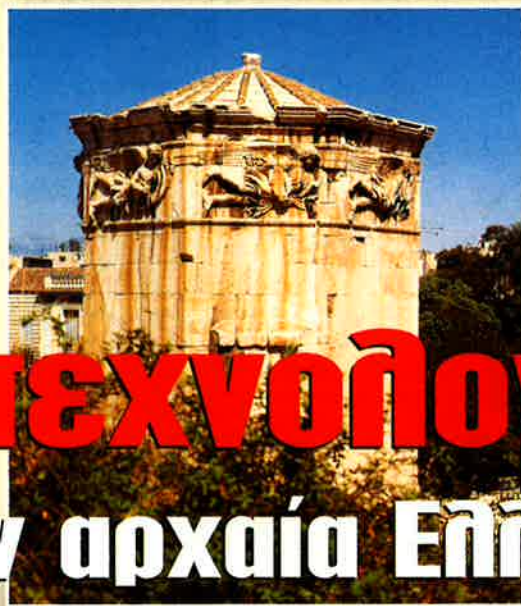
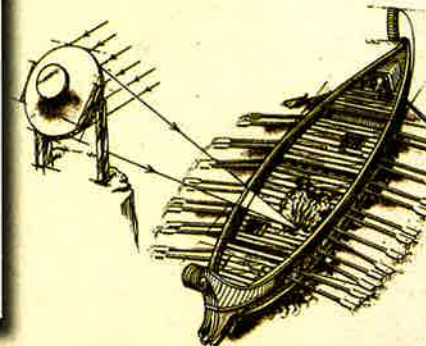
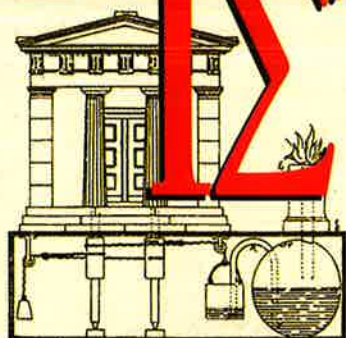


ΙΣΤΟΡΙΚΑ



Η τεχνολογία στην αρχαία Ελλάδα

ΙΣΤΟΡΙΚΑ



Αναγεννησιακή γκραβούρα που αναπαριστά απλοποιημένα την τεχνική του Αρχιμήδη για πυρπόληση του ρωμαϊκού στόλου με κάτοπτρα (λεπτομέρεια)

Τα τεχνολογικά «θαύματα» των αρχαίων

ΑΠΟ ΤΟ ΜΥΘΙΚΟ ΗΦΑΙΣΤΟ, ΤΟ ΘΕΟ

της φωτιάς, ως τον Ηρώνα τον Αλεξανδρέα, που ουσιαστικά κατασκεύασε την πρώτη ατμομηχανή κατά τον 1ο αιώνα π.Χ., η αρχαία Ελλάδα δεν είναι μόνο η κοιτίδα της φιλοσοφίας, της τέχνης και της ποίησης, δεν είναι μόνο του Σωκράτη, του Πλάτωνα, του Αριστοτέλη και του Σοφοκλή, είναι και η κοιτίδα της τεχνολογίας. Του Ευπαλίνου, του Κτησιβίου, του Αρχιμήδη, του Φίλωνα του Βυζαντίου...

Η στρεβλή αντίληψη ότι προπομποί της τεχνολογίας ήταν οι Ρωμαίοι έχει παρέλθει ανεπιστρεπτή. Και η ιστορία δεν μπορεί παρά να προβάλλει πλέον τον πρώτο αυτόματο μηχανισμό, το περίφημο «περιστέρι του Αρχύτα», το πρώτο όργανο μέτρησης του χρόνου, την κλεψύδρα, τον Πύργο των Ανέμων, δηλαδή τους «Αέρηδες» της Αθήνας. Αλλά και τα πρωτοποριακά έργα του «μεγαλύτερου μαθηματικού και μηχανικού όλων των εποχών», του περίφημου Αρχιμήδη: την ουράνια σφαίρα, το υδραυλικό ρολόι, τις ανυψωτικές μηχανές, τα εκπληκτικής ευφυΐας εμπρηστικά κάτοπτρα. Αρχαία Ελλάς το μεγαλείο σου.

ΒΑΓΓΕΛΗΣ ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ

Το χρονικό



ΤΑ ΑΙΤΙΑ ΤΗΣ «ΕΚΡΗΞΗΣ»

Η τεχνικο-φιλία των αρχαίων Ελλήνων

6



ΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΑ «ΘΑΥΜΑΤΑ»

Αυτοματοποιητική: πράξη και θεωρία

14



ΟΙ «ΑΕΡΗΔΕΣ» ΣΤΗΝ ΠΛΑΚΑ

Τι ξέρουμε και τι όχι για την τολμηρή κατασκευή

38

Υπεύθυνος έκδοσης ΒΑΓΓΕΛΗΣ ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ

Σύνταξη ύλης
ΝΑΣΟΣ ΓΚΟΛΕΜΗΣ

Σύμβουλος έκδοσης
ΣΤΕΡΙΟΣ ΦΑΣΟΥΛΑΚΗΣ

Σ' αυτό το τεύχος συνεργάστηκαν
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΚΑΛΙΓΕΡΟΠΟΥΛΟΣ
HERMANN J. KIENAST
ΧΡΗΣΤΟΣ Δ. ΛΑΖΟΣ
Θ.Π. ΤΑΣΙΟΣ

Συντονισμός - επιμέλεια ΝΙΚΟΣ ΒΑΡΔΙΑΜΠΑΣΗΣ
Μόνιμοι συνεργάτες ΦΑΙΔΩΝ ΜΑΛΙΓΚΟΥΔΗΣ
ΒΑΣΙΛΗΣ ΚΑΡΔΑΣΗΣ - ΑΠΟΣΤΟΛΟΣ ΔΙΑΜΑΝΤΗΣ
Ηλεκτρονική διεύθυνση istorika@enet.gr

Δημιουργικό
ΝΙΚΟΣ ΚΕΧΑΠΑΣ
ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΤΖΑΝΕΤΟΠΟΥΛΟΥ
ΣΟΦΙΑ ΔΡΑΚΑΚΗ
Παραγωγή
ΦΩΤΟΕΚΔΟΤΙΚΗ Α.Ε.

Το παρόν περιοδικό παρέχεται δωρεάν
ραζί με την ΕΛΕΥΘΕΡΟΤΥΠΙΑ.
Απαγορεύεται η αντισεληή πώλησή του.



Homo faber

Αν ανατρέξει κανείς στον εθνογενετικό μύθο του φύλου των Ιώνων, θα διαπιστώσει ότι οι τεχνίτες (οι δημιουργοί) απαρτίζουν μίαν από τις τέσσερις πρωτογενείς κοινωνικές κατηγορίες. Σύμφωνα με το μύθο αυτό, όπως τον παραδίδει ο Στράβων, οι τέσσερις γιοι του επώνυμου γενάρχη Ιωνα ήταν, αντίστοιχα, επικεφαλής των γεωργών, των δημιουργών, των ιεροποιών και των φυλάκων. Στην παραλλαγή που μας διασώζει ο Πλάτων (στον «Κριτία») οι κατηγορίες αυτές είναι οι ιερείς, οι δημιουργοί, οι γεωργοί και οι μάχιμοι. Ένας μύθος που αντανάκλα, χωρίς άλλο, την αρχέγονη αντίληψη για τη συνάφεια της δραστηριότητας του τεχνίτη με το κοινωνικό του σύνολο. Αντίληψη που εκφράζεται άλλωστε και από αυτό το ίδιο το έτυμο της σύνθετης λέξης *δημι-ουργός*.

Ο homo faber, ο άνθρωπος ως κατασκευαστής, αποτελεί μια κεντρική κατηγορία στην αρχαία ελληνική ανθρωπολογική θεώρηση, η οποία αποδίδει μίαν ισόρροπη σημασία στη διφυή ανθρώπινη φύση: την ικανότητα δηλαδή του ανθρώπου να παράγει πνευματικά, αλλά και υλικά αγαθά. Χαρακτηριστικό είναι εδώ το παράδειγμα του Ιππία, σοφιστή των χρόνων του Σωκράτη, ο οποίος, όπως παραδίδει ο Κικέρων (De oratore 3, 127), δίδασκε όχι μόνον την *εγκύκλιο παιδεία*, αλλά και ήταν υπερήφανος ότι όλα τα ενδύματα που φορούσε ήταν από τα δικά του χέρια. Ο Πρόδικος, σοφιστής κατά το β' μισό του 5ου π.Χ. αιώνα, αφηγούμενος το μύθο του Ηρακλή, ενσωματώνει τη θεωρία του ότι, κατά τους σκοτεινούς αιώνες της προϊστορίας, οι εφευρέτες χρησίμων εργαλείων και κατασκευών λατρεύτηκαν από τους ανθρώπους ως θεοί.

«*Πάντων χρημάτων άνθρωπον μέτρον είναι...*»: η ευρύτητα γνωστή αυτή απόφαση του σοφιστή Πρωταγόρα (περ. 481-411 π.Χ.),

που μας παραδίδεται σε περισσότερα χωρία από το έργο του Πλάτωνα, εντάσσεται, κατά τη γνώμη μας, στην ίδια συνάφεια. Τα *χρήματα* εδώ δεν είναι απλώς αντικείμενα τυχαία, αλλά δημιουργήματα του ανθρώπου, ο οποίος αναδεικνύεται έτσι ως ένα δημιουργικό ον, που παρεμβάλλεται ενεργά στον κόσμο που τον περιβάλλει.

Ο άνθρωπος ως δημιουργός, τόσο στον τομέα του υλικού αλλά και του πνευματικού πολιτισμού, αποτελεί ένα ζήτημα που παραμένει στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος κατά τον 5ο π.Χ. αιώνα. Φαινόμενο ιστορικό που αντανάκλαται και στην ποίηση της εποχής, όπως, για παράδειγμα, στο πρώτο στάσιμον της «Αντιγόνης» του Σοφοκλή: «*Πολλά είναι τα θαυμαστά, μα τίποτε πιο θαυμαστό από τον άνθρωπο. Αυτός περνά και πέρα από τον τρικυμισμένο άσπρο πόντο με τις φουρτιούνες του νοτιά... και την υπέρτατη θεά, τη Γη, την άφθαρτη κι ακούραστη αυτός καταπονεί οργώνοντας χρόνο το χρόνο με αλέτρια... και των ελαφρόμυλων πουλιών τη γενιά με βρόχια παγιδεύει και κοπάδια αγριμιών και τα θαλάσσια θρέμματα στο πέλαγος, όλα ο πολυμήχανος άνθρωπος τα πιάνει με δίχτυα από πλεχτά σχοινιά...*» («Αντιγόνη», στ. 331 κ.ε., μετάφραση Γ. Μαρκαντωνάτου, Αθήνα 1985, σ. 111).

Ενας ύμνος στην ανθρώπινη δημιουργία, που καταλήγει φωτισό με την επισήμανση ότι τόσο τα πνευματικά έργα όσο και τα δημιουργήματα της τεχνολογίας θα πρέπει να εμπνέονται από την αίσθηση του καθήκοντος απέναντι στο κοινωνικό σύνολο, διότι, διαφορετικά, είναι άμεσος ο κίνδυνος να αποθούν όλα αυτά τα επιτεύγματα εις βάρος της ανθρωπότητας. Επισήμανση επίκαιρη –σήμερα όσο ποτέ άλλοτε...

αντί προλόγου

K

άποτε οι Μηπιονίδες του γένους της Μήτηδος, πρώτης γυναίκας τους Διός, μητέρας της Αθηνάς –που το όνομά της υποδηλώνει πολύτροπη νόηση, ευστροφία, προβλεπτικότητα, ευστοχία, δόλο κ.λπ.– συγγενεύουν με τους Παλαμάδες του γένους του Ηφαιστου. [Παλάμη σημαίνει επιδεξιότητα χεριού, πρακτική γνώση, τέχνασμα]

Η Φρασι-μήδη, που συνδυάζει τα διανοητικά γνωρίσματα της Μήτηδος (δύναμη πονηρίας και απάτης, αίσθηση της ευκαιρίας, διάφορες επνοήσεις, ποικίλα τεχνάσματα και πονηρή ευφράδεια), νυμφεύεται τον επιδέξιο στον τροχό Ευπάλαμο. Γιος τους ήταν ο Παλα-μήδης που ανακάλυψε τους κώδικες: τα φωτεινά σήματα, ορισμένα γράμματα του αλφαβήτου και τα παιγνίδια των πεσσών, της ντάμας και των αστραγάλων.

Η Μπι-άδουσα νυμφεύεται τον Παλα-μάονα και από το γάμο τους γεννιέται ο Δαιδαλος.

Κάπως έτσι αρχίζουν να εμφανίζονται οι πρώτοι μάστορες: οι τεχνίτες δημιουργοί: δημιουργοί, αυτοί που έχουν να προσφέρουν κάτι ωφέλιμο στο Λήμο, στο σύνολο.

Ο Ηφαιστος προσφέρει στους ευνοούμενους τους Παλα-μάδες και Ευπάλαμους τα μυστικά της τέχνης του, όπως και η Αθηνά τα μυστικά της Μήτηδος. [Ετσι κι αλλιώς ο μαΐστωρ: μάστορας συγγενεύει εννοιολογικά με τη Μητη]

«Τα αγάλματα του Δαιδάλου λ.χ. εντάσσονται σε μια κατηγορία έργων, των οποίων η Αθηνά και ο Ηφαιστος είναι οι δημιουργοί. Γνωρίζουμε τους τρίποδες που από μόνοι τους –αυτόματοι– προσέρχονται στη συνέλευση των θεών και τις χρυσές υπηρετρίες που βοηθούν τον Ηφαιστο να κινηθεί... Ο Ηφαιστος φιλοτεχνεί ακόμη και τα σκαλιά από χρυσό και άργυρο που φρουρούν το παλάτι του Αλκίνοου. Είναι επίσης ο δημιουργός του ορειχάλκινου Τάλω (ενός ρομπότ), που τον χάρισε στον Μίνωα για την προστασία της Κρήτης, της οποίας έκανε το γύρο ανά τακτά χρονικά διαστήματα... Η Αθηνά έπλασε από χώμα την Πανδώρα κ.ο.κ...»

(Φρανσουάζ Ντικρού, *Ο Δαιδαλος*, Ολκός, σ. 112).

Για να γίνουν, όμως, οι θαυμαστές κατασκευές από τους τεχνίτες του γένους του Ηφαιστου και της Αθηνάς που ακολούθησαν, έπρεπε η τέχνη των αρχαίων δημιουργών «να απελευθερωθεί από τη θρησκεία και τη μαγεία και υποχρεωτικά να στηριχθεί στην επιστήμη, ώστε να γίνει η εφαρμογή της» (πρβλ. Ζαν Πιερ Βερνάν, *Μύθος και σκέψη στην αρχαία Ελλάδα*, Ολκός, σ. 285 κ.ε.).

Η διάνοιξη της υπόγειας σήραγγας-υδραγωγείου λ.χ. στη Σάμο από τον Ευπαλίνο προϋποθέτει τη χρήση δύσκολων μεθόδων τριγωνισμού. Το ίδιο η κατασκευή από τον Αρχύτα τον 4ο αι. «περιστεράς ξυλίνης πετομένης» και τόσα άλλα αντικείμενα, που προκαλούν την κατάπληξη και το θαυμασμό, απαιτούν γνώσεις Μηχανικής, Γεωμετρίας, Τριγωνομετρίας κ.λπ.

Απούμενο των πρώτων επιστημόνων ήταν πώς με μια μηχανή [έξυπνη, δόλια, πονηρή επινόηση] «τα τε ελλάττονα κρατεί των μειζόνων» (Αριστ., *Μηχανικά* 847 a22), πώς τα μικρότερα και ασθενέστερα να αντισταθμίζουν, να εξουσιάζουν και να κυριαρχούν (με τον πολλαπλασιασμό της δύναμης από τη μηχανή) πάνω στα μεγαλύτερα και ισχυρότερα, ώστε ο άνθρωπος να ξεφεύγει από την α-μηχανία και την α-πορία συνεχίζοντας την πορεία του.



1. Η τεχνολογία καταγράφεται ήδη από τα ομηρικά έπη. Παράσταση από αγγείο του 440 π.Χ. με την Πηνελόπη και τον αργαλειό της.
2. Η κατασκευή της ασπίδας του Αχιλλέα από τον Ηφαιστο σε παράσταση αγγείου.
3. Ανάγλυφο που δείχνει την κατασκευή της ασπίδας του Αχιλλέα από τον Ηφαιστο, ενώ παρακολουθούν η Αθηνά και η Ηρα



Η ΤΕΧΝΙΚΟΦΙΛΙΑ ΤΩ

Ε

Του Θ.Π. ΤΑΣΙΟΥ
καθηγητή Πολυτεχνείου

χει από πολλού αποδειχθεί στη διεθνή ιστοριογραφία ότι οι αρχαίοι Έλληνες χρησιμοποίησαν, καλλιέργησαν και ανέπτυξαν την τεχνολογία συστηματικότερα σ' όλη τη διάρκεια των 2.000 ετών την οποία συνήθως ονομάζουμε «Αρχαιότητα».

Είτσι, η παλαιότερη αντίληψη πως τάχα «οι Έλληνες αδιαφορούσαν για την τεχνολογία –έπρεπε να 'ρθουν οι Ρωμαίοι για να αναπτύξουν την τεχνολογία» πέρασε στο σεντούκι της αν-ιστορίας. (Παραμένει, βέβαια, ως ενδιαφέρον ιστορικό ζήτημα το ίδιο το γεγονός ότι κάποτε κυριάρχησε μια τέτοια αντίληψη –τόσο μάλιστα πλατιά, που τα σχολικά μας βιβλία συνεχίζουν να αγνοούν επιδεικνυκότεα την Αρχαία Ελληνική Τεχνολογία).

Με το σημερινό άρθρο, θα ήθελα να πάω άλλο ένα βήμα πιο πίσω απ' τα ιστορικά γεγονότα καθ' αυτά και να αναζητήσω –ει δυνατόν– τις καταστά-



3

Ν ΑΡΧΑΙΩΝ ΕΛΛΗΝΩΝ

σεις εκείνες που ευόδωσαν τη μεγάλη τεχνική ανάπτυξη στην αρχαία Ελλάδα. Δεν έχω βέβαια τη φιλοδοξία να παρουσιάσω μια βασική ανθρωπολογική μελέτη, η οποία θα αποδείκνυε τάχα τη «νομοτέλεια» της τεχνολογικής ανάπτυξης στην αρχαία Ελλάδα. Νομίζω όμως ότι μπορώ να υπενθυμίσω (χωρίς ίχνος πρωτοτυπίας δε) ότι πίσω απ' την ανάπτυξη αυτή φαίνεται ότι κείνται:

α) ορισμένες ευνοϊκές κοσμοθεωρητικές διαθέσεις,

β) μια επιχωριάζουσα ανθρωπιστική στάση, καθώς και

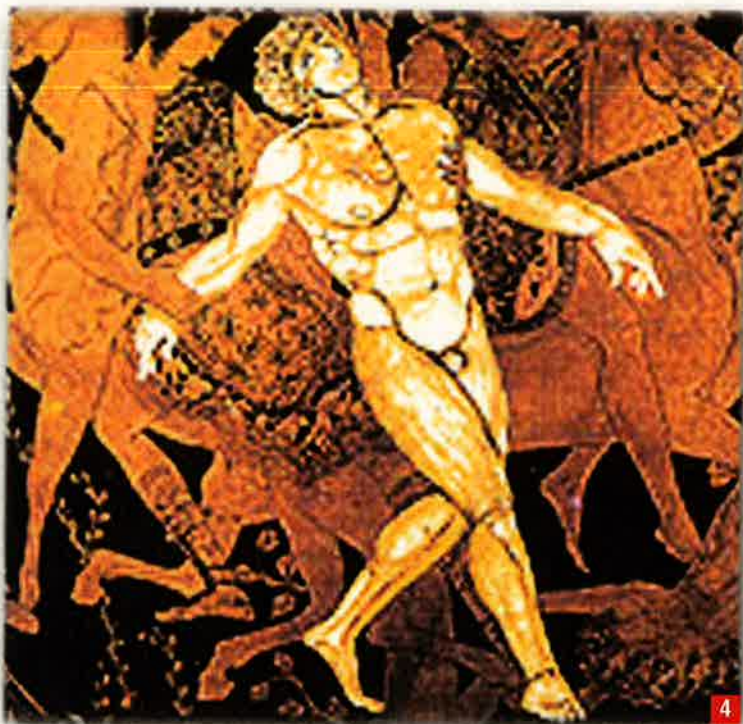
γ) ορισμένες υστερότερες πολιτικές και οικονομικές συγκυρίες.

Κοσμοθεωρητική στάση

Κάθε λαός, βέβαια, στήνει τους θεούς του και' εικόνα και ομοίωσιν· οι Έλληνες δεν θα αποιελούσαν εξαίρεση.

Θα χρησιμοποιήσουμε λοιπόν τις αρχικές θρησκευτικές/μυθολογικές «προβολές» των Ελλήνων, για να αντιληφθούμε (αμυδρώς, έστω) τη θέση που είχε η τεχνολογία στις πρώιμες εκείνες κοινωνίες των κατοίκων των ελληνίδων χωρών.

Θα «ξαναπροβάλουμε» δηλαδή τη θρησκεία απ' ►



4. Η ιδέα ενός μεταλλικού «ρομπότ» καταγράφεται στην αρχαία ελληνική μυθολογία με το γίγαντα Τάλω.

5. Ο διαμέτρου περίπου 20 μέτρων θάλος του «θησαυρού του Ατρέως». Θα περνούσαν 15 αιώνες μέχρι ο άνθρωπος να μπορέσει να κατασκευάσει παρόμοιο έργο

τον ουρανό στη γη. Λοιπόν:

α) Οι Έλληνες είχαν θεό μηχανικό –τον Ηφαιστο. Αρα είχαν εξαιρετικά υψηλή αντίληψη για την τεχνολογία. Αλλωστε (για να μην υπάρξει η αμφιβολία ως προς την αμφίδρομη σχέση θεού-ανθρώπου εν προκειμένω) ιδού ότι ο Ηφαιστος πέφτει απ' τον Ολυμπο και ζει εννέα χρόνια στη γη, δουλεύοντας μεταλλικά τεχνήματα (*Ιλιάς*, Σ 400).

β) Οι Έλληνες είχαν συναίσθηση του *sine qua non* ρόλου της τεχνολογίας για τον άνθρωπο. Στον προμηθεϊκό μύθο (Πλάτωνος, *Πρωταγόρας*, § 321 c) αναγνωρίζεται η εν προκειμένω αποτυχία της πρώτης δημιουργίας, και προσφέρεται ως διορθωτική πράξη η προς τον άνθρωπο δωρεά της «εντέχνου σοφίας»!

γ) Οι Έλληνες δεν περιορίζονταν στην κατασκευή χρηστικών αντικειμένων και εργαλείων μόνον, αλλά οραματίζονταν την επέκταση του σχεδιασμού των τεχνημάτων αυτών ώστε να γίνουν αυτόματα και ρομπότ: οι αυτόματοι τρίποδες στον Ολυμπο (*Ιλιάς*, Σ 373-378) έτρεχαν στη συγκέντρωση των θεών από μόνοι τους κι επέστρεφαν πάλι μόνοι τους. Το ίδιο και το περίτεχνο άρμα της Ηρας περνάει τις «πύλες του ουρανού αυτομάτως ανοιγόμε-

νες»

(*Ιλιάς*, Σ 749).

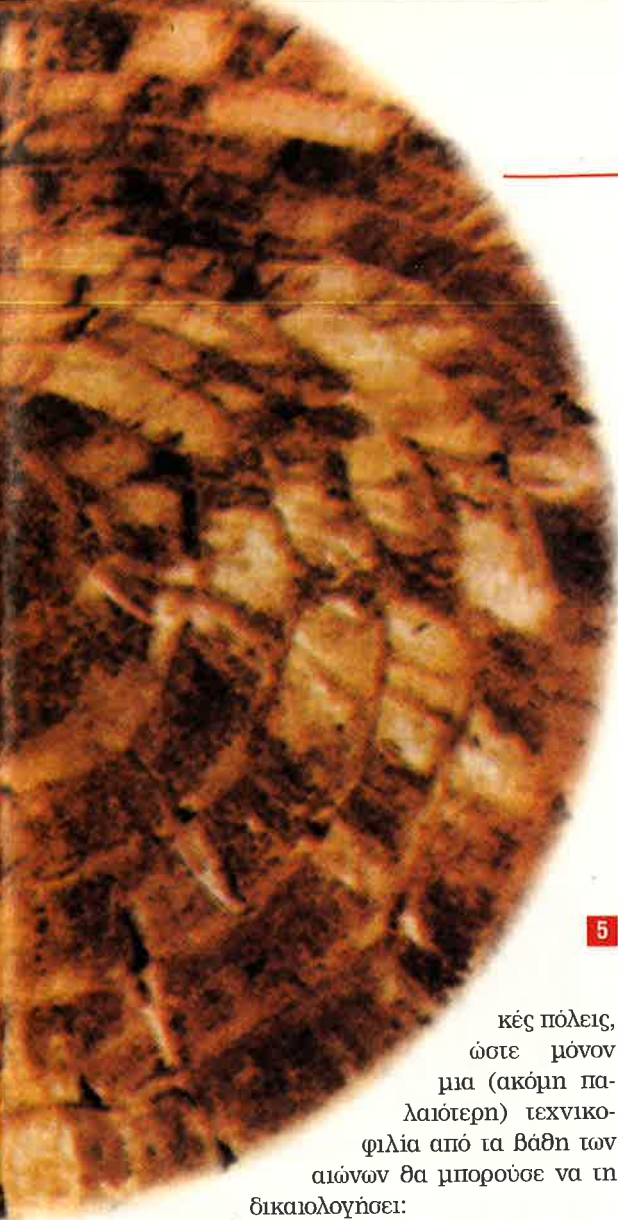
Αλλά και ρομποτικές αναπληρωτικές στήριξεις κατασκευάζει ο (χωλός) Ηφαιστος –«υπηρέτριες από χρυσάφι, όμοιες με ζωντανά κορίτσια, με μυαλό, λαλιά και δύναμη» (*Ιλιάς*, Σ 417-420) για να τον υποβαστάζουν! Όπως άλλωστε κι ο Δαίδαλος είχε κατασκευάσει «την κινούμενη ξύλινη Αφροδίτην, εγχείαντ' άργυρον χυτόν» (δηλαδή υδράργυρον) [Αριστοτέλους, *Περί Ψυχής*, 604 b, 18-20].

Από το πλήθος των αρχαίων μυθικών αυτομάτων και ρομπότ, ας κλείσουμε αυτήν την αναφορά, υπενθυμίζοντας και το ρομπότ-γίγαντα Τάλω: έναν άρρωτο μπρούνιζινο φρουρό, που δρασκέλιζε την Κρήτη κι έριχνε βράχους στα ξένα πλοία που τολμούσαν να πλησιάσουν (Απολλ. Ροδ., *Αργον.*, 1638-1639).

Φαίνεται λοιπόν πως έχουμε το δικαίωμα να συμπεράνουμε ότι, ήδη απ' τις απαρχές του, ένας λαός με τέτοιες μυθοθηρσκευτικές πεποιθήσεις, διέθετε ήδη μια τεχνολογία αναπτυγμένη και (το κυριότερο) μιαν υψηλή αξιακή αντίληψη για την τεχνολογία.

Το συμπέρασμα αυτό επιβεβαιώνεται κι από τα σπουδαία τεχνολογικά επιτεύγματα του μυκηναϊκού πολιτισμού. Θέλω δηλαδή να πω ότι ήταν τόσο σημαντική η θέση της τεχνολογίας στις μυκηναϊ-

Οι Έλληνες οραματίζονταν την επέκταση του σχεδιασμού των χρηστικών αντικειμένων ώστε να γίνουν αυτόματα και ρομπότ



5

κές πόλεις, ώστε μόνον μια (ακόμη παλαιότερη) τεχνικοφιλία από τα βάθη των αιώνων θα μπορούσε να τη δικαιολογήσει:

— Η ανθρωπότητα θα χρειαζόταν ακόμη 1.500 χρόνια για να ξαναπετύχει διάμετρο θόλου κάτι λιγότερο από είκοσι μέτρα (θησαυρός του Ατρέως, 13ος αιώνας π.Χ.).

— Η αποξήρανση της τεράστιας λίμνης της Κωπαΐδας (13ος-14ος αιώνας π.Χ.), με διώρυγες 25 χιλιομέτρων, πλήθος αναχωμάτων και με την απαιτούμενη «καλλιέργεια» των καταβοθρών, αποδείκνυε μεγάλες ικανότητες υδραυλικής μηχανικής –οι οποίες θα χρειαζόνταν άλλα 1.000 χρόνια για να ξαναποκτηθούν (γύρω στον 4ο αιώνα π.Χ.).

Ετσι, νομίζω ότι ενδυναμώνεται το βασικό μας συμπέρασμα ότι τα ελληνικά φύλα εμφορούνταν από μια θεμελιώδη κλίση προς την τεχνολογία –ήδη από την αυγή της προϊστορίας.

Ανθρωπιστική στάση

Θα προβάλω τώρα ως οιονεί υπόθεση εργασίας, την άποψη ότι τα ελληνικά φύλα είχαν αναπτύξει από πολύ νωρίς μιαν ανθρωπιστικότερη αντίληψη της ζωής –εν συγκρίσει, ίσως, με άλλους σπουδαιότερους προγενέστερους λαούς, όπως οι Βαβυλώνιοι και οι Αιγύπτιοι. Εάν κάτι τέτοιο γίνει αποδεκτό (πράγμα που μάλλον φαίνεται να συμβαίνει), τότε μπορεί κανείς να συμπεράνει βασίμως ότι οι Ελλην-



6

νες θα είχαν πρόσθετο κίνητρο να αναπτύξουν εκείνες τις τεχνολογίες, οι οποίες θα ευόδωναν την επί Γης ανθρώπινη ύπαρξη –κι όχι απλώς την επιβίωση.

Ας υπενθυμίσουμε λοιπόν διαγωνίως μερικά από τα συστατικά αυτής της ελληνικής ροπής προς την ανθρωποκεντρικότητα –εκ περισσού, έστω:

— Τάσεις για απομυθοποίηση της κοσμολογίας: αναγνώριση της Γης ως ουράνιου σφαιρικού σώματος (Αρίσταρχος, Ερατοσθένης). Εξάλλου, κινήσιμη αιτία της ύλης δεν είναι κάποιοι «νους», αλλά η δύναμη της βαρύτητας των σωμάτων (Δημόκριτος).

— Ανθρωποκεντρική τάση μέσα στα ίδια τα θρησκευτικά περιβάλλοντα: το δελφικό «γνώθι σαυτόν» αλλά και η ανθρωπική κάθαρση του ίδιου του Απόλλωνος μετά τον (απελευθερωτικό, παρά ταύτα) φόνο του Πύθωνος.

— Η γενναία προβληματική των προσωκρατικών: «Αν τ' άλογα είχαν χέρια, θα ζωγράφιζαν το θεό τους άλογο» (Ξενοφάνης, DK, B15).

— Η αδιαπραγμάτευτη ανθρωπική στάση ζωής του Σωκράτους, ο οποίος (κατά τον Κικέρωνα) έφερε τη φιλοσοφία από τον ουρανό στη Γη («Ου το

6. Η πάλη του ανθρώπινου νου με το υπερφυσικό αποτυπώνεται στη «μονομαχία» του Οιδίποδα με τη Σφίγγα. Ανάγλυφη παράσταση ελληνιστικής σαρκοφάγου

Η αποξήρανση της τεράστιας λίμνης της Κωπαΐδας, με διώρυγες 25 χλμ., αποδείκνυε μεγάλες ικανότητες υδραυλικής μηχανικής



7

7. Ο πολυσυζητημένος και πάντα μυστηριώδης «μηχανισμός των Αντικυθήρων».

8. Αρχαία ελληνική λύρα από νόμισμα της Αλικαρνασσού του 2ου αιώνα π.Χ.

9. Η μαθηματικοποίηση της μουσικής από τον Πυθαγόρα σε αναγεννησιακή ξυλογραφία

ζην περί πλείστον ποιητέον, αλλά το ευ ζην», Κριτων, 48 b).

— Η ρητή ανθρωποκεντρική θεμελίωση της Ηθικής στον **Αριστοτέλη**. («Κανονίζομεν τας πράξεις ημών ηδονής και λύπης», Ηθ. Νικ., 1105 a 3).

— Η απελευθέρωση του ανθρώπινου σώματος στις ελληνικές πλαστικές τέχνες. (Παράβαλλε και την ελληνιστική επιρροή στην τέχνη αναπαράστασης του Βούδα στη Γανδάρα: χαμογελαστό πρόσωπο ανθρώπου, αντί για το σύμβολο μιας πατούσας μόνον...).

— Ο φοβερός στίχος του (περσικού) Χορού στους «Πέρσες» του **Αισχύλου** (§ 242): «Δούλοι και υπήκοοι κανενός δεν είναι αυτοί» (οι Έλληνες).

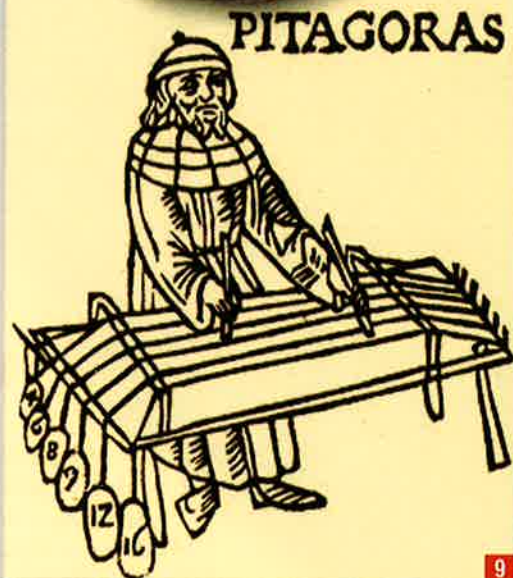
— Ίσως να έχει εδώ τη θέση της και η χειγελευτική αλληγορία της ήτας της (αιγυπτιακής) Σφιγγός από τον «έλλογον» Έλληνα **Οιδίποδα**.

Αντί δε συμπεράσματος, θα ταίριαζε εδώ να υπενθυμίσουμε και της ίδιας της τεχνολογίας την απομυθοποίηση, όταν αποσυνδέθηκε από το Μύθο κι αναγνωρίστηκε ως «προϊόν ανάγκης, μέσω εμπειρίας και μίμησης της φύσεως» (δύο χιλιάδες χρόνια πριν από τον **Μαρξ**). Πρόκειται για την ώριμη άποψη του **Μοσχίωνος**, τραγικού ποιητή του 3ου αιώνα π.Χ. (Απόσπασμα 6, Nauck)...

Όπως λέγαμε και στην αρχή αυτού του κεφαλαίου, είναι εύλογο να αναμένονται κάμποσες φιλοτεχνολογικές συνέπειες ενός τέτοιου ανθρωπισμού –πρόσθετες εκείνων που ήδη προβλέπονταν από



9



Οι Έλληνες είχαν επιτύχει τη συστηματική υδρευση των πόλεων και είχαν αναπτύξει την οδοποιία και τη γεφυροποιία

την προμνηστική παρέμβαση. Αφού στο κέντρο Βά-ρους της ελληνικής ψυχοσύνθεσης δεν βρίσκεται η επέκεινα ζωή (παρά την αναμφισβήτητη ευλάβεια όλων) ούτε ο δεσπότης (παρά τις περιπέτειες της νεογέννητης δημοκρατίας), οι ανθρώπινες ανάγκες θα πρέπει να υπηρετηθούν σ' όλο τους το εύρος: ανάγκες για την επιβίωση, για τη γνώση και για την έκφραση.

α) Η **επιβίωση** ήταν στόχος προφανής όλων των λαών. Γι' αυτό και η βαβυλωνιακή και η αιγυπτιακή τεχνολογία, πέραν των θρησκευτικής εμπνεύσεως μεγαλουργημάτων (όπως ναοί γιγαντιαίοι και πυραμίδες κάθε είδους), έδωσαν σπουδαία επιτεύγματα και στα εγγειοβελτιωτικά έργα μεγάλης κλίμακας. Ανάλογα επιτεύγματα δεν έλειψαν από την αρχαιοελληνική τεχνολογία: μυκηναϊκές αποξηράνσεις λιμνών και υδαιοφράγματα μεγάλα,

καθώς και ποικίλα μεταγενέστερα αρδευτικά έργα.² Οι Έλληνες όμως σ' αυτής της κατηγορίας τα έργα πρόσθεσαν τις συστηματικές υδρεύσεις των πόλε-ων,³ τους γερανούς και τις αντλίες,⁴ αλλά και την οδοποιία και τη γεφυροποιία.⁵

Στην ίδια κατηγορία θα κατέτασσε κανείς και τις τεχνικοεπιστημονικές βελτιώσεις στη μεταλλουργία του αργύρου, τις οποίες πέτυχαν οι Αθηναίοι στο Λαύριο⁶ ήδη από τον 5ο αι. π.Χ., για να φτάσουν μια παραγωγή 25 τόνων καθαρό ασήμι κατ' έτος (μηχανοποίηση στην ανύψωση φορτίων, ελικοειδή πλυντήρια, μαζική εκκαμίνευση κ.ά.).

Στις ανάγκες «επιβίωσης» θα μπορούσε κανείς να κατατάξει και τη στρατιωτική τεχνολογία –αλλά, για ποικίλους λόγους, αφήνω αυτό το θέμα έξω από το σημερινό άρθρο. (Πάντως, θα μπορούσα να παραπέμψω προχειρώς στον Κατάλογο της Εκθεσης Αρχ. Ελλ. Τεχνολογία, ΤΜΘ/ΕΜΑΕΤ, Θεσ/νίκη, 1997).

β) Αντίθετα, επείγομαι να περάσω στις ανθρώπινες ανάγκες για τη **γνώση** –ανάγκες ιδιαιτέρως ελληνικές. Εκεί, έχουμε απ' τη μια μεριά το γνωστό φαινόμενο της τεχνολογικής επιτάχυνσης στις ελληνίδες χώρες μετά τον 6ο αιώνα π.Χ. (εξαιτίας του παραγωγικού «υμέναιου» με τη νεογέννητη ελλη-



10

νική επιστήμη⁷⁾, ενώ από την άλλη έχουμε το «αντίδρο» ως πούμε της τεχνολογίας προς την επιστήμη, την παραγωγή δηλαδή πλήθους μηχανικών οργάνων ακριβείας,⁸ όπως:

— μέτρηση χρόνου (ακριβή υδραυλικά ωροσκοπεία),

— μέτρηση αποστάσεων (οδόμετρον),

— τοπογραφικά όργανα (χωροβάτης, δίοπτρα),

— αστρονομικά όργανα (αστρολάβοι, αναλογικός υπολογιστής των Αντικυθήρων κ.ά.).

Αυτό το οιονεί κλειστό κύκλωμα επιστήμη-τεχνολογία-επιστήμη μου φαίνεται πως είναι άλλη μια κατάφαση της τεχνικοφιλίας των αρχαίων Ελλήνων –εμπνεόμενης όμως, ετούτη τη φορά, από μια ιδιόζουσα ελληνική ανθρωποκεντρική στάση. (Μια στάση που δεν θα επιζούσε μετά την αναϊεράρχηση αξιών που συνέβη μετά τις αρχές της πρώτης χριστιανικής χιλιετίας...).

γ) Τέλος, οι ανάγκες για την **έκφραση** υπηρετήθηκαν ιδιαίτερος από την αρχαιοελληνική τεχνολογία –πολύ περισσότερο απ' ό,τι (σ' όλους τους πολιτισμούς) η τέχνη στηρίζεται πάντα στην τεχνική. Εδώ, στην περίπτωση της αρχαίας Ελλάδας, η ι-

διάζουσα τεχνολογική νοοτροπία του λαού έδωσε τη δυνατότητα να πραγματοποιηθούν περισσότερες, καλλιτεχνικές εμπνεύσεις:

— Θα εφευρεθεί η υδραυλός (το σημερινό «όργανο») από τον **Κτισίβιο** (4ος αι. π.Χ.), ως συνδυασμός (α) σειράς αυλών και (β) της εμβολοφόρου αντλίας του Κτισιβίου. Αργότερα, ο **Ηρων** θα προσθέσει και μια «πτερωτή» (αιολική ενέργεια), για να μη χρειάζεται μυϊκή δύναμη να τρομπάρει την αντλία.

— Η κατασκευή των έγχορδων μουσικών οργάνων θα διευκολυνθεί μετά τη μαθηματικοποίηση των ήχων από τους Πυθαγορείους.

— Τα ποικίλα «διασκεδαστικά» αυτόματα των Αλεξανδρινών, ιδίως δε τα μηχανικά θεατρικά έργα του Ηρωνος⁹ αποτελούν ίσως την κορωνίδα αυτού του τεχνο/τεχνικού διαλόγου.

— Το ίδιο όπως και ο «από μηχανής θεός» των αρχαίων θεάτρων (συστήματα γερανών και καταπακτών), που θα συμβάλει στην ενάργεια των δρωμένων.

Το συμπέρασμά μου και απ' αυτήν τη γρήγορη αναδρομή, είναι ότι οι αρχαίοι Έλληνες είχαν πρόσθετους λόγους να εκτιμούν την τεχνολογία όταν απολάμβαναν τα αγαθά αποτελέσματά της σε τόσο πολλούς τομείς του βίου συγχρόνως.

Υστερες πολιτικές και οικονομικές συγκυρίες

Ο (πολιτισμικά και οικονομικά) ενοποιημένος χώρος της επικράτειας του **Μ. Αλεξάνδρου**, αλλά

Είχαν εφεύρει πλήθος μετρητικά όργανα ακριβείας, όπως υδραυλικά ωροσκοπεία, οδόμετρον, χωροβάτη, δίοπτρα, αστρολάβους

και των επιγόνων του (για ένα διάστημα τουλάχιστον), φαίνεται ότι συνήργησε σε μια περαιτέρω ανάπτυξη της τεχνικοφιλίας των «μετεχόντων της ελληνικής παιδείας». Η ανάπτυξη αυτή φαίνεται από την αύξηση του πλήθους των τεχνικών συγγραφέων, από την αύξηση του αριθμού των εφευρέσεων, από τη μεγέθυνση των επιμέρους επιτευγμάτων (λ.χ. η τριήρης είχε εκτόπισμα 70 τόνων, αλλά τα πλοία του **Πτολεμαίου Δ', του Φιλοπάτορος**, θα έχουν εκτόπισμα 2.500 τόνων), μπορεί δε να αποδοθεί συνοπτικά στις ακόλουθες πιθανές αιτίες:

— Περαιτέρω εντατικοποίηση της παραγωγικής σχέσης τεχνολογίας και επιστήμης. (Το Μουσείο της Αλεξανδρείας ήταν ένα είδος National Science Foundation). Αργότερα, ο διάσημος Αλεξανδρινός μαθηματικός **Πάππος** (3ος αι. μ.Χ.) θα πει ότι «η επιστήμη της Μηχανικής είναι χρήσιμη ▶



11

10. Τα υδραυλικά έργα των αρχαίων εντυπωσιάζουν ακόμη σήμερα. Απομεινάρια δικτύου στη Φαιστό.

11. Παράσταση αγγείου που αποδεικνύει τη γνώση των αρχαίων στη χρήση των μοχλών για τη ζύγιση



12. Σύγχρονη κατασκευή της σφαίρας του Ηρώνα, η οποία εκινείται με τη δύναμη του ατμού

για πλήθος εφαρμογών στην καθημερινή ζωή –κι ακολουθείται εμμένως απ’ όλους τους μαθηματικούς» (*Συναγωγή*, 8-1). Από τον καιρό του **Αρχιμήδους**, είχε περάσει η εποχή τού δήθεν «αδιάφορου» επιστήμονα.

— Μεγάλη συγκέντρωση πληροφοριών χάρις στη Βιβλιοθήκη της Αλεξανδρείας –όταν (σταδιακά) θα καταστραφεί, η ανθρωπότητα θα χάσει άγνωστο σε μας σήμερα θησαυρό...

— Στροφή στα ενδιαφέροντα τού (μορφωμένου, τουλάχιστον) πολίτη των ελληνιστικών χρόνων: αντί για γενικές κοσμολογικές θεωρίες, τώρα ψάχνουν τον κόσμο «από μέσα προς τα έξω», μ’ έναν τρόπο που προαναγγέλλει τον **Γαλιλέο**. Τώρα, πολύ περισσότερο αρέσκονται στη μέτρηση και στην κατασκευή. Η ανατομική των πτωμάτων θα αναπτυχθεί στην Αλεξάνδρεια (λ.χ. **Ερασίστρατος**, 3ος αι. π.Χ.), για ν’ απαγορευθεί αργότερα και να ξαναρχίσει για λίγο μόνον, χίλια διακόσια χρόνια αργότερα, στο Σαλέρνο.

— Οι μεγάλοι συγγραφείς μηχανικοί δεν είναι πλέον κτηματίες ή σιραινγοί. Ο Κτησίβιος ήταν

Αριστοτέλης: «Αν τα όργανα επιτελούσαν τη δουλειά τους μόνα τους, δεν θα ’χαν οι δεσπότες ανάγκη από δούλους»

γιος κουρέα, ενώ ο Ηρών ήταν στην αρχή τσαγκάρης. Η εποχή της αριστοκρατικής σιάσης του Ξενοφώντος έναντι των βαναύσων τεχνών είχε περάσει.

— Οι πηγές ενέργειας είχαν αρχίσει να διευρύνονται. Στη μυϊκή ενέργεια ανθρώπων και ζώων είχαν προστεθεί το ξυλοκάρβουνο και λίγος λιγνίτης (**Θεόφραστος**, «*Περί Λίθων*»), ενώ οι νερόμυλοι είχαν αρχίσει να διαδίδονται ήδη από το τέλος της 1ης χιλιετίας π.Χ.

— Η ελληνοποίηση στη γλώσσα, τα ήθη, αλλά και οι λίγο ως πολύ ευκολότερες επικοινωνίες των λαών, δημιούργησαν ένα κοσμοπολίτικο κλίμα (ευνοϊκό για την τεχνολογία κι αυτό).

Παρ’ όλ’ αυτά, η ελληνιστική άνθηση της τεχνικοφιλίας δεν μπορούσε ακόμη να οδηγήσει σε μια τεχνολογική επανάσταση. Δεν είχαμε φτάσει σε κρίσιμες στάθμες οικονομικών μεγεθών, τεχνικής παιδείας, αλλά και επίλυσης προβλημάτων της δυναμικής.

Κυριαρχούσε όμως ακόμη το ελληνικό προμηθεϊκό πάθος «διά της Τεχνολογίας προς τον Άνθρωπο», όπως το είχε διατυπώσει επιγραμματικότερα κι ο Αριστοτέλης (*Πολιτικά*, 1253 b 34-1254 a 2): «Αν τα όργανα, επειδή τα διατάσσουμε ή επειδή προαισθάνονται, επιτελούσαν τη δουλειά τους μόνα τους, δεν θα ’χαν οι δεσπότες ανάγκη από δούλους».¹⁰

ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ

1. Βλ. Knauss J., «*Spaethelladische Wasserbauten*», DZA Verlag Kultur und Wissenschaft, 2002.
2. Βλ. λ.χ. Α.Α. Παπαδήμου, «*Τα υδραυλικά έργα παρά τους Αρχαίους*», Τεχν. Επιμελητήριο της Ελλάδος, Αθήνα, 1975.
3. Βλ. λ.χ. επιμέλεια Θ.Π. Τάσιου, «Υδρευση των Αθηνών», περιοδικό *7-Ημέρες, Καθημερινή*, 24.03.2002.
4. Βλ. λ.χ. το ομώνυμο σημείωμα Θ.Π. Τάσιου στον Κατάλογο της Εκθεσης «*Αρχαία Ελληνική Τεχνολογία*», Τεχνόπολις, 2002.
5. Βλ. *Πρακτικά 1ου διεθνούς συνεδρίου «Αρχαία Ελληνική Τεχνολογία*», ΕΜΑΕΤ/ΓΜΘ/Πολ. Τεχν. Ιδρ. ΕΤΒΑ, Θεσσαλονίκη, 1997.
6. Για περισσότερα βλ. Κακαβογιάννης Ε., «*Μια νέα άποψη για τη λειτουργία των πλυντηρίων μεταλλεύματος της Λαυρεωτικής, κατά τους κλασικούς χρόνους*», Α’ συμπ. Αρχαιομετρίας, Αθήνα 1992.
7. Βλ. T.P. Tassios, «*Counterfertilisation of Science and Technology in Ancient Greece*», Int. Congress on Ancient Structures, Olympia, 2001.
8. Βλ. προχείρως στον Κατάλογο της Εκθέσεως «*Αρχαία Ελλην. Τεχνολογία*» (Τεχνόπολις, 2002), την Εισαγωγή και το Σημείωμα Θ.Π. Τάσιου για τα Μετρητικά Όργανα.
9. Βλ. Α. Καλλιγερόπουλος: «*Αυτοματοποιητική, Ηρώνας του Αλεξανδρινού*», Αθήνα, 1996.
10. Υστερα από 1.800 χρόνια, οι ουτοπικές πολίειες του Campanella και του Bacon θα σπρηχθούν στην τεχνολογία για την ανακούφιση του ανθρώπου από το μόχθο και τη στέρση.

6ος αι. π.Χ.

Ο Ευπαλίνος κατασκευάζει στη Σάμο έναν αγωγό μήκους πάνω από 2 χλμ., από τα οποία το ένα χλμ. μέσα σε σήραγγα, για την ύδρευση της πόλης. Την ίδια περίοδο εισάγονται οι κάμινοι αναγωγής στη μεταλλουργία και στην οικοδομική γενικεύεται η χρήση της πέτρας

Αρχές 5ου αι. π.Χ.

Αρχίζει η εξόρυξη μολύβδου και ασημιού από τα μεταλλεία του Λαυρίου

Αρχές 4ου αι. π.Χ.

Ο Αρχύτας ο Ταραντίνος εφευρίσκει τον κοχλία και την τροχαλία, χάρη στα οποία εισάγεται στην οικοδομική η χρήση των πρώτων ανυψωτικών μηχανών (τρίποδα, γερανοί, βαρούλκα, τροχαλίες).

Παράλληλα ο Αρχύτας καινοτομεί στον τομέα της υδραυλικής. Λίγο αργότερα εμφανίζονται στην οικοδομική οι αψίδες και οι θόλοι

που αρχικά εφαρμόζονται στην κατασκευή των δημοσίων κτιρίων. Τα βαρούλκα θα χρησιμεύσουν επίσης ευρύτατα στην ανύψωση των όγκων μεταλλεύματος στο Λαύριο

308-246 π.Χ.

Περίοδος ζωής του Κτισίβιου του Αλεξανδρινού. Επιδόθηκε σε πολλές τεχνικές ανακαλύψεις και εφευρέσεις, ενώ υπήρξε ο σημαντικότερος κατασκευαστής διαφόρων τύπων κλεψύδρας

Αρχές 3ου αι. π.Χ.

Ο αρχιτέκτονας Σώστρατος ο Κνίδιος κατασκευάζει το φάρο της Αλεξάνδρειας με ύψος 87 μ., του οποίου το φως έφτανε σε απόσταση μεγαλύτερη των 50 χλμ.

3ος αι. π.Χ.

Το έργο του μηχανικού Φίλωνα του Βυζαντίου για την κατασκευή λιμανιών, φρουρίων και πολιορκητικών μηχανών συμβάλλει σημαντικά στην ενίσχυση της ναυτικής δύναμης

των νησιών του Αιγαίου. Το έζαμι στα παράθυρα αντικαθιστά τις πλάκες, τα υφάσματα, τα δέρματα και τα ξύλινα πείσματα

287-212 π.Χ.

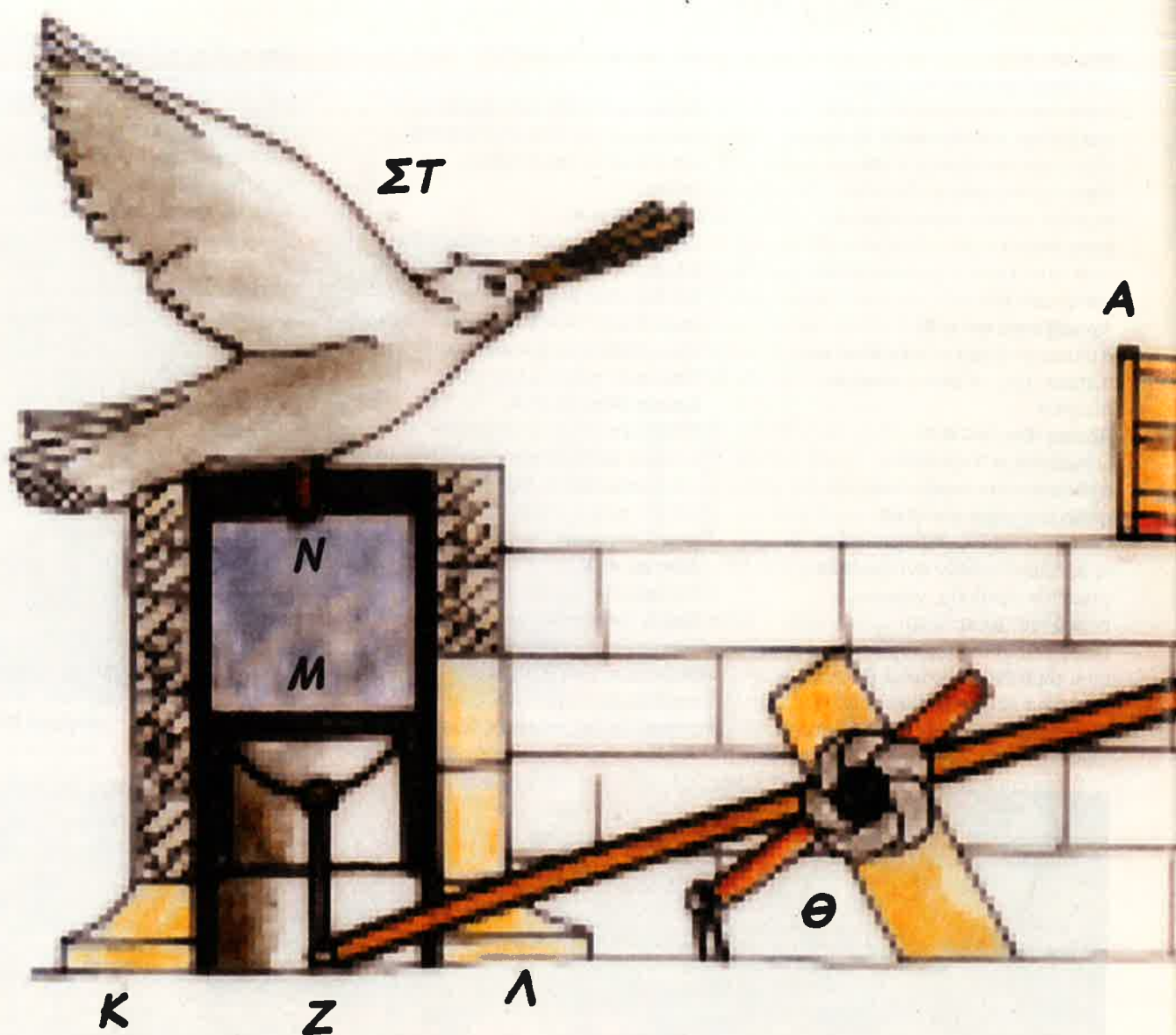
Ο Αρχιμήδης διατυπώνει τη θεωρία της υδροστατικής άνωσης, ενώ συμβάλλει καθοριστικά στην άμυνα της πατρίδας του, των Συρακουσών, εναντίον των Ρωμαίων με τα κοίλα κάτοπτρα που «συλλέγουν» τις δέσμες του Ηλίου και καίνε τα πλοία των επιτιθεμένων

100 π.Χ. περίπου

Ηρων ο Αλεξανδρεύς, ο δημιουργός των αυτομάτων: θεμελιώνει τη θεωρία που θα τον οδηγήσει στον πρόδρομο της ατμομηχανής

Τα μεταλλεία του Λαυρίου απέδιδαν περί τους 25 τόνους αργύρου ετησίως





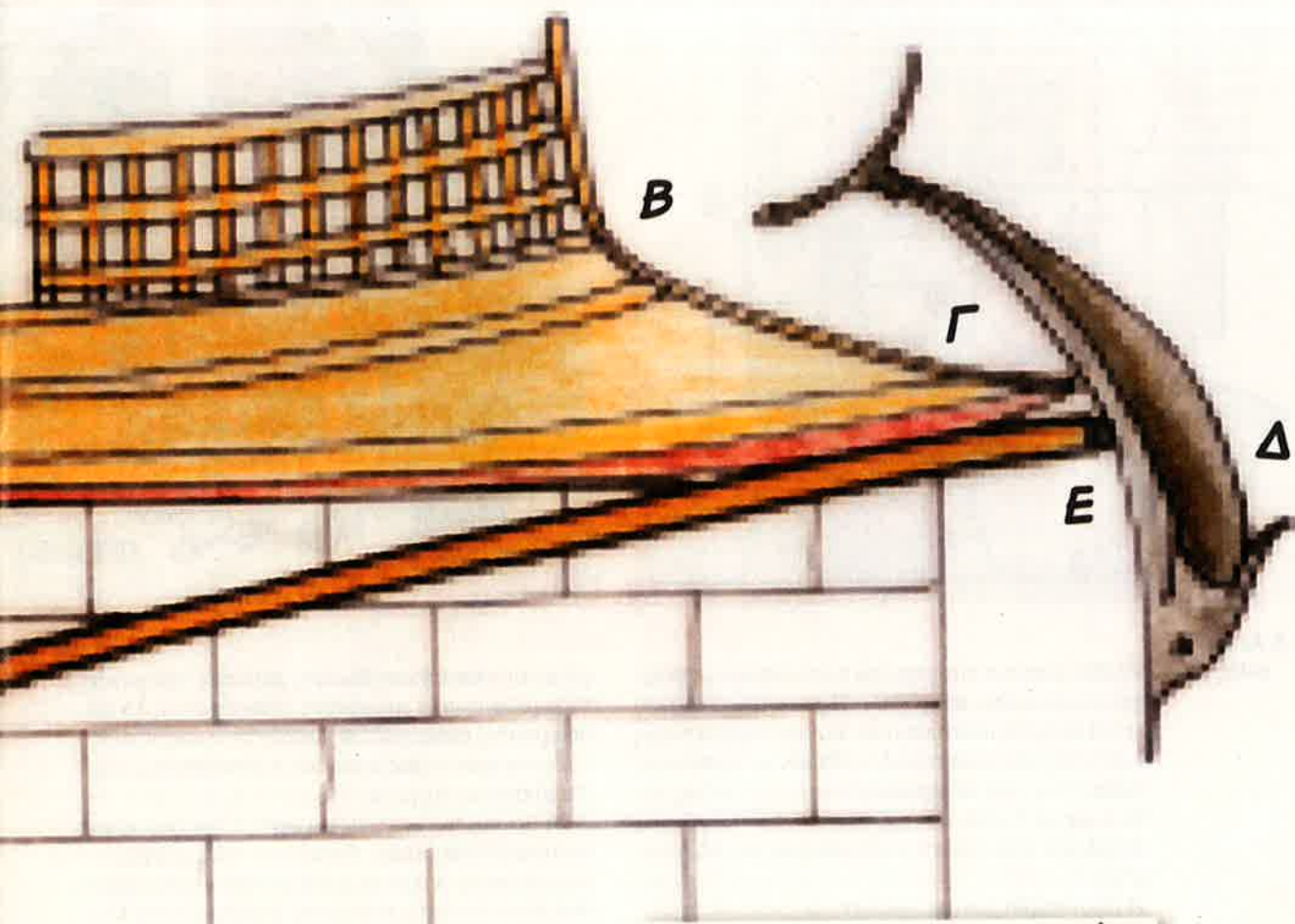
Τ

Του ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΚΑΛΛΙΓΕΡΟΠΟΥΛΟΥ
δρος Τεχνικών Επιστημών, μηχανολόγος, πλ. ΕΜΠ,
καθηγητής Τμήματος Αυτοματισμού του
ΤΕΙ Πειραιά, μέλος του Δ.Σ. της Εταιρείας
Μελέτης Αρχαίας Ελληνικής Τεχνολογίας

ΤΑ ΑΥΤ

α αυτόματα μέσα στην ιστορία της αρχαίας ελληνικής τεχνολογίας αποτελούν σίγουρα ένα ιδιαίτερο, ξεχωριστό, ειδικό και ταυτόχρονα εντυπωσιακό στοιχείο. Στόχος μας όμως δεν είναι ούτε να ξεχωρίσουμε, να απομονώσουμε και να προβάλλουμε έναν εξεζητημένο κλάδο της τεχνολογίας, ούτε να εντυπωσιάσουμε. Στόχος μας αντίθετα είναι να συνδέσουμε

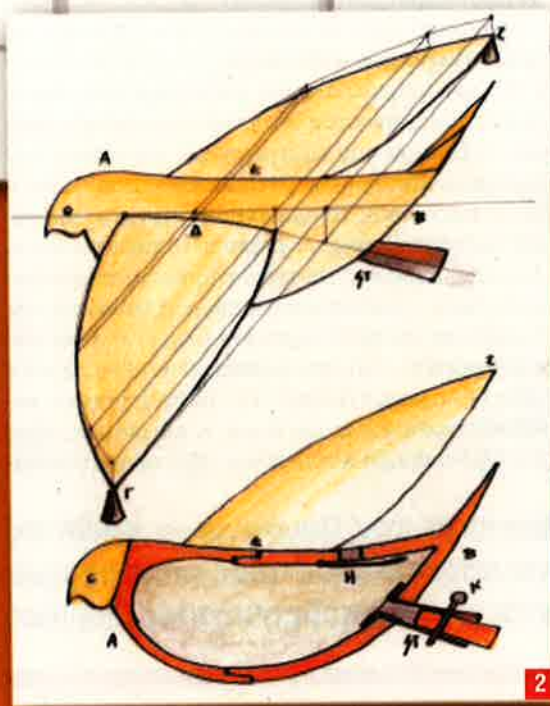
τους διάφορους τεχνολογικούς κλάδους ανάμεσά τους, να αναδείξουμε την τεχνική σκέψη που περιέχουν, να συνδέσουμε την τεχνολογία με τα άλλα πνευματικά δημιουργήματα του ανθρώπου, όπως τη φιλοσοφία και την τέχνη. Στόχος μας είναι ακόμη να γεφυρώσουμε ιστορικά το χάσμα που χωρίζει την παραγνωρισμένη αρχαία ελληνική τεχνολογία με



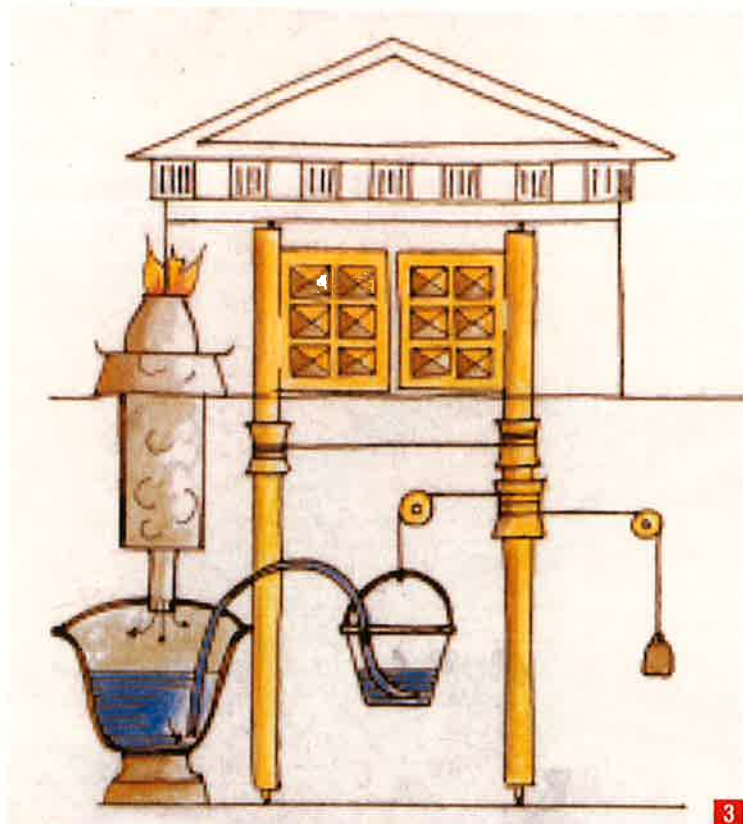
ΟΜΑΤΑ

την ευρωπαϊκή Αναγέννηση και τις ιδέες της βιομηχανικής επανάστασης.

Και τα αυτόματα μας διευκολύνουν σ' αυτό: «Παν μέρος της μηχανικής εν τη αυτοματοποιητική παραλαβανόμενον/ η αυτοματοποιητική, η τέχνη της κατασκευής των αυτομάτων, περιλαμβάνει, περιέχει όλους τους κλάδους της μηχανικής, συμπε-»



1. Η μηχανή στην σφετηρία του ολυμπικού ιπποδρόμου.
2. Το ιπτόμενο περιστέρι του Αρχύτα



3. Αυτόματες πύλες ναού

κνώνει όλη την επιστημονική και τεχνική γνώση των μηχανικών» αναφέρει ο **Ηρων** στην εισαγωγή της *Αυτοματοποιητικής* του. Και ο άλλος μεγάλος Αλεξανδρινός μηχανικός, ο **Φίλων ο Βυζάντιος**, κατατάσσει την Αυτοματοποιητική, στο τέλος του περίφημου έργου του «Μηχανική Σύνταξις», ως κατάληξη όλων των άλλων κλάδων της Μηχανικής.

Η προϊστορία των αυτομάτων

Αναμφισβήτητα τα αυτόματα αποτελούν την τεχνολογία αιχμής κάθε εποχής.

Τα τρία μεγάλα άλματα που πραγματοποίησε η τεχνική σκέψη στην ιστορική της εξέλιξη αφορούν: Πρώτον, την εφεύρεση των εργαλείων, των τεχνιτών και άψυχων αντικειμένων, που επεκτείνουν τη δύναμη, τις ικανότητες και την εμβέλεια του ανθρώπου, όπως το ρόπαλο, το ακόντιο και το δρεπάνι. Δεύτερον, την επινόηση των μηχανών, που αποτελούν συμπλέγματα επιμέρους μηχανισμών, ικανών να μεταδίδουν κίνηση ή να ενισχύουν φυσικά μεγέθη, και που λειτουργούν αξιοποιώντας μια εξωτερική ενέργεια, π.χ. την ενέργεια του ανθρώπου, ενός ζώου, του νερού ή του ανέμου, όπως το τόξο, η άμαξα και το πλοίο. Και τρίτον, τα αυτό-

Σύμφωνα με τον Πausανία, ο Κλεσίτας εφνύρε και κατασκεύασε τους μηχανισμούς της αφετηρίας στον ιππόδρομο της Ολυμπίας



ματα, τις αυτοκίνητες εκείνες μηχανές που κινούνται με ενέργεια εσωτερική, πλησιάζοντας περισσότερο τη λειτουργία των ζωντανών όντων.

Τα αυτόματα όμως αυτά έχουν πανάρχαιες ρίζες. **Τα μυθικά αυτόματα**

Οι πρώτες αυτοκίνητες μηχανές είναι παιδιά της ποιητικής φαντασίας. Αποτελούν δημιουργήματα μιας μυθικής ενόρασης, μιας τεχνολογικής πρόθεσης, μιας τεχνικής επιθυμίας. Εμπεριέχονται στον αρχαίο ελληνικό μύθο και αποτελούν έκφραση της ανθρωπομορφικής του αντίληψης.

Η λέξη «αυτόματον» είναι λέξη ομηρική. «Αυτόμαται δε πύλαι μύκον ουρανού/αυτόματα, από μόνες τους, άνοιξαν οι πύλες του ουρανού» γράφει ο **Ομηρος** στην *Ιλιάδα* του (Ε 749, βλ. σχ. 4).

Και ο Ηφαιστος, ο τεχνολόγος, σιδεράς και αυτοματοποιός θεός των Ελλήνων, «τρίποδας είκοσι έτευχεν, χρύσεια δε σφ' υπό κύκλα εκάστω πυθμένι θήκεν, όφρα οι αυτόματοι θείον δυσαιάτ' αγώνα· θαύμα ιδέσθαι./είκοσι τρίποδες συνολικά μαστόρευε και άρμοζε ρόδες χρυσές κάτω απ' τη βάση καθενός, για να μπορούν αυτόματα, αυτοκινούμενοι, μες στον θεών τη σύναξη να μπαίνουν. Και ήταν αξιοθαύμαστοι, ένα θαύμα να τους βλέπει κανείς» (Σ 376).

Κι ακόμη έχει ο Ολύμπιος τεχνουργός «δύο χρυσές θεραπανίδες, σκλάβες μεταλλικές, με λογικό, φωνή και δύναμη, φτιαγμένες ειδικά για να μπορούν τον κουτσοπόδαρο θεό να υποβασιάζουν» (Σ 417).

Στο άλλο έπος του ποιητή, το έπος που αφορά την



4



5

4. Οι αυτόματες
πύλες του
ουρανού.
5. Η σφαίρα του
Αιόλου σε
σύγχρονη
γραφική
παράσταση

τέχνη της θάλασσας, την Οδύσσεια, ο βασιλιάς των Φαιάκων Αλκίνοος αναφέρεται «στα πλοία του τα κατασκευασμένα με σκέψη, στα πλοία με την κατασκευασμένη σκέψη, με την τεχνητή τους νοημοσύνη (ιπυσκόμεναι φρεσί νῆες), πλοία που δεν έχουν ούτε κυβερνήτες ούτε πηδάλια σαν τ' άλλα καράβια, αλλά με εξαιρετική ταχύτητα διανύουν τις θαλασσινές αποστάσεις, ακόμη κι όταν έχει σκοτάδι και συννεφιά, και ποτέ δεν υπάρχει φόβος να πάθουν βλάβη ή να χαθούν» (θ 556).

Αυτά τα μυθικά τεχνικά οράματα στηρίζονται ίσως σε αναφορές ακόμη αρχαιότερων αυτόματων κατασκευών, όπως τα αυτόματα συστήματα ύδρευσης των Βαβυλωνίων ή τα αυτόματα πλοία και τα αυτοκίνητα νευρόσπαστα αγάλματα των Αιγυπτίων, που αναφέρει ο **Ηρόδοτος**. Επιπρεάζουν όμως με τη σειρά τους τόσο τους αρχαίους τεχνικούς όσο και τους πρώτους φυσικούς φιλοσόφους.

Τα αυτόματα στην κλασική επιστήμη και τεχνολογία

Οι φυσικοί, προσωκρατικοί φιλόσοφοι, εισάγουν πρωτοπόρα την επιστημονική σκέψη, επιχειρούν τη φυσική ερμηνεία του κόσμου και αποδίδουν τη δημιουργία του σε υλικά στοιχεία σαν τη γη, το νερό, τον αέρα και τη φωτιά. Εννοούν μάλιστα τα υλικά αυτά στοιχεία όχι άψυχα, αλλά έμψυχα, με ψυχή, πνοή, ενέργεια, ικανά να κινηθούν και να κινήσουν.

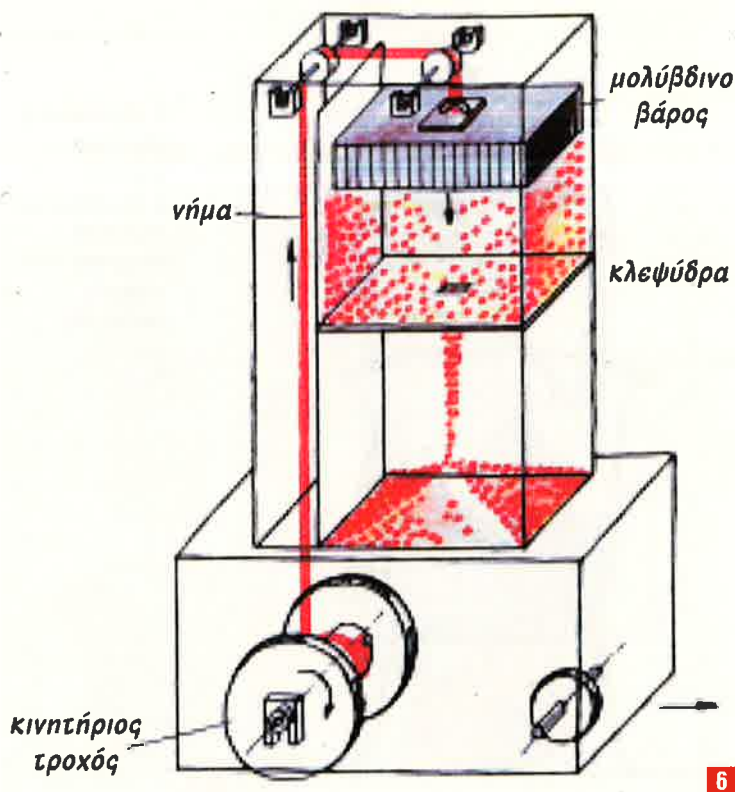
Η αντίληψη αυτή, για τον έμψυχο υλικό κόσμο,

γίνεται στη συνέχεια αντίληψη τεχνική, επιδίωξη των αρχαίων τεχνιτών να προσθέσουν εσωτερική ενέργεια στα κατασκευάσματά τους και να δημιουργήσουν μηχανές ικανές να κινούνται από μόνες τους. Τέτοιου είδους εσωτερική ενέργεια αναζητήσαν στα τέσσερα πρωταρχικά φυσικά στοιχεία. Η γη προκαλούσε δυναμική ενέργεια λόγω της βαρύτητας, ενέργεια που μπορούσε να αξιοποιηθεί με την πτώση ενός μολύβδινου βάρους. Η ροή του νερού μελετήθηκε ιδιαίτερα στα υδραυλικά συστήματα. Οι ιδιότητες του κενού και του αέρα μελετήθηκαν στο νέο κλάδο των «Πνευματικών». Και η φωτιά μπορούσε να προκαλέσει κίνηση είτε με τη μετατροπή του νερού σε ατμό είτε με τη διαστολή του θερμαινόμενου αέρα. Στη συνέχεια αναφέρουμε μερικά χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογής των ιδιοτήτων αυτών στην κατασκευή αυτομάτων κατά τα κλασικά και ελληνιστικά χρόνια.

Το αυτόματο περιστέρι του Αρχύτα

Πρώτη ιστορική αναφορά ενός τεχνικά άρτιου αυτόματου μηχανισμού βρίσκουμε στις περιγραφές του Ρωμαίου **Αύλου Γέλλιου** (γύρω στο 143 μ.Χ.) και του σύγχρονου του Έλληνα φιλοσόφου **Φαβρίνιου**. Κατ' αυτούς ο φίλος του Πλάτωνα **Αρχύτας**, ►

Ο Ηρων, περίπου το 100 π.Χ., μελετά τις ιδιότητες των υγρών και των αερίων και επινοεί τον πρόδρομο της ατμομηχανής



6. Ο κινητήριος μηχανισμός του αυτόματου θεάτρου του Ηρώνα

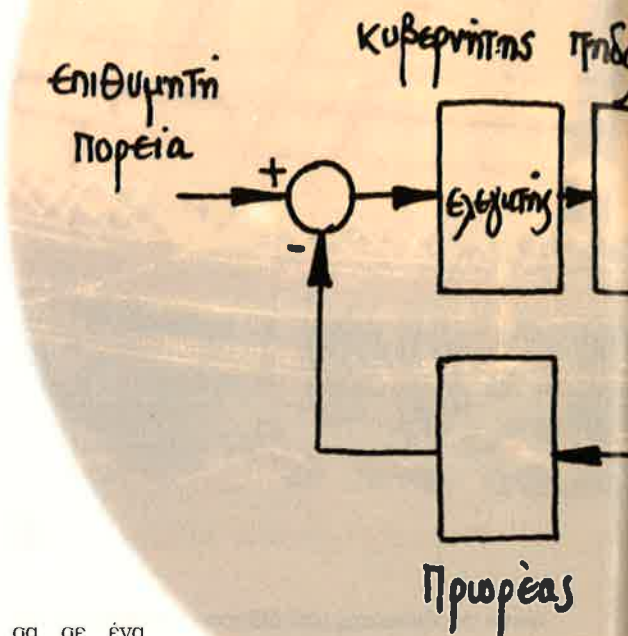
από τον Τάραντα της Σικελίας (430-350 π.Χ.), καινοτόμος στα μαθηματικά και ιδρυτής της επιστημονικής μηχανικής, κατασκεύασε «ξύλινην πετομένην αυτομάτην περιστράν/ξύλινο ομοίωμα περιστρεφού που πετούσε εξαιτίας ενός ρεύματος αέρος που περιείχε και έχοντος τόσο καλά συγγραμμένα τα βάρη του» (Αύλος Γέλλιος, *Αττικές Νύχτες* 10, 12, 9, Φαβωρίνος, *Παντοδαπή Ιστορία*, αποσπάσματα).

Η μηχανή αυτή είχε τη δυνατότητα να κινείται απ' εαυτής, να πετά, αξιοποιώντας ως εσωτερική της ενέργεια την τάση εκτόνωσης που διέθετε ο πεπιεσμένος στο εσωτερικό της αέρας. Η κατεύθυνση της πορείας της καθοριζόταν από την κλίση του ακροφύσιου, που αποτελούσε τη διέξοδο εκτόνωσης του πεπιεσμένου αέρα (σχ. 2).

Η μηχανή άφεσης των αλόγων στον ολυμπιακό ιππόδρομο

Ο Πανσανίας (110-180 μ.Χ.) αναφέρεται στο έργο του «Ελλάδος Περιήγησις» στο μηχανικό Κλεσίτα, αγνώστου εποχής, ο οποίος «εφηπύρε και κατασκεύασε τους μηχανισμούς της αφετηρίας στον ιππόδρομο της Ολυμπίας» (6, 20, 14). Σύμφωνα με τις περιγραφές αυτές «ο αφέτης του ιπποδρόμου βάζει σε κίνηση (ανακινεί) τη μηχανή που βρίσκεται μέ-

Τη διαστολή του θερμαινόμενου αέρα αξιοποιεί ο Ηρών για να κατασκευάσει πύλες ναού που ανοίγουν και κλείνουν αυτόματα



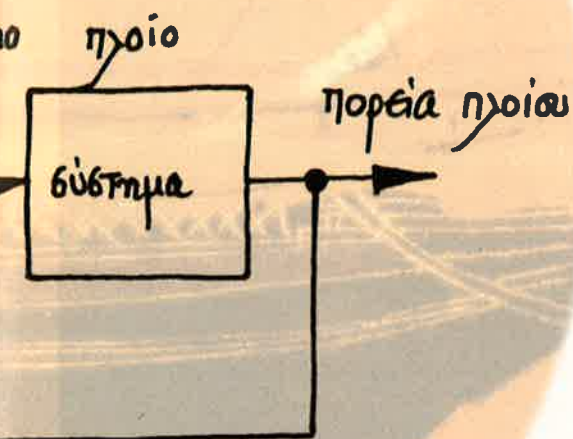
σα σε ένα βωμό, επιχρισμένο εξωτερικά με κόνιαμα, και έχοντος τοποθετημένο πάνω του έναν χάλκινο αετό. Τότε ένα βαρύ μολύβδινο δελφίνι στερεωμένο πάνω σε ένα μακρύ ξύλινο δοκάρι πέφτει, ενώ από το βωμό πετάγεται ψηλά ο αετός, γίνεται ορατός από τους θεατές και ταυτόχρονα κρότος ακούγεται δυνατός» (6, 20, 10).

Η μηχανή αυτή που περιγράφει ο Πανσανίας πρέπει να ήταν ένας δουλεμένος στον τόρνο θάλαμος συμπίεσης, μια μορφή καταθλιπτικής αντλίας, εφοδιασμένης με μια κατάλληλα ρυθμισμένη βαλβίδα εξόδου. Όταν δηλαδή ο αφέτης απελευθέρωνε μια ύσπληγγα, ένα σύστημα νευρών, όμοιο με αυτό που είχαν οι καταπέλτες και οι αφετηρίες των δρομέων, το μολύβδινο δελφίνι έπεφτε λόγω του βάρους του, το δοκάρι στο οποίο ήταν συνδεδεμένο λειτουργούσε σαν μοχλός, και το έμβολο μέσα στην αντλία του βωμού συμπίεζε τον εγκλωβισμένο αέρα μέχρι την εκτίναξη του χάλκινου αετού.

Η εσωτερική ενέργεια της μηχανής αυτής ήταν και εδώ η τάση εκτόνωσης του πεπιεσμένου αέρα (σχ. 1).

Η σφαίρα του Αιόλου

Στο έργο του «Πνευματικά» ο Ηρών ο Αλεξανδρεύς (περί το 100 π.Χ.) μελετά τις ιδιότητες των υ-



7



8

7. Κυβερνητική, η τέχνη ελέγχου της πορείας ενός πλοίου.

8. Το κινητό αυτόματο θέατρο

γρών και των αερίων και αξιοποιεί την τάση διαστολής του θερμού ατμού για να παράξει περιστροφική κίνηση και να επινοήσει έτσι τον πρόδρομο της ατμομηχανής. «Πάνω από θερμαινόμενο λέβητα περιστρέφεται σφαίρα σταθερά προσαρμοσμένη σε περιστρεφόμενο άξονα» (Ηρων, *Πνευματικά*, Β, 11).

Εδώ το νερό θερμαίνεται μέσα σε ένα λέβητα μέχρι βρασμού. Ο ατμός διοχετεύεται μέσα από ένα σωλήνα παροχής σε μία κοίλη σφαίρα που διαθέτει δύο κεκαμμένα ακροφύσια. Η εκτόξευση του ατμού με πίεση μέσα από τα ακροφύσια αυτά προκαλεί την κινητήρια ροπή και την περιστροφή της σφαίρας (σχ. 5).

Αυτόματες πύλες ναού

Την ιδιότητα της διαστολής του θερμαινόμενου αέρα αξιοποιεί ο Ηρων για να κατασκευάσει ακόμη πύλες ναού που ανοίγουν και κλείνουν αυτόματα.

«Ναός κατασκευάζεται, έτσι ώστε, μόλις ανάβει φωτιά σε βωμό, που βρίσκεται στην είσοδό του, και γίνει θυσία, οι πόρτες του ναού να ανοίγουν αυτόματα και μόλις σβήσει η φωτιά πάλι να κλείνουν» (Ηρων, *Πνευματικά*, Α, 38).

Όταν ανάψει η φωτιά στο βωμό, διαστέλλεται ο θερμαινόμενος αέρας στο δοχείο κάτω από το βωμό, πιέζει το νερό που βρίσκεται σε ένα στεγανό και σταθερό δοχείο πιο κάτω και το μεταφέρει σε ένα κινητό δοχείο, συνδεδεμένο μέσω τροχαλιών και α-

ντιβαρών με τις πύλες του ναού.

Ο μηχανισμός αυτός εφαρμόστηκε πιθανόν στο μεγάλο ναό της Εφέσιας Αρτέμιδος (σχ. 3).

Τα αυτόματα θέατρα

Ο Ηρων χρησιμοποιεί ακόμη στην «Αυτοματοποιική» του έναν μηχανισμό κίνησης των αυτόματων θεαίρων του, που αξιοποιεί τη δυναμική ενέργεια ενός μολύβδινου βάρους.

Η καιακόρυφη πτώση του βάρους αυτού προκαλεί την ελεγχόμενη οριζόντια αυτοκίνηση ολόκληρου του μηχανισμού. Ο έλεγχος γίνεται μέσω ενός συστήματος περιελίξεων του νήματος στον κινητήριο τροχό (σχ. 6). Ο μηχανισμός αυτός είναι σε θέση να παρουσιάζει ολόκληρες θεατρικές παραστάσεις (σχ. 8).

Ιδού η περιγραφή:

«Τοποθετούμε αρχικά το αυτόματο σε κάποια θέση και αφού απομακρυνθούμε ύστερα από λίγο χρόνο μεταβαίνει το αυτόματο σε κάποια άλλη ορισμένη θέση. Κι όταν αυτό σταματήσει, φωτιά ανάβει στο βωμό μπροστά απ' τον Διόνυσο. Κι απ' το ραβδί του Διονύσου αναβλύζει γάλα ή νερό κι από την κούπα του χύνεται κρασί... Και με λουλούδια στεφανώνεται όλος ο χώρος γύρω από τους τέσ-

Ο Αρχύτας, ιδρυτής της επιστημονικής μηχανικής, κατασκεύασε ξύλινο ομοίωμα περιστεριού που πετούσε



9. Άλλη μια σύγχρονη κατασκευή της σφαίρας του Ηρώνα.

10. Σύγχρονη ανακατασκευή της μηχανής του Ηρώνα που παρείχε νερό με τη ρίψη ενός νομίσματος

σερις στύλους της βάσης. Και οι κυκλικά τοποθετημένες Βάκχες γυρίζουν χορεύοντας γύρω απ' το μικρό ναό. Και ήχος ακούγεται τυμπάνων και κυμβάλων...» (Ηρών, *Αυτοματοποιητική*, 4, 2).

Όλα αυτά τα «πάρεργα» του αυτόματου θεάτρου αποτελούν, όπως και το σύστημα ολόκληρο, επιμέρους αυτόματα συστήματα ελέγχου.

Εξαιρετικά σύνθετα αυτόματα συστήματα, δύσκολα στην κατασκευή τους, με ελεγκτές διαφόρων ειδών, όπως υδραυλικές βάνες, μηχανικούς διακόπτες, τροχούς, βαλβίδες, με δυνατότητα προγραμματισμού των κινήσεων μέσω λεπτών περιελίξεων των νημάτων, όμως στη σύλληψή τους απλά, «ανοιχτά» όπως λέγονται, συστήματα ελέγχου, συστήματα οδήγησης, συστήματα που ακολουθούν μια προγραμματισμένη εξωτερική εντολή.

Ηρών: «Η τέχνη της κατασκευής των αυτομάτων συμπυκνώνει όλη την επιστημονική και τεχνική γνώση των μηχανικών»



Η προϊστορία της ανάδρασης

Υπάρχει όμως μέσα στην ιστορία της αρχαίας ελληνικής τεχνικής σκέψης και η ιδέα των δυναμικών κλειστών συστημάτων ελέγχου, αυτών δηλαδή που εκτός από τη διαδικασία του ελέγχου διαθέτουν τη διαδικασία της ανάδρασης, της διαρκούς παρακολούθησης του επιδιωκόμενου αποτελέσματος και της σύγκρισής του με την επιθυμητή είσοδο αναφοράς; Υπάρχει γενικότερα η έννοια του «αυτοελέγχου», δηλαδή του αυτοδύναμου ελέγχου ενός συστήματος, του ελέγχου που δεν αρκείται μόνο σε μια απλή εξωτερική εντολή, αλλά που εξασφαλίζει στο σύστημα μια συνεχή ευσταθή επιθυμητή λειτουργία, συνδέοντας όχι μόνο την αιτία με το αποτέλεσμα αλλά και ανάστροφα, μέσα σε έναν αέναο εσωτερικό κύκλο, το αποτέλεσμα με την αιτία που το προκάλεσε;

Οι έννοιες του κύκλου, του κλειστού βρόχου, της ανάδρασης και της αυτοαναιρέσης εμφανίζονται αρχικά στην αρχαία ελληνική διαλεκτική φιλοσοφική σκέψη.

Κατά τον **Ηράκλειτο**:

«Διαφερόμενον εαυτώ, ξυμφέρεται - παλίντινος

αρμονία/ αυτό που αντιτίθεται με τον εαυτό του συμφωνεί με τον εαυτό του - υπάρχει μια αντιθετική αρμονία» (B51)

Κατά τον **Σωκράτη**:

«Εν οίδα ότι ουδέν οίδα/

Ενα γνωρίζω, ότι δεν γνωρίζω τίποτα. Ενα είναι αληθές, αυτό που δέχεται την άρνηση του εαυτού του».

Ο **Πλάτων** περιγράφει αριστοτεχνικά στους διαλόγους του τη σωκρατική μαιευτική μέθοδο, κατά την οποία ο ίδιος ο Σωκράτης «ελέγχει» το συνομιλητή του, τον «οδηγεί» στο επιθυμητό συμπέρασμα, καθορίζοντας κάθε φορά την ερώτησή του με βάση την προβλεπόμενη απάντηση.

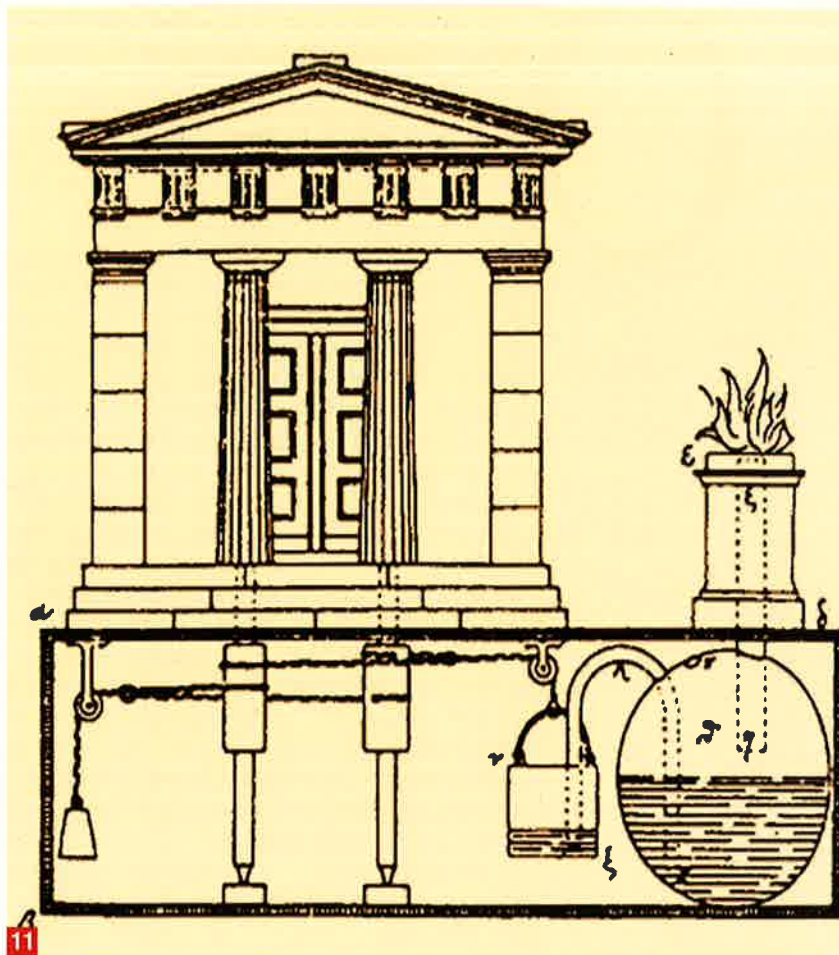
Η διαδικασία αυτή περιέχει την έννοια της ανάδρασης και του κλειστού συστήματος ελέγχου. Ο Πλάτων εισάγει ακόμη τον όρο «Κυβερνητική» (Γοργίας 511d), ως την τέχνη του κυβερνήτη να κυβερνά, να ελέγχει ένα πλοίο ή μία πολιτεία.

Το παράδειγμα του κυβερνήτη ενός πλοίου, ως ελεγκτή της πορείας του, απασχολεί ιδιαίτερα και τον Αριστοτέλη, ο οποίος ξεχωρίζει τα διάφορα επιμέρους στοιχεία ελέγχου αυτού του κλειστού βρόχου σε άψυχα και έμψυχα (σχ. 7).

«...Σε ορισμένες τέχνες, τεχνικές ή επαγγέλματα (τέχναι) είναι αναγκαίο να υπάρχουν τα κατάλληλα εργαλεία, μηχανήματα ή συσκευές (όργανα) για να μπορέσει να ολοκληρωθεί το τεχνικό έργο... Από τα εργαλεία αυτά άλλα μεν είναι άψυχα και άλλα έμψυχα. Όπως και για τον κυβερνήτη του πλοίου το πηδάλιο είναι εργαλείο άψυχο, ενώ ο πρωρέας, ο ναύτης δηλαδή που φυλάει την πλώρη, παρατηρεί τη θάλασσα κι ενημερώνει τον καπετάνιο, είναι έμψυχο. Γιατί ο τεχνίτης, ο εργάτης που μετέχει στις τεχνικές εργασίες, αποτελεί ένα είδος εργαλείου, οργάνου, εξαρτήματος μιας μηχανής» (Αριστοτέλης, *Πολιτικά* Α2, 4).

Ο έλεγχος, λοιπόν, της πορείας ενός πλοίου είναι ένα κλειστό σύστημα ελέγχου, αποτελούμενο τόσο από έμψυχα όσο και από άψυχα στοιχεία. Ο κυβερνήτης λειτουργεί ως ελεγκτής, χειριζόμενος το άψυχο όργανο του πηδαλίου. Ο πρωρέας λειτουργεί ως ανάδραση, εντοπίζει την πορεία του πλοίου και τη συγκρίνει με την επιθυμητή. Ο Αριστοτέλης, μάλιστα, ξεχωρίζει στο ίδιο έργο του τα δύο βασικά είδη των συστημάτων ελέγχου: τα ανοιχτά από τα κλειστά συστήματα, εκείνα της οδηγησης από εκείνα του αυτοελέγχου, τα δεχόμενα «κέλευσμα» από τα διαθέσιμα «προαισθησιν».

«Γιατί αν κάθε εργαλείο μπορούσε να κάνει τη δουλειά του είτε κατόπιν εξωτερικής εντολής, κατευθυνόμενο εξωτερικά (κελευσθέν), είτε διαθέτοντας εσωτερικό προγραμματισμό, έχοντας εσωτερική λειτουργία ελέγχου (προαισθανόμενον), τότε θα



λειτουργούσε αυτόματα σαν τα γλυπτά του Δαίδαλου ή σαν τους τριποδες του Ηφαίστου και τότε αυτόματα θα ύφαινε η साίτα του αργαλειού κι αυτόματα θα παίζαν μουσική τα πλήκτρα της κιθάρας...» (Αριστοτ., *Πολιτικά* Α4).

Η ενασχόληση των αρχαίων Ελλήνων φιλοσόφων και μηχανικών όχι μόνο θεωρητικά, αλλά και πρακτικά με τη μελέτη και την κατασκευή τέτοιου είδους κλειστών συστημάτων αυτόματου ελέγχου, μηχανών ανεξάρτητων, αυτοκίνητων και αυτοελεγχόμενων, όμοιων στη λειτουργία τους με τα ζωντανά όντα, ολοκλήρωσε ήδη από τα ελληνιστικά χρόνια το τεχνολογικό άλμα που περίπου δύο χιλιετίες αργότερα επέτρεψε την πλατιά χρήση των μηχανών αυτών στη βιομηχανία και την έναρξη της βιομηχανικής επανάστασης στην Ευρώπη. ■

Τα μυθικά τεχνικά οράματα του Ομήρου στηρίζονται ίσως σε αναφορές ακόμη αρχαιότερων αυτόματων κατασκευών

11. Το αυτόματο άνοιγμα των θυρών του ναού που είχε κατασκευάσει ο Ηρώνας, από το βιβλίο «Περί αυτοματοποιητικής»

Ο

Του ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΚΑΛΛΙΓΕΡΟΠΟΥΛΟΥ
δρος Τεχνικών Επιστημών, μηχαν. πλ. ΕΜΠ,
καθηγητή Τμήματος Αυτοματισμού του
ΤΕΙ Πειραιά, μέλους του Δ.Σ. της Εταιρείας
Μελέτης Αρχαίας Ελληνικής Τεχνολογίας

αρχαίος ελληνικός μύθος φαντάστηκε τις αυτοκίνητες μηχανές. Ο προσωκρατικοί φιλόσοφοι έδειξαν ποιες είναι οι πηγές της εσωτερικής τους ενέργειας: η γη, το νερό, ο αέρας και η φωτιά. Οι κλασικοί φιλόσοφοι μελέτησαν θεωρητικά τους νόμους της φύσης και τη λειτουργία των ζωντανών όντων, μελέτησαν την αντίφαση και ανακάλυψαν την ανάδραση που εξασφαλίζει την αυτόνομη λειτουργία των μηχανημάτων. Και οι Αλεξανδρινοί μηχανικοί ανέπτυξαν την εφαρμοσμένη τεχνική σκέψη, μελέτησαν τα υδραυλικά και τα πνευματικά συστήματα και κατασκεύασαν μηχανές με ανάδραση, πρωτότυπα κλειστά συστήματα αυτόματου ελέγχου, αυτοελεγχόμενα και ανεξάρτητα στη λειτουργία τους. Οι εφαρμογές που εξέτασαν αφορούσαν ιδιαίτερα τα υδραυλικά ωρολόγια.

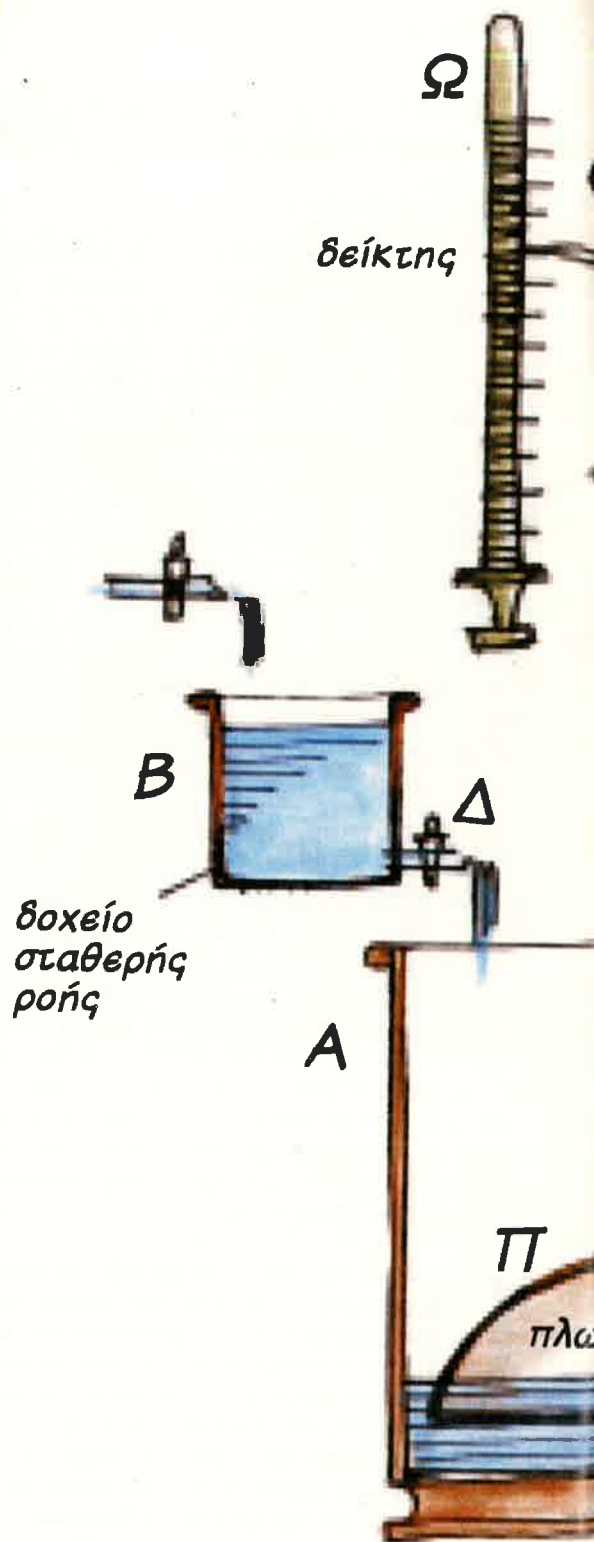
Η κλεψύδρα

Πρώτο όργανο μέτρησης του χρόνου, δηλαδή εξομοίωσης της δυναμικής συμπεριφοράς ενός φαινομένου, ήταν η κλεψύδρα.

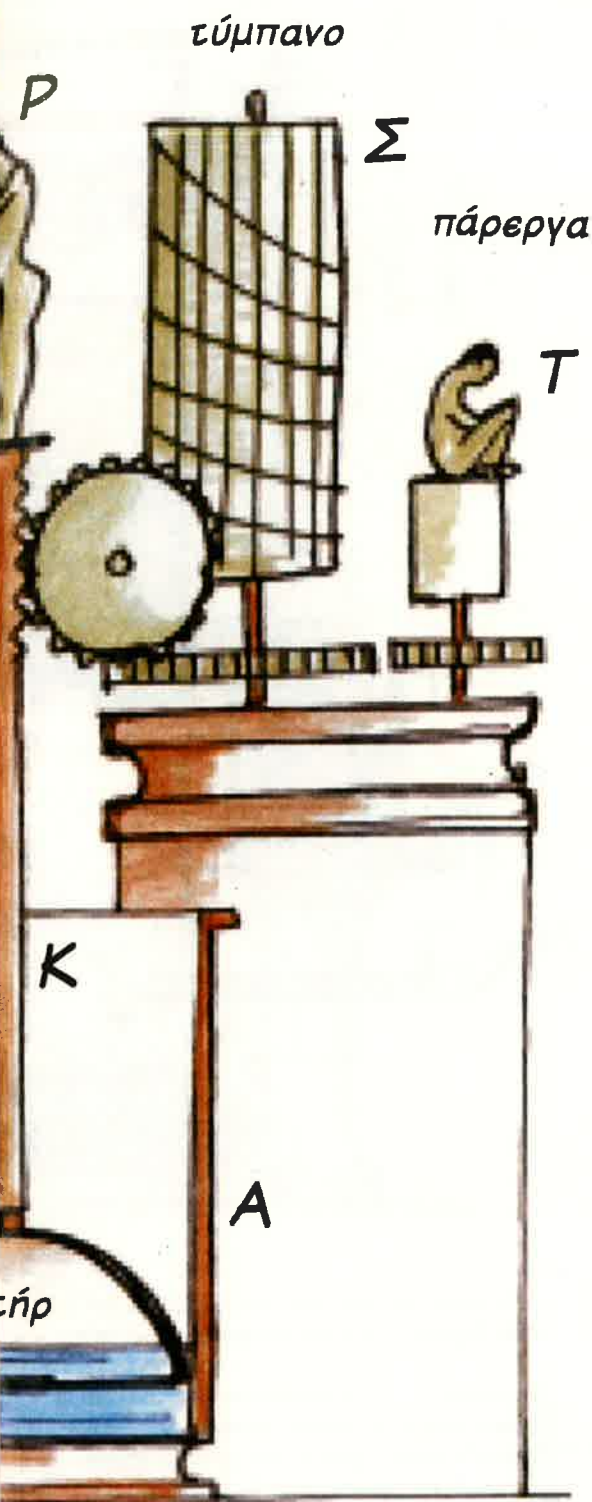
Η κλεψύδρα αναφέρεται πρώτα από τον Εμπεδοκλή και τον Αναξαγόρα. Είναι ένα δοχείο με λεπτό ψηλό λαιμό και τρύπες στον πυθμένα. Κρατώντας κανείς κλειστό το πάνω στόμιο με τον αντίχειρα και βυθίζοντας το δοχείο στο νερό θα μπορούσε να συγκρατήσει μια ποσότητα νερού χωρίς να γίνει αντιληπτός, θα μπορούσε δηλαδή να «κλέπει ύδωρ». Ο έλεγχος της ροής του νερού γινόταν με τον αντίχειρα (σχ. 4).

Γρήγορα η κλεψύδρα έγινε το βασικό όργανο μέτρησης του χρόνου. Αρχικά για οικιακή χρήση. Στη συνέχεια για δημόσια χρήση στα δικαστήρια ή την εκκλησία του δήμου, για τη μέτρηση του χρόνου των αγορεύσεων.

«Είσι δε κλεψύδραι αυλώδεις έχουσαι εκκρούς, εις ας το ύδωρ εγχέουσι, προς ο δει λέγειν κατά τας δίκας/Οι κλεψύδρες είναι δοχεία που διαθέτουν λεπτές σωληνωτές εκροές. Στα δοχεία αυτά ρίχνουν νερό, με το οποίο μετρούν το χρόνο ομιλίας στις δημόσιες δίκες» (Αριστοτέλης, *Αθηναίων Πολιτεία* 67, 2).



ΤΑ ΠΡΩΤΑ ΑΥΤΟΜΑ



Ο έλεγχος της ροής γινόταν πάλι μέσω ενός ανθρώπου. «Ο εφ' ύδωρ» ήταν ο δούλος που δεχόταν την εντολή: «Επίλαβε το ύδωρ/σταμάτα τη ροή του νερού στην κλεψύδρα». Η μόνιμη φραγή της κλεψύδρας γινόταν με κωνικό ξυλόκαρφο: «ηλίσκος επικρούει την κλεψύδραν».

Άλλη χρήση της κλεψύδρας ήταν η αγροτική, για τον έλεγχο του χρόνου ποτίσματος των αγροτικών εκτάσεων. Δούλος δεχόταν και εδώ την εντολή να ανοίγει ή να κλείνει τις θυρίδες των φρεατίων, όπως αναφέρει ο **Πλίνιος ο Πρεσβύτερος** στο έργο του «Φυσική Ιστορία» (18, 188).

Τέλος, ενδιαφέρουσα ήταν η χρήση της κλεψύδρας για στρατιωτικούς σκοπούς και ιδιαίτερα για τη μέτρηση του χρόνου που φύλαγαν τη νύκτα οι φύλακες.

Η νύκτα χωριζόταν σε τέσσερις ίσες διάρκειας σκοπιές, ανά τρεις νυκτερινές ώρες. Αντίστοιχα χωριζόταν και η ημέρα σε δώδεκα ίσες ημερήσιες ώρες. Η διαφορετική διάρκεια των ημερών και των νυκτιών κατά τις διάφορες εποχές του έτους είχε συνέπεια τη διαφορετική διάρκεια ημερήσιων και νυκτερινών ωρών και απαιτούσε σχετική προσαρμογή των ωρολογίων. Ετσι η στρατιωτική νυκτερινή κλεψύδρα κατασκευαζόταν στη μέγιστη δυνατή της διάσταση, που αντιστοιχούσε στη μέγιστη νύκτα. Η προσαρμογή γινόταν με προσθήκη ή αφαίρεση στρώματος κεριού στο εσωτερικό της κλεψύδρας, ανά 10 ημέρες, ανάλογα από το αν έπρεπε να μειωθεί ή να αυξηθεί ο χρόνος λειτουργίας της (Αινίας Τακτικός, 22, 24).

Τα υδραυλικά σιφώνια

Η κλεψύδρα ως όργανο μέτρησης του χρόνου είχε από τεχνική άποψη δύο βασικές αδυναμίες, που έπρεπε να ξεπεραστούν. Πρώτον, ο έλεγχος της λειτουργίας της γινόταν από άνθρωπο και όχι αυτόματα. Και δεύτερον, η ροή του νερού δεν ήταν σταθερή, αλλά εξαρτιόταν από τη στάθμη του νερού που υπήρχε μέσα στην κλεψύδρα.

Την ιδιότητα αυτή των ρευστών και ειδικότερα τη σχέση μεταξύ της ροής από μια οπή στον πυθμένα ενός δοχείου και της στάθμης του νερού μέσα στο δοχείο, μελέτησαν τόσο ο **Αρχιμήδης** όσο και οι Αλεξανδρινοί μηχανικοί **Κτισίβιος**, **Φίλων** και **Ηρων**. Και εισήγαγαν ως απλά όργανα έλεγχου της στάθμης και ως εκ τούτου της ροής ενός ρευστού, τα υδραυλικά σιφώνια (σχ. 2).

Το σιφώνιο και ειδικότερα το αξονικό σιφώνιο λειτουργεί ως υδραυλικός διακόπτης, επιτρέπει δη-

1. Το ωρολόγιο του Κτησιβίου σε σύγχρονη γραφική απεικόνιση

ΑΤΑ ΜΕ ΑΝΑΔΡΑΣΗ

2. Υδραυλικά

σιφώνια:

(α) καμπύλο

σιφώνιο,

(β) καμπύλο

σιφώνιο εντός

δοχείου,

(γ) αξονικό

σιφώνιο.

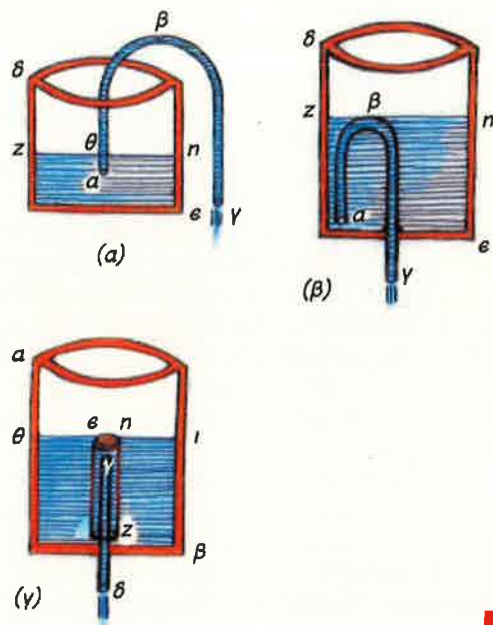
3. Κινητήριος

μηχανισμός και

έλεγχος ροής στο

ωρολόγιο του

Αρχιμήδους



2

λαδή τον έλεγχο της στάθμης h ενός δοχείου έτσι ώστε αυτή να μην μπορεί να υπερβεί μίαν ανώτατη τιμή h_0 ίση με το ύψος του σιφώνιου.

Με μια μικρή αλλά σταθερή παροχή g_0 , αυξάνει αργά και γραμμικά η στάθμη h του νερού στο δοχείο, μέχρι να φθάσει το ύψος h_0 του σιφώνιου και να μηδενιστεί το σφάλμα ϵ , οπότε το νερό διοχετεύεται απότομα και γρήγορα μέσα από το σιφώνιο και το δοχείο αδειάζει με μια παροχή $g > g_0$. Το σιφώνιο αυτό αποτελεί από μόνο του ένα πρώτο απλό κλειστό σύστημα ελέγχου της στάθμης του νερού στο δοχείο.

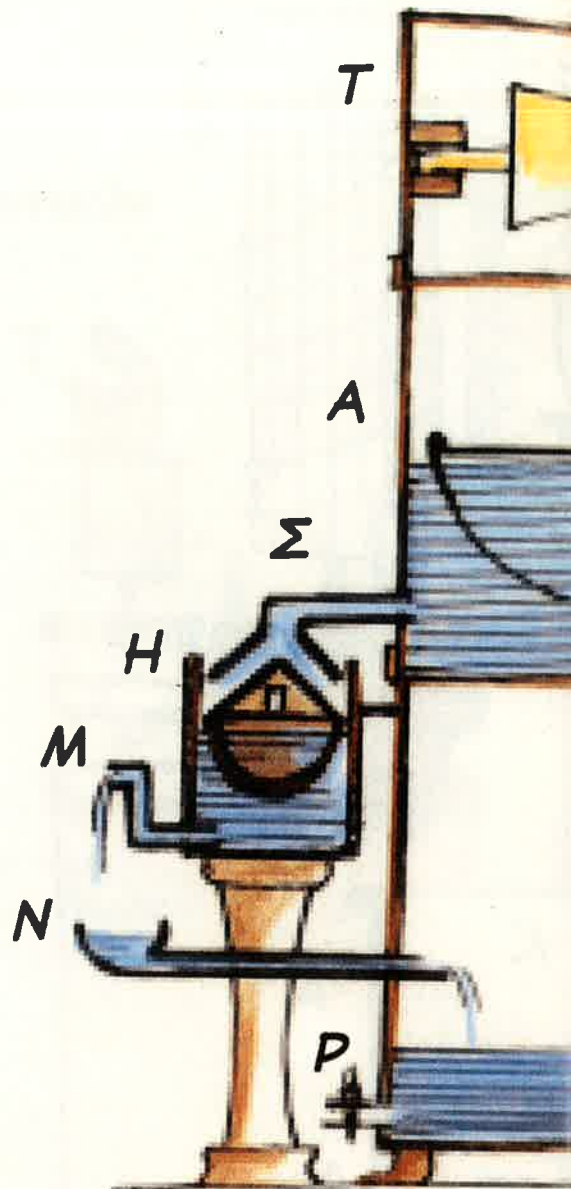
Το νυκτερινό ωρολόγιο του Πλάτωνος

Εφαρμογή του αξονικού σιφώνιου βρίσκουμε σε ένα αρχαίο ελληνικό υδραυλικό ωρολόγιο που λειτουργούσε σαν ξυπνητήρι. Ο **Αριστόξενος**, μαθητής του **Αριστοτέλη**, δηλώνει, κατά τα γραφόμενα του **Αριστοκλή**, μουσικολόγου του 2ου αιώνα π.Χ., ότι «ο Πλάτων εφηύρε το νυκτερινόν ωρολόγιον και το καίασκεύασε με τη μορφή μιας μεγάλης κλεψύδρας» (σχ. 6).

Η λειτουργία αυτού του νυκτερινού ωρολογίου ήταν ως εξής (βλ. H. Diels, *Antike Technik*, Berlin 1914, σελ. 199-200):

Από μια μεγάλη κλεψύδρα **ΑΑ** διάρκειας μεγαλύτερης των 6 ωρών ρέει μέσω λεπτού ακροφύσιου

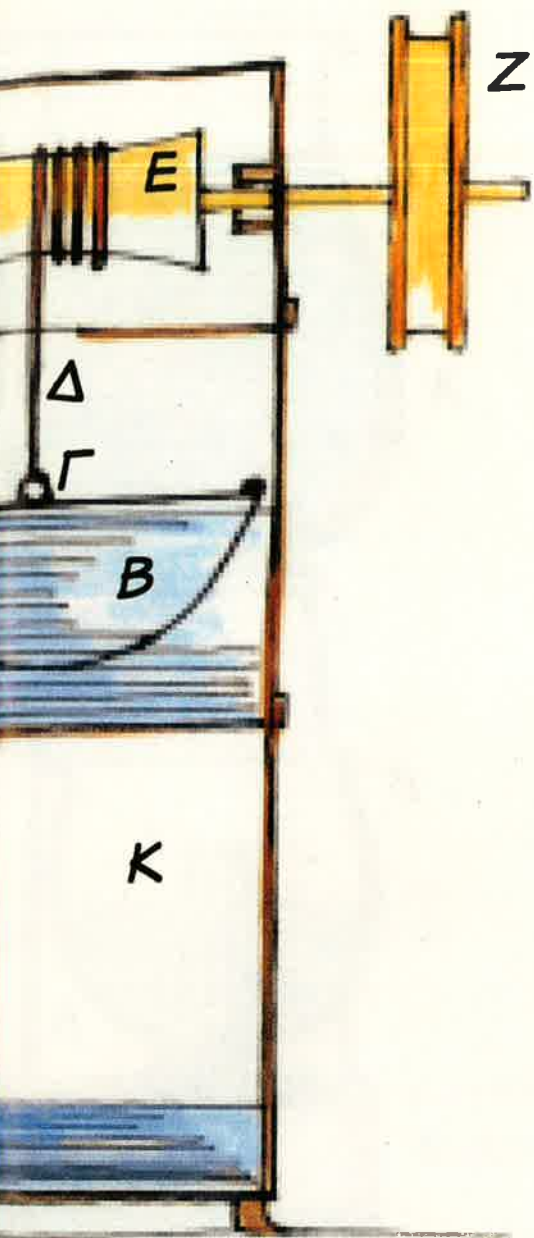
Πρώτο όργανο μέτρησης του χρόνου ήταν η κλεψύδρα, η οποία αναφέρεται πρώτα από τον Εμπεδοκλή και τον Αναξαγόρα



Δ νερό πολύ χαμηλής ροής μέσα σε μικρότερο δοχείο **BB** που περιέχει αξονικό σιφώνιο **Σ**.

Η στάθμη του νερού στο δοχείο **B** ανεβαίνει αργά μέχρι να φθάσει το ανώτατο ύψος του σιφώνιου, μέσα σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα π.χ. 6 ωρών. Όταν πληρωθεί το σιφώνιο, το δοχείο **BB** αδειάζει απότομα το νερό του μέσω του σωλήνα **Π** στο υποκείμενο στεγανό δοχείο **ΓΓ**. Τότε ο εγκλωβισμένος στο δοχείο αυτό αέρας συμπιέζεται και διαφεύγει από τη σύριγγα **P**, μια σωληνοειδή σφυρίκτρα που παράγει οξύ ήχο.

Σε 6 ώρες λοιπόν, ή σε οποιοδήποτε άλλο εκ των προτέρων προκαθορισμένο χρονικό διάστημα από τη στιγμή της ενεργοποίησης του μηχανισμού, το



νυκτερινό ωρολόγιο σφυρίζει. Ο μηχανισμός ελέγχου της στάθμης του υγρού στο δοχείο BB είναι και εδώ ένα κλειστό σύστημα ελέγχου.

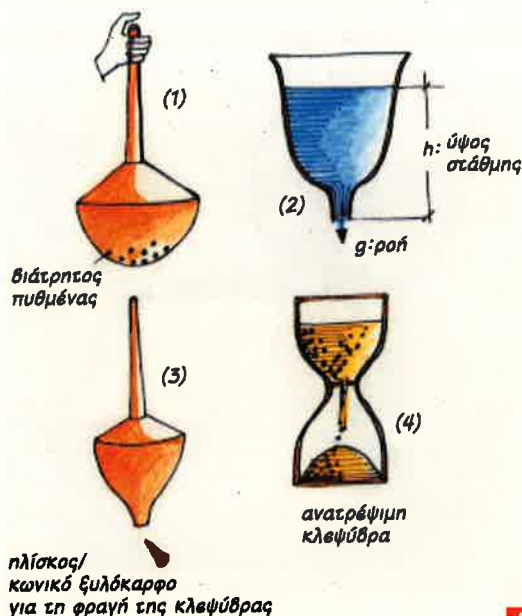
Κτισίβιος ο μηχανικός

Η επιινόση νέων κλειστών συστημάτων αυτόματου ελέγχου προέκυψε ωστόσο από την ανάγκη να εξασφαλιστεί μια αυτοελεγχόμενη ομαλή λειτουργία των υδραυλικών ωρολογίων. Και στον τομέα αυτό διέπρεψαν οι μεγάλοι Αλεξανδρινοί μηχανικοί.

Πρώτος εξ αυτών ο Κτισίβιος, που θεωρείται ότι έζησε την εποχή του Πτολεμαίου Β' του Φιλάδελφου, δηλαδή περί το 308-246 π.Χ.

Στο έργο του Κτισίβιου αναφέρεται αναλυτικά ο Βιτρούβιος (1ος αι. π.Χ.). Και περιγράφει αρχικά με ιδιαίτερο θαυμασμό τον ξακουστό «αυτόματο» καθρέφτη του (Περί Αρχιτεκτονικής, 98.2).

4. Διάφορα είδη κλεψυδρών



Από την περιγραφή όμως αυτή συμπεραίνουμε ότι δεν πρόκειται εδώ για αυτόματο μηχανισμό ανύψωσης του καθρέφτη, αλλά απλά για αξιοποίηση των τριβών στις τροχαλίες, έτσι ώστε ο καθρέφτης να ισορροπεί σε διάφορα ύψη με τη βοήθεια ενός αντισταθμιστικού μολύβδινου βάρους.

Το βάρος αυτό μπορεί ακόμη να κινείται μέσα σε έναν κατακόρυφο μεταλλικό σωλήνα (βλ. το ίδιο 9.8.3) και λειτουργώντας σαν έμβολο να συμπέζει τον εγκλωβισμένο αέρα, να τον ωθεί να διαφύγει από ένα ακροφύσιο και να παράγει ήχο.

Προφανώς δεν υπάρχει εδώ ούτε αυτοματισμός ούτε αυτοέλεγχος του συστήματος.

Το ωρολόγιο του Κτισίβιου

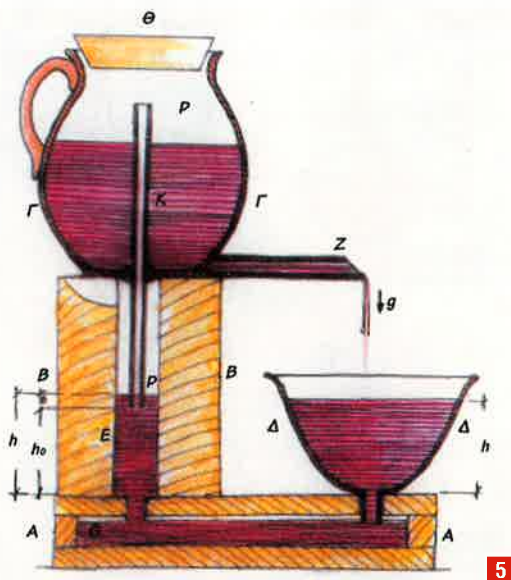
Το υδραυλικό ωρολόγιο του Κτισίβιου, πιθανόν το αρχαιότερο του είδους, περιέχει όμως μian εξαιρετικά ενδιαφέρουσα επιινόση (σχ. 1).

Ιδού αρχικά η γενική περιγραφή:

Νερό ρέει με σταθερή ροή από ακροφύσιο Δ μέσα σε μεγάλο δοχείο ΑΑ και ανυψώνει πλωτήρα Π. Στον πλωτήρα είναι προσαρμοσμένος κανόνας Κ και πάνω σε αυτόν αγαλματίδιο Ρ που λειτουργεί ως δείκτης και δείχνει τις ώρες πάνω σε μία κατακόρυφη παραστάδα Ω, η κλίμακα της οποίας μεταβάλλεται με προσθήκη ή αφαίρεση «παρεμβλημάτων», ανάλογα με τις αυξομειώσεις της διάρκειας ▶

Ο Πλάτων εφηύρε το νυκτερινό ωρολόγιο που λειτουργούσε σαν ξυπνητήρι και το κατασκεύασε με τη μορφή κλεψύδρας

5. Έλεγχος
στάθμης υγρού
κατά τον Φίλωνα



των ωρών. Στον κανόνα Κ είναι επίσης προσαρμοσμένος οδοντωτός τροχός που κινεί ένα κατακόρυφο τύμπανο Σ, με χαράξεις κάθετες για τους μήνες και εγκάρσιες –όχι όμως παράλληλες– για τις ώρες, έτσι ώστε να συνυπολογίζεται η μεταβολή της διάρκειας των ωρών ανά μήνα. Στον οδοντωτό τροχό είναι επίσης συνδεδεμένα άλλα τύμπανα Τ και μηχανισμοί που προκαλούν διάφορες πολύπλοκες κινήσεις, τα λεγόμενα «πάρεργα» (Βιτρούβιος, *Περί Αρχιτ.* 9.8.5-7).

Ολος αυτός ο σύνθετος μηχανισμός του ωρολογίου δεν θα μπορούσε να λειτουργήσει με ακρίβεια, αν δεν είχε εξασφαλίσει την αρχική «σταθερή ροή» του νερού από το, χρυσό κατά τον Βιτρούβιο, ακροφύσιο Δ. Αυτή η σταθερή ροή μπορούσε να επιτευχθεί μέσω του ελέγχου στάθμης του νερού στο αρχικό δοχείο παροχής Β.

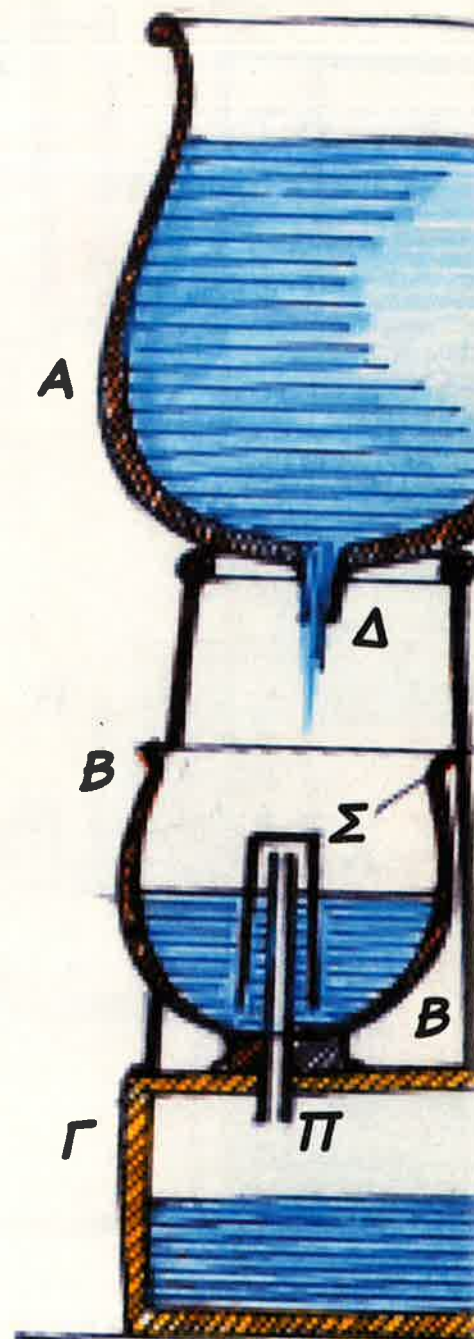
Δοχείο σταθερής ροής του Κτησιβίου

Ιδού η περιγραφή του υδραυλικού αυτού μηχανισμού ελέγχου:

«Ο έλεγχος της ροής του νερού (στο δοχείο σταθερής ροής) επιτυγχάνεται ως εξής:

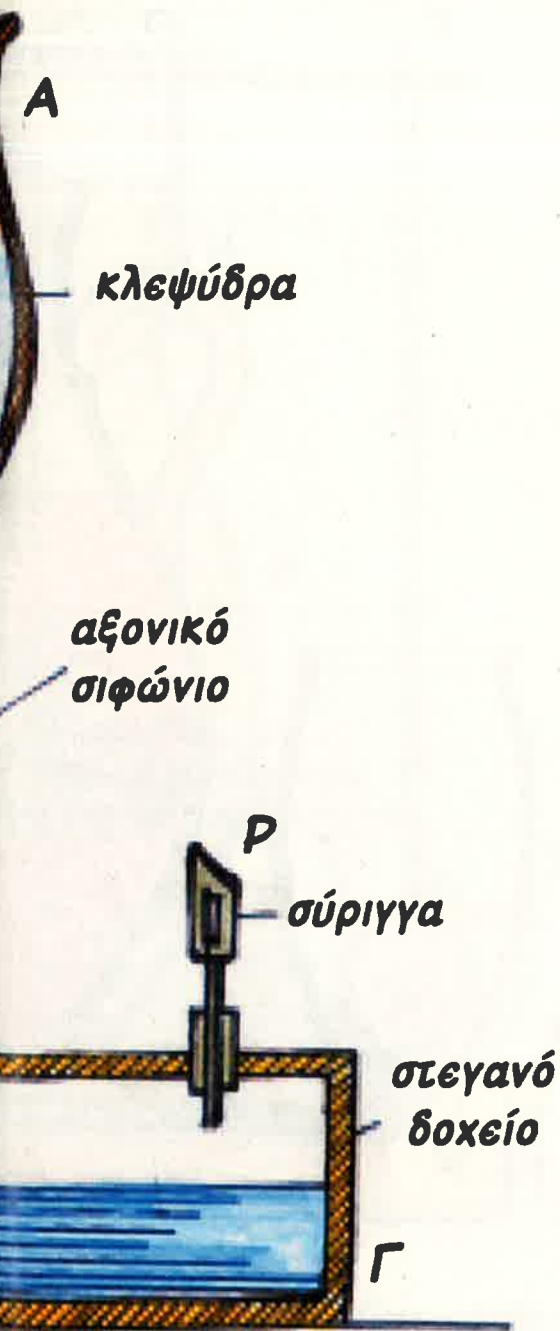
»Κατασκευάζονται στον τόρνο δύο κώνοι, ο ένας συμπαγής και ο άλλος κοίλος (αρσενικός-θηλυκός), έτσι ώστε να ταιριάζουν ακριβώς ο ένας μέσα

**Το υδραυλικό ωρολόγιο του Κτησιβίου
είναι ιδιοφυές και ίσως το αρχαιότερο
γνωστό κλειστό σύστημα αυτόματου ελέγχου**



στον άλλον. Με ένα τέτοιο σύστημα πλωτήρα-ακροφυσίου μπορεί η εισροή του νερού στο δοχείο να γίνεται πιο γρήγορα ή πιο αργά» (Βιτρ., *Αρχ.* 9.8.6).

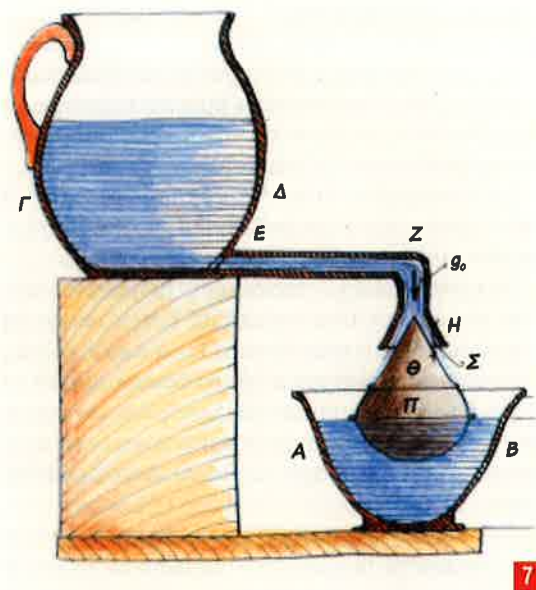
Αυτό είναι ένα ιδιοφυές, το αρχαιότερο ίσως γνωστό κλειστό σύστημα αυτόματου ελέγχου, ένα σύστημα που εξασφαλίζει σταθερή στάθμη και σταθερή ροή σε όλη τη διάρκεια της δυναμικής λειτουργίας του. Η υδραυλική αυτή κωνική βαλβίδα εξασφαλίζει την ανάδραση ή αλλιώς την αντίστροφη επίδραση του αποτελέσματος, δηλαδή της στάθμης h του νερού ή της ροής εξόδου g , στην εισοδο του συστήματος, δηλαδή την παροχή εισόδου g_0 .



Το ωρολόγιον του Αρχιμήδους

Σύγχρονος ή κατά τι νεότερος του Κτησιβίου ήταν ο μεγάλος Συρακούσιος μηχανικός **Αρχιμήδης** (287-212 π.Χ.), που σπούδασε για μακρό χρονικό διάστημα στην Αλεξάνδρεια.

Στο αμφισβητούμενο από μερικούς έργο του «Ωρολόγιον του Αρχιμήδους», που σώθηκε στα αραβικά [μεταφράστηκε στα γερμανικά από τους **Βίντεμαν-Χάουζερ** (Wiedemann-Hauser), Halle 1918 και στα ελληνικά από τον **Ι. Σακά**, Αθήνα 1973], υπάρχει η περιγραφή ενός πολύπλοκου μηχανισμού υδραυλικού ωρολογίου με πολλά πάρερ-



γα και ενός αντίστοιχου με του Κτησιβίου δοχείου ελέγχου ροής (σχ. 3).

Η περιγραφή του κινητήριου μηχανισμού του ωρολογίου είναι συνοπτικά η εξής:

Κατασκευάζεται από χαλκό υδροδοχείο/chizána Α ύψους 3 σπηθαίων=75 εκ. και διαμέτρου 2 σπ.=50 εκατοστών.

Γεμίζεται με νερό και τοποθετείται σε αυτό πλωτήρας/dabba Β σε σχήμα ανάστροφου ημισφαιρίου ύψους 4 δακτύλων= 16 εκ. και διαμέτρου 5/3 σπηθαίως=42 εκ. Ο πλωτήρας καλύπτεται από πάνω με κάλυμμα. Στο μέσο του καλύμματος συγκολλείται κομβίο/razza Γ στο οποίο συνδέεται αλυσίδα/silsila Δ προσαρμοσμένη σε τύμπανο/bakra Ε, που προσδίδει κίνηση στον κινητήριο τροχό/daulâb Ζ.

Κατόπιν κατασκευάζεται δεύτερο μεγαλύτερο δοχείο, ο υδροσυλλέκτης/magîd lilmâ' Κ, που προσαρμόζεται κάτω από το υδροδοχείο Α και συλλέγει το νερό. Αδειάζει δε από μία στρόφιγγα Ρ.

Κατόπιν τοποθετείται πάνω στο υδροδοχείο Α ακόμη ένα δοχείο Τ, στο οποίο βρίσκεται το τύμπανο και άλλοι μηχανισμοί που προκαλούν κινήσεις διαφόρων ειδών. Το τύμπανο Ε είναι προγραμματισμένο να πραγματοποιεί ανά ημέρα (δηλαδή από ανατολή σε δύση) μία πλήρη περιστροφή, καθώς ο πλωτήρας Β ολοκληρώνει την κατακόρυφη διαδρομή του μέσα στο υδροδοχείο Α.

Ο έλεγχος ροής που επινόησε ο Κτησίβιος βρίσκει εφαρμογή σε υδραυλικό μηχανισμό ελέγχου της στάθμης υγρού ενός δοχείου

Δοχείο σταθερής ροής στο ωρολόγιο του Αρχιμήδους

Η ομαλή πτώση του πλωτήρα στο υδροδοχείο, δηλαδή η εξασφάλιση σταθερής ροής του νερού από το υδροδοχείο και ως εκ τούτου σταθερών στροφών του κινητήριου τροχού Ζ, επιτυγχάνεται ως εξής:

Κατασκευάζεται δοχείο σταθερής ροής /rub' H που περιέχει πλωτήρα/άνωμα Π με κωνικό εξόγκωμα/nutuw στην επιφάνειά του.

Το εξόγκωμα αυτό ταιριάζει στο στόμιο ενός κοίλου κεκαμμένου σωλήνα/anhūd Σ, που εισάγεται στο υδροδοχείο και έχει μήκος 1/2 δακτύλου=1 εκ. Από το περιστόμιο/gat'a Μ του δοχείου εκρέει το νερό. Είναι δυνατή μάλιστα η ρύθμιση του ύψους του περιστρεφόμενου αυτού περιστομίου, ώστε να επιτυγχάνεται η διαφορετική διάρκεια των ωρών του έτους.

Κάτω από το περιστόμιο το νερό συλλέγεται σε μία κοιλότητα που ονομάζεται τηγάνιο/migla N και διοχετεύεται στον υδροσυλλέκτη.

Το δοχείο σταθερής ροής αποτελεί εδώ ένα κλειστό σύστημα ελέγχου της ροής του υδροδοχείου και εξασφαλίζει μian ομαλή, δηλαδή γραμμική, μεταβολή της στάθμης του νερού σε αυτό.

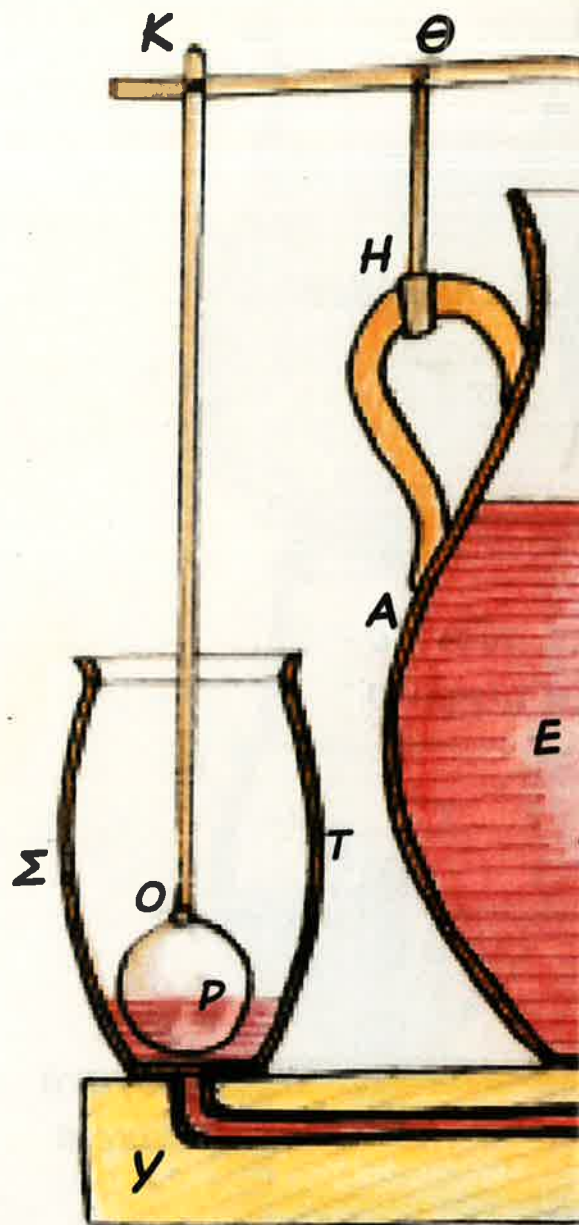
Ας κλείσουμε την αναζήτηση αυτή των πρώτων κλειστών συστημάτων αυτόματου ελέγχου στην αρχαία ελληνική τεχνολογία, συγκρίνοντας τις επινοήσεις των μεγάλων Αλεξανδρινών μηχανικών, που αφορούν τον έλεγχο στάθμης υγρών.

Έλεγχος στάθμης κατά τον Κτισίβιο

Ο έλεγχος ροής που επινόησε ο Κτισίβιος για το ωρολόγιο του βρίσκει την εφαρμογή του σε έναν απλό υδραυλικό μηχανισμό ελέγχου της στάθμης υγρού ενός δοχείου (σχ. 7).

Εστω δοχείο AB γεμάτο υγρό, π.χ. κρασί.

Το δοχείο είναι εφοδιασμένο με κωνικό πλωτήρα ΘΠ που ταιριάζει ακριβώς σε αντίστοιχο κοίλο κωνικό ακροφύσιο ΖΗ. Το ακροφύσιο αυτό είναι συν-



Ο Ηρων περιγράφει ένα μηχανισμό ελέγχου στάθμης υγρού μέσω ενός μηχανικού και όχι υδραυλικοπνευματικού ελεγκτή

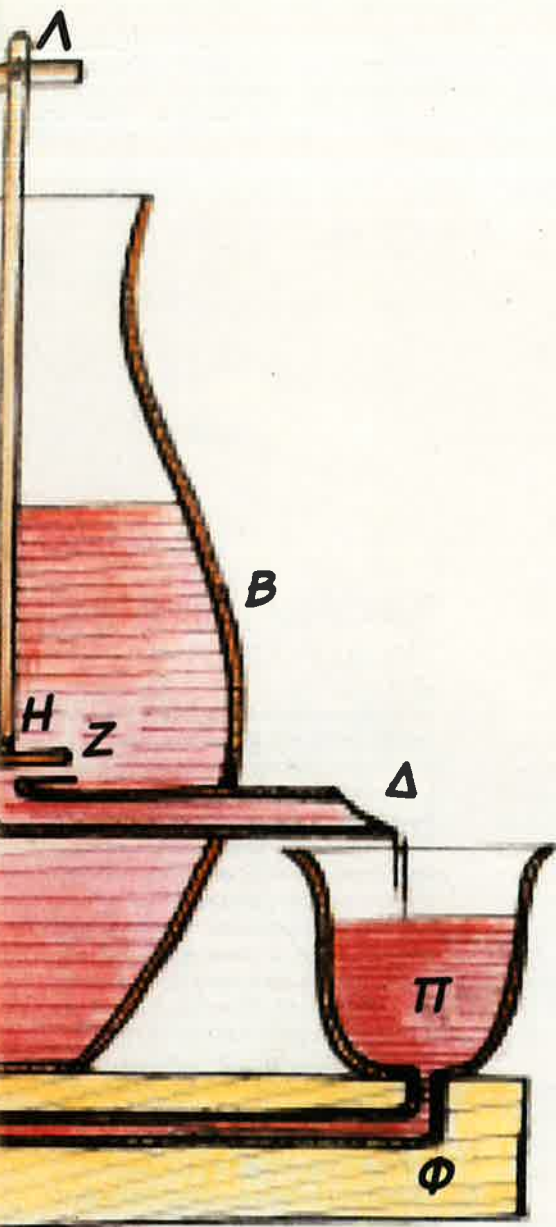
δεμένο μέσω ενός σωλήνα ΕΖ με το μεγάλο υδροδοχείο ΓΔ. Αφαιρώντας κρασί με ένα κύπελλο από το δοχείο ΑΒ, ανοίγει η υδραυλική βαλβίδα και κρασί ρέει από το ακροφύσιο ΖΗ στο δοχείο μέχρι να συμπληρωθεί το κρασί που αφαιρέθηκε και να αποκατασταθεί η στάθμη του υγρού στο δοχείο.

Πρόκειται εδώ για ένα κλειστό σύστημα ελέγχου με ανάδραση μέσω του κωνικού πλωτήρα.

Έλεγχος στάθμης κατά τον Φίλωνα

Ο Φίλων ο Βυζάντιος, δεύτερος μεγάλος μηχανικός της Αλεξανδρείας, ο οποίος έζησε περί το 250 π.Χ., έγραψε το περίφημο εγχειρίδιο «Μηχανική Σύνταξις», το 5ο βιβλίο του οποίου με τίτλο «Πνευματικά» σώθηκε σε αραβικό κείμενο και μεταφράστηκε στα γαλλικά από το βαρόνο Καρά ντε Βο (Carra de Vaux) το 1902 στο Παρίσι. Στο έργο αυτό, κεφάλαιο 17, περιέχεται συσκευή ελέγχου στάθμης υγρού (σχ. 5).

Η συσκευή αυτή αποτελείται από μία κοίλη παραλληλεπίπεδη ξύλινη βάση ΑΑ με κοίλωμα Θ, ένα επίσης κοίλο κυλινδρικό ξύλινο στήριγμα ΒΒ με κοίλωμα Ε, ένα μεγάλο δοχείο ΓΓ γεμάτο κρασί, στεγανά κλειστό στο στόμιο του Θ, με έναν εσωτερικό κάθετο σωλήνα Κ που διαπερνά τη διάτρητη



8

βάση του και ένα σωλήνα διαρροής Ζ στο ύψος του πυθμένα. Κάτω από το σωλήνα αυτόν βρίσκεται κύπελλο ΔΔ, διάτρητο στον πυθμένα του και σε επικοινωνία με το κοίλωμα Θ της βάσης ΑΑ.

Το σύστημα βρίσκεται σε ισορροπία εφ' όσον η στάθμη του κρασιού στο κύπελλο ΔΔ διατηρεί κλειστό το κάτω άνοιγμα Ρ του σωλήνα Κ και η υποπίεση που δημιουργείται στο κενό του δοχείου ΓΓ δεν επιτρέπει ροή κρασιού από το στόμιο Ζ.

Εάν όμως αφαιρέσουμε ορισμένη ποσότητα κρασιού από το κύπελλο, τότε το κάτω στόμιο Ρ του σωλήνα Κ θα απελευθερωθεί, η υποπίεση στο κενό του δοχείου θα ανακάμψει και ίση ποσότητα κρασιού θα ρεύσει από το δοχείο ΓΓ μέσω του στομίου Ζ

στο κύπελλο, μέχρις ότου αποκατασταθεί η αρχική ισορροπία.

Πρόκειται και εδώ για ένα κλειστό σύστημα ελέγχου της στάθμης. Η ανάδραση υλοποιείται μέσω των συγκοινωνούντων δοχείων και της υδραυλικής βαλβίδας που επιτρέπει ή όχι τη διόδου του αέρα.

Ελεγχος στάθμης υγρού κατά τον Ηρων

Τέλος, ο Ηρων ο Αλεξανδρεύς, πιθανόν το 100 π.Χ., περιγράφει στο έργο του Πνευματικά Β', Θεώρημα 31, έναν αντίστοιχο μηχανισμό ελέγχου στάθμης υγρού, μέσω ενός μηχανικού και όχι υδραυλικοπνευματικού όπως στον Φίλωνα ελεγκτή (σχ. 8).

«Αγγείου οίνον έχοντος και κρουνόν και υποκειμένου κρατήρος, όσον αν τις του κρατήρος αφέλκται, ισοούιον εις αυτόν επιρρέειν οίνον εκ του κρουνού.../Από το στόμιο ενός αγγείου γεμίζει κρασί ένα ποτήρι που βρίσκεται κάτω του. Και όσο κρασί κι αν πάρει κανείς από το ποτήρι τόσο πάλι θα ρεύσει σε αυτό από το στόμιο του αγγείου».

Εστω ΑΒ το αγγείο με το κρασί και ΓΔ το στόμιο του. Εστω ο μικρός δίσκος/τυμπάνιον ΕΖ και οι ράβδοι/κανόνες ΗΘ, ΚΛ, ΚΟ, ΛΜ. Εστω κάτω από το στόμιο το ποτήρι Π. Και έστω ένας πλωτήρας/λεβητάριον Ρ, συνδεδεμένος με τη ράβδο ΚΟ και βυθισμένος στο αγγείο ΣΤ. Ο σωλήνας ΥΦ συγκοινωνεί με τα αγγεία ΣΤ και Π.

Όταν τα αγγεία Π και ΣΤ είναι κενά, ο πλωτήρας Ρ ακουμπά στον πυθμένα του αγγείου ΣΤ και το στόμιο ΓΔ μένει ανοιχτό.

Το κρασί τότε ρέει απ' αυτό και στα δύο δοχεία ΤΣ και Π, οπότε ανυψώνεται ο πλωτήρας και κλείνει το στόμιο, μέχρις ότου και πάλι αφαιρέσουμε κρασί από το ποτήρι. Και τούτο συμβαίνει κάθε φορά που αφαιρούμε κρασί.

Και εδώ έχουμε ένα κλειστό σύστημα ελέγχου, με ανάδραση που υλοποιείται μέσω του πλωτήρα και του μηχανικού συστήματος ζυγού και βαλβίδας.

Τα ευφυή αυτά παραδείγματα κλειστών συστη-

8. Ελεγχος στάθμης υγρού κατά τον Ηρων

Στο αμφισβητούμενο από μερικούς «Ωρολόγιον του Αρχιμήδους» υπάρχει η περιγραφή ενός πολύπλοκου υδραυλικού μηχανισμού

μάτων ελέγχου της στάθμης υγρών δείχνουν πως οι έννοιες της ανάδρασης, του «αυτοελέγχου» δυναμικών συστημάτων και του κλειστού βρόχου όχι μόνο μελετήθηκαν θεωρητικά, αλλά και υλοποιήθηκαν πρακτικά, κατασκευάστηκαν με προσοχή από τους αρχαίους Έλληνες μηχανικούς και εντάσσονται στον κατάλογο των αρχαίων ελληνικών τεχνικών επινοήσεων. ■

Ηφαιστος

Ο θεός της φωτιάς και της μεταλλουργίας. Ήταν γιος του Δία και της Ηρας. Ήταν άσχημος στην εμφάνιση και κουτσός, γιατί κάποτε ο Δίας, θυμωμένος πολύ, τον πέταξε από τον Ολυμπο στη Γη. Ο Ηφαιστος έπεσε στο νησί της Λήμνου και τσάκισε το πόδι του. Εκεί έφτιαξε ένα εργαστήριό του, αλλά το σπουδαιότερο το κατασκεύασε στη Σικελία, μέσα στο ηφαιστείο της Αίτνας. Οι αρχαίοι φαντάζονταν πως οι καπνοί που έβγαιναν και οι εκρήξεις ήταν τα αποτελέσματα των εργασιών του Ηφαιστού. Όταν ανέβαινε στον Ολυμπο, οι άνθρωποι έλεγαν πως έσβηνε τα καμίνια του, γι' αυτό και τα ηφαιστειακά την εποχή εκείνη έμεναν σβηστά. Δίδαξε στους ανθρώπους πώς να χρησιμοποιούν τα μέταλλα και να φτιάχνουν εργαλεία και έργα τέχνης. Οι αρχαίοι φαντάζονταν τον Ηφαιστο σαν έναν άσχημο, μελαχρινό και τριχωτό θεό. Επίκεντρο της λατρείας του ήταν η Λήμνος. Οι τελετές που είχαν σχέση μ' αυτόν, σαν κυρίαρχο στοιχείο τους περιλάμβαναν τη φωτιά και γι' αυτό οι λαμπαδηδρομίες ήταν το κυριότερο αγώνισμα. Είχε για ιερό του ζώο το λιοντάρι, ενώ στα αγάλματά του κρατούσε σφυρί και τανάλια. Φορούσε σκουφί, ενώ μακρές χιτώνες κάλυπτε το σώμα του. Οι ποιητές και οι καλλιτέχνες τον ύμνησαν σαν ευεργέτη του ανθρώπινου γένους και στην Αθήνα τού είχαν αφιερώσει το Ηφαιστείον.

Ευπαλίνος (6ος αι. π.Χ.)

Σπουδαίος Έλληνας μηχανικός και αρχιτέκτονας της αρχαιότητας, καταγόμενος από τα Μέγαρα. Εξήσε περί τα μέσα του 6ου αιώνα π.Χ. Ο Ηρόδοτος αναφέρει πως κατασκεύασε το «Ευπαλίνειο όρυγμα» στη Σάμο –μάλλον περί το 550 π.Χ. Ήταν μία σήραγγα με μήκος περίπου ένα χιλιόμετρο και διατομή 1,80 X 1,80 μ. Κατά μήκος της σήραγγας κατασκεύασε αγωγό για τη μεταφορά του νερού στην πόλη. Το έργο αυτό θεωρείται ως ένα από τα σημαντικότερα τεχνικά έργα της αρχαίας Ελλάδας. Το υδραγωγείο που κατασκεύασε ο Ευπαλίνος βρέθηκε από τους κατοίκους της Σάμου το 1882, καθαρίστηκε από τις προσχώσεις, επισκευάστηκε και επιτεύχθηκε και πάλι η ροή του ύδατος μέσω αυτού. Το έργο του Ευπαλίνου είναι πράγματι αξιοθαύμαστο, καθώς, όπως υποστηρίζουν οι αρχαιολόγοι, η διάτρηση του Κάστρου από το οποίο διέρχονται η σήραγγα και ο αγωγός άρχισε ταυτοχρόνως και από τις δύο πλευρές και επιτεύχθηκε η συνάντηση περίπου στο μέσον των δύο διατρήσεων. Ο αγωγός είχε βάθος περίπου 4 με 8 μέτρα. Το συνολικό έργο ύδρευσης έχει μήκος 3 χιλιόμετρα και αποτελείται από τον αγωγό που συνδέει την πηγή του νερού με τη βόρεια βουνοπλαγιά, τη σήραγγα που διαπερνά το βουνό και τον αγωγό που μεταφέρει το νερό στην πόλη.

Κτισίβιος (3ος αι. π.Χ.)

Έλληνας μηχανικός που καταγόταν από την Αλεξάνδρεια. Εξήσε περίπου μεταξύ του 308 και του 246 π.Χ. στην εποχή του Πτολεμαίου Β' του Φιλάδελφου. Καταγόταν από φτωχή οικογένεια –ήταν γιος κουρέα– αλλά έγινε ένας από τους σημαντικότερους μηχανικούς στην ιστορία. Η κύρια εργασία του αφορούσε τις υδραυλικές μηχανές και τις μηχανές πεπιεσμένου αέρα. Λέγεται ότι ήταν ο εφευρέτης της αντλίας, του υδραυλικού οργάνου που ονομάζεται «ύδραυλις», των υδραυλικών ρολογιών και πολεμικών μηχανών. Επινόησε ένα μοντέλο της κλεψύδρας, την υδραυλίδα, που χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα. Στον κάτω θάλαμο υπήρχε ένας πλωτήρας, ο οποίος ανυψωνόταν καθώς ανέβαινε η στάθμη του νερού. Ο πλωτήρας συνδεόταν με έναν οδοντωτό άξονα που, καθώς κινούνταν προς τα επάνω, περιέστρεφε ένα γρανάζι. Αυτό με τη σειρά του γύριζε ένα δείκτη που έδειχνε αριθμούς από το 1 μέχρι το 12. Οι κλεψύδρες μετρούσαν το χρόνο αρκετά καλά ώστε να χρησιμοποιούνταν για τον καθορισμό του χρονικού διαστήματος που δικαιούνταν κάποιος να μιλήσει στο δικαστήριο ή σε μια συνέλευση, αλλά ήταν υποτυπώδεις συσκευές μέτρησης του χρόνου. Ωστόσο ο Κτισίβιος έφτιαξε πρώτος στον τύπο του ρολογιού, καθώς εισάγει τους δείκτες στη μέτρηση του χρόνου. Οι σημειώσεις του Κτισίβιου μάλλον χρησιμοποιήθηκαν από τον Φίλωνα τον Βυζάντιο και τον Ηρώνα.

Αρχιμήδης (287-212 π.Χ.)

Μεγάλος Έλληνας μαθηματικός, φυσικός και χημικός. Γεννήθηκε στις Συρακούσες. Ανακάλυψε τις τροχαλίες και τους μοχλούς. Διατύπωσε τους νόμους της ανάκλασης και της διάθλασης του φωτός. Η αρχή της υδροστατικής άνωσης πήρε το όνομά του: αν ένα στερεό σώμα ισορροπήσει στο υγρό, δέχεται μια δύναμη που λέγεται άνωση και είναι ίση με το βάρος του υγρού που εκτοπίζει. Λένε πως την ανακάλυψη αυτή την έκανε στο μπάνιο και από τη χαρά του βγήκε στους δρόμους γυμνός φωνάζοντας «Εύρηκα». Όταν οι Ρωμαίοι πολιορκήσαν τις Συρακούσες, ο Αρχιμήδης βοήθησε τους συμπατριώτες του να αμυνθούν. Συγκέντρωνε τις ακτίνες του Ήλιου σε κοίλα κάτοπτρα, που ανακλώμενες έπεφταν στα ρωμαϊκά πλοία και τα έκαιγαν. Με μεγάλους γάντζους έπιανε τα πλοία, τα σήκωνε ψηλά και τα άφηνε να πέσουν κομματιάζοντάς τα. Ο Πλούταρχος αναφέρει πως τον θεωρούσαν θαυματοποιό. Όταν οι Ρωμαίοι κατέλαβαν την πόλη, υπήρχε εντολή να μην τον πειράξει κανείς. Ο Αρχιμήδης, απορροφημένος από την επιστήμη του, σχεδίαζε στο χώμα γεωμετρικά σχήματα, όταν ένας Ρωμαίος στρατιώτης μπήκε σπίτι του. Ενοχλημένος από την παρουσία του, ο Αρχιμήδης του ζήτησε να τον αφήσει ήσυχο, λέγοντάς του το περίφημο «Μη μου τους κύκλους τάραττε». Τότε ο Ρωμαίος τον σκότωσε, δίνοντας άδοξο τέλος στη ζωή του. Σώθηκαν αρκετά έργα του: «Περί σφαιράς και κυλίνδρου», «Περί ελίκων», «Μέτρησης του κύκλου», «Ισορροπίες επιπέδων».

Φίλων ο Βυζάντιος (μέσα του 3ου αι. π.Χ.)

Έλληνας μηχανικός που έζησε περί το 250 π.Χ., διάδοχος του Κηψισβίου στην ιστορία της μηχανικής, του οποίου το έργο γνώριζε και μελέτησε. Εζησε στη Ρόδο και την Αλεξάνδρεια και έγραψε πραγματείες για την κατασκευή λιμένων, φρουρίων και πολιορκητικών μηχανών. Στο έργο του βασίστηκε για τις μελέτες του ο Ηρων ο Αλεξανδρεύς. Ο Φίλων έγραψε το εγχειρίδιο «Μηχανική Σύνταξις», τμήμα του οποίου, το 5ο βιβλίο με τίτλο «Πνευματικά», σώθηκε από τους Αραβες και μεταφράστηκε από τα αραβικά στα γαλλικά από το Γάλλο βαρόνο Καρά ντε Βο το 1902 στο Παρίσι. Στο έργο αυτό του Φίλωνα περιέχεται η συσκευή ελέγχου στάθμης υγρού. Πρόκειται για μια συσκευή που αποτελείται από μια ξύλινη βάση με κοίλωμα, ένα ξύλινο κυλινδρικό στήριγμα, ένα δοχείο κρασί και σωλήνα διαρροής, δηλαδή για ένα κλειστό σύστημα ελέγχου της στάθμης. Η ανάδραση υλοποιείται μέσω των συγκοινωνούντων δοχείων και της υδραυλικής βαλβίδας που επιτρέπει ή όχι τη διέοδο του αέρα.

Ηρων ο Αλεξανδρεύς (1ος αι. π.Χ.)

Έλληνας μαθηματικός και μηχανικός. Καταγόταν κι αυτός, όπως ο Κηψισβίος, από φτωχή οικογένεια –ήταν αρχικά τσαγκάρης. Εργάστηκε στην Αλεξάνδρεια πάνω στις μηχανική, υδραυλική, γεωμετρία και οπτική. Ο Ηρων κατασκεύασε μια κοίλη σφαίρα από την οποία προεξείχαν δύο σωλήνες κεκαμμένοι προς αντίθετες κατευθύνσεις. Όταν έβραζε νερό μέσα στη σφαίρα, ο ατμός διέφευγε από τους σωλήνες και εξαιτίας του νόμου της δράσεως και αντιδράσεως, όπως την ονομάζουμε σήμερα, η σφαίρα άρχιζε να περιστρέφεται με μεγάλη ταχύτητα. Η σημερινή λεγόμενη τεχνητή βροχή για το πότισμα του γκαζόν λειτουργεί με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, μόνο που χρησιμοποιεί τη δύναμη του νερού αντί για τον ατμό. Ο Ηρων είχε κατασκευάσει ουσιαστικά μια ατμομηχανή, εκατοντάδες χρόνια πριν από τη γνωστή ανακάλυψή της. Ωστόσο η ανακάλυψή του δεν είχε κοινωνικές επιπτώσεις, καθώς οι ιστορικές συνθήκες δεν επέτρεψαν την εκμετάλλευσή της. Είναι ωστόσο ακόμη ένα δείγμα των δυνατοτήτων της ελληνικής επιστήμης, η οποία όμως περιορίστηκε από τη ρωμαϊκή κατάκτηση και τις συνέπειές της. Μερικά από τα έργα του Ηρώνα είναι: «Γεωμετρούμενα», «Εισαγωγή των στερεομετρουμένων», «Περί διόπτρας», «Μηχανικά» και «Μετρική».

Η

Του HERMANN J. KIENAST
αρχαιολόγου, Γερμανικό Αρχαιολογικό Ινστιτούτο

Η νήσος Σάμος βρίσκεται στο ανατολικό Αιγαίο κοντά στις ακτές της Μ. Ασίας. Μαζί με τις πόλεις Μίλητο και Εφεσο αποτελούν τον πυρήνα της Ιωνίας, περιοχής περίφημης για τον πολιτισμό της κατά την αρχαιότητα. Ο εποικισμός της νήσου συγκεντρώθηκε στα ΝΑ, όπου γύρω από έναν φυσικό λιμένα αναπτύχθηκε η πρωτεύουσα. Χάρη στη γεωγραφική θέση και στους ικανούς ναυτικούς της η Σάμος έπαιξε ηγετικό ρόλο και έφθασε στο απόγειο της ακμής της κατά τον 6ο αιώνα π.Χ. Για να εννοήσουμε την κεφαλαιώδη σημασία της, είναι αρκετή μια αναφορά στον **Ηρόδοτο**, που περιγράφει με μεγάλο θαυμασμό πώς οι Σάμιοι είχαν κατορθώσει να κατασκευάσουν τα τρία μεγαλύτερα έργα ολόκληρης της Ελλάδας: μια σήραγγα (όρυγμα) για την ύδρευση της πόλης, μια προβλήτα για την προστασία του λιμένος και το ναό της Ηρας, αφιερωμένον στην κυριότερη θεότητα της νήσου.

Ο Ηρόδοτος αναφέρει κατά πρώτον τη σήραγγα, την περιγράφει εν συντομία συμπληρώνοντας την αναφορά με το όνομα του κατασκευαστή, του αρχιτέκτονα-μηχανικού **Ευπαλίνου**, γιου του **Ναυστρόφου του Μεγαρέως**. Χωρίς τη συγκεκριμένη αναφορά –που πράγματι είναι η μοναδική από την αρχαιότητα– το όρυγμα σίγουρα θα παρέμενε άγνωστο. Τα εξωτερικά ίχνη απαλείφθηκαν λίγο αργότερα αφ' ότου σταμάτησε η λειτουργία του, και η αναζήτησή του κατά τους νεότερους χρόνους οφείλεται ακριβώς σ' αυτή την αναφορά του Ηροδότου. Το όρυγμα εντοπίστηκε τελικώς το 19ο αιώνα και οι προσπάθειες για επαναλειτουργία του, το 1882, επέφεραν την αποκάλυψή του και την πρώτη επιστημονική εκτίμηση. Το Ευπαλίνειο υδραγωγείο –ιδιαιτέρως το καθ' αυτό όρυγμα– γρήγορα έγινε γνωστό και οδήγησε στη διατύπωση υποθέσεων σχετικά με το σχεδιασμό του όπως και ολόκληρης της εγκατάστασης.

Ωστόσο, όλες οι προσπάθειες ερμηνείας αποτύχωναν, όσο δεν ήταν δυνατή η εξέταση της σήραγγας σε όλο το μήκος της. Ήταν πρωτοβουλία του **Ουλφ Γιάντσεν**, τότε διευθυντή του Γερμανικού Αρχαιολογικού Ινστιτούτου Αθηνών, ο οποίος αναγνώρισε τη σημασία του μνημείου και φρόντισε για την αποκάλυψή του. Με πρωτοφανούς ταχύτητας ρυθμούς εργασιών η εγκατάσταση αποκαλύφθηκε κατά τα έτη 1971-73 και κατέστη προσιτή στην έρευνα. Η τεκμηρίωση και αποτύπωση του μνημείου διήρκεσε μέχρι τη δεκαετία του '80, ενώ η αξιο-

1. Το υδραγωγείο που κατασκεύασε ο μηχανικός Ευπαλίνος στη Σάμο σε ένα από τα ευρύτερα σημεία της διαδρομής του.
2. Στα πρώτα μέτρα, μετά την κάθοδο από την πέτρινη σκάλα, το όρυγμα είναι στενό και σταδιακά διευρύνεται (3)



ΤΟ ΕΥΠΑ

λόγησή του χρειάστηκε ακόμη μια δεκαετία –μέχρι η εκτίμηση του συνολικού έργου να ολοκληρωθεί και να καταστεί δυνατή η δημοσίευσή της.

Όπως και σε άλλες πόλεις κατά τον 6ο αιώνα π.Χ., έτσι και η υδροδότηση της Σάμου κατέστη κάποια στιγμή ανεπαρκής για τις ανάγκες του αυξανόμενου πληθυσμού. Όμως, η μοναδική πηγή –δυναμικού περίπου 400 κυβ. νερού ανά ημέρα– που θα μπορούσε να επιλύσει το πρόβλημα βρισκόταν όχι μόνον έξω από τα οχυρωματικά τείχη, αλλά και πίσω από τη ράχη του βουνού, που υψώνεται στα βόρεια της πόλης. Το νερό ήταν δυνατόν να φθάσει στην πόλη μόνον κατά δύο τρόπους: με



1



4



3

ΛΙΝΕΙΟΝ ΟΡΥΓΜΑ

εγκαταστάσεις που είτε θα παρέκαμπταν το βουνό είτε –κατά τον τρόπο που επιτεύχθηκε– διαπερνώντας το. Το έργο ύδρευσης που κατασκευάστηκε έχει μήκος περίπου 3 χλμ. και χωρίζεται σε τρία τμήματα: τον αγωγό, από την πηγή μέχρι τη βόρεια βουνοπλαγιά, τη σήραγγα που διαπερνά το βουνό, και τον αγωγό που μεταφέρει το νερό στην πόλη, στη νότια πλαγιά του βουνού.

Η πηγή αναβλύζει κοντά στο σημερινό χωριό Αγιάδες. Ο υδάτινος όγκος συλλεγόταν σε μια γερά κυομένη δεξαμενή κι από εκεί διοχετευόταν στον αγωγό. Η γραμμή χάραξης του αγωγού ακολουθεί για 800 μ. τις υψομετρικές καμπύλες. Για

τα υπόλοιπα 150 μ. μέχρι τη βουνοπλαγιά χρειάστηκε να κατασκευαστεί υπόγειος αγωγός κάτω από ένα λοφίσκο. Για το σκοπό αυτό διανοίχθηκαν τέσσερα φρεάτια –το μεγαλύτερο βάθους 19 μ.– τα οποία συνδέθηκαν μεταξύ τους υπογείως στο επιθυμητό επίπεδο.

Η σήραγγα –μεσαίο τμήμα του υδραγωγείου– διαπερνά το βουνό με τα τείχη σε ύψος περίπου 55 μ. από την επιφάνεια της θάλασσας. Έχει μήκος 1.036 μ. και διάμετρο κατά μέσο όρο 1,80 μ. επί 1,80 μ. Με εξαίρεση ορισμένα σημεία, η σήραγγα διαπερνά το βουνό οριζοντίως. Το κανάλι ύδρευσης, που διαθέτει και την απαραίτητη κλίση, ανεσκάφη

4. Σημείο καμπής της υπόγειας στοάς για να συναντήσει το τμήμα που κατασκευάζουν οι δημιουργοί του από την άλλη πλευρά



5. Η σκάλα καθόδου στο Ευπαλίνειο όρυγμα της Σάμου

κατά μήκος του ανατολικού του τοιχείου και μόλις καταλαμβάνει το ήμισυ του πλάτους της σήραγγας. Στη βόρεια είσοδο της σήραγγας το συγκεκριμένο κανάλι έχει βάθος σχεδόν 4 μ. και στη νότια έξοδο περισσότερο από 8 μ. Αξιοσημείωτο είναι πως το κανάλι έχει ανασκαφεί μόνο τμηματικώς όσον αφορά όλο το βάθος του, και κατά κανόνα παρουσιάζει στην εγκάρσια τομή δύο επίπεδα, που αποτελούνται από ένα κανάλι και από κάτω του ένα τμήμα σε μορφή γαλαρίας.

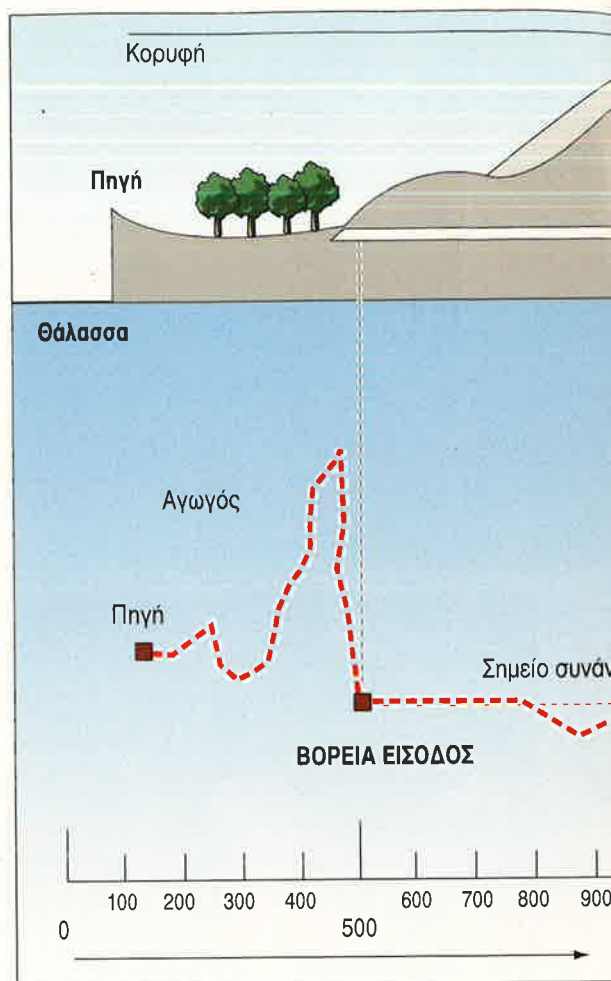
Από τη νότια είσοδο της σήραγγας ο αγωγός ακολουθεί τη βουνοπλαγιά μέχρι το κέντρο της πόλης στο λιμάνι. Ο αστικός αγωγός σκάφτηκε με τη βοήθεια φρεατίων διανοιγμένων σε απόσταση 11-25 μ., τα οποία συνδέονταν μεταξύ τους υπογείως. Κατά μήκος αυτού του τμήματος του αγωγού τοποθετήθηκαν σε λογικές αποστάσεις δεξαμενές με κρήνες, απ' όπου οι κάτοικοι της πόλης μπορούσαν να εφοδιάζονται με νερό.

Με μια πρώτη ματιά σ' ολόκληρο το έργο βγάζουμε το συμπέρασμα πως πρόκειται για ένα σύστημα υδροδότησης λειτουργικό και προσαρμοσμένο στα τοπογραφικά δεδομένα. Με τη λεπτομερέστερη εξέτασή του, όμως, παρατηρούνται ιδιομορφίες, που χρήζουν ειδικής ερμηνείας. Κατ' αρχάς σύγχυση προκαλεί η διαπίστωση ότι στο σημείο όπου ο αγωγός εισέρχεται στη σήραγγα το κα-

Χωρίς την αναφορά του Ηρόδοτου, που είναι η μοναδική από την αρχαιότητα, το όρυγμα θα παρέμενε άγνωστο

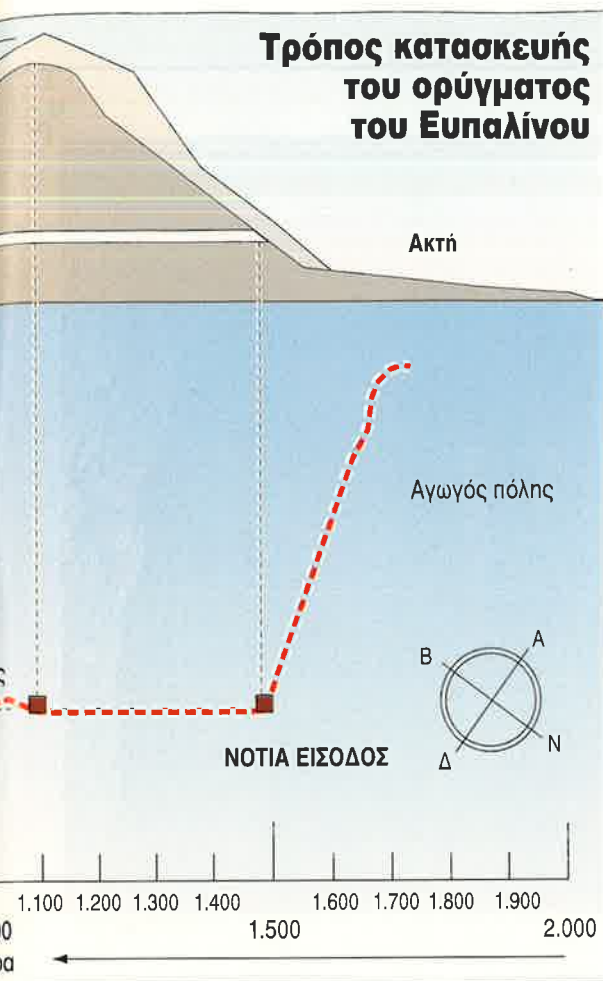
νάλι έχει βάθος περίπου 4 μ., παρ' όλο που μ' ένα σωστό σχεδιασμό το κανάλι θα 'πρεπε να είχε φθάσει στο ίδιο επίπεδο με το πάτωμα της σήραγγας κι από εκεί να συνεχίζει με φυσιολογική κλίση. Με άλλα λόγια, η σήραγγα βρίσκεται περισσότερο από 3 μ. ψηλότερα από τη στάθμη της πηγής. Λεπτομερέστερη μελέτη της περιοχής της πηγής οδήγησε στο συμπέρασμα ότι εκεί έγινε η πρώτη προσπάθεια για την κατασκευή φράγματος, προκειμένου να επιτευχθεί όσο το δυνατόν υψηλότερη στάθμη νερού και με την πίεση που δημιουργήθηκε κατ' αυτόν τον τρόπο η πηγή μετατοπίστηκε -στη θέση που αναβλύζουν τα ύδατα και σήμερα.

Η ανακάλυψη αυτών των συσχετίσεων απέδωσε την πειστική ερμηνεία για το «λανθασμένο» επίπεδο της σήραγγας και κυρίως για τα παράξενα δύο επίπεδα στο κανάλι. Όλα αυτά τα φαινόμενα μαζί δίνουν σημαντικά στοιχεία για το σχεδιασμό της εγκατάστασης: η κατασκευή του αγωγού υδρο-



δότησης είχε σχεδιαστεί προφανώς εξ αρχής σε δύο ξεχωριστά τμήματα. Αρχικώς θα κατασκευαζόταν το όρυγμα μαζί με τον αγωγό υδάτων και μετά το τμήμα μεταξύ πηγής και βουνού, όπως και το συμπληρωματικό τμήμα του μέχρι την πόλη. Επειδή η κατ' εξοχήν πρόκληση ήταν να περάσει η σήραγγα κάτω από το βουνό, το έργο ξεκίνησε από εκεί. Η σύνδεση με την πηγή και η επέκταση μέχρι το λιμάνι υπήρξαν εργασίες ρουτίνας και η εκτέλεσή τους άρχισε μετά το πέρας κατασκευής της σήραγγας.

Οι δυσχέρειες με τη μετατόπιση της πηγής προκάλεσαν σημαντικό επιπλέον φόρτο εργασίας, που ωστόσο δεν προκάλεσε ολοκληρωτική αποτυχία του εγχειρήματος. Ο αγωγός προσαρμόστηκε στα νέα δεδομένα, το ήδη υπάρχον κανάλι στη σήραγγα χρειάστηκε εμβάθυνση και το τμήμα που έφερε τα ύδατα στην πόλη ακολούθησε το νέο επίπεδο. Μετά την ολοκλήρωση αυτών των βασικών εργασιών χρειάστηκε να κατασκευαστούν στη σήραγγα τρία τμήματα συνολικού μήκους 150 μ., επειδή στη συγκεκριμένη «διαδρομή» ο βράχος ήταν ασταθής σε βαθμό επικίνδυνο. Ακόμη και στο στενό κανάλι αρκετά τμήματα έχρηζαν επιπρόσθετης σταθεροποίησης. Τελικώς, στον πυθμένα του καναλιού το-



ποθετήθηκαν προσεκτικά δουλεμένοι σωλήνες από πηλό. Ο αγωγός ήταν τότε έτοιμος να λειτουργήσει μεταφέροντας το νερό της πηγής στους κατοίκους της νησιωτικής πόλης.

Η σημαντικότερη συνεισφορά του αγωγού υδροδότησης στην πόλη μπορεί να εκτιμηθεί από τα στατιστικά στοιχεία: για το τμήμα από την πηγή μέχρι τη σήραγγα χρειάστηκε να σκαφτούν 1.500 κυβικά συμπαγούς βράχου, για τη σήραγγα την ίδια μαζί με το κανάλι, στην τελική τους μορφή, σχεδόν 5.000 κυβικά και για το τμήμα του αγωγού που οδηγούσε στην πόλη ακόμη 1.000 κυβικά. Όλες αυτές οι εργασίες διεξήχθησαν με σφυρί και καλέμι και για τη διάρκειά τους μπορούν να διαιτυπωθούν περιορισμένες μόνον υποθέσεις. Μόνον για τη διάτρηση του βουνού, όπου μπορούσαν να εργαστούν σε κάθε μέτωπο μόνον δύο τεχνίτες, πρέπει να υπολογιστούν τουλάχιστον οκτώ χρόνια, ώστε για το σύνολο των βασικών εργασιών πρέπει να χρειάστηκαν περίπου 10 χρόνια. Για τις περαιτέρω ενισχύσεις, που κατασκευάστηκαν με ιδιαίτερη προσοχή, στο εσωτερικό της σήραγγας χρειάστηκε να μεταφερθεί ξανά υλικό (πέτρα) όγκου 300 κυβικών –μεταξύ άλλων και πέτρες βάρους μεγαλύτερου του ενός τόνου. Ο αγωγός τελικώς διαμορφώθηκε από περίπου 5.000 πήλινους σωλήνες, που κατασκευάστηκαν σε τροχό αγγειοπλάστη, κατόπιν ψή-

θηκαν και μεταφέρθηκαν στον τόπο τοποθέτησής τους, στον πυθμένα του καναλιού.

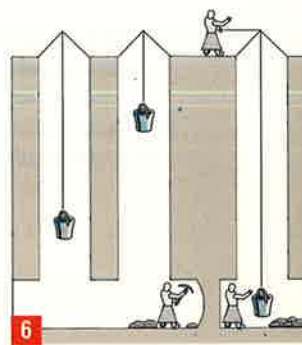
Η εγκατάσταση λειπούργησε μετά την ολοκλήρωση των εργασιών, όμως η σίγουρη παροχή της διατηρήθηκε μόνο λίγα χρόνια. Τα ύδατα της πηγής είχαν υψηλή περιεκτικότητα σε ασβέστιο και τα ιζήματα και το πουρί, που αυτό σχημάτισε, προκάλεσαν σε μερικά χρόνια την απόφραξη των σωλήνων. Προκειμένου ν' αποκατασταθεί η λειτουργία του αγωγού, ανοίχθηκαν οι σωλήνες σε όλο το μήκος τους, έτσι ώστε επί τόπου έμεινε μόνο μια διατομή 3/4 όμοια με αυλάκι, που από καιρό σε καιρό χρειαζόταν καθάρισμα. Πέραν τούτου προέκυψε ακόμη ένα πρόβλημα: στον αγωγό υπήρχε ένα σημείο στο οποίο συγκεντρώνονταν συνεχώς όγκοι λάσπης. Τόσο στις δύο αρχικές οπές, και πολύ περισσότερο στη σήραγγα την ίδια, όγκοι συγκεντρωμένοι εκεί υλικού –πουρί και λάσπη– καθιστούν προφανή τη σχετιζόμενη με τη λειτουργία της εγκατάστασης διαπάνη.

Ανεξαρτήτως των προσπαθειών που απαιτήθηκαν για την κατασκευή και τη λειτουργία της σήραγγας υδροδότησης, η μεγαλύτερη προσοχή εσιιάσθηκε στο σχεδιασμό της και στις σχετικές μετρήσεις. Αλήθεια, πώς συνέλαβε ο Ευπαλίνος το σχέδιο της σήραγγας και, το κυριότερο, πώς καθόρισε τη χάραξη της σήραγγας και πώς έλεγχε την εφαρμογή

Το έργο ύδρευσης είχε μήκος περίπου τρία χιλιόμετρα και χωριζόταν σε δύο αγωγούς και στη σήραγγα που διαπερνούσε το βουνό

της; Ιδιαίτερος το ερώτημα αυτό απασχόλησε τον επιστημονικό κόσμο: η σήραγγα έχει μήκος μεγαλύτερο του 1 χλμ. και είναι σαφές πως οι εργασίες διεξάγονταν ταυτόχρονα και από τις δύο πλευρές (αμφίστομη σήραγγα).

Ο τρόπος εφαρμογής του βασικού σχεδιασμού ερμηνεύεται εύκολα. Ο Ευπαλίνος με τη βοήθεια μιας σειράς κονταριών χάραξε μία ευθεία πάνω από το βουνό και γύρω απ' αυτό μία οριζόντια γραμμή. Καί' αυτόν τον τρόπο εξασφαλιζονταν τόσο η κατεύθυνση για την πορεία των εργασιών όσο και ένα κοινό επίπεδο. Αυτά τα σημεία εκκίνησης προέκυψαν από απλή σκόπευση οριζοντίως και καθέτως και από υπολογισμό της κατεύθυνσης, μέθοδος που καθιστούσε δυνατό και τον έλεγχο των εργασιών. Όσο απλός φαίνεται αυτός ο τρόπος μετρήσεων τόσο ανεπαρκής αποδείχθηκε για την επίτευξη ενός τέτοιου τολμηρού εγχειρήματος. Η επιπλέον προετοιμασία και μέριμνα ήταν βήματα απαραίτητα



6. Γραφική αναπαράσταση του τρόπου με τον οποίο οι αρχαίοι κατασκεύαζαν τις υπόγειες στοές

7. Η στήριξη των γαλαριών με αψίδα ή με μονοκόμματα πέτρα (8)



προκειμένου ν' αντιμετωπιστούν αφ' ενός ο κίνδυνος ενδεχόμενης απόκλισης του έργου και αφ' ετέρου πιθανών γεωλογικών προβλημάτων.

Ο σχεδιασμός της σήραγγας είχε γίνει κατ' τρόπο ώστε καθεμιά από τις δύο πλευρές καταμετρήθηκε κατ' μήκος της ανάλογης βουνοπλαγιάς και το σημείο συνάντησης ορίσθηκε επί τούτου κάτω από το διάσελο της ράχης. Οι δύο γαλαρίες μπορεί να κατασκευάστηκαν σε διαφορετικό μήκος, όμως οι συνέπειες ενδεχόμενων λαθών στην πορεία των εργασιών παρέμεναν υπολογίσιμες. Στον τομέα του προβλεπόμενου σημείου συνάντησης εγκαταλείφθηκε η ιδανική κατεύθυνση πορείας των εργασιών, σχεδιάστηκε κάμψη και στις δυο γαλαρίες με νέα κατεύθυνση προς Ανατολάς. Κατ' αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε ένα σημείο διασταύρωσης και οι δύο γαλαρίες έπρεπε να συναντώνται με την προϋπόθεση να βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο.

Το σχέδιο αποδεικνύεται εξίσου απλό όσο και λογικό και ο βαθμός ωριμότητάς του φαίνεται κυρίως από τις μετατροπές που χρειάστηκε να πραγματοποιηθούν στη βόρεια γαλαρία. Η βόρεια γα-

λαρία προφανώς διέσχισε εξ αρχής εύθραυστα πετρώματα και απαιτούσε ανάλογη ενίσχυση. Κατά τα φαινόμενα ο κίνδυνος κατολίσθησης έπειτα από εργασίες σε μήκος 260 μ. είχε οξυνθεί σε σημείο ώστε οι κατασκευαστές εξαναγκάστηκαν να εγκαταλείψουν την αρχική κατεύθυνση της σήραγγας και να καταφύγουν σε περιοχές γεωλογικώς ασφαλέστερες. Η ιδέα της παράκαμψης συνελήφθη σε μορφή καθαρά γεωμετρική και πραγματοποιήθηκε σε σχήμα τριγώνου.

Το γεγονός πως η παράκαμψη αυτή δεν επιτεύχθηκε με ακρίβεια, οφείλεται σε ένα ελάχιστο λάθος χάραξης 0,60 μοιρών, που περιέχονταν εξ αρχής στην κατασκευή της βόρειας σήραγγας και δεν ήταν δυναίον να επαληθευτεί από τους τεχνίτες, από το οποίο λάθος όμως προέκυψε ύστερα από απόσταση 500 μ. μια σημαντική απόκλιση. Γι' αυτό είναι εκπληκτικό με πόση σιγουριά διεξήχθη ο τελευταίος έλεγχος στην τελική φάση των εργασιών και πόσο επιτυχώς ολοκληρώθηκε η σχετική διορθωτική πορεία τους. Στη βόρεια γαλαρία δόθηκε κατεύθυνση προς Δυσμάρ και μετά –σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό– προς τη νότια γαλαρία. Κατ' αυτόν τον τρόπο επιτεύχθηκε μια εξαιρετικά πολύπλοκη γραμμή, η αξιολόγηση της οποίας κατέστη δυνατή μόνο με τη λεπτομερή μελέτη του έργου.

Αποφασιστικής σημασίας για την αποσαφήνιση της διαδρομής χάραξης υπήρξαν ορισμένα αυθεντικά σημάδια μετρήσεων, πολλά από τα οποία βρέ-

Ηταν ένα εγχείρημα εξαιρετικής τόλμης, για το οποίο απαιτούνταν γνώσεις γεωμετρικών δεδομένων και δυνατοτήτων εφαρμογής

θηκαν σημειωμένα με χρώμα στα τοιχώματα της σήραγγας και από τα οποία μια ομάδα αναγνώριστηκε πως σχετιζόταν άμεσα με την πρόοδο της εξόρυξης. Η αξιοποίηση αυτών των σημείων δεν απέφερε μόνο σημαντικές γνώσεις για ορισμένα μεμονωμένα στάδια στην πορεία των εργασιών, αλλά καθιστά το συγκεκριμένο σύστημα καταμέτρησης και αποδεικτικό στοιχείο, βάσει του οποίου μπορούμε να κατανοήσουμε και να ανασυνθέσουμε όλο το σχεδιασμό του έργου.

Στη συνολική αξιολόγηση του σχεδίου πρέπει να τονιστούν τα εξής: ο σχεδιασμός της σήραγγας πείθει ότι πρόκειται για ένα εγχείρημα εξαιρετικής τόλμης –καθώς αυτό θα χρειαζόταν χρόνια για να ολοκληρωθεί και η ορθότητα των σχεδίων θα αποδεικνυόταν μόνον όταν θα είχε επιτευχθεί η «συνάντηση» των δύο εκατέρωθεν τμημάτων της σήραγγας. Εκτός αυτού αποδεικνύει εκπληκτικές γνώσεις γεωμετρικών δεδομένων και δυνατοτήτων εφαρμογής, όπως επίσης και πολύ καλή αντίληψη περί ενδεχόμενων πρακτικών δυσχερειών. Ο Ευπαλίνος σίγουρα σχεδίασε το έργο αυτό ύστερα από λεπτομερή εξέταση της επιφάνειας του βουνού, ο κατ'εξοχήν σχεδιασμός, όμως, βασίζεται σε θεωρητικές σκέψεις, που πρακτικά μπορούσαν να πάρουν μορφή μόνον επάνω σε ένα «σχεδιαστήριο». Η σήραγγα πήρε μορφή, προφανέστατα, επάνω σε σχεδιαστήριο –ανεξάρτητα τίνος σχήματος υπήρξε αυτό– όπου σχηματοποιήθηκαν και όλα τα στάδια εργασιών, όπως και όλες οι μετέπειτα μεταβολές. Η συνάντηση των δύο γαλαριών ύστερα από εξόρυξη 420 και 620 μ. δεν ήταν σύμπτωση, αλλά αποτέλεσμα τέλειου σχεδιασμού.

Παραμένει το ερώτημα για την εποχή κατασκευής του έργου. Μόλις έγινε η αποκάλυψη του μνημείου, ο κόσμος συμπέρανε πως μια τέτοια εγκατάσταση μπορεί να είχε προωθηθεί μόνον επί τυραννίας του **Πολυκράτους**. Η μαρτυρία του Ηρόδοτου (III 60) συνδέθηκε χωρίς δισταγμό με εκείνην του **Αριστοτέλη** (Πολιτικά, 1313 β) όπου γίνεται αναφορά σε έργα του τυράννου. Ωστόσο, ένας τέτοιος συσχετισμός είναι υποθετικός· η σύνδεση με τον Πολυκράτη δεν είναι δυνατόν ν' αποδειχθεί. Τα χρήσιμα κριτήρια χρονολόγησης, οι πηλίνι σωλήνες, οι ενισχύσεις του έργου και κυρίως τα ελάχιστα αλλά ιδιαίτερης βαρύτητας αρχαιολογικά ευρήματα, τοποθετούν την έναρξη κατασκευής μάλλον γύρω στο 550 π.Χ., δηλαδή πριν από την ανάληψη της εξουσίας από τον τύραννο Πολυκράτη. Υπέρ μιας πρώιμης χρονολόγησης συνηγορούν και ορισμένες σχεδιαστικές ατέλειες του αγωγού, που οφείλονται αποκλειστικώς στη σχετική απειρία των κατασκευαστών. Όσον αφορά το πρόσωπο του αρχιτέκτονα



9. Υπολείμματα κατασκευών της βυζαντινής περιόδου μέσα στο Ευπαλίνειο όρυγμα

Ευπαλίνου, δυστυχώς δεν είναι δυνατόν να γίνουν περαιτέρω διευκρινιστικοί συσχετισμοί, ωστόσο το έργο του συνάδει με την ανανεωτική τάση, την τόσο χαρακτηριστική για τα μέσα του 6ου αιώνα π.Χ.

Το Ευπαλίνειον όρυγμα τροφοδότησε με πόσιμο νερό την πόλη της Σάμου για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 1.000 χρόνων. Κατά τους βυζαντινούς χρόνους οι κάτοικοι αναγκάστηκαν να χρησιμοποιήσουν τη σήραγγα ως κρυψώνα. Η Σάμος βρισκόταν στο δρόμο των εκθρικών σιόλων της εποχής, προορισμός των οποίων ήταν η Κωνσταντινούπολη. Στις दिνες του πολέμου η συντήρηση της σήραγγας παραμελήθηκε, μέχρις ότου τα ιζήματα προκάλεσαν μερική απόφραξη του αγωγού. Η κλίση του καναλιού δεν επαρκούσε πλέον για τη ροή των υδάτων, η οποία ίσως και να διακόπηκε εντελώς. Μετά τη χρονική αυτή περίοδο προφανώς δεν ήταν πλέον δυνατή η αποκατάσταση της εγκατάστασης, που τελικώς εγκαταλείφθηκε στο έλεος του χρόνου μέχρι σημείου να εξαφανιστεί κάθε ένδειξη του μεγάλου αυτού έργου ακόμη και από την επιφάνεια του εδάφους.

Μετάφραση: Ολγα Κολιάτσου ■

Το Ευπαλίνειον όρυγμα τροφοδότησε με πόσιμο νερό την πόλη της Σάμου για χρονικό διάστημα μεγαλύτερο των 1.000 χρόνων

Ο

Του **HERMANN J. KIENAST**
αρχαιολόγου, Γερμανικό Αρχαιολογικό
Ινστιτούτο

Πύργος των Ανέμων, το Ωρολόγιο του **Ανδρόνικου**, ο ναός του Αιόλου ή απλώς «Αέρηδες», όπως αποκαλείται σήμερα το οικοδόμημα από τους Αθηναίους, έχει χωρίς αμφιβολία εξέχουσα σημασία μεταξύ των αρχιτεκτονημάτων της αρχαίας Αθήνας αλλά κι ολόκληρης της Ελλάδας. Το οικοδόμημα βρίσκεται στους πρόποδες της Ακρόπολης, ανατολικά της Ρωμαϊκής Αγοράς, πάνω από τα ερείπια της οποίας υψώνεται επιβλητικά.

Ο Πύργος των Ανέμων αναφέρεται στην αρχαιότητα τρεις φορές –στα κείμενα του Ρωμαίου μηχανικού **Βιτρούβιου** και του εγκυκλοπαιδιστού **Βάρρωνος**, όπως και σε επιγραφή– και απολαμβάνει της προσοχής εξίσου με τους ναούς του ιερού βράχου από τους ταξιδιώτες των νεότερων χρόνων. Οι πρώτες περιγραφές των νεότερων χρόνων προέρχονται από το 15ο αιώνα, ενώ από το 17ο άρχισαν τα δημοσιεύματα και οι απεικονίσεις του οικοδομήματος και στα πρώτα σχεδιαγράμματα της πόλης εξαιρείται ιδιαίτερος. Ο ασυνήθιστος ρυθμός του, η εξαιρετικά καλή κατάσταση στην οποία διατηρείται και η γραφική του χρήση ως τεκέ –χώρου συνάθροισης των δερβίσηδων που χορεύουν– του προσδίδουν ιδιαίτερη γοητεία, που αντικατοπτρίζεται σε πολυάριθμες σύγχρονες αναπαραστάσεις. Ασύγκριτες όσον αφορά την ποιότητα των λεπτομερειών είναι κυρίως οι εικόνες του αρχαιοδίφη **Εντ. Ντόνγκελ** στις αρχές του 19ου αιώνα.

Το οικοδόμημα περιελήφθη τελικώς και στη σύγχρονη του κεντροευρωπαϊκού κλασικισμού αρχιτεκτονική και αποτέλεσε θέμα αντιγραφής είτε εξ ολοκλήρου είτε τμηματικώς. Δεν μπορεί να παραβλέψει κανείς ούτε και τη σημασία που απέκτησε ο Πύργος για το σχεδιασμό της Νέας Πόλεως των Αθηνών: ένας εκ των τριών κυρίων αξόνων, που χαράχτηκαν διά μέσου της δαιδαλώδους Παλαιάς Πόλεως, έχει προσανατολιστεί σ' αυτόν και συνεπώς φέρει την ονομασία οδός Αιόλου. Η επιστημονική ενασχόληση με το συγκεκριμένο οικοδόμημα υπήρξε ωστόσο ιδιαίτερος επιφυλακτική, ξεκινώντας, όπως συνέβη και σε πολλές άλλες περιπτώσεις, με τις δημοσιεύσεις των **Τζ. Σπούαρτ** και **Ν. Ρέβει** πριν από περίπου δύομισι αιώνες. Το καθαρό σχήμα του Πύργου, η καλή του κατάσταση και τα εντυπωσιακά σχέδια των δύο καλλιτεχνών δημιούργησαν προφανώς την εντύπωση πως δεν υπήρχαν πλέον άλλες απορίες αναπάντητες. Το οικοδόμημα παρέμεινε μέχρι την παρούσα νέα μελέτη σχεδόν απαρατήρητο.

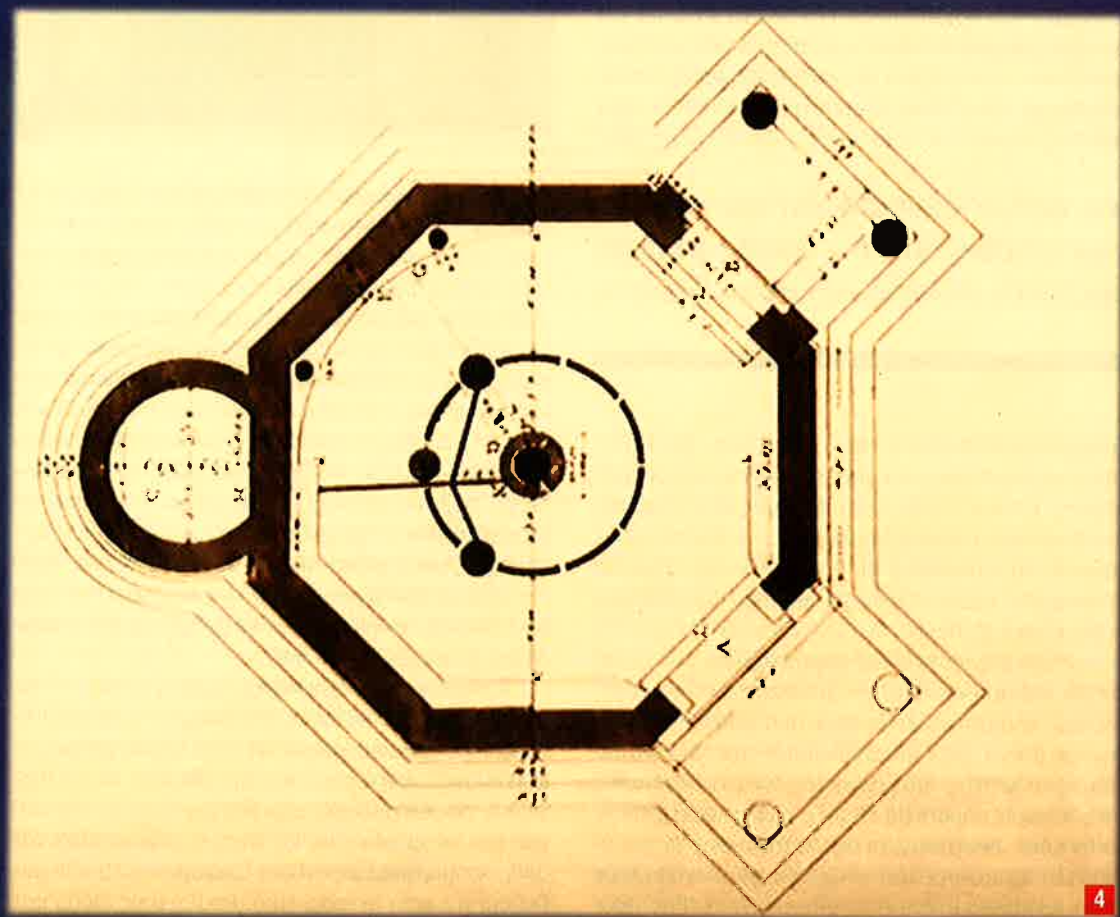
Η κάτωψη του Πύργου αποτελείται από ένα κανονικό οκτάγωνο με μήκος πλευρών περίπου 3,25 μ. Σε αυτό το αυστηρό σχέδιο του κυρίως οικοδομή-



Ο ΠΥΡΓΟΣ



1,2. Περιμετρική
άποψη του
Ωρολογίου του
Ανδρόνικου,
των γνωστών
«Αέρηδων»,
ενός από τα πιο
εκλεκτικιστικά
αρχιτεκτονικώς
μνημεία της
αρχαιότητας.
3. Το άνω
διάζωμα του
Πύργου.
Διακρίνονται οι 4
από τους 8
ανάγλυφους
ανέμους.
4. Αποτύπωση της
κάτοψης του
μνημείου από
τους Stuart και
Revett



ΤΩΝ ΑΝΕΜΩΝ

Βορέας (5) και
Νότος (8) του
πύργου
αποτυπωμένοι
από τους Stuart
και Revett



ματος έχουν προστεθεί τρεις επεκτάσεις. Η δυνατότητα συνδυασμού ενός οκταγώνου με τρεις προεκτάσεις εδραιώνει την άποψη ότι πρόκειται για ένα τολμηρό κατασκεύασμα. Ο συνδυασμός πέτυχε μια τόσο αρμονική μορφή που υπογραμμίζει τις ικανότητες του αρχιτέκτονα. Πρέπει να τονιστεί ότι το κυρίως κτιριακό σώμα αποκτά με αυτές τις τρεις προσθήκες έναν άξονα ακριβείας με κατεύθυνση από Βορρά προς Νότο. Η ευθυγράμμιση είναι τόσο ακριβής, ώστε δεν έχει ακόμη διαπιστωθεί πώς

**Δεν έχει ακόμη διαπιστωθεί πώς έγιναν
οι τότε μετρήσεις, για τις οποίες σήμερα
είναι απαραίτητα σύγχρονα οπτικά όργανα**

πραγματοποιήθηκαν οι τότε μετρήσεις, για τις οποίες σήμερα είναι απαραίτητα σύγχρονα οπτικά όργανα. Κατά τ' άλλα, ο σχεδιασμός ενός οκταγώνου δεν ενέχει άλλες δυσχερείες, το σχήμα είναι δυνατόν να επιτευχθεί με απλές βασικές γνώσεις γεωμετρίας, όπως επίσης με χάρακα και διαβήτη χωρίς παρεκκλίσεις.

Την αρχιτεκτονική του χαρακτηρίζει ένα εξαιρετικά καθαρό σχήμα, που τονίζεται από το γεγονός πως ολόκληρο το οικοδόμημα από τα θεμέλια έως τη στέγη έχει κατασκευαστεί από πεντελικό μάρμαρο λεπτής επεξεργασίας. Ο εντυπωσιακός ψηλός χωρίς παράθυρα Πύργος υψώνεται επάνω σε βάση τριών βαθμίδων, οι τοίχοι του έχουν μόνον ένα απλό ημικύκλιο στο κάτω μέρος και ένα εξίσου απλό λεσβιακό κυμάτιο ως επιστέγασμα. Την προσοχή προκαλούν επίσης και τα εντελώς διαφορετικά ύψη των εκάστοτε στρώσεων, μία ιδιαιτερότητα που δεν παρατηρείται πουθενά αλλού στην αρχαία ελληνική αρχιτεκτονική. Μένει ακόμη να διαλευκανθεί ποια (αρχιτεκτονική) σύλληψη βρίσκεται πίσω απ' αυτή τη φαινομενική «αταξία»: σαφής είναι μόνον ο ρόλος των τριών λεπτών στρώσεων, που λειτουργούν ως συνδετικά στοιχεία στη σταθερο-



ποίηση του τοίχου και συγχρόνως τον διαιρούν εξωτερικώς και εσωτερικώς σε τρεις ζώνες.

Η σημασία αυτών των τριών ζωνών του τοίχου δεν έχει ακόμη διαλευκανθεί, προφανές όμως είναι πως η ανώτερη ζώνη καταλαμβάνεται από ηλιακά ωρολόγια, των οποίων οι γραμμές διακρίνονται ακόμη καλώς. Τα ηλιακά ωρολόγια έχουν χαραχθεί και στους οκτώ τοίχους, ακόμη και στην καθαρή βόρεια πλευρά, η οποία το καλοκαίρι βρίσκεται στον ήλιο περίπου δύο ώρες το πρωί, ενώ το απόγευμα περίπου τέσσερις ώρες. Αυτά τα ηλιακά ωρολόγια είναι τα μεγαλύτερα γνωστά από την αρχαιότητα, που βρίσκονται σε κάθετους τοίχους. Και δεν χρήζει ιδιαίτερης μνείας πως η κατασκευή τους δεν είναι δυνατόν να ολοκληρωθεί χωρίς τις ανάλογες θεωρητικές γνώσεις.

Επάνω από τα ηλιακά αυτά ωρολόγια ακολουθεί μία στεφάνη με διάζωμα, που θεωρείται ως επιστέγασμα του τοιχίου –μία ζώνη ανάγλυφων με τους οκτώ θεούς του ανέμου, που προσδίδουν στον Πύργο τον ουσιαστικό του χαρακτήρα και του έδωσαν και την ονομασία του. Οι άνεμοι παρουσιάζονται ανθρωπομορφικά ως άνδρες διαφόρων ηλικιών, ενδεδυμένοι κατά διαφορετικό μεταξύ τους τρόπο και κοσμημένοι από ένα χαρακτηριστικό που διασαφνίζει την ιδιότητα του καθενός. Και οι οκτώ άνδρες είναι φτερωτοί και ίπτανται με ισορροπημένες κινήσεις και με κατεύθυνση αντίθετη προς τη φορά των δεικτών του ωρολογίου. Στη στενή ζώνη επάνω από τους ανέμους είναι χαραγμένο το όνομα του καθενός και επάνω από μια σειρά κυματίων η άκρη της στέγης με λεοντόμορφες υδρορροές ολοκλη-



ρώνει τελικώς την άποψη του τοιχείου.

Εντελώς ασυνήθιστη είναι η ίδια η οροφή. Αποτελείται από μεγάλες σφηνοειδείς μαρμαρίνες πλάκες που ακουμπούν σε μία στρογγυλή κεντρική πέτρα. Σε κάθε πλευρά έχουν τοποθετηθεί τρεις πλάκες, οι οποίες στους αρμούς τους καλύπτονταν από μάρμαρο –που σήμερα έχουν αντικατασταθεί από πήλινα κεραμίδια. Η εξωτερική μορφή της οροφής αντιστοιχεί σε εκείνην μιας οκτάγωνης πυραμίδας –σχήμα ιδανικό ως άνω κατάληξη ενός οικοδομήματος πρισματικού. Όσο απλός κι αν είναι ο σχεδιασμός του τόσο πολύπλοκη είναι η στατική δομή και κυρίως η τεχνική διαδικασία τοποθέτησης. Πάντως σίγουρο είναι ότι η οροφή κατασκευάστηκε στο έδαφος και τοποθετήθηκε τμηματικώς στο οικοδόμημα. Οι μεμονωμένες πλάκες ακουμπούν στον εξωτερικό τοίχο και στην κυκλική τελική πέτρα. Οι σημαντικές δυνάμεις ώσης, που δημιουργούνται σε μια παρόμοια κατασκευή, εξισορροπούνται από τις πλάκες στην άκρη της στέγης, που έχει κατασκευαστεί ως «σενάκι» και συγκρατεί την οροφή. Για το σκοπό αυτό οι λίθοι στην άκρη της στέγης έχουν τριπλούς συνδέσμους.

Από το τελικό κιονόκρανο της οροφής σήμερα σώζεται μόνον ένα θραύσμα, όπου όμως διατηρούνται σημαντικές λεπτομέρειες. Αυτό διαθέτει κάλαθο με φύλλα ακάνθου και είναι οκτάγωνο. Πρόκειται για σύνθετες κορινθιακό κιονόκρανο, επί του οποίου –κατά τον Βιτρούβιο– ήταν στερεωμένος ένας Τρίτωνας που χρησίμευε ως ανεμοδείκτης. Η από τον Βάρρω-



6. Η αποτύπωση του Πύργου των Ανέμων από τους James Stuart και Nicholas Revett σε γκραβούρα του 18ου αιώνα.
7. Ο Πύργος από περίπου την ίδια γωνία σε φωτογραφία της σύγχρονης εποχής

να III 5,17 διατυπωθείσα άποψη, ότι η κατεύθυνση του ανέμου ήταν δυνατόν να αναγνωσθεί και από το εσωτερικό του Πύργου, μάλλον δεν ευσταθεί. Εφ' όσον το σπάραγμα του κιονόκρανου δεν φέρει πουθενά ίχνη διάτρησης, δεν φαίνεται να υπήρχε σύνδεση των εξωτερικών πλευρών με το εσωτερικό.

Όλα αυτά σχετίζονται με τον κυρίως Πύργο. Όσον αφορά τις προσθήκες, εκεί μπορεί να γίνει διαχωρισμός μεταξύ των δύο Προπύλων και της στρογγυλής προσθήκης. Τα Πρόπυλα, που σήμερα δια-

Για την αρχιτεκτονική του Πύργου δεν έχει βρεθεί σε ολόκληρη την ελληνική ιστορία καμία περίπτωση προς σύγκριση

τηρούνται μόνον αποσπασματικά, τα χαρακτηρίζει ένα αέτωμα, που ενώνεται με το τοίχιο και στηρίζεται σε δύο κίονες. Από τους τέσσερις κίονες σώζονται σήμερα μόνον κατάλοιπα τριών· σύμφωνα με τον Στιούαρτ μάλιστα, οι δύο δυτικοί στην αρχική τους θέση. Οι κίονες είναι μονόλιθοι, διαθέτουν 20 ραβδώσεις και, παραδόξως, πατούν απ' ευθείας επάνω στις βαθμίδες του δαπέδου χωρίς ενδιάμεση βάση. Πέραν τούτων σώζονται σημαντικά θραύσματα του θριγγού από το ΒΔ Πρόπυλο. Εάν λάβει κανείς υπόψη του τα ίχνη εργασιών στους τοίχους των θυρών, προκύπτει μία πιστή αναπαράσταση, που ανταποκρίνεται με ακρίβεια σ' εκείνην που σχεδίασαν οι Στιούαρτ και Ρέβελ. Τέλος, μένει ν' αναφερθούμε στο άνοιγμα της θύρας, σαφώς δωρικού ρυθμού, ενώ ο θριγγός του Πρόπυλου είναι ρυθμού κορινθιακού –συνδυασμός που ταιριάζει κατά τον καλύτερο τρόπο στον εκπληκτικό αρχιτεκτονικό εκλεκτικισμό του Πύργου.

Όσο σαφής είναι η λειτουργικότητα των Προπύλων –αποτελούσαν τις δύο προσβάσεις στον Πύργο– τόσο η τρίτη προσθήκη στη νότια πλευρά χρήζει ιδιαίτερης ερμηνείας. Η προσθήκη έχει σχήμα στρογγυλού κυλίνδρου, ο οποίος –λίγο μεγαλύτε-



Οι άνεμοι
Σκίρων (9) και
Απηλιώτης (10).
11. Ο άνεμος
Εύρος όπως
σώζεται σήμερα
και όπως τον
είχαν αποτυπώσει
στην γκραβούρα
τους οι Στιούαρτ
και Ρέβελ (12)

ρος από ένα ημικύκλιο- έχει προστεθεί στο νότιο τοίχιο. Η λειτουργικότητά του σχετίζεται προφανώς με το υδραυλικό ωρολόγιο, που ήταν τοποθετημένο στο εσωτερικό του Πύργου. Εδώ βρισκόταν και η, αναγκαία για τη λειτουργία του ωρολογίου, δεξαμενή νερού. Όπως και τα Πρόπυλα, και αυτή η προσθήκη έχει καταστραφεί σε μεγάλο βαθμό. Πληροφορίες γι' αυτήν παίρνουμε μόνον από τα ίχνη εργασιών στο νότιο τοίχιο. Σημαντική είναι και η παρατήρηση, πως στον εξωτερικό τοίχο της στρογγυλής προσθήκης είναι χαραγμένο και ένα ένατο ηλιακό ωρολόγιο, του οποίου ο τρόπος λειτουργίας δεν έχει ακόμη διασαφηνιστεί.

Η εξωτερική μορφή του Πύργου είναι μοναδική κι εξίσου ασυνήθιστο είναι και το εσωτερικό του. Οι τοίχοι, που με τις προαναφερθείσες συνδετικές στρώσεις εμφανίζουν εσοχές, παρουσιάζουν την εξής διάρθρωση: η πρώτη ζώνη καλύπτεται από ένα απλό γείσο, η επόμενη ζώνη από ένα γείσο με φορούσια και η τρίτη από μία απλή ταινία. Σε αντίθεση με τα γείσα, που ακολουθούν σχήμα οκταγώνου, η τρίτη ταινία μετατρέπει το οκτάγωνο σε κανονικό κύκλο. Ετσι στις γωνίες σχηματίζονται μικρά τριγωνικά πλατύσκαλα, όπου βρίσκονταν τοπο-

Από το υδραυλικό ωρολόγιο δεν σώζεται τίποτε και την ύπαρξή του συμπεραίνουμε μόνον από εγκοπές στο δάπεδο

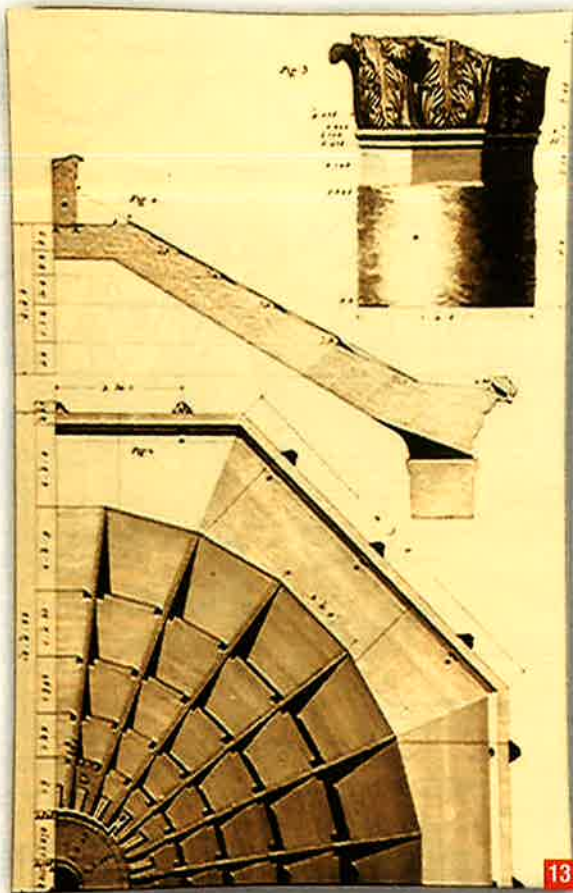
θετημένοι δωρικοί κιονίσκοι, οκτώ τον αριθμό, οι οποίοι φέρουν επιστύλιο και εκεί επάνω σιτηρίζονται οι 24 πλάκες της οροφής.

Ανεξάρτητα από την προαναφερθείσα διάρθρωση το εσωτερικό του Πύργου καθορίζεται σήμερα αφ' ενός από το Mihrab, μια κόγχη προσευχής και διαλογισμού, στραμμένη προς ΝΑ -χαρακτηριστικό που τονίζει ακριβώς τη χρήση του Πύργου κατά την οθωμανική εποχή- αφ' ετέρου από ένα άνοιγμα στην κάτω ζώνη του νότιου τοίχου. Η οπή αυτή έχει επανειλημμένως αποτελέσει αντικείμενο προβληματισμών και υποθέσεων. Επειδή συνιστά τη μοναδική πρόσβαση προς τη στρογγυλή προσθήκη, συσχετίστηκε με το μηχανισμό της κλεψύδρας, δηλαδή του υδραυλικού ωρολογίου. Έχει ήδη αναφερθεί πως η δεξαμενή νερού για το ωρολόγιο ήταν πράγματι εγκατεστημένη στο χώρο της προσθήκης, εξίσου σίγουρο όμως θεωρείται επίσης πως αυτό το άνοιγμα στον τοίχο δεν μπορεί να αποτελούσε τμήμα του αρχικού οικοδομήματος, αλλά συντελεί «λύση ανάγκης». Αναμφίβολα, ο νότιος τοίχος υπήρξε αρχικώς συμπαγής και προς



την προσθήκη δεν υπήρχε πρόσβαση μετά την αποπεράωσή της.

Η ουσιαστική και μάλλον μοναδική λειτουργικότητα του εσωτερικού του Πύργου δεν ήταν παρά ν' αποτελέσει το απαιτούμενο περιβλήμα για το υδραυλικό ωρολόγιο, από το οποίο, φυσικά, δεν σώζεται τίποτε και την ύπαρξή του συμπεραίνουμε μόνον από εγκοπές στο δάπεδο. Αυτές γίνονται α-νιληπτές εξ αρχής στον επισκέπτη και διακρίνονται σαφώς σε τρεις κατηγορίες: στις ευθύγραμμες εγκοπές, τις κυκλικές και σε μία κεντρική οπή με τρεις ελλειψοειδείς εσοχές. Απλή να ερμηνευθεί και με επιβεβαίωση από σχετικά ευρήματα είναι η κυκλική εγκοπή, στην οποία ήταν τοποθετημένο ένα μαρμαρίνο κάγκελο. Με αυτό κρατούνταν ελεύθερος ο χώρος του κεντρικού κύκλου στο εσωτερικό του Πύργου, ώστε ο επισκέπτης μπορούσε να προσεγγίσει το ωρολόγιο μόνον μέχρι το σημείο αυτό. Σαφές είναι επίσης και ο ρόλος των ευθύγραμμων αυλακώσεων, όπου σίγουρα ήταν τοποθετημένοι μολύβδινοι σωλήνες μεταφοράς του νερού που ήταν απαραίτητο για τη λειτουργία του ωρολογίου. Όμως η κονδροειδής κατασκευή των αυλακώσεων αυτών μαρτυρά ότι αυτοί μπορεί να είναι μόνον μεταγενέστεροι και φαίνεται πως κατασκευάστηκαν σε σχέση με το άνοιγμα στο νότιο τοίχο, ενώ η αρχική εγκατάσταση βρισκόταν σε υπόγειο αγωγό. Σίγουρα είναι επίσης η ερμηνεία των τριών ελλειψοειδών εσοκών, το σχήμα των οποίων αναμφισβήτητα οδηγεί στο συμπέρασμα πως αποτελού-



σαν βάσεις αγαλμάτων, για τις μορφές όμως των οποίων μέχρι στιγμής δεν είναι τίποτε γνωστό.

Περισσότερο ενδιαφέρον ενέχει, φυσικά, η αναπαράσταση του ίδιου του υδραυλικού ωρολογίου, το οποίο κατά τα φαινόμενα βρισκόταν τοποθετημένο στο κέντρο της αίθουσας επάνω από τη στρογγυλή οπή. Από το ωρολόγιο το ίδιο δεν έχει σωθεί τίποτε, ωστόσο μια ιδέα μας δίνει η αναπαράσταση ενός ωρολογίου που περιγράφεται από τον **Κτισίβιο τον Αλεξανδρινό**. Ανεξαρτήτως της εμφάνισης ενός τέτοιου ωρολογίου, η αρχή κατασκευής και λειτουργίας του μπορεί να περιγραφεί ως εξής: μια πηγή τροφοδοτεί μια δεξαμενή κι αυτή με τη σειρά της τροφοδοτεί ένα άλλο δοχείο, που προσφέρει την απαραίτητη πίεση. Η ροή προς αυτήν ρυθμίζεται κατά τρόπον ώστε να διατηρείται μία σταθερή στάθμη νερού. Από το «πιεστικό» το νερό μεταφέρεται προς το κυρίως ωρολόγιο. Ο ωρολογιακός μηχανισμός αποτελείται από ένα δοχείο, όπου η στάθμη του νερού ανεβαίνει από το εισερχόμενο νερό. Η στάθμη πάλι ανυψώνει έναν πλωτήρα συνδεδεμένο με ένα δείκτη, ο οποίος δείχνει την ώρα επάνω σε μία κλίμακα. Η θεωρία, λοιπόν, πως στον Πύργο των Ανέμων βρισκόταν ένας ωρολογιακός μηχανισμός που έδειχνε εγγυημένα την ώρα και ήταν τόσο εντυπωσιακός όσο και το πρότυπο του Κτισίβιου, μπορεί να ευσταθεί, πώς όμως ήταν στην πραγματικότητα, μάλλον δεν είναι δυνατόν πλέον να διαπιστωθεί, αφού μοναδικά στοιχεία αξιολόγησης δεν είναι παρά τα ίχνη εργασιών στο

δάπεδο του οικοδομήματος. Έτσι δεν μπορεί πλέον να διευκρινιστεί και το ερώτημα, αν με το μηχανισμό καταμετριοούνταν οι ώρες της ημέρας κατά την αρχαία παράδοση με διαφορετική διάρκεια.

Για την αρχιτεκτονική του Πύργου δεν έχει βρεθεί σε ολόκληρη την ελληνική ιστορία καμία περίπτωση προς σύγκριση. Βεβαίως, η επιλογή ενός οκταγώνου προκειμένου να αναπαρασταθούν οι οκτώ κατευθύνσεις του ανέμου –το σχήμα ενός πρίσματος– θυμίζει στην αυστηρότητά της μάλλον τις αιγυπτιακές πυραμίδες, όμως στην Ελλάδα είναι μοναδικό. Και προκύπτει το ερώτημα, τι σκεφτόταν στην αρχή των εργασιών του ο αρχιτέκτων: το ιδανικό οικοδόμημα ή τη λειτουργικότητα που έπρεπε να έχει η κατασκευή, δηλαδή την παρουσίαση των οκτώ ανέμων με όσο το δυνατόν εντυπωσιακότερο τρόπο; Κατά τ' άλλα ο Πύργος δεν φαίνεται να πληρούσε κανέναν άλλο σκοπό παρά εκείνον ενός επίσημου ωρολογίου, ένα μνημείο χτισμένο προς τέρψιν των οφθαλμών των πολιτών και προς ενημέρωσή τους για τα επιτεύγματα των φυσικών επιστημών και –γιατί όχι– για να τους καθιστά υπερήφανους ως πολίτες των Αθηνών.

Το ζήτημα, εάν ένα παρόμοιο οικοδόμημα ανε-



13. Κάτοψη του θόλου από τους ίδιους.
14. Τομή του μνημείου

Δεν γνωρίζουμε αν με το μηχανισμό καταμετριοούνταν οι ώρες της ημέρας, κατά την αρχαία παράδοση, με διαφορετική διάρκεια

γέρθηκε από το δήμο, είναι υπό αμφισβήτηση· μάλλον πρέπει να υποθέσουμε την ύπαρξη κάποιου χορηγού, του οποίου το όνομα παραμένει μέχρι στιγμής άγνωστο. Σ' αυτήν την περίπτωση πρέπει να υποθέσουμε και την ύπαρξη κάποιας αναθηματικής επιγραφής που μάλλον θα ήταν τοποθετημένη στη στρογγυλή επέκταση του Πύργου, αφού εκεί δεν θα διατάρασσε τη συμμετρία αλλά και επειδή η νότια πλευρά –στραμμένη προς τον περιφερειακό της Ακροπόλεως δακτύλιο– αποτελούσε και την κύρια πλευρά του Πύργου. Το οικοδόμημα –σύμφωνα με την αναφορά του Βιτρούβιου και κυρίως του Βάρρωνος– πρέπει να χτίστηκε πριν από το 37 π.Χ. Ο κλάδος των ειδικών έχει συγκλίνει μέχρι τώρα σε μια χρονολογία πολύ κοντινή στην ανωτέρω, τοποθετώντας την ανέγερση του Πύργου στα μέσα του 1ου αιώνα π.Χ. Ωστόσο πιθανότερο φαίνεται ο Πύργος να ανεγέρθηκε κατά το 2ο αιώνα π.Χ., εποχή πολύ πιο πρόσφορη για παρόμοια τεχνικά «πειράματα» απ' ό,τι οι αρχές της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας.

Μετάφραση: Ολγα Κολιάτσου ■

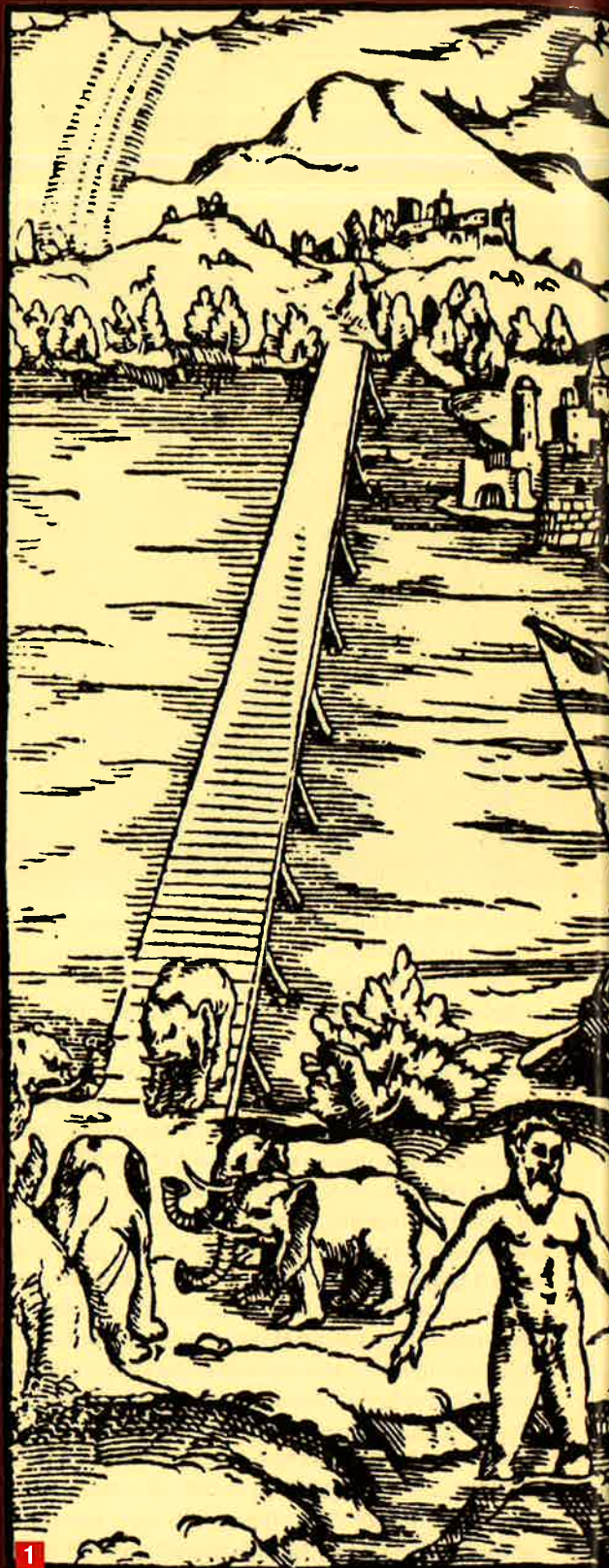
Ε

Του ΧΡΗΣΤΟΥ Δ. ΛΑΖΟΥ
συγγραφέα

1. Σ' αυτή την γκραβούρα του 16ου αι., που εικονογραφούσε σύγγραμμα οπτικής του Polonais Witelo (γραμμένο τρεις αιώνες νωρίτερα), εικονίζεται, εντελώς απλοποιημένη, η τεχνική του Αρχιμήδη για την πυρπόληση των ρωμαϊκών πλοίων. 2. Εξαιρετική ανακατασκευή του υδραυλικού ρολογιού του Αρχιμήδη από το μαθηματικό Διονύση Κρίαρη, σε παραγγελία του Τεχνικού Μουσείου Θεσ/νίκης. Υψος 2,20 μ. Εμπρός και πίσω όψη (ανοικτή) όπου φαίνεται η διάταξη των μηχανισμών

ίναι γνωστό σε όλους πλέον ότι ο **Αρχιμήδης** υπήρξε ένας από τους μεγαλύτερους μαθηματικούς της αρχαιότητας, τίτλο που διατηρεί έως και σήμερα. Παράλληλα, όπως έχει δείξει η σύγχρονη έρευνα, υπήρξε και ένας από τους μεγαλύτερους μηχανικούς και τα έργα του στον τομέα αυτό είναι εξίσου εντυπωσιακά. Η έρευνα σ' αυτόν τον τομέα προχωρά σιγά σιγά και έχει φέρει στο φως μια πληθώρα κατασκευών που προκαλούν το θαυμασμό, όπως η ουράνια σφαίρα, η διόπτρα αστρονομικών μετρήσεων, το δρομόμετρο, το υδραυλικό ρολόι, οι καταιπέτες, ο ατέρμων κοχλίας, οι ανυψωτικές μηχανές, το ατμοπηλινό και τέλος, το περιφημότερο από όλα, τα εμπρηστικά κάτοπτρα. Ειδικά τα τελευταία έχουν περάσει στο χώρο της μυθολογίας και κάποιοι σύγχρονοι ερευνητές τα αποκάλεσαν «ακτίνες θανάτου». Όλα αυτά δίκαια τοποθετούν τον Αρχιμήδη στην πρωτοκαθεδρία των αρχαίων επιστημόνων και πολύ σωστά ο **Ντράκμαν** (Drachmann) τον αποκάλεσε «το μεγαλύτερο μαθηματικό και μηχανικό όλων των εποχών».

Η βιβλιογραφία για τον Αρχιμήδη είναι απέραντη και πιθανότατα η μεγαλύτερη που υπάρχει για ένα και μόνο επιστήμονα. Αυτά στο εξωτερικό, διότι από ελληνικής πλευράς η έρευνα γι' αυτόν τον κολοσσό του πνεύματος είναι περιορισμένη. Την «τιμή των όπλων» διέσωσαν δύο προσωπικότητες: ο **Ευάγγελος Σταμάτης**, μαθηματικός με ευρύτατη μόρφωση, στον οποίο χρωστάμε ένα έργο ζωής: τα *Απαντα του Αρχιμήδους* σε τέσσερις τόμους, που εκδόθηκαν από το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος στη διάρκεια των ετών 1968-1972, και ο **Ιωάννης Σακάς**, βαθύς γνώστης του Αρχιμήδειου έργου, που



ΑΡΧΙΜΗΔΗΣ

ΚΑΙ ΑΝΑΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ Τ



3. Μετά το επιτυχές πείραμα ο αείμνηστος Ι. Σακάς δίνει συνέντευξη στους δημοσιογράφους. Αριστερά του, με τη ρεπούμπλικα, ο χαλκέντερος Ευάγγ. Σταμάτης. Και οι δύο ταμείνοι στην έρευνα του έργου του Αρχιμήδη

ΟΥ ΙΩΑΝΝΗ ΣΑΚΑ

4. Μεταγενέστερη απεικόνιση της καταστροφής του στόλου από τα κάτοπτρα του Αρχιμήδη.

5. Γκραβούρα από εικονογράφηση βιβλίου του Kircher

«Η μεγάλη τέχνη του φωτός και της σκιάς».

Σύμφωνα με την απεικόνιση, ο Αρχιμήδης διέθετε παραβολικά κάτοπτρα που εστίαζαν τις ηλιακές ακτίνες πάνω στα ρωμαϊκά πλοία

ταύτιζε τη ζωή του με πειράματα και ανακατασκευές οργάνων του μεγάλου μηχανικού. Τα αποτελέσματα των ερευνών και ανακατασκευών του Ι. Σακά απέδειξαν ότι όλα όσα είχαν γραφεί για τις μηχανικές κατασκευές του Αρχιμήδη, που είχαν αποκτήσει μία μυθική χροιά, ήταν αποτελέσματα πειραμάτων που οδήγησαν στην υλοποίηση και χρήση τους. Κυρίως σε τρία από αυτά εστιαστική η έρευνα του Ι. Σακά: στο ατμοπλεβόλο, στο υδραυλικό ρολόι και στα εμπρηστικά κάτοπτρα.

Το ατμοπλεβόλο

Για το ατμοπλεβόλο (ή ατμοπυροβόλο) οι μοναδικές ιστορικές μαρτυρίες που έχουμε προέρχονται από τον Ιταλό ποιητή **Φραγκίσκο Πετράρχη** (1304-1374), που μιλά γι' αυτό στο έργο του *De remediis utriusque fortunae* και τον περίφημο μηχανικό και ζωγράφο **Λεονάρντο ντα Βίντσι** (1452-1519) που είχε πιθανότητα στη βιβλιοθήκη του σχετικό χειρόγραφο του Αρχιμήδη. Ο Ντα Βίντσι προχώρησε στο σχεδιασμό του οργάνου, αλλά όχι στην κατασκευή του ατμοπλεβόλου, το οποίο ονόμασε «αρχιτρόνιο» προς τιμήν του Αρχιμήδη. Μας παρέδωσε τρεις απεικονίσεις του οργάνου πάνω στις οποίες στηρίχθηκε ο Ι. Σακάς για την ανακατασκευή του. Το ατμοπλεβόλο του Ι. Σακά ήταν μονιέλο σε αναλογία 1/5 και στις 12 Μαΐου 1981 έγινε δημόσια επίδειξη κατά την οποία πραγματοποιήθηκαν βολές που έφτασαν σε μήκος τα 50 μέτρα. Το πείραμα έλαβε χώρα σε ακάλυπτη περιοχή στα Ανω Βριλήσσια της Αττικής παρουσία πολλών α-

Η βιβλιογραφία για τον Αρχιμήδη είναι απέραντη και πιθανότατα η μεγαλύτερη που υπάρχει για ένα και μόνο επιστήμονα

ντιπροσώπων του ελληνικού και ξένου Τύπου. Ένας από αυτούς, ο **Πέτρος Μακρής**, σε κείμενό του στην εφημερίδα «Ελευθεροτυπία», της 15ης Μαΐου 1981, μεταξύ άλλων έγραφε και τα εξής:

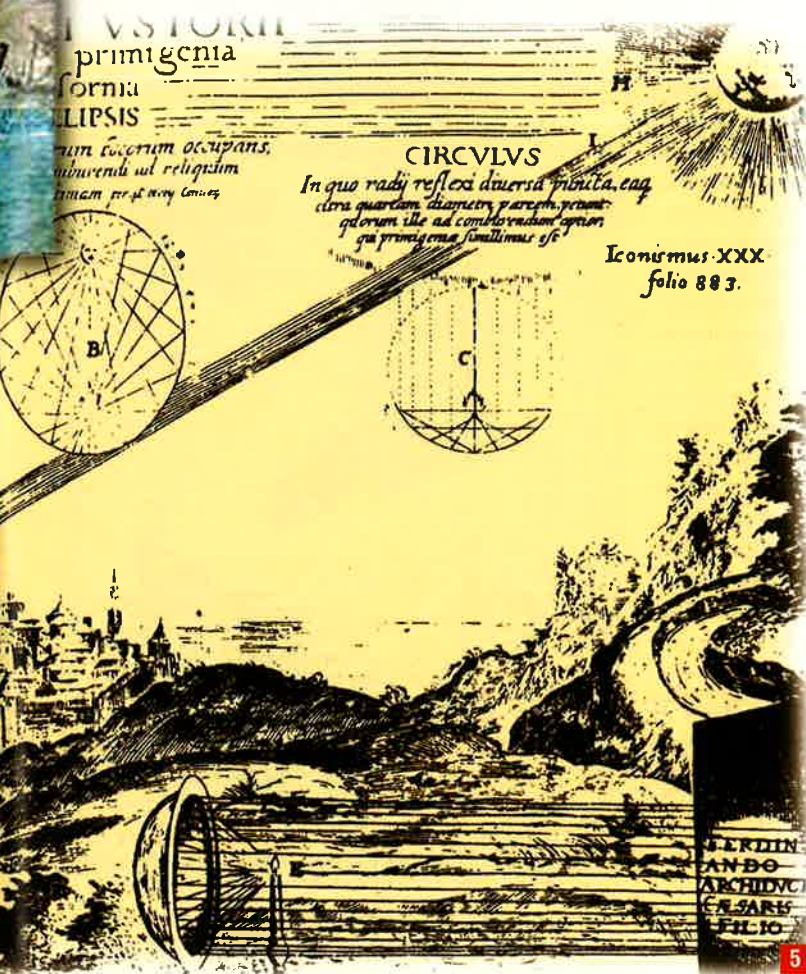
«Η πολεμική μηχανή του Σακά είναι κατά πέντε φορές μικρότερη από εκείνη του Αρχιμήδη και είναι κατασκευασμένη με τα ίδια υλικά που χρησιμοποιούσε ο μεγαλύτερος μηχανικός της αρχαίας Ελλάδος και ίσως του κόσμου, μέχρι σήμερα. Δηλαδή αποτελείται από ξύλινη κάννη, λέβητα νερού, χάλκινο κύλινδρο και σφαιρικά βλήματα... Ο Έλληνας μηχανικός άναψε φωτιά με ξερόκλαδα κάτω από το λέβητα του πλεβόλου. Μετά από ένα γερό ζέσταιμα του καζανιού γέμισε από εμπρός την κάννη του πλεβόλου με τσιμέντινη σφαιρική μπάλα, στο μέγεθος μπάλας του τένις. Για να δημιουρ-



γηθεί πίεση αρκετών ατμοσφαιρών –σύμφωνα πάντοτε με το σχέδιο του Αρχιμήδη– ο κ. Σακάς εμπόδισε την έξοδο της σφαίρας με μικρό ξύλινο δοκάρι. Μόλις η επιφάνεια του λέβητα θερμάνθηκε στους 400 βαθμούς Κελσίου, ο κ. Σακάς έριξε σ' ένα μικρό σωλήνα του πλεβόλου μόνο 6 γραμμάρια νερού που έγινε στα 10 δευτερόλεπτα ατμός, ο οποίος με χειροκίνητη βαλβίδα διοχετεύθηκε στην κάννη. Η πίεση αυτή του ατμού ήταν αρκετή για να σπάσει το δοκάρι που έφραζε την έξοδο της κάννης και να πετάξει την μπάλα σε απόσταση 50 μέτρων».

Το υδραυλικό ρολόι

Για το υδραυλικό ρολόι του Αρχιμήδη μάς πληροφορούν τρεις αρχαίες πηγές: ο **Βιτρούβιος** (1ος π.Χ. αι.), ο **Πάππας ο Αλεξανδρινός** (3ος μ.Χ. αι.) και ένα αραβικόσχόλιο πολύ μεταγενέστερο, δευτερευούσης σημασίας. Στη νεότερη εποχή πρώτος ο βαρόνος **Καρά ντε Βο** (Carra de Vaux) το 1981 ανέφερε ότι υπήρχε ένα αραβικό χειρόγραφο με περιγραφή ενός υδραυλικού ρολογιού που αποδίδεται στον Αρχιμήδη. Πρόκειται για το χειρόγραφο «Kitab Arshimidas fi' amal al binkamat» («Το βιβλίο του Αρχιμήδη για την κατασκευή των υδραυλικών ρολογιών»). Στα 1918 οι **Ε. Βίντεμαν**



(E. Wiedemann) και Φ. Χάουζερ (F. Hauser) δημοσίευσαν μια γερμανική μετάφραση του έργου από τα αραβικά, χρησιμοποιώντας δύο χειρόγραφα, από το Παρίσι και το Λονδίνο, συν ένα απόσπασμα από την Οξφόρδη. Τη γερμανική μετάφραση χρησιμοποίησε ο Εύαγγ. Σταμάτης και μετέφρασε το κείμενο του Αρχιμήδη στα ελληνικά, ενσωματώνοντας το στα *Απαντα του Αρχιμήδη*. Τονίζοντας τη μεγάλη αξία του έργου αυτού σημειώνει:

«Διά πρώτην φοράν περιλαμβάνεται η πραγματεία αυτή εις έκδοσιν έργων του Αρχιμήδους. Εκ της σπουδής του γερμανικού κειμένου πειδόμεθα ότι η μετάφρασις των Αράβων δεν είναι η ακριβής απόδοσις του Αρχιμηδείου κειμένου αυτής. Πιθανόν και οι Αραβες μεταφρασταί να παρέλαβον το κείμενον της ελληνικής πραγματείας εις την γλώσσαν του Βυζαντίου της εποχής εκείνης. Το ωρολόγιον του Αρχιμήδους δεν είναι τύπος κλειψύδρας, αλλά μηχανισμός ωρολογίου, όπου αντί του σημεινού ελατηρίου χρησιμοποιείται ροή ύδατος. Δεν είναι γνωστόν αν υπήρχεν αρχαιότερον συναφές αυτόματον μηχανήμα και θεωρούμεν πολύ πιθανόν ότι τα αυτόματα μηχανήματα του **Ηρόνος** (1ος μ.Χ. αιώνας) και τα αυτόματα μηχανήματα των ανακτό-

ρων του Βυζαντίου έχουν την αρχήν των εις το υδραυλικόν ωρολόγιον του Αρχιμήδους».

Μέσω αυτής της συγκλονιστικής εργασίας γνωρίζουμε σήμερα ότι ο μεγάλος Συρακούσιος είχε γράψει πραγματεία για κάποιο υδραυλικό ρολόι, της οποίας γνωρίζουμε μόνο τον αραβικό τίτλο, «Ωρολόγιον». Πρόκειται, αναμφισβήτητα, για μοναδικό ντοκουμέντο, που εμπλουτίζει την ελληνική βιβλιογραφία σχετικά με τις δυνατότητες της υδραυλικής μηχανικής την εποχή εκείνη. Η πραγματεία αναφέρεται στις αραβικές βιβλιογραφίες από τον **Ιμπν Ισάκ αλ Ναντίμ** (Ibn Ishaq al Nadim) (πέθ. 995) με τον τίτλο «Συγγραφή περί του οργάνου των ωρών, το οποίον ρίπτει σφαιρίδια» και στην *Ιστορία των Λογίων* (Ta' rich al Huqama), από τον **Ιμπν αλ Κίφι** (Ibn al- Qifti) (πέθ. 1248) με τον τίτλο «Συγγραφή περί των ωρών των οργάνων τα οποία ρίπτουν σφαιρίδια». Επιπρόσθετα, ο **Αλ Ακφάνι** (Al-Akfani) (πέθ. 1348), στο έργο του «Ορθή κατεύθυνσις του επιδιώκοντος προς τα ύψη των επιδιωκομένων», δίνει έμφαση στην αξία της γνώσης του Αρχιμήδη για τα ρολόγια, λέγοντας ότι: «Η συγγραφή του Αρχιμήδους παρέχει το υπόβαθρον διά την γνώσιν αυτών». Ακό-

Τρεις φάσεις από το πείραμα πυρπόλησης ρωμαϊκού σκάφους (ομοίωμα) με τα εμρηστικά κάτοπτρα: Οι εκπαιδευμένοι ναύτες ετοιμάζουν τα κάτοπτρα (6). Εστιασμός των ηλιακών ακτίνων πάνω στο ομοίωμα, σε απόσταση 55 μ. (7). Ανάφλεξη και καύση του ομοιώματος σε τρία λεπτά (8)

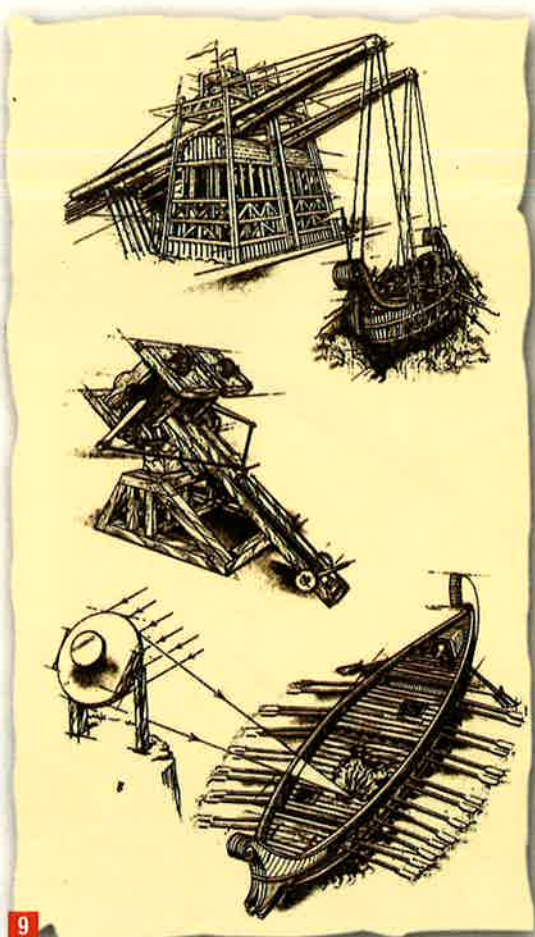
9. Η φήμη του Αρχιμήδη ως στρατιωτικής ιδιοφυΐας είναι θρυλική. Οι σύγχρονοι έλεγαν ότι ο Αρχιμήδης επινόησε γερανούς που «σήκωναν» τα εχθρικά πλοία από το νερό, ότι σχεδίασε ισχυρούς καταπέλτες και ότι χρησιμοποίησε κάτοπτρα για να πυρπολήσει το ρωμαϊκό στόλο με το ηλιακό φως

μη πρέπει να προστεθεί ότι τόσο ο **Αλ Γκαζάρι** (Al-Gazari), όπως επίσης και ο **Ρίντβαν** (Ridwan) –όπως δηλώνουν και οι ίδιοι– γνώριζαν το έργο αυτό του Αρχιμήδη και το χρησιμοποίησαν στην κατασκευή των δικών τους ρολογιών.

Αμέσως μετά τη δημοσίευση του έργου στα ελληνικά ο **Ι. Σακάς** άρχισε να μελετά επιστημονικά το μηχανισμό, να κάνει διάφορα σχέδια και πειραματισμούς, πάντα «...με το πνεύμα και τις γνώσεις του Αρχιμήδη», όπως δήλωσε σε σχετικό κείμενό του, και τούτο επειδή –κατά την άποψή του– οι αραβικές πηγές δεν έδιναν σαφή στοιχεία για το όργανο.

Τελικά, έπειτα από αρκετά χρόνια μελέτης και πειραματισμών, ο **Ι. Σακάς** ανακοίνωσε στον Τύπο την κατασκευή του ρολογιού και το γεγονός έγινε ευρύτατα γνωστό. Σε σχετικό ολιγοσέλιδο έντυπο που μοίρασε αναφορικά με τη δημοσίευση του έργου του, το Σεπτέμβριο του 1991, σημειώνει ότι «το ρολόι κατασκεύασα με υλικά πρόχειρα και παλαιά,

Το πιο πολυσυζητημένο επίτευγμα του Αρχιμήδη είναι τα ηλιακά κάτοπτρα, με τα οποία κατέκαυσε τα πλοία των Ρωμαίων



9

11. Το ατμοτηλεβόλο του Αρχιμήδη σε ανακατασκευή του Ι. Σακά. Απλά υλικά και ευφυής σύλληψη

αλλά τα κατασκευάσμά μου έχει πιθανότητα να ομοιάζει λειτουργικώς με εκείνο του Αρχιμήδους, επειδή αφ' ενός περιέκοψα τις κατά τη γνώμη μου βοηθητικές λειτουργίες, εκείνες που θα προσετέθηκαν κατά την επανάληψή του, στο πέρασμα των αιώνων, από τους Βυζαντινούς, τους Πέρσες και τους Αραβες, αφ' ετέρου διαμόρφωσα σε τέτοιο τρόπο το ανατρεπόμενο δοχείο των βοηθητικών λειτουργιών, με τη βοήθεια της θεωρίας του κέντρου βάρους και των μοχλών του Αρχιμήδους και αλληλοσυνδέσα τις βοηθητικές λειτουργίες έτσι ώστε να εξασφαλισθεί ο ταυτοχρονισμός των και να βελτιωθεί η όλη λειτουργία του ρολογιού».

Τα εμπρηστικά κάτοπτρα του Αρχιμήδη

Αναμφίβολα το πιο πολυσυζητημένο επίτευγμα του Αρχιμήδη, αυτό που πέρασε στη χώρα του μύθου και ξανάγινε πραγματικότητα με τα πειράματα του **Ιωάννη Σακά**, είναι η κατασκευή των ηλιακών κατόπτρων, με τα οποία συγκεντρώνοντας και εστιάζοντας τις ηλιακές ακτίνες κατέκαυσε τα πλοία των Ρωμαίων που πολιορκούσαν τις Συρακούσες, εξ ου και η ονομασία τους «εμπρηστικά κάτοπτρα». Για το θέμα αυτό έχω αφιερώσει τέσσερα κεφάλαια στο έργο μου για τον Αρχιμήδη, αλλά εδώ εντελώς συνοπτικά επιχειρώ μια ενημέρωση του αναγνώστη στο ιστορικό αυτού του κατορθώματος.

Το ιστορικό της υπόθεσης ταυτίζεται και αποτελεί μέρος της επιστήμης που οι αρχαίοι Έλληνες

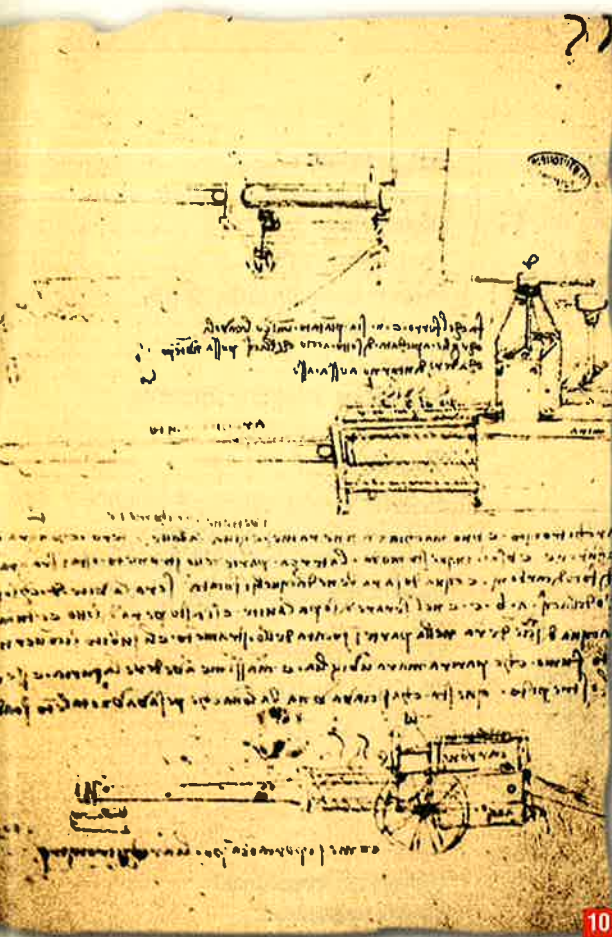
ονόμαζαν «οπτική», συμπλήρωμα της οποίας ήταν η «κατοπτρική». Γνωρίζουμε σήμερα πολλά έργα Ελλήνων, που γράφτηκαν γύρω από το θέμα της οπτικής, τα περισσότερα των οποίων έχουν χαθεί.

Ανάμεσα σε αυτά ανήκει το απολεσθέν σύγγραμμα του Αρχιμήδη *Κατοπτρικά*, που αναφέρουν οι **Ολυμπιόδωρος**, **Ψελλός**, **Θέων** και **Απουλλίσκος**, οι οποίοι περιγράφουν την πυρπόληση των ρωμαϊκών πλοίων από τον Αρχιμήδη. Ακόμη τρεις αρχαίοι ιστορικοί περιγράφουν με λεπτομέρειες την πολιορκία των Συρακουσών κατά το 212 π.Χ., από τους Ρωμαίους, και τα τεχνικά επινοήματα του Αρχιμήδη που βοήθησαν στη δραστική άμυνα της πατρίδας του. Πρόκειται για τους **Πολύβιο** (*Ιστορία*), **Πλούταρχο** (*Βίοι Παράλληλοι*, *Μάρκελλος*) και **Λίβιο Τίτο** (*Ιστορία από κτίσεως της Ρώμης*). Προφανώς στη διάρκεια αυτής της πολιορκίας επινόησε ο Αρχιμήδης το ατμοτηλεβόλο και τους τεράστιους καταπέλτες που τον χρεώνουν, όπως ακόμη τους τεράστιους γερανούς που πετούσαν μεγάλες πέτρες στις σκαμνύκες των Ρωμαίων και τις βούλιαζαν ή τις αρπάγες του, που σήκωναν τα ρωμαϊκά πλοία στον αέρα και τα διέλυαν στα βράχια. Και επιπρόσθετα σε όλα αυτά χρησιμοποίησε τα εμπρηστικά κάτοπτρα.

Από το 212 π.Χ., που με δόλο κατακτήθηκαν οι Συρακούσες και σκοτώθηκε ο Αρχιμήδης, έως το 1973 που ο **Ι. Σακάς** επανέλαβε το πείραμα της καύσης του ρωμαϊκού στόλου, το γεγονός είχε λάβει



11



πλησίον μέχρι των 100 μ. απ' αυτούς».

Πάνω σ' αυτό το σκεπτικό διεξήγαγε τρία πειράματα: στις 24-6-1973, με 50 επίχαλκα επίπεδα κάτοπτρα γυάλινα, διαστάσεων 1,70 x 0,69 μ., στις 17-7-73 με 100 κάτοπτρα και στις 22-7-73 με 130 κάτοπτρα. Όλα έλαβαν χώρα στις υπόγειες του Υμηττού, στην Ηλιούπολη. Και στα τρία πειράματα ο «στόχος», πίσσωμένο κόνιρα πλακέ και λευκή ξυλεία, σε μέση απόσταση των 100 μ., πήρε φωτιά αμέσως και κήκε σε 1 λεπτό.

Τα πειράματα αυτά είχαν μεγάλη απήχηση ιδιαίτερα στον επιστημονικό κόσμο και το ΤΕΕ με δημοσίευμα του Ενάγγ. Σταμάτη προανήγγειλε τη δημόσια εκτέλεση σχετικού πειράματος, το οποίο έλαβε χώρα τελικά στις 6 Νοεμβρίου 1973 στο Κέντρο Εκπαιδεύσεως Παλάσκα στον Σκαρामαγκά. Πριν από την τελική είχαν προηγηθεί τέσσερις επιτυχείς καύσεις στόχων σε αποστάσεις από τα κάτοπτρα 40, 55, 75 και 100 μ. Στην τελική και δημό-

Ο Ι. Σακάς έπειτα από περίπου 2.000 χρόνια ακολούθησε τα βήματα του Αρχιμήδη, υλοποιώντας τα μηχανικά του κατορθώματα

μυθολογική κροιά και ένας μεγάλος αριθμός επιστημόνων και ιστορικών είχε διχαστεί επί αιώνες παίρνοντας θέση θετικά ή αρνητικά. Στα 1200 π.Χ. ο **Ιωάννης Ζωναράς** ανέφερε ότι ο **Πρόκλος Διάδοχος** τον 5ο μ.Χ. αιώνα, χρησιμοποιώντας τη ίδια μέθοδο κατέκαυσε το στόλο των βαρβάρων που πολιορκήσαν την Κωνσταντινούπολη. Θετική άποψη απέναντι στο γεγονός είχε λάβει και ο **Ρογήρος Βάκων** (Roger Bakon) στα 1250 και ο **Μπουφόν** (Buffon) στα 1747.

Στο όλο θέμα εστιάζεται από το 1966 ο Ι. Σακάς με τα πρώτα εργαστηριακά πειράματά του αναφορικά με τους διάφορους φακούς που είχε πιθανότατα χρησιμοποιήσει ο Αρχιμήδης. Αξίζει να σημειωθεί ότι ο Ι. Σακάς ποτέ δεν αμφέβαλλε για την αλήθεια του γεγονότος της καύσεως των ρωμαϊκών πλοίων. Σε μια πρώτη δημοσίευσή του στο θέμα σημειώνει: «Ο Αρχιμήδης ηδύνατο να κατακαύσει τα πλοία του στόλου των Ρωμαίων, συγκεντρών την ηλιακή ακτινοβολία επ' αυτών μέσω κυλινδρικών είτε επιπέδων κατόπτρων. Κατά πάσα πιθανότητα, όμως, χρησιμοποιούσεν επίπεδα κάτοπτρα, γραμμικών διαστάσεων περί το μέτρον ή κατά τι μεγαλύτερων αυτού, εις συστήματα συγκεντρώσεως εξ 100 και πλέον κατόπτρων. Εκαστον σύστημα ηδύνατο να χρησιμοποιηθῇ εις απάσας τας αποστάσεις από τας

σια απόπειρα χρησιμοποιήθηκαν 70 επίχαλκωμένα γυάλινα κάτοπτρα, διαστάσεων 1,70 x 0,70 μ. Ο «στόχος» ήταν ένα ομοίωμα ρωμαϊκού σκάφους, μέσα στη θάλασσα, ευρισκόμενο σε απόσταση 55 μ. Παρά τη συννεφιά, μόλις συγκεντρώθηκαν οι ηλιακές ακτίνες πάνω στο ομοίωμα, εντός δευτερολέπτων άρχισε να βγάζει καπνούς και μέσα σε τρία λεπτά είχε καεί.

Η επιτυχία του πειράματος έγινε άμεσα γνωστή από τον ελληνικό και τον ξένο τύπο και πλήθος δημοσιευμάτων παρουσιάστηκε σε διάφορα περιοδικά. Οι περισσότεροι ανέφεραν ότι ο Ι. Σακάς, «στ' ακνάρια του Αρχιμήδη», επαλήθευσε ένα γεγονός που αμφισβητούνταν. Ο Ι. Σακάς έπειτα από περίπου 2.000 χρόνια ακολουθούσε τ' ακνάρια του μεγάλου προγόνου, υλοποιώντας τα μηχανικά του κατορθώματα: από τον Αρχιμήδη στον Πρόκλο και διά μέσου του Σακά πάλι στον Αρχιμήδη. Η ιστορία των τεχνολογικών επιτευγμάτων των αρχαίων Ελλήνων εύρισκε στον Ι. Σακά τον πρώτο και ίσως τον πιο μεγάλο θιασώτη της. Με τα επόμενα πειράματα και ανακατασκευές του για τα έργα του μεγάλου μηχανικού εμπέδωσε τη φήμη ότι βάδιζε στα «ακνάρια» εκείνου. Ουσιαστικά άφηνε μεγάλη παρακαταθήκη για μας τους νεότερους μελετητές της αρχαίας ελληνικής τεχνολογίας, και ο αναπάντεχος θάνατός του το Νοέμβριο του 2000 άφησε ένα δυσαναπλήρωτο κενό.

10. Τα τρία προσχέδια του Λεονάρντο ντα Βίντσι για το «αρχιτρόνιο» που δεν κατασκεύασε ποτέ. 12. Η πίσω πλευρά του υδραυλικού ρολογιού του Αρχιμήδη σε ανακατασκευή του Ι. Σακά. Τα πρόχειρα υλικά που χρησιμοποίησε ο τελευταίος υπονοούσαν την κατασκευαστική ευκολία του οργάνου. Πάντα στ' ακνάρια του Αρχιμήδη



Βιβλίο γραφία

- ANDREWES A.,
Αρχαία ελληνική κοινωνία,
μετάφ. Ανδρέα Παναγόπουλου,
Μορφωτικό Ίδρυμα Εθνικής
Τραπέζης, Αθήνα 1987
- JACOMY B.,
Συνοπτική ιστορία των τεχνικών,
μετάφ. Χριστίνας Αγγριαντώνη,
Πολιτιστικό Τεχνολογικό Ίδρυμα
ΕΤΒΑ, Αθήνα [1995]
- ΚΑΚΑΒΟΓΙΑΝΝΗΣ Ε.,
«Μια νέα άποψη για τη λειτουργία
των πλυντηρίων μεταλλεύματος της
Λαυρεωτικής κατά τους κλασικούς
χρόνους», *Πρακτικά Α' Συμποσίου
Αρχαιομετρίας*, Αθήνα 1992
- ΚΑΛΛΙΓΕΡΟΠΟΥΛΟΣ Δ.,
*Αυτοματοποιητική, Ηρώνας του
Αλεξανδρινού*, Αθήνα 1996
– Κατάλογος Εκδόσης με τίτλο
Αρχαία Ελληνική Τεχνολογία,
Τεχνόπολις 2002
- ΜΠΟΝΑΡ Α.,
Ο αρχαίος ελληνικός πολιτισμός,
Θεμέλιο, τόμ. 2-3, Αθήνα 1983
- ΠΑΠΑΔΗΜΟΣ Δ.Α.,
*Τα υδραυλικά έργα παρά τοις
Αρχαίοις*, Τεχνικό Επιμελητήριο
της Ελλάδος, Αθήνα 1975
- SCHULLER W.,
Ιστορία της αρχαίας Ελλάδας,
μετάφ. Αφροδίτης Καμάρα και
Χριστίνας Κοκκινιά, Μορφωτικό
Ίδρυμα Εθνικής Τραπέζης, Αθήνα
1999
- ΤΑΣΙΟΣ Θ.Π.,
«Υδρευση των Αθηνών», περ.
7 Ημέρες-Καθημερινή,
24 Μαρτίου 2002
– *Ces Inventions qui ont change*

Μουσικό μηχανικό καράβι που κινείται
με υδραυλικό σύστημα. Μικρογραφία
από συριακό εικονογραφημένο
χειρόγραφο του έργου του γνώστη του
Αρχιμήδη, Al-Gazari, *Automata*, 1315
(Washington, Smithsonian Institution)

- le monde*, Selection du Reader's
Digest, Παρίσι 1983
- CONTI L.-LAMERA C.,
*La technologie, des origines a l'
an 2000*, Solar, Παρίσι 1983
- DAUMAS M.,
*Histoire generale des
techniques*, PUF, 5 τόμοι, Παρίσι
1962/79
- GILLE B.,
Histoire des techniques,
Gallimard, Παρίσι 1978,
*Les Mecaniciens Grecs, La
naissance de la technologie*,
Seuil, Παρίσι 1980
– *Histoire des machines*, Belin,
Παρίσι 1982
- KLEMM F.,
Histoire des techniques, Payot,
Παρίσι 1966
- LEROI-GOURHAN A.,
Evolution et Techniques, A.
Michel, 2 τόμοι, Παρίσι 1945/73
– *La Recherche en histoire des
sciences*, Seuil/La Recherche,
Παρίσι 1983

- MUMFORD L.,
Technique et Civilisation, Seuil,
Παρίσι 1950
- ROQUEPLO Ph.,
Penser la technique, Seuil,
Παρίσι 1983
- STRAND S.,
Machines, histoire illustree,
Grund, Παρίσι 1988
- TASSIOS T.P.,
«Counterfertilisation of Science
and Tecnology in Ancient
Greece», *International Congress
on Ancient Structures*, Ολυμπία
2001
- WYCHERLEY R.E.,
How the Greeks Built Cities,
Λονδίνο 1962

Επιλογή εικονογραφικού
υλικού-τεκμηρίωση:
ΑΡΤ. ΨΑΡΟΜΗΛΙΚΟΣ



Σύντομα... ο 17^{ος} τόμος στα χέρια σας

Στην Αθήνα από 11 Μαρτίου και στην επαρχία από 17 Μαρτίου