτείται διαφορετικός σχεδιασμός των μεθόδων που περιγράφηκαν και εξαρτάται από την ιδιομορφία του κάθε προπλάσματος.

10.2 Γύψος

10.2.1 Γενικά

Η γύψος δεν είναι πρόσφατο υλικό για την κατασκευή εκμαγείων. Ως εύπλαστη αλλά και σταθερή ύλη χρησιμοποιήθηκε κατ' αρχήν για αποτύπωση των χαρακτηριστικών του προσώπου νεκρών προγόνων. Τα παλαιότερα γύψινα νεκρικά προσωπεία ανάγονται στην 6^η χιλιετία π.Χ. όπως αποκάλυψαν το 1953 ανασκαφές στην Ιεριχώ της Μεσοποταμίας.

Εκτός από την Μεσοποταμία και στην Αίγυπτο υπήρχαν κατασκευές με γύψο ιδιαίτερα ως επίχρισμα για την εξομάλυνση της τοιχοποιίας. Η λείανση της τοιχοποιίας ήταν απαραίτητη για την εξαιρετικά λεπτή ζωγραφική με Ιερογλυφικά.

Οι Αιγύπτιοι είχαν ειδικά εκπαιδευμένους τεχνίτες για την κατασκευή προπλασμάτων γύψου καθώς επίσης και εκμαγείων γύψου.

Η ανακάλυψη του εργαστηρίου του γλύπτη Θουμμόζου που ανακαλύφθηκε το 1912 ήταν το μεγαλύτερο επίτευγμα στην ιστορία της Αιγυπτιολογίας. Στο εργαστήριό του, στο οποίο εργαζόνταν το 1350 π.Χ. είχαν παραμείνει 20 γύψινα εκμαγεία που είχαν δημιουργηθεί από πήλινα προπλάσματα ενώ εκτός αυτού βρέθηκαν και αρκετά γύψινα και πέτρινα γλυπτά.

Στο Αιγυπτιακό εργαστήριο ο γλύπτης σημείωνε επάνω στο γλυπτό τον όγκο που ήθελε να αφαιρεθεί. Ακολούθως οι βοηθοί του υλοποιούσαν τις οδηγίες του. Όλα γύρω του ήταν έτσι ώστε να ευχαριστούν την όρασή του μέχρι τα γλυπτά να πάρουν την θέση τους στην Αιγυπτιακή Ιστορία.

Σύμφωνα με τον Πλίνιο [69] ο Λυσίστρατος ο Σικυώνιος, αδελφός του περίφημου γλύπτη Λύσιππου, αναφέρει ότι ο Λύσιππος για το πρώτο του γύψινο εκμαγείο χρησιμοποίησε απευθείας το όμορφο πρόσωπο ενός νέου άνδρα και αφού κατασκεύασε το θετικό αντίγραφο, το τελειοποίησε με τη σμίλη. Στην ρωμαϊκή εποχή η γυψοπλαστική γνωρίζει ευρύτατη διάδοση με την κατασκευή των νεκρικών προσωπείων των προγόνων, τα οποία ευλαβικά φυλάσσονται μαζί με τους οικογενειακούς θεούς, τους λάτρητες, στα λαράρια (εικονοστάσια) των σπιτιών.

Στην Δύση η γύψος χρησιμοποιήθηκε ευρέως όταν εξαιρετικά κοιτάσματα γύψου στην Γαλλία έκαναν την Γύψο του Παρισιού ένα από τα διασημότερα είδη γύψου στον κόσμο. Η Γύψος του Παρισιού ήταν επί της ουσίας το υλικό που έφερε σε μαζική επαφή την γύψο με τον Δυτικό πολιτισμό.

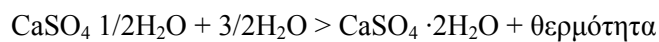
10.2.2 Ιδιότητες της γύψου

Ονομάζεται πλαστική γύψος το προϊόν που προκύπτει από την όπτηση της φυσικής γύψου σε θερμοκρασίες 120-180° C και που φέρεται στο εμπόριο με την μορφή της λεπτής υπόλευκης μέχρι λευκής σκόνης. Η όπτηση της φυσικής γύψου γίνεται σήμερα σε περιφλεγή σιδηρά καμίνια γιατί η γύψος δεν πρέπει να έρχεται σε άμεση επαφή με τις φλόγες της εστίας [104].

Η γύψος είναι λευκή σκόνη και έχει ειδικό βάρος 2,6-2,65 και φαινόμενο βάρος 0,8-1,4 ανάλογα με την στίβαξη που θα υποστεί κατά την αποθήκευση.

Η γύψος συσκευάζεται σε σάκους οι οποίοι πρέπει να διατηρούνται σε ξηρές αποθήκες γιατί απορροφά εύκολα υγρασία από τον αέρα. Επίσης πρέπει να χρησιμοποιείται ταχέως μετά την παρασκευή της.

Όταν αναμειχθεί με το νερό προσλαμβάνει εύκολα όλο το νερό που έχασε κατά την όπτηση και σκληρύνεται αφού προηγουμένως μετατραπεί σε φυσική γύψο (ένυδρο θειικό ασβέστιο) με έκλυση θερμότητας κατά την αντίδραση:



Κατά την πήξη η θερμοκρασία υψώνεται αισθητά. Η πλαστική γύψος χρειάζεται περίπου 18.6% νερό για να μετατραπεί σε ένυδρο θειικό ασβέστιο. Στην πράξη όμως για την παρασκευή ενός πλαστικού και εργάσιμου πολτού απαιτείται τριπλάσια ως τετραπλάσια ποσότητα νερού από την θεωρητική δηλαδή 60-80% του βάρους της γύψου.

Η πήξη-σκλήρυνση οφείλεται στην ενυδάτωση του ημιυδρικού άλατος και στην απόθεση κρυστάλλων από υπέρκορα διαλύματα. Ακολούθως οι κρύσταλλοι συμπλέκονται και προσφύονται μεταξύ τους. Στην πήξη και στην σκλήρυνση της πλαστικής γύψου δεν συμμετέχει το CO₂ της ατμόσφαιρας και συνεπώς η πλαστική γύψος θα μπορούσε να θεωρηθεί ως υδραυλική κονία. Επειδή όμως δεν διατηρείται σε υγρό περιβάλλον λόγω της διαλυτότητας του θειικού άλατος κατατάσσεται στις αερικές κονίες.

Η πήξη του πολτού αρχίζει αμέσως μετά τον σχηματισμό του και συμπληρώνεται συνήθως στα δέκα πρώτα λεπτά ή το αργότερο σε μισή ώρα. Για τον λόγο αυτό η γύψος είναι κονία ταχύπηκτος. Αν γίνει η πήξη της γύψου σε χρόνο μεγαλύτερο από 1 με 1^{1/2} ώρα η γύψος δεν θεωρείται πλαστική.

Ο χρόνος της πήξης της γύψου εξαρτάται από την ποιότητά της. Όσο λεπτότερη είναι η κονία τόσο μικρότερος είναι ο χρόνος πήξης. Αντίθετα ο χρόνος γίνεται μεγαλύτερος όταν η γύψος περιέχει ξένα συστατικά, το άλεσμα είναι χονδρότερο, η όπτηση είναι μακρύτερη ή εφόσον κατά τον σχηματισμό του πολτού αναμίχθηκαν και ξένες προσμίξεις όπως πριονίδια ξύλου φυτικές ή ζωικές ίνες κ.λ.π.

Είναι δυνατόν να γίνει εύκολα επιβράδυνση της πήξης μιας κανονικής γύψου με προσθήκη αραιού διαλύματος ζωικής κόλλας (οπότε ο αντίστοιχος πολτός γίνεται συνεκτικότερος, στιλπνότερος και έχει ισχυρή πρόσφυση) και με διάφορα άλλα αδρανή προσμίγματα όπως βόρακας, φωσφορικό νάτριο κ.λ.π. Κατ' εξαίρεση με προσθήκη διαλύματος μαγειρικού άλατος ή θειικού καλίου σε γύψο κακής ποιότητας επιτυγχάνεται η αισθητή επιτάχυνση του χρόνου πήξης της.

Η πλαστική γύψος αντίθετα προς τις άλλες δομήσιμες κονίες διογκώνεται αισθητά κατά την πήξη της. Η διόγκωση αυτή μετά από 24 ώρες φτάνει το 1% του αρχικού όγκου του πολτού. Λόγω της ιδιότητας αυτής τα από γύψο εκμαγεία αποτυπώνουν κάθε λεπτομέρεια του προτύπου.

Τα αντικείμενα από πλαστική γύψο όταν εκτεθούν στην υγρασία και ιδίως στην επίδραση του νερού υφίστανται με τον χρόνο βραδεία επιφανειακή διάβρωση, λόγω της διαλυτότητας της πλαστικής γύψου. Για τον λόγο αυτόν τα γύψινα αντικείμενα είναι ακατάλληλα για εξωτερικές διακοσμήσεις και τοποθετούνται αποκλειστικά στο εσωτερικό χώρο.

Τα αντικείμενα αυτά είναι δυνατό να αποκτήσουν μεγαλύτερη αντοχή με ειδικές επιφανειακές κατεργασίες. Οι σπουδαιότερες από αυτές είναι

- εμποτισμός με διάλυμα παραφίνης, βενζίνης, τερεβινθέλαιο.
- χρωματισμός ή επιχρύσωση που συνήθως γίνεται με χρυσόχρωμο βερνίκι από λινέλαιο και σκόνη θειούχου κασσίτερου Sn S₂ (ψευδής χρυσός) σκλήρυνση της επιφάνειας με εμβάπτιση σε διάλυμα υδροξειδίου του Βαρίου ή πυριτικού οξέος.

10.2.3 Χρήση της γύψου

Η χρήση της γύψου στην γλυπτική γίνεται με την ακόλουθη διαδικασία

Κατ' αρχήν η γύψος κοσκινίζεται μέσα σε λεκάνη με νερό και όχι προσθήκη νερού στην γύψο. Η λεκάνη χρήσιμο είναι να παραμορφώνεται έτσι ώστε να καθαρίζεται εύκολα. Μόλις το νερό κορεστεί από την γύψο και υπάρχει λεπτή επιφάνεια λεπτού στρώματος αδιάλυτης γύψου (1 έως 3 mm πάχους) επάνω από τον πολτό τότε η γύψος είναι έτοιμη προς χρήση.

Όταν η γύψος ανακατευτεί επιταχύνεται η πήξη της. Για τον λόγο αυτό ο γλύπτης παίρνει γύψο από ένα συγκεκριμένο μέρος του δοχείου, χωρίς να ανακατεύει ολόκληρο το πολτό.

Επειδή η γύψος στο στάδιο αυτό είναι παχύρρευστο ρευστό χρησιμοποιείται οπλισμός ίνες ή ύφασμα για την βελτίωση των μηχανικών αντοχών της. Ο οπλισμός αυτός εμβαπτίζεται μέσα στο παχύρρευστο υγρό και το υλικό τοποθετείται επάνω σε σκελετό ή διαμορφώνεται το μέρος ενός εκμαγείου που θέλουμε να κατασκευαστεί.

Μετά από 10 έως 15 λεπτά όπου η γύψος θα περάσει στο στάδιο της πήξης (θα «τραβήξει») η γύψος μπορεί να τοποθετηθεί με ένα πλατύ μαχαίρι επάνω μέρος που θέλουμε να μορφοποιηθεί.

Για να κατασκευαστεί κατ' ευθείαν το πρόπλασμα από γύψο απαιτείται ιδιαίτερη επιδεξιότητα και εμπειρία. Το πρόπλασμα από γύψο γίνεται αφού έχει κατασκευαστεί ο σκελετός του έργου. Στον σκελετό διαμορφώνονται οι κύριοι όγκοι με εφημερίδες εμβαπτισμένες σε γύψο. Πολτός γύψου επικαλύπτει τους κυρίως όγκους και επάνω σε αυτόν μορφοποιούνται οι λεπτομέρειες του έργου.

Οι γλύπτες παρατηρούν ότι σε αντίθεση με τον πηλό, η γύψος αποκαλύπτει αμέσως τις αδυναμίες του έργου. Γενικά, η γύψος χρησιμοποιείται περισσότερο για την κατασκευή εκμαγείων και την κατασκευή προσωρινών θετικών αντιγράφων με χύτευση.

10.3 Ελαστικά

10.3.1 Γενικά

Σήμερα χρησιμοποιείται μεγάλη ποικιλία από διαφορετικά ευέλικτα ελαστικά προϊόντα για την κατασκευή των εκμαγείων για τους εξής λόγους:

- Τα ελαστικά μπορούν και δίνουν ακριβές αντίγραφο του προπλάσματος.
- Λόγω της ελαστικότητας τους μπορούν να ξεκαλουπωθούν εύκολα.
- Γενικά αντέχουν αρκετά στην χρήση και την επανάληψη των αντιγράφων.

Συνήθη ελαστικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εκμαγείων είναι το latex (καοτσούκ), τα πολυσουλφίδια, οι πολυουρεθάνες και οι σιλικόνες. Πολλά από τα ελαστικά αυτά είναι δύο συστατικών. Το πρώτο συστατικό αναμειγνύεται με το έτερο συστατικό σε ορισμένη αναλογία και ακολούθως το υλικό είτε χυτεύεται επάνω στην επιφάνεια του προπλάσματος, είτε επαλείφεται με πινέλο, είτε ψεκάζεται στο υλικό.

Η επιτυχία του ελαστικού να παρακολουθήσει το πρόπλασμα εξαρτάται από την αναλογία πρόσμιξης, την ικανότητα παραμόρφωσης του ελαστικού και το ιξώδες του ελαστικού [66].

10.3.2 Ιδιότητες των ελαστικών

Αναλογία πρόσμιξης

Εκφράζει το ποσοστό ανάμειξης (σε βάρος ή όγκο) του ενός μέρους που πρέπει να αναμειχθεί με το δεύτερο μέρος πριν την χρήση. Η αναλογία ποικίλει από προϊόν σε προϊόν και εξαρτάται από τις οδηγίες του κατασκευαστή για κάθε υλικό.

Ικανότητα παραμόρφωσης του ελαστικού

Η ικανότητα παραμόρφωσης ενός ελαστικού, διαβαθμίζεται στο εμπόριο από το ιδιαίτερα μαλακό με σκληρότητα το ελατό 0A έως το ανελαστικό 95 A. Όσο μικρότερη είναι η σκληρότητα τόσο περισσότερο ελαστικό είναι το εκμαγείο.

Εάν ένα πρόπλασμα έχει έντονες γωνίες ή κοιλότητες, αν δεν μπορεί να παραμορφωθεί δεν θα μπορέσει να ξεκαλουπωθεί. Για τον λόγο αυτό για τέτοιου τύπου προπλάσματα απαιτείται ελαστικό με μεγάλη ικανότητα παραμόρφωσης 15A έως 30A.

Εάν το πρόπλασμα δεν έχει έντονες γωνίες ή πολλές κοιλότητες τότε είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί και ελαστικό με σκληρότητα 50A. Μόνο στην περίπτωση που το πρόπλασμα είναι εντελώς αφαιρετικής μορφής, δεν έχει καθόλου κοιλότητες και θέλουμε να παραχθεί σε τσιμέντο είναι δυνατό

να χρησιμοποιηθεί ελαστικό σκληρότητας 80A που θα δώσει και μεγαλύτερη διάρκεια ζωής στο εκμαγείο.

Ιξώδες

Ιξώδης είναι η ρεολογική συμπεριφορά των υλικών σε υγρή κατάσταση και μελετάται με την βοήθεια ειδικού οργάνου του βισκομέτρου. Για τα ιδανικά ιξώδη υγρά υπάρχει αναλογία μεταξύ της διατμητικής τάσης, τ , και της ταχύτητας της διατμητικής παραμόρφωσης $\dot{\gamma}$.

Το νερό έχει ιξώδες 1cps. Η μελάσα έχει ιξώδες 100.000 cps [21].

Το ιξώδες έχει ιδιαίτερη σημασία στην επιλογή ενός ελαστικού. Όσο μεγαλύτερο είναι το ιξώδες του ελαστικού τόσο δυσκολότερο είναι να παρακολουθήσει τις λεπτομέρειες του προπλάσματος χωρίς βοήθεια. Επίσης όσο μικρότερο ιξώδες έχει ένα υλικό τόσο καλύτερα θα συμπεριφερθεί κατά την χύτευσή του.

Τα περισσότερα ελαστικά με βάση τη σιλικόνη έχουν μεγάλο ιξώδες από 20.000 cps έως 150.000 cps και για τον λόγο αυτό συνίσταται η τοποθέτηση του μείγματος σε κενό αέρος για να αφαιρεθούν από το μείγμα ενδεχόμενες φυσαλίδες που θα προκληθούν κατά την ανάμειξη και τη χύτευση. Διαφορετικά οι φυσαλίδες που θα αποτυπωθούν επάνω στην επιφάνεια του προπλάσματος και θα παραμορφώσουν την τελική επιφάνεια του έργου. Η πολυουρεθάνες έχουν σχετικά μικρό ιξώδες 800-4500 cps και μπορούν να αποβάλουν από μόνες τους τον αέρα που ενδεχομένως περιέχουν.

Νερό	1 cps
Μαγειρικό λάδι	500 cps
Λάδι μηχανής	2.500 cps
Μελάσα	100.000 cps

Πίνακας 10.1: Ιξώδες. Χαρακτηριστικές τιμές

10.3.3 Συνήθη ελαστικά υλικά εκμαγείων

Latex (καουτσούκ)

Το καουτσούκ είναι φυσικό ελαστικό που παράγεται από δέντρα. Για να γίνει το υλικό χρήσιμο για εκμαγεία παρασκευάζεται διάλυμα με αμμωνία και νερό. Το καουτσούκ επαλείφεται πάνω στο πρόπλασμα και δεν χυτεύεται.

Το καουτσούκ δεν είναι ιδιαίτερα ακριβό. Τα εκμαγεία με καουτσούκ είναι ελαστικά με λεπτά τοιχώματα σχετικά ανθεκτικά με ικανοποιητική αντοχή. Λόγω της μεγάλης ελαστικότητας του καουτσούκ το εκμαγείο είναι πολύ εύκολο στο ξεκαλούπωμα. Τα εκμαγεία από καουτσούκ είναι ιδανικά για κατασκευή αντιγράφων μικρών έργων από κονίαμα, καθώς επίσης και για κερί ή γύψο.

Η κατασκευή εκμαγείων από καουτσούκ είναι επίπονη και χρονοβόρος. Η κατασκευή του εκμαγείου απαιτεί επάλειψη του έργου με πινέλο σε στρώσεις (τουλάχιστον είκοσι). Για κάθε στρώση απαιτούνται τέσσερις ώρες αναμονής για να στερεοποιηθεί το προηγούμενο υλικό. Έτσι για να κατασκευαστεί ένα εκμαγείο από καουτσούκ απαιτούνται περίπου δέκα μέρες. Εκτός αυτού πολλά προϊόντα από καουτσούκ έχουν αμμωνία και εκπέμπουν αρωματικούς υδρογονάνθρακες [106].

Στα εκμαγεία που έχουν κατασκευαστεί με καουτσούκ δεν ενδείκνυται η χύτευση συνθετικής ρητίνης.

Ελαστικά πολυσουλφίδια

Τα ελαστικά από πολυσουλφίδια χρησιμοποιούνται ευρέως για κατασκευή εκμαγείων. Είναι υλικά δύο συστατικών και απαιτείται ακριβής ανάμειξη των μερών βάρους των δύο συστατικών σύμφωνα με τις οδηγίες. Μπορούν να εφαρμοστούν επάνω στο πρόπλασμα και με επάλειψη αλλά και με χύτευση. Έχουν μεγάλη ικανότητα παραμόρφωσης και αντέχουν στον χρόνο. Δεν επηρεάζονται από υγρασία που υπάρχει στο πρόπλασμα όπως τα άλλα ελαστικά. Τα εκμαγεία από πολυσουλφίδια είναι κατάλληλα για κατασκευή αντιγράφων κεριού και γύψου αλλά όχι τσιμέντου και συνθετικής ρητίνης.

Τα περισσότερο συνηθισμένα ελαστικά από πολυσουλφίδια έχουν έντονη οσμή. Πολλά από αυτά μπορεί να ρυπάνουν την γύψο αν έρθουν σε επαφή με αυτήν. Το κόστος τους είναι γενικά μεγαλύτερο από το καουτσούκ και από τις σιλικόνες.

Ελαστικά σιλικόνης

Αντίστοιχα με τα πολυσουλφίδια τα ελαστικά σιλικόνης είναι δύο συστατικών. Οι σιλικόνες διατίθεται σε σκληρές, μεσαίας σκληρότητας και μαλακές. Οι σιλικόνες μπορεί να σκληρύνονται με καταλύτη πλατίνα ή κασσίτερο. Είναι ιδιαίτερα εύχρηστες στην κατασκευή ενός εκμαγείου καθώς μπορεί να επαλειφθούν, να χυτευτούν ή και να ψεκαστούν επάνω στο πρόπλασμα και να πάρουν τα χαρακτηριστικά του με την καλλίτερη ακρίβεια από οποιοδήποτε άλλο ελαστικό.

Τα εκμαγεία από σιλικόνη έχουν την καλύτερη συμπεριφορά από τα άλλα εκμαγεία και είναι ιδιαίτερα κατάλληλα για κατασκευή αντιγράφων με ρητίνες, (πολυουρεθάνες, πολυεστέρες και εποξειδικές).

Τα ελαστικά από σιλικόνη είναι ανθεκτικά στη θερμοκρασία μέχρι περίπου (205°C). Η μεγάλη αντοχή στην θερμοκρασία κάνει την σιλικόνη το μόνο ελαστικό κατάλληλο για χύτευση μετάλλων με χαμηλό σημείο τήξεως (κασσίτερος, αντιμόνιο, μόλυβδος). Η σιλικόνη είναι η καλύτερη επιλογή για κατασκευή αντιγράφων από ρητίνη γιατί συνδυάζει πολύ καλές μηχανικές αντοχές, καλή χημική αδράνεια (σε σχέση με άλλα ελαστικά) και θερμική αντίσταση.

Γενικά η σιλικόνη είναι ακριβότερη από τα άλλα ελαστικά. Η σιλικόνη αντιδρά με θειούχο άργιλο και δεν είναι κατάλληλη στην κατασκευή εκμαγείου από πρόπλασμα αυτής της συστάσεως. Το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την πήξη της είναι αρκετά μεγαλύτερο από τα πολυσουλφίδια αλλά μικρότερο από το καουτσούκ. Για την χρήση της σιλικόνης είναι απαραίτητο να γίνει ακριβής

ανάμειξη των μερών βάρους σύμφωνα με τις οδηγίες. Οι σιλικόνες με καταλύτη κασσίτερο δεν έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής.

Ελαστικά πολουρεθάνης

Τα ελαστικά πολουρεθάνης είναι και αυτά υλικά δύο συστατικών που καλύπτουν μεγάλη ποικιλία από εφαρμογές, με σχετικά χαμηλό κόστος. Τα ελαστικά πολουρεθάνης είναι δυνατό να χυτευτούν, να επαλειφτούν, ή να ψεκαστούν επάνω στο πρόπλασμα. Η πολουρεθάνη είναι εύκολη στην χρήση και την ανάμειξη σε μέρη όγκου.

Ελαστικές πολουρεθάνες είναι διαθέσιμες σε διάφορες σκληρότητες. Ανάλογα με το αντικείμενο και το υλικό που θέλουμε να κατασκευαστεί επιλέγεται και η κατάλληλη σύσταση. Σε υγρή μορφή έχουν χαμηλό ιξώδες. Έχουν όμως μεγάλη αντοχή σε τριβή και για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ανθεκτικών εκμαγείων, όπως αντιγράφων τσιμέντου, είναι δέ περισσότερο οικονομικές από τις σιλικόνες και τα πολυσουλφίδια.

Ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα των ελαστικών πολουρεθάνης είναι ότι δεν είναι πολύ συνεκτικά και συγκολλούνται επάνω σε κάθε επιφάνεια ενώ κατά την διάρκεια της χύτευσης μπορεί να εμφανίσουν φυσαλίδες στην επιφάνεια του εκμαγείου. Σε υγρό περιβάλλον είναι δυνατόν να παρουσιάσουν κενά.

11 Κατασκευή του έργου

11.1 Γενικά

Έρευνες όπως η επιλογή του υλικού για το Maitreya Statue [38] (ύψους 152m) που μελετήθηκε από Βρετανούς επιστήμονες, με στόχο την διάρκεια ζωής του έργου για χίλια έτη, έχουν καταλήξει στην επιλογή μεταλλικού κελύφους από χαλκό μορφοποιημένο με χύτευση γύρω από υποστηρικτικό σκελετό συνεκτιμώντας τα εξής:

11.2 Φυσικός λίθος

Πολλά γλυπτά από φυσικό λίθο έχουν διατηρηθεί μεγάλο χρονικό διάστημα, αλλά οι ιδιότητες του υλικού δεν επιτρέπουν ελεύθερο σχεδιασμό του έργου. Οι φυσικοί λίθοι είναι υλικό με μεγάλο ειδικό βάρος και δεν είναι κατάλληλο για έργα με μεγάλα ανοίγματα χωρίς ειδική υποστήριξη. Είναι δυσχερέστατο μεγάλα έργα να κατασκευαστούν από τον ίδιο όγκο υλικού και απαιτούνται οπωσδήποτε ειδικές συνδέσεις.

Η υποστήριξη ή η σύνδεση (συνήθως εσωτερικός οπλισμός του λίθου) μετά από ένα χρονικό διάστημα παραμονής στο περιβάλλον διαβρώνεται και προκαλεί αστοχίες στην κατασκευή οι οποίες δεν είναι εύκολο να επισκευαστούν.

11.3 Κονιάματα-σκυροδέματα

Το σκυρόδεμα είναι εύκολο να χυτευτεί σε διάφορα σχήματα αλλά δεν έχει ικανοποιητική αντοχή σε γήρανση. Για την κατασκευή μεγάλων ανοιγμάτων απαιτείται η χρήση μεταλλικού σκελετού. Συνήθης μεταλλικός σκελετός μέσα στο σκυρόδεμα θα διαβρώνονταν στο βάθος του χρόνου και θα δημιουργούσε προβλήματα και αστοχίες στην κατασκευή. Χρησιμοποιώντας ανοξείδωτο χάλυβα θα αυξανόταν η διάρκεια ζωής του έργου. Όμως δεν θα μπορούσε να αποφευχθεί η αλλοίωση της επιφάνειας του γλυπτού λόγω της ενανθράκωσης του σκυροδέματος. Επικάλυψη του σκυροδέματος με φυσικό λίθο θα μπορούσε να αυξήσει την διάρκεια ζωής του, αλλά θα ήταν πολύ δύσκολο να



Εικόνα 11.1: Τρισδιάστατη απεικόνιση του ερευνητικού έργου του Maitreya Statue

κατασκευαστεί.. Εξάλλου τα μεγάλα κατασκευαστικά προβλήματα που θα προκαλέσει το σκυρόδεμα λόγω του ιδίου βάρους του δεν καθιστούν αυτήν την τεχνική λύση ιδανική [8].

11.4 Μεταλλικό κέλυφος

Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι για να κατασκευαστεί ένα γλυπτό από μεταλλικό κέλυφος.

11.4.1 Μορφοποιημένο μεταλλικό κέλυφος με σφυρηλάτηση

Υλικά όπως το ατσάλι, το τιτάνιο, το αλουμίνιο και ο καθαρός χαλκός, δεν χυτεύονται εύκολα, αλλά μορφοποιούνται σε μεταλλικά φύλλα με σφυρηλάτηση.

11.4.2 Μορφοποιημένο μεταλλικό κέλυφος με χύτευση

Για την κατασκευή ενός γλυπτού δύο είναι κυρίως τα μέταλλα που χυτεύονται σήμερα. Κράματα αλουμινίου και κράματα χαλκού. Το χυτό αλουμίνιο δεν παρουσιάζει ικανοποιητικές μηχανικές αντοχές. Αντίθετα ο χαλκός είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό υλικό. Πολύ καλές ιδιότητες παρουσιάζει το κράμα που αναπτύχθηκε πρόσφατα με την επωνυμία Nickel-Aluminium Bronze AB2 (σύμφωνα με το Βρετανικό Κανονισμό 1400). Ο χαλκός αυτός χρησιμοποιείται σε θαλάσσια έργα και έχει μεγάλη ανθεκτικότητα στην διάβρωση.

Χυτεύσεις γλυπτών από χάλυβα δεν έχουν παρουσιάσει ιδιαίτερο ενδιαφέρον γιατί δεν αναδεικνύουν την μορφή όσο ο χαλκός ενώ παράλληλα τα συνήθη κράματα χάλυβα παρουσιάζουν μειωμένη χημική αντίσταση. Εξάλλου η χύτευση σιδηρούχων κραμάτων είναι τεχνικά δυσχερής και οικονομικά ασύμφορη.

11.4.3 Εσωτερικός σκελετός υποστήριξης

Η επιλογή του χαλκού συνδυάζει το σχετικά οικονομικό και ανθεκτικό στην γήρανση, μεταλλικό κέλυφος με ένα οικονομικότερο και ανθεκτικότερο υλικό στο εσωτερικό της κατασκευής. Αυτή η προσέγγιση επιλέχθηκε για τα περισσότερα μεγάλα έργα του αιώνα. Ο Gustave Eiffel επέλεξε την σφυρηλάτηση του χαλκού γύρω από εσωτερικό υποστηρικτικό σκελετό για την κατασκευή του αγάλματος της Ελευθερίας. Σε πολλές περιπτώσεις όμως, όταν έχουμε σκελετό από σιδηρούχα κράματα ως υποστηρικτική κατασκευή του χάλκινου κελύφους παρατηρούνται έντονα φαινόμενα γαλβανικής διάβρωσης.

12 Κατασκευή του γλυπτού από μέταλλο

12.1 Ιστορική εξέλιξη

Γύρω στο 4000 π.Χ. και μετά από επίμονη παρατήρηση των φυσικών φαινομένων ο άνθρωπος διαπίστωσε την δύναμη της φωτιάς. Τότε παρατήρησε την δυνατότητα που είχε η φωτιά να λειώνει τα μέταλλα. Πέρασαν σχεδόν χίλια χρόνια για να μπορέσει να αποκτήσει συστηματική τεχνογνωσία του χειρισμού της.

Όπως οι αλχημιστές, που εμφανίστηκαν αρκετά χρόνια αργότερα, οι προϊστορικοί μεταλλουργοί είχαν την εξουσία του μάγου. Τα φυσικά στοιχεία θεωρούνταν έμβια και ο προϊστορικός μεταλλουργός μεταμόρφωνε το μέταλλο σαν «έμβρυο», και με τη βοήθεια των στοιχείων της φύσης.

Οι μεταλλουργικές γνώσεις έκρυβαν πολύπλοκες τεχνικές και «μυστήρια» τα οποία εμφανίστηκαν σαν μύθοι σε πολλούς αρχαίους λαούς. Μολονότι ήταν γνωστή η χρήση πολλών μετάλλων από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα, όσον αφορά στα γλυπτά έργα Τέχνης, οι μεταλλουργοί προτιμούσαν την χύτευσή τους με χαλκό (κράματα χαλκού). Τα κράματα του χαλκού συμπεριφέρονται καλά στην χύτευση, έχουν χαμηλό σημείο τήξης σε σχέση με άλλα μέταλλα, εύκολα κατεργαζόμενα και είναι αρκετά ανθεκτικά.

Με το όνομα χαλκός δήλωναν στην αρχαιότητα τόσο το καθαρό μέταλλο όσο και τα κράματά του με άλλα μέταλλα, κασίτερο, μόλυβδο, ψευδάργυρο. Με τον ίδιο τρόπο χρησιμοποιούμε αυτόν τον όρο σήμερα, ενώ στις άλλες ευρωπαϊκές γλώσσες υπάρχει κατά κανόνα η δυνατότητα διάκρισης μεταξύ της πρώτης βασικής ύλης και των κραμάτων για τα οποία έχει επικρατήσει η λέξη bronze –μπρούτζος– σαν παραφθορά του λατινικού ονόματος του λιμανιού της Απουλίας Brudisium το σημερινό Brindisi απ' όπου γινόταν διακίνηση της πρώτης ύλης. Είναι χαρακτηριστικό ότι το όνομα του χαλκού συνδέεται τόσο στα Ελληνικά (χαλκός-Χαλκίς) όσο και στα λατινικά (cuprum-Κύπρος) με τόπους πρώιμης ανάπτυξης της μεταλλουργίας και εξόρυξης του μετάλλου από την εποχή του χαλκού.

Κατωτέρω θα παρουσιαστούν οι τεχνικές και η διαδικασία που χρησιμοποιούσαν και τελειοποίησαν οι Αρχαίοι Έλληνες και οι Ρωμαίοι για να κατασκευάσουν χάλκινα γλυπτά. Δύο είναι οι τρόποι αυτής της μεθόδου. Η άμεση διαδικασία χύτευσης και η έμμεση διαδικασία χύτευσης. Έχει παρατηρηθεί ότι και οι δύο μέθοδοι μπορεί να έχουν εφαρμογή στο ίδιο γλυπτό.

Η αρχαιολογική έρευνα εξετάζει την εξωτερική όψη ενός αντικειμένου παρατηρώντας τα υπολείμματα από τις διόδους εισόδου και εξόδου του μετάλλου από το γλυπτό, τα υπολείμματα άλλων υλικών στα ίδια τα έργα, την σύσταση των υπάρχοντων υλικών, την μικρομορφολογία τους. Συνήθης έλεγχος είναι επίσης η ακτινογράφιση του γλυπτού με ακτίνες Χί. Με την ακτινογραφία που θα

προκύπτει είναι δυνατό να μελετηθεί το πάχος του μετάλλου, όπως και η διαδικασία και ο τρόπος με τον οποίο χυτεύτηκε. Άλλες εξετάσεις που γίνονται είναι ο έλεγχος της σύστασης του κράματος στα διάφορα μέρη του έργου καθώς επίσης και η ενδοσκόπηση του ίδιου του έργου που δίνει πολύτιμες πληροφορίες από το εσωτερικό του και την διαδικασία κατασκευής του.

Η πρώιμη αρχαϊκή βιβλιογραφία αναδεικνύει την πληροφορία ότι η χρήση του χαλκού για την χύτευση γλυπτών πρωτοεμφανίζεται στις περιγραφές του Ομήρου. Ο Όμηρος περιγράφει θέματα από το εργαστήριο και την εργασία του Ηφαίστου. Φυσικά για εκείνη την εποχή η κατεργασία του χαλκού αποτελούσε ένα μεταφυσικό στοιχείο και οι άνθρωποι που το έκαναν ήταν σχεδόν «θεοί».

Ιστορικές περιγραφές έχουμε από τον Ρωμαίο συγγραφέα Πλίνιο [69]. Ο Πλίνιος περιέγραφε παραστατικά πολλά Ελληνικά και Ρωμαϊκά χάλκινα γλυπτά και ανέφερε τους καλλιτέχνες που τα δημιούργησαν. Αρκετά από τα γλυπτά που περιέγραψε ο Πλίνος διασώζονται ακόμα και σήμερα. Ο Πλίνιος ανέφερε ενδιαφέροντα σχόλια που συμπεριελάμβαναν τη σύσταση του χαλκού που χρησιμοποιούνταν. Γενικά τα σχόλιά του είναι μάλλον περιγραφικά για την διαδικασία χύτευσης. Ο Πλίνιος έγραψε για τον χαλκό:

«Η γλυπτική με χαλκό αρχικά εξυπηρέτησε κυρίως γλυπτά που αναπαριστούν Θεούς. Μετά η τεχνική αυτή πέρασε από την αναπαράσταση των Θεών στην αναπαράσταση ανθρώπων σε πολλές και διαφορετικές μορφές... Μορφές από την καθημερινή ζωή δεν αναπαριστούνται συνήθως σε αντίθεση με Ολυμπιονίκες, νικητές μαχών και γενικότερα ξεχωριστούς ανθρώπους...»

Οι πληροφορίες του Πλίνιου για την τεχνική της χύτευσης, περιλαμβάνονται σε μεταγενέστερα κείμενα. Ο Benvenuto Cellini δίνει λεπτομερείς πληροφορίες στην αυτοβιογραφία του για τα προβλήματα της χύτευσης που αντιμετώπισε για το γλυπτό του «Περσέας» (Εικόνα 12.1). Δεδομένου ότι περιλαμβάνονται σε πολλές Λατινικές και Ιταλικές εκδόσεις τα κείμενα του Πλίνιου, είναι πιθανό το 1540 ο Cellini να χρησιμοποίησε πληροφορίες από εκεί σαν αναφορά που τον οδήγησε στην δική του εργασία [57].

Πολύτιμα συμπεράσματα προκύπτουν από τα ίδια τα αγάλματα. Το 1996 το Harvard University Art Museum συνέλεξε 52 μεγάλης κλίμακας χάλκινα αγάλματα για παράλληλη έκθεση και έρευνα στο πανεπιστήμιο [77, 82, 88]. Τα αποτελέσματα της έρευνας που έγινε επάνω στα γλυπτά αυτά παρουσιάζεται κατωτέρω.



Εικόνα 12.1: Cellini B., Περσέας, 1545

Μείζον πρόβλημα για τα χάλκινα έργα είναι ότι το μέταλλο είναι εύκολα ανακυκλώσιμο υλικό. Σε περιόδους κρίσης η Τέχνη έμπαινε σε δεύτερη μοίρα και το μέταλλο χρησιμοποιούνταν για χύτευση όπλων και άλλων χρηστικών αντικειμένων. Έτσι, πολύ λίγα χάλκινα αγάλματα σε σχέση με αυτά που αναφέρονται στις αρχαίες περιγραφές έχουν σωθεί σήμερα.

Η τεχνογνωσία των υλικών που χρησιμοποιούσανε στην κατασκευή των εκμαγείων είναι επίσης μία περιοχή αρκετά άγνωστη. Πρακτικό ενδιαφέρον έχει η όπτηση του κεραμικού κελύφους και ο σχεδιασμός της εισαγωγής του μετάλλου (μπουκαδούρες) και των εξόδων του μετάλλου (αέρηδες) μέσα στο εκμαγείο. Η τεχνική που εμπλέκεται στον σχεδιασμό του συστήματος της εισαγωγής του μετάλλου και της εξαγωγής του αέρα είναι πολύ σημαντική παράμετρος στην διαδικασία της χυτεύσεως, αλλά πολύ μικρή γνώση των τεχνικών που χρησιμοποιούνταν στην αρχαιότητα υπάρχει σήμερα γύρω από αυτή.

Σίγουρα υπήρχαν πολλά χυτήρια στη Ρωμαϊκή αυτοκρατορία και η τεχνολογία του χαλκού ήταν πολύ ανεπτυγμένη. Δυστυχώς όμως δεν υπάρχει περιγραφή της τεχνικής που χρησιμοποιούσαν τα Ρωμαϊκά χυτήρια. Αυτό συμβαίνει γιατί πιθανόν οι Ρωμαίοι δεν είχαν βαθιά γνώση της φυσικής μεταλλουργίας αλλά είχαν τριών χιλιάδων χρόνων παράδοση η οποία τους έδινε τις γνώσεις για τον χειρισμό υλικών. Το πρόβλημα αυτό παρουσιάζεται ακόμα και σήμερα σε σύγχρονους χαλκείς οι οποίοι μπορεί να μην μπορούν να εξηγήσουν την δουλειά τους, το πώς και το γιατί εργάζονται όπως εργάζονται, αλλά το αποτέλεσμα της εργασίας τους να είναι εξαιρετικό επειδή έχει διεισδύσει η γνώση στην παράδοση και την πρακτική η οποία δεν μπορεί να αποκωδικοποιηθεί με τον λόγο [83].

12.2 Η χύτευση των μετάλλων στην αρχαία Ελλάδα

Την τεχνική της επεξεργασίας του χαλκού οι κάτοικοι του Ελλαδικού χώρου την ε γνώρισαν από την γειτονική τους Μικρά Ασία στις αρχές της 3ης χιλιετηρίδας π.Χ. Οι Κυκλάδες, η Κρήτη και η Κύπρος είναι φυσικό να προηγήθηκαν του υπολοίπου Ελλαδικού χώρου ευρισκόμενοι σε άμεση επικοινωνία με την Αίγυπτο και την Ανατολή λόγω της γεωγραφικής τους θέσης.

Η μεταλλουργία του χαλκού γνώρισε μεγάλη ανάπτυξη κατά την δεύτερη χιλιετία στην Κρήτη και την Κύπρο. Και στα δύο αυτά νησιά οι μεγάλες αλλαγές του τέλους της δεύτερης χιλιετίας που σημάδεψαν το τέλος του μινωικού πολιτισμού και το τέλος της εποχής του χαλκού, δεν φαίνεται να

επηρέασαν την χαλκουργία. Ακόμη και στους σκοτεινούς χρόνους της μετάβασης προς την Πρώιμη Εποχή του Σιδήρου συνεχίστηκε η παραγωγή χάλκινων ειδωλίων στην Κρήτη και τριπόδων στην Κύπρο. Η δραστηριότητα αυτή δεν παρατηρείται στην υπόλοιπη Ελλάδα [12].

Η εύρεση και η επεξεργασία του χαλκού και του σιδήρου αποδίδονταν από τους αρχαίους συγγραφείς στους δαίμονες Ιδαίους Δακτύλους και στους «βασκανούς και γόητες» Τελχίνες. Ο Στράβων ανέφερε ότι αυτοί οι δαίμονες κατοικούσαν στο όρος Ίδη στην Τρωάδα απ' όπου μαζί με τον Μύγδωνα πέρασαν στην Ευρώπη. Οι περισσότεροι όμως συγγραφείς, μεταξύ αυτών και ο Ησίοδος τοποθετούσαν τους Δακτύλους στην Ίδη της Κρήτης. Αναφέρεται ότι εκεί οι Δακτύλοι ανακάλυψαν «την τε του πυρός χρήσιν και την του χαλκού και σιδήρου φύσιν... και την εργασίαν δι'ής κατασκευάζεται». Οι Τελχίνες, που κατά τον Στράβωνα πρώτοι επεξεργάστηκαν τον σίδηρο και τον χαλκό κατοικούσαν στην Κρήτη. Από εκεί πήγαν στην Κύπρο και μετά εγκαταστάθηκαν στην Ρόδο, η οποία μάλιστα ονομάστηκε και Τελχινίς. Στην εποχή του Πausανία (2ος αιώνας μ.Χ.) υπήρχε η παράδοση ότι μέρος των Τελχίνων της Κύπρου μετανάστευσε στην Βοιωτία όπου ίδρυσε το Ιερό της αρχαίας Τελχίδας [97].



Εικόνα 12.2: Άλογο από την Ολυμπία, Γεωμετρική περίοδος, 7ος αι. π.Χ.

Οι παραδόσεις για τους πρώτους διδάξαντες στην επεξεργασία του χαλκού Ιδαίους, Δακτύλους και Τελχίνες είναι φανερό ότι καταδεικνύουν την προτεραιότητα της Κρήτης στην Τέχνη αυτή. Τα πρώτα χάλκινα χυτά κατασκευάστηκαν στην Κρήτη τον 16ο αιώνα π. Χ. και η παραγωγή συνεχίστηκε αδιάκοπα έως την αρχή των γεωμετρικών χρόνων [73]. Η τοποθέτηση εξάλλου των Δακτύλων στην Τρωάδα πιθανόν να υποδηλώνει την κατεύθυνση απ' όπου προήλθαν οι μεταλλουργικές γνώσεις [50].

Δεν είναι ίσως τυχαίο ότι ο Ήφαιστος ο θεός προστάτης των χαλκουργών, συνδέεται άμεσα με την Λήμνο που βρίσκεται στον ίδιο γεωγραφικό χώρο με την Τρωάδα. Στον Όμηρο έχουμε την αρχαιότερη περιγραφή του τρόπου λειτουργίας ενός χαλκουργικού εργαστηρίου με χαλκέα τον ίδιο τον Θεό. Ο Θεός χρησιμοποιεί σφύρα και πυράγρα και δουλεύει το πυρακτωμένο μέταλλο πάνω στον άκμονα. Στο κράμα για την κατασκευή της ασπίδας του Αχιλλέα προσθέτει στον χαλκό κασσίτερο, χρυσό και άργυρο. Στην εποχή των ομηρικών επών το έργο του χαλκουργού περιβάλλεται ακόμη από θεία αίγλη και είναι πραγματικά θείο δώρο. Οι μεταλλάξεις του χρώματος του μετάλλου η ακτινοβολία του και η δύναμή του προφανώς γοήτευαν τους αρχαίους και προσδίδανε σε αυτόν που τα κατεργαζότανε μεταφυσικά χαρίσματα. Οι πρώτοι

ιστορικά υπαρκτοί χαλκείς στην Ελλάδα ήταν οι Σάμιοι Ρόικος και Θεόδωρος. Σε αυτούς αποδίδεται από τον Πausανία η τελειοποίηση της τήξης του χαλκού και η επινόηση της χυτεύσεως μεγάλων χαλκών, κοίλων εσωτερικά αγαλμάτων και οι οποίες έζησαν γύρω στον 6^ο αιώνα π.Χ.

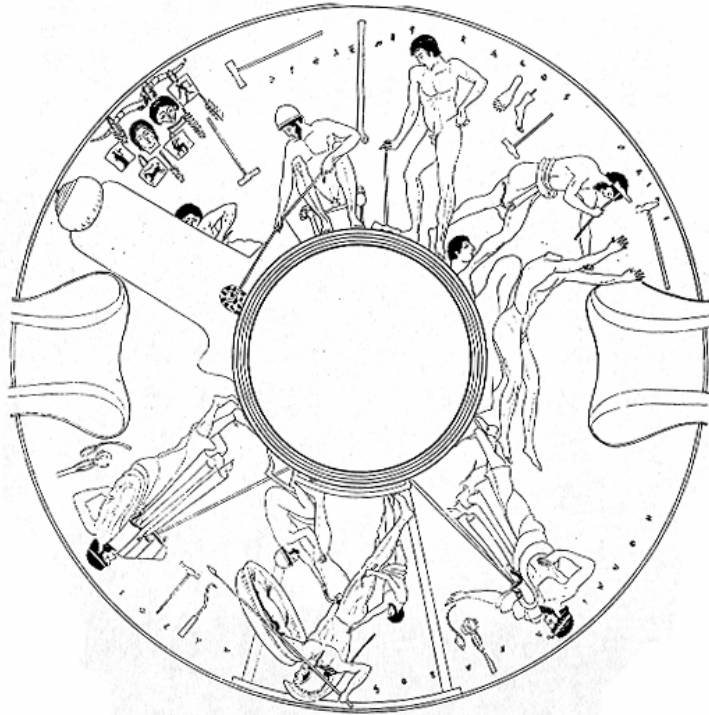
Ήδη έναν αιώνα νωρίτερα οι Σάμιοι τεχνίτες χύτευαν με επιτυχία κεφαλές γρυπών με κοίλα εσωτερικά που στόλιζαν τρίποδες λέβητες. Περιγραφή ενός τέτοιου έργου συνολικού ύψους πέντε μέτρων έδωσε ο Ηρόδοτος. Περί τον 7^ο αιώνα π.Χ. μετά την επιστροφή του Σάμιου Κωλαίου από την Ταρτησό της Ν. Ισπανίας όπου έφερε σε πέρας εμπορική αποστολή του νησιού του οι Σάμιοι με το ένα δέκατο των κερδών κατασκεύασαν και αφιέρωσαν στην προστάτιδα τους Ήρα ένα ανάθημα με προτομές γρυπών που στηριζόταν σε τρίποδα το οποίο αποτελούσαν τρεις γονυκλινείς μορφές 3,5μ. η κάθε μία. Ενδεχομένως ο Σάμιος Κωλαίος να είχε πάει στην Ταρτησό στις ακτές της νότιας Ιβηρίας, πιθανή τοποθεσία που μπορεί να προμηθεύονταν κασσίτερο οι Έλληνες.

Το πρόβλημα της προμήθειας του κασσίτερου είναι από τα περισσότερο σημαντικά για την ανάπτυξη των χυτηρίων στην Ελλάδα. Έχει παρατηρηθεί ότι τους Σκοτεινούς Χρόνους γύρω στο 1000 π.Χ. η παραγωγή σε χάλκινα έργα ήταν μάλλον φτωγή και χωρίς ιδιαίτερη επιδεξιότητα. Αυτό γιατί όπως αναφέρεται από ερευνητές [56] τα πολιτικά προβλήματα που είχαν δημιουργηθεί εκείνη την εποχή δεν επέτρεπαν την προμήθεια κασσίτερου. Έτσι, το κράμα από τους χάλκινους χυτούς τρίποδες που βρέθηκαν στη Σάμο από εκείνη την εποχή είναι πολύ φτωχό σε κασσίτερο με περιεκτικότητα περίπου πέντε τοις εκατό.

Το προβάδισμα της Σάμου στην χαλκουργία υπήρχε από τους πρώιμους αρχαίους χρόνους όπως φαίνεται από το πλήθος των χάλκινων αναθημάτων του 7ου αιώνα π.Χ. που βρέθηκαν στο Ηραίο. Τον 6^ο αιώνα συνεχίστηκε η παραγωγή τεραστίων μεταλλικών αγγείων. Ανάλογη επίδοση στην μεταλλοτεχνία φαίνεται ότι είχαν και οι γείτονες των Σάμιων οι Χίοι. Σε τεχνίτη από την Χίο, τον Γλαύκο, που έζησε τον 6^ο αιώνα π.Χ., αποδίδεται από τον Ηρόδοτο η εύρεση της συγκολλήσεως του σιδήρου.

Κατά τους κλασσικούς χρόνους η κατεργασία του χαλκού διαδόθηκε και σε πολλά άλλα μέρη της Ελλάδας όπου και έχουν καταγραφεί πολλά χυτήρια. Αναφέρονται τα χυτήρια, της Αττικής, του Αργους, της Κορίνθου, των Κυκλάδων κ.α. (Εικόνα 12.2). Άλλα αρχαιολογικά ευρήματα που μας πληροφορούν για την διαδικασία της χύτευσης από τον έκτο μέχρι τον πέμπτο αιώνα π.Χ είναι αντικείμενα από κομμάτια εκμαγείων που χρησιμοποιήθηκαν για την χύτευση αρχαίων αγαλμάτων.

Μέχρι σήμερα δεν υπάρχει κάποια λεπτομερής περιγραφή για την τότε γνώση της «χαλκοχυτικής» που χρησιμοποιούταν από τους αρχαίους Έλληνες και τους Ρωμαίους. Η μόνη τεκμηριωμένη γνώση που έχουμε για την διαδικασία χύτευσης των χάλκινων αγαλμάτων στην αρχαιότητα είναι οι εικόνες ενός αρχαίου αγγείου γνωστού ως «κρατήρας του Βερολίνου» (Εικόνα 12.3).



Εικόνα 12.3: Ο κρατήρας του Βερολίνου, 6ος αι. π.Χ.

χαλκός (κρατέρωμα). Διάφοροι τύποι καμινιού πρέπει να υπήρχαν για την βιομηχανική χρήση. Αυτό που δεν είναι δυνατό να προσδιοριστεί από την σύγχρονη βιβλιογραφία είναι πως γινόταν η μετακίνηση του εκμαγείου για να δεχθεί το με υψηλή θερμοκρασία μέταλλο. Εκτιμάται ότι για την αποφυγή της μετακίνησης του εκμαγείου η χύτευση γινόταν με αγωγό.

Ο χαλκός χρησιμοποιήθηκε στην αρχαιότητα και στην Οικοδομική. Υπάρχουν πολλές αναφορές χάλκινων κτισμάτων στην αρχαιότητα (π.χ. ο τρίτος ναός του Απόλλωνα στους Δελφούς). Σήμερα εκτιμάται από σύγχρονους ιστορικούς ότι τα κτίσματα δεν ήταν ολόσωμα από χαλκό αλλά λίθινα επενδυμένα με φύλα χαλκού.

Κατά τους Κλασσικούς χρόνους οι αρχιτεκτονικές εφαρμογές του χαλκού περιορίστηκαν κυρίως σε πόρτες ή επένδυση τοίχων. Οι κατασκευές αυτές δεν ήταν χυτές αλλά από σφυρήλατα ελάσματα.

Εκτός των χαλκών ο Πανσανίας αναφέρει ότι αρχαία αγάλματα κατασκευάζονταν από τεμάχια σφυρήλατου σιδήρου που συγκολλούνταν και συνενώνονταν με σφυρηλάτηση. Κατά τις αναφορές του, ήταν μια εξαιρετικά επίπονη εργασία. Ως γνωστόν στην αρχαιότητα δεν ήταν ευρέως γνωστή η χύτευση του σιδήρου [119].

Το ανεκτίμητο αυτό κεραμικό δείχνει δύο μεγάλα γλυπτά έργα σε διαφορετική φάση κατεργασίας. Επίσης δείχνει ορισμένα εργαλεία που χρησιμοποιούσαν εκείνη την εποχή. Η Mattusch αναφέρει ότι «Συνδυάζοντας, οι σκηνές του κρατήρα του Βερολίνου είναι πολύ όμοιες με αυτά που μας περιγράφει ο Cellini» [57]. Άρα κατά την Mattusch η αρχαϊκή τεχνική μέχρι τον 16 αιώνα παραμένει σε βασικές αρχές η ίδια.

Πολύ μικρή πληροφόρηση έχουμε για τον τύπο του καμινιού που χρησιμοποιούσαν οι αρχαίοι για να λειώσει ο χαλκός και ο κασσίτερος για να παραχθεί ο

12.3 Η τεχνική της χύτευσης μετάλλων στην αρχαιότητα

12.3.1 Μέταλλα

Κράματα του χαλκού παρασκευάστηκαν στη Μεσοποταμία πριν το 3000 π.Χ. Πριν από τη χρήση κραμάτων χαλκού ήταν σε χρήση τρία μέταλλα: ο χρυσός, το ασήμι και ο χαλκός. Ο χαλκός ήταν πιθανόν το πρώτο μέταλλο που χρησιμοποιήθηκε για βιομηχανικούς σκοπούς, όπως κατασκευή εργαλείων και όπλων. Ο χαλκός μπορούσε εύκολα να μορφοποιηθεί σε διάφορα σχήματα (Εικόνα 12.4).



Εικόνα 12.4: Αιγυπτιακό σχέδιο παράστασης κατεργασίας χαλκού [30]

Αριστερά, εργάζονται μεταλλοτεχνίτες με φουσητήρες που θερμαίνουν το μέταλλο, στο κέντρο εργάζεται ένας μεταλλοτεχνίτης που χυτεύει μέταλλο και δεξιά εργάζονται δύο μεταλλοτεχνίτες που επεξεργάζονται το μέταλλο με πέτρα. 2500 π.Χ.

Στην αρχή, η χύτευση γινότανε από κράμα χαλκού και αρσενικού. Γύρω στο 3000 π.Χ. οι μεταλλουργοί στην Μεσοποταμία ανακάλυψαν ότι η προσθήκη ενός μικρού ποσοστού από κασσίτερο στον καθαρό χαλκό, κάνει το μέταλλο σκληρότερο και περισσότερο χρήσιμο από το χαλκό. Έτσι δημιούργησαν το κράμα του χαλκού το κρατέρωμα. Η προσθήκη του κασσίτερου μειώνει την θερμοκρασία τήξεως του μετάλλου και όταν έλειωνε ήταν περισσότερο ρευστό και μορφοποιούνταν καλύτερα μέσα στο εκμαγείο.

Η σύνθεση του κράματος του χαλκού από Έλληνες και Ρωμαίους χύτες για την κατασκευή αγαλμάτων ήταν από: χαλκό, κασσίτερο και μόλυβδο.

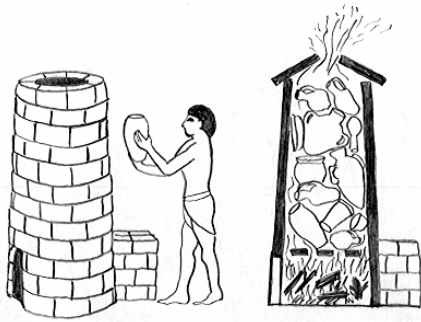
Οι αρχαίοι Έλληνες κατανόησαν ότι με την προσθήκη μολύβδου στο κράμα μειωνότανε το σημείο τήξης και το μέταλλο βρισκόταν για περισσότερη ώρα σε ρευστή κατάσταση. Με αυτό τον τρόπο μπορούσαν να χυτεύουνε μεγαλύτερα αντικείμενα [28].

Στα πλαίσια της έκθεσης που έγινε το 1996 στο Harvard University Art Museum, αναλύθηκαν δεκαπέντε μεγάλης κλίμακας χάλκινα αγάλματα από το Straus Center for Conservation μεταξύ 1994 και 1996. Τα υπόλοιπα τριάντα επτά μεγάλης κλίμακας αγάλματα που εκτέθηκαν είχαν αναλυθεί από άλλα ινστιτούτα και συλλέκτες μεταξύ του 1989 και του 1995. Και τα πενήντα δύο γλυπτά περιείχαν χαλκό, κασσίτερο και μόλυβδο σε διαφορετικές όμως αναλογίες. Ο χαλκός στα είκοσι έξι γλυπτά ήταν μεταξύ του 70-80% και στα υπόλοιπα μεταξύ 80-90%. Πάνω από τα δύο τρίτα των γλυπτών περιείχαν κασσίτερο 5-10%. Ο μόλυβδος ευρέθη στα δύο τρίτα των εξεταζόμενων έργων σε

αναλογία 10-20% περίπου. Η σύνθεση αντιστοιχού κράματος περιγράφεται και από τον Πλίνιο [50, 57, 69].

Τρεις είναι οι βασικές τεχνικές δυσκολίες οι οποίες πρέπει να ξεπεραστούν για την επεξεργασία του μετάλλου. Η υψηλή θερμοκρασία που πρέπει να επιτευχθεί, τα χωνιά χυτεύσεως και τα εκμαγεία που θα δεχθούν το καυτό μέταλλο.

12.3.2 Καμίνια



Εικόνα 12.5: Αιγυπτιακό σχέδιο παράστασης φούρνου κεραμικής, 3000 π.Χ. [30]

Η αγγειοπλαστική ήταν η πρώτη τεχνική που χρησιμοποίησε υψηλές θερμοκρασίες. Περί το 4000 π.Χ. εμφανίστηκαν στη Μεσοποταμία τα πρώτα εργαστήρια αγγειοπλαστικής [23]. Μέχρι το 3500 π.Χ. η αγγειοπλαστική είχε φτάσει σε ψηλά επίπεδα γνώσης και τεχνικής. Εκτιμάται ότι η κατασκευή των αρχαίων φούρνων για την αγγειοπλαστική γινόταν με πηλό και πέτρα ή τούβλο για να αντέχει τις υψηλές θερμοκρασίες των 1050-1200° C (Εικόνα 12.5).

Αντίστοιχοι φούρνοι με τους φούρνους της αγγειοπλαστικής εκτιμάται ότι χρησιμοποιήθηκαν και για τις χυτεύσεις. Με τη χρήση φυσητήρων γινότανε εφικτή η ανύψωση της θερμοκρασίας για την τήξη του μετάλλου (1084° C για τον χαλκό).

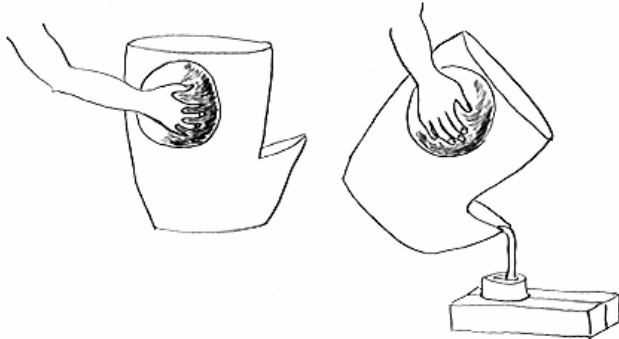
Γενικά αξίζει να σημειωθεί ότι οι αρχές της χύτευσης των μετάλλων παρέμειναν οι ίδιες για πολλά χρόνια. Τα Ρωμαϊκά και τα Ελληνικά χυτήρια χρησιμοποιούσαν και αυτά φυσητήρες για να ανεβάσουν τη θερμοκρασία του μετάλλου [46].

12.3.3 Χωνιά χυτεύσεως

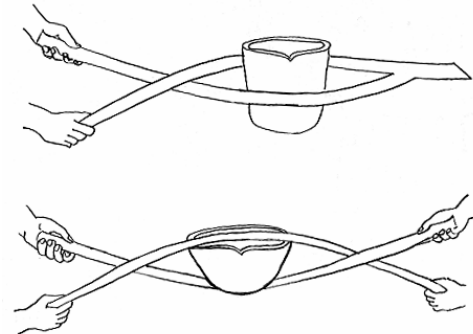
Το χωνί που χρησιμοποιούσαν για τις χυτεύσεις ήτανε συνήθως από ψημένο πηλό. Επειδή το χωνί θα πρέπει να δεχθεί λειωμένο μέταλλο σε υψηλή θερμοκρασία είναι λογικό να σκεφτούμε ότι κάποια ιδιαίτερη τεχνική θα υπήρχε στην αρχαιότητα για να κατασκευάζονται τα χωνιά. Αυτή η τεχνική υπήρχε σίγουρα στους κλασσικούς χρόνους αν και δεν έχουμε βρεθεί ειδικά χωνιά χυτεύσεως μετάλλου. Ο Πλίνιος αναφέρει [57] ότι τα χωνιά από άσπρο πηλό ήταν ανθεκτικά για την διαδικασία της χύτευσης. Μπορούμε να υποθέσουμε ότι ο Πλίνιος αναφέρεται σε ένα είδος άσπρου πηλού που υπάρχει και στην Ελλάδα με μεγάλη περιεκτικότητα σε καολίνη. Τέτοιου τύπου χωνιά χρησιμοποιούσαν και για χύτευση μετάλλου αλλά και για χύτευση γυαλιού.

Χωνιά για την χύτευση γυαλιού έχουνε βρεθεί στην αρχαία αγορά της Αθήνας. Αυτά τα χωνιά έχουν 25-60 cm διάμετρο και 30 cm ύψος. Από μελέτες προκύπτει ότι ένα αντίστοιχο χωνί με 25 cm διάμετρο και 35 cm ύψος θα συγκρατούσε περί τα 250 Kg τηγμένου μετάλλου. Έχει αποδειχθεί ότι

αυτή είναι και η μεγαλύτερη ποσότητα μετάλλου που μπορεί να χυτευτεί με επιτυχία από δύο τεχνίτες σε ένα εκμαγείο (Εικόνες 12.6, 12.7). Όμως μπορεί να υπήρχαν τεχνικές οι οποίες να επιτρέπανε και τη χρήση μεγαλύτερων χωνιών ή χύτευση με την βοήθεια ενός καναλιού που να παροχέτευε κατ' ευθείαν το μέταλλο στο εκμαγείο.



Εικόνα 12.6: Αιγυπτιακό σχέδια παράστασης χωνιού χυτεύσεως 2500 π.Χ. [30]



Εικόνα 12.7: Πιθανός χειρισμός χωνιού χυτεύσεως κατά την αρχαιότητα

12.3.4 Εκμαγεία

Τα εκμαγεία χωρίζονται γενικά σε δύο κατηγορίες. Τα εκμαγεία που χρησιμοποιούνται για να προκύψει το αντίγραφο του προπλάσματος σε κερί (στην έμμεση μέθοδος χύτευσης) και τα εκμαγεία στα οποία γίνεται η χύτευση του μετάλλου.

Το εκμαγείο από το οποίο προκύπτει το αντίγραφο του προπλάσματος σε κερί δεν απαιτεί ιδιαίτερη αντοχή και μπορεί να κατασκευαστεί από γύψο, πηλό ή και άλλα υλικά. Τα εκμαγεία όμως στα οποία χυτεύεται το μέταλλο πρέπει να αντέχουν στις θερμικές καταπονήσεις του μετάλλου και να μην δημιουργούν προβλήματα κατά τη χύτευση. Τα προβλήματα που δημιουργούνται μπορεί να είναι πολλών και διαφόρων μορφών. Για παράδειγμα είναι δυνατόν να χυτεύεται το μέταλλο με παρουσία υγρασίας στο εκμαγείο. Από την επαφή υγρασίας και μετάλλου θα δημιουργηθούν φυσαλίδες και οπές στην επιφάνεια του μετάλλου. Επίσης όταν υπάρχουν άλλα οργανικά στοιχεία στο εκμαγείο με την επαφή τους με το μέταλλο προκύπτουν φυσαλίδες και οπές στο μέταλλο.

Οι Αιγύπτιοι συχνά χρησιμοποιούσαν γύψο και ακόμα συχνότερα οι Ρωμαίοι, ενώ στην Αρχαία Ελλάδα η χρήση της γύψου δεν ήτανε διαδεδομένη. Για την κατασκευή των γλυπτών στην Αρχαία Ελλάδα από τον σχεδιασμό τους μέχρι την κατασκευή των εκμαγείων και την χύτευση χρησιμοποιείτο κυρίως πηλός.

Την εποχή του χαλκού απλές μορφές όπως ξίφη χυτεύονταν σε πέτρινα ή και ξύλινα εκμαγεία που αποτελούνταν από δύο μέρη. Τα εκμαγεία αυτά είχαν το πλεονέκτημα ότι μπορούσαν να ξαναχρησιμοποιηθούν. Γι αυτά τα εκμαγεία δεν χρειαζότανε η εφαρμογή της μεθόδου του χαμένου

κεριού διότι στο εκμαγείο (πέτρα, ξύλο) σκαλίζονταν το σχέδιο που επιθυμούσαν και μέσα στο αρνητικό χυτεύονταν το μέταλλο. Αυτή η μέθοδος χύτευσης παράγει έργα χωρίς κοίλο εσωτερικό. Αντίστοιχη εφαρμογή της μεθόδου γίνεται σήμερα, αφού αποτυπωθεί το έργο σε άμμο χύτευσης.

Για την εφαρμογή της μεθόδου του χαμένου κεριού κατά την αρχαιότητα, αφού τελείωναν το κέρινο πρόπλασμα για την κατασκευή του εκμαγείου χύτευσης, επαλείφανε το έργο με πολλές στρώσεις ρευστού πηλού ο οποίος εφαρμόζονταν επάνω στο έργο ακολουθώντας τις λεπτομέρειες του προπλάσματος. Ακολούθως ο πηλός αυτός ψήνονταν για να φύγει το κερί, ώστε να παραμείνει το αρνητικό στο εσωτερικό του πηλού και για να γίνει ο πηλός κεραμικό. Στο εκμαγείο αυτό χυτεύονταν το μέταλλο. Από εκεί έχει επικρατήσει η ονομασία του εκμαγείου στο οποίο χυτεύεται το μέταλλο να λέγεται κεραμικό κέλυφος.

Μέσα στους αιώνες η τεχνολογία του εκμαγείου χύτευσης εξελίχθηκε. Στην Αναγέννηση χρησιμοποιείται κυρίως γύψος για το εκμαγείο χύτευσης των έργων ενώ αργότερα επικράτησε ένας συνδυασμός γύψου και οπτής αργίλου (κεραμάλευρου).

12.3.5 Συγκολλήσεις

Η διαδικασία της συγκόλλησης διαφόρων στοιχείων επάνω σε ένα γλυπτό απαιτεί ιδιαίτερη τεχνογνωσία η οποία είχε αναπτυχθεί εξαιρετικά κατά την αρχαιότητα.

Τα μάτια κατασκευάζονταν πολλές φορές από γυαλί που συγκολλούσανε με ρητίνη επάνω στο έργο. Εναλλακτικά, τα μάτια κατασκευάζονταν από διαφορετικό μέταλλο που το επικολλούσαν στο έργο με ρητίνη από το εσωτερικό. Κατά την κλασική περίοδο επίσης τα χείλη κατασκευάζονταν ξεχωριστά από κόκκινο χαλκό τον οποίο συγκολλούσαν από την εξωτερική πλευρά του έργου. Άλλα εξαρτήματα των έργων όπως τα όπλα χυτεύονταν ξεχωριστά και ακολούθως τα συναρμολογούσαν πάνω στο έργο.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η συναρμογή διαφορετικών μερών του έργου σε στοιχεία που πρέπει να φαίνονται ενιαία. Στα στοιχεία αυτά η συναρμογή γινότανε με ηλώσεις.

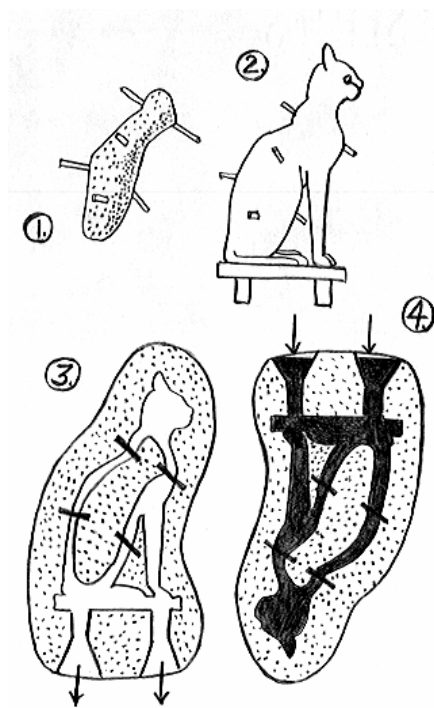
Η σύνδεση γινότανε με πρισματική εξοχή είχε χυτευτεί μαζί με τον κορμό του έργου και προεξείχε στο σημείο της ένωσης από το έργο. Αντίστοιχη εσοχή υπήρχε στο μέρος του έργου που έπρεπε να συνδεθεί. Στα άκρα των ενώσεων υπήρχαν υποδοχές έτσι ώστε να ορίζεται με ακρίβεια η θέση σύνδεσης του έργου. Στο εξωτερικό του έργου ανοίγονταν οπές και μέσα σε αυτές τοποθετούνταν καρφίδες με τα οποία επιτυγχάνονταν η σύνδεση.

Κατά τους Ρωμαϊκούς χρόνους αναπτύχθηκε και η μέθοδος της ρευστής συγκόλλησης [11]. Αυτό γινόταν με τη χύτευση του χαλκού μεταξύ της ραφής των δύο κομματιών. Συχνά τα κομμάτια ενωνόντουσαν με αρμούς μολύβδου με μία απλούστερη διαδικασία που απαιτούσε χαμηλότερες θερμοκρασίες.

12.3.6 Αγωγοί χύτευσης

Για τον σχεδιασμό και την κατασκευή του συστήματος της εισαγωγής και εξαγωγής του μετάλλου κατά την χύτευση γνωρίζουμε ελάχιστα από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνταν στην αρχαιότητα. Επειδή όμως οι αρχές της χύτευσης παραμένουν ίδιες εκτιμάται ότι ο σχεδιασμός των αγωγών δεν έχει αλλάξει. Αυτό μπορούμε να το συμπεράνουμε από αρχαία ευρήματα του συστήματος εισαγωγής και εξαγωγής μετάλλου στα οποία είχαν την μορφή ύψιλον, μορφή που εφαρμόζεται και σήμερα στον σχεδιασμό των συστημάτων αυτών.

12.3.7 Η άμεση μέθοδος χύτευσης με την τεχνική του «χαμένου κεριού»



Εικόνα 12.8: Σχηματική παράσταση της χύτευσης με τη άμεση μέθοδο του χαμένου κεριού.

1. Κατασκευάζεται ο πυρήνας του έργου
2. Ο πυρήνας επικαλύπτεται με κεριό που εικονίζει όλες τις λεπτομέρειες του έργου και έχει πάχος 4-5 mm. Αυτό είναι το πρόπλασμα της χύτευσης
3. Το έργο καλύπτεται με πηλό και ψήνεται (μένει το αρνητικό του έργου μέσα στον πηλό)
4. Στο αρνητικό αυτό χυτεύεται το μέταλλο.

(Hodges 1970)

Αρχικά, τα χάλκινα χυτά δεν είχαν κοίλο εσωτερικό. Για την κατασκευή τους δημιουργούνταν ένα συμπαγές πρόπλασμα από κεριό που το περιέβαλαν με πηλό. Μετά την όπτηση του πηλού και αφού έλειωνε το κεριό, χυτεύονταν μέταλλο στο εσωτερικό του. Η μέθοδος αυτή επικρατεί στην Ελλάδα μέχρι τον 7ο αιώνα π.Χ, όπου επινοείται, το χάλκινο χυτό με κοίλο εσωτερικό.

Από το 700 π.Χ. και μετά μεγαλύτερα θέματα άρχισαν να βρίσκουνε εφαρμογή με τη χρήση της τεχνικής του χαμένου κεριού με κοίλο εσωτερικό (Εικόνες 12.8, 12.9, 12.10, 12.11). Για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής ένας πήλινος πυρήνας «καρδιά» γίνεται με το βασικό σχήμα του γλυπτού (Στάδιο 1^ο). Η «καρδιά» είναι λίγο μικρότερη από το τελικό έργο. Ακολουθως η «καρδιά» καλύπτεται με

κερί στο οποίο σχεδιάζονται οι λεπτομέρειες του έργου και έτσι το έργο παίρνει την τελική του μορφή.

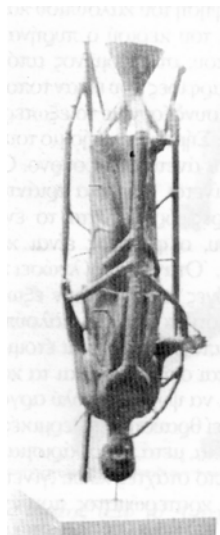
Βέλτιστη χύτευση επιτυγχάνεται όταν το πάχος του κεριού είναι 4-7 mm ενώ η διαφορά πάχους μεταξύ διαφόρων σημείων πρέπει να είναι μικρότερη των 3 mm. Μετά την ολοκλήρωση του κέρινου προπλάσματος τοποθετούνται καρφίδες στο έργο. Με το κεριό δημιουργείται ένα δίκτυο αγωγών

εισόδου του μετάλλου και εξόδου του αέρα. Δίοδοι εισαγωγής μετάλλου από κερι (μπουκαδούρες) επικολλούνται στο πρόπλασμα έτσι ώστε όταν λειώσει το κερι να μπει το λιωμένο μέταλλο. Έξοδοι από κερι επικολλούνται στο πρόπλασμα για να βγει ο αέρας που εγκλωβίζεται με την χύτευση του μετάλλου. (Στάδιο 2^ο) Το κέρινο πρόπλασμα με τις «μπουκαδούρες» και τους «αέριδες» αρχικά επαλείφεται με λεπτό στρώμα πηλού. Ακολούθως καλύπτετε πλήρως με πηλό. Το πήλινο εκμαγείο υφίσταται όπτηση με αποτέλεσμα να λειώσει το κερι και μετά υφίσταται όπτηση σε υψηλή θερμοκρασία για να αποκτήσει αντοχή πηλού «κεραμικό». (Στάδιο 3^ο) Στα κενά που μένουν στο πήλινο εκμαγείο από το λειωμένο κερι χυτεύεται χαλκός μέσα από την ειδική διάταξη των αγωγών χύτευσης. (Στάδιο 4^ο) Όταν ο χαλκός κρυώσει το κεραμικό κέλυφος αφαιρείται από το έργο και προκύπτει το χάλκινο αντικείμενο. Οι καρφίδες, και οι αγωγοί εισόδου και εξόδου του μετάλλου αφαιρούνται έντεχνα από το αντικείμενο. Οι ατέλειες που έμεναν από τον εγκλωβισμό αέρα και εμφανίζονται σαν πόροι στο γλυπτό λαξεύονταν πρισματικά με ορθογωνική βάση στην οποία τοποθετούνταν σφήνες από το ίδιο κράμα υλικού. Κατά την κλασική αρχαιότητα, ακόμα και πόροι διαμέτρου ενός χιλιοστού επισκευαζόντουσαν με τον τρόπο αυτό.

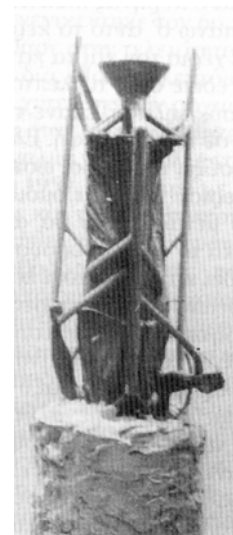
Οι αρχαίοι Έλληνες εν γένει δεν πατινάρανε τα έργα τους. Η επιφάνεια του γλυπτού τελειοποιείτο με μείγμα λαδιού και ρητίνης. Τα γλυπτά που παρέμεναν στον ύπαιθρο τα προστατεύανε με επάλειψη πίσσας. Ο Πλούταρχος αναφέρει χάλκινα αγάλματα κυανού χρώματος στους Δελφούς πράγμα το οποίον πιθανόν να προήρχετο από φυσική οξείδωση των αγαλμάτων που δεν είχαν επαλειφθεί με ρητίνες [27].



Εικόνα 12.9: Πήλινος πυρήνας με σχηματοποιημένη μορφή



Εικόνα 12.10: Το πρόπλασμα σε τελική μορφή



Εικόνα 12.11: Δημιουργία κελύφους χύτευσης από πηλό

Το μειονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι το κάθε αντικείμενο είναι μοναδικό και μπορούσε να παραχθεί μόνο μία φορά. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείτο το 480-450 π.Χ. κυρίως για μικρά γλυπτά [113].

12.3.8 Η έμμεση μέθοδος χύτευσης με την τεχνική του «χαμένου κεριού»

Στην έμμεση μέθοδο χύτευσης ο καλλιτέχνης έφτιαχνε το πρωτότυπο σε τελική μορφή, χρησιμοποιώντας ένα εύπλαστο υλικό (π.χ. πηλό, ξύλο, σκληρό κεριό κ.λ.π.) Αυτό αποτελούσε το θετικό πρόπλασμα από το οποίο προέκυπτε αρνητικό αποτύπωμα σε πηλό. Μετά την απομάκρυνση του πρωτοτύπου ο καλλιτέχνης τοποθετούσε στην εσωτερική πλευρά του εκμαγείου στρώση κεριού. Το πάχος του κεριού ήταν όσο πάχος ήθελε να είναι το πάχος του χαλκού του χυτού. Το κεριό τοποθετούνταν σε ρευστή κατάσταση και σε αλληπάλληλα στρώματα. Μετά τη στερεοποίηση του κεριού ο καλλιτέχνης κατασκεύαζε πυρήνα από πηλό. Ακολούθως απομακρύνονταν το αρχικό εκμαγείο πηλού και ελεγχόταν η επιφάνεια του κεριού. Έτσι ο καλλιτέχνης κατασκεύαζε κέρινο ομοίωμα του αρχικού έργου χωρίς να χαλάσει το πρωτότυπο. Από το στάδιο αυτό ακολουθούσαν η ίδια διαδικασία που ακολουθήθηκε και στην άμεση μέθοδο χύτευσης με χαμένο κεριό.

12.4 Τα χυτήρια και η εξέλιξή τους



Εικόνα 12.12: Πολεμιστής με ξίφος. Μεσοποταμία, 2500 π.Χ.

Από αρχαιολογικές ανακαλύψεις έχει προκύψει ότι η Μεσοποταμία μεταξύ του 3000 και 4000 π.Χ. ήταν το κέντρο ενός πολιτισμού ο οποίος είχε αναπτύξει μεγάλες προόδους στην μεταλλουργία και την τεχνολογία εν γένει συμπεριλαμβανομένης και της γνώσης της κατασκευής χρυσών, ασημένιων και χάλκινων έργων Τέχνης με την μέθοδο του χαμένου κεριού (Εικόνες 12.12, 12.13).

Τα πρώτα χάλκινα γλυπτά χρονολογίας 2500 π.Χ. βρέθηκαν σε τάφους Σουμέριων Βασιλέων στις πεδιάδες της Μεσοποταμίας. Η τεχνολογία αυτή διαδόθηκε στην ανατολική Μεσόγειο, την Αίγυπτο, την Κύπρο, τον Μυκηναϊκό και τον Μινωικό πολιτισμό καθώς επίσης και την Άπω Ανατολή

Στην Κίνα η χρήση της τεχνικής του χαμένου κεριού γινόταν από το 2000 π.Χ. ενώ δημιουργούνται εξαιρετικά χάλκινα χυτά κατά την δυναστεία των Shang 1776-1122 π.Χ.

Αν και στην Μεσοποταμία χρησιμοποιούν χαλκό (κρατέρωμα) από το 3000 π.Χ., οι Αιγύπτιοι χρησιμοποιούσαν καθαρό χαλκό μέχρι το 2000 π.Χ. Ο λόγος που οι Αιγύπτιοι δεν χρησιμοποιούσαν κράματα χαλκού είναι μάλλον ότι δεν υπήρχε διαθέσιμος κασσίτερος στην Αίγυπτο.



Εικόνα 12.13: Χάρτης των κυριότερων τοποθεσιών προέλευσης μεταλλευμάτων το 3000 π.Χ.[36]

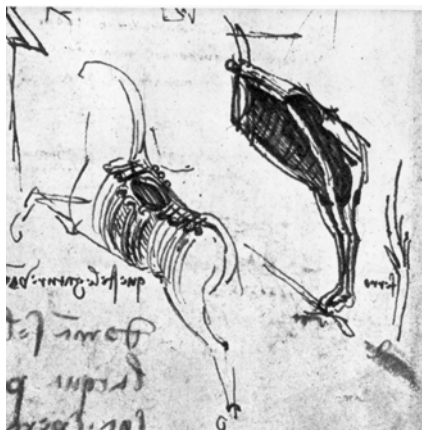
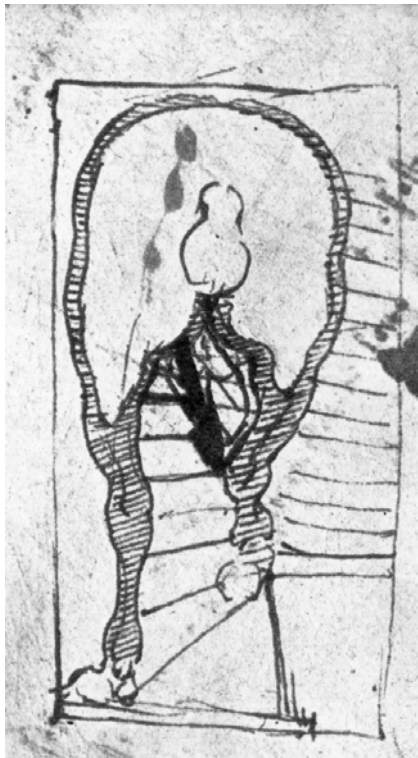
Χρονολογία	π.Χ.				μ.Χ.			
	5000	4000	3000	2000	1000	0	1000	2000
Μεσοποταμία		○ ○	○○○○	○○ ○ ○			○	
Ινδία			○ ○	○	○	○	○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
Κίνα				○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
Ελλάδα					○ ○ ○ ○	○ ○		○ ○
Ετρούτσκοι					○ ○ ○			
Ιταλία-Ρώμη						○ ○ ○	○	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○
Δυτική Ευρώπη								○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○

Πίνακας 12.1: Τοπική και χρονική εξέλιξη της παραγωγής χάλκινων γλυπτών

Η τεχνολογία του χαμένου κεριού είναι ευρέως γνωστή στον αρχαίο κόσμο από την αρχή και έχει εμφανιστεί στην Κίνα, στη Νοτιοανατολική Ασία, στην Μεσοποταμία, την Αίγυπτο, την Κρήτη, την Ελλάδα και αλλού.

Στην Αμερική πολύ πριν την άφιξη του Κολόμβου οι Αζτέκοι του Μεξικού ήταν πολύ εξοικειωμένοι με την τεχνική του χαμένου κεριού δημιουργώντας καταπληκτικά χρυσά κοσμήματα.

Κατά τον 14^ο και 15^ο αιώνα αναπτύσσεται η τεχνική του χαμένου κεριού και στην Νιγηρία. Αν και χρησιμοποιούσαν την τεχνική αυτή επί αιώνες και είχανε φτάσει σε πολύ καλό επίπεδο χύτευσης, η τεχνική δεν ήτανε ευρέως γνωστή γιατί χρησιμοποιήθηκε μόνον στην διακόσμηση των βασιλικών οικημάτων, από συγκεκριμένους τεχνίτες.



Εικόνα 12.14: Μελέτες του Leonardo Da Vinci για την χύτευση με χαμένο κερί.

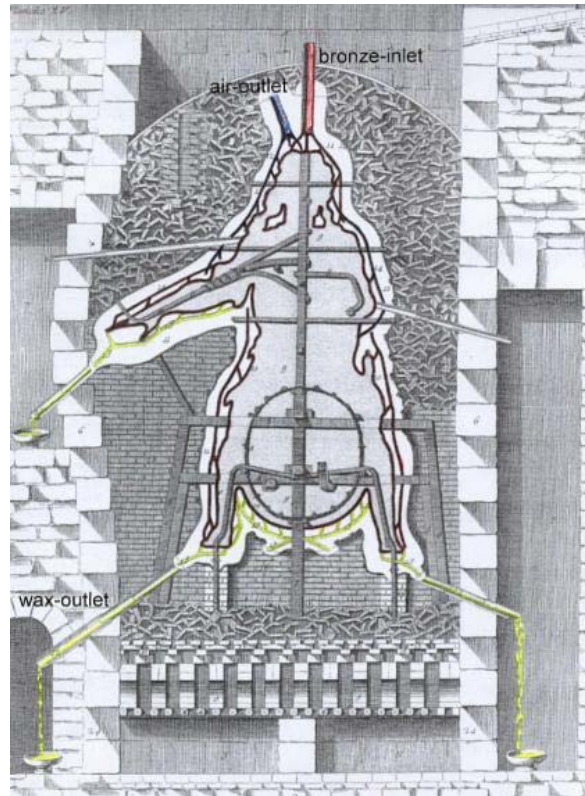
Αριστερά, σχέδια του Leonardo Da Vinci για την κατασκευή κέρινου προπλάσματος αλόγου για χύτευση με χαμένο κερί. Στην φωτογραφία «άλογο και ιππέας» έργο του Da Vinci

Ανάπτυξη και συστηματική έρευνα επάνω στην τεχνική του χαμένου κεριού παρατηρείται στην Ιταλική Αναγέννηση. Εκτός από τον Cellini υπάρχουν και άλλες σχετικές αναφορές που περιγράφουν την τεχνική [25], ενώ σε μελέτες του Leonardo Da Vinci εμφανίζεται συστηματική σχετική έρευνα (Εικόνα 12.14). Ο Varrinee Krickes από την Πράγα περιγράφει πως με την χρήση της μεθόδου του χαμένου κεριού μπορεί να γίνει ένα κανόνι. Το 1538 ο Vannocio Bringuccio πρωτομάστορας του χυτηρίου του Βατικανού στο σύγγραμμα “Pirotechnia” αναφέρει:

«Υπάρχουν εκμαγεία από ασβεστοκονιάματα τα οποία χρησιμεύουν για την κατασκευή μεγάλων έργων από χαλκό, τα οποία κατασκευάζονται πρώτα σε κερί σύμφωνα με την συνηθισμένη διαδικασία» [73].

Από την Αναγέννηση και μετά δεν υπάρχουν μεγάλες αλλαγές στον τρόπο κατασκευής των αγαλμάτων με την μέθοδο του χαμένου κεριού. Χρησιμοποιήθηκε κυρίως η έμμεση μέθοδος χύτευσης του χαμένου κεριού (Εικόνα 12.15). Υπήρξε μόνον τροποποίηση σε ορισμένα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν κατά την διαδικασία της χυτεύσεως [89]. Στην αρχαιότητα χρησιμοποιήθηκε κυρίως ο πηλός, ενώ στην Αναγέννηση χρησιμοποιήθηκε κυρίως ο γύψος ως βοηθητικό υλικό στην διαδικασία χύτευσης.

Εξέλιξη αποτελεί και η χύτευση μετάλλων σε εκμαγείο από άμμο. Στην Γαλλία του 16^{ου} αιώνα δεσπόζουσα έκφραση της γλυπτικής ήταν τα ανάγλυφα. Η χύτευση με χαλκό ήταν πολύ προσφιλές τα τέλη του 17^{ου} και 18^{ου} αιώνα (κυρίως για μικρά έργα) και για τον λόγο αυτό η τεχνική της χύτευσης παρουσίασε μεγάλη ανάπτυξη. Για να μειωθεί το κόστος και για να απλοποιηθεί η διαδικασία, οι Γάλλοι τεχνίτες εφήρμοσαν τα τέλη του 18^{ου} αιώνα την μέθοδο χύτευσης με άμμο. Λόγω κυρίως αισθητικών προτιμήσεων, η χρήση του χαλκού στην Τέχνη εγκαταλείφθηκε σταδιακά τον 19^ο αιώνα και η αφαιρετική μέθοδος της γλυπτικής επικράτησε έως τις αρχές του 20^{ου} αιώνα.



Εικόνα 12.15: Όπτηση του δευτερογενούς εκμαγείου [9]

12.5 Η χύτευση των μετάλλων σήμερα

Η κυρίως διαφορά που παρατηρείται από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα είναι η διαφορά των χρησιμοποιούμενων υλικών. Κατά την αρχαιότητα, το εκμαγείο χυτεύσεως κατασκευαζόταν από πηλό ενώ σήμερα κατασκευάζεται από άλλα, πλέον σύνθετα υλικά. Παράλληλα, σήμερα χρησιμοποιούνται ευρέως ελαστικά για την κατασκευή των εκμαγείων.

Σημαντική εξέλιξη στην τεχνογνωσία των χυτεύσεων έγινε στην Αμερική την εποχή του δεύτερου παγκοσμίου πολέμου για τα μέταλλα με υψηλό σημείο τήξεως. Η εξέλιξη αυτή οδηγήθηκε από την ανάγκη κατασκευής μεγάλων εξαρτημάτων ακριβείας για τα μηχανικά μέρη των αεροπλάνων. Παρ' όλα αυτά δεν μπορεί να πει κανείς ότι χυτεύσεις μετάλλων με υψηλό σημείο τήξεως έχουν βρει ακόμα εφαρμογή στην γλυπτική.

12.6 Συνήθη κράματα χαλκού

Τα κράματα προκύπτουν ως εξής: αναμειγνύουμε δύο ή περισσότερα σε ρευστή κατάσταση μέταλλα σε αναλογίες που ποικίλλουν και αφήνουμε το μίγμα να κρυώσει και να στερεοποιηθεί [90].

Από όλα τα μέταλλα επτά είναι τα καταλληλότερα για κράματα:

σίδηρος, χαλκός, ψευδάργυρος, μόλυβδος, κασσίτερος, αργίλιο και μαγνήσιο.

Δεκαπέντε επιπλέον μέταλλα έχουν συνδυαστεί επιτυχώς με σαράντα άλλα στοιχεία σχηματίζοντας κράματα. Μολονότι ο κατάλογος των κραμάτων που είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν είναι τεράστιος εν γένει δεν συνδυάζονται όλα τα στοιχεία.

Ο χαλκός αποτελεί το πρώτο μέταλλο που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος μετά τη νεολιθική εποχή. Ο χαλκός είναι ένα μέταλλο σχετικά ανθεκτικό στη διάβρωση. Η πυκνότητά του είναι $8,9 \text{ Kgr/dm}^3$, το σημείο τήξης 1083°C και ο συντελεστής γραμμικής διαστολής του $16,8 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$, στην περιοχή μεταξύ 20 και 100°C .

Ο χαλκός έχει αυξημένη μηχανική αντοχή, τουλάχιστο 2 MPa για τον ανοπτημένο χαλκό και 3 MPa για τον ανακρυσταλλωμένο χαλκό. Ο χαλκός είναι εύπλαστο μέταλλο και εν γένει ευκατέργαστο.

Η χύτευση ενός έργου σε χαλκό γίνεται συνήθως με το κράμα του χαλκού -κρατέρωμα- ευρύτερα γνωστό και ως μπρούτζος [67]. Το κρατέρωμα είναι μίγμα χαλκού και κασσίτερου σε κατάσταση τήξης. Το κράμα αυτό όταν ψυχθεί δίδει ένα σκληρότερο και ανθεκτικότερο υλικό διάφορο του χαλκού ή του κασσίτερου. Το στερεό αυτό είναι το πρώτο υλικό που αναφέρεται ιστορικά. Άλλο κράμα χύτευσης είναι ο ορείχαλκος, ο οποίος είναι μίγμα χαλκού και ψευδάργυρου. Ο ορείχαλκος διαφέρει από το κρατέρωμα και δεν συνηθίζεται η χρήση του για την χύτευση γλυπτών.

Οι χάλυβες είναι κράματα σιδήρου και άνθρακα, που συνήθως έχουν και πρόσθετα στοιχεία για ειδικούς σκοπούς όπως χρώμιο, πυρίτιο κ.α. για την βελτίωση των ιδιοτήτων τους.

Ο χαλκός ως κύριο συστατικό των κραμάτων που χρησιμοποιούνται στην γλυπτική, είναι το συνηθέστερο μέταλλο καθότι το χαμηλό (σε σχέση με τα υπόλοιπα μέταλλα) σημείο τήξης του, τον κάνει ιδιαίτερα εύχρηστο στην χύτευση και δεν απαιτεί ιδιαίτερη κατανάλωση ενέργειας για να ρευστοποιηθεί. Η καλή ρεολογική συμπεριφορά σε τήξη των κραμάτων χαλκού είναι ένα πρόσθετο στοιχείο.

Όταν το υλικό είναι στο εκμαγείο, κατά την διάρκεια της χύτευσης ο χαλκός έχει διασταλεί. Όταν ο χαλκός ψυχθεί, συστέλλεται και μπορεί να αφαιρεθεί εύκολα από το εκμαγείο.

Το κρατέρωμα είναι ένα σκληρό και ανθεκτικό κράμα. Έχει ικανοποιητική αντοχή, χημική αδράνεια και μορφοποιείται εύκολα με χύτευση ή με σφυρηλάτηση.

Τα κράματα του χαλκού περιέχουν συνήθως κασσίτερο και μικρό μέρος μολύβδου. Ο κασσίτερος, το αλουμίνιο και το πυρίτιο προστίθενται για να βελτιώσουν ιδιότητες του χαλκού. Ο χαλκός με πυρίτιο χρησιμοποιείται ευρέως σήμερα στις χυτεύσεις. Ο χαλκός με την πάροδο του χρόνου αλλάζει χρώμα και μεταλλάσσεται σε πράσινο ή καφεκόκκινο οφειλόμενο στην οξείδωση του.

Άλλη ιδιαίτερα σημαντική ιδιότητα του κρατερώματος είναι η καλή συμπεριφορά του στις συγκολλήσεις. Ο χαλκός για να συγκολληθεί πρέπει να θερμανθεί στους 430°C.

Ιδιότητες των πρόσθετων στοιχείων στον χαλκό:

- Ο μολύβδος που προστίθεται στο κράμα του χαλκού είναι για να γίνεται ο χαλκός περισσότερο εύχρηστος βελτιώνοντας το εργάσιμο του υλικού.
- Το πυρίτιο βελτιώνει τις ρεολογικές ιδιότητες του χαλκού και αυξάνει την χημική του αντίσταση.
- Το μαγνήσιο όπως και το αλουμίνιο βελτιώνει τις μηχανικές αντοχές του χαλκού αλλά μειώνει μεγάλο μέρος από την ικανότητα προς παραμόρφωση (γίνεται περισσότερο ψαθυρός). Για τον λόγο αυτό κράματα χαλκού με αλουμίνιο ή μαγνήσιο χρησιμοποιούνται κυρίως την κατασκευή εξαρτημάτων μηχανών.
- Ο χαλκός με περιεκτικότητα 10% ή περισσότερο κασσίτερο χρησιμοποιείται συνήθως για την κατασκευή συρμάτων ή σωλήνων.
- Το κρατέρωμα είναι περισσότερο ανθεκτικό μέταλλο από τον ορείχαλκο.

Εκτός των καλλιτεχνικών του χρήσεων κράματα χαλκού χρησιμοποιούνται και για παραγωγή νομισμάτων, μεταλλίων και στην οπλοποιία. Ευρεία χρήση έχει για την κατασκευή κωδώνων σημάσεως. Το κράμα αυτό περιέχει 20 έως 24% κασσίτερο.

Για να παραχθεί το έργο σε χαλκό, το μέταλλο θερμαίνεται πάνω από το σημείο τήξεώς του δηλαδή ανάλογα με το κράμα στους 1000-1100°C.

Τα κράματα του χαλκού παρουσιάζουν μεγάλο ιστορικό ενδιαφέρον καθότι τα ποσοστά συμμετοχής του χαλκού κυμαίνονται από 67 έως 95% σε διάφορες ιστορικές περιόδους. Ένα χειρόγραφο του 11^{ου} αιώνα της βιβλιοθήκης του Αγίου Μάρκου στην Βενετία, ελληνικής προέλευσης, περιγράφει ένα κράμα από χαλκό με περιεκτικότητα 80% και κασσίτερο 20%. Η αναλογία αυτή εξακολούθησε να εφαρμόζεται και σε μεταγενέστερους χρόνους.

Στην διεθνή βιβλιογραφία αναφέρεται ότι βέλτιστο κράμα χαλκού χύτευσης είναι ο χαλκός με πυρίτιο. Η σύσταση του χαλκού με πυρίτιο (ή αλλιώς Silicon Bronze) καθώς και οι ιδιότητές του αναφέρονται παρατίθεται Παράρτημα της παρούσης εργασίας [33].

Το πυρίτιο βελτιώνει την ρεολογική συμπεριφορά του χαλκού μειώνοντας το ιξώδες του όταν το μέταλλο βρίσκεται σε ρευστή μορφή και σε θερμοκρασία πάνω από το σημείο τήξεως.

Οι ιδιότητες της καλής συμπεριφοράς κράματος περιέχοντα πυρίτιο ανακαλύφθηκε κατά την διάρκεια του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου σαν συνέπεια της έλλειψης μολύβδου και κασσίτερου.

12.7 Άμεση και έμμεση μέθοδος χύτευσης με «χαμένο κερί»

Για την κατασκευή χάλκινων γλυπτών σήμερα, περισσότερο διαδεδομένη είναι η έμμεση μέθοδος χύτευσης με χαμένο κερί. Αυτό γιατί με την έμμεση μέθοδο χύτευσης είναι δυνατό να παραχθούν περισσότερα του ενός αντίγραφα. Επίσης στην περίπτωση που υπάρχει σφάλμα κατά την χύτευση δεν καταστρέφεται το έργο.

Η έμμεση μέθοδος χύτευσης διαφέρει από την άμεση, στο ότι στην έμμεση μέθοδο χύτευσης το πρόπλασμα μπορεί να είναι κατασκευασμένο από οποιοδήποτε υλικό, ενώ αντίθετα στην άμεση μέθοδο χύτευσης το πρόπλασμα είναι κατασκευασμένο κατ' ευθείαν σε κερί (πρόπλασμα χυτεύσεως).

Η άμεση μέθοδος χύτευσης επιλέγεται για μικρά κυρίως έργα με την ακόλουθη διαδικασία.

Σχεδιάζεται κατ' αρχήν αρματούρα από χαλκό. Ακολούθως πλάθεται η μορφή στο κερί και τοποθετούνται οι αγωγοί χύτευσης. Στη συνέχεια το έργο τοποθετείται σε κατάλληλο εκμαγείο το οποίο υφίσταται όπτηση. Κατά την όπτηση το κερί εξαερώνεται και στο κενό που δημιουργείται στο εκμαγείο λόγω της εξαέρωσης του κεριού χυτεύεται μέταλλο. Κατά την χύτευση του χαλκού η αρματούρα από χαλκό θα συνεργαστεί με το τηγμένο μέταλλο και η αρματούρα θα ενσωματωθεί με το τελικό έργο.

Στην περίπτωση που αντί για χάλκινη αρματούρα επιλέγεται αρματούρα από κράμα σιδήρου κατά την χύτευση θα υπάρξει διαφορετική θερμική συμπεριφορά στα δύο μέταλλα με αποτέλεσμα την ανομοιόμορφη σκλήρυνση. Αυτό θα εμποδίσει την συνεχή ροή του μετάλλου στο εκμαγείο με αποτέλεσμα να υπάρχει κίνδυνος να αποφλοιωθεί η επιφάνεια του έργου ή να αστοχήσει η χύτευση του έργου. Εκτός αυτού η επαφή χαλκού και άλλης συστάσεως κράματος θα προκαλέσει γαλβανική διάβρωση στο βάθος του χρόνου.

Για την κατασκευή μεγαλύτερων γλυπτών η αρματούρα καλύπτεται από υλικό που παραμένει ως πυρήνας ο οποίος κατασκευάζεται από κατάλληλο υλικό αντίστοιχο του εκμαγείου χύτευσης. Μετά την κατασκευή αυτή δημιουργείται η μορφή του έργου από κερί 5 έως 7 mm πριν την τελική επιφάνειά του. Ακολούθως μορφοποιείται η τελική επιφάνεια του έργου με κερί. Ακολουθείται η ίδια κατασκευαστική διαδικασία όπως ανωτέρω. Επειδή στην περίπτωση αυτή ο σκελετός δεν έρχεται σε επαφή με το ίδιο το έργο δεν έχει ιδιαίτερη σημασία το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένος.

Για την έμμεση μέθοδος χύτευσης χαλκού με την μέθοδο του χαμένου κεριού ακολουθείται η εξής διαδικασία[53].

12.7.1 Κατασκευή πρωτογενούς εκμαγείου.

Αρχικά κατασκευάζεται το πρόπλασμα του έργου από πηλό, γύψο κ.λ.π.

Στην συνέχεια κατασκευάζονται εκμαγείο του προπλάσματος (συνήθως από ελαστικά υλικά). Ακολούθως κατασκευάζεται εξωτερικό κέλυφος των ελαστικών από γύψο (εσάρπα) το οποίο βοηθάει στην σταθεροποίηση των ελαστικών. Το εκμαγείο του προπλάσματος κατασκευάζεται έτσι ώστε να χυτευτεί ή να εφαρμοστεί επάνω του κερι.

12.7.2 Κατασκευή κέρινου προπλάσματος.

Μετά την κατασκευή του εκμαγείου γίνεται η κατασκευή του κέρινου προπλάσματος στο εκμαγείο.

Όλα τα κεριά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή κέρινων προπλάσματος χρωματίζονται με χρώματα ανιλίνης, ή ελαιοχρώματα. Χρησιμοποιείται αρκετά το κόκκινο αν και αναφέρεται στην βιβλιογραφία ότι το μαύρο είναι το βέλτιστο χρώμα καθότι δεν αντανακλά το φως και ο τεχνίτης ή ο γλύπτης μπορούν να εποπτεύσουν καλύτερα την κέρινη φιγούρα [89].

Το κερι μέλισσας είναι ιδανικό για αυτή τη διαδικασία. Όμως γενικά είναι πολύ μαλακό και ιδιαίτερα ακριβό. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται διαφορετικά μείγματα κεριών για την ίδια διαδικασία.

1 μ. β. μελισσοκέρι	1 μ. β. κολοφώνιο	1 μ. β. κολοφώνιο
1 μ. β. παραφίνη	1 μ. β. παραφίνη	1 μ. β. αντικολλητική παραφίνη
1 μ. β. κολοφώνιο	2,5 cm ³ βαζελίνη ανά Kg μίγματος κεριού	2 μ. β. παραφίνη

Πίνακας 12.2: Αναλογίες ανάμιξης κεριών χύτευσης (1^η στρώση)

Για την κατασκευή του προπλάσματος σε κερι ακολουθείται η εξής διαδικασία. Στην περίπτωση μικρού έργου μέσα στο εκμαγείο χυτεύεται κερι. Μετά από 15 έως 30 λεπτά το εκμαγείο αναστρέφεται και το κερι που δεν έχει λιώσει απομακρύνεται. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται ένα κέρινο πρόπλασμα του οποίου το πάχος του είναι 2-3 mm και είναι κοίλο εσωτερικά.

Στην περίπτωση που το έργο είναι μεγάλο το κερι τήκεται και μετά χυτεύεται σε νερό. Το κερι γίνεται μία εύπλαστη μάζα. Ο τεχνίτης εφαρμόζει το κερι επάνω σε μέρη του εκμαγείου έτσι ώστε το κερι να έχει πάχος αρχικά 2-3 mm.

Για να πάρει το κέρινο πρόπλασμα το απαιτούμενο πάχος που είναι 4-7 mm εφαρμόζεται επάνω από το πρώτο στρώμα κεριού, παχύρρευστο κερι.

Ανάλογα με την εποχή και τις θερμοκρασίες που επικρατούν στο εσωτερικό του εργαστηρίου μορφοποιούνται οι αναλογίες των χρησιμοποιούμενων κεριών (το καλοκαίρι χρησιμοποιείται

περισσότερο κολοφώνιο και το χειμώνα λιγότερο). Οι διαφορές που επιτρέπεται να υπάρχουν στο πάχος του κέρινου προπλάσματος πρέπει να είναι μικρότερες από 3 mm.

1 μέρος βάρους κερί μέλισσας	1 μέρος βάρους κολοφώνιο
3 μέρη βάρους κίτρινη ρητίνη	1 μέρος βάρους παραφίνη

Πίνακας 12.3: Αναλογίες ανάμιξης κεριών χύτευσης (2^η στρώση)

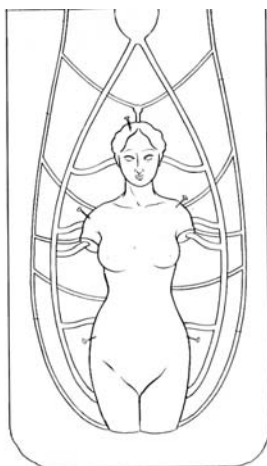


Εικόνα 12.16: Κέρινο πρόπλασμα χυτεύσεως για την μέθοδο του χαμένου κεριού [65]

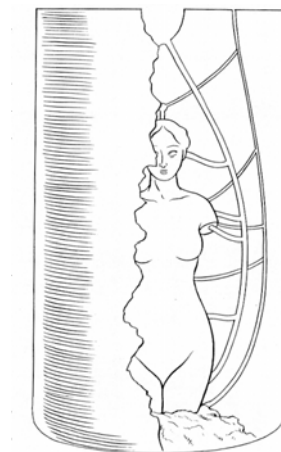
Το κέρινο πρόπλασμα χυτεύσεως με τον πυρήνα στο εσωτερικό του. Στο σχέδιο διακρίνεται και ο οπλισμός του πυρήνα στο μηρό και τη λεκάνη του γλυπτού.

Πριν βγει από το εκμαγείο το κέρινο ομοίωμα, χυτεύεται στο εσωτερικό του κονίαμα γύψου-οπτής αργίλου το οποίο αποτελεί και τον πυρήνα του έργου (Εικόνα 12.16). Από το στάδιο αυτό προκύπτει ότι το έργο έχει κοίλο εσωτερικό. Ακολούθως καρφώνονται καρφίδες πάνω στο γλυπτό οι οποίες σταθεροποιούνε τον πυρήνα του έργου σε σχέση με το εξωτερικό εκμαγείο.

Το κέρινο ομοίωμα αποκολλάται από το εκμαγείο Στο στάδιο αυτό μπαίνουν οι αγωγοί εισόδου και εξόδου του μετάλλου επάνω στο κέρινο ομοίωμα (Εικόνες 12.17, 12.18)).



Εικόνα 12.17: Σχεδιασμός του συστήματος εισόδων και εξόδων του μετάλλου. [65]

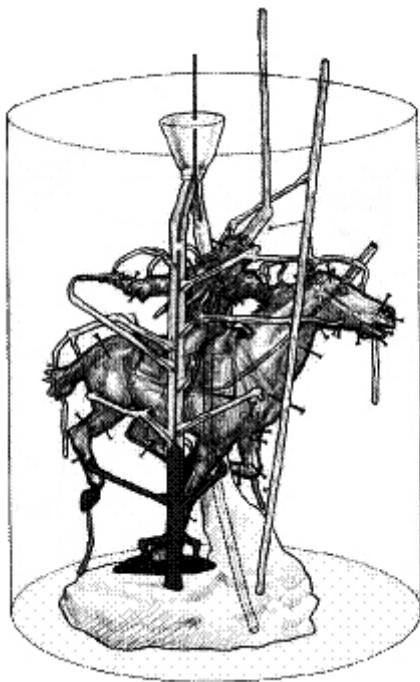


Εικόνα 12.18: Το έργο μέσα στο δευτερογενές εκμαγείο. [65]

Το κερί που έχει κυλινδρική μορφή θερμαίνεται μέσα σε νερό (μαλακώνει) και κολλιέται πάνω στο έργο με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε όταν λειώσει το κερί, οι αγωγοί που θα προκύψουν να είναι οι αγωγοί της χύτευσης του μετάλλου.

Ο σχεδιασμός εισόδου και εξόδου του μετάλλου σε ένα εκμαγείο είναι μεγάλης σημασίας. Ο χαλκός πρέπει να έχει την δυνατότητα να μπαίνει από τις εισόδους του μετάλλου και ταυτόχρονα ο αέρας που εγκλωβίζεται μέσα στο εκμαγείο να φεύγει από τις εξόδους. Αν δεν είναι σωστός ο σχεδιασμός των αγωγών παρουσιάζεται αστοχία κατά την χύτευση και χυτεύεται μόνο ένα τμήμα του έργου.

Η τεχνική της συγκολλήσεως αυτών των αγωγών και η γεωμετρία τους είναι αυτή που θα οδηγήσει τελικά το έργο σε επιτυχή ή όχι χύτευση. Αυτό γιατί υπάρχουνε δύο οδεύσεις του μετάλλου στην διαδικασία της χύτευσης. Οι αγωγοί εισαγωγής μετάλλου (μπουκαδούρες) και οι αγωγοί εξαγωγής (αέρηδες). Από τους αγωγούς εισαγωγής εισάγεται το μέταλλο στο εκμαγείο μέσω της αρχής των συγκοινωνούντων δοχείων δηλαδή από τον αγωγό στον χώρο του κελύφους του γλυπτού (Εικόνες 12.19, 12.20).



Εικόνα 12.19: Σχεδιασμός αγωγών χύτευσης σε κέρινο πρόπλασμα χυτεύσεως



Εικόνα 12.20: Κατασκευή αγωγών χύτευσης σε κέρινο πρόπλασμα χυτεύσεως

Οι αγωγοί εξαγωγής οδηγούν τον αέρα που εγκλωβίζεται με την χύτευση εκτός του εκμαγείου. Στο σχεδιασμό αυτών των συστημάτων στηρίζετε η διαδικασία χύτευσης και αν το σύστημα δεν σχεδιαστεί σωστά ή απομακρυνθεί μέρος των αγωγών για οποιονδήποτε λόγο, τότε η χύτευση είναι μερική και αστοχεί.

12.7.3 Δευτερογενές εκμαγείο. Κεραμικό κέλυφος

Μετά το κέρινο πρόπλασμα κατασκευάζεται το εκμαγείο χύτευσης μέσα στο οποίο θα χυτευτεί ο χαλκός. Η κατασκευή του εκμαγείου χύτευσης είναι το δεύτερο εκμαγείο του έργου στην διαδικασία χύτευσης.

Το εκμαγείο χύτευσης γίνεται με διαφόρων τύπων υλικά. Σήμερα, χρησιμοποιείται συνήθως κονιάμα γύψου με αδρανές οπτή άργιλο (κεραμάλευρο). Ορισμένες ειδικές συνθέσεις κονιάματος χύτευσης αναφέρονται κατωτέρω:

Μικρές μορφές Αναλογία κονιάματος		Μεγάλες μορφές Αναλογία κονιάματος	
Πρώτη στρώση	Δεύτερη στρώση	Εξωτερικό κέλυφος	Εσωτερικό κονιάμα (πυρήνας)
2 μ.ο. γύψος οδοντοτεχνίας 1 μ.ο. οπτή άργιλος 3 μ.ο. νερό	1 μ.ο. γύψος 3 μ.ο. οπτή άργιλος 4 μ.ο. νερό	1 μ.ο. γύψος 5-7 μ.ο. οπτή άργιλος 4 μ.ο. νερό	1 μ. ο. γύψος 4 έως 7 (συνήθως 6) μ.ο. κονιάματος (με δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης) 5-8 μ.ο. νερό

Πίνακας 12.4: Κονιάματα εκμαγείων χύτευσης. Κεραμικό κέλυφος

Για την κατασκευή του εξωτερικού κελύφους σε μεγάλες φόρμες χρησιμοποιούνται επίσης και 3 έως 4 μ.ο. οπτής αργίλου όπου απαιτείται ισχυρότερο κονιάμα

Οι διαδοχικές στρώσεις εφαρμόζονται στο έργο κατά στρώσεις με χρονική διαφορά κάθε 5 έως 10 λεπτά. Εναλλακτικά το γλυπτό εμβαπτίζεται στο κονιάμα (Εικόνα 12.21).

Το εσωτερικό κονιάμα (πυρήνας) πρέπει να είναι πλέον παραμορφώσιμο από το εξωτερικό περίβλημα για να μπορεί να παρακολουθήσει την θερμική συστολή του μετάλλου μετά την χύτευση.

Η εφαρμογή του εκμαγείου χύτευσης στο γλυπτό γίνεται σε στρώσεις. Η πρώτη στρώση, γίνεται με επάλειψη με πινέλο επάνω στην επιφάνεια του έργου και τους αγωγούς του (έτσι ώστε το εκμαγείο να αποκτήσει σταδιακά ελεγχόμενο πάχος και να καλύψει ολόκληρο τον όγκο του γλυπτού). Ακολούθως εφαρμόζονται οι επόμενες στρώσεις (πεταχτό). Στο τελευταίο στάδιο το έργο εμβαπτίζεται σε δοχείο που περιέχει το υλικό του εκμαγείου χύτευσης σε υγρή μορφή και στερεοποιείται.



Εικόνα 12.21: Κέλυφος από κονίαμα γύψου-οπτής αργίλου

Για την χύτευση μικρών έργων, χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά για την δημιουργία του εκμαγείου χύτευσης όπως για παράδειγμα το ασβεστόγαλα (Εικόνα 12.22). Στην διαδικασία αυτή εφαρμόζονται οι ίδιες αρχές της χύτευσης (σχεδιασμός εισόδων εξόδων του μετάλλου του γλυπτού). Επειδή το υλικό αυτό είναι ιδιαίτερα ρευστό το εκμαγείο γίνεται με την εξής διαδικασία.



Εικόνα 12.22: Κέλυφος από ασβεστόγαλα

Το έργο εμβαπτίζεται μέσα στο υγρό ασβεστόγαλα και ακολούθως επαλείφεται με λεπτόκοκκη άμμο. Το μείγμα αυτό επικάθεται στο έργο σε λεπτό στρώμα. Μετά από 24 ώρες το έργο εμβαπτίζεται ξανά στο ασβεστόγαλα με επικάλυψη διαδοχικά χονδρόκοκκης άμμου. Αυτό επαναλαμβάνεται δώδεκα φορές.

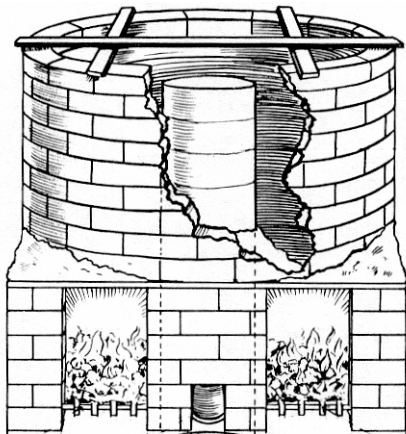
12.7.4 Όπτηση-ελεύθερο κεριού

Μετά την κατασκευή του κελύφους γίνεται η όπτηση του εκμαγείου έτσι ώστε το κερι να λιώσει και να εξαερωθεί.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι όπτησης ανάλογα με το μέγεθος του εκμαγείου ή ανάλογα με την διάταξη των αγωγών.

1. Όπτηση επί τρεις ημέρες σε 350 °C (Εικόνα 12.23)
2. Όπτηση επί έξι μέρες μεταξύ των 200 με 400 °C (Εικόνα 12.24)
 - σταδιακή αύξηση τις πρώτες δύο ημέρες
 - 400 °C για δύο ημέρες
 - και σταδιακή μείωση της θερμοκρασίας τις τελευταίες δύο ημέρες

Διαπιστώνεται εμπειρικά από τους χαλκείς ότι η διαδικασία της αποκέρωσης είναι επιτυχής όταν ο φούρνος καπνίζει γιατί φαίνεται το κερί να καίγεται και να φεύγει από το εκμαγείο.



Εικόνα 12.23: Χώρος αποκέρωσης.



Εικόνα 12.24: Χώρος αποκέρωσης για κέλυφος από ασβεστόγαλα.

Το άνοιγμα καλύπτεται με μεταλλικό έλασμα επί του οποίου τοποθετούνται σκύρα. [65]

Το κέλυφος τοποθετείται σε αγωγούς ζεστού αέρα οι οποίοι λιώνουν το κερί από την ίδια διαδρομή από την οποία θα μπει το μέταλλο

Για να αποκερωθεί το έργο, το εκμαγείο χύτευσης μπαίνει στο φούρνο έτσι ώστε το σύστημα εισόδου και εξόδου του μετάλλου να είναι προς τα κάτω. Όταν το εκμαγείο είναι μεγάλο και δεν είναι εύκολο να αναστραφεί, μπαίνουν κέρινοι αγωγοί που έχουν εξόδους στο κάτω μέρος του εκμαγείου οπότε το κερί διοχετεύεται προς τα κάτω (το κανάλι της χύτευσης παραμένει στο επάνω μέρος). Κατά την διάρκεια της χύτευσης για να μην διαρρεύσει το μέταλλο από τους αγωγούς οι αγωγοί σφραγίζονται με βαμβάκι.

Η όπτηση του κονιάματος μειώνει την συνοχή του. Για τον λόγο αυτό το κονίαμα είναι πολύ ψαθυρό μετά την όπτηση. Για να γίνει η χύτευση το εκμαγείο περιορίζεται σε χώρο στον οποίον προστίθεται άμμος η οποία συμπυκνώνεται και σταθεροποιείται.

12.7.5 Χύτευση

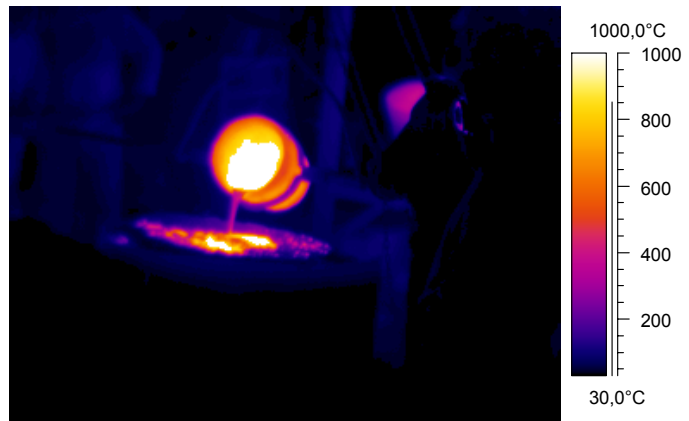
Η τήξη του μετάλλου γίνεται μέσα σε χωνιά εμπορείου της βιομηχανικής χρήσης ενώ οι υψηλές θερμοκρασίες επιτυγχάνονται συνήθως με την καύση κοκ σε συνδυασμό με εισαγωγή αέρα από φουσητήρα. Πριν τη χύτευση τα εκμαγεία ζεσταίνονται στον φούρνο.

Η χύτευση είναι δυνατό να γίνει είτε με χωνί χυτεύσεως (Εικόνες 12.25, 12.26) είτε μέσω αγωγού από το οποίο ρέει το μέταλλο στο εκμαγείο.

Επειδή η χύτευση γίνεται με κατακόρυφη ροή του μετάλλου μέσα στο εκμαγείο χύτευσης ονομάζεται κατακόρυφη χύτευση.



Εικόνα 12.25: Χύτευση χαλκού



Εικόνα 12.26: Χύτευση χαλκού (θερμογράφημα)

12.7.6 Κατεργασία λεπτομερειών, ολοκλήρωση του έργου

Μετά τη χύτευση, το δευτερογενές εκμαγείο θρυμματίζεται και αποκαλύπτεται το έργο. Μαζί με το έργο αποκαλύπτονται και οι αγωγοί του μετάλλου.

Για να ολοκληρωθεί το έργο στην τελική μορφή πρέπει να αφαιρεθεί το κέλυφος της χύτευσης (τουλάχιστον 4-8 ώρες μετά την χύτευση για μικρά έργα) και μετά το έργο να καθαριστεί, να τονιστούν οι λεπτομέρειές του και να γυαλιστεί ή να πατιναριστεί.

Η διαδικασία ολοκλήρωσης του έργου γίνεται με το κόψιμο των αγωγών με πριόνι, λείανση με λίμες και επανεμφάνιση των λεπτομερειών που χάθηκαν με σφυρί (ματρακάς) και καλέμι ή με σύγχρονα μηχανικά εργαλεία. Πολύ συχνά γίνεται και χρήση αμμοβολής στο έργο που λειαίνει τις ενδεχόμενες ατέλειες και τις ανωμαλίες που δημιουργήθηκαν κατά την χύτευση. Η αμμοβολή εφαρμόζεται σε όλο το έργο και όχι τοπικά. Για τον λόγο αυτό η χρήση της δεν συνίσταται στα τελειώματα ενός έργου .

12.7.7 Προβλήματα εφαρμογής της μεθόδου «χαμένου κεριού»

Η δυσκολία της εφαρμογής της μεθόδου έγκειται στη κατανόηση των ιδιοτεροτήτων του κάθε έργου (εφόσον έχουμε να κάνουμε με διαφορετικό αντικείμενο κάθε φορά). Κάθε αντικείμενο απαιτεί δικό

του και ξεχωριστό τρόπο κατασκευής εκμαγείων αντιγράφου, εκμαγείων χύτευσης, τοποθέτησης αγωγών χύτευσης.

Σημαντικά προβλήματα προκύπτουν και από την συμπεριφορά του κονιάματος χύτευσης στο δευτερογενές εκμαγείο. Το δευτερογενές εκμαγείο, αφού υποστεί όπτηση, χάνει μεγάλο μέρος της συνοχής του. Λόγω αυτού, είναι σύνηθες το φαινόμενο της αστοχίας του κατά την χύτευση και της ρηγμάτωσής του. Στην περίπτωση της αστοχίας το μέταλλο εισδύει εντός της ρωγμής. Αν η αστοχία είναι μικρή η χύτευση δεν αποτυγχάνει αλλά αλλοιώνεται η μορφή του γλυπτού. Υπάρχουν περιπτώσεις όμως στις οποίες το εκμαγείο καταστρέφεται κατά την χύτευση και η χύτευση αποτυγχάνει στο σύνολό της.

Σε μεγάλα έργα στα οποία απαιτείται εσωτερικός σκελετός στηρίξεως είναι απαραίτητο να προηγηθεί η στατική μελέτη του έργου.

12.8 Χύτευση σε εκμαγείο άμμου

Η αρχή της χύτευσης με άμμο είναι σχετικά απλή. Το πρόπλασμα αφήνει το αποτύπωμά του πάνω στην άμμο. Το έργο αφαιρείται από το αποτύπωμα και παραμένει το αρνητικό στο εκμαγείο. Σε δεύτερο εκμαγείο αποτυπώνεται το υπόλοιπο μέρος του έργου που δεν έχει αποτυπωθεί στο αρχικό εκμαγείο. Στο αποτύπωμα αυτό σχεδιάζονται οι αγωγοί της εισόδου και της εξόδου του μετάλλου. Τα εκμαγεία ενώνονται και χυτεύεται το μέταλλο. Η διαδικασία είναι σαφώς απλούστερη από την χύτευση των έργων με χαμένο κερί, όμως δεν δίνει έργα μεγάλης ακρίβειας και πολλές λεπτομέρειες χάνονται με τη διαδικασία αυτή (Εικόνες 12.27, 12.28, 12.29).

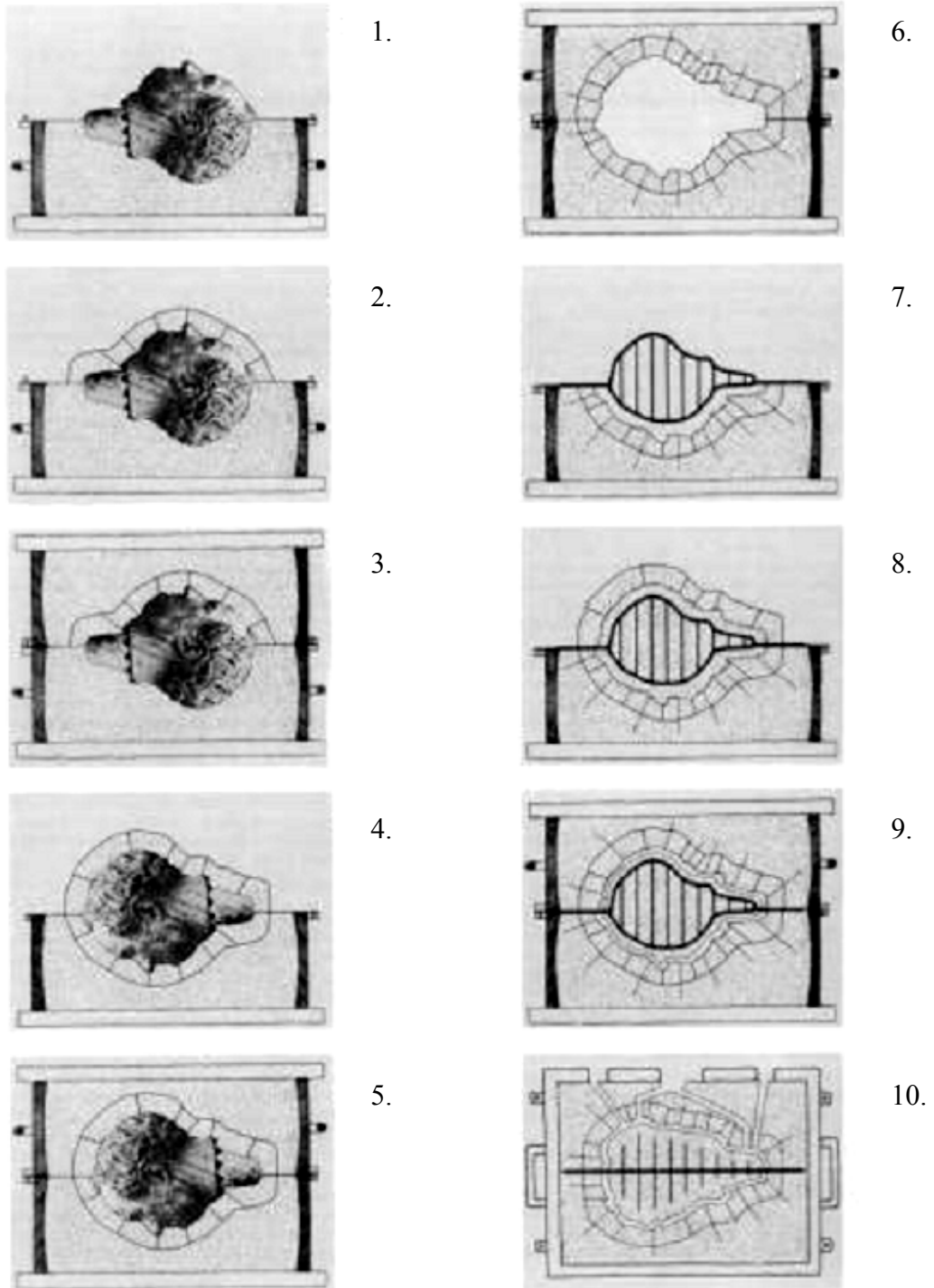
Τα έργα που μπορούν να χυτευτούν είναι μικρού όγκου ενώ δύσκολα χυτεύονται έργα με κοίλο εσωτερικό. Τα εκμαγεία χωρίς κοίλο εσωτερικό δέχονται μεγάλες πιέσεις κατά την χύτευση. Γι αυτό σε εκμαγεία από άμμο δεν είναι εύκολο να χυτευτούν μεγάλα έργα αλλά κυρίως επιφάνειες και έργα χαμηλού αναγλύφου. Γενικά αποφεύγεται η χύτευση ολόγλυφων γλυπτών σε εκμαγεία από άμμο γιατί στα εκμαγεία αυτά δεν είναι εύκολο να αποτυπωθούν ολόγλυφα αντικείμενα.

Σημαντικό μειονέκτημα που παρουσιάζεται στη χύτευση χαλκού σε εκμαγεία άμμου είναι οι ατέλειες που εμφανίζονται στο χάλκινο γλυπτό στην ένωση των εκμαγείων χύτευσης. Στην ένωση των εκμαγείων χύτευσης εμφανίζονται ραφές (γρέζια) τα οποία είναι ιδιαίτερα δύσκολο να καθαριστούν έτσι ώστε το έργο να διατηρήσει αναλλοίωτη την αρχική του μορφή.

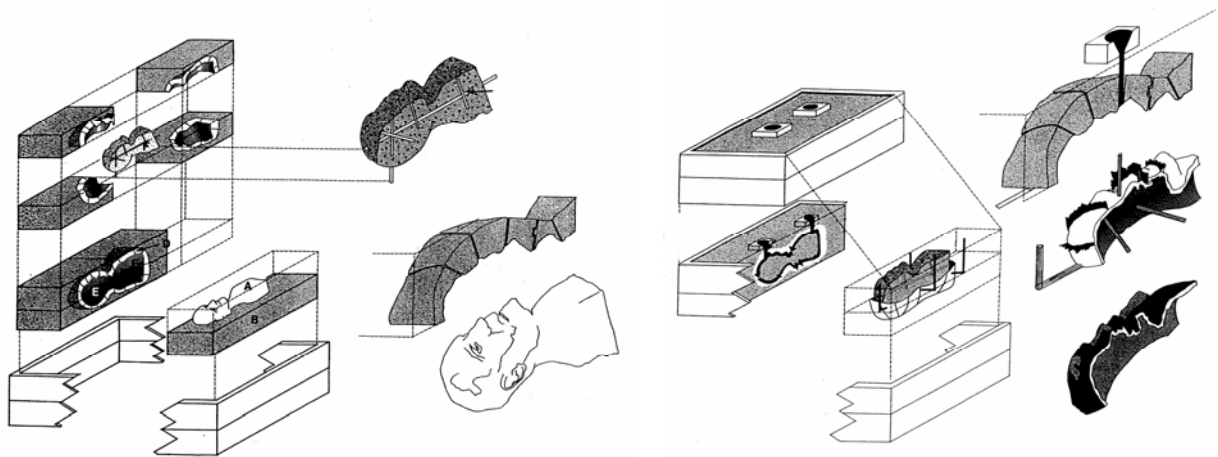
Η μέθοδος αυτή δεν προτιμάται στην κατασκευή γλυπτών έργων τέχνης, παρ' όλα αυτά όμως αποτελεί μία φτηνή λύση για την κατασκευή μικρών έργων, ενώ συνήθως με την τεχνική αυτή κατασκευάζονται έργα χαμηλού αναγλύφου [58].

Εξέλιξη της μεθόδου χύτευσης με άμμο είναι η μέθοδος με χαμένο αφρό (Εικόνα 12.30). Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται όταν το πρόπλασμα της χύτευσης είναι σε πλαστικά (π.χ. φελιζόλ). Αν και η

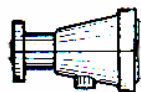
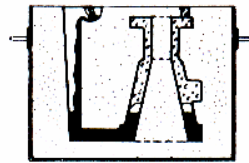
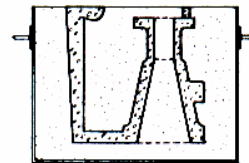
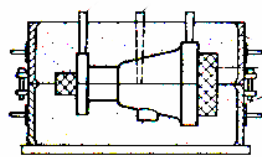
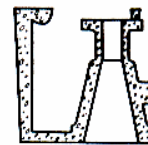
μέθοδος χύτευσης με άμμο γίνεται με οριζόντια χύτευση με την τεχνική του «χαμένου αφρού» μπορεί να γίνει και με κατακόρυφη χύτευση. Η μέθοδος αυτή απλοποιεί την τεχνική καθότι το πρόπλασμα της χύτευσης καλύπτεται με άμμο και με την εισαγωγή του μετάλλου καίγεται και εξαερώνεται.



Εικόνα 12.27: Χύτευση χαλκού σε άμμο με κοίλο εσωτερικό [54]



Εικόνα 12.28: Χύτευση χαλκού σε άμμο [51]



Εικόνα 12.29: Χύτευση χαλκού σε άμμο

Εικόνα 12.30: Χύτευση χαλκού με χαμένο αφρό

Σύμφωνα με την μέθοδο της χύτευσης με χαμένο αφρό δεν απαιτείται πλέον και το καθάρισμα του χαλκού από την ένωση των εκμαγείων . [66]

Το πρόβλημα που παρουσιάζεται με την χύτευση με χαμένο αφρό είναι ότι στο πρόπλασμα της χύτευσης πρέπει το έργο να κατασκευαστεί κατ' ευθείαν στο πλαστικό (υλικό το οποίο δεν είναι εύκολο στην αποτύπωση λεπτομερειών). Μειονέκτημα είναι ότι με την εξαέρωση το έργο χάνεται.

Σήμερα έχουν εφαρμογή αφοοί πολυστερένιου οι οποίοι είναι δυνατό να χυτευτούν μέσα στο εκμαγείο του προπλάσματος. Τέτοιου τύπου έργα δεν είναι ακόμα καλής ποιότητας.

Γενικά η χύτευση με άμμο χρησιμοποιείται για την παραγωγή βιομηχανικών αντικειμένων. Με την μέθοδο της χύτευσης με άμμο χυτεύονται συνήθως γλυπτά χωρίς εσοχές υπό μορφή χαμηλού ανάγλυφου. Η χύτευση με άμμο προτιμάται για πολύ μεγάλα έργα εκεί όπου δεν υπάρχουν λεπτομέρειες και το γλυπτό χυτεύεται σε τμήματα (επιφάνειες) που αργότερα συνδέονται σε εσωτερικό υποστηρικτικό σκελετό.

13 Κατασκευή γλυπτού από φυσικό λίθο

13.1.1 Γενικά

Από την αρχαιότητα υπήρχαν συγκεκριμένοι χώροι από τους οποίους οι γλύπτες προμηθεύοντο τους φυσικούς λίθους για την κατασκευή ενός έργου. Η προμήθεια του κατάλληλου φυσικού λίθου ήταν σημαντική για την κατασκευή και την εξέλιξη του έργου [14].

Είναι δυνατόν να κατασκευαστούν γλυπτά από διαφορετικούς τύπους φυσικών λίθων. Περισσότερο κατάλληλο υλικό για την γλυπτική, την ανάδειξη την μορφής και την ανάδειξη των λεπτομερειών του έργου έχει αποδειχθεί ότι είναι το μάρμαρο.

Το μάρμαρο είναι εύχρηστο υλικό στην γλυπτική γιατί παρουσιάζει ομοιογένεια και ομοιομορφία, δεν είναι ιδιαίτερα σκληρό και ο καλλιτέχνης το κατεργάζεται σχετικά εύκολα.

Κατά την Αναγέννηση, για να αποκολληθεί ένας μαρμάρινος όγκος από το λατομείο, εισάγοντο στις φυσικές ασυνέχειες του λίθου ξύλινες σφήνες οι οποίες, αφού εμποτίζονταν με νερό, διογκώνοντο και από τις αναπτυσσόμενες τάσεις αποκολλάτο ο ζητούμενος όγκος του μαρμάρου.

Σήμερα ο μαρμάρινος όγκος αποκολλάται από το βουνό με περισσότερο σύγχρονα μέσα, όπως τρυπάνια αδαμαντοφόρου αιχμής, διαμέτρου ενός εκατοστού. Με τα τρυπάνια αυτά ανοίγονται συνεχείς οπές στον ζητούμενο όγκο (Εικόνα 13.1, 13.2).

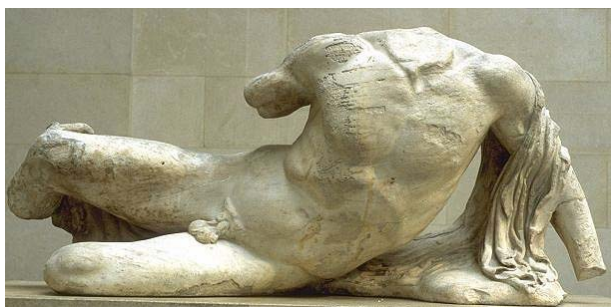


Εικόνα 13.1: Λατομείο μαρμάρου



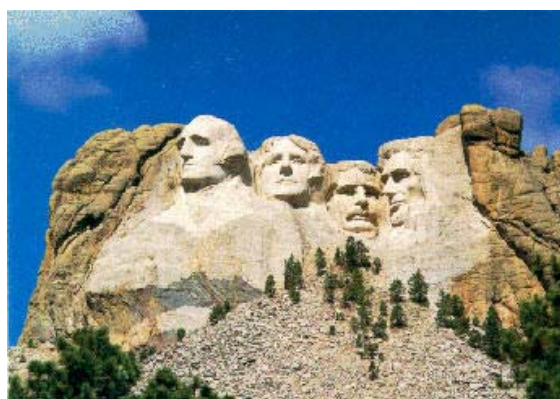
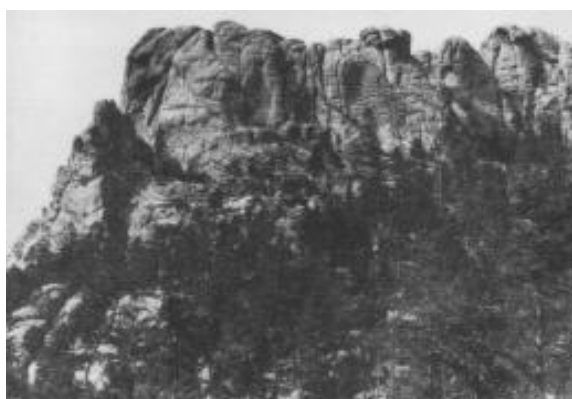
Εικόνα 13.2: Ακατέργαστοι όγκοι μαρμάρου

Αξεπέραστες εκφράσεις της μαρμαρογλυπτικής θεωρούνται ο διάκοσμος και τα εναέτια γλυπτά του Παρθενώνα, έργο του Φειδία το 430 π.Χ (Εικόνα 13.3).



Εικόνα 13.3: Φειδίας, Αγάλματα από τα αετώματα του Παρθενώνα 430 π.Χ. [35]

Με την αφαιρετική μέθοδο είναι δυνατό να κατασκευαστούν και πολύ μεγάλα έργα που σκαλίζονται με την βοήθεια εκρηκτικών επάνω σε ορεινό όγκο σε περιοχή υγιούς πετρώματος. Τα έργα αυτά προκαλούν το ενδιαφέρον ενώ ο χαρακτήρας τους είναι κυρίως μνημειακός (Εικόνες 13.4, 13.5).



Εικόνα 13.4: Το βουνό Rushmore πριν την γλυπτική παρέμβαση

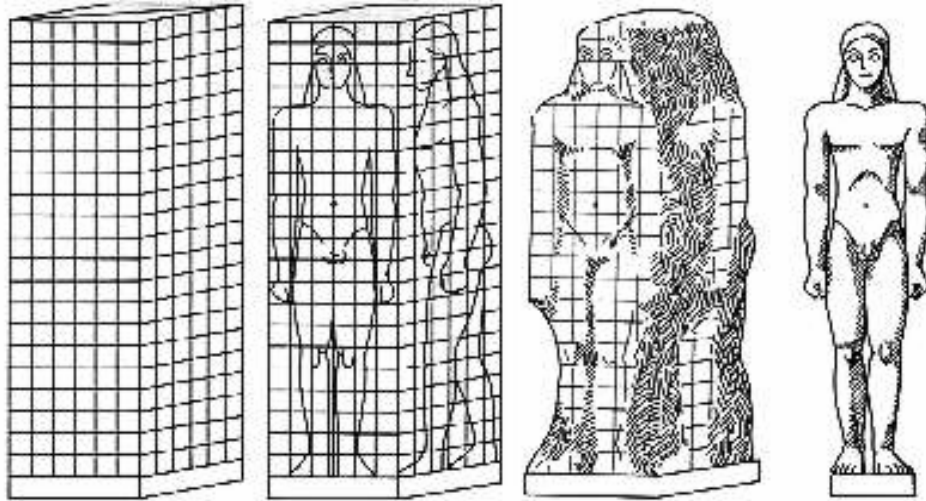
Εικόνα 13.5: Η γλυπτική παρέμβαση στο βουνό Rushmore

Χαρακτηριστική περίπτωση εφαρμογής της αφαιρετικής μεθόδου είναι το βουνό Rushmore του γλύπτη Gutzon Borglum [39]. Ο Gutzon Borglum, μαθητής του A. Rodin, ξεκίνησε να κατασκευάζει το μνημείο αυτό το 1927. Το μνημείο-βουνό του Rushmore είναι ίσως από τις περισσότερο ακραίες εκφράσεις της αφαιρετικής μεθόδου. Για να κατασκευαστεί το μνημείο αυτό χρειάστηκαν 12 χρόνια εκ των οποίων μόνο το ήμισυ ήταν το δημιουργικό μέρος της εργασίας. Τα υπόλοιπα είχαν καταναλωθεί για την εξυγίανση και τον εντοπισμό του υγιούς πετρώματος στο βουνό για την γλυπτική παρέμβαση.

13.1.2 Περιγραφή της αφαιρετικής μεθόδου

Η κατασκευή του έργου σε φυσικό λίθο γίνεται με την αφαιρετική μέθοδο. Κατ' αρχήν κατασκευάζεται το αρχικό πρόπλασμα του έργου σε κλίμακα 1:1 και ακολούθως εντοπίζεται κατάλληλος όγκος φυσικού λίθου ο οποίος να δύναται να περιέχει το έργο (Εικόνα 13.6).

Ακολούθως, αφαιρείται συστηματικά, συνήθως με την χρήση κάποιας μετρητικής διαδικασίας, ορισμένος όγκος υλικού έτσι ώστε ο ακατέργαστος όγκος να πάρει μορφή και σχήμα. Στο τελικό στάδιο του έργου οι επιφάνειες λειαίνονται με λίμα ή με γυαλόχαρτα (Εικόνες 13.7, 13.8, 13.9, 13.10).



Εικόνα 13.6: Αφαιρετική μέθοδος [94]



Εικόνα 13.7: Εργαλεία κατεργασίας μαρμάρου

Το μάρμαρο δεν μπορεί να αποκατασταθεί άμα αφαιρεθεί όγκος από εσφαλμένο μέρος. Για να αποφύγουν τους κινδύνους των σφαλμάτων οι γλύπτες κατασκευάζουν ένα πρόπλασμα από κερι ή πηλό πριν προχωρήσουν στην διαδικασία της κατασκευής.



Εικόνα 13.8: Προπαρασκευή και εργαλεία της κατεργασίας του μαρμάρου



Εικόνα 13.9: Στάδια κατά την γλυπτική κατεργασία



Εικόνα 13.10: Εργαλεία και τελικό αποτέλεσμα της κατεργασίας του μαρμάρου

Ήδη από την αρχαιότητα αναπτύχθηκαν τέτοιες τεχνικές ώστε να είναι δυνατή η συγκόλληση μερών που ήταν πολύ δύσκολο να προκύψουν από τον ίδιο όγκο υλικού, όπως χέρια κ.λ.π.

Μία μετρητική διάταξη η οποία χρησιμοποιήθηκε από τον Μιχαήλ Άγγελο ήταν η ακόλουθη: Το πρόπλασμα βυθιζετο σε δοχείο με νερό και ακολούθως βυθιζόταν και ο όγκος του μαρμάρου ο οποίος έπρεπε να σκαλιστεί. Η κάθε φορά ίσαλος γραμμή του νερού επάνω στο έργο ήταν ο οδηγός για την μέτρηση διαφόρων αποστάσεων του όγκου που επρόκειτο να σκαλιστεί.

Με την τεχνική αυτή σκαλίζονται μεγάλοι όγκοι μαρμάρου με ιδιαίτερα μεγάλη ακρίβεια.

Νεότερες τεχνικές είναι μετρητικές διατάξεις (πονταδόροι) οι οποίες διευκολύνουν το γλύπτη να εντοπίσει επακριβώς τους όγκους που πρέπει να αφαιρέσει. Οι διατάξεις αυτές εξελίχθηκαν στους παντογράφους, διάταξη με την οποία αντιγράφεται απ' ευθείας το πρόπλασμα στον όγκο του τελικού υλικού με την αφαιρετική διαδικασία (ξύλο, μάρμαρο κ.α.). Ο παντογράφος λειτουργεί με τέτοιο τρόπο ώστε η διάταξη της μηχανής παρακολουθεί το πρωτότυπο με ακίδα που ακολουθεί τη μορφή του πρωτοτύπου ενώ άλλη διάταξη, η κοπτική, σκαλίζει το έργο στο ζητούμενο όγκο (Εικόνα 13.11).



Εικόνα 13.11: Αντιγραφή του έργου με μετρητικές διατάξεις από γύψο σε φυσικό λίθο.

Σήμερα, εισάγονται οι συντεταγμένες του προπλάσματος σε ηλεκτρονικό υπολογιστή μέσω σαρωτή ακτίνας Laser, ενώ παράλληλα, οι παντογράφοι σκαλίζουν αυτοματοποιημένα το τρισδιάστατο αντικείμενο στο ζητούμενο όγκο υλικού και δημιουργούν αυτόματα το γλυπτό σε οποιοδήποτε υλικό με αφαιρετική διαδικασία.

14 Πατίνα

14.1 Γενικά

Πατίνα ονομάζεται η αλλαγή της μορφής της επιφάνειας ενός αντικειμένου που προκαλείται από φυσικά ή τεχνητά αίτια. Ειδικότερα στην γλυπτική με χαλκό, η πατίνα αναφέρεται στην επιφάνεια του χαλκού η οποία συχνά μεταλλάσσεται από τους γλύπτες με οξέα ή την χρήση άλλων χημικών μέσων.

Η πατίνα είναι αναπόσπαστο κομμάτι της κατασκευής ενός έργου αφού αυτή θα ορίσει τις ανακλάσεις που θα έχει το έργο από το φως και το περιβάλλον του.. Ο Henry Moore είχε πει για την πατίνα ότι πρέπει να χρησιμοποιείται αντίθετα από ότι χρησιμοποιεί μία γυναίκα τις βαφές της.

Πατίνα χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά από τους Κινέζους την 2^η χιλιετία π. Χ. από τότε που άρχισαν την παραγωγή έργων από χαλκό. Οι αρχαίοι Έλληνες και οι Ρωμαίοι επάλειφαν τα χάλκινα έργα με αντιοξειδοτικές ρητίνες και διάλειμμα κεριού (διαδικασία που χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα για την προστασία των έργων) χωρίς να αλλάζουν την μορφή της επιφάνειας του έργου. Η πατίνα ξαναεμφανίζεται στην Αναγέννηση, στην Ιταλία και την Γαλλία. Εκεί επιδιώκεται η αλλαγή της μορφής των υλικών και δημιουργείται πατίνα που χαρακτηρίζει την μορφή του έργου σχεδόν αλλοιώνοντας την. Έτσι, δίδεται διαφορετικός χρωματικός τόνος σε επιφάνεια που περιγράφει ρούχο (καφέ σκούρα πατίνα) και διαφορετικός χρωματικός τόνος σε επιφάνεια που περιγράφει ανθρώπινο σώμα (στιλβωμένο έργο).

Η πατίνα είναι καθοριστικό στάδιο στην τελική εμφάνιση του έργου. Έργα που έχουν διαφορετική πατίνα πάνω στον ίδιο όγκο καταλήγουν να έχουν την έκφραση ζωγραφισμένου όγκου. Αυτό αδυνατίζει τον χαρακτήρα του γλυπτού και γίνεται ένα είδος ζωγραφικής πάνω στο ίδιο το έργο. Για τον λόγο αυτό σήμερα, οι περισσότεροι γλύπτες αποφεύγουν την διαφορετική πατίνα πάνω στο ίδιο έργο. Έτσι, όταν γίνεται πατίνα στα έργα ακολουθείται συνήθως η ίδια απόχρωση σε ολόκληρο τον όγκο του έργου.

14.2 Πατίνα μαρμάρου

Για να πατιναριστεί το μάρμαρο πρέπει η τελική του επιφάνεια να είναι:

- δουλεμένη με λάμα
- δουλεμένη με καρφίδες
- να έχει τελειώματα από γυαλόχαρτο κατάλληλης διαβάθμισης (No 14-36)
- γενικά να έχει επιφάνεια πορώδη

Η πατίνα του μαρμάρου γίνεται με:

- Πηλό και νερό
- Πηλό και αιθάλη
- Πηλό ανακατεμένο με χρώμα σε σκόνη

Για να εμφανιστούν "νερά" της πατίνας το μάρμαρο λειαίνεται επιφανειακά με χοντρό σύρμα.

14.3 Πατίνα χαλκού

Υπάρχουν πάρα πολλά είδη πατίνας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την τελική εμφάνιση του έργου σε χαλκό [43, 44].

Η πατίνα μπορεί να είναι είτε θερμή είτε ψυχρή.

Ψυχρή πατίνα είναι η πατίνα στην οποία η αντίδραση των οξειδωτικών μπορεί να γίνει όταν ο χαλκός βρίσκεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Για την αντίδραση του μετάλλου σε ψυχρή πατίνα το μέταλλο πρέπει να είναι καθαρό.

Συνήθης ψυχρή και εύχρηστη πατίνα του χαλκού γίνεται με εμβάπτιση του έργου σε τριθειούχο κάλιο (K_2S_3) ακολούθως σε υδροχλωρικό οξύ (HCl) και ακολούθως σε νερό. Μετά την επανάληψη της διαδικασίας αυτής για πέντε έως δέκα φορές το έργο θα αποκτήσει καφεκόκκινο χρώμα.

Άλλη συνήθης και εύχρηστη πατίνα του χαλκού είναι η αμμωνία η οποία δίνει καφεπράσινο χρώμα στο έργο.

Οι ψυχρές πατίνες δημιουργούν μια λεπτή επιφανειακή αλλαγή χρώματος στο έργο και για τον λόγο αυτό δεν θεωρούνται αξιόπιστες γιατί καταστρέφονται εύκολα.

Θερμές πατίνες είναι οι πατίνες στις οποίες η αντίδραση των οξειδωτικών μπορεί να γίνει μόνο μετά από θέρμανση του χαλκού. Οι πατίνες αυτές θεωρούνται πλέον αξιόπιστες γιατί επηρεάζουν σε βάθος το υλικό.

Για να γίνει η πατίνα στο έργο, πρέπει αυτό να βρίσκεται στην τελική του μορφή. Για να σταθεροποιηθεί η μορφή του έργου και να μην οξειδωθεί περαιτέρω το μέταλλο, επαλείφεται με βερνίκι (συνήθως «ματ» έτσι ώστε να αποκαλύπτονται καλύτερα οι λεπτομέρειες του έργου) .

Αντί βερνικίου ακολουθείται η εξής διαδικασία. Το έργο θερμαίνεται στους $200^{\circ}C$ περίπου και επαλείφεται με διάλυμα φυσικού κεριού σε νέφτι. Το διάλυμα αυτό προκύπτει από την θέρμανση νέφτι και φυσικού κεριού σε αναλογία 1/1 μ. β. Μετά το στέγνωμα της επιφάνειας το έργο τρίβεται με καθαρό ύφασμα.

Τριθειούχο Νάτριο	1
Νιτρικός σίδηρος	8

Κατά περίπτωση μέρη βάρους σε νερό. Μετά από καθαρισμό του μετάλλου γίνεται προσεκτική επάλειψη του μετάλλου μέχρι να γίνει το μέταλλο πράσινο. Για να γίνει το μέταλλο καφέ επαλείφεται με νιτρικό οξύ, ξεπλένεται και καθαρίζεται.

Πίνακας 14.1: Πατίνα χαλκού. Πράσινο-καφέ

Νιτρικός Χαλκός	40 gr
Χλωριούχο Αμμώνιο	40 gr
Χλωριούχο ασβέστιο	40 gr
Νερό	0,9 lit
Επάλειψη στην επιφάνεια	

Πίνακας 14.2: Πατίνα χαλκού. «Πράσινο»

Χλωριούχο αμμώνιο	7
Νιτρικός χαλκός	4
Νερό	8
Μέρη βάρους. Επάλειψη της επιφάνειας.	

Πίνακας 14.3: Πατίνα χαλκού. Κίτρινο-πράσινο

Θεική ποτάσα	15 gr
Χλωριούχο αμμώνιο	200 gr
Νερό	0,9 lit
Επάλειψη στην επιφάνεια.	

Πίνακας 14.4: Πατίνα χαλκού. Μπλε

Νιτρικός χαλκός	1
Χλωριούχο αμμώνιο	1
Χλωριούχο κάλιο	1
Νερό	32
Μέρη βάρους. Ο χαλκός εμβαπτίζεται στο διάλυμα μέχρι να εμφανιστεί το επιθυμητό χρώμα.	

Πίνακας 14.5: Πατίνα χαλκού. Ανοιχτό πράσινο

Νιτρικός χαλκός	1 μ.β.
Χλωριούχο αμμώνιο	1 μ.β.
Χλωριούχο κάλιο	1 μ.β.
Νερό	32 μ.β.
Ο χαλκός εμβαπτίζεται στο διάλυμα μέχρι να εμφανιστεί το επιθυμητό χρώμα.	

Πίνακας 14.6: Πατίνα χαλκού. Ανοιχτό πράσινο

Ανθρακικός Χαλκός	2 μ.β.
Ανθρακικό Αντιμόνιο	4 μ.β.
Ανθρακικό Νάτριο	1 μ.β.
Νερό	32 μ.β.
Το διάλυμα πρέπει να είναι ζεστό και ο χαλκός να εμβαπτιστεί. Απαιτείται διαρκής ανάδευση.	

Πίνακας 14.7: Πατίνα χαλκού. Μαύρο

Τριθειούχο Νάτριο	60 gr
Νιτρικό Οξύ	4 gr
Νερό	0,9 lit
Προσεκτική επάλειψη επάνω στο μέταλλο.	

Πίνακας 14.8: Πατίνα χαλκού. Μπλε

Θεική ποτάσα	Μερικοί κρύσταλλοι
Νερό	125 gr
Θερμαίνεται το διάλυμα και επαλείφεται στο μέταλλο.	

Πίνακας 14.9: Πατίνα χαλκού. Καφέ προς μαύρο

15 Γήρανση

15.1 Γενικά

Η αντοχή σε γήρανση των υλικών ενός γλυπτού, είναι καθοριστικής σημασίας στην γλυπτική δημιουργία. Ένα γλυπτό έργο σε δημόσιο χώρο αποτελεί πολιτιστική κληρονομιά της κοινωνίας που το δημιούργησε και απαιτείται από το αυτό μεγάλη αντοχή στον χρόνο.

Με τον όρο γήρανση των υλικών εννοούμε τις καταπονήσεις που υφίστανται τα υλικά από το περιβάλλον κατά τον χρόνο παραμονής. Οι καταπονήσεις αυτές είναι ανεξάρτητες από τις μηχανικές καταπονήσεις.

Για τον λόγο αυτό, όταν σήμερα γίνεται μελέτη για την κατασκευή γλυπτών-μνημείων μελετάται η αντοχή σε γήρανση των υλικών του έργου για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Η αντοχή του έργου στον χρόνο εξαρτάται γενικά από την αντοχή του υλικού στην διάβρωση λόγω φυσικών και χημικών αιτιών. Στην εργασία εξετάζεται επίσης και η συμπεριφορά του υλικού σε θερμικές καταπονήσεις από το φυσικό περιβάλλον [124].

Κάθε γλυπτό εξωτερικού χώρου, δέχεται ένα πλήθος από διαβρωτικούς παράγοντες ιδιαίτερα όταν βρίσκεται σε αστική ή βιομηχανική περιοχή (Εικόνα 15.1). Σε σχετική εργασία [95] αναλύονται οι διάφοροι παράγοντες οι οποίοι προκαλούν την γήρανση των υλικών, κυρίως λόγω χημικής διάβρωσης, σε γλυπτά που βρίσκονται στον περιβάλλοντα χώρο της Αθήνας.

Στα γλυπτά διαπιστώνονται αποκολλήσεις, ρωγμές, διάβρωση, χαλαρές επικαθίσεις και περιττώματα από πτηνά εξαιτίας των οποίων αλλοιώνεται η δομή και η υφή του υλικού [99].



Εικόνα 15.1: Αποτύπωση φθορών του έργου «Θησεύς σώζων Ιπποδάμειαν» στην πλατεία Βικτορίας [95]

Με κόκκινο σημειώνονται οι αποκολλήσεις, με μπλε οι περιοχές εμφάνισης διαφόρων ρωγμών, με πράσινο τα προϊόντα διάβρωσης του χαλκού, με κίτρινο οι περιοχές μεταφοράς των προϊόντων διάβρωσης, με κόκκινο οι χαλαρές επικαθίσεις και με πορτοκαλί οι περιοχές που εμφανίζονται περιττώματα περιστεριών

Εκτός της χημικής διάβρωσης, στα γλυπτά παρατηρούνται έντονες μεταβολές θερμοκρασιών στην επιφάνειά τους κυρίως λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας. Η μεταβολή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος μεταβάλλει ομοιόμορφα την θερμοκρασία στο κέλυφος ενός γλυπτού. Αντίθετα, η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία μεταβάλλει τοπικά την θερμοκρασία του κελύφους τους. Εφόσον η θερμική διαστολή ή συστολή, είναι εμποδιζόμενη, αναπτύσσονται θερμικές τάσεις. Οι τάσεις αυτές μπορεί να οδηγήσουν και σε αστοχία είτε με την μορφή παραμενουσών παραμορφώσεων ή με εξελισσόμενες μικρορηγματώσεις σαν αποτέλεσμα συσσωρευμένης κοπώσεως.

15.2 Όξινη βροχή

15.2.1 Κλίμα-υγρασία περιβάλλοντος

Κυριότερη παράμετρος η οποία αλλοιώνει την υφή του υλικού είναι η όξινη βροχή η οποία πρακτικά αλλοιώνει την δομή των υλικών.

Η υγρασία και οι μικροκλιματολογικές συνθήκες παίζουν σημαντικό ρόλο στην διάβρωση. Πολλοί από τους μηχανισμούς διάβρωσης των μετάλλων συμβαίνουν μετά από συγκεκριμένη κρίσιμη σχετική υγρασία (RH). Η σχετική υγρασία σε ποσοστό 70% είναι κρίσιμη παράμετρος για την έναρξη της διάβρωσης του χαλκού. Όπως φαίνεται από τον πίνακα η τιμή αυτή είναι πολύ κοντά π.χ. στις πόλεις Göteborg και Μόναχο ενώ εμφανίζεται σπανιότερα στο Αττικό περιβάλλον.

	Βροχή (mm/έτος)	PH της βροχής	RH (%)			SO ₂ (10 ⁻⁶ g/m ³)			NO ₂ (10 ⁻⁶ g/m ³)			Αιθάλη (10 ⁻⁶ g/m ³)		
			Ετήσιο	Χειμ.	Θέρος	Ετήσιο	Χειμ.	Θέρος	Ετήσιο	Χειμ.	Θέρος	Ετήσιο	Χειμ.	Θέρος
Göteborg 1997	900	4.5	75	85	65	4	6		30	30		4	6	
Μόναχο 1999	800	5.5 με 6	67	75	60	5	8	2	39	47	32	34	38	30
Αθήνα 1999	560	4.6 με 7	63	73	48	39	60	28	91	87	100	106	118	94

Πίνακας 15.1: Κλιματολογικές συνθήκες και δείκτες ατμοσφαιρικής μόλυνσης στις πόλεις Göteborg, Μοναχο και Αθήνα. [37]

Οι παραθαλάσσιες περιοχές είναι ισχυρά διαβρωτικοί χώροι για όλα τα γλυπτά. Τα άλατα τα οποία μεταφέρονται με τον αέρα και την βροχή προκαλούν διάβρωση στα μέταλλα. Εάν ο αέρας είναι παράλληλα μολυσμένος με διοξείδιο του θείου συμβαίνει ένα ιδιαίτερα δυσμενές αθροιστικό φαινόμενο διάβρωσης.

15.2.2 Ατμοσφαιρική μόλυνση

Στην ατμόσφαιρα του αστικού περιβάλλοντος υπάρχουν πολλές διαβρωτικές παράμετροι. Ο βαθμός της διάβρωσης σε γλυπτά εξωτερικού χώρου σχετίζεται με την συγκέντρωση των διαβρωτικών παραμέτρων, κυριότερες των οποίων είναι τα οξειδωτικά αέρια [92].

Κυριότερη παράμετρος διάβρωσης για τα γλυπτά που βρίσκονται σε περιβάλλοντα χώρο είναι το διοξείδιο του θείου SO_2 το οποίο διαβρώνει τον χαλκό και γυψοποιεί το μάρμαρο.

Από το 1970 το διοξείδιο του θείου εμφανίζεται σε πολύ ψηλά επίπεδα σε πολλές Ευρωπαϊκές πόλεις. Παράλληλα τις τελευταίες δεκαετίες αυξήθηκε δραματικά ιδιαίτερα στην βόρεια Ευρώπη (Εικόνες 15.2, 15.3).

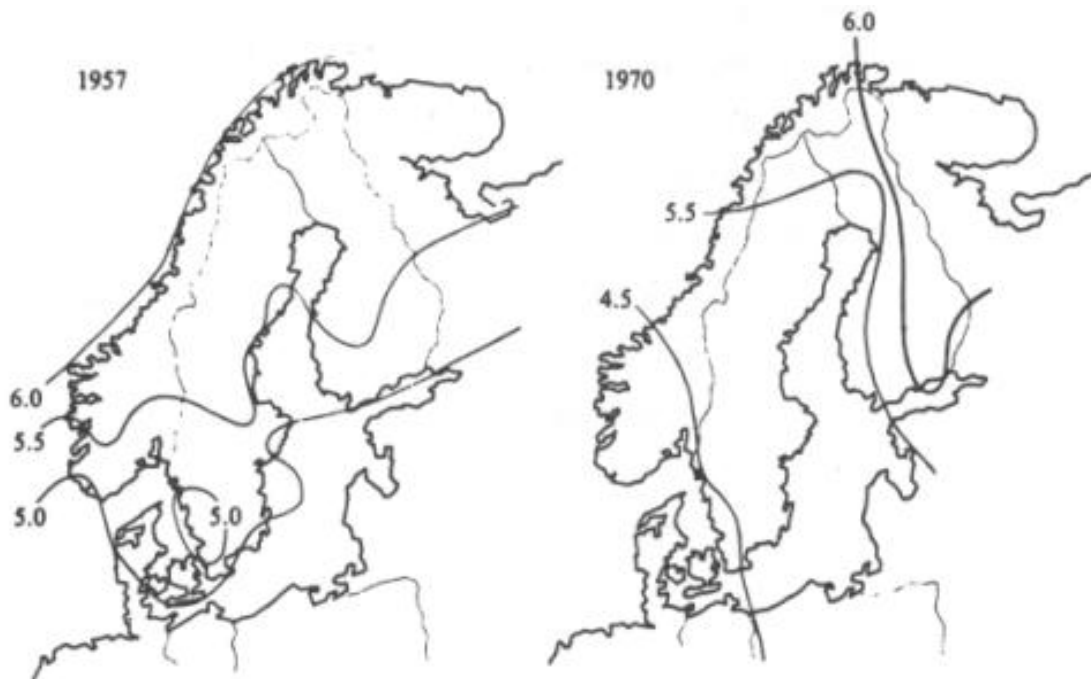


Εικόνα 15.2: Εκπομπές του διοξειδίου του θείου στην Ευρώπη μεταξύ του 1980 και 1990 [61]

Η βροχή και το χιόνι έχουν ελαφρά όξινο χαρακτήρα και υπό κανονικές συνθήκες το PH τους είναι της τάξεως του 5,6. Τις τελευταίες δεκαετίες τα νερά της βροχής έχουν εμφανίσει πολλαπλάσια όξινο χαρακτήρα από τον χαρακτήρα που είχαν παλαιότερες εποχές λόγω της αύξησης της συγκέντρωσης οξειδωτικές αερίων όπως του διοξειδίου του θείου και του διοξειδίου του αζώτου NO_2 . Σήμερα, ο όξινος χαρακτήρας της βροχής στην Ευρώπη, είναι περίπου δέκα φορές μεγαλύτερος από τα μέσα του εικοστού αιώνα.

Σημαντικό ρόλο παίζει επίσης και το διοξείδιο του άνθρακα CO_2 . Το διοξείδιο του άνθρακα, είναι το λιγότερο διαβρωτικό αέριο της ατμόσφαιρας αλλά και το περισσότερο άφθονο. Η ποσότητά του στο περιβάλλον μεταβάλλεται με το χρόνο και η δράση του συνδυάζεται με το νερό ή και την υγρασία.

Προκαλεί αλλοιώσεις επί των φυσικών λίθων, που συνίστανται στην διάλυση του ασβεστίτη σε διαλυτό ανθρακικό ασβέστιο.



Εικόνα 15.3: Μεταβολή του όξινου χαρακτήρα (PH) της βροχής μεταξύ 1957 και 1970 [92]

15.2.3 Η πόλη

Η τοποθεσία του γλυπτού παίζει σημαντικό ρόλο στο βαθμό διάβρωσης που θα υποστεί. Τα γλυπτά τα οποία είναι προστατευμένα από τα καυσαέρια των αυτοκινήτων και του αέρα εκτίθεται λιγότερο σε επιβλαβείς ουσίες. Θάμνοι και δέντρα γύρω από το γλυπτό δημιουργούν καλύτερες ατμοσφαιρικές συνθήκες προστατεύοντας κατά το δυνατόν το γλυπτό από τους διαβρωτικούς παράγοντες.

15.3 Φυσικοί λίθοι-μάρμαρο

Η διάβρωση των φυσικών λίθων που οφείλεται στην μόλυνση του περιβάλλοντος, είναι μια μη αντιστρεπτή φυσική μεταβολή, που εξαρτάται, τόσο από τους παράγοντες του περιβάλλοντος όσο και από το είδος των λίθων [18].

Το μέγεθος της διάβρωσης των λίθων δεν είναι πάντοτε ανάλογο του βαθμού μόλυνσης του περιβάλλοντος [109].

Η πλέον συνήθη πορεία διάβρωσης είναι:

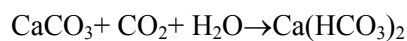
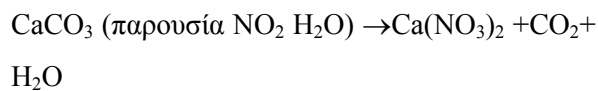
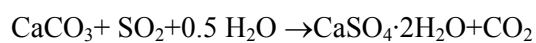
1. Μειώνεται η ένταση του χρώματος της εξωτερικής επιφάνειας
2. Σχηματίζεται λεπτή επιφανειακή μεμβράνη

3. Αποσαθρώνονται οι επιφανειακές στοιβάδες του υλικού λόγω ελλείψεως συνοχής (Εικόνα 15.4).

Από τον Παρθενώνα και άλλες χαρακτηριστικές περιπτώσεις φυσικών λίθων που έχουν παραμείνει για μεγάλο χρονικό διάστημα σε αστικό περιβάλλον, έχει προκύψει ότι το μάρμαρο γυψοποιείται και η γυψοποίηση του μαρμάρου εισχωρεί μέσα στο υλικό αλλοιώνοντας την δομή και την μορφολογία του [26, 93, 121] (Εικόνα 15.5, 15.6).

Η γυψοποίηση ακολουθεί την κάτωθι διαδικασία

Ασβεστίτης + όξινη βροχή → γυψοποίηση



Εκτός των ανωτέρω η παρουσία νερού αποτελεί μία από τις κυριότερες αιτίες για την διάβρωση των φυσικών λίθων. Το νερό μπορεί να εισχωρήσει μέσα στο υλικό με την συμπύκνωση των υδρατμών του αέρα και με την διείσδυση του νερού της βροχής. Η συνεχής μετακίνηση του νερού προς και από τις εξωτερικές επιφάνειες των πετρωμάτων δημιουργεί συσσώρευση αλάτων επάνω στις επιφάνειες με αποτέλεσμα να προκαλούν φθορά του υλικού και ανάπτυξη επιφανειακών τάσεων. Η ανάπτυξη επιφανειακών τάσεων προκαλεί την δημιουργία μικρορωγμών και την αποκόλληση τεμαχίων, κυρίως από τις εξωτερικές στοιβάδες του υλικού [2,113].

Από την υγρασία, αναπτύσσονται διάφοροι μικροοργανισμοί οι οποίοι προκαλούν φθορές στο υλικό. Εκτός των ανωτέρω, η μετατροπή του νερού σε πάγο στο εσωτερικό των φυσικών λίθων έχει ως αποτέλεσμα να προκαλεί σημαντικές φθορές στο υλικό ιδιαίτερα στα βόρεια κλίματα. Στις Σκανδιναβικές χώρες, όταν το μάρμαρο επιλέγεται ως υλικό για γλυπτά εξωτερικού χώρου, η μεταβολή του νερού σε πάγο προκαλεί, αλλοίωση της υφής, φθορές και αστοχίες στο υλικό.



Εικόνα 15.4: Κρύσταλλοι γύψου επικαθήμενοι σε μάρμαρο μετά από διάβρωση του μαρμάρου (φωτογραφία από μικροσκόπιο) [40]



Εικόνα 15.5: Ανάγλυφο από την μετόπη του Παρθενώνα



Εικόνα 15.6: Λεπτομέρεια διάβρωσης σε κεφάλι αλόγου της μετόπης του Παρθενώνα

15.4 Κράματα χαλκού

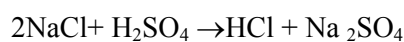
15.4.1 Γενικά

Γενικά, ο χαλκός παρουσιάζει αντίσταση στη διάβρωση. Στην περίπτωση όμως που η υγρασία του περιβάλλοντος περιέχει ενώσεις θείου ο χαλκός διαβρώνεται έντονα. Ο κίνδυνος διάβρωσης του χαλκού είναι μεγαλύτερος όταν το νερό περιέχει άλατα και έχει όξινο χαρακτήρα.

Τα νερά της βροχής παίζουν σημαντικό παράγοντα στην μορφή της διάβρωσης. Η διάβρωση για γλυπτά σε αστικό περιβάλλον ξεκινάει από τις άνω-ακάλυπτες επιφάνειες του γλυπτού και καταλήγει περιμετρικά στις κατακόρυφες επιφάνειες. Γλυπτά τα οποία εκτίθενται σε θαλάσσιους ανέμους υφίστανται διάβρωση στο σύνολο του κελύφους τους με αποτέλεσμα την ανοιχτή-πράσινη μορφή τους (Εικόνα 15.9, 15.10) [75].

Η διάβρωση των χάλκινων έργων γίνεται διότι το διοξείδιο του θείου μετατρέπεται μέσω χημικών διεργασιών σε θειικό οξύ στην επιφάνεια του γλυπτού. Το θειικό οξύ που βρίσκεται στην ατμόσφαιρα, συγκρατείται από την επιφάνεια του γλυπτού και επηρεάζει την επιφάνεια του υλικού. Ο χαλκός με τον χρόνο τρέπεται σε $(\text{Cu}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4)$. Το διαβρωτικό παράγωγο του χαλκού λόγω της διάβρωσής του από το θειικό οξύ, εμφανίζεται ως χαρακτηριστική φωτεινή πράσινη επιφάνεια στα γλυπτά υπαίθριου χώρου στις πόλεις.

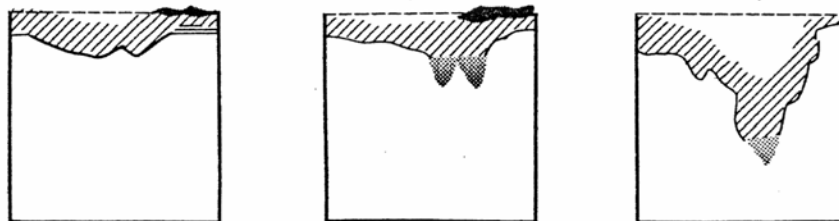
Ο χαλκός εν γένει δεν διαβρώνεται δραστικά από το θειικό οξύ. Η διάβρωσή που προκύπτει λόγω αυτού είναι κυρίως επιφανειακή. Η σημαντικότερη διάβρωση του χαλκού οφείλεται στην αντίδραση του θειικού οξέως με άλατα που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα όπως το χλωριούχο νάτριο. Κατά την αντίδραση αυτή παράγεται (ελάχιστη αλλά ικανή) ποσότητα υδροχλωρικού οξέως η οποία διαβρώνει δραστικά τις επιφάνειες των γλυπτών.



Η μάζα που χάνεται κάθε χρόνο από ένα χάλκινο γλυπτό που βρίσκεται σε περιβάλλοντα χώρο αστικού περιβάλλοντος δίδεται στον παρακάτω πίνακα.

	Μάζα η οποία χάνεται μετά από 1 έτος (mg/cm ² *έτος)	Μάζα η οποία χάνεται μετά από 4 έτη (mg/cm ² *έτος)	Διάβρωση που παρατηρείται μετά από 4 έτη (μm/έτος)
Στιλβωμένος χαλκός	0,1-1,7	0,1-1,4	0,1-1,6
Μη στιλβωμένος χαλκός	0,3-2,8	0,5-2,0	0,6-2,2
Στιλβωμένο κράμα χαλκού	0.1-0.7	0.1-1.0	0,1-1,1
Μη στιλβωμένο κράμα χαλκού	0,3-1,5	0,2-1,6	0,2-1,8

Πίνακας 15.2: Διάβρωση χαλκού και κραμάτων χαλκού [86]



Διάβρωση με θειικό οξύ και αρχή εμφάνισης σκωρίας

Τοπική διάβρωση από υδροχλώριο

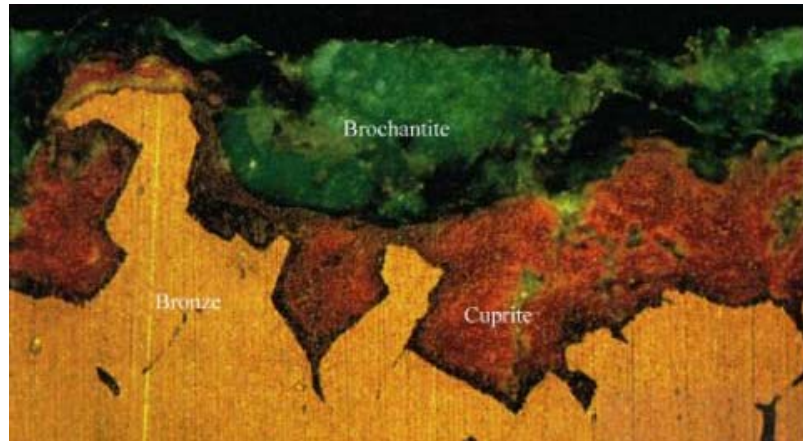
Εξέλιξη της τοπικής διάβρωσης από υδροχλώριο.

Εικόνα 15.7: Μηχανισμός διάβρωσης χάλκινων γλυπτών στον περιβάλλοντα χώρο [51]

Η μορφή της διάβρωσης ενός χάλκινου γλυπτού, πολλές φορές έχει τον χαρακτήρα αιχμής λόγω της διάβρωσης με το υδροχλώριο (Εικόνα 15.7).

Στην προσπάθεια να βρεθεί η πραγματική επιφάνεια του χάλκινου γλυπτού μετά την διάβρωσή του, είναι δυσχερής ο εντοπισμός της πραγματικής επιφάνειας σε σχέση με την πατίνα του έργου. Δηλαδή ο διαχωρισμός της διάβρωσης που έχει πραγματοποιηθεί με ελεγχόμενους τρόπους και με χημικά μέσα από τον γλύπτη για την επεξεργασία της μορφής του υλικού.

Από την τομή ενός χάλκινου έργου σε φωτογραφία από μικροσκόπιο, προκύπτει ότι αποκολλώντας τα προϊόντα διάβρωσης (πράσινο χρώμα), θα καταστραφεί η επιφάνεια που ήθελε να δώσει ο γλύπτης στο έργο, δηλαδή η επιφάνεια που συμπεριλαμβάνει την πατίνα του έργου. Η επιφάνεια αυτή βρίσκεται στο όριο των προϊόντων διάβρωσης και πολλές φορές είναι δύσκολο να γίνει διακριτή από τα προϊόντα διάβρωσης (Εικόνα 15.8).



Εικόνα 15.8: Τομή χαλκού σε γλυπτό περιβάλλοντα χώρου (φωτογραφία από μικροσκόπιο) [37]



Εικόνα 15.9: Διάβρωση σε χάλκινο έργο



Εικόνα 15.10: Διάβρωση σε χάλκινο έργο

15.4.2 Γαλβανική διάβρωση

Όταν δύο διαφορετικά μέταλλα βρίσκονται πλησίον το ένα του άλλου σε περιβάλλον ηλεκτρολύτη, τότε δημιουργείται γαλβανικό ρεύμα που καταστρέφει το λιγότερο ευγενές ή ηλεκτροθετικό μέταλλο. Με βάση την αρχή αυτή, ο χαλκός πρέπει να αποφεύγεται να είναι σε γειτονιά αντικειμένων από σιδηρούχα κράματα γιατί θα παρουσιαστούν έντονα φαινόμενα διάβρωσης των μετάλλων σε σύντομο χρονικό διάστημα. Πρέπει να σημειωθεί ακόμη ότι ακόμα και αν τα δυο μέταλλα δεν είναι πολύ κοντά, το γαλβανικό φαινόμενο μπορεί να πραγματοποιηθεί με την μεταφερόμενη υγρασία. Ιδιαίτερη σημασία στη διάβρωση έχει η παρουσία οξυγόνου όπου το φαινόμενο εξελίσσεται ταχύτερα για αυξημένη ποσότητα οξυγόνου (Εικόνα 15.11, 15.12).



Εικόνα 15.11: Franz von Stuck, Αμαζόνα σε άλογο, 1936



Εικόνα 15.12: Λεπτομέρεια γαλβανικής διάβρωσης στο δεξιό χέρι της αμαζόνας εξαιτίας εσωτερικού υποστηρικτικού σκελετού από σιδηρούχο κράμα [37]

15.5 Γύψος

Η γύψος είναι υλικό το οποίο χρησιμοποιείται πολύ συχνά στην γλυπτική. Τα αντικείμενα από γύψο όταν εκτεθούν στην υγρασία και ιδίως στην επίδραση του νερού υφίστανται με τον χρόνο βραδεία επιφανειακή διάβρωση, λόγω της διαλυτότητας της γύψου.

Για τον λόγο αυτόν τα γύψινα αντικείμενα είναι ακατάλληλα για εξωτερικούς μη προστατευμένους χώρους και συνήθως τοποθετούνται σε εσωτερικό χώρο.

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

ΜΕΡΟΣ Β΄

Γ.-ΦΟΙΒΟΣ ΣΑΡΓΕΝΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π.

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΙΜ. Γ. ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ



Διδακτορική Διατριβή

ΑΘΗΝΑ 2005

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΙΜ. Γ. ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ

Η ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΓΛΥΠΤΙΚΗ

ΜΕΡΟΣ Β΄

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

Διδακτορική Διατριβή

ΑΘΗΝΑ 2005

ΜΕΡΟΣ Α΄

Η ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

ΜΕΡΟΣ Β΄

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

ΜΕΡΟΣ Γ΄

ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ-ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ, ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΜΕΡΟΣ Β΄

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κατάλογος εικόνων	163
Κατάλογος πινάκων	164
1 Εισαγωγή	165
2 Θερμική συμπεριφορά γλυπτών-θερμογραφία	166
2.1 Γενικά	166
2.2 Θερμογραφία	166
2.2.1 Γενικά	166
2.2.2 Περιγραφή της μεθόδου	166
2.2.3 Παράδειγμα ανάλυσης	168
2.2.4 Σχεδιασμός πειραματικής διαδικασίας	170
3 Θερμική συμπεριφορά κεραμικού κελύφους	173
3.1 Γενικά	173
3.2 Διαδικασία χύτευσης	173
3.2.1 Γενικά	173
3.2.2 Κατασκευή εκμαγείων	173
3.3 Θερμογραφήματα κατά την διάρκεια της χύτευσης	175
3.4 Προβλήματα κατά την χύτευση	177
3.5 Σχεδιασμός πειραματικής διαδικασίας	178
4 Υλικό Γύψος-προ και μετά την γήρανση	179
4.1 Γενικά	179
4.2 Γενικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη έργου	179
4.3 Η δομή του υπάρχοντος έργου	180
4.4 Εργασίες αποκατάστασης	181
4.4.1 Αποσυναρμολόγηση	181
4.4.2 Ενίσχυση κελύφους	181
4.5 Προβλήματα κατά την αποκατάσταση του έργου	181
4.6 Σχεδιασμός πειραματικής διαδικασίας	182
5 Πειραματική διαδικασία	183
5.1 Αντοχή σε θλίψη	183

5.2	Αντοχή σε εφελκυσμό από κάμψη	183
5.3	Αντοχή σε τριβή	183
5.4	Αντοχή σε κρούση	184
5.5	Διαστολή και συστολή σκλήρυνσης, τάση ρηγμάτωσης	184
5.6	Δυναμική συμπεριφορά-δυναμικές ελαστικές σταθερές	185
5.6.1	Το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας	185
5.6.2	Η επίδραση της συχνότητας της ταλάντωσης επί των δυναμικών ελαστικών σταθερών	185
5.6.3	Η επίδραση της θερμοκρασίας επί των δυναμικών ελαστικών σταθερών	187
5.7	Γήρανση-Επίδραση θερμοκρασίας	187
5.7.1	Μάρμαρο	187
5.7.2	Κονιάματα και κονίες	188
5.7.3	Γύψος	188
5.8	Επίδραση παγετού	188
5.9	Επίδραση διαβρωτικών αερίων	188
5.9.1	Επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα	188
5.9.2	Επίδραση του διοξειδίου του θείου	190
5.9.3	Επίδραση του διοξειδίου του αζώτου	190
5.10	Επίδραση θερμοκρασίας-αντοχή διαρκείας	191
6	Σχεδιασμός πειραμάτων-Δοκίμια	192
6.1	Αντοχή σε θλίψη	192
6.1.1	Μάρμαρο	192
6.1.2	Κονιάματα-γύψος	192
6.2	Αντοχή σε εφελκυσμό από κάμψη	192
6.2.1	Μάρμαρο	192
6.2.2	Κονιάματα-γύψος	192
6.3	Αντοχή σε τριβή	192
6.3.1	Μάρμαρο-κονιάματα-γύψος	192
6.4	Αντοχή σε κρούση	192
6.4.1	Μάρμαρο-κονιάματα-γύψος	192
6.5	Διαστολή και συστολή σκλήρυνσης, τάση ρηγμάτωσης	193
6.5.1	Κονιάματα-γύψος	193
6.6	Δυναμική συμπεριφορά-δυναμικές ελαστικές σταθερές	193
6.6.1	Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας	193
6.6.2	Επίδραση των ταλαντώσεων επί των δυναμικών ελαστικών σταθερών	193
6.6.3	Επίδραση της θερμοκρασίας επί των δυναμικών ελαστικών σταθερών	193
6.7	Γήρανση. Δυναμική συμπεριφορά. Επίδραση θερμοκρασίας-διαρκείας	193
6.7.1	Μάρμαρο	193
6.7.2	Κονιάματα	193

6.8	Επίδραση παγετού	194
6.9	Επίδραση διαβρωτικών αερίων	194
6.10	Επίδραση θερμοκρασίας-αντοχή διάρκειας	194
7	Πειραματικά και in situ αποτελέσματα	195
7.1	Υλικά γλυπτών από φυσικούς λίθους. Μάρμαρο (Πάρου)	195
7.2	Υλικά χύτευσης χάλκινων γλυπτών: Κονιάματα: γύψος και οπτή άργιλος, γύψος	196
7.3	Υλικά γύψινων γλυπτών, γύψος, γύψος μετά γήρανση (φυσική)	197
7.4	Επίδραση θερμοκρασίας-αντοχή διάρκειας	198
8	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων-συμπεράσματα	200
9	Γενικό Συμπέρασμα	204

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 2.1: Θερμογράφημα έφιππου ανδριάντα την 20-6-2002.....	167
Εικόνα 2.2.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστική τομή. Θερμογράφημα 1-7-03 ώρα 15:00. Ακραίες τιμές.....	168
Εικόνα 2.3.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών σε χαρακτηριστική τομή του θερμογραφήματος.....	169
Εικόνα 2.4.: Θέσεις μεγίστων διαφορών.....	169
Εικόνα 2.5.: Ισοθερμικές καμπύλες.....	170
Εικόνα 2.6: Θερμογράφημα έφιππου ανδριάντα την 17-2-2003 (χειμερινή ημέρα με σύννεφα).....	170
Εικόνα 2.7: Θερμογράφημα έφιππου ανδριάντα την 1-7-03 (θερινή ημέρα με ηλιοφάνεια) ώρα 15:00.....	170
Εικόνα 2.8: Μέσος όρος μεγίστων και ελαχίστων τιμών, ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος στην περιοχή Αττικής (1993-2003).....	171
Εικόνα 2.9.: Καιρικές συνθήκες κατά την 1-7-2003 (τυπική ημέρα).....	172
Εικόνα 3.1.: Αρχική φάση κατασκευής δευτερογενούς εκμαγείου σε κέρινο ομοίωμα προτομής.....	173
Εικόνα 3.2: Ανάδευση του κονιάματος του δευτερογενούς εκμαγείου.....	174
Εικόνα 3.3: Κατασκευή δευτερογενούς εκμαγείου.....	174
Εικόνα 3.4: Το δευτερογενές εκμαγείο του έργου.....	174
Εικόνα 3.5: Χύτευση χαλκού στο δευτερογενές εκμαγείο.....	174
Εικόνα 3.6: Προτομή και δευτερογενές εκμαγείο του έργου μετά την εκμάγευση.....	174
Εικόνα 3.7: Το εσωτερικό μέρος προτομής.....	174
Εικόνα 3.8: Θερμογράφημα κατά την διάρκεια της προετοιμασίας του μετάλλου.....	175
Εικόνα 3.9: : Θερμογράφημα κατά την διάρκεια χύτευσης χαλκού στο δευτερογενές εκμαγείο.....	176
Εικόνα 3.10: : Θερμογράφημα από αγωγό εισόδου του μετάλλου αμέσως μετά την χύτευση.....	176
Εικόνα 3.11: : Θερμογράφημα αγωγών εισόδου του μετάλλου αμέσως μετά την χύτευση.....	176
Εικόνα 3.12: Θερμογράφημα από το δευτερογενές εκμαγείο μετά τη χύτευση.....	176
Εικόνα 3.13: Θερμογράφημα από το δευτερογενές εκμαγείο μία ώρα μετά τη χύτευση.....	176
Εικόνα 3.14: Θερμογράφημα από το δευτερογενές εκμαγείο δύο ώρες μετά τη χύτευση.....	177
Εικόνα 3.15: Θερμογράφημα από το δευτερογενές εκμαγείο τρεις ώρες μετά τη χύτευση.....	177
Εικόνα 3.16: Θερμογράφημα από το δευτερογενές εκμαγείο κατά την εκμάγευση.....	177
Εικόνα 3.17: Θερμογράφημα από το δευτερογενές εκμαγείο κατά την εκμάγευση.....	177
Εικόνα 3.18: Θερμογράφημα της προτομής αμέσως μετά την εκμάγευση του έργου.....	177
Εικόνα 3.19: Θερμογράφημα της προτομής αμέσως μετά την εκμάγευση του έργου.....	177
Εικόνα 4.1: Όψεις της αρχικής κατάστασης του γλυπτού.....	180
Εικόνα 4.2: Διαχωρισμός των φάσεων κατασκευής.....	181
Εικόνα 7.1: Καμπύλη διαρκείας.....	198
Εικόνα 7.2: Καμπύλη διαρκείας.....	199

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 2.1: Γλυπτά δοκιμών	172
Πίνακας 7.1: Αποτελέσματα των δοκιμών σε υλικά από φυσικούς λίθους. Μάρμαρο	195
Πίνακας 7.2: Αποτελέσματα των δοκιμών σε υλικά χύτευσης χάλκινων γλυπτών: Κονιάματα γύψου οπτής αργίλου, γύψου	196
Πίνακας 7.3: Αποτελέσματα των δοκιμών σε υλικά γύψινων γλυπτών, γύψος, γύψος μετά γήρανση (φυσική)	197

1 Εισαγωγή

Η ιστορία της τέχνης αναφέρει γλυπτά τα οποία είναι κατασκευασμένα από πάσης φύσεως υλικά.

Από την αρχαιότητα ακόμα, είχαν αναπτυχθεί πολλών ειδών τεχνικές όπως η μαρμαρογλυπτική, η ξυλογλυπτική, η «χαλκοχυτική», η αγγειοπλαστική. Οι τεχνικές αυτές είχαν ως αποτέλεσμα γλυπτά από μάρμαρο, ξύλο, κράματα χαλκού, οπτή άργιλο κ.α..

Ένα γλυπτό σήμερα, είναι δυνατό να κατασκευαστεί από ποικίλα υλικά συμπεριλαμβανομένων κονιαμάτων, πλαστικών, κραμάτων μετάλλων κ.α..

Εξ αυτών, τα περισσότερο συνήθη υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται στην κατασκευή γλυπτών είναι

- Οι φυσικοί λίθοι και ειδικότερα το μάρμαρο
- Ο χαλκός

Κατά την διαδικασία κατασκευής ενός έργου από χαλκό τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι, το προς χύτευσιν κράμα καθώς και κονίαμα οπτής-αργίλου (κεραμάλευρου) και γύψου συνεπικουρούμενα από γύψο λάστιχο και κερί.

- Η γύψος

Με διάφορες δοκιμασίες ελέγχου μελετώνται οι ιδιότητες των υλικών έτσι ώστε να επιτευχθεί η έντεχνη κατασκευή του έργου [16, 17,91, 105,122]

Επιπροσθέτως γίνεται ο έλεγχος της συμπεριφοράς-γήρανσης των υλικών κατά την παραμονή τους στο περιβάλλον με διάφορες δοκιμασίες.

2 Θερμική συμπεριφορά γλυπτών-θερμογραφία

2.1 Γενικά

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 ρηγμάτωσης ή μόνιμες παραμορφώσεις στο υλικό, σε μικρό χρονικό διάστημα ή και στο βάθος του χρόνου [4, 19,87].

Η ανίχνευση των θερμοκρασιακών πεδίων είναι μεγάλης σημασίας προκειμένου να υπάρχει η πληροφορία για τα τασικά πεδία που αναπτύσσονται στο υλικό και να εξαχθούν συμπεράσματα για της ασφαλή ανάληψή τους.

Κατά την διάρκεια της κατασκευής ενός γλυπτού αλλά και κατά την παραμονή ενός γλυπτού στο περιβάλλον, αναπτύσσονται θερμοκρασίες οι οποίες επηρεάζουν είτε τα υλικά τα οποία επικουρούν την κατασκευή του είτε τα υλικά από τα οποία συνίσταται.

2.2 Θερμογραφία

2.2.1 Γενικά

Η θερμογραφία είναι μία μη καταστρεπτική μέθοδος με την οποία ανιχνεύουμε την κατανομή θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στις επιφάνειες διαφόρων υλικών. Με την μέθοδο αυτή προσδιορίζουμε και ερμηνεύουμε τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στα υλικά και εξάγονται κατά περίπτωση διάφορα συμπεράσματα.

Η θερμογραφία βρίσκει εφαρμογή σε διάφορα προβλήματα των υλικών όπως για παράδειγμα στην μελέτη των θερμικών πεδίων, στον εντοπισμό διαφυγής θερμού αέρα από τα κελύφη των κτηρίων, στον εντοπισμό θερμικών γεφυρών από τα κελύφη των κτηρίων, στον εντοπισμό νερού μέσα στα υλικά, καθώς επίσης και στον εντοπισμό διαφόρων υλικών σε σύνθετες κατασκευές.

2.2.2 Περιγραφή της μεθόδου

Όλα τα σώματα εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία η οποία εξαρτάται από την θερμοκρασία τους, 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 ή θα μεταφερθεί. Η θερμότητα που απορροφάται εμφανίζεται ως αύξηση θερμοκρασίας ενός σώματος.

Η ενέργεια που εκπέμπεται από ένα θερμό σώμα σε ψυχρό περιβάλλον εκφράζεται ως εξής:

$$q = \varepsilon \cdot \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

Όπου, q , η εκπεμπόμενη ενέργεια [W/m^2]

σ , η σταθερά Stefan - Boltzmann

T_1 , η θερμοκρασία του σώματος $^{\circ}K$

ε , ο συντελεστής εκπομπής υλικού

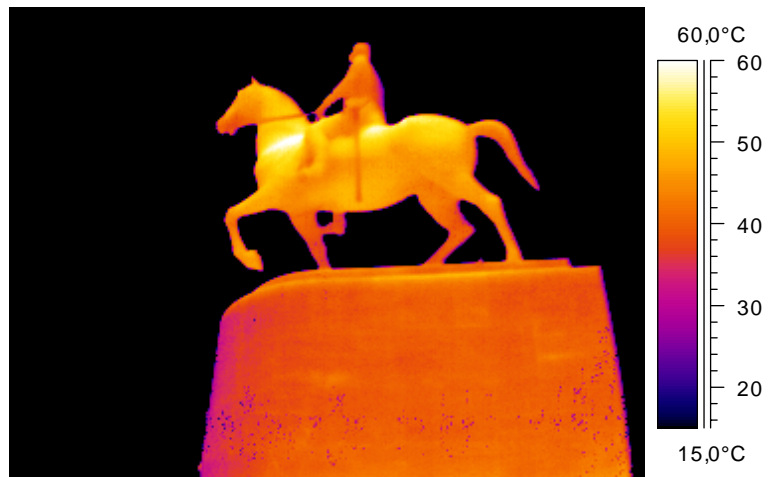
T_2 , η θερμοκρασία του περιβάλλοντος $^{\circ}K$

Η εξίσωση αυτή είναι γνωστή ως νόμος των Stefan – Boltzmann.

Η θερμογραφία (υπέρυθρη φωτογράφιση), ανιχνεύει την εκπομπή θερμικής ακτινοβολίας από τα διάφορα υλικά και δημιουργεί μέσω κατάλληλων διατάξεων οπτική απεικόνιση του θερμικού σήματος (θερμογράφημα). Με την θερμογραφία δεν μετράται απ' ευθείας η θερμοκρασία μιας επιφάνειας αλλά η μεταβολή της επιφανειακής ακτινοβολίας.

Η θερμογραφία βασίζεται στην αρχή ότι κάθε επιφάνεια εκπέμπει ενέργεια με την μορφή της θερμοκρασιακής ακτινοβολίας. Το μήκος κύματος που εκπέμπεται εξαρτάται από την θερμοκρασία. Αυξανόμενης της θερμοκρασίας το μήκος κύματος γίνεται βραχύτερο και στην περίπτωση πολύ μεγάλων θερμοκρασιών βρίσκεται στο ορατό φάσμα (π.χ. πυρακτωμένη άκρη βελόνας). Στην θερμοκρασία δωματίου το μήκος κύματος της ακτινοβολίας είναι της τάξεως των $10\mu m$ (στην υπέρυθη περιοχή του φάσματος). Η ακτινοβολία ανιχνεύεται με κατάλληλες ανιχνευτικές διατάξεις (θερμοκάμερες) οι οποίες παράγουν ηλεκτρικό σήμα ανάλογο της προσπίπτουσας ακτινοβολίας το οποίο με κατάλληλη βαθμονόμηση εκφράζεται σε θερμοκρασία (Εικόνα 2.1).

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την θερμοκρασία που μετράται είναι: η ικανότητα εκπομπής υπέρυθρης ακτινοβολίας της επιφάνειας του υλικού (εκφράζεται από τον συντελεστή εκπομπής και είναι συγκρινόμενη με εκείνη του μέλανος σώματος), η σχετική υγρασία του περιβάλλοντος, η απόσταση του αντικειμένου από την θερμοκάμερα, η θερμική αγωγιμότητα, η θερμοχωρητικότητα, το πάχος του θερμαινόμενου στρώματος και η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.



Εικόνα 2.1: Θερμογράφημα έφιππου ανδριάντα την 20-6-2002

Οι μετρήσεις επηρεάζονται σημαντικά από τον συντελεστή εκπομπής του υλικού. Γενικά, τα δομικά υλικά έχουν μεγάλο συντελεστή εκπομπής (μεγαλύτερο από 0,8) ενώ από σχετικές μετρήσεις προέκυψε ότι ο συντελεστής εκπομπής χάλκινων γλυπτών με πατίνα, είναι 0,6 και μαρμάρινων γλυπτών 0,9.

2.2.3 Παράδειγμα ανάλυσης

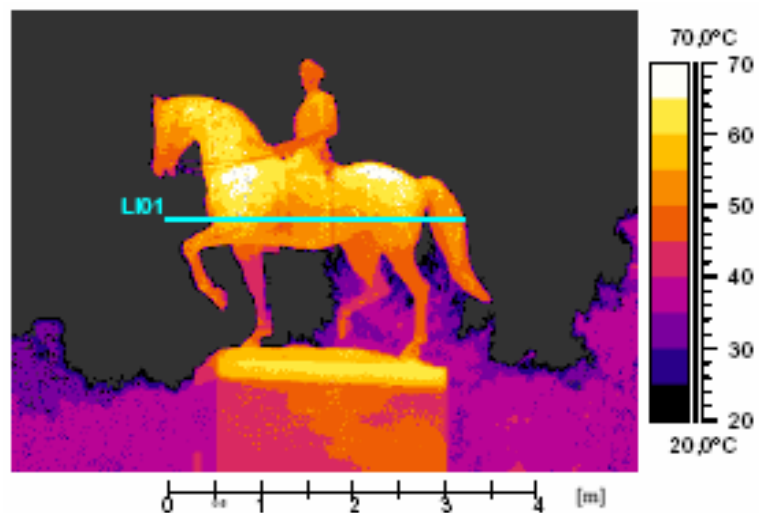
Τα γλυπτά είναι πολυεδρικές και καμπύλες επιφάνειες υλικών οι οποίες υφίστανται διάφορες περιβαλλοντικές καταπονήσεις. Για να εκτιμηθεί η συμπεριφορά των γλυπτών σε σχέση με τις μεταβολές θερμοκρασιών κατά την παραμονή τους στον περιβάλλοντα χώρο γίνανε μετρήσεις με την θερμοκάμερα τύπου Agema 570 του Εργαστηρίου Τεχνικών Υλικών του Ε.Μ.Πολυτεχνείου και προέκυψαν θερμογραφήματα τα οποία οδήγησαν στην εκτίμηση των αναπτυσσόμενων θερμοκρασιών.

Για την εύρεση των μεγίστων διαφορών θερμοκρασιών στην επιφάνεια του γλυπτού χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Irwin Report 5.21. Η επεξεργασία των θερμογραφημάτων πραγματοποιήθηκε σε φύλλα εργασίας του λογισμικού. Σε κάθε φύλλο εργασίας του λογισμικού, εισήχθησαν παράμετροι όπως η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η σχετική υγρασία του περιβάλλοντος, η απόσταση του αντικειμένου που εξετάζεται από το όργανο μέτρησης και ο συντελεστής εκπομπής του αντικειμένου.

Για την επεξεργασία των μετρήσεων, ελήφθησαν υπόψη τα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού του Ε.Μ.Π. [41]. Ειδικότερα ελήφθησαν υπόψη η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η ηλιακή ακτινοβολία, η ταχύτητα ανέμου και η σχετική υγρασία κατά τις ημέρες των μετρήσεων.

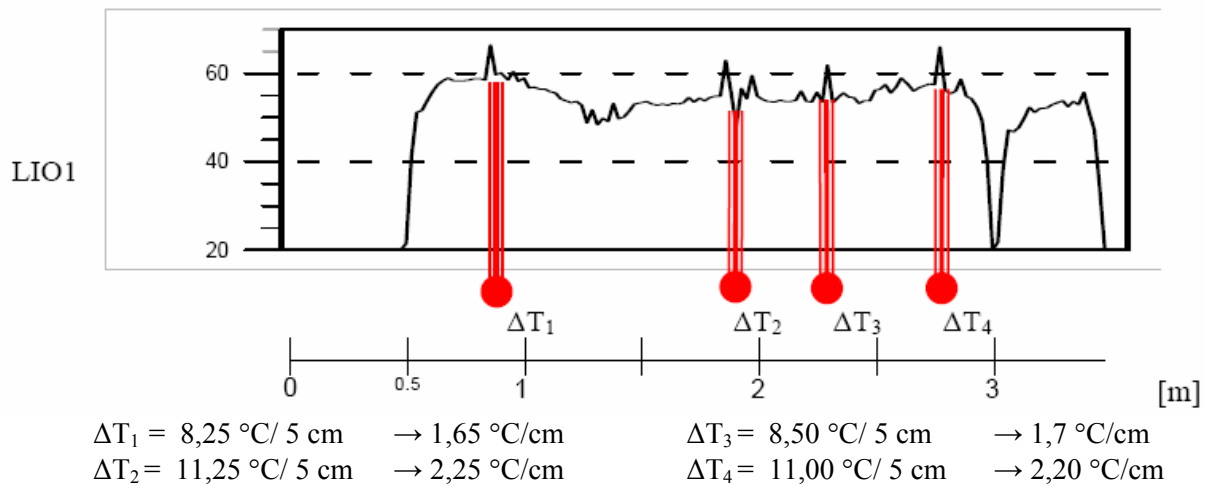
Με την βοήθεια του λογισμικού χαράχθηκαν τομές επάνω στο θερμογράφημα και προέκυψε η κατανομή θερμοκρασιών στις αντίστοιχες τομές ενώ παράλληλα προσδιορίστηκε και το μήκος της τομής (Εικόνα 2.2).

Στην θερμοκρασιακή τομή προσδιορίστηκαν οι μέγιστες θερμοκρασιακές διαφορές (ΔT_1), και το μήκος στο οποίο εμφανίζονται, επισημάνθηκαν δέ με κόκκινη διαγράμμιση (Εικόνα 2.3).

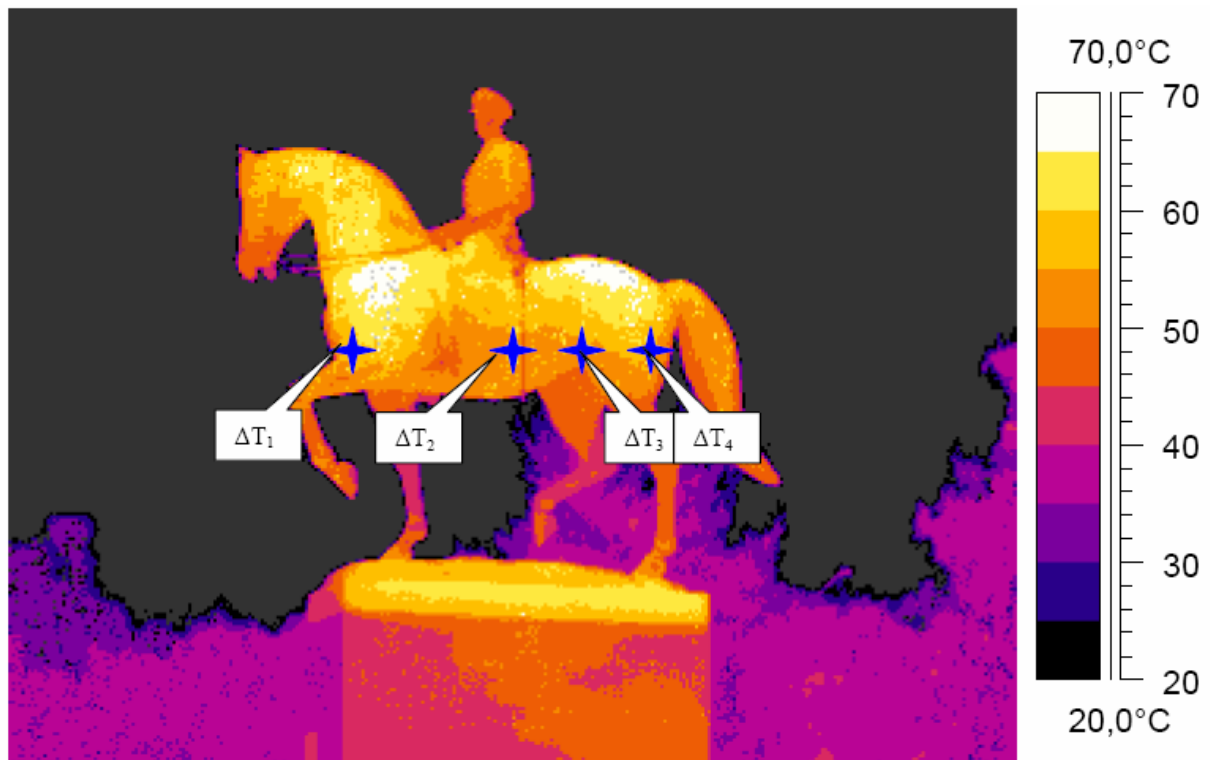


Εικόνα 2.2.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστική τομή. Θερμογράφημα 1-7-03 ώρα 15:00. Ακραίες τιμές

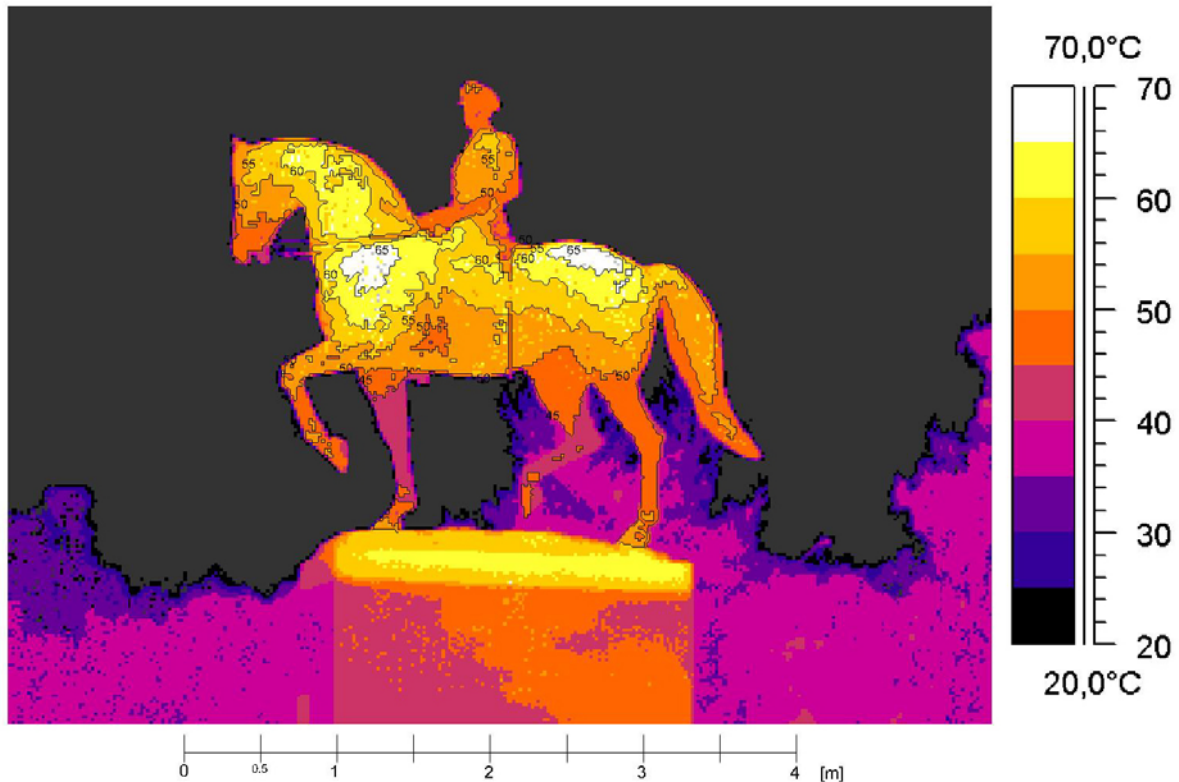
Ακολούθως, για κάθε μέγιστη θερμοκρασιακή διαφορά υπολογίστηκε η θερμοκρασιακή μεταβολή σε °C/cm. Στη συνέχεια εντοπίστηκαν οι θέσεις των μεγίστων θερμοκρασιακών διαφορών στο θερμογράφημα (Εικόνα 2.4) και χαράχθηκαν οι ισοθερμικές καμπύλες (Εικόνα 2.5).



Εικόνα 2.3.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών σε χαρακτηριστική τομή του θερμογραφήματος



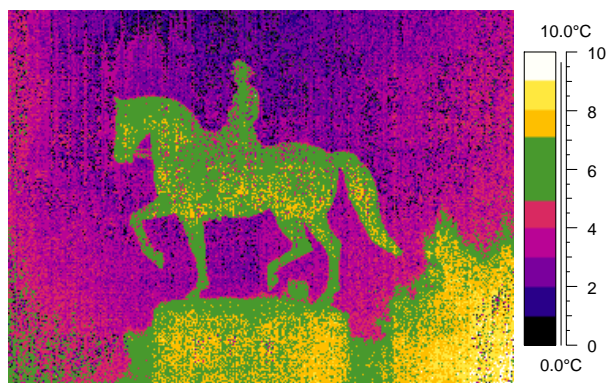
Εικόνα 2.4.: Θέσεις μεγίστων διαφορών



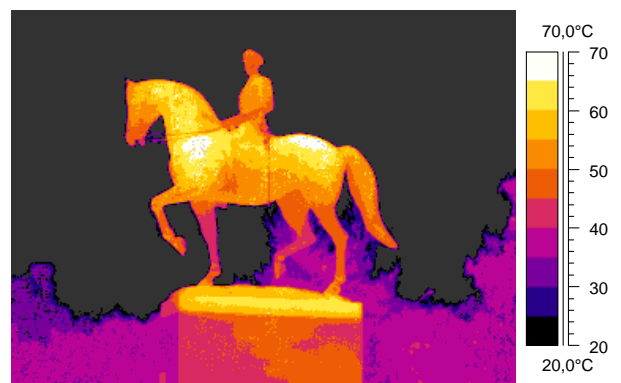
Εικόνα 2.5.: Ισοθερμικές καμπύλες

2.2.4 Σχεδιασμός πειραματικής διαδικασίας

Από σχετικά θερμογράφημα (Εικόνες 2.6, 2.7) διαπιστώνεται ότι κατά τις ημέρες του χειμώνα χωρίς ηλιοφάνεια και κατά τις νυχτερινές ώρες (χειμώνας-θέρος) τα υλικά των γλυπτών βρίσκονται και ισορροπούν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αντίθετα, κατά τις πρωινές ώρες μίας θερινής ημέρας με ηλιοφάνεια, σε σημεία στα οποία προσπίπτει κάθετα ηλιακή ακτινοβολία παρουσιάζονται σημαντικές μεταβολές θερμοκρασιών στην επιφάνεια των γλυπτών.



Εικόνα 2.6: Θερμογράφημα έφιππου ανδριάντα την 17-2-2003 (χειμερινή ημέρα με σύννεφα)



Εικόνα 2.7: Θερμογράφημα έφιππου ανδριάντα την 1-7-03 (θερινή ημέρα με ηλιοφάνεια) ώρα 15:00

Στα πλαίσια της παρούσης εργασίας μελετήθηκαν οι μεταβολές θερμοκρασιών οι οποίες εμφανίζονται στα υλικά των γλυπτών στο Αττικό περιβάλλον σε τυπικές ημέρες και ώρες.

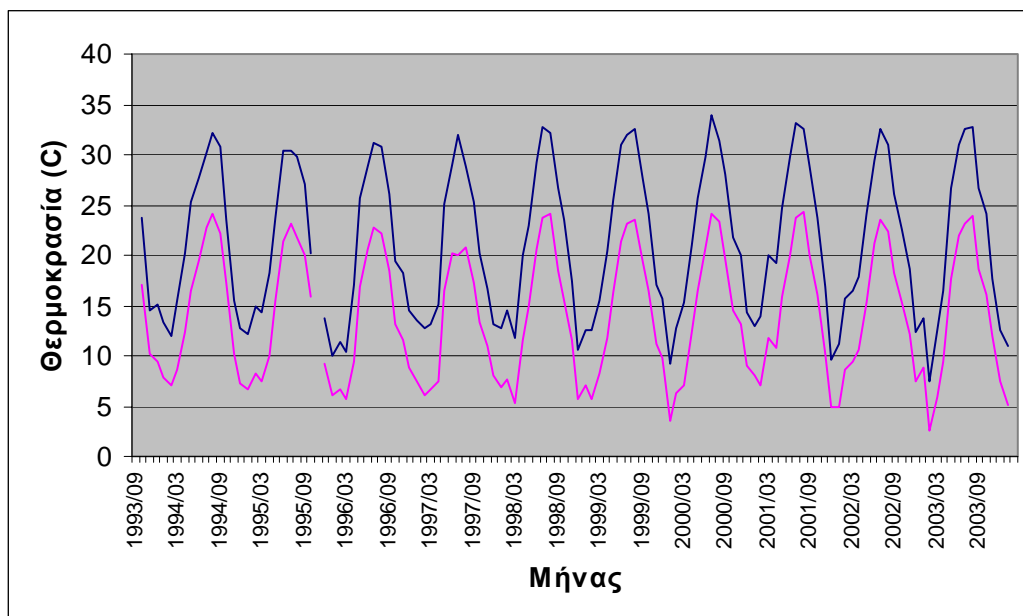
Για τον προσδιορισμό των τυπικών ημερών και ωρών των μετρήσεων πραγματοποιήθηκε διερεύνηση των δεδομένων καιρικών συνθηκών του μετεωρολογικού σταθμού του Ε.Μ.Πολυτεχνείου (www.itia.ntua.gr) με το λογισμικό «Υδρογνώμονας».

Σύμφωνα με τα δεδομένα, ο μέσος όρος των μεγίστων και ο μέσος όρος των ελαχίστων ημερησίων τιμών ανά μήνα, παρουσιάζεται σε παρακάτω διάγραμμα.

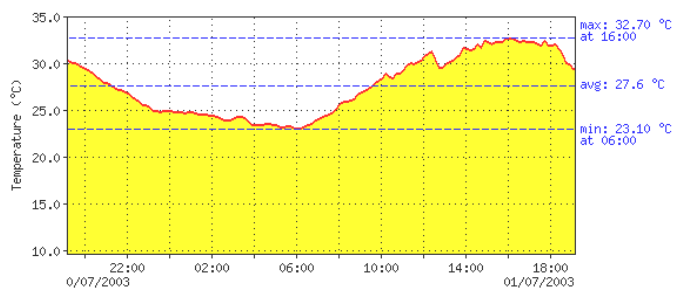
Στην περιοχή της Αττικής κατά την θερινή περίοδο αναμένονται θερμοκρασίες μεταξύ των 25-32°C ενώ οι αντίστοιχες θερμοκρασίες τις νυχτερινές ώρες είναι 20-25°C (Εικόνα 2.8).

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.

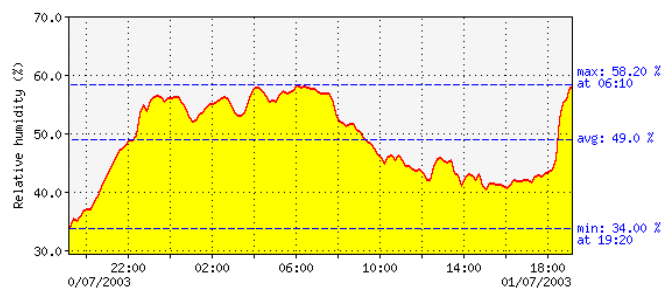
Σύμφωνα με την διερεύνηση και από την παραβολή των δεδομένων του μετεωρολογικού σταθμού προκύπτει ότι το 85% των ημερών με θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 30°C υπάρχει έντονη ηλιοφάνεια κατά τις πρωινές ώρες.



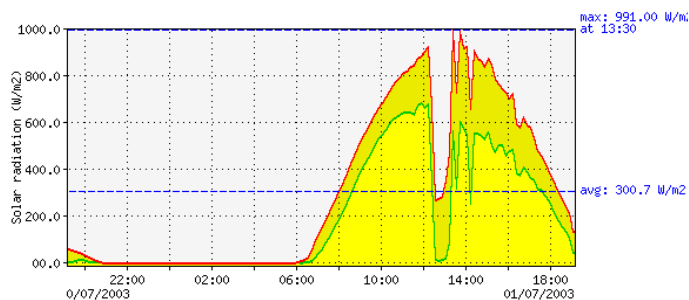
Εικόνα 2.8: Μέσος όρος μεγίστων και ελαχίστων τιμών, ημερήσιας θερμοκρασίας περιβάλλοντος στην περιοχή Αττικής (1993-2003)



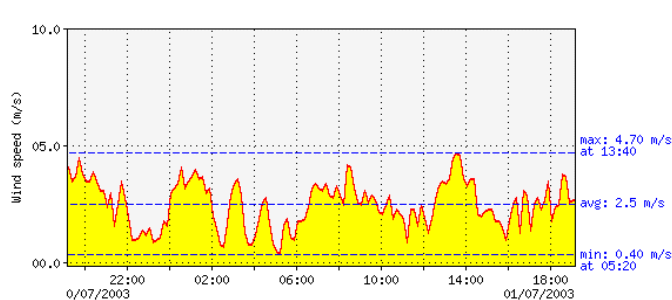
Θερμοκρασία



Σχετική υγρασία



Ηλιακή ακτινοβολία



Ταχύτητα ανέμου

Εικόνα 2.9.: Καιρικές συνθήκες κατά την 1-7-2003 (τυπική ημέρα)

Οι μεταβολές της θερμοκρασίας των γλυπτών μελετώνται σε συγκεκριμένα γλυπτά που βρίσκονται στον Αττικό περιβάλλον τυπικές ημέρες και ώρες (Εικόνα 2.9). Η επιλογή των ημερών και των ωρών προέκυψε από την μελέτη των δεδομένων καιρικών συνθηκών και έπειτα από μεγάλο αριθμό δοκιμαστικών λήψεων.

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων πραγματοποιήθηκε συστηματική μελέτη συγκεκριμένων γλυπτών (Πίνακας 2.1) σε τυπικές ημέρες και ώρες.

Χαλκός	Μάρμαρο
Έφιππος ανδριάντας Α. Παπάγου <i>Δήμος Παπάγου</i>	Ανδριάντας Γ. Αβέρωφ <i>Α Νεκροταφείο Αθηνών</i>
Ανδριάντας Ε. Βενιζέλου <i>Πάρκο Ελευθερίας</i>	Μνημείο αφιερωμένο στον λόρδο Βύρωνα <i>Ζάππειο Μέγαρο</i>
Έφιππος ανδριάντας Θ. Κολοκοτρώνη <i>Παλαιά Βουλή</i>	Ανδριάντας Χ. Τρικούπη <i>Παλαιά Βουλή</i>
Δισκοβόλος, <i>Καλιμάριμαρο</i>	Ανδριάντας Ε. Βενιζέλου <i>Βουλή</i>

Πίνακας 2.1: Γλυπτά δοκιμών

3 Θερμική συμπεριφορά κεραμικού κελύφους

3.1 Γενικά

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η διαδικασία χύτευσης μίας προτομής σε φυσικό μέγεθος. Στο κρίσιμο στάδιο της διαδικασίας (χύτευση μετάλλου) πραγματοποιείται διερεύνηση με θερμογραφήματα προκειμένου να προσδιοριστούν οι αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες κάτω από τις οποίες πραγματοποιείται η διαδικασία αυτή.

Η διαδικασία κατασκευής της προτομής σε χαλκό με την έμμεση μέθοδο χύτευσης πραγματοποιείται σε διαδοχικά στάδια.

3.2 Διαδικασία χύτευσης

3.2.1 Γενικά

Για την χύτευση του έργου προηγούνται οι εξής εργασίες:

- Κατασκευάζεται εκμαγείο της προτομής από ελαστικό υλικό με γύψινο κέλυφος (εσάρπα).
- Από το γύψινο εκμαγείο κατασκευάζεται ομοίωμα από κερί 4-7 mm. Στο εσωτερικό του κέρινου ομοιώματος χυτεύεται κονίαμα γύψου-οπτής αργίλου (πυρήνας).
- Τοποθετούνται αγωγοί χύτευσης από κερί στο κέρινο ομοίωμα
- Κατασκευάζεται δευτερογενές εκμαγείο στο κέρινο ομοίωμα από κονίαμα γύψου-οπτής αργίλου (Εικόνα 3.1).
- Το δευτερογενές εκμαγείο υφίσταται όπτηση (ελεύθερο κεριού)
- Χυτεύεται μέταλλο μέσα στο δευτερογενές εκμαγείο (θερμογραφήματα)
- Διαμορφώνονται οι τελικές λεπτομέρειες του έργου-δημιουργία πατίνας



Εικόνα 3.1.: Αρχική φάση κατασκευής δευτερογενούς εκμαγείου σε κέρινο ομοίωμα προτομής

3.2.2 Κατασκευή εκμαγείων

Από το πρωτότυπο έργο κατασκευάζεται ελαστικό εκμαγείο με γύψινο κέλυφος-εσάρπα (πρωτογενές εκμαγείο).

Μετά την εκμάγευση του έργου, στο πρωτογενές εκμαγείο γίνεται επάλειψη λειωμένου κεριού με την χρήση πινέλου.

Ακολούθως τοποθετείται κερί στο εκμαγείο έτσι ώστε να δημιουργηθεί κέρινο ομοίωμα της προτομής το οποίο να έχει πάχος 4-7 mm.

Στην συνέχεια και πριν την εκμάγευση του κέρινου ομοιώματος, χυτεύεται στο κοίλο μέρος του κέρινου ομοιώματος κονίαμα γύψου-οπτής αργίλου (πυρήνας).

Πραγματοποιείται η εκμάγευση του κέρινου ομοιώματος και τοποθετούνται αγωγοί χύτευσης,



Εικόνα 3.2: Ανάδευση του κονιάματος του δευτερογενούς εκμαγείου



Εικόνα 3.3: Κατασκευή δευτερογενούς εκμαγείου



Εικόνα 3.4: Το δευτερογενές εκμαγείο του έργου



Εικόνα 3.5: Χύτευση χαλκού στο δευτερογενές εκμαγείο



Εικόνα 3.6: Προτομή και δευτερογενές εκμαγείο του έργου μετά την εκμάγευση



Εικόνα 3.7: Το εσωτερικό μέρος προτομής

Οι αγωγοί μπορεί να τοποθετηθούν είτε στο εσωτερικό, είτε στο εξωτερικό του έργου. Είναι προτιμότερο να τοποθετούνται στο εσωτερικό του έργου. Δεν είναι όμως πάντα εφικτό αυτό, ιδιαίτερα όταν υπάρχουν περιοχές λεπτής διατομής στο κοίλο μέρος του έργου (π.χ. στένωση κεφαλής).

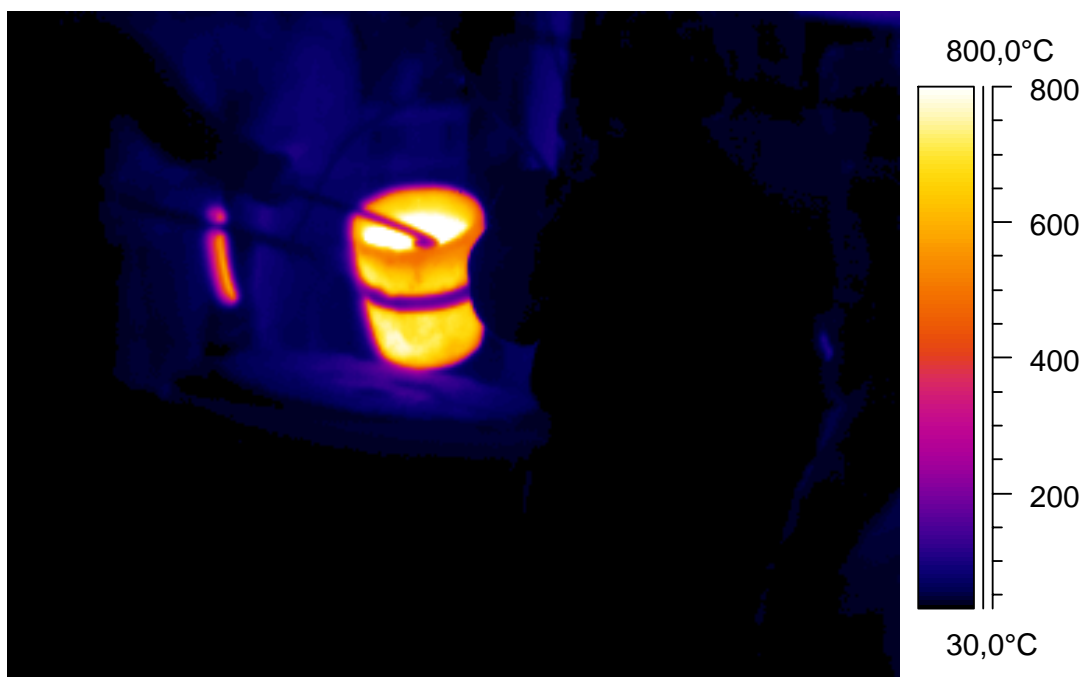
Στην συνέχεια κατασκευάζεται δευτερογενές εκμαγείο το οποίο περιέχει το κέρινο ομοίωμα και τους αγωγούς χύτευσης. Το δευτερογενές εκμαγείο κατασκευάζεται από κονίαμα γύψου και οπτής αργίλου (Εικόνα 3.2, 3.3).

Το δευτερογενές εκμαγείο υφίσταται όπτηση, [72h 350°C] έτσι ώστε να ελευθερωθεί το εκμαγείο από το κερί. Στην διαδικασία αποκέρωσης ή «ελεύθερο κεριού» (Εικόνα 3.4). Ακολούθως χυτεύεται το μέταλλο στο εκμαγείο, και ακολουθεί η εκμάγευση του γλυπτού (Εικόνα 3.5, 3.6, 3.7).

3.3 Θερμογραφήματα κατά την διάρκεια της χύτευσης

Ενώ η διαδικασία όπτησης του δευτερογενούς εκμαγείου χύτευσης είναι γνωστή δεν υπάρχουν δεδομένα για την θερμική συμπεριφορά του δευτερογενούς εκμαγείου κατά την διάρκεια της χύτευσης.

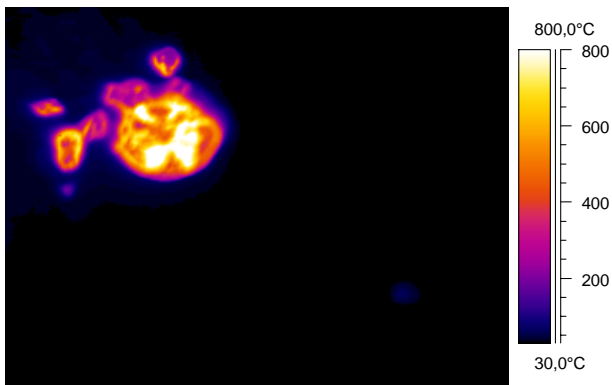
Προκειμένου να μελετηθεί αυτό, αξιολογήθηκαν θερμογραφήματα που προέκυψαν από χύτευση προτομής σε χαλκό που πραγματοποιήθηκε σε Καλλιτεχνικό Χυτήριο την 26-4-2004 (Εικόνες 3.8, 3.9).



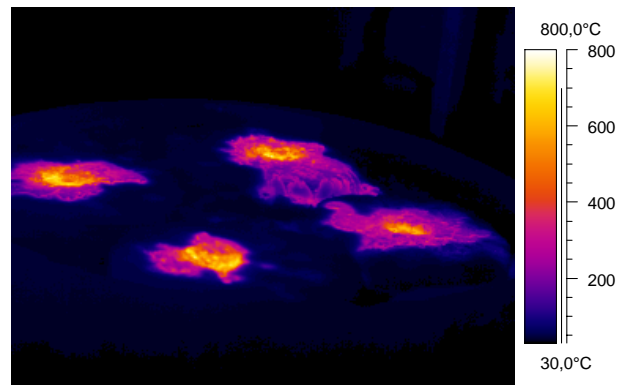
Εικόνα 3.8: Θερμογράφημα κατά την διάρκεια της προετοιμασίας του μετάλλου



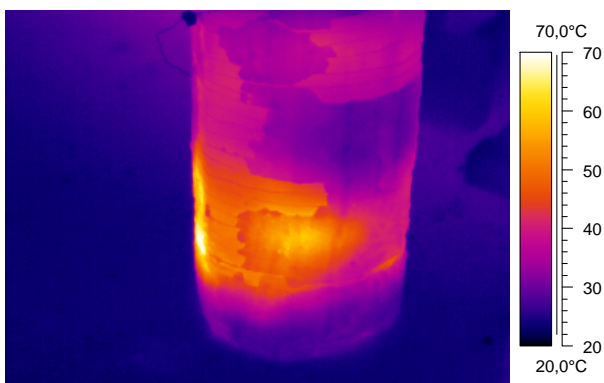
Εικόνα 3.9: : Θερμογράφημα κατά την διάρκεια χύτευσης χαλκού στο δευτερογενές εκμαγείο



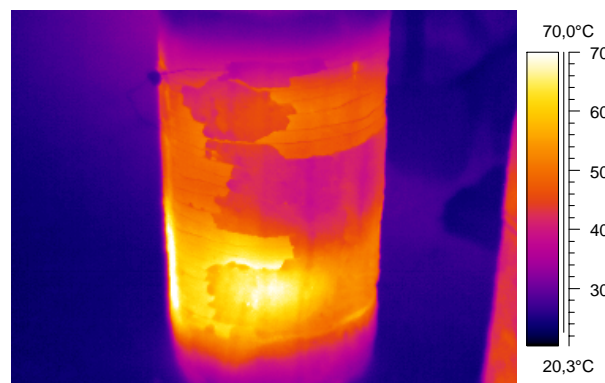
Εικόνα 3.10: : Θερμογράφημα από αγωγό εισόδου του μετάλλου αμέσως μετά την χύτευση



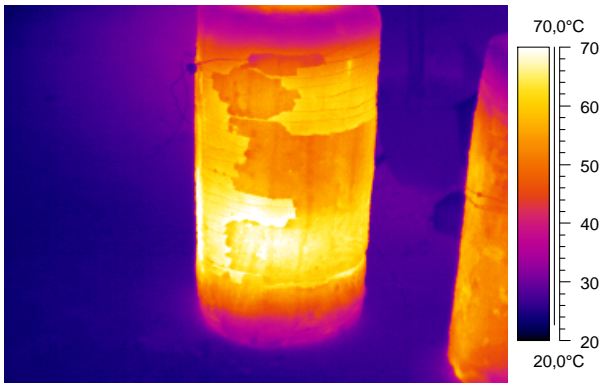
Εικόνα 3.11: : Θερμογράφημα αγωγών εισόδου του μετάλλου αμέσως μετά την χύτευση



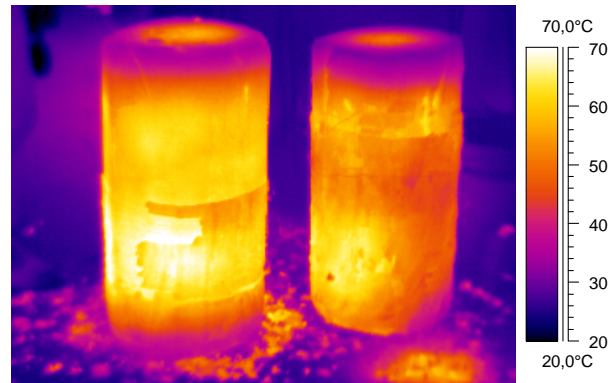
Εικόνα 3.12: Θερμογράφημα από το δευτερογενές εκμαγείο μετά τη χύτευση



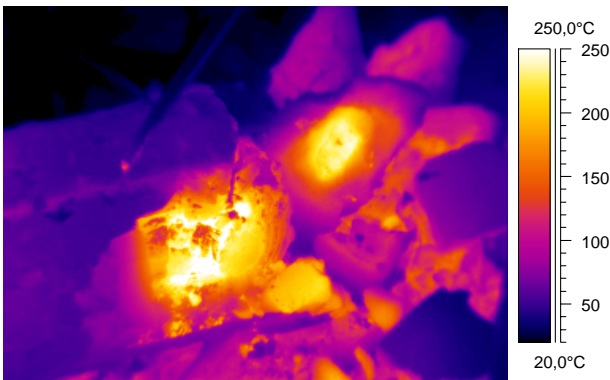
Εικόνα 3.13: Θερμογράφημα από το δευτερογενές εκμαγείο μία ώρα μετά τη χύτευση



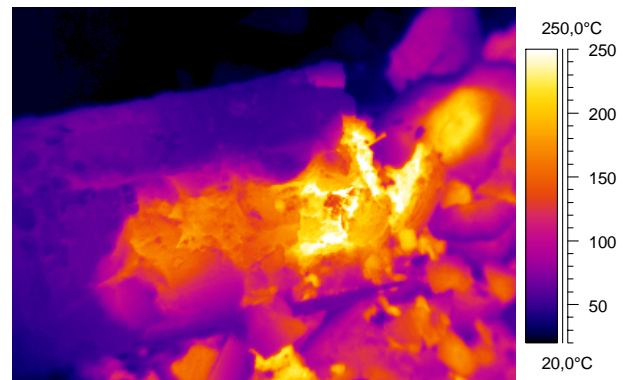
Εικόνα 3.14: Θερμογράφημα από το δευτερογενές εκμαγείο δύο ώρες μετά τη χύτευση



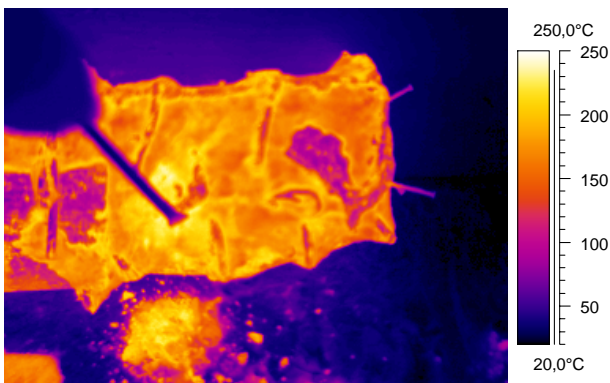
Εικόνα 3.15: Θερμογράφημα από το δευτερογενές εκμαγείο τρεις ώρες μετά τη χύτευση



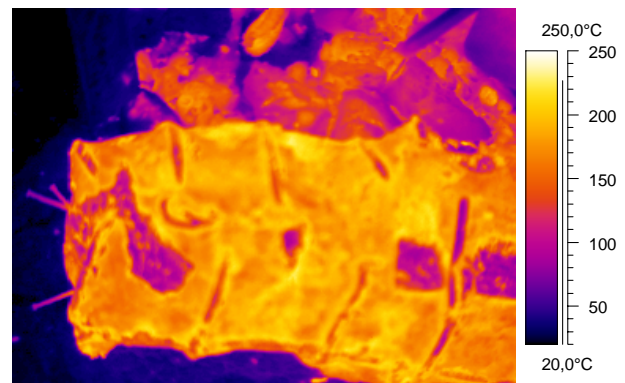
Εικόνα 3.16: Θερμογράφημα από το δευτερογενές εκμαγείο κατά την εκμάγευση



Εικόνα 3.17: Θερμογράφημα από το δευτερογενές εκμαγείο κατά την εκμάγευση



Εικόνα 3.18: Θερμογράφημα της προτομής αμέσως μετά την εκμάγευση του έργου



Εικόνα 3.19: Θερμογράφημα της προτομής αμέσως μετά την εκμάγευση του έργου

3.4 Προβλήματα κατά την χύτευση

Από την μελέτη και την αξιολόγηση των θερμογραφημάτων, (Εικόνες 3.10 έως 3.19) προέκυψε ότι δεν αναπτύσσονται θερμοκρασίες οι οποίες να είναι ικανές να οδηγήσουν σε αστοχία το δευτερογενές εκμαγείο κατά την διάρκεια της χύτευσης. Το δευτερογενές εκμαγείο δέχεται ισχυρό θερμικό κρουστικό φορτίο κατά την διάρκεια της χύτευσης, το οποίο όμως αποσβένεται ομαλώς κατά την διάρκεια επανάταξης του εκμαγείου στην θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Απαραίτητη προϋπόθεση κατά την χύτευση χαλκού είναι η εξασφάλιση αδιατάραχτου δευτερογενούς εκμαγείου το οποίο συντίθεται συνήθως από κονίαμα γύψου-οπτής αργίλου.

Σε περίπτωση αταξίας της δομής του υλικού είναι δυνατό να προκληθούν ρηγματώσεις. Σαν συνέπεια θα εμφανιστούν άμορφες μάζες χαλκού μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας χύτευσης οι οποίες μειώνουν την καλλιτεχνική αξία του γλυπτού.

3.5 Σχεδιασμός πειραματικής διαδικασίας

Από την μελέτη των θερμογραφημάτων διαπιστώθηκε ότι η επί 72h εις 350°C δοκιμασία του κονιάματος αναπαριστά μία ρεαλιστική προσομοίωση των δυσμενών θερμοκρασιακών συνθηκών χύτευσης.

Επί πλέον με διάφορες συνθέσεις κονιαμάτων γίνεται προσπάθεια να καθοριστεί η ιδανική αναλογία κονιάματος.

Διάφορες δοκιμές όπως οι 1, 2, 3, 4, 5, 6, συνεπικουρούν στην εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων.

1. Αντοχή σε θλίψη
2. Αντοχή σε εφελκυσμό από κάμψη
3. Αντοχή σε τριβή
4. Αντοχή σε κρούση
5. Μακροσκοπικές παρατηρήσεις
6. Διαστολή σκλήρυνσης

4 Υλικό Γύψος-προ και μετά την γήρανση

4.1 Γενικά

Η γύψος είναι υλικό το οποίο χρησιμοποιείται πολύ συχνά στην γλυπτική. Τα αντικείμενα από γύψο όταν εκτεθούν σε υγρό περιβάλλον υφίστανται με τον χρόνο βραδεία επιφανειακή διάβρωση λόγω της διαλυτότητας της γύψου.

Για τον λόγο αυτό τα γύψινα αντικείμενα είναι ακατάλληλα για τον εξωτερικό χώρο και συνήθως τοποθετούνται σε εσωτερικό.

Κατά την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσης εργασίας πραγματοποιήθηκε η συντήρηση και η αποκατάσταση γύψινου αντιγράφου του Ηρακλή του Farnese που ανήκει στην Καλλιτεχνική Περιουσία του Ε.Μ.Πολυτεχνείου το οποίο είχε παραμείνει σε ημιυπαίθριο χώρο του κτηρίου Αβέρωφ για περίπου εκατόν πενήντα έτη [115].

Λόγω της εργασίας που πραγματοποιήθηκε προέκυψαν διάφορα μικρά τεμάχια από το υλικό του γλυπτού τα οποία δεν επαναχρησιμοποιήθηκαν στο έργο. Στα τεμάχια αυτά πραγματοποιήθηκε συστηματική μελέτη των υλικών σε σχέση με τα υλικά που τοποθετήθηκαν εκ νέου για την αποκατάσταση του έργου δηλαδή τον συνήθη γύψο καλλιτεχνίας.

4.2 Γενικά χαρακτηριστικά του υπό μελέτη έργου

Ο Ηρακλής του Farnese κατασκευάστηκε πρώτη φορά σε χαλκό από τον γλύπτη Λύσιππο τον 4ο αιώνα π.Χ. περίπου. Έναν αιώνα μετά, τον 3^ο αιώνα π.Χ. περίπου, κατασκευάστηκε μαρμάρινο αντίγραφο από τον γλύπτη Γλύκωνα. Το γλυπτό πήρε το όνομα Ηρακλής του Farnese γιατί μετά την εύρεσή του περί το 1540 στα Λουτρά του Caracalla (Ρώμη) το γλυπτό τοποθετήθηκε στον κήπο του ανακτόρου Farnese στη Ρώμη [112].

Ο Ηρακλής του Farnese βρίσκεται σήμερα στο Αρχαιολογικό Μουσείο της Νάπολη της Ιταλίας [118].

Γύψινο αντίγραφο του Ηρακλή του Farnese ανήκει από το 1850 περίπου στο Ε.Μ.Πολυτεχνείο. Το γύψινο αντίγραφο βρισκόταν για πολλά χρόνια σε ημιυπαίθριο χώρο, στο περιστύλιο του αίθριου του κτηρίου Αβέρωφ. Λόγω αυτού καταπονήθηκε έντονα από τις καιρικές συνθήκες, την υγρασία και εν γένει τις θερμοκρασιακές μεταβολές του περιβάλλοντος.

Εκτός από τις περιβαλλοντικές καταπονήσεις το γλυπτό επιβαρύνθηκε και από βίαιες ενέργειες, με αποτέλεσμα καταστραφούν και τμήματά του.

4.3 Η δομή του υπάρχοντος έργου

Το αντίγραφο του Ηρακλή του Farnese (Εικόνα 4.1) κατασκευάστηκε σε τέσσερις κυρίως φάσεις από γύψινο κέλυφος άοπλης γύψου μεταβλητού πάχους.

Η γύψος δημιουργεί ένα κέλυφος επάνω στο οποίο μορφοποιείται η τελική επιφάνεια του αντιγράφου ενώ συγχρόνως το κέλυφος αυτό αποτελεί τον φέροντα οργανισμό του έργου.

Το πάχος του υλικού στο άνω μέρος του αντιγράφου είναι πέντε εκατοστά ενώ πλησίον της βάσης είναι περί τα δέκα εκατοστά.

Το αντίγραφο είχε ενισχυθεί εσωτερικά με ξύλινες δοκούς που είχαν τοποθετηθεί εγκάρσια στο εσωτερικό της κοιλιακής του χώρας και υπό μορφή πλαισίου στη βάση του.

Το αντίγραφο, είχε επίσης ενισχυθεί και από διαμήκη ελάσματα που είχαν τοποθετηθεί στα πόδια του και στην κοιλιακή χώρα (στην ένωση κορμού με τα πόδια).



Εικόνα 4.1: Όψεις της αρχικής κατάστασης του γλυπτού

Η εσωτερική επιφάνεια της βάσης αποτελείτο από διάφορα υλικά συγκολλημένα με την γύψο όπως τεμάχια μάρμαρου και ξύλου.

Οι κύριες φάσεις κατασκευής του γύψινου αντιγράφου ήταν οι εξής:

1. η πρώτη φάση αποτελούμενη από τον κορμό του αγάλματος και το κεφάλι
2. η δεύτερη φάση αποτελούμενη από τα πόδια και το κάτω μέρος της κοιλιακής χώρας
3. η τρίτη φάση αποτελούμενη από τον κορμό στηρίξεως
4. η τέταρτη φάση αποτελούμενη από το δεξιό χέρι που έχει κατασκευαστεί ξεχωριστά από το υπόλοιπο γλυπτό

Αφού προσδιορίστηκε ο τρόπος κατασκευής του γύψινου αντιγράφου έγιναν εργασίες αποτίμησης της κατάστασης των υλικών του.

4.4 Εργασίες αποκατάστασης

4.4.1 Αποσυναρμολόγηση

Για να αποκολληθούν επιτυχώς οι διάφορες φάσεις κατασκευής του αντιγράφου, κατασκευάστηκε κριώμα ύψους 5,5 m στην οποία τοποθετήθηκαν κυλιόμενο φορείο και δύο συστήματα τροχαλιών τοποθετημένα εν σειρά (Εικόνα 4.2).

Η αποσυναρμολόγηση του αντιγράφου έγινε αφού είχαν προσδιοριστεί οι θέσεις σύνδεσης των φάσεων της κατασκευής. Αφού αυτές αποκαλύφθηκαν το έργο διαμελήθη σε μέρη.

Κατά την φάση αυτή αποκολλήθηκαν από το εσωτερικό του έργου διάφορα τεμάχια του υλικού. Σε αυτά πραγματοποιήθηκε ο πειραματικός έλεγχος των ιδιοτήτων της γύψου μετά από την φυσική του γήρανση.

4.4.2 Ενίσχυση κελύφους

Για να ενισχυθεί το κέλυφος κατασκευάστηκε εσωτερικός σκελετός στο έργο. Μετά την κατασκευή του σκελετού, το γύψινο κέλυφος ενισχύθηκε εσωτερικά με ινοπλισμένη γύψο η οποία συνδέθηκε με το σκελετό και το κέλυφος.

4.5 Προβλήματα κατά την αποκατάσταση του έργου

Κατά την διαδικασία αποκατάστασης, παρουσιάστηκαν δυσκολίες οι οποίες προέκυψαν από την έλλειψη γνώσεως της συμπεριφοράς των υλικών του έργου, αλλά και των υλικών που επρόκειται να χρησιμοποιηθούν ώστε να είναι συμβατά. Για τον λόγο αυτό πραγματοποιήθηκαν σχετικοί έλεγχοι:

- γύψου μετά από γήρανση (φυσική)
- γύψου
- ινοπλισμένης γύψου



Εικόνα 4.2: Διαχωρισμός των φάσεων κατασκευής

4.6 Σχεδιασμός πειραματικής διαδικασίας

Στα υλικά του έργου έγιναν οι παρακάτω εξής δοκιμασίες ελέγχου:

- Αντοχή σε θλίψη
- Αντοχή σε εφελκυσμό από κάμψη
- Αντοχή σε τριβή
- Αντοχή σε κρούση
- Διαστολή σκλήρυνσης
- Τάσις ρηγμάτωσης

5 Πειραματική διαδικασία

5.1 Αντοχή σε θλίψη

Ο έλεγχος της αντοχής σε θλίψη πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια της συσκευής θλίψεως Amsler και υπό ταχύτητα επιβολής του φορτίου $0.68 \text{ MPa}\cdot\text{s}^{-1}$.

Ο προσδιορισμός της αντοχής σε θλίψη έγινε με τη γνωστή σχέση:

$$\sigma_c = F / S$$

όπου, σ_c , η αντοχή σε θλίψη του δοκιμίου

F , το φορτίο θραύσεως του δοκιμίου

και S , η επιφάνεια της εγκάρσιας διατομής του δοκιμίου στην διεύθυνση του φορτίου θραύσεως

Το σχετικό σφάλμα κατά τον προσδιορισμό της αντοχής σε θλίψη ήταν 0,1%

5.2 Αντοχή σε εφελκυσμό από κάμψη

Ο έλεγχος της αντοχής σε εφελκυσμό πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια ειδικής διάταξης «εφελκυσμού εκ κάμψεως» και σύμφωνα με τους κανονισμούς Εργαστηριακών δοκιμών των αντίστοιχων υλικών.

Ο έλεγχος έγινε, με την καταπόνηση των δοκιμίων ως αμφιέριστοι δοκοί και με επιβαλλόμενο συγκεντρωμένο φορτίο στο μέσο του ελεύθερου ανοίγματος.

Για τον προσδιορισμό της αντοχής σε εφελκυσμό (εκ κάμψεως) χρησιμοποιήθηκε η απλή σχέση

$$\sigma_t = M / W$$

όπου, M , η καμπτική ροπή

W , η ροπή αντίστασης σε κάμψη

Το σχετικό σφάλμα κατά τον προσδιορισμό της αντοχής σε εφελκυσμό (εκ κάμψεως) ήταν 0,2%

5.3 Αντοχή σε τριβή

Ο έλεγχος της αντοχής σε τριβή πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο της καθολικής τριβής των δοκιμίων και με τη βοήθεια της συσκευής Bohme του Εργαστηρίου Τεχνικών Υλικών, σύμφωνα με τους Γερμανικούς κανονισμούς, DIN 52108.

Η επιλογή της μεθόδου αυτής οφείλεται στο γεγονός, ότι ο τρόπος τριβής με τη συσκευή Bohme προσομοιάζει με τον τρόπο εφαρμογής χρήσης των υλικών.

Η συσκευή Bohme αποτελείται από έναν περιστρεφόμενο δίσκο επί του οποίου τρίβεται το δοκίμιο, υπό ορισμένη πίεση, με την παρεμβολή 20 gr πρότυπης σμύριδας, για κάθε μερική δοκιμή 22 περιστροφών του δίσκου. Εκτελούνται συνολικά είκοσι μερικές δοκιμές, με ισάριθμες αλλαγές σμύριδας και με την αλλαγή της διεύθυνσης τριβής του δοκιμίου, ανά 110 περιστροφές. Συνολικά εκτελούνται 440 περιστροφές του δίσκου που αντιστοιχούν σε 608 m διαδρομής του τριβόμενου δοκιμίου.

Η αντοχή σε τριβή, σ_T , εκφράσθηκε με την συνολική απώλεια του βάρους του δοκιμίου, ανηγμένη σε όγκο, ανά μονάδα επιφάνειας αυτού, με την ολοκλήρωση της δοκιμής. Το σχετικό σφάλμα, κατά τον προσδιορισμό της αντοχής σε τριβή, σ_T ήταν 0,2%.

5.4 Αντοχή σε κρούση

Για τον έλεγχο της αντοχής σε κρούση εφαρμόσθηκε η μέθοδος Charpy και οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν, με την βοήθεια ειδικής συσκευής κρούσης, σύμφωνα με τους Γερμανικούς κανονισμούς, DIN 53453. Κατά την μέθοδο αυτή μετρήθηκαν οι διαστάσεις της τομής και προσδιορίσθηκε η απορροφηθείσα ενέργεια A υπό του δοκιμίου, κατά την επιβολή ορισμένου κρουστικού φορτίου στο μέσο του, από ορισμένο ύψος. Η ελεύθερη απόσταση εδράσεως του δοκιμίου, κατά την αμφιέριστη στήριξή του επί της συσκευής ήταν 10 cm. Η αντοχή σε κρούση των δοκιμίων των λίθων υπολογίσθηκε από την σχέση

$$\sigma_K = A / F \quad \text{Joule/m}^2$$

όπου, A, η απορροφούμενη υπό του δοκιμίου κρουστική ενέργεια

F, η διατομή του δοκιμίου στην θέση επιβολής του κρουστικού φορτίου

5.5 Διαστολή και συστολή σκλήρυνσης, τάση ρηγμάτωσης

Για τον έλεγχο της διαστολής σκλήρυνσης, χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Tonindustrie του Εργαστηρίου Τεχνικών Υλικών του Ε.Μ.Π.

Η διάταξη της συσκευής αποτελείται από ένα επίμηκες δοχείο δοκιμής το οποίο είναι συνδεδεμένο με ένα μηκυσιόμετρο. Η σύνδεση του μηκυσιόμετρου είναι τέτοια ώστε να παρακολουθείται (εφόσον προκαλείται) η διαστολή κατά μήκος του δοχείου.

Στο δοχείο τοποθετείται η κονία ή κονίαμα ελέγχου προ της πήξεως. Κατά την διάρκεια της σκλήρυνσης παρατηρείται η γραμμική μεταβολή του μήκους του δοκιμίου. Γίνεται αναγωγή της

γραμμικής μεταβολής του μήκους του δοκιμίου ανά cm και προσδιορίζεται η μεταβολή του όγκου της κονιάς μετά την σκλήρυνση.

5.6 Δυναμική συμπεριφορά-δυναμικές ελαστικές σταθερές

5.6.1 Το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας

Ο προσδιορισμός του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας των λίθων πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του «συντονισμού» και με την βοήθεια της ειδικής συσκευής του Εργαστηρίου Τεχνικών Υλικών Electrodynamic materials tester. Η επιλογή της μεθόδου «συντονισμού» οφείλεται στο γεγονός, ότι η περιοχή λειτουργίας της μεθόδου αυτής περιλαμβάνει την περιοχή συχνοτήτων που ενδιαφέρουν.

Η όλη διάταξη περιλαμβάνει την συσκευή του ταλαντωτή περιοχής 100-15.000 Hz, ψηφιακό συχνομέτρο για την απευθείας ανάγνωση της συχνότητας και το σύστημα στήριξης του δοκιμίου.

Η συσκευή προκαλεί «διαμήκη συντονισμό» επί του δοκιμίου και η μέτρηση της συχνότητας έγινε με ακρίβεια 0,1%, ενώ το σχετικό σφάλμα στον προσδιορισμό του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας E ήταν 0,4%.

Ο υπολογισμός του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας E, έγινε με την βοήθεια του κάτωθι τύπου της συσκευής:

$$E=0.4*10^{-6}*\rho*l^2*f_r^2$$

όπου, ρ , η πυκνότητα του δοκιμίου σε Kg/dm³

l, το μήκος του δοκιμίου σε m

f_r , η συχνότητα του διαμήκους συντονισμού σε Hz

E, το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας σε MPa

Ο τύπος αυτός της συσκευής υπολογίζει το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας των δοκιμίων με την αναφερθείσα ακρίβεια (0,4%), εφόσον το μήκος του δοκιμίου είναι τουλάχιστον δωδεκαπλάσιο του πάχους του .

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν σε δύο κάθετα αξονικά επίπεδα για κάθε δοκίμιο.

5.6.2 Η επίδραση της συχνότητας της ταλάντωσης επί των δυναμικών ελαστικών σταθερών

Για τον προσδιορισμό των δυναμικών ελαστικών σταθερών στις διάφορες συχνότητες εφαρμόστηκε η μέθοδος του «συντονισμού» της οποίας η περιοχή λειτουργίας, περιλαμβάνει την περιοχή των συχνοτήτων, στην οποία μελετώνται οι δυναμικές ελαστικές σταθερές των λίθων.

Πειραματικά μετρήθηκαν η συχνότητα συντονισμού f του πρώτου τρόπου δόνησης των δοκιμίων και οι πλευρικές συχνότητες f' και f'', που αντιστοιχούν στην «ημίσημα ισχύ του πλάτους», ή το εύρος των συχνοτήτων που αντιστοιχεί στην απόσταση των 3db από την κορυφή της καμπύλης συντονισμού. Με

βάση τις μετρήσεις αυτές και με την βοήθεια του τύπου της συσκευής και της αντιστοίχου σχέσης, προσδιορίστηκε το μέτρο αποταμίευσης (E') και ο συντελεστής απώλειας (d). Στην συνέχεια και με τις γνωστές σχέσεις της θεωρίας, υπολογίστηκε το μέτρο απώλειας (E'') και το σύνθετο μέτρο ελαστικότητας (E^*).

Για την εκτέλεση των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε η συσκευή Complex modulus της Bruel & Kjaer, στην οποία τα δοκίμια υποβλήθηκαν σε ταλάντωση υπό την επίδραση ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων.

Η εφαρμογή των δυνάμεων αυτών έγινε δυνατή με την τοποθέτηση επί των δοκιμίων λεπτής μεταλλικής στρώσης σιδηρομαγνητικού υλικού.

Συνοπτική περιγραφή δίδεται κατωτέρω.

Η συσκευή Complex modulus σε συνδυασμό με βοηθητικά ηλεκτρονικά όργανα χρησιμοποιείται, για τον προσδιορισμό του σύνθετου μέτρου ελαστικότητας (E^*) και του συντελεστή απώλειας (d) των στερεών υλικών και καλύπτει μία περιοχή συχνοτήτων 10-10,000Hz. Η πλήρης μονάδα, αυτή περιλαμβάνει την συσκευή Complex modulus, τον ταλαντωτή (B.F.O), τον ενισχυτή, το καταγραφικό όργανο και τον θάλαμο ομοιόμορφης θέρμανσης των δοκιμίων.

Τα υπό εξέταση δοκίμια στηρίζονται μονόπακτα και το ελεύθερο μήκος αυτών είναι δυνατόν να κυμαίνεται από 60 έως 230 mm. Με τη μεταβολή του ελεύθερου μήκους, επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός των δυναμικών ελαστικών σταθερών στις διάφορες συχνότητες, ενώ για τη μεγαλύτερη ακρίβεια των μετρήσεων πρέπει ο λόγος του πλάτους προς το πάχος των δοκιμίων, να περιέχεται μεταξύ του 2,1 και του 2,6.

Ο τύπος της συσκευής που προσδιορίζει το μέτρο αποταμίευσης (E') των δοκιμίων είναι:

$$E' = 4,7088 \cdot \pi^2 \cdot \rho \cdot [(l^2 / h) \cdot (f_n / K_n)]^2$$

όπου, π , 3,14

ρ , η φαινόμενη πυκνότητα του δοκιμίου σε Kg/dm³

l , το ελεύθερο μήκος του δοκιμίου

h , το πάχος του δοκιμίου στο επίπεδο ταλάντωσης

f_n , η συχνότητα συντονισμού του νιστού τρόπου δόνησης

και K_n , η αντίστοιχη σταθερά του νιστού τρόπου δόνησης

Για τον πρώτο τρόπο δόνησης ο τύπος γίνεται:

$$E' = 3,72 \cdot \rho \cdot [(l^2 \cdot h) / h]^2$$

Εξάλλου ο συντελεστής απώλειας (d) προσδιορίζεται από την σχέση

$$d = \Delta f_n / f_n$$

ή στην περίπτωση του πρώτου τρόπου δόνησης από την σχέση:

$$d = \Delta f / f$$

Όπου Δf ή Δf το εύρος της ζώνης συχνοτήτων ($\Delta f = f' - f''$), που αντιστοιχεί στην «ημίσεια ισχύ του πλάτους» ή στην απόσταση του 3db από την κορυφή της καμπύλης συντονισμού και f ή f , η συχνότητα συντονισμού.

Ο ταλαντωτής (B.F.O.) που περιλαμβάνεται στην διάταξη είναι της περιοχής 0-2000Hz. Το σφάλμα κατά τη μέτρηση της συχνότητας είναι 0,05% και τα σχετικά σφάλματα, κατά τον προσδιορισμό του μέτρου αποταμίευσης (E') και του συντελεστή απώλειας (d) είναι 0,2 και 2% αντιστοίχως.

5.6.3 Η επίδραση της θερμοκρασίας επί των δυναμικών ελαστικών σταθερών

Ο προσδιορισμός του μέτρου αποταμίευσης E' , και του συντελεστή απώλειας d , πραγματοποιήθηκε με την ίδια συσκευή, δηλαδή με τη συσκευή Complex modulus, ενώ εφαρμόστηκε και στην περίπτωση αυτή η μέθοδος του συντονισμού.

Το στοιχείο της συσκευής που έφερε το δοκίμιο, τοποθετήθηκε στον ειδικό θάλαμο θερμάνσεως και όλα τα όργανα ελέγχου και λειτουργίας της διάταξης εκτός αυτού.

Με τη ρύθμιση του θαλάμου θερμάνσεως σε διάφορες θερμοκρασίες και με την μεταβολή του ελεύθερου μήκους του δοκιμίου, πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις στην περιοχή του 20 έως 200 Hz.

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε διάφορες θερμοκρασίες.

Κάθε δοκίμιο μετά την εκτέλεση των μετρήσεων στην θερμοκρασία των 180 °C, παρέμεινε εκτός του θαλάμου θερμάνσεως, μέχρι την επάνοδό του στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος και στην συνέχεια προσδιορίστηκαν και πάλι οι δυναμικές τους σταθερές στην περιοχή των 20-200Hz. Οι τελευταίες μετρήσεις είχαν ως σκοπό, τον προσδιορισμό της παραμένουσας μεταβολής των δυναμικών ελαστικών σταθερών, μετά την δοκιμασία του υλικού στους 180 °C και την ψύξη του.

5.7 Γήρανση-Επίδραση θερμοκρασίας

5.7.1 Μάρμαρο

Πραγματοποιήθηκαν οι αυτές πειραματικές διαδικασίες με εκείνες της παραγράφου 2.6.3.

Συγκεκριμένα προσδιορίστηκαν, το μέτρο αποταμίευσης E' και ο συντελεστής απώλειας d όλων των δοκιμίων, στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος (20 °C περίπου) και στην περιοχή των 20-200Hz. Έπειτα, τα δοκίμια παρέμειναν στο θάλαμο σταθερής και ομοιόμορφης θέρμανσης στη θερμοκρασία των 70 °C επί χρόνο 6x24 ώρες και στη συνέχεια προσδιορίστηκαν πάλι το μέτρο αποταμίευσης και ο συντελεστής απώλειας σε όλη την περιοχή των συχνοτήτων. Η ίδια ομάδα συνέχισε την παραμονή της στο θάλαμο στην αυτή θερμοκρασία, για χρονικό διάστημα 6x24 ώρες, μετά το οποίο μετρήθηκαν και πάλι οι δυναμικές σταθερές E' και d .

Ο έλεγχος της «παραμένουσας μεταβολής» των δυναμικών ελαστικών σταθερών πραγματοποιήθηκε, με τον προσδιορισμό του μέτρου αποταμίευσης και του συντελεστή απώλειας των δοκιμίων μετά την παραμονή αυτών στη θερμοκρασία των 70 °C, επί χρονικό διάστημα 12 x24 ώρες και την επάνοδό τους στη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

5.7.2 Κονιάματα και κόνιες

Τα υπό μελέτη κονιάματα και κόνιες μετά την σχετική θερμική επεξεργασία υπέστησαν έλεγχο των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων τους.

5.7.3 Γύψος

Ειδικότερα για την κονία γύψος έλεγχος των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων έγινε σε υλικό το οποίο είχε υποστεί φυσική γήρανση εις το περιβάλλον επί 150 έτη.

5.8 Επίδραση παγετού

Με την βοήθεια της συσκευής Electrodynamic material tester προσδιορίστηκαν τα δυναμικά μέτρα ελαστικότητας όλων των δοκιμίων στην ξηρά κατάσταση. Ακολούθησε η τοποθέτηση των δοκιμίων στον ειδικό θάλαμο της συσκευής του παγετού τύπου Tonindustrie και εφαρμόστηκε το πρόγραμμα ελέγχου της αντοχής σε παγετό, με την χρησιμοποίηση αυτόματης διάταξης της συσκευής.

Το πρόγραμμα περιελάμβανε 1000 «κύκλους παγετού», κατανεμημένους σε ομάδες των 50 και 100 συνεχών κύκλων, κατά τρόπο που να ήταν δυνατή η παρακολούθηση της μεταβολής του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας των δοκιμίων στη διάρκεια του προγράμματος. Η θερμοκρασία στον κάθε κύκλο παγετού μεταβαλλόταν από -20 έως +20 °C και η χρονική διάρκεια του κύκλου ήταν 2,5 ώρες. Τα δοκίμια στις θερμοκρασίες άνω των 0 °C διαβρέχονταν συνεχώς με ύδωρ.

5.9 Επίδραση διαβρωτικών αερίων

5.9.1 Επίδραση του διοξειδίου του άνθρακα

Ο έλεγχος της αντοχής σε διάβρωση των λίθων από το διοξείδιο του άνθρακα πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια της ειδικής συσκευής διάβρωσης του Εργαστηρίου Τεχνικών Υλικών του Ε.Μ.Π. του τύπου Aerosol 125/B, σύμφωνα με τους Αμερικάνικους κανονισμούς (ASTM B. 117).

Τα κυριότερα μέρη της συσκευής διάβρωσης είναι τα εξής:

1. Ο θάλαμος διάβρωσης, από οξύμαχο διαφανές υλικό
2. Η διάταξη τροφοδοσίας του θαλάμου, με διαβρωτικό υλικό
3. Η διάταξη για την διατήρηση σταθερής ή μεταβλητής θερμοκρασίας στο θάλαμο
4. Η διάταξη περισυλλογής των προϊόντων διάβρωσης
5. Το σύστημα της αυτόματης λειτουργίας της συσκευής.

Εκτός της συσκευής Aerosol χρησιμοποιήθηκαν βοηθητικές συσκευές, για την μελέτη των παραμέτρων ελέγχου της διάβρωσης και συγκεκριμένα: Αυτόματος ζυγός ακριβείας, συσκευή προσδιορισμού του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας, και μικροσκόπιο με φωτογραφική διάταξη.

Η πειραματική διαδικασία, που προηγήθηκε της εισόδου των δοκιμίων στο θάλαμο ήταν:

Ο προσδιορισμός του βάρους των δοκιμίων με ακρίβεια $\pm 0,005\text{gr}$.

Ο προσδιορισμός του μέτρου αποταμίευσης E' και του συντελεστή απώλειας d των δοκιμίων, με σχετικά σφάλματα 0,4 και 2% αντιστοίχως.

Η μικροσκοπική φωτογράφιση διαφόρων περιοχών των δοκιμίων, με την βοήθεια πολωμένου φωτός.

Ακολούθησε η ανάρτηση των δοκιμίων στο διαβρωτικό θάλαμο της συσκευής και η εφαρμογή του προγράμματος διάβρωσης.

Το πρόγραμμα διάβρωσης περιελάμβανε:

- a) Την παροχή επί 30min διφασικού διαβρωτικού υλικού υγράς και αερίου φάσης και την διακοπή της παροχής της υγράς φάσης στα επόμενα 30 min (κύκλος 1 ώρας)
- b) Τη συνεχή παροχή της αερίου φάσης, σε όλη τη διάρκεια του κύκλου
- c) Την ανακύκλωση του μη υγροποιηθέντος διαβρωτικού υλικού του θαλάμου με την επάνοδο του στο χώρο της παροχής («κλειστό κύκλωμα» λειτουργίας).

Ο συνολικός χρόνος λειτουργίας της συσκευής ήταν 1000 ώρες και αντιστοιχούσε σε 1000 κύκλους διάβρωσης. Την υγρά φάση αποτελούσε το διάλυμα ύδωρ-διοξείδιο του άνθρακα θερμοκρασίας 18 °C, που παρεχόταν στο θάλαμο σε λεπτό διαμερισμό και την αέρια φάση το διοξείδιο του άνθρακα. Η συνολική παροχή του αερίου ήταν $0,15\text{ m}^3$ ή $0,21\text{ Kgr/h}$. Η σχετική υγρασία του θαλάμου ήταν 95% και οφειλόταν στα σωματίδια του διαλύματος διαστάσεων 2-4 μm . Η περιεκτικότητα του θαλάμου σε υγρά σωματίδια ήταν $3 \cdot 10^{12}/\text{m}^3$, η μέση πυκνότητα της ομίχλης του θαλάμου $4 \cdot 10^{-3}\text{ Kgr/m}^3$, η ταχύτητα καθιζήσεως των σωματιδίων $27,7 \cdot 10^{-5}\text{ m/s}$ και η ποσότητα του διαλύματος, που μετατρεπόταν σε ομίχλη $0,175\text{ Kgr/h}$. Σε όλη τη διάρκεια του πειράματος η θερμοκρασία του θαλάμου ήταν 18-20 °C.

Το PH του θαλάμου, στην διάρκεια κάθε κύκλου ήταν 4-5 και του συλλεχθέντος διαλύματος 6.

Μετά την ολοκλήρωση του προγράμματος και για τον προσδιορισμό των μεταβολών των παραμέτρων διάβρωσης, προσδιορίσθηκε και πάλι το βάρος των δοκιμίων της πρώτης κατηγορίας και το μέτρο αποταμίευσης και ο συντελεστής απώλειας των δοκιμίων της δεύτερης κατηγορίας. Παράλληλα φωτογραφήθηκαν μικροσκοπικώς και πάλι οι αυτές περιοχές δοκιμίων.

5.9.2 Επίδραση του διοξειδίου του θείου

Χρησιμοποιήθηκε η αυτή συσκευή διάβρωσης (Aerosol 125/B), όπως ακριβώς στην περίπτωση του διοξειδίου του άνθρακα και ακολουθήθηκε η αυτή πειραματική διαδικασία. Μικρές μεταβολές έγιναν μόνο στο πρόγραμμα της διάβρωσης και συγκεκριμένα

Η χρονική διάρκεια παροχής του διφασικού συστήματος διάβρωσης, υγρά-αέρια φάση, ήταν 30 min και η διακοπή της υγρής φάσης 30 min, «κύκλος» 1 ώρας.

Η παροχή της αέριας φάσης υπήρξε συνεχής, σε όλη τη διάρκεια του «κύκλου».

Εφαρμόστηκε το σύστημα «κλειστού κυκλώματος» λειτουργίας της συσκευής, όπως στο διοξείδιο του άνθρακα.

Ο χρόνος λειτουργίας της συσκευής ήταν 500 ώρες, και αντιστοιχούσε σε 500 κύκλους διάβρωσης.

Η υγρά φάση, ήταν αέριο διάλυμα ύδωρ-διοξείδιο του θείου θερμοκρασίας 20 °C και η αέρια φάση διοξείδιο του θείου. Η παροχή της υγρής φάσης στο θάλαμο της διάβρωσης γινόταν κατά λεπτό διαμερισμό.

Η συνολική παροχή του διοξειδίου του θείου ήταν 6 l ή 20 gr/h.

Η μέση τιμή P_H στο θάλαμο κατά τη διάρκεια του πειράματος ήταν 2 και των συλλεχθέντων διαλυτών καταλοίπων 2,5.

Μετά την ολοκλήρωση του προγράμματος, έγινε η έκπλυση των δοκιμίων και η απομάκρυνση της αποκολληθείσας γύψου. Στη συνέχεια, μετά την ξήρανση και το νέο καθαρισμό, προσδιορίστηκε η μεταβολή του βάρους, του όγκου, του μέτρου αποταμίευσης και του συντελεστή απώλειας των δοκιμίων, ενώ πραγματοποιήθηκαν οι μακροσκοπικές και μικροσκοπικές παρατηρήσεις, όπως στην περίπτωση της διάβρωσης από το διοξείδιο του άνθρακα.

5.9.3 Επίδραση του διοξειδίου του αζώτου

Χρησιμοποιήθηκε η ίδια συσκευή και ακολουθήθηκε η αυτή διαδικασία με εκείνη του ελέγχου της αντοχής σε διάβρωση των λίθων, από τα αέρια διοξείδιο του άνθρακα και διοξείδιο του θείου.

Μικρή τροποποίηση έγινε στο πρόγραμμα διάβρωσης, το οποίο και περιελάμβανε:

Την παροχή στο θάλαμο της διάβρωσης διαλύματος «ύδωρ-διοξείδιο του αζώτου» θερμοκρασίας 20 °C, υπό μορφή λεπτού διαμερισμού, επί χρόνο 45 min.

Τη διακοπή της παροχής του διαβρωτικού διαλύματος επί 15 min «κύκλος» 1 ώρας.

Την εφαρμογή του συστήματος «κλειστού κυκλώματος» λειτουργίας της συσκευής, σε όλη τη διάρκεια του πειράματος.

Η χρονική διάρκεια λειτουργίας της συσκευής ήταν συνολικώς 500 ώρες και αντιστοιχούσε σε 500 κύκλους διάβρωσης.

Η παροχή του NO₂ ήταν 12 g/h. Η μέση τιμή του P_H στο θάλαμο της διάβρωσης ήταν 1 και του συλλεχθέντος διαλύματος 1,5

5.10 Επίδραση θερμοκρασίας-αντοχή διάρκειας

Η μελέτη έγινε με την βοήθεια θερμοκάμερας τύπου Agema 570 του Εργαστηρίου Τεχνικών Υλικών. Θερμογραφήματα ελήφθησαν από διάφορα γλυπτά από μάρμαρο και χαλκό σε διάφορες τυπικές ημέρες και ώρες.

Από την αξιολόγηση των θερμογραφημάτων προέκυψαν θέσεις μεγίστων διαφορών θερμοκρασίας.

Ακολούθως υπελογίσθη η διάρκειά τους και εχαράχθησαν οι αντίστοιχες καμπύλες διάρκειας.

6 Σχεδιασμός πειραμάτων-Δοκίμια

6.1 Αντοχή σε θλίψη

6.1.1 Μάρμαρο

Χρησιμοποιήθηκε ικανός αριθμός κυλινδρικών δοκιμίων διαμέτρου 6 και ύψους 15 cm σε ξηρά κατάσταση και σε συνθήκες περιβάλλοντος, όπως ορίζονται από τους κανονισμούς Εργαστηριακών δοκιμών των φυσικών λίθων.

6.1.2 Κονιάματα-γύψος

Χρησιμοποιήθηκε ικανός αριθμός κυβικών δοκιμίων ακμής 7 cm σε ξηρά κατάσταση και σε συνθήκες περιβάλλοντος σύμφωνα με τους κανονισμούς.

6.2 Αντοχή σε εφελκυσμό από κάμψη

6.2.1 Μάρμαρο

Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν πρισματικά διαστάσεων 2x2x20 cm σε ξηρά κατάσταση και σύμφωνα με τους κανονισμούς Εργαστηριακών δοκιμών των φυσικών λίθων. Ο αριθμός των δοκιμίων ήταν ο ίδιος με αυτόν της αντοχής σε θλίψη.

6.2.2 Κονιάματα-γύψος

Χρησιμοποιήθηκε ικανός αριθμός πρισματικών δοκιμίων 4x4x16 cm σε ξηρά κατάσταση και σε συνθήκες περιβάλλοντος σύμφωνα με τους κανονισμούς.

6.3 Αντοχή σε τριβή

6.3.1 Μάρμαρο-κονιάματα-γύψος

Για τον έλεγχο της αντοχής σε τριβή, χρησιμοποιήθηκε ικανός αριθμός δοκιμίων πρισματικής μορφής διαστάσεων 7x7x2 cm, σε ξηρά κατάσταση, σύμφωνα με τους Γερμανικούς κανονισμούς DIN 52108.

6.4 Αντοχή σε κρούση

6.4.1 Μάρμαρο-κονιάματα-γύψος

Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν, για τον έλεγχο της αντοχής σε κρούση, ήταν πρισματικά διαστάσεων 12x1x1 cm, σε ξηρά κατάσταση. Ο αριθμός των δοκιμίων ήταν τέτοιος, ώστε να διασφαλίζεται το αποτέλεσμα της δοκιμής.

6.5 Διαστολή και συστολή σκλήρυνσης, τάση ρηγμάτωσης

6.5.1 Κονιάματα-γύψος

Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν, για τον έλεγχο της διαστολής σκλήρυνσης, ήταν πρισματικά διαστάσεων 4x4x33,33 cm, προ της σκλήρυνσης. Ο αριθμός των δοκιμίων ήταν τέτοιος, ώστε να διασφαλίζεται το αποτέλεσμα της δοκιμής.

6.6 Δυναμική συμπεριφορά-δυναμικές ελαστικές σταθερές

6.6.1 Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας

Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν για τον προσδιορισμό του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας του μαρμάρου ήταν πρισματικά, διαστάσεων 2x2x24 cm και σε ξηρά κατάσταση. Ο αριθμός των χρησιμοποιούμενων δοκιμίων ήταν τέτοιος, ώστε να διασφαλίζεται η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

6.6.2 Επίδραση των ταλαντώσεων επί των δυναμικών ελαστικών σταθερών

Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη της επίδρασης των ταλαντώσεων επί των δυναμικών ελαστικών σταθερών ήταν πρισματικής μορφής διαστάσεων 0,3x1x24 cm και το πλήθος αυτών ήταν τέτοιο, ώστε να διασφαλίζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Η κοπή και η μόρφωση των δοκιμίων πραγματοποιήθηκε, με τη βοήθεια ειδικού αδαμαντοφόρου τροχού ελεγχόμενης ταχύτητας και υπό συνεχή καταιονισμό ύδατος, για τη μη ανάπτυξη θερμότητας και τη μη διατάραξη της δομής των δοκιμίων, γεγονός που διαπιστώθηκε και με μικροσκοπικές παρατηρήσεις.

6.6.3 Επίδραση της θερμοκρασίας επί των δυναμικών ελαστικών σταθερών

Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη της επίδρασης της θερμοκρασίας επί των δυναμικών ελαστικών σταθερών ήταν των αυτών διαστάσεων με τα δοκίμια της παραγράφου 3.6.2

6.7 Γήρανση. Δυναμική συμπεριφορά. Επίδραση θερμοκρασίας-διαρκειάς

6.7.1 Μάρμαρο

Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν ήταν όμοια, με τα δοκίμια της μελέτης των δυναμικών ελαστικών σταθερών της παραγράφου 3.6.

6.7.2 Κονιάματα

Χρησιμοποιήθηκε ικανός αριθμός πρισματικών δοκιμίων διαστάσεων 10x10x3 cm σε ξηρά κατάσταση που υπέστη διάφορη θερμική καταπόνηση.

6.8 Επίδραση παγετού

Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της αντοχής του μαρμάρου σε παγετό, με τον προσδιορισμό της μεταβολής του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας ήταν πρισματικά διαστάσεων 2x2x24 cm και ικανού αριθμού, ώστε να διασφαλίζεται η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

6.9 Επίδραση διαβρωτικών αερίων

Τα δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν για τον έλεγχο της αντοχής σε διάβρωση από το διοξείδιο του άνθρακα ήταν τριών κατηγοριών. Η πρώτη κατηγορία περιλάμβανε πρισματικά δοκίμια διαστάσεων 7x7x2 cm, για τον προσδιορισμό της μεταβολής του βάρους. Η δεύτερη κατηγορία περιλάμβανε δοκίμια, επίσης πρισματικά, διαστάσεων 2x2x24 cm για τον προσδιορισμό των μεταβολών του δυναμικού μέτρου ελαστικότητας και του συντελεστή απώλειας. Τέλος η τρίτη κατηγορία περιελάμβανε μεταλλογραφικά δοκίμια, για τον καθορισμό του βαθμού της επιφανειακής διάβρωσης. Στην κάθε κατηγορία χρησιμοποιήθηκε ικανός αριθμός δοκιμίων, ώστε να διασφαλίζεται η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων. Καθ' όμοιον τρόπον επελέγησαν τα δοκίμια για τον έλεγχο της επίδρασης του διοξειδίου του θείου και του διοξειδίου του αζώτου.

6.10 Επίδραση θερμοκρασίας-αντοχή διαρκείας

Για τον έλεγχο αυτό επελέγη αριθμός χαρακτηριστικών αγαλμάτων από χαλκό και μάρμαρο ώστε να γίνει λεπτομερής αξιολόγηση των αντιστοιχών θερμογραφημάτων

7 Πειραματικά και in situ αποτελέσματα

7.1 Υλικά γλυπτών από φυσικούς λίθους. Μάρμαρο (Πάρου)

Μάρμαρο Πάρου		Μονάδες	Αντοχές							
Αντοχή σε θλίψη		MPa	34,34							
Αντοχή σε εφελκυσμό από κάμψη		MPa	14,32							
Αντοχή σε τριβή		$10^{-4} \text{ m}^3/\text{m}^2$	46							
Αντοχή σε κρούση		Joule/m ²	676,89							
Δυναμική συμπεριφορά	Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας	$E \times 10^3$	MPa	45,42						
	Επίδραση συχνότητας	$E' \times 10^3$ $d \times 10^{-3}$ $E'' \times 10^3$	MPa	Συχνότητα f [Hz]	49,05					
				f= 60 Hz	1,47					
					0,59					
			MPa	f' = 120 Hz	51,01					
					1,18					
					0,39					
	Επίδραση θερμοκρασίας	$E' \times 10^3$ $d \times 10^{-3}$	MPa	60	Θερμοκρασία	48,07				
					t=70	1,52				
				120		48,56				
1,23										
ΓΗΡΑΣΜΗ	Θερμοκρασία Δυναμικές ελαστικές σταθερές	t= 70°C 12 ημέρες f= 60Hz	ΔΕ'	Δd						
			-3%	+9%						
	Παγετός, κύκλοι	200 500 1000	Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας $E' \times 10^3$ MPa	26,49						
				21,58						
				18,15						
	Διαβρωτικά αέρια	CO ₂ SO ₂ NO ₂	Απώλεια βάρους Δm %	Μείωση μέτρου αποταμίευσης ΔΕ' %	Αύξηση συντελεστή απώλειας Δd%	Βαθμός επιφανειακής διάβρωσης				
							0,05	1,0	2,0	Πολύ ισχυρή
							0,71	6,0	8,0	Πολύ ισχυρή
							3,92	8,0	15,0	Ισχυρή

Πίνακας 7.1: Αποτελέσματα των δοκιμών σε υλικά από φυσικούς λίθους. Μάρμαρο

7.2 Υλικά χύτευσης χάλκινων γλυπτών: Κονιάματα: γύψος και οπτή άργιλος, γύψος

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

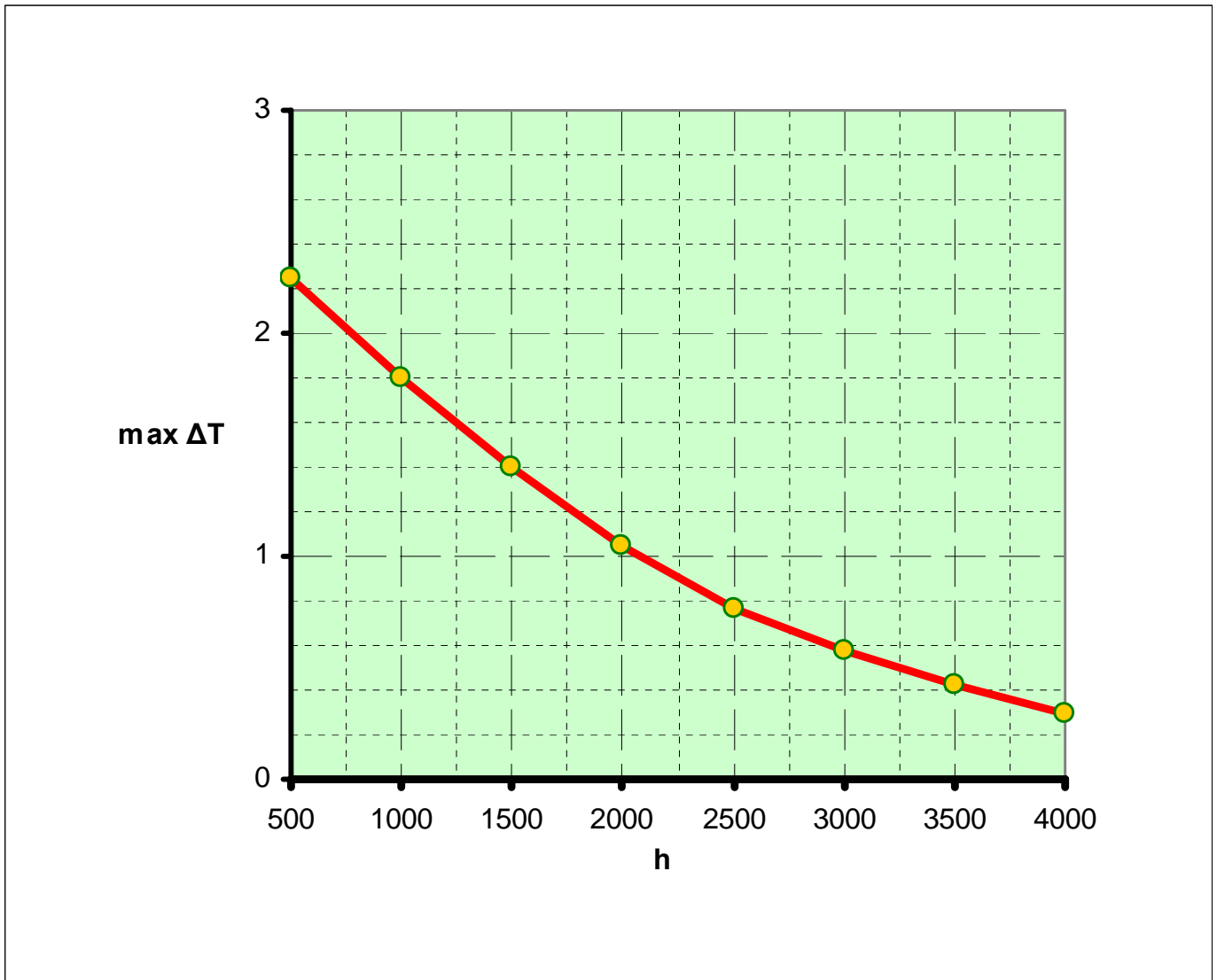
Πίνακας 7.2: Αποτελέσματα των δοκιμών σε υλικά χύτευσης χάλκινων γλυπτών: Κονιάματα γύψου οπτής αργίλου, γύψου

7.3 Υλικά γύψινων γλυπτών, γύψος, γύψος μετά γήρανση (φυσική)

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 m ³ /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		–

Πίνακας 7.3: Αποτελέσματα των δοκιμών σε υλικά γύψινων γλυπτών, γύψος, γύψος μετά γήρανση (φυσική)

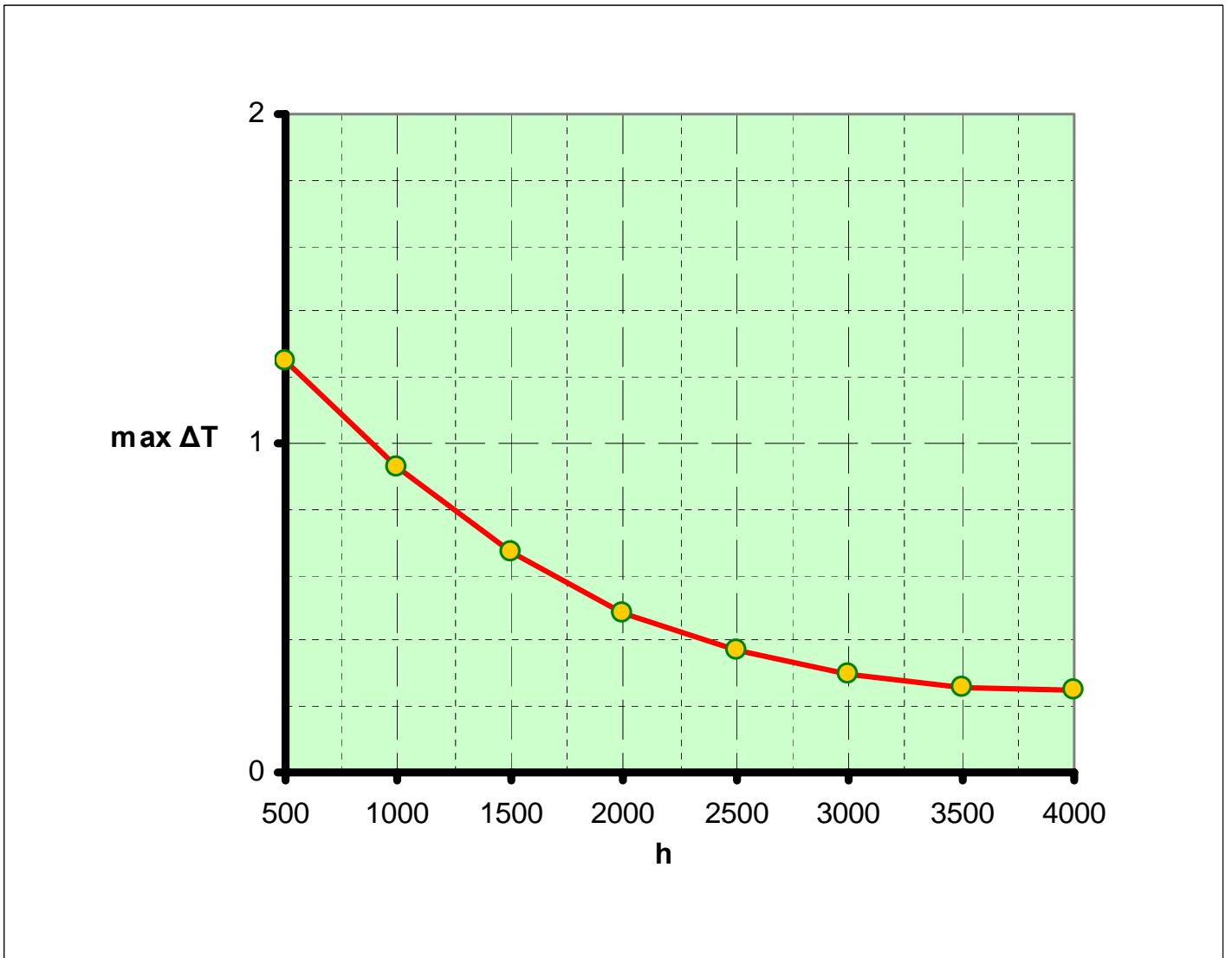
7.4 Επίδραση θερμοκρασίας-αντοχή διαρκείας



Εικόνα 7.1: Καμπύλη διαρκείας

Χάλκινα γλυπτά

$\max \Delta T = 2,25 \text{ } ^\circ\text{C}$, αριθμός θέσεων $n=8$



Εικόνα 7.2: Καμπύλη διαρκείας

Γλυπτά από μάρμαρο

max ΔT=1,25 °C αριθμός θέσεων n=6

8 Αξιολόγηση αποτελεσμάτων-συμπεράσματα

Από την ιστορική αναδρομή προκύπτει ότι η ανθρώπινη έκφραση ξεκινάει με την γλυπτική από την αφαιρετική μέθοδο (σκάλισμα φυσικών λίθων) και οδηγείται σε περισσότερες σύνθετες τεχνικές όπως η σφυρηλάτηση και η χύτευση μετάλλων. Διαπιστώνεται ότι η κατασκευή γλυπτών με την χύτευση μετάλλων διευκολύνει τις εκφραστικές δυνατότητες του καλλιτέχνη και οδηγεί σε ελεύθερο σχεδιασμό του γλυπτού. Αντίθετα η κατασκευή γλυπτών από φυσικούς λίθους μειώνει συγκριτικά τις εκφραστικές δυνατότητες του καλλιτέχνη.

Διαπιστώνεται ότι η μέθοδος της χύτευσης χρησιμοποιείται στην Κλασική Αρχαιότητα αλλά εξαφανίζεται κατά τους σκοτεινούς χρόνους ενώ κατά την Ιταλική Αναγέννηση πραγματοποιείται συστηματική διερεύνηση για τον επαναπροσδιορισμό της διαδικασίας της. Επειδή η γλυπτική είναι μία συλλογική έκφραση εφ' όσον συνήθως δεν αναφέρεται στο άτομο αλλά στο κοινωνικό σύνολο, προκύπτει ότι η εξέλιξη της τεχνικής, η ανάπτυξη των χυτεύσεων και η δημιουργία σύνθετων κατασκευών αποτελούν ένα δείκτη ευμάρειας και πολιτισμού σε κάθε ιστορική περίοδο.

Από τα γενικά στοιχεία ανάγνωσης και σχεδιασμού ενός γλυπτού διαπιστώνεται ότι η χρήση σύγχρονων μέσων ανάγνωσης και σχεδιασμού ενός γλυπτού και η προτεινόμενη εφαρμογή της φωτοερμηνείας αποτελούν ένα σημαντικό βοήθημα στην δημιουργία και την αναπαραγωγή ενός γλυπτού.

Μελετώντας την δημιουργία ενός γλυπτού καθ' όλη την διαδικασία της κατασκευής του, από το πρόπλασμα μέχρι το τελικό υλικό της κατασκευής, προκύπτει ότι ιδιαίτερα σημαντικό υλικό στην διαδικασία κατασκευής του έργου είναι η γύψος. Με την γύψο κατασκευάζονται διάφορα σημαντικά κατασκευαστικά στοιχεία κατά την δημιουργία ενός γλυπτού (όπως προπλάσματα, εκμαγεία κ.λ.π.). Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν διεξοδικοί έλεγχοι που παρουσιάζουν τις χαρακτηριστικές ιδιότητες της γύψου, της ινοπλισμένης γύψου καθώς και της γύψου μετά από φυσική γήρανση. Από τις δοκιμές προκύπτει η υπό πάσαν έννοια υπεροχή της ινοπλισμένης έναντι της αόπλου. Επίσης συμπεραίνεται η επί τα χείρω μεταβολή των ιδιοτήτων της λόγω φυσικής γήρανσης η οποία εγγίζει το 30%. Η ακριβής ποσοτικοποίηση των παραπάνω δίδεται σε σχετικό πίνακα.

Η δημιουργία καταλήγει σε δύο κυρίως κατασκευαστικές λύσεις:

Κατασκευή σε φυσικό λίθο, κατασκευή σε κράμα χαλκού

Η κατασκευή μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους οι οποίοι εξαρτώνται από το μέγεθος του έργου, το σημείο στο οποίο θα τοποθετηθεί κ.ο.κ. Το γεγονός αυτό είναι αναμενόμενο μιας και κάθε γλυπτό αποτελεί μία ιδιαίτερη και εντελώς διαφορετική εικαστική αλλά και κατασκευαστική

πρόταση. Διαπιστώθηκε ότι για την κατασκευή του έργου σε φυσικό λίθο τα προβλήματα είναι ολιγότερο σημαντικά. Το γλυπτό κατασκευάζεται με την αφαιρετική διαδικασία από συγκεκριμένο όγκο υλικού ο οποίος, είναι κατάλληλος εφόσον δεν παρουσιάζει ασυνέχειες, στην δομή του.

Για την κατασκευή ενός γλυπτού με την μέθοδο της χύτευσης χρησιμοποιούνται διάφορα υλικά τα οποία συνεπικουρούν την διαδικασία της χύτευσης. Κρίσιμο υλικό στην διαδικασία αυτή είναι το υλικό από το οποίο κατασκευάζεται το εκμαγείο χύτευσης. Το εκμαγείο χύτευσης κατασκευάζεται συνήθως από κονίαμα γύψου και οπτής αργίλου. Εάν το κονίαμα έχει τις κατάλληλες φυσικομηχανικές ιδιότητες θα προκύψει ένα ακριβές αντίγραφο του κέρινου προπλάσματος-ομοιώματος σε χαλκό. Αντίθετα εάν κονίαμα δεν είναι κατάλληλο τότε θα παρατηρηθούν αστοχίες στην επιφάνεια του γλυπτού, ενώ υπάρχει και το ενδεχόμενο να αστοχήσει η χύτευση

Για την μελέτη του κονιάματος πραγματοποιήθηκε εκτενής βιβλιογραφική έρευνα από την οποία προέκυψαν οι αναλογίες για την παρασκευή του κονιάματος καθώς επίσης και διάφορες θερμικές διεργασίες που υφίσταται το κονίαμα πριν πραγματοποιηθεί η χύτευση του έργου.

Στην μελέτη εξετάστηκαν διάφορες συνθέσεις κονιαμάτων γύψου-οπτής αργίλου και από την μελέτη των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων με αντίστοιχη θερμική κατεργασία προέκυψε η ιδανική αναλογία όπου κατά την διαδικασία χύτευσης θα έχουμε το καλύτερο αποτέλεσμα. Πράγματι η αναλογία αυτή είναι εκείνη όπου χωρίς πλεόνασμα αλλά ούτε έλλειψη συνδετικής κονιάς (γύψου) προκύπτει το καλύτερο αποτέλεσμα. Λεπτομερής ανάλυση των αποτελεσμάτων δίδεται σε σχετικό πίνακα.

Για τον έλεγχο του κονιάματος πραγματοποιήθηκε συμπληρωματική μελέτη με θερμογραφήματα κατά την διάρκεια χύτευσης κράματος χαλκού σε καλλιτεχνικό χυτήριο. Από την μελέτη και την αξιολόγηση των θερμογραφήματων, προέκυψε ότι το υλικό αναλαμβάνει επιτυχώς τις αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες κατά την διάρκεια της χύτευσης. Το εκμαγείο δέχεται ισχυρό θερμικό κρουστικό φορτίο κατά την διάρκεια της χύτευσης, το οποίο όμως αποσβέννεται ομαλώς κατά την διάρκεια επανάταξης του εκμαγείου στην θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Σημαντική παράμετρος της κατασκευής ενός γλυπτού είναι η διάρκεια ζωής του στον χώρο που θα τοποθετηθεί. Για τον λόγο αυτό τα γλυπτά που κατασκευάζονται σήμερα σε υπαίθριο χώρο μελετώνται για μακρά διάρκεια ζωής. Έτσι λοιπόν, ιδιαίτερα σημαντικά είναι τα προβλήματα που εμφανίζονται μετά την κατασκευή ενός γλυπτού, και τα οποία οφείλονται κυρίως στην γήρανση των υλικών του. Σχετικές μελέτες έχουν δείξει ότι η φθορά των κραμάτων χαλκού προσβάλλει την επιφανειακή στιβάδα του υλικού με συγκεκριμένη ταχύτητα σε συγκεκριμένους χρόνους χωρίς να αλλοιώνει την εσωτερική δομή του υλικού. Ιδιαίτερα προβλήματα προκύπτουν από την φθορά που υφίσταται το μάρμαρο στην διαδικασία γήρανσης. Στο μάρμαρο αλλοιώνεται η φύση του υλικού καθώς και η μικροδομή του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μεταβολή διαφόρων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων του υλικού.

Ενδεδεγμένης δοκιμές όπως παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.1. μελετούν σε βάθος το φαινόμενο της γήρανσης εξετάζοντας τις έμμεσες και άμεσες συνέπειές της. Χαρακτηριστικά, έπειτα από τεχνητή γήρανση με προσομοιώσεις μιμούμενες το βάθος του χρόνου, προέκυψαν ενδιαφέροντα αποτελέσματα όπου π.χ. η επίδραση της θερμοκρασίας ή ακόμη του φυσικού περιβάλλοντος κατέληξαν σε μεταβολές ιδιοτήτων επί τα χείρω κατά 50% ή εικόνες ρηγματώσεως πλήρους αστοχίας του υλικού.

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

Με την μέθοδο της θερμογραφίας δηλαδή της επεξεργασίας των θερμογραφημάτων η οποία αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία μελετώνται τα θερμικά πεδία, η κατανομή θερμοκρασιών, οι ισόθερμες καμπύλες και εν γένει εντοπίζονται οι μέγιστες θερμοκρασιακές διαφορές που αναπτύσσονται επάνω σε μαρμάρια και χάλκινα γλυπτά στο ευρύτερο περιβάλλον. Με την ολοκλήρωση της εφαρμογής της μεθόδου (επεξεργασία των θερμογραφημάτων), εντοπίζονται έτσι οι θέσεις αυτές στις οποίες αναμένεται να αστοχήσει το υλικό στο βάθος του χρόνου.

Ουσιαστική εφαρμογή της μεθόδου γίνεται σε γλυπτά μεγάλης κλίμακας τα οποία βρίσκονται στο φυσικό περιβάλλον.

Για να μελετήσουμε ένα γλυπτό με την μέθοδο της θερμογραφίας πρέπει το γλυπτό να βρίσκεται στον φυσικό του χώρο και να εντοπίζονται εκεί οι θέσεις μεγίστων θερμοκρασιακών διαφορών.

Για τα μεγάλης κλίμακας έργα προ της κατασκευής, είναι δυνατή η προσομοίωση αυτών με την βοήθεια προπλασμάτων δηλαδή ομοιωμάτων σε μικρότερη κλίμακα με κατάλληλη προσπίπτουσα ακτινοβολία ανάλογα με την θέση και τον προσανατολισμό του έργου in situ. Από την διαδικασία αυτή είναι δυνατόν να εντοπιστούν οι ενδεχόμενες θέσεις μεγίστων θερμοκρασιακών διαφορών και έτσι θα προκύψουν τα σημεία αστοχίας.

Κατά την μελέτη της χωροθέτησης του έργου πρέπει να γίνει προσπάθεια στην μείωση των μεγίστων θερμοκρασιακών διαφορών και στην ομαλοποίηση της κατανομής θερμοκρασιών. Αυτό δύναται να επιτευχθεί με κατάλληλη προστασία του γλυπτού από την ηλιακή ακτινοβολία όταν και εάν είναι εφικτό και με κατάλληλη διαστασιολόγηση, δηλαδή, όσον αφορά στα χάλκινα γλυπτά, έντεχνη διαστασιολόγηση δηλαδή π.χ. αύξηση του πάχους του κελύφους σε κατάλληλες θέσεις.

Η ομαλοποίηση του θερμοκρασιακού πεδίου επιτυγχάνεται εφ' όσον είναι εφικτό και με τον έντεχνο σκιασμό με πράσινο όπου αυτό είναι εφικτό ή τον κατάλληλο προσανατολισμό του έργου.

Βέβαιον είναι ότι με την μέθοδο αυτή δεν αλλοιώνεται ο καλλιτεχνικός σχεδιασμός του έργου ούτε επηρεάζεται η μορφή της κατασκευής του. Διαφυλάσσεται όμως η ακεραιότητα του έργου στο βάθος του χρόνου.

Προκύπτει επίσης η παρατήρηση ότι τα χάλκινα γλυπτά της Αρχαίας Ελλάδας δεν έχουν υποστεί καταπονήσεις λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας που διαπιστώθηκαν με την θερμογραφία εφόσον τα γλυπτά βρίσκονταν σε προστατευόμενο από την ηλιακή ακτινοβολία περιβάλλον, μέσα στο χώμα ή μέσα στην θάλασσα. Η παρατήρηση αυτή θα άξιζε να μελετηθεί σε μελλοντικές εργασίες οι οποίες θα αξιοποιήσουν τα στοιχεία που παρατίθενται στην παρούσα εργασία και να εξεταστεί το πώς θα ήταν η μορφή ενός γλυπτού της αρχαιότητας, εάν βρίσκονταν από τότε μέχρι σήμερα σε συγκεκριμένη θέση και με συγκεκριμένο προσανατολισμό στο φυσικό περιβάλλον.

9 Γενικό Συμπέρασμα

Από την εκτεθείσα ανάλυση προκύπτει αβίαστα η διαχρονικότητα της Τέχνης στην Γλυπτική, η πολυπλοκότητα των υλικών, οι ποικίλες τεχνικές με την εξέλιξή τους στο βάθος του χρόνου, η σημασία των στοιχείων σχεδιασμού και το σύνθετό τους, όπως και η δημιουργία του γλυπτού με την ποικιλία των χρησιμοποιούμενων υλικών σε συνδυασμό με την κατασκευή του προπλάσματος και των εκμαγείων.

Από την ανάλυση προκύπτει το σύνθετο της κατασκευής του έργου σαν κυρίαρχη συνισταμένη με ποικίλες συνιστώσες με ιδιοφυιά τεχνολογία τόσο στην κατασκευή γλυπτού από μέταλλο όσο και από φυσικό λίθο. Δυναμική είναι η παρουσία του φαινομένου της γήρανσης που επιδρά σημαντικά στην ιστορία του έργου στο βάθος του χρόνου.

Είναι προφανές ότι ο σχεδιασμός μίας πλήρους και ρεαλιστικής πειραματικής διαδικασίας με έναν έντεχνο σχεδιασμό πειραμάτων οδήγησε σε σημαντικά από τα πειράματα και από την *in situ* παρατήρηση αποτελέσματα.

Η ενδελεχής μελέτη των φυσικών λίθων απέδειξε, πέραν των αποτελεσμάτων των φυσικομηχανικών ιδιοτήτων, την επίδραση της συχνότητας διέγερσης και των θερμοκρασιακών μεταβολών στην δυναμική συμπεριφορά, αλλά και την εις βάθος μελέτη του φαινομένου της γήρανσης.

Σημαντικά αποτελέσματα προέκυψαν και από τα υλικά κατασκευής χάλκινων γλυπτών, όπως και με την συμπεριφορά της γύψου προ και μετά τη γήρανση.

Από την εργασία προκύπτει η δυναμική της μεθόδου της θερμογραφίας για την ανίχνευση ευπαθών θέσεων των γλυπτών όπου ο προσδιορισμός των θέσεων μεγίστων διαφορών θερμοκρασίας σε συνάρτηση με τις προκύπτουσες καμπύλες διαρκείας δίδουν πληροφορίες όπου η υπέρθεση παραμενουσών αρχικών τάσεων και θερμικών τοιαύτων οδηγούν μετά βεβαιότητας στις πιθανές θέσεις αστοχίας.

Στις μελέτες οι οποίες προσεγγίζουν την χρήση και την συμπεριφορά των υλικών στην γλυπτική, θέλω να πιστεύω ότι η παρούσα εργασία προσέθεσε ένα ψήγμα επάνω στον προβληματισμό της «κατασκευαστικής» αυτής τέχνης με μία σοβαρή τεχνολογική προσέγγιση.

Στα πλαίσια αυτά και καθ' όλη την διάρκεια της εργασίας η γλυπτική ως Τέχνη ποτέ δεν απομυθοποιήθηκε. Σκοπός και στόχος ήταν να είναι πάντα ουσιαστική και διαχρονική

Να γεννηθεί και να στέκεται.

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

ΜΕΡΟΣ Γ΄

Γ.-ΦΟΙΒΟΣ ΣΑΡΓΕΝΤΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Ε.Μ.Π.

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΙΜ. Γ. ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ



Διδακτορική Διατριβή

ΑΘΗΝΑ 2005

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΑΙΜ. Γ. ΚΟΡΩΝΑΙΟΣ

Η ΧΡΗΣΗ ΚΑΙ Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΓΛΥΠΤΙΚΗ

ΜΕΡΟΣ Γ΄

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

Διδακτορική Διατριβή

ΑΘΗΝΑ 2005

ΜΕΡΟΣ Α΄

Η ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

ΜΕΡΟΣ Β΄

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

ΜΕΡΟΣ Γ΄

ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ-ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ, ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΜΕΡΟΣ Γ΄
ΘΕΡΜΟΓΡΑΦΗΜΑΤΑ-ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ, ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κατάλογος εικόνων	211
Κατάλογος πινάκων	214
1 Έφιππος ανδριάντας (Α. Παπάγου) Αθήνα	215
2 Έφιππος ανδριάντας (Θ. Κολοκοτρώνη) Αθήνα	227
3 Ανδριάντας (Ε. Βενιζέλου) Αθήνα	238
4 Δισκοβόλος, Αθήνα	249
5 Ανδριάντας (Γ. Αβέρωφ) Αθήνα	260
6 Ανδριάντας (Ε. Βενιζέλου) Αθήνα	271
7 Ανδριάντας (Χ. Τρικούπη) Αθήνα	283
8 Μνημείο (Λ. Βύρωνα) Αθήνα	295
Παράρτημα	306
I. Το εργαστήριο της γλυπτικής.....	306
Γενικά στοιχεία.....	306
Βοηθητικές εγκαταστάσεις.....	306
Βοηθητικοί χώροι.....	306
II. Χαλκός, σύνθεση-ιδιότητες.....	307
Βιβλιογραφία	308

Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1.1.: Πλάγια όψη.....	215
Εικόνα 1.2.: Θερμογράφημα (1-7-2003, ώρα 10:00).....	215
Εικόνα 1.3.: Θερμογράφημα (1-7-2003, ώρα 15:00).....	215
Εικόνα 1.4.: Καιρικές συνθήκες κατά την 1-7-2003 (www.itia.ntua.gr).....	216
Εικόνα 1.5.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 1-7-03 ώρα 15:00. Ακραίες τιμές.....	217
Εικόνα 1.6.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών.....	218
Εικόνα 1.7.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών.....	219
Εικόνα 1.8.: Θέσεις μεγίστων διαφορών.....	220
Εικόνα 1.9.: Ισοθερμικές καμπύλες.....	221
Εικόνα 1.10.: Οπίσθια όψη.....	222
Εικόνα 1.11.: Θερμογράφημα (1-7-2003, ώρα 10:00).....	222
Εικόνα 1.12.: Θερμογράφημα (1-7-2003, ώρα 15:00).....	222
Εικόνα 1.13.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 1-7-03 ώρα 15:00. Ακραίες τιμές.....	223
Εικόνα 1.14.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών.....	224
Εικόνα 1.15.: Θέσεις μεγίστων διαφορών.....	225
Εικόνα 1.16.: Ισοθερμικές καμπύλες.....	226
Εικόνα 2. 1.: Πλάγια όψη.....	227
Εικόνα 2.2.: Θερμογράφημα (3-7-2003, ώρα 10:00).....	227
Εικόνα 2.3.: Θερμογράφημα (3-7-2003, ώρα 15:00).....	227
Εικόνα 2.4.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 3-7-03 ώρα 15:00. Ακραίες τιμές.....	228
Εικόνα 2.5.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών.....	229
Εικόνα 2.6.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών.....	230
Εικόνα 2.7.: Θέσεις μεγίστων διαφορών.....	231
Εικόνα 2.8.: Ισοθερμικές καμπύλες.....	232
Εικόνα 2.9.: Οπίσθια όψη.....	233
Εικόνα 2.10.: Θερμογράφημα (3-7-2003, ώρα 10:00).....	233
Εικόνα 2.11.: Θερμογράφημα (3-7-2003, ώρα 15:00).....	233
Εικόνα 2.12.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 3-7-03 ώρα 15:00. Ακραίες τιμές.....	234
Εικόνα 2.13.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών.....	235
Εικόνα 2.14.: Θέσεις μεγίστων διαφορών.....	236
Εικόνα 2.15.: Ισοθερμικές καμπύλες.....	237
Εικόνα 3. 1.: Πλάγια όψη.....	238
Εικόνα 3.2.: Θερμογράφημα (8-7-2003, ώρα 10:00).....	238
Εικόνα 3.3.: Θερμογράφημα (8-7-2003, ώρα 15:00).....	238
Εικόνα 3.4.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 8-7-03 ώρα 15:00. Ακραίες τιμές.....	239
Εικόνα 3.5.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών.....	240
Εικόνα 3.6.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών.....	241
Εικόνα 3.7.: Θέσεις μεγίστων διαφορών.....	242
Εικόνα 3.8.: Ισοθερμικές καμπύλες.....	243

Εικόνα 3.9.: Οπίσθια όψη.....	244
Εικόνα 3.10.: Θερμογράφημα (8-7-2003, ώρα 10:00)	244
Εικόνα 3.11.: Θερμογράφημα (8-7-2003, ώρα 15:00)	244
Εικόνα 3.12.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 8-7-03 ώρα 15:00. Ακραίες τιμές.....	245
Εικόνα 3.13.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών.....	246
Εικόνα 3.14.: Θέσεις μεγίστων διαφορών.....	247
Εικόνα 3.15.: Ισοθερμικές καμπύλες	248
Εικόνα 4. 1.: Πλάγια όψη.....	249
Εικόνα 4.2.: Θερμογράφημα (4-7-2003, ώρα 10:00)	249
Εικόνα 4.3.: Θερμογράφημα (4-7-2003, ώρα 15:00)	249
Εικόνα 4.4.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 4-7-03 ώρα 15:00. Ακραίες τιμές.....	250
Εικόνα 4.5.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών.....	251
Εικόνα 4.6.: Θέσεις μεγίστων διαφορών.....	252
Εικόνα 4.7.: Ισοθερμικές καμπύλες	253
Εικόνα 4.8.: Πρόσθια όψη.....	254
Εικόνα 4.9.: Θερμογράφημα (4-7-2003, ώρα 15:00)	254
Εικόνα 4.10.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 4-7-03 ώρα 15:00. Ακραίες τιμές.....	255
Εικόνα 4.11.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών.....	256
Εικόνα 4.12.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών.....	257
Εικόνα 4.13.: Θέσεις μεγίστων διαφορών.....	258
Εικόνα 4.14.: Ισοθερμικές καμπύλες	259
Εικόνα 5.1.: Πλάγια όψη	260
Εικόνα 5.2.: Θερμογράφημα (1-7-2003, ώρα 10:00)	260
Εικόνα 5.3.: Θερμογράφημα (1-7-2003, ώρα 15:00)	260
Εικόνα 5.4.: Καιρικές συνθήκες κατά την 1-7-2003 (www.itia.ntua.gr)	261
Εικόνα 5.5.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 1-7-03 ώρα 15:00. Ακραίες τιμές.....	262
Εικόνα 5.6.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών.....	263
Εικόνα 5.7.: Θέσεις μεγίστων διαφορών.....	264
Εικόνα 5.8.: Ισοθερμικές καμπύλες	265
Εικόνα 5.9.: Πλάγια όψη.....	266
Εικόνα 5.10.: Θερμογράφημα (1-7-2003, ώρα 10:00)	266
Εικόνα 5.11.: Θερμογράφημα (1-7-2003, ώρα 15:00)	266
Εικόνα 5.12.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 1-7-03 ώρα 15:00. Ακραίες τιμές.....	267
Εικόνα 5.13.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών.....	268
Εικόνα 5.14.: Θέσεις μεγίστων διαφορών.....	269
Εικόνα 5.15.: Ισοθερμικές καμπύλες	270
Εικόνα 6.1.: Πλάγια όψη	271
Εικόνα 6.2.: Θερμογράφημα (2-7-2003, ώρα 10:00)	271
Εικόνα 6.3.: Θερμογράφημα (2-7-2003, ώρα 15:00)	271
Εικόνα 6.4.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 2-7-03 ώρα 15:00. Ακραίες τιμές.....	272
Εικόνα 6.5.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών.....	273
Εικόνα 6.6.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών.....	274
Εικόνα 6.7.: Θέσεις μεγίστων διαφορών.....	275

Εικόνα 6.8.: Ισοθερμικές καμπύλες	276
Εικόνα 6.9.: Πρόσθια όψη.....	277
Εικόνα 6.10.: Θερμογράφημα (2-7-2003, ώρα 10:00)	277
Εικόνα 6.11.: Θερμογράφημα (2-7-2003, ώρα 15:00)	277
Εικόνα 6.12.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 2-7-03 ώρα 15:00. Ακραίες τιμές.....	278
Εικόνα 6.13.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών.....	279
Εικόνα 6.14.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών.....	280
Εικόνα 6.15.: Θέσεις μεγίστων διαφορών.....	281
Εικόνα 6.16.: Ισοθερμικές καμπύλες	282
Εικόνα 7.1.: Πλάγια όψη.....	283
Εικόνα 7.2.: Θερμογράφημα (5-7-2003, ώρα 15:00)	283
Εικόνα 7.3.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 5-7-03 ώρα 15:00. Ακραίες τιμές.....	284
Εικόνα 7.4.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών.....	285
Εικόνα 7.5.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών.....	286
Εικόνα 7.6.: Θέσεις μεγίστων διαφορών.....	287
Εικόνα 7.7.: Ισοθερμικές καμπύλες	288
Εικόνα 7.8.: Οπίσθια όψη.....	289
Εικόνα 7.9.: Θερμογράφημα (5-7-2003, ώρα 15:00)	289
Εικόνα 7.10.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 5-7-03 ώρα 15:00. Ακραίες τιμές.....	290
Εικόνα 7.11.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών.....	291
Εικόνα 7.12.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών.....	292
Εικόνα 7.13.: Θέσεις μεγίστων διαφορών.....	293
Εικόνα 7.14.: Ισοθερμικές καμπύλες	294
Εικόνα 8.1.: Όψη.....	295
Εικόνα 8.2.: Θερμογράφημα (12-7-2003, ώρα 15:00)	295
Εικόνα 8.3.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 12-7-03 ώρα 15:00. Ακραίες τιμές.....	296
Εικόνα 8.4.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών.....	297
Εικόνα 8.5.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών.....	298
Εικόνα 8.6.: Θέσεις μεγίστων διαφορών.....	299
Εικόνα 8.7.: Ισοθερμικές καμπύλες	300
Εικόνα 8.8.: Οπίσθια όψη.....	301
Εικόνα 8.9.: Θερμογράφημα (12-7-2003, ώρα 15:00)	301
Εικόνα 8.10.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 12-7-03 ώρα 15:00. Ακραίες τιμές	302
Εικόνα 8.11.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών.....	303
Εικόνα 8.12.: Θέσεις μεγίστων διαφορών.....	304
Εικόνα 8.13.: Ισοθερμικές καμπύλες	305

Κατάλογος πινάκων

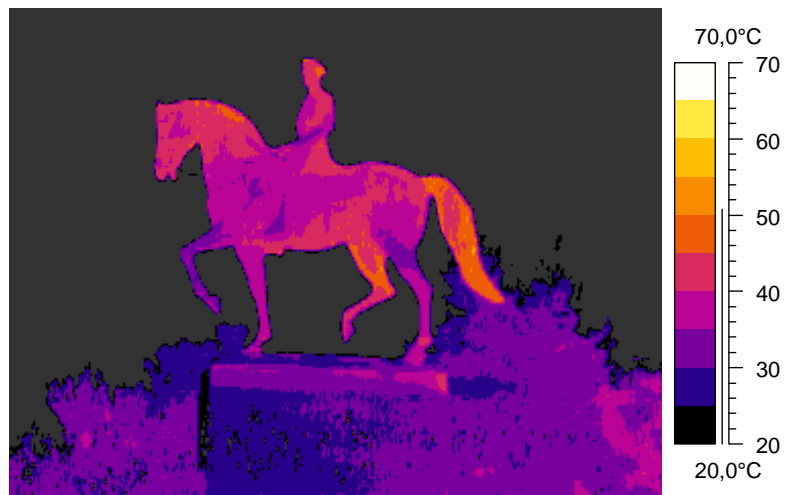
Πίνακας 1: Σύνθεση του κράματος χαλκού χύτευσης.....	307
Πίνακας 2: Ιδιότητες κράματος χαλκού χύτευσης.....	307

1 Έφιππος ανδριάντας (Α. Παπάγου) Αθήνα

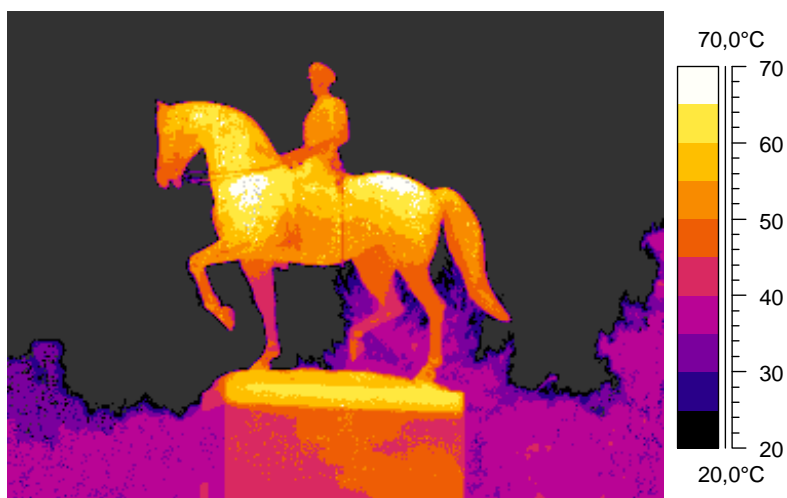
Υλικό: κράμα χαλκού



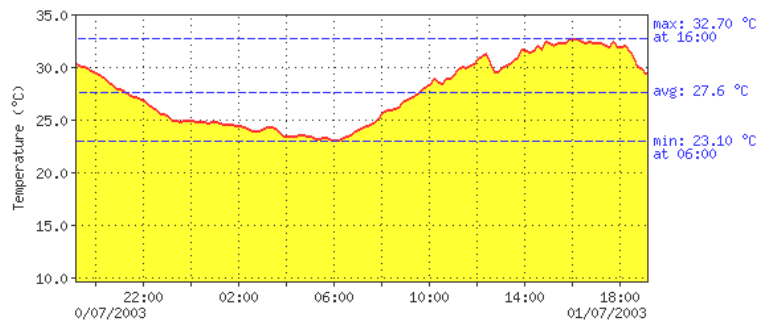
Εικόνα 1.1.: Πλάγια όψη



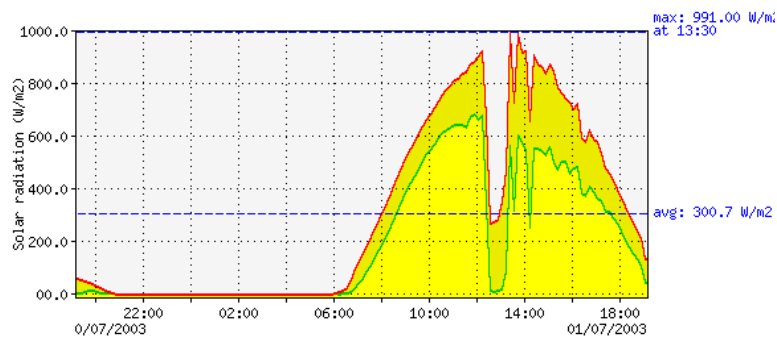
Εικόνα 1.2.: Θερμογράφημα (1-7-2003, ώρα 10:00)



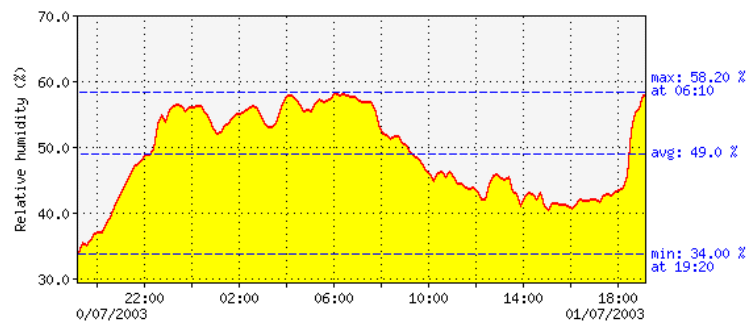
Εικόνα 1.3.: Θερμογράφημα (1-7-2003, ώρα 15:00)



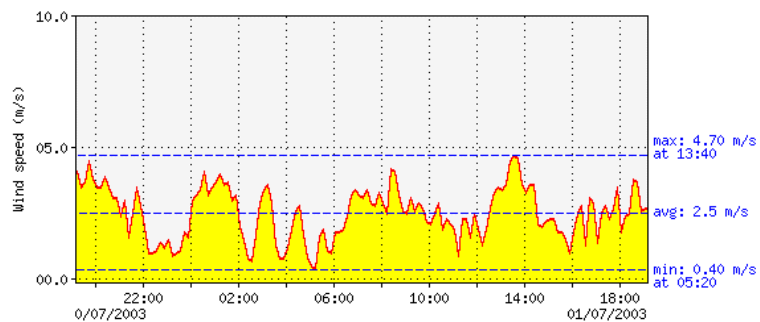
Θερμοκρασία



Ηλιακή ακτινοβολία

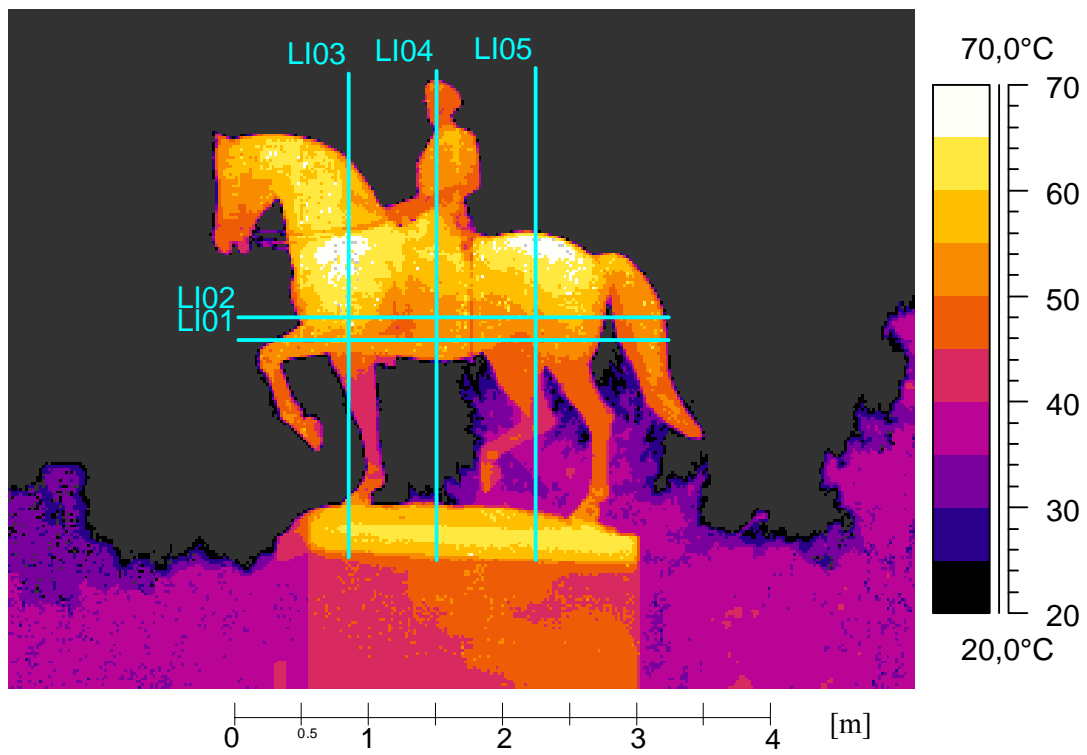


Σχετική υγρασία

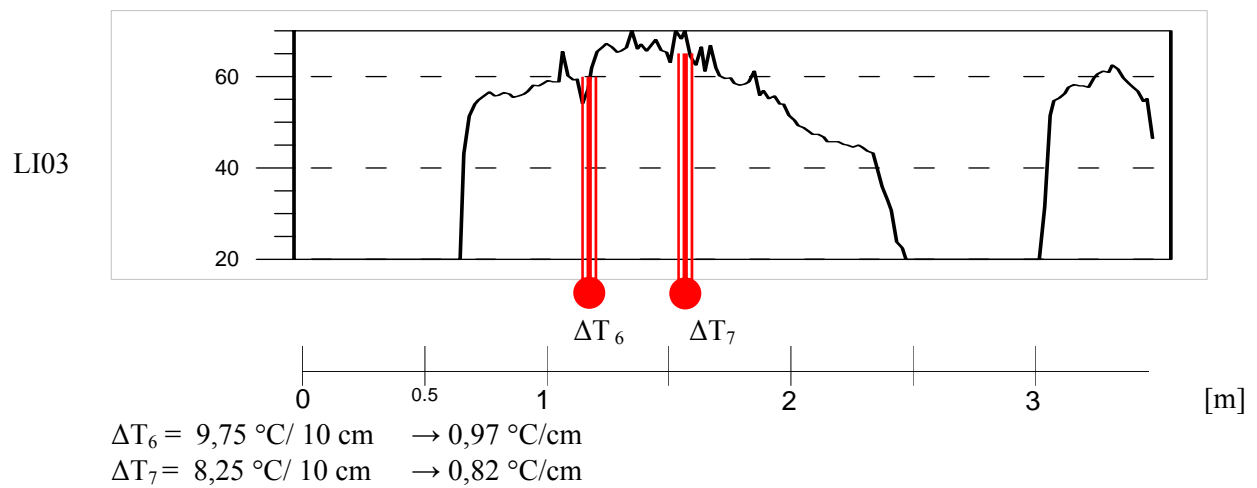
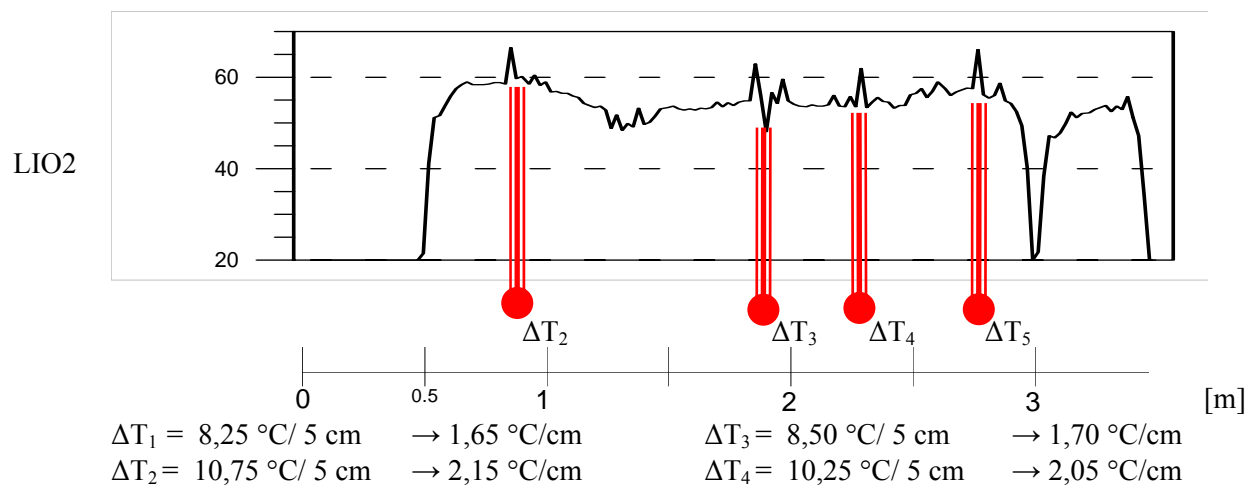
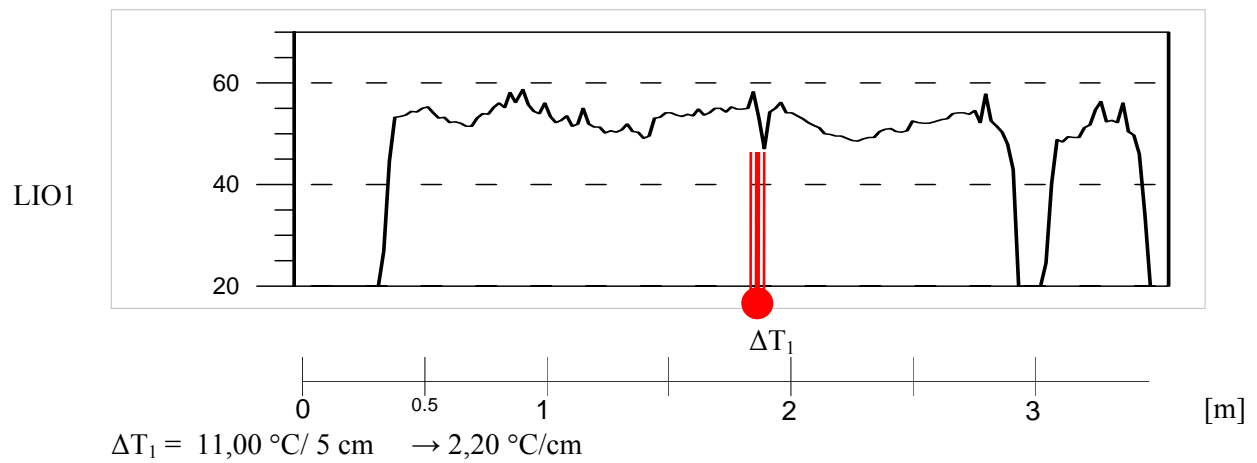


Ταχύτητα ανέμου

Εικόνα 1.4.: Καιρικές συνθήκες κατά την 1-7-2003 (www.itia.ntua.gr)

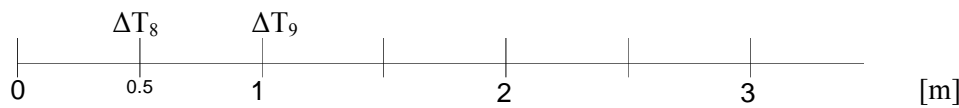
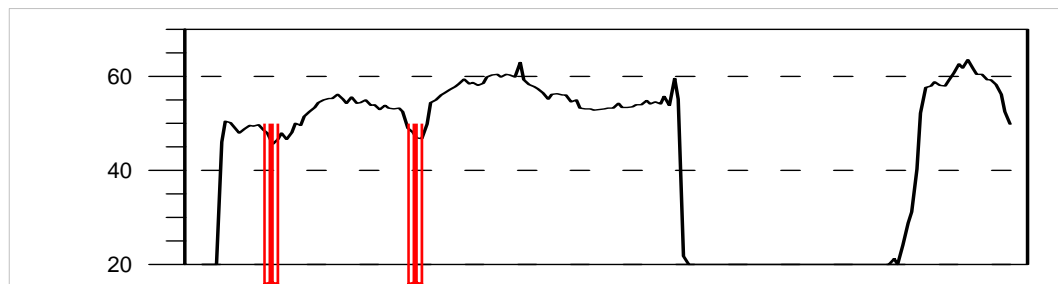


Εικόνα 1.5.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 1-7-03 ώρα 15:00.
Ακραίες τιμές



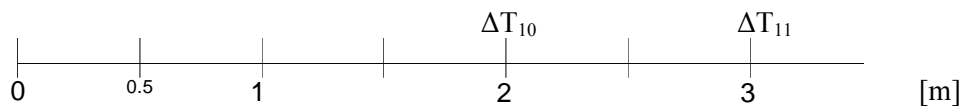
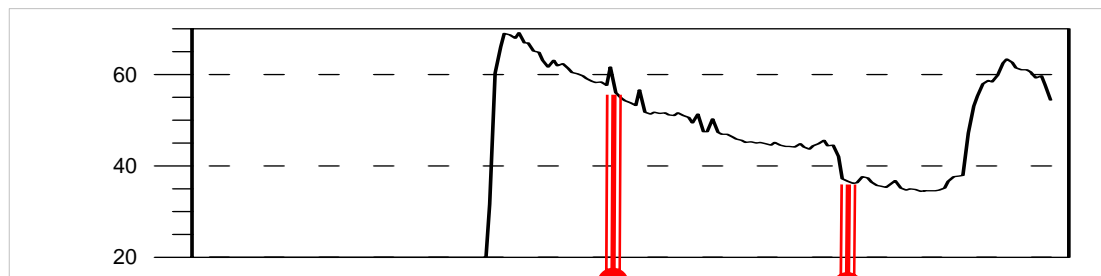
Εικόνα 1.6.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών

LI04



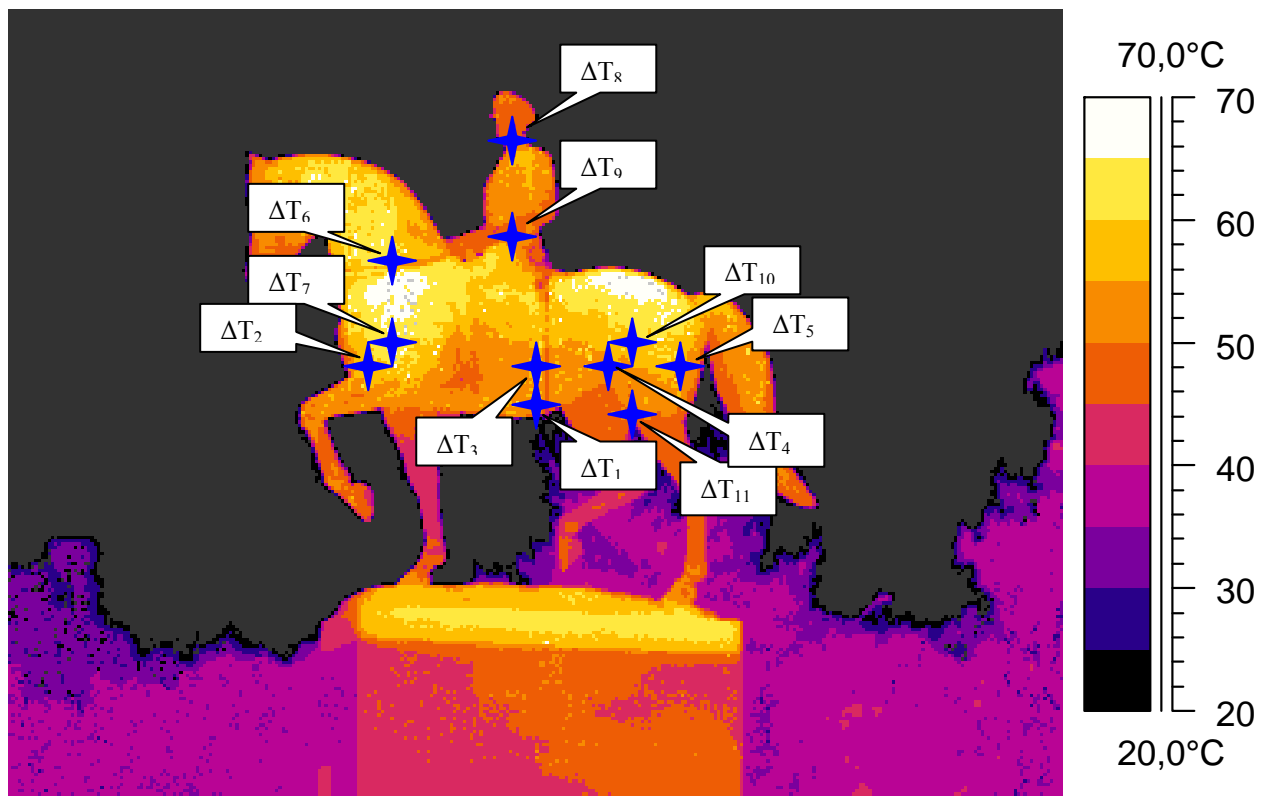
$$\Delta T_8 = 5,25 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \quad \rightarrow 1,05 \text{ }^\circ\text{C/cm}$$
$$\Delta T_9 = 11,25 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ cm} \quad \rightarrow 2,25 \text{ }^\circ\text{C/cm}$$

LI05

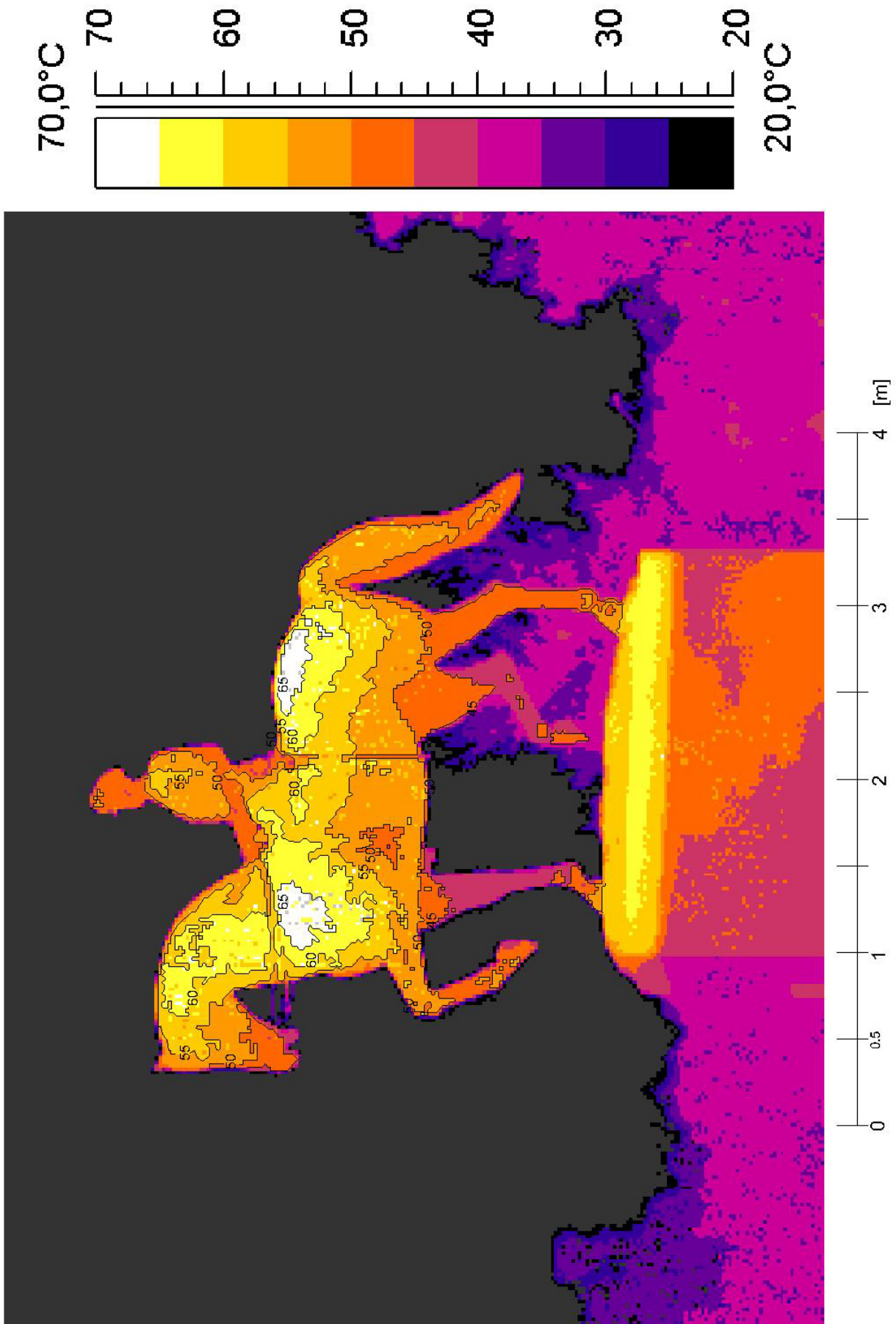


$$\Delta T_{10} = 10,75 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \quad \rightarrow 2,15 \text{ }^\circ\text{C/cm}$$
$$\Delta T_{11} = 11,25 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \quad \rightarrow 2,25 \text{ }^\circ\text{C/cm}$$

Εικόνα 1.7.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών



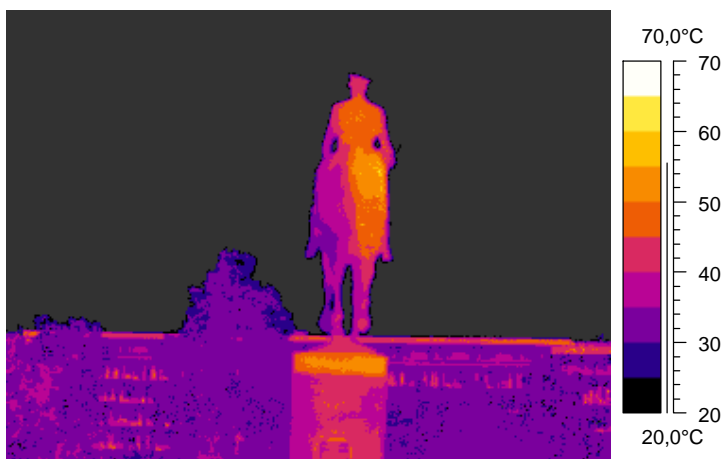
Εικόνα 1.8.: Θέσεις μεγίστων διαφορών



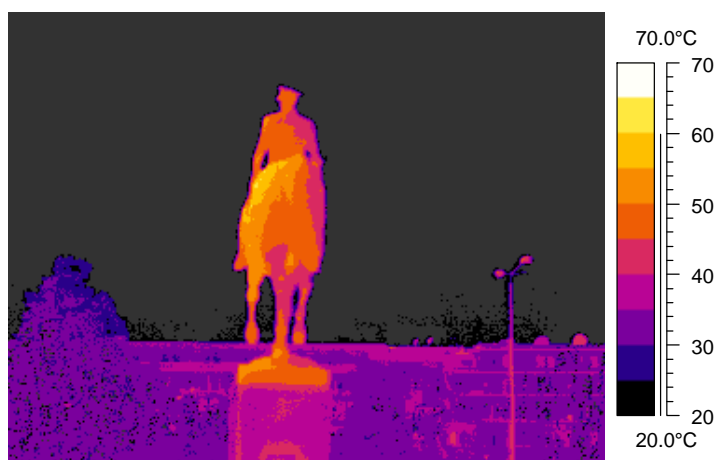
Εικόνα 1.9.: Ισοθερμικές κομπύλες



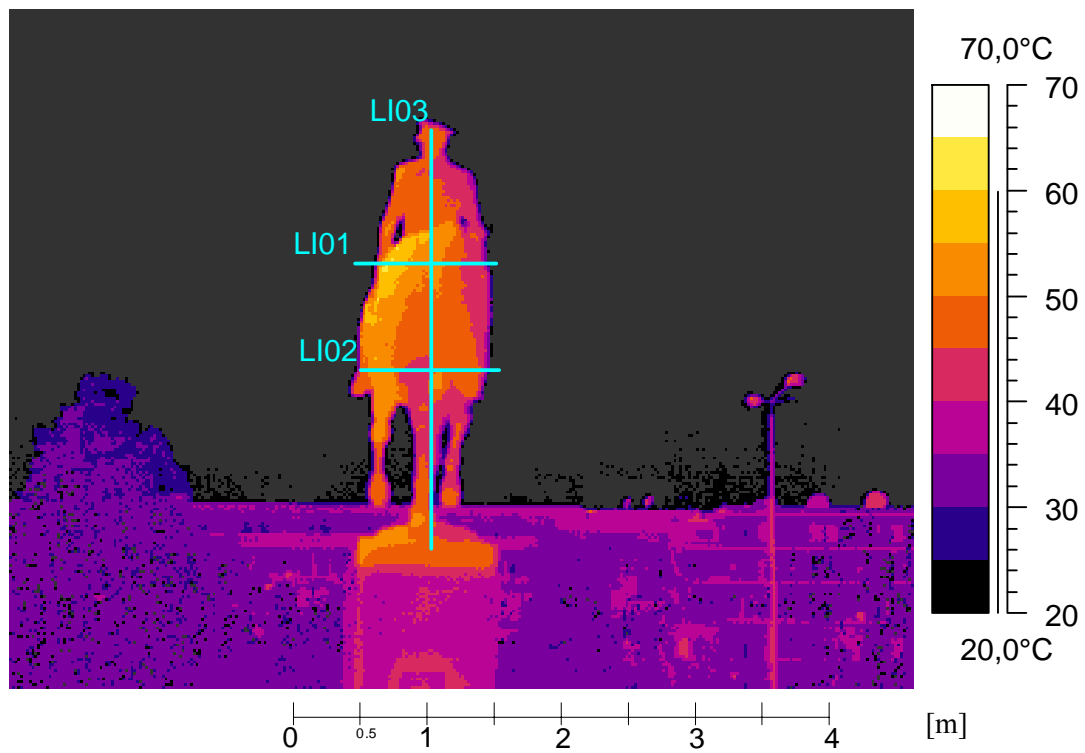
Εικόνα 1.10.: Οπίσθια όψη



Εικόνα 1.11.: Θερμογράφημα (1-7-2003, ώρα 10:00)

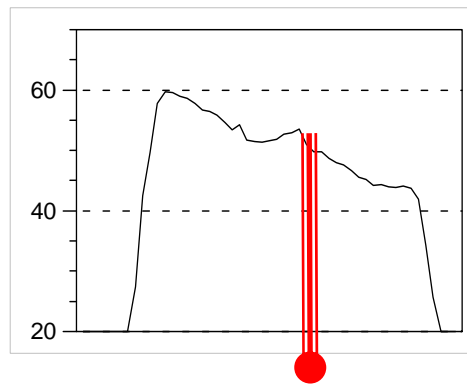


Εικόνα 1.12.: Θερμογράφημα (1-7-2003, ώρα 15:00)



Εικόνα 1.13.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 1-7-03 ώρα 15:00.
Ακραίες τιμές

LIO1

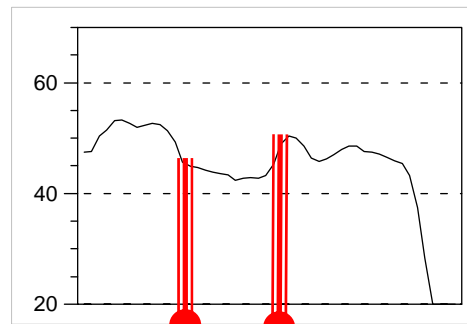


ΔT_1

$\Delta T_1 = 5,25 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 1,05 \text{ }^\circ\text{C}/\text{cm}$

[m]

LIO2



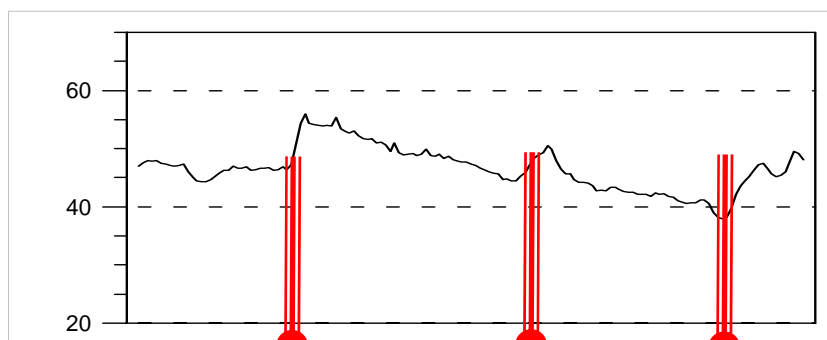
ΔT_2 ΔT_3

$\Delta T_2 = 10,75 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ cm} \rightarrow 1,07 \text{ }^\circ\text{C}/\text{cm}$

$\Delta T_3 = 11,25 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 2,25 \text{ }^\circ\text{C}/\text{cm}$

[m]

LIO3



ΔT_4

ΔT_5

ΔT_6

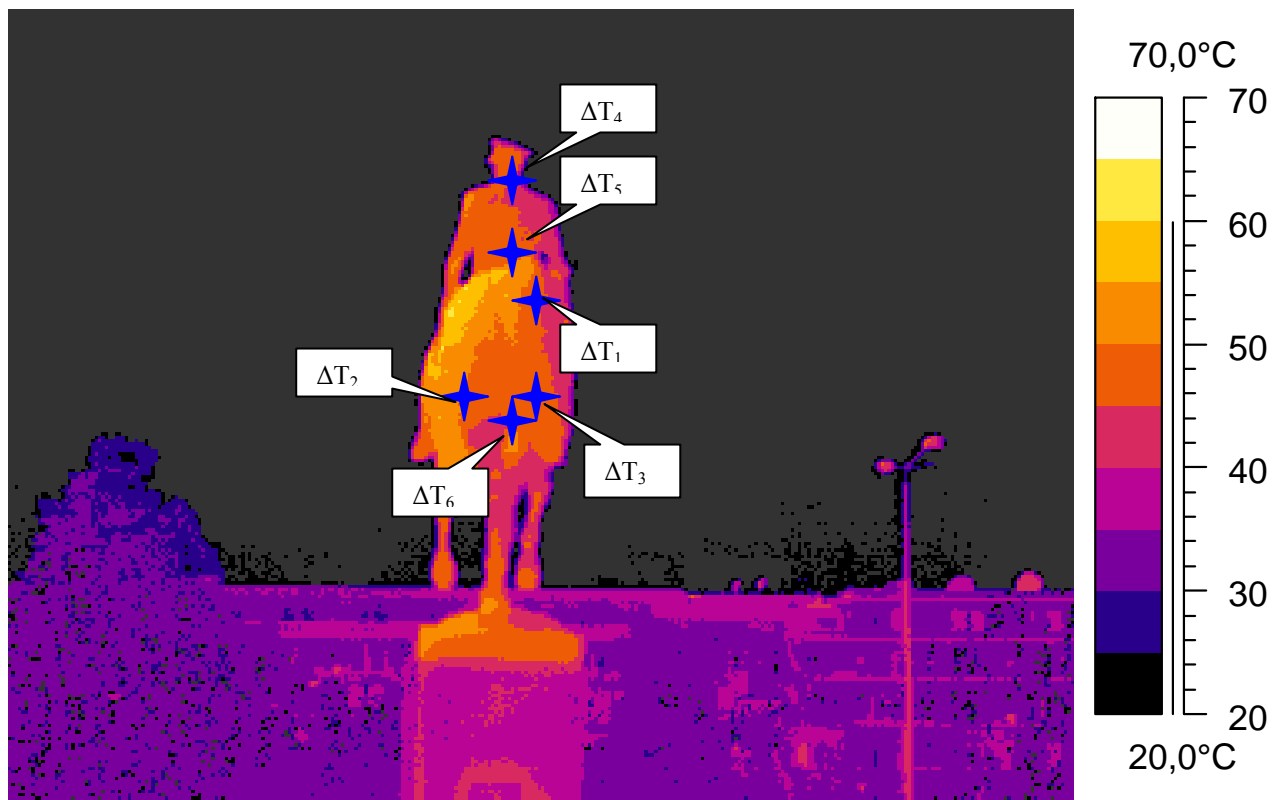
$\Delta T_4 = 10,25 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 2,05 \text{ }^\circ\text{C}/\text{cm}$

$\Delta T_5 = 8,75 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 1,75 \text{ }^\circ\text{C}/\text{cm}$

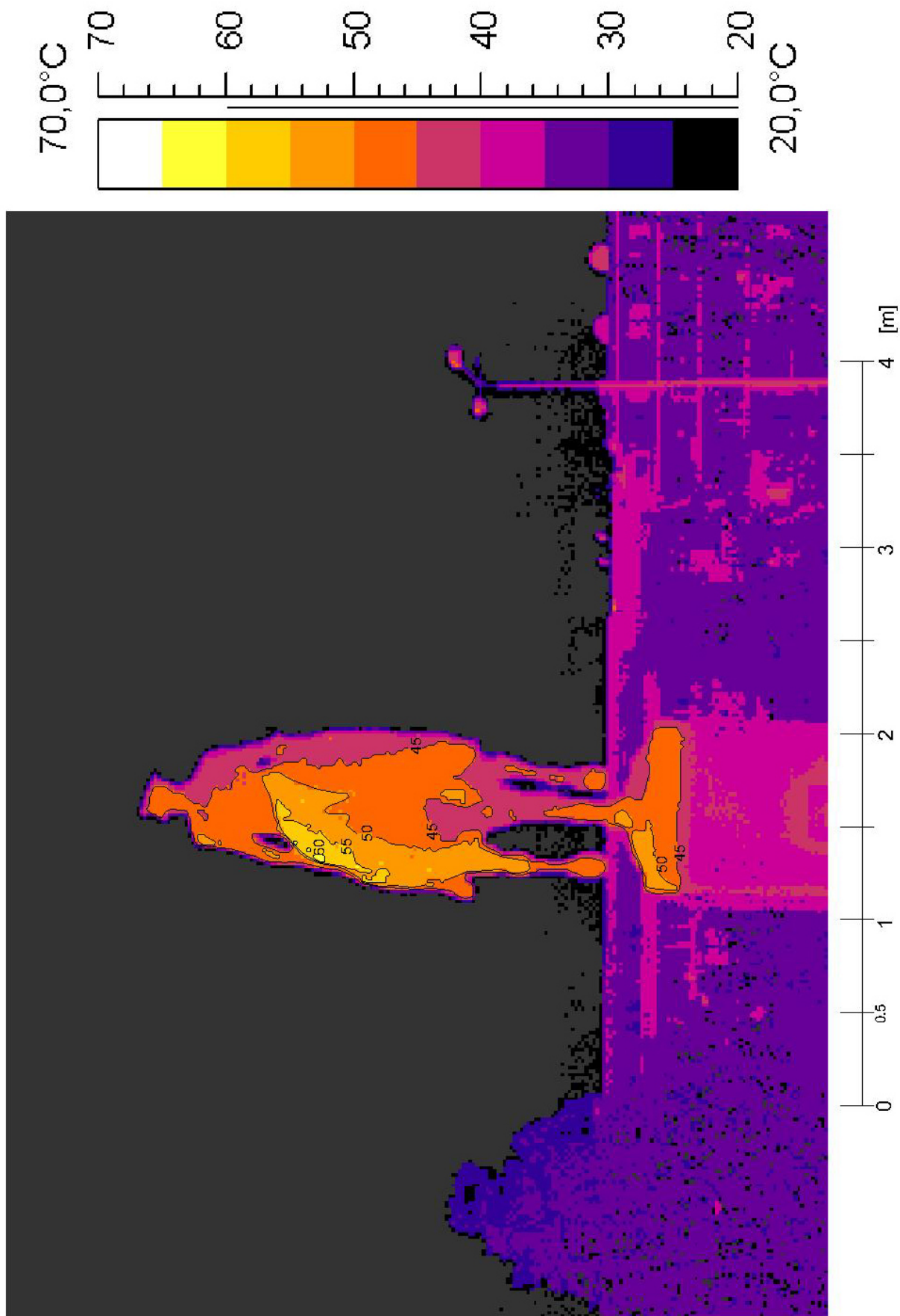
$\Delta T_6 = 10,00 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 2,00 \text{ }^\circ\text{C}/\text{cm}$

[m]

Εικόνα 1.14.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών



Εικόνα 1.15.: Θέσεις μεγίστων διαφορών



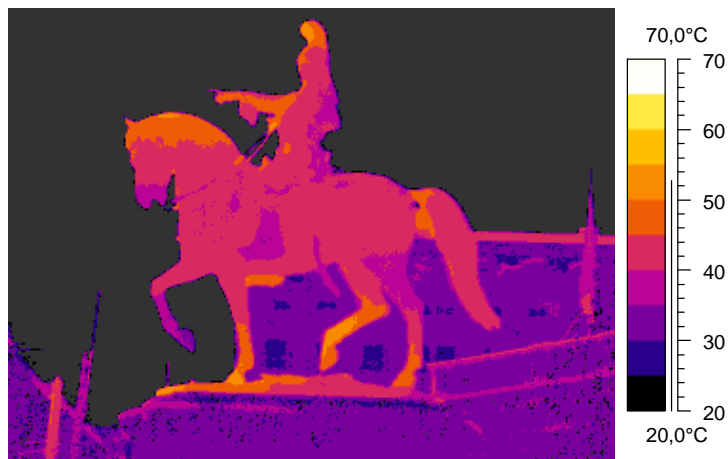
Εικόνα 1.16.: Ισοθερμικές καμπύλες

2 Έφιππος ανδριάντας (Θ. Κολοκοτρώνη) Αθήνα

Υλικό: κράμα χαλκού



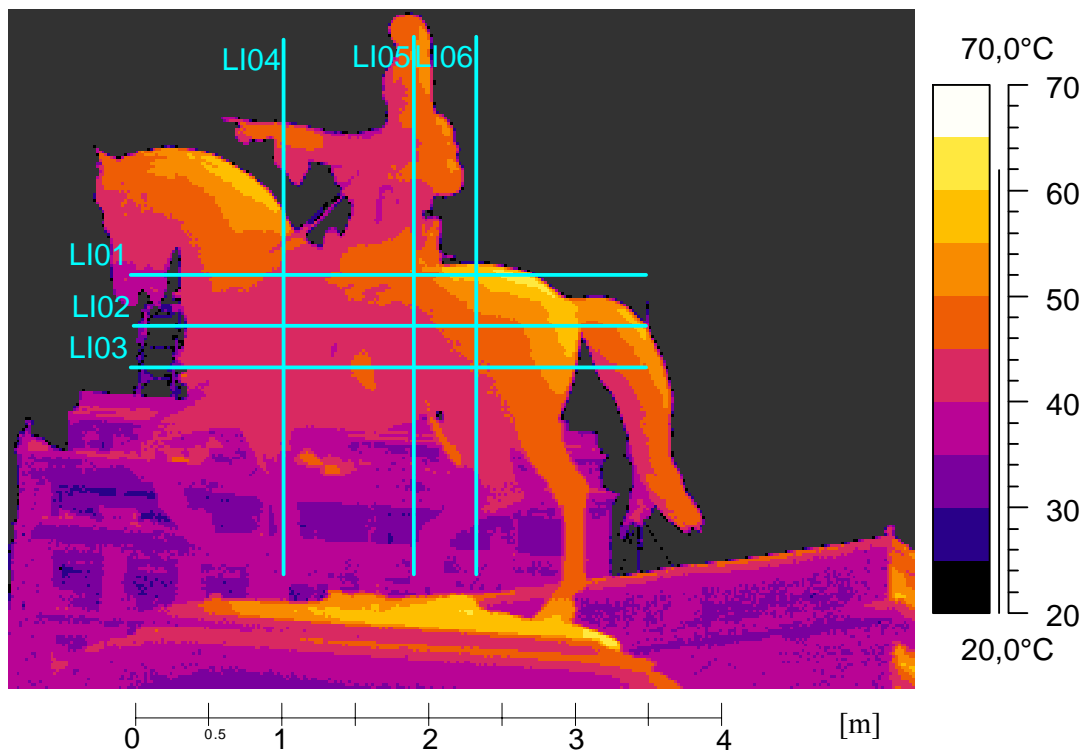
Εικόνα 2. 1.: Πλάγια όψη



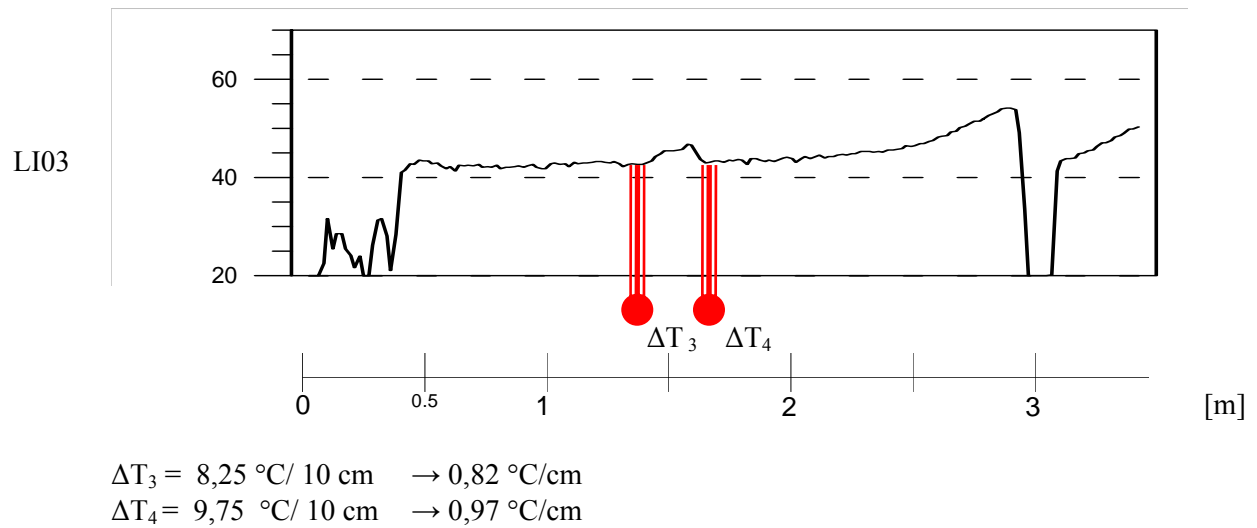
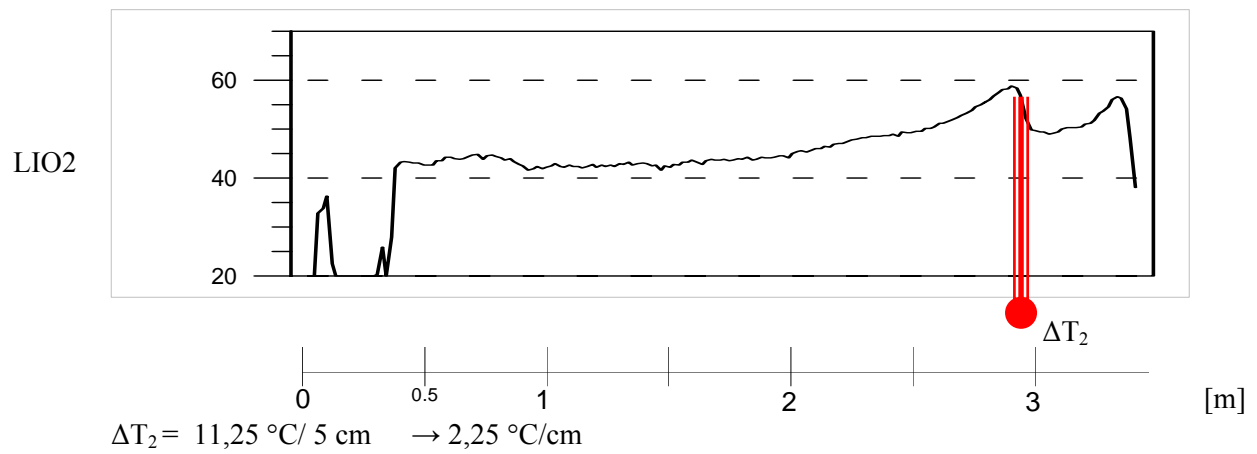
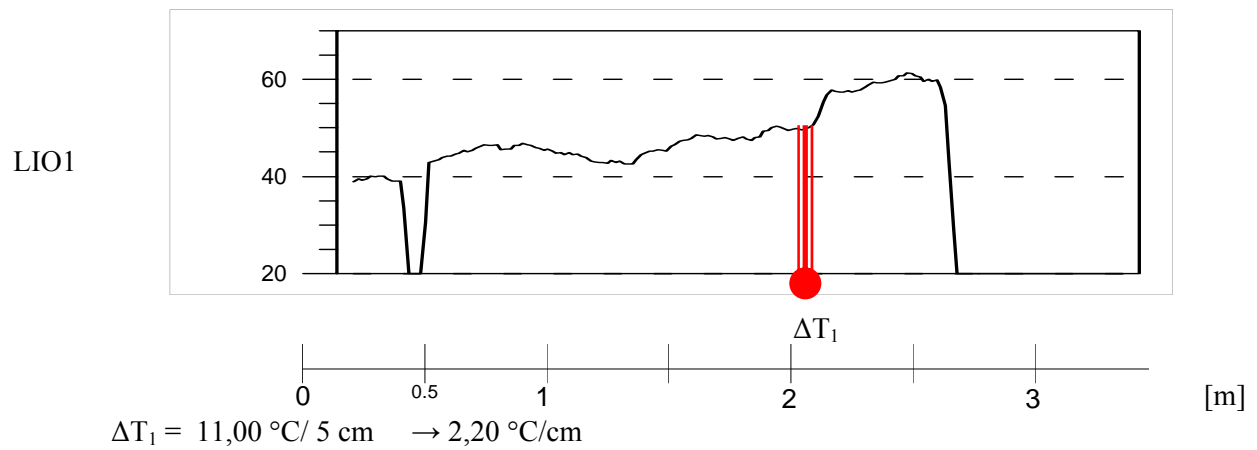
Εικόνα 2.2.: Θερμογράφημα (3-7-2003, ώρα 10:00)



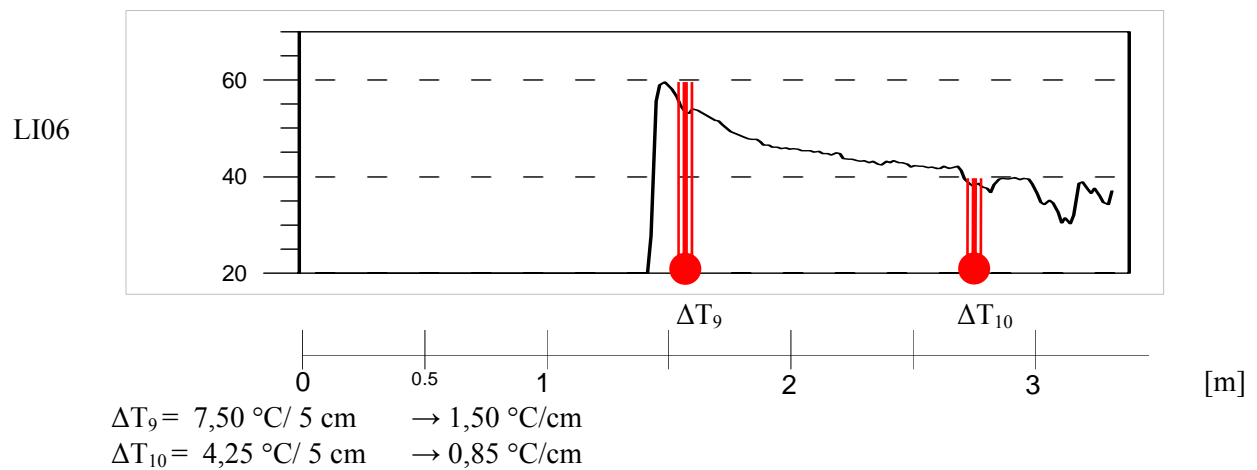
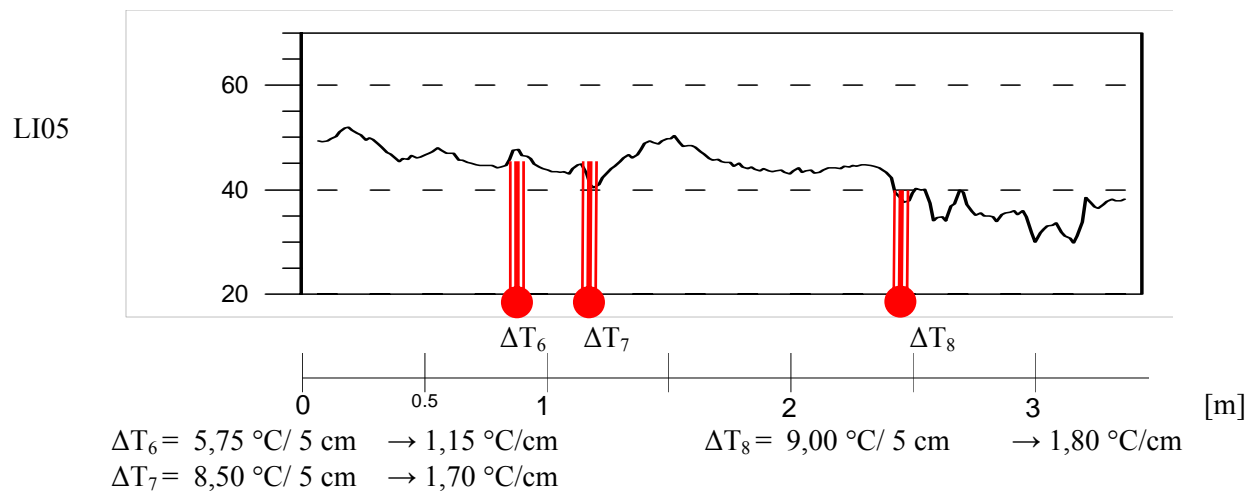
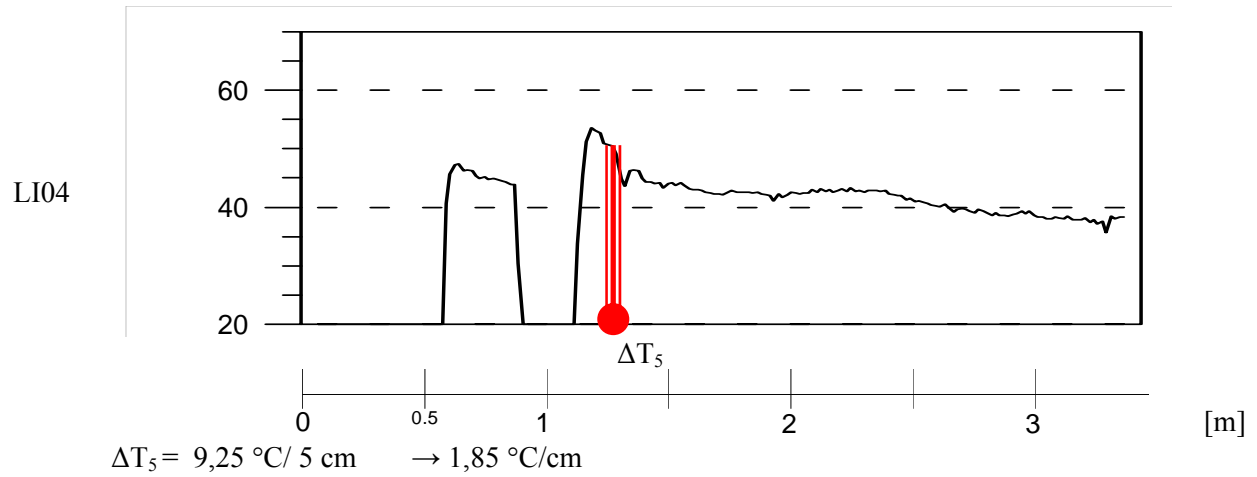
Εικόνα 2.3.: Θερμογράφημα (3-7-2003, ώρα 15:00)



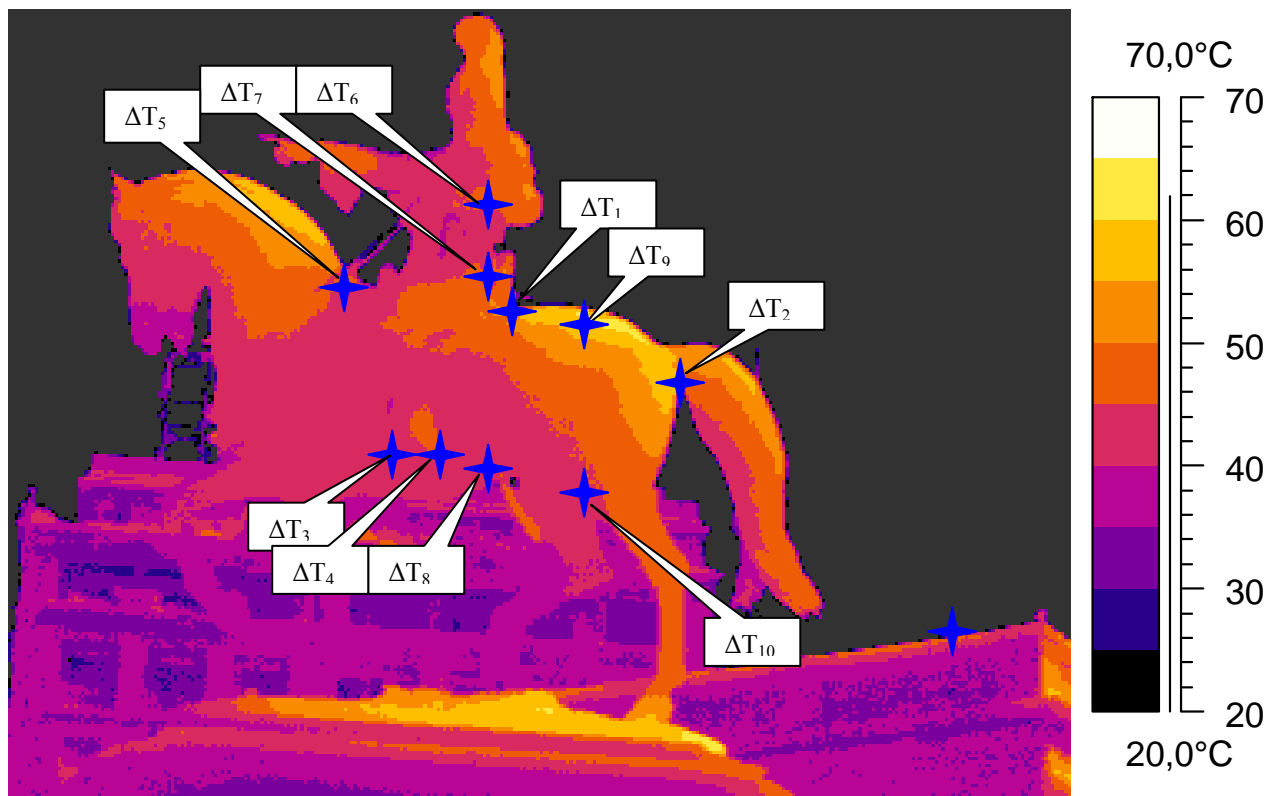
Εικόνα 2.4.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 3-7-03 ώρα 15:00.
Ακραίες τιμές



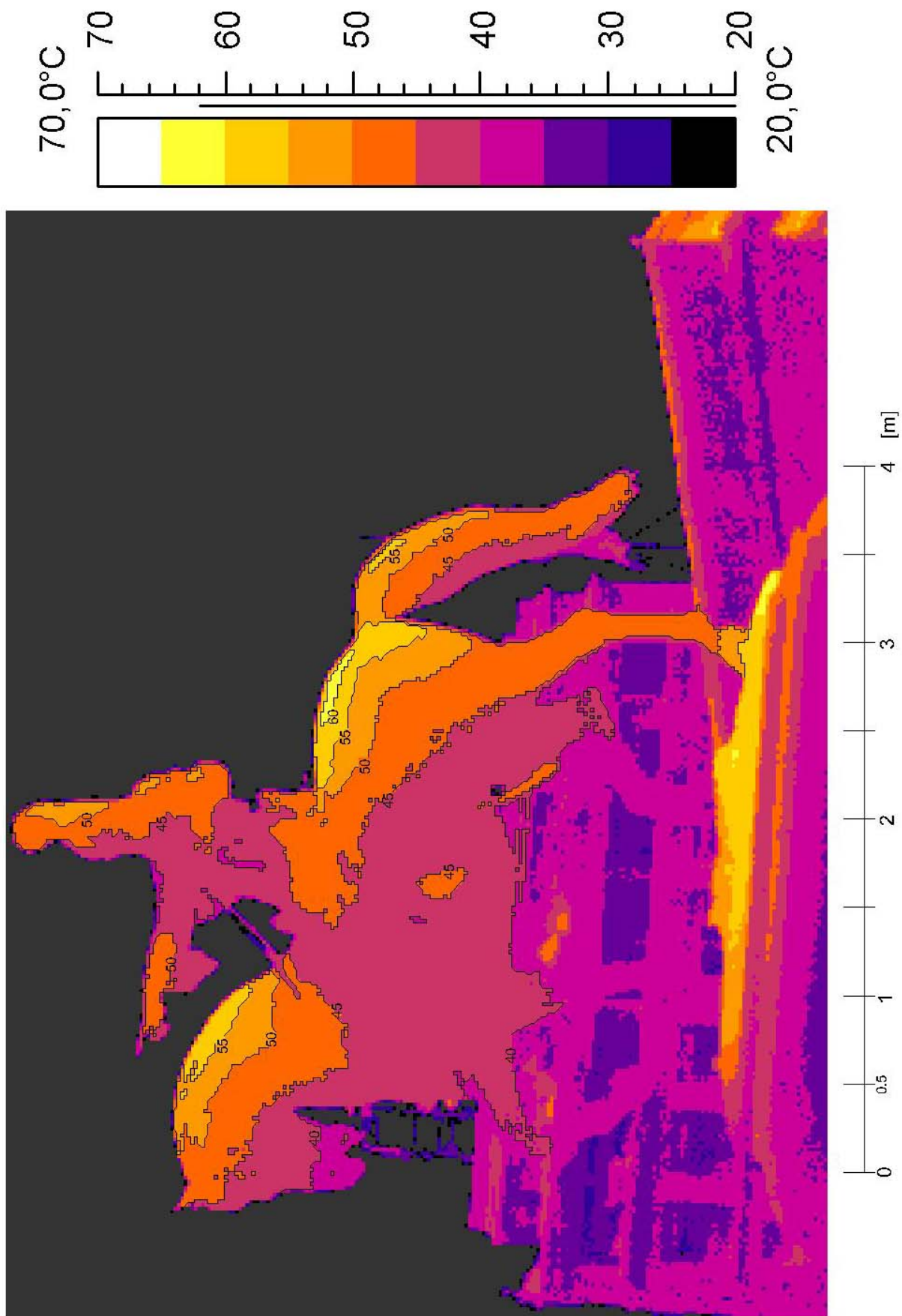
Εικόνα 2.5.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών



Εικόνα 2.6.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών



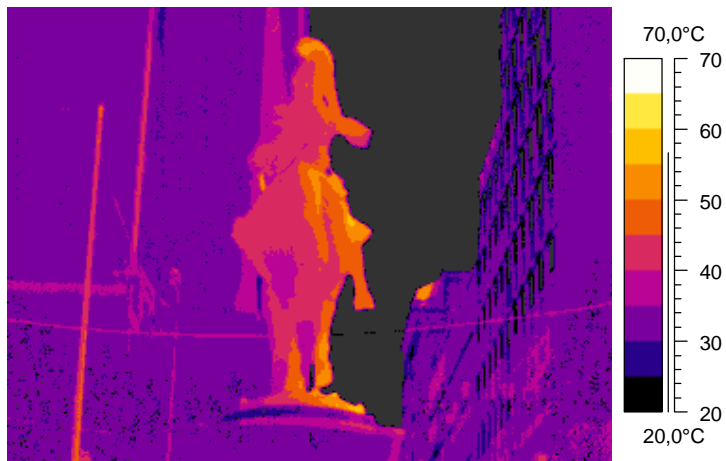
Εικόνα 2.7.: Θέσεις μεγίστων διαφορών



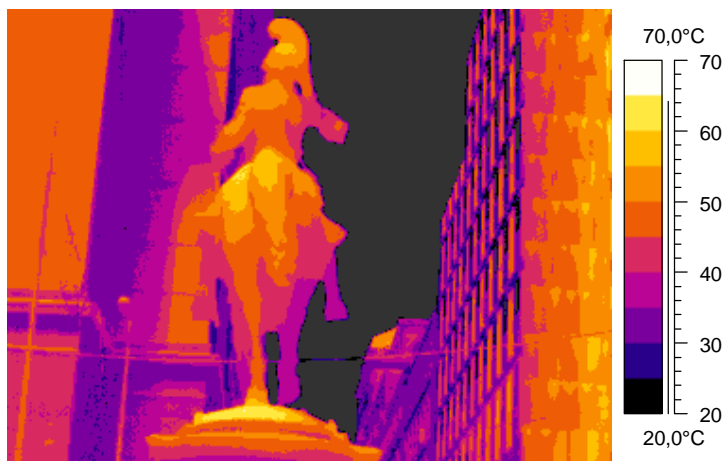
Εικόνα 2.8.: Ισοθερμικές καμπύλες



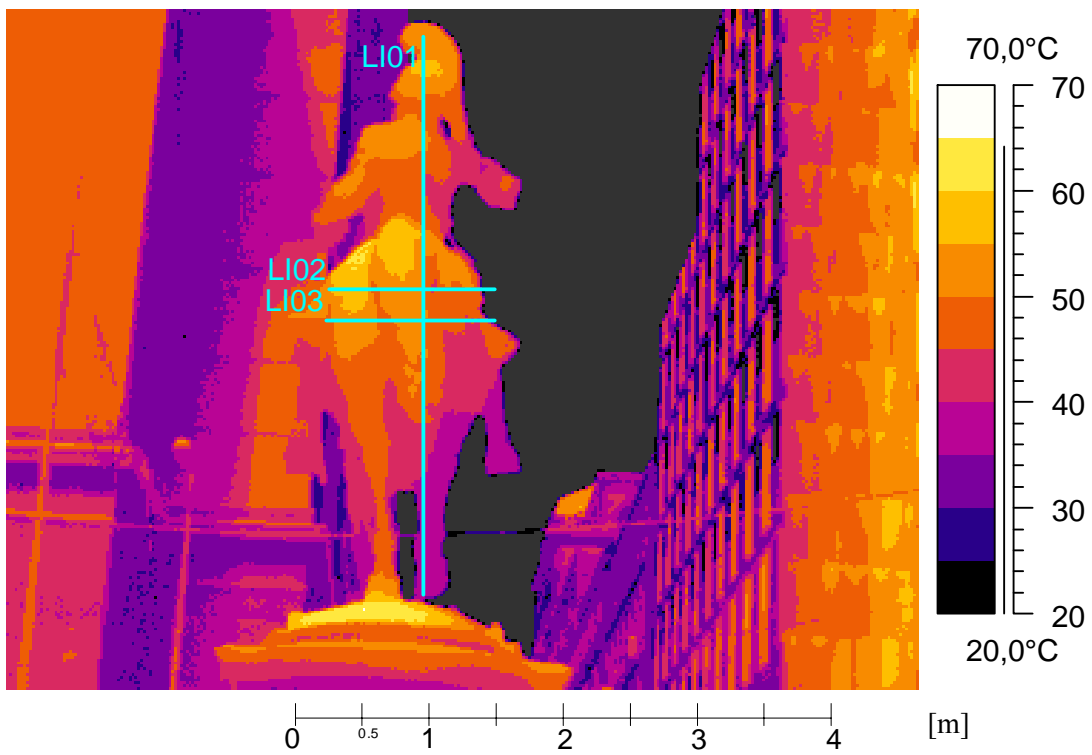
Εικόνα 2.9.: Οπίσθια όψη



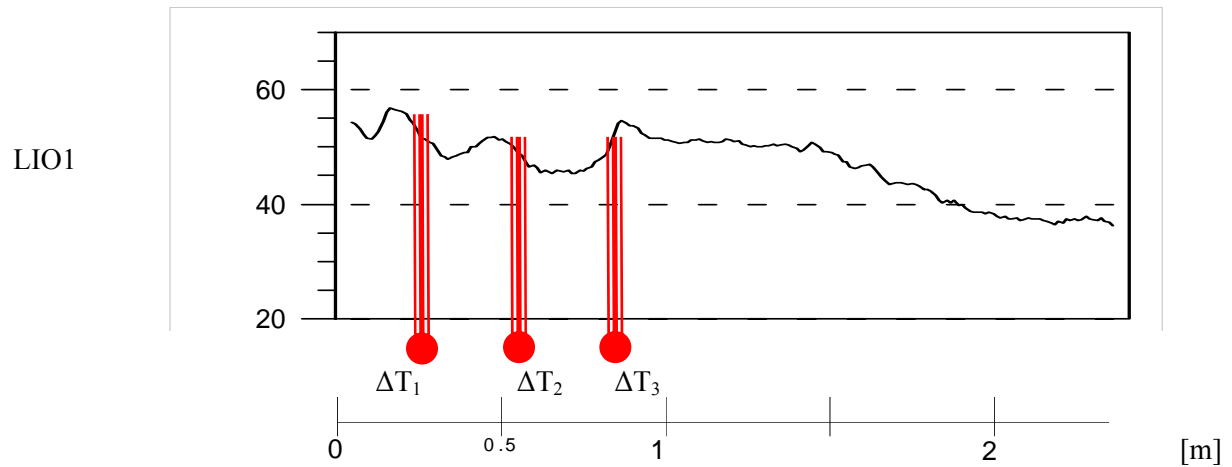
Εικόνα 2.10.: Θερμογράφημα (3-7-2003, ώρα 10:00)



Εικόνα 2.11.: Θερμογράφημα (3-7-2003, ώρα 15:00)



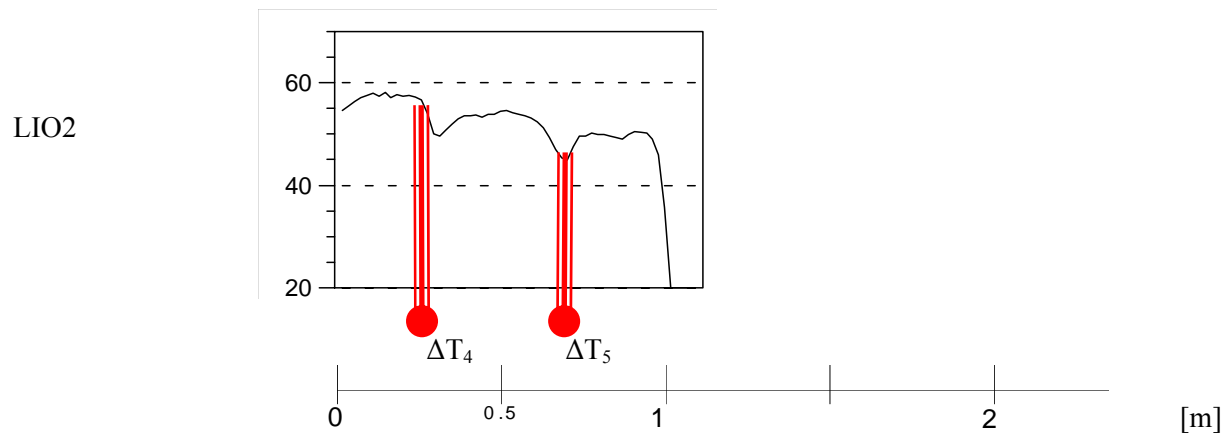
Εικόνα 2.12.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 3-7-03 ώρα 15:00.
Ακραίες τιμές



$$\Delta T_1 = 11,00 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ cm} \rightarrow 1,1 \text{ }^\circ\text{C/cm}$$

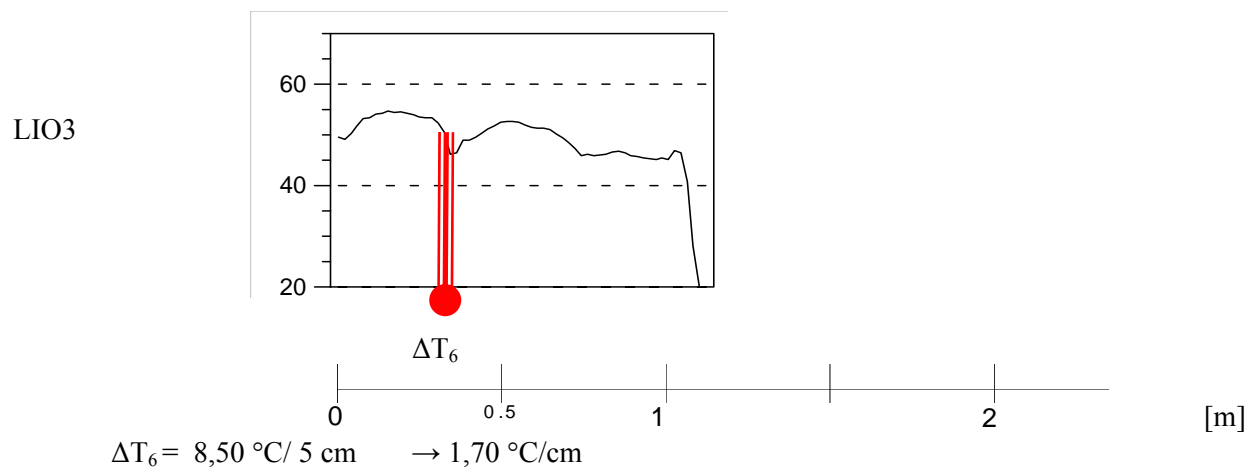
$$\Delta T_2 = 8,75 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 1,75 \text{ }^\circ\text{C/cm}$$

$$\Delta T_8 = 10,25 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 2,05 \text{ }^\circ\text{C/cm}$$



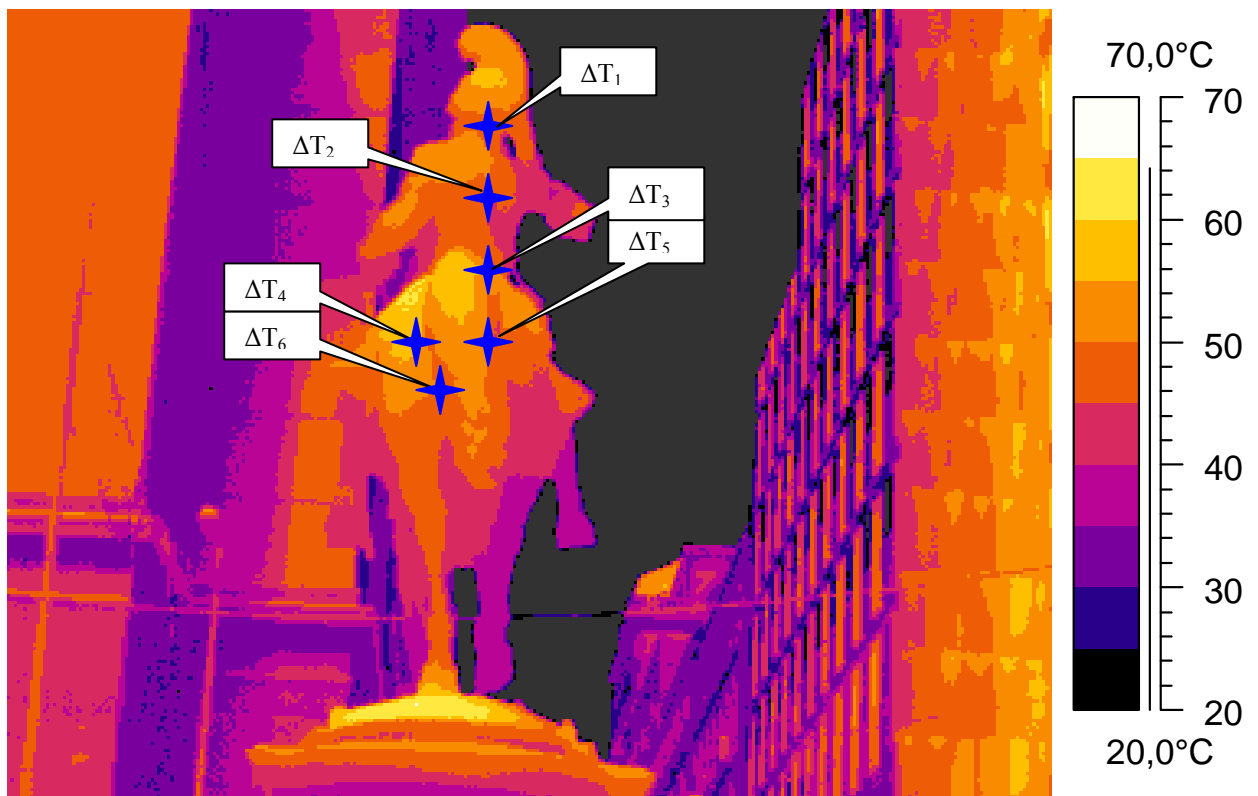
$$\Delta T_4 = 10,75 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 2,15 \text{ }^\circ\text{C/cm}$$

$$\Delta T_5 = 9,25 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 1,85 \text{ }^\circ\text{C/cm}$$

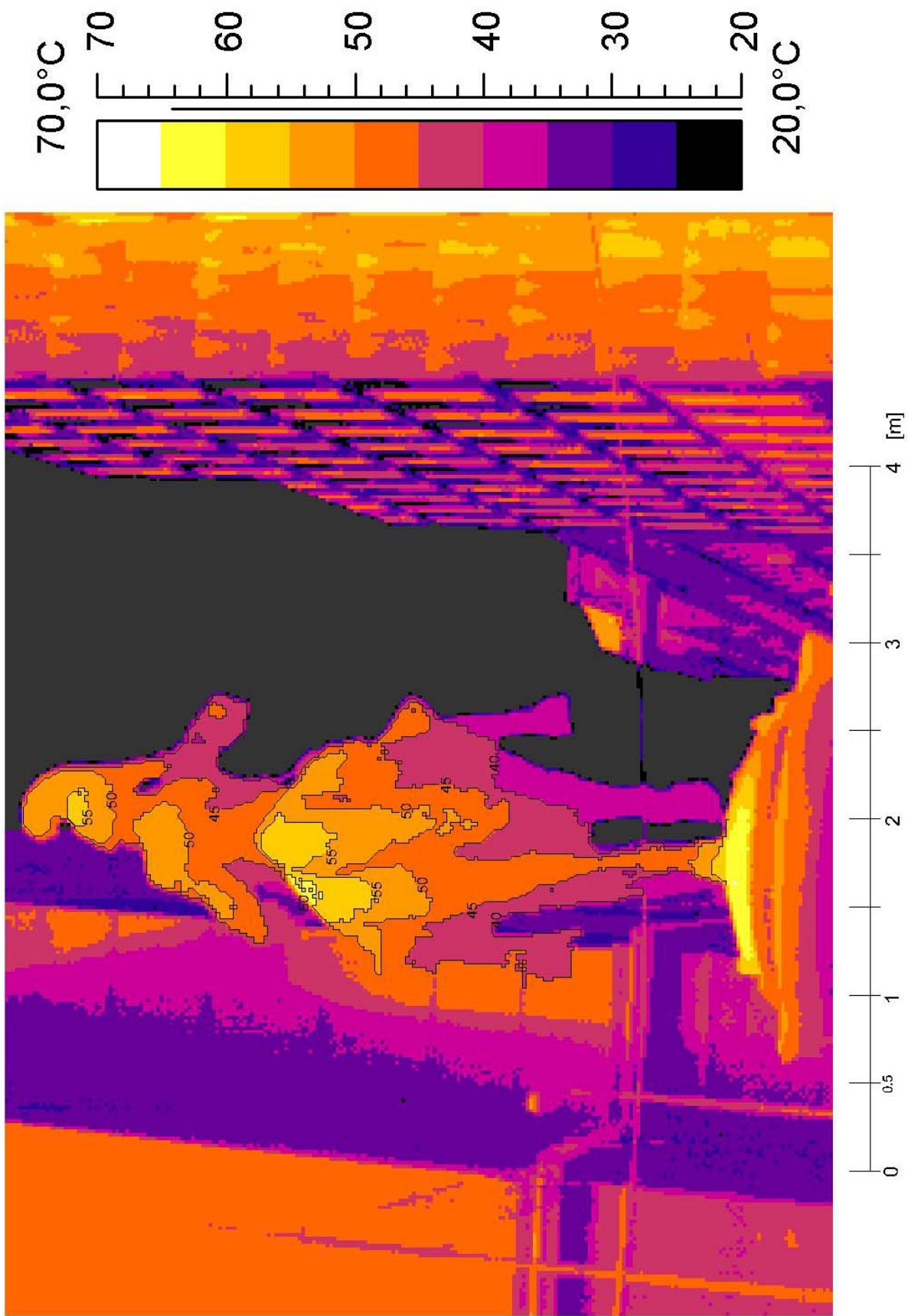


$$\Delta T_6 = 8,50 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 1,70 \text{ }^\circ\text{C/cm}$$

Εικόνα 2.13.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών



Εικόνα 2.14.: Θέσεις μεγίστων διαφορών



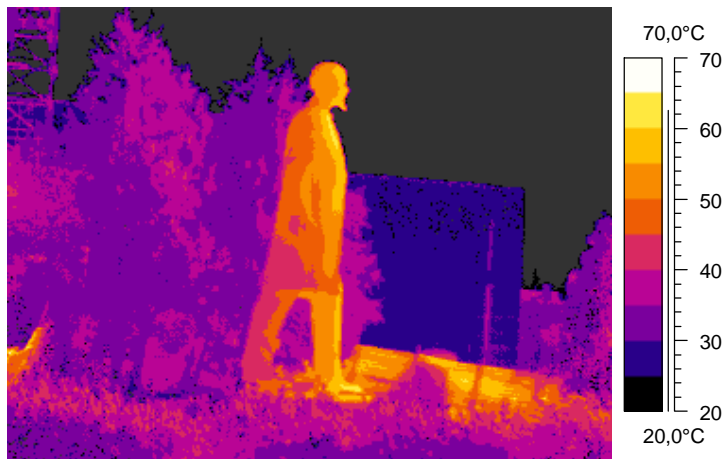
Εικόνα 2.15.: Ισοθερμικές καμπύλες

3 Ανδριάντας (Ε. Βενιζέλου) Αθήνα

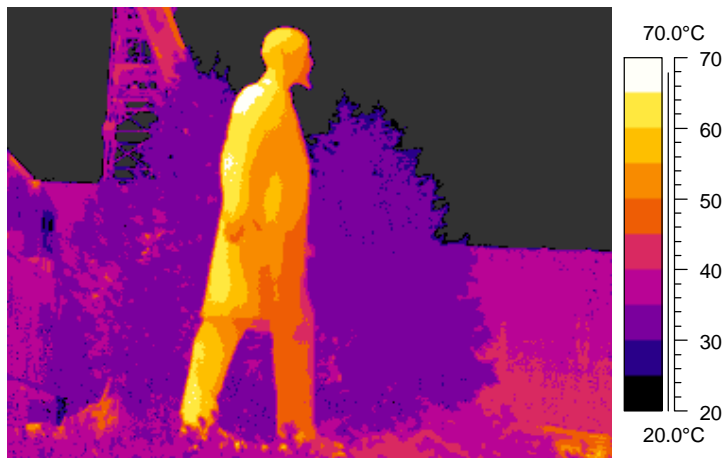
Υλικό: κράμα χαλκού



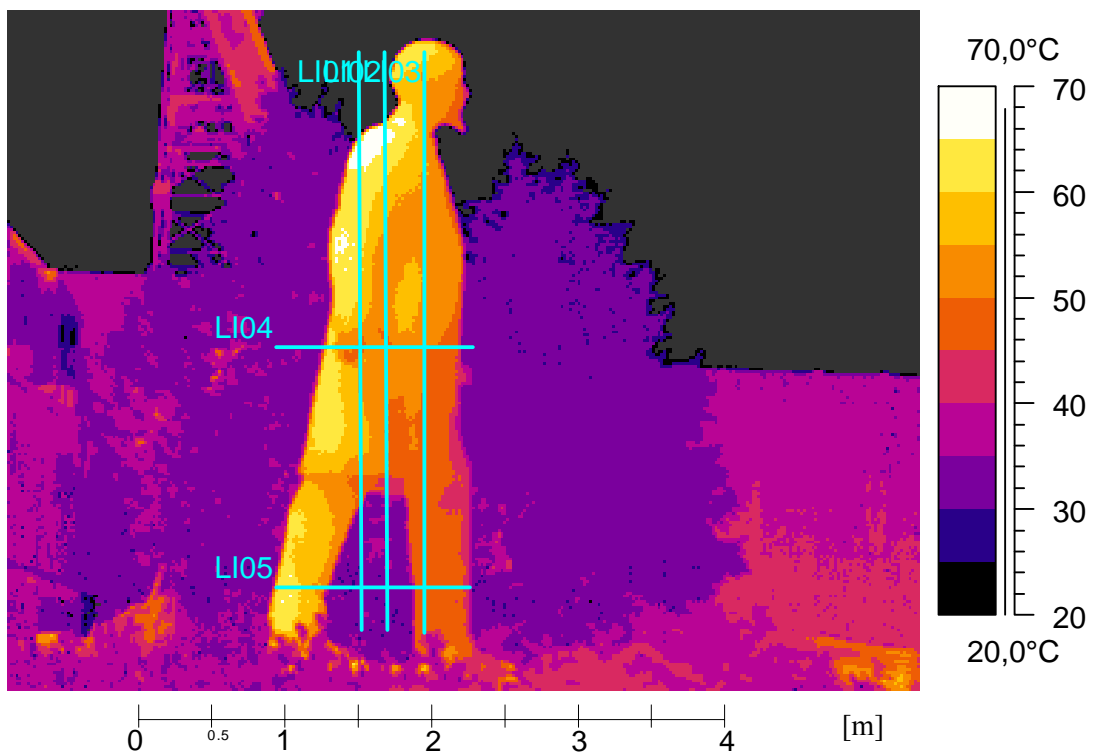
Εικόνα 3. 1.: Πλάγια όψη



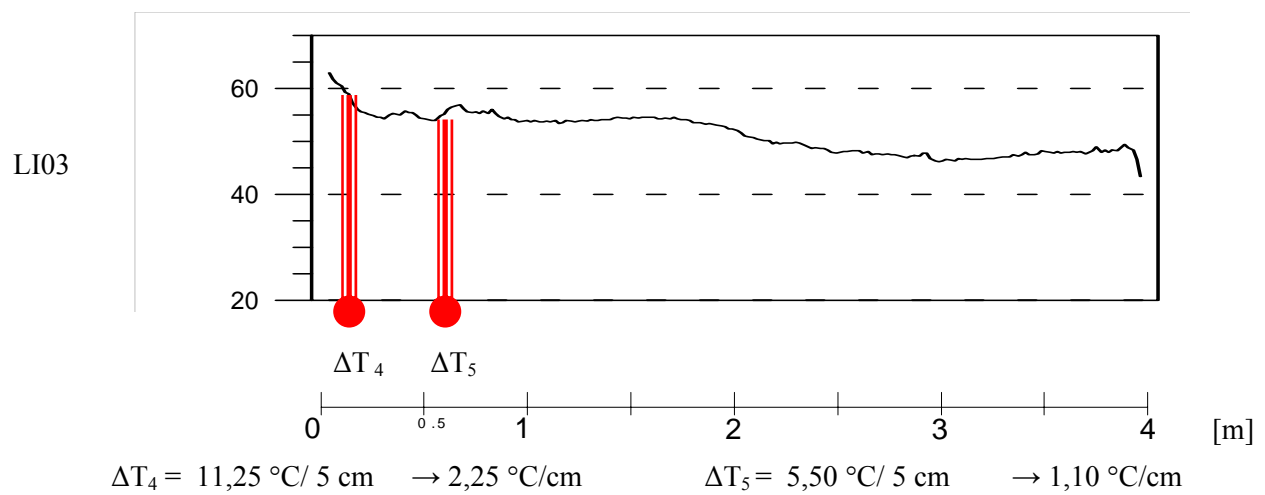
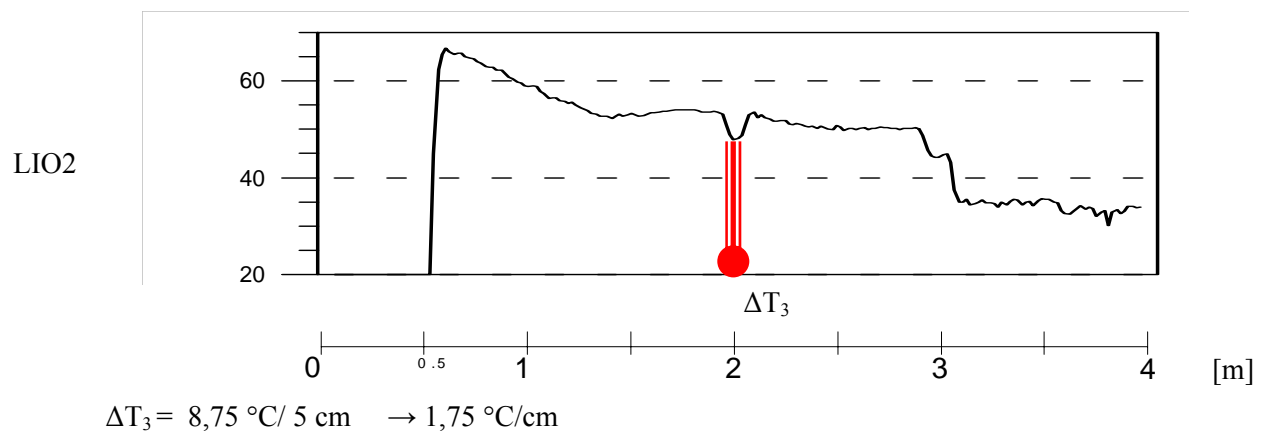
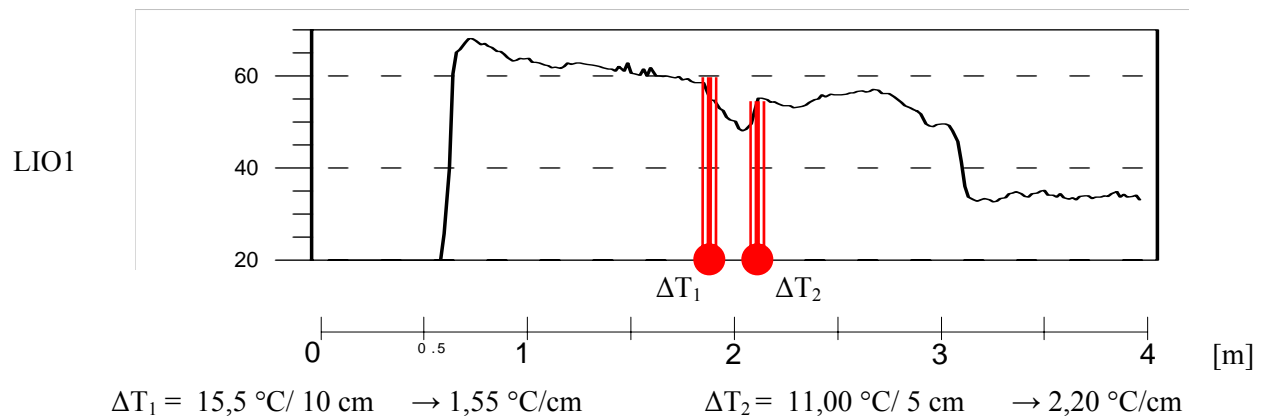
Εικόνα 3.2.: Θερμογράφημα (8-7-2003, ώρα 10:00)



Εικόνα 3.3.: Θερμογράφημα (8-7-2003, ώρα 15:00)

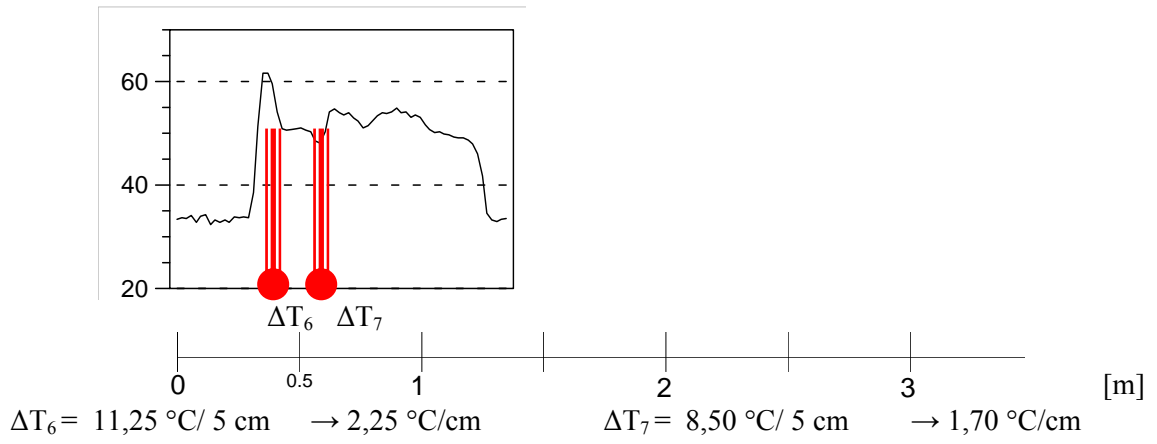


Εικόνα 3.4.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 8-7-03 ώρα 15:00.
Ακραίες τιμές

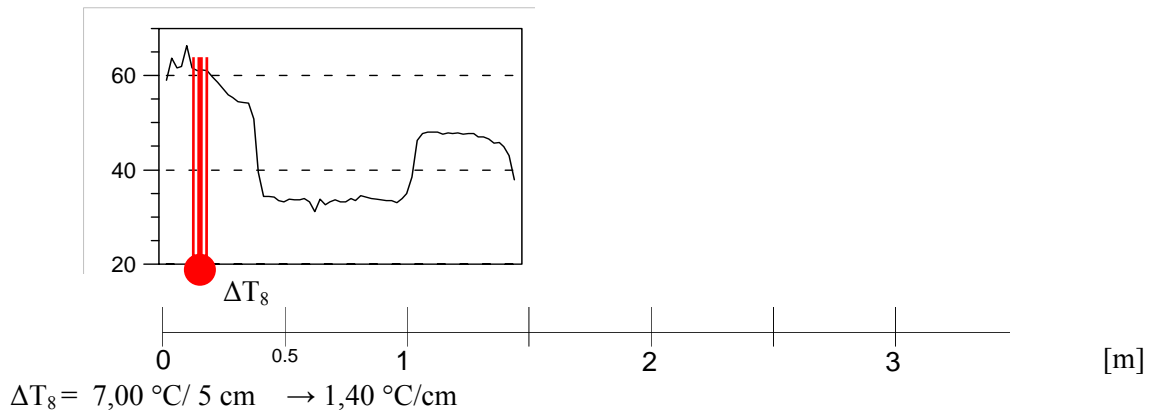


Εικόνα 3.5.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών

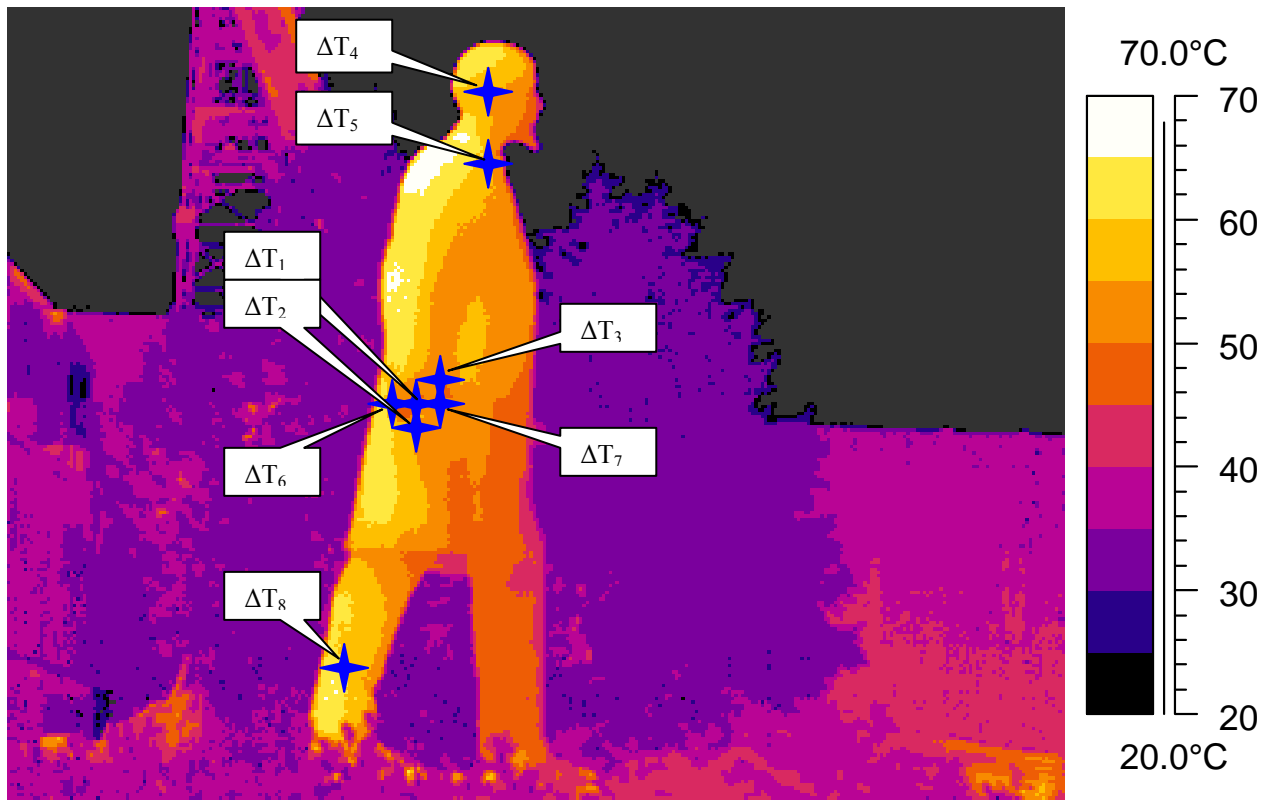
LI04



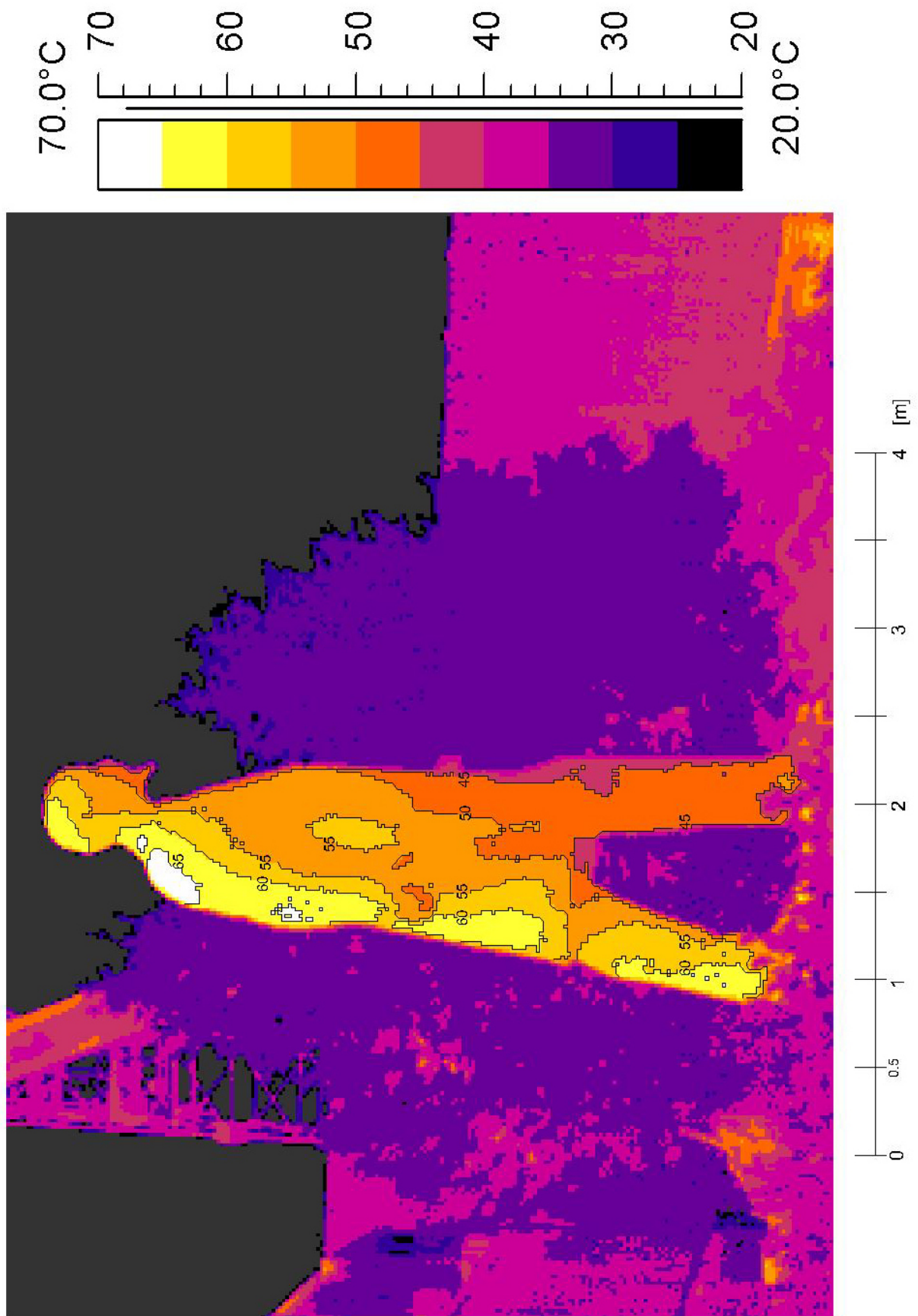
LI05



Εικόνα 3.6.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών



Εικόνα 3.7.: Θέσεις μεγίστων διαφορών



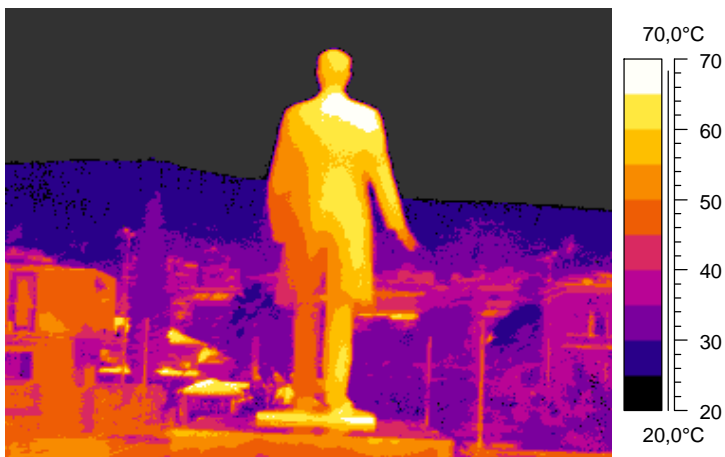
Εικόνα 3.8.: Ισοθερμικές καμπύλες



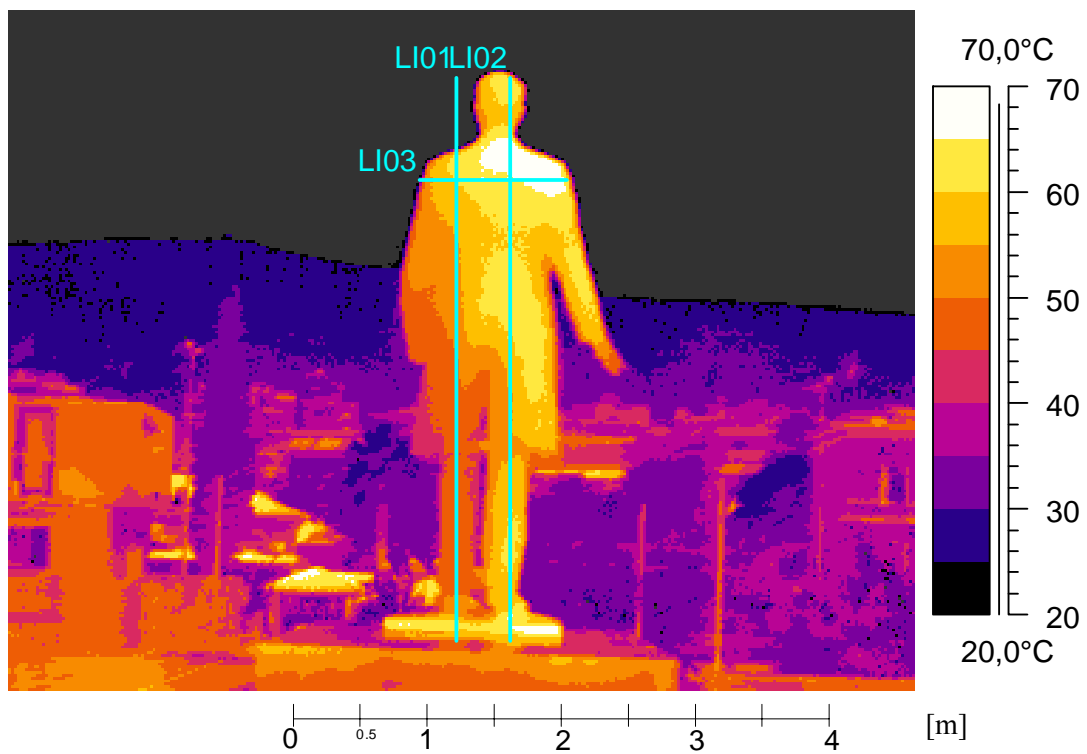
Εικόνα 3.9.: Οπίσθια όψη



Εικόνα 3.10.: Θερμογράφημα (8-7-2003, ώρα 10:00)

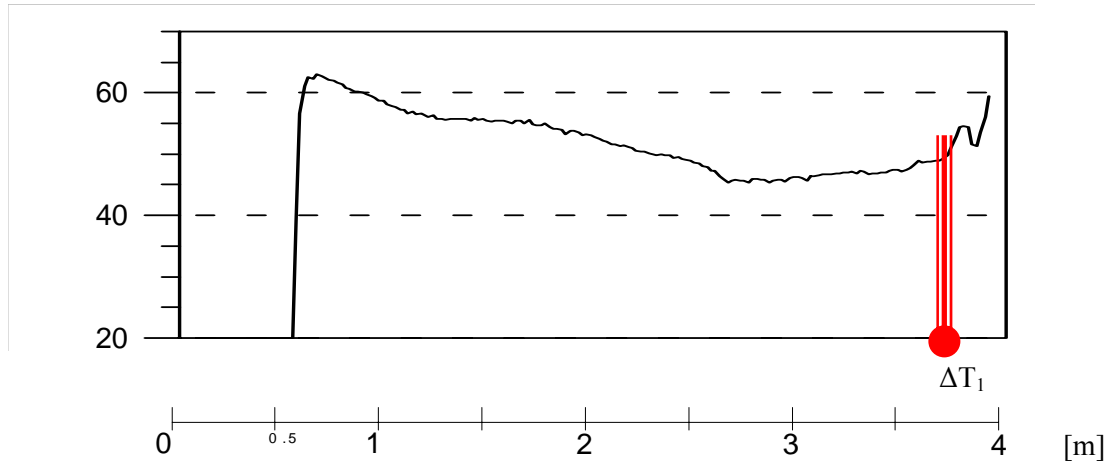


Εικόνα 3.11.: Θερμογράφημα (8-7-2003, ώρα 15:00)



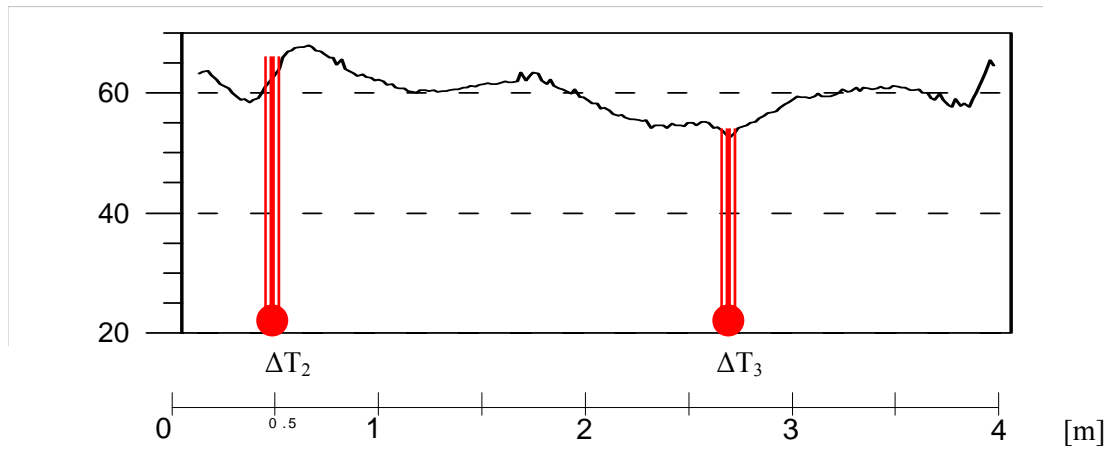
Εικόνα 3.12.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 8-7-03 ώρα 15:00.
Ακραίες τιμές

LI01



$\Delta T_2 = 8,75 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 1,75 \text{ }^\circ\text{C/cm}$

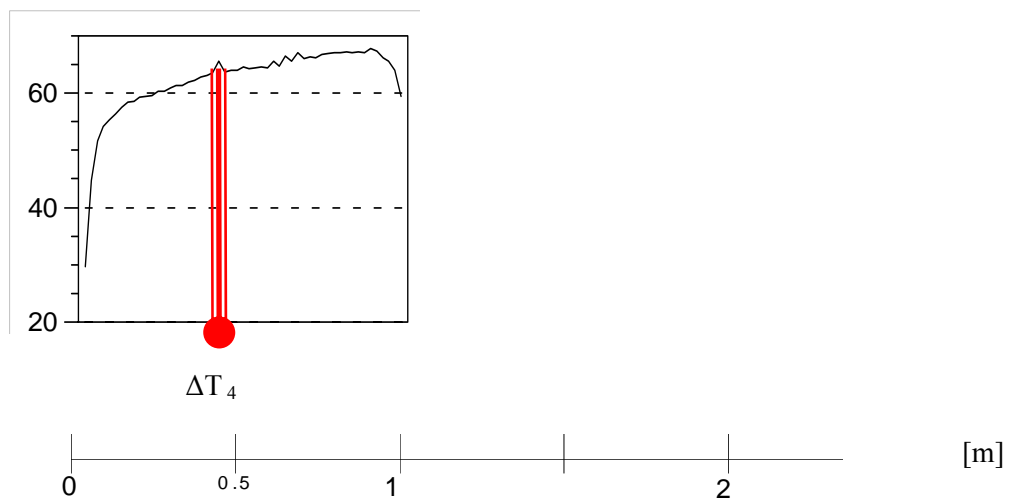
LI02



$\Delta T_2 = 11,25 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 2,25 \text{ }^\circ\text{C/cm}$

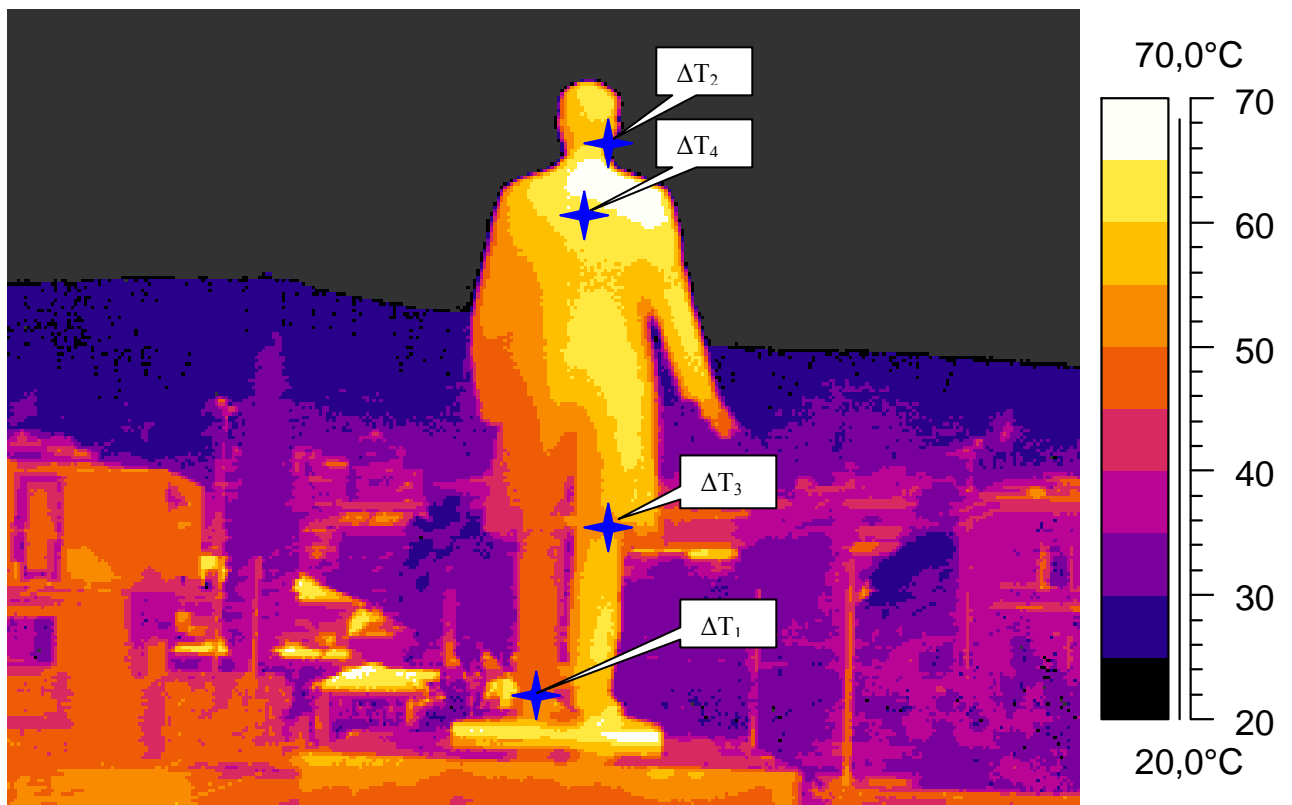
$\Delta T_3 = 6,00 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 1,20 \text{ }^\circ\text{C/cm}$

LI03

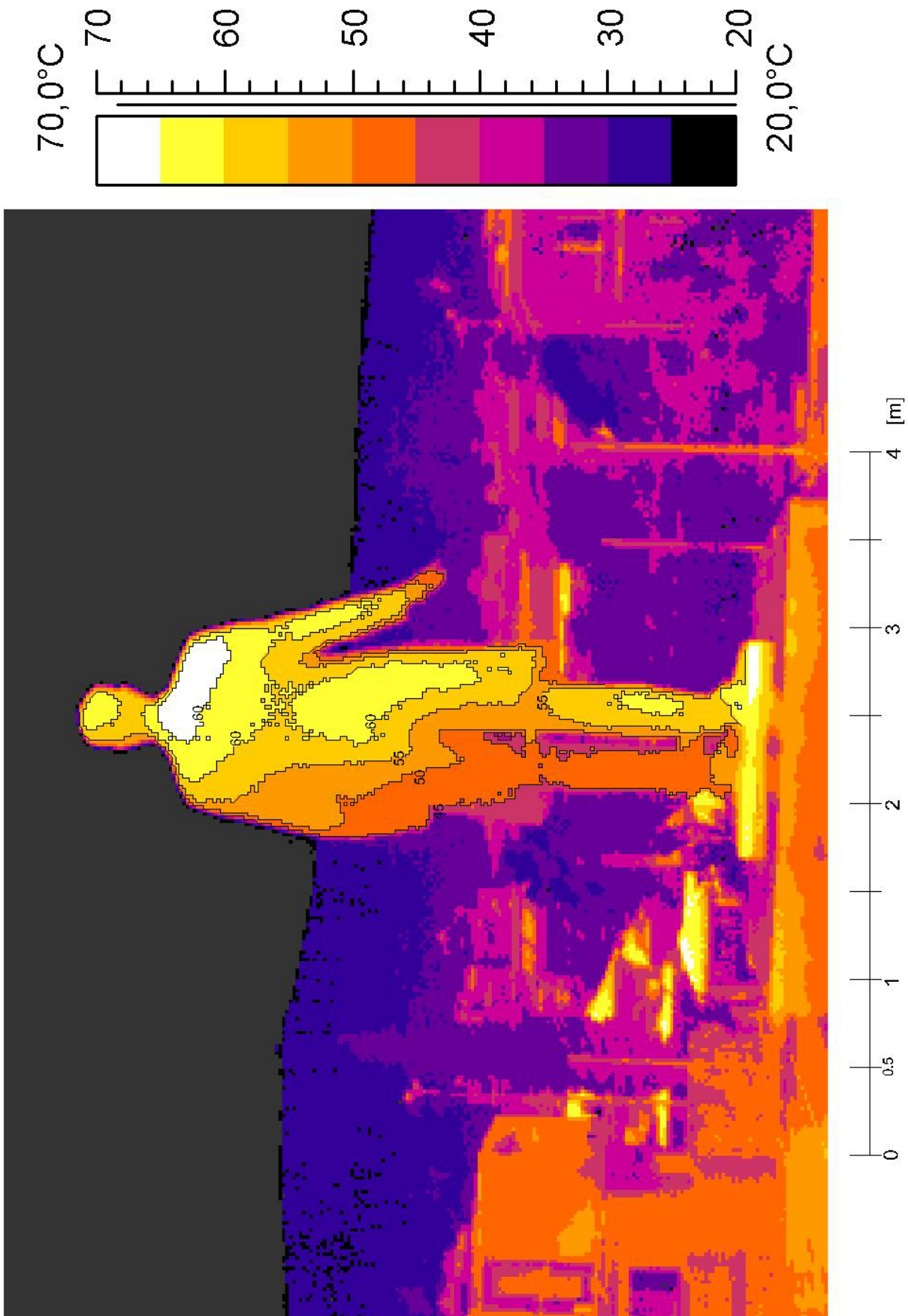


$\Delta T_4 = 3,00 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 0,60 \text{ }^\circ\text{C/cm}$

Εικόνα 3.13.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών



Εικόνα 3.14.: Θέσεις μεγίστων διαφορών



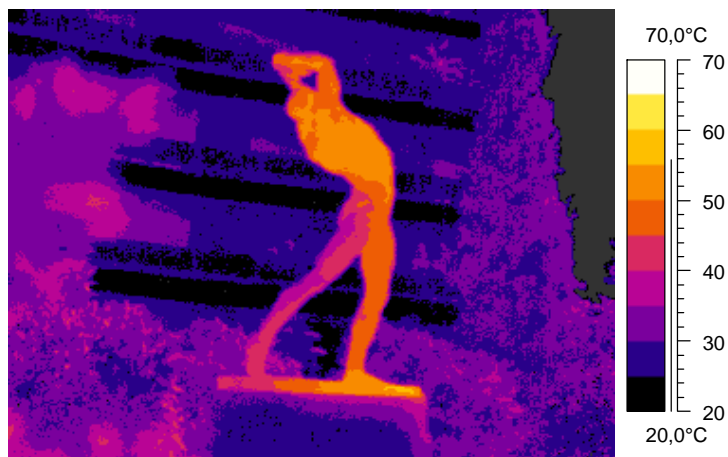
Εικόνα 3.15.: Ισοθερμικές καμπύλες

4 Δισκοβόλος, Αθήνα

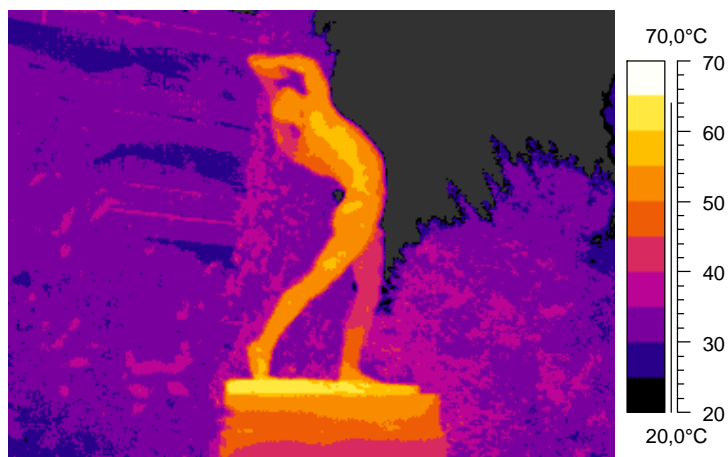
Υλικό: κράμα χαλκού



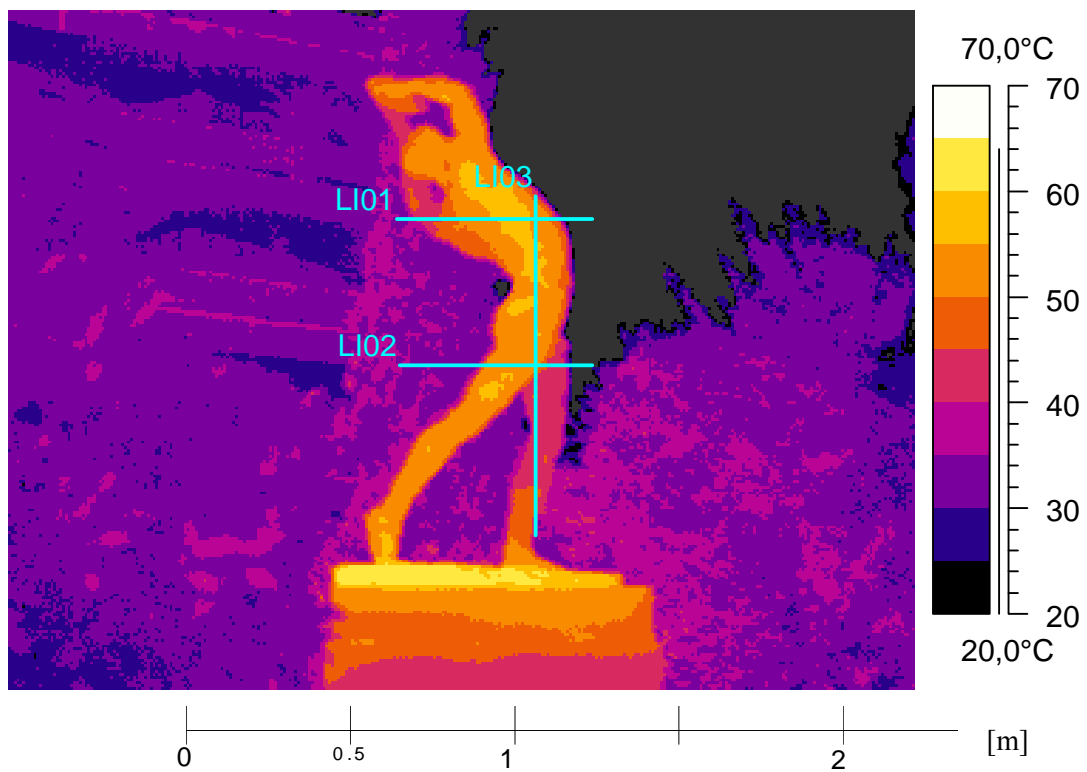
Εικόνα 4. 1.: Πλάγια όψη



Εικόνα 4.2.: Θερμογράφημα (4-7-2003, ώρα 10:00)

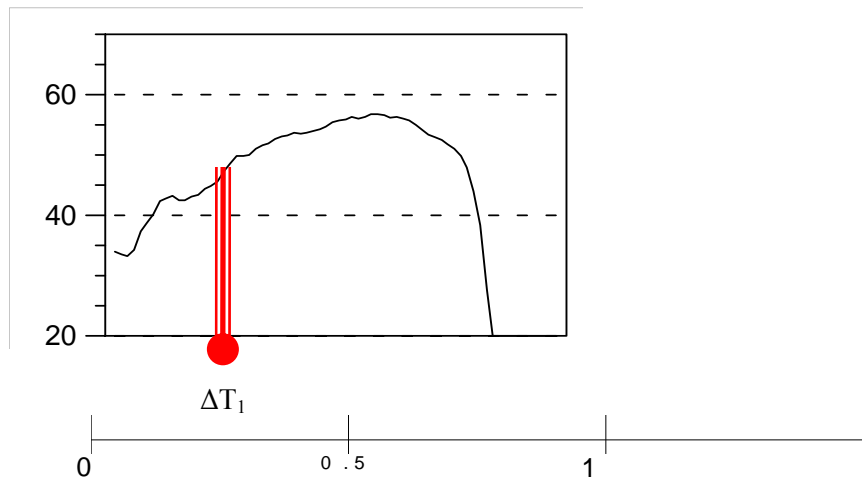


Εικόνα 4.3.: Θερμογράφημα (4-7-2003, ώρα 15:00)



Εικόνα 4.4.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 4-7-03 ώρα 15:00.
Ακραίες τιμές

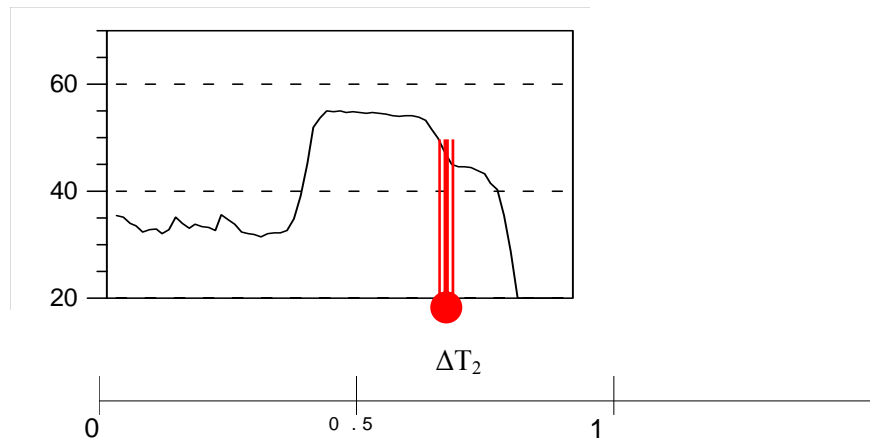
LI01



$\Delta T_1 = 9,50 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ cm} \rightarrow 0,95 \text{ }^\circ\text{C/cm}$

[m]

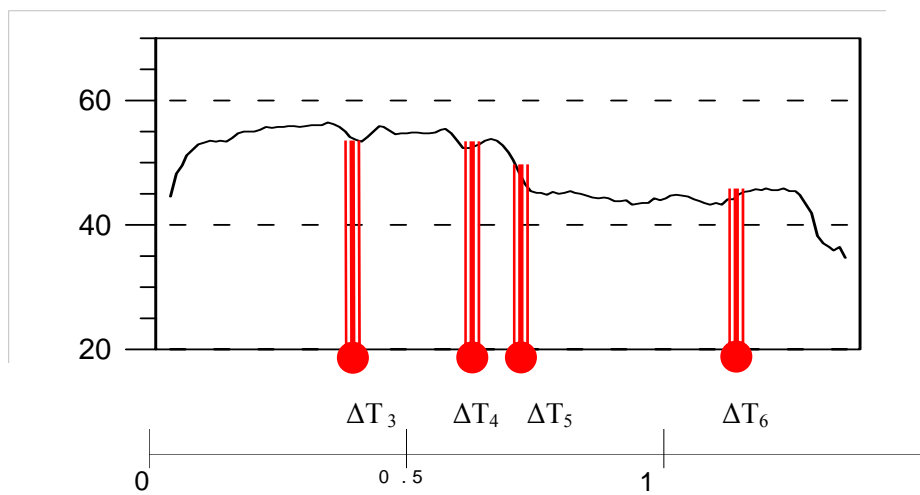
LI02



$\Delta T_2 = 11,00 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 2,20 \text{ }^\circ\text{C/cm}$

[m]

LI03



$\Delta T_3 = 7,50 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 1,50 \text{ }^\circ\text{C/cm}$

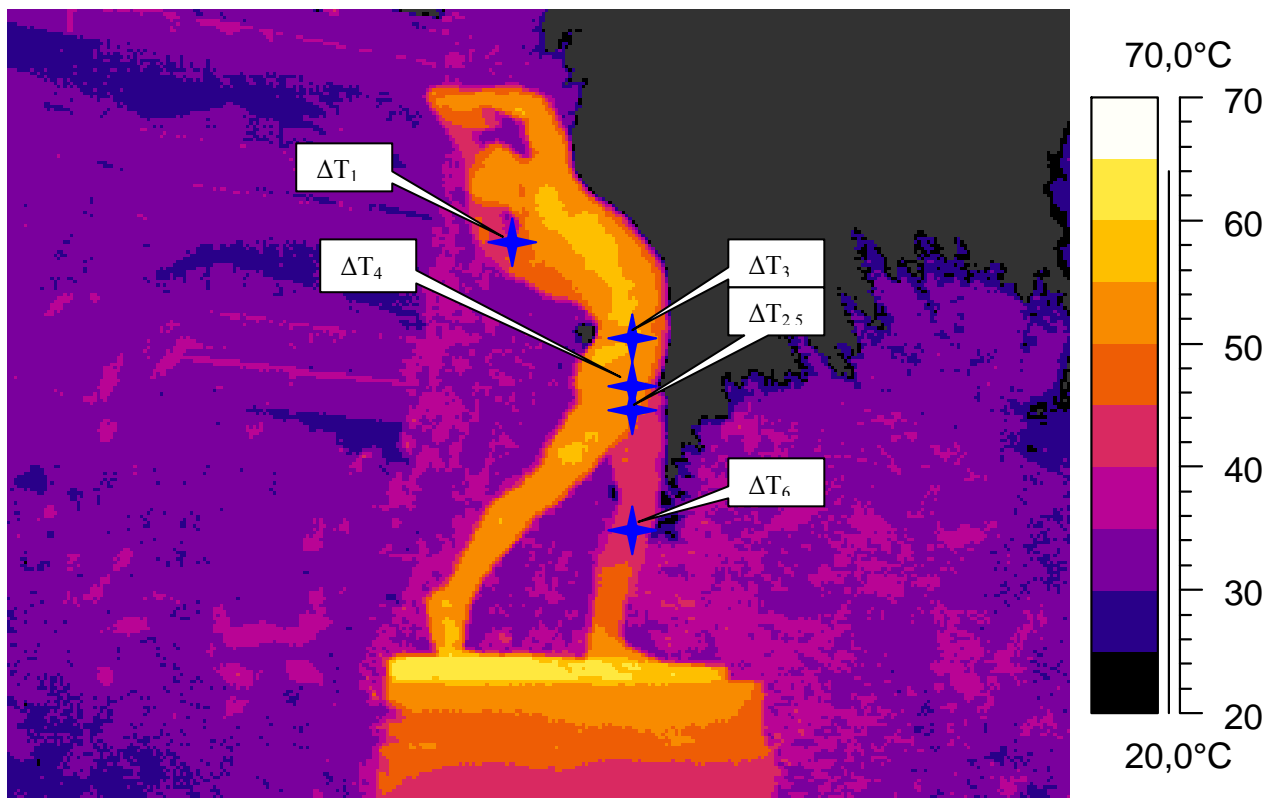
$\Delta T_4 = 9,50 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ cm} \rightarrow 0,95 \text{ }^\circ\text{C/cm}$

$\Delta T_5 = 11,25 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 2,25 \text{ }^\circ\text{C/cm}$

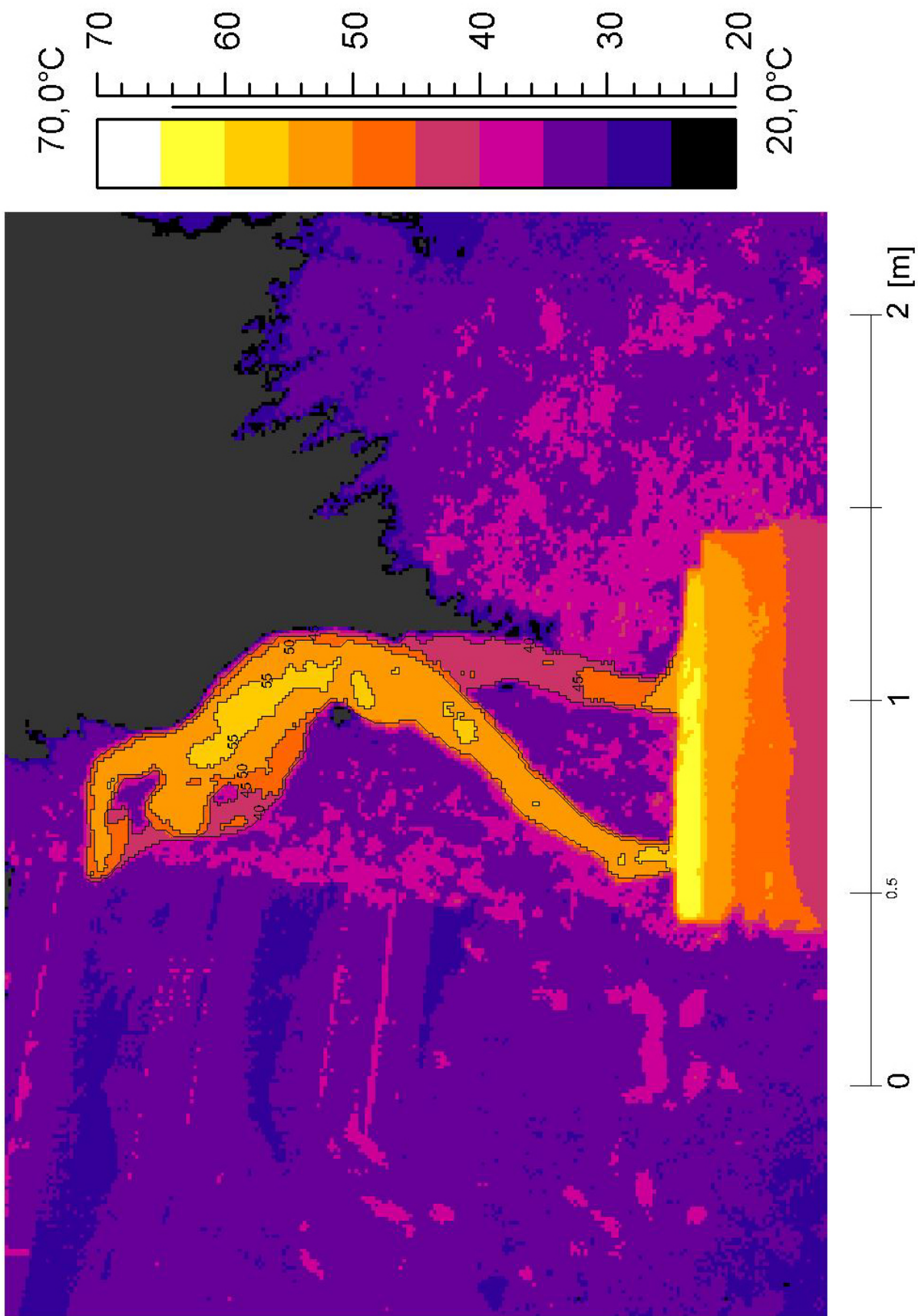
$\Delta T_6 = 5,00 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ cm} \rightarrow 0,50 \text{ }^\circ\text{C/cm}$

[m]

Εικόνα 4.5.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών



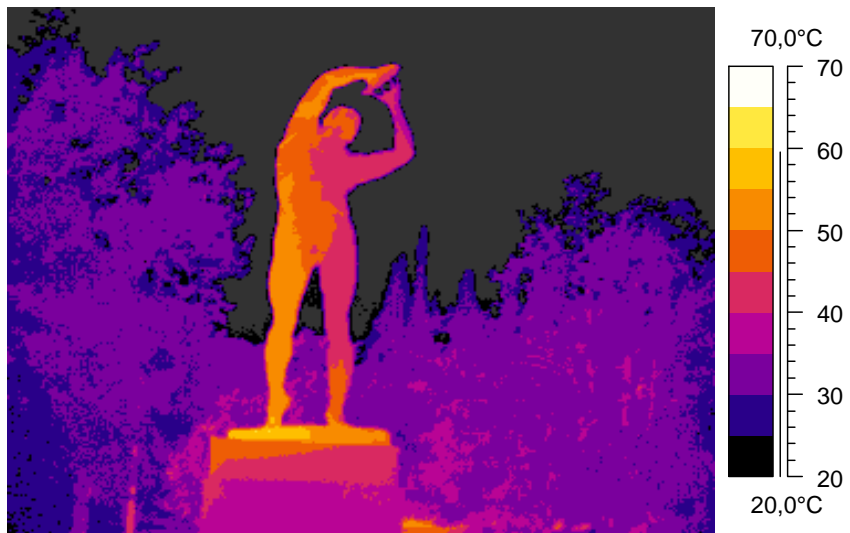
Εικόνα 4.6.: Θέσεις μεγίστων διαφορών



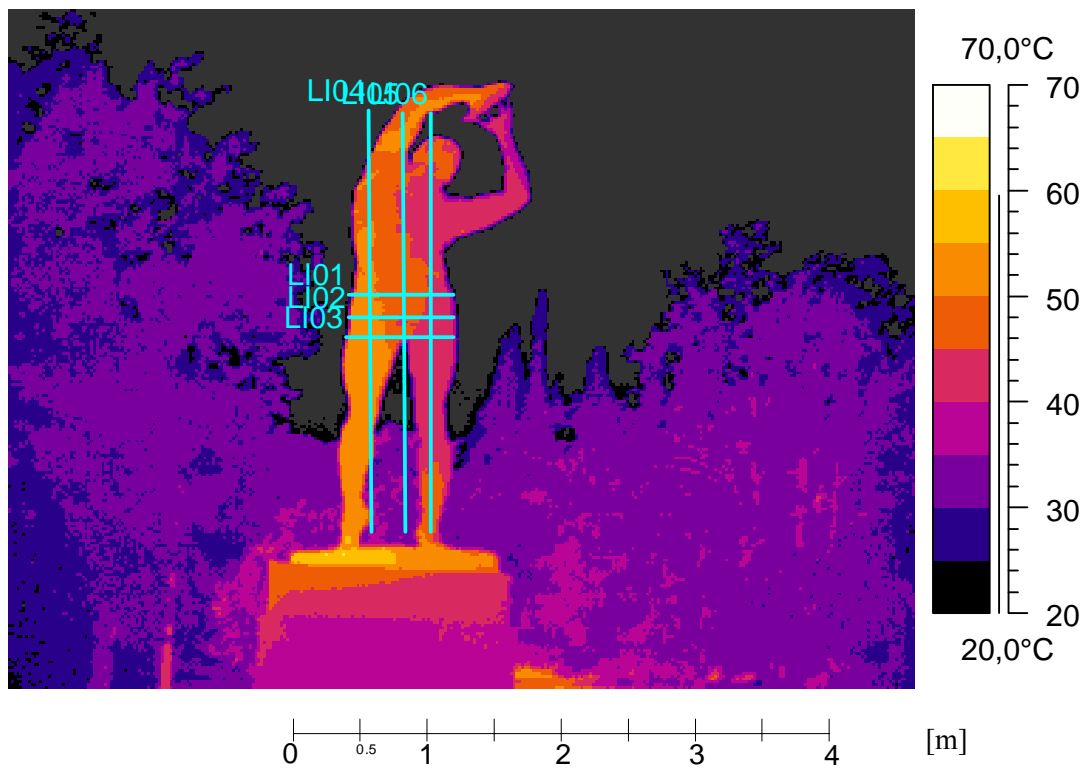
Εικόνα 4.7.: Ισοθερμικές κομπύλες



Εικόνα 4.8.: Πρόσθια όψη

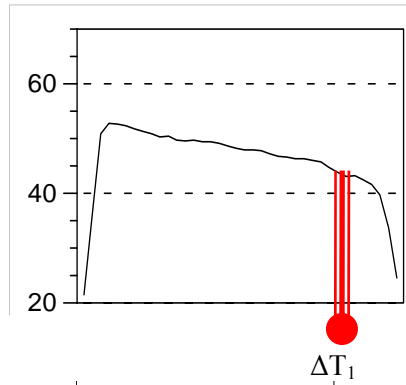


Εικόνα 4.9.: Θερμογράφημα (4-7-2003, ώρα 15:00)



Εικόνα 4.10.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 4-7-03 ώρα 15:00.
Ακραίες τιμές

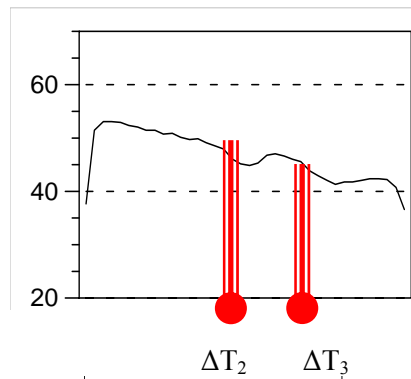
LIO1



$\Delta T_1 = 4,50 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ cm} \rightarrow 0,45 \text{ }^\circ\text{C} / \text{cm}$

[m]

LIO2

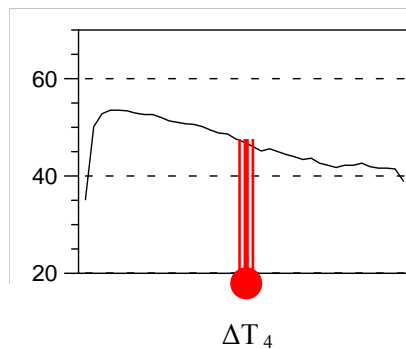


$\Delta T_2 = 5,25 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ cm} \rightarrow 0,52 \text{ }^\circ\text{C} / \text{cm}$

$\Delta T_3 = 4,50 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ cm} \rightarrow 0,45 \text{ }^\circ\text{C} / \text{cm}$

[m]

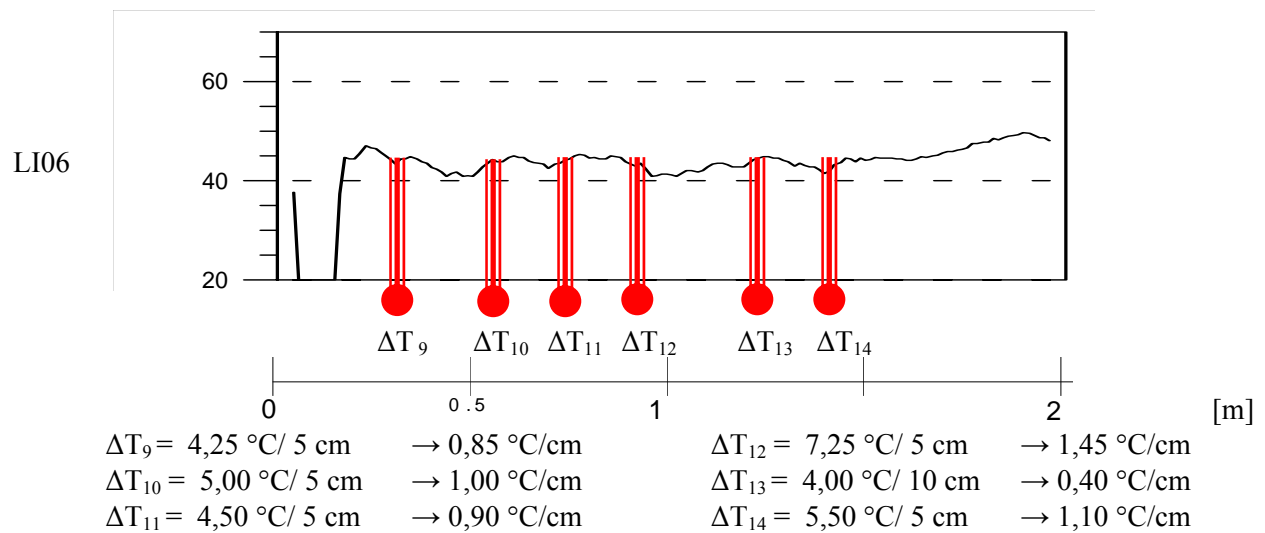
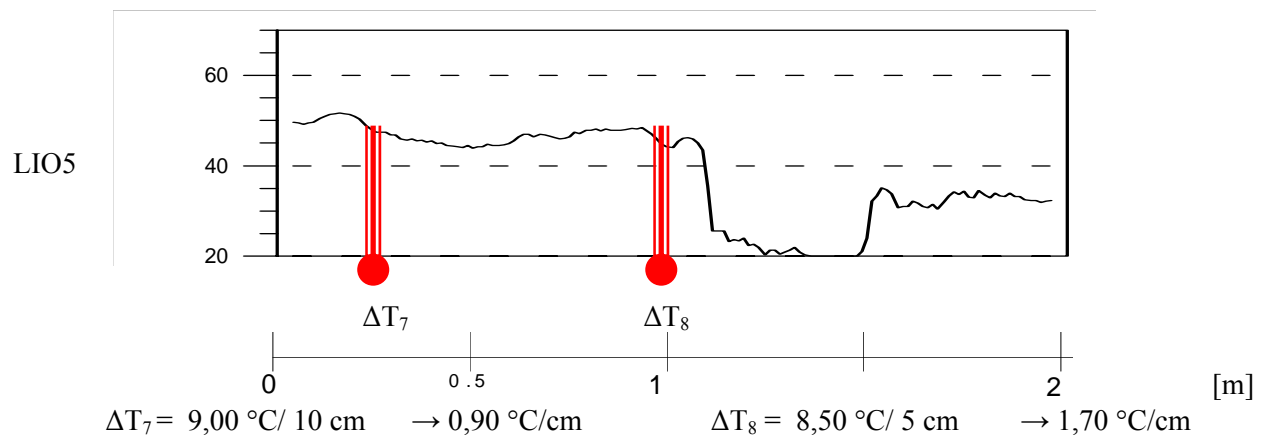
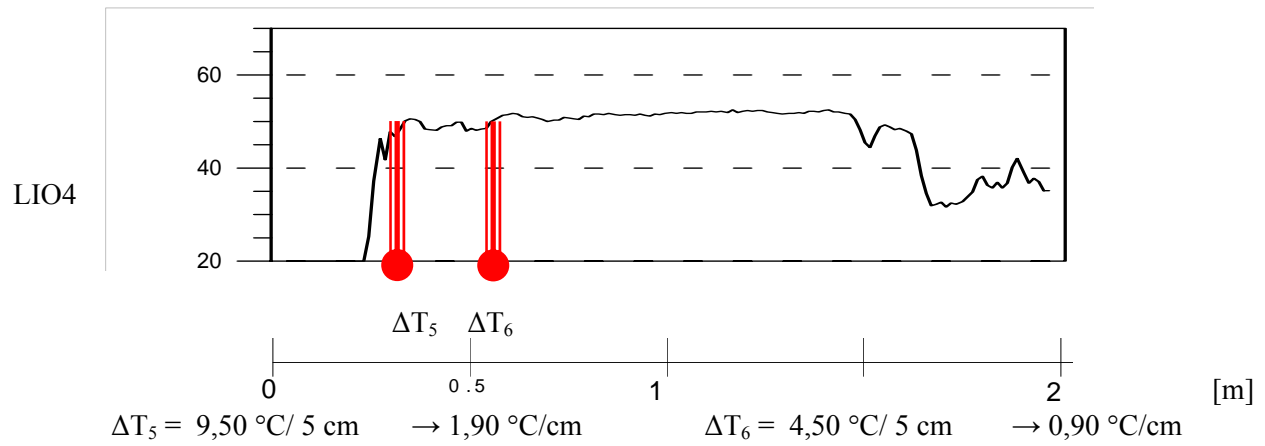
LIO3



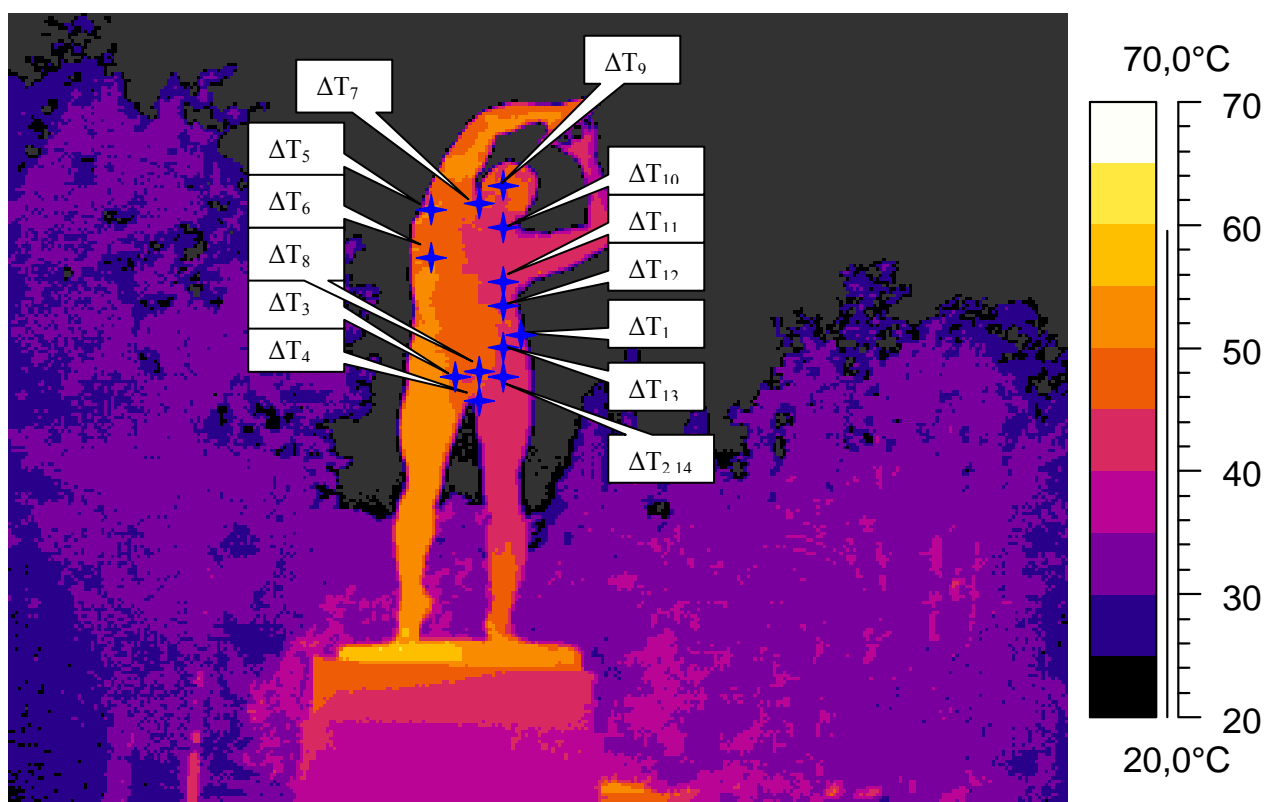
$\Delta T_4 = 6,75 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ cm} \rightarrow 0,67 \text{ }^\circ\text{C} / \text{cm}$

[m]

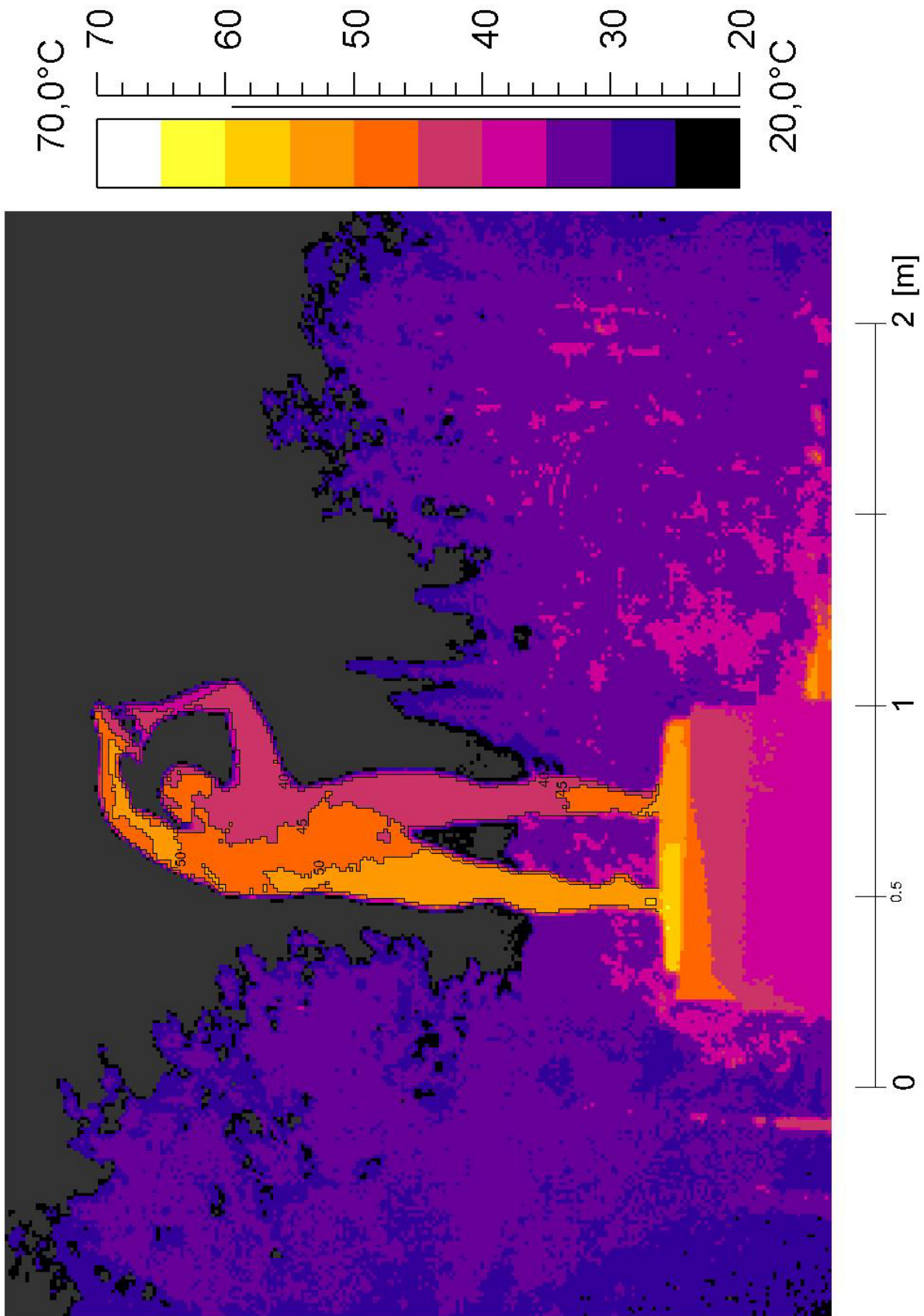
Εικόνα 4.11.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών



Εικόνα 4.12.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών



Εικόνα 4.13.: Θέσεις μεγίστων διαφορών



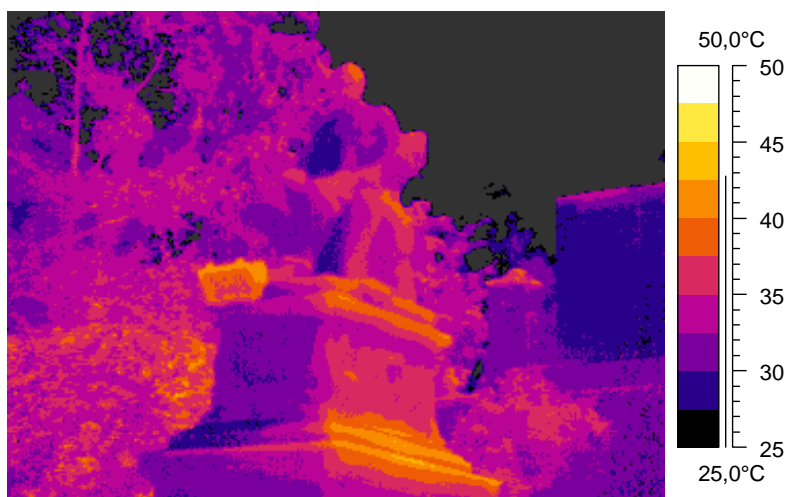
Εικόνα 4.14.: Ισοθερμικές καμπύλες

5 Ανδριάντας (Γ. Αβέρωφ) Αθήνα

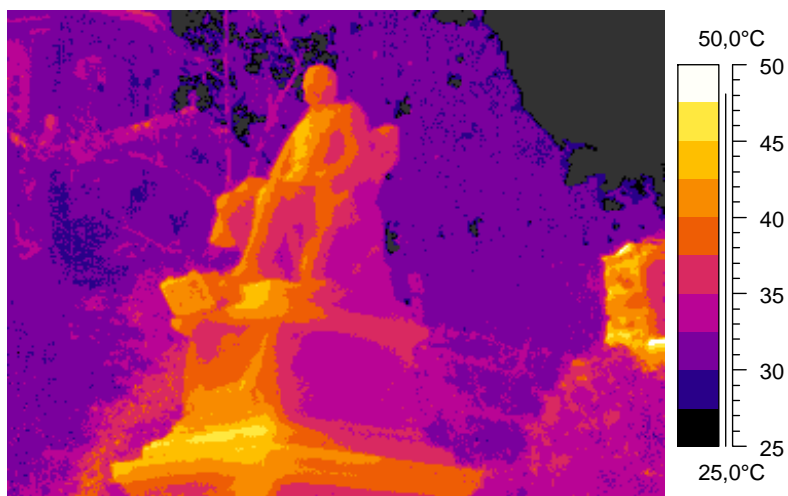
Υλικό: μάρμαρο



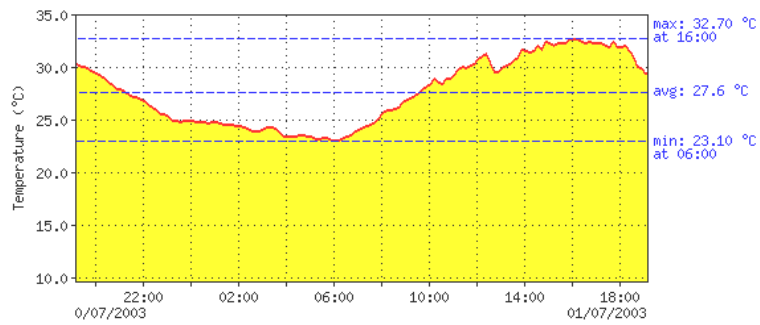
Εικόνα 5.1.: Πλάγια όψη



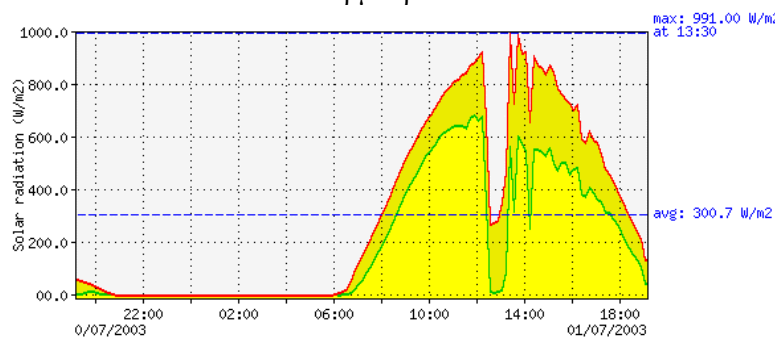
Εικόνα 5.2.: Θερμογράφημα (1-7-2003, ώρα 10:00)



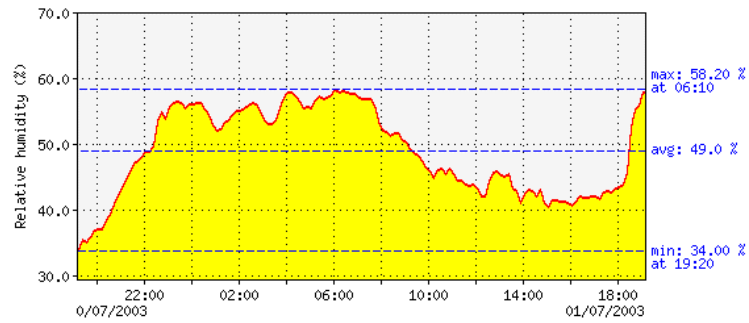
Εικόνα 5.3.: Θερμογράφημα (1-7-2003, ώρα 15:00)



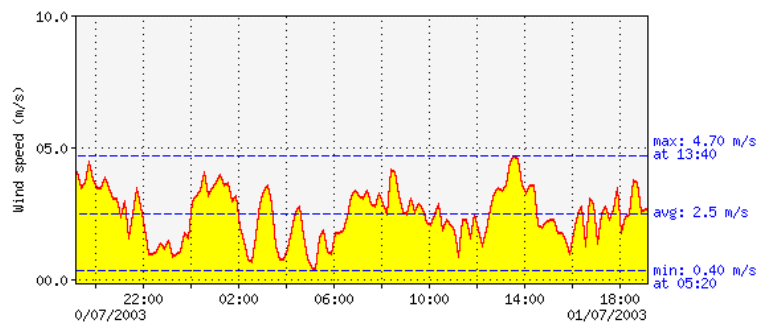
Θερμοκρασία



Ηλιακή ακτινοβολία

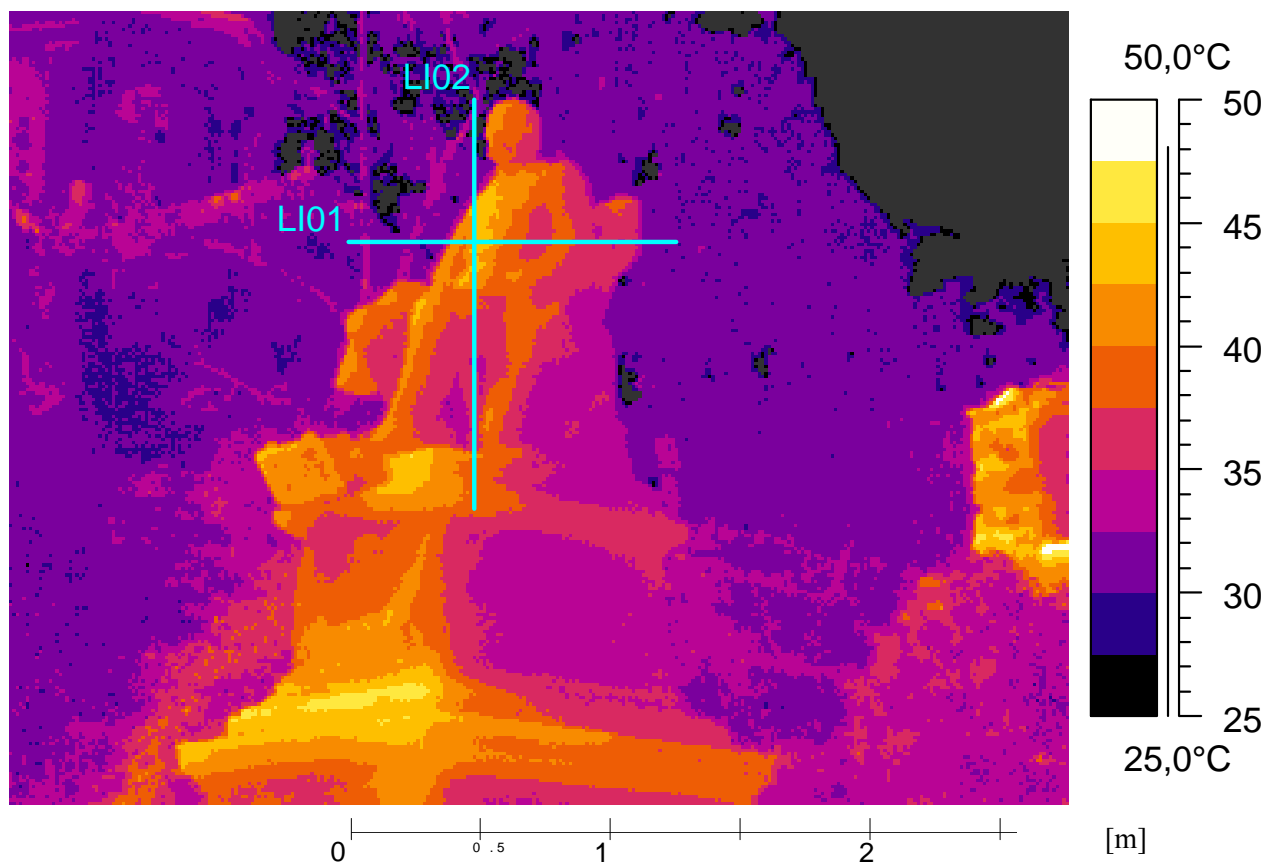


Σχετική υγρασία

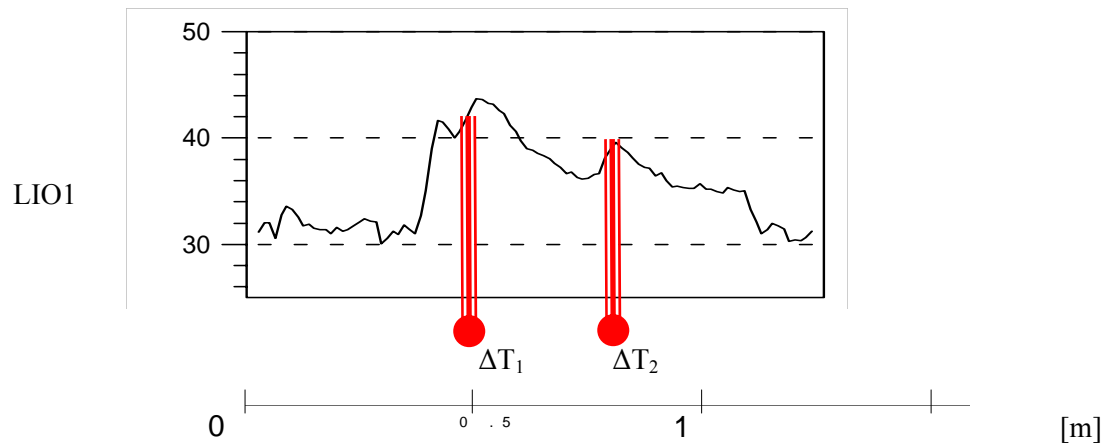


Ταχύτητα ανέμου

Εικόνα 5.4.: Καιρικές συνθήκες κατά την 1-7-2003 (www.itia.ntua.gr)

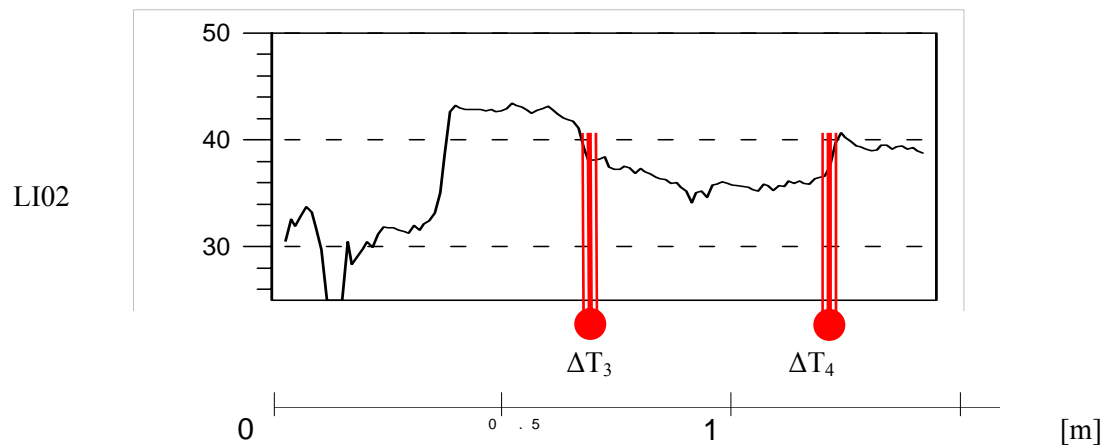


Εικόνα 5.5.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 1-7-03 ώρα 15:00.
Ακραίες τιμές



$$\Delta T_1 = 4,25 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \quad \rightarrow 0,85 \text{ }^\circ\text{C/cm}$$

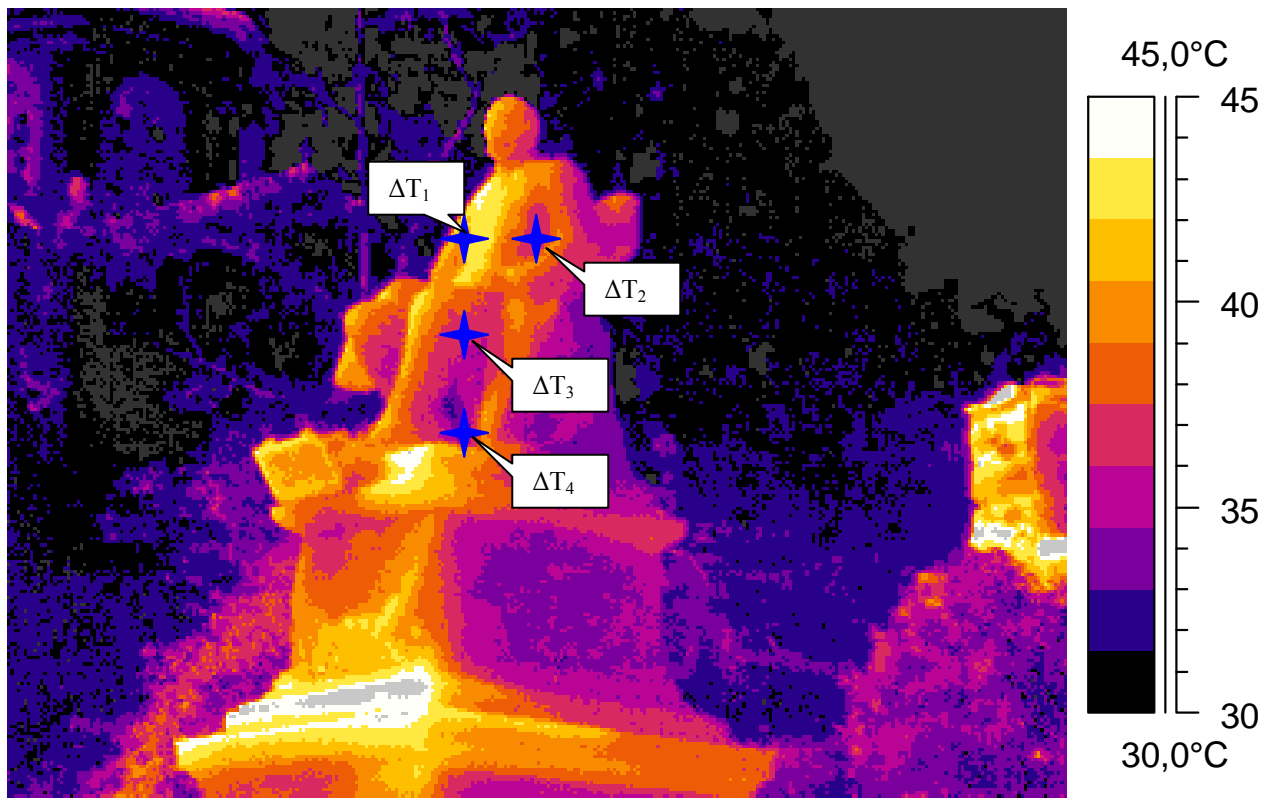
$$\Delta T_4 = 4,50 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ cm} \quad \rightarrow 0,45 \text{ }^\circ\text{C/cm}$$



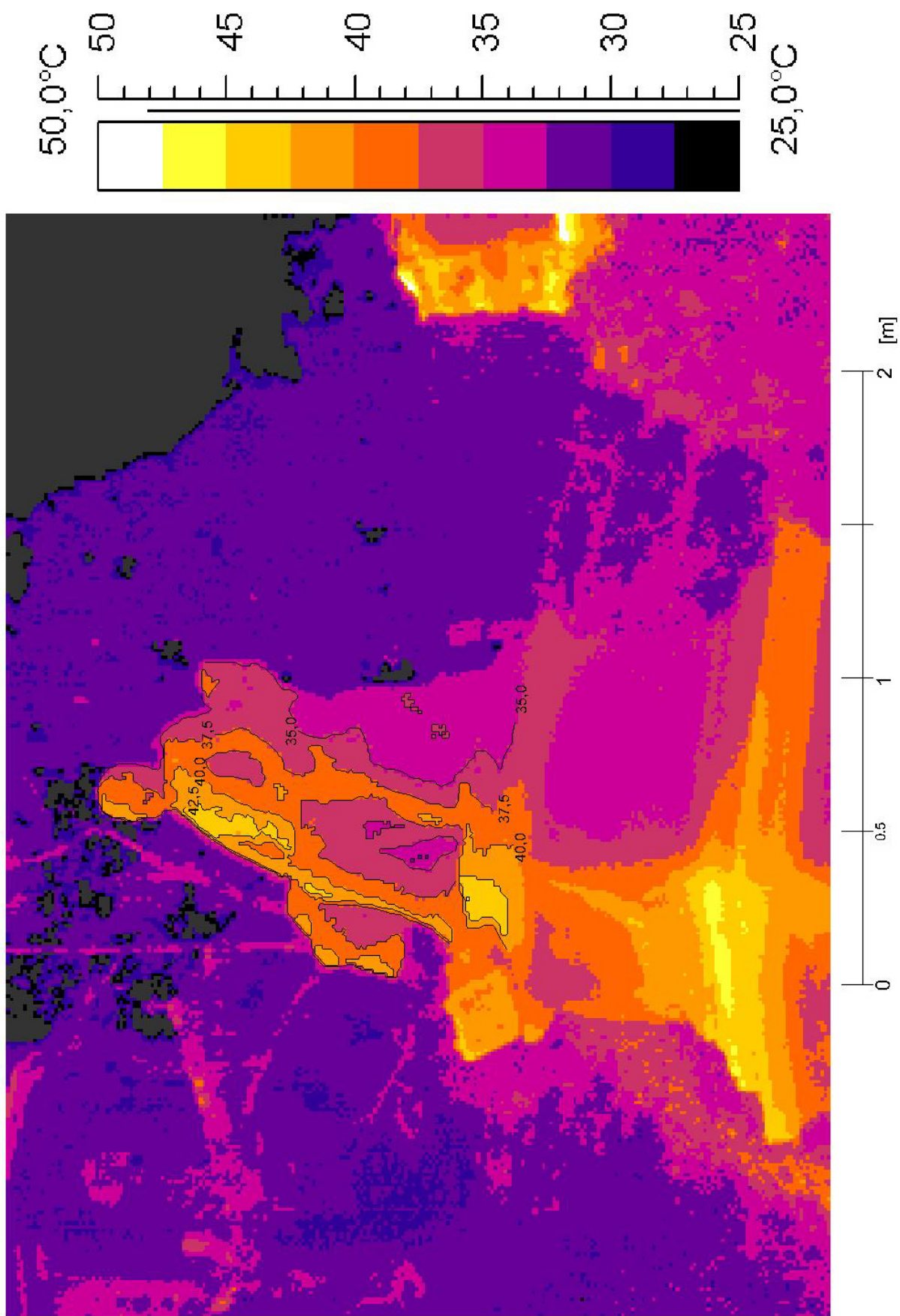
$$\Delta T_3 = 6,00 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \quad \rightarrow 1,20 \text{ }^\circ\text{C/cm}$$

$$\Delta T_4 = 6,25 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \quad \rightarrow 1,25 \text{ }^\circ\text{C/cm}$$

Εικόνα 5.6.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών



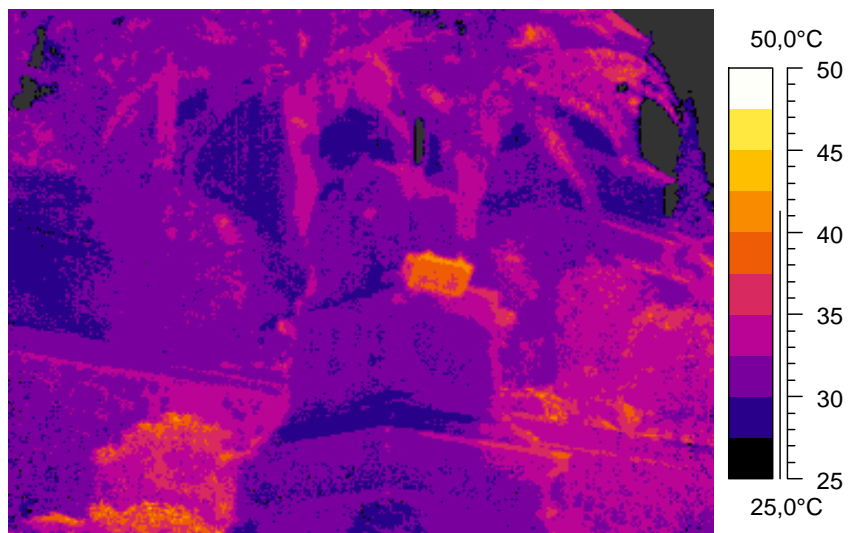
Εικόνα 5.7.: Θέσεις μεγίστων διαφορών



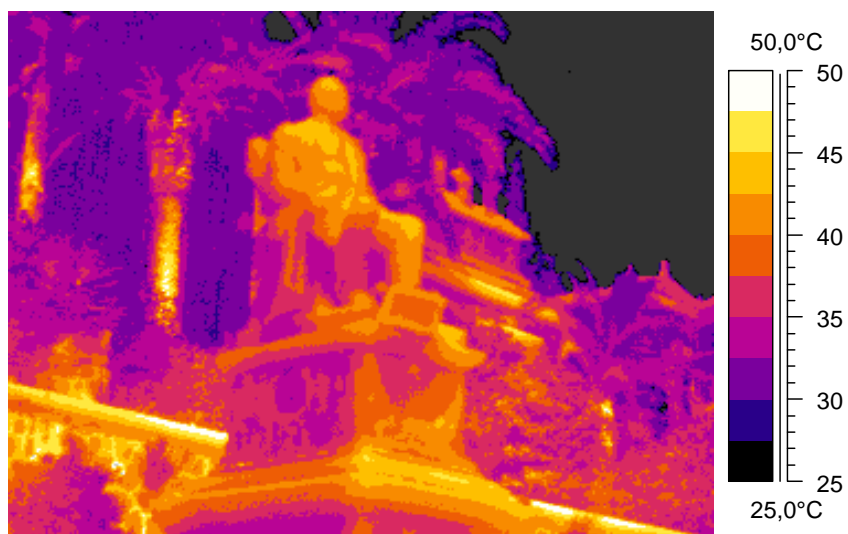
Εικόνα 5.8.: Ισοθερμικές κομπύλες



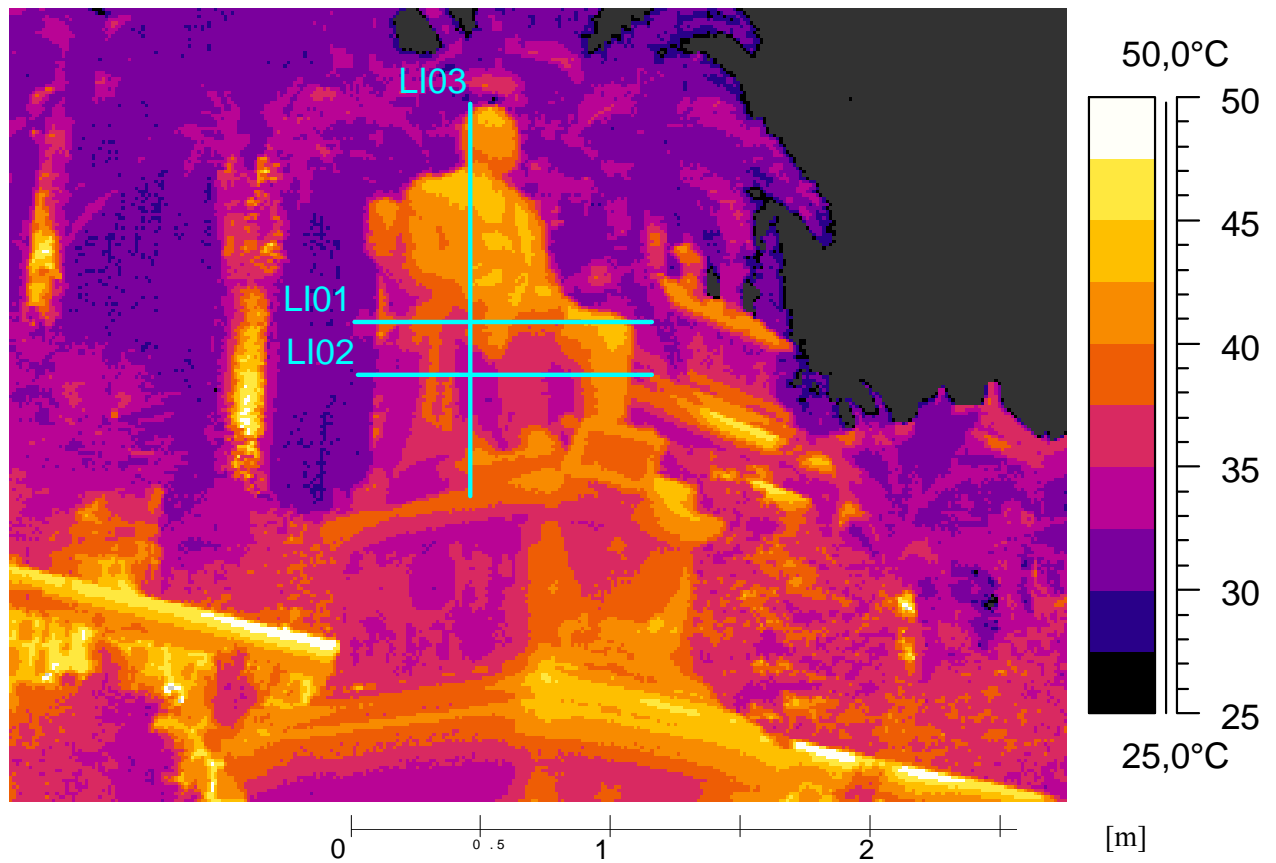
Εικόνα 5.9.: Πλάγια όψη



Εικόνα 5.10.: Θερμογράφημα (1-7-2003, ώρα 10:00)

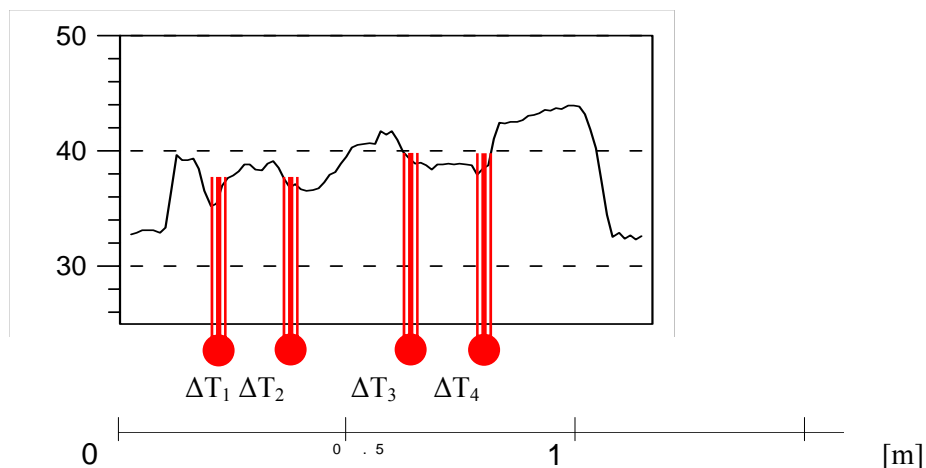


Εικόνα 5.11.: Θερμογράφημα (1-7-2003, ώρα 15:00)



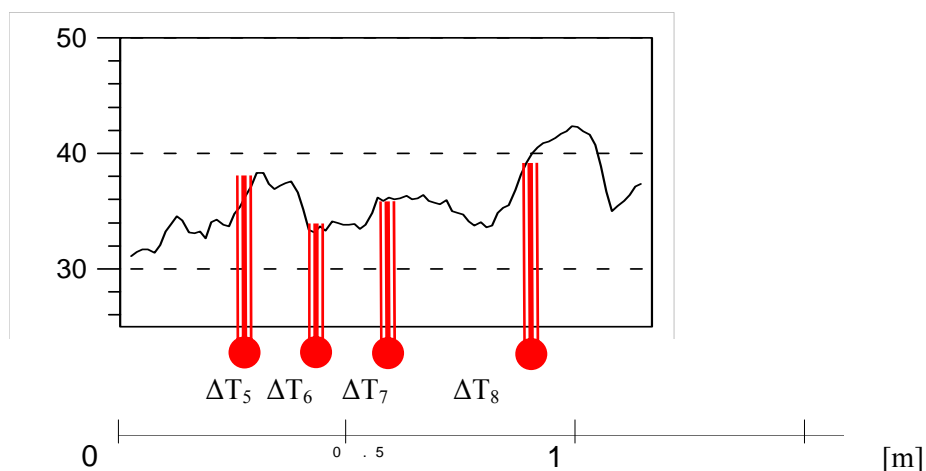
Εικόνα 5.12.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 1-7-03 ώρα 15:00.
Ακραίες τιμές

LI01



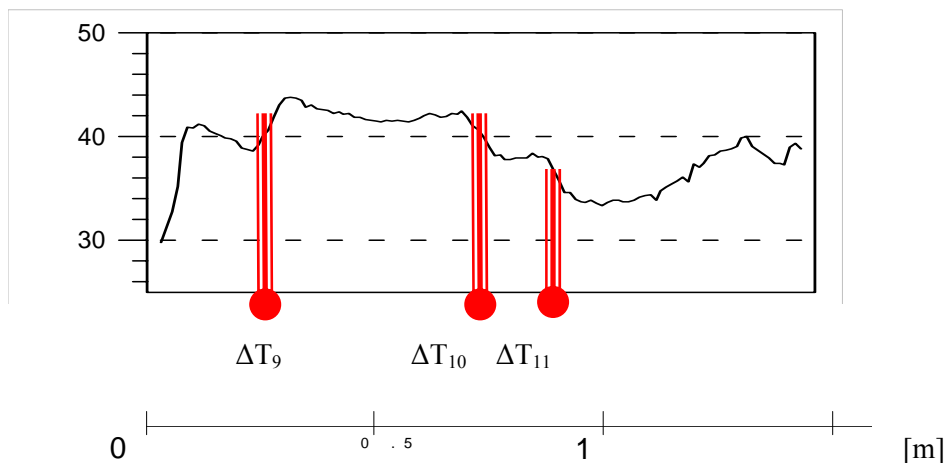
$$\begin{array}{llll} \Delta T_1 = 5,75 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} & \rightarrow 1,15 \text{ }^\circ\text{C/cm} & \Delta T_3 = 5,25 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ cm} & \rightarrow 0,52 \text{ }^\circ\text{C/cm} \\ \Delta T_2 = 4,75 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ cm} & \rightarrow 0,47 \text{ }^\circ\text{C/cm} & \Delta T_4 = 6,25 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} & \rightarrow 1,25 \text{ }^\circ\text{C/cm} \end{array}$$

LI02



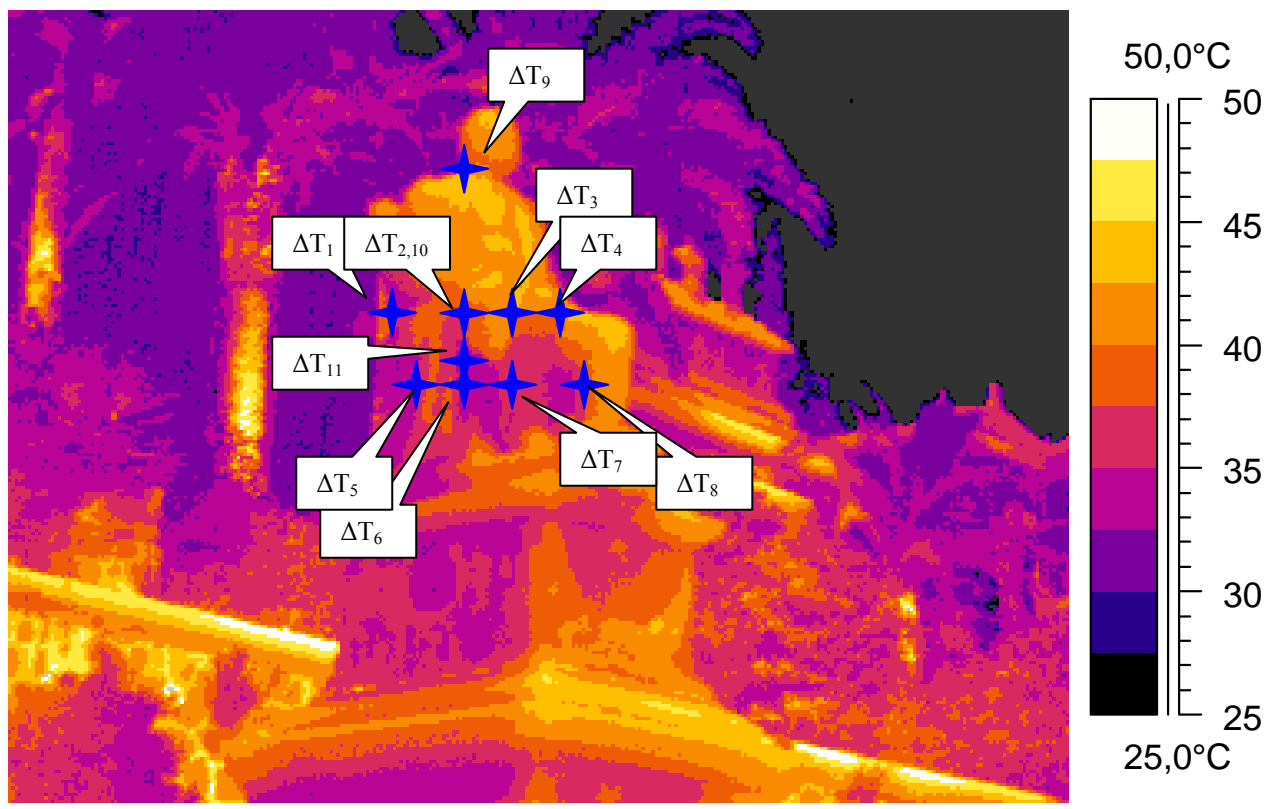
$$\begin{array}{llll} \Delta T_5 = 7,50 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ cm} & \rightarrow 0,75 \text{ }^\circ\text{C/cm} & \Delta T_7 = 4,00 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} & \rightarrow 0,80 \text{ }^\circ\text{C/cm} \\ \Delta T_6 = 6,25 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} & \rightarrow 1,25 \text{ }^\circ\text{C/cm} & \Delta T_8 = 5,50 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ cm} & \rightarrow 0,55 \text{ }^\circ\text{C/cm} \end{array}$$

LI03

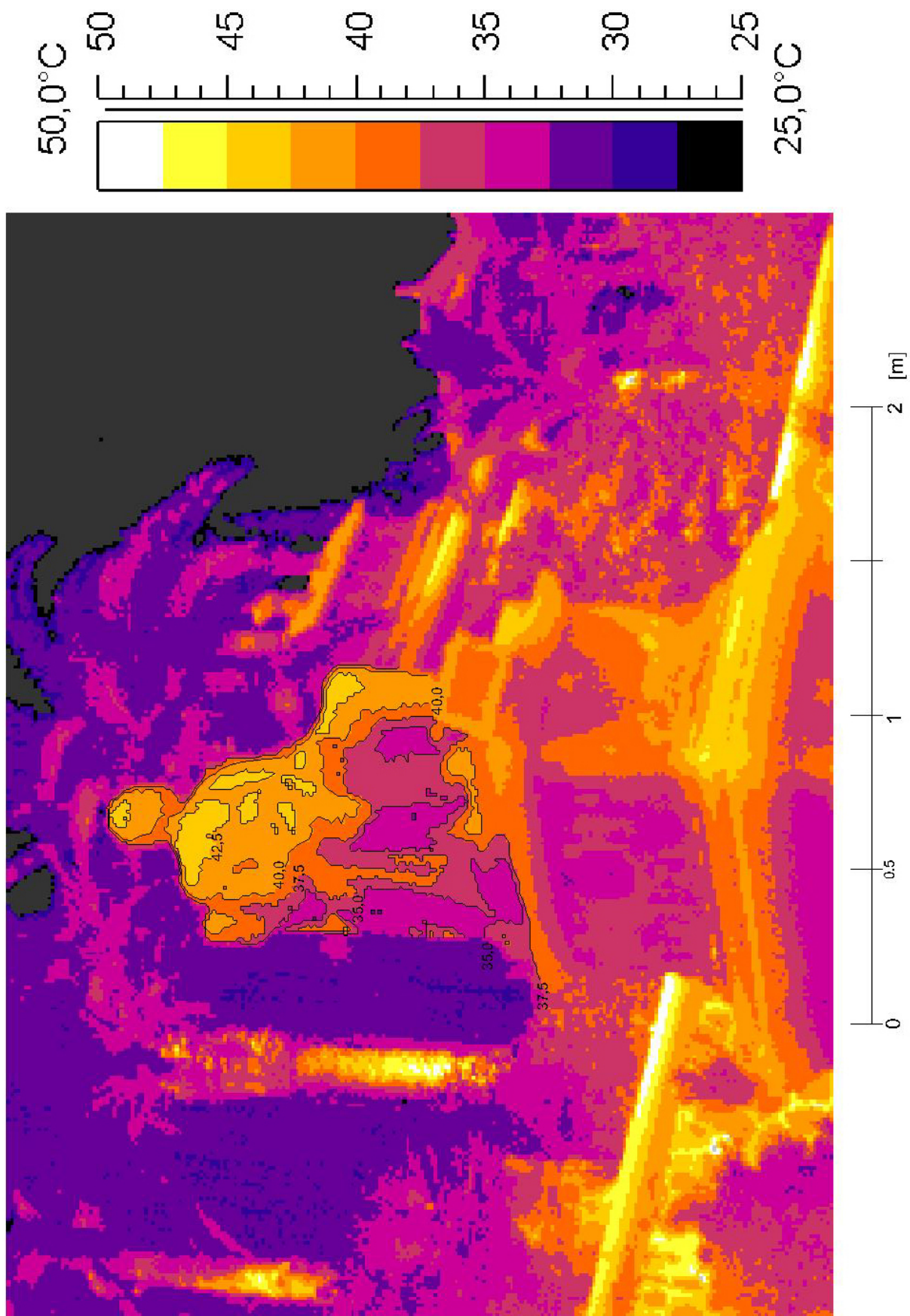


$$\begin{array}{llll} \Delta T_9 = 5,00 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ cm} & \rightarrow 0,50 \text{ }^\circ\text{C/cm} & \Delta T_{11} = 6,00 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} & \rightarrow 1,20 \text{ }^\circ\text{C/cm} \\ \Delta T_{10} = 4,75 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ cm} & \rightarrow 0,95 \text{ }^\circ\text{C/cm} & & \end{array}$$

Εικόνα 5.13.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών



Εικόνα 5.14.: Θέσεις μεγίστων διαφορών



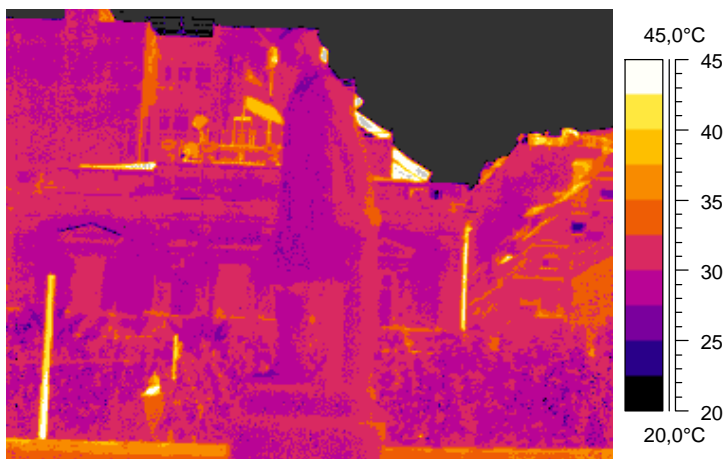
Εικόνα 5.15.: Ισοθερμικές καμπύλες

6 Ανδριάντας (Ε. Βενιζέλου) Αθήνα

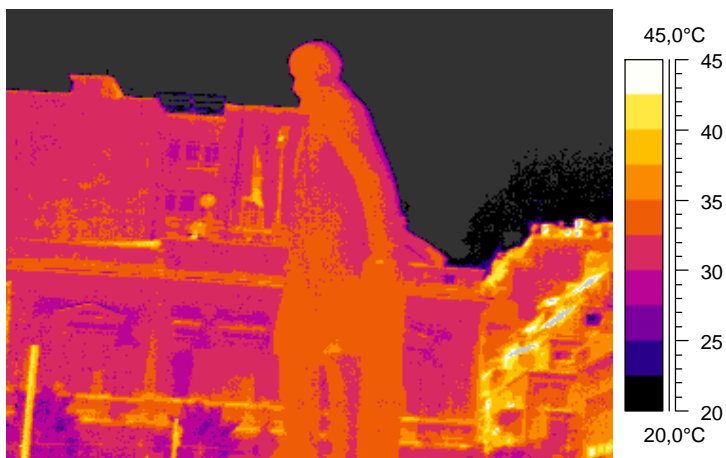
Υλικό: μάρμαρο



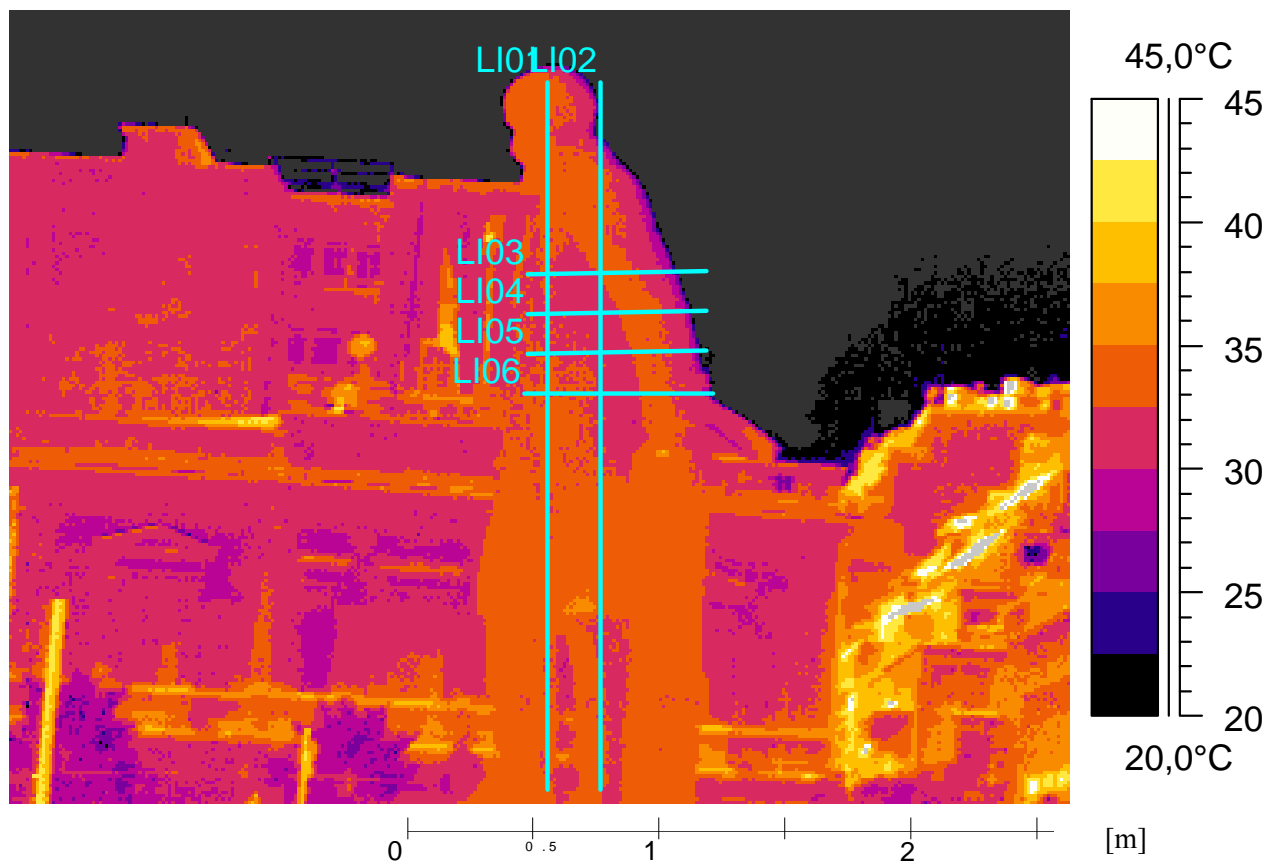
Εικόνα 6.1.: Πλάγια όψη



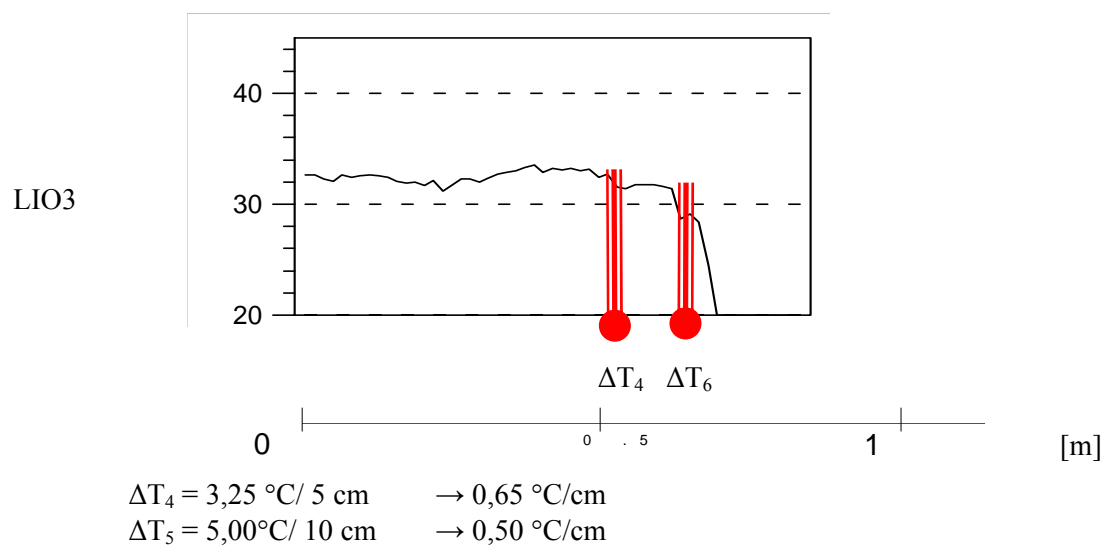
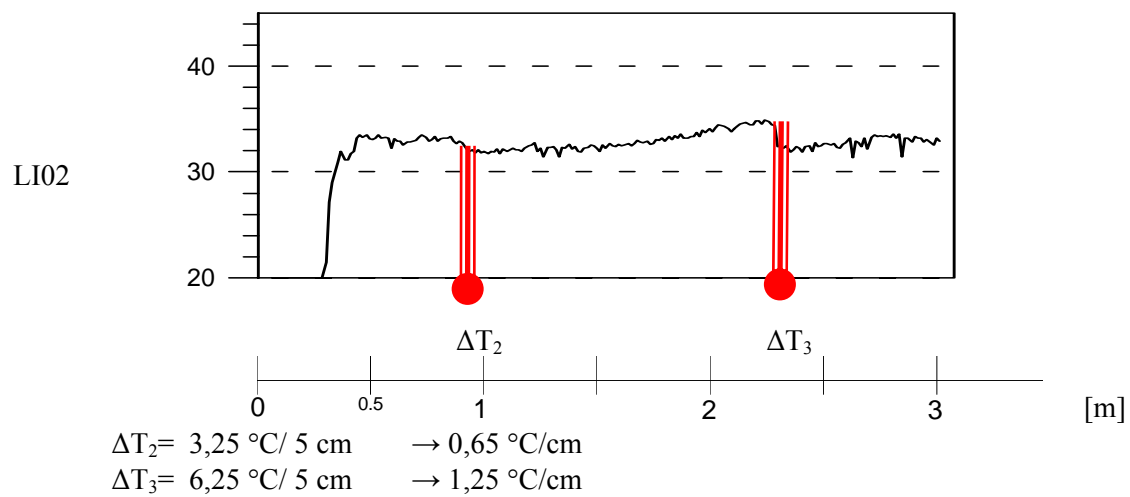
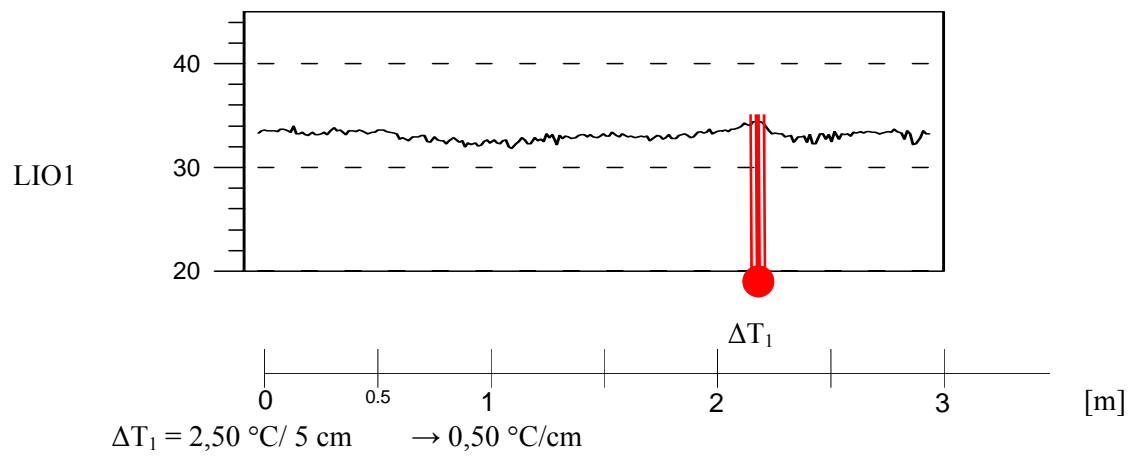
Εικόνα 6.2.: Θερμογράφημα (2-7-2003, ώρα 10:00)



Εικόνα 6.3.: Θερμογράφημα (2-7-2003, ώρα 15:00)

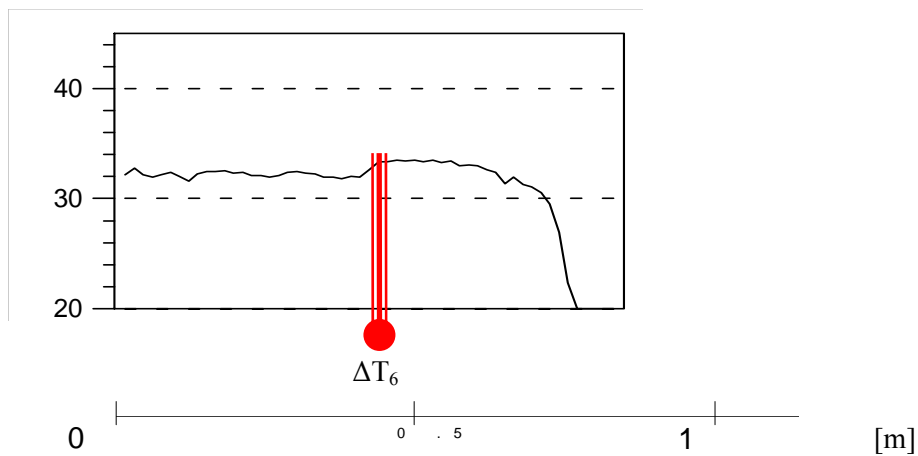


Εικόνα 6.4.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 2-7-03 ώρα 15:00.
Ακραίες τιμές



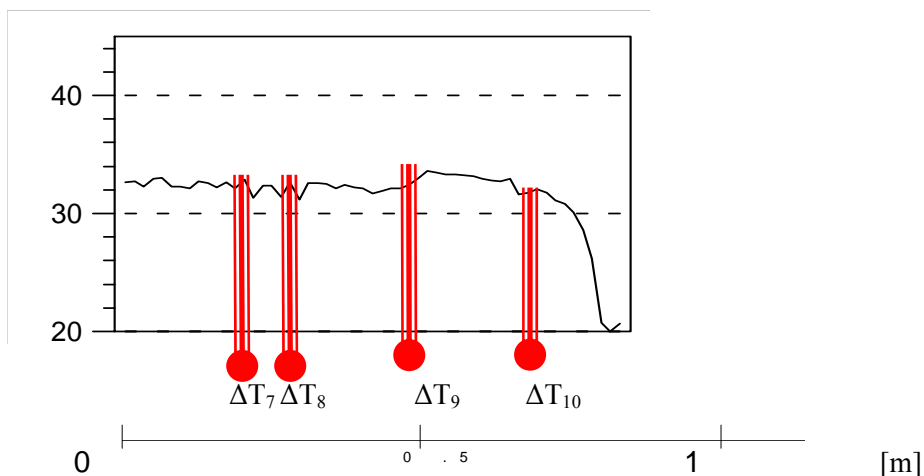
Εικόνα 6.5.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών

LI04



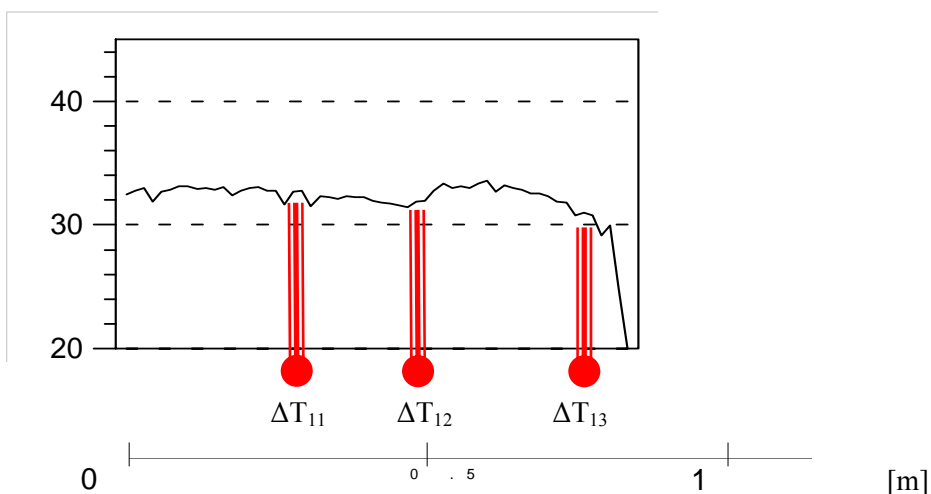
$\Delta T_6 = 2,25 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 0,45 \text{ }^\circ\text{C}/\text{cm}$

LI05



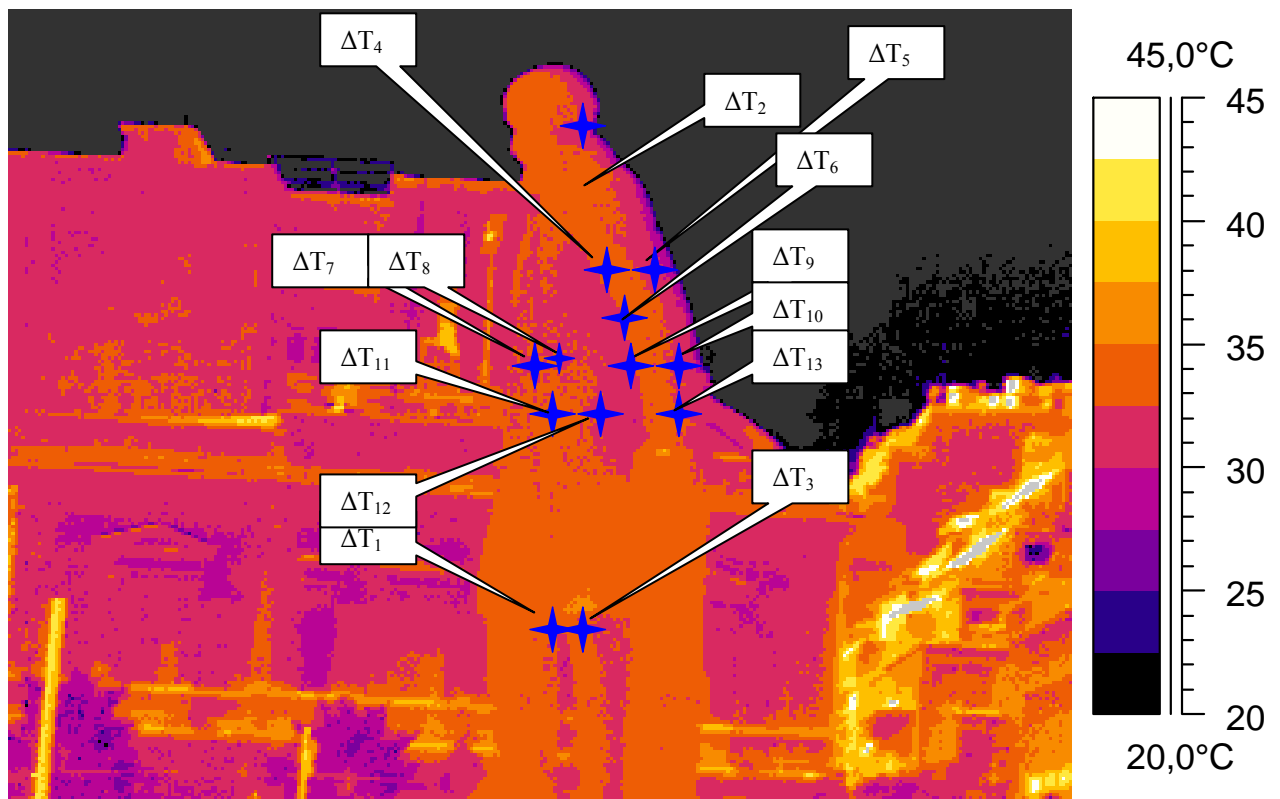
$\Delta T_7 = 2,50 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 0,5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{cm}$ $\Delta T_9 = 3,00 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ cm} \rightarrow 0,30 \text{ }^\circ\text{C}/\text{cm}$
 $\Delta T_8 = 2,50 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 0,5 \text{ }^\circ\text{C}/\text{cm}$ $\Delta T_{10} = 2,25 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 0,45 \text{ }^\circ\text{C}/\text{cm}$

LI06

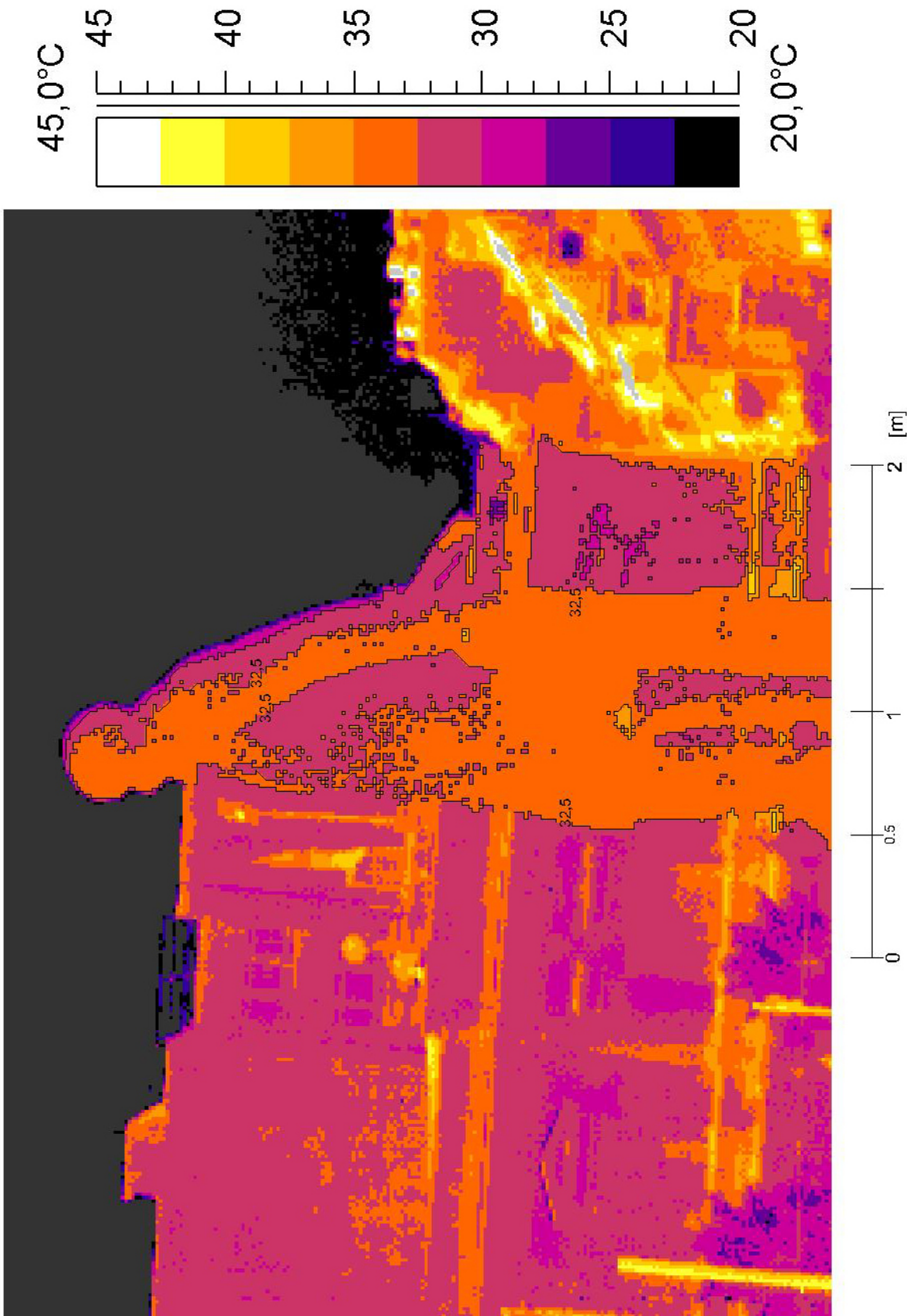


$\Delta T_{11} = 2,00 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 0,40 \text{ }^\circ\text{C}/\text{cm}$ $\Delta T_{13} = 4,00 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 0,80 \text{ }^\circ\text{C}/\text{cm}$
 $\Delta T_{12} = 3,25 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 0,65 \text{ }^\circ\text{C}/\text{cm}$

Εικόνα 6.6.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών



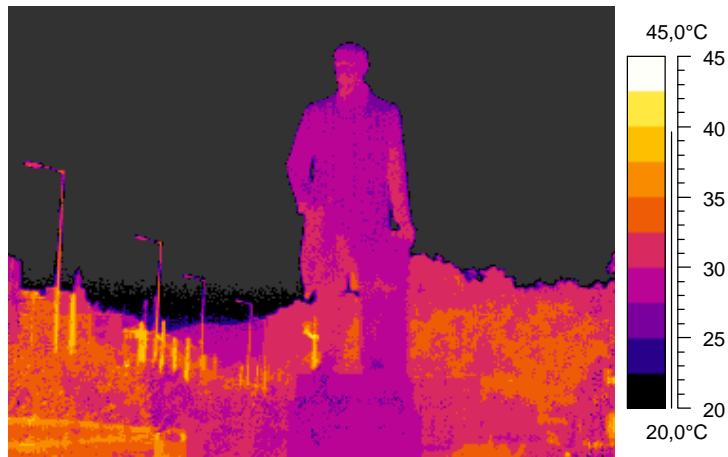
Εικόνα 6.7.: Θέσεις μεγίστων διαφορών



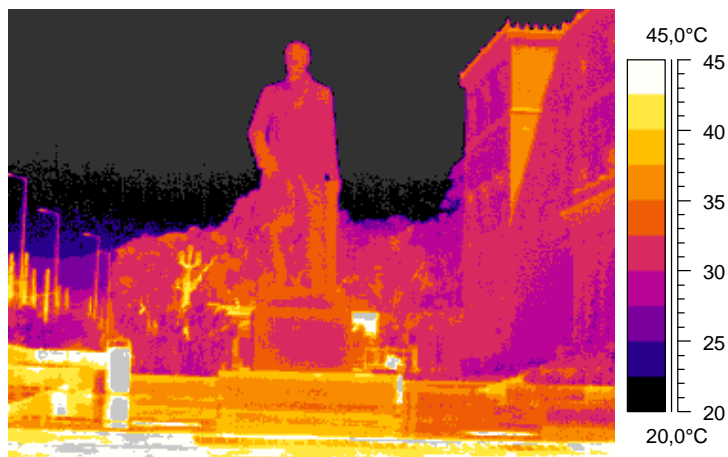
Εικόνα 6.8.: Ισοθερμικές καμπύλες



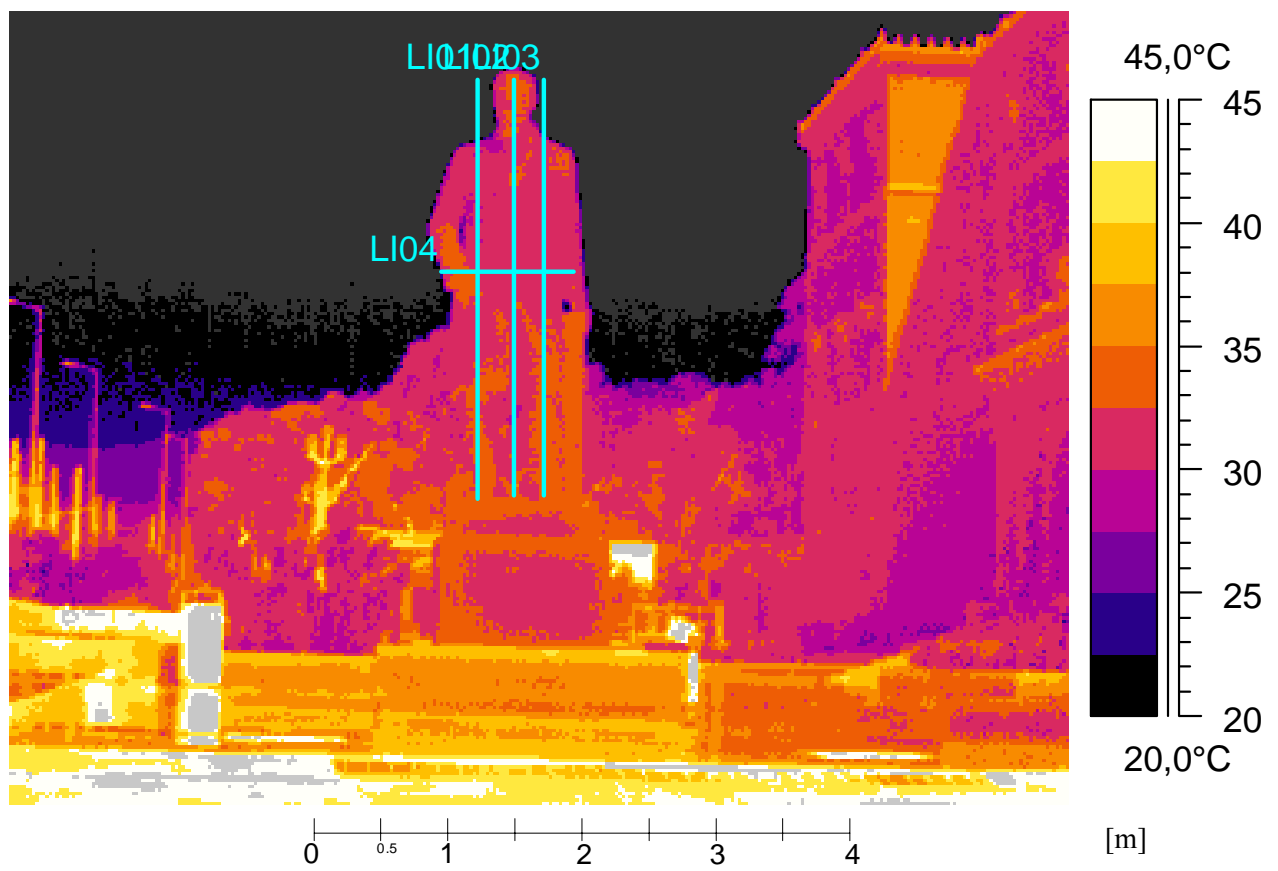
Εικόνα 6.9.: Πρόσθια όψη



Εικόνα 6.10.: Θερμογράφημα (2-7-2003, ώρα 10:00)

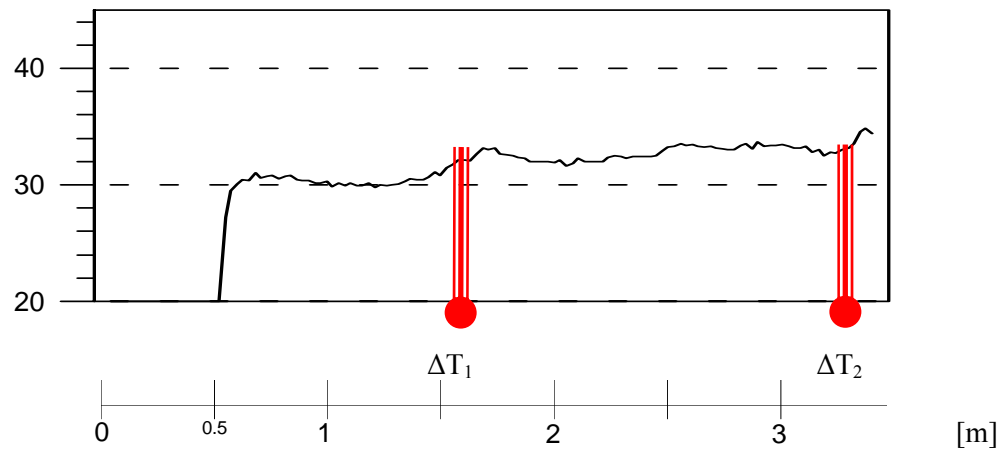


Εικόνα 6.11.: Θερμογράφημα (2-7-2003, ώρα 15:00)



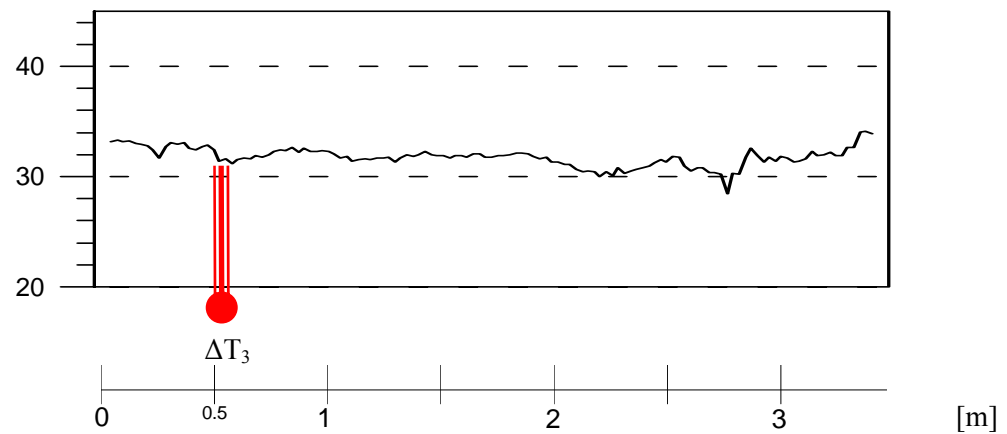
Εικόνα 6.12.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 2-7-03 ώρα 15:00.
Ακραίες τιμές

LI01



$$\Delta T_1 = 3,00 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad 0,60 \text{ }^\circ\text{C/cm}$$
$$\Delta T_2 = 3,25 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad 0,32 \text{ }^\circ\text{C/cm}$$

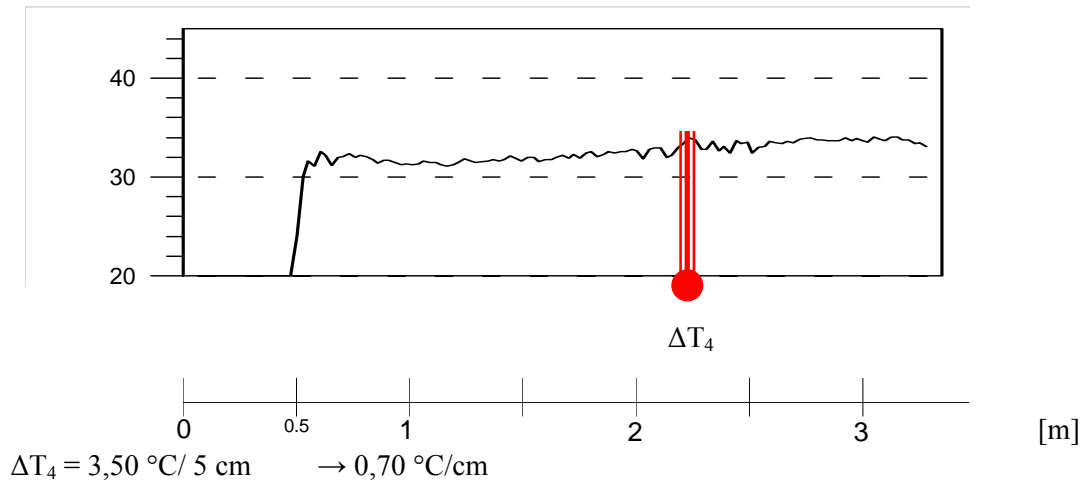
LI02



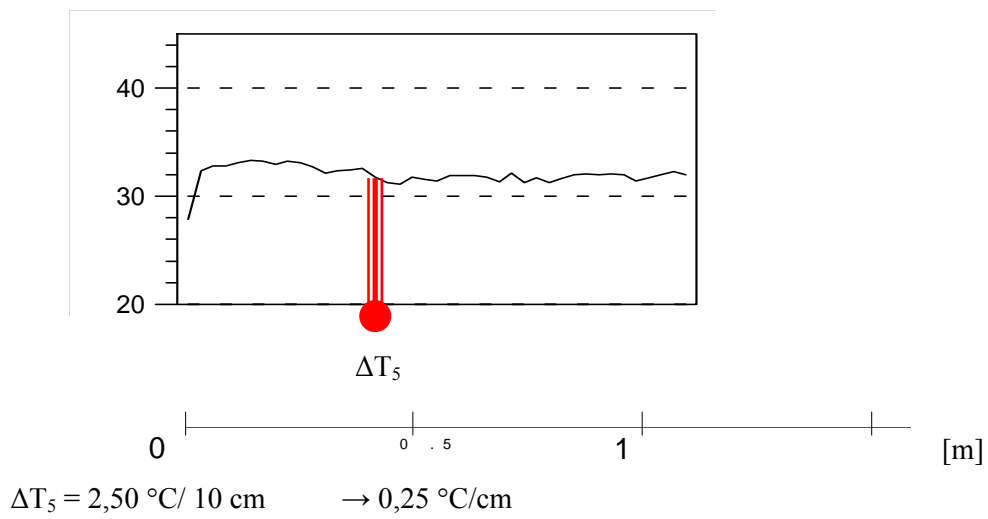
$$\Delta T_3 = 2,00 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad 0,40 \text{ }^\circ\text{C/cm}$$

Εικόνα 6.13.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών

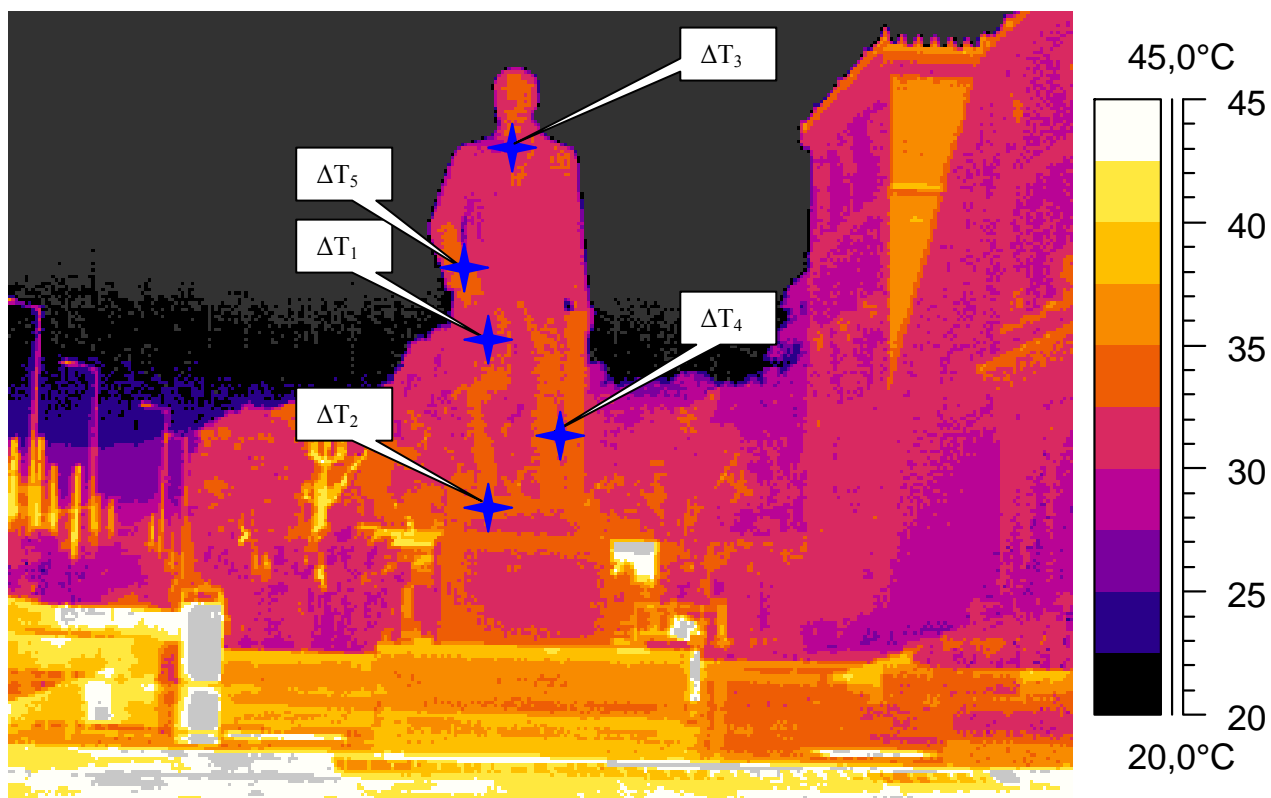
LI03



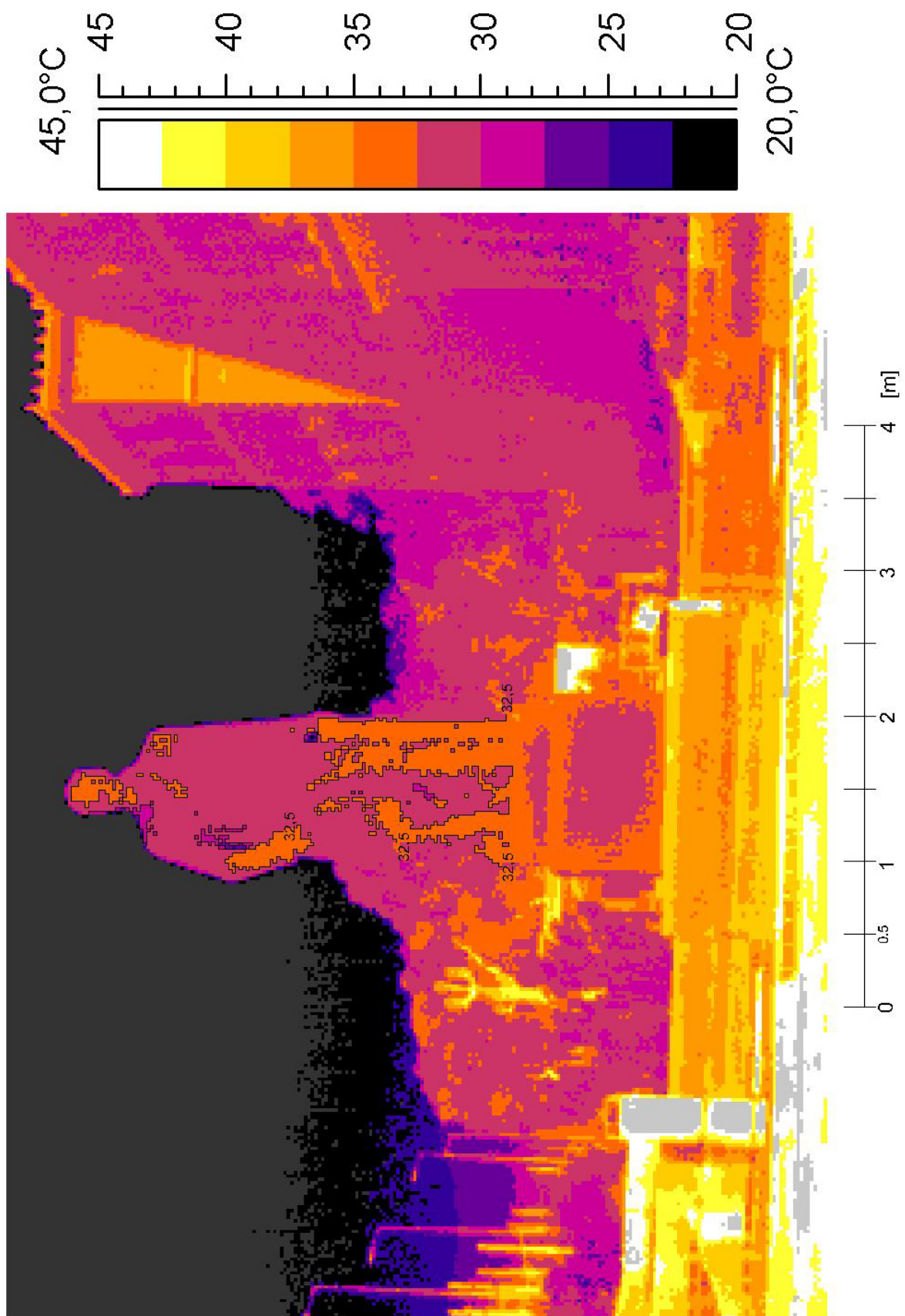
LI04



Εικόνα 6.14.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών



Εικόνα 6.15.: Θέσεις μεγίστων διαφορών



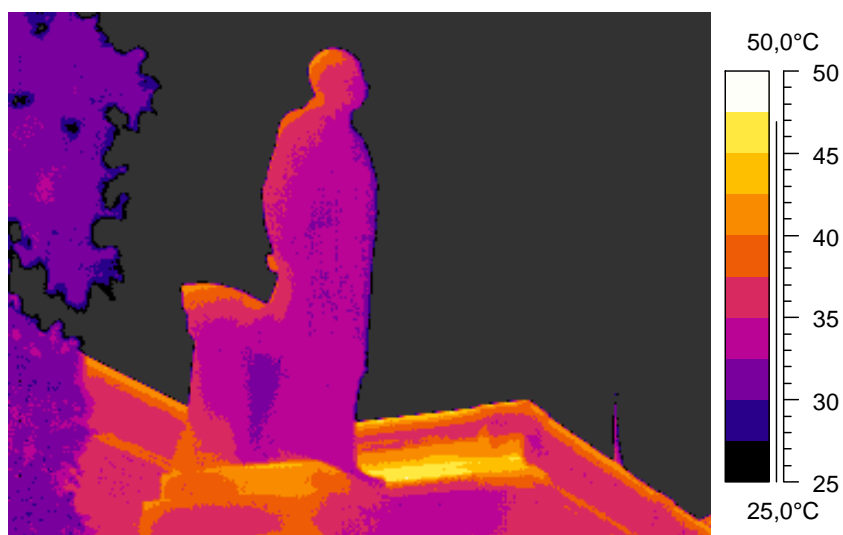
Εικόνα 6.16.: Ισοθερμικές καμπύλες

7 Ανδριάντας (Χ. Τρικούπη) Αθήνα

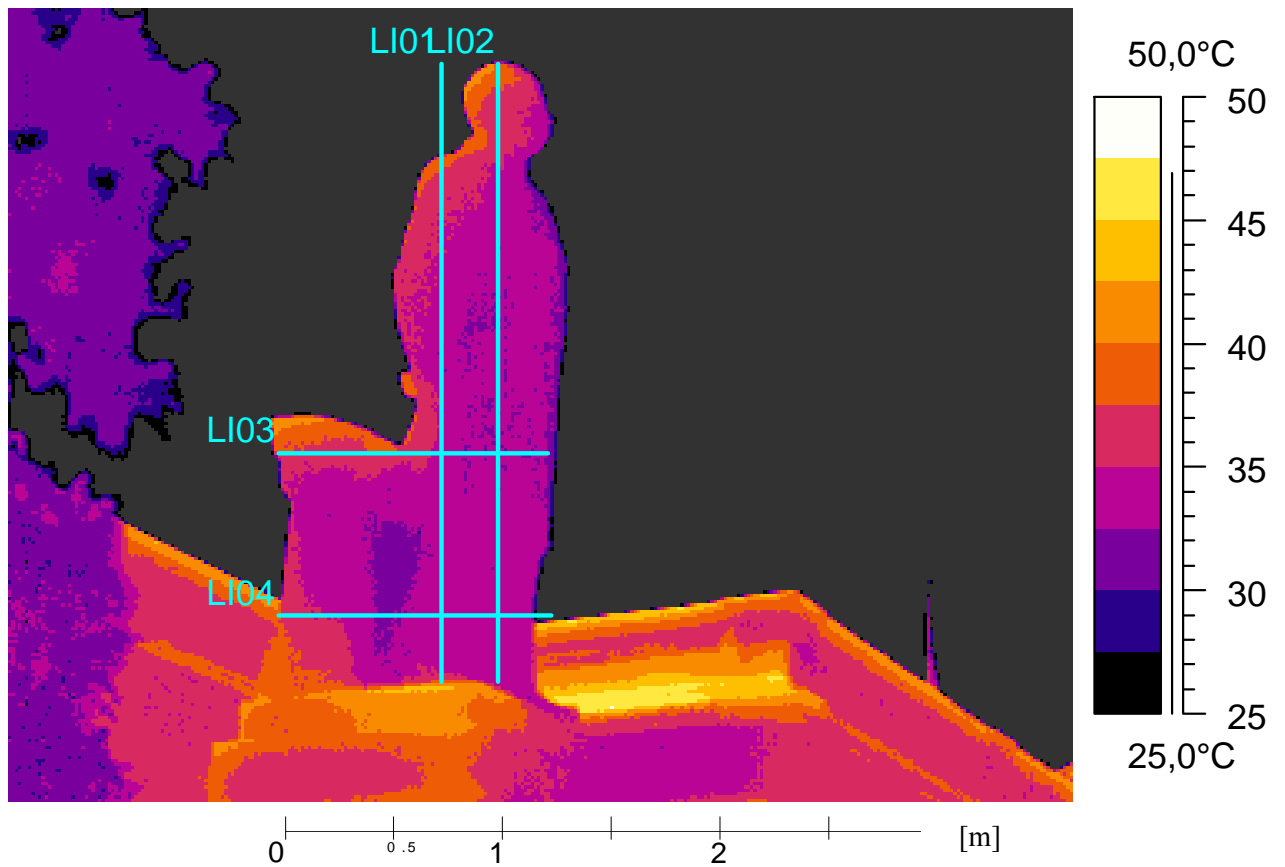
Υλικό: Μάρμαρο



Εικόνα 7.1.: Πλάγια όψη

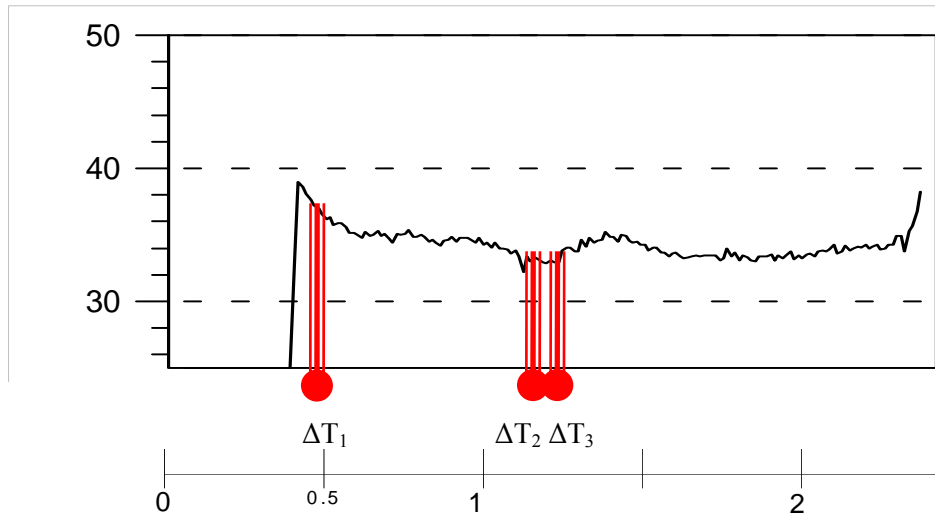


Εικόνα 7.2.: Θερμογράφημα (5-7-2003, ώρα 15:00)



Εικόνα 7.3.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 5-7-03 ώρα 15:00.
Ακραίες τιμές

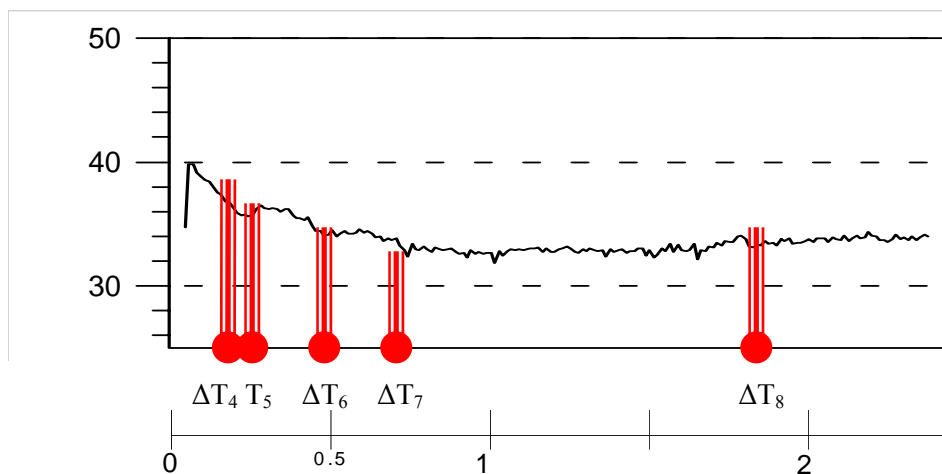
LIO1



$\Delta T_1 = 6,25 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 1,25 \text{ }^\circ\text{C/cm}$ $\Delta T_3 = 2,25 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 0,45 \text{ }^\circ\text{C/cm}$
 $\Delta T_2 = 2,50 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 0,50 \text{ }^\circ\text{C/cm}$

[m]

LIO2

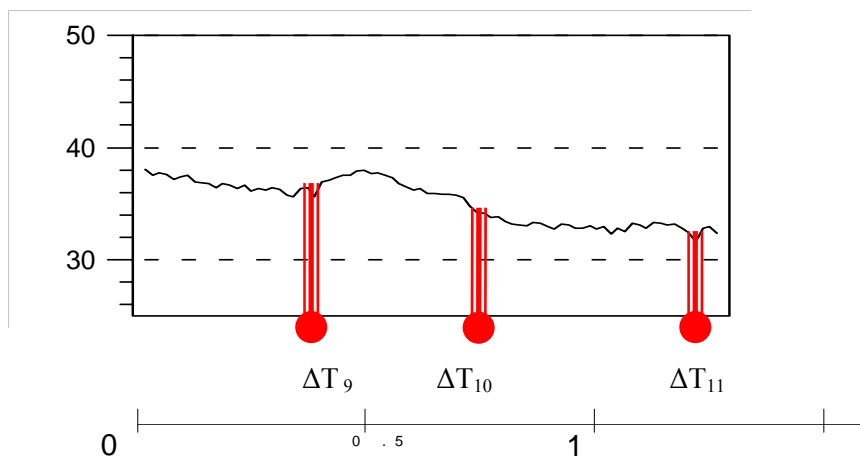


$\Delta T_4 = 6,25 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 1,25 \text{ }^\circ\text{C/cm}$ $\Delta T_7 = 2,25 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 0,45 \text{ }^\circ\text{C/cm}$
 $\Delta T_5 = 3,75 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 0,75 \text{ }^\circ\text{C/cm}$ $\Delta T_8 = 3,00 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 0,60 \text{ }^\circ\text{C/cm}$
 $\Delta T_6 = 2,00 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \rightarrow 0,40 \text{ }^\circ\text{C/cm}$

[m]

Εικόνα 7.4.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών

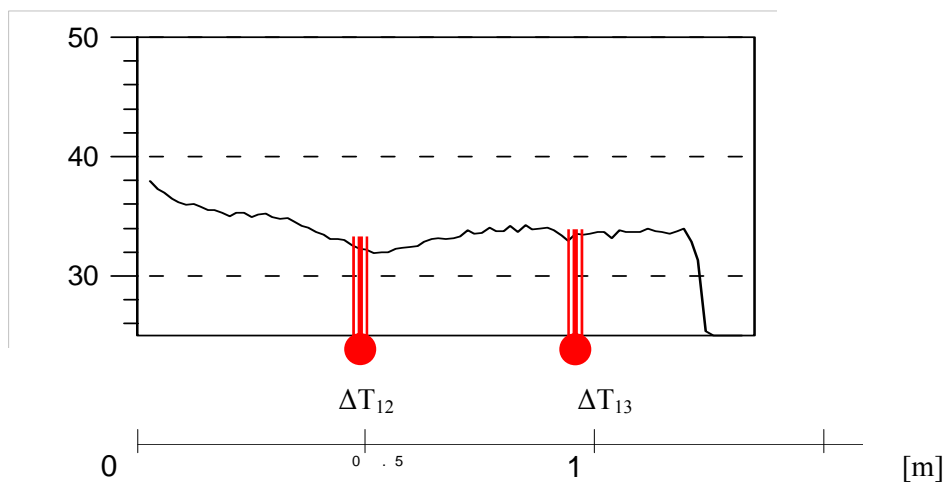
LI03



$$\Delta T_9 = 3,75 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad 0,75 \text{ }^\circ\text{C/cm} \quad \Delta T_{11} = 3,50 \text{ }^\circ\text{C} / 5 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad 0,70 \text{ }^\circ\text{C/cm}$$

$$\Delta T_{10} = 5,75 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad 0,57 \text{ }^\circ\text{C/cm}$$

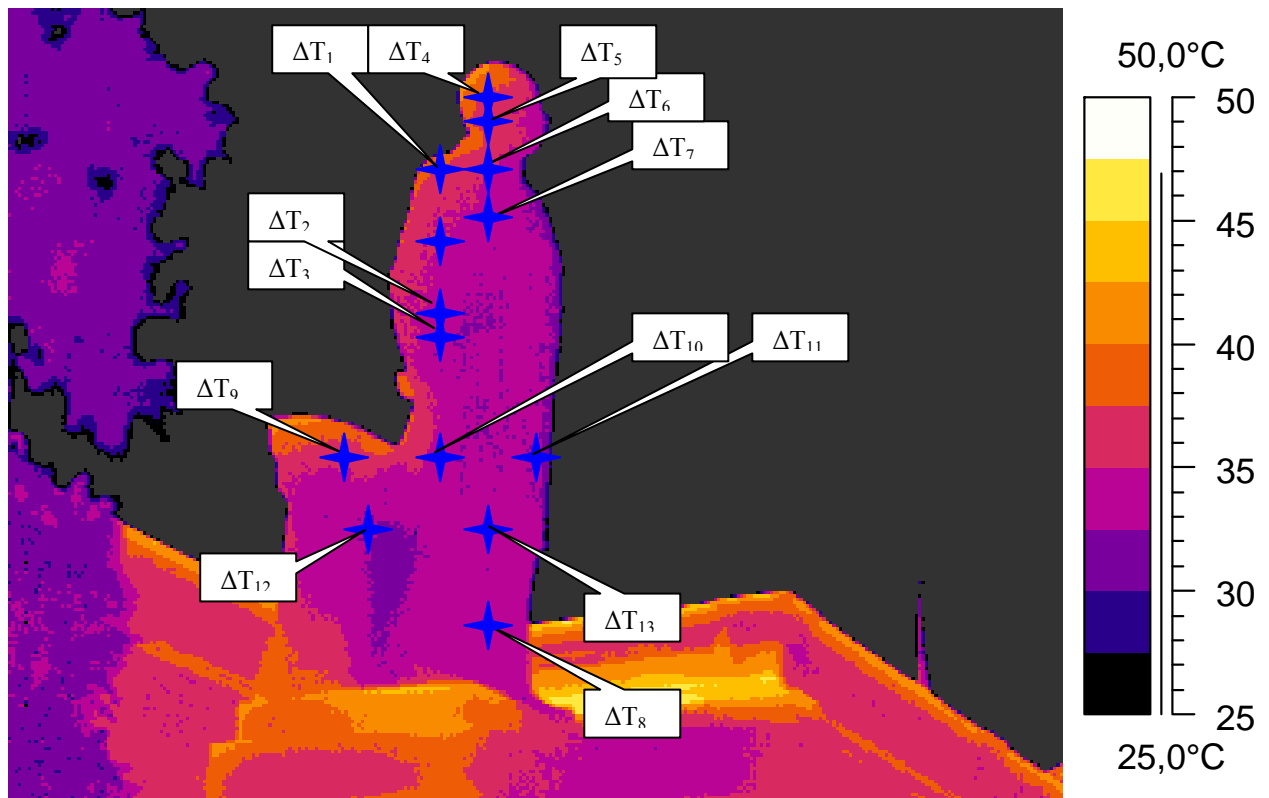
LI04



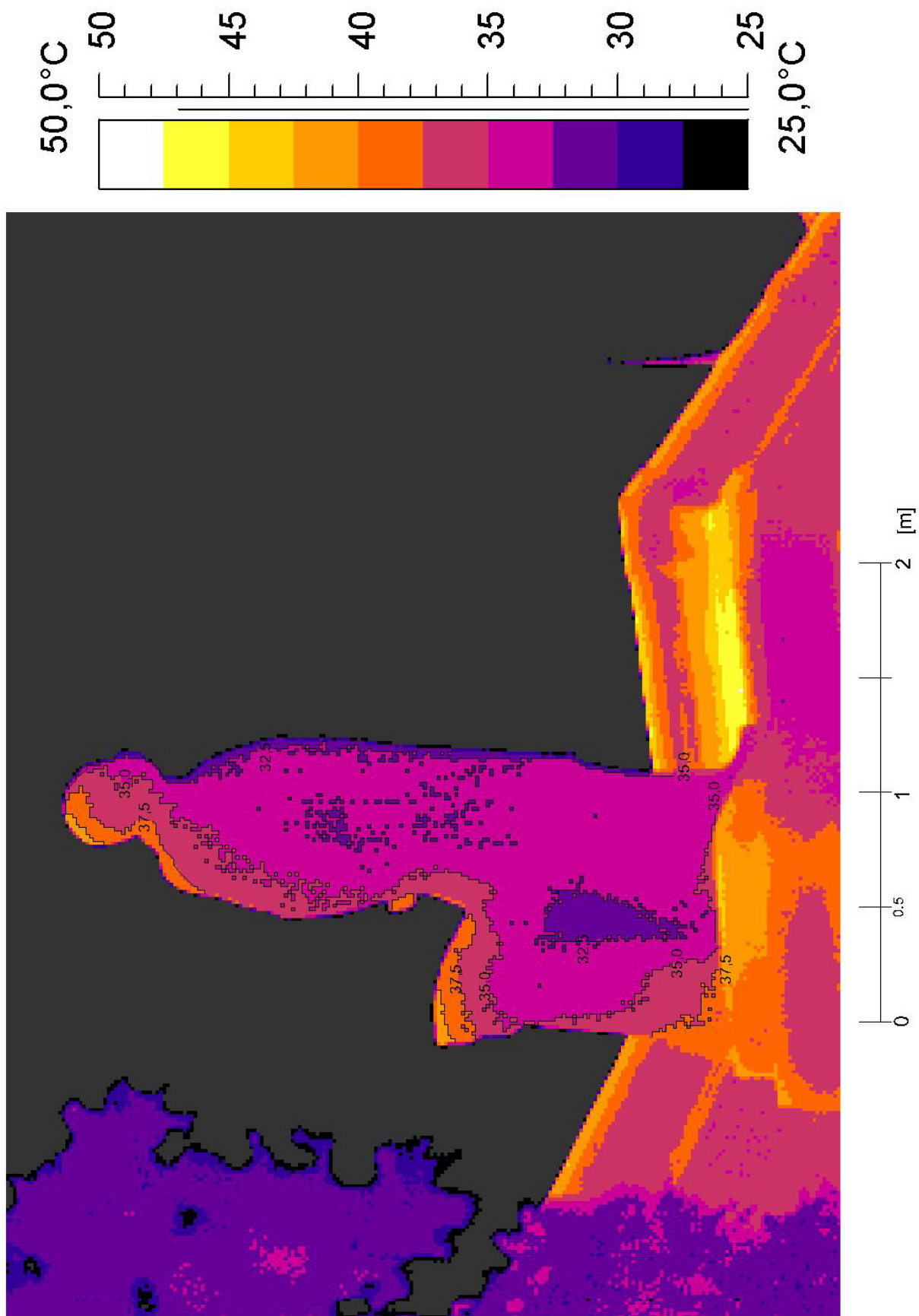
$$\Delta T_{12} = 4,50 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad 0,45 \text{ }^\circ\text{C/cm}$$

$$\Delta T_{13} = 4,75 \text{ }^\circ\text{C} / 10 \text{ cm} \quad \rightarrow \quad 0,47 \text{ }^\circ\text{C/cm}$$

Εικόνα 7.5.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών



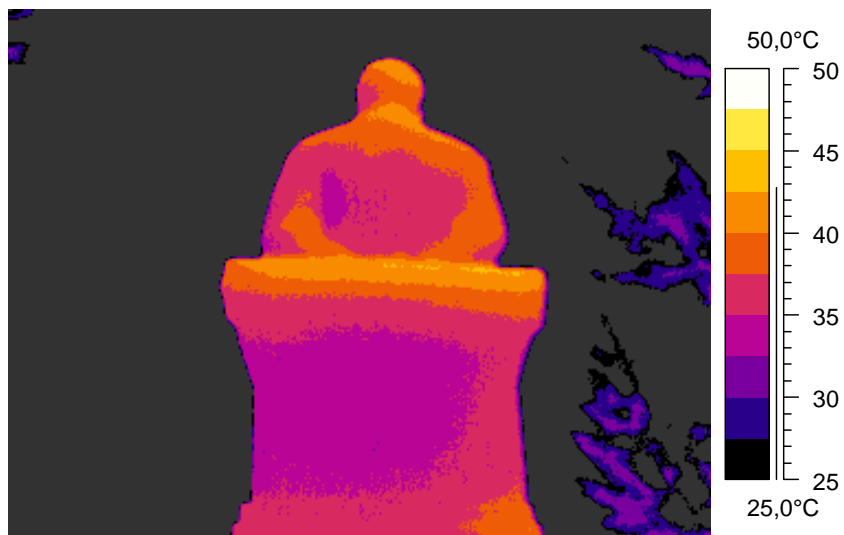
Εικόνα 7.6.: Θέσεις μέγιστων διαφορών



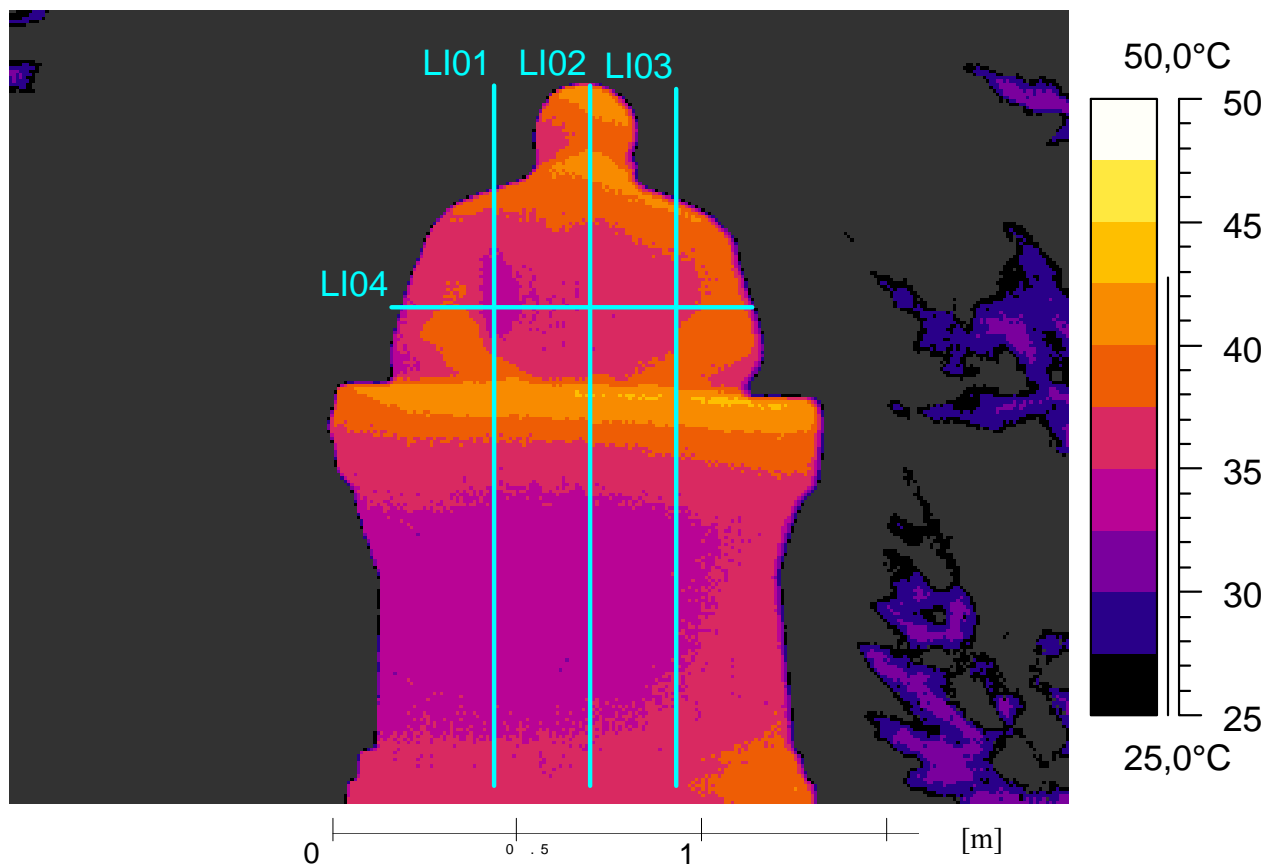
Εικόνα 7.7.: Ισοθερμικές καμπύλες



Εικόνα 7.8.: Οπίσθια όψη

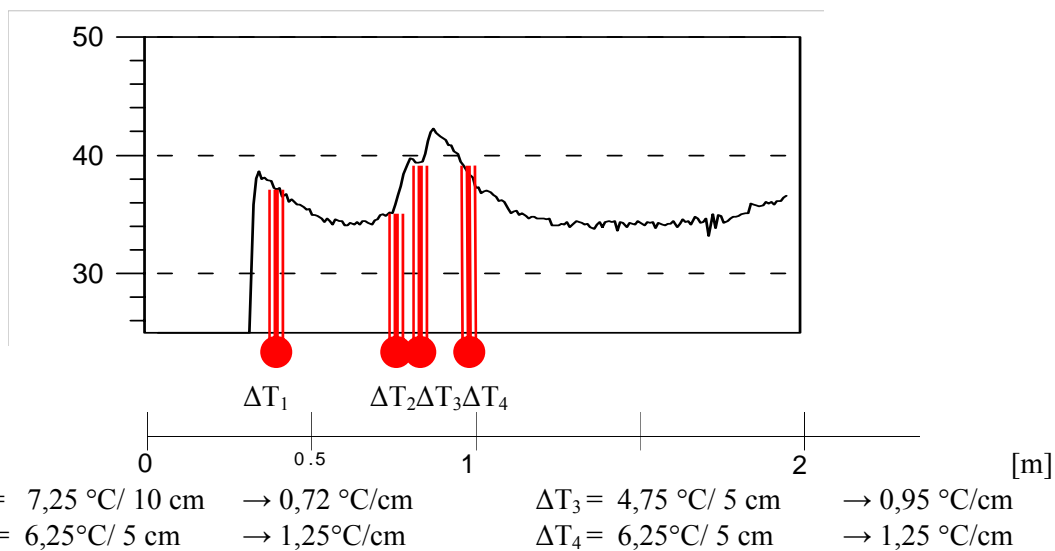


Εικόνα 7.9.: Θερμογράφημα (5-7-2003, ώρα 15:00)

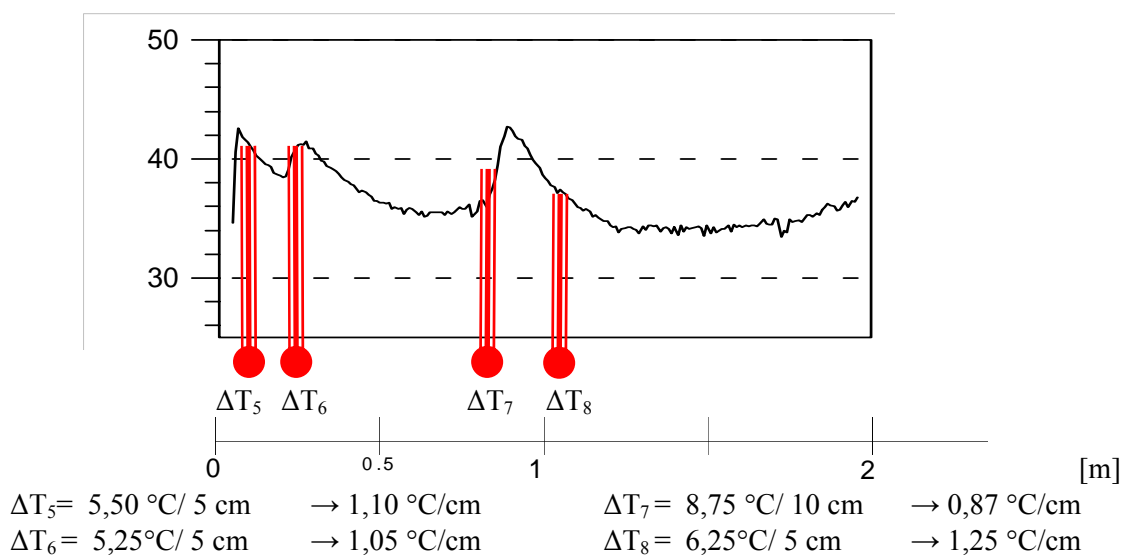


Εικόνα 7.10.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 5-7-03 ώρα 15:00.
Ακραίες τιμές

LIO1

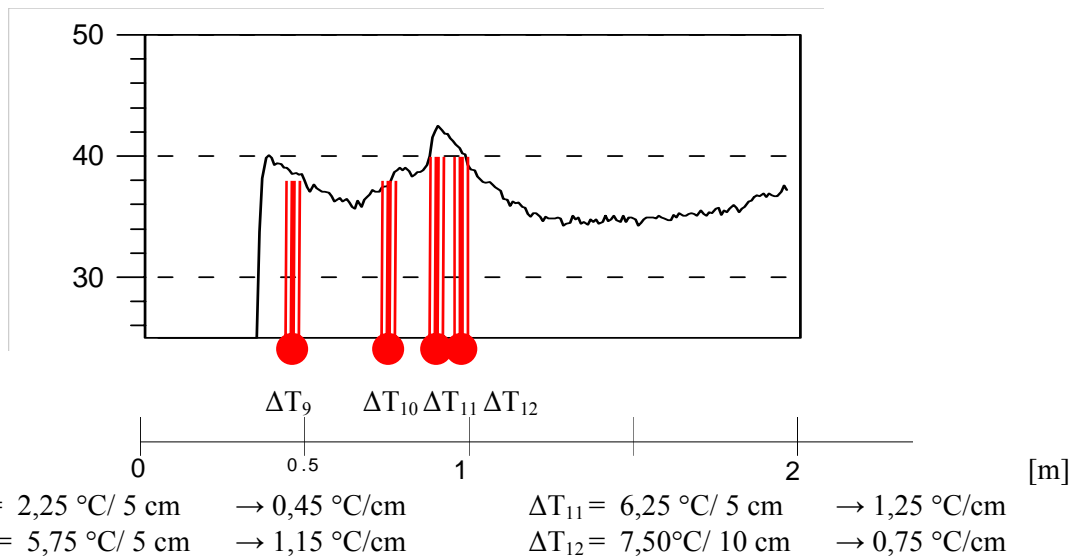


LIO2

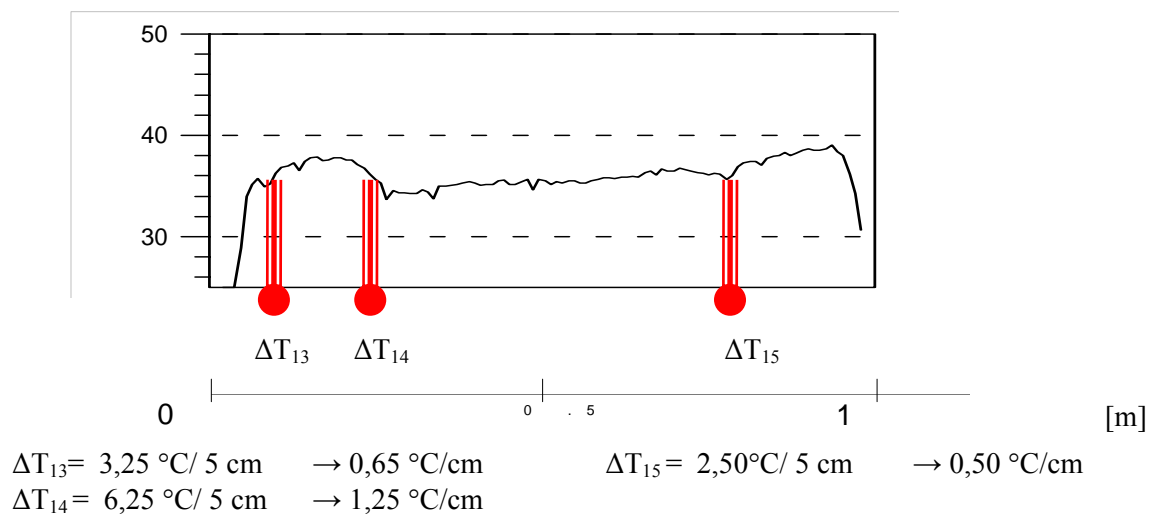


Εικόνα 7.11.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών

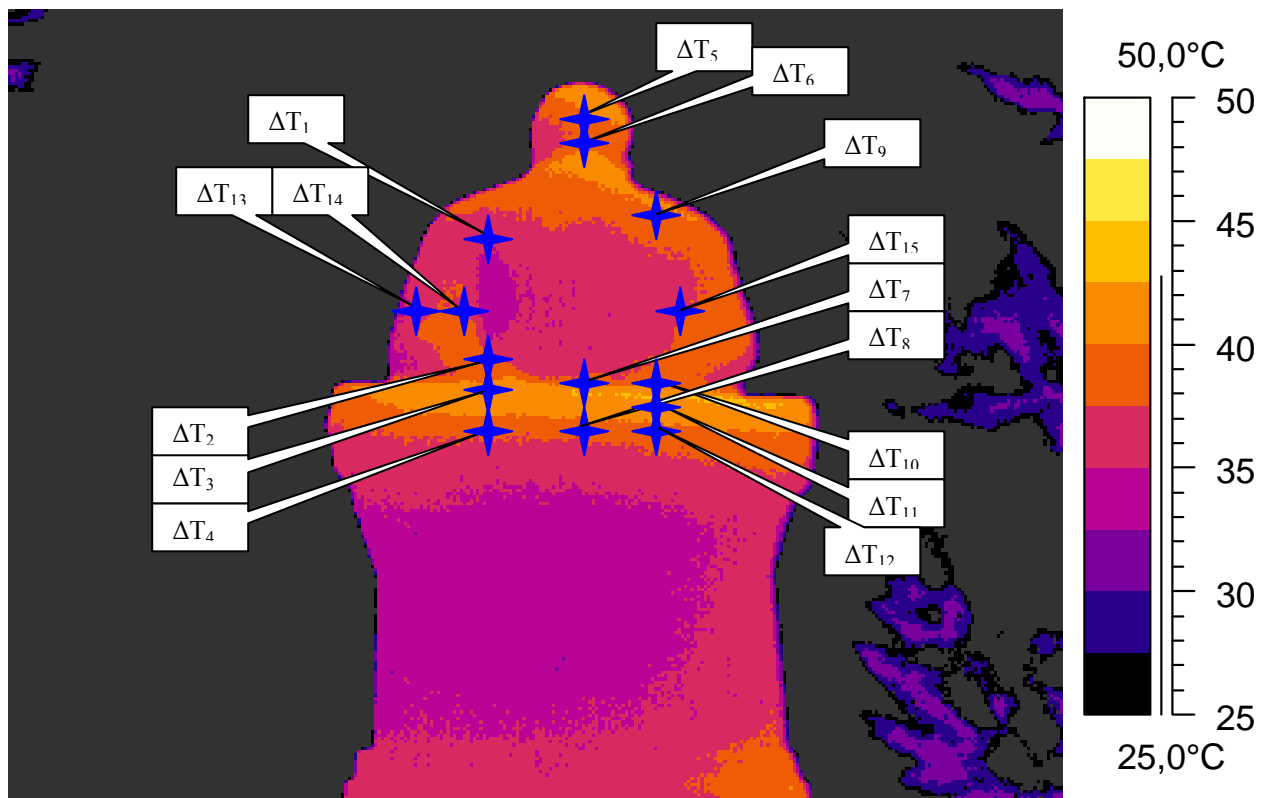
LIO3



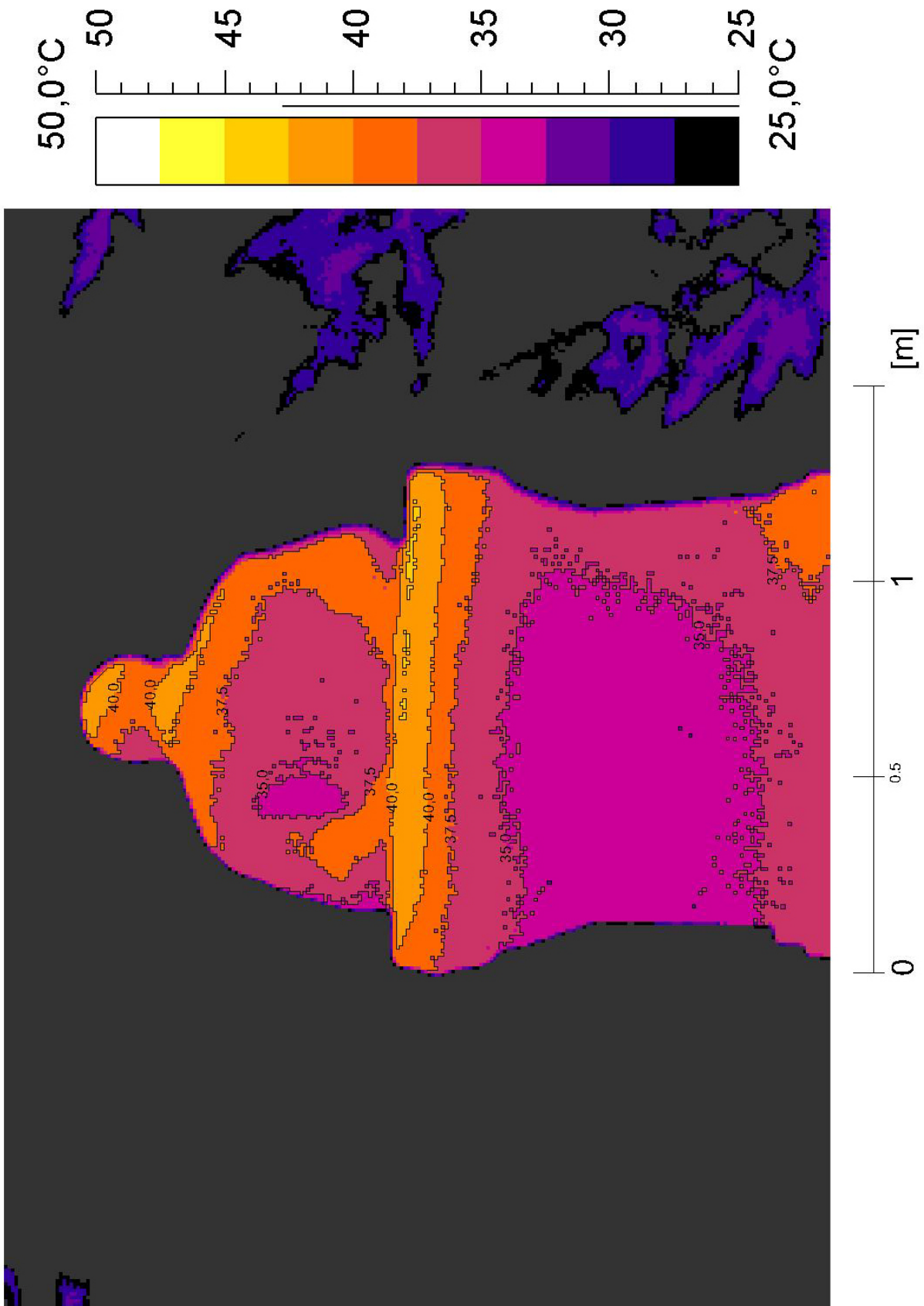
LIO4



Εικόνα 7.12.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών



Εικόνα 7.13.: Θέσεις μεγίστων διαφορών



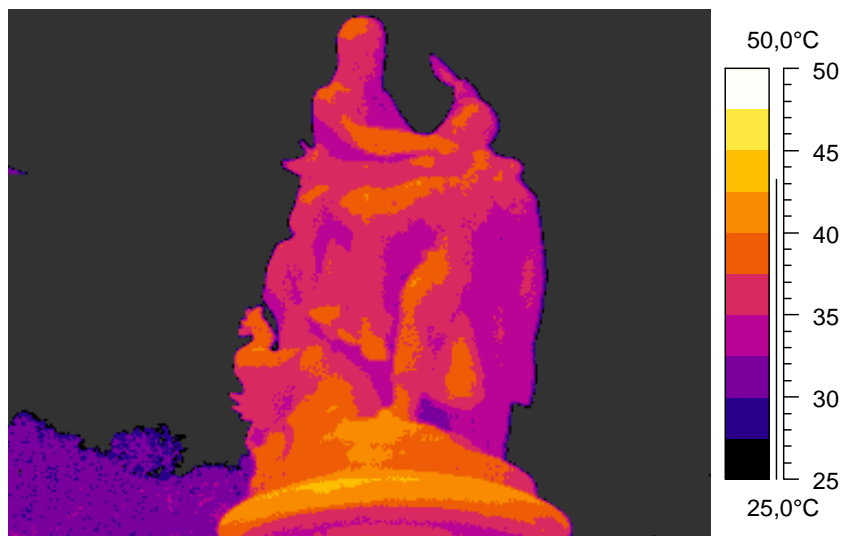
Εικόνα 7.14.: Ισοθερμικές καμπύλες

8 Μνημείο (Λ. Βύρωνα) Αθήνα

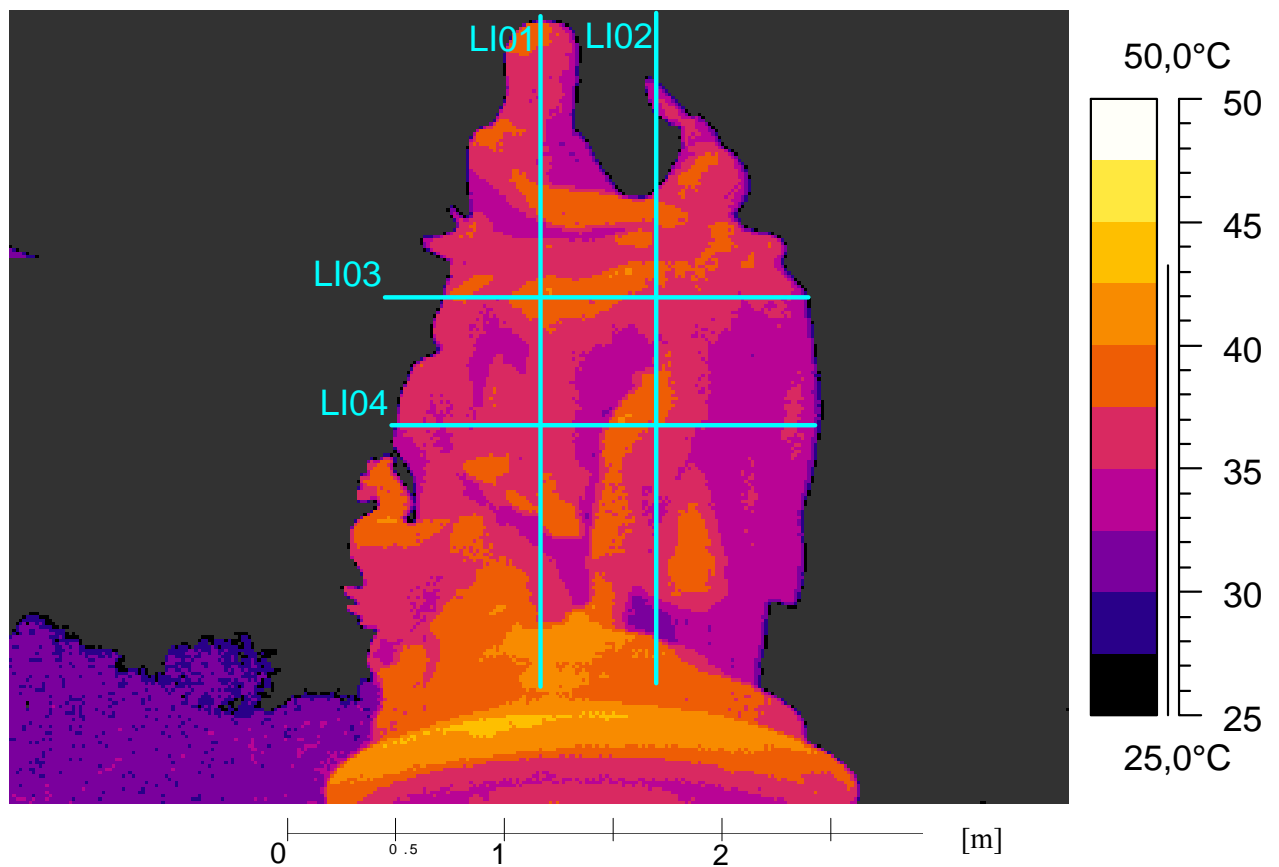
Υλικό: Μάρμαρο



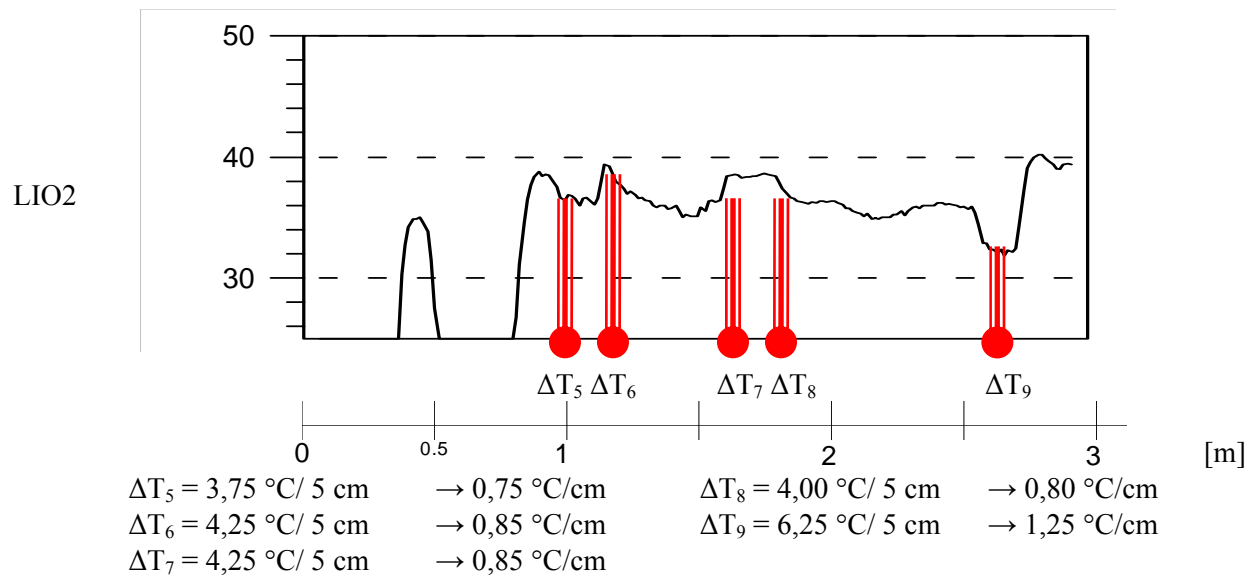
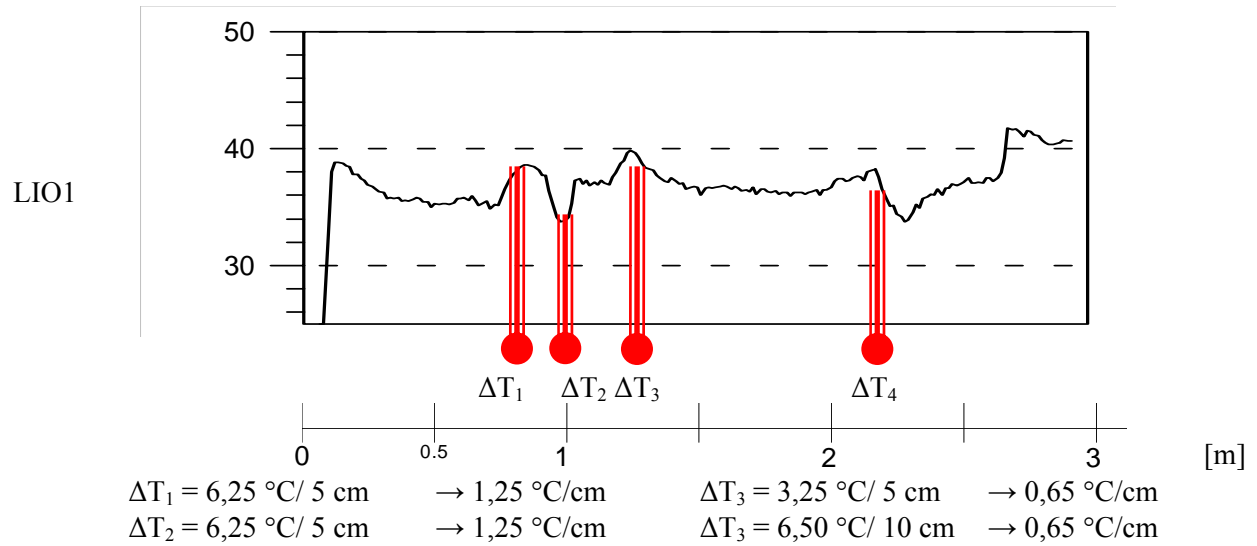
Εικόνα 8.1.: Όψη



Εικόνα 8.2.: Θερμογράφημα (12-7-2003, ώρα 15:00)

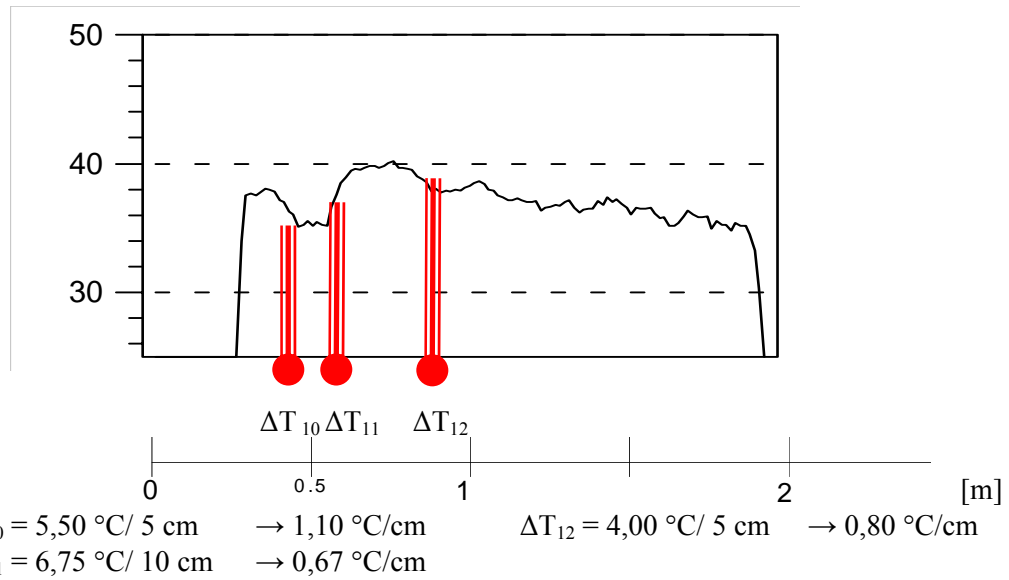


Εικόνα 8.3.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 12-7-03 ώρα 15:00.
Ακραίες τιμές

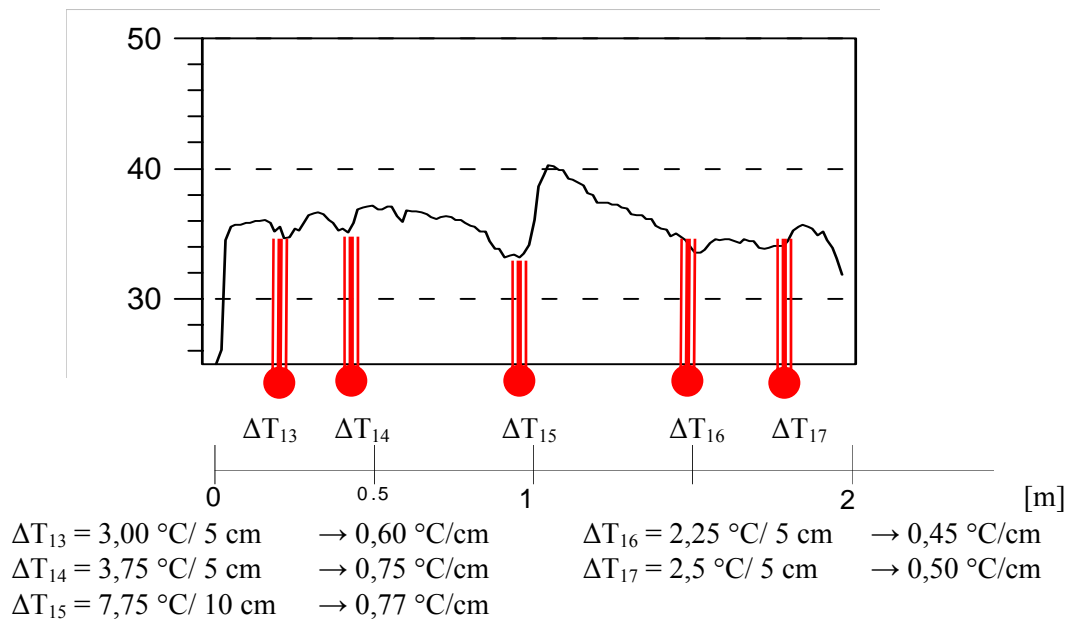


Εικόνα 8.4.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών

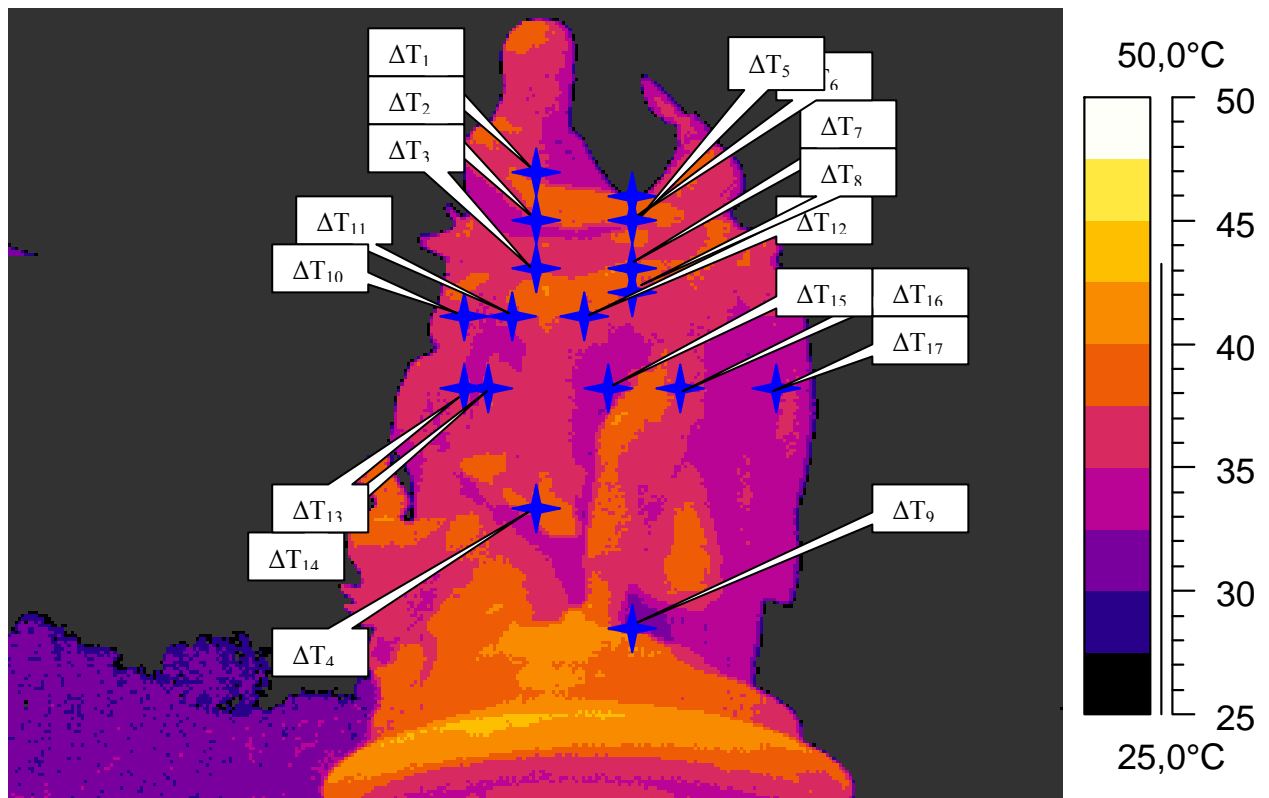
LI03



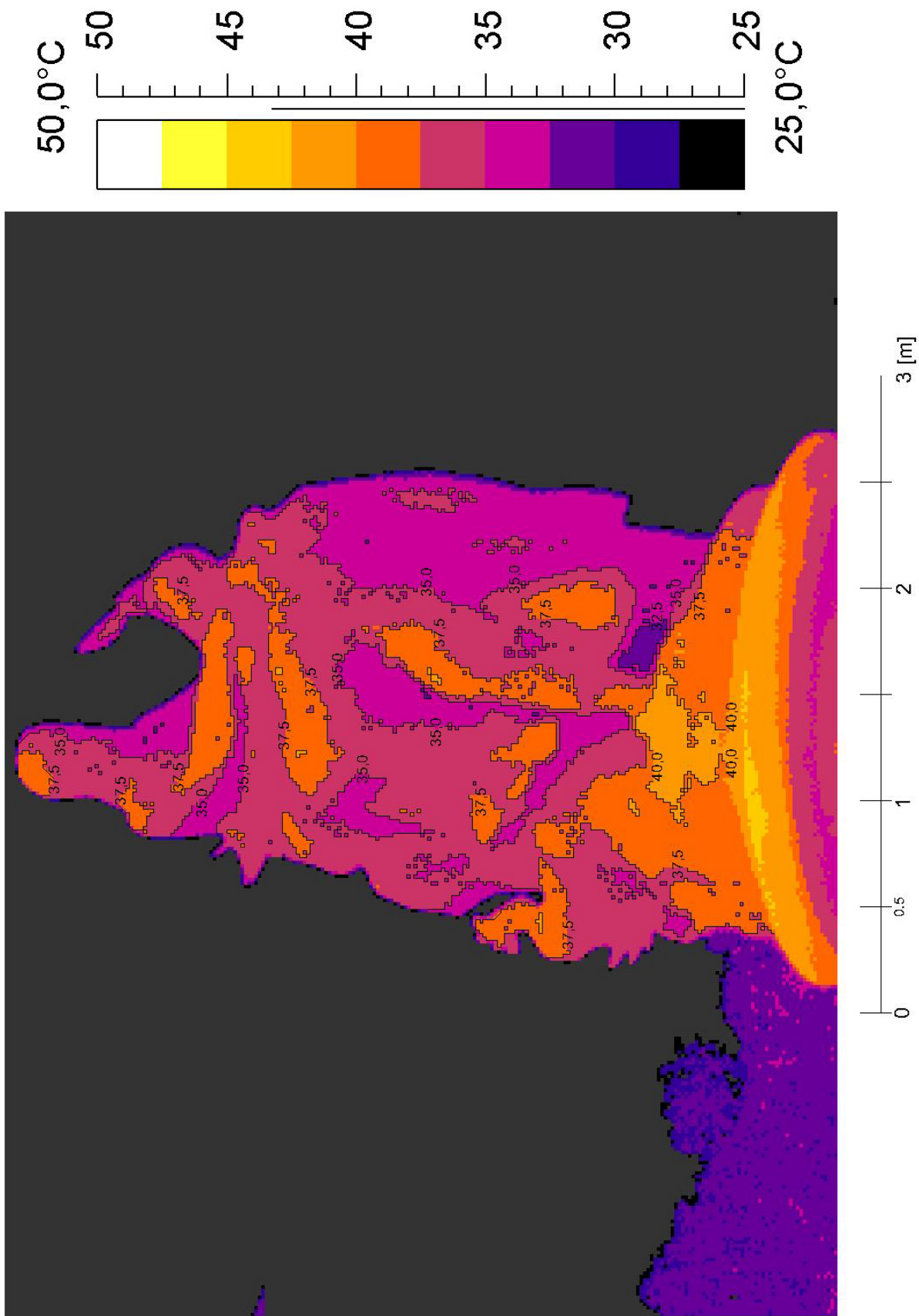
LI04



Εικόνα 8.5.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών



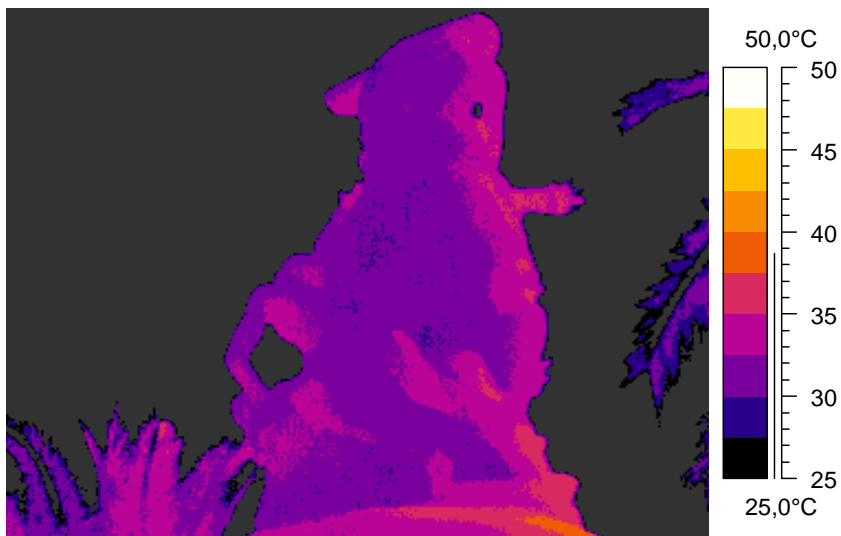
Εικόνα 8.6.: Θέσεις μεγίστων διαφορών



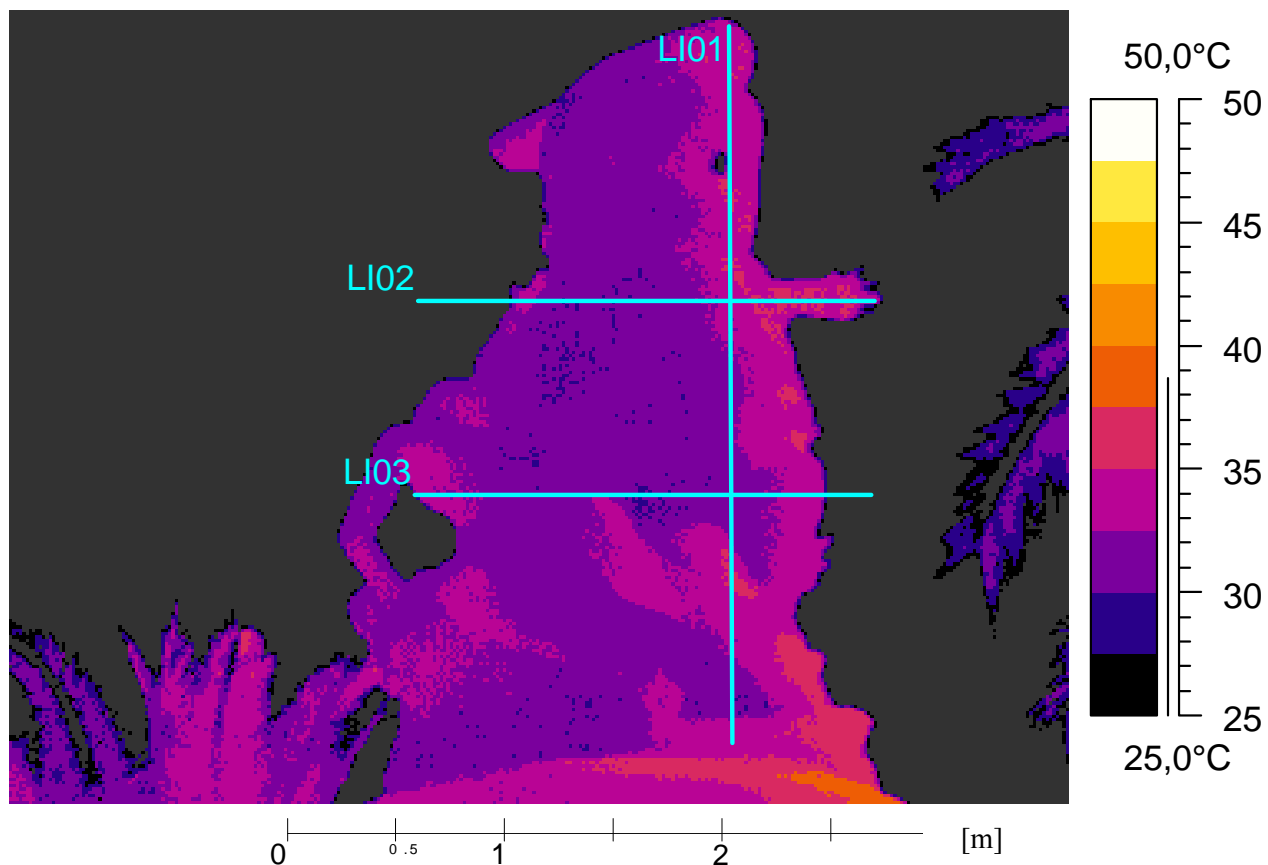
Εικόνα 8.7.: Ισοθερμικές καμπύλες



Εικόνα 8.8.: Οπίσθια όψη

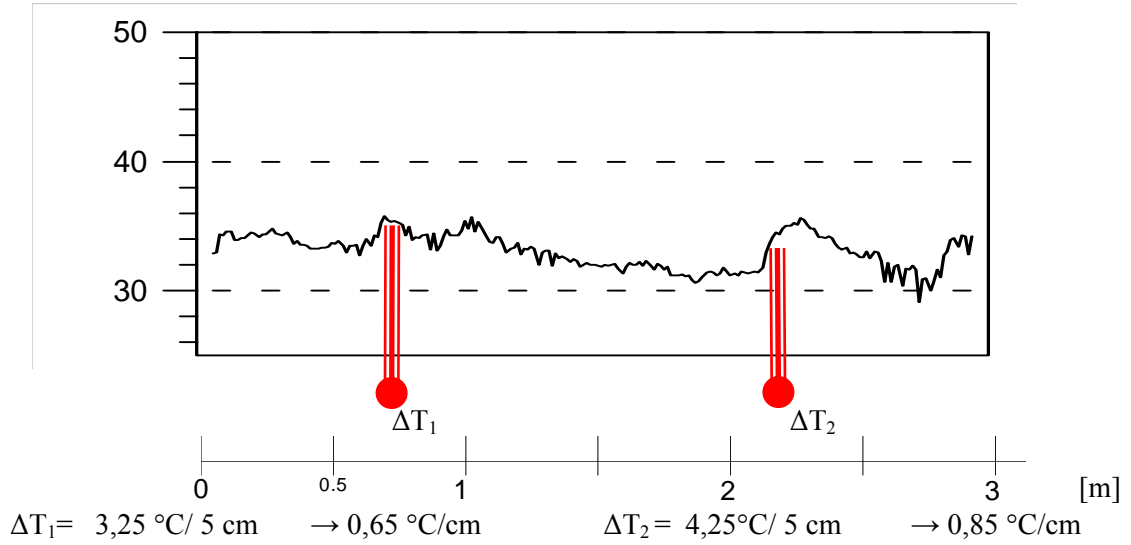


Εικόνα 8.9.: Θερμογράφημα (12-7-2003, ώρα 15:00)

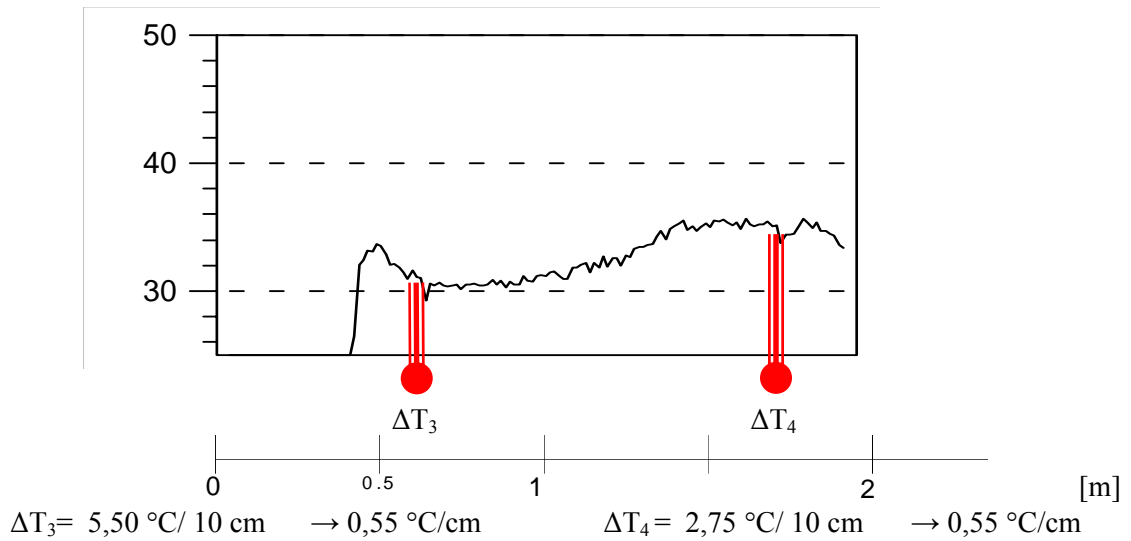


Εικόνα 8.10.: Αξιολόγηση-Χαρακτηριστικές τομές. Θερμογράφημα 12-7-03 ώρα 15:00.
Ακραίες τιμές

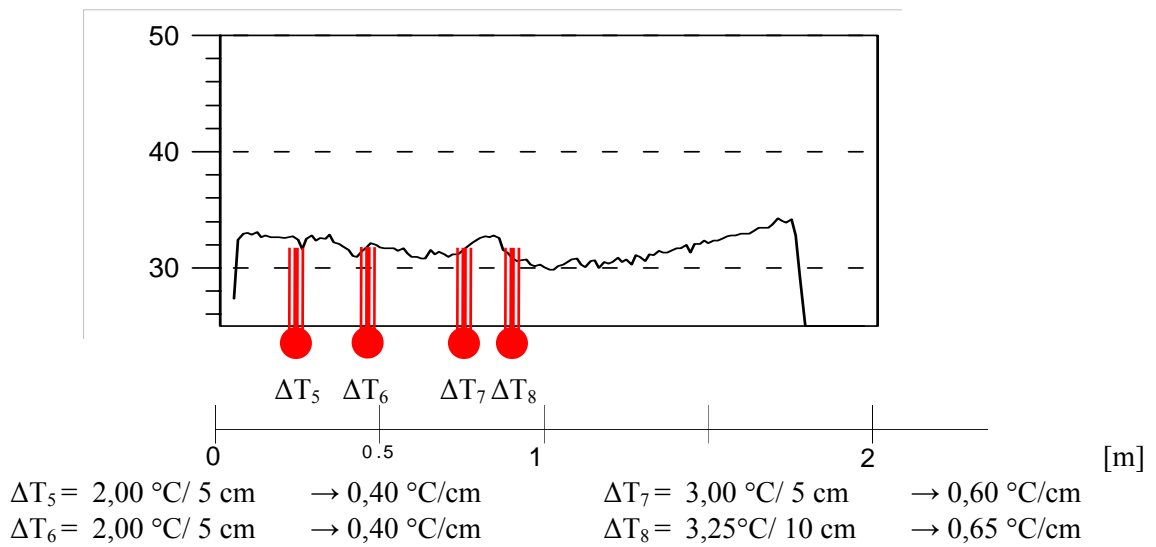
LIO1



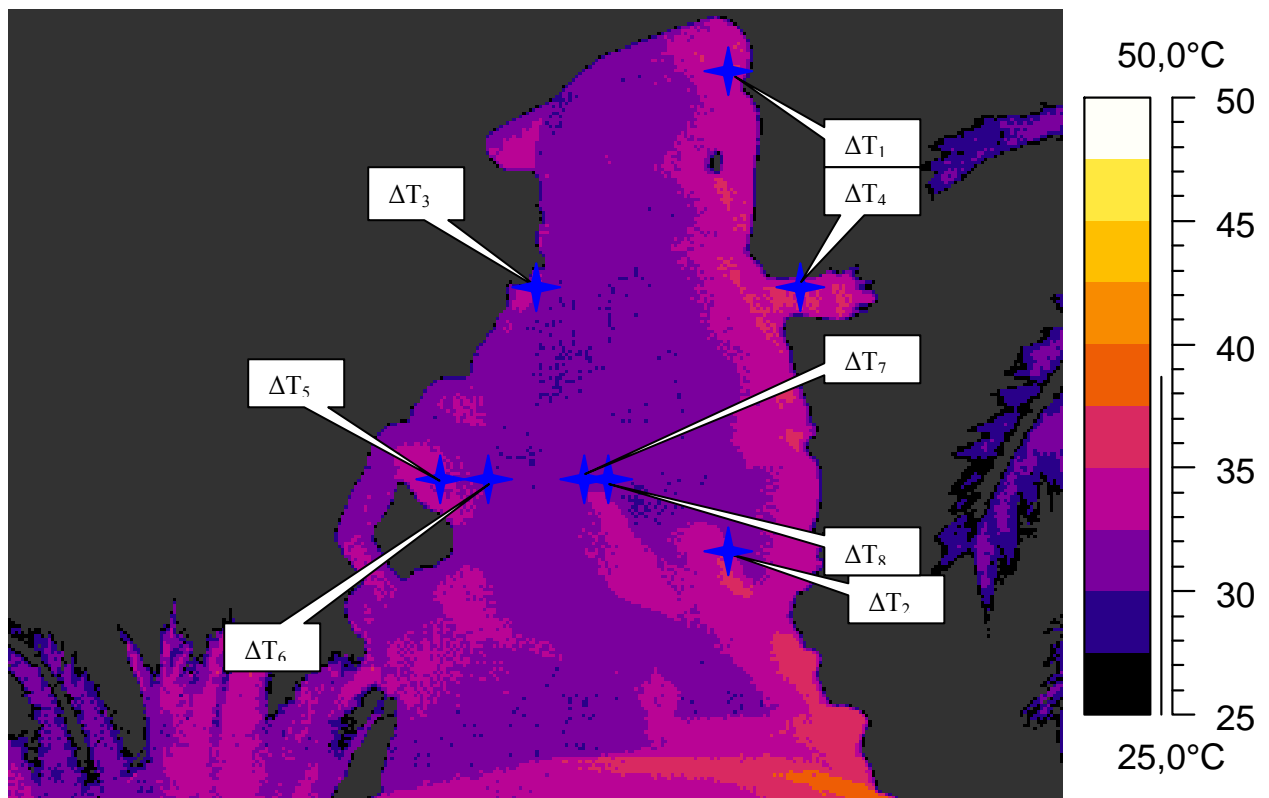
LIO2



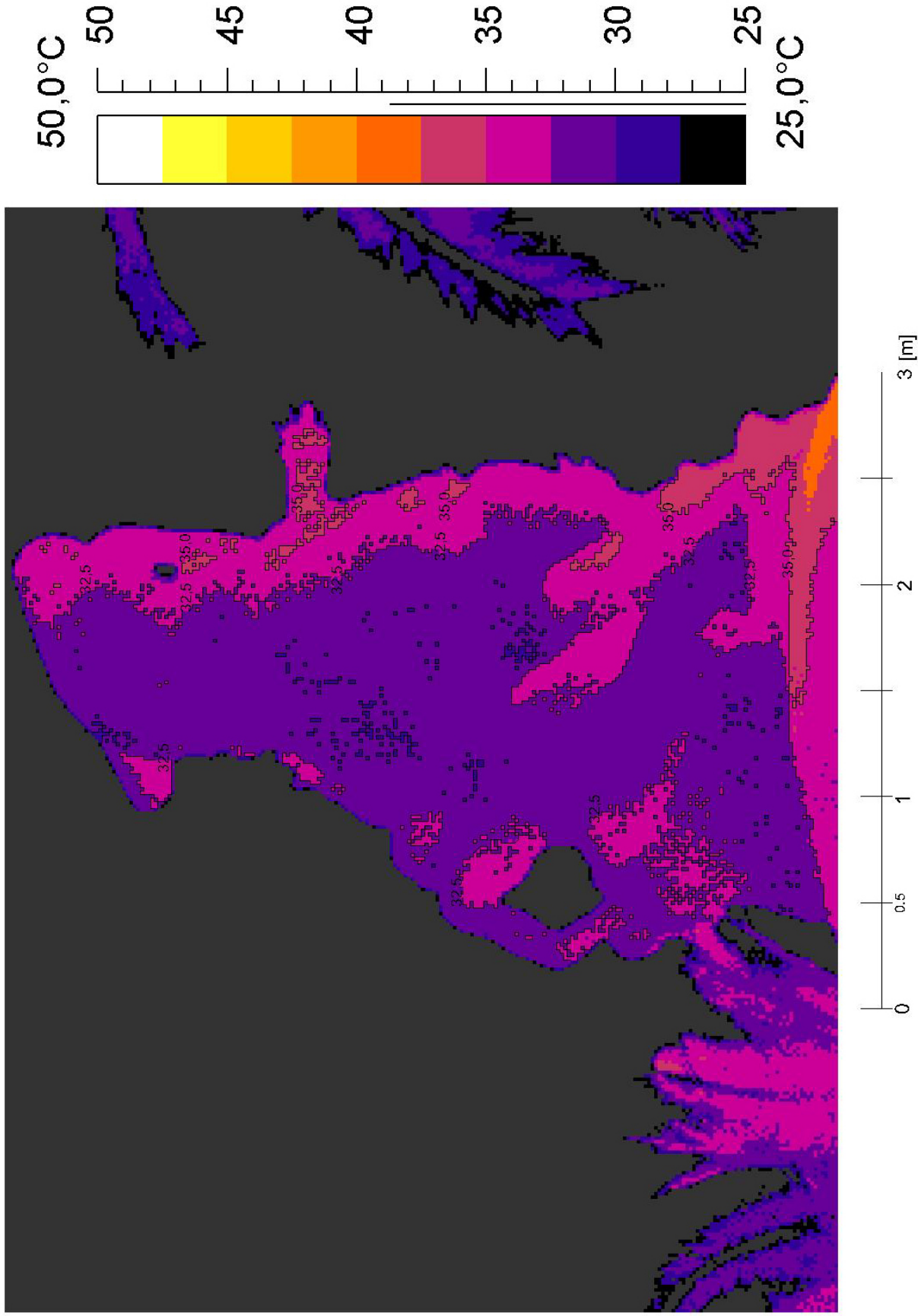
LIO3



Εικόνα 8.11.: Κατανομή θερμοκρασιών. Προσδιορισμός μεγίστων διαφορών



Εικόνα 8.12.: Θέσεις μεγίστων διαφορών



Εικόνα 8.13.: Ισοθερμικές καμπύλες

I. Το εργαστήριο της γλυπτικής

Γενικά στοιχεία

- Το εργαστήριο δεν πρέπει να περιβάλλεται από άλλα κτήρια που να κρύβουν το φως και την κυκλοφορία του αέρα. Επειδή ένα εργαστήριο γλυπτικής ενδεχομένως να προκαλεί ηχορύπανση ή ακόμα και τοπική ατμοσφαιρική ρύπανση κατά περιόδους, είναι προτιμότερο να μην βρίσκεται σε κατοικημένη περιοχή.
- Πρέπει να σχεδιάζονται ανοίγματα έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η καλή κυκλοφορία του αέρα μέσα στον χώρο.
- Είναι απαραίτητο να περιβάλλεται από μεγάλους υπαίθριους και ημιυπαίθριους χώρους για εργασία στον εξωτερικό χώρο.
- Πρέπει να έχει έναν ενιαίο μεγάλο χώρο για την κατασκευή των τελικών προπλασμάτων και μικρότερους χώρους για την εργασία μικρών προπλασμάτων.
- Απαραίτητο είναι να έχει πολύ καλό φυσικό αλλά και τεχνητό φωτισμό. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με μεγάλα ανοίγματα στην οροφή ή και στους τοίχους.
- Απαραίτητο είναι να βρίσκεται στο ισόγειο να έχει μεγάλες πόρτες και παράθυρα και να υπάρχει πρόσβαση οχήματος από την κυρία είσοδο.
- Είναι προτιμότερο, μαζί με το εργαστήριο να είναι και η κατοικία του Γλύπτη έτσι ώστε να βρίσκεται συνεχώς σε επαφή με το αντικείμενό του.

Βοηθητικές εγκαταστάσεις

- Διατάξεις ασφαλείας (πυροσβεστήρες, μάσκες εργασίας κ.λ.π.)
- Σταθεροί πάγκοι
- Χώροι ταξινόμησης (ντουλάπες, ράφια)
- Στους χώρους του εργαστηρίου πρέπει να υπάρχουν χώροι υγιεινής, καλό αποχετευτικό σύστημα, νιπτήρες σε κάθε δωμάτιο και αποχέτευση στο δάπεδο.
- Είναι απαραίτητο να υπάρχουν ρευματολήπτες σε κάθε θέση εργασίας
- Τα βοηθητικά στοιχεία του χώρου πρέπει να είναι σχεδιασμένα για βαριά χρήση (για παράδειγμα το δάπεδο να είναι βιομηχανικού τύπου)

Βοηθητικοί χώροι

- Χώρος φωτογράφισης
- Χώρος αρχείου
- Αποθηκευτικός χώρος
- Χώρος αποθήκευσης τοξικών ουσιών

II. Χαλκός, σύνθεση-ιδιότητες

Χαλκός 94%
Μαγνήσιο 1.1%
Πυρίτιο 3.9%
Ξένες προσμίξεις 1%

Πίνακας 1: Σύνθεση του κράματος χαλκού χύτευσης

Σημείο τήξεως	1025 °C
Σημείο αρχής τήξεως (σε στερεά κατάσταση)	970 °C
Πυκνότητα	8,53 Kgr/dm ³
Ειδικό βάρος	8,53
Συντελεστής θερμικής διαστολής	18-21(X10 ⁻⁶)/°C
Θερμική αγωγιμότητα	42-50 W m ⁻¹ K ⁻¹
Θερμοχωρητικότητα	0.9 cal/gr 0 έως 20°C
Λόγος Poisson	0.34
Μέτρο ελαστικότητας	96-120 GPa
Οι μετρήσεις έχουν γίνει για χαλκό χύτευσης σύμφωνα με τα πρότυπα A.S.T.M.	

Πίνακας 2: Ιδιότητες κράματος χαλκού χύτευσης

Βιβλιογραφία

1. Amanda C. et all., Rome: an Oxford Archaeological Guide, εκδ. Oxford University Press, Clarige 1998
2. Amoroso G.G., Stone decay and conservation, atmospheric pollution, clearing, consolidation and protection, εκδ. Elsevier, Amsterdam 1983
3. Appleton J., The experience of Landscape, εκδ. John Wiley & Sons, 1995
4. Argon A.S. Editor, Topics in Fracture and Fatigue, εκδ. Springer Verlag, NY 1991
5. Beardsley M.C., Ιστορία των Αισθητικών Θεωριών, μετ. Δημοσθένης Κούρτοβικ-Παύλος Χριστοδουλίδης, εκδ. Νεφέλη, Αθήνα 1989
6. Beraldin A. J., Blais F., Boulanger P., Cournoyer L., Domey J., El-Hakim S.F., Godin G., Rioux M., Taylor J., Real world modeling through high resolution digital 3D imaging of objects and structures, εκδ. Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 55, 230–250, Institute for Information Technology, Montreal 2000
7. Bernal J. D., The physical basis of life, εκδ. Routledge and Paul, London, 1951
8. Bentz D. P. et all., The visible cement data set, Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, Vol. 107 No. 2, 137-148, 2002
9. Boffrand, Description de ce qui a été pratique pour fondre en bronze d'un seul jet la figure equestre de Louis XIV, Paris 1743
10. Booth N. K., Basic Elements of Landscape, Architectural Design, εκδ. Waveland Press, 1990.
11. Brown D., Bronze and Pewter in Roman Crafts, eds. Donald Strong and David Brown, εκδ. Gerald Duckworth & Co. Ltd., London 1976
12. Casson S., The Technique of early Greek Sculpture, εκδ. Hacker Art Books 1970
13. Cellini, B., The Autobiography of Benvenuto Cellini, μτφ. John Addington Symond εκδ. Doubleday & Co., Inc., New York 1946
14. Chesterman C. W., National Audubon Society Field Guide to Rocks and Minerals, Knopf, εκδ. Alfred A. Inc., New York 1979

15. Cleere H., Ironmaking, in Roman Crafts, εκδ. Donald Strong and David Brown Gerald Duckworth & Co. Ltd., London 1976
16. Collins J. A., Failure of materials in Mechanical design, εκδ. John Wiley and Sons , NY 1993
17. Design of fatigue and fracture resistant structures, ASTM symposium, εκδ. ASTM, Baltimore 1982
18. Deer W. A., Howie R.A., and J. Zussman. Rock Forming Minerals, Sulfates, Carbonates, Phosphates and Halides. 2nd ed. Vol. 5B (non - silicates), εκδ. Longman House, England, 1997
19. Design of fatigue and fracture resistant structures, ASTM symposium, εκδ. ASTM, Baltimore 1982
20. Digital photogrammetry, an addendum to the manual of photogrammetry, edited by Cliff Greeve, εκδ. American Society for photogrammetry and remote sensing, USA 1996
21. Dowling E. N., Mechanical behavior of materials, εκδ. Prentice-hall international, London 1993
- 21.1. Diamonstein B. Editor, Artistic & Architects Collaboration, εκδ. Architectural League, New York 1981
22. Entienne H. J., "The chisel in Greek sculpture", εκδ. E. J. Brill, Netherlands 1968
23. Forbes, R. J., Studies in Ancient Technology, Vol. VI, Leiden, εκδ. E. J. Brill, Netherlands 1966
24. Gage, M., Hard Landscape in Concrete, εκδ. The Architectural Press, London 1977
25. Gattai R et all., I Bronzi di Cartoceto, εκδ. Editioni Medicea 1987
26. Gauri K. L., Carbonate stone, chemical behavior, durability and conservation, εκδ. John Wiley & Sons Inc, Canada 1999
27. Healy J. F., Mining and Metallurgy in the Greek and Roman World, εκδ. Thames and Hudson, London 1978
28. Hemingway S. A., How Bronze Statues were made in Classical Antiquity, Harvard University Art Museums Gallery Series, No. 19, Cambridge, MS: the Harvard Art Museums, 1996
29. Hewitt P. G., Οι έννοιες της Φυσικής, τόμος 1, μτφ. Ελένη Σηφάκη, εκδ. Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο 1994

30. Hodges H., Technology in the Ancient World, εκδ. Barnes & Noble Books, John Johnson, Ltd., New York 1970
31. <http://graphics.stanford.edu/projects/mich/>
32. <http://frog-prince.com/skulls.html>
33. <http://www.atlasmetal.com/>
34. http://www.dartmouth.edu/~russ15/russia_PI/peter_great_pt1.html
35. <http://www.damon.gr/marmara/>
- 35.1 <http://en.wikipedia.org/wiki/>
36. http://www.hindunet.org/hindu_history/sarasvati/html/bronzeage1.htm
37. <http://www.kae.gr/bronzemonuments/parts/3cities.htm>
38. <http://www.maitreyaproject.org/home/index.html>
39. http://www.pbs.org/wgbh/amex/rushmore/sfeature/sf_carving.html
40. <http://www.qub.ac.uk/geog/documents/research/weathering/usd.html>
41. <http://www.itia.ntua.gr>
42. <http://www.travelsd.com/parks/rushmore/index.htm>
43. <http://www.tri-esssciences.com/Patina%20formulas.htm>
44. Hughes R., Rowe M., The Colouring, Bronzing, and Patination of Metals : A Manual for the Fine Metalworker and Sculptor , εκδ. Whitney Library of Design , February 1991
45. Kjellberg P., Les Bronzes du XIX siecle, εκδ. Les Editions de l' Amateur, Paris 1989
46. Landels J. G., Engineering in the Ancient World, εκδ. University of California Press, Berkeley 1981
47. Laurine M., An Introduction to Landscape Architecture, εκδ. Prentice Hall, NJ 1986
48. Lawrence W. G., West R. R., Ceramic science for the potter, εκδ. Chilton, Radnor 1982
49. Le Corbusier, Le Modulor, εκδ., Gotta, Stuttgart 1953
50. Lie H. and Mattusch C., Introduction to the Catalogue Entries and Technical Observations in The Fire of Hephaistos: Large Classical Bronzes from North American Collections, Cambridge, MS: the Harvard Art Museums, 1996

51. Lins A., Outdoor Bronzes, Some Basic metallurgical considerations, Sculptural Monuments in an Outdoor environment, Pennsylvania Academy of the Fine Arts, Philadelphia, 1983
52. Lucchesi B., Malmstrom M., Modeling the head in clay, creative techniques for the sculptor, εκδ. Watson-Guption Pub., N.Y. 1996
53. Lucidi F., Fonderia Artistica a cera persa, εκδ. Urlico Hoepli., Milano 1991
54. Lürer H., Technik der Bronzeplastik, Leipzig, 1902
55. Manning W.H., Blacksmithing in Roman Crafts, εκδ. Donald Strong and David Brown London: Gerald Duckworth & Co. Ltd., 1976
56. Mattusch C., Greek Bronze Statuary from the beginning through the fifth century B.C., εκδ. Cornell University Press 1988
57. Mattusch C., The Preferred Medium: The Many Lives of Classical Bronze in The Fire of Hephaistos: Large Classical Bronzes from North American Collections, Cambridge, MS: the Harvard Art Museums, 1996
58. Mercado L., Zanda E., "Bronzi da industria", εκδ. Editioni de Luca 1998
59. Migley B., The complete guide to sculpture modeling and ceramics, εκδ. Phaidon, Oxford 1982
60. Mills J.W. The Technique of sculpture, εκδ. Batsford Ltd, London 1965
61. Mylona S. Trends of sulphur dioxide emissions, air concentrations and depositions of sulphur in Europe since 1880. Meteorological Synthesizing Centre-West, The Norwegian Meteorological Inst., EMEP/MSC W report 2/93, 1993
62. Motloch J., Introduction to Landscape design, εκδ. Van Nostrand Reinhold N.Y. 1991
63. Muir R., Approaches to Landscape, εκδ. Macmillan Press LTD, London 1999
64. Oliver A., Honors to Romans: Bronze Portraits, in the Fire of Hephaistos: Large Classical Bronzes from North American Collections, Cambridge, MS: the Harvard Art Museums, 1996
65. Paranti E.J., Casting a Torso in Bronze, εκδ. Alec Tiranti L.T.D. 1953
66. Percy H.M., New Materials in Sculpture, εκδ. Alec Tiranti 1970
67. Perkins D., Mineralogy, Ed. Robert McConnin, εκδ. Prentice-Hall Inc., New Jersey 1998
68. Pino di Gennaro, I mondi della scultura, εκδ. Urlico Hoepli., Milano 1997

69. Pliny the Elder, *Natural History*, XXXIII - XXXV, μτφ. John F. Healy, Penguin Books, London 1991
70. Pountney A. *Modelling a figure in clay*, εκδ Alec tiranti Ltd London 1951
71. Pottery, in *Roman Crafts*, εκδ. Donald Strong and David Brown Gerald Duckworth & Co. Ltd., London 1976
72. Price J., *Glass in Roman Crafts*, εκδ. Donald Strong and David Brown Gerald Duckworth & Co. Ltd., London 1976
73. *Proceeding of Symposium of small Bronze Sculpture from the Ancient World*, The J.Paul Getty Museum, 1990
74. Read H., *The art of sculpture*, εκδ. Faber and Faber Limited, 1996
75. Rice D. W., Peterson P., *Atmospheric Corrosion of Copper and Silver*, *Journal of the Electrochemical Society: Electrochemical science and technology*, Vol.128, February, 1981
76. Rice P.M., *Pottery analysis, a sourcebook*, εκδ. The University of Chicago Press, Chicago 1987
77. Ridgway, B. S., *Roman Bronze Statuary-Beyond Technology, in the Fire of Hephaistos: Large Classical Bronzes from North American Collections*, εκδ. Harvard Art Museums, Cambridge 1996
78. Ries H., *Clays: Their occurrence, properties and uses*, εκδ. John Wiley Riley J. A. 1927
79. Rolley C., *Greek Bronzes*, εκδ. Sotheby's Publications, 1986
80. Rubino P., *The portrait in clay*, εκδ. Watson-Guption Publ., New York 1997
81. Rudel J., *Technique de la sculpture*, εκδ. Press Universitaires de France, Saint Germain 1980
82. Shaw J., *The Fire of Hephaistos*, *Harvard Magazine*, May-June 1996
83. Sommella A. M., *The equestrian statue of Marcus Aurelius in Campitoglio*, *Silcana Editoriale*, 1990
84. Staccioli R. A., *Ancient Rome: Monuments Past and Present*, εκδ. Vision, Roma 1990
85. Steenberger C., Reih W., *Architecture and Landscape*, εκδ. Thoth Publ., Bussum 1996

86. Strandberg H., Perspectives on Bronze Sculpture Conservation, Modeling Copper and Bronze Corrosion, Doctoral dissertation in Environmental Science, Department of Inorganic Chemistry, Goteborg University 1997
87. Suresh S., Fatigue of materials, εκδ. Cambridge University Press, Great Britain 1992
88. The Beginning of the use of metals and alloys, Paper from the second international Conference on the Beginning of the use of metals and alloys, Zhenuzhou, China, eds. Robert Martin., Massachusetts Institute of Technology 1988
89. The Lion of Venice, studies and research on the bronze statue in the Piazzeta., edited by Bianca Maria Scarfi, εκδ. Albrizzi Editore of Marcilio, 1990
90. Vernon J., Introduction to engineering materials, εκδ. MacMilan, London 1972
91. Vernon J., Testing of materials, εκδ. Macmillan, London 1992
92. Wayne R., Chemistry of atmospheres. An introduction to the chemistry of the atmospheres of earth, the planets, and their satellites, εκδ. Oxford University Press, New York, 1985
93. Winkler E.M., Stone in Architecture, Properties durability, εκδ. Springer, Berlin 1997
94. Woodford S., An Introduction to Greek Art, εκδ. Cornell University Press, 1986
95. Αντωνοπούλου Ζ., Αθηναϊκή υπαίθρια γλυπτική, παθολογία, προστασία και ανάδειξη, Διπλωματική Μεταπτυχιακή Εργασία, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Συντήρηση και Αποκατάσταση Ιστορικών Κτηρίων και Συνόλων, Ε.Μ.Πολυτεχνείο 2001
96. Βράχος, Μαρίνος Χαρμπούρης ένας μεγάλος Έλληνας Μηχανικός Ρωσία 1970, εκδ. ΤΕΕ, Ε.Μ.ΙΣ, Αθήνα 2003
97. Βοκοτοπούλου Ι., Ελληνική Τέχνη, Αργυρά και χάλκινα έργα τέχνης στην αρχαιότητα, Εκδοτική Αθηνών, 1997
- 97.1. Έκο Ο. Επιμέλεια, Η ιστορία της ομορφιάς, μτφ. Α. Χρυσοστομίδης, εκδ. Καστανιώτη, Αθήνα 2004
98. Εταιρεία Μελέτης Ελληνικής Ιστορίας, Μαρίνος Χαρμπούρης, εκδ. Εταιρεία Μελέτης Ελληνικής Ιστορίας, Αθήνα 2003
99. Ζήβας Δ., Τα μνημεία και η πόλη, εκδ. Libro, Αθήνα 1997
100. Καββαδάς Μ., Στοιχεία Εδαφομηχανικής, εκδ. Ε.Μ.Πολυτεχνείο, Αθήνα 1993
- 100.1. Καλακαλλάς Γ. Α., Γλυπτική, εκδ. Ψυχάλου, Αθήνα 1998

101. Καλογνώμου Ζ., Το έργο του γλύπτη Θανάση Απάρτη (1899-1972), Διδακτορική διατριβή, εκδ. Ε.Μ.Πολυτεχνείο, Αθήνα 1988
102. Καστοριάδης Κ., Ανθρωπολογία Πολιτική Φιλοσοφία, εκδ. Ύψιλον/ βιβλία, Αθήνα 2001
103. Καραβία Μ., Ο στοχαστής του Αμαρουσίου, εκδ Καστανιώτη, Αθήνα 1989
104. Κορωναίος Αιμ., Πουλάκος Γ., Τεχνικά Υλικά 1, εκδ. Ε.Μ.Πολυτεχνείο, Αθήνα 2002
105. Κορωναίος Αιμ., Πουλάκος Γ., Τεχνικά Υλικά 3, εκδ. Ε.Μ.Πολυτεχνείο, Αθήνα 2002
106. Κορωναίος Αιμ., Σαργέντης Γ.-Φ., Δομικά Υλικά κα Οικολογία, εκδ. Εργαστήριο Τεχνικών Υλικών Ε.Μ.Π., Αθήνα 2005
107. Κουφόπουλος Π., Μαμαλούκος Σ.Β., Αγιορείτικη μεταλλοτεχνία, Υπουργείο Πολιτισμού Ελλάδος 1997
108. Λαμπρόπουλος Β., Κεραμικά, τεχνολογία διάβρωση και συντήρηση, εκδ. Συντήρηση αρχαιοτήτων και έργων τέχνης Γ.Τ.Κ.Τ. ΤΕΙ Αθήνας 1996
109. Λαμπρόπουλος Β., Διάβρωση και συντήρηση πέτρας, εκδ. Συντήρηση αρχαιοτήτων και έργων τέχνης Γ.Τ.Κ.Τ., ΤΕΙ Αθήνας 1996
110. Λυδάκης Σ., Οι Έλληνες Γλύπτες, Νεοελληνική γλυπτική, Μέλισσα 1981
111. Μιχελής Π. Α., Αισθητικά Θεωρήματα, Τόμος 3, εκδ. Ίδρυμα Παναγιώτη και Έφης Μιχελή, Αθήνα 1996
112. Μουσείο van Teylers: <http://www.teylersmuseum.nl/>
113. Μπαντέκα Ε., Η χύτευση των αγαλμάτων στην Αρχαία Ελλάδα, Πυρφόρος Μάρτιος-Απρίλιος 1993
114. Μπαντέκας Ι., Φωτογραμμετρία, εκδ ΕΜΠ, Αθήνα 1980
115. Μπίρης Κ.Η., Ιστορία του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου, εκδ. Ε.Μ.Πολυτεχνείο, Αθήνα 1957
116. Μπριόν Μ., Μιχαήλ Άγγελος, μτφ. Π. Σ. Ιωαννίδη, εκδ. Φώς, 1970
117. Μπρέχτ Μπ., Πολιτικά κείμενα, εκδ. Στοχαστής, Αθήνα 1987
118. Νάπολη Αρχαιολογικό Μουσείο:
http://sights.seindal.dk/sight/1078_Hercules_Farnese.html
119. Ορλάνδος Α.Κ., Η αρχαία Ελληνική Αρχιτεκτονική Μέρος Α΄, Τα Υλικά Δομής των Αρχαίων Ελλήνων κατά τους συγγραφείς τας επιγραφάς και τα μνημεία, Αθήνα 1958
120. Ροντέν Α., Η Τέχνη, μτφ. Α. Σύρρος, εκδ. Εστία του βιβλίου, Αθήνα, 1954

121. Σκουλικίδης Θ., Διάβρωση και συντήρηση των δομικών υλικών των μνημείων, εκδ. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο 2000
122. Σπανός Χ., Σπιθάκης Μ., Τρέζος Κ., Μέθοδοι για την επιτόπου αποτίμηση των χαρακτηριστικών των υλικών, εκδ. ΤΕΕ, Αθήνα 2002
123. Στεφάνου Ι., Η φυσιογνωμία ενός τόπου: ο χαρακτήρας της ελληνικής πόλης τον 21^ο αιώνα, εκδ. ΕΜΠ και ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα, 2001
124. Στεφάνου Ι., Η φυσιογνωμία της ελληνικής πόλης, εκδ. ΕΜΠ και ΥΠΕΧΩΔΕ, Αθήνα, 2000
125. Το Βήμα της Κυριακής, Πρόσωπα που άλλαξαν την πορεία του κόσμου, 13 Ιανουαρίου Αθήνα 2002
126. Χατζηστάθης Α. & Ι. Ισπικούδης, Προστασία της φύσης και αρχιτεκτονική του τοπίου, εκδ. Γιαχούδη- Γιαπούλη ΟΕ, Θεσσαλονίκη, 1995
127. Χαϊντεγγερ Μ., Η προέλευση του έργου τέχνης, μτφ. Γ. Τζαβάρα, εκδ. Δωδώνη, Αθήνα 1986

