

Ο ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΝΕΡΟΜΥΛΟΣ ΜΙΑ ΠΡΟΗΓΜΕΝΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑ

ΧΡΙΣΤΟΦΟΡΟΣ ΒΑΛΛΙΑΝΟΣ
ΕΘΝΟΛΟΓΟΣ, ΜΟΥΣΕΙΟ ΚΡΗΤΙΚΗΣ ΕΘΝΟΛΟΓΙΑΣ

Με την ευκαιρία του πρώτου Συνεδρίου για την Αρχαία Ελληνική Τεχνολογία θέλω να μνημονεύσω τους δύο θρυλικούς πρωτεργάτες της παγκόσμιας τεχνολογίας, τον Προμηθέα και τον Δαίδαλο.

Ο Προμηθέας δωρίζει στον άνθρωπο τη φωτιά, την ισχυρότερη των ενεργειών, που έως τότε μόνο οι πανίσχυροι Αθάνατοι είχαν στη διάθεσή τους.

Ο Δαίδαλος, ο Πολυμήχανος Τεχνίτης, είναι το σύμβολο του εφευρέτη με τη χαρακτηριστική ελληνική απόχρωση της υπέρβασης: ας θυμηθούμε τον αινιγματικό Λαβύρινθο και την πτήση προς τα ουράνια σώματα.

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗ

Η τεράστια σημασία του νερόμυλου στην εξέλιξη της τεχνολογίας δεν οφείλεται μόνο στο γεγονός ότι είναι ο πρώτος μηχανισμός που δεν κινείται με την δύναμη του ανθρώπου ή των υποζυγίων αλλά ότι εφαρμόζει 2000 χρόνια ενωρίτερα την αρχή του υδροστροβίλου του Pelton (1882) και του σωλήνα του Venturi (1791).

Η φανταστική αυτή εφεύρεση της *τουρμπίνας* οφείλεται σε σειρά φυσικών, μαθηματικών και μηχανικών, που από τον Αρχιμήδη και ύστερα επικεντρώνουν την επιστημονική τους δραστηριότητα σε κατασκευές με πρακτική εφαρμογή. Ένας από αυτούς είναι ο Ήρων για τον οποίο υποθέτουμε ότι έζησε στην Αλεξάνδρεια μέσα στον 1ο αιώνα π.Χ., όπου διετέλεσε και διευθυντής της βιβλιοθήκης. Από τα βιβλία του Ήρωνος που διασώθηκαν γνωρίζουμε την ατμομηχανή του, τα αρμόνια, το οδόμετρο κτλ. Ορισμένοι σύγχρονοι μελετητές πιστεύουν ότι πιθανόν να είναι ο Ήρων ο εφευρέτης του ελληνικού νερόμυλου, αν και αυτό δεν αναφέρεται πουθενά στην αρχαία βιβλιογραφία.

Ο Σιράβων (64 π.Χ.-19 μ.Χ.) είναι ο πρώτος συγγραφέας που αναφέρει τους μύλους με κινητήριο δύναμη το νερό. Τους ονομάζει μάλιστα «υδραλέτας».

Ο Βιτρούβιος (γύρω στο 25 π.Χ.) υποστηρίζει ότι ο παλαιότερος νερόμυλος ανήκε στο βασιλιά του Πόντου Μιθριδάτη (πιθανόν τον «Ευπάτορα», 132-63 π.Χ.).

Εάν λάβουμε υπόψη την τελευταία πληροφορία θα πρέπει να χρονολογήσουμε την αρχή της εφαρμογής του υδρόμυλου στο πρώτο ήμισυ του 1ου π.Χ. αιώνα. Η χρονολογία αυτή δεν βρίσκεται σε αντίθεση με την περίοδο που έζησε ο πιο γνωστός φυσικός της εποχής.

Ο ΥΔΡΟΣΤΡΟΒΙΛΟΣ ΤΟΥ ΉΡΩΝΑ 2000 ΧΡΟΝΙΑ ΠΡΙΝ ΤΗΝ «ΕΦΕΥΡΕΣΗ» ΤΟΥ PELTON

Αν και η πατρότητα του Ήρωνα γι' αυτόν τον μηχανισμό δεν είναι απόλυτα βέβαιη, θεωρούμε ότι πρέπει να του αποδοθεί γιατί ο εφευρέτης πρέπει να ήταν κορυφαίος γνώστης της υδροδυναμικής και της μηχανικής.

Θα παραθέσουμε σε συντομία τα κύρια χαρακτηριστικά του πρωτοπόρου μηχανισμού του νερόμυλου.

Αποτελείται από μια οριζόντια φτερωτή ρόδα με έναν κάθετο άξονα που περιστρέφει την υπερκείμενη πέτρα του μύλου.

Η φτερωτή περιστρέφεται όταν ένας οριζόντιος πίδακας νερού κτυπάει τα φτερά.

Θα προσπαθήσουμε να διερευνήσουμε πώς ο Ήρων έφτιασε σε αυτόν το μηχανισμό.

Οι κάθετες φτερωτές ρόδες που κινούνται από τη ροή των ποταμών ήταν γνωστές από πολύ αρχαίους χρόνους. Οι κατασκευές αυτές είναι ασιατικής καταγωγής αλλά δεν είχαν εκεί πρακτικές εφαρμογές.

Οι Έλληνες και οι Ρωμαίοι τις γνώριζαν βεβαίως αλλά δεν μπορούσαν να τις εκμεταλλευθούν για την κίνηση μεγάλων μηχανισμών, για δύο κυρίως λόγους:

1. Οι χώρες τους έχουν ελάχιστους μεγάλους ποταμούς και πλην μιας μικρής χειμερινής περιόδου, η ροή τους είναι τόσο αργή ώστε η φτερωτή να έχει ελάχιστη απόδοση.

2. Οι κάθετες φτερωτές με οριζόντιο άξονα δεν μπορούν να κινήσουν μηχανισμούς που έχουν οριζόντια κίνηση όπως ο αλευρόμυλος. Για να είναι δυνατό κάτι τέτοιο πρέπει να μετατραπεί η οριζόντια κίνηση σε κάθετη, μέσω *ενός γραναζιού*. Στο τέλος της αρχαιότητας οι διάφοροι τύποι γραναζιών (με οδοντωτές ρόδες, ατέρμονες βίδες κτλ.) είχαν μικρή αποδοτικότητα όταν η εφαρμογή τους αφορούσε σε μεγάλους μηχανισμούς.

Ο νερόμυλος με κάθετη φτερωτή που περιγράφει ο Βιτρούβιος δεν θα έχει «συνέχεια» έως τον 5ο μ.Χ. αιώνα, όταν βελτιώνεται η τεχνολογία του γραναζιού.

Ο Ήρων, στην εποχή του, με μεγάλη ευφυΐα βρήκε πιστεύουμε λύσεις στα εμπόδια αυτά.

Για να εκμεταλλευτεί τις δυνατότητες της υδροδυναμικής σε μεσογειακές χώρες με μικρές παροχές, επινόησε την τεχνητή ενίσχυσή της μέσω φυσικών αρχών, μετατρέποντας την υδροστατική πίεση σε κινητική ενέργεια.

Εάν το νερό πέφτει από κάποιο ύψος π.χ. 3,5,10 και περισσότερα μέτρα, η δύναμη του πίδακα αυξάνει ανάλογα με το ύψος (σήμερα γνωρίζουμε ότι η δύναμη αυτή αντιστοιχεί σε 1 ατμόσφαιρα για κάθε 10 μέτρα ύψος).

Επομένως σε περιοχές μικρών υδάτινων παροχών αρκεί να παρακαμφθεί μέρος της ροής ποταμών ή πηγών σε κανάλι που θα ακολουθεί τις ισοϋψείς του εδάφους και σε κάποιο σημείο της κατωφέρειας της κοιλάδας να οδηγηθεί μέσω υδραγωγείου, σε κατακόρυφο, στενό σχετικά, αγωγό που θα εκβάλει στην απόληξή του έναν *πίδακα* με ενισχυμένη πίεση και ταχύτητα ροής εξ αιτίας του *ύψους* αλλά και της ηθελημένης σταδιακής *μείωσης της διαμέτρου* του αγωγού (αρχή του VENTURI).

Παρέμενε το πρόβλημα της μετατροπής της κατακόρυφης κινητήριας δύναμης σε κάθετη προς το μηχανισμό. Ο Ήρων άλλαξε τη ροή της ενέργειας από κάθετη σε οριζόντια, δημιουργώντας στην απόληξη του αγωγού έναν μικρότερο αγωγό, κάθετο κατά σχεδόν 90 μοίρες ως προς την κατακόρυφο. Με τον τρόπο αυτό μπορούσε ο πίδακας να κινήσει μια *οριζόντια* φτερωτή (ή και κάθετη ακόμη). Έτσι, εφευρέθηκε η αρχή του *στροβίλου* και η άμεση εφαρμογή του για την κίνηση του αλευρόμυλου.

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΙΔΙΑΙΤΕΡΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΝΕΡΟΜΥΛΟΥ

Ο σχεδόν κάθετος αγωγός, το *πηγάδι*, είναι κυλινδρικός με διάμετρο 60-80 πόντους στο στόμιο. Παρουσιάζει μια ελαφριά στένωση στο κατώτερο σημείο του. Εκεί συνεχίζεται από έναν κοντό, μικρότερο και σχεδόν οριζόντιο αγωγό, τη *σιφουνομάνα*, διαμέτρου περίπου 20 πόντων.

Η σιφουνομάνα καταλήγει στο θάλαμο της φτερωτής. Στην απόληξή της σφηνώνεται ένας ξύλινος κύλινδρος, το *σιφούνι*, διάτρητος κανικά: η οπή έχει διάμετρο 6 πόντους.

Οι αλληπάλληλες αυτές *στενώσεις του αγωγού* γίνονται για να επιταχύνουν τη ροή του νερού ώστε να δημιουργήσουν έναν ισχυρό και μικρού διαμετρήματος πίδακα. «Εφευρέθηκαν» και εφαρμόστηκαν στο τέλος του 18ου αιώνα από τον Venturi, 2000 χρόνια μετά την πρώτη τους εφαρμογή. Παράλληλα *επιβραδύνεται* η κατανάλωση του νερού και ο μύλος μπορεί να λειτουργεί χωρίς διακοπές. Αν το νερό λιγοστεύει ο μυλωνάς προσθέτει στο σιφούνι μεταλλικό *διάφραγμα* με οπή μικρότερη των 6 πόντων.

Η *φτερωτή* έχει διάμετρο 1,20 μ. και φέρει 25 φτερά που έχουν σχήμα *χούφτας*.

Ο άξονας της, ή *αδράχτι*, στηρίζεται σε ένα μεταλλικό στοιχείο στερεωμένο στο κάτω μέρος του μηχανισμού, την *τραπεζιά*, ενώ η απάνω άκρη του μεταδίδει την περιστροφική κίνηση στην υπερκείμενη *μυλόπετρα* που έχει διάμετρο περίπου 1 μ. και πάχος 0,20 μ.

Η φτερωτή *περιστρέφεται με 120 στροφές* το λεπτό. Εάν οι στροφές είναι μόλις λιγότερες

το αλεύρι «μπουκώνει», εάν είναι περισσότερες, καίγεται, «αρπάζει». Ο μυλωνάς πρέπει επομένως να ελέγχει την ταχύτητα (με το αυτί) και γι' αυτό τον σκοπό διαθέτει διάφορους μηχανισμούς που κινεί μέσα από το εργαστήρι του.

Το *βεργοσάνιδο* επιτρέπει την άμεση ακινητοποίηση της φτερωτής. Είναι ένας περιστρεφόμενος άξονας με προσθήκη ενός οριζόντιου σανιδιού προς την κάτω απόληξή του. Όταν το σανίδι τεθεί μεταξύ σφουονιού και φτερωτής ο πίδακας εξοστρακίζεται και παύει να ωθεί τη φτερωτή, οπότε και ο μηχανισμός ακινητοποιείται αμέσως.

Ο *αναβάτης* είναι ένας μοχλός συνδεδεμένος με την τραπεζά την οποία σηκώνει συγχρόνως βέβαια με την πάνω μυλόπετρα. Με τον τρόπο αυτό διακόπεται η άλεση χωρίς να διακοπεί η κίνηση του μηχανισμού.

Από μια λαβή που κρέμεται στην οροφή ο μυλωνάς ανυψώνει ή χαμηλώνει το *γεράνι* που στην άκρη του φέρει ένα πρόχειρο πώμα από πανιά και χόρτα. Το πώμα κατεβαίνοντας φράζει την οπή διέλευσης του νερού στην αρχή του *γλυκτίου*, του αγωγού προς το πηγάδι, μειώνοντας ή διακόποντας έτσι τη λειτουργία του μηχανισμού.

Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ Η ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΝΕΡΟΜΥΛΟΥ

Από τα παραπάνω δεδομένα συμπεραίνουμε ότι ο μυλωνάς στο εργαστήριό του είναι όπως ο καπετάνιος στο χειριστήριό του πλοίου: από ένα σημείο ελέγχει όλη τη λειτουργία του μηχανισμού με ποικίλους τρόπους παρέμβασης.

Ο κρητικός νερόμυλος που έχει φτερωτή διαμέτρου 1,20 μ., υδάτινη πίεση 0,5 ατμόσφαιρας (ύψος πηγαιδιού 5 μ) και κίνηση 120 στροφών ανά λεπτό, παράγει *ενέργεια ισχύος 50 περίπου ίππων*. Ο βαθμός απόδοσης του συστήματος (χωρίς γρανάζι) φτάνει τα 80 % ενώ η κάθετη φτερωτή (με γρανάζι) έχει αντίστοιχα 15-20 % της ονομαστικής ισχύος.

Ο ίδιος μηχανισμός, υπό τις ίδιες συνθήκες, αλλά ελεύθερος από συγκεκριμένη ταχύτητα άλεσης, φτάνει στις 300 στροφές ανά λεπτό.

Με μικρές παροχές νερού και έναν εξυπνότατο και απλό μηχανισμό, δημιουργεί μια κινητήρια δύναμη *150 περίπου ίππων*.

Ο μηχανισμός του νερόμυλου μπορεί να κατασκευαστεί *εξ ολοκλήρου από ξύλο* ή από *μέταλλο*, ανάλογα με τις τεχνολογικές δυνατότητες που διαθέτουν οι πληθυσμοί που τον χρησιμοποιούν.

Στη γένεσή του (επί Ήρωνα) θα μπορούσε πιθανότατα να ήταν από χαλκό, μπρούτζο ή σίδηρο για να είναι σταθερότερος από τον ξύλινο μηχανισμό και κυρίως να φθείρεται πολύ λιγότερο. Στη μεταπολεμική Κρήτη οι ξύλινες φτερωτές με τον άξονά τους αντικαταστάθηκαν από σιδερένιες κατασκευές.

Η *ωριαία παραγωγή* του νερόμυλου σε αλεύρι εξαρτάται από τη σκληρότητα του καρπού. Έτσι αλέθει 100 κιλά κρίθινου αλευριού ή 120 κιλά *σταρένιον*. Η ποσότητα μπορεί να αυξηθεί εάν η άλεση είναι χονδροειδής, για την κατασκευή π.χ. χόνδρου ή τραχανά. Αυτό επιτυγχάνεται με την ελαφριά ανύψωση της υπερκείμενης μυλόπετρας.

Ο νερόμυλος χρησιμοποιήθηκε με ποικίλους τρόπους και για άλλες χρήσεις εκτός της παραγωγής αλευριού.

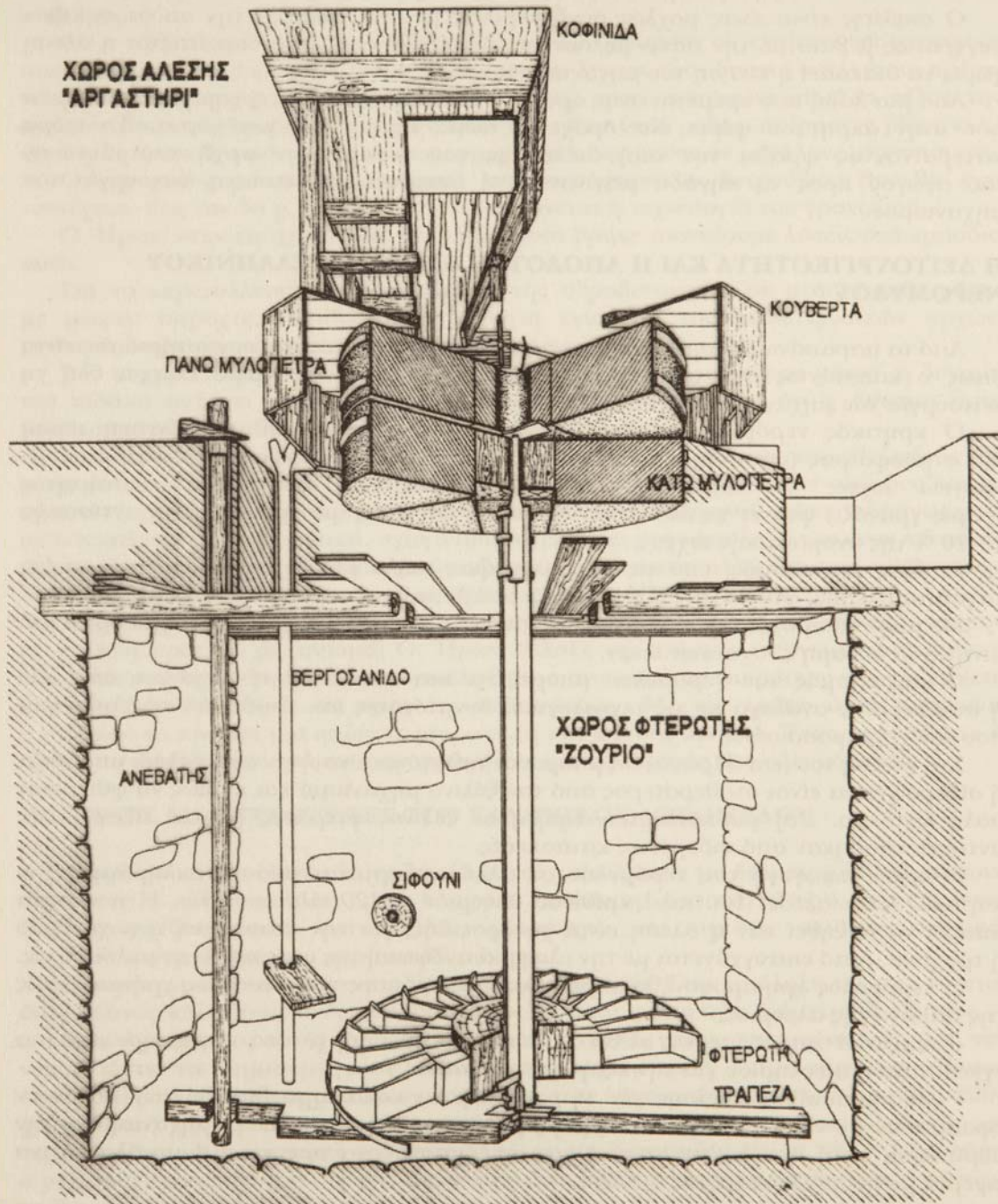
- εποχιακά μπορούσε να *αλέθει τις ελιές*, οπότε υπήρχε στο εργαστήρι και μια εγκατάσταση πιεστηρίου για την εξαγωγή του λαδιού.

- χρησιμοποιήθηκε επίσης για τη *ρασοριβή*, το κοπάνισμα δηλαδή των μάλλινων υφασμάτων με νερό για την απόκτηση υφάσματος τύπου τσόχα. Ο μηχανισμός στην περίπτωση αυτή έχει *κάθετη φτερωτή* και οριζόντιο άξονα που κινεί 4 μεγάλα ξύλινα σφυριά με ρυθμό λειτουργίας 1-3, 2-4.

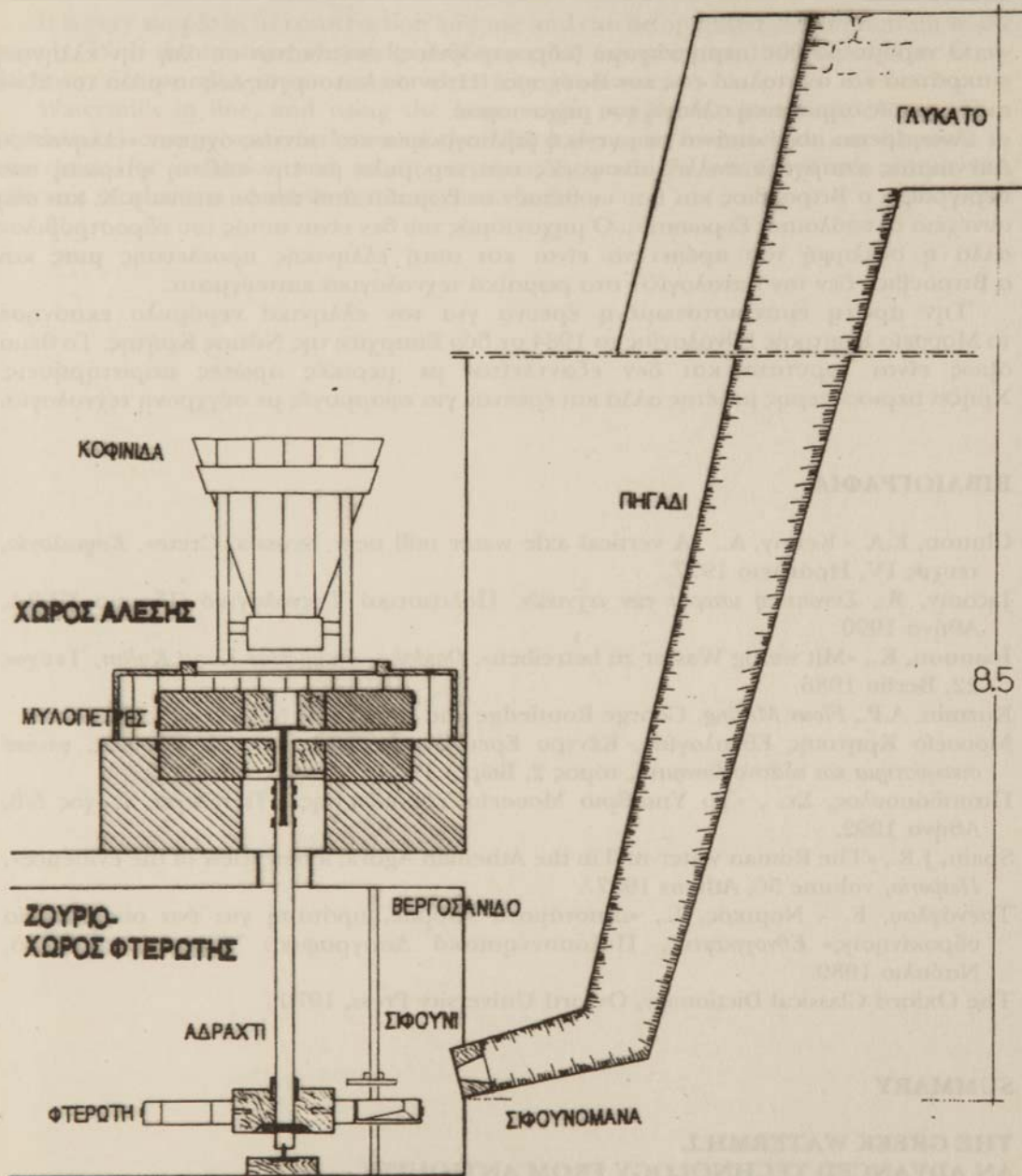
- με την αντικατάσταση της μυλόπετρας από έναν τροχό ο νερόμυλος μπορεί να κινήσει μια *κορδέλα πριονίσματος* ή μια *ηλεκτρογεννήτρια*.

Στην μεταπολεμική περίοδο ένας μύλος τροφοδοτούσε με ρεύμα έως το 1960 τον οικισμό του Ζαρού, πάνω από τη Γόρτυνα, που αριθμούσε 2000 κατοίκους. Η μηνιαία αμοιβή του μυλωνά ήταν μια οκά λάδι ανά λαμπτήρα.

ΠΡΟΟΠΤΙΚΟ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΚΡΗΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΜΥΛΟΥ



ΤΟΜΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΑΓΩΓΩΝ ΚΡΗΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΜΥΛΟΥ



00 0.5 1.0 20

ΚΛΙΜΑΚΑ 1/25

Όταν το έδαφος το επιτρέπει, μπορούν να εγκατασταθούν περισσότεροι νερόμυλοι σε σειρά που χρησιμοποιούν από τον ένα στον άλλο το ίδιο νερό. Με την ίδια ποσότητα ήπιας ενέργειας παράγεται έτσι μεγάλη μηχανική δύναμη, χωρίς ρύπανση, χωρίς ιδιαίτερες απώλειες και κυρίως το ίδιο αυτό νερό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άλλες ανάγκες.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Ο νερόμυλος που περιγράψαμε (υδροστρόβιλος) συναντάται σε όλη την ελληνική επικράτεια και ανατολικά έως τον Καύκασο. Ήταν σε λειτουργία έως τα μέσα του 20ου αιώνα χωρίς σημαντική αλλαγή του μηχανισμού.

Αναφέρεται πολύ σπάνια στη γενική βιβλιογραφία και πάντως όχι σαν «ελληνικός». Απεναντίας υπάρχουν πολλές αναφορές στο νερόμυλο με την κάθετη φτερωτή που περιγράφει ο Βιτρούβιος και που υιοθετούν οι Ρωμαίοι από τον 5ο αιώνα μ.Χ. και στη συνέχεια οι υπόλοιποι Ευρωπαίοι. Ο μηχανισμός του δεν είναι αυτός του υδροστρόβιλου αλλά η σύλληψή του πρέπει να είναι και αυτή ελληνικής προέλευσης μιας και ο Βιτρούβιος δεν τον καταλογίζει στα ρωμαϊκά τεχνολογικά επιτεύγματα.

Την πρώτη εμπειριστατωμένη έρευνα για τον ελληνικό νερόμυλο εκπόνησε το Μουσείο Κρητικής Εθνολογίας το 1984 σε δύο Επαρχίες της Νότιας Κρήτης. Το θέμα όμως είναι ευρύτατο και δεν εξαντλείται με μερικές πρώτες παρατηρήσεις. Χρήζει περισσότερης μελέτης αλλά και έρευνας για εφαρμογές με σύγχρονη τεχνολογία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Clutton, E.A. - Kenny, A., «A vertical axle water mill near Drossia, Crete», *Κρητολογία*, τεύχος IV, Ηράκλειο 1977.
- Jacomy, B., *Συνοπτική ιστορία των τεχνικών*, Πολιτιστικό Τεχνολογικό Ίδρυμα ΕΤΒΑ, Αθήνα 1990.
- Ιοαννου, Κ., «Mit wenig Wasser zu betreiben», *Daidalos, Architektur Kunst Kultur*, Τεύχος 22, Berlin 1986.
- Kozmin, A.P., *Flour Milling*, George Routledge and sons LTD, New York 1921.
- Μουσείο Κρητικής Εθνολογίας, Κέντρο Ερευνών, *Νερόμυλοι Δυτικής Μεσαράς, φυσικό οικοσύστημα και υδάτινο δυναμικό*, τόμος 2, Βόροι 1985.
- Παπαδόπουλος, Στ. , «Το Υπαίθριο Μουσείο Υδροκίνησης», *Τεχνολογία*, τεύχος 5/6, Αθήνα 1992.
- Spain, J.R., «The Roman water-mill in the Athenian Agora, a new view of the evidence», *Hesperia*, volume 56, Athens 1987.
- Τσενόγλου, Ε. - Νομικός, Σ., «Διποτάματα Άνδρου, πρόταση για ένα οικομυσειό υδροκίνησης» *Εθνογραφικά*, Πελοποννησιακό Λαογραφικό Ίδρυμα, τόμος 6, Ναύπλιο 1989.
- The Oxford Classical Dictionary, Oxford University Press, 1970.

SUMMARY

THE GREEK WATERMILL AN ADVANCED TECHNOLOGY FROM ANTIQUITY

C. VALLIANOS

Watermills are referred for the first time in the first century B.C. by Strabo and Vitruvius. They constitute a landmark in the history of technology because it is the first mechanism moving without the power of man or animals.

They appear in two forms. The watermill with perpendicular wheel which prevailed

in Western Europe since the fifth century A.C with the improvement of the toothed wheel design, and the watermill with horizontal wheel which doesn't use toothed wheels and proliferated all over Eastern mediterranean countries and as far as Caucasus, been in operation until the mid XXth century.

The horizontal watermill, believed to be an invention by Hero the Alexandrian, applies 2000 years in advance Venturi's Principle and the mechanism of Pelton's water turbine.

It is very simple in its construction and use and can be operated with minimum water supply. With the traditional standards a watermill can produce 1500 kg of flour every 12 hours . It can also power saws or electricity generators.

Watermills in line, and using the same water supply in succession, can produce mechanical energy without losses of the hydro dynamic force which can be used in succession for irrigation and other purposes. It would be wishful if this simple but efficient mechanism could be further researched.