



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών



Μεσαιωνικά οξυκόρυφα τόξα και
κοιλότητες, δάνεια τεχνολογίας και
πρακτικών κατασκευής

Επιβλέποντας: Νικόλαος Σκουτέλης

Φοιτήτρια: Ραφαέλα Μπούκουρη

Έτος: 2023

Περίληψη

Η συγκεκριμένη εργασία ερευνά τη σχέση μεταξύ της λαξευτής λιθοδομίας και της ναυπήγησης με αναφορά τη γοτθική αρχιτεκτονική ως τη κατηγορία αρχιτεκτονικής από πέτρα στην οποία πρωτοεντοπίζεται η μεγαλύτερη ποικιλία τοξοειδών μορφών και συνδυασμών, σε αντιστοίχιση με ανάλογες μορφές σκελετών πλεούμενων της σύγχρονης ή της πρότερής της εποχής . Παράλληλα γίνεται μία προσπάθεια εμβάθυνσης στις κατασκευαστικές τεχνικές και διαδικασίες από τις οποίες προκύπτουν αυτές οι τοξοειδείς μορφές. Σε αυτές εντάσσονται η δομή της κατασκευής, η διαδοχή των εργασιών, οι κατασκευαστικές λεπτομέρειες, καθώς και τα εργαλεία και οι τρόποι που τα αξιοποιούσαν.

Περιεχόμενα

1. Περίληψη	3
2. Περιεχόμενα	4
3. Εισαγωγή	6
4. Μέθοδος.....	7
5. Συλλογή - Επιλογή βιβλιογραφίας.....	8
6. Πέτρα και ξύλο, εσωτερική δομή υλικού	9
6.1. Ο ασβεστόλιθος.....	9
6.2. Η δρυς.....	10
7. Εργαλεία και τεχνικές επεξεργασίας υλικού, πέτρα - ξύλο	10
7.1. Εργαλεία κρούσης, τριβής, μέτρησης.....	11
8. Επιλογή, Συλλογή, Επεξεργασία πρώτης ύλης	12
8.1. Καμπύλωση, πέτρα – ξύλο, ενιαίο-καταμερισμένο	18
9. Σχήματα και κατασκευή σκαφών στην Ευρώπη έως και τον μεσαίωνα	21
10. Μεσόγειος.....	23
10.1. Ευρήματα με την μέθοδο συρραφής και της εντορμίας σύνδεσης	23
10.2. Σχήμα, σκελετός και συνδέσεις	27
10.3. Σανίδωμα με πρόκες, άλλες επιρροές, βόρεια Ευρώπη.....	31
10.4. Σύγκριση ναυαγίου του Dor, τρεχαντηριού, ναυαγίου της Κυρήνειας, διαχρονικές τεχνικές και τεχνικές χαμένες στο χρόνο	32
11. Βόρεια Ευρώπη, η εξέλιξη της ναυπήγησης στον μεσαίωνα, το Α και το Ω	35
11.1. Διαδοχή συναρμολόγησης.....	37
11.2. Κέλυφος.....	40
11.3. Τύποι συνδέσεων πετσώματος	41
11.4. Σκελετός, εφαρμογή και προσαρμογή.....	42
11.5. Η ξυλογλυπτική, βασική διαδικασία της κατασκευής.....	43

11.6. Πλοία με δίδριχη στέγη	46
12. Εξέλιξη της στέγης στη μεσαιωνική ναοδομία, από την δρυ στον ασβεστόλιθο.....	47
12.1. Ξύλινες Εκκλησίες.....	48
12.2. Ξύλινη Στέγη	50
12.3. Η κατασκευή με ξύλο, η επιλογή διαγώνιας πλέξης και οξυκόρυφων ακμών	52
12.4. Ξύλινες κατασκευές στα εργοτάξια του μεσαίωνα	53
12.5. Η συνεργασία ξύλου και πέτρας, σκαλωσιά και ξυλότυπος.....	55
12.6. Ξύλινος σκελετός.....	58
12.7. Παλίμψηστο και κατασκευαστική διαδοχή κλιτών	63
13. Μέθοδοι κατασκευής.....	66
13.1. Πέτρινος σκελετός.....	67
13.2. Οπλισμένη πέτρα.....	73
14. Συμπεράσματα	77
15. Επίλογος	81
16. Βιβλιογραφία.....	85
17. Ευρετήριο Εικόνων και πηγές Εικονογράφησης.....	95

Εισαγωγή

Κατά τον R. Arnheim η αντίληψή μας για τα οπτικά ερεθίσματα είναι υποκειμενική καθώς προστίθεται στην μορφή τους η εμπειρία που έχει ο θεατής σε σχέση με αυτά. Ο θεατής εν αγνοία του συμμετέχει στη δημιουργία μιας νέας εικόνας διαφορετικής από το εικονιζόμενο αντικείμενο. Τελικά γιατί όχι ενός νέου αντικειμένου, στο βαθμό που του επιτρέπει η δική του δεξιοτεχνία, ή η ικανότητα να επικοινωνεί την εικόνα που οραματίζεται σε δεξιότητες και να τους παρακινεί να δράσουν με στόχο την υλοποίησή της (Arnheim & Ποταμιανός, 2005, p. 58). Η μορφή του οξυκόρυφου τόξου σε κατασκευές από πέτρα παραπέμπει στην γοτθική αρχιτεκτονική και σε κατασκευές από ξύλο στη ναυπήγηση.

Η γοτθική αρχιτεκτονική και η ναυπηγική τέχνη, αποτελούν ιδανικό πεδίο έρευνας για κατασκευαστικές τεχνικές με κύριο υλικό την πέτρα και το ξύλο αντίστοιχα. Σε αυτές τις μορφές γίνονται πειραματισμοί με κοίλες επιφάνειες.

Η κοιλότητα αυξάνει την δυσκολία της κατασκευής για τον τεχνίτη. Παράλληλα και οι δύο τομείς καταπιάνονται με την κατασκευή κοιλοτήτων για την περίκλειση χώρων συγκρίσιμων μεγεθών. Η ομοιότητα της μορφής του οξυκόρυφου τόξου με την εγκάρσια τομή όπως και η πρόσοψη ενός σκαριού σε συνδυασμό με τις παραπάνω παρατηρήσεις με οδήγησαν στη διαδικασία να ερευνήσω τις επινοήσεις της γοτθικής αρχιτεκτονικής και αυτές των πλοίων, και τη σχέση που μπορεί να έχει η κατασκευή των δύο.

Οι ξυλοκατασκευές (στεριανές-οξυκόρυφη στέγη και θαλασσινές-καμπύλωση) των βορειοευρωπαϊκών λαών εμπεριέχουν ενδιαφέρουσες καινοτομίες, και ιδιαιτερότητες στη μορφή τους που θα μπορούσαν να διαφωτίσουν στο πώς επιλύθηκαν κατασκευαστικές προκλήσεις από τη ναυπήγηση στην αρχιτεκτονική και από την ξύλινη κατασκευή στην πετρόχτιστη. Τα ευρήματα από σκαριά της μεσογείου του μεσαίωνα, αν και λιγοστά, σε συνδυασμό με πρωτότερα αναδεικνύουν την εξέλιξη κατασκευαστικών λεπτομερειών, μεθόδων και σχημάτων.

Οι καθεδρικοί αποτελούν διαδοχικές εξαιρέσεις κατασκευών και επινοήσεων.¹

¹ Κατά την κατασκευή των καθεδρικών ήταν συχνό φαινόμενο η καταρρέυσις τμημάτων από κατασκευαστική αστοχία και λάθος εκτιμήσεις, οι χτίστες και οι καθοδηγητές του έργου μάθαιναν μέσω δοκιμής και σφάλματος.

Τα ερευνητικά ερωτήματα είναι αν οι τεχνίτες, και οι υπεύθυνοι ανέγερσης των γοθθικών, δανείστηκαν και προσάρμοσαν πρακτικές, τεχνικές, εργαλεία ή και διαδικασίες για να επιλύσουν τις προκλήσεις που θέτει ο γοθθικός ναός.

Πιο συγκεκριμένα πως συντέλεσε η τέχνη της ναυπηγικής ξυλουργικής στην ανέγερση των γοθθικών, πως εξελίχθηκαν οι τεχνικές και τα εργαλεία μέσα από τις προκλήσεις που έθεταν οι αρωγοί και πώς επέδρασε η εξέλιξη των τεχνικών στη βελτίωση των παραγόμενων κατασκευών.

Προκειμένου να απαντηθούν αυτά τα ερωτήματα είναι αναγκαία η κατανόηση των διαφορετικών υλικών (ξύλου-πέτρας) και των τρόπων που συνέθεταν με αυτά καμπύλες.

Με ποιο τρόπο όρισε και σε τι βαθμό επέτρεψε η φύση του υλικού της πέτρας την μεταφορά τεχνικών από τις ξυλοκατασκευές;

Πόσο διαφορετική ήταν η επεξεργασία των πρώτων υλών εκείνη την εποχή (πέτρας και ξύλου);

Πώς γινόταν η συναρμογή και διαμόρφωση των μελών;

Με ποια διαδοχή εφαρμόζονταν οι διάφορες διαδικασίες για την επίτευξη του τόξου - κοιλότητας στην κάθε κατασκευή;

Μέθοδος

Η μέθοδος θα ήταν καθαρά ποιοτική αν τα ευρήματα περιορίζονταν σε θεωρίες. Ωστόσο πολλά από τα ευρήματα αποτελούνται από φωτογραφικές αποτυπώσεις και αποτυπώσεις αρχαιολογικών ευρημάτων. Για αυτόν το λόγο επιτάσσεται η περιγραφική τους ανάλυση σε συνδυασμό με την κριτική ανάπτυξη των διαπιστώσεων των ερευνητών. Το μικρό πλήθος των δειγμάτων σε σχέση με τις κατασκευαστικές λεπτομέρειες και γενικότερα τον τρόπο κατασκευής των συγκεκριμένων κατηγοριών δεν ενδείκνυται για ποσοτική έρευνα. Ωστόσο τέτοια έρευνα έχουν κάνει είδη κάποιοι από τους μελετητές. Με βάση τις μελέτες τους κάποια ευρήματα μπορούν να γενικευτούν και κάποια να αντιμετωπιστούν σαν εξαιρέσεις. Η συλλογή οπτικοακουστικού υλικού και κείμενα, αρχαιολογικά, αρχιτεκτονικά αλλά και από άλλους επιστημονικούς χώρους, αποσκοπεί στην σύγκριση των πληροφοριών προκειμένου να προκύψουν ερωτήματα και απαντήσεις που εξελίσσουν την πορεία της έρευνάς μου. Κάποιοι μελετητές παρουσιάζουν καταγραφή ευρημάτων και κάποιοι προτείνουν μεθόδους βασισμένες σε πειράματα ή μελέτες προκειμένου να αναπληρώσουν το γνωστικό κενό. Η ερμηνεία δεδομένων και η παραγωγή γνώσης

είτε μέσω παρατήρησης είτε μέσω πειραμάτων είδη χρησιμοποιείται σε πολλές από αυτές τις πηγές. Κάποια από τα ερωτήματα που προκύπτουν δεν απαντώνται αλλά γίνονται αφορμή για την υπόδειξη νέων ερευνών. Κάποια απαντώνται προσεγγιστικά. Στη ναυπήγηση τα ευρήματα είναι καταγραφές και αναλύσεις για αποδομημένα σκαριά τα οποία είτε συναρμολογούνται είτε ανακατασκευάζονται. Από την αποτύπωση, την συναρμολόγηση και την ανακατασκευή τους προκύπτουν και οι αντίστοιχες πηγές.

Στην Γοτθική αρχιτεκτονική οι καταγραφές βασίζονται περισσότερο σε εξωτερική παρατήρηση των ναών παρά στην αποδόμηση και ανακατασκευή τους. Η ανακατασκευή καθεδρικού με τις μεθόδους του μεσαίωνα δεν καθίσταται δυνατή. Επιπλέον ο κάθε καθεδρικός φαίνεται να έχει τις δικές του ιδιαιτερότητες. Ωστόσο οι γνώσεις για τον τρόπο κατασκευής θόλων και τα πειράματα για αυτούς μπορούν να συνδυαστούν με αναφορές του μεσαίωνα για τεχνικές κατασκευής, αναλύσεις πέτρινων κατασκευών μικρότερης κλίμακας, αρχαιολογικά ευρήματα εργαλείων και μεσαιωνικές απεικονίσεις εργοταξίων. Από αυτά παράγονται δεδομένα που επεξηγούν την κατασκευή των Γοτθικών και διατυπώνουν διάφορες θεωρίες για τις μεθόδους των μαστόρων του μεσαίωνα.

Συμπεριλαμβάνεται πληθώρα περιπτώσεων με στόχο τη δημιουργία μιας πιο ολοκληρωμένης εικόνας. Αυτό οφείλεται στην ποικιλία κατασκευαστικών διαδικασιών που απαντώνται τόσο στην γοτθική αρχιτεκτονική όσο και στην ναυπήγηση.

Όπου δεν προέκυψαν ευρήματα αυτής της περιόδου του μεσαίωνα, προστέθηκαν από πρότερες περιόδους. Φυσικά με την προϋπόθεση πως δεν προκύπτει σημαντική αλλοίωση λόγω διαφοροποίησης περιόδου. Η σύγκριση των πηγών αποδείχθηκε απαραίτητη για τον αποκλεισμό εσφαλμένης ερμηνείας του υλικού όχι μόνο λόγω των ποικίλων περιπτώσεων αλλά και πληροφοριών που απορρίφθηκαν από πιο σύγχρονα ευρήματα.

Συλλογή - Επιλογή βιβλιογραφίας

Για την επιλογή των πηγών χρησιμοποίησα άρθρα από έγκυρες επιστημονικές ιστοσελίδες, βιβλία ιστορίας της αρχιτεκτονικής, σημειώσεις παραχωρημένες από καθηγητές, ακαδημαϊκές έρευνες, δημοσιευμένα άρθρα επιστημονικών περιοδικών και βίντεο δημοσιευμένα από αρχαιολογικές μελέτες, ανακατασκευές από ειδικούς τεχνίτες, αρχιτεκτονικές διαλέξεις και ντοκιμαντέρ. Ειδική κατηγορία πηγής αποτελούν οι εικόνες είτε αφορούν φωτογραφίες υφιστάμενων κατασκευών και ευρημάτων, είτε

τις πιστές και λεπτομερείς αποτυπώσεις αυτών. Στον χώρο τις αρχιτεκτονικής συνηθίζεται η εξαγωγή πληροφοριών με μέσο την εικόνα.

Ο σκοπός της επιλογής του υλικού αποτελείται από δύο βασικά σκέλη. Το ένα είναι η συγκρότηση ενός καταλόγου αρχιτεκτονικών και ναυπηγικών κατασκευών έως τα τέλη του μεσαίωνα ώστε να διαμορφωθεί ένα γενικό πλαίσιο για τα κατασκευαστικά κατορθώματα στους αντίστοιχους τομείς και με τα αντίστοιχα υλικά όπως ασβεστόλιθος και ξύλο. Το δεύτερο σκέλος είναι η συλλογή των τεχνικών και των εργαλείων που μεταποιούσαν τις πρώτες ύλες σε αυτά τα κατορθώματα. Με αυτές τις βάσεις δεδομένων αποσαφηνισμένες μπορεί σε επόμενο στάδιο να εφαρμοστεί παραπάνω μέθοδος ερμηνείας ώστε να εξαχθούν τα ανάλογα συμπεράσματα.

Πέτρα και ξύλο, εσωτερική δομή υλικού

Αντί να αναφερθώ για το κάθε είδος πετρώματος και δέντρου με τις ιδιότητές του θα περιοριστώ στον ασβεστόλιθο που ήταν η προτίμηση των λιθοποιών του μεσαίωνα και στη δρυ που ήταν η πρώτη επιλογή των ξυλουργών και ναυπηγών του μεσαίωνα. Γενική μηχανική συμπεριφορά των υλικών είναι πως η πέτρα αντέχει στην θλίψη και το ξύλο σε εφελκυσμό και θλίψη ανάλογα με την φορά καταπόνησης σε σχέση με τα νερά του.

Ο ασβεστόλιθος

Ο ασβεστόλιθος κατατάσσεται στα ιζηματογενή πετρώματα. Η διαμόρφωση των πετρωμάτων αυτής της κατηγορίας γίνεται με στρώσεις υλικού οι οποίες είτε υπό πίεση είτε υπό άλλες συνθήκες ενοποιούνται και διαμορφώνουν το πέτρωμα. Αυτές οι στρώσεις δεν είναι ίδιας πάντα σύστασης. Η ομοιότητα της σύστασής τους καθορίζει και την καθαρότητα του πετρώματος. Η σύσταση² των στρώσεων και οι διαφορετικές συνθήκες πίεσης ανά περιόδους συντελούν στην πυκνότητά του, στο σύνολο του πετρώματος αλλά και κάθε στρώσης του. Ανάλογη της πυκνότητας και καθαρότητας του πετρώματος είναι η σκληρότητά του (U.S. General Services Administration, 2016).

Ο ασβεστόλιθος που χρησιμοποιείται στους καθεδρικούς θεωρείται μέτριας πυκνότητας. Με βάση αυτή επιλέχτηκε από τους χτίστες αφού η διαμόρφωσή του ήταν

² Ο Kidder αναφέρεται σε διάφορες προσμίξεις με μεταλλικά στοιχεία τα οποία προσδίδουν στο πέτρωμα και την ανάλογη απόχρωση. (Kidder, 1909, pp. 226,227)

πολύ πιο εύκολη από αυτή του γρανίτη και η αντοχή του επαρκής για την ανέγερση μεγάλου όγκου και ύψους τοιχοποιίας. Ταυτόχρονα είναι πιο εύθραυστος από τον γρανίτη. Η διαμόρφωση της κάθε λίθου έπρεπε να γίνει με προσοχή και υπομονή από έμπειρους τεχνίτες ώστε να μην σπάσει σε λάθος σημείο και αχρηστευτεί.

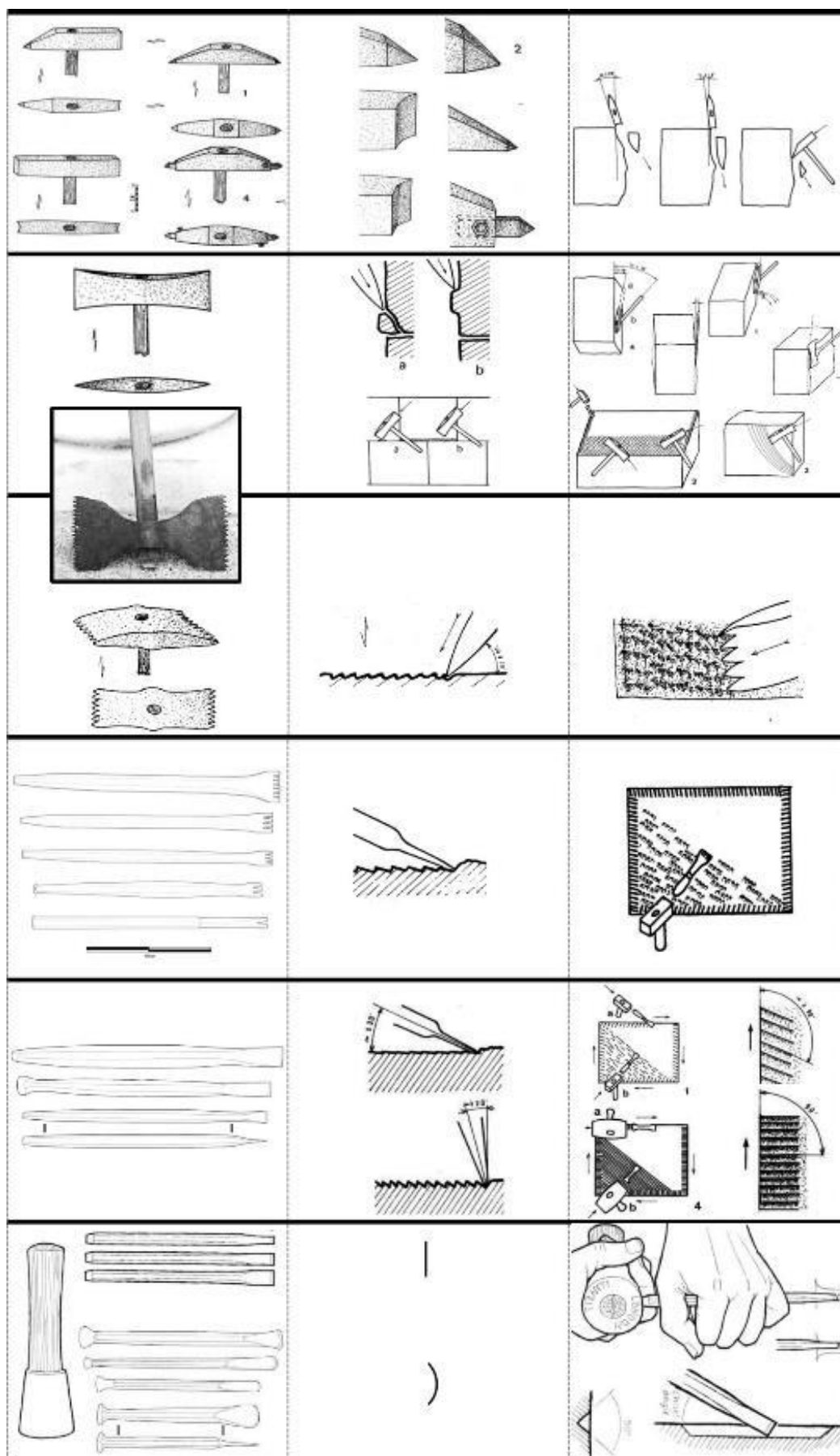
Η δρυς

Η δρυς κατατάσσεται στα σκληρά και ανθεκτικά ξύλα με πυκνή κυτταρική δομή. Η ρητίνη της έχει pH που την προστατεύει από παράσιτα. Πέρα από τα ειδικά χαρακτηριστικά η επιλογή του δέντρου προς υλοτόμηση καθοριζόταν από το μέγεθός του και τον τρόπο ανάπτυξης του κορμού. Ο τρόπος ανάπτυξης επηρεάζει τα νερά του κορμού. Στον κατακόρυφο άξονα οι βασικές περιπτώσεις ανάπτυξης των νερών είναι να σχηματίζουν ευθείες ή σπείρες. Για κατασκευές επιλέγονται κορμοί με ευθεία ανάπτυξη. (WOOD Magazine Editorial Staff & Contributors, 2018) Σε αυτούς η συμπεριφορά του ξύλου στις διάφορες συνθήκες είναι πιο προβλέψιμη και το λύγισμα του ομοιόμορφο. Από τον κορμό δεν χρησιμοποιούνταν όλα τα μέρη με τον ίδιο τρόπο. Περιζήτητη είναι η καρδιά ή αλλιώς το κέντρο του κορμού όπου είναι και πιο πυκνός. Σε κάποιες μεσαιωνικές τεχνικές επεξεργασίας³ ο τρόπος τεμαχισμού παράγει δοκάρια που συνδυάζουν το πιο πυκνό με το πιο αραιό μέρος του κορμού. (Splitting and cutting a log to plank-Kløyving av stokk til bord, 2010)

Εργαλεία και τεχνικές επεξεργασίας υλικού, πέτρα - ξύλο

Τα εργαλεία επεξεργασίας και οι τεχνικές χρήσης τους εξελίχθηκαν με τρόπο τέτοιο που να μην καταστρέφεται το απαιτούμενο για την κατασκευή τμήμα και ταυτόχρονα να διαμορφώνεται για την ανάλογη θέση του στην κατασκευή. Έτσι για την πέτρα εντοπίζονται τρεις κατηγορίες εργαλείων. Τα εργαλεία κρούσης, τα εργαλεία τριβής και τα εργαλεία μέτρησης. Τα τελευταία καθορίζονται περισσότερο από την τελική μορφή που θέλει να αποδώσει ο τεχνίτης και λιγότερο από τις ιδιότητες του υλικού.

³ Sprättäljning, τεχνική στην οποία ο κορμός χωρίζεται σε δοκάρια τριγωνικής διατομής με την μία ακμή τους στο κέντρο και τις δύο στο φλοιό. Κατά την τεχνική χρησιμοποιούνταν σφήνες και αποφευγόταν το τσεκούρι ώστε οι ίνες κατά μήκος του κορμού να παραμείνουν ενιαίες. Η εφαρμογή της σταμάτησε μετά την επιδημία πανώλης στην Ευρώπη τον 14^ο αι.



εικόνα 2 πίνακας εργαλείων λάξευσης, αντίστοιχων απολήξεων και τεχνικής-ίχνους (Josipa, 2018), διπλός πέλεκυς με οδοντωτή ακμή (Torre, 2018)

Εργαλεία κρούσης, τριβής, μέτρησης

Τα εργαλεία κρούσης θα μπορούσαν να αναλυθούν σε αυτά που καθορίζουν τη δύναμη της κρούσης, σε αυτά που καθορίζουν την επιφάνεια συγκέντρωσης της κρούσης και σε αυτά που καθορίζουν και τα δύο (Josipa, 2018). Για παράδειγμα με το τσεκούρι καθορίζεται ταυτόχρονα και η δύναμη και η επιφάνεια συγκέντρωσης της που στην προκειμένη περίπτωση είναι η ακμή του. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί με συνδυασμό σφυριού σαν εργαλείο συγκέντρωσης της κρούσης για πιο ελεγχόμενη εφαρμογή από τον τεχνίτη. Αυτή η δυσπρόστατη φύση του το έκανε ιδιαίτερα δημοφιλές εργαλείο.

Επιπλέον τα εργαλεία με ακμή μπορούν να καταταχτούν σε μία ξεχωριστή κατηγορία πολυχρηστικών εργαλείων. Ανάλογα με την πυκνότητα του υλικού και την εσωτερική του δομή μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία διάτμησης, ξεφλουδίσματος, τριβής και κρούσης. Τέτοια εργαλεία είναι παρόμοια στην επεξεργασία πέτρας και ξύλου αν και η τεχνική και η ονομασία τους διαφοροποιούνται κατά περίπτωση. Παρόμοια εφαρμογή με τα εργαλεία που καταλήγουν σε ακμή έχουν τα οδοντωτά εργαλεία. Αυτά χρησιμοποιούνται είτε σε σκληρότερα πετρώματα είτε σε στάδιο επεξεργασίας πριν την εφαρμογή της αντίστοιχης σμίλης με ακμή. Δεν χρησιμοποιούνται για το τελικό φινίρισμα αφού η απόληξη τους θα άφηνε σημάδια στο πέτρωμα. Η ιδιαιτερότητα των οδοντωτών εργαλείων έγκειται στην μείωση της επιφάνειας επαφής σε σειρά σημείων. (Torre, 2018) Με αυτό τον τρόπο γίνεται εύκολη η τριβή τους είτε σε πέτρωμα είτε σε ξύλο και μέσω αυτής η απόσπαση υλικού.

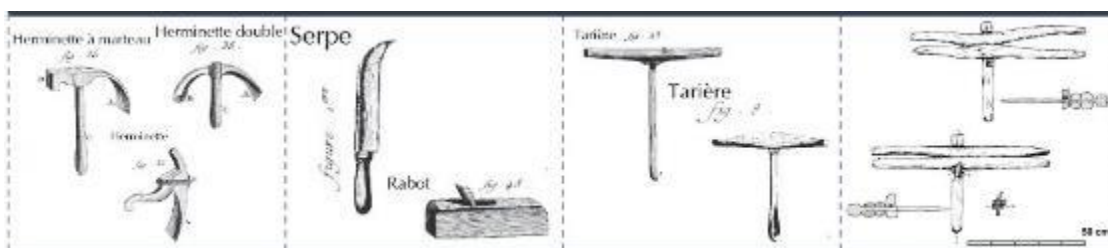
Επιλογή, Συλλογή, Επεξεργασία πρώτης ύλης

Στην λάξευση χρησιμοποιείται σφυρί και καλέμι στα περισσότερα στάδια επεξεργασίας. Στα αρχικά στάδια το μεσαιωνικό εργαλείο ήταν ένα είδος τσεκουριού. Για να χωριστεί η πέτρα από το λατομείο, μπήγονταν σφήνες κατά μήκος της χάραξης που ήθελαν να χωρίσει τις οποίες έκρουαν με σφυρί (Wootton, et al., 2013, p. 1). Την ίδια τεχνική χρησιμοποιούσαν οι Νορμανδοί για το χώρισμα του κορμού, οπού αντί για οπές έσκαβαν ένα είδος κινησιός με τριγωνική διατομή κατά μήκος του κορμού. Αυτή καθοδηγούσε την ευθεία πρόσπτωσης του τσεκουριού.



εικόνα 3 στιγμιότυπο από βίντεο για το χώρισμα του κορμού. (Splitting and cutting a log to plank-Kløyving av stokk til bord, 2010)

Αφού ο κορμός άρχιζε να χωρίζει χρησιμοποιούνταν σφήνες. Οι σφήνες χρησιμοποιούνται και στην υλοτόμηση για να καθορίσουν την κατεύθυνση πτώσης του κορμού. Στην ναυπήγηση όπως και σε υπόλοιπες κατασκευές, τουλάχιστον στο βορρά, η ξυλογλυπτική γινόταν με τσεκούρι για τις πιο αδρές μορφές και με μαχαίρι για την απόδοση πιο ντελικάτου φινιρίσματος (Thelin & Linscott, 2008, p. 122).



εικόνα 4 εργαλεία ξυλουργικής και ναυπήγησης, από τα αριστερά σκαπάνες σκαλίσματος με καμπύλη ακμή, μαχαίρι σκαλίσματος και πλάνη, τρυπάνια, (Burri, et al., 2012, p. 409), σφικτήρες (Ossowski, 2010, p. 132) για το 'εκφορικό' σανίδωμα πλοίου.

Φυσικά για την ξυλογλυπτική προστίθενται και άλλα εργαλεία με πιο εξειδικευμένη χρήση. Και στη περίπτωση της πέτρας και του ξύλου υπάρχει το στάδιο μιας γενικής επεξεργασίας και το στάδιο της λεπτομερούς απόδοσης μορφής. Και στα δύο υλικά χρησιμοποιείται το τσεκούρι για την γενική μορφή, για την απόσπαση υλικού σφήνες και σφυρί. Οι τεχνίτες ξύλου και πέτρας εξαρτώνται από την σιδηρουργία αφού τα εργαλεία τους κατασκευάζουν και συντηρούν σιδηρουργοί.

Στον μεσαίωνα οι γνώσεις για την δημιουργία ατσαλιού ήταν εμπειρικές. Ελάχιστοι σιδεράδες μπορούσαν να το παράξουν και χωρίς βεβαιότητα για το επιτυχές αποτέλεσμα της προσπάθειά τους. Ο σίδηρος από την άλλη ήταν και αυτός πολύτιμος χωρίς να σπανίζει όπως το ατσάλι. Οι τεχνίτες που χρησιμοποιούσαν σιδερένια ή ατσάλινα εργαλεία δεν αγόραζαν κάποιο καινούργιο αλλά τροποποιούσαν και επιδιόρθωναν αυτό που είδη είχαν. Ήταν τόσο σημαντικό που είτε θάβονταν με αυτό είτε το κληροδοτούσαν στον μαθητευόμενό τους. Το ατσάλι επιτρέπει την διαμόρφωση πιο αιχμηρών και ανθεκτικών εργαλείων. (Timeline, 2018) Αυτά τα








εργαλεία όχι μόνο σπάνιζαν, ήταν αξιολόγητα στα μάτια οποιουδήποτε τεχνίτη. Αυτό σημαίνει πως το ίδιο μέταλλο μπορεί να έχει πάρει διάφορες μορφές κατά την πάροδο του χρόνου ανάλογα με την καινοτομία που μπορεί να εμπνεόταν ο χρήστης του αλλά και με το πώς αυτό ταίριαζε τον σωματότυπό του. Συνέπεια της πρακτικής ανακύκλωσης του μετάλλου είναι η δυσκολότερη παρατήρηση της εξέλιξης αυτών των εργαλείων.



εικόνα 5 toothed hammer, collection of the author, Spain (Torre, 2018)

Ένα από τα πιο ιδιαίτερα μεσαιωνικά εργαλεία είναι ο οδοντωτός διπλός πέλεκυς που απεικονίζεται στον πίνακα εργαλείων λάξευσης (Torre, 2018). Πιθανόν να χρησιμοποιούνταν απευθείας στην απόσπαση κάποιου μαλακού ασβεστολιθικού πετρώματος. Συνήθως οδοντωτές μικρές ακμές σε εργαλεία λάξευσης χρησιμοποιούνται κατά την επεξεργασία της πέτρας σαν ενδιάμεση απόσπαση υλικού πριν την πιο λεπτομερή μορφοποίηση. Το συγκεκριμένο τσεκούρι δεν θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την προετοιμασία των λεπτομερειών. Επίσης τα πετρώματα που χρησιμοποιούνταν στον ευρωπαϊκό χώρο και συγκεκριμένα στην γοτθική αρχιτεκτονική είναι μέτριας και χαμηλής σκληρότητας κάτι που δε δικαιολογεί τη χρήση οδοντωτής ακμής στο συγκεκριμένο εργαλείο. Μία υπόθεση είναι πως χρησιμοποιούνταν για πιο ακριβή τετραγωνισμό λίθων.⁴ Στη Γοτθική αρχιτεκτονική θα χρησιμοποιούνταν για τη τοιχοποιία ή για τις νευρώσεις. Δηλαδή για την αφαιρετική σχηματοποίηση πριν τη χάραξη, τη λάξευση των λεπτομερειών και τη λείανση. Το μήκος της λάμας του θα ήταν ιδανικό για το πριόνισμα της πέτρας, ώστε να δημιουργηθεί η χαρακιά στην οποία θα χώριζε.

⁴ Για δρομική λαξευτή και ημιλαξευτή τοιχοποιία η χρήση του θα γινόταν στα τελικά στάδια σε αντιστοιχία με παρόμοιο εργαλείο του 20^{ου} αι. που αναφέρει ο Kidder (Kidder, 1909, pp. 270,271).

εργαλεία	Τχνος	Τεχνική
 <p>1 οφρηνο τοξέκουρο</p>		 <p>A</p>  <p>B</p>
 <p>2 με πλατιά λεπίδα</p>		
 <p>3 πέλεκυς</p>		
 <p>4 πέλεκυς καθαρίσματος</p>		
 <p>5 σκαπάνη</p>		

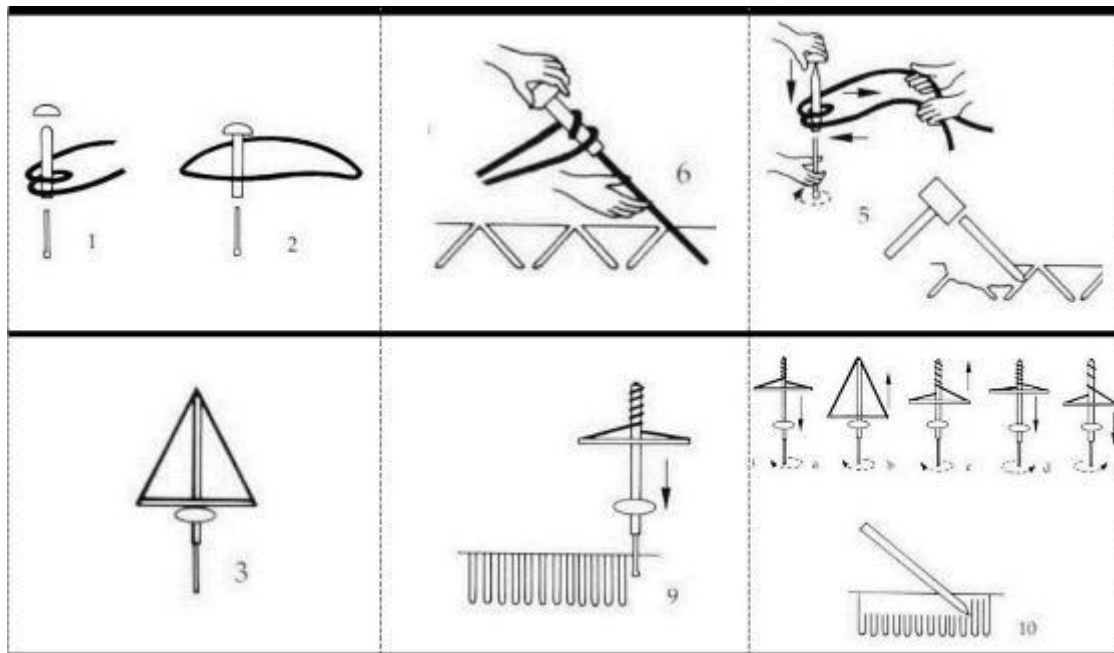
εικόνα 6 πίνακας εργαλείων ξυλοκόπου για τον μετασχηματισμό του κορμού.

1,3,4,5 (Burri, et al., 2012, p. 409), 2 (Hutchinson, 1994, p. 22)

Τσεκούρι χρησιμοποιείται και από τους Νορμανδούς για τη μορφοποίηση ελκυστήρων, αντηρίδων και άλλων τμημάτων ξύλινων κατασκευών όπως και αυτό του ποδόστρωτου των πλοίων τους.

Ενώ η τεχνική φυσικά θα διέφερε από υλικό σε υλικό, το τσεκούρι έχει αναδειχθεί είδη σε βασικό πολυεργαλείο το οποίο ταξινομείται σε υποκατηγορίες ανάλογα της χρήσης του. Δεν μπορεί να ελεγχθεί αν οι λιθοξοοί η οι ξυλουργοί ανακάλυψαν πρώτοι τις δυνατότητές του. Με βάση την ιστορική διαδρομή της λιθοποιίας και γλυπτικής προηγούνται οι ξυλουργοί. Κυρίως επειδή στην αρχαιότητα το βασικό πέτρωμα ήταν

το μάρμαρο και ο γρανίτης του οποίου η απόσπαση και επεξεργασία γινόταν με πιο χρονοβόρες διαδικασίες.



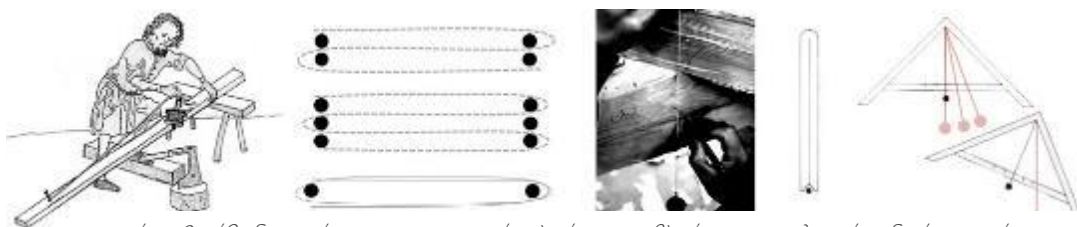
εικόνα 7 τρυπάνια λιθοξόου και αντίστοιχοι τρόποι εφαρμογής.

Μία άλλη τεχνική απόσπασης υλικού από τα λατομεία χρησιμοποιεί την ιδιότητα του ξύλου να φουσκώνει όταν απορροφά νερό. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιούνταν είδη στην αρχαιότητα. Λαξεύονταν κενά ανά διαστήματα στον ίδιο τον βράχο και μπήγονταν αντί σιδερένιων σφηνών ξεραμένοι ξύλινοι πάσσαλοι. Έπειτα βρέχονταν και με την αλλαγή όγκου τους ωθούσαν το πέτρωμα με αποτέλεσμα αυτό να χωρίσει. (Wootton, et al., 2013, p. 3)



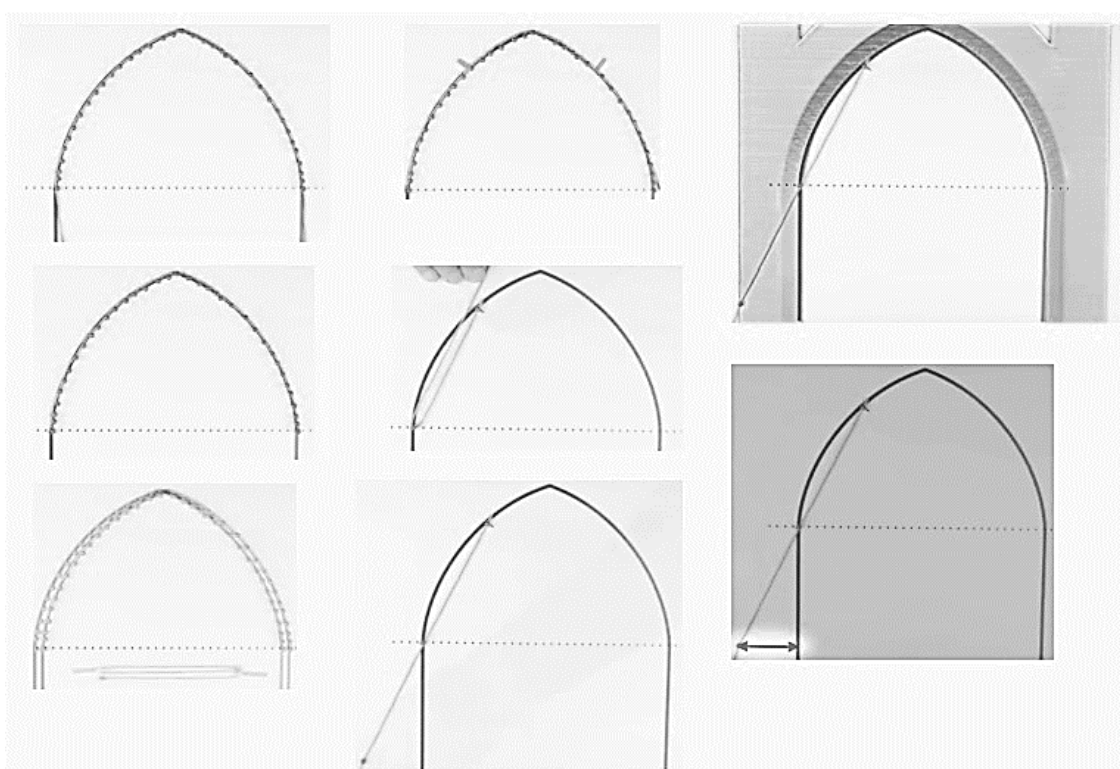
εικόνα 8 στιγμιότυπα σημαδέματος με σχοινί από ντοκιμαντέρ με θέμα την κατασκευή μεσαιωνικού κάστρου. (Timeline, 2018)

Ξεχωριστή κατηγορία είναι τα εργαλεία μέτρησης και σημαδέματος. Τέτοια εργαλεία στόχο έχουν την μεταφορά μοτίβων, διαστάσεων, τον καθορισμό υποδιαίρέσεων μέγιστων μεγεθών, και την επαλήθευση χαρακτηριστικών της κατασκευής. Σε αυτά εντάσσονται τα πατρόν, οι λαβίδες, οι διαβήτες και το σχοινί το οποίο κάλυπτε ένα ευρύ φάσμα χρήσεων.



εικόνα 9 μέθοδοι χρήσης του σχοινιού, α) μέτρηση, β) εύρεση αναλογιών, διαίρεση μέγιστου ή πολλαπλασιασμός ελάχιστου μήκους γ),δ),ε) αλφάδιασμα. (από αριστερά προς δεξιά)

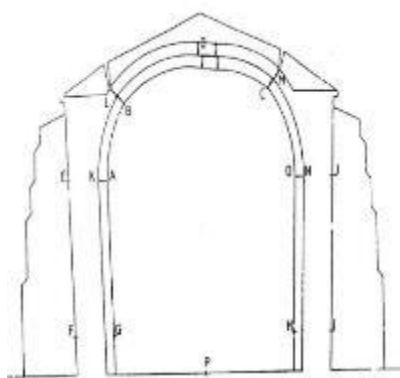
Ενώ οι άλλες κατηγορίες χρησιμοποιούνται με παρόμοιο τρόπο, στη συγκεκριμένη κατηγορία η μέθοδος εφαρμογής χρήσης και παραλλαγής του εργαλείου αλλάζει με τον τύπο κατασκευής και τα επιμέρους τεμάχιά της.



εικόνα 10 στιγμιότυπα από βίντεο στο οποίο προτείνεται ο τριμερισμός του τόξου και ο καθορισμός του πάχους των τοίχων με σχοινί. (Hammack, 2023)

Συγκεκριμένα το σχοινί θεωρείται πως χρησιμοποιούνταν για μετρήσεις αφού είχε την δυνατότητα να διπλωθεί σε ίσα μέρη (Reed, 2020, p. 33). Ταυτόχρονα μπορεί να τεντωθεί σε ευθεία. Σε αυτή την κατάσταση χρησιμοποιούνταν για σημάδεμα και σε συνδυασμό με άλλα εξαρτήματα για τον καθορισμό κατακορυφότητας. Παραπάνω παρουσιάζεται μια θεωρία για το πως αξιοποιούσαν το σχοινί για τον καθορισμό του πάχους των τοίχων σε σχέση με το άνοιγμα των τόξων. Η διαδικασία εικάζεται πως γινόταν στο σκαρίφημα του εδάφους, πριν αρχίσει η κατασκευή.

Καμπύλωση, πέτρα – ξύλο, ενιαίο-καταμερισμένο



*εικόνα 11 σκίτσο αφαιρετικής
αποτύπωσης αψίδας με
παραμόρφωση του σχήματος και
αναπροσαρμογή των θέσεων των
θολιτών (Huerta, 2001, p. 55).*

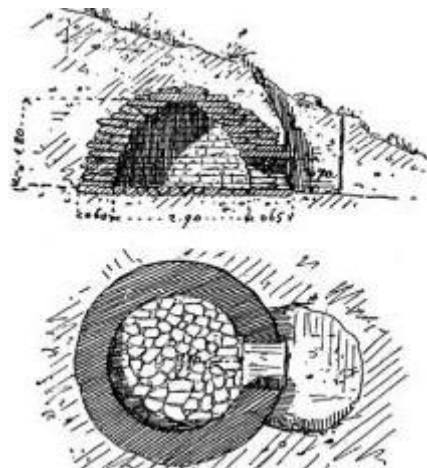
Βασικός τρόπος για την δημιουργία καμπύλων μορφών κοινός και για τις δύο κατηγορίες υλικών είναι η αφαίρεση υλικού. Οι ιδιότητες του υλικού και η μηχανική του συμπεριφορά θα διαμορφώσουν τα εργαλεία για την επεξεργασία του. Σε κατασκευές τις αρχιτεκτονικής και της ναυπήγησης είναι επιθυμητή η διατήρηση της μορφής, η αφαίρεση υλικού ή αλλιώς η τέχνη της γλυπτικής σαν τεχνική καμπύλωσης δεν επαρκεί για ανθεκτική κατασκευή τέτοιας κλίμακας. Η πέτρα δεν αντέχει σε εφελκυσμό, το ξύλο ενώ αντέχει και σε θλίψη και σε εφελκυσμό. Η αντοχή του αυτή καθορίζεται από τη διεύθυνση των δυνάμεων σε σχέση με τα νερά του. Οι συμπεριφορά των υλικών ανάγκασε τους τεχνίτες να γίνουν πιο επινοητικοί με τη δομή της κατασκευής, το είδος των εργαλείων και τις τεχνικές με τις οποίες τα χρησιμοποιούσαν.

Αναλυτικότερα στην κατασκευή τόξου αντί να χρησιμοποιείται ένα ενιαίο τμήμα πέτρας διαμορφωμένο σε καμπύλη χρησιμοποιούνται πολλά μικρότερα. Στο ενιαίο τμήμα θα ασκούσαν εξωθητικές δυνάμεις με αποτέλεσμα την εμφάνιση ρωγμών, την έντονη παραμόρφωσή του τελικά και την κατάρρευση. Όταν χρησιμοποιούνται πολλά κομμάτια για την δημιουργία της ίδιας μορφής ασκείται πίεση από το ένα στο άλλο με αποτέλεσμα την κατάσταση ισορροπίας και τη διατήρηση της κατασκευής (Huerta, 2001). Το Πάνθεο είναι παράδειγμα αναπροσαρμογής της γεωμετρίας λόγω φθοράς, φυσικά η διατήρηση του βασικού του σχήματος στην νέα κατάσταση οφείλεται και στο ίδιο το σχήμα. (Ochsendorf, 2015)

Σε ευρήματα όπου γινόταν σμίλευση του βράχου εντοπίζονται τεχνητές κοιλότητες είτε σαν τόποι κατοίκησης είτε σαν τάφοι. Αν και ανθεκτικές, η τοποθεσία δεν ήταν επιλογή του ανθρώπου και καθοριζόταν μόνο από γεωμορφολογικούς παράγοντες.

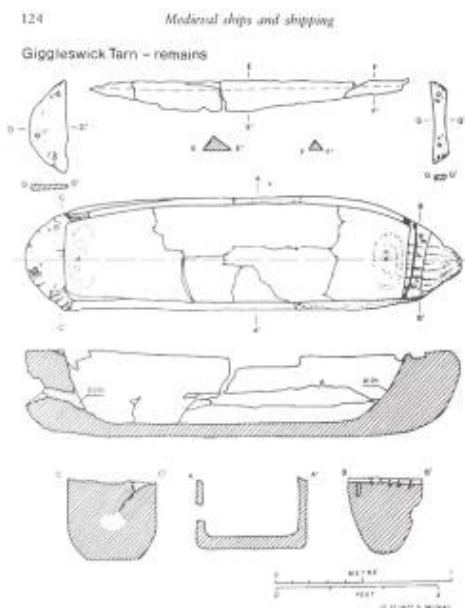


εικόνα 13 τύμβος του 15ου αι. π.Χ. στην Πίλο. (Wade, 2019)



εικόνα 12 σκίτσο αποτύπωσης ταφικού θόλου στον Κουρτέ (Eaby, 2007, p. 453)

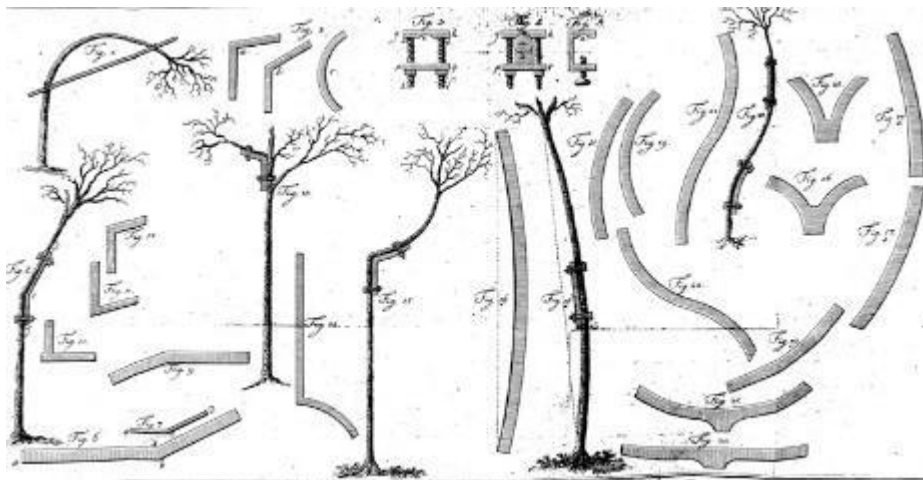
Το επιπλέον πλεονέκτημα στο χτίσιμο με πέτρα ως δομικό υλικό ήταν πως αυτό μπορούσε να μεταφερθεί σε χώρο επιλογής του ανθρώπου που θα συνδύαζε ποικίλα χαρακτηριστικά της επιλογής του. Επίσης του δίνεται η δυνατότητα να ορίσει την διάταξη των κτισμάτων. Τέτοιο παράδειγμα είναι οι πέτρινες κατασκευές στην όπως ονόμαζε ο Όμηρος αμμόδη Πίλο. Έτσι φτιάχνονται χτιστές κοιλότητες που εξυπηρετούσαν σαν τάφοι.



εικόνα 14 σκίτσο αποτύπωσης σκαφτής πιρόγας στη Βόρεια Ευρώπη με μπαλώματα της επιφάνειάς της από επισκευές. (Hutchinson, 1994, p. 124)

Οι πρώτες κοιλότητες στην ναυπήγηση δημιουργούνται με το σκάψιμο ενιαίου κορμού για την κατασκευή πιρόγας. Μπορεί να αποτελούσε ιδανική λύση εκ πρώτης όψεως, ωστόσο η επισκευή του θα ήταν πιο δύσκολη και στην πάροδο του χρόνου θα το έκανε πιο εύθραυστο αφού θα κατέληγε να είναι μια πιρόγα από ανόμοια μπαλώματα. Ακόμα και αν υποθέταμε πως το μέγεθος δεν είναι πρόβλημα και υπήρχαν κορμοί αρκετά μεγάλοι για να σκαφτούν υπερωκεάνια από αυτούς το ζητούμενο της επισκευής θα παρέμενε. Ο καταμερισμός σε μέλη και η επινόηση τεχνοτροπιών σύνδεσής τους είναι αυτά που εκτείνουν τη διάρκεια ζωής του

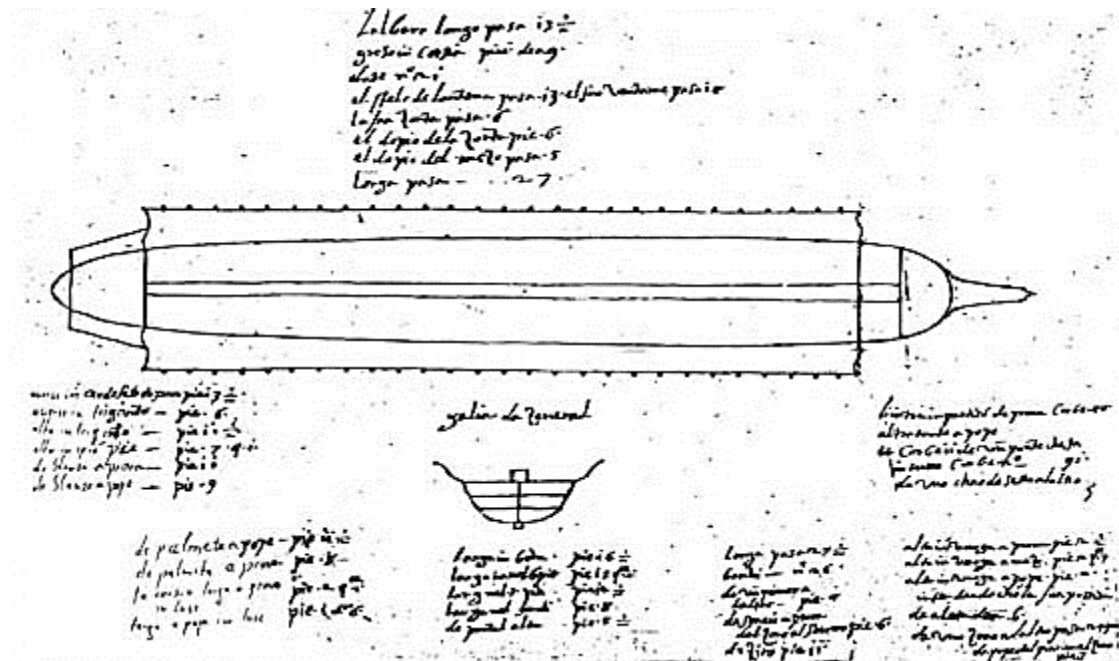
σκαριού και την αντοχή του, αφού το κάθε μέλος που φθείρεται μπορεί να αντικατασταθεί, το καινούργιο κομμάτι να έχει την ίδια συμπεριφορά με το προηγούμενο και σε σχέση με τα προ υπάρχοντα.



εικόνα 15 σκίτσο καλουπώματος κορμών για την παραγωγή συγκεκριμένων σχημάτων (Springmann, 2021)

Η συντήρηση του σκάφους ήταν ένας από τους καταλύτες εξέλιξης της ναυπήγησης. Πρόκληση αποτέλεσε και η έλλειψη κατάλληλης ξυλείας στα τέλη του μεσαίωνα λόγω υπερεκμετάλλευσης. Κατάλληλη ξυλεία για την ναυπήγηση πέρα από τα χαρακτηριστικά του ξύλου θεωρούνταν και αυτή με το επιθυμητό μέγεθος και σχήμα. Για παράδειγμα ευθύς κορμός για το κατάρτι και καμπύλος για τον εγκάρσιο σκελετό. Για αυτό το λόγω θεσμοθετήθηκε η υλοτόμηση και καλλιεργούνταν δάση που προορίζονταν για συγκεκριμένη χρήση. Παράλληλα εφαρμόστηκαν τεχνικές σχηματοποίησης του δέντρου κατά την ανάπτυξή του ώστε να αποτελέσει συγκεκριμένο μέλος σκάφους (Springmann, 2021). Η καμπύλη δεν αποτελεί χαρακτηριστικό αποκλειστικά των σκαριών. Σε επόμενα κεφάλαια αναδεικνύονται καμπύλα ξύλινα μέλη σε στέγες.

Σχήματα και κατασκευή σκαφών στην Ευρώπη έως και τον μεσαίωνα



εικόνα 16 σκίτσο του ναυπηγού Vettor Faust για πρόταση κατασκευής γαλέρας (Gardiner & Morrison, 1995, p. 150)

Στα σκαφτά σκαριά το αποδιδόμενο σχήμα ήταν πάντα κοίλο. Ωστόσο κατά την διαδικασία συναρμολόγησης πιο πολύπλοκων κατασκευών άρχισαν να προκύπτουν διάφοροι σχηματικοί συνδυασμοί αντίστοιχοι με τα υλικά, τις τεχνικές και τις προδιαγραφές του σκαριού. Οι προδιαγραφές καθορίζονταν από το είδος του σκαριού, εμπορικό, πολεμικό, επιβατηγό, ψαράδικο και από την περιοχή πλεύσης, απάνεμη χωρίς ρεύματα, απάνεμη με ρεύματα, με μποφόρ και ρεύματα, με μποφόρ χωρίς ρεύματα. Τα δύο άκρα αντιστοιχούν σε ποντοπόρο και ποταμόπλοιο.

Οι παραπάνω παράγοντες δημιουργούν πολλές διαφοροποιήσεις όχι τόσο χρονικά όσο κυρίως γεωγραφικά. Έτσι προκύπτουν διαφορετικές κατασκευές σαν αποτέλεσμα αλλά και διαδικασία. Το κοινό σε όλα τα σκαριά είναι η πληροφορίες που χρειαζόταν ο ναυπηγός για να τα κατασκευάσει. Τον ενδιέφερε ο αριθμός των κωπηλατών για να ορίσει το μήκος και οι σειρές κουπιών για το βάθος, αν θα έχει πανί και πόσα για να προβλέψει στερέωση για το κατάρτι, τέλος ο τύπος πλεύσης και χρήσης για να ορίσει το σχήμα της γάστρας και τις εγκάρσιες αναλογίες. Από τις ίδιες πληροφορίες μπορεί να πρόκυπτε διαφορετικής κατασκευής σκαρί. Αυτό οφειλόταν στην εξέλιξη διαφορετικών τεχνικών ανά περιοχή.

Στη νότια Ευρώπη βασική πηγή ξυλείας είναι είδη πεύκου, το κυπαρίσσι και κατά περιπτώσεις δρυς ενώ στη βόρεια κυρίως η δρυς. Είδη χρησιμοποιούνται δύο είδη δέντρων που το ξύλο τους έχει άλλες ιδιότητες. Η μείωση των μεγαλύτερων δέντρων σε ηλικία και μέγεθος κάνει τα ενιαία μεγάλα τμήματα ξύλου πιο δυσεύρετα με τους ναυπηγούς να επινοούν τρόπους σύνδεσης μικρότερων κομματιών για τη δημιουργία ενός μεγαλύτερου. Ο διάφοροι τρόποι εξέλιξης αυτής της διαδικασίας δημιουργούν και διαφορετικούς τύπους κατασκευής.

Αυτοί επηρεάζονται από το σχήμα του πλεούμενου. Σε ρηχά νερά η καρίνα μειώνεται σε βάθος ή εξαλείφεται. Στην ανάλυση τμημάτων του ίδιου σκαριού εντοπίζονται πολύ διαφορετικά σχήματα των στοιχείων του. Κάποια σκαριά έχουν επίπεδη γάστρα, επίπεδα πλαϊνά και επίπεδη πλώρη, θυμίζουν περισσότερο σκάφη παρά σκαρί. Άλλα έχουν επίπεδη γάστρα και πρύμνη, με ακμή στην πλώρη όπου τα πλαϊνά του πετσώματος σχηματίζουν οξυκόρυφη κοιλότητα. Άλλα έχουν κοίλη γάστρα προς μία μόνο διεύθυνση και άλλα προς δύο. Τέλος υπάρχουν σκαριά που και η πρύμνη και η πλώρη σχηματίζουν οξυκόρυφες κοιλότητες, καθώς και η γάστρα. Κατά περιπτώσεις το κέλυφος κάνει και αυτό έναν κυματισμό και ο σκελετός τους απαρτίζεται από διαφορετικά τόξα.



εικόνα 17 απεικονίσεις Λιβούρνας, Δρόμωννα 5^{ου} αι., 10^{ου} αι., Γαλέρας (Gardiner & Morrison, 1995)

Εξίσου ποικίλει ο τρόπος κατασκευής και οι ευρεσιτεχνίες που εντοπίζονται. Ιστορικά οι γνώσεις για τη ναυπήγηση στην Νότια Ευρώπη προέρχονται από αρχαία και μεσαιωνικά κείμενα και απεικονίσεις. Στο μεσαίωνα οι βασικές κατηγορίες σκαφών στο Νότο είναι ο Βυζαντινός δρόμωννας, έπειτα η Βενετική γαλέρα με αποκορύφωμα την ισπανική караβέλα. Θεωρείται πως ο δρόμωννας και η βενετική γαλέρα αποτελούν εξέλιξη και συνδυασμό πρότερων τύπων σκαφών όπως η Λιβούρνα, η Τριήρης κ.α.. (Gardiner & Morrison, 1995) Τα ευρήματα αναφέρονται σε χαρακτηριστικά περισσότερο της μορφής τους παρά των τρόπων κατασκευής. Έτσι θα καταφύγω σε ευρήματα που διαφοροποιούνται χρονικά για την συλλογή κατασκευαστικών λεπτομερειών. Δεδομένου πως οι τεχνικές στο μεσαίωνα μεταλαμπαδεύονται από δάσκαλο σε

μαθητή δημιουργώντας έτσι μία συνέχιση της παλαιότερης τέχνης και εφόσον διάφορα ευρήματα του 7^{ου} αι. μ.Χ. είναι ίδιας κατασκευής με ευρήματα του 12^{ου} αι. π.Χ.. Εντοπίζονται τεχνικές όπου οι σανίδες του κελύφους ράβονται μεταξύ τους, τεχνικές όπου χρησιμοποιείται εντορμία σύνδεση και τεχνικές όπου χρησιμοποιούνται μόνο καρφιά.

Η πρώτη περίπτωση δεν κατηγοριοποιείται με βάση τις φάσεις κατασκευής καθώς το πέτσωμα και ο σκελετός θα μπορούσαν να κατασκευαστούν παράλληλα, ωστόσο ο σκελετός είναι αυτός που διαμορφώνει το σχήμα του κελύφους και δεν προσαρμόζεται σε αυτό όπως παρατηρείται σε νορμανδικά πλοία. Στο βορρά τα πιο εξελιγμένα πλοία της κατηγορίας τους, θεωρούνται οι λέμβοι των Βίκινγκ, επίσης τα ευρήματα δεν καθορίζονται τόσο από χρονική ή χωρική αλληλουχία αλλά διαφοροποιούνται με τον τύπο του σκαριού. Σε αντίθεση, στο νότο ο δρόμωνας και η γαλέρα είναι και τα δύο πολιορκητικά πλοία διαφορετικής εποχής και περιοχής. Επίσης τα σκαριά του βορρά είναι καλά διατηρημένα. Έτσι έγινε δυνατή η πιστότερη και ακριβέστερη απόδοση της μορφής τους και η αναλυτικότερη μελέτη της κατασκευής τους. Τα περισσότερα ευρήματα σκαριών κατηγοριοποιούνται στον τύπο κατασκευής όπου προηγείται το πέτσωμα του σκαριού και ακολουθεί ο σκελετός του. Αυτή η κατηγοριοποίηση δεν είναι επαρκής και αυτό θα γίνει κατανοητό στην λεπτομερή ανάλυση της διαδικασίας.

Μεσόγειος

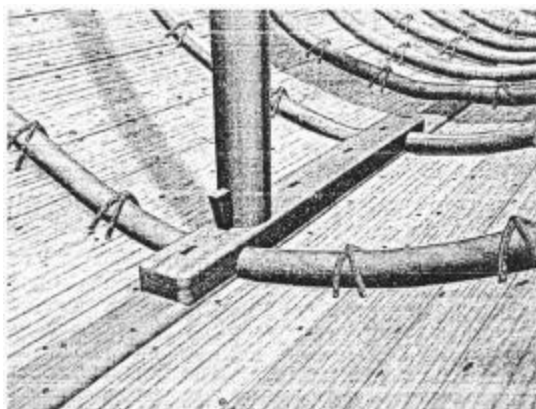
Ευρήματα με την μέθοδο συρραφής και της εντορμίας σύνδεσης

Τα ευρήματα που αφορούν αυτές τις μεθόδους προέρχονται κυρίως από το άρθρο *Ancient Mediterranean Sewn-Boat Traditions* των *Patrice Pomey* και *Giulia Boetto* στο περιοδικό *The International Journal of Nautical Archaeology*. Στην πρώτη μέθοδο οι σανίδες του πετσώματος ράβονται μεταξύ τους κατά μήκος. Η βασική αρχή είναι πως ανοίγονται οπές συρραφής διαγώνια στην εγκάρσια διατομή της σανίδας με αυτές να βγαίνουν είτε στο σόκορό της είτε στην κάτω επιφάνεια. Στην περίπτωση απλών οπών προσέθεταν λινό ή σχοινί πάνω στις ακμές επαφής των σανίδων ώστε οι ραφές να μη φθαρούν λόγω επαφής τους με αιχμή. Αυτό εμποτιζόταν με κάποια σφραγιστική ρητίνη ή και κερωνόταν. Μία άλλη μέθοδος προστασίας της ραφής ήταν το διαγώνιο φάγωμα της οπής. (Pomey & Boetto, 2019) Οι ερευνητές προσπαθούν να κατατάξουν τα σκαριά ανάλογα με το εμπόρευμα, την περιοχή του ναυαγίου, την ξυλεία των μελών του και

την τεχνική κατασκευής. Ωστόσο ο διαχωρισμός βάση τεχνικής σε αυτήν την περίοδο είναι ανακριβής. Εντοπίζονται διαφοροποιήσεις με κάποιες από αυτές να εξελίσσονται σε τελείως διαφορετικού τύπου κατασκευή, αλλά στο αρχικό στάδιο οι διαφορές αφορούν περισσότερο τον χρόνο και την φροντίδα που θα έδινε ο ναυπηγός στη κατασκευή παρά τις γνώσεις του.

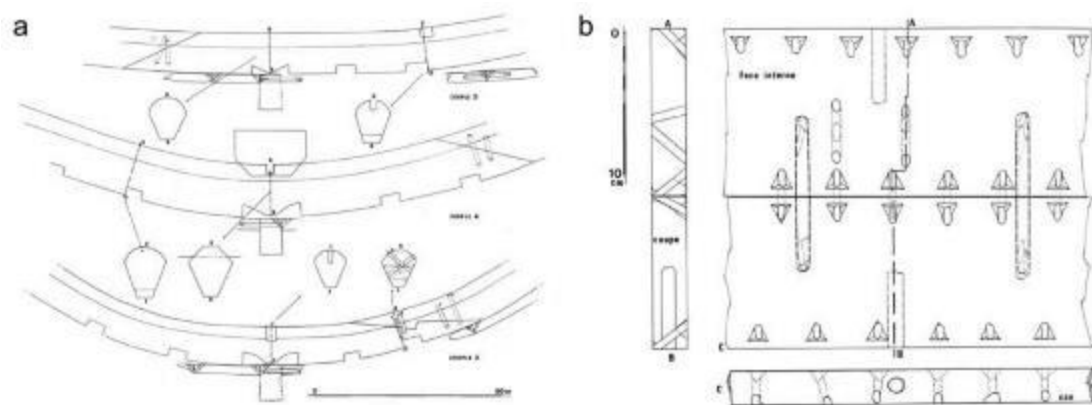


εικόνα 19 φωτογραφία λεπτομέρειας συρραφής του σκαριού Pula2 από την αρχαιολογική ανασκαφή (Pomey & Boetto, 2019, p. 10)



εικόνα 18 σκίτσο της γάστρας του Mazarron2, εφαρμογή καταρτιού στο ποδόσταμο, ράψιμο πετσώματος στον σκελετό (Pomey & Boetto, 2019, p. 20)

Το ραμμένο κέλυφος στα αρχαιότερα ευρήματα δενόταν πάνω σε καμπύλα ξύλα που ήταν ο σκελετός ή καλύτερα οι μπανέλες του σκαριού, αφού στην συγκεκριμένη κατασκευή η σχηματοποίηση του κελύφους σε σκάφος θυμίζει τεχνικές με υφάσματα. Οι ραφές του πετσώματος πιθανότατα σφίγγονταν μετά την τοποθέτηση των ξύλινων μπαλάνων. Αν σφίγγονταν πρωτύτερα το συραμμένο πέτσωμα θα έχανε την πλαστικότητα του και δεν θα έπαιρνε το σχήμα σκαριού. Τότε θα τοποθετούνταν και οι ξυλόσφηνες στις οπές της συρραφής για να εξασφαλίσουν τη στεγάνωση και την σταθερότητα της. Πιθανών οι εγκοπές στο σκελετό από όπου θα περνούσαν οι τριχιές ανοίγονταν μετά την τοποθέτηση του πετσώματος και πριν την τελική προσαρμογή. Η θέση των εγκοπών καθοριζόταν από τις ακμές επαφής των σανίδων πετσώματος. Ευρήματα με αυτήν την τεχνική εντοπίζονται από τον 12^ο αι. π.Χ. έως και τον 7^ο αι. μ.Χ.. Παρόλο που η τεχνική της συρραφής διατηρήθηκε σε όλο αυτό το διάστημα, εντοπίζονται παραλλαγές της και η εξέλιξη της που οδήγησε σε άλλου κατασκευαστικού τύπου σκαριά ανώτερων δυνατοτήτων.



εικόνα 20 σχέδια καταγραφής συνδέσεων του σκαριού Bon Porte από τον Joncheray

(Pomey & Boetto, 2019, p. 24)

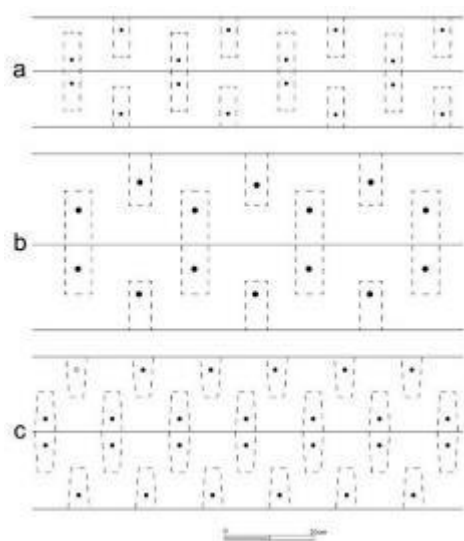
Η απλή τεχνική συρραφής εντοπίζεται στη δυτική μεσόγειο. Πιο πολύπλοκες τεχνικές συρραφής καθώς και η εντορμία σύνδεση εντοπίζεται σε όλη την μεσόγειο από τον 14^ο αι. π.Χ.. Τα σκαριά της δεύτερης κατηγορίας θεωρείται πως κατασκευάστηκαν στην ανατολική μεσόγειο. Από αυτές τις τεχνικές είτε προέκυψαν πιο γερά σκαριά ικανά να διασχίσουν μεγαλύτερες και επικινδυνότερες διαδρομές χωρίς στάση, είτε επινοήθηκαν με σκοπό να δημιουργήσουν τέτοια σκαριά.

Παρατηρείται η συνεχής μείωση της εφαρμογής των ραφών με παράλληλη αύξηση της εντορμίας σύνδεσης. Αυτή η σύνδεση γίνεται και στην επιφάνια των σανίδων αλλά κυρίως εσωτερικά. Είδη σε σανιδώματα με την τεχνοτροπία της άμβλυνσης των οπών όπως σε αυτό του Bon Porte εντοπίζονται αντικριστές οπές κάθετες στο σόκορο των σανίδων. Η πρόταση των ερευνητών είναι πως χρησιμοποιούνταν για να στερεώσουν τις σανίδες μεταξύ τους πριν την συρραφή. Ωστόσο από κατασκευαστική σκοπιά κάτι τέτοιο θα ήταν χάσιμο χρόνου αφού και σε δυο ή τρία σημεία να άνοιγαν οπές δεσίματος και να έραβαν μόνο αυτά πάλι θα συγκρατούσαν τις σανίδες για την διάνοιξη των υπόλοιπων οπών.

Η ευρεσιτεχνία της καβίλιας υποδεικνύει πως η σύνδεση μόνο με ραφές δεν επαρκούσε. Η ραφή επαρκεί για σύνδεση στον οριζόντιο άξονα, όχι στον κατακόρυφο. Για τον κατακόρυφο άξονα της σανίδας χρησιμοποιούνταν ο σκελετός. Ο σκελετός δεν τοποθετείτο σε όλο το μήκος του σανιδώματος αλλά κατά διαστήματα. Αν η σανίδα στα μεσοδιαστήματα σκέβρωνε⁵ και άλλαζε το ύψος της σε σχέση με τις διπλανές για οποιοδήποτε λόγο θα έπρεπε να αλλαχτεί. Οι ξυλόπειροι έλυσαν αυτό το πρόβλημα.

⁵ Διακρίνονται τρεις βασικές κατηγορίες παραμόρφωσης σε σχέση με την διεύθυνση των νερών του ξύλου. Τα αίτια ποικίλουν με βασικό την υγρασία. (Niggli, 2018)

Παρατείνοντας τη διατήρηση της μορφής του σκάφους. Παράλληλα η χρήση τους έδινε την δυνατότητα αραιώσης του σκελετού κάνοντας το σκάφος πιο ελαφρύ. Στο εύρημα του Bon Porte η θέση της καβίλιας ενίσχυσης με τις σανίδες δεν ασφαλιζόταν καθώς το ρόλο σύνδεσης των είχαν οι ραφές.



εικόνα 21 σχέδια τύπων εντορμίας σύνδεσης των Boetto και Pomey, το c αντιστοιχεί στο πιο πρόσφατα κατασκευασμένο σκαρί του 4ου αι. π.Χ.

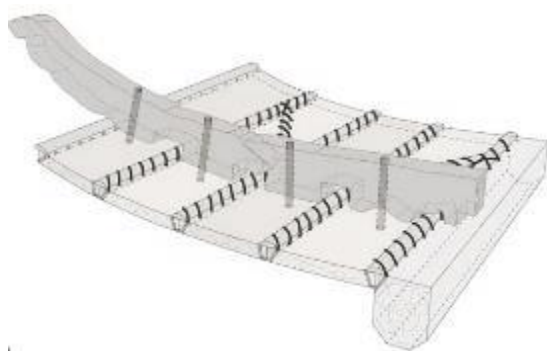
Η ανάγκη να ασφαλιστεί με κάποιου τύπου πρόκα προέκυψε από την έλλειψη των ραφών που έδεναν τις σανίδες μεταξύ τους ή αντίστροφα η προσθήκη πρόκας σε αυτήν κατήργησε τις ραφές σε αυτόν τον τύπο κατασκευής. Η προσθήκη ξυλόπειρου πλάτυνε την επιφάνεια της σύνδεσης. Έτσι οι οριζόντιες συνδέσεις ελαττώθηκαν στο ίδιο μήκος σανιδώματος σε σχέση με αυτές της συρραφής. Μία ιδιομορφία της εντορμίας σύνδεσης φαίνεται στο σκίτσο c όπου το τραπέζιο σχήμα δίνει τη δυνατότητα εφαρμογής περισσότερων συνδέσεων στο ίδιο μήκος από άλλες εκδοχές της.

Κάποια σκαριά συνδυάζουν μαζί με την τεχνική συρραφής την εντορμία σύνδεση. Θεωρείται πως η εντορμία σύνδεση είχε γίνει για την επιδιόρθωση και τη συντήρηση αυτών. Γενικά η επιδιόρθωση σε σκαριά της τεχνοτροπίας με ραφές ήταν ευκολότερη και αποτελεσματική. Ίσως η χρήση εντορμίας στην επιδιόρθωση να είναι ένα επιπλέον μέτρο για το συνταίριασμα επιφανειών των σανίδων όταν ο ξυλουργός διέκρινε πως οι τάσεις παραμόρφωσης του κομματιού διέφεραν από των γειτονικών του. Ίσως όμως να αφορούσε τις συνθήκες επιδιόρθωσης. Αυτά τα πλοία ταξίδευαν κατά μήκος των ακτογραμμών και απέφευγαν να ξανοιχτούν μεσοπέλαγα. Κάτι τέτοιο δεν μπορεί να οφείλεται μόνο στη δυνατότητα προσανατολισμού τους αφού είδη, τουλάχιστον οι Μινωίτες είχαν γνώσεις αστρονομίας που θα τους οδηγούσαν σε στεριά ακόμα και αν δεν μπορούσαν να υπολογίσουν την ακριβή θέση αυτής σε σχέση με τον προορισμό τους⁶. Η ακτοπλοΐα δίνει την δυνατότητα συχνής προσέγγισης της στεριάς είτε για

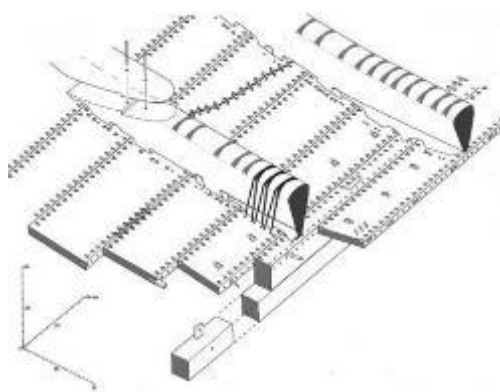
⁶ Ο πρώτη μέθοδο πλοήγησης βασίζεται σε τοπόσημα κατά την ακτογραμμή, έτσι η ακτοπλοΐα είναι μονόδρομος. Η επόμενη μέθοδος χρησιμοποιεί τους αστερισμούς ως τοπόσημα. Αυτό δίνει την δυνατότητα για πλεύση μεσοπέλαγα αφού δεν χρησιμοποιούνται αποκλειστικά τα χαρακτηριστικά της ακτογραμμής σαν τοπόσημα. (Costa, et al., 2022)

ανεφοδιασμό, είτε για την συντήρηση ή και επισκευή του σκάφους. Ενδέχεται κάποιου είδους συντήρηση και επισκευή να γινόταν κατά την διάρκεια της πλεύσης. Έτσι ανάλογα με το είδος της ακτογραμμής που ακολουθούσαν και το χρονικό περιθώριο της στάσης τους, θα εφαρμόζαν διαφορετικού τύπου τεχνικές. Αν υιοθετήσω τον τρόπο ταξινόμησης των ερευνητών τότε ανάλογα με το πού είχε επιδιορθωθεί το σκαρί θα άλλαζε και η τεχνική. Οι επιδιορθώσεις σε ένα σκαρί είναι η ιστορία του, είτε ήταν κατασκευαστικές λεπτομέρειες επισκευής που ανήκαν σε άλλες τεχνοτροπίες, είτε ήταν μέρος μίας σχολής κατασκευής που επίλυε την ίδια αστοχία με πολλούς τρόπους. Ποικίλες τεχνικές στο πλοίο αποδείκνυαν περισσότερες επιδιορθώσεις, μεγαλύτερων σε διάρκεια και απόσταση ταξιδιών ή περισσότερων, καθώς και της ανθεκτικότητάς του, για κάθε φορά που αντί να γίνει ναυάγιο έπλευσε προς κάποιο ναυπηγείο ή κάποια στάση ανάκαμψης. Ένα πλοίο μπορεί να αποτελεί ένα παλίμψηστο τεχνικών από τις διάφορες επιδιορθώσεις. Σε επόμενο κεφάλαιο θα φανεί πως ένας καθεδρικός ναός και γενικότερα ένας ναός μπορεί να συνδυάζει διάφορους αρχιτεκτονικούς ρυθμούς. Τα αίτια για αυτό ήταν η μεγάλης διάρκειας κατασκευή του σε συνδυασμό με φθορές και ανακατασκευές ή προσθήκες.

Σχήμα, σκελετός και συνδέσεις



εικόνα 23 τρισδιάστατη απεικόνιση γάστρας πλοίου με την μέθοδο συρραφής από τον P. Poveda (Pomey & Boetto, 2019, p. 11)



εικόνα 22 αξονομετρικό σχέδιο κατασκευαστικών λεπτομερειών του ναυαγίου Cala Sant Vicenc, των Nieto και Santos, 2008 (Pomey & Boetto, 2019, p. 27)

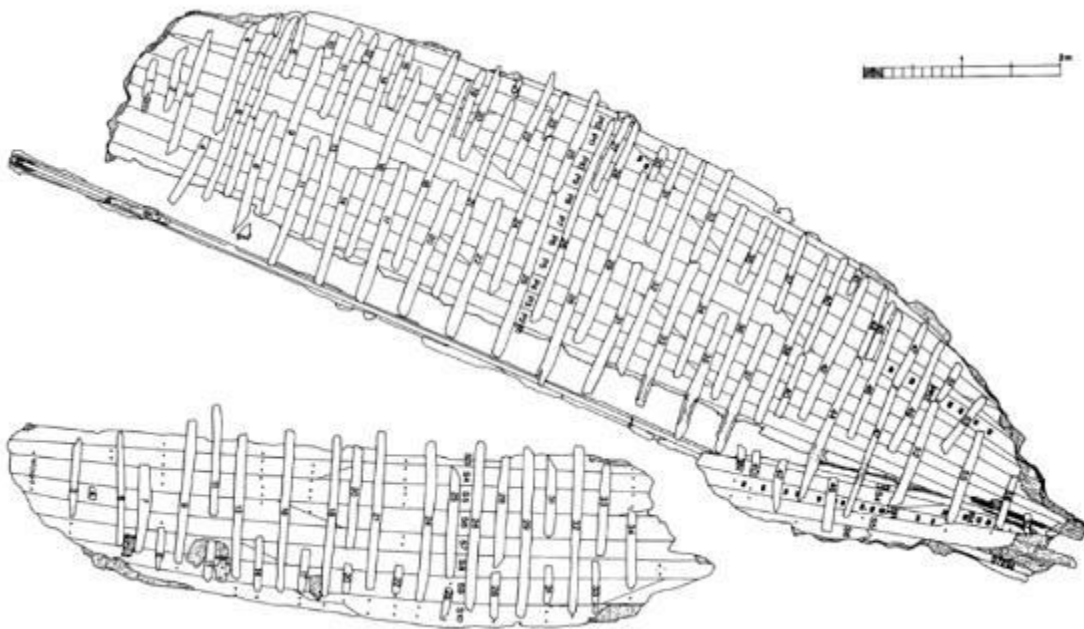
Ενώ η επιδιόρθωση του πετσώματος μπορεί να δημιουργήσει μεικτές τεχνικές στο ίδιο πλοίο. Η μίξη τεχνικών δεν είναι εύκολο να προκύψει στο σκελετό του και ιδίως στο ποδόσταμο. Οι περιπτώσεις του να έχει επιβιώσει ένα σκαρί ώστε να επιδιορθωθεί ο σκελετός είναι σπάνιες και οι επιδιορθώσεις στο ποδόσταμο στις περιπτώσεις που

εντοπίστηκαν, όπως σε εύρημα στο Yeni Kari, κρίθηκαν από τους ειδικούς αποτυχημένες. (Eight Byzantine Shipwrecks from the Lost Harbor of Theodosius, 2021)



εικόνα 24 φωτογραφική αποτύπωση επισκευασμένου τμήματος ποδόσταμου του σκαριού ΥΚ24 της αρχαιολογικής έρευνας στο Yeni Kari, (M. Jones/INA) (Pulak, et al., 2015, p. 59)

Ακόμα και με επιδιορθώσεις στο σκελετό, το σχήμα της γάστρας έμενε απaráλλακτο. Έτσι το πέτσωμα με συρραφή εφαρμόζεται σε επίπεδη ή κοίλη γάστρα με ποδόσταμο ή χωρίς. Στο μικτό πέτσωμα εντοπίζονται πάλι οι ίδιες περιπτώσεις γάστρας.



εικόνα 25 σχέδιο αποτύπωσης του πλοίου της Κυρήνειας, (Steffy, 1994) (Pomey & Boetto, 2019, p. 34)

Στο πλοίο της Κυρήνειας όπου το πέτσωμα είναι εξολοκλήρου με εντορμία σύνδεση η γάστρα είναι διπλής κοιλότητας. Το σχήμα της γάστρας συνήθως εξαρτάται από τον τύπο πλοίου και όχι τον τύπο κατασκευής. Σε ίδια σχήματα δοκιμάζονται διάφοροι τύποι σκελετού που απαρτίζονται από διαφορετικά μέλη και κατά συνέπεια ονόματα.

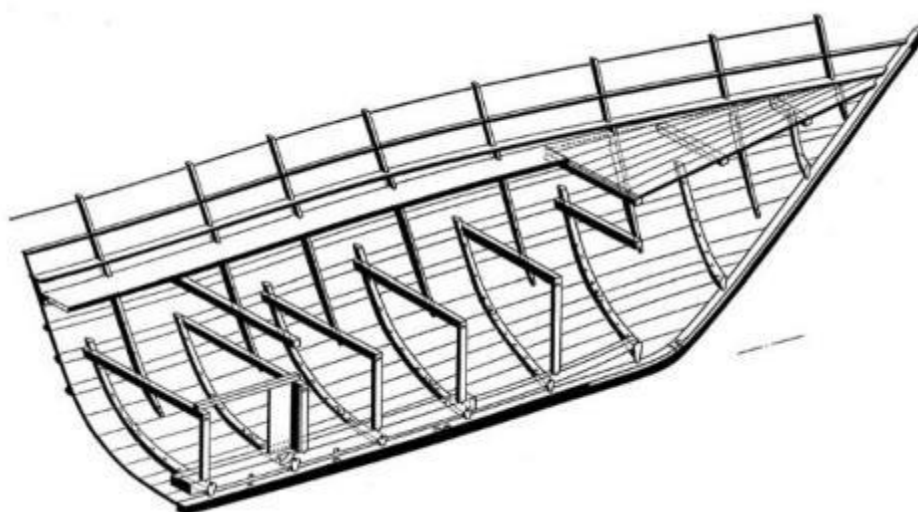
Ωστόσο όσο πιο περίπλοκο γίνεται το σχήμα της γάστρας τόσο πιο απαιτητική είναι και η κατασκευή του σκελετού. Έτσι στο πλοίο της Κυρήνειας διακρίνεται και ξεχωριστό μέλος του εγκάρσιου σκελετού για την εφαρμογή στο ποδόσταμο.



εικόνα 26 σχέδιο τομής του πλοίου της Κυρήνειας, (Steffy, 1994)

(Pomey & Boetto, 2019, p. 34)

Κοινό μέλος του σκελετού όταν αυτό υπήρχε ήταν το ποδόσταμο στον διαμήκη άξονα. Στο ποδόσταμο οι διαφοροποιήσεις ανήκουν σε κλίμακα κατασκευαστικής λεπτομέρειας και αφορούν την συναρμογή του με τα υπόλοιπα στελέχη του σκαριού. Ο εγκάρσιος σκελετός ως προς τον τρόπο επανάληψής και το μέρος σανιδώματος που συγκρατεί κατηγοριοποιείται στις εξής βασικές δομές. Σκελετός με διαφορετικό επαναλαμβανόμενο στέλεχος για τα πλαϊνά και διαφορετικό για τη γάστρα με διαδοχική επανάληψη του καθενός. Σκελετός με διαφορετικά μέλη για τα πλαϊνά και την γάστρα που συνδέονται στα κοινά μήκη επανάληψής τους, με το σκελετό του πλευρικού πετσώματος να επαναλαμβάνεται στα ενδιάμεσα μήκη.

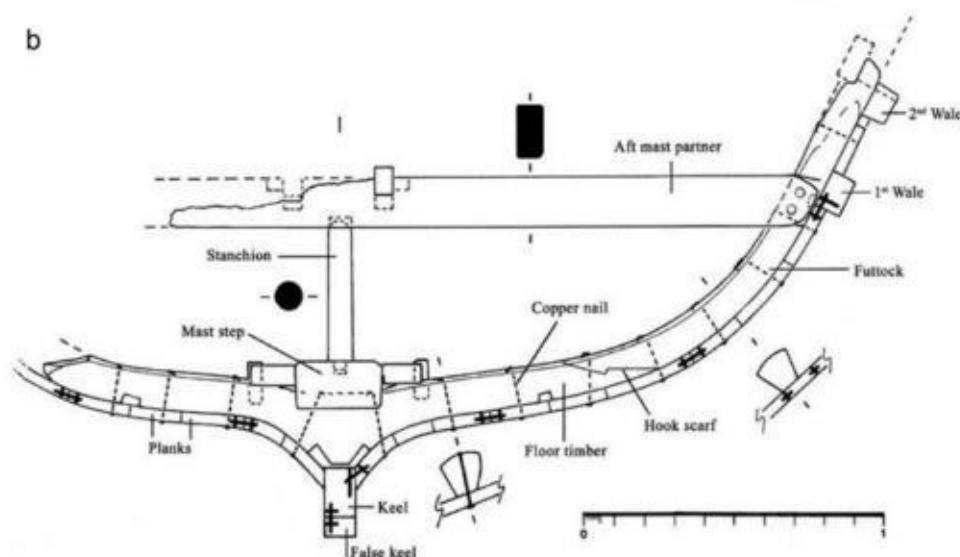


εικόνα 27 αξονομετρικό σκίτσο του ναυαγίου Jules Verne 7, (M. Rival, AMU, CNRS, CCJ)

(Pomey & Boetto, 2019, p. 30)

Οι τύποι σύνδεσης του εγκάρσιου σκελετού με το πέτσωμα ποικίλουν χωρίς να αντιστοιχεί συγκεκριμένος τύπος σύνδεσης σε συγκεκριμένο σκελετό. Έτσι

χρησιμοποιούνταν η τεχνική δεσίματος και η τεχνική καρφώματος είτε μαζί είτε όχι. Το κάρφωμα διέφερε ανάλογα με το υλικό του πείρου που μπορεί να ήταν ξύλινος, χάλκινος ή σιδερένιος. Βασικό γνώρισμα στη συναρμογή των μελών ήταν η αποφυγή περίπλοκων κόμβων.



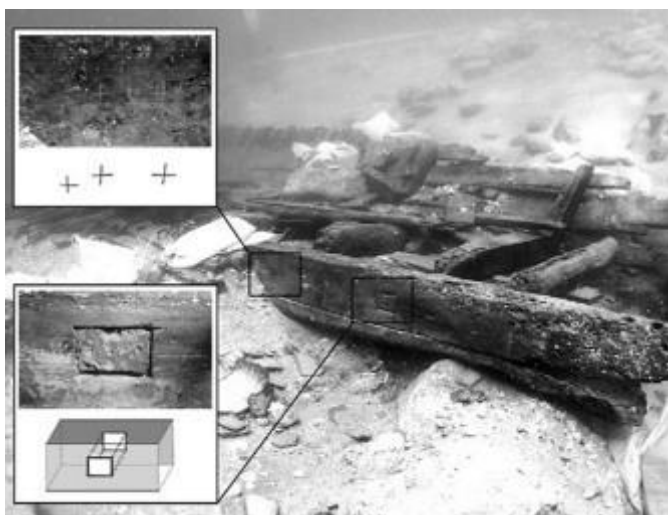
εικόνα 28 σκίτσο εγκάρσιας κεντρικής τομής του σκαριού Ma' agan Mikhael, (Linder, Kahanov, 2003) (Pomey & Boetto, 2019, p. 33)

Η συναρμογή γίνεται με αφαίρεση υλικού ώστε να εναποτεθεί σωστά το διπλανό κομμάτι και η ασφάλιση μεταξύ τους δεν γίνεται μέσω κόμβων αλλά με τα μέσα που προανέφερα. Αυτό το γνώρισμα πιθανών οφείλεται στην ανάγκη για εύκολη και τοπικού τύπου επισκευή, όπου δεν θα χρειαζόταν το λύσιμο όλης της κατασκευής για την αλλαγή ενός μόνο μέλους. Αυτό αποτελεί και μία από τις πιο βασικές διαφορές της ναυπηγίας με την ξυλουργική⁷.

Ακόμα και εδώ εντοπίζονται εξαιρέσεις. Στο ναυάγιο του Dor⁸ η σύνδεση εγκάρσιου σκελετού και ποδόσταμου γίνεται και με κόμβο, όπως επισημαίνουν οι αρχαιολόγοι στην αποτύπωσή τους. Μέχρι τότε τέτοιου τύπου κόμβοι χρησιμοποιούνταν για την στερέωση του καταρτιού. Εν μέρη από αυτό το γνώρισμα βγαίνει το συμπέρασμα για την διαδοχή των κατασκευαστικών έργων στο συγκεκριμένο πλοίο. Πρώτα κατασκευάστηκε ο σκελετός και μετά το πέτσωμα.

⁷ Οι ημιέγκλειστοι κόμβοι που χρησιμοποιούνται στην ναυπήγηση χρησιμοποιούνταν και στα ζευκτά από τους Νορμανδούς οι οποίοι φαίνεται να έχουν διαφοροποιημένη τεχνική κατασκευής ζευκτών. (Thelin & Linscott, 2008, p. 122)

⁸ (Kahanov & Mor, 2014, p. 45), εικ.29



*εικόνα 29 φωτογραφία ναυαγίου του Dor (S. Breitstein),
λεπτομέρεια σημαδιών ξυλουργικής και κόμβου στο
ποδόσταμο*

(N. Sheizaf, S. Haad) (Kahanov & Mor, 2014, p. 45)

Η καινοτομία στο σκαρί του Dor σε συνδυασμό με αναφορές σε προτάσεις ναυπηγών όπως αυτή του Vettor Faust στον Δόγη για κατασκευή γαλέρας, για μεγαλύτερα και γρηγορότερα πλοία, η εξέλιξη της εντορμίας σύνδεσης από τελείως διαφορετικού τύπου συνδέσεις και η αποτυχημένη επιδιόρθωση στο Yeni Kari φανερώνουν την διάθεση των ναυπηγών για πειραματισμούς που θα βελτίωναν το έργο τους.

Το σκαρί του Dor ενδέχεται να αποτελεί δείγμα ενός τέτοιου πειραματισμού. Το πόσο ικανοποιητική ήταν η πλεύση του θα αποδειχθεί στην πράξη με την ανακατασκευή του και τη δοκιμή του μεσοπέλαγα.

Σανίδωμα με πρόκες, άλλες επιρροές, βόρεια Ευρώπη

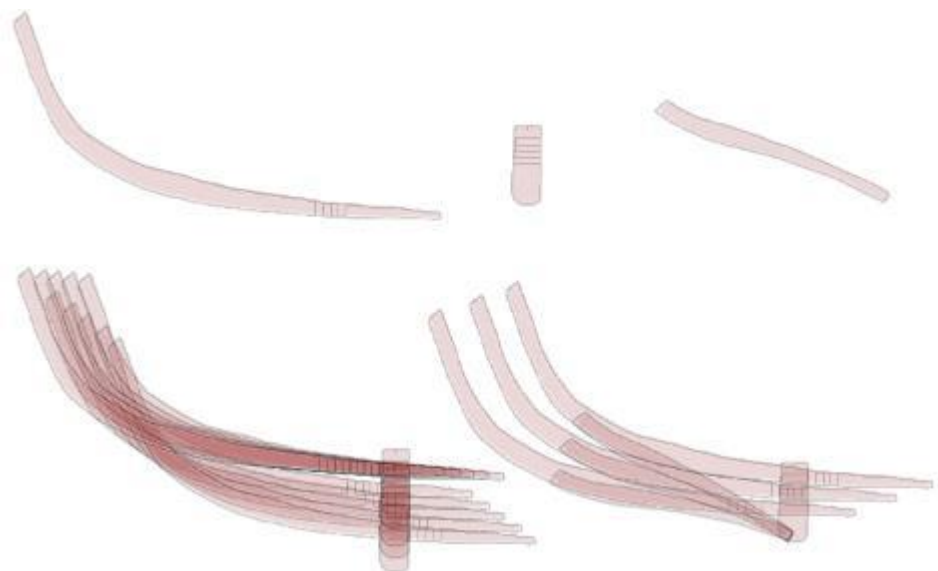
Μία άλλη ιδιαιτερότητα στο σκάφος του Dor βρίσκεται στο τρόπο πετσώματος. Μέχρι τώρα αναλύθηκαν περιπτώσεις όπου οι σανίδες πετσώματος συνδέονται και με τις διπλανές τους και με τον σκελετό. Σε αυτό το σκάφος και σε ρωμαϊκό ποταμόπλοιο στον Τίβερη οι σανίδες συνδέονται μόνο με τον σκελετό, με σιδερόπροκες. Για το ποταμόπλοιο εικάζεται η χρήση ντόπιων πρακτικών ως αιτία καθώς και οι λιγότερες απαιτήσεις σε αντοχή.⁹ Η εφαρμογή με πρόκες σαφώς θα είναι λιγότερο χρονοβόρα από το ράψιμο των σανίδων ή την εφαρμογή εντορμίας σύνδεσης. Αυτή η πρακτική πετσώματος όπως και ο παραπάνω κόμβος υποδεικνύουν κατασκευαστικές αναφορές έξω από την τέχνη της ναυπήγησης.

⁹ (Gardiner & Morrison, 1995, pp. 88-90)

Σύγκριση ναυαγίου του Dor, τρεχαντηριού, ναυαγίου της Κυρήνειας, διαχρονικές τεχνικές και τεχνικές χαμένες στο χρόνο

Το ναυάγιο της Κυρήνειας πρόκειται για κατασκευή εξαιρετικά λεπτομερή. Αρχικά ο σκελετός είναι διαμορφωμένος με τρόπο που απαντάται ξανά μετά τον 15ο αι. μ. Χ.. Αντίστοιχο συναντάμε και στην παραδοσιακή ελληνική ναυπήγηση. Επιπλέον ιδιαιτερότητα και σε άλλα προ Χριστού ναυάγια συναντάμε στο πέτσωμα. Στην κυριολεξία έραβαν τις σανίδες μεταξύ τους αλλά και πάνω στον σκελετό, παράλληλα χρησιμοποιούσαν κάποιο είδος τριχιάς για να καλύψουν τις ακμές του πετσώματος στο εσωτερικό του σκαριού. Αυτή συντελούσε στην στεγάνωση αλλά και στην προστασία του υλικού δεσίματος. Η ένωση στοιχείων με θηλιές χρησιμοποιείται στα σκαριά των Βίκινγκς. Ενώ δεν ράβονται οι σανίδες πετσώματος μεταξύ τους αλλά ο εγκάρσιος σκελετός στο πέτσωμα (NationalGeographic, 2017). Η πρακτική κατασκευής σκελετού στο ναυάγιο της Κυρήνειας αν όντως είχε διασωθεί και ξαναεξαπλώθηκε με την πτώση της Βυζαντινής αυτοκρατορίας τότε θα πρέπει να ήταν σε συγκεκριμένο χώρο και για συγκεκριμένα σκαριά. Διαφορετικά επανακαλύφθηκε τον 15ο αι.. Στο ναυάγιο του Dor δεν εντοπίζεται κόμβος μεταξύ έδρας και σκαρμού. Αυτή οι κόμβοι ωστόσο χρησιμοποιούνταν από ξυλουργούς σε κτίρια την ίδια εποχή. Στο ναυάγιο του Yeni Cari επειδή η ποικιλία τύπου σκαριών που βρέθηκαν είναι μεγάλη με κάποια από αυτά να είναι πολεμικά μπορεί να αποκαλύψουν και άλλου τύπου τεχνικές ή να επιβεβαιώσουν την χρήση του μονόχναρου¹⁰.

¹⁰ Τα ευρήματα στο Yeni Cari καλύπτουν μεγάλο χρονικό φάσμα (7^{ος} -10^{ος} αι.) καθώς και εύρος τύπων σκαριών (από ψαρόβαρκες και εμπορικά έως πολεμικά). Οι μέθοδοι κατασκευής ποικίλουν. Παρατηρείται εξέλιξη τεχνικών και παράλληλη εφαρμογή παλαιότερων, πολλές φορές εφαρμοσμένες στο ίδιο σκαρί (Pulak, et al., 2015, pp. 68-70). Στην παραδοσιακή Ελληνική ναυπήγηση οι τεχνικές φαίνεται να είναι παγιωμένες σε αντίθεση με τους ναυπηγούς του μεσαίωνα των οποίων οι δημιουργίες αποκαλύπτουν την ευελιξία των μεθόδων τους.



εικόνα 30 απεικόνιση μονόχναρου και διάφορων συνδυασμών, βασισμένο στην μελέτη του Κ. Δαμιανίδη

Το μονόχναρο, καταγράφεται από τον 18ο αι. στον ελλαδικό χώρο, παραλλαγή του χρησιμοποιούνταν στην Βενετία από τον 15ο αι. την οποία ονόμαζαν μισοφέγγαρο (meza luna) και γραπτές αναφορές για αυτό υπάρχουν από τον 13^ο αι. μ.Χ.. Ο τρόπος εφαρμογής του έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Ο Κ. Δαμιανίδης παρουσιάζει συγκεκριμένους τύπους μονόχναρων και συγκεκριμένους τρόπους εφαρμογής από τους ντόπιους ναυπηγούς του 20^{ου} αι. (Δαμιανίδης, 1998, pp. 140-145).

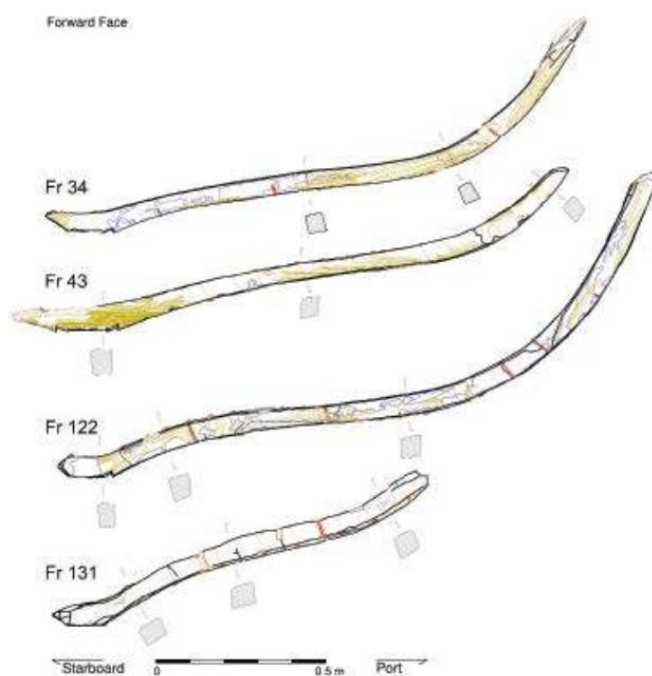
Η πρακτική των ντόπιων ναυπηγών περιορίζεται σε συγκεκριμένους τύπους σκαριών και συγκεκριμένα μεγέθη. Συνεπώς χρησιμοποιούν συγκεκριμένο φάσμα των δυνατοτήτων του μονόχναρου που το εξειδικεύουν στις δικές τους ανάγκες.

Στον μεσαίωνα το φάσμα αξιοποίησης του πιθανόν να ήταν πολύ ευρύτερο. Θα μπορούσε να εφαρμοστεί εσωτερικά στο κέλυφος του σκαριού, στα μήκη που επρόκειτο να τοποθετηθεί εγκάρσιος σκελετός και να αποτυπώσει το σχήμα με χαρακιές για την υπόδειξη του συνδυασμού που ταίριαζε στο κέλυφος. Έπειτα θα αφαιρούνταν, ώστε να επανατοποθετηθεί και να χρησιμοποιηθεί σαν πατρόν. Αυτές οι ενδείξεις θα διατηρούνταν όπου χρειαζόταν η επανάληψη του σκελετού και η διαδικασία τοποθέτησης στο κέλυφος και σημάδεματος θα επαναλαμβανόταν όπου ήταν απαραίτητο. Αν ο ναυπηγός χαρακτηριζόταν από την μεθοδικότητά του, θα σημείωνε τους συνδυασμούς, το πλήθος των επαναλήψεων και την απόστασή τους. Έτσι όταν θα του παράγγελναν ίδιο σκαρί θα είχε έτυμη την συνταγή για τον σκελετό. και θα μπορούσε να φτιάξει μονόχναρο με σχήμα και σημάδεμα ταιριασμένο σε αυτό το σκαρί.

Βρέθηκαν τύποι γάστρας όπου το οι νομείς έχουν απλούστερη μορφή. Σε αυτήν δεν μεταβάλλεται η καμπύλη αλλά, το μήκος της έδρας η οποία είναι ευθεία¹¹. Αυτά τα σκαριά θα ήταν ιδανικά στην κατανόηση της αυξομείωσης του πλάτους του σκαριού για την κατασκευή της πλώρης και της πρύμνης. Το μονόχναρο για τέτοιες γάστρες θα απαρτιζόταν από το αριστερό και κεντρικό μέλος της εικ. 30.

Με τον μηχανισμό του μονόχναρου μπορούσε να ανατραπεί η σειρά κατασκευής από κέλυφος σε σκελετό και από σκελετό σε κέλυφος.

Μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε όλους τους τύπους πλοίου. Η δυνατότητα να καταγράφει και να μεταφέρει σχήματα το καθιστούσε ιδανικό εργαλείο για μελέτη σκαριών άγνωστων στον ναυπηγό. Με αυτό το εργαλείο μπορούσε να αποκρυπτογραφήσει την εμπειρία άλλων ναυπηγών και να την προσαρμόσει στην δική του. Αργότερα για την ναυπήγηση υπερμεγεθών πλοίων μπορούσαν να μεταφέρουν τα σχήματα μικρότερων υπό κλίμακα με την χρήση διαβήτη.



εικόνα 31 *Faro Arm* αποτύπωση νομέων(frames) Fr34, Fr43, Fr122, Fr131 (drawing G. Turan, PDV Ç. Şanlıgençler) (Kocabaş & Kocabaş, 2022, p. 81)

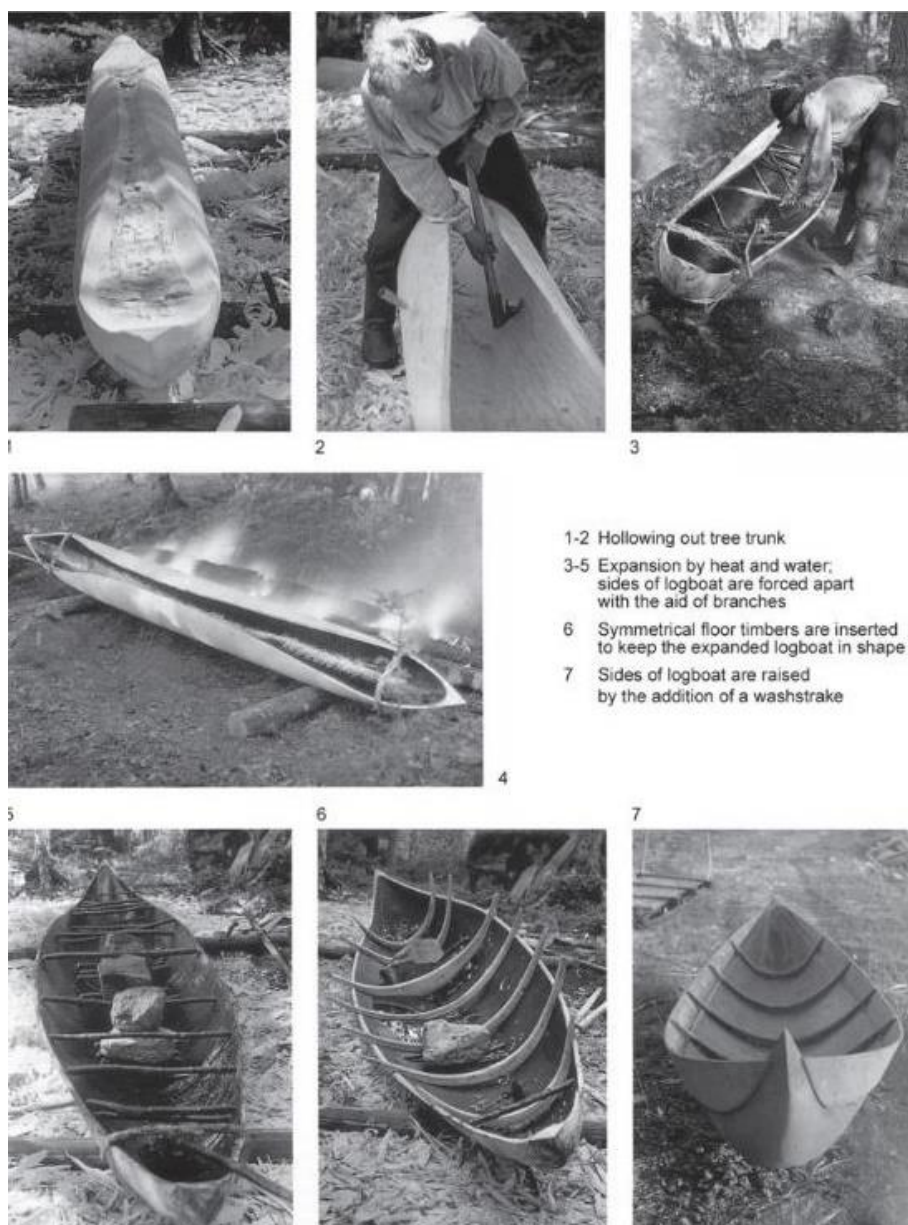
Σε συνδυασμό με τα ευρήματα στο Dor, στο Serce Liman και στο Yeni Kapi είναι αρκετά ασφαλές να συμπεράνουμε πως κάτι αντίστοιχο χρησιμοποιούνταν στην Βυζαντινή

¹¹Εξετάζοντας το άρθρο του E. Rieth (Rieth, 2021) και τις αναλυτικές καταγραφές μεμονωμένων σκαριών φαίνεται πως ανάλογα με την πολυπλοκότητα του σχήματος του σκαριού εφαρμόζονταν και διαφορετικές τεχνικές για τον καθορισμό των νομέων.

αυτοκρατορία καθόλη τη διάρκειά της. Αν συμπεριληφθούν και το ρωμαϊκό σκαρί στον Ρήνο καθώς και τα ευρήματα από τον 4^ο αι. π.Χ. στη μεσόγειο βγαίνει το συμπέρασμα πως το μονόχναρο με παραλλαγές και στον τρόπο χρήσης του πιθανότατα είναι ένας πολύτιμος συνεργάτης των ναυπηγών που επιβίωσε στην τέχνη της ναυπήγησης ανά τους αιώνες ακόμα και αν χρησιμοποιούνταν για εξεζητημένους τύπους σκαριών υψηλού κόστους όπως οι λέμβοι.

Βόρεια Ευρώπη, η εξέλιξη της ναυπήγησης στον μεσαίωνα, το Α και το Ω

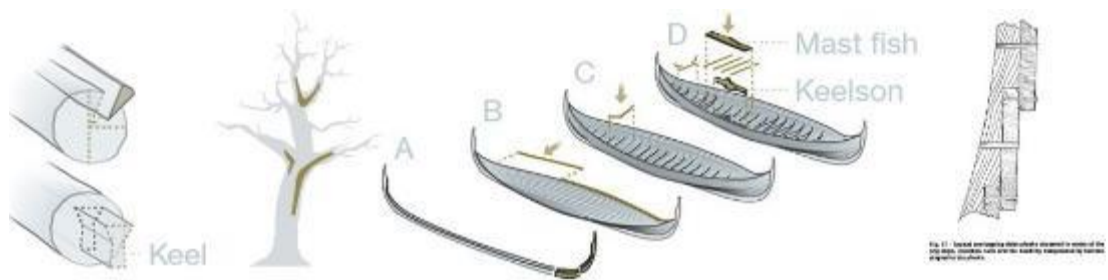
Ενώ στον Νότο οι ναυπηγοί προσπαθούσαν να αξιοποιήσουν και να συνταιριάξουν πληθώρα ειδών ξυλείας περιορισμένων μεγεθών και με ποικίλα χαρακτηριστικά στην βόρεια Ευρώπη η βασική πηγή ξυλείας ήταν τα δάση δρυός. Το μέγεθος και τα χαρακτηριστικά των μελών που παράγονταν από τις δρυς καθοδήγησαν τους ναυπηγούς σε διαφορετικού τύπου συναρμογές. Η πρώτη ύλη, πέραν από τους υπόλοιπους παράγοντες, συντέλεσε στην διαφορετική κατασκευή των Βορινών σκαριών.



εικόνα 32 στιγμιότυπα από την διαδικασία κατασκευής πιρόγας, *Satakunta, Finland*, από τον E. Nikkila, (πνευματικά δικαιώματα φωτογραφιών: *National Museum of Finland, Helsinki*) (Moortel, 2011, p. 170)

Η ναυπήγηση στο Βορρά ξεκίνησε με το σκάψιμο κορμών. Το λεπτό κέλυφος που δημιουργούνται, διαμόρφωναν θερμαίνοντας το με φωτιά και το ενίσχυαν έπειτα εσωτερικά με σκελετό, δημιουργώντας κανό. Υποστηρίζεται πως και στα μετέπειτα σκαριά πρώτα διαμόρφωναν το κέλυφος και μετά προσέθεταν τον σκελετό¹².

¹² (Moortel, 2011, pp. 68,69)



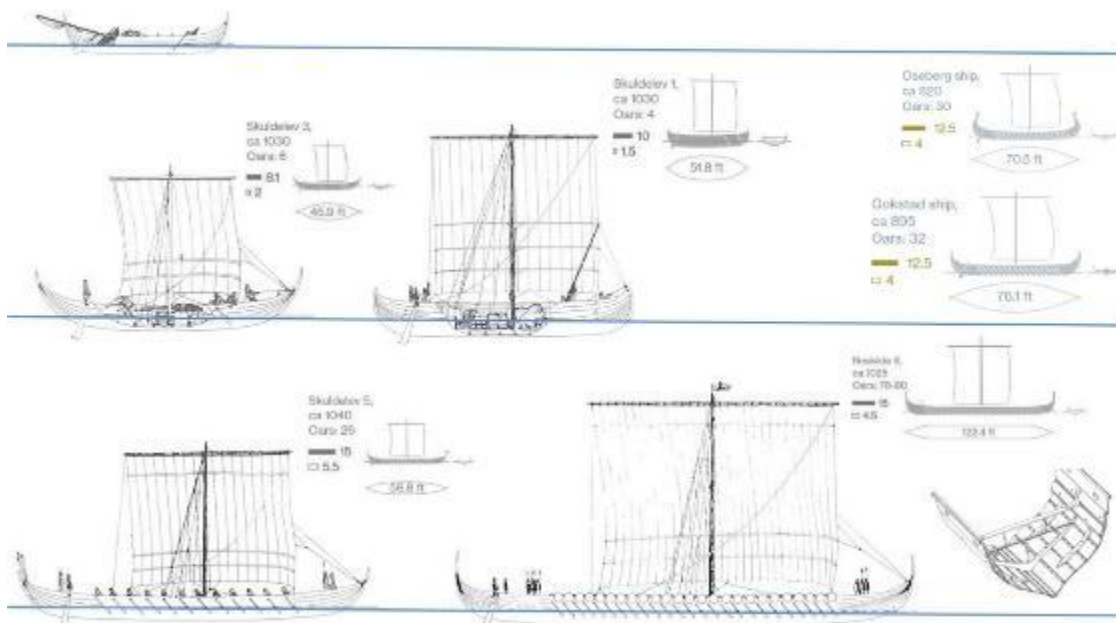
εικόνα 33 πίνακας βασικών βημάτων της διαδικασίας ναυπήγησης των Βίκινγκ (NationalGeographic, 2017), σκίτσο λεπτομέρειας πετώματος (Jerzy Litwin)

Ωστόσο το ποδόσταμο με το οποίο αρχίζουν οι Βίκινγκ είναι η ράχη του σκελετού. Έτσι ο όρος του τύπου κατασκευής «κέλυφος πρώτα» δεν αποδίδει με συνέπεια τη διαδικασία. Μετά το ποδόσταμο αρχίζουν να συνδέουν με σανίδες από τα ακριανά ποδόσταμα προς το κέντρο (Hutchinson, 1994, pp. 4-8). Έτσι σχηματιζόταν η γάστρα του σκάφους.

Διαδοχή συναρμολόγησης

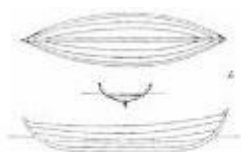
Έχει σημασία το ότι ξεκινούσαν από τις άκρες. Λογικά έτσι θα μπορούσαν να ελέγξουν την καμπύλη της γάστρας και την καμπύλωση των σανίδων. Να συναρμολογηθούν σωστά οι σανίδες στις κατά μήκος ενώσεις και ότι περισσεύει στο κέντρο όπου για κάποιο διάστημα η καμπύλη γίνεται ευθεία να αφαιρείται χωρίς να επηρεάζει την ακεραιότητα της κατασκευής. Η καμπύλωση του κελύφους από κοίλο σε κυρτό αλλάζει προς τα άκρα του σκαριού. Το κατά μήκος αλλά και το καθ' ύψος πέτσωμα γίνεται πιο δύσκολο στην επιφάνεια αλλαγής προς τα άκρα αφού τα νερά του ξύλου θα πρέπει να ακολουθούν αυτήν την αλλαγή ώστε οι σανίδες να μείνουν στη θέση τους. Έτσι το μήκος των σανίδων σε αυτές τις περιοχές και άρα το μήκος στο οποίο γίνεται η σύνδεση καθορίζεται από την καμπύλη.

Αφού λοιπόν έστηναν το πέτσωμα της γάστρας και πρώτου προχωρήσουν στο πέτσωμα των πλαϊνών τοποθετούσαν ενισχύσεις στη γάστρα. Επειδή οι σανίδες επικάλυπταν κατά ύψος η μια την άλλη, οι σκαρμοί που τοποθετούνταν σκαλίζονταν με οδοντωτό το κάτω μέρος ανάλογα με το που βρισκόταν η πτύχωση του κελύφους στην αντίστοιχη εγκάρσια τομή. Πρακτικά η κατασκευή δεν αντιστοιχεί σε κέλυφος πρώτα τύπο. Αφού πριν από κάθε κέλυφος προηγείται κάποιο τμήμα σκελετού. Αυτά συμπληρώνονται εναλλάξ μέχρι να ολοκληρωθεί το σκαρί. Ο λόγος που γινόταν αυτό ήταν επειδή έπρεπε να προσαρμοστεί το ένα στο άλλο. Δηλαδή το πέτσωμα στο ποδόσταμο και ο σκελετός στο πέτσωμά.



εικόνα 34 πίνακας τύπων σκαριών των Βίκινγκ σύμφωνα με αρχαιολογικά ευρήματα,
 αναλυτική εικονογράφηση (Hutchinson, 1994, p. 6), αφαιρετική εικονογράφηση - διαστάσεις
 (NationalGeographic, 2017)

Δεν υπήρχε ακριβής παραγγελία η προσχέδιο συγκεκριμένων διαστάσεων αλλά, αναλογιών. Τα σκαριφήματα που χρειάζονταν σκαλίζονταν στο χύμα. Ξέραν το τύπο του σκαριού και το μέγεθός του. Έψαχναν για κορμό κατάλληλο για ποδόσταμο και από κει και πέρα προσαρμόζαν αναλογικά τα υπόλοιπα κλαριά και σανίδες που είχαν στην διάθεση τους ώστε να γίνουν μέρη του σκαριού. Η κατασκευή προκύπτει από μια συνεχή αλληλεπίδραση μεταξύ των νερών του ξύλου κάθε διαθέσιμου κομματιού και άρα των εσωτερικών του δυνάμεων και της γενικής μορφής που θέλει να πετύχει ο ναυπηγός.



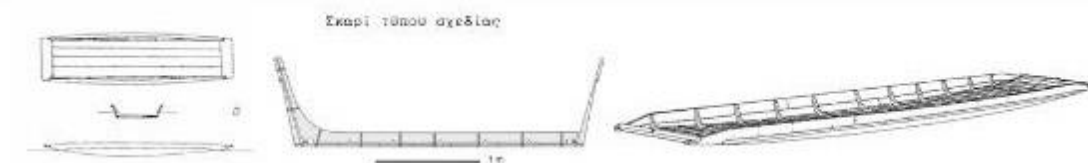
Σκαρί όπου το πέτομα της καρίνας γίνεται με επικαλυπτόμενες σανίδες. Η γάστρα έχει εμφανές ποδόστρωμα και με το πέτομα σχηματίζει γωνία. Σε αυτήν την κατηγορία γάστρας ανήκουν και τα πλοία των Βίκινγκ, με διάφορες παραλλαγές.



Σκαρί με επίπεδη καρίνα και καμπύλωση στο ποδόστρωμα και την στείρα. Όπως και στις δύο κατηγορίες που ακολουθούν δεν διαφοροποιείται η πρόμνη από την πλώρη.



Σκαρί με σκαφτή καρίνα και υπερύψωση της στα πλώρη με επικαλυπτόμενες σανίδες.

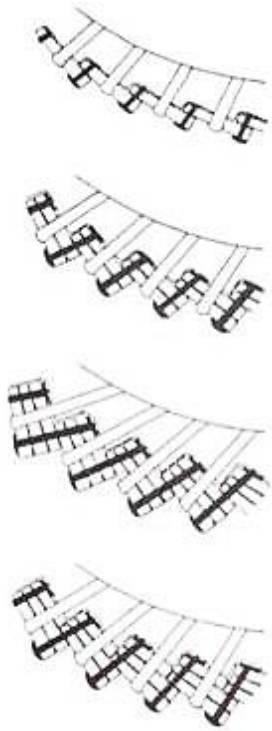


Σκαρί τύπου σχεδία

εικόνα 35 πίνακας τύπων βορειοευρωπαϊκών σκαριών κατά τον αρχαιολόγο Όλεν Κρούμλιν Πέντερσεν (Litwin, 1998, p. 89)

Από την πιρόγα στα σκαριά των Βίκινγκ εντοπίζονται διάφοροι τύποι πλωτών μέσω των οποίων η κατασκευή είναι λιγότερο ή περισσότερο απαιτητική. Αποτελούν ευρήματα στα οποία έχει διασωθεί η γάστρα. Η γάστρα όπως και ο σκελετός που της αντιστοιχεί ποικίλουν στο σχήμα. Στα περισσότερα είναι κοινή η τεχνική πετσώματος.

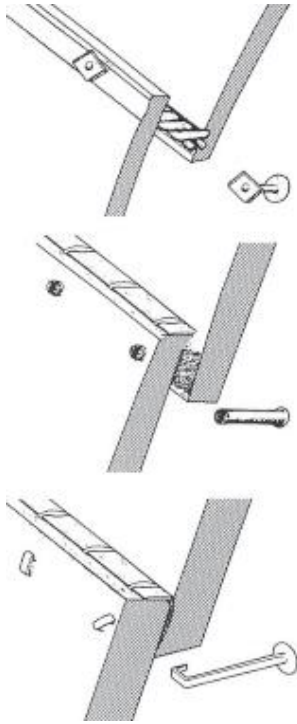
Κέλυφος



εικόνα 36

πέτσωμα μίας σανίδας,
πέτσωμα δύο σανίδων,
πέτσωμα τριών σανίδων,
παραλλαγή τριών σανίδων
στο *Grace Dieu* του 14^{ου} αι.
(Hutchinson, 1994, p. 31)

Όπως σε όλα τα σκαριά των Βίκινγκ έτσι και στα υπόλοιπα ευρήματα οι σανίδες καλύπτουν η μία την άλλη. Το πλεονέκτημα αυτού του τρόπου σανιδώματος βρίσκεται στο ότι η κάθε σανίδα διατηρεί το σχήμα της με το σύνολο των γειτονικών της να λειτουργεί σαν καλούπι. Επιπλέον ενισχύεται το σανίδωμα στα μήκη επαφής των δύο σανίδων όπου το προστιθέμενο πάχος από την μία σανίδα στην άλλη διπλασιάζει το συνολικό πάχος. Έτσι δημιουργείται ένα ισχυρό κέλυφος με την δυνατότητα χρήσης λεπτότερων σανίδων πετσώματος και λιγότερων εγκάρσιων στηρίξεων. Δημιουργείται ένα ανθεκτικό και ελαφρύ σκαρί. Το ελαφρύ σκαρί πιθανών να μην ήταν επιθυμητό πάντα. Εξαιτίας της ρηχής γάστρας τα σκαριά έπασχαν στο θέμα της ισορροπίας (Villiers, 1962, p. 62). Μία τεχνική που εφαρμοζόταν ήταν η εναπόθεση πετρών στη γάστρα του πλοίου για να ελέγξουν το κέντρο βάρους (NationalGeographic, 2017). Ενδεχομένως για τον ίδιο λόγο να κατασκευάστηκαν σκαριά όπου το σανίδωμα αποτελούνταν από πολλαπλές στρώσεις. Στο σκίτσο τομής φαίνεται με μαύρο η πρόκα που συνέδεε τις σανίδες πετσώματος και με άσπρο η σύνδεση πετσώματος με τον σκελετό.



εικόνα 37 μέθοδοι
σύνδεσης και στεγάνωσης
σανίδων, (Crumlin-Petersen)
(Moortel, 2011, p. 81)

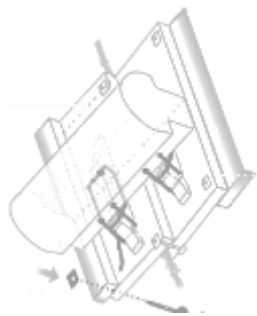
Τύποι συνδέσεων πετσώματος

Η πιο απλή σύνδεση των σανίδων μεταξύ τους γινόταν με την χρήση ξύλινης καβίλιας. Σε αυτήν σχηματιζόταν οπή ελαφρώς ελλειψοειδούς διατομής όπου η καβίλια τοποθετούνταν με τα νερά της διατομής της κάθετα στη μεγαλύτερη διάμετρο της οπής, με την υγρασία θα άλλαζε η διατομή της καβίλιας και θα σφραγιζόταν η οπή¹³. Στις άλλες μεθόδους χρησιμοποιείται καρφί. Στη μία περίπτωση κρουόταν στα άκρα ώστε να πεπλατιστούν και να σφίξουν τις σανίδες. Στην δεύτερη περίπτωση καρφιού, είτε το σφυροκοπούσαν στα πλάγια της αιχμής του ώστε να αγκυλωθεί πάνω στο ξύλο, είτε είχε εξαρχής ακύρωτή αιχμή. Σε αυτήν την περίπτωση ο γάντζος φαίνεται να εφαρμοζόταν από το εσωτερικό του κελύφους.

Το υλικό στεγάνωσης εγκιβωτιζόταν ανάμεσα στις σανίδες¹⁴. Αντί να το δέσουν πάνω στις ακμές όπως γινόταν στην μεσόγειο, σκάλιζαν μία κινησιά κατά μήκος της σανίδας. Σε αυτήν προσέθεταν τριχιά, βρύα ή φελλό εμποτισμένο σε πίσσα. Με το πέτσωμα της επόμενης σανίδας, αυτό σφραγιζόταν στην κινησιά.

¹³ 'The frames were secured in place using treenails made from goat willow and pine, with wedges of oak. The treenails must be made in advance and allowed to dry, so they will expand and create a tight seal when the boat is first placed in the water' (Sorensen, 2016)

¹⁴ (Moortel, 2011, p. 81)



εικόνα 38 αξονομετρικό σχέδιο για το δέσιμο του σκελετού με το πέτσωμα (National Geographic, 2017)



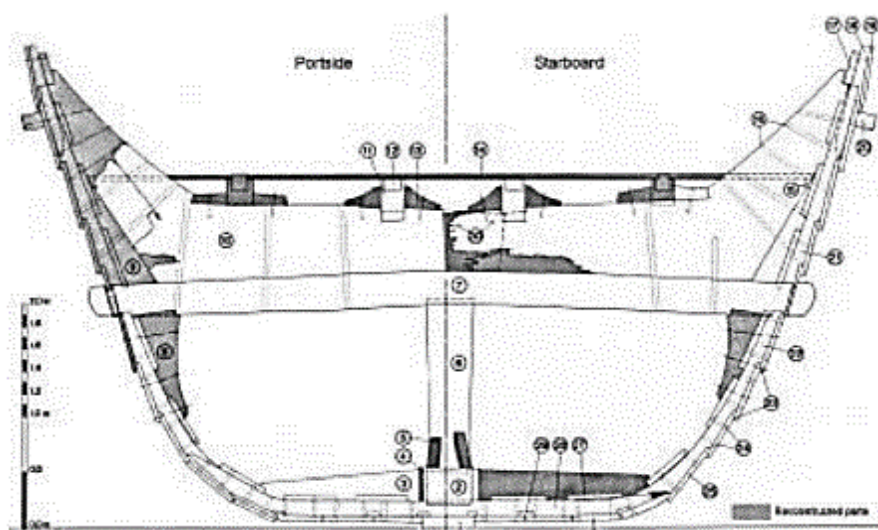
εικόνα 39 εφαρμογή καμαριού, ανάστροφου μπρατσολιού-πετσώματος στη φορτηγίδα Tune (Paasche, 2020, p. 39)



εικόνα 40 σκαρμός και πέτσωμα, σύνδεση με δέσιμο στη φορτηγίδα Tune (Paasche, 2020, p. 38)

Σκελετός, εφαρμογή και προσαρμογή

Ενώ η σύνδεση στο πέτσωμα γίνεται με πείρους η σύνδεση πετσώματος με το σκελετό παρουσιάζει διαφορετικές προσεγγίσεις. Από τα ευρήματα φαίνεται πως ο εγκάρσιος σκελετός εφάρμοζε σε συγκεκριμένες σειρές σανίδων του πετσώματος σε αντίθεση με τα σκαριά του νότου όπου ο σκελετός ακουμπούσε στην καμπύλη του σανιδώματος. Έτσι όπου δεν χρησιμοποιούνταν πείρος για την σύνδεση χρησιμοποιούνταν σχοινί. Φυσικά αυτή η τεχνική δεν αποτελεί γενικό κανόνα.



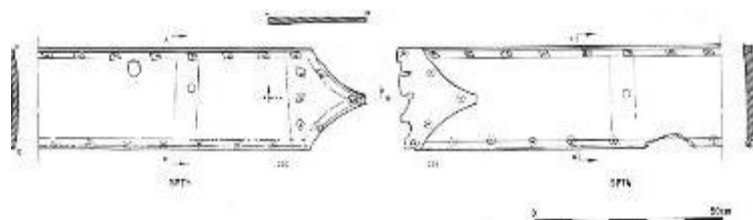
εικόνα 41 εγκάρσια κεντρική τομή ανακατασκευής σκαριού του Bremen, (R. Schultze/ Deutsches Schiffahrtsmuseum) (Ellmers, 2005, p. 66)

Υπάρχουν Νορμανδικά σκαριά όπου παρά τις πτυχώσεις του πετσώματος ο εγκάρσιος σκελετός εφάπτεται σε αυτό. Αντίστοιχο είναι και το εύρημα του Bremen. Πρόκειται για Γερμανικό σκαρί. Η γάστρα έχει επίπεδο πυθμένα και η μετάβαση σε

αυτόν δεν γίνεται με ακμή¹⁵ αλλά με καμπύλη. Όταν ο σκελετός δεν εφάπτεται η σχηματοποίησή του ακολουθεί άλλη διαδικασία απ' ό,τι όταν εφάπτεται.

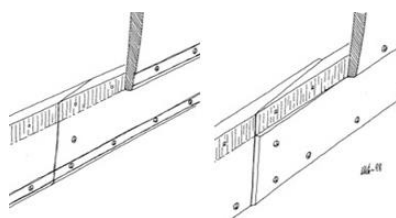
Η χρήση του μονόχναρου είναι μια πιθανή εξήγηση για το πως κατασκευαζόταν ο σκελετός σε σκαριά στην μεσόγειο. Ωστόσο δεν φαίνεται να χρησιμοποιούνταν κάτι αντίστοιχο στην Βόρεια Ευρώπη. Τα χαρακτηριστικά του σκελετού και η ασυμμετρία ως προς τον διαμήκη άξονα υποδεικνύουν διαφορετικές μεθόδους. Πιθανότατα αξιοποιούσαν τις πτυχώσεις του πετσώματος μεταφέροντας τα μήκη και τα ύψη από τις αντικριστές σανίδες, επιμερίζοντας το κάθε τόξο σε μικρότερα τμήματα. Το ότι πρόσθεταν μέρος του σκελετού πριν ολοκληρωθεί το πέτσωμα καθαυτό προιδεάζει για μια προσέγγιση του σχήματος και της κατασκευής ανά τμήματα. Άλλωστε η επιφάνεια με πτυχώσεις που έπρεπε να συμπληρώσει ο σκελετός δεν ήταν καμπύλη αλλά μικρά ευθύγραμμα τμήματα υπό διαφορετική γωνία. Παράλληλα σε μέρη των πλοίων τους εφάρμοζαν ξυλογλυπτική.

Η ξυλογλυπτική, βασική διαδικασία της κατασκευής



εικόνα 42 λεπτομέρεια σύνδεσης πετσώματος στην λέμβο του Hedeby

Εφόσον ήταν εξοικειωμένοι με αυτόν τον τρόπο διαμόρφωσης ενός όγκου δεν αποκλείεται να αντιμετώπιζαν έτσι και την διαμόρφωση του σκελετού. Ο εγκάρσιος σκελετός που έχει βρεθεί δεν αφορά κλαδιά που έχουν παραμορφωθεί με λυγισμό αλλά μέρη κορμού που είχαν επιλεγεί εξαρχής να ταιριάζουν στο σχήμα.

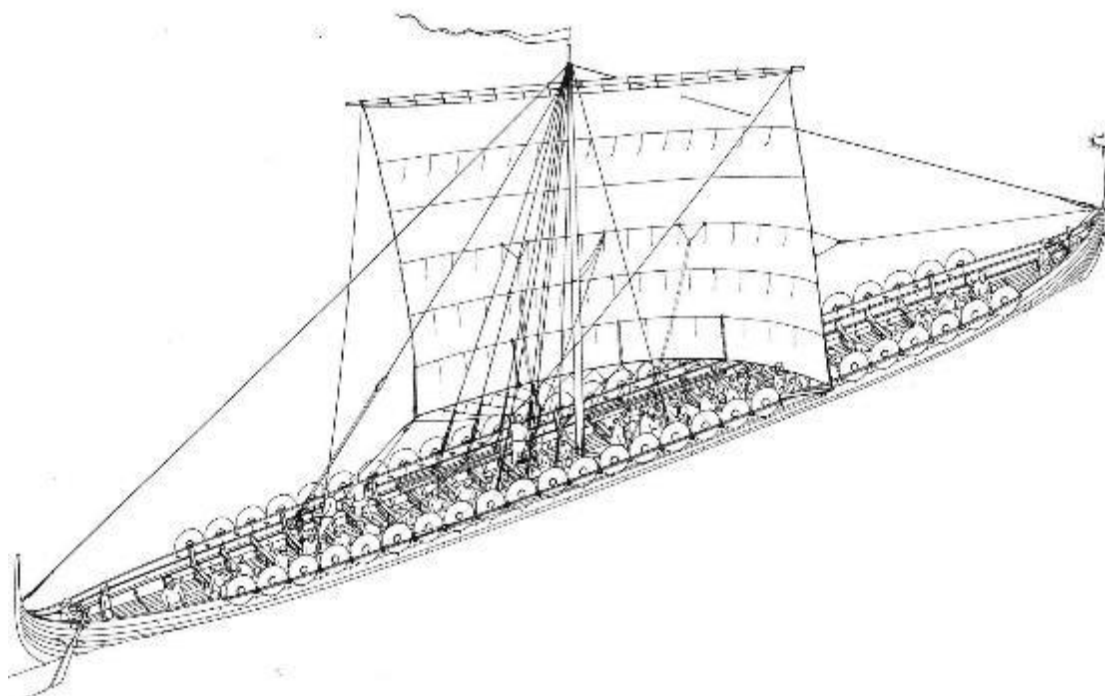


εικόνα 43 κατά μήκος ένωση
σανίδων πριν τον 11ο και μετά τον
12ο αι., σκίτσο του Morten Gothche,
Viking ship museum, Roskilde (Morten,
2018, p. 100)

Οι κατά μήκος σανίδες δεν ήταν ενιαίες. Απαρτίζονταν από σανίδες μικρότερου μήκους που κόβονταν διαγώνια στο σόκορο ώστε στη συμπλήρωσή τους το μήκος

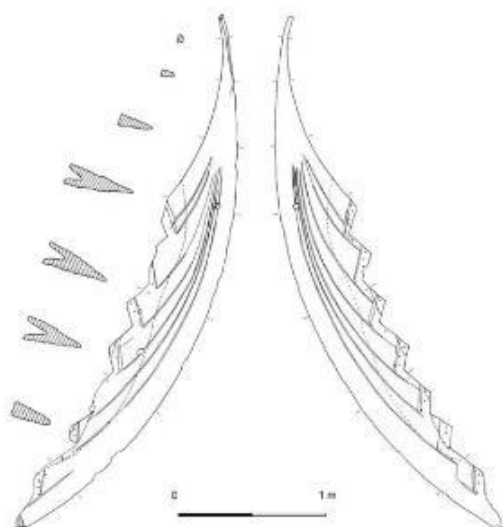
¹⁵ Γάστρα με ακμή θεωρείται η απότομη αλλαγή (μετάβαση με ακμή) των πλευρικών επιφανιών σε αυτήν του πυθμένα.

επαφής να επαρκεί για τη σύνδεση και το πάχος να διατηρηθεί ίδιο καθ' όλο το μήκος των διαδοχικών σανίδων. Στην πιο απλή μορφή διατηρούνταν η ορθογώνια μορφή της σανίδας, ενώ στην λέμβο του Hedeby το εμφανές μέλος της ένωσης έχει σχηματιστεί περίτεχνα. Να σημειωθεί πως η ίδια ένωση χρησιμοποιούνταν στο σανίδωμα της επίπεδης γάστρας.



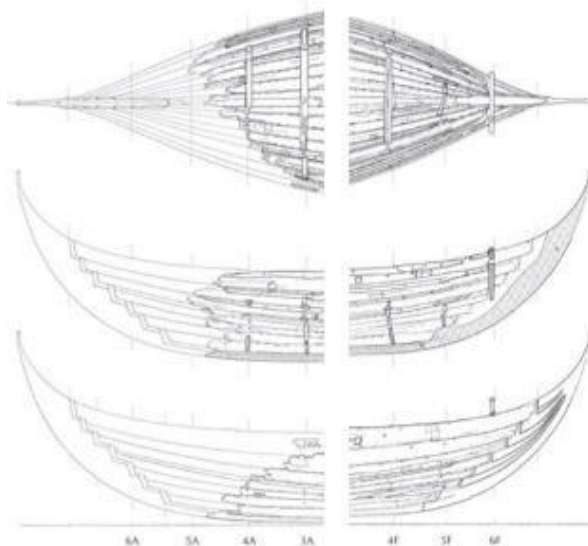
εικόνα 44 σκίτσο της λέμβου στο Hedeby

Σε μακρόστενα πλοία όπως οι λέμβοι το απαιτητικό μέρος της κατασκευής είναι το ποδόσταμο ενώ σε φαρδύτερα όπως οι φορτηγίδες είναι το πέτσωμα λόγω της συνεχούς καμπύλωσης του. Σε όλους τους τύπους σκαριών αυτής της τεχνοτροπίας η ένωση πετσώματος με το πρυμναίο ή πλωριό ποδόσταμο ήταν και η πιο απαιτητική. Στη πλώρη και στην πρύμνη η καμπύλωση της κάθε σανίδας γίνεται και στο οριζόντιο επίπεδο και καθ' ύψος. Η καμπύλωση του πετσώματος είναι εντονότερη στο ποδόσταμο και φθίνει όσο απομακρύνεται από αυτό.



εικόνα 46 ποδόσταμο του Skuldelev 3, (Viking Ship Museum, Roskilde)

(McCormick & Kastholm, 2017, p. 86)

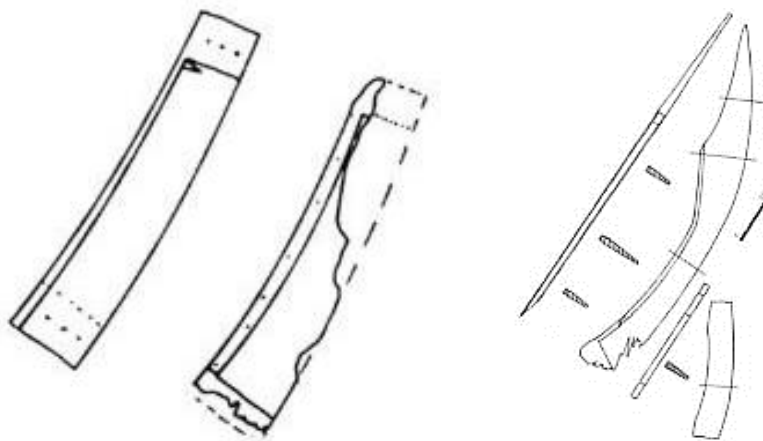


εικόνα 45 αποτύπωση του Skuldelev 3

(Dael & Sørensen, 2021, p. 296)

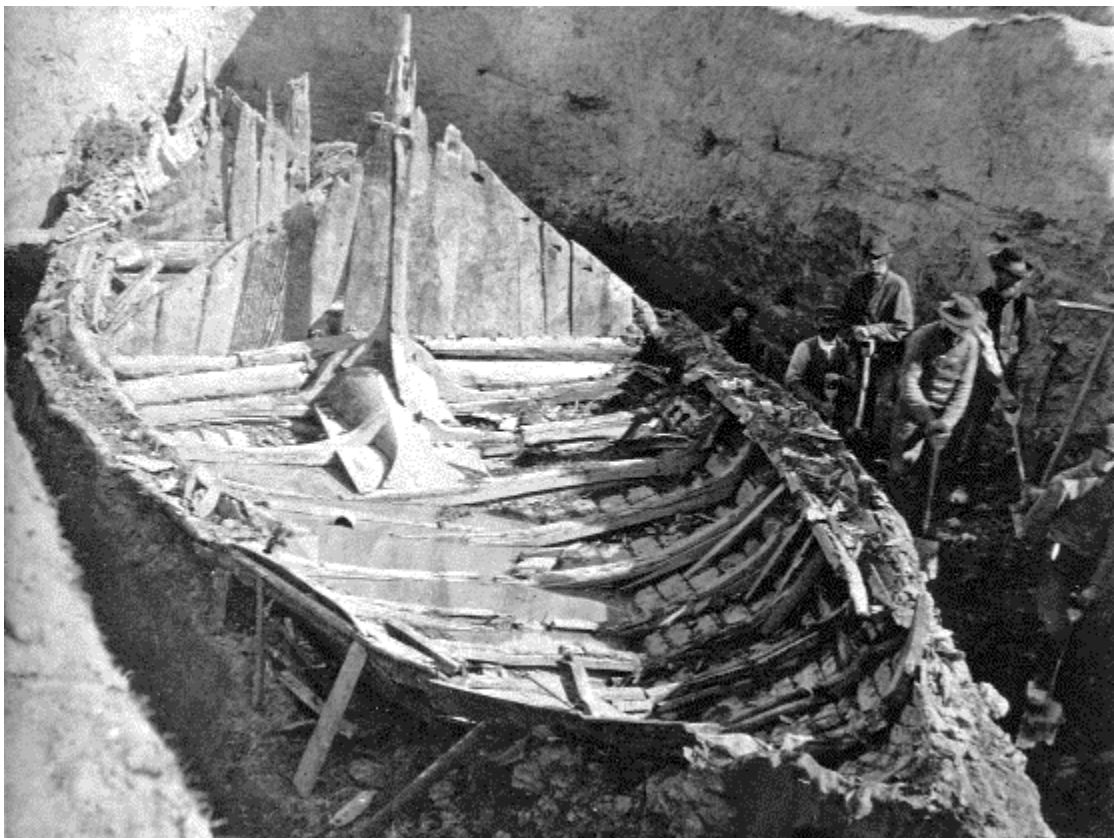
Προκειμένου να πετύχουν έντονη καμπύλωση με τι επικαλυπτόμενες σανίδες έπρεπε να χρησιμοποιήσουν κοντύτερα τμήματα και όλα αυτά έπρεπε να καρφωθούν στο ποδόσταμο ενώ παράλληλα το άθροισμα του ύψος τους ξεπερνούσε το ύψος της επιφάνειας ένωσης στο ποδόσταμο. Έτσι η επικάλυψη μεταξύ τους δεν γινόταν σε παραλληλία όπως στο υπόλοιπο πέτσωμα αλλά υπό γωνία. Χαρακτηριστικό είναι το πέτσωμα στο ποδόσταμο του Skuldelev 3¹⁶ όπου το συνταίριασμα των σανίδων μεταξύ τους και με τον σκελετό έχει σαν αποτέλεσμα την ενίσχυση της κατασκευής. Η ιδιαιτερότητα έγκειται στην δημιουργία θέσεων για τις σανίδες του πετσώματος με ξυλογλυπτική και στην οξυκόρυφη διχάλα που δημιουργείται ώστε καθώς αυτές συγκλίνουν να ακουμπούν χωρίς καταπόνηση σε αυτήν (Hutchinson, 1994, p. 8).

¹⁶ Για την ανακατασκευή του Skuldelev 3 προϋπόθεση ήταν η πιστή αποτύπωση του ευρήματος στη νέα κατασκευή. Επιπλέον η ανακατασκευή του έγινε με μεσαιωνικά εργαλεία, τεχνικές και υλικά που θα είχαν στη διάθεσή τους οι ναυπηγοί του μεσαίωνα. Με αυτόν τον τρόπο έγινε κατανοητή η πρακτική κατασκευής του μεσαίωνα. Κυρίως εντοπίστηκαν στοιχεία της κατασκευής που με την πάροδο του χρόνου φθείρονταν αλλά και προκαλούσαν φθορές στην υπόλοιπη κατασκευή. Οι μελετητές θεωρούν πως οι πρόκες πρέπει να ήταν ατσάλινες ώστε να αποφευχθεί η σκουριά και η διόγκωση (Dael & Sørensen, 2021, pp. 297, 298). Ωστόσο στον μεσαίωνα η εξαγωγή ατσαλιού ήταν τυχαία και σπάνια (Timeline, 2018). Η εφαρμογή πάνω σε ξύλο καθιστά την επικάλυψή τους και προστασία τους με μόλυβδο δύσκολη. Έτσι η σκουριά και το άνοιγμα των σανίδων από την διόγκωση του σκουριασμένου μετάλλου πρέπει να ήταν συχνό αίτιο της μεταφοράς των σκαριών σε ναυπηγεία για αποκατάσταση των μελών τους ή για σφυροκόπημα και αναπροσαρμογή των καρφιών του πετσώματος.



εικόνα 47 αποτυπώσεις ποδόσταμων από τον Christensen (Paasche, 2020, p. 37)

Σε άλλα ευρήματα το ποδόσταμο δεν είχε τόσο πολύπλοκη κατασκευή και σύνδεση με τις σανίδες. Οι γενικές αναλογίες του μέλους και σφηνοειδής διατομή είναι τα κοινά χαρακτηριστικά.

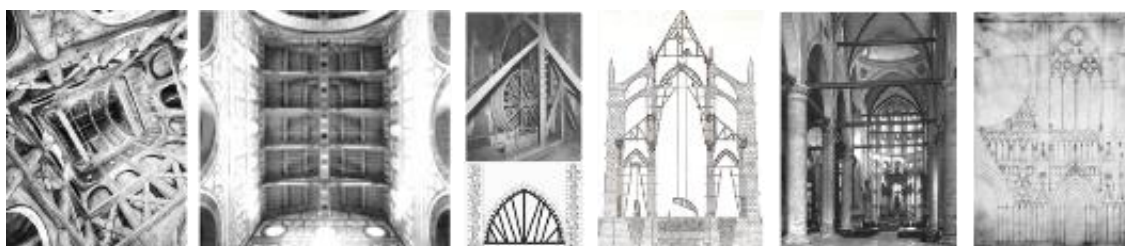


εικόνα 48 φωτογραφία από την ανασκαφή του πλοίου Gokstad (Macphail, et al., 2013, p. 141)

Πλοία με δίρριχτη στέγη

Το συγκεκριμένο σκαρί μετατράπηκε σε πλοίο ταφής. Σε πλοία κηδεύονταν επιφανή μέλη (Museum of the Viking Age, 2020). Στα παραδείγματα πλοίων ο ρόλος του σκαριού

από πλεούμενο σε τάφο ή καλύτερα σε μεταφορικό μέσω στην αιωνιότητα εντοπίζεται σε διάφορες κουλτούρες. Οι Νορμανδοί όμως είναι αυτοί που κάνουν χρήση του πλοίου ως τάφο. Όπως τους τάφους τους, είχαν πολλοί οι βασιλιάδες ή επίσκοποι, μέσα στους καθεδρικούς μετά τον εκχριστιανισμό της βόρειας Ευρώπης¹⁷. Μέχρι να ολοκληρωθεί η διαδικασία εκχριστιανισμού κατασκευάζονταν παράλληλα ξύλινα σκαριά που εμπεριείχαν θρησκευτικό ρόλο για τους παγανιστές και ξύλινες εκκλησίες για τους προσηλυτισμένους. Τα κοινά τους ήταν το υλικό κατασκευής και η εφαρμογή τόξων με άλλες τεχνικές. Αυτές οι ξύλινες εκκλησίες όμως θεωρούνται προάγγελοι των καθεδρικών. Μία διαφοροποίηση των καθεδρικών από τις πρώτες εκκλησίες είναι στο υλικό. Αποκτούν όμως μία επιπλέον ομοιότητα με τα πλοία ως προς την χρήση. Στα ταφικά πλοία φαίνεται η κατασκευή δίρριχτης στέγης. Είτε στις φορτηγίδες προσέθεταν στέγη η οποία προφύλασσε μέρος του φορτίου είτε την προσέθεταν κατά την μετατροπή της σε πλοίο ταφής. Η στέγη αποτελεί χαρακτηριστικό της αρχιτεκτονικής και όχι της ναυπήγησης. Εντοπίζονται παρόμοιες προσθήκες στην ναυπήγηση και την αρχιτεκτονική που όμως αποσκοπούν και περιορίζονται σε κοινούς αμυντικούς και πολιορκητικούς ρόλους. Η στέγη ωστόσο είναι ένα γενικότερο χαρακτηριστικό που αποτελεί στοιχείο εδραιωμένο σε όλους τους τύπους κτιρίων.



Εξέλιξη της στέγης στη μεσαιωνική ναοδομία, από την δρυ στον ασβεστόλιθο

Η ρωμαϊκή αρχιτεκτονική κληροδότησε οροφές θόλων από χυτό υλικό ή πλίνθο καλυμμένο με κονίαμα. Στη ρωμανική αρχιτεκτονική οι θόλοι κατασκευάζονται από πέτρα και κονίαμα (ΜΠΟΥΡΑΣ, 1999, pp. 63,292-295). Στην βόρεια Ευρώπη όπου οι

¹⁷Όπως φαίνεται η ανέγερση ναών ήταν συνδεδεμένη με την κοσμική και κρατική εξουσία. Οι ναοί χρησιμοποιούνταν σαν λειψανοθήκες και μαυσωλεία με στόχο την προσέλκυση προσκυνημάτων, από τους Νορμανδούς κατακτητές κατά την περίοδο του Ρωμανικού τύπου, αλλά και αργότερα από τους εκάστοτε άρχοντες και ηγούμενους. (Watkin, 2007, pp. 122-177)

συνθήκες και οι πρώτες ύλες διέφεραν καθιερώθηκε η κατασκευή εκκλησιών και οροφών από ξύλο. Από τη ρωμαϊκή περίοδο συνέχισαν να χρησιμοποιούνται στο μεσαίωνα διάφοροι μηχανισμοί ανέγερσης οικοδομημάτων όπως η τροχαλία (Matthies, 1992, p. 510). Άλλες ξυλοκατασκευές που συνέβαλλαν στην ανέγερση των καθεδρικών είναι οι ξυλωσιές και οι ξυλότυποι. Οπότε το ξύλο στην κατασκευή των γοτθικών ναών έχει δύο βασικούς ρόλους. Ο πρώτος είναι η υποστήριξη των διαδικασιών ανέγερσης. Ο δεύτερος είναι η συμμετοχή σαν δομικό μέρος του ναού, είτε στο σύνολο είτε συγκεκριμένα της στέγης.

Ξύλινες Εκκλησίες



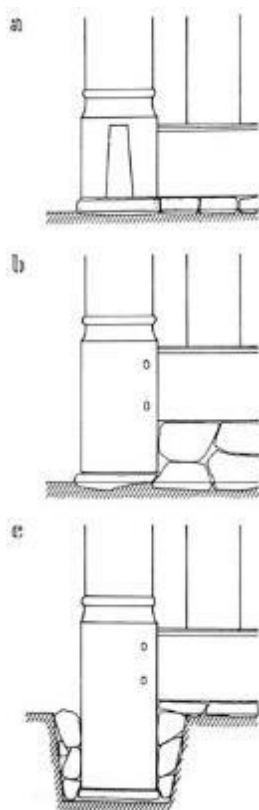
εικόνα 49 εσωτερικό της Σταβκίρκε στο Borgund, 1180-1250
μ.Χ. (Archeyes Team, 2023)



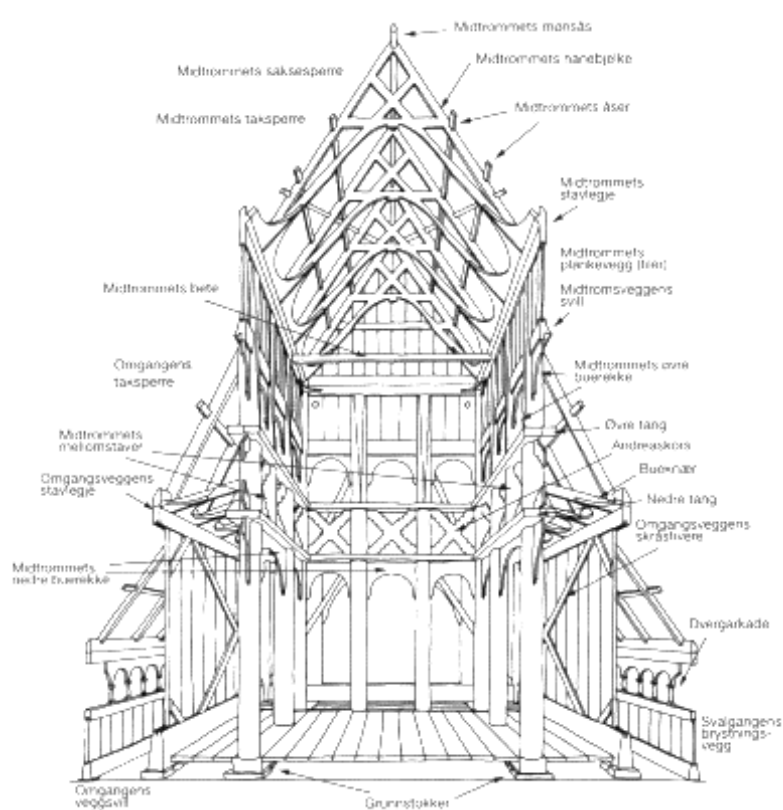
εικόνα 50 η Σταβκίρκε του Borgund
(Archeyes Team, 2023)

Ευρήματα ναών εξολοκλήρου από ξύλο είναι οι Στάβκιρκε¹⁸. Σε αυτές τις κατασκευές ο σκελετός-(δοκός επί ξύλο) και τα ζευκτά της στέγης διατηρούν τις γωνίες και το πλέγμα που δημιουργείται από τους κόμβους. Η καμπύλη προστίθεται με το σκάλισμα τόξων σε ξύλινα πάνελ που γεμίζουν τις γωνίες αυτού του σκελετού. Το εξωτερικό κέλυφος χαρακτηρίζεται από οξείες γωνίες, εσωτερικά όμως, από τόξα, στη προσπάθεια να θυμίσει τους ρωμανικούς θόλους του Νότου.

¹⁸ Ο Gymbel θεωρεί τις Σταβκίρκε πρόδρομους της Γοτθικής αρχιτεκτονικής (Gymbel, 2006, p. 27)



εικόνα 52 τύποι
γωνιακής θεμελίωσης
του Jørgen H. Jensenius



εικόνα 51 προοπτικό σκίτσο της Σταβκίρκε στο Borgund με
την ονομασία των μελών στα Νορβηγικά

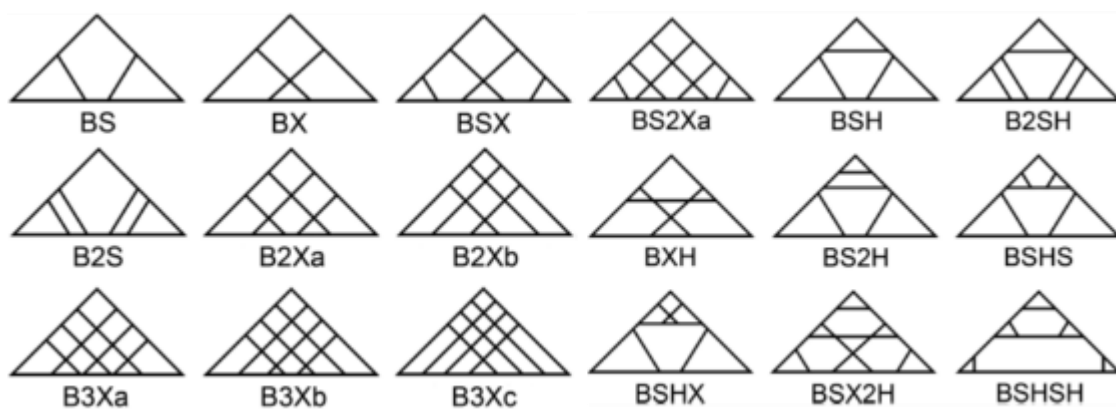
Στο νότο οι ναοί φτιάχνονται από άλλα υλικά όπως μάρμαρο, πέτρα, τούβλο και κονίαμα. Έτσι με το ξύλο δεν γίνεται προσπάθεια μίμησης μίας μορφής αλλά επιμέρους δομικών στοιχείων που προέκυψαν από υλικά με διαφορετικές ιδιότητες και τρόπους συναρμογής. Η προσπάθεια μίμησης διεύρυνε τις μεθόδους των ξυλουργών ωθώντας τους να αποκλίνουν από τις μέχρι τότε συνήθειες πρακτικές τους. Αυτό γίνεται κατανοητό τόσο στη θεμελίωση της εκκλησίας όσο και στον τρόπο πλήρωσης των πλαισίων για την δημιουργία τόξου. Στη θεμελίωση συνδυάζεται ξύλο και πέτρα με τον ξύλινο κορμό να γίνεται στις Στάβκιρκε ότι οι μαρμάρινες κολόνες στους βυζαντινούς και ρωμανικούς ναούς. Οι τοξοειδής προσθήκες συντίθενται από σανίδες που τοποθετούνται οριζόντια και το τελειώμά τους καλύπτεται από σανίδωμα λυγισμένο στο σχήμα του τόξου που έχει είδη δοθεί στη προσθήκη. Είναι πιθανό να σκαλιζόταν το τόξο στις σανίδες μετά την συναρμογή τους και μετά την τοποθέτηση τους στο πλαίσιο με την χρήση κάποιου πατρών. Επιπλέον φαίνεται πως δημιουργούσαν το μισό τόξο κάτι που βοηθούσε με τη συμμετρία στο ταίριασμα σε διαφορετικής απόστασης ανοιγμάτων.

Ξύλινη Στέγη



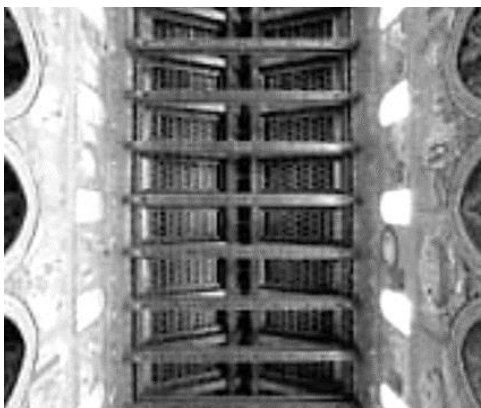
εικόνα 53 στέγη της εκκλησίας Garda, το πάτωμα προστέθηκε αργότερα και τις δοκούς διακοσμούν σκαλισμένα μοτίβα (Thelin & Linscott, 2008, p. 124)

Ιδιαιτερότητα εντοπίζεται και στα ζευκτά της στέγης. Σκοπός είναι να δοθεί η εντύπωση του θόλου με την καμπύλωση των γωνιών. Έτσι ο ελκυστήρας με τις αντηρίδες έχει μεταφερθεί ψηλότερα. Υπάρχουν επιπλέον ελκυστήρες στην βάση των δρομέων αλλά σε διαφορετική θέση απ' ό,τι τα ζευκτά, ώστε να μην επηρεάζουν το σχήμα τους. Σε αντίθεση υπάρχουν τύποι ζευκτών, που οι κόμβοι όχι μόνο αφήνονται με την φυσική τους γωνία αλλά γίνονται και μέρος του διακόσμου της οροφής. Σε αυτά οι αντηρίδες, οι ελκυστήρες και οι αμείβοντες διακοσμούνται με ξυλογλυπτική. Η ποικιλία των ζευκτών που έχουν καταγραφεί δείχνει τη διάθεση για διαφοροποίηση των αρωγών που έγινε πεδίο δοκιμών και πειραματισμού για τους τεχνίτες. Έτσι σε πολλά ζευκτά παραλείπεται ο ενδιάμεσος ελκυστήρας και σε όλα λείπει ο ορθοστάτης που θα έκρυβε την κορυφή.

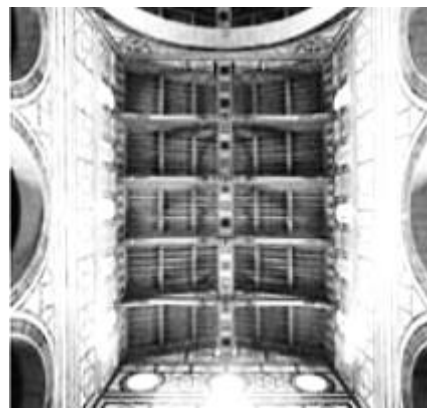


εικόνα 54 μοτίβα πλέξης ζευκτών, *B*=bindbjälke= tie beam= ελκυστήρας, *S*=stödben= strut beam/angle brace= αντηρίδα, *X*=korsande stödben= crossing strut beams= σταυρωτή αντηρίδα, *H*=hanbjälke= collar beam= ενδιάμεσος ελκυστήρας (Thelin & Linscott, 2008, p. 123)

Οι εμφανείς ξύλινες στέγες στους ναούς δεν βρίσκονται αποκλειστικά στην Βόρεια Ευρώπη. Δείγματα ξύλινων στεγών υπάρχουν και στο Νότο. Κυρίως σε βασιλικές με δίρικτη στέγη. Σε αυτές ωστόσο η δομή των ζευκτών είναι συγκεκριμένη και η επανάληψή τους δεν ακολουθεί τον υπόλοιπο φέροντα οργανισμό.



εικόνα 56 Basilica di San Miniato al Monte 1013-62, Φλωρεντία (Stephenson, 2009, p. 162)



εικόνα 55 ο Νορμανδοβυζαντινός Monreale Cathedral, (1174-82), Σικελία (Stephenson, 2009, p. 163)

Η προσπάθεια σύνδεσής τους με τον χώρο γίνεται μέσω της ζωγραφικής και της γλυπτικής. Η στέγη κατασκευάζεται από διαφορετικό υλικό από την υπόλοιπη εκκλησία. Οι τεχνίτες και η τεχνική διέφεραν. Η στέγη αποτελείται από ξύλινο σκελετό ενώ το κτίριο δεν έχει σκελετό. Έτσι η ίδια η κατασκευή δεν απαιτεί την δομική συνέχεια των μελών της.

Η κατασκευή με ξύλο, η επιλογή διαγώνιας πλέξης και οξυκόρυφων ακμών



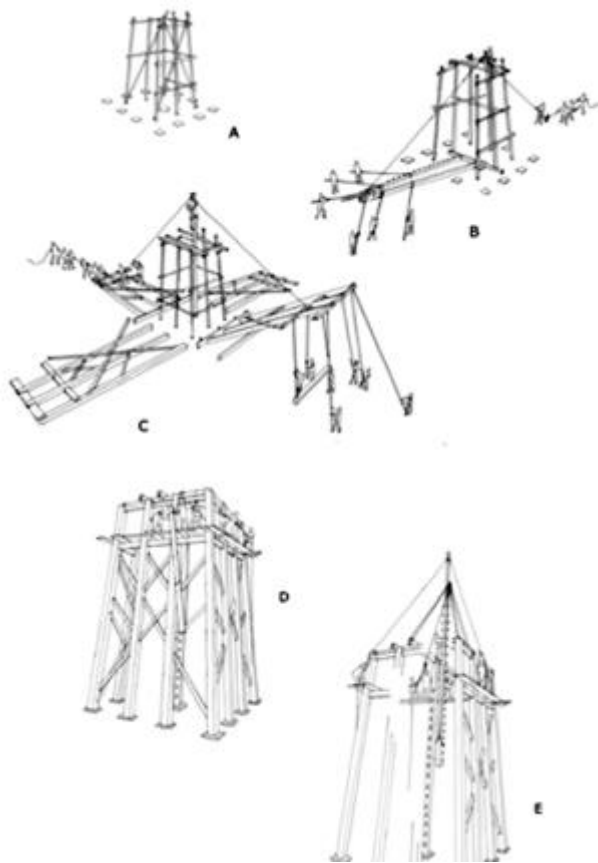
εικόνα 57 πύργος καμπαναριού του
Ransberg, εσωτερικό (Hallgren &
Almevik, 2017, p. 136)



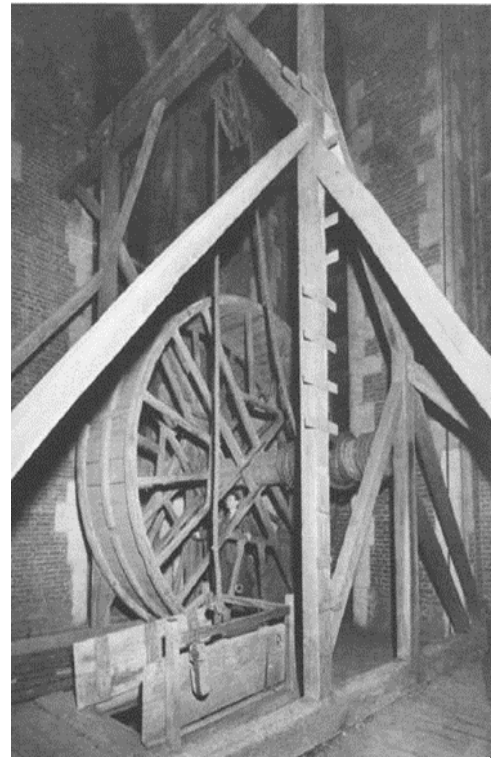
εικόνα 58 βάση καμπαναριού του
Ransberg (Hallgren & Almevik, 2017, p. 138)

Στους ναούς του Βορρά που δεν μιμούνται αυτούς του Νότου εντοπίζεται η συνέχεια των δοκών με επανάληψη κόμβων και μελών από τις βάσεις έως τις κορυφές των εκκλησιών. Σε εύρημα καμπαναριού που έχει διασωθεί αυτούσιο, καθώς και στον τρόπο που θεμελιώναν οι Νορμανδοί τα σπίτια τους, φαίνεται η διαγώνια τοποθέτηση των δοκών καθώς και των αντηρίδων. Οι δοκοί επιλέγονταν με μεγάλο μήκος, αν ήταν δυνατό να καλύψουν όλο το ύψος της κατασκευής. Έτσι σε πολλές περιπτώσεις ο όρος πλέξη είναι πιο ταιριαστός από τον όρο κόμβος. Η κατασκευή του καμπαναριού αποτελεί παράδειγμα για τις τεχνικές που χρησιμοποιούσαν. Βασικότερο γνώρισμα αυτών είναι η έλλειψη ορθοστάτη.

Ξύλινες κατασκευές στα εργοτάξια του μεσαίωνα



εικόνα 60 σκίτσα διαδικασίας ανέγερσης των ζευκτών του καμπαναριού (Hallgren & Almevik, 2017, p. 139)



εικόνα 59 ανυψωτικός μηχανισμός στον Canterbury Cathedral, θεωρείται πως τοποθετήθηκε τον 15^ο αι., χρησιμοποιήθηκε το 1970 για εργασίες συντήρησης (Matthies, 1992, p. 525).

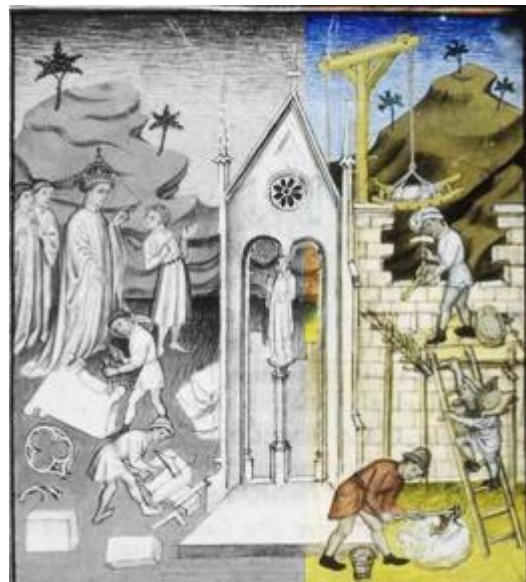
Ο λόγος που οι ξυλουργοί επέλεξαν έντονες διαγώνιες και απέφευγαν τον κεντρικό ορθοστάτη στην οριζόντια δοκό ήταν το χιόνι¹⁹. Με την έντονη κλίση θα εναποτεθεί λιγότερο χιόνι στη στέγη, το βάρος του μεταφέρεται συνεχώς διαγώνια και καταλήγει στο έδαφος. Η δομή που ανέπτυξαν είναι αποτέλεσμα της κατανόησης τους για την δημιουργία ανθεκτικών ξύλινων ζευκτών και της αξιοποίησης των αιωνόβιων δασών δρυός. Η κατανόηση της δομής ώστε η εκάστοτε κατασκευή να είναι ανθεκτική απαιτούσε εμπειρία που κερδιζόταν και από άλλες εφαρμογές. Το επάγγελμα του ξυλουργού δεν περιοριζόταν στην συναρμολόγηση κτιρίων. Επεκτεινόταν στην

¹⁹Με την παράθεση της συμπεριφοράς του ζευκτού με ορθοστάτη και χωρίς γίνεται κατανοητή η δομή των ζευκτών σε σχέση με τις πιθανές καταπονήσεις (Timber Frame Engineering Council, 2020, pp. 22,23). Στα Νορμανδικά ζευκτά είτε οι αμείβοντες πακτώνονταν σε τοίχους είτε κατευθύνονταν απευθείας στο έδαφος. Και στις δύο περιπτώσεις υπήρχε μία συμπαγής βάση για την στήριξή τους. Έτσι μέλη όπως το πέλμα, ο ελκυστήρας και η συνδετική δοκός άργησαν να χρησιμοποιηθούν ενώ ο ορθοστάτης παραλήφθηκε. (Thelin & Linscott, 2008, pp. 123-127)

κατασκευή σκαλωσιών, καλουπιών, μηχανών, μηχανισμών και αντικειμένων καθημερινής χρήσης. Παράδειγμα μηχανής που αποδεδειγμένα χρησιμοποιούνταν σε μεσαιωνικά εργοτάξια είναι ο τροχός ανύψωσης²⁰. Επιμερίζεται στην κατασκευή του τροχού, αντηρίδες, πλαίσιο, κέλυφος, άξονας και την κατασκευή στερέωσής του. Ακόμα και στην περίπτωση που η κατασκευή αυτών έγινε από άλλους τεχνίτες επειδή επεξεργάζονται το ίδιο υλικό θα μπορούσαν να μελετήσουν και να κατανοήσουν την άγνωστη σε αυτούς κατασκευή. Επιπλέον ο αρχιμάστορας που συντόνιζε την εργασία θα έπρεπε να έχει εμπειρία για τις δύο κατασκευές και το συνδυασμό τους.



εικόνα 62 εικονογράφηση Εξάτευχου
(Λονδίνο, British Library), 11^{ος} αι. (Torre,
2018)



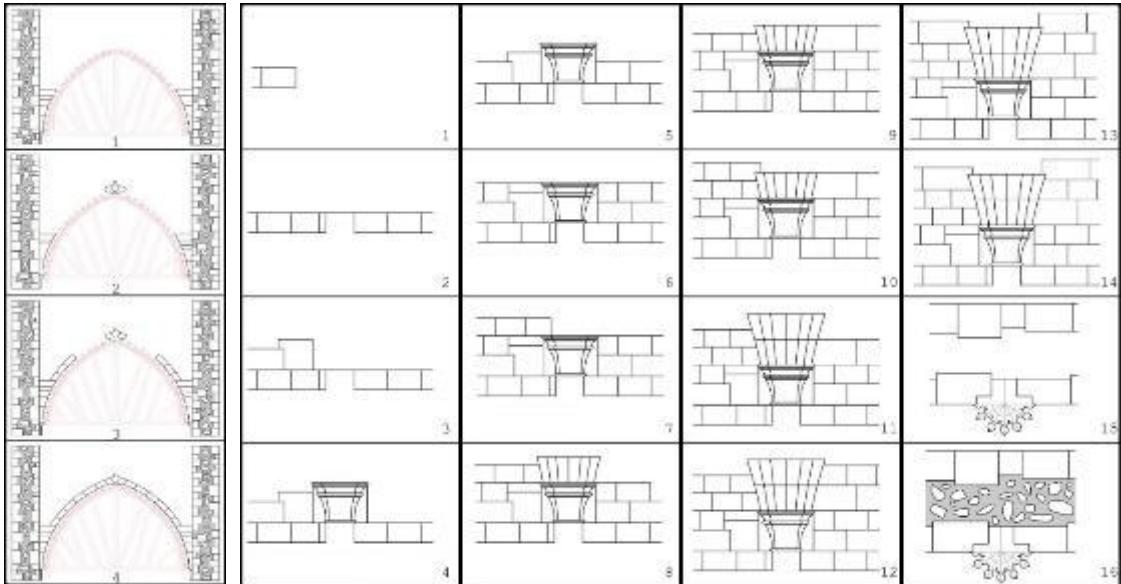
εικόνα 61 επίσκεψη Καρλομάγνου στο
παρεκκλήσι του Άαχεν, 14^{ος} αι., *Grandes
Chronicles de Saint-Denis*, (Toulouse, Bibliothèque
Municipale de Toulouse) (Torre, 2018)

Οι κατασκευές που αναλάμβαναν είχαν συνήθως μία κλίμακα που επέτρεπε την 1/1 προκατασκευή. Αυτό οφείλεται στον επιμερισμό του χωρικού σκελετού σε πλαίσια. Πρώτα κατασκεύαζαν τα πλαίσια και μετά τα εφάρμοζαν στο τμήμα της κατασκευής που αντιστοιχούσαν. Στο άρθρο του ο C. Voigts αναφέρει πως αντί κάποιας προσωρινής σκαλωσιάς κατασκευάστηκαν μονιμότερα ζευκτά και πλαίσια για την ανύψωση επιπέδου από το οποίο θα γίνονταν οι απαραίτητες εργασίες για την

²⁰ Οι λιγοστοί μηχανισμοί που έχουν διασωθεί σε συνδυασμό με τεχνικά σκίτσα της εποχής του μεσαίωνα και ζωγραφικές απεικονίσεις αποδεικνύουν την ευρεία και βέβαιη χρήση τους. (Matthies, 1992). Αντίστοιχοι μηχανισμοί είναι οι νερόμυλοι. Φαίνεται πως υπήρξε η κληροδότηση τέτοιων μηχανισμών από την ρωμαϊκή περίοδο.

κατασκευή των ιστών στην εκκλησία του Saint Jacob στο Wasserburg (Voigts, 2021, pp. 82,83).

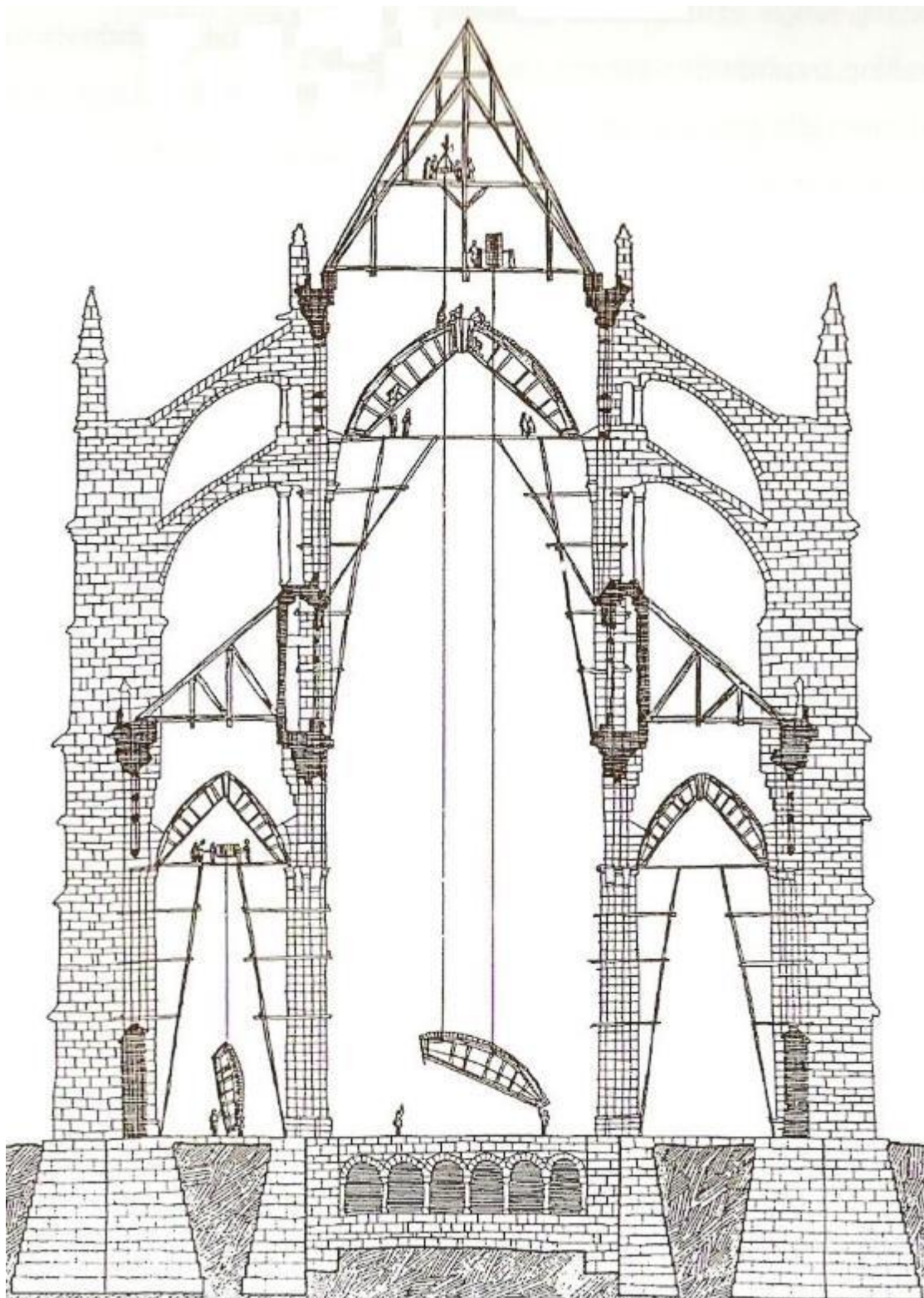
Η συνεργασία ξύλου και πέτρας, σκαλωσιά και ξυλότυπος



εικόνα 64 πίνακας αριστερά, βήματα τοποθέτησης πέλματος, κλειδιού, θολιτών, χρήση ξυλότυπου.

εικόνα 64 πίνακας δεξιά, βήματα ανέγερσης τοίχου δομικής λαξευμένης λιθοδομής με το εγκιβωτισμό του πέλματος.

Στην ανέγερση οποιουδήποτε πέτρινου ναού είτε Ρωμανικού είτε Γοτθικού τα δύο υλικά δημιουργούν την βάση στην οποία θα συνεχίσει ο τεχνίτης την κατασκευή. Στο πρώτο στάδιο του στρωσίματος των τοίχων η σκαλωσιά αποτελεί το επίπεδο στο οποίο μεταφέρονται τα υλικά και συνεργάζονται οι χτίστες. Αφού εδραιωθεί η βάση από πέτρινους τοίχους για τον επόμενο όροφο τα τοιχεία με όποιον όροφο στηρίζουν θα αποτελέσουν το επίπεδο έδρασης της σκαλωσιάς ή του γερανού. Στόχος ήταν να κατασκευαστεί η ξύλινη στέγη που θα επέτρεπε τις μακροχρόνιες εργασίες των σταυροθολίων και των ιπτάμενων τόξων χωρίς να καταπονούνται το εργοτάξιο και οι τεχνίτες από τις καιρικές συνθήκες (Huerta, 2001, p. 180). Έχει αποδειχτεί πως τα δοκάρια που συναρμολογούσαν την σκαλωσιά αποσυναρμολογούνταν και επανασυναρμολογούνταν σε διαφορετική θέση του εργοταξίου είτε για το επόμενο κλίτος είτε για τον επόμενο όροφο. Σε αυτή τη περίπτωση η σκαλωσιά αποτελεί το σταθερό μέτρο του κανάβου των κλιτών και των φατνωμάτων. Αυτή η μέθοδος θεωρείται πως εφαρμοζόταν στα κλίτη των Ρωμανικών ναών (Stephenson, 2009, pp. 160,161).



εικόνα 65 σκίτσο τομής καθεδρικού μετά την κατασκευή της στέγης και πριν την κατασκευή των νευρώσεων και των θολιτών, υποθετική αναπαράσταση ξυλότυπων και ανυψωτικών μηχανισμών (De Decker, 2010)

Ίσως μία αντίστοιχη μέθοδος να εφαρμόστηκε στα Γοτθικά κλίτη (Calkins, 1998, p. 306). Σε αυτήν την περίπτωση η επανάληψη σκαλωσιάς και ξυλότυπου θα καθοριζόταν από

το μοτίβο των νευρώσεων. Ο τύπος των Γοτθικών θόλων απαρτίζεται από πτέρυγες που αυτόνομα μπορεί να είναι ασταθής. Έτσι κάποιες από τις στηρίξεις του θόλου θα έπρεπε να διατηρηθούν και κάποιες να μεταφερθούν στο επόμενο κλίτος.



εικόνα 66 η σκαλωσιά και ο ξυλότυπος του καμπαναριού της εκκλησίας Lärbro στο Gotland της Σουηδίας. (Arts and Humanities Research Council & University of Liverpool, 2021)

Η επανάχρηση αυτή συντελούσε στη συμμετρία και ομοιομορφία της κατασκευής. Δεν υπάρχει εύρημα ξυλότυπου, ωστόσο θεωρείται πως ήταν ένα είδος ζευκτού με τοξοειδή αμείβοντα στου οποίου τις πλευρές πετσώνονταν σανίδες ώστε να δημιουργηθεί αυλάκι για την στερέωση των κομματιών της νεύρωσης.

Αφού εδράζονταν όλα τα μέλη των νευρώσεων άρχιζε η πλήρωση των ιστών του σταυροθολίου. Ή ακμή συναρμογής των πτερύγων του θόλου καλυπτόταν από την νεύρωση. Έτσι οι θολίτες σε αυτό το σημείο δεν χρειάζονταν παραπάνω λάξευση από την αναγκαία.

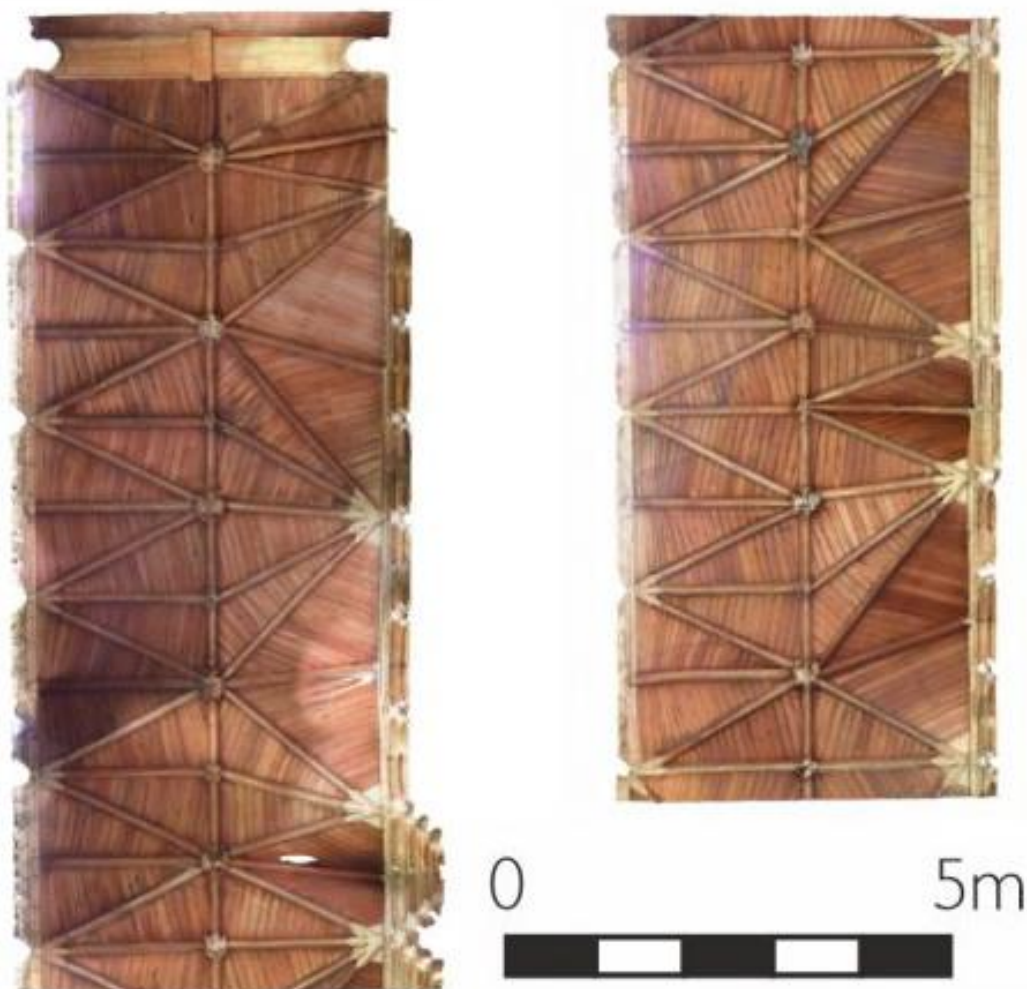
Ανάλογα με τον τρόπο τοποθέτησης σε σχέση με τις νευρώσεις και το είδος της λιθοδομής δημιουργούνται διαφορετικές ανάγκες στο εργοτάξιο. Για παράδειγμα είτε γινόταν χρήση πλήρη ξυλότυπου και για τους ιστούς ή απευθείας τοποθέτηση της λιθοδομής όπου οι νευρώσεις παίζουν του ρόλο του ξυλότυπου.

Στις δυσδιάστατες απεικονίσεις δεν γίνεται σαφής η τοποθέτηση του ξυλότυπου και της σκαλωσιάς για την λιθοδομή των νευρώσεων. Τα πέλματα του τόξου δεν μπορούσαν να στηρίξουν τους ελκυστήρες αφού πάνω σε αυτά θα τοποθετείτο η

επόμενη στρώση λίθων των νευρώσεων. Είναι πιο πιθανή η κατασκευή τρισδιάστατου πλέγματος με τους ελκυστήρες στα πλευρικά δικτυώματα. Έτσι οι ελκυστήρες και οι στρωτήρες θα περικλείαν το πέλμα του τόξου αντί να τοποθετούνται πάνω του. Σε ρωμανικούς ναούς εντοπίζονται ίχνη μίας τέτοιας εφαρμογής του ξυλότυπου. (Armi, 2004, p. 41)

Ξύλινος σκελετός

Ίσως η απάντηση για την όψη του πλήρη ξύλινου ξυλότυπου να βρίσκεται σε γοθικούς με σταυροθόλια από ξύλο, φυσικά με την συμπλήρωση ζευκτών. Τέτοια

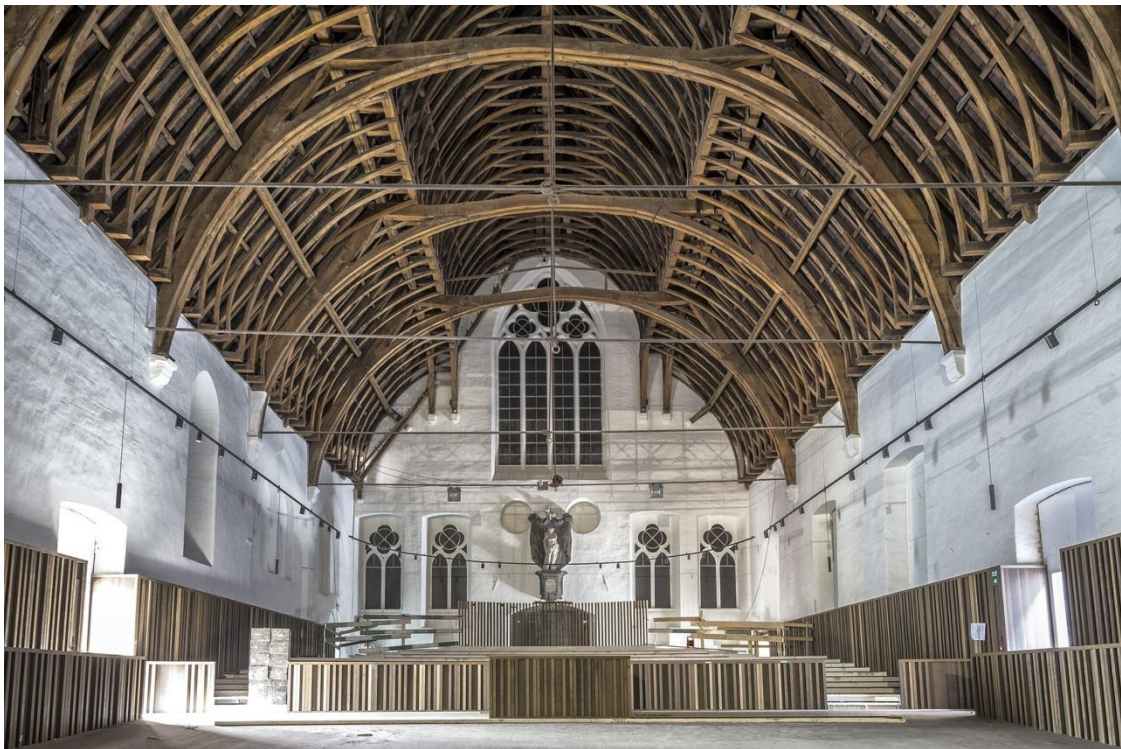


εικόνα 67 Lincoln Cathedral, απεικόνιση οροφής από μοντέλο τρισδιάστατου σκαναρίσματος (Arts and Humanities Research Council & University of Liverpool, 2021)

είναι η στοά του καθεδρικού του Lincoln. Η συγκεκριμένη στοά δεν είναι συμμετρική ως προς τον διαμήκη άξονα. Αυτό συνεπάγεται πως θα χρειαζόντουσαν διαφορετικοί ξυλότυποι για την κάθε ενότητα ιστών και νευρώσεων. Κατά συνέπεια θα

εφαρμοζόταν και διαφορετική γεωμετρία στην λάξευσή των κλειδιών και των τμημάτων διαγώνιων νευρώσεων. Αυτή η διαδικασία για την στοά αποφεύχθηκε με την αντικατάσταση της πέτρας με το ξύλο.

Η κατασκευή ξύλινων οξυκόρυφων οροφών ήταν πολύ συχνή. Σε αυτές γινόταν χρήση ζευκτών υπό την μορφή νευρώσεων τα οποία δεν συμπληρώνονταν με σανίδες για την δημιουργία του θόλου αλλά με το σανίδωμα της στέγης εδραζόταν στους αμείβοντες²¹.



εικόνα 68 the infirmarium hall of the Ghent Bijloke Hospital, 1251-1255 μ.Χ. (DENYS, 2023)

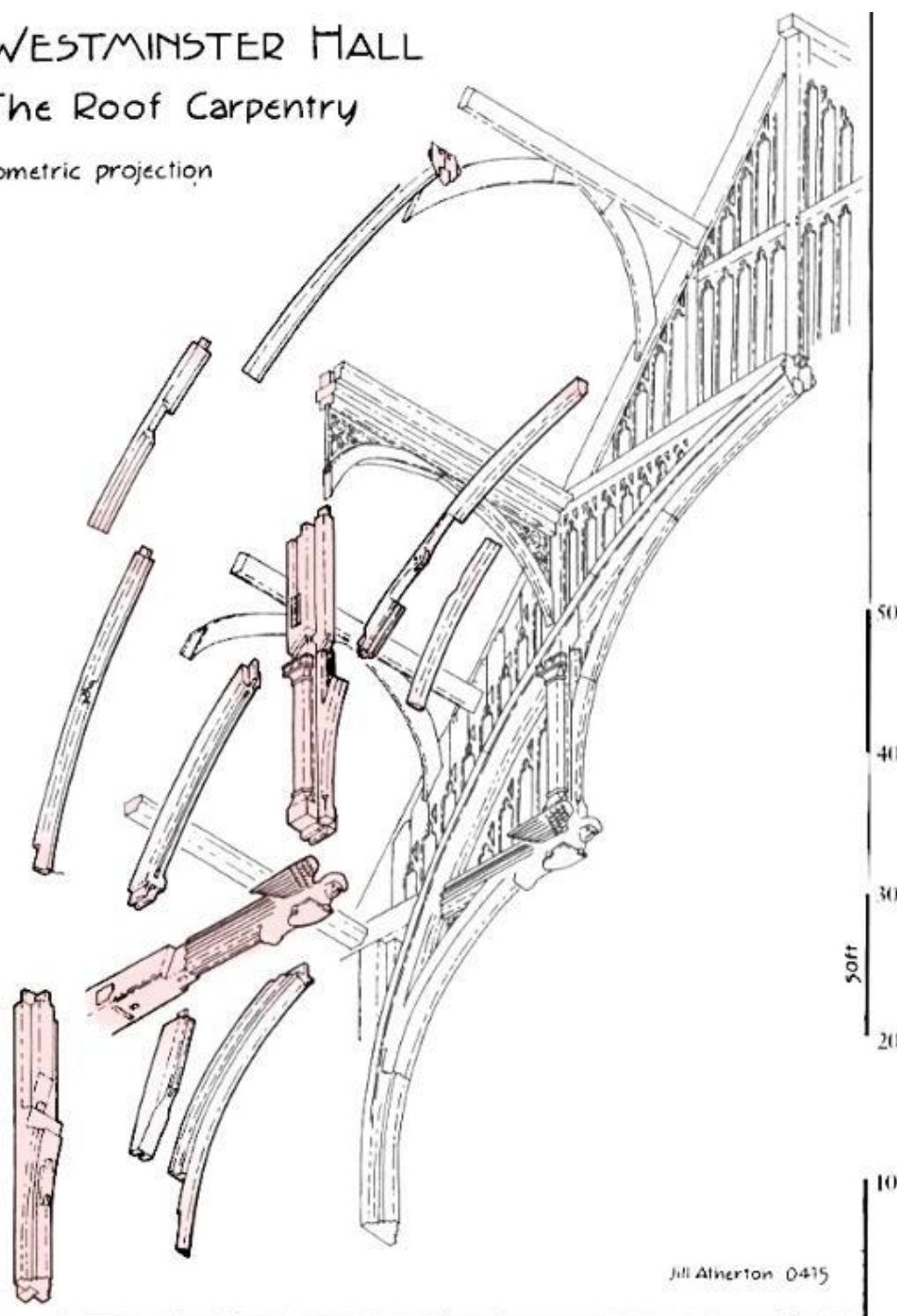
Σε αυτά εντύπωση οξυκόρυφου θόλου δημιουργούνται με την επανάληψή τους. Δεν χρησιμοποιούνταν μόνο σε καθεδρικούς αλλά και σε άλλα κτίρια όπως κέντρα φροντίδας τα οποία εντάσσονταν στις εγκαταστάσεις της εκκλησίας. Με την εξάπλωση του γοτθικού τύπου εντοπίζονται και σε κτίρια κρατικής εξουσίας όπως το Palazzo della Ragione στην Πάδοβα και το Ghent Bijloke Hospital. Στο Palazzo della Ragione δημιουργείται όντως οξυκόρυφη στέγη αφού ακολουθεί την καμπύλη των ζευκτών.

²¹ Ο Robert Beech στην διατριβή του 'The Hammer-Beam Roof: Tradition, Innovation and the Carpenter's Art in Late Medieval England' παραθέτει πληθώρα τέτοιων περιπτώσεων (Beech, 2014).

WESTMINSTER HALL

The Roof Carpentery

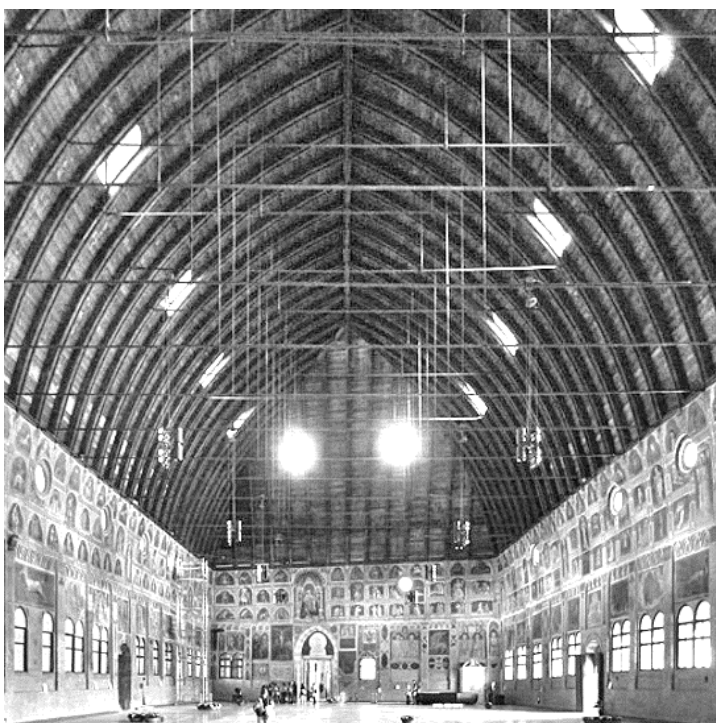
Isometric projection



εικόνα 69 αξονομετρικό σχέδιο έκρηξης για την αποτύπωση των κόμβων και των τμημάτων του δικτύωματος του Westminster Hall (Munby, 2015, p. 126)

Ιδιαιτερότητα στη δομή των ξύλινων νευρώσεων παρουσιάζει η αίθουσα υποδοχής του Westminster όπου χρησιμοποιείται το ζευκτό hummerbeam. Ο συγκεκριμένος τύπος φαίνεται να χρησιμοποιείται από το 1280 μ.Χ. και καθιστά δυνατή την γεφύρωση μεγαλύτερων ανοιγμάτων όπως τα 20,8 μ. στο Westminster Hall (Munby, 2015, p. 123). Αποτελεί συνδυασμό των βασικών μελών ενός ζευκτού στο οποίο προστίθεται επιπλέον καμπυλωμένο δικτύωμα ή αντηρίδες με βασικό γνώρισμα των

γωνιακό κόμβο που εξέχει από το υπόλοιπο ζευκτό. Με αυτόν το άνοιγμα επιμερίζεται. Τα τόξα του δικτυώματος συνδέονται μέσω του hummerbeam²² με το υπόλοιπο ζευκτό. Αποτελείται από δύο ορθοστάτες και μία οριζόντια δοκό που λειτουργεί ταυτόχρονα σαν ελκυστήρας και αντηρίδα. Η δοκός ακουμπά στον τοίχο άμεσα στο κόμβο που την συνδέει με το κατώτερο πέλμα του ζευκτού και έμμεσα μέσω του κατώτερου ορθοστάτη στο πέτρινο πέλμα του τόξου. Τα τόξα λειτουργούν σαν αντηρίδες και σαν αμείβοντες για την υποστήριξη του ζευκτού, της δοκού αλλά και του ανώτερου ορθοστάτη.



εικόνα 70 Palazzo della Ragione, Πάδοβα (Wikipedia the free encyclopedia, 2021)

Στη συγκεκριμένη οροφή γίνεται αποκλειστικά χρήση ξύλου. Στην περίπτωση του Palazzo που δεν έχει εφαρμοστεί αυτός ο τύπος ζευκτού η ενίσχυση του σκελετού γίνεται με την χρήση βεργών σιδήρου. Εδώ οι βέργες σιδήρου αντικαθιστούν τους ορθοστάτες και τους ελκυστήρες ώστε να αποφευχθεί η κατασκευή ζευκτού που θα αφαιρούσε ύψος από τον κενό χώρο και

θα προσέθετε επιπλέον βάρος.

Σε παραδείγματα που θα ακολουθήσουν ο σίδηρος γίνεται εξάρτημα συνδεσμολογίας ή ενίσχυσης υπάρχοντος σκελετού.

²²Το ζευκτό hummer beam χαρακτηρίζεται από τον ορθογώνιο κόμβο και θεωρείται καταλληλότερο για την γεφύρωση πέτρινων τοίχων. Αυτοί με το την μάζα τους διατηρούν το ζευκτό σε θλιπτική συνθήκη όπου ανταποκρίνεται καλύτερα. (Timber Frame Engineering Council, 2020, pp. 31,32)



εικόνα 71 Saint Giovanni e Paolo, (Nicola Coldstream, *Medieval Architecture*, σελ.91)

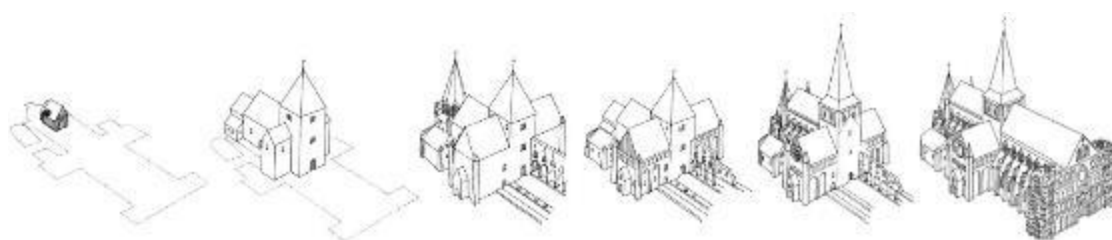
Το άνοιγμα γεφύρωσης είναι μία από τις προκλήσεις που κλήθηκαν να επιλύσουν οι κατασκευαστές. Διαφορετικά προβλήματα παρουσιάζουν διαφορετικές επιλύσεις. Στη Βενετία προστίθενται ξύλινες δοκοί στις βάσεις των τόξων. Η πρόκληση της κατασκευής δεν προκύπτει από την κλίμακα αλλά από τα θεμέλια. Η Βενετία είναι κτισμένη πάνω σε ένα δικτύωμα πασσάλων (Panwar, 2020)²³. Ο βυθός στον οποίο τοποθετούνται διαβρώνεται συνεχώς με αποτέλεσμα τις κατά τόπους καθιζήσεις. Η τοπική καθίζηση μπορεί να δημιουργήσει διαγώνια κλίση σε μέρος της κατασκευής. Πιθανότατα με την τοποθέτηση των δοκών να εμποδίζουν την τοπική παραμόρφωση.

²³ Οι πάσσαλοι είναι κυρίως δρύινοι και άρα ανθεκτικοί στην υγρασία και την φθορά. Στην διατήρησή τους συντέλεσαν και οι συνθήκες της λιμνοθάλασσας, όπως ο πηλώδης βυθός και η σύσταση νερού με μειωμένο οξυγόνο, μία δυσμενή συνθήκη για την ανάπτυξη ξυλοφάγων μικροοργανισμών.

Η κατασκευή της συγκεκριμένης εκκλησίας τοποθετείται μεταξύ 1238 και τέλη του 15^{ου} αι.. Η κατασκευή φαίνεται να πέρασε από διάφορα στάδια με τον θόλο να προστίθεται προς το τελικό στάδιο κατασκευής (Coldstream, 2002, p. 90). Ωστόσο δεν διευκρινίζεται αν η κατασκευή θόλου έγινε από επιλογή ή από ανάγκη σαν αντικατάσταση σταυροθολίου μετά από αστοχία. Η εξωτερική όψη της εκκλησίας θυμίζει περισσότερο τρουλαία βασιλική παρά Γοτθικό. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία ενός διαφοροποιημένου τύπου που προκύπτει από στοιχεία άλλων.

Παλίμψηστο και κατασκευαστική διαδοχή κλιτών

Ενώ αυτό το παράδειγμα αποτελεί παλίμψηστο τύπων από συνδυασμούς στοιχείων υπάρχουν παραδείγματα που οι τύποι αφορούν χωρικές ενότητες και προέκυψαν με τη διαδικασία της προσθήκης. Τέτοια είναι ο καθεδρικός του Nidaros και η βασιλική της Assisi αλλά και ο καθεδρικός του Στρασβούργου όπως και πολλοί άλλοι.



εικόνα 72 από την Στάβκιρκε στον Καθεδρικό του Nidaros, σκίτσα των Karl-Fredrik Keller/Øystein Ekroll (Ekroll, 2015, pp. 3-5)

Στον καθεδρικό του Nidaros το παλίμψηστο αναπτύσσεται κυρίως κατά μήκος αφού ο ναός καταστράφηκε από φωτιά και ξαναχτίστηκε. Το τμήμα που δεν κάηκε περιλαμβάνει και αυτό τις δικές του προσθήκες αφού και πριν τη φωτιά προέκυψε η ανάγκη επέκτασής του ναού. Πρόκειται για μία περίπτωση όπου στην υπάρχουσα Δυτική όψη αφού επεκτάθηκαν οι πτέρυγες, προστέθηκε επιπλέον Δυτικό κλίτος και τα κωδωνοστάσια²⁴ (τελική δυτική πτέρυγα).

²⁴ (Ekroll, 2015, p. 3)



εικόνα 73 νότια πτέρυγα 1150-1200 μ.Χ.
αριστερά, παρεκκλήσι του Αγ. Ιωάννη του
βαπτιστή στην Νότια πτέρυγα δεξιά (Ekroll,
2015, pp. 5,7)



Όλοι οι καθεδρικοί κατασκευάστηκαν σε μεγάλο βάθος χρόνου, έτσι ο γοτθικός τύπος όχι μόνο δεν είναι πανταχού παρόν αλλά εντοπίζεται και η εξέλιξή του στον ίδιο ναό. Διαδικασία εμφανής στο συγκεκριμένο παράδειγμα. Ανοίγματα ρομανικού τύπου συνυπάρχουν με αυτά του γοτθικού. Οι εικόνες που αναφέρονται στο μεσαίωνα ανήκουν στο ανατολικό τμήμα μαζί με τις πτέρυγες μιας και ο υπόλοιπος καθεδρικός καταστράφηκε σε φωτιά το 1531.



εικόνα 74 Santa Maria zur Wiese, 1313-19^ο αι. μ.Χ.

(Coldstream, 2002, p. 96)

Μία θεωρία υποστηρίζει πως η ανέγερση του γοτθικού ξεκινούσε με τη δυτική πτέρυγα αφού ολοκληρωνόταν η θεμελίωση. Κυρίως επειδή τα σχέδια που έχουν ανακαλυφθεί απεικονίζουν την Δυτική όψη η οποία ήταν και η πιο εκτεθειμένη στον δημόσιο χώρο²⁵. Η Δυτική πτέρυγα περιλαμβάνει τον πρόναο και τα κωδωνοστάσια, δηλαδή την χωρική ενότητα με την πιο συμπαγή μάζα, τα επιμερισμένα ανοίγματα γεφύρωσης και την πρόσοψη του καθεδρικού. Με αυτή να κατασκευάζεται πρώτη, υποδεικνύει τις διαστάσεις για τα επακόλουθα και προσφέρει την απαραίτητη μάζα στήριξης όχι μόνο για

τις ανεγειρόμενες νευρώσεις αλλά και για τους ανυψωτικούς μηχανισμούς και τις σκαλωσιές. Ωστόσο πολλοί καθεδρικοί όπως και του Nidaros αποτελούν προσθήκες και ανακατασκευές προϋπάρχοντος ναού. Σε αυτές τις περιπτώσεις τα ανοίγματα και η μάζα στήριξης ενδεχομένως να προσφέρονται είδη και πιθανώς η κατασκευή να ξεκινάει με τα ενδιάμεσα κλίτη. Επιπλέον σε *tabula rasa* περιπτώσεις η ανέγερση ξεκινούσε με την Ανατολική πτέρυγα και το Δυτικό κλίτος κατασκευάστηκε τελευταίο όπως στους Ρωμανικούς ναούς²⁶. Τέτοια περίπτωση αποτελεί ο καθεδρικός της Santa Maria zur Wiese στο Soest της Γερμανίας²⁷.

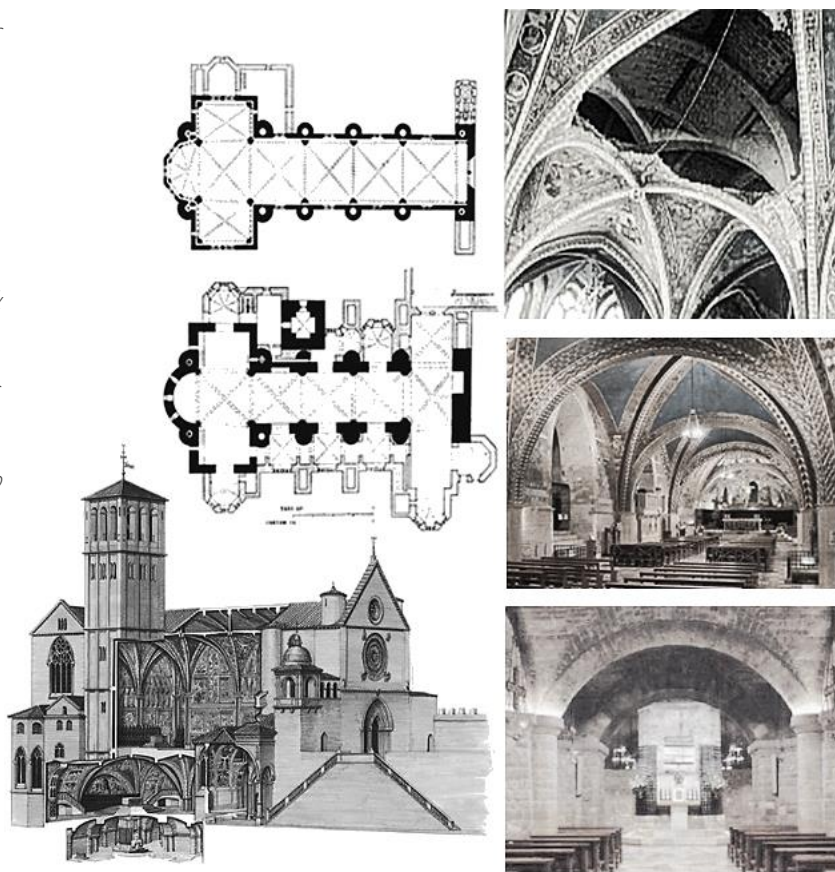
²⁵ (What Makes Strasbourg Cathedral An Architectural Masterpiece? [4K] | Extreme Constructions | Spark, 2019)

²⁶ (Stephenson, 2009, p. 160)

²⁷ Στον συγκεκριμένο ναό μετά την ολοκλήρωση της θεμελίωσης ακολούθησε η κατασκευή των Ανατολικών κλιτών. Η διακοπή χρηματοδότησης θεωρείται ο βασικός λόγος που διακόπηκε το έργο και καθυστέρησε η ολοκλήρωσή του. (Coldstream, 2002, p. 96)

εικόνα 75 βασιλική της

Assisi, κάτω δεξιά
ρωμανικός τύπος,
κέντρο δεξιά ύστερο
ρωμανικός τύπος
(Angelini, et al., 2017,
pp. 48,49), πάνω δεξιά
γοτθικός τύπος
(στιγμιότυπο διάλεξης
του John Ochsendorf),
κάτω αριστερά σκίτσο
που απεικονίζει την
διαδοχή των τύπων
της εκκλησίας κατά
ύψος, κέντρο
αριστερά κάτοψη
επιπέδου ύστερου
ρωμανικού τύπου,
πάνω αριστερά
κάτοψη επιπέδου
γοτθικού τύπου
(Angelini, et al., 2017,
pp. 48,49).



Η βασιλική της Assisi διαφοροποιείται καθ' ύψος. Το κάθε επίπεδο αποτελεί και έναν ναό διαφορετικής φάσης. Στο ισόγειο ο τύπος είναι Ρωμανικός. Στον όροφο χρησιμοποιούνται σταυροθόλια. Στο ανώτερο επίπεδο πλέον η κατασκευή είναι γοτθικού τύπου. Το 1997 κατέρρευσε σταυροθόλιο κατά την διάρκεια σεισμού (Ochsendorf, 2015). Τέτοιου είδους καταρρεύσεις ήταν συχνές στην κατασκευή των Γοτθικών. Όχι λόγω σεισμικών δονήσεων, αλλά λάθος πειραματισμών. Όπως αναγνωρίζουν πολλοί ερευνητές το εγχείρημα της ανέγερσης ενός Γοτθικού ήταν δοκιμή και αστοχία ακόμα και στις περιπτώσεις που δεν υπήρχε κάποιο ειδικό ζήτημα όπως το μεγάλο άνοιγμα του τόξου ή η θεμελίωση καθώς δοκιμάζονταν διαφορετικοί συνδυασμοί τμημάτων του φέροντα οργανισμού (Huerta, 2012, p. 164).

Μέθοδοι κατασκευής

Οι κατευθύνσεις βελτιστοποίησης της στιβαρότητας της κατασκευής αφορούν την τεχνική της λάξευσης για την ιδανική επαφή των πέτρινων τμημάτων, την πλέξη

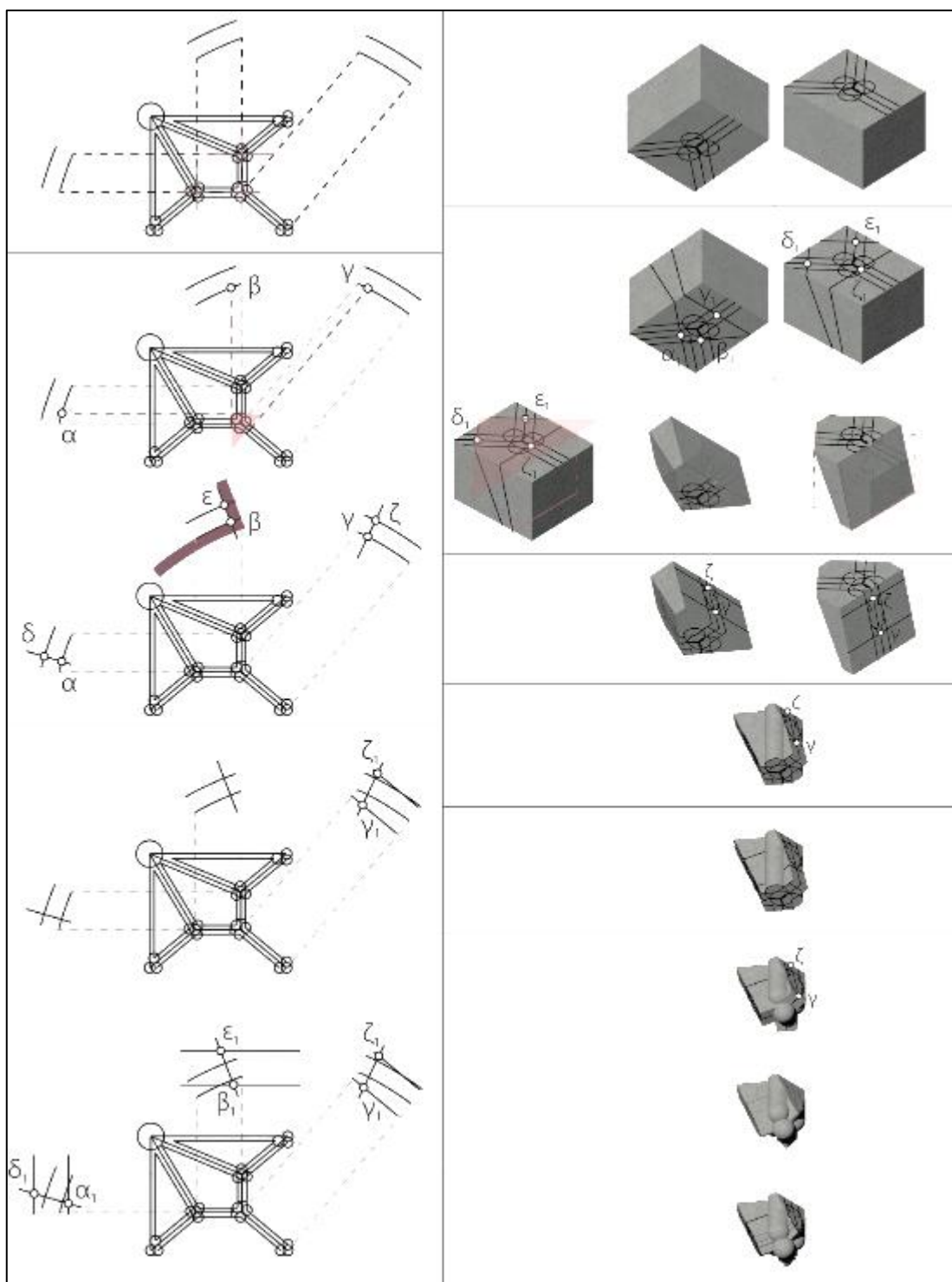
λιθοδομής των ιστών-πληρώσεων, την σύνδεση μεταξύ τους και το σχήμα του ίδιου του ναού. Στην λάξευση εντοπίζονται διάφορα στάδια επεξεργασίας αλλά και περιπλοκότητας της γεωμετρίας. Για την συναρμολόγηση κομματιών διαφορετικού σχήματος που όλα μαζί δημιουργούν ένα νέο σχήμα αναπτύχθηκε η στερεοτομία²⁸. Σε αυτήν χρησιμοποιούνται πατρόν, και γεωμετρικές χαράξεις των οποίων αφαιρετικά σκαριφήματα έχουν βρεθεί σε πατώματα ναών²⁹.

Πέτρινος σκελετός

Στα σκαριφήματα τονίζονται αφαιρετικά τα κλειδιά και τα πέλματα των νευρώσεων. Οι πιο καθοριστικές και περίπλοκες λίθοι του τόξου είναι το κλειδί και το πέλμα του τόξου. Σε αυτές καταλήγουν οι νευρώσεις και έτσι πρέπει να δημιουργηθούν οι επιφάνειες επαφής με αυτές. Η διεύθυνση κλίσης της κάθε επιφάνειας είναι διαφορετική αφού παραλαμβάνει νεύρωση από διαφορετική κατεύθυνση. Σε νευρώσεις ανόμοιου ανοίγματος και ύψους αλλάζει και η γωνία της κλίσης πέρα από την διεύθυνση. Όσο λιγότερες επαναλήψεις έχει το μοτίβο των νευρώσεων τόσο πιο περίπλοκη γίνεται και η στερεοτομία.

²⁸ (Sakarovitch, 2003)

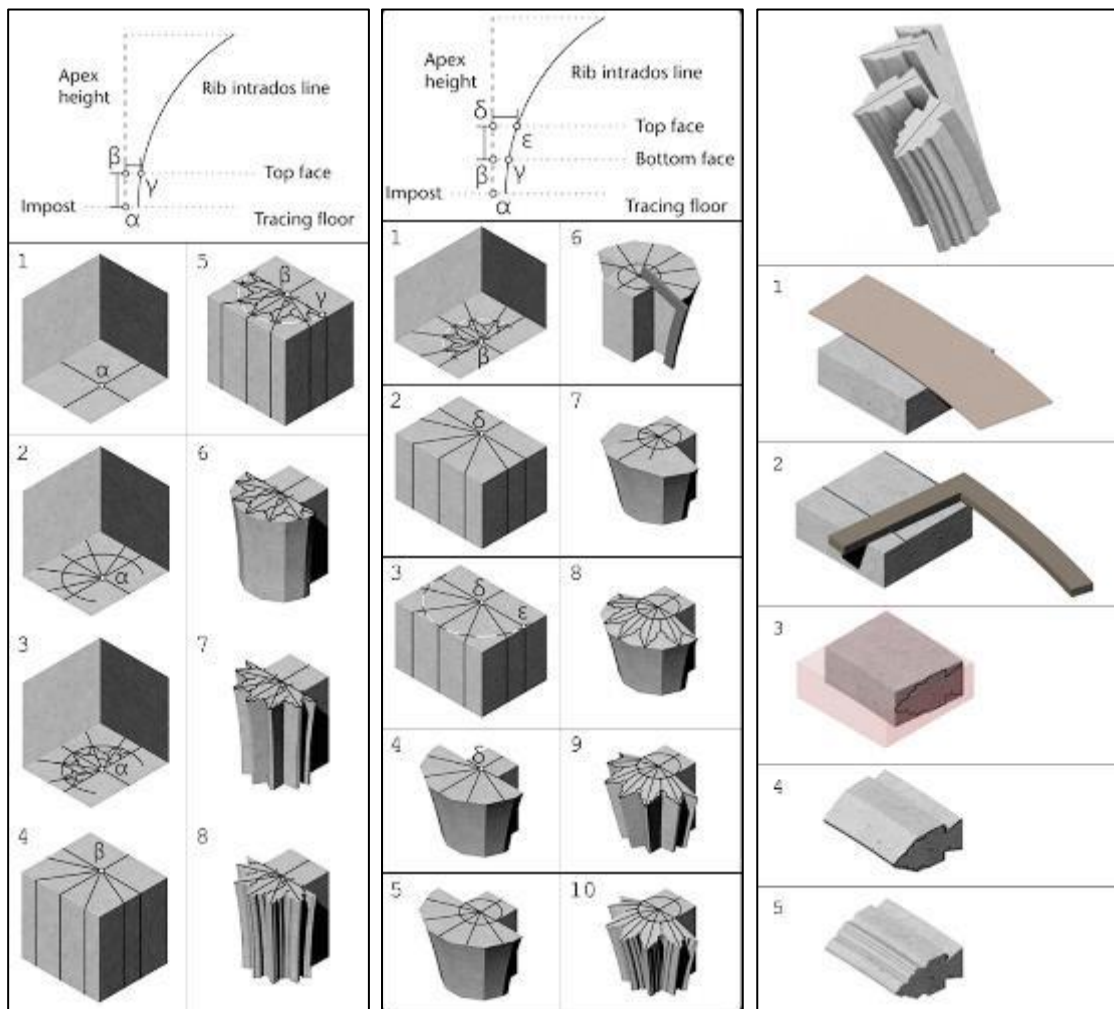
²⁹ Ο Wells Cathedral αποτελεί παράδειγμα με πάτωμα χαραγμένο για την προετοιμασία θολιτών (Arts and Humanities Research Council & University of Liverpool, 2020)



εικόνα 76 πίνακας πιθανών σταδίων διαμόρφωσης κλειδιού Νοτιοδυτικής πτέρυγας ιερού στον Wells Cathedral με μεταφορά σημείων από την προβολή των νευρώσεων, η διαδικασία προκύπτει από την τέχνη της στερεοτομίας (Arts and Humanities Research Council & University of Liverpool, 2021).

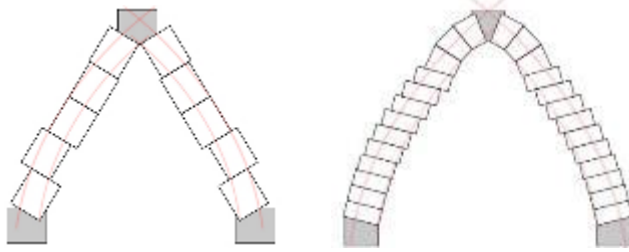
Το παραπάνω διάγραμμα απεικονίζει μία υπόθεση καθορισμού των χαράξεων λάξευσης σε ένα κλειδί από τις προβολές των νευρώσεων που παραλαμβάνει. Ωστόσο όλοι οι μελετητές παραδέχονται πως δεν μπορούν να υποδείξουν με βεβαιότητα την ακριβή διαδικασία. Επίσης η εικονιζόμενη διαδικασία ανήκει στην μέθοδο της

στερεοτομίας. Ενώ η στερεοτομία αναπτύχθηκε στη παλαιοχριστιανική Συρία δεν υπάρχει κάποια βεβαιότητα για το πόσο είχε εξελιχθεί στο μεσαίωνα, ούτε για τους τρόπους και την έκταση της εφαρμογής της. Φαίνεται να αναπτύχθηκε αλματωδώς στον ύστερο μεσαίωνα και την αναγέννηση. Έτσι στην Ρωμανική αρχιτεκτονική και σε πολλά παραδείγματα της Γοτθικής εντοπίζονται απλούστερα, μοτίβα, χαράξεις και αποτελέσματα στερεοτομίας.



εικόνα 77 πίνακας στα αριστερά: πιθανά στάδια λάξευσης για το κάτω τμήμα πέλματος νεύρωσης στον Wells Cathedral, πίνακας στο κέντρο: πιθανά στάδια για το άνω τμήμα του πέλματος, πίνακας στα δεξιά: πιθανά στάδια λάξευσης θολιτών . (Arts and Humanities Research Council & University of Liverpool, 2021)

Σε κάποιες εκδοχές τόξου και θόλου κανένα από τα ενδιάμεσα μέλη δεν διαμορφώνεται με διαγώνια λάξευση. Για την επίτευξη της καμπύλωσης του τόξου ή του θόλου γινόταν προσθήκη σφηνοειδών πληρώσεων στην εξωτερική πλευρά του τόξου. Σε αυτή την τεχνοτροπία στο μόνο τμήμα στο οποίο εφαρμοζόταν διαγώνια λάξευση ήταν το κλειδί.



εικόνα 78 αριστερό διάγραμμα: πιθανός καθορισμός καμπύλης στην περίπτωση παράθεσης στο έδαφος με τις επιφάνειες των θολιτών σε παραλληλία, δεξί διάγραμμα: πιθανή κατασκευή νεύρωσης πριν την λάξευση με το πέλμα να καθορίζει το μοτίβο και την μετατόπιση να καθορίζει την καμπύλη.

Καθώς οι κατασκευαστικές και σχεδιαστικές εφαρμογές εμπλουτίζονταν εντοπίζεται ποικιλία μεθόδων δημιουργίας της καμπύλης. Σε πειραματικές κατασκευές για το γοτθικό σταυροθόλιο, αποδεικνύεται πως τα ενδιάμεσα μέλη του τόξου ή του ιστού έχουν παράλληλες πλευρές μεταξύ τους και όχι σφηνοειδές σχήμα (Wendland, 2022). Ενώ στο πείραμα του Wendland χρησιμοποιούνται πλίνθοι η ίδια τεχνική μπορεί να αναπαραχθεί με πέτρα, όπως έχει γίνει σε θόλους πέραν των γοτθικών. Η καμπύλη σε αυτήν την περίπτωση δημιουργείται με το εκφορικό σύστημα³⁰. Σε αυτή την τεχνική τοποθέτησης υπάρχει η πιθανότητα τα τμήματα των νευρώσεων, κυρίως οι θολίτες, να συναρμολογούνται στην απλούστερη γεωμετρική τους μορφή και η καμπύλη να δημιουργείται με το φάγωμα των γωνιών που εξέχουν από την μετατόπιση των θολιτών. Σε αυτό το πλαίσιο θα σμιλεύονται και οι υπόλοιπες λεπτομέρειες. Το υλικό φωτογραφικής αποτύπωσης σε πιο αδρά σμιλεμένα τόξα όπου η σμίλη αφήνει ίχνος επεξεργασίας δεν έχει την κατάλληλη ανάλυση για να φανεί η λεπτομέρεια του ίχνους. Ακόμα και αν το ίχνος υποδείξει την συνέχιση της σμίλης από την μία πέτρα στην επόμενη δεν υπάρχει βεβαιότητα για το στάδιο επεξεργασίας τους κατά την τοποθέτησή τους. Ο Χ. Μπούρας αναφέρεται σε διαμόρφωση κατόπιν τοποθέτησης χωρίς να διευκρινίζει το στάδιο διαμόρφωσης (ΜΠΟΥΡΑΣ, 1999, pp. 289-291).

Από φωτογραφικές αποτυπώσεις διακρίνονται περιπτώσεις όπου η διαμόρφωση των θολιτών της νεύρωσης γίνεται κατ' επιλογή τότε με τραπέζια όψη και τότε με τετράγωνη όπως στον Le mans Cathedral.



εικόνα 79 : Le mans Cathedral 1145-58
(Frank & Crossley, 2000, p. 66)

³⁰ διαδοχική μετατόπιση των θολιτών



εικόνα 80 φωτογραφία κατασκευής από την πειραματική μελέτη:
Vaults built without formwork: Comparison of the description of a traditional technique in building manuals with the results of practical observations and experimental studies (Wendland, 2022, p. 9)

Στο πείραμα της εκφορικής τεχνικής μελετήθηκε και η στατική συμπεριφορά της κατασκευής. Η ανταπόκρισή της ήταν καλύτερη από ότι του γεωμετρικά εξιδανικευμένου σταυροθολίου εξελιγμένης στερεοτομίας.

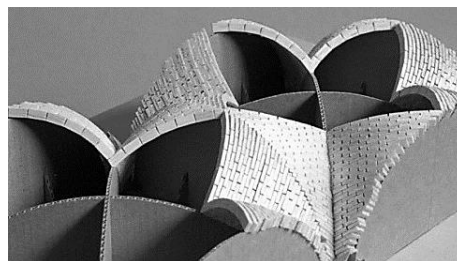
Παρατηρεί αστοχία των συμπερασμάτων των λόγιων του 19ου οι οποίοι θεωρούσαν όλα τα μέλη σφηνοειδή με σύγκλιση προς κάποιο κέντρο (Wendland, 2022, p. 8). Πιθανόν αυτό συνέβη για τρεις λόγους. Ο πρώτος είναι πως οι μελετητές του 19ου κλήθηκαν να σχεδιάσουν βασισμένοι σε ένα υπάρχων σχήμα. Συνεπώς έβγαλαν συμπεράσματα μέσω σχεδιασμού και όχι πρακτικής κατασκευής. Επιπλέον στο σχέδιο εφάρμοσαν τις εξιδανικευμένες γεωμετρικές χαράξεις και την στερεοτομία. Παρόλα αυτά το οξυκόρυφο τόξο θα μπορούσε να είχε γίνει με μη συγκλίνουσες σε ένα σημείο χαράξεις που θα δημιουργούσαν ανόμοια μεταξύ τους σχήματα. Ο δεύτερος είναι πως σε κατασκευές μη εξέχουσας σημασίας και άρα χρηματοδότησης πιθανόν να μην γινόντουσαν επιπλέον λαξεύσεις και χαράξεις των λίθων, όπου αυτό ήταν ασφαλές. Εφόσον είδη αρκετά μέλη του τόξου είναι σφηνοειδή υπάρχει και εφαρμόζεται η στερεοτομία, συνεπώς δεν τίθεται τόσο θέμα γνώσεων και άρα το αν ανήκουν στην ύστερη, πρώιμη ή μεταβατική περίοδο γοθτικού τύπου δεν επηρεάζει την συγκεκριμένη περίπτωση. Οι μελετητές είναι ακριβείς στις υποθέσεις τους για κάποιες περιπτώσεις γοθικών ναών αλλά όχι για το παράδειγμα που αναπαράγει η συγκεκριμένη μελέτη.

Μία ακόμα περίπτωση σταυροθολίου είναι η απευθείας κατασκευή του ιστού με ακμές. Οι ιστοί του, είτε λαξεύονταν ώστε να διαφοροποιηθούν οι ακμές από την υπόλοιπη επιφάνεια είτε όχι.³¹ Στην πρώτη περίπτωση υπάρχει μίμηση των νευρώσεων. Και στις δύο εκδοχές, αυτές παραλείπονται. Παράλληλα αποφεύγεται η συναρμολόγηση του ιστού με την νεύρωση.

³¹ Η διαφοροποίηση των τόξων από τον θόλο είχε αρχίσει είδη στην Ρωμανική αρχιτεκτονική. Με την εισαγωγή του σταυροθολίου η διαφοροποίηση σαν επιλογή των χτιστών άρχισε να εφαρμόζεται στις ακμές του..



εικόνα 82 τρόποι
θολιτοδομής ιστού:
τοποθέτηση θολιτών σε
ευθεία και τοποθέτηση
θολιτών σε τόξο (Arts
and Humanities Research
Council & University of
Liverpool, 2021)



εικόνα 81 μοντέλο της προαναφερόμενης
πειραματικής μελέτης, φαίνεται η
καμπύλωση των θολιτών στην δρομική
διεύθυνση (Wendland, 2022, p. 4)

Στην περίπτωση πλήρωσης ιστών σε νευρώσεις, η πρώτη επιφάνια θολιτών τοποθετούνταν ανάμεσά τους. Η τοποθέτηση γινόταν δρομικά. Στις περιπτώσεις όπου η κάθε στρώση θολιτών δημιουργεί επίπεδη επιφάνια θεωρείται πως χρησιμοποιούνταν πλήρης ξυλότυπος. Σε κάποια από αυτά τα παραδείγματα έχει εντοπιστεί μετατόπιση των θολιτών³². Αυτή συμπεραίνεται πως δημιουργήθηκε κατά την κατασκευή με την παράλληλη υποχώρηση του ξυλότυπου λόγω βάρους. Η επίλυση σε αυτήν την διαδικασία δόθηκε με την δημιουργία τοξοτών στρώσεων. Ο ιστός αποκτούσε καμπύλωση και προς τις δύο διευθύνσεις ανάπτυξής του. Το σχήμα του τόξου στην κάθε στρώση θεωρείται πως όχι μόνο σταθεροποιούσε τους θολίτες αλλά και κατήργησε τον πλήρη ξυλότυπο. Η τεχνική τοξοειδούς δρομικής θολιτοδομής χωρίς χρήση ξυλότυπου εφαρμόστηκε ιδιαίτερα στη Γερμανία όπου σε πολλά παραδείγματα γίνεται διαχωρισμός των υλικών σε πέτρινες νευρώσεις και πλίνθινους ιστούς.

Ένα ακόμα μοτίβο θολιτών είναι αυτό του ψαροκόκαλου. Αυτό το μοτίβο δεν χαρακτηρίζει το γοτθικό ή ρομανικό τύπο. Σαν μοτίβο έχει αποδειχθεί ιδανικότερο για την δημιουργία μεγάλων κοίλων επιφανειών και η δομή του προσαρμόζεται σε διαφοροποιούμενες κοιλότητες. (Ochsendorf, 2015) (Chen & Bagi, 2020)³³

³² Πρόκειται για τους ιστούς στον καθεδρικό του Regensburg (Voigts, 2021, pp. 78-79)

³³ Ο Ochsendorf στην διάλεξή του παραθέτει τέτοιου είδους κοιλότητες και οι Chen και Bagi αναλύουν τις δυνατότητες για εφελκυσμό μίας τέτοιας θολιτοδομής.

Οπλισμένη πέτρα

Στο γοτθικό τύπο η τεχνική σταθεροποίησης του σχήματος των θόλων δεν βασίζεται στο μοτίβο των θολιτών αλλά στο σχήμα του τόξου και τη μάζα που χρειάζεται γύρω του για τη διατήρησή του. Για το λόγο αυτό συμπληρωνόταν υλικό στα κλειδιά και στις βάσεις του τόξου. Σε κάποιες περιπτώσεις εντοπίζεται αυξομείωση στο πάχος του θόλου.³⁴

Η εναπόθεση μάζας πάνω από το κλειδί του σταυροθολίου σε κάποιες περιπτώσεις ήταν προσωρινή και αφαιρούνταν μετά την ολοκλήρωσή του θόλου. Στο σύνολο της κατασκευής, την μάζα στήριξης πρόσθεταν οι ιπτάμενες αντηρίδες, οι τοίχοι και σύνολα δωματίων της κατασκευής με πιο συμπαγή δομή, είτε αποτελούσαν προϋπάρχουν κτίριο είτε όχι (Armi, 2004, pp. 68-70).³⁵



εικόνα 83 στιγμιότυπα από το ντοκιμαντέρ για τον καθεδρικό του Στρασβούργου στα αριστερά η σύνδεση των τμημάτων της κολώνας με σιδερένιους συνδετήρες, στα δεξιά η σφράγιση με μόλυβδο για την στερεοποίηση και προφύλαξη της σύνδεσης (*What Makes Strasbourg Cathedral An Architectural Masterpiece? [4K] / Extreme Constructions / Spark, 2019*)

Σε κατασκευές σαν τους καθεδρικούς όπου γίνεται προσπάθεια για την μείωση του όγκου των μελών η προσθήκη βάρους δεν μπορεί να είναι η μόνη λύση για την διατήρηση του σχήματος της κατασκευής. Πρόσφατα χρονολογήθηκε ο σίδηρος από τις συνδέσεις που εντοπίζονται στη λιθοδομή. Από τα αποτελέσματα της

³⁴ Ο Edson Armi στο βιβλίο του «DESIGN AND CONSTRUCTION IN ROMANESQUE ARCHITECTURE» παραθέτει συλλογή φωτογραφιών από ερείπια Ρωμανικών θόλων στις οποίες φαίνεται η εσωτερική δομή και η διαβάθμιση του πάχους του ιστού, τα οποία εξηγεί με σκίτσα. Παράλληλα αναδεικνύει την σταδιακή εξέλιξη της λιθοδομής και θολιτοδομής στη Ρωμανική αρχιτεκτονική με αποτέλεσμα την Γοτθική αρχιτεκτονική.

³⁵ Τον ρόλο της προσθήκης βάρους στους Γοτθικούς για την στατική ενίσχυση νευρώσεων, ιστών και ιπτάμενων αντηρίδων αναλύει ο S. Huerta στο κείμενό του *Mechanics of masonry vaults: The equilibrium approach*, από τα πρακτικά του συνεδρίου *Historical Constructions. Possibilities of numerical and experimental techniques*.

χρονολόγησης προέκυψε πως τοποθετήθηκαν κατά την ανέγερση του ναού. Η διαδικασία εφαρμογής τους, γίνεται με σκάψιμο οπής στην πέτρα, τοποθέτηση του σιδερένιου εξαρτήματος και έπειτα το σφράγισμα και η στερέωσή του με χυτό μόλυβδο (L'Héritier, et al., 2010). Από τις πιο εξελιγμένες εκδοχές αυτής της μεθόδου εντοπίζονται στον καθεδρικό του Strasbourg και περιγράφονται σε ντοκιμαντέρ που αναλύει την κατασκευή του ναού.



εικόνα 84 στιγμιότυπα από το ντοκιμαντέρ για τον καθεδρικό του Στρασβούργου, από τα αριστερά στα δεξιά διαδοχικά στάδια μεθόδου ενίσχυσης των στύλων (What Makes Strasbourg Cathedral An Architectural Masterpiece? [4K] / Extreme Constructions / Spark, 2019)

Αλλού η τοποθέτηση των συνδέσμων γίνεται στην επιφάνεια των λίθων. Στην περίπτωση του Strasbourg γίνεται εσωτερικά και ο Σίδηρος πέρα από σύνδεσμος χρησιμοποιείται, σαν οπλισμός του πέτρινου σκελετού. Επιπλέον προστίθενται μεταλλικές βάσεις για τη δημιουργία διάκενου, ώστε ο μόλυβδος να κατανεμηθεί πλήρως και ισόποσα. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η σταθερότητα του οπλισμού σκάβονται αυλάκια που καθοδηγούν τον χυτό μόλυβδο στην οπή. Με αυτές τις μεθόδους δεν απαιτείται η λείανση και το αλφάδιασμα της επιφάνειας, ούτε το σκάλισμα της οπής με ακρίβεια αφού η συμπλήρωση γίνεται από το μέταλλο. Η εφαρμογή μόλυβδου σαν οπλισμός και σύνδεσμος έχει ξαναχρησιμοποιηθεί στο παρελθόν σε αρχαιοελληνικές κιονοστοιχίες και αλλού. (Ένας αρχαίος ναός, n.d.)



εικόνα 85 στιγμιότυπα από το ντοκιμαντέρ για τον καθεδρικό του Στρασβούργου, από τα αριστερά στα δεξιά μέθοδος τοποθέτησης ενίσχυσης σε δυσκολές τριγωνικό τμήμα (What Makes Strasbourg Cathedral An Architectural Masterpiece? [4K] / Extreme Constructions / Spark, 2019)

Μία από τις πιο απαιτητικές τοποθετήσεις είναι αυτή της κορυφής του παραθύρου. Προκειμένου να οπλιστούν και οι δύο πλευρές της κορυφής πρέπει πρώτα να τοποθετηθεί η κορυφή και μετά η ράβδος να ενισχύσει το κάθε μέλος. Η ράβδος εδώ έπρεπε να εγκιβωτίζεται στην πέτρα σε αντίθεση με ευρήματα από άλλους

καθεδρικούς όπου γαντζωνόταν στην επιφάνεια των μελών. Έτσι σκαλίστηκε οπή διπλάσιου ύψους από αυτό της ράβδου ώστε να μην εξέχει κατά την τοποθέτηση. Το επόμενο ζήτημα ήταν να πάρει η ράβδος την τελική της θέση όντας αποκλεισμένη στην πέτρα. Σε κάθε οπή πριν την τοποθέτηση της ράβδου τοποθετείται σχοινί. Αυτό περικλείει την ράβδο και όταν τεντώνεται, μετά την τοποθέτηση, ωθεί την ράβδο στην τελική της θέση. Παράλληλα εξυπηρετεί στο να σφηνωθεί η ράβδος στην αρχική της θέση.³⁶

Ο καθεδρικός του Strasbourg αποτελεί ένα εξελιγμένο παράδειγμα κατασκευαστικών λεπτομερειών που δεν μπορεί να γενικευτεί. Ωστόσο μπορεί να γενικευτεί η χρήση του σιδήρου για την ενίσχυση του σκελετού με διάφορες μεθόδους. Επίσης μπορεί να γενικευτεί η μέθοδος με την οποία καθορίζονταν οι διαστάσεις των ανοιγμάτων, το ύψος του τόξου και η διάταξή τους. Στοιχεία για αυτήν την διαδικασία παραθέτει ο Nicola Coldstream.

Μία πρακτική διαδεδομένη στους μάστορες και στον στεριανό και στον θαλάσσιο κλάδο κατασκευών ήταν η χάραξη του σχήματος που θέλαν, σε κλίμακα ένα προς ένα, στο έδαφος, με σύμβολα που υποδείκνυαν το πως θα μεταχειρίζονταν τα μέλη της κατασκευής και πώς συνδέονταν μεταξύ τους³⁷. Απόρροια αυτής της πρακτικής είναι το ότι την κάτοψη μαζί με τις τομές-όψεις του κτιρίου σε πολλές στεριανές κατασκευές, τα σχεδίαζε ξυλουργός στο έδαφος, όπου χρειαζόταν η καθεμία. Η αρχική σύλληψη μπορεί να μην ήταν του ίδιου αλλά αυτός καταλάβαινε πως πρέπει να μεταφερθεί το σχέδιο για να γίνει κατανοητό στους τεχνίτες που θα το μετέτρεπαν σε κτίριο. (Coldstream, 2002, pp. 95-100)

³⁶ (What Makes Strasbourg Cathedral An Architectural Masterpiece? [4K] | Extreme Constructions | Spark, 2019)

³⁷ (Reed, 2020, p. 34), (Timeline, 2018)



εικόνα 86 σχέδιο της Δυτικής όψης για την κατασκευή του καθεδρικού του Στρασβούργου

Στους πρώιμους καθεδρικούς δεν έχει βρεθεί σχέδιο. Από τα πρώτα σχέδια είναι η Δυτική πρόσοψη του καθεδρικού του Στρασβούργου. Λόγω συμμετρίας στο κατακόρυφο άξονα, η μισή όψη ήταν αρκετή για να υποδείξει την απαραίτητη πληροφορία. Αυτήν μελετούσε ο *parlier* για να δώσει οδηγίες στους τεχνίτες.

Τα βασικά στοιχεία που θα τον ενδιέφεραν σε πρώτο στάδιο ήταν το πλήθος των ανοιγμάτων κάθε επιπέδου και το πλήθος των επιπέδων. Αν επρόκειτο για προσθήκη ή συνδυασμό νεότερης κατασκευής με παλαιότερη, όπως ήταν και το σύννηθες στους

καθεδρικούς, τότε θα προσάρμοζε τα μεγέθη με τις δοσμένες αναλογίες στην υπάρχουσα κατασκευή ώστε το τελικό αποτέλεσμα να ανταποκριθεί στο σχέδιο.

Κατά κάποιο τρόπο οι ξυλουργοί με τις σκαλωσιές, τους ξυλότυπους και τις επί εδάφους χαράξεις λειτουργούσαν σαν διερμηνείς του σχεδίου και καθοδηγητές ώστε οι πετράδες να του δώσουν την τρισδιάστατη συμπαγή μορφή.

Μεθοδευμένη διαδικασία χαράξεων εντοπίζεται στον Wells Cathedral καθώς θεωρείται πως για τις νέες χαράξεις ανανέωναν τον πηλό του δαπέδου για επανάχρηση σε όροφο του Δυτικού τμήματος. (Webb, et al., 2020)

Πιθανώς όλος ο όροφος να χρησιμοποιούνταν σαν εργοτάξιο παρασκευής θολιτών και ξυλότυπων. Το δυτικό τμήμα σε εκ του μηδενός ανεγέρσεις όπως και ο προϋπάρχων ναός σε γοθτικούς που αποτελούν προσθήκη, είχαν τον ρόλο στήριξης της νέας κατασκευής. Η στατική τους αυτονομία τα καθιστούσε ιδανικά για να αποτελέσουν ένα υπερυψωμένο επίπεδο εργοταξίου. Θα ήταν χρήσιμη μία μελέτη καταγραφής ευρημάτων χαράξεων σε Δυτικά τμήματα ή τμήματα καθεδρικών που προϋπήρχαν του Γοθικού τύπου.

Συμπεράσματα

Στη πέτρα και στο ξύλο ενώ είναι υλικά με διαφορετικές ιδιότητες χρησιμοποιήθηκαν παρόμοια εργαλεία κατά την επεξεργασία τους. Φαίνεται πως οι τεχνίτες εφηύραν παρόμοιες λύσεις για παρόμοια προβλήματα. Στην επεξεργασία της πέτρας χρησιμοποιούνται επιπλέον οδοντωτά εργαλεία είτε με απόληξη λεπίδας είτε ως μασιές. Η διαφορά στην τεχνική είναι ο τρόπος που προκαλείται η αφαίρεση υλικού στα διάφορα στάδια. Η επεξεργασία της πέτρας απαιτεί καθ' όλα τα στάδια κρούσεις.

Η δόμηση και συναρμογή των μελών διαφέρει αρκετά. Από τη πέτρα δημιουργούνται μέλη τα οποία μπορούν να παραταχτούν για δημιουργία συμπαγούς μάζας σε αντίθεση με τα ξύλινα μέλη που παράγουν δικτύωμα. Σε μάζα από πέτρινα μέλη η διατήρηση της θέσης του κάθε μέλους εξαρτάται από την τάση και την τριβή που δημιουργείται. Στο ξύλινο δίκτυωμα η διατήρηση της θέσης των μελών εξασφαλίζεται μέσω κόμβων, θηλειών και πείρων.

Το ξύλινο τόξο μπορεί να κατασκευαστεί και από ένα ενιαίο τμήμα ξύλου. Ο τεχνίτης θα δώσει έμφαση στη φυσική του καμπύλωση ώστε οι ίνες κατά μήκος του ξύλου να ακολουθούν το σχήμα του τόξου. Αυτή είναι η βασική προϋπόθεση ώστε να είναι

ανθεκτικό. Διατηρεί το σχήμα του τόξου όντας αυτόνομο παρόλο που θα αποκτήσει επιπλέον αντοχή αν αποτελέσει μέλος δικτυώματος.

Η λιθοδομή δεν παραπέμπει σε κατασκευή τόξου. Οι θολίτες θα ήταν αδύνατο να διατηρήσουν το σχήμα οποιουδήποτε τόξου αν δεν τοποθετούνταν ταυτόχρονα και στο σύνολό τους στη ανάλογη θέση. Επιπλέον θα χρειάζεται πάντα η ύπαρξη μίας συμπαγούς μάζας στις βάσεις του τόξου των θολιτών ώστε να παραμείνουν σε αυτή την θέση. Σε αυτό το πρόβλημα την λύση έδωσε ο ξυλότυπος. Αυτός δημιουργούσε την προσωρινή επιφάνεια παράθεσης των θολιτών μέχρι να ολοκληρωθεί η τοποθέτησή τους ώστε να διατηρούν τη θέση τους πλέον χωρίς υποστήριξη.

Ο ξυλότυπος θα ήταν πιο ανθεκτικός με καμπύλους αμείβοντες.

Εφόσον οι γοτθικοί αποτελούν πείραμα δοκιμής και λάθους ακόμα και αν η καμπύλη δεν ήταν η αρχική προσέγγιση, πρέπει να εφαρμόστηκε στην πορεία. Η υπόθεση αυτή ενισχύεται από τα ξύλινα ζευκτά οξυκόρυφου τόξου που έχουν κατασκευαστεί. Βασικό δείγμα αυτών αποτελεί το Westminster Hall.

Εντοπίζεται εξέλιξη των τεχνικών παραγωγής καμπύλης από τις Σταβκίρκε στα καμπύλα ζευκτά με κόμβους hummer-beam. Συγκεκριμένα στα ξύλινα ζευκτά έχει γίνει πλέον αντιληπτό από τους ξυλουργούς το πλεονέκτημα της καμπύλωσης της δοκού. Ο τρόπος ανάπτυξης του τόξου με μέλη καμπύλων δοκών μπορεί να βελτιωθεί αφού στο παράδειγμα του Bijloke Hospital η επέκταση του τόξου γίνεται με την χρήση τριών δοκών. Η κεντρική ενώνεται με πείρους με τις προηγούμενες και επόμενες εξωτερικές της. Το αποτέλεσμα της βελτίωσης αναδεικνύεται στο Westminster Hall. Η ανάπτυξη του τόξου γίνεται με ενιαία μέλη που συναρμολογούνται με κόμβο. Τέτοιες κατασκευές καθίστανται εφικτές όταν συνδυαστεί η εμπειρία ναυπηγού για τα καμπύλα τμήματα και ξυλουργού για τους κόμβους. Η βασική διαφορά ενός ξυλουργού και ενός ναυπηγού είναι η ειδική εμπειρία του ναυπηγού σε σχέση με την δημιουργία καμπύλων και στο είδος κόμβων που χρησιμοποιεί. Για παράδειγμα στην συναρμολόγηση του νομέα ο ναυπηγός γνωρίζει το σημείο της καμπύλης στο οποίο πρέπει να δημιουργήσει σύνδεση μεταξύ των καμπυλωμένων ξύλων για να αποφευχθεί η αστοχία. Στο πέτρινο τόξο η αντίστοιχη περιοχή στην καμπύλη θα δεχόταν εξωθητικές δυνάμεις. Σε ξύλινη μακέτα του τόξου ένας ναυπηγός θα μπορούσε να ορίσει το σημείο σύνδεσης. Αυτό θα υποδείκνυε προσεγγιστικά και την αλλαγή στο σχήμα των θολιτών στη συγκεκριμένη περιοχή του τόξου.

Η υποστήριξη της κατασκευής των πέτρινων οξυκόρυφων τόξων από τους ξυλουργούς έγινε καταλύτης για την εξέλιξη της ξυλουργικής. Οι ξυλουργοί

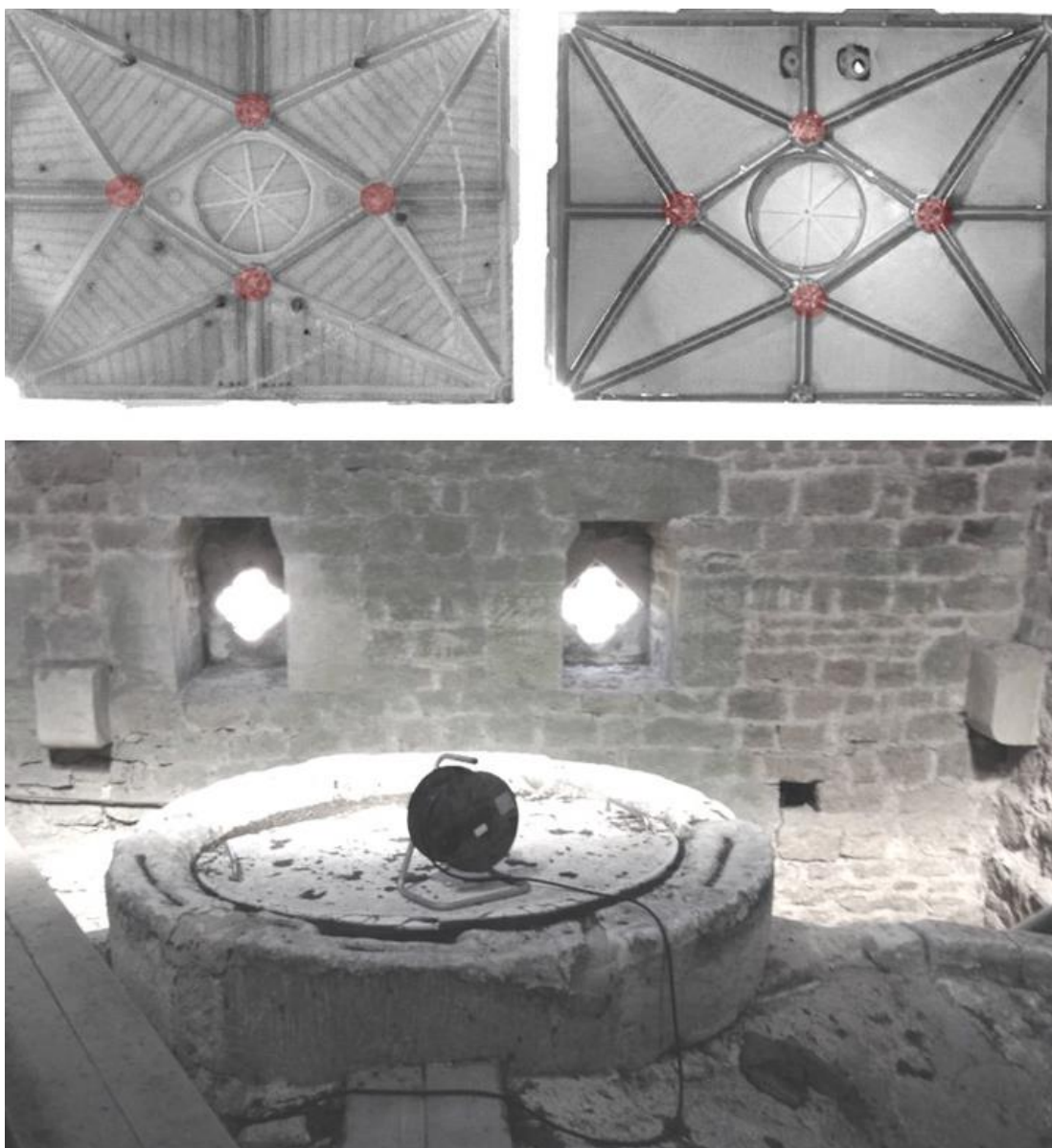
υιοθέτησαν πρακτικές των ναυπηγών. Παράλληλα η ανάπτυξη της στερεοτομίας και κατά συνέπεια της εφαρμοσμένης γεωμετρίας φαίνεται να αποτέλεσαν καταλύτη στην εξέλιξη της ναυπήγησης με απόδειξη την Ισπανική καραβέλα και τα σκαριά που ακολούθησαν³⁸.

Ο εμπλουτισμός της ξυλουργικής συντέλεσε στην εφαρμογή πιο ελεγχόμενων και ασφαλών διαδικασιών κατασκευής πέτρινων θόλων. Με αυτές εμφανίστηκαν τα κρεμαστά κλειδιά και πιο περίπλοκα μοτίβα νευρώσεων μέχρι που δημιουργείται ένας διαφορετικός τύπος αναγεννησιακής αρχιτεκτονικής.

Υπάρχουν και άλλα συγκρίσιμα στοιχεία που αξίζει να αναφερθούν κυρίως για τα ερωτήματα που εγείρουν. Δεν αφορούν τόσο την σχέση των υλικών αλλά την αντίληψη του τεχνίτη για τις μεθόδους δημιουργίας συγκεκριμένων μορφών.

Η τεχνική πετσώματος στα σκαριά της Βόρειας Ευρώπης χρησιμοποιεί την μετατόπιση υλικού για την δημιουργία καμπύλου κελύφους. Όμοια τεχνική είναι το εκφορικό σύστημα που χρησιμοποιούνταν από την αρχαιότητα σε πέτρινους θόλους και όπως δείχνει το πείραμα του David Wendland στους ιστούς σταυροθολίων.

³⁸Στην αναφορά του εργαστηρίου του Max Planck Institute for the History of Science (Nowacki & Valleriani, 2003), παρουσιάζονται τεχνικές καθορισμού του σκελετού των πλοίων από την αναγέννηση και έπειτα. Κάποιες από τις τεχνικές προέρχονται από τον μεσαίωνα. Παράλληλα φαίνονται οι γεωμετρικές χαράξεις που καθόριζαν το σχήμα των νομέων και των εδρών. Τα σχέδια αυτά συμπληρώνουν το έλλειμα των σκαριών του 14^{ου} και 15^{ου} αι. μ.Χ.. Τα σκαριά που έχουν ανασκαφεί είναι υπερβολικά αλλοιωμένα για την εξαγωγή συμπερασμάτων για το σχήμα τους πόσο μάλλον για τις κατασκευαστικές τους λεπτομέρειες.



εικόνα 87, πάνω αριστερά: απεικόνιση τρισδιάστατου σκάνερ, πάνω δεξιά φωτογραφία του θόλου, κάτω: φωτογραφία διασταύρωσης νευρώσεων από την πάνω πλευρά του θόλου. θόλος πύργου της κεντρικής πτέρυγας, Ottery St. Mary, ανατολικό Devonshire, 1337-1350 (Arts and Humanities Research Council & University of Liverpool, 2021)

Η ίδια τεχνική είναι πολύ πιθανό να χρησιμοποιούνταν και στις νευρώσεις. Τότε οι θολίτες των νευρώσεων θα λαξεύονταν για την αποκάλυψή του τόξου μετά την τοποθέτησή τους. Ίσως αυτή η τεχνική είναι και ο λόγος που τοποθετείτο βάρος στο κλειδί ακόμα και όταν οι ερευνητές το κρίνουν περιττό. Ο ρόλος του βάρους μπορεί να ήταν η σταθεροποίηση των νευρώσεων, όχι στην κατάσταση ηρεμίας και της μειωμένης μάζας τους, από προεπεξεργασία, αλλά, σε συνθήκη όπου οι θολίτες είναι κύβοι και επιδέχονται μικροκρούσεις από την διαδικασία αφαίρεσης υλικού.

Επιπλέον στην πιθανή διαδοχική τοποθέτηση κυβικών μελών πάνω στο τόξο του ξυλότυπου η βαρύτητα σε συνδυασμό με το σημείο επαφής του κύβου πάνω στο τόξο δημιουργούν διαφορετική σταθερότητα στο κάθε κομμάτι την οποία θα μπορούσε να αντιληφθεί ο κτίστης και να αλλάξει τη γεωμετρία της βάσης του θολίτη όπου ήταν απαραίτητο. Αυτή η μέθοδος θα αποτελούσε πρακτικό έλεγχο της ανάλυσης δυνάμεων που θα κάναμε στην εποχή μας.

Στις νευρώσεις το πέλμα και το κλειδί καθορίζονταν από το μοτίβο των νευρώσεων και τις αναλογίες ύψους ανοίγματος. Οι θολίτες ακολουθούσαν τις θέσεις διαφορετικής διεύθυνσης που δημιουργούνταν για αυτούς στο κάθε πέλμα. Αντίστοιχα, το πλωριό και πρυμναίο ποδόσταμο των πλοίων των Βίκινγκ και το σανίδωμα που ξεκινούσε από αυτό καθοριζόταν από τις αναλογίες του σκάφους και καθόριζε το σανίδωμα του υπόλοιπου πλοίου. Οι μορφές του πετσώματος και των νευρώσεων αν και διαφορετικές αναβλύζουν από μέλος που χρησιμοποιείται σαν οδηγός της διεύθυνσής τους και του μεγέθους τους.

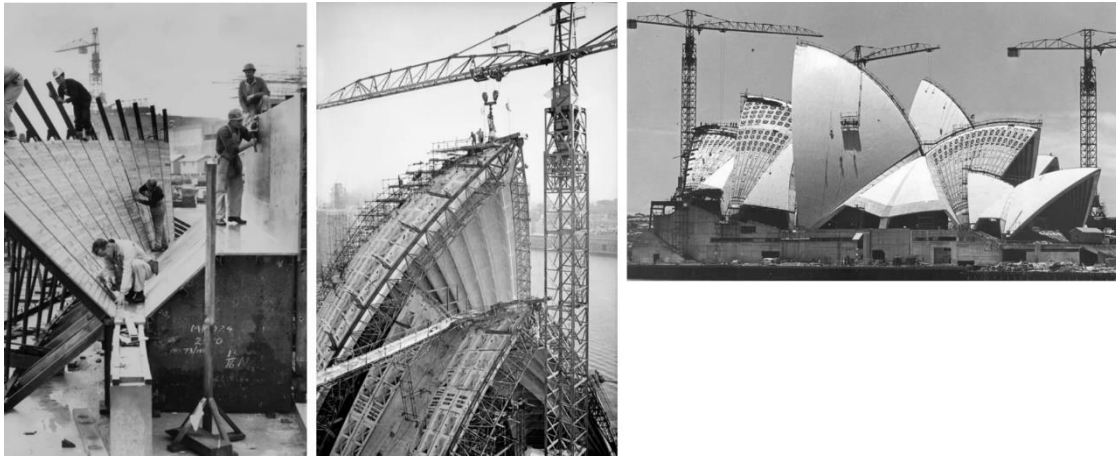
Κατά τον καθορισμό της διατομής του πέλματος παρατηρείται η υποχώρηση του περιγράμματος της κάτω επιφάνειας, σε σχέση με την πάνω. Το πατρόν που αντιστοιχεί στην βάση των θολιτών είναι το ίδιο. Αυτό που αλλάζει είναι η απόστασή του από τον κατακόρυφο άξονα του πέλματος. Στο μονόχναρο χρησιμοποιείται η αύξηση και η μείωση των αποστάσεων των μελών του μεταξύ τους για τον καθορισμό του σκελετού. Δεν εντοπίζονται στοιχεία για τα κριτήρια που καθόριζαν την καμπύλη του τόξου.

Επίλογος

Οι αρχιτέκτονες του 20^{ου} και 21^{ου} αι. έχουν πειραματιστεί με διαφορετικούς τρόπους για την διαμόρφωση των σύγχρονων υλικών, είτε αξιοποιώντας λογισμικό προγραμματισμένο για άλλες κατασκευές, είτε αποδομώντας γνωστές μορφές σε μια πρόθεση διερεύνησης των ορίων αυτών των υλικών και των μεθόδων χειραγώγησής τους. Στα μέσα που αξιοποιούν πάντα συμπεριλαμβάνεται ο ξυλότυπος, είτε κατασκευάζεται από ξύλο, είτε από μέταλλο.

Ο ξυλότυπος αποτελεί ένα δικτύωμα στήριξης. Ο διαχωρισμός μεταξύ σκαλωσιάς και ξυλότυπου μπορεί να εξαλείφεται ανάλογα με το είδος του κελύφους προς ανέγερση. Όταν το κέλυφος που στηρίζει έχει την δυνατότητα να αποτελέσει φέροντα οργανισμό μετά την ολοκλήρωσή του τότε ο ξυλότυπος αφαιρείται από την

κατασκευή. Αντίθετα παραμένει. Τότε ο αρχιτέκτονας μπορεί να επιλέξει την προβολή του ή την απόκρυψή του.



εικόνα 88 η Όπερα του Σύδνεϋ, αριστερά: η κατασκευή ξυλότυπου για την χύτευση του σκυροδέματος της βάσης του κελύφους, κέντρο: κοντινό πλάνο από την τοποθέτηση των πλακιδίων του κελύφους με χρήση γερανού, δεξιά: μακρινό πλάνο ολοκλήρης της κατασκευής. (Pitt, 2018)

Για την ανέγερσή της όπερας του Σύδνεϋ χρησιμοποιήθηκε ξυλότυπος στην διαμόρφωση των βάσεων από σκυρόδεμα και δικτύωμα για την δόμηση του κελύφους. Επιπλέον η κατασκευή του κελύφους αποτέλεσε μία διερευνητική διαδικασία με πιθανές αστοχίες. Οι αστοχίες στους γοθτικούς έγιναν κατά την κατασκευή. Στην όπερα του Σύδνεϋ αξιοποιήθηκε λογισμικό για την προσομοίωση της στατικής συμπεριφοράς του φέροντα οργανισμού για κάθε προστιθέμενο πλακίδιο του κελύφους. (Leeuwen, 2017)



εικόνα 89 Frank Gehry's Guggenheim Museum Bilbao

Ένα ακόμα παράδειγμα υποστήριξης κελύφους αποτελούν τα έργα του Frank Gehry. Αξιοποίησε και τροποποίησε λογισμικό αεροναυπηγικής για τον σχεδιασμό των κτιρίων του. Τα σχεδιαστικά και υπολογιστικά προγράμματα που χρησιμοποιούμε έχουν της βάσεις τους σε τέτοια λογισμικά. Ενώ αξιοποίησε λογισμικό αεροναυπηγικής για τον καθορισμό του σχήματος των μεταλλικών πλακών η εφαρμογή τους έγινε από αναρριχητές που διδάχτηκαν την χρήση των απαραίτητων εργαλείων. Ο ξύλινος σκελετός στην εποχή μας έχει αντικατασταθεί κατά πολύ με χάλυβα. Όπως άλλαξε το υλικό άλλαξαν και οι συνδεσμολογίες αλλά η εξωτερική μορφή συνεχίζει να βασίζεται

σε έναν εσωτερικό σκελετό. Επιπλέον οι πρακτικές στερεοτομίες εφαρμόζονται από σύγχρονα λογισμικά. Με αυτά προσχεδιάζετε η γεωμετρία των μελών της κατασκευής, η γεωμετρία του συνόλου της κατασκευής αλλά και του σκελετού της. Αφού αντίστοιχα προγράμματα προσομοιώνουν όχι μόνο την στατική ανταπόκριση της κατασκευής αλλά και την διαδικασία ανέγερσης συμπεριλαμβανομένων των απαιτούμενων υλικών και του τρόπου αξιοποίησής τους στο εργοτάξιο. Έτσι είτε η σκαλωσιά πρόκειται να αφαιρεθεί είτε να παραμείνει σαν χαρακτηριστικό του κτιρίου υπάρχει πλέον η δυνατότητα του προσχεδιασμού της.



εικόνα 90 Sigeru Ban country Clubhouse, Haesley 9 bridges, Korea, 2010

Με το εικονιζόμενο ξύλινο δικτύωμα θα μπορούσε να αποτελεί μέρος ξυλότυπου για την διαμόρφωση ενισχυμένου σκυροδέματος που θα στήριζε την στέγη. Ωστόσο οι Shigeru Ban Architects το επιλέγουν για φέροντα οργανισμό. Δημιουργούν έναν σκελετό που ενώ στηρίζει την στέγη υπονοεί παράλληλα και ο ίδιος ένα κέλυφος με την πυκνότητα και το σχήμα της πλέξης του. Ανάγεται σε βασικό γνώρισμα του κτιρίου, σε αντιστοιχία με τα γοτθικά ξύλινα ζευκτά.



εικόνα 91 Miralles' s Scottish Parliament

Το δικτύωμα στο κοινοβούλιο του Εδιμβούργου καλύπτεται και αποκαλύπτεται από το κέλυφος σύμφωνα με την γεωμετρία που αξιοποιεί ο Miralles με διαφορετικούς τρόπους για τον σχεδιασμό του. Με μια παραδοσιακή και φρέσκια αντιμετώπιση του αρχιτεκτονικού σχεδιασμού επαναλαμβάνει το σχήμα της άποψης ενός πλοίου. Αλλάζοντας το μέγεθος και την διάταξη δημιουργεί μία κάτοψη διαφορετικών χωρικών ποιοτήτων. Παραθέτονται συγκεντρωτικά για την δημιουργία μεγαλύτερου

χώρου ή διαδοχικά για την περικύκλωση χώρου. Με το να ταυτίσει το εσωτερικό του σχήματος με κενό-άνοιγμα καθορίζει τα κατακόρυφα στοιχεία και συνεπώς τους χώρους στάσης και κίνησης της κάτοψης. Το ξύλινο χωρικό δικτύωμα που επιλέχθηκε τονίζει την τρισδιάστατη επέκταση του κελύφους. Στους γοτθικούς το επαναλαμβανόμενο σχήμα του οποίου το μέγεθος διαφοροποιούνταν ήταν το οξυκόρυφο τόξο. Κατ' επέκταση και ο ξυλότυπος που το υποστήριζε.

Βιβλιογραφία

- Joanne, M. A. M., 2011. *Prehistoric Crete Regional and Diachronic Studies on Mortuary Systems*. Philadelphia: Philadelphia INSTAP Academic Press.
- Alexander, J. S., 2006. Lincoln Cathedral cloister. *Journal of the British Archaeological Association*, 159(1), pp. 222-248.
- Angelini, M. G., Baiocchi, V., Costantino, D. & Garzia, F., 2017. Scan to BIM for 3D reconstruction of the Papal Basilica of Saint Francis in Assisi in Italy. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII(5), pp. 47-54.
- Archeyes Team, 2023. *Borgund Stave Church: A testament to Norway's cultural heritage*. [Online]
Available at: <https://archeyes.com/borgund-stave-church/>
[Accessed 17 April 2023].
- Arcidiacono, V., Piermarini, E., Cimellaro, G. & Oschendorf, J., 2015. *The dynamic behaviour of the roof interventions in the Basilica San Francesco in Assisi*. s.l., Published by International Association for Bridge and Structural Engineering.
- Armi, C. E., 2004. *Design and construction in Romanesque architecture*. 1 ed. New York: Cambridge University Press.
- Arnheim, R. & Ποταμιανός, Ι., 2005. *ΤΕΧΝΗ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΗ ΑΝΤΙΛΗΨΗ Η ΨΥΧΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΚΗΣ ΠΡΑΞΗΣ*. 1 ed. Αθήνα: Θεμέλιο.
- Arts and Humanities Research Council & University of Liverpool, 2020. *Wells Tracing Floor (eCAADe 2020) – Tracing the Past: Medieval Vaults*. [Online]
Available at: <https://www.tracingthepast.org.uk/2020/10/28/wells-tracing-floor-eaade-2020/>
[Accessed 17 5 2023].

- Arts and Humanities Research Council & University of Liverpool, 2021. *Lincoln – Tracing the Past: Medieval Vaults*. [Online]
Available at: https://www.tracingthepast.org.uk/2021/04/09/lincoln_site_by_site/
[Accessed 15 4 2022].

- Arts and Humanities Research Council & University of Liverpool, 2021. *Stonecutting – Tracing the Past: Medieval Vaults*. [Online]
Available at:
https://www.tracingthepast.org.uk/2021/04/11/constructing_stonecutting/
[Accessed 7 December 2021].

- Arts and Humanities Research Council & University of Liverpool, 2021. *Stonelaying – Tracing the Past: Medieval Vaults*. [Online]
Available at:
https://www.tracingthepast.org.uk/2021/04/11/constructing_stonelaying/
[Accessed 6 February 2022].

- Beech, R., 2014. *The Hammer-Beam Roof: Tradition, Innovation and the Carpenter's Art in Late Medieval England*. Birmingham: University of Birmingham.

- Burri, S., Durand, A., Py, V. & Vaschalde, C., 2012. *Les outils pour acquérir et transformer la matière ligneuse dans les chaînes opératoires techniques des artisanats forestiers en Provence et Haut-Dauphiné au Moyen Âge*. Antibes, APDCA, pp. 397-414.

- Calkins, R. G., 1998. *MEDIEVAL ARCHITECTURE IN WESTERN EUROPE FROM A.D. 300 TO 1500*. New York: OXFORD UNIVERSITY PRESS.

- Chen, S. & Bagi, K., 2020. Crosswise tensile resistance of masonry patterns due to contact friction. *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 26 8, 476(2240).

- Coldstream, N., 2002. *Medieval architecture*. Oxford: Oxford.

- Coomans, T., n.d. *The Medieval Architecture of Cistercian Nunneries in the Low Countries**, s.l.: s.n.

- Costa, H. et al., 2022. *Navigation*. [Online]
Available at: <https://education.nationalgeographic.org/resource/navigation/>
[Accessed 12 5 2023].

- Dael, M. R. & Sørensen, T., 2021. The Skuldelev 3 reconstruction, Roar Ege: From Reconstruction to retirement. *Archaeonautica*, Issue 21, pp. 295-301.

- De Decker, K., 2010. *The sky is the limit: human powered cranes and lifting devices*. [Online]
Available at: <https://www.lowtechmagazine.com/2010/03/history-of-human-powered-cranes.html>
[Accessed 16 3 2022].

- DeBijloke, 2021. *A brief history*. [Online]
Available at: <https://bijlokeheritagevenue.be/heritage/a-brief-history/>
[Accessed 23 8 2022].

- Dennis, G. T., 1998. Byzantine heavy artillery: The Helepolis. *Greek, Roman, and Byzantine Studies*, Volume 39, pp. 99-115.

- DENYS, 2023. *Muziekcentrum De Bijloke / Denys*. [Online]
Available at: <https://www.denys.com/en/projecten/muziekcentrum-de-bijloke>
[Accessed 25 6 2023].

- Duncan, J., 2018. Carpenters' assembly marks in timber-framed buildings. *Vernacular Architecture*, 49(1), pp. 1-31.

- Eaby, M. . S., 2007. *core*. [Online]
Available at: <https://core.ac.uk/download/pdf/210596395.pdf>
[Accessed 14 5 2023].

- *Eight Byzantine Shipwrecks from the Lost Harbor of Theodosius*. 2021. [Film]
Directed by Yun Mi Kum. s.l.: Eye Candy Inc..

- Ekroll, Ø., 2015. *The Building History of Nidaros Cathedral 1030-1537*, s.l.: Dombaumeister Trondheim 2014.

- Ellmers, D., 2005. The Hanseatic Cog of Bremen AD1380. *Drassana*, Issue 13, pp. 58-72.
- Frankl, P. & Crossley, P., 2000. *Gothic architecture*. revised ed. New Haven: Yale University Press Pelican history of art.
- Gardiner, R. & Morrison, J. S., 1995. *The age of the galley: Mediterranean oared vessels since pre-classical times*. 1 ed. London: Chrysalis Books.
- Gullbrandsson, R., 2013. Medieval Roof Trusses in Churches of Northern Småland. *Lund archaeological review*, Volume 19, pp. 77-94.
- Gymbel, J., 2006. *ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑ ΕΩΣ ΣΗΜΕΡΑ*. Köln: Könnemann-ΕΛΕΥΘΕΡΟΥΔΑΚΗΣ.
- Hallgren, M. & Almek, G., 2017. *The Craftsmanship in Construction and Transformation of Historic Tower Campaniles*. Cambridge, University of Cambridge.
- Hammack, B., 2023. *Building a Cathedral without Science or Mathematics: The Engineering Method Explained*. [Online]
Available at: https://www.youtube.com/watch?v=_ivqWN4L3zU&t=635s
[Accessed 15 6 2023].
- Hassler, U. & Huerta, S., 2012. *Construction techniques in the age of historicism: From theories on Gothic structures to building sites in the 19th century*. Bilingual ed. München: Hirmer.
- Huerta, S., 2012. Technical Challenges in the Construction of Gothic Vaults: The Gothic Theory of Structural Design. In: U. Hassler, C. Rauhut & S. Huerta, eds. *CONSTRUCTION TECHNIQUES IN THE AGE OF HISTORICISM FROM THEORIES ON GOTHIC STRUCTURES TO BUILDING SITES IN THE 19th CENTURY*. München: Hirmer Verlag, pp. 163-195.
- Huerta, S. F., 2001. Mechanics of masonry vaults: The equilibrium approach. In: P. Lourenço & P. Roca, eds. *Historical Constructions. Possibilities of numerical and experimental techniques*. Guimarães: Universidade do Minho, pp. 47-69.

- Hutchinson, G., 1994. *Medieval Ships and Shipping*. 1 ed. Rutherford u.a.: FAIRLEIGH DICKINSON UNIVERSITY PRESS.

- INA, 2022. *Kyrenia shipwreck excavation*. [Online]
Available at: <https://nauticalarch.org/projects/kyrenia-shipwreck-excavation/>
[Accessed 11 11 2022].

- Jensenius, J. H., 2018. *Stavkirke.info*. [Online]
Available at: <https://www.stavkirke.info/english.html>
[Accessed 20 6 2022].

- Josipa, K., 2018. *Developement of masonry, masonry methods and tools*. Split: UNIVERSITY OF SPLIT, ART ACADEMY DEPARTMENT OF FINE ARTS, DEPARTMENT OF CONSERVATION-RESTORATION.

- Kahanov, Y. & Mor, H., 2014. The Dor 2001/1 Byzantine Shipwreck, Israel: final report. *The International Journal of Nautical Archaeology*, 1(43), pp. 41-65.

- Kidder, F. E., 1909. *Building Construction and Superintendence*. 9 revised ed. New York: W.T. Comstock.

- Kocabaş, U. & Kocabaş, I. Ö., 2022. Hull characteristics of the yenikapı 16 galley. *Archaeonautica Open Sea / Closed Sea. Local and Inter-Regional Traditions in Shipbuilding*, Issue 21, pp. 79-82.

- Kutnyi, A., 2021. *Innovative research shows how the Stave Churches may have been built*. [Online]
Available at: <https://fortidsminneforeningen.no/en/news/digitale-borgund/>
[Accessed 19 2 2023].

- L'Héritier, M., Dillmann, P. & Benoit, P., 2010. Iron in the building of gothic churches: its role, origins and production using evidence from Rouen and Troyes. *HM*, 1(44), pp. 21-35.

- Leeuwen, R., 2017. *sydney opera house design and construction of the roof sails*. [Online]
Available at:

<https://robbievanleeuwen.github.io/engineering%20journalism/sydney-opera-house/>

[Accessed 12 5 2023].

- Litwin, J., 1998. *Medieval Baltic Ships - Traditions and constructional aspects*. Caen, Société d'Archéologie Médiévale, pp. 88-97.
- Macphail, R. et al., 2013. Integrated microstratigraphic investigations of coastal archaeological. *ELSEVIER*, Issue 315, pp. 131-146.
- Matthies, A. L., 1992. Medieval treadwheels: Artists' views of Building Construction. *Technology and Culture*, 33(3), pp. 510-547.
- McCormick, F. M. & Kastholm, O., 2017. A Viking Ship Graffito from Kilclief, County Down, Ireland. *The International Journal of Nautical Archaeology*, 1(46), pp. 83-91.
- Moortel, A., 2011. Medieval boats and ships of Germany, the Low Countries, and northeast France – archaeological evidence for shipbuilding traditions, shipbuilding resources, trade, and communication. In: M. Leidorf, ed. *Settlement and Coastal Research in the Southern North Sea Region*. Rahden/Westf.: Niedersächsischen Institut für historische Küstenforschung (Wilhelmshaven), pp. 67-104.
- Morten, R., 2018. Early Medieval Nordic Boatbuilding Technology - Reflections on How to Investigate Negotiation Processes in Past Communities of Practice. *Lund Archaeological Review*, 24-25(2018-2019), pp. 97-110.
- Mubark, M. E., 2021. *De Bijloke Music Centre in Ghent, Belgium by DRDH architects*. [Online]
Available at: <https://www.architectural-review.com/awards/new-into-old/de-bijloke-music-centre-in-ghent-belgium-by-drdh-architects>
[Accessed 10 October 2022].
- Munby, J., 2015. *Westminster II The late-14th-century reconstruction of Westminster Hall*. [Online]
Available at:
https://www.academia.edu/45143825/The_Late_14th_Century_Reconstruction_of_W

estminster_Hall

[Accessed 3 December 2022].

- Museum of the Viking Age, 2020. *The excavation of the Gokstad ship*. [Online]
Available at: <https://www.vikingtidsmuseet.no/english/research/gjellestad-ship/gokstad-ship/>
[Accessed 17 5 2021].
- NationalGeographic, 2017. *The realm of the Vikings*. [Online]
Available at: https://www.nationalgeographic.com/specialprojects/interactive-assets/nggraphics/vikings-gfx/build-2017-02-24_14-15-56/
[Accessed 17 September 2022].
- Niggel, J., 2018. *Wood warping and how to prevent it*. [Online]
Available at: <https://www.intouch-quality.com/blog/wood-warping-and-how-to-prevent-it>
[Accessed 17 March 2023].
- Nowacki, H. & Valleriani, M., 2003. *Shipbuilding Practice and Ship Design Methods From the Renaissance to the 18th Century*, Berlin: Max Planck Institute for the History of Science.
- Ochsendorf, J., 2015. *PINC Experience*. [Online]
Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=75AP5VaBMCY&t=722s>
[Accessed 16 3 2021].
- Ossowski, W., 2010. *Changes in medieval river boat- and shipbuilding in Poland*. [Online]
Available at:
https://www.researchgate.net/publication/277954267_Ossowski_W_2010_Changes_in_medieval_river_boat-_and_shipbuilding_in_Poland_Skylis_R_10_H_2_pp_128-134
[Accessed 5 December 2021].
- Paasche, K., 2020. The tune Viking ship reconsidered. *International Journal of Nautical Archaeology*, 49(1), pp. 29-48.

- PADOVA, I. C. A. D. X. S. D., 2023. *Palazzo della ragione*. [Online]
Available at: <http://www.padovaurbspicta.org/palazzo-della-ragione-reggia-battistero-e-le-loro-piazze/palazzo-della-ragione/>
[Accessed 10 June 2023].

- Panwar, R., 2020. *Venice: Foundation Details of the Biggest Floating City in the World*. [Online]
Available at: <https://theconstructor.org/case-study/venice-foundation-details/224185/>
[Accessed 20 5 2022].

- Pitt, H., 2018. *The extraordinary stand-off that ended Jorn Utzon's reign in the building of the Sydney Opera House*, Sydney: The Sydney morning Herald.

- Pomey, P. & Boetto, G., 2019. Ancient mediterranean sewn-boat traditions. *International Journal of Nautical Archaeology*, 48(1), pp. 5-51.

- Pulak, C., Ingram, R. & Jones, M., 2015. Eight Byzantine Shipwrecks from the Theodosian Harbour, Excavations at Yenikapı in Istanbul, Turkey: an introduction. *International Journal of Nautical Archaeology*, 1(44), pp. 39-73.

- Reed, P., 2020. The knowledge of carpenters from the Early Medieval period to the eighteenth century in setting out roofs and buildings without geometry and numerical measurement. *Vernacular Architecture*, 51(1), pp. 30-49.

- Rieth, E., 2021. Master frame and flat floor-timber: An 'architectural signature' of the mediterranean shipyards?. *Heritage*, 4(4), pp. 2623-2642.

- Rossi, C. & Pagano, S., 2011. A Study on Possible Motors for Siege Towers. *Journal of Mechanical Design*, 133(7), pp. 071009_1-071009_8.

- Sakarovitch, J., 2003. *Stereotomy, a multifaceted technique*. Madrid, Instituto Juan de Herrera, Escuela Técnica Superior de Arquitectura, pp. 69-79.

- Sorensen, T. N., 2016. *The Gislinge boat open source project: An old boat and a new idea*. [Online]
Available at: <https://exarc.net/issue-2016-4/ea/gislinge-boat-open-source-project->

old-boat-and-new-idea

[Accessed 2 October 2022].

- *Splitting and cutting a log to plank-Kløyving av stakk til bord*. 2010. [Film] Directed by Edvart, Geir, Ole Johan. Oslo: Norsk Folkemuseum.
- Springmann, M. J., 2021. Ship timber from the Baltic with a special emphasis on wood from old Prussia and Poland. *Archaeonautica*, Issue 21, pp. 269-276.
- Stephenson, D., 2009. *Heavenly vaults: From Romanesque to Gothic in European architecture*. 1 ed. China: Princeton Architectural Press New York.
- Thelin, C. & Linscott, K., 2008. Structural definition and comparison of early medieval roof structures. In: D. D'Ayala & E. Fodde, eds. *Structural Analysis of Historic Construction*. London: Taylor and Francis, pp. 121-128.
- Timber Frame Engineering Council, 2020. Design Guide for Timber Roof Trusses. *TFEC*, Issue 4, pp. 31,32.
- Timeline, 2018. *Why Were Medieval Blacksmiths Considered Magical?Secrets Of The Castle*. [Online]
Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=s46qP1l39V8>
[Accessed 18 September 2021].
- Torre, R. M.-R., 2018. THE MEDIEVAL STONEMASON,His Tools and Technology as Revealed by Iconography. *STONEZINE*, Volume 14.
- U.S. General Services Administration, 2016. *Limestone: Characteristics, Uses And Problem*. [Online]
Available at: <https://www.gsa.gov/real-estate/historic-preservation/historic-preservation-policy-tools/preservation-tools-resources/technical-procedures/limestone-characteristics-uses-and-problem>
[Accessed 12 9 2021].
- University of Liverpool, n.d. *Tracing the Past Medieval Vaults*. [Online]
Available at: https://www.tracingthepast.org.uk/2021/04/09/designing_portal/
[Accessed 6 2 2022].

- Villiers, A., 1962. *MEN SHIPS and the SEA*. 1 ed. Washington DC: NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY.
- Voigts, C., 2021. Vaults, centring, and formwork of the Late Gothic period in Southern Germany. In: J. M. Mateus & A. P. Pires, eds. *History of Construction Cultures Volume 2*. Lisbon: CRC Press, pp. 78-83.
- Wade, N., 2019. *Tombs at ancient greek site were gold-lined chambers*. [Online] Available at: <https://www.nytimes.com/2019/12/17/science/tombs-archaeology-ancient-greece.html> [Accessed 15 March 2023].
- Watkin, D., 2007. *ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ*. B ed. ΑΘΗΝΑ: ΜΟΡΦΩΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΤΡΑΠΕΖΗΣ.
- Webb, N. et al., 2020. *Documentation and Analysis of a Medieval Tracing Floor*. online, University of Liverpool, pp. 209-218.
- Wendland, D., 2022. *Vaults built without formwork: Comparison of the description of a traditional technique in building manuals with the results of practical observations and experimental studies*. [Online] Available at: https://www.academia.edu/87490428/Vaults_built_without_formwork_Comparison_of_the_description_of_a_traditional_technique_in_building_manuals_with_the_results_of_practical_observations_and_experimental_studies [Accessed 3 January 2023].
- *What Makes Strasbourg Cathedral An Architectural Masterpiece? [4K] | Extreme Constructions / Spark*. 2019. [Film] Directed by Lionel Langlade. s.l.: Electric.
- Wikipedia the free encyclopedia, 2021. *Wikipedia Palazzo della Ragione, Padua*. [Online] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Palazzo_della_Ragione,_Padua [Accessed 17 4 2023].
- WOOD Magazine Editorial Staff & Contributors, 2018. *Understanding wood grain*. [Online]

Available at: <https://www.woodmagazine.com/materials-guide/lumber/understanding-wood-grain>
[Accessed 5 April 2021].

- Wootton, W., Russell, B. & Rockwell, P., 2013. *Stoneworking tools and toolmarks (version 1), The Art of Making in Antiquity: Stoneworking in the Roman World*. [Online]
Available at: <http://www.artofmaking.ac.uk/content/essays/2-stoneworking-tools-and-toolmarks-w-wootton-b-russell-p-rockwell/>
[Accessed 16 10 2022].
- Δαμιανίδης, Κ. Α., 1998. *ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΗ ΝΑΥΠΗΓΙΚΗ*. Αθήνα: ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΕΤΒΑ.
- Ένας αρχαίος ναός, n.d. *Η Κατασκευή του Ναού*. [Online]
Available at: <https://learnmore.ancienttemple.ysma.gr/construction/>
[Accessed 9 5 2023].
- ΜΠΟΥΡΑΣ, Χ. Θ., 1999. *ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ*. 2 ed. Αθήνα: "ΜΕΛΙΣΣΑ".

Ευρετήριο Εικόνων και πηγές Εικονογράφησης

εικόνα 1 Lincoln's cloisters by Rob Tomlinson	1
εικόνα 2 πίνακας εργαλείων λάξευσης, αντίστοιχων απολήξεων και τεχνικής-ίχνους (Josipa, 2018), διπλός πέλεκυς με οδοντωτή ακμή (Torre, 2018)	11
εικόνα 3 στιγμιότυπο από βίντεο για το χώρισμα του κορμού. (Splitting and cutting a log to plank-Kløyving av stokk til bord, 2010)	13
εικόνα 4 εργαλεία ξυλουργικής και ναυπήγησης, από τα αριστερά σκαπάνες σκαλίσματος με καμπύλη ακμή, μαχαίρι σκαλίσματος και πλάνη, τρυπάνια, (Burri, et	

al., 2012, p. 409), σφικτήρες (Ossowski, 2010, p. 132) για το 'εκφορικό' σανίδωμα πλοίου.	13
εικόνα 5 toothed hammer, collection of the author, Spain (Torre, 2018)	14
εικόνα 6 πίνακας εργαλείων ξυλοκόπου για τον μετασχηματισμό του κορμού.....	15
εικόνα 7 τρυπάνια λιθοξόου και αντίστοιχοι τρόποι εφαρμογής.	16
εικόνα 8 στιγμιότυπα σημαδέματος με σχοινί από ντοκιμαντέρ με θέμα την κατασκευή μεσαιωνικού κάστρου. (Timeline, 2018)	16
εικόνα 9 μέθοδοι χρήσης του σχοινιού, α) μέτρηση, β) εύρεση αναλογιών, διαίρεση μέγιστου ή πολλαπλασιασμός ελάχιστου μήκους γ),δ),ε) αλφάδιασμα. (από αριστερά προς δεξιά)	17
εικόνα 10 στιγμιότυπα από βίντεο στο οποίο προτείνεται ο τριμερισμός του τόξου και ο καθορισμός του πάχους των τοίχων με σχοινί. (Hammack, 2023)	17
εικόνα 11 σκίτσο αφαιρετικής αποτύπωσης αψίδας με παραμόρφωση του σχήματος και αναπροσαρμογή των θέσεων των θολιτών (Huerta, 2001, p. 55).....	18
εικόνα 12 σκίτσο αποτύπωσης ταφικού θόλου στον Κουρτέ (Eaby , 2007, p. 453)	19
εικόνα 13 τύμβος του 15ου αι. π.Χ. στην Πίλο. (Wade, 2019)	19
εικόνα 14 σκίτσο αποτύπωσης σκαφτής πυρόγας στη Βόρεια Ευρώπη με μπαλώματα της επιφάνειάς της από επισκευές. (Hutchinson, 1994, p. 124)	19
εικόνα 15 σκίτσο καλουπώματος κορμών για την παραγωγή συγκεκριμένων σχημάτων (Springmann, 2021)	20
εικόνα 16 σκίτσο του ναυπηγού Vettor Faust για πρόταση κατασκευής γαλέρας (Gardiner & Morrison, 1995, p. 150)	21
εικόνα 17 απεικονίσεις Λιβούρνας, Δρόμωνα 5 ^{ου} αι., 10 ^{ου} αι., Γαλέρας (Gardiner & Morrison, 1995)	22

εικόνα 18 σκίτσο της γάστρας του Mazarron ² , εφαρμογή καταρτιού στο ποδόσταμο, ράψιμο πετσώματος στον σκελετό.....	24
εικόνα 19 φωτογραφία λεπτομέρειας συρραφής του σκαριού Pula ² από την αρχαιολογική ανασκαφή (Pomey & Boetto, 2019, p. 10)	24
εικόνα 20 σχέδια καταγραφής συνδέσεων του σκαριού Bon Porte από τον Joncheray	25
εικόνα 21 σχέδια τύπων εντορμίας σύνδεσης των Boetto και Pomey, το c αντιστοιχεί στο πιο πρόσφατα κατασκευασμένο σκαρί του 4ου αι. π.Χ.	26
εικόνα 22 αξονομετρικό σχέδιο κατασκευαστικών λεπτομερειών του ναυαγίου Cala Sant Vicenc, των Nieto και Santos, 2008 (Pomey & Boetto, 2019, p. 27)	27
εικόνα 23 τρισδιάστατη απεικόνιση γάστρας πλοίου με την μέθοδο συρραφής από τον P. Poveda (Pomey & Boetto, 2019, p. 11).....	27
εικόνα 24 φωτογραφική αποτύπωση επισκευασμένου τμήματος ποδόσταμου του σκαριού YK24 της αρχαιολογικής έρευνας στο Yeni Kapi, (M. Jones/INA) (Pulak, et al., 2015, p. 59)	28
εικόνα 25 σχέδιο αποτύπωσης του πλοίου της Κυρήνειας, (Steffy, 1994) (Pomey & Boetto, 2019, p. 34)	28
εικόνα 26 σχέδιο τομής του πλοίου της Κυρήνειας, (Steffy, 1994) (Pomey & Boetto, 2019, p. 34)	29
εικόνα 27 αξονομετρικό σκίτσο του ναυαγίου Jules Verne 7, (M. Rival, AMU, CNRS, CCJ) (Pomey & Boetto, 2019, p. 30).....	29
εικόνα 28 σκίτσο εγκάρσιας κεντρικής τομής του σκαριού Ma' agan Mikhael, (Linder, Kahanov, 2003) (Pomey & Boetto, 2019, p. 33)	30
εικόνα 29 φωτογραφία ναυαγίου του Dor (S. Breitstein), λεπτομέρεια σημαδιών ξυλουργικής και κόμβου στο ποδόσταμο.....	31
εικόνα 30 απεικόνιση μονόχναρου και διάφορων συνδυασμών, βασισμένο στην μελέτη του Κ. Δαμιανίδη	33

εικόνα 31 Faro Arm αποτύπωση νομέων(frames) Fr34, Fr43, Fr122, Fr131 (drawing G. Turan, PDV Ç. Şanlıgençler) (Kocabaş & Kocabaş, 2022, p. 81).....	34
εικόνα 32 στιγμιότυπα από την διαδικασία κατασκευής πιρόγας, Satakunta, Finland, από τον E. Nikkila, (πνευματικά δικαιώματα φωτογραφιών: National Museum of Finland, Helsinki) (Moortel, 2011, p. 170)	36
εικόνα 33 πίνακας βασικών βημάτων της διαδικασίας ναυπήγησης των Βίκινγκ (NationalGeographic, 2017), σκίτσο λεπτομέρειας πετσώματος (Jerzy Litwin)	37
εικόνα 34 πίνακας τύπων σκαριών των Βίκινγκ σύμφωνα με αρχαιολογικά ευρήματα,	38
εικόνα 35 πίνακας τύπων βορειοευρωπαϊκών σκαριών κατά τον αρχαιολόγο Όλεν Κρούμλιν Πέντερσεν (Litwin, 1998, p. 89).....	39
εικόνα 36	40
εικόνα 37 μέθοδοι σύνδεσης και στεγάνωσης σανίδων, (Crumlin-Petersen) (Moortel, 2011, p. 81)	41
εικόνα 38 αξονομετρικό σχέδιο για το δέσιμο του σκελετού με το πέτσωμα (NationalGeographic, 2017).....	42
εικόνα 39 εφαρμογή καμαριού, ανάστροφου μπρατσολιού-πετσώματος στη φορτηγίδα Tune (Paasche, 2020, p. 39).....	42
εικόνα 40 σκαρμός και πέτσωμα, σύνδεση με δέσιμο στη φορτηγίδα Tune (Paasche, 2020, p. 38).....	42
εικόνα 41 εγκάρσια κεντρική τομή ανακατασκευής σκαριού του Bremen,(R. Schultze/ Deutsches Schiffahrtsmuseum) (Ellmers, 2005, p. 66)	42
εικόνα 42 λεπτομέρεια σύνδεσης πετσώματος στην λέμβο του Hedeby.....	43
εικόνα 43 κατά μήκος ένωση σανίδων πριν τον 11ο και μετά τον 12ο αι., σκίτσο του Morten Gothche, Viking ship museum, Roskilde (Morten, 2018, p. 100).....	43
εικόνα 44 σκίτσο της λέμβου στο Hedeby.....	44

εικόνα 45 αποτύπωση του Skuldelev 3	45
εικόνα 46 ποδόσταμο του Skuldelev 3, (Viking Ship Museum, Roskilde).....	45
εικόνα 47 αποτυπώσεις ποδόσταμων από τον Christensen (Paasche, 2020, p. 37).....	46
εικόνα 48 φωτογραφία από την ανασκαφή του πλοίου Gokstad (Macphail, et al., 2013, p. 141)	46
εικόνα 49 εσωτερικό της Σταβκίρκε στο Borgund, 1180-1250 μ.Χ. (Archeyes Team, 2023)	48
εικόνα 50 η Σταβκίρκε του Borgund (Archeyes Team, 2023)	48
εικόνα 51 προοπτικό σκίτσο της Σταβκίρκε στο Borgund με την ονομασία των μελών στα Νορβηγικά	49
εικόνα 52 τύποι γωνιακής θεμελίωσης του Jørgen H. Jensenius	49
εικόνα 53 στέγη της εκκλησίας Garda, το πάτωμα προστέθηκε αργότερα και τις δοκούς διακοσμούν σκαλισμένα μοτίβα (Thelin & Linscott, 2008, p. 124)	50
εικόνα 54 μοτίβα πλέξης ζευκτών, B–bindbjälke= tie beam= ελκυστήρας, S–stödben= strut beam/angle brace= αντηρίδα, X–korsande stödben= crossing strut beams= σταυρωτή αντηρίδα, H–hanbjälke= collar beam= ενδιάμεσος ελκυστήρας (Thelin & Linscott, 2008, p. 123)	51
εικόνα 55 ο Νορμανδοβυζαντινός Monreale Cathedral, (1174–82), Σικελία (Stephenson, 2009, p. 163)	51
εικόνα 56 Basilica di San Miniato al Monte 1013-62, Φλωρεντία (Stephenson, 2009, p. 162)	51
εικόνα 57 πύργος καμπαναριού του Ransberg, εσωτερικό (Hallgren & Almevik, 2017, p. 136)	52
εικόνα 58 βάση καμπαναριού του Ransberg (Hallgren & Almevik, 2017, p. 138)	52

εικόνα 59 ανυψωτικός μηχανισμός στον Canterbury Cathedral, θεωρείται πως τοποθετήθηκε τον 15 ^ο αι., χρησιμοποιήθηκε το 1970 για εργασίες συντήρησης (Matthies, 1992, p. 525).	53
εικόνα 60 σκίτσα διαδικασίας ανέγερσης των ζευκτών του καμπαναριού (Hallgren & Almevik, 2017, p. 139).....	53
εικόνα 61 επίσκεψη Καρλομάγνου στο παρεκκλήσι του Άαχεν, 14 ^{ος} αι., Grandes Chroniques de Saint-Denis, (Toulouse, Bibliothèque Municipale de Toulouse) (Torre, 2018)	54
εικόνα 62 εικονογράφηση Εξάτευχου (Λονδίνο, British Library), 11 ^{ος} αι. (Torre, 2018)	54
εικόνα 64 πίνακας αριστερά, βήματα τοποθέτησης πέλματος, κλειδιού, θολιτών, χρήση ξυλότυπου.	55
εικόνα 64 πίνακας δεξιά, βήματα ανέγερσης τοίχου δρομικής λαξευμένης λιθοδομής με το εγκιβωτισμό του πέλματος,	55
εικόνα 65 σκίτσο τομής καθεδρικού μετά την κατασκευή της στέγης και πριν την κατασκευή των νευρώσεων και των θολιτών, υποθετική αναπαράσταση ξυλότυπων και ανυψωτικών μηχανισμών (De Decker, 2010)	56
εικόνα 66 η σκαλωσιά και ο ξυλότυπος του καμπαναριού της εκκλησίας Lärbro στο Gotland της Σουηδίας. (Arts and Humanities Research Council & University of Liverpool, 2021).....	57
εικόνα 67 Lincoln Cathedral, απεικόνιση οροφής από μοντέλο τρισδιάστατου σκαναρίσματος (Arts and Humanities Research Council & University of Liverpool, 2021)..	58
εικόνα 68 the infirmary hall of the Ghent Bijloke Hospital, 1251-1255 μ.Χ. (DENYS, 2023) ..	59
εικόνα 69 αξονομετρικό σχέδιο έκρηξης για την αποτύπωση των κόμβων και των τμημάτων του δικτύωματος του Westminster Hall (Munby, 2015, p. 126)	60
εικόνα 70 Palazzo della Ragione, Πάδοβα (Wikipedia the free encyclopedia, 2021).....	61
εικόνα 71 Saint Giovanni e Paolo,(Nicola Coldstream, Medieval Architecture, σελ.91)	62

εικόνα 72 από την Στάβκιρκε στον Καθεδρικό του Nidaros, σκίτσα των Karl-Fredrik Keller/Øystein Ekroll (Ekroll, 2015, pp. 3-5).....	63
εικόνα 73 νότια πτέρυγα 1150-1200 μ.Χ. αριστερά, παρεκκλήσι του Άγ. Ιωάννη του βαπτιστή στην Νότια πτέρυγα δεξιά (Ekroll, 2015, pp. 5,7)	64
εικόνα 74 Santa Maria zur Wiese, 1313-19 ^ο αι. μ.Χ. (Coldstream, 2002, p. 96)	65
εικόνα 75 βασιλική της Assisi, κάτω δεξιά ρωμανικός τύπος, κέντρο δεξιά ύστερο ρωμανικός τύπος (Angelini, et al., 2017, pp. 48,49), πάνω δεξιά γοτθικός τύπος (στιγμιότυπο διάλεξης του John Ochsendorf), κάτω αριστερά σκίτσο που απεικονίζει την διαδοχή των τύπων της εκκλησίας κατά ύψος, κέντρο αριστερά κάτοψη επιπέδου ύστερου ρωμανικού τύπου, πάνω αριστερά κάτοψη επιπέδου γοτθικού τύπου (Angelini, et al., 2017, pp. 48,49).	66
εικόνα 76 πίνακας πιθανών σταδίων διαμόρφωσης κλειδιού Νοτιοδυτικής πτέρυγας ιερού στον Wells Cathedral με μεταφορά σημείων από την προβολή των νευρώσεων, η διαδικασία προκύπτει από την τέχνη της στερεοτομίας (Arts and Humanities Research Council & University of Liverpool, 2021).....	68
εικόνα 77 πίνακας στα αριστερά: πιθανά στάδια λάξευσης για το κάτω τμήμα πέλματος νεύρωσης στον Wells Cathedral, πίνακας στο κέντρο: πιθανά στάδια για το άνω τμήμα του πέλματος, πίνακας στα δεξιά: πιθανά στάδια λάξευσης θολιτών . (Arts and Humanities Research Council & University of Liverpool, 2021).....	69
εικόνα 78 αριστερό διάγραμμα: πιθανός καθορισμός καμπύλης στην περίπτωση παράθεσης στο έδαφος με τις επιφάνειες των θολιτών σε παραλληλία, δεξί διάγραμμα: πιθανή κατασκευή νεύρωσης πριν την λάξευση με το πέλμα να καθορίζει το μοτίβο και την μετατόπιση να καθορίζει την καμπύλη.	70
εικόνα 79 : Le mans Cathedral 1145-58 (Frankl & Crossley, 2000, p. 66)	70
εικόνα 80 φωτογραφία κατασκευής από την πειραματική μελέτη: Vaults built without formwork: Comparison of the description of a traditional technique in building manuals with the results of practical observations and experimental studies (Wendland, 2022, p. 9) 71	

εικόνα 81 μοντέλο της προαναφερόμενης πειραματικής μελέτης, φαίνεται η καμπύλωση των θολιτών στην δρομική διεύθυνση (Wendland, 2022, p. 4).....	72
εικόνα 82 τρόποι θολιτοδομής ιστού: τοποθέτηση θολιτών σε ευθεία και τοποθέτηση θολιτών σε τόξο (Arts and Humanities Research Council & University of Liverpool, 2021)	72
εικόνα 83 στιγμιότυπα από το ντοκιμαντέρ για τον καθεδρικό του Στρασβούργου στα αριστερά η σύνδεση των τμημάτων της κολώνας με σιδερένιους συνδετήρες, στα δεξιά η σφράγιση με μόλυβδο για την στερεοποίηση και προφύλαξη της σύνδεσης (What Makes Strasbourg Cathedral An Architectural Masterpiece? [4K] Extreme Constructions Spark, 2019).....	73
εικόνα 84 στιγμιότυπα από το ντοκιμαντέρ για τον καθεδρικό του Στρασβούργου, από τα αριστερά στα δεξιά διαδοχικά στάδια μεθόδου ενίσχυσης των στύλων (What Makes Strasbourg Cathedral An Architectural Masterpiece? [4K] Extreme Constructions Spark, 2019).....	74
εικόνα 85 στιγμιότυπα από το ντοκιμαντέρ για τον καθεδρικό του Στρασβούργου, από τα αριστερά στα δεξιά μέθοδος τοποθέτησης ενίσχυσης σε δυσκολές τριγωνικό τμήμα (What Makes Strasbourg Cathedral An Architectural Masterpiece? [4K] Extreme Constructions Spark, 2019).....	74
εικόνα 86 σχέδιο της Δυτικής όψης για την κατασκευή του καθεδρικού του Στρασβούργου	76
εικόνα 87 ,πάνω αριστερά: απεικόνιση τρισδιάστατου σκάνερ, πάνω δεξιά φωτογραφία του θόλου, κάτω: φωτογραφία διασταύρωσης νευρώσεων από την πάνω πλευρά του θόλου. Θόλος πύργου της κεντρικής πτέρυγας, Ottery St. Mary, ανατολικό Devonshire, 1337-1350 (Arts and Humanities Research Council & University of Liverpool, 2021).....	80
εικόνα 88 η Όπερα του Σύνδνεϋ, αριστερά: η κατασκευή ξυλότυπου για την χύτευση του σκυροδέματος της βάσης του κελύφους, κέντρο: κοντινό πλάνο από την τοποθέτηση των πλακιδίων του κελύφους με χρήση γερανού, δεξιά: μακρινό πλάνο ολόκληρης της κατασκευής. (Pitt, 2018)	82
εικόνα 89 Frank Gehry's Guggenheim Museum Bilbao	82

εικόνα 90 Sigeru Ban country Clubhouse, Haesley 9 bridges, Korea, 201083

εικόνα 91 Miralles' s Scottish Parliament83