

# Φυσική: Το Νερό

Σχετικό σχέδιο κατασκευής	Ο νερόμυλος
<p><b>Περιγραφή</b></p>	<p>Στο μάθημα αυτό, οι μαθητές θα μάθουν τις φυσικές ιδιότητες του νερού και της υδροδυναμικής ενέργειας μέσω της κατασκευής ενός αυτοσχέδιου νερόμυλου.</p>
<p><b>Μαθησιακοί στόχοι</b></p>	<p>Οι μαθητές:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Θα μάθουν πώς κατασκευάζεται ένας αυτοσχέδιος νερόμυλος</li> <li>- Θα κατανοήσουν τους φυσικούς νόμους που διέπουν την υδροδυναμική ενέργεια</li> <li>- Θα είναι σε θέση να δημιουργούν ένα υδραυλικό τροχό και έναν μηχανανισμό μύλου</li> </ul>

<b>Σχετικά μαθήματα</b>	Φυσική, Ιστορία
<b>Προαπαιτούμενα/ προκαταρτικά βήματα για τους εκπαιδευτικούς</b>	Οι εκπαιδευτικοί πρέπει να συγκεντρώσουν το υλικό για το σχετικό σχέδιο κατασκευής
<b>Προαπαιτούμενα/ προκαταρτικά βήματα για τους μαθητές</b>	Οι μαθητές θα πρέπει να έχουν κατανοήσει βασικές έννοιες της φυσικής, και να γνωρίζουν πώς να θέτουν σε λειτουργία ένα νερόμυλο. Θα πρέπει επίσης να διαθέτουν βασικές γνώσεις στους νόμους που διέπουν την υδροδυναμική ενέργεια.
<b>Ηλικιακό εύρος των μαθητών</b>	12-15 ετών
<b>Διάρκεια</b>	3-4 ώρες
<b>Επίπεδο δυσκολίας</b>	Δύσκολο

## Περιγραφή των δραστηριοτήτων βήμα προς βήμα

### Βήμα 1: Η ιστορία του νερόμυλου



Πηγή 1 εικόνας: Φωτογραφία:  
Drew Bae, 2020-06-02, Δημόσια  
Χρήση,  
<https://unsplash.com/photos/gll5b7JPREo>

Ο εκπαιδευτικός παρουσιάζει τον νερόμυλο και την ιστορία του.

Ο νερόμυλος είναι μια παραδοσιακή μηχανή, που εφευρέθηκε στην αρχαιότητα και η οποία χρησιμοποιεί υδροδυναμική ενέργεια, δηλαδή την ενέργεια των υδατορευμάτων, για την άλεση σιτηρών, αλλά και για κάθε είδους βιοτεχνικές εφαρμογές, όπως στα σφυρηλατήματα, τα πριονιστήρια και την χαρτοποιία.

Κατά τον Μεσαίωνα, χάρη στην ευρεία χρήση των μύλων σε ολόκληρη την Ευρώπη και την αξιοποίηση της κινητήριας δύναμης που παρήγαγαν, οι άνθρωποι μπορούσαν να μετατρέψουν ευκολότερα τα σιτηρά σε αλεύρι και τους ξηρούς καρπούς σε λάδι. Οι μύλοι έγιναν ένα αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής του χωριού, ακριβώς όπως και οι εκκλησίες και τα κάστρα. Οι μύλοι ανήκαν συνήθως σε άρχοντες, πλούσιους πολίτες ή σε μοναστήρια.

Η χρυσή εποχή των νερόμυλων ήταν μεταξύ του 18<sup>ου</sup> και του 19<sup>ου</sup> αιώνα.

## Βήμα 2: Πώς λειτουργεί ένας νερόμυλος;

Για να λειτουργήσει, ένας νερόμυλος πρέπει να διαθέτει ένα ορισμένο ύψος για να μπορεί να παράγεται δύναμη κατά την πτώση του νερού (εκτός από την περίπτωση των μύλων που βρίσκονται στις όχθες ποταμών, όπου οι τροχοί τους κινούνται με την βοήθεια της δύναμης της ροής του νερού). Οι μύλοι έπρεπε να είναι κοντά στα χωριά για να μπορούν όλοι να αλέθουν τα σιτηρά τους. Δεν μπορούσαν να χτιστούν σε μια περιοχή που ήταν πολύ λοφώδης, έστω και αν υπήρχαν υδατοπτώσεις.

Ως εκ τούτου, η τοποθεσία κατασκευής ενός νερόμυλου επιλεγόταν με τέτοιο τρόπο, ώστε να υπάρχει ένα μικρό «φράγμα» για υδροληψία από τη ροή του νερού του ποταμού και στη συνέχεια ένα κανάλι τροφοδοσίας. Μερικές φορές η υδροληψία ξεκινούσε αρκετές εκατοντάδες μέτρα μακριά από το μύλο, σχεδόν σε ένα οριζόντιο άξονα, όπου ο ποταμός σχημάτιζε μια φυσική κλίση. Επομένως το κανάλι τροφοδοσίας του μύλου είχε μεγαλύτερο υψόμετρο από τον ποταμό. Αυτή η διαφοροποίηση στο υψόμετρο εξυπηρέτούσε τη λειτουργία των οριζόντιων και κατακόρυφων υδροτροχών (εκτός από την περίπτωση των τροχών που κινούνταν με τη βοήθεια της δύναμης της ροής του νερού). Μερικές φορές υπήρχε μια εγκατάσταση (στο τέλος του καναλιού ή κατά μήκος του ποταμού), η οποία χρησίμευε ως δεξαμενή.

Ο υδροτροχοί επιλέγονταν με βάση το διαθέσιμο ύψος από το οποίο θα γινόταν η πτώση του νερού. Για υψόμετρα πέραν των 3 μέτρων, χρησιμοποιούνταν κατακόρυφοι ή οριζόντιοι υδροτροχοί. Για

υψόμετρα κάτω των 3 μέτρων, χρησιμοποιούνταν τροχοί οι οποίοι τοποθετούνταν στον «θώρακα» ή στις πλευρές του νερόμυλου.

Μόλις το νερό περνούσε μέσα από τον τροχό, περνούσε μέσα από έναν αγωγό και επέστρεφε στη συνέχεια στο ποτάμι. Οι υδροτροχοί συνδέονταν με ένα σύνολο οδοντωτών τροχών ή με ένα σύστημα δυναμόμετρου (όπως στην περίπτωση των σύγχρονων ηλεκτρικών στροβίλων).

Ένας τυπικός νερόμυλος παρέχει ισχύ μεταξύ 3.000 και 30.000 βατ, ανάλογα με τον ρυθμό ροής που μπορεί να αξιοποιήσει και το ύψος της πτώσης του νερού (η διαφορά μεταξύ του επιπέδου στο οποίο εισέρχεται το νερό και του επιπέδου στο οποίο εξέρχεται).

Σε ορισμένους παλαιούς νερόμυλους έχει εγκατασταθεί εξοπλισμός για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή ενώ άλλοι νερόμυλοι έχουν μετατραπεί σε μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς. Ωστόσο, οι περισσότεροι υδροηλεκτρικοί σταθμοί έχουν εγκατασταθεί σε καινούργιες τοποθεσίες, όπου μπορεί να γίνει εκμετάλλευση μεγαλύτερης ηλεκτρικής ισχύος λόγω των τεχνολογικών εξελίξεων, που παρέχουν τη δυνατότητα αξιοποίησης εξ αποστάσεως ενέργειας με ηλεκτρισμό.

### Βήμα 3: Τεχνολογία

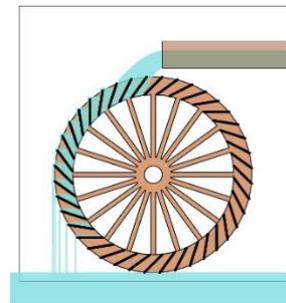
Στις περισσότερες περιπτώσεις η πτερωτή ενός νερόμυλου είναι κατακόρυφη (οριζόντιος άξονας).

- Σε έναν νερομύλο, το νερό που ρέει στο ποτάμι ή στα ανάντη τμήματα του ποταμού εκκινεί την κίνηση του τροχού από κάτω.



2 Πηγή σχήματος: Pixabay

- Με τη δύναμη που δημιουργεί η πτώση του νερού από ψηλά ή η ροή του ποταμού δίνει κίνηση στους υδροτροχούς. Με την πτώση του νερού μεταδίδεται ενέργεια στον υδροτροχό ο οποίος τίθεται σε κίνηση. Η χρήση τροχών επιτρέπει υψηλότερη απόδοση.



3 Πηγή σχήματος: Pixabay

- Το νερό μπορεί επίσης να ρέει κάτω από τον τροχό, μεταδίδοντας μέρος της κινητικής του ενέργειας στον τροχό.

Από τη βιομηχανική επανάσταση και μετά, και σε μεγαλύτερο βαθμό τον 20ο αιώνα, ορισμένοι μύλοι χρησιμοποιούσαν έναν οριζόντιο τροχό (με κατακόρυφο άξονα) επίσης γνωστό ως «στρόβιλο», ιδιαίτερα στην περίπτωση των μύλων «impoundment», οι οποίοι είναι γενικά μέτριου μεγέθους. Η στάθμη του νερού διατηρείται σε επαρκές ύψος στον άνω ρου του ποταμού όπου πέφτει το νερό στον μύλο, μέσω ενός υδατοφράκτη.

#### Βήμα 4: Πολλαπλές χρήσεις

Οι νερόμυλοι χρησιμοποιούνταν για πολλούς σκοπούς πριν από τη βιομηχανική εποχή, όπως:

- στη δασική βιομηχανία ως πριονιστήρια
- στην κλωστοϋφαντουργία: κατεργασία του μαλλιού, αργαλιός για ύφανση
- για την κατεργασία των μετάλλων: μυλόπετρες, σφυρήλατηση, σφυροτρύπανα
- για την μετάδοση της κίνησης
- για την χαρτοποιία: από τον 13<sup>ο</sup> έως τον 18<sup>ο</sup> αιώνα, η κινητήρια δύναμη των μύλων αξιοποιήθηκε για την παραγωγή χαρτιού μέσω της πολτοποίησης της βρεγμένης πρώτης ύλης (λινό, βαμβάκι, άχυρο, ξύλο). Μέχρι και τον 19<sup>ο</sup> αιώνα, εξακολουθούσαν να τροφοδοτούν με ενέργεια τις χαρτοποιητικές μηχανές.

#### Βήμα 5: Τι είναι η υδραυλική ενέργεια;

Η υδραυλική και εν μέρει η υδροηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιεί την κινητήρια δύναμη του νερού σε όλες τις μορφές του (υδατοπτώσεις, ρεύματα σε ποταμούς και άλλους τύπους υδατορευμάτων) για την παραγωγή ενέργειας. Ο κύκλος της ζωής του νερού είναι ουσιαστικά μια έμμεση εκδήλωση παρόμοια με εκείνης της ηλιακής ενέργειας ή της βαρύτητας της Σελήνης: η ηλιακή ενέργεια προκαλεί τους υδρατμούς στους ωκεανούς και τις θάλασσες να σχηματίσουν σύννεφα τα οποία

φέρνουν βροχή και χιόνι, και τα οποία στη συνέχεια τροφοδοτούν τις λίμνες, τα ποτάμια, τις θάλασσες και τους ωκεανούς του πλανήτη μας. Κατά παρόμοιο τρόπο λοιπόν, η παραγωγή της υδροηλεκτρικής ενέργειας γίνεται μέσω ενός συνδυασμού αρκετών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η υδροδυναμική αξιοποιήθηκε στην αρχαιότητα μέσω των νερόμυλων για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας - μιας καθαρής μορφής ενέργειας που δεν χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία - για την παραγωγή χαρτιού ή την άλεση σιτηρών, την άντληση νερού κ.λπ.

Με την έναρξη της βιομηχανικής εποχής το 19ο αιώνα ξεκίνησε για πρώτη φορά και η αξιοποίηση της υδροηλεκτρικής ενέργειας μέσω των υδατοφραγμάτων, που παραγόταν από υδατοπτώσεις σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς.

### Βήμα 6 Η μετατροπή μιας ενέργειας σε άλλες μορφές ενέργειας και η βελτίωση της αποδοτικότητας

Η λειτουργία των υδροκίνητων μηχανισμών γινόταν μέσω μικρών ή μεγάλων υδροτροχών, όρθια ή οριζόντια τοποθετημένων, τους οποίους περιέστρεφε με διάφορους τρόπους η δύναμη του κινούμενου νερού. Ο υδροτροχός μπορούσε να περιστρέφεται συνεχώς, ωστόσο το πρόβλημα έγκειτο στην καλύτερη δυνατή διαχείριση και αξιοποίηση της αστείρευτης ενέργειας που μπορούσε να παράγει η συνεχής αυτή κίνηση. Η αρχική ιδέα για την επίλυση του προβλήματος αυτού ήταν ότι, χάρη στη χρήση ενός συστήματος οδοντωτών τροχών διάφορων διαμέτρων, στους οποίους ο άξονας περιστοροφής ήταν παράλληλος, ο

μεγάλος υδροτροχός μπορούσε να εκτελέσει μικρότερο αριθμό περιστροφών όσες φορές η διάμετρός του υπέρβαινε έναν άλλο μικρότερο σε διάμετρο υδροτροχό. Τα συστήματα των οδοντωτών τροχών βασίζονται στην αρχή του μηχανικού πλεονεκτήματος: ο λόγος (η αναλογία) της παραγώμενης δύναμης προς την ασκούμενη δύναμη. Στην περίπτωση του συστήματος των οδοντωτών τροχών, το μηχανικό πλεονέκτημα εκφράζεται με την αναλογία μεταξύ της αρχικής ταχύτητας και της τελικής ταχύτητας που αναπτύσσεται στους οδοντοτροχούς.

Το μηχανικό πλεονέκτημα εκφράζεται λοιπόν με τον λόγο:

$$MA = \frac{\omega_A}{\omega_B} = \frac{r_B}{r_A} = \frac{N_B}{N_A}$$

Όπου:

- $N$  είναι ο αριθμός των δοντιών ενός οδοντοτροχού,
- $\omega$  είναι το διάνυσμα της γωνιακής ταχύτητας του οδοντοτροχού και
- $r$  είναι η ακτίνα του οδοντοτροχού



4 Εικόνα Η εικόνα δανείστηκε από το Norfolk Mills στη διεύθυνση <http://www.norfolk Mills.co.uk/watermill-machinery.html>

Στην περίπτωση των υδροτροχών, ο μεγάλος τροχός περιέστρεφε τον μικρότερο σε διάμετρο τροχό. Επομένως, για κάθε περιστροφή του μεγάλου οδοντοτροχού, ο μικρός θα γύριζε 3 φορές γρηγορότερα αν η ακτίνα του (και κατά συνέπεια η διάμετρός του) ήταν 3 φορές μικρότερη. Ο άξονας περιστροφής του μεγάλου και του μικρού οδοντοτροχού αντίστοιχα ήταν παράλληλος. Ο μικρότερος οδοντοτροχός ήταν συνήθως προσαρτημένος σε μυλόπετρες.

Με την επιτάχυνση της ταχύτητας του μικρού οδοντοτροχού από τον μεγαλύτερο, ο μυλωνάς μπορούσε να εκμεταλλευτεί την υδραυλική ενέργεια που παραγόταν για να κινήσει τις μυλόπετρες και να παράξει αλεύρι.<sup>1</sup>

**Βήμα 7: Μπορείτε να σκεφτείτε σε ποια άλλη περίπτωση θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε το σύστημα των οδοντωτών τροχών και το μηχανικό πλεονέκτημα που παρέχουν;**

Πραγματοποιήστε έναν καταιγισμό ιδεών με τους μαθητές σας και καταγράψτε όλες τις ιδέες που διατυπώνονται. Στη συνέχεια, κάθε

<sup>1</sup> J.M.K.C. Donev et al. (2018). Energy Education - Gear [Online]. Available: <https://energyeducation.ca/encyclopedia/Gear>. [Accessed: April 8, 2022].

μαθητής μπορεί να ολοκληρώσει την ιδέα του βασιζόμενος και στις άλλες απόψεις που διατυπώθηκαν από τους συμμαθητές του.

Οι οδοντωτοί τροχοί χρησιμοποιούνται σε:

- Οχήματα
- Ποδήλατα
- Ρολόγια
- Μύλους
- κ.λπ.

### Συμπεράσματα

Σε μάθημα αυτό, οι μαθητές θα μάθουν για τους διαφορετικούς τρόπους χρήσης των νερόμυλων και τους νόμους της φυσικής και της μηχανικής που διέπουν την υδραυλική ενέργεια. Θα μάθουν πώς να δημιουργούν έναν αυτοσχέδιο νερόμυλο και να τον θέτουν σε λειτουργία. Θα μάθουν για το μηχανικό πλεονέκτημα του συστήματος των οδοντωτών τροχών.

## Δραστηριότητες αξιολόγησης

**Δραστηριότητα 1** Βρείτε πληροφορίες για τους διάφορους τύπους νερόμυλων που υπάρχουν και παρουσιάστε τους στην τάξη.

**Δραστηριότητα 2** Αναζητήστε βίντεο που εξηγούν την αρχή της υδραυλικής ενέργειας.

**Δραστηριότητα 3** Συλλέξτε φωτογραφίες διάφορων στοιχείων που παράγονται από την υδραυλική ενέργεια και τους νερόμυλους και ενσωματώστε αυτά τα στοιχεία σε ξένες εικόνες. Ζητήστε στη συνέχεια από τους μαθητές να αναφέρουν ποιες φωτογραφίες είναι σωστές.

## Πηγές:

- Histoire pour tous - de France et du Monde (2021, 29 décembre). *Invention du moulin à eau (-200)*. <https://www.histoire-pour-tous.fr/inventions/700-invention-du-moulin-a-eau-200.html>
- Selectra (2022, 31 mars). *Energie hydraulique : sa définition, ses avantages et inconvénients*. <https://selectra.info/energie/guides/environnement/hydraulique>
- Société d'Archéologie et d'Histoire de la Mayenne. *FICHE MOULIN A EAU*. (<http://histoire.mayenne.53.free.fr/lexmoulinaeau.pdf>)

- Techno-Science. *Moulin à eau – Définition et Explications*.  
<https://www.techno-science.net/definition/3421.html>
- Vikidia (2021, 27 novembre). *Moulin à eau*.  
([https://fr.vikidia.org/wiki/Moulin\\_%C3%A0\\_eau](https://fr.vikidia.org/wiki/Moulin_%C3%A0_eau))
- J.M.K.C. Donev et al. (2018). Energy Education - Gear [Online].  
Available: <https://energyeducation.ca/encyclopedia/Gear>.  
[Accessed: April 8, 2022].
- Figure 1: Public Domain, unsplash
- Figure 2 and 3: Pixabay
- Figure 4: borrowed from Norfolk Mills at  
<http://www.norfolkmills.co.uk/watermill-machinery.html>