

Η τεχνική χρειάζεται την επιστήμη;*

1. Εισαγωγή

Πιστεύω ότι αρχικά η απάντηση πρέπει να είναι «ναι». Υπήρξαν όμως προεπιστημονικοί πολιτισμοί όπου η τεχνική είχε εξελιχθεί σε υψηλό βαθμό (π.χ. οι Αιγύπτιοι έχτισαν τις πυραμίδες και διευθέτησαν τις πλημμύρες του Νείλου). Από την άλλη μεριά, στη σημερινή επιστημονική εποχή μας πολλές τεχνικές ενασχολήσεις δεν έχουν καμιά επιστημονική βάση ή περιεχόμενο. Αυτό παρατηρείται όχι μόνο σε καθημερινές εργασίες μηχανικών αλλά και σε πιο σημαντικά τεχνικά έργα. Έτσι λοιπόν η απάντηση στο παραπάνω ερώτημα θα πρέπει να είναι «όχι». Χρειάζονται λοιπόν ορισμένες διευκρινίσεις. Προκειμένου να προβούμε σ' αυτές, θα πρέπει πρώτα να ορίσουμε τι είναι επιστήμη και τι είναι τεχνική.

2. Ορισμός της τεχνικής

Υποθέτοντας ότι οι αναγνώστες είναι εξοικειωμένοι με την τεχνική θα παρουσιάσω μόνο έναν σύντομο ορισμό. Σύμφωνα με την *American Peoples Encyclopaedia* η τεχνική «...εφαρμόζει την επιστημονική γνώση σε πρακτικά προβλήματα σχεδιασμού, λειτουργίας και συντήρησης κατασκευών, συσκευών και υπηρεσιών». Σύμφωνα με αυτό τον ορισμό το περιεχόμενο και ο σκοπός της τεχνικής είναι στην ουσία του πρακτικά και η επιστήμη έμμεσα είναι χρειαζόμενη. Έτσι λοιπόν φαίνεται πάλι ότι η απάντηση στο αρχικό ερώτημα είναι «ναι».

3. Ορισμός της επιστήμης

Μια χοντρική αντίληψη για την επιστημονική γνώση αποδίδει την ίδια αξία σε μια σειρά από επιστήμες που χαρακτηρίζονται από ένα ειδικό αντικείμενο: χημεία, ορνιθολογία, μαθηματικά, τριχολογία, πληροφορική. Σύμφωνα με αυτή την αντίληψη ένα γνωστικό πε-

Ο Carlo Viggiani είναι από το 1975 καθηγητής Γεωτεχνικών Έργων στο πανεπιστήμιο Federico II της Νεάπολης, το αρχαιότερο της Ιταλίας.

* Η ομιλία του, που δημοσιεύεται εδώ σε μετάφραση του Δ. Κολύμβα, δόθηκε στα πλαίσια μιας Euroconference, που διοργάνωσε ο καθηγητής του πανεπιστημίου του Innsbruck Δημήτρης Κολύμβας σε συνεργασία με το Πολιτιστικό Ίδρυμα Γ. Αγγελίνη - Πίας Χατζηνίκου¹ στο χωριό Χόρτο του Πηλίου τον Ιούνιο του 1999.

δίο μαζί με ένα όνομα (συνήθως παρμένο από τα αρχαία ελληνικά) αρκούν για να προσδιορίσουν μιαν επιστήμη, η οποία έτσι κατανοείται σαν ένα δοχείο που περιέχει όλες τις αλήθειες που αναφέρονται στο ειδικό αυτό πεδίο. Μερικές φορές μάλιστα αρκεί το όνομα χωρίς αντίστοιχο περιεχόμενο, όπως, π.χ., παραψυχολογία ή ουφολογία. Σύμφωνα μ' αυτή την αντίληψη η ιστορία της επιστήμης δεν είναι παρά το άθροισμα των ιστοριών όλων των εν μέρει επιστημών, οι οποίες κατανοούνται σαν ένας χρονολογικός κατάλογος των γνωστικών επιτευγμάτων στο εν λόγω πεδίο. Παρ' όλα αυτά αυτή η απλή ιδέα ότι η επιστήμη είναι ένα άθροισμα από γνώσεις δεν ευσταθεί, γιατί τότε ο τηλεφωνικός κατάλογος μιας πόλης θα μπορούσε να εκληφθεί σαν επιστημονική πραγματεία. Όπως είτε ο Ανρί Πουανκαρέ, η επιστήμη χτίζεται με στοιχεία όπως ένα σπίτι χτίζεται με πέτρες. Αλλά μια συλλογή από στοιχεία δεν είναι επιστήμη, όπως ένας σωρός από πέτρες δεν είναι σπίτι. Μεταξύ άλλων η παραπάνω ιδέα έχει σαν συνεπακόλουθο ότι μια ξεπερασμένη «θεωρία» δεν είναι πια επιστημονική. Και όμως, ένας ικανοποιητικός ορισμός της επιστήμης θα έπρεπε να βολέψει διάφορα επιστημονικά παραδείγματα που αντιφάσκουν, όπως, π.χ., τη νευτώνεια μηχανική και τη θεωρία της σχετικότητας. Μπορούμε να αναζητήσουμε έναν λειτουργικό ορισμό της επιστήμης στην επιστημονική μέθοδο. Μια επιστημονική θεωρία όπως η θερμοδυναμική ή η ευκλείδεια γεωμετρία έχουν τρία βασικά στοιχεία:

- Δε θεωρούν πραγματικά αντικείμενα αλλά αφηρημένες έννοιες που είναι ειδικές σε κάθε θεωρία. Π.χ., η ευκλείδεια γεωμετρία έχει να κάνει με γωνίες, τόξα κ.λπ., η θερμοδυναμική με θερμότητα, εντροπία κ.λπ. Όλα αυτά είναι πράγματα που δεν υπάρχουν στη φύση.
- Η δομή μιας θεωρίας είναι αυστηρά παραγωγική. Αποτελείται από έναν μικρό αριθμό αξιωμάτων ή αρχών στα οποία περιέχονται οι παραπάνω έννοιες, και μια γενικά παραδεκτή μέθοδο που επιτρέπει να παράγουμε από τα αξιώματα έναν άπειρο αριθμό συμπερασμάτων. Έτσι, λοιπόν, μπορεί να λυθούν προβλήματα μέσα στο πλαίσιο μιας θεωρίας κατά τρόπο που είναι γενικά παραδεκτός στους επιστήμονες. Κατ' αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η αλήθεια των επιστημονικών συμπερασμάτων.
- Η εφαρμογή μιας θεωρίας στην πραγματικότητα γίνεται βάσει κανόνων αντιστοιχίας ανάμεσα στη θεωρία και τα πραγματικά αντικείμενα. Τα συμπεράσματα βρίσκονται μέσα στη θεωρία, ενώ οι κανόνες αντιστοιχίας δεν έχουν απόλυτη ισχύ. Πρέπει να ελεγχθούν με πειράματα και εν πάση περιπτώσει η ισχύς τους είναι πάντα περιορισμένη.

Για την παρούσα αναζήτηση θα θεωρήσουμε τις θετικές επιστήμες με τον παραπάνω ορισμό. Η αξία μιας θετικής επιστήμης έγκειται στο ότι δίνει μοντέλα (δηλαδή πρότυπα) για τον πραγματικό κόσμο, μέσα στα οποία υπάρχει μια μέθοδος που επιτρέπει να ξεχωρίζουμε τα λανθασμένα από τα σωστά συμπεράσματα. Τα μοντέλα επιτρέπουν την ερμηνεία και την πρόβλεψη των φυσικών φαινομένων με το να τα μεταφέρουμε σε θεωρητικό επίπεδο σύμφωνα με τους κανόνες αντιστοιχίας και να λύνουμε προβλήματα με διάφορους συλλογισμούς και να φέρνουμε τις λύσεις πάλι πίσω στον πραγματικό κόσμο. Η θετική επιστήμη χαρακτηρίζεται από μια μεθοδολογική ενότητα, και από την άλλη μεριά από μεγάλη ευελιξία ως προς το να εξετάζει νέα αντικείμενα. Η «επιστημονικότητα» στην ανάλυση

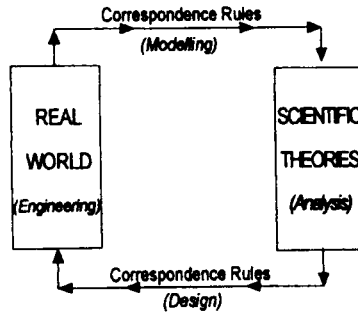
ενός φαινομένου δεν εξαρτάται από τη φύση του φαινομένου, αλλά από τη δυνατότητα χρήσης επιστημονικών μεθόδων. Γι' αυτό οι πιο σημαντικές διακρίσεις ανάμεσα στις θετικές επιστήμες δε στηρίζονται στα φαινόμενα αλλά στις θεωρίες που χρησιμοποιούνται. Κάθε θεωρία μπορεί να εφαρμοσθεί σε ένα ευρύ φάσμα φαινομένων, τα οποία χωρίς τη θεωρία θα φαίνονταν άσχετα μεταξύ τους.

Αυτός ο ορισμός της επιστήμης είναι κάπως περιοριστικός από τη σκοπιά της επιστημολογίας, αλλά πιστεύω ότι ανταποκρίνεται στους σκοπούς της παρούσας μελέτης. Μια παρόμοια ιδέα εκφράζεται στο παρακάτω απόσπασμα, που προέρχεται από μια εντελώς διαφορετική πηγή: «Η επιστημονική έρευνα προχωρεί με το να κατασκευάζει και να αναλύει μοντέλα για τομείς και όψεις της εξεταζόμενης πραγματικότητας. Ο σκοπός των μοντέλων δεν είναι να απεικονίζουν την πραγματικότητα, αλλά να ξεχωρίζουν και να απομονώνουν για εντατική έρευνα εκείνα τα στοιχεία τα οποία είναι αποφασιστικής σημασίας για το ζητούμενο πρόβλημα. Με το να αφαιρούμε τα μη βασικά στοιχεία, πετάμε τα επουσιώδη, για να έχουμε μια πιο ξεκάθαρη όψη των σημαντικών στοιχείων, τα οποία μεγεθύνουμε, για να βελτιώσουμε το πεδίο και την ακρίβεια των παρατηρήσεών μας. Ένα μοντέλο λοιπόν δεν είναι και δεν μπορεί να είναι ρεαλιστικό με την κοινή σημασία της λέξης. Παρ' όλα αυτά, κατά κάποιον τρόπο και παραδόξως, εάν το μοντέλο είναι καλό, μας δίνει ένα κλειδί για την κατανόηση της πραγματικότητας (Baran, Sweezy, 1966: *Monopoly Capital; an essay on the american economy and social order*).

Οι εμπειρικές επιστήμες μοιάζουν κάπως με τις θετικές επιστήμες. Διαφέρουν από την προεπιστημονική γνώση κατά το ότι βασίζονται στην πειραματική μέθοδο και έχουν αναπτυχθεί από επιστήμονες η εργασία των οποίων διαφέρει και από τον φιλοσοφικό στοχασμό και από τον επαγγελματικό βιοπορισμό, έχοντας αποκλειστικό σκοπό την πρόσκτηση γνώσης. Όμως, οι εμπειρικές επιστήμες δεν έχουν το δεύτερο χαρακτηριστικό της θετικής επιστήμης, δηλαδή την παραγωγική δομή. Επειδή λοιπόν δεν μπορούν να διευρυνθούν με αποδείξεις, οι εμπειρικές επιστήμες δεν είναι παρά μοντέλα μιας ειδικής φαινομενολογίας και τα αποτελέσματά τους δεν μπορούν να μεταφερθούν σε άλλους όρους. Γι' αυτόν το λόγο συνήθως ξεχωρίζονται σύμφωνα με το αντικείμενό τους (όπως, π.χ., «Εδαφομηχανική»).

4. Σχέσεις ανάμεσα στην τεχνική και την επιστήμη

Πολλοί κλάδοι της τεχνικής, όπως πολιτικοί μηχανικοί, μεταλλειολόγοι, μεταλλουργοί, χημικοί μηχανικοί, προέρχονται από πρακτικές τέχνες, που ξεκινούν από την αρχή του πολιτισμού. Άλλοι πάλι, όπως οι ηλεκτρονικοί και οι πυρηνικοί μηχανικοί, ξεπήδησαν από πρόσφατες ανακαλύψεις. Εν πάση περιπτώσει η πρόοδος της τεχνικής ήταν παράλληλη και είχε βαθιά επίδραση στον γενικότερο πολιτισμό. Ο κλάδος του πολιτικού μηχανικού αναγνωρίζεται γενικά ως ο παλαιότερος. Ήδη 30 αιώνες π.Χ. ένας Αιγύπτιος εργοδηγός διηύθυνε μεγάλα οικοδομικά και γιγάντια αρδευτικά έργα. Ήταν σύμβουλος του βασιλιά και μέλος της αυλής. Είχε πάρει όλη την εμπειρική γνώση που είχε συσσωρευτεί τους προηγούμενους αιώνες και ήταν περιορισμένη σε ειδικούς τομείς (όπως, π.χ., τα νερά του Νείλου) και δεν είχε μεγάλες διαφορές από τη θρησκεία ή τους μύθους. Γι' αυτό και η θέση του ήταν ιε-



Σχήμα 1: Επιστήμη και τεχνική

ρατική με την έννοια ότι καταπιανόταν με κάτι που δεν ήταν προσιτό και κατανοητό στο ευρύ κοινό και πιθανώς ούτε και στον ίδιο. Ήξερε να κάνει ορισμένα πράγματα, αλλά όχι το γιατί. Στο άλλο άκρο της κοινωνικής πυραμίδας ο κοινός τεχνικός ή χτίστης δεν ήταν παρά ένας εργάτης σε ένα πολύ χαμηλό κοινωνικό επίπεδο. Η επιστήμη ήταν κάτι έξω από τον κύκλο του: μύθοι, θρησκεία, ιερατείο, σκλάβοι, όλα αυτά είναι το αντίθετο της επιστήμης.

Σ' αυτή την προεπιστημονική κοινωνία η πρόοδος γινόταν μόνο κατά σύμπτωση ή με τη μέθοδο της δοκιμής και του λάθους (διόρθωσης) και γι' αυτό προχωρούσε πολύ αργά.

Αυτή η κατάσταση κράτησε χιλιετίες, ως τον 3ο π.Χ. αιώνα. Στην ελληνιστική περίοδο, στον 3ο και 2ο αιώνα π.Χ. άρχισε να αναπτύσσεται η επιστημονική μέθοδος, όπως την ορίσαμε παραπάνω (Russo, 1997) και γρήγορα φάνηκε ότι υπάρχει μια άλλη, πολύ πιο ενδιαφέρουσα δυνατότητα. Είδαμε ότι η επιστήμη δίνει μοντέλα (πρότυπα) της πραγματικότητας και έτσι επιτρέπει την ερμηνεία και την πρόβλεψη των φυσικών φαινομένων. Και έτσι μπορούμε να κινηθούμε ελεύθερα μέσα στο χώρο της θεωρίας και να φτάσουμε σε σημεία που δεν μπορούμε να τα φέρουμε σε αντιστοιχία με κάτι το υπαρκτό. Τα θεωρητικά λοιπόν μοντέλα επιτρέπουν να επινοήσουμε αντικείμενα που δεν υπήρχαν προηγουμένως και έτσι να τροποποιήσουμε την πραγματικότητα. Πράγματι, η τεχνολογία και η τεχνική αυτής της εποχής χαρακτηρίζονται από δημιουργίες που έγιναν μέσα στο πλαίσιο επιστημονικών θεωριών και είναι στενά συνδεδεμένες με τη μεθοδολογική δομή των θετικών επιστημών, μην μπορώντας να λάβουν χώρα έξω από αυτές (βλ. σχήμα 1).

Η ελληνιστική επιστήμη περιλαμβάνει ουσιαστικές συνεισφορές στα μαθηματικά, την οπτική, τη γεωμετρία, την αστρονομία, τη μηχανική, την υδροστατική. Τα στοιχεία της γεωμετρίας του Ευκλείδη από την Αλεξάνδρεια είναι ακόμη η βάση της μοντέρνας γεωμετρίας. Το βιβλίο του υπήρξε αντικείμενο συνεχούς μελέτης για 22 αιώνες. Ο Αρίσταρχος ο Σάμιος εισήγαγε τον ηλιοκεντρισμό στην αστρονομία 18 αιώνες πριν από τον Κοπέρνικο και τον Γαλιλαίο. Ο Ερατοσθένης από την Κυρήνη προσδιόρισε την περίμετρο της γης με λάθος μικρότερο του 1%. Ο Ηρόφιλος από τη Χαλκηδόνα θεμελίωσε την επιστημονική ιατρική και ανατομία. Εκτός από το ότι βγήκε από το μπάνιο του φωνάζοντας «εύρηκα», ο Αρχιμήδης ο Συρακούσιος συνεισέφερε ουσιαστικά στη μηχανική, την υδροστατική, τα μαθηματικά. Ακόμη χρησιμοποιούμε τον τύπο του για να βρούμε τον όγκο μιας σφαίρας. Θα μπορούσαμε να αναφέρουμε και άλλους πολλούς. Συγχρόνως, η ελληνιστική τεχνική πέτυχε κατορ-



Σχήμα 2: Ο μηχανισμός των Αντικυθήρων

θώματα χωρίς προηγούμενο. Οι παλιές αυτοκρατορίες της Αιγύπτου και της Μεσοποταμίας ήταν πιο προχωρημένες από τους Έλληνες, γιατί είχαν συσσωρεύσει εμπειρία χιλιετιών. Όταν οι Έλληνες με τον Μέγα Αλέξανδρο κατέκτησαν αυτές τις αυτοκρατορίες, ο στρατός τους δεν ακολουθούσαν μόνο από γυναίκες και θαυματοποιούς αλλά και από μηχανικούς (μεταξύ των οποίων ο Γόργος, ένας ειδικός για σήραγγες, ο Κράτης, ειδικός στην υδραυλική, ο αρχιτέκτονας Αριστόβουλος και ο πολεοδόμος Δεινοκράτης). Φτάνοντας σ' αυτά τα βασίλεια οι Έλληνες έπρεπε να αντιμετωπίσουν την προχωρημένη τους γνώση με το μόνο εργαλείο που είχαν, τον ανώτερο τους ορθολογισμό. Μεταχειρίστηκαν την εμπειρία με επιστημονική μέθοδο. Ο έλικας του Αρχιμήδη και ο οδοντωτός κοχλίας ανακαλύφθηκαν μέσω της ευκλείδειας γεωμετρίας. Ο μηχανισμός των Αντικυθήρων, που βρέθηκε στη θάλασσα ανάμεσα στην Πελοπόννησο και την Κρήτη (σχήμα 2, Price 1974), ήταν ένα διηλεκές ημερολόγιο και έδινε τις φάσεις της σελήνης στο παρελθόν και στο μέλλον.

Η διόπτρα που μας περιέγραψε ο Ήρων της Αλεξάνδρειας ήταν ο πρόδρομος του σημερινού θεοδόλιχου. Ο Φάρος της Αλεξάνδρειας, ένα από τα 7 θαύματα του αρχαίου κόσμου, ήταν ορατός από απόσταση 50 χιλιομέτρων. Είχε ύψος 95 μέτρα και ο λαμπτήρας του και το κάτοπτρό του είχαν σχεδιαστεί με τους κανόνες της οπτικής. Τα πολεμικά πλοία του Ίερωνα Β' των Συρακουσών, κατασκευασμένα κάτω από την επίβλεψη του Αρχιμήδη, ήταν 15 φορές μεγαλύτερα από τις προηγούμενες τριήρεις και θαυρακισμένα με φύλλα μολύβδου. Για να καταλάβουμε αυτό το βήμα στη ναυσιπλοΐα, πρέπει να σημειώσουμε ότι πλοία παρόμοιου μεγέθους δεν ξανάγιναν παρά μόνο τον 19ο αιώνα. Αυτή η άνθηση διακόπηκε με τη ρωμαϊκή κατάκτηση. Οι πόλεμοι ανάμεσα στους Ρωμαίους και τα ελληνιστικά βασίλεια άρχισαν χαρακτηριστικά με την καταστροφή των Συρακουσών και τη δολοφονία του Αρχιμήδη το 212 π.Χ. Σύντομα μετά την άφιξη του Καίσαρα στην Αίγυπτο η μεγάλη βιβλιοθήκη της Αλεξάνδρειας πήρε φωτιά. Οι Ρωμαίοι δεν ενδιαφέρονταν για τις επιστήμες και την τεχνική παρά μόνο για διοικητική και στρατιωτική οργάνωση. Δέχτηκαν την προχωρημένη τεχνολογία των Ελλήνων, αλλά κατά έναν προεπιστημονικό τρόπο. Μέσα σε λίγους αιώνες η κατανόηση της επιστήμης εξαφανίστηκε. Για να κατανοήσουμε το ενδιαφέρον των Ρωμαίων για την επιστήμη, πρέπει να θυμηθούμε ότι η πρώτη μετάφραση των *Στοιχείων* του Ευκλείδη στα Λατινικά έγινε από τον Αβελάρδο του Μπαθ. Ένας Άγγλος τα μετέφρασε από τα Αραβικά τον 12ο αιώνα. Οι Ρωμαίοι συγγραφείς της αυτοκρατορικής περιόδου θαύμα-

ζαν τις ελληνιστικές επιστημονικές πραγματείες, αλλά δεν μπορούσαν να παρακολουθήσουν τους επιστημονικούς συλλογισμούς, και γι' αυτό απλώς ανέφεραν τα συμπεράσματα που τους φαινόταν παράδοξα και θαυμαστά. Ο Πάππος, ένας από τους τελευταίους επιστήμονες της ελληνιστικής εποχής, παρατήρησε ότι οι μέλισσες με το να χτίζουν τα κελιά τους σε εξαγωνικό σχήμα λύνουν ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης. Από όλα τα κανονικά πολύγωνα που μπορούν να καλύψουν πλήρως το επίπεδο, το εξαγωνο είναι αυτό που περικλείει μέγιστο εμβαδόν με ελάχιστη περίμετρο. Ο Πλίνιος ο Πρεσβύτερος αναφέρει στη φυσική ιστορία του ότι τα κελιά των μελισσών είναι εξαγωνικά, διότι οι μέλισσες έχουν έξι πόδια, και κάθε πόδι χτίζει από έναν τοίχο. Ο Πλίνιος αναφέρει με θαυμασμό τη μέτρηση της περιμέτρου της γης από τον Ερατοσθένη. Λίγο παρακάτω εξιστορεί την ιστορία του Διονυσιόδωρου, που κατέβηκε από τον τάφο του στο κέντρο της γης μετρώντας τα σκαλιά και προσδιορίζοντας έτσι την ακτίνα της γης σε 42.000 στάδια. Ο Βιτρούβιος, ο μεγαλύτερος Ρωμαίος πολιτικός μηχανικός, επιχειρεί να δώσει με τη μελέτη του *Περί αρχιτεκτονικής* μια γενική εικόνα όχι μόνο της τέχνης του πολιτικού μηχανικού και του αρχιτέκτονα αλλά και όλης της τεχνολογίας της εποχής του. Ο Βιτρούβιος, αφού περιέγραψε το σχήμα των φυσαλίδων, μέμφεται τον Αρχιμήδη που αναφέρει ότι η επιφάνεια του νερού δεν είναι επίπεδη αλλά σφαιρική με κέντρο το κέντρο της γης. Ο Βιτρούβιος τονίζει ότι ένας καλός τεχνικός οφείλει να γνωρίζει επίσης λογοτεχνία, ιστορία, φιλοσοφία, ιατρική, μουσική και νομικά και, επίσης, στο τέλος, γεωμετρία, μαθηματικά και αστρονομία. Η χρήση των μαθηματικών περιορίζεται στον υπολογισμό των εξόδων για την ανέγερση ενός κτιρίου. Η αστρονομία χρειάζεται για να βρίσκει τα κύρια σημεία και η γεωμετρία για να βρίσκει την στάθμη των υδάτων. Πολλές ελληνιστικές πόλεις είχαν υδραγωγεία υπό πίεση. Στο Πέργαμο το νερό συγκεντρωνόταν σε μια δεξαμενή λίγο ψηλότερα από την πόλη. Από εκεί ένας κλειστός αγωγός υπό πίεση διέσχιζε μια κοιλάδα και ανέβαινε το λόφο πάνω στον οποίο ήταν χτισμένη η πόλις. Η μέγιστη πίεση στον αγωγό ήταν 20 ατμόσφαιρες. Οι Ρωμαίοι αντικατέστησαν αυτό το υδραγωγείο με ένα κανάλι και έτσι το νερό δεν μπορούσε πια να φτάσει στην ακρόπολη. Προς το τέλος της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας ο καιρός ήταν πια ώριμος για να λησμονηθούν εντελώς η επιστήμη και η τεχνολογία, ιδίως μετά τις επιδρομές των βαρβάρων. Για πάνω από μία χιλιετία κυριαρχεί το σκότος του Μεσαίωνα. Λίγα από τα ελληνιστικά επιτεύγματα διατηρήθηκαν από τους Άραβες. Μόλις τον 17ο αιώνα ανακαλύπτεται ξανά η επιστημονική μέθοδος από ανθρώπους όπως ο Γαλιλαίος και ο Νεύτωνας. Λίγο αργότερα η τεχνολογία και η τεχνική γνώρισαν μιαν εντυπωσιακή ανάπτυξη.

5. Μερικά παραδείγματα

Ήδη το 1690 ο Γκότφριντ Βίλχελμ Λάιμπνιτς εισήγαγε τη μη γραμμική σχέση ανάμεσα σε τάσεις και παραμορφώσεις σε ένα γράμμα του προς τον Ζακ Μπερνούι². Ο Λάιμπνιτς γράφει ότι τα δεδομένα που του έστειλε ο Μπερνούι τον Δεκέμβριο 1687 από ένα πείραμα εφελκυσμού χορδής εντέρου μήκους 3 ποδιών φαίνονται να ταιριάζουν καλά σε μια υπερβολική καμπύλη, σε αντίθεση με πειράματα άλλων, όπως του Χουκ (1678) και του Μάριωτ (1700), τα οποία αρμόζουν σε γραμμική σχέση. Μόλις τον 19ο αιώνα οι πειραματιστές κα-

τάφεραν να δείξουν ότι για όλα τα στερεά σώματα η γραμμική σχέση ισχύει μόνο προσεγγιστικά. Παρόλο που στη δεκαετία του 1890 διεξαγόταν έντονη συζήτηση ως προς τη μη γραμμική σχέση για διάφορα στερεά σώματα, συμπεριλαμβανομένων και μετάλλων, υπήρχε ήδη πληθώρα δεδομένων για τη μη γραμμικότητα σε μικρές παραμορφώσεις. Ο Dubin (1815) διεξήγαγε στη Κέρκυρα μια σειρά από πειράματα κάμψης ξύλινων δοκών και συμπέρανε ότι η κάμψη στο κέντρο ήταν παραβολική συνάρτηση της δύναμης. Ο von Gerstner (1831) διεξήγαγε μια σειρά από πειράματα εφελκυσμού σε χαλύβδινες χορδές πιάνου και ανακάλυψε ότι η σχέση τάσης-παραμόρφωσης ήταν μια παραβολή. Αργότερα ο Hodgkinson (1843, 1844) διαπίστωσε μη γραμμική ελαστικότητα σε ξύλο, χυτοσίδηρο και μαλακούς βράχους. Σε όλα αυτά τα υλικά παρατήρησε επίσης μόνιμες παραμορφώσεις και επίσης την επιρροή του χρόνου. Ο Louis Joseph Vicat (1834) ανακάλυψε και περιέγραψε διεξοδικά τη μακροπρόθεσμη επίδραση του χρόνου, ένα φαινόμενο που σήμερα είναι γνωστό ως ερπυσμός. Το 1849 η British Royal Commission, που ήταν επιφορτισμένη με τη μελέτη της εφαρμογής του σιδήρου σε σιδηροδρομικές κατασκευές, συνέστησε στους μηχανικούς να αντικαταστήσουν τον γραμμικό νόμο του Χουκ με μια παραβολική σχέση. Ένα χρόνο αργότερα στις συστάσεις του Cox³ αναφέρεται ότι τα στοιχεία της Iron Commission Report μπορούν να περιγραφούν καλύτερα με έναν υπερβολικό νόμο ελαστικότητας

$$\sigma = \frac{\alpha \epsilon}{1 + \beta \epsilon} \quad (1)$$

Αυτό το επεισόδιο είναι αξιοσημείωτο όχι διότι οι Βρετανοί μηχανικοί ακολούθησαν τις συστάσεις της Iron Commission, πράγμα που δεν έκαναν, αλλά διότι δείχνει ότι η Βασιλική Επιτροπή χρειάστηκε να κάνει μια τέτοια πρόταση. Από την άλλη μεριά υπήρξαν και αυτοί που προσπάθησαν να ξεπεράσουν τέτοια «μειονεκτήματα των πειραματικών στοιχείων» και επινόησαν πειράματα που να επιβεβαιώνουν τις τρέχουσες αντιλήψεις. Ένα παράδειγμα είναι μια ανακοίνωση του Arthur Jules Morin στη Γαλλική Ακαδημία το 1862. Βασισμένος σε μερικά πρόχειρα πειράματα με σύρματα, ο Morin συμπεραίνει εμπιστευτικά ότι το θεώρημα *ut tensio sic vis* τελικά επαληθεύτηκε με πειράματα, παραβλέποντας έτσι τα διεξοδικά και ακριβή στοιχεία του Hodgkinson και άλλων. Σύμφωνα με τον Bell (1973) τα πειράματα του Morin δεν είναι μόνο ένα παράδειγμα κακοτεχνίας και επιφανειακών συμπερασμάτων αλλά και μιας βιαστικής και επίμονης παραδοχής στοιχείων και συμπερασμάτων που είλκαν το κύρος τους από το γεγονός ότι δημοσιεύτηκαν στα *Comptes Rendus*. Για τα επόμενα 30 χρόνια αναφέρονταν στη βιβλιογραφία. Δεν ήταν όμως απλή σύμπτωση ότι οι επόμενες γενεές αγνόησαν τη σύσταση της British Royal Iron Commission, που ήταν βασισμένη σε σωστά πειραματικά αποτελέσματα, και υιοθέτησαν την άποψη του Morin, του οποίου τα πειραματικά αποτελέσματα ήταν άχρηστα. Απλώς και μόνο η ύπαρξη της θεωρίας της γραμμικής ελαστικότητας παραμέρισε την παραδοχή των πειραματικών αποτελεσμάτων. Τα επιτεύγματα αυτής της θεωρίας είναι γνωστά σε όλους μας. Πολλές εφαρμογές στη σημερινή τεχνική στηρίζονται ακόμη σ' αυτή τη θεωρία.

Ένα άλλο πολύ διδακτικό παράδειγμα είναι η διαμάχη Terzaghi-Fillunger (βλ. De Boer et al., 1996). Το 1936 ο Terzaghi, που ήταν τότε καθηγητής στο πολυτεχνείο της Βιέννης, δη-

μοσίευσε την εργασία «Theorie der Setzung von Tonschichten: eine Einfuhrung in die Analytische Tonmechanik», μαζί με τον επί πολλά έτη συνεργάτη του τον O.K. Frohlich (Terzaghi, Frohlich, 1936). Αυτό το βιβλίο ήταν μια διεξοδική πραγματεία της μονοδιάστατης θεωρίας της στερεοποίησης, η οποία κατόπιν διαδόθηκε σε όλο τον κόσμο σαν ένα από τα επιτεύγματα της εδαφομηχανικής και της γεωτεχνικής. Ο Paul Fillunger ήταν επίσης καθηγητής στη Βιέννη και συνάδελφος του Terzaghi. Δημοσίευσε ένα τεύχος (Fillunger, 1936) στο οποίο επετέθη κατά της θεωρίας της στερεοποίησης και συγχρόνως επετέθη και κατά του Terzaghi τόσο προσωπικά όσο και επαγγελματικά. Ο Fillunger δημοσίευσε μια διαφορετική και πιο λεπτομερή θεωρία. Γνωρίζοντας αυτό που κατόπιν ονομάστηκε πωρομηχανική, μπορούμε να τον θεωρήσουμε πρόδρομο της μοντέρνας θεωρίας των μειγμάτων, που προηγούνταν περίπου 30 χρόνια της εποχής του. Παρ' όλη την πληρότητά τους, όμως, οι συλλογισμοί του Fillunger δεν μπορούσαν να προχωρήσουν πέρα από το να διατυπώσουν μερικές γενικές και ειδικές οριακές συνθήκες. Ο ίδιος ο Fillunger (1936) συμπέρανε ότι ήταν αδύνατο να προσδιορίσει πειραματικά τις τιμές των παραμέτρων της θεωρίας του. Ο Terzaghi αιτήθηκε από τον πρύτανη να διεξαχθεί μια επίσημη έρευνα, και έτσι σχηματίστηκε μια πειθαρχική επιτροπή. Η επιτροπή έδωσε πλήρες δίκιο στον Terzaghi και σαν συνέπεια ο Fillunger αυτοκτόνησε ανοίγοντας τη βαλβίδα του αερίου στο μπάνιο του. Αυτό το τραγικό συμβάν δείχνει τη σημασία αυτού που ονομάσαμε νόμους αντιστοιχίας ανάμεσα στην επιστημονική θεωρία και τη φυσική πραγματικότητα. Έτσι τώρα είναι σαφές ότι ο Fillunger ήταν ένας πρωτοπόρος στην επιστημονική θεωρία της πωρομηχανικής. Ο Terzaghi ανέπτυξε μια πιο απλή και λιγότερο γενική θεωρία, αλλά είχε πλήρη επίγνωση της αντιστοιχίας με τη φυσική πραγματικότητα. Το βιβλίο που έγραψε μαζί με τον Frohlich περιέχει ένα θησαυρό από πληροφορίες με πρακτική χρησιμότητα. Ο De Boer et al. (1996) ορθώς ισχυρίστηκε ότι, εάν ο Terzaghi και ο Fillunger είχαν συνεργαστεί φιλικά, σίγουρα η εδαφομηχανική και η πρακτική του γεωτεχνικού μηχανικού θα είχαν προχωρήσει πιο πολύ.

Το 1974 έλαβε χώρα στο MIT (Cambridge, Mass.) ένα συμπόσιο με θέμα την πρόγνωση της παραμόρφωσης ενός θεμελίου και με σκοπό να διερευνηθεί η τρέχουσα μεθοδολογία διαστασιολόγησης θεμελίων συγκρίνοντας προβλέψεις με μετρήσεις που έγιναν σε ένα θεμέλιο σε μαλακό έδαφος. Στους συμμετέχοντες δόθηκαν όλα τα υπάρχοντα στοιχεία σχετικά με τις ιδιότητες του εδάφους και την παρατηρηθείσα συμπεριφορά του επιχώματος, και αυτοί κλήθηκαν να προβλέψουν τις παραμορφώσεις που θα προξενούσε μια επιπλέον φόρτιση. Αφού συλλέχθηκαν όλες οι προβλέψεις, το επιπλέον επίχωμα κατασκευάστηκε και εξοπλίστηκε με όργανα μετρήσεων. Το συμπόσιο ήταν αφιερωμένο στη σύγκριση προβλέψεων και μετρήσεων. Οι δέκα διαγωνιζόμενοι ήταν καθηγητές Πανεπιστημίου και πρακτικοί μηχανικοί. Οι μέθοδοι που χρησιμοποίησαν περιλάμβαναν απλούς συμβατικούς υπολογισμούς και σχετικά προχωρημένες αναλύσεις με πεπερασμένα στοιχεία, όπως ήταν το επίπεδο της επιστήμης τότε, πριν από 25 χρόνια. Η διασπορά ανάμεσα στις διάφορες προβλέψεις αλλά και η διαφορά ανάμεσα στις προβλέψεις και τις μετρήσεις ήταν απογοητευτικά μεγάλες. Πρέπει όμως να αναγνωρίσουμε ότι η καλύτερη πρόβλεψη δεν προερχόταν ούτε από κάποιον πρακτικό μηχανικό ούτε από κάποιον εξεζητημένο ειδικό στα πεπερασμένα στοιχεία, αλλά από έναν ειδικό στους καταστατικούς νόμους, τον Peter Wroth. Το μοντέλο του «Critical State» πέτυχε να αποδώσει τα βασικά χαρακτηριστικά για διαφορετικά φαινόμενα

μενα, όπως οι καθιζήσεις, οι οριζόντιες μετατοπίσεις, η αστοχία σε διάτμηση και παραγωγή πιέσεως στους πόρους. Πάλι λοιπόν ο μηχανικός στηρίχτηκε στην επιστήμη.

6. Ξανάρχεται ο Μεσαίωνας;

Στις τελευταίες δεκαετίες η εξέλιξη της λεγόμενης παγκοσμιοποίησης συνέβαλε σε μια συγκέντρωση, χωρίς προηγούμενο, πολιτικής και οικονομικής δύναμης καθώς και τεχνολογίας. Συχνά ακούγεται ότι ζούμε σε μια εποχή αυξανόμενης περιπλοκότητας, που απαιτεί όλο και μεγαλύτερη επιστημονική εξειδίκευση. Αλλά θα ήταν μεγάλο λάθος να υποθέσουμε ότι, ως συνέπεια, αυξάνεται και η επιστημονική εκπαίδευση. Για να σχεδιαστεί ένας υπολογιστής, σίγουρα χρειάζεται μεγαλύτερη επιστημονική κατάρτιση παρά για να σχεδιαστεί ένας ασύρματος με θερμομονικές λυχνίες. Από την άλλη μεριά, οι αρχές πάνω στις οποίες στηριζόταν ο παλιός ασύρματος ήταν σαφείς όχι μόνο στους τεχνικούς της βιομηχανίας που τους παρήγαγε, καθώς και στους ραδιοτεχνικούς, αλλά και σε πολλούς χρήστες. Πολλοί συνομήλικοί μου έχουν κατασκευάσει ασυρμάτους. Σήμερα οι γνώσεις και η ειδίκευση που χρειάζεται για να σχεδιαστεί ένας υπολογιστής έχουν συγκεντρωθεί σε λίγες αμερικανικές και ιαπωνικές εταιρείες. Στη μεγάλη πλειοψηφία των εταιρειών που κατασκευάζουν υπολογιστές δε βρίσκονται τέτοιοι ειδικοί, οι εταιρείες απλώς συναρμολογούν τα τελικά προϊόντα. Με έναν υπολογιστή μπορούμε να ασχοληθούμε (i) στο επίπεδο hardware, (ii) στο επίπεδο τεχνικών προγραμματισμού, και (iii) στο επίπεδο χρησιμοποίησης έτοιμου λογισμικού, που έχουν φτιάξει άλλοι. Η εξάπλωση των υπολογιστών βασίζεται κυρίως στο (iii), στους καταναλωτές. Η αναλογία με τα αεροπλάνα έχει ως εξής: (i) οι κατασκευαστές του αεροπλάνου, (ii) ο πιλότος, και (iii) οι επιβάτες, δηλαδή πάλι οι καταναλωτές. Για να αναφερθούμε στη γλώσσα των εντύπων της Ευρωπαϊκής Ένωσης που πρέπει να συμπληρώσουν όσοι θέλουν να πάρουν οικονομική ενίσχυση για έρευνα, οι καταναλωτές λέγονται «τελικοί χρήστες» (end users). Ένας σημαντικός αριθμός επιστημόνων και μηχανικών υψηλής στάθμης δε χρειάζονται πια. Τα σχολεία πρέπει να ετοιμάσουν καταναλωτές, όχι επιστήμονες. Πολιτισμός πια είναι η διασπορά των οδηγιών προς τους καταναλωτές (manuals) και αναφέρεται στο «πώς», όχι στο «γιατί». Η εκπαίδευση που παίρνουν σήμερα οι φοιτητές, για να γίνουν καλοί καταναλωτές, είναι εκπαίδευση αθλητική, οδική, σεξουαλική, πολιτική, οικονομική, υγιεινής, διαιτητικής αλλά πάντως όχι επιστημονική εκπαίδευση. Δεν είναι τυχαίο το γεγονός ότι τα λεγόμενα «επιστημονικά» συνέδρια και συμπόσια εξελίσσονται όλο και περισσότερο σε κοινωνικές συναθροίσεις με σκοπό περισσότερο εμπορικό και τουριστικό παρά επιστημονικό. Συχνά λέγεται ότι ζούμε σε εποχή αυξημένης περιπλοκότητας, αλλά το μήνυμα στην πραγματικότητα είναι: η πραγματικότητα είναι τόσο περίπλοκη, ώστε δεν μπορεί να την καταλάβει ο ανθρώπινος εγκέφαλος. Σήμερα πάλι αντιλαμβανόμαστε την επιστήμη σαν κάτι το μυστηριώδες, που μπορεί να γίνει αντιληπτό και εκμεταλλεύσιμο μόνο από λίγους μνημόνους. Έτσι οι επιστήμονες ξαναγίνονται πάλι ιερατείο και η επιστήμη γίνεται ένας μύθος ή μια θρησκεία. Όταν ο λεπτός ομφάλιος λώρος που μας συνδέει με τον αρχαίο πολιτισμό πληθαίνει στο σημείο να κοπεί εντελώς, ο παραλογισμός θριαμβεύει. Οι μάγοι και οι αστρολόγοι δεν έχουν κατακτήσει μόνο το κοινό αλλά και απίστευτες θέσεις, όπως, π.χ., την έδρα Αστρολογίας στη Σορβόνη. Στα ευρωπαϊκά γυμνάσια η αρχαία επαγωγική και

πειραματική μέθοδος εξαφανίζεται μαζί με την ευκλείδεια γεωμετρία και το συντακτικό των Λατινικών, τα οποία ήταν τα θεμέλια αυτής της μεθόδου. Στα αμερικανικά γυμνάσια έχει εξαφανιστεί εδώ και πολύ καιρό (Hirsch, 1996). Όπως συνέβη και στη Ρώμη της αυτοκρατορικής εποχής, οι θεωρητικές έννοιες ξεριζώνονται από τις θεωρίες μέσα στις οποίες έχουν το νόημά τους, και χρησιμοποιούνται σαν αυθύπαρκτα αντικείμενα γνωστά μόνο στους μνημένους. Χρησιμοποιούνται σαν παράξενα θαύματα με σκοπό να εντυπωσιάσουν το κοινό. Οι φοιτητές δεν ξέρουν τη βάση του ηλιοκεντρικού συστήματος ή της ατομικής θεωρίας, αλλά τα δέχονται από αυθεντίες με τον ίδιο τρόπο που δέχονται τα quarks, τις black holes, τα big bangs κ.λπ. Η θεωρία της εξέλιξης των ειδών, που είναι εύκολο να κατανοηθεί και υποστηρίζεται από απλές παρατηρήσεις, βρίσκει όλο και μεγαλύτερη αντίδραση από τους creationist βιολόγους. Ένα πλήθος από νέες σχολές στην Αμερική παραμερίζουν τον Δαρβίνο. Υπάρχουν και άλλες εντυπωσιακές αναλογίες με το τέλος της αρχαίας επιστήμης. Η έξοδος των επιστημόνων από τη Σοβιετική Ένωση εξουδετέρωσε ξαφνικά μια από τις πιο αυθεντικές επιστημονικές σχολές της εποχής μας. Το τέλος της ελληνιστικής επιστήμης τίθεται συμβολικά στο 415 μ.Χ., όταν η Υπατία, κόρη του περίφημου μαθηματικού Θέωνη της Αλεξάνδρειας και μαθηματικός η ίδια, λιντσαρίστηκε από ένα πλήθος φανατικών για θρησκευτικούς λόγους. Σήμερα οι εφημερίδες μιλούν για μυστικές αντιεπιστημονικές εταιρείες στις Ηνωμένες Πολιτείες, που ισχυρίζονται ότι πρέπει να σκοτώσουμε όλους τους επιστήμονες για να σωθεί ο κόσμος. Είναι πολύ αμφισβητήσιμο εάν η επιστημονική μέθοδος, ξεριζωμένη από τον πολιτισμό που την έφτιαξε, θα μπορούσε να επιζήσει της τρίτης χιλιετίας. Η μοντέρνα τεχνολογία μπορεί να επιταχύνει αυτές τις διαδικασίες, αλλά δε θα επιζήσει της πραγματοποίησής τους. Έτσι και η μοντέρνα επιστήμη του μηχανικού (engineering) δε θα επιζήσει μιας γενικότερης εξαφάνισης της επιστημονικής κουλτούρας. Μια χειρότερη περίπτωση στις εργασίες του πολιτικού μηχανικού είναι ήδη εμφανής τις τελευταίες δεκαετίες. Κατάχρηση αριθμητικών μεθόδων και κακή χρήση των τεχνικών βελτίωσης του υπεδάφους είναι, κατά την άποψη του γράφοντος, σαφή συμπτώματα μιας τέτοιας χειρότερησης. Η απλοϊκή και επικίνδυνη σκέψη ότι η πρόοδος θα συνεχιστεί από μόνη της έχει αποδειχτεί εσφαλμένη, τουλάχιστον μία φορά στην ιστορία, με συνέπεια να επικρατήσει σκότος για περισσότερο από μία χιλιετία. Πιστεύω ότι όχι μόνο οι μηχανικοί αλλά και ολόκληρη η ανθρωπότητα χρειάζονται την επιστήμη, και ότι η χρήση της επιστήμης από τους μηχανικούς είναι μόνο εφικτή στα πλαίσια μιας πλατιά εξαπλωμένης επιστημονικής κουλτούρας. Εξαρτάται και από εμάς, τους πολιτικούς μηχανικούς με εξάσκηση στη Μηχανική, που συγκεντρωθήκαμε στην Ελλάδα, να συμβάλουμε ώστε να εξαπλωθεί αυτή η κουλτούρα στην επιστημονική κοινότητα, στα πανεπιστήμια και στο επάγγελμά μας.

Σημειώσεις

1. Το πολιτιστικό Ίδρυμα Γ. Αγγελίνη – Πίας Χατζηνίκου έχει αναπτύξει από το 1985 πλούσια πολιτιστική δράση με σεμινάρια, συναυλίες, θεατρικές παραστάσεις, εκδόσεις και συνέδρια στο χωριό Χόρτο του Πηλίου.
2. Οι επιστολές του Μπερνούγι προς τον Λάμπνιτς και του Λάμπνιτς προς τον Μπερνούγι έχουν δημοσιευτεί στη συλλογή των μαθηματικών εργασιών του Λάμπνιτς και έχουν εκδοθεί από τον Gerhardt (1855).
3. Οι συστάσεις του Cox δημοσιεύτηκαν μερικά χρόνια αργότερα, το 1856.