

Το επάγγελμα που μορφοποίησε τον σύγχρονο κόσμο

Η γέννηση της επιστήμης των κατασκευών,
μικρή αναδρομή και επίκαιρες σκέψεις .



Αθήνα Ημερίδα ΤΕΕ

Ευγενίδιο 27-9-2018

ΑΡΙΣΤΟΔΗΜΟΣ ΧΑΤΖΗΔΑΚΗΣ

Πολιτικός μηχανικός Ε.Μ.Π.

ECCE president Elect

Πόλεμος πάντων μὲν πατήρ ἐστι, πάντων δὲ βασιλεύς, καὶ τοὺς μὲν θεοὺς ἔδειξε τοὺς δὲ ἀνθρώπους, τοὺς μὲν δούλους ἐποίησε, τοὺς δὲ ἐλευθέρους. ΗΡΑΚΛΕΙΤΟΣ

- Οι μηχανικοί συνδέθηκαν από την αρχαιότητα με την τέχνη του πολέμου, για να μην πούμε ότι γεννήθηκαν από αυτήν.
- Η καταγωγή του όρου «ingenieur» (μηχανικός) μαρτυρεί τι είναι, ίσως μάλιστα και τι επρόκειτο να γίνει. Ο engignour il ingeniator του Μεσαίωνα ήταν καταρχήν ο κατασκευαστής πολιορκητικών και άλλων πολεμικών «μηχανημάτων» (engins).

Μηχανικός – μηχανή –μηχανεύομαι

- Ο μηχανικός της Αναγέννησης πήρε σάρια και οστά μέσα από τις τρεις έννοιες του λατινικού όρου ingenium. Για να κατασκευάσει «μηχανήματα», έπρεπε να θέσει σε λειτουργία **το εφευρετικό του πνεύμα (ήταν πολυμήχανος)**, πράγμα εύκολο, αφού ήταν προικισμένος με εξυπνάδα, μπορούσε δηλαδή να «μηχανεύεται». Μηχανές, εφευρετικό πνεύμα, εξυπνάδα.
- Προσοχή όμως, στην τελευταία εκδοχή της λέξης «μηχανή» (engin). Υπήρχε πάντα μια απόχρωση **μηχανορραφίας, προδοσίας**. Ο μηχανικός κατείχε μια γνώση, και μπορούσε να τη χρησιμοποιεί για να αντιμετωπίζει προβλήματα ή για να βλάψει τους άλλους.
- Εξάλλου, η ιδέα της μηχανορραφίας συνδέεται παραδοσιακά με τη μηχανή και την τεχνική, ας θυμηθούμε την Αθηνά και τον Ήφαιστο, τούς θεούς-τεχνίτες, και τον Οδυσσέα.

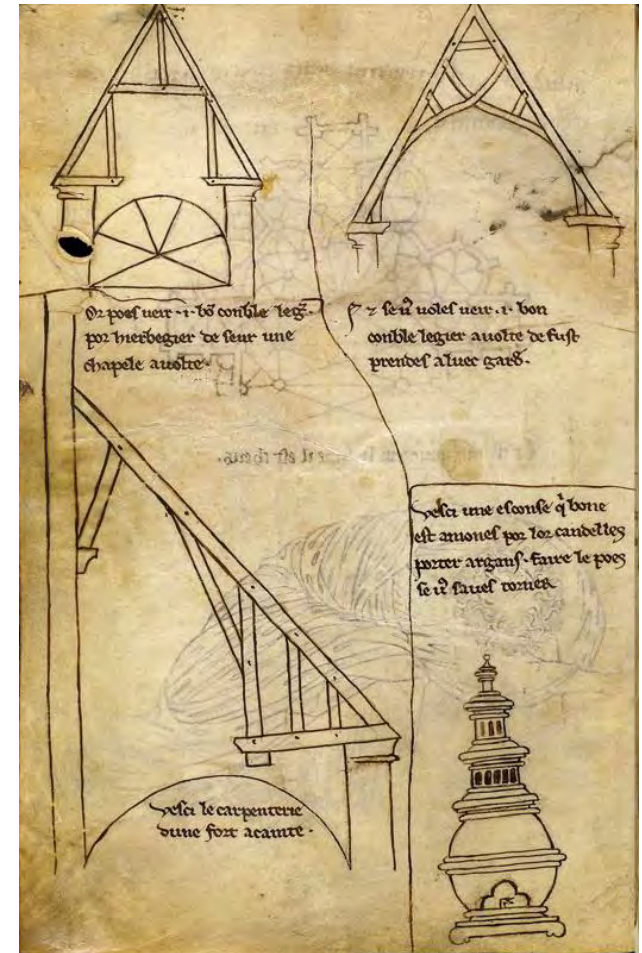
Οι Άραβες διέσωσαν τα κείμενα των αρχαίων Ελλήνων

- Εκτός από τα μαθηματικά έργα του Αρχιμήδη και του Ευκλείδη διατήρησαν τα έργα των μηχανικών της Ελληνιστικής περιόδου, το έργο του Ήρωνα και του Φίλωνα και ανέπτυξαν πρωτότυπες πνευματιές και υδραυλικές κατασκευές, πολεμικές μηχανές, καθώς και μηχανικά αυτόματα. Η παράδοση αυτή πέρασε στη δύση από λατινικές μεταφράσεις κυρίως μέσω της Ισπανίας και της Σικελίας.

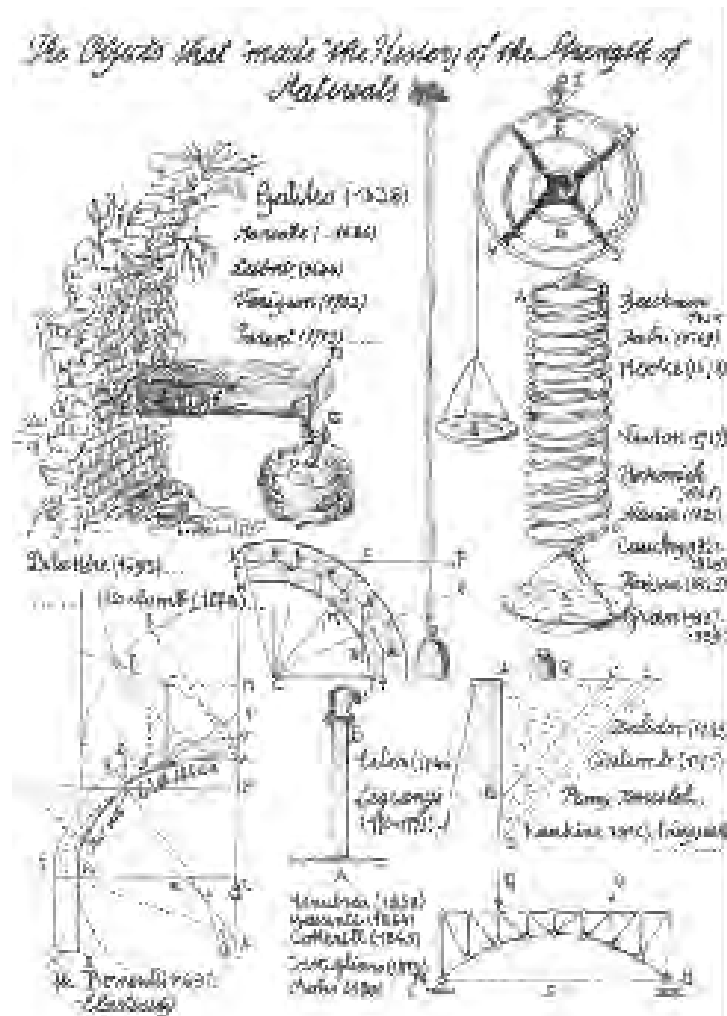


Ο μεσαίωνας δεν ήταν μια άγονη και σκοτεινή περίοδος.

- τα τεχνικά επιτεύγματα της 'Αναγέννησης έγιναν εφικτά από την πρόοδο που ξεκίνησε στους τελευταίους αιώνες του Μεσαίωνα.
- Αντίστοιχα, οι μηχανικοί της 'Αναγέννησης, ήταν σε μεγάλο βαθμό **άνθρωποι της παράδοσης**, μιας ισχυρής παράδοσης που σφυρηλατήθηκε στα μεγάλα εργοτάξια των καθεδρικών ναών, στις κατασκευές νερόμυλων αλλά και στα οχυρωματικά έργα , στα πεδία των μαχών.
- Η **τέχνη του πολέμου** είναι ακόμα αναπόσπαστο μέρος του επαγγέλματος του αναγεννησιακού μηχανικού.



Οχυρώσεις και επιστήμη των κατασκευών



- Η επαγγελματική ενασχόληση των μηχανικών με την τέχνη των οχυρώσεων ήταν το πρώτο αντικείμενο που προκάλεσε την ανάπτυξη της αντοχής των υλικών. Η προσπάθεια εύρεσης της ώθησης των γαιών.
- Την εποχή που τα πυροβόλα όπλα αλλάζουν τα δεδομένα των οχυρώσεων ο τίτλος αρχιτέκτονας και πολιτικός μηχανικός χρησιμοποιείται αδιακρίτως τόσο για αστικά όσο και για στρατιωτικά έργα.

Η ανάπτυξη της μεταλλουργίας και της πυρίτιδας με την κατασκευή και διάδοση του κανονιού αλλάζει τελείως τα δεδομένα των οχυρώσεων. **Οχυρώσεις ala Moderna** από τα μέσα του 1400

- Τα λεπτά και ψηλά τείχη του μεσαίωνα που αμύνονταν στις ψηλές παραβολικές βολές των καταπελτών αποδείχθηκαν ανεπαρκή για την ισχύ και το σχετικά ευθύβολο των κανονιών. Τα τείχη έπρεπε να κοντύνουν, να παχύνουν και να έχουν πολυγωνική χάραξη για να μην επιτρέπουν προσβολή από τα βλήματα υπό ορθή γωνία.
- Κύριο χαρακτηριστικό των νέων οχυρώσεων: ο **προμαχώνας** δηλαδή μια προεξοχή του τείχους που επιτρέπει την προστασία του τείχους και των άλλων προμαχώνων, δίνοντας δυνατότητα διαφόρων γωνιών βολής στους αμυνόμενους.

Οι αναγεννησιακοί μηχανικοί

- Εμβληματική μορφή στην εποχή της μετάβασης ο Francesco di Giorgio Martini. Μπορεί να είναι ακόμα καλλιτέχνης, αρχιτέκτονας και μηχανικός καθώς και γνώστης της στρατιωτικής τέχνης.

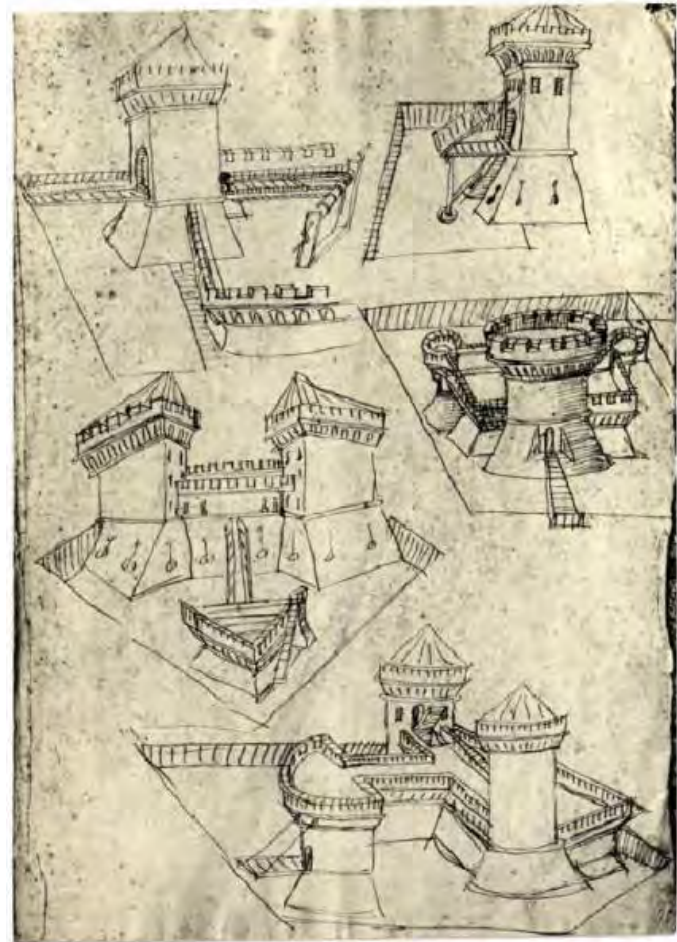


Trattati di architettura ingegneria e arte militare



Ο Martini, κατ' εξοχήν προσωπικότητα της μεταβατικής εποχής

- Η πραγματεία του Martini περιλαμβάνει τις πρώτες απόπειρες προσαρμογής των μεσαιωνικών οχυρώσεων στα νέα όπλα.
- Κρατάει τους πύργους, αλλά επινοεί την χάραξη ενδιάμεσων τειχών με πολυγωνική κάτοψη και μείωση του ύψους.



Ο Leonardo έχει συνείδηση στρατιωτικού μηχανικού

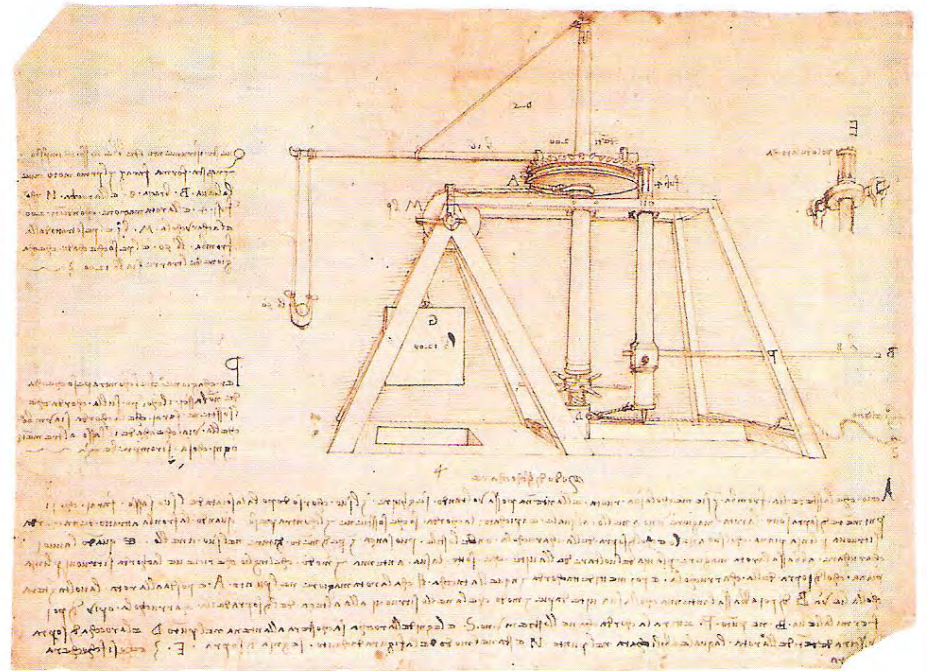
- Είναι αποκαλυπτικό για την επαγγελματική του πλευρά και τη συνείδηση που είχε για το πεδίο δράσης ενός μηχανικού της Αναγέννησης, το γράμμα που έγραψε ο Leonardo το 1482 στον δούκα του Μιλάνου, Λουδοβίκο Σφόρτσα, απαριθμώντας του τις υπηρεσίες που μπορεί να του προσφέρει, προσπαθώντας να μπει στις υπηρεσίες της αυλής του.



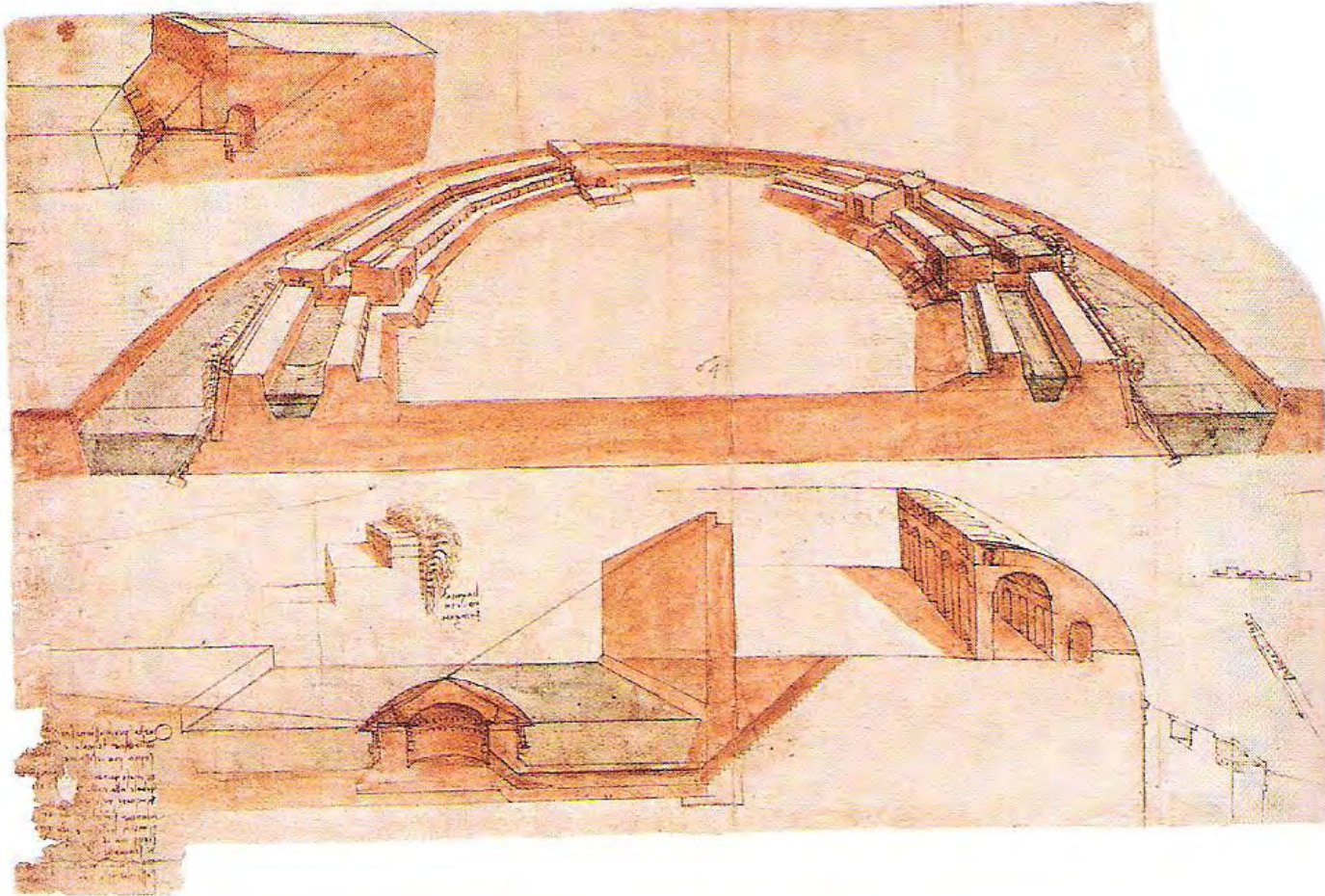
Leonardo το γράμμα στον Σφόρτσα

Τέλος αν εξαιτίας του υψηλού μέρους που βρίσκεται ή της μεγάλης αντοχής ενός κάστρου δεν μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει τα ολμοβόλα, έχω την δυνατότητα να καταστρέψω οποιοδήποτε κάστρο ή οχυρό, υπό τον όρο ότι δεν υπάρχουν οχυρώσεις κατασκευασμένες από βράχο.

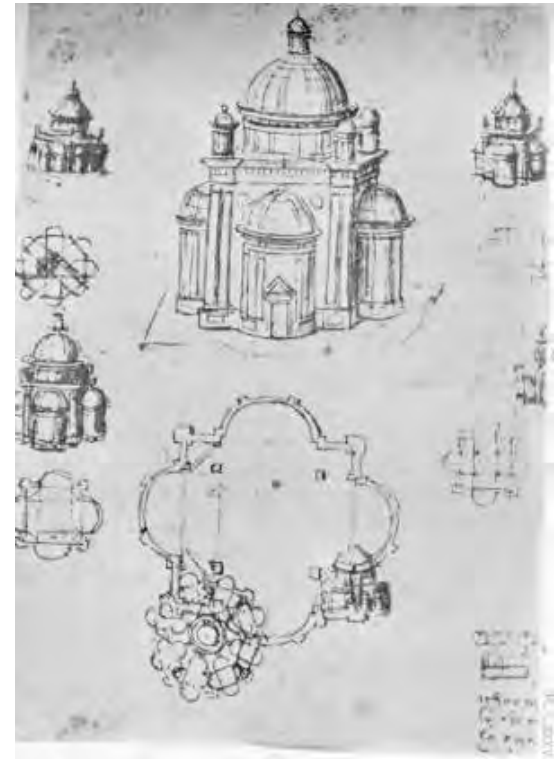
- Εκεί που τα ολμοβόλα δεν θα φέρουν αποτέλεσμα μπορώ να κατασκευάζω ονάγρους, καταπέλτες και παγίδες που να έχουν θαυμάσια αποτελέσματα και να είναι διαφορετικά από εκείνα που χρησιμοποιούνται.



Leonardo σχεδιάσματα οχυρώσεων

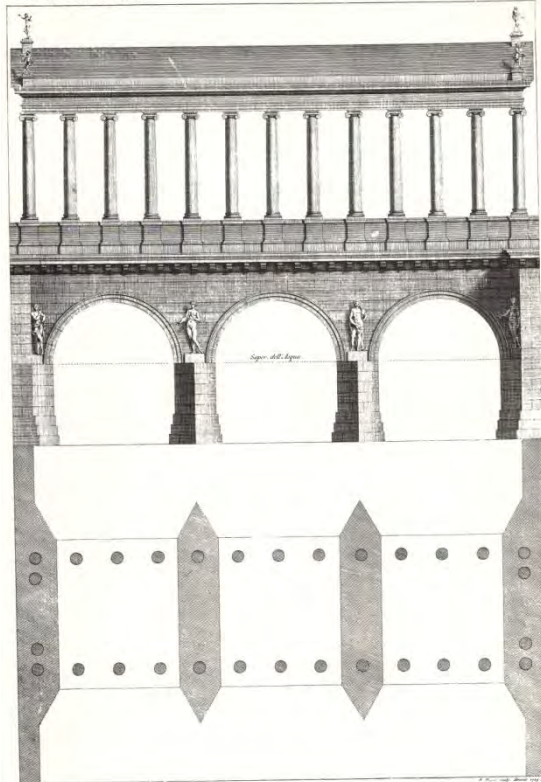


Σε καιρό ειρήνης νομίζω ότι μπορώ να συναγωνιστώ με οποιονδήποτε στην αρχιτεκτονική για την οικοδόμηση δημοσίων και ιδιωτικών κτιρίων και για την παροχέτευση του νερού από το ένα μέρος στο άλλο. Το ίδιο μπορώ να κατασκευάσω γλυπτά με μάρμαρο, σε μπρούντζο ή σε πηλό και να πετύχω στη ζωγραφική κάθε τι που μπορεί να γίνει , το ίδιο καλά και για το όποιο θέμα μου ζητηθεί .

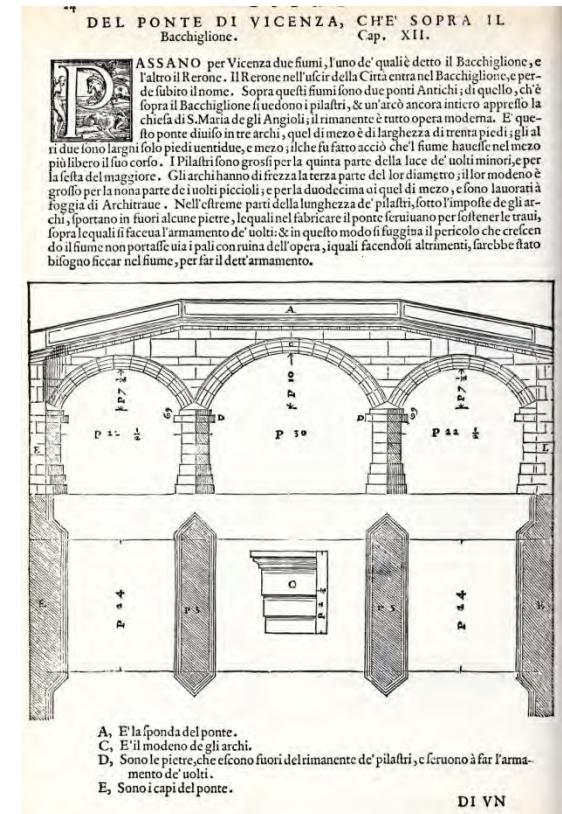
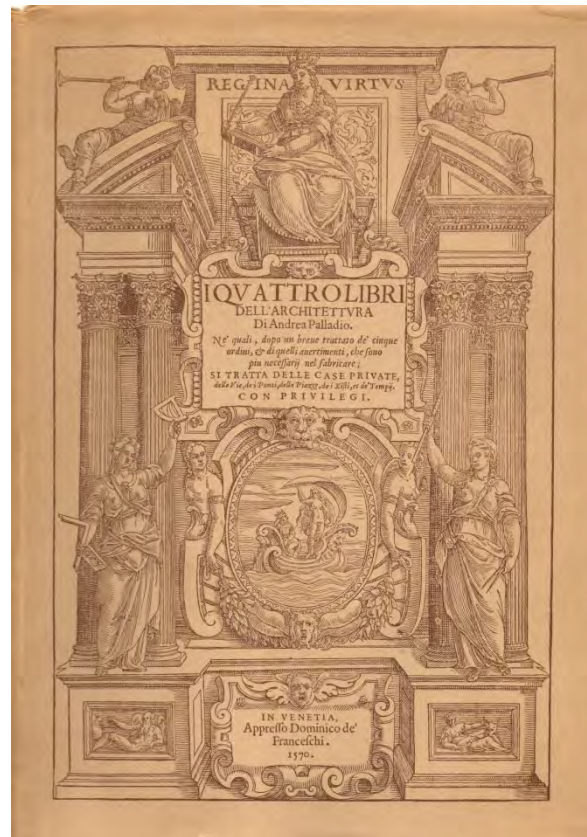


Οι πραγματείες της αρχιτεκτονικής που εμφανίζονται στα τέλη της αναγέννησης ασχολούνται και συνοψίζουν το σύνολο της τεχνικής γνώσης. Alberti, Palladio, Serlio κλπ

PLATE 49. (Pages 172-73)



"Superficie dell'Acqua" = surface of the water.



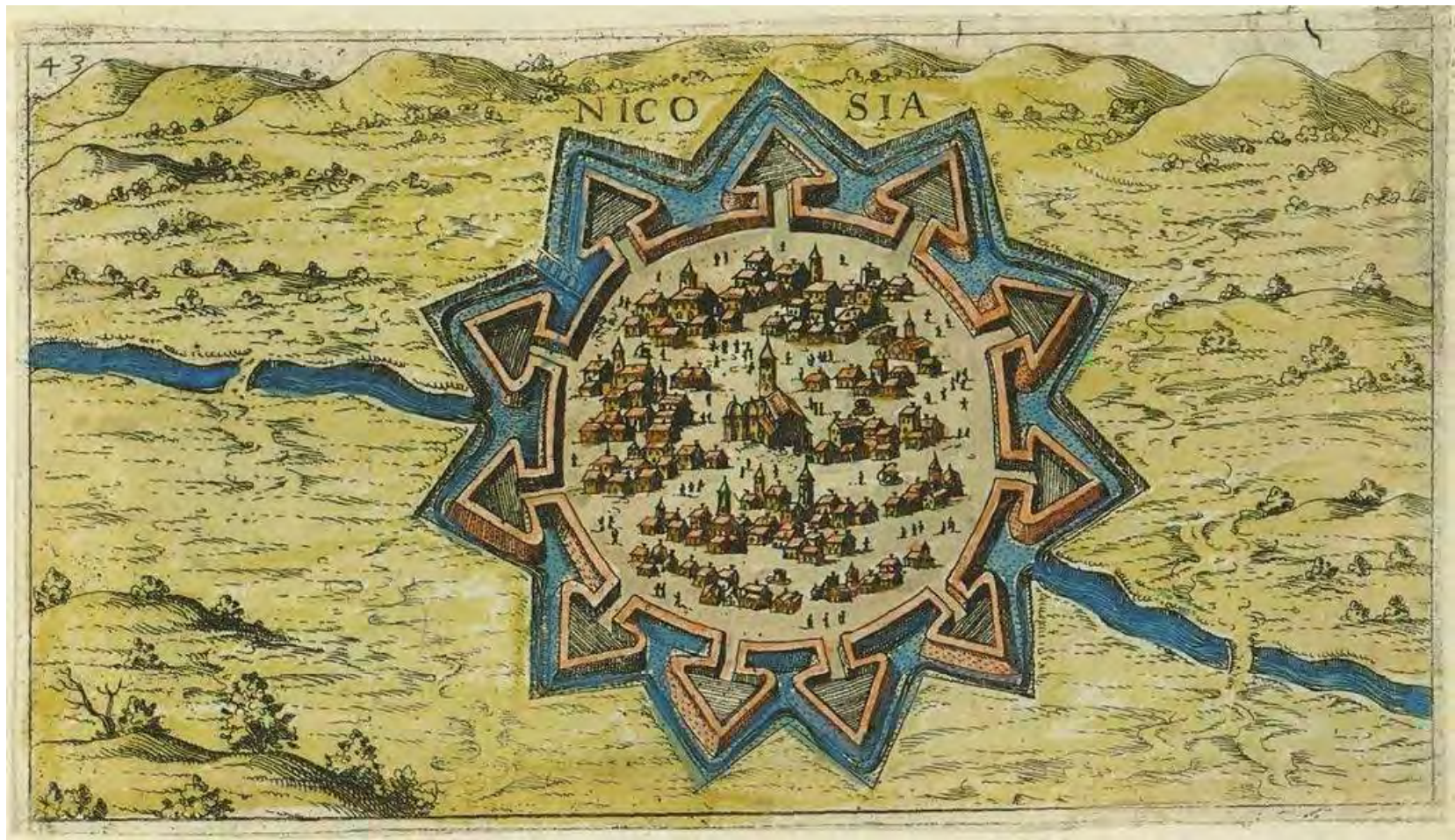
Μετά τον οικουμενικό μηχανικό-καλλιτέχνη περνάμε στον στρατιωτικό μηχανικό

- Μετά από τους οικουμενικούς καλλιτέχνες μηχανικούς η επαγγελματική ενασχόληση ασκείται από εξειδικευμένους στρατιωτικούς μηχανικούς.
- Η διαφοροποίηση του καλλιτέχνη από τον τεχνικό προηγήθηκε αρκετές δεκαετίες από τον διαχωρισμό του αρχιτέκτονα από τον μηχανικό.
- Η χρήση των δύο όρων για το ίδιο αντικείμενο συνεχίζεται για τουλάχιστον έναν αιώνα.
- Έτσι έχουμε μια σειρά στρατιωτικών μηχανικών και αρχιτεκτόνων που βρίσκονται στην υπηρεσία των κρατικών αρχών και ασχολούνται με τα δημόσια έργα και κατ' εξοχήν με έργα οχυρώσεων.
- Εξέχοντες μεταξύ τους ο Michele Sanmichelli , ο Giulio Savorgnan και ο Pallavicini για τη Γαληνοτάτη που μεταξύ άλλων ασχολήθηκαν και με τις οχυρώσεις της Κρήτης και της Κύπρου.

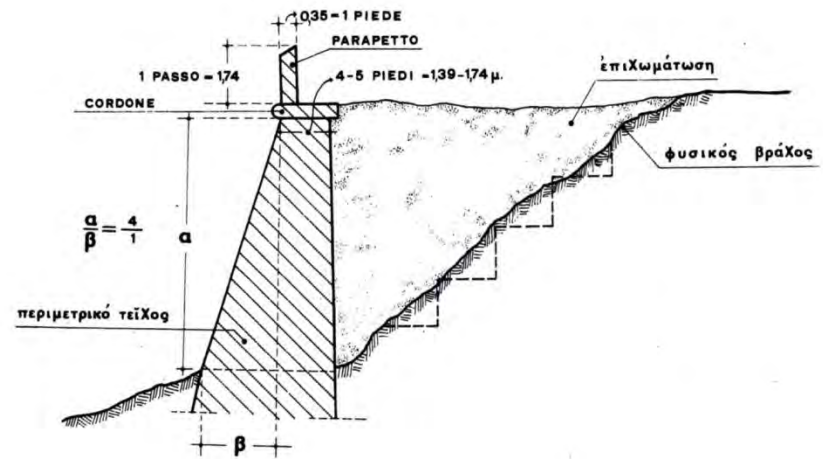
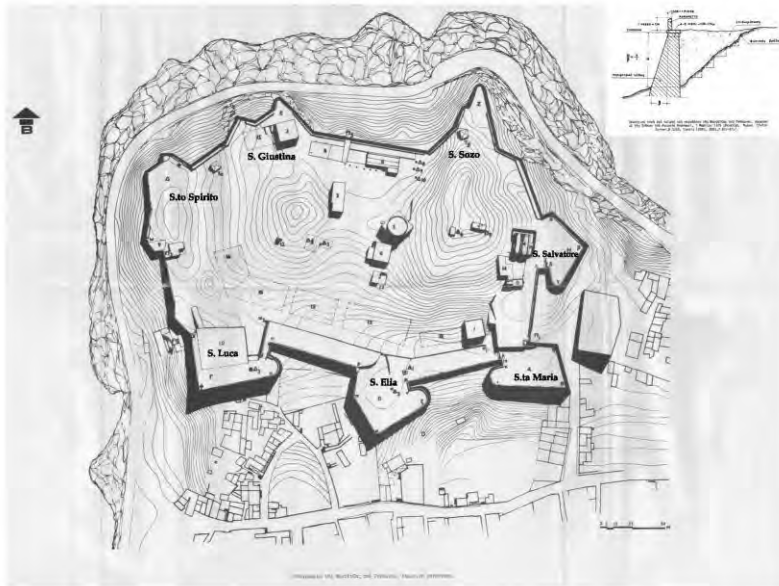
Δυο εξέχουσες φυσιογνωμίες μηχανικών στην
υπηρεσία της Γαληνοτάτης,
Sanmicheli και Savorgnan



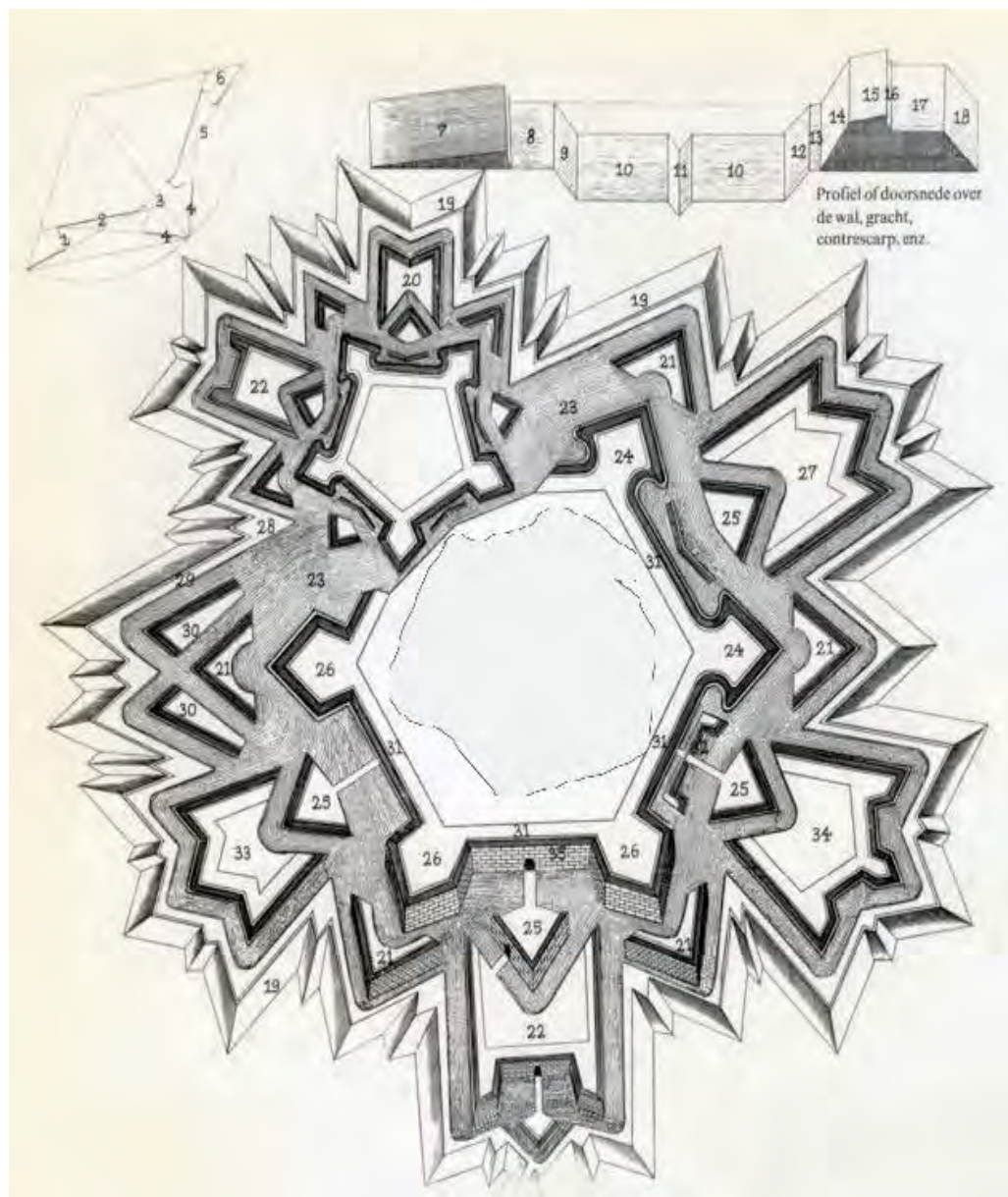
Giulio Savorgnan Τα τείχη της Λευκωσίας.



Η υποδειγματική διατριβή της Ιωάννας Στεριώτου για την Φορτέτζα του Ρεθύμνου περιέχει πλήθος πληροφοριών από πραγματείες αυτής της περιόδου



Θεωρητική τομή στο τείχος του περιβόλου της Φορτέτζας του Ρεθύμνου, σύμφωνα με την έκθεση του Ascanio Andreasi, 1 Μαρτίου 1575 (Βενετία, Museo Civico Correr, B.1210, Candia LXXXI, 2681, f.81r-97v).



ONOMATOLOGIA

1. Fianco del bastione
2. Cortina
3. Gola del bastione
4. Faccia del bastione
5. Linee di difesa
6. Capitale del bastione
7. Spalto
8. Strada coperta
9. Controscarpa
10. Fossato
11. Gora o cunetta
12. Scarpa
13. Cammino di ronda
14. Muro esterno
15. Parapetto
16. Banchetta
17. Camminata
18. Muro interno

19. Spalto
20. Tanaglia
21. Mezzaluna
22. Opera a corno
23. Fossato
24. Bastione
25. Rivellino
26. Bastione
27. Doppia tanaglia
28. Piazzole
29. Strada coperta
30. Controguardia
31. Cortina
32. Tanaglia
33. Doppia tanaglia
34. Opera a Corona
35. Rivestimento esterno

Ενώ οι οχυρώσεις είναι απόλυτα συνυφασμένες με την τέχνη
του πολέμου και τις τακτικές διεξαγωγής του,
γίνονται αντικείμενο και των μαθηματικών

T R A I T E'
D E
FORTIFICATION,
C O N T E N A N T

Les Methodes anciennes & modernes pour
la Construction & la Deffense
des Places,

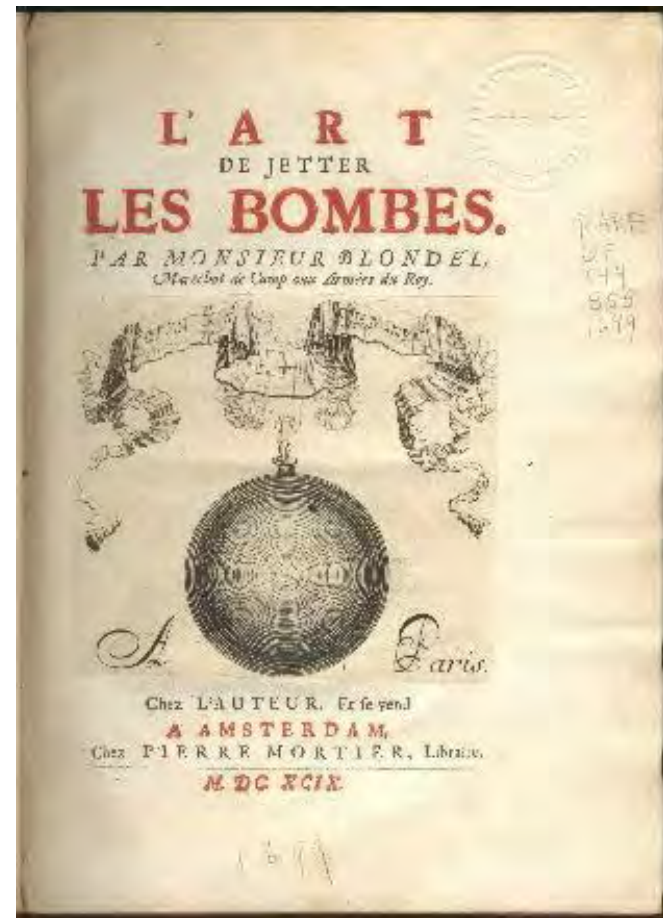
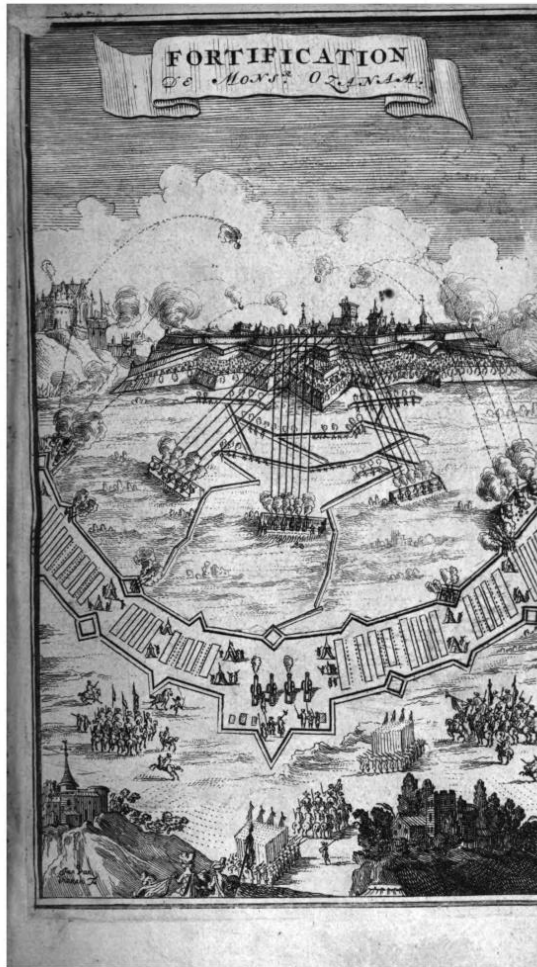
Et la maniere de les attaquer, expliquées plus au
long qu'elle n'a été jufques à prefent.

Par Monsieur O Z A N A M,
Professeur des Mathematiques.

Suivant la Copie. 10
A P A R I S, 1311
Chez JEAN JOMBART, près des Augustins,
à l'Image Nôtre-Dame.
M D C. X C I V.

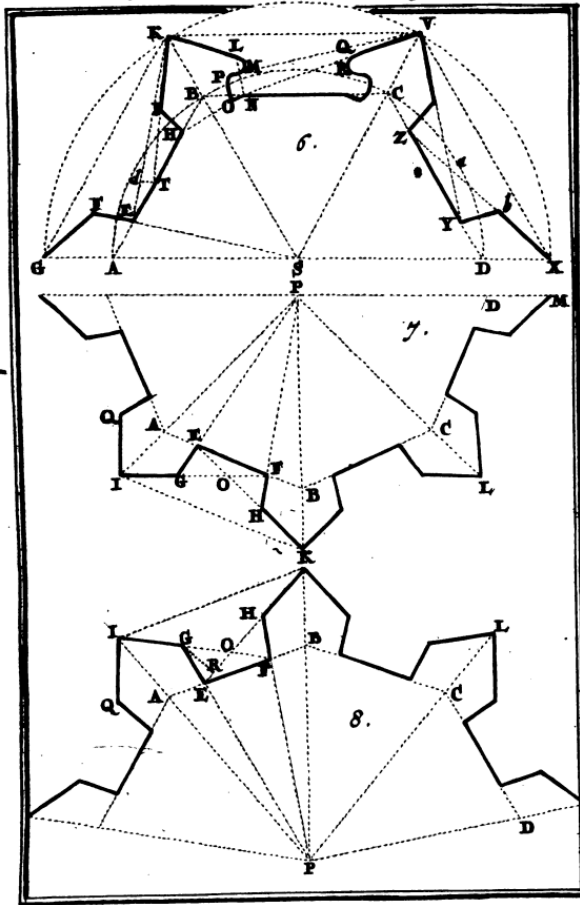
- Μεγάλο ρόλο στη διάδοση και προώθηση της επιστήμης των κατασκευών παίζουν οι σπουδές που γίνονται στις **στρατιωτικές σχολές** που δημιουργήθηκαν στη Γαλλία την πρώτη εικοσαετία του 18^{ου} αιώνα. Στις σχολές αυτές, πάνω σε σπουδές βαλλιστικής εργάστηκαν **μαθηματικοί πρώτου μεγέθους** και η τεχνική των οχυρώσεων συγκέντρωσε το ενδιαφέρον πολλών μηχανικών.

Εμφανίζονται πλήθος βιβλίων για τις τακτικές του νέου πολέμου και των μυστικών των όπλων του

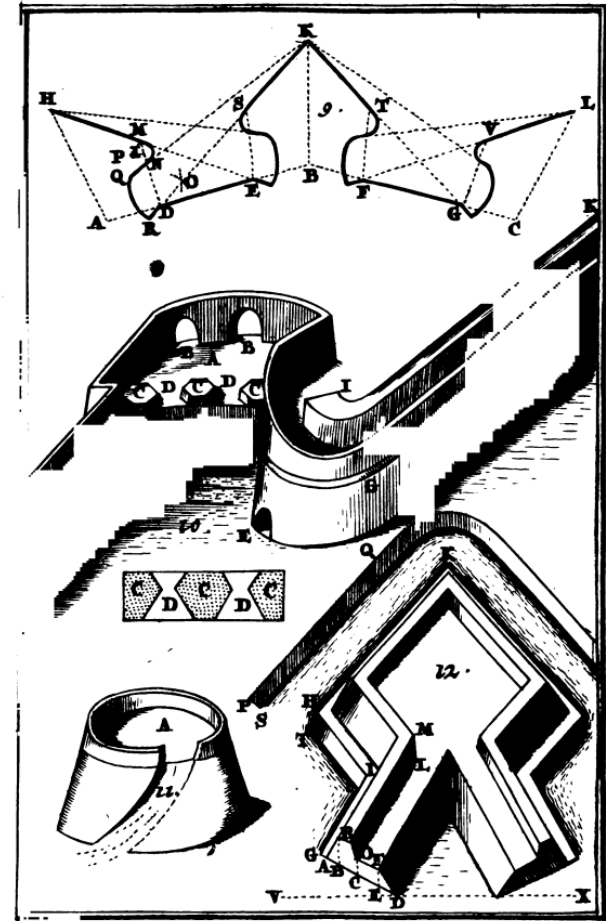


Συχνά αντιμετωπίζονται σαν ασκήσεις
γεωμετρικών χαράξεων.

Fortification Planche 2. Page 2.



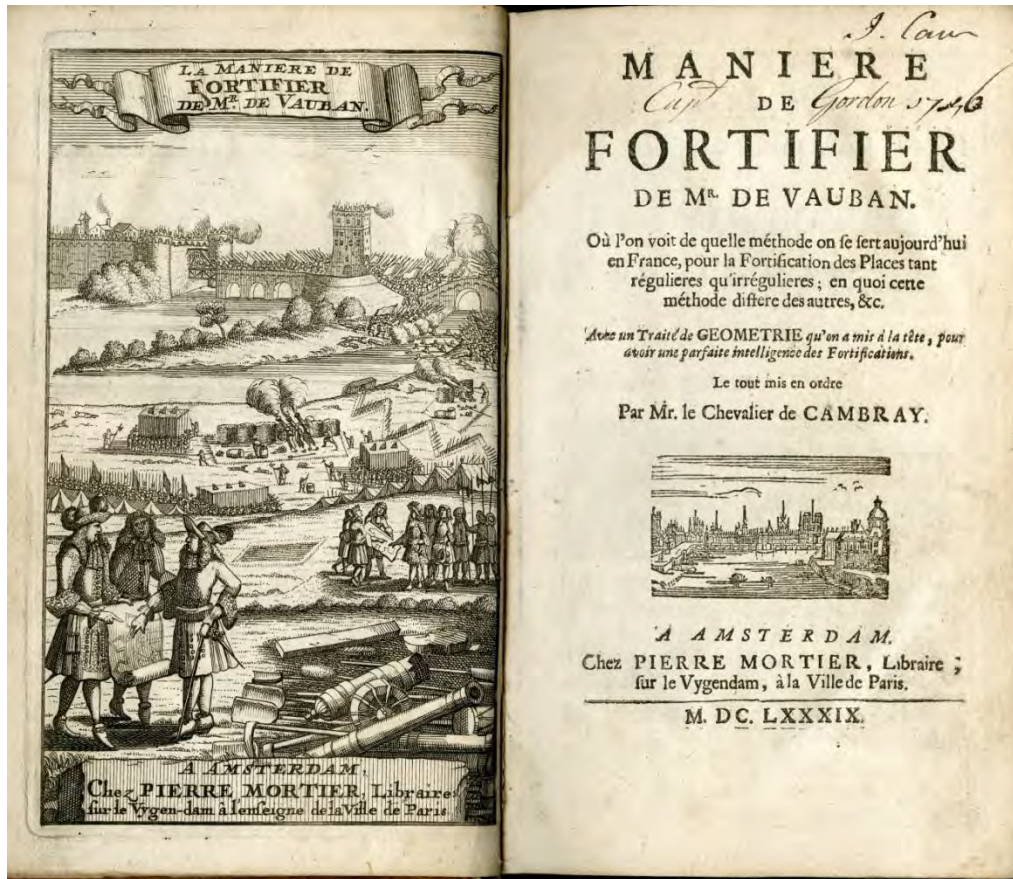
Fortification Planche 3. Page 35.



Η δομή που αποκαλύπτει η αποχρωμάτωση των τειχών των Χανίων. Κατά κανόνα υπάρχουν κρυφές αντηρίδες, αλλά και οι υπόγειοι χώροι αξιοποιούνται σαν τέτοιες.

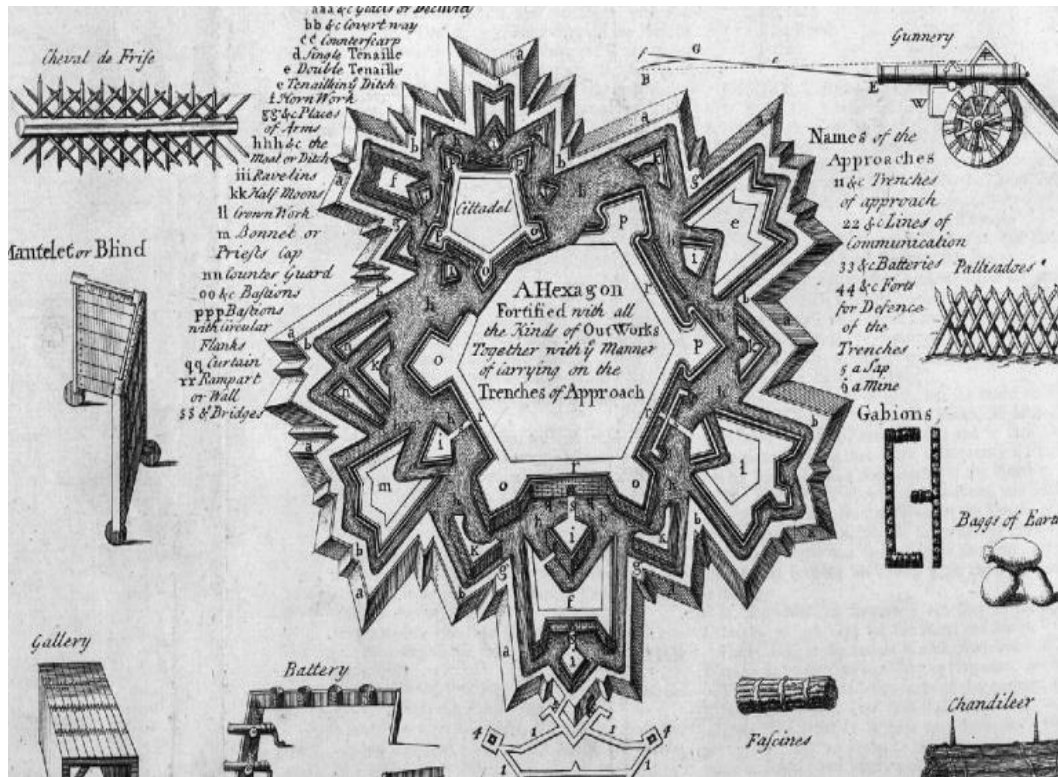


Vauban



- Εξέχουσα μορφή στρατιωτικού μηχανικού στον 17^ο αιώνα είναι αναμφίβολα ο Sebastien de Vauban. Γεννημένος το 1633 και έχοντας πάρει βασιικές μαθηματικές γνώσεις, κατατάσσεται νεότερος στον στρατό, για να κάνει μια εκπληκτική καριέρα στρατιωτικού μηχανικού. Το 1655 ονομάζεται ingénieur du roi και το 1703 παίρνει τον βαθμό του Στρατηγού.

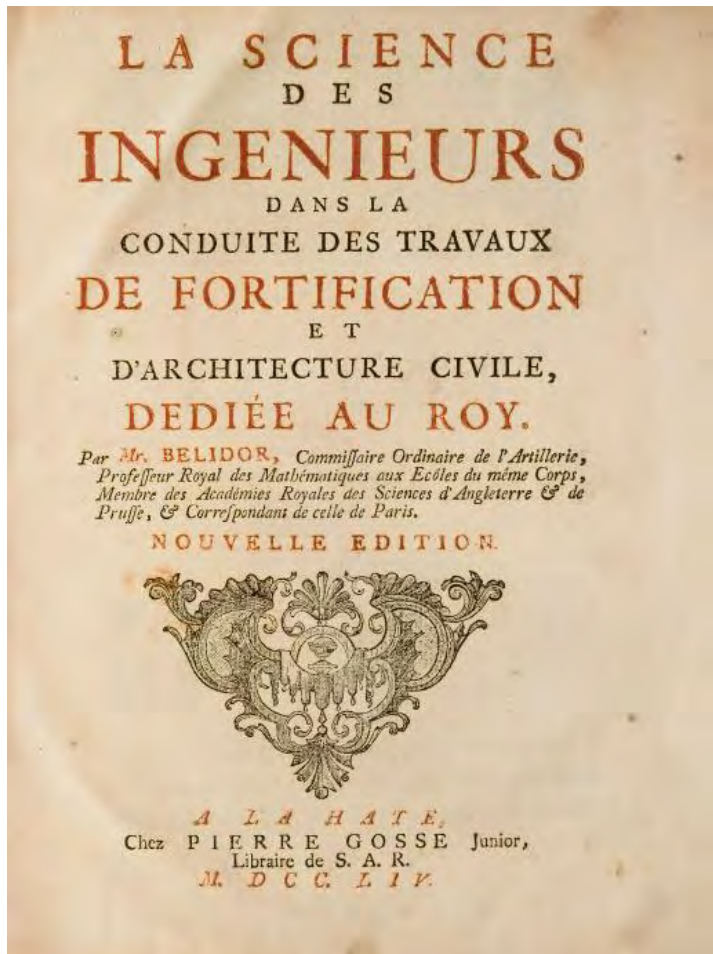
Βασικό στοιχείο στη σχολή των Γάλλων στρατιωτικών αλλά και πολιτικών μηχανικών η αξιόπιστη προσέγγιση του κόστους κατασκευής, η σύνταξη του **προϋπολογισμού (Le Devis)**. Προφανώς στις οχυρώσεις λόγω του μεγάλου όγκου χωματισμών και τοιχοποιίας η οικονομία είναι κυρίαρχο στοιχείο σχεδιασμού.



- Εκτός από τα δεινάδες οχυρά που έκτισε και τις μάχες που πήρε μέρος, άφησε μεγάλο έργο στον τομέα των οχυρώσεων και έρευνες πάνω στις ωθήσεις γαιών και την βαλλιστική, για τις οποίες έγινε επίτιμο μέλος της Γαλλικής Ακαδημίας Επιστημών.

Ο Belidor έγραψε έργα που δείχνουν ότι τα ενδιαφέροντα των μηχανικών της εποχής έχουν στρατιωτικό προσανατολισμό.

Εξάλλου και ο ίδιος ξεκίνησε την καριέρα του από τον στρατό.

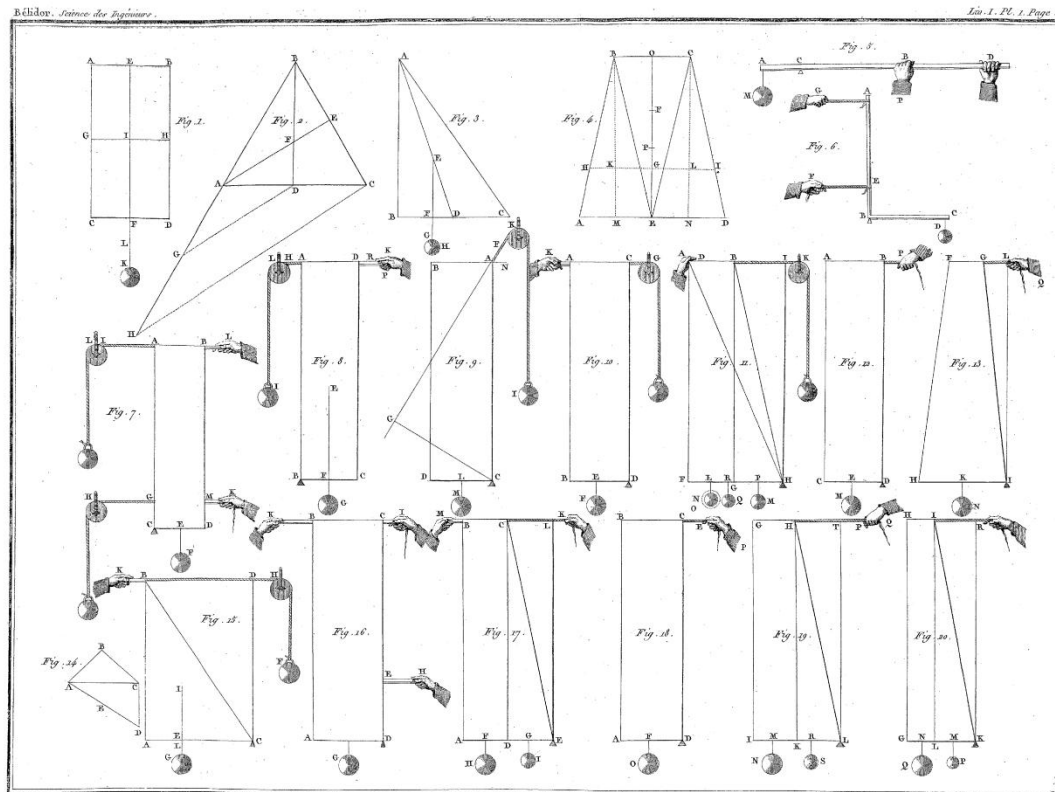


- Ο Belidor θα εκδώσει το 1729 μια πραγματεία που θα γνώριζε τεράστια διάδοση και στο χώρο και στο χρόνο, που θα γνώριζε επανεικδόσεις και ενημερώσεις μέχρι το 1830 : Πρόκειται για «την επιστήμη των μηχανικών» (La science des Ingenieurs). Για περισσότερο από έναν αιώνα αυτό το έργο θεωρήθηκε υποδειγματικό και σ' αυτό οι μηχανικοί έβρισκαν ό,τι μπορούσε να τους είναι χρήσιμο.

Ποιο είναι το πρόγραμμα της **Επιστήμης** των μηχανικών?

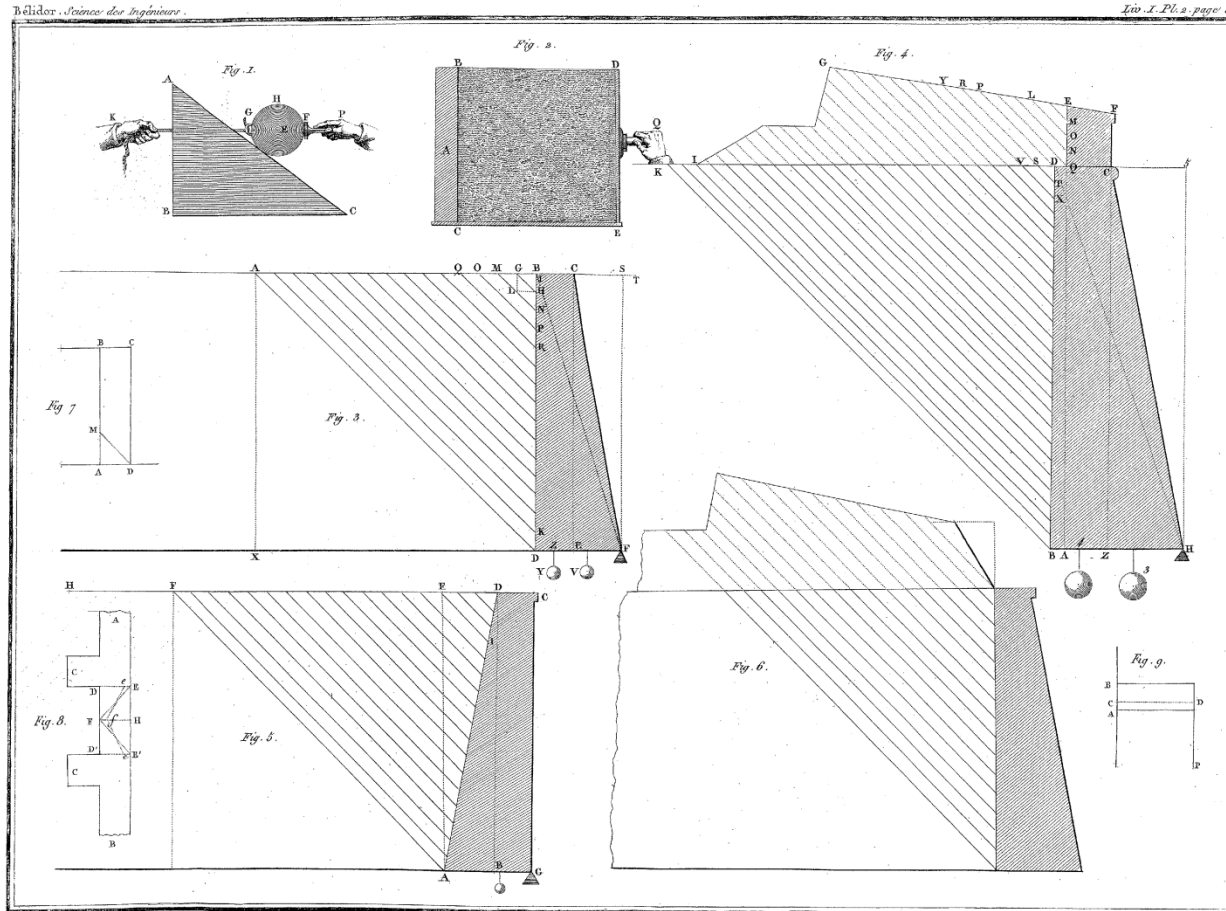
- Η «Επιστήμη των Μηχανικών» αποτελείται από 6 βιβλία.
- Στο πρώτο πραγματεύεται «Αρχές της μηχανικής εφαρμοσμένες στην έρευνα των διαστάσεων που πρέπει να δοθούν στις επενδύσεις των οχυρωματικών έργων για να μπορούν να ισορροπήσουν με την ώθηση των γαιών που πρέπει να φέρουν».
- Το δεύτερο την «Μηχανική των τόξων, την ώθηση των τόξων, τον τρόπο να καθοριστεί το μέγεθος των βάθρων τους».
- Το τρίτο είχε τίτλο : «Περί των υλικών της κατασκευής, των ιδιοτήτων τους και τον τρόπο χρησιμοποίησης τους».
- Το τέταρτο αναφέρεται στην «Κατασκευή στρατιωτικών και αστικών κτιρίων».
- Το πέμπτο ασχολείται με την «Διακόσμηση των κτιρίων , επεξήγηση των όρων που αναφέρονται στους Αρχιτεκτονικούς ρυθμούς».
- Το έκτο τέλος ασχολείται με την «Μέθοδο υπολογισμού για τις οχυρώσεις και τα βιομηχανικά κτίρια».

Το πρώτο βιβλίο της πραγματείας έχει τίτλο «Αρχές της μηχανικής εφαρμοσμένες στην έρευνα των διαστάσεων που πρέπει να δοθούν στις επενδύσεις των οχυρωματικών έργων για να μπορούν να ισορροπήσουν με την ώθηση των γαιών που πρέπει να φέρουν».



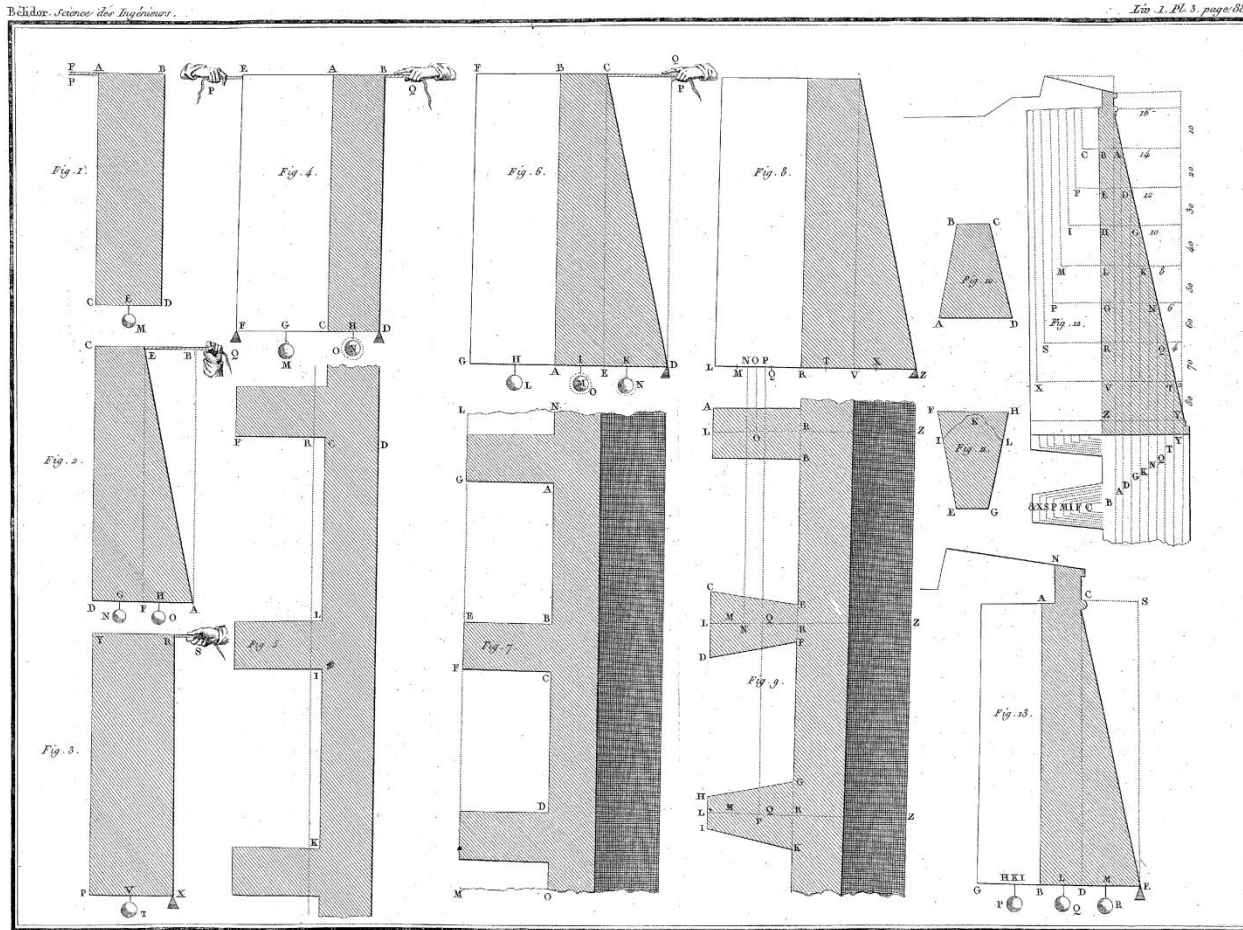
Κατ αρχήν
θυμίζει τις
αρχές
σύνθεσης των
δυνάμεων

Πρώτη προσέγγιση της ώθησης των γαιών.

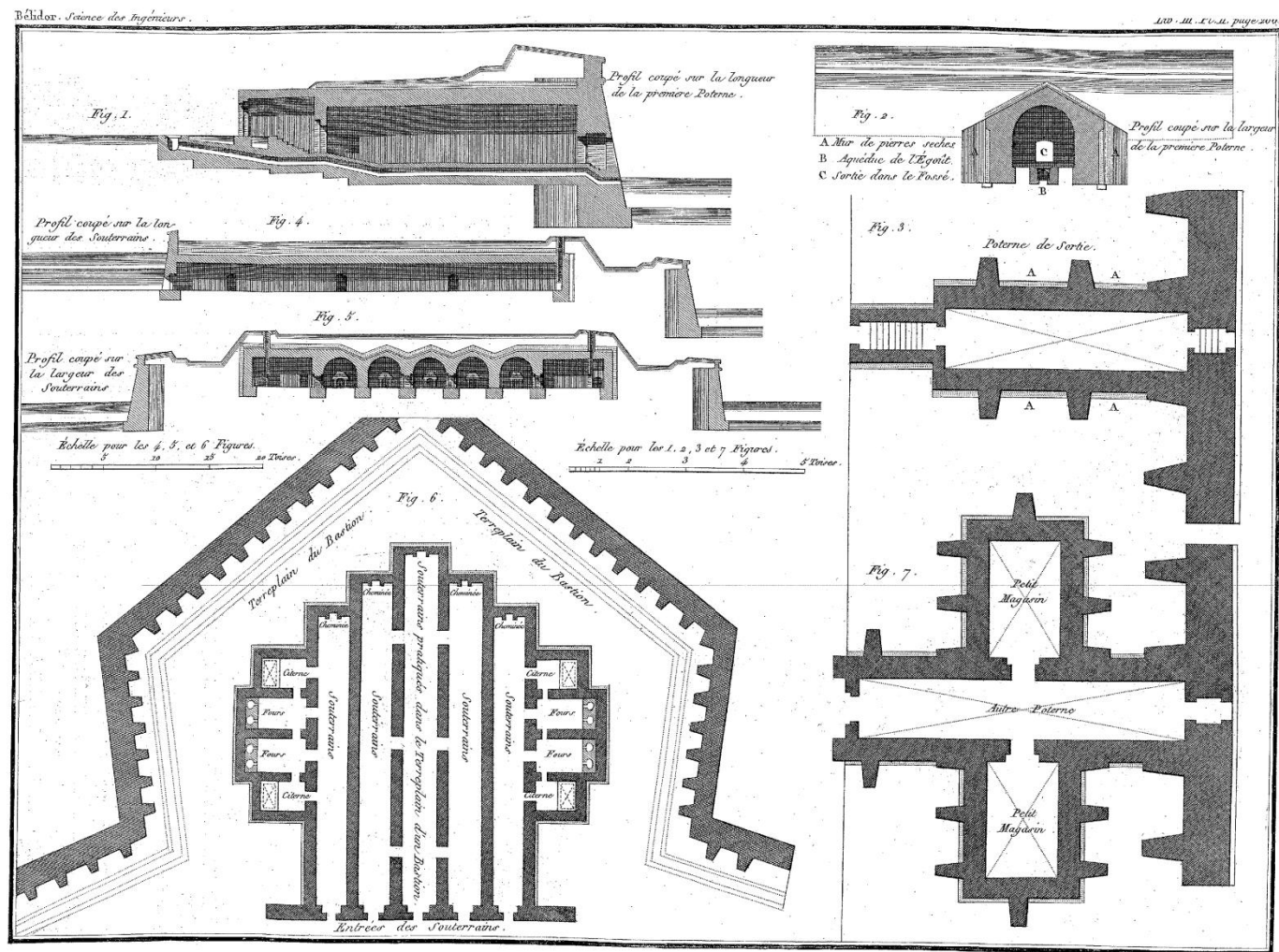


- Θεωρεί ότι η ώθηση των γαιών είναι το βάρος του διαγραμματισμένου τριγώνου που χαράσσεται με γωνία 45° επί έναν αυθαίρετο συντελεστή 0,50

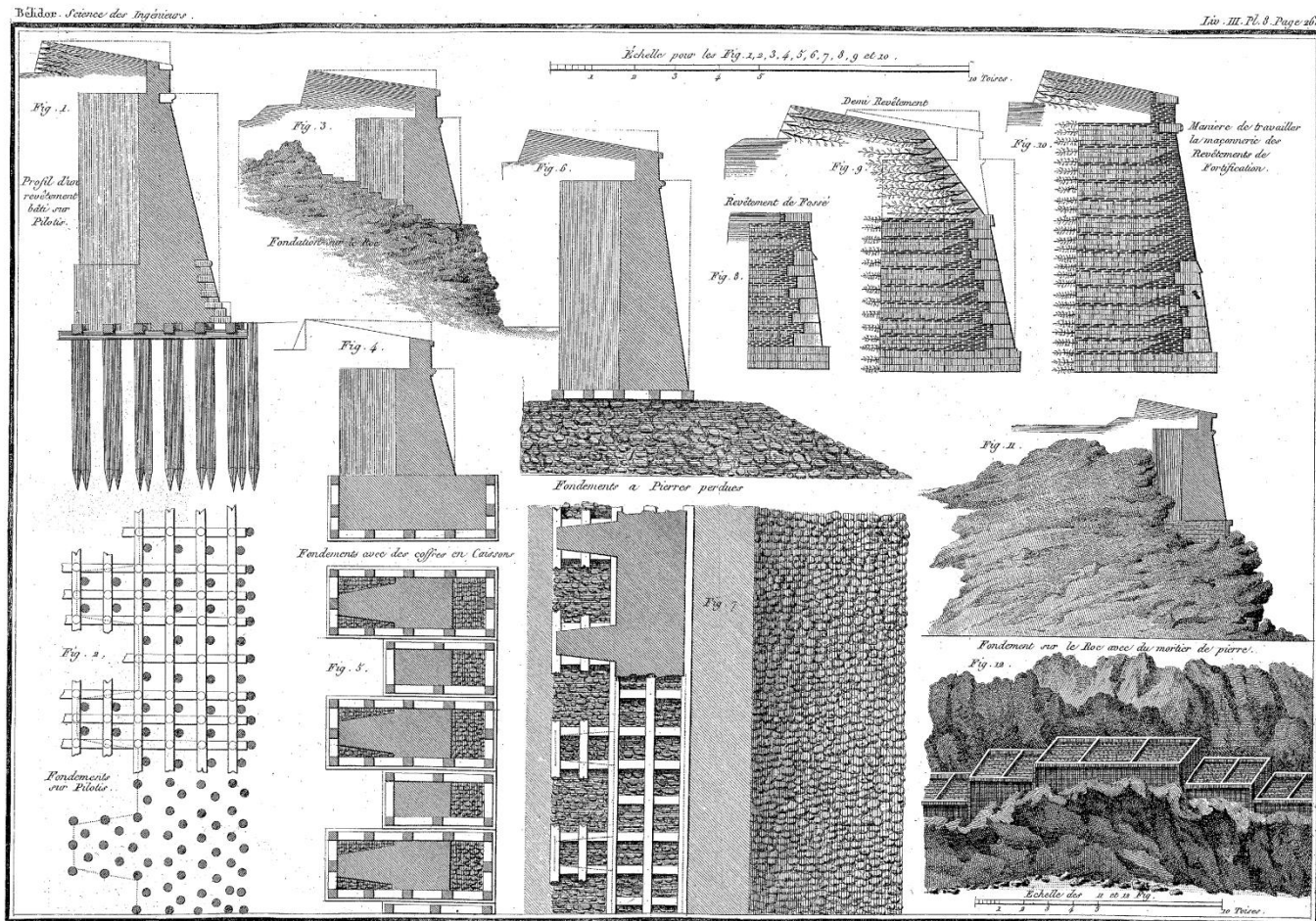
Ασχολείται με τη διάταξη και τον υπολογισμό των κρυφών αντηρίδων.
Θέτει το πρόβλημα της βελτιστοποίησης του κόστους
με την επίτευξη μικρότερου όγκου λιθοδομής.



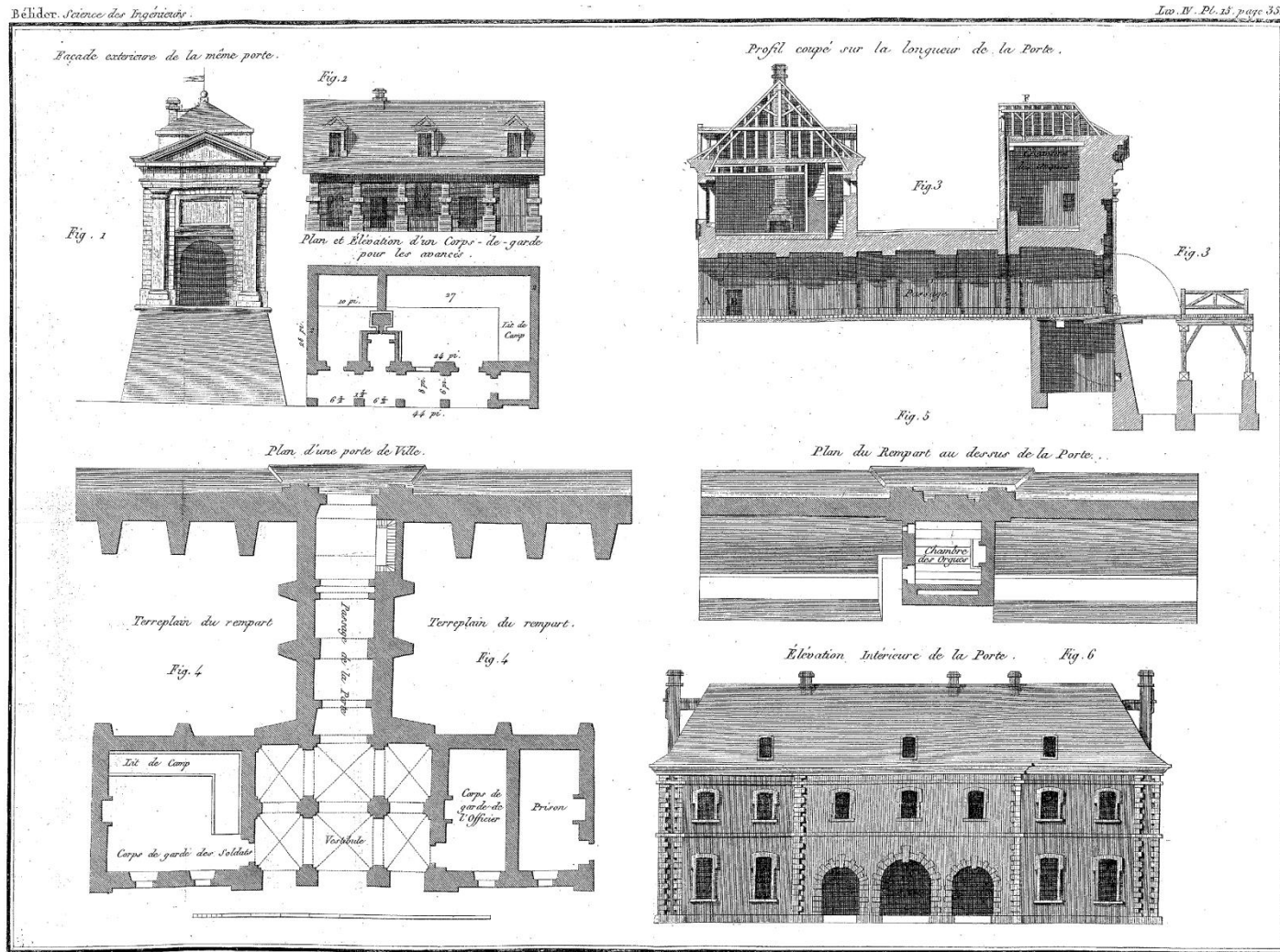
Αναλύει κατασκευαστικά παραδείγματα υπόγειων φρουριακών κατασκευών



Δίνει υποδείγματα θεμελιώσεων



Δίνει αρχιτεκτονικά υποδείγματα συνήθων φρουριακών κατασκευών

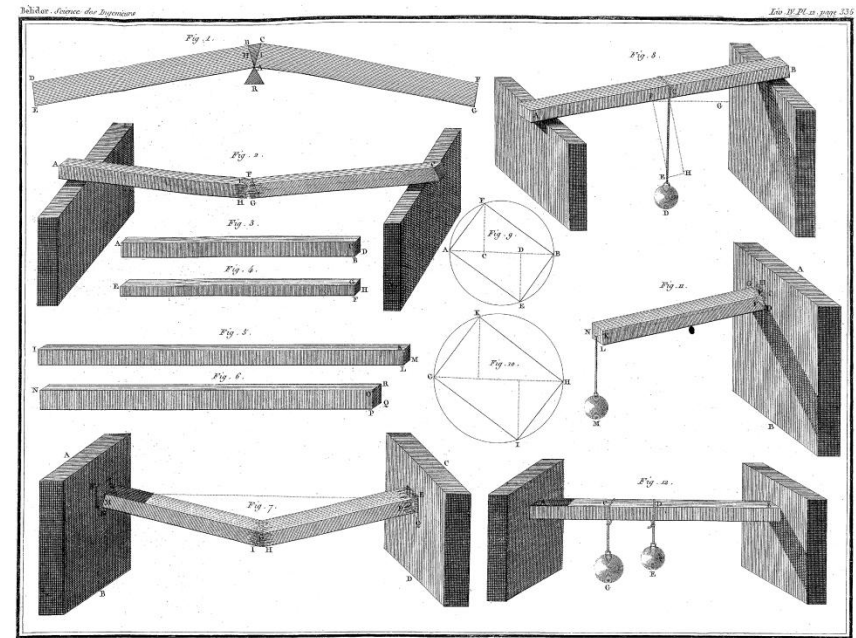
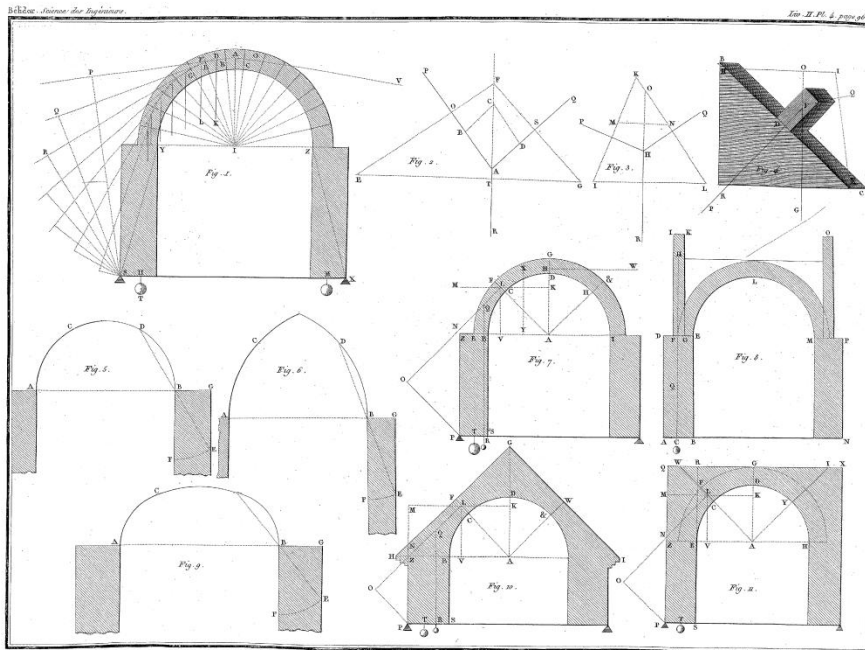


Belidor γνώσεις για μηχανικούς και όχι για επιστήμονες

- Από επιστημονική άποψη η συνεισφορά του Belidor δεν είναι τόσο σημαντική. Ωστόσο το γεγονός ότι από τον τίτλο ξεκαθαρίζει ότι μιλάμε για επιστήμη των μηχανικών είναι μια τομή στην εξέλιξη του επαγγέλματος. Είναι η πρώτη φορά που έχουμε, την αυτονόητη σήμερα, ενσωμάτωση επιστημονικών γνώσεων στην καθημερινή πρακτική των μηχανικών.
- Η μαθηματική προσέγγιση όλων των προβλημάτων του μηχανικού που πραγματεύεται, η πληθώρα των αναλυτικών σχέσεων και των πινάκων με τιμές υπολογισμού που παραθέτει, μας εισάγει ήδη στην εποχή της εκτεταμένης αντικατάστασης των κανόνων της τέχνης από τους κανόνες της επιστήμης, έστω και αν είναι πίσω σε σχέση με τις επιστημονικές γνώσεις της εποχής του .
- Και ακριβώς αυτό κάνει την πραγματεία ενδιαφέρουσα για όποιον θέλει να προσεγγίσει τις κατασκευαστικές απόψεις και την πρακτική πριν την βιομηχανική επανάσταση.

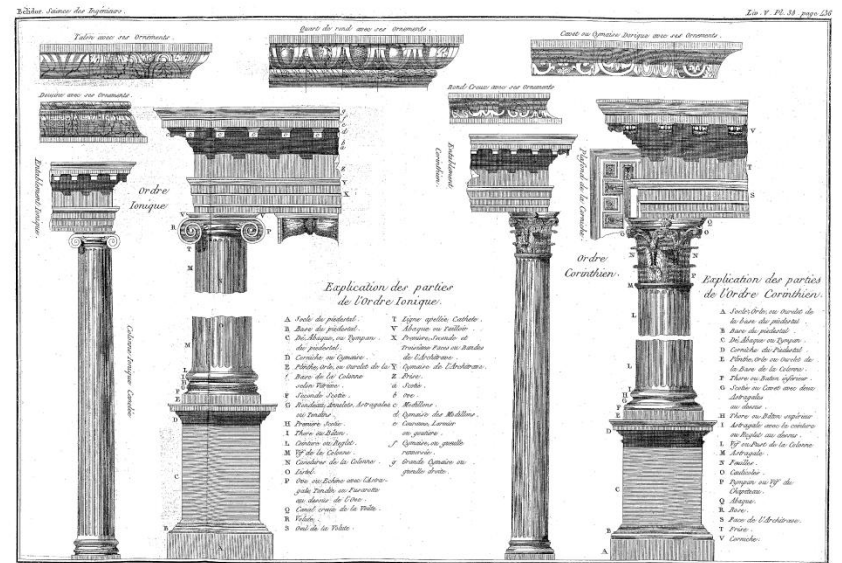
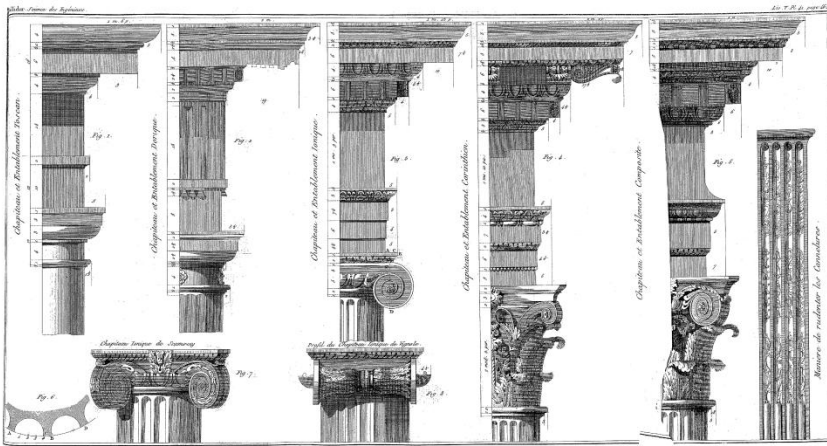
Belidor

Διαστασιολόγηση τόξων και δοκιμές αντοχής



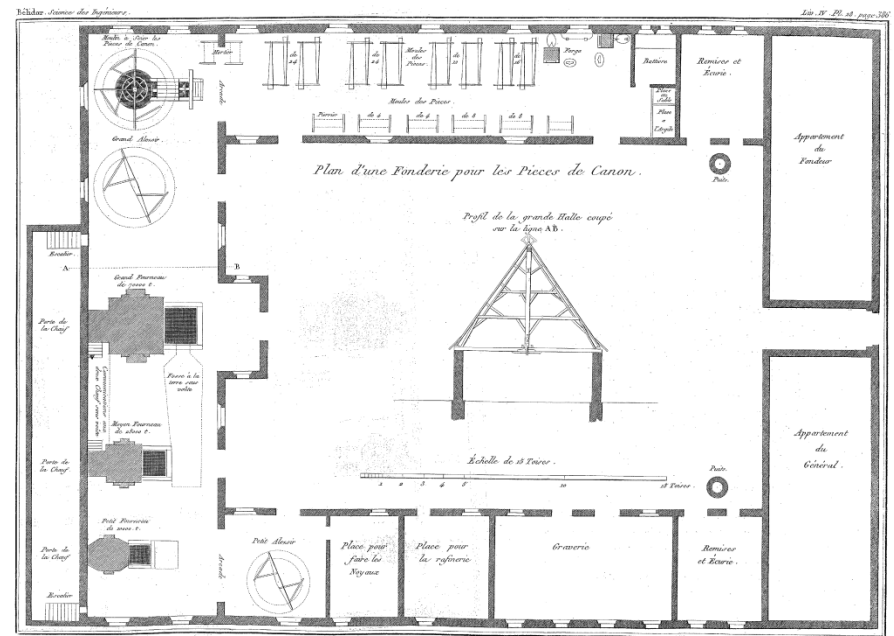
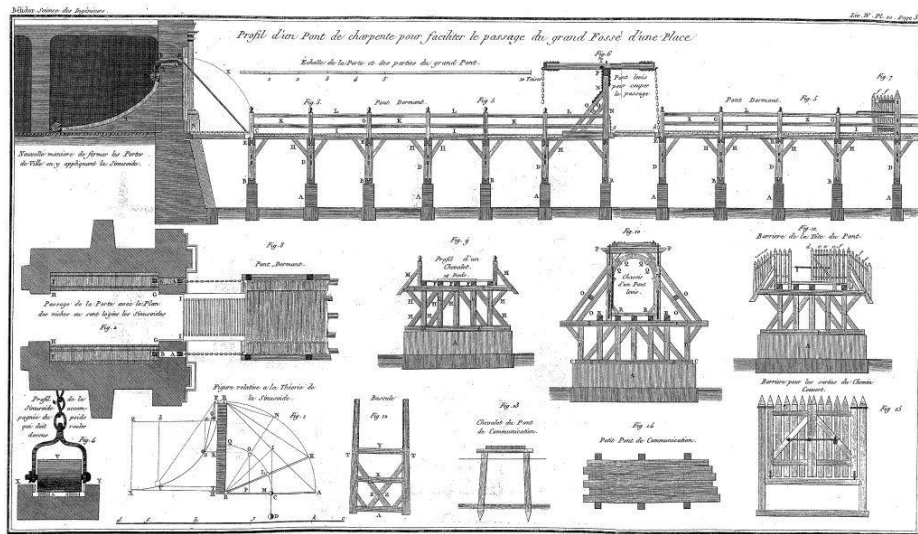
Belidor

Αρχιτεκτονικοί ρυθμοί



Belidor

υποδείγματα ξύλινης γεφύρωσης τάφρου , χυτηρίου κανονιών

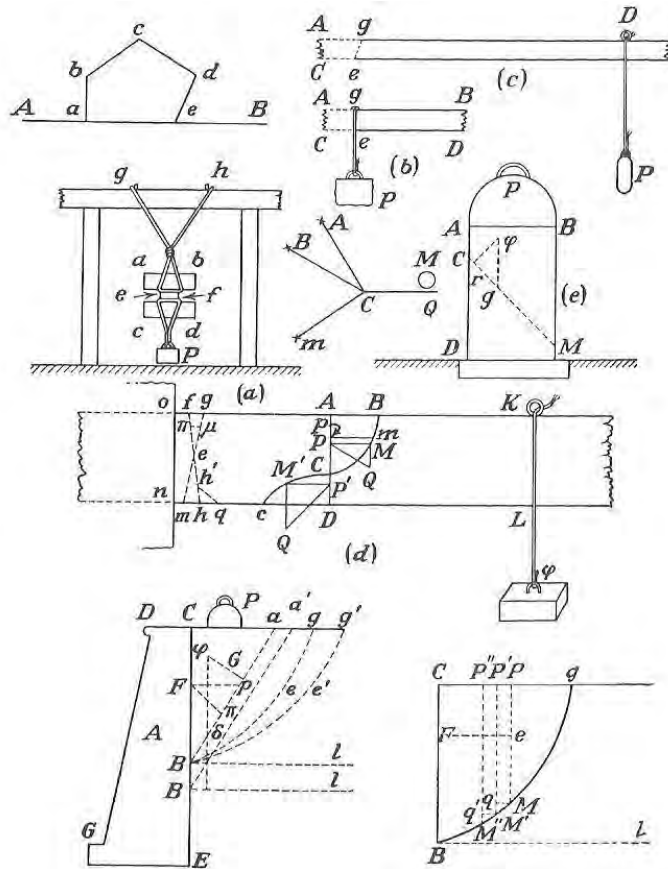


Η πρώτη επιστημονική προσέγγιση Charles Augustin Coulomb

- Καθοριστική ώθηση στην επιστημονική προσέγγιση των προβλημάτων της κατασκευής έδωσε ο πολύπλευρος επιστήμονας Charles Augustin Coulomb που ξεκίνησε την καριέρα του ως στρατιωτικός μηχανικός. Η ιδιότητά του αυτή έστρεψε και τα επιστημονικά του ενδιαφέροντα σε θέματα της καθημερινής πράξης του μηχανικού. Κανένας άλλος επιστήμονας του 18^{ου} αιώνα δεν προσέφερε τόσα πολλά στη μηχανική των ελαστικών σωμάτων.



Ο Coulomb βάζει τις βάσεις της επιστημονικής αντιμετώπισης της ώθησης γαιών, εισάγοντας τις έννοιες της γωνίας τριβής και της συνοχής



- Η βασική του συνεισφορά περιέχεται στη μελέτη του με τίτλο «Sur une application des règles de maximis et minimis a quelques problèmes de statique relatifs a l' architecture » που παρουσίασε το 1773 στην Γαλλική Ακαδημία Επιστημών. Σ' αυτό εξετάζει προβλήματα αντοχής υλικών, κάμψης δοκών και ώθησης γαιών καθώς και στρεπτικές ταλαντώσεις.

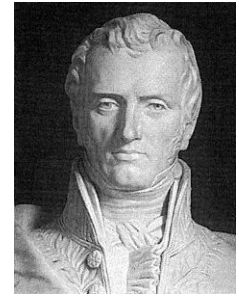
Με τον Belidor και τον Coulomb μπαίνουμε στη σύγχρονη αντιμετώπιση της επιστήμης των κατασκευών

- Οι σχέσεις που προτείνονται στη πραγματεία του Belidor δεν είναι οι τελευταίες επιστημονικές που κυκλοφορούσαν ήδη στην εποχή του. Ωστόσο συμβάλει στην μαθηματικοποίηση της πράξης του μηχανικού.
- Ο Coulomb θα φέρει το τέλος της προσέγγισης της ευστάθειας με γεωμετρικούς και εμπειρικούς κανόνες διαστασιολόγησης και την απαρχή μιας περιόδου, όπου η ευστάθεια θα αντιμετωπισθεί με βάση του φυσικούς νόμους και τις ιδιότητες αντοχής του υλικού.
- Η προσέγγιση αυτή δεν θα βρει καθαρή έκφραση παρά το 1820-1830, όπου οι μηχανικοί μπορούν πραγματικά να βασίσουν τους υπολογισμούς τους στην αντοχή των υλικών μετά τις εργασίες του Navier, Cauchy, Lamé Clapeyron.

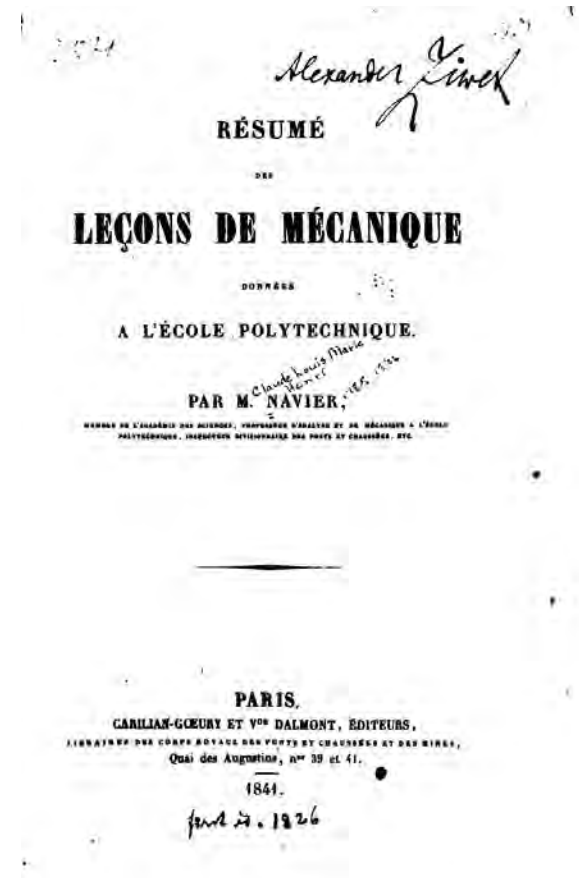
ΔΥΟ ΔΡΟΜΟΙ ΠΟΥ ΕΞΕΛΙΧΘΗΚΑΝ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ ΟΙ ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΕΣ ΣΠΟΥΔΕΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

- Σπουδές μηχανικών ξεκίνησαν από την Γαλλία. Το 1756 ιδρύεται και επισήμως η **Ecole des ponts et chaussées** και η εκπαίδευση σε αυτήν βασίζεται κυρίως στην επιμόρφωση σχεδίων και διαγωνισμών ,στις ασκήσεις πεδίου καθώς και στην αλληλοδιδασκαλία των μαθητών.
- Η σχολή αυτή μαζί με την σταδιακή παραγωγή και οργάνωση της επιστήμης του πολιτικού μηχανικού μέσω εξεχόντων μηχανικών και επιστημόνων που δίδαξαν σε αυτή, δημιουργεί για πρώτη φορά και μια **επαγγελματική ομάδα, τους μηχανικούς, με ξεχωριστή δεοντολογία και αυτοσυνείδηση διαφορετική από αυτήν του αρχιτέκτονα.**
- **Οι μηχανικοί αυτοί προορίζονται να στελεχώσουν την διοίκηση.**
- Το 1748 ιδρύεται η «Ecole royale du genie de Mezieres» που στη συνέχεια το 1795 μετά την Γαλλική Επανάσταση μετονομάζεται σε **«Ecole Polytechnique».**
- Στα μέσα του 18^{ου} αιώνα η τεχνική πρωτοπορία από επιστημονική άποψη βρίσκεται σε αυτήν με την οποία δεν λείπει και ο επαγγελματικός ανταγωνισμός των αποφοίτων της ponts et chaussées.

Η μορφή του επιστήμονα μηχανικού Claude Louis Navier



- Από όλους τους επιστήμονες που φοίτησαν στην Ecole Polytechnique και έγιναν στη συνέχεια καθηγητές της θα πρέπει να αναφέρουμε τον Luis Navier (1785-1836) για την επίδραση του στην επιστήμη των μηχανικών. Ήταν ανιψιός του μηχανικού Emiland Marie Gauthey και ασχολήθηκε νέος μαζί του με διάφορες κατασκευές.



ΔΥΟ ΔΡΟΜΟΙ ΠΟΥ ΕΞΕΛΙΧΘΗΚΑΝ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ ΟΙ ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΤΗΣ ΜΑΘΗΤΕΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΠΡΑΞΗΣ

- Η ανάπτυξη της επιστήμης των μηχανικών στην Αγγλία καθυστέρησε σημαντικά, σε αντίθεση με τα έργα των μηχανικών, στα οποία η Αγγλία απέκτησε το αναμφισβήτητο προβάδισμα στην αυγή της σύγχρονης εποχής. Δεν είναι λοιπόν περίεργο που το στοιχείο της εμπειρίας, της πρακτικής και της μαθητείας είναι τόσο ζωντανό στις Αγγλοσαξονικές χώρες. Το University College of London μόλις το 1826 πρόσθεσε μαθήματα «μηχανικής φιλοσοφίας» στα κλασσικά του μαθήματα και μερικά χρόνια μετά ακολούθησαν το King's College of London και το Glasgow University. Δεν υπήρχε λοιπόν επίσημος θεσμός για την εκπαίδευση των μηχανικών στην Αγγλία σε μια εποχή με εκπληκτικές κατασκευές και την στιγμή που η Ecole des Ponts et Chausses συμπλήρωνε περίπου 60 χρόνια λειτουργίας
- Ήταν λοιπόν φυσικό ο **θεσμός της μαθητείας**, η σχέση δασκάλου – μαθητή, όπου ο φτασμένος επαγγελματίας αναλαμβάνει μέσα από την επαγγελματική πρακτική να εκπαιδεύσει τον νέο που αποφασίζει να ακολουθήσει καριέρα μηχανικού, να είναι ο μοναδικός διαθέσιμος τρόπος παιδείας των Άγγλων μηχανικών. Και το γεγονός αυτό μαζί με την απουσία οποιασδήποτε κρατικής «προστασίας» ή αναγνώρισης του επαγγέλματος σφράγισε την ταυτότητα του Αγγλικού Συστήματος.

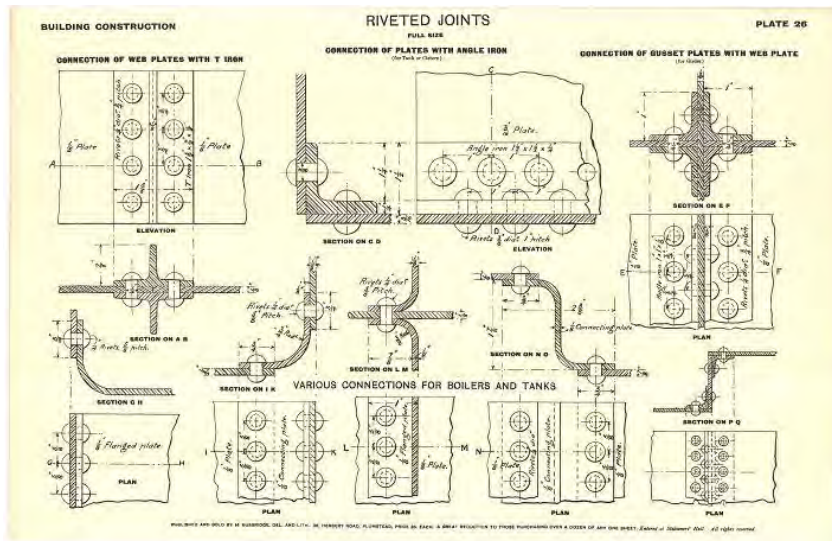
John Smeaton

Ο πρώτος ελεύθερος επαγγελματίας πολιτικός μηχανικός

- Όταν το 1768 ο John Smeaton ονόμασε τον εαυτό του «πολιτικό μηχανικό» έκανε κάτι περισσότερο από το να διαφοροποιήσει τον εαυτό του και τους συνεργάτες του από τους Στρατιωτικούς μηχανικούς. **Στην ουσία έδινε ταυτότητα σε ένα νέο επάγγελμα – εκείνο του πολιτικού μηχανικού.**
- Ο ίδιος ξεκίνησε σαν κατασκευαστής οργάνων και διδάχτηκε τόσο από τους εμπειροτέχνες που κατασκεύαζαν υδρόμυλους όσο και από τους χτίστες. Πέρα από τις διάφορες κατασκευές που σχεδίαζε, παρουσίασε στην Royal Society ένα υπόμνημα βασισμένο σε πειράματα επτά ετών πάνω στην ισχύ και την απόδοση των ανεμόμυλων και των υδραυλικών τροχών.



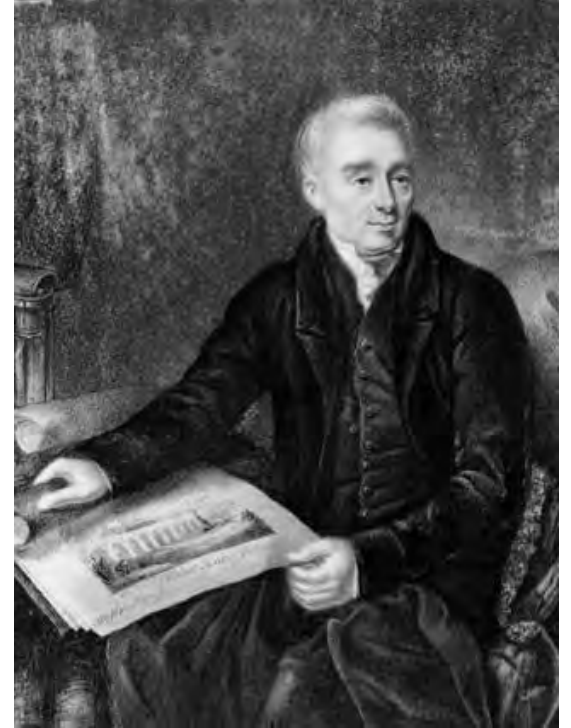
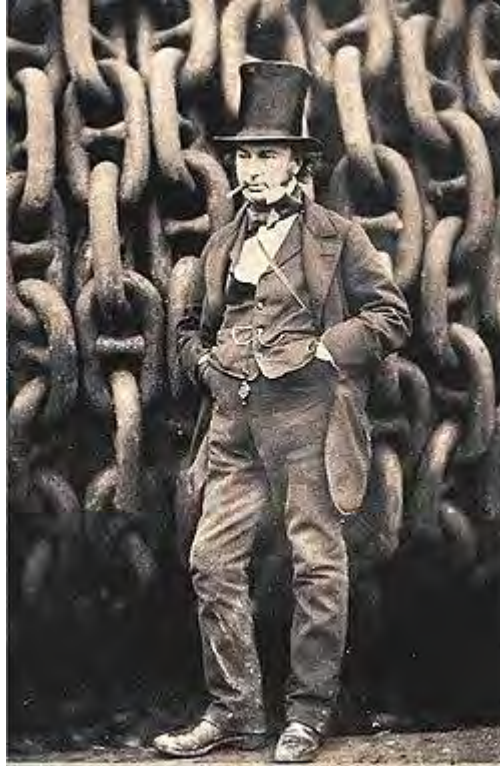
Η βιομηχανική παραγωγή του σιδήρου και του χάλυβα δημιούργησε ένα νέο κατασκευαστικό πεδίο. Οι πολιτικοί μηχανικοί αναγνώρισαν τις δυνατότητες του υλικού και δημιούργησαν νέες αρχιτεκτονικές μορφές σε μια εποχή που οι αρχιτέκτονες ήταν προσκολλημένοι στους κλασικούς ρυθμούς..



Ο σιδηρόδρομος και οι Διεθνείς βιομηχανικές Εκθέσεις έδωσαν σημαντική ώθηση στην επιστήμη των κατασκευών θέτοντας νέα προβλήματα προς επίλυση. Αύξηση φορτίων, λυγισμός κοίλων διατομών, συνδέσεις, κόπωση κλπ. Η κατασκευή της Britannia το 1845 από τον Stephenson υπήρξε αφορμή για σοβαρή θεωρητική και πειραματική έρευνα. Jourawski, Clapeyron, Fairbairn και Hodgkinson



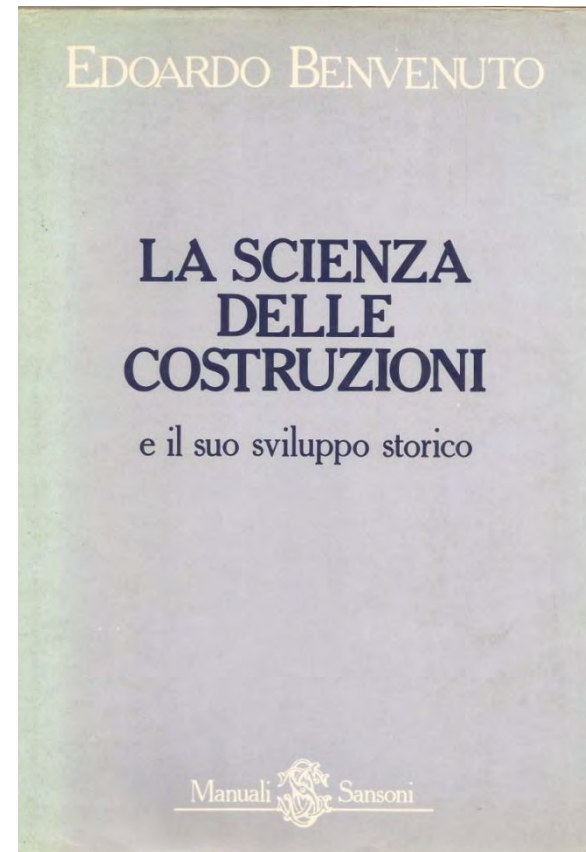
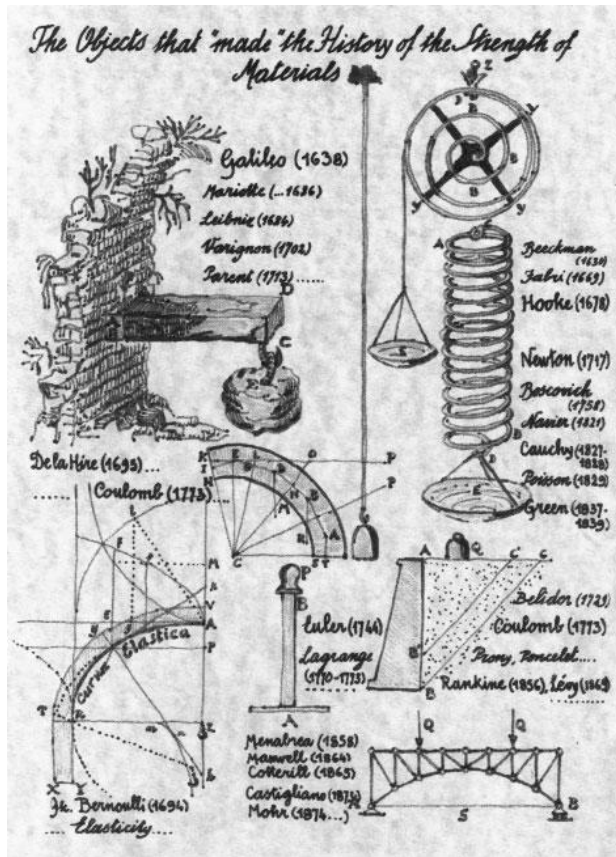
Η βιομηχανική επανάσταση ήταν η ηρωική εποχή των πολιτικών μηχανικών.



ΑΝΘΗΣΗ ΤΗΣ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

EDOARDO BENVENUTO

historical study of the theory of structures 1981



KARL-EUGEN KURRER

The history of the theory of Structures 2008

Σχηματοποίηση της εξέλιξης

- **Προπαρασκευαστική περίοδος 1575-1825:** Ο σχεδιασμός κυριαρχείται από γεωμετρικούς κανόνες. Πρώτα πειράματα αντοχής υλικών, ανάπτυξη του λογισμού, στρατιωτικές σχολές, Belidor, Coulomb, στατική του στερεού σώματος.
- **Μορφοποίηση του επιστημονικού κλάδου 1825-1900:** Η θεωρία των κατασκευών αναπτύσσεται μέσω της θεωρίας της ελαστικότητας, Navier , Mohr , Maxwell, Castigliano...μορφοσίδηρος, σιδηρόδρομος, γεφυροποιία, γραφοστατική, βέλτιστη χρήση του υλικού, υπερστατικοί φορείς , αρχή δυνατών έργων.
- **Περίοδος Σταθεροποίησης 1900-1950 :** ανάπτυξη οπλισμένου σκυροδέματος, μέθοδος μετακινήσεων, βελτιστοποίηση υπολογιστικών μεθόδων, γραμμική άλγεβρα, μέθοδος Cross, θεωρία κελυφών, ανάπτυξη μεθόδου μετακινήσεων, μη γραμμικά φαινόμενα, πλαστικότητα ...
- **Περίοδος Ολοκλήρωσης 1950-σήμερα** Η εμφάνιση του υπολογιστή αλλάζει τελείως τα δεδομένα οι κατασκευές γίνονται μέρος της υπολογιστικής μηχανικής, αναπτύσσεται η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων αρχικά στην αεροναυτική και γενικεύεται στην συνέχεια για όλες τις κατασκευές. Εισάγονται δυναμικές θεωρήσεις, αλληλεπίδραση εδάφους- κατασκευής, μη γραμμικά φαινόμενα κυκλικές φορτίσεις....

Από τον εμπειρικό σχεδιασμό στα Συστήματα CAD και BIM

- Ο υπολογιστής άλλαξε τελείως τον τρόπο δουλειάς μας τα τελευταία χρόνια, ο **υπολογιστικός φόρτος** που ήταν το βασικό πρόβλημα των μηχανικών μέχρι πριν 40 χρόνια έπαψε να είναι πρόβλημα. Η στατική ανάλυση είναι απλώς ένα βήμα του λογισμικού για πολιτικούς μηχανικούς που **μορφοποιεί, υπολογίζει, διαστασιολογεί, σχεδιάζει και προμετρά.**
- Ωστόσο ο υπολογιστής προς το παρόν δουλεύει με τα δεδομένα που τον τροφοδοτούμε. Είναι λοιπόν φανερό ότι ο χειρισμός του χρειάζεται μηχανικούς με **ευρεία γνώση των αρχών της μηχανικής**, της θεωρίας και των παραδοχών που βασίζονται οι υπολογιστικές μέθοδοι, και φυσικά η ικανότητα να κρίνουν τα αποτελέσματα της ανάλυσης.
- Από την μικρή ιστορική μας ανασκόπηση είναι φανερό ότι πολύ μικρό χρονικό διάστημα οι μηχανικοί σχεδιάζουν με **αναλυτικούς κανόνες**. Έχουν προηγηθεί αιώνες που σχεδιάζαμε με βάση **εμπειρικούς κανόνες** και ίσως η πλειοψηφία των υπαρχόντων δομημάτων έχουν συλληφθεί με αυτούς.
- Η υποτίμηση αυτής της προσέγγισης και η αγνόηση της ως απλοϊκής υπό το πρίσμα των σημερινών γνώσεων, είναι πιστεύουμε λανθασμένη. Αν σκοπός κάθε δομοστατικής θεωρίας είναι ο σχεδιασμός και η κατασκευή ασφαλών δομημάτων, τότε η παραδοσιακή προσέγγιση έχει αποδείξει τις αναμφισβήτητες αρετές της. Η επιβίωση των μνημειακών κατασκευών είναι η καλύτερη απόδειξη του επιτυχούς (ασφαλούς) σχεδιασμού τους και αυτό που θα ήταν πράγματι αφελές είναι να θεωρήσουμε ότι όλες αυτές οι κατασκευές είναι τυχαία αποτελέσματα φτιαγμένα από αδαείς τεχνίτες και μηχανικούς.

Μερικές παρατηρήσεις στα πρόσφατα κανονιστικά κείμενα

- Θυμίζω την έντονη κριτική που δέχθηκε η υιοθέτηση της εισόδου των κατασκευών μας στην πλαστική περιοχή υπό τον σεισμό σχεδιασμού που αποδεχθήκαμε με τους τελευταίους κανονισμούς. Πράγματι η κοινή γνώμη, όπως εκφράζεται και με τις αποφάσεις των δικαστηρίων, έχει άλλη άποψη για την αντισεισμική ασφάλεια. Οι πολιτικοί μηχανικοί επιφορτίστηκαν ευθύνες που δεν τους ανήκουν. Φοβάμαι ότι μπήκαμε στην περιοχή του θεού. (act of God)
- Οι επεμβάσεις σε υπάρχουσες κατασκευές γίνονται ένα ολοένα και πιο σημαντικό αντικείμενο απασχόλησης των πολιτικών μηχανικών. Ο ΚΑΝ.ΕΠΕ εισάγει σωστές έννοιες. Στάθμη αξιοπιστίας δεδομένων, στάθμες επιτελεστικότητας και συναρτά τις υπολογιστικές μεθόδους από τον βαθμό γνώσης της υπάρχουσας κατασκευής.
- Ιδιαίτερο αντικείμενο οι μνημειακές κατασκευές. Η προσπάθεια στατικής ανάλυσης, με τους σημερινούς κανόνες της επιστήμης, των ιστορικών κατασκευών που έχουν σχεδιαστεί με τους κανόνες της τέχνης και κατασκευαστεί με υλικά μη «βιομηχανικού» τύπου, συναντά σοβαρά προβλήματα. Συχνά ακόμα και η “ανάγνωση” του στατικού φορέα μέσα στο μνημείο είναι δυσχερής, ενώ τα προβλήματα προσομοίωσης, κυρίως των ιδιοτήτων του υλικού, σοβαρά.

Πραγματική κατασκευή —ιδεατό αναλυτικό μοντέλο

Βασικές υπομνήσεις από την Αντοχή των Υλικών

Γεωργικόπουλος 1949

Ἐν τούτοις κοινὴ εἰς ὅλας τὰς περιπτώσεις θὰ εἶναι ἡ παραδοχὴ ὅτι ὁ ὑπὸ τοῦ σώματος κατεχόμενος χώρος πληροῦται ἐξ ὑλικοῦ κατὰ τρόπον συνεχῆ. Αὕτη δὲν ἀποτελεῖ ἰσχυρισμὸν ἐπὶ τῆς δομῆς τῆς ὕλης εἰς τὰ ἐλάχιστα αὐτῆς μέρη. Ἐχει ἀπλῶς τὸ νόημα τῆς ἐπὶ ἀπεριορίστως μικρῶν τμημάτων προσεκβολῆς παρατηρήσεων γινομένων ἐπὶ τμημάτων πεπερασμένων, ἐπὶ τῷ τέλει ὅπως αἱ μέθοδοι τοῦ ἀπειροστικοῦ λογισμοῦ ἐφαρμοσθῶν πρὸς ἀνίχνευσιν καταστάσεων μεταβαλλομένων ἀπὸ θέσεως εἰς θέσιν ἐντὸς τοῦ σώματος.

2. Ἡ Ἀντοχὴ τῶν ὑλικῶν καθὼς καὶ ἡ Θεωρία τῆς ἐλαστικότητος ἀναφέρονται εἰς σώματα ὑποκείμενα εἰς μεταβολὰς σχήματος πολὺ μικράς. Πρὸς χαρακτηρισμὸν δὲ τῶν ἐσωτερικῶν δυνάμεων βασιζονται ἀμφοτέραι εἰς τὸν νόμον τῆς ἀναλογίας, ἐξαγγελθέντα ἐν ἔτει 1678 ὑπὸ τοῦ R. Hooke ὑπὸ τὴν ἐπιγραμματικὴν διατύπωσιν: *ut tensio, sic vis*, καὶ τὸν ὅποιον δυνάμεθα νὰ διατυπώσωμεν τώρα ὡς ἀκολούθως:

Σχέσεις ὁμογενεῖς γραμμικαὶ συνδέουν τὰς παραμέτρους, αἵτινες εἰς τινὰ θέσιν τοῦ σώματος ἐκφράζουν τὴν ἔντασιν, πρὸς ἐκείνας αἵτινες ἐκφράζουν ἐκεῖ τὴν ἐλαστικὴν του παραμόρφωσιν.

μακρὰν ὁ κίνδυνος οὗτος εὐρίσκεται κ.ο.κ.

3. Ἐπεξεργαζομένη τὰς συνεπείας τοῦ νόμου τοῦ Hooke ἡ μαθηματικὴ θεωρία τῆς ἐλαστικότητος ἄγει μὲ αὐστηρὰν λογικὴν καὶ ἐνότητα εἰς πορίσματα ὅχι μόνον διὰ τὴν Τεχνικὴν ἀλλὰ καὶ διὰ τὴν καθόλου Φυσικὴν γνῶσιν σημαντικά. Ἄλλ' ἡ μαθηματικὴ ἐπεξεργασία εἶναι εἰς τὰς περισσοτέρας περιπτώσεις ἐξαιρετικὰ δυσπρόσιτος καὶ ὡς ἐκ τούτου μεγάλου πρακτικοῦ ἐνδιαφέροντος προβλήματα θὰ παρέμενον ἄνευ ἀπαντήσεως. Ἡ Τεχνικὴ ὑποχρεουμένη καὶ τότε νὰ ἐξευρίσκη λύσεις καταφεύγει εἰς ἄλλας εἰδικωτέρας παραδοχάς. Λογικῶς βέβαια ἡ συνύπαρξις περισσοτέρων παραδοχῶν δὲν αἰτιολογεῖται, ὅταν μία ἐξ αὐτῶν, ὁ νόμος τῆς ἀναλογίας, ἀρκεῖ, ὡς πρὸ μικροῦ εἵπομεν, διὰ τὴν διατύπωσιν τοῦ πλήρους συστήματος ἐξισώσεων. Ἐνδέχεται ἡ εἰδικωτέρα παραδοχὴ νὰ ἀποδειχθῇ ἀπλῆ ἀπόρροια τοῦ νόμου τῆς ἀναλογίας ἀλλὰ δὲν ἀποκλείεται καὶ τὸ ἀντίθετον, νὰ ἀποκλίνη αὐτοῦ. Ὑπάρχει λοιπὸν εἰς τὴν διδασκαλίαν τῆς Ἀντοχῆς τὸ μειονέκτημα κάποιας λογικῆς ἀσυνεπείας. Εἰς ἀντιστάθμισμα προσάγεται ὑπὲρ τῶν εἰδι-

4. Ἡ εἰκὼν τοῦ συμπαγοῦς σώματος τοῦ ἀκολουθοῦντος τὸν νόμον τῆς ἀναλογίας εἶναι καὶ αὕτη εἰκὼν ἰδεατὴ, μὲ τὴν ὁποίαν ἐπιδιώκομεν νὰ προσεγγίσωμεν τὴν πραγματικότητα εἰς περιπτώσεις, καθ' ἃς ἡ τοῦ ἀπολύτως στερεοῦ ἀποδεικνύεται ἀνεπαρκής. Δὲν εἴμεθα τῷ ὄντι εἰς θέσιν νὰ ἀντιληφθῶμεν καὶ νὰ ἐκφράσωμεν τὴν πραγματικότητα παρὰ μὲ εἰκόνας ὁλονὲν περισσότερον καὶ τρόπον τινὰ ἀσυμπτωτικῶς προσαρμολογούμενας πρὸς αὐτήν.

Η ψηφιοποίηση του επαγγελματικού μας περιβάλλοντος είναι μονόδρομος. Καλό είναι να γνωρίζουμε τις προϋποθέσεις και τα όρια της.

- Χρονικά πιστεύω ότι βρισκόμαστε σε μια μεταβατική περίοδο που η αρχική αβασάνιστη εμπιστοσύνη στην αναλυτικές δυνατότητες των υπολογιστών έχει αρχίσει να υποχωρεί. Η υπερεκτίμηση των νέων δυνατοτήτων που μας προσέφεραν οι υπολογιστές και τα προγράμματα που έγιναν προσιτά στον μέσο μηχανικό, χωρίς να εξασφαλίζονται οι προϋποθέσεις σωστής χρήσης τους, αντιμετωπίζονται με όλο και περισσότερο σκεπτικισμό πράγμα που είναι σημάδι ωριμότητας.
- Βέβαια θα ήταν εξ' ίσου λάθος και ανώφελο να αρνηθούμε τις δυνατότητες που μας ανοίγουν τα νέα αναλυτικά εργαλεία υπό τον όρο να έχουμε επίγνωση των προϋποθέσεων και των ορίων που θέτει η σχετική υστέρηση αξιόπιστων πειραματικών δεδομένων για την τροφοδότηση τους στις διάφορες περιπτώσεις πραγματικών κατασκευών.
- Μια πιο ισορροπημένη προσέγγιση θα ήταν νομίζουμε η ταυτόχρονη χρήση παραδοσιακών και σύγχρονων μεθόδων ανάλυσης για την αντιμετώπιση των μνημειακών κατασκευών και η συγκριτική αξιολόγηση, έστω και ποιοτική, των αποτελεσμάτων.
- Στο τέλος της ανάλυσης ο μηχανικός θα πρέπει να συνθέσει όλα τα δεδομένα . Και εδώ η κρίση του (**engineering judgment**) είναι καθοριστική.

Στο άμεσο μέλλον το επαγγελματικό μας περιβάλλον θα είναι ολοένα και πιο ψηφιακό (BIM), θα είναι παγκόσμιο και ο σχεδιασμός πρέπει να βασίζεται στην βιωσιμότητα και τον συνολικό χρόνο ζωής

- Traditional building design was largely reliant upon two-dimensional technical drawings (plans, elevations, sections, etc.). Building information modeling extends this beyond 3D, augmenting the three primary spatial dimensions (width, height and depth) with time as the fourth dimension (4D) and cost as the fifth (5D). BIM therefore covers more than just geometry. It also covers spatial relationships, light analysis, geographic information, and quantities and properties of building components (for example, manufacturers' details).
- For the professionals involved in a project, BIM enables a virtual information model to be handed from the design team (architects, landscape architects, surveyors, civil, structural and building services engineers, etc.) to the main contractor and subcontractors and then on to the owner/operator; each professional adds discipline-specific data to the single shared model. This reduces information losses that traditionally occurred when a new team takes 'ownership' of the project, and provides more extensive information to owners of complex structures.

Σαν συμπέρασμα

- Το σύνθετο αυτό περιβάλλον απαιτεί κατά κανόνα την διεύρυνση του δομοστατικού μελετητικού υποκειμένου από το ατομικό στο συλλογικό επίπεδο. Η βαθειά γνώση των αρχών της μηχανικής, της ιστορίας των κατασκευών και η πολύχρονη επαγγελματική εμπειρία είναι απαραίτητες προϋποθέσεις για τον μηχανικό που καλείται να συλλάβει μια κατασκευή μέσα στο σύγχρονο απαιτητικό κόσμο. Από την άλλη ο χρόνος που απαιτείται για την σωστή εκμάθηση του μέσου γενικού προγράμματος δομικής ανάλυσης είναι πολύ μεγάλος και στην ουσία απαιτεί συνεχή ενασχόληση με αυτό.
- Αυτό ενέχει τον κίνδυνο ατόνησης άλλων βασικών δεξιοτήτων του μηχανικού, όπως η δυνατότητα σύλληψης, η φυσική αίσθηση των πραγμάτων, και η ικανότητα προσέγγισης της τάξεως μεγέθους των κρίσιμων μεγεθών με απλούς και σύντομους υπολογισμούς. Ίσως θα πρέπει να δεχθούμε την αγγλοσαξονική διάκριση ανάμεσα σε designer και analyst στα πλαίσια της στατικής ομάδας με ότι αυτό συνεπάγεται σε δεοντολογικό και επαγγελματικό επίπεδο.
- Σε κάθε περίπτωση το engineering design είναι πια μια συλλογική υπόθεση.