

Περιγραφή και κατασκευή ηλιακών ρολογιών

Δογμαματζίδης Μιχαήλ

Σύλλογος Ερασιτεχνικής Αστρονομίας Δράμας «ο Πήγασος»
pegasusdrama@gmail.com

Περίληψη

Κατά το θεωρητικό μέρος της παρουσίασης αυτής θα μιλήσουμε για τα ηλιακά ρολόγια, θα δούμε τις κυριότερες κατηγορίες τους και θα επικεντρωθούμε στην κατασκευή και στον προσανατολισμό τους, τέλος θα αναφερθούμε στο λογισμικό shadows που είναι χρήσιμο για την κατασκευή πληθώρας ηλιακών ρολογιών. Κατά το workshop που θα ακολουθήσει οι συμμετέχοντες θα σχεδιάσουν και θα κατασκευάσουν σε κόντρα πλακέ θαλάσσης τα ηλιακά ρολόγια που παρουσιάστηκαν στο θεωρητικό μέρος.

1. Εισαγωγή

Τα **ηλιακά** ή αλλιώς **σκιαθρηικά ρολόγια** είναι απλά αστρονομικά όργανα με τα οποία βρίσκουμε την ώρα με τη βοήθεια του Ήλιου. Είναι γνωστά από την αρχαιότητα στην πιο απλή μορφή τους. Με την πάροδο των αιώνων δημιουργήθηκαν οι διάφορες παραλλαγές τους. Το πιο απλό ρολόι αποτελείται από μία κατακόρυφη ράβδο που η θέση της σκιάς της δείχνει την ηλιακή ώρα. Όταν μάλιστα η σκιά αυτή είχε το ελάχιστο μήκος ήταν μεσημέρι.

Αργότερα έγινε αντιληπτό ότι η ακρίβεια των ρολογιών βελτιώνονταν όταν η ράβδος αντί να είναι κατακόρυφη προσανατολιζονταν προς το βορρά.

Ένα ηλιακό ρολόι αποτελείται συνήθως από δύο μέρη, από μια πλάκα (την ωρολογόπλακα) όχι κατ' ανάγκη επίπεδη πάνω στην οποία χαράσσονται ή ζωγραφίζονται οι ενδείξεις των ωρών καθώς και οι άλλες πληροφορίες που πιθανό να παρέχει το ρολόι και μία ράβδο (το γνώμονα) που η σκιά της πάνω στην ωρολογόπλακα δείχνει την ηλιακή ώρα.

Μέχρι να κατασκευαστούν τα πρώτα μηχανικά ρολόγια, τα ηλιακά ήταν τα μοναδικά ρολόγια, και έτσι όλοι σχεδόν οι λαοί ενδιαφέρονταν για την κατασκευή μεγάλων ηλιακών ρολογιών, όχι μόνο για να έχουν μεγάλη ακρίβεια στην ώρα, αλλά και για να στολίζουν μεγάλα κτήρια και διάφορους δημόσιους χώρους.

Ακόμη και στις μέρες μας η κατασκευή και εγκατάσταση ενός ηλιακού ρολογιού πέρα από την καλλιτεχνική της αξία έχει και πολλαπλά μαθησιακά αποτελέσματα καθώς επιτρέπει σε εμάς αλλά και στους μαθητές μας να κατανοήσουμε το σχήμα της τροχιάς της Γης τη μεταβλητότητα της ταχύτητας περιφοράς της γύρω από τον Ήλιο, καθώς και την κλίση του άξονα περιστροφής της.

1.1 Είδη ηλιακών ρολογιών

Υπάρχουν πολλά είδη ηλιακών ρολογιών. Τα σημαντικότερα που θα μας απασχολήσουν σε αυτή την παρουσίαση είναι τα **οριζόντια**, τα **κατακόρυφα** τα **πολικά** και τα **ισημερινά**, ανάλογα με το αν η ωρολογόπλακα πάνω στην οποία πέφτει η σκιά της ράβδου είναι οριζόντια ή κατακόρυφη έχει κατεύθυνση προς το βορρά ή είναι παράλληλη με το επίπεδο του ισημερινού. Και στα τέσσερα αυτά ρολόγια ο γνώμονας σκοπεύει προς το βορρά (για το βόρειο ημισφαίριο). Επειδή ο Πολικός Αστéρας βρίσκεται πολύ κοντά στο γεωγραφικό βορρά, δηλαδή στην προέκταση του άξονα περιστροφής της Γης θα μπορούσαμε να προσανατολίσουμε το ρολόι μας σηματοδοτώντας με το γνώμονα τον Πολικό Αστéρα.

1.1.1 Οριζόντια Ρολόγια

Το οριζόντιο ηλιακό ρολόι (εικόνα 1) έχει την ωρολογόπλακα του οριζόντια ενώ ο άξονας του κατευθύνεται προς το βόρειο ουράνιο πόλο. Η γωνία που σχηματίζει η ακμή του γνώμονα με την ωρολογόπλακα ισούται με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου εγκατάστασης του ρολογιού.



Εικόνα 1: Οριζόντιο ηλιακό ρολόι Γυμνασίου με Λ.Τ. Νικηφόρου Δράμας

Η σχεδίαση της ωρολογόπλακας ενός οριζόντιου ρολογιού είναι αρκετά περίπλοκη. Μια μαθηματική ανάλυση της σχεδίασης από τον μαθηματικό κ. Δημήτρη Μπλατσή μπορείτε να βρείτε στα πρακτικά του συνεδρίου αστρονομίας του 2007 στις διευθύνσεις:

<https://astrosynedrio2007.gr/praktika/workshops/mplatsis.pdf>

<https://astrosynedrio2007.gr/praktika/workshops/shmeiwseis-rologia.pdf>

Σε αυτό το εργαστήριο θα παρουσιάσουμε μια απλούστερη μέθοδο σχεδιασμού όλων των προαναφερθέντων τύπων ρολογιών που θα μπορεί να εφαρμοστεί ακόμη και από τους μαθητές μας ανεξάρτητα του γνωστικού τους επιπέδου στα μαθηματικά.

1.1.2 Κατακόρυφα Ρολόγια

Στο κατακόρυφο ηλιακό ρολόι η ωρολογόπλακα είναι κατακόρυφη και ο γνώμονας κατευθύνεται προς το βόρειο ουράνιο πόλο (εικόνα 2). Η απλούστερη μορφή κατακόρυφων ρολογιών, με τα οποία θα ασχοληθούμε σε αυτό το εργαστήριο είναι αυτή που η πλάκα τους βρίσκεται στη διεύθυνση Ανατολής – Δύσης. Μπορούμε όμως να κατασκευάσουμε κατακόρυφα ρολόγια με τις πλάκες τους σε διάφορες διευθύνσεις, τέτοιο είναι το Ωρολόγιο του Κυρρήστου στην Πλάκα. Η σχεδίαση των κατακορύφων ρολογιών παρουσιάζει αντίστοιχες δυσκολίες με τη σχεδίαση των οριζόντιων.



Εικόνα 2: Κατακόρυφο ηλιακό ρολόι Βιβλιοθήκης 1^{ου} Λυκείου Δράμας

1.1.3 Πολικά Ρολόγια

Στα πολικά ρολόγια τόσο ο γνώμονας όσο και η ωρολογόπλακα κατευθύνονται προς το βόρειο ουράνιο πόλο (εικόνα 3). Η ωρολογόπλακα μπορεί να έχει διάφορα σχήματα όπως επίπεδο κυλινδρικό ή και άλλα.



Εικόνα 3: Πολικά ηλιακά ρολόγια Γυμνασίου με Λ.Τ. Νικηφόρου Δράμας

1.1.4 Ισημερινά Ρολόγια

Στα ισημερινά ρολόγια όπως και σε όλα τα άλλα που περιγράψαμε ο γνώμονας κατευθύνεται προς το βόρειο ουράνιο πόλο, είναι όμως κάθετος στην ωρολογόπλακα η οποία είναι παράλληλη προς το επίπεδο του Ισημερινού της Γης και σκαλισμένη και από τις δύο πλευρές (εικόνα 4). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το μισό έτος από την εαρινή έως τη φθινοπωρινή ισημερία που ο Ήλιος για το βόρειο ημισφαίριο φαίνεται πάνω από τον ισημερινό να φωτίζεται και να δίνει ενδείξεις η πάνω πλευρά του ρολογιού και τον άλλο μισό η κάτω. Τις μέρες κοντά στις ισημερίες το ρολόι δε λειτουργεί.

Οι γραμμές των ωρών σε ένα ισημερινό ρολόι σχηματίζουν μεταξύ τους ίσες γωνίες που είναι $360^{\circ}:24=15^{\circ}$. Η γραμμή που αντιστοιχεί στις ώρες 6 και 18 είναι οριζόντια και η γραμμή που αντιστοιχεί στις 12 κατακόρυφη. Αν θέλουμε να σχεδιάσουμε τις μισές ώρες θα πάρουμε τις γωνίες ανά $7,5^{\circ}$ ενώ τα δεκάλεπτα σχεδιάζονται ανά $2,5^{\circ}$. Όλες οι γραμμές τέμνονται πάνω στο γνώμονα του ρολογιού.



Εικόνα 4: Ισημερινό ηλιακό ρολόι Γυμνασίου με Λ.Τ. Νικηφόρου Δράμας

2. Κατασκευή ρολογιών

Η σχεδίαση ενός ισημερινού ρολογιού είναι απλή, χαράσσουμε ή ζωγραφίζουμε και από τις δύο πλευρές μιας πλάκας τις γραμμές των ωρών και στερεώνουμε το γνώμονα κάθετα στην πλάκα στο σημείο τομής των γραμμών. Η γωνία που θα σχηματίζει ο γνώμονας με το οριζόντιο επίπεδο ισούται με το γεωγραφικό πλάτος ϕ του τόπου και η γωνία που θα σχηματίζει η ωρολογόπλακα με το οριζόντιο επίπεδο θα είναι $90-\phi$.

Αν τοποθετήσουμε το ισημερινό ρολόι στο βόρειο γεωγραφικό πόλο της Γης θα ταυτίζεται με το οριζόντιο ενώ αν το τοποθετήσουμε στον ισημερινό θα ταυτίζεται με το κατακόρυφο (εικόνα 5).



Εικόνα 5: Ισημερινό ηλιακό ρολόι σε διάφορα γεωγραφικά πλάτη

Σε οποιαδήποτε άλλη θέση το οριζόντιο ρολόι θα είναι η προβολή του ισημερινού στο οριζόντιο επίπεδο και το κατακόρυφο η προβολή του στο κατακόρυφο επίπεδο. Έτσι αφού σχεδιάσουμε και δώσουμε τη σωστή κλίση σε ένα ισημερινό ρολόι σημαδεύουμε το σημείο τομής του γνώμονα του και τα σημεία τομής των γραμμών του με το οριζόντιο επίπεδο. Ενώνουμε τα σημεία τομής των γραμμών με το σημείο τομής του γνώμονα με το οριζόντιο επίπεδο και έτσι έχουμε σχεδιάσει τις γραμμές των ωρών του οριζόντιου ρολογιού.

Η γραμμή 6 – 18 είναι κάθετη στη γραμμή της 12^{ης} ώρας, η ώρα 5 βρίσκεται στην προέκταση της γραμμής της ώρας 17 και η ώρα 19 στην προέκταση της γραμμής της 7^{ης} ώρας.

Αφού χαράξουμε ή ζωγραφίσουμε τις γραμμές των ωρών στερεώνουμε στο σημείο τομής τους το γνώμονα πάνω από τη γραμμή της 12^{ης} ώρας και σε γωνία ίση με το γεωγραφικό πλάτος του τόπου μας. Τέλος τον προσανατολίζουμε προς το βόρειο γεωγραφικό πόλο.

Όμοια το κατακόρυφο ρολόι είναι η προβολή του ισημερινού σε ένα κατακόρυφο επίπεδο. Η απλούστερη περίπτωση είναι όπως είπαμε αυτή που η ωρολογόπλακα βρίσκεται στη διεύθυνση ανατολής – δύσης. Σημαδεύουμε το σημείο τομής του γνόμονα ενός προσανατολισμένου ισημερινού ρολογιού με το κατακόρυφο επίπεδο καθώς και τα σημεία τομής των γραμμών των ωρών του ισημερινού ρολογιού με το ίδιο επίπεδο.

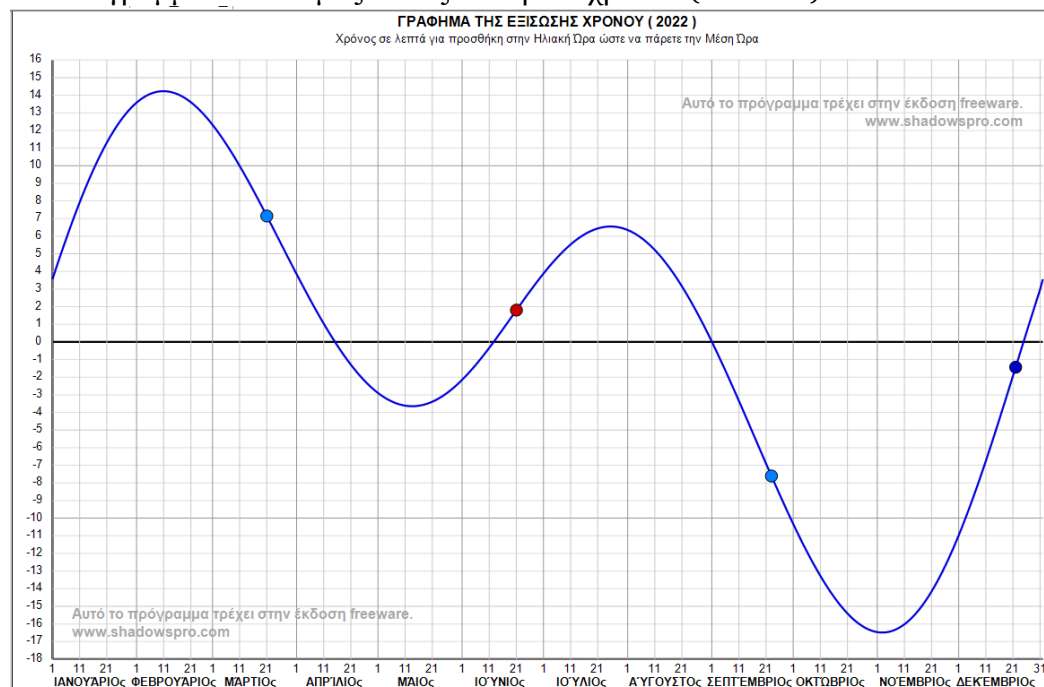
Ενώνουμε τα σημεία τομής των ωρών με τη θέση του γνόμονα και τον τοποθετούμε έτσι ώστε να βρίσκεται πάνω από τη γραμμή της 12^{ης} ώρας και να σχηματίζει με το κατακόρυφο επίπεδο γωνία 90-φ όπου φ το γεωγραφικό πλάτος του τόπου.

Προκειμένου να σχεδιάσουμε ένα πολικό ρολόι κυλινδρικού ή άλλου σχήματος τοποθετούμε το ισημερινό σε τέτοια θέση ώστε ο γνόμονας του να ταυτίζεται με το γνόμονα του πολικού και κατά συνέπεια η πλάκα του ενός να είναι κάθετη στην πλάκα του άλλου. Προβάλουμε τις γραμμές του ισημερινού ρολογιού πάνω στην πλάκα του πολικού προσέχοντας ώστε η προβολή της 12^{ης} ώρας να βρίσκεται στο μέσο της πλάκας του πολικού. Από τα σημεία αυτά σχεδιάζουμε τις γραμμές των ωρών παράλληλες προς το γνόμονα του ρολογιού. Στα πολικά ρολόγια όπως και στα ισημερινά οι γωνίες με κέντρο το γνόμονα που θα σχηματίζουν δύο διαδοχικές γραμμές ωρών θα είναι 15°.

3. Μετατροπή της ηλιακής ώρας σε πολιτική (ώρα Ελλάδος)

Τα ηλιακά ρολόγια δείχνουν την ηλιακή ώρα ενός τόπου. Οι ενδείξεις των ρολογιών διαφέρουν από τόπο σε τόπο ανάλογα με το γεωγραφικό μήκος. Η μεσουράνηση του Ήλιου για παράδειγμα γίνεται ως γνωστό στις 12 το μεσημέρι. Σε ένα τόπο που βρίσκεται μία μοίρα ανατολικότερα η μεσουράνηση γίνεται τέσσερα λεπτά νωρίτερα και σε ένα τόπο που βρίσκεται μία μοίρα δυτικότερα γίνεται τέσσερα λεπτά αργότερα ($24h \cdot 60min / 360^\circ = 4min$).

Η ηλιακή ώρα μεταβάλλεται και από μέρα σε μέρα εξαιτίας δύο λόγων, ο ένας είναι η ετήσιες μεταβολές που παρουσιάζει η ταχύτητα της Γης και ο άλλος η κλίση του άξονα περιστροφής της. Η μεταβολή αυτή είναι κοινή για όλους τους τόπους και δίνεται από ένα πίνακα ή καλύτερα από ένα διάγραμμα που ονομάζεται εξίσωση του χρόνου (εικόνα 6).



Εικόνα 6: Γράφημα Εξίσωσης του Χρόνου

Ας δούμε πιο αναλυτικά πως επηρεάζει ο κάθε ένας από τους παράγοντες αυτούς την εξίσωση του χρόνου.

Όσον αφορά πρώτα τη μεταβολή της ταχύτητας της Γης κατά την περιφορά της γύρω από τον Ήλιο. Η τροχιά της Γης ως γνωστό είναι ελλειπτική με αποτέλεσμα όταν διέρχεται κοντά από τον Ήλιο να έχει μεγαλύτερη ταχύτητα ενώ όταν διέρχεται μακριά να έχει μικρότερη.

Η μεταβολή αυτή συνεισφέρει στην εξίσωση του χρόνου κατά ένα ημιτονοειδές κύμα (εικόνα 7 κόκκινη καμπύλη) πλάτους 7,66 λεπτών και περιόδου ενός έτους. Τα μηδενικά σημεία βρίσκονται στο περιήλιο (αρχές Ιανουαρίου) και στο αφήλιο (αρχές Ιουλίου).

Ο άλλος παράγοντας που συνεισφέρει στην εξίσωση του χρόνου είναι η λόξωση της εκλειπτικής που ευθύνεται για την καθ' ύψος μετατόπιση του Ήλιου από μέρα σε μέρα. Η μεταβολή αυτή αποδίδεται από ένα ημιτονοειδές κύμα πλάτους 9,87 λεπτών και περιόδου έξι μηνών (εικόνα 7 πράσινη καμπύλη). Η καμπύλη αυτή έχει μηδενικές τιμές στις ισημερίες και στα ηλιοστάσια. Το άθροισμα των δύο αυτών καμπυλών μας δίνει την εξίσωση του χρόνου.

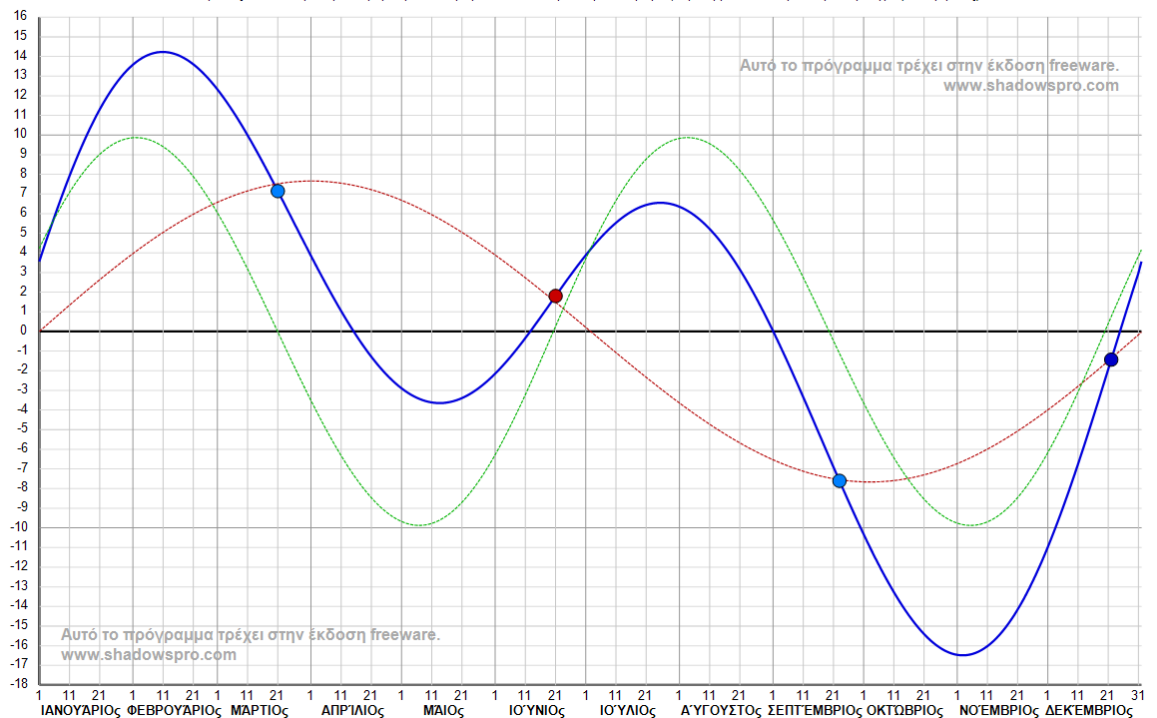
Για να σχεδιάσουμε την καμπύλη διόρθωσης του ρολογιού μας πρέπει να εισαγάγουμε στην εξίσωση του χρόνου και τη διόρθωση του γεωγραφικού μήκους.

Έστω για παράδειγμα ότι θέλουμε να τοποθετήσουμε ένα ηλιακό ρολόι στο Νικηφόρο της Δράμας σε θέση με γεωγραφικό μήκος $24^{\circ} 18' 49'' = 24,314^{\circ}$.

Η διόρθωση που θα κάνουμε λόγω του γεωγραφικού μας μήκους είναι $24,314 \cdot 4 = 97,254 \text{ min}$

Επειδή βρισκόμαστε ανατολικά του Greenwich ο Ήλιος μεσουρανήει 97,254 min νωρίτερα, επομένως η ώρα Greenwich ισούται με την ένδειξη του ρολογιού μας μείον 97,254 min.

ΓΡΑΦΗΜΑ ΤΗΣ ΕΞΙΣΩΣΗΣ ΧΡΟΝΟΥ (2022) GREENWICH OBSERVATORY - ENGLAND (UK)
Χρόνος σε λεπτά για προσθήκη στην Ηλιακή Ώρα ώστε να πάρετε την Μέση Ώρα (περιλαμβάνεται διόρθωση του γεωγραφικού μήκους)

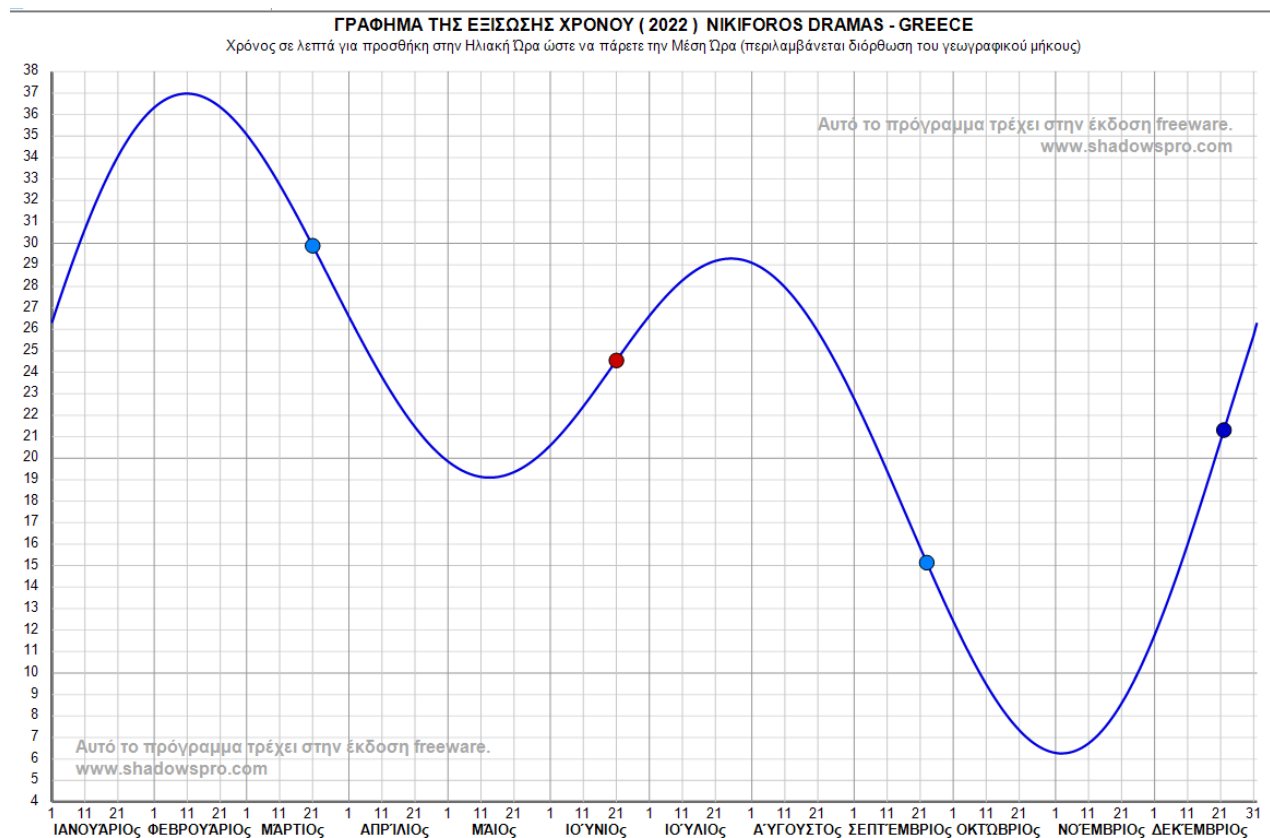


Εικόνα 7: Γράφημα Εξίσωσης του Χρόνου και των συνιστωσών καμπυλών της

Η πολιτική ώρα της Ελλάδας όμως είναι 120 min πριν την ώρα Greenwich. Επομένως για να βρούμε την πολιτική ώρα της Ελλάδας προσθέτουμε στην εξίσωση του χρόνου

$120 - 97,254 = 22,746 \text{ min} \approx 23 \text{ min}$. Μετατοπίζουμε την εξίσωση του χρόνου κατακόρυφα προς τα επάνω κατά 23 min και δημιουργούμε την καμπύλη διόρθωσης του ρολογιού μας (εικόνα 8)

Δεν ξεχνάμε βέβαια κατά τη διάρκεια ισχύος της θερινής ώρας να προσθέτουμε στη διόρθωση μας άλλη μια ώρα.



Εικόνα 8: Τελική μορφή της καμπύλης διόρθωσης του ηλιακού ρολογιού στο Νικηφόρο Δράμας

4. Προσανατολισμός ηλιακού ρολογιού

Για να λειτουργήσει με ακρίβεια ένα ηλιακό ρολόι πρέπει να είναι σωστά προσανατολισμένο. Σημαντικός παράγοντας για τον προσανατολισμό είναι η εύρεση του μεσημβρινού που περνά από τη θέση τοποθέτησης του ρολογιού.

4.1 Προσανατολισμός με τη βοήθεια του Πολικού αστέρα

Αν είναι ορατός ο Πολικός από τη θέση του ρολογιού ο προσανατολισμός είναι εύκολος διότι με πολύ καλή προσέγγιση από εκεί διέρχεται ο μεσημβρινός του τόπου. Αρχικά οριζοντιώνουμε την ωρολογόπλακα ενός οριζόντιου ρολογιού ή τη γραμμή που ενώνει τις ώρες 6 και 18 ενός κατακόρυφου ή ισημερινού ή πολικού ρολογιού. Κατόπιν τοποθετούμε πάνω στο γνώμονα ένα ισχυρό δείκτη Laser και περιστρέφουμε την πλάκα μέχρι η γραμμή του Laser να σημαδέψει τον πολικό.

4.2 Προσανατολισμός με Ρολόι

Μια άλλη μέθοδος προσανατολισμού ηλιακού ρολογιού είναι η εξής: Αν γνωρίζουμε τη διόρθωση του ρολογιού μας για μια συγκεκριμένη μέρα π.χ. +20 min αυτό σημαίνει ότι αν το ρολόι δείχνει 12 ο πολιτικός χρόνος είναι 12 και 20 min. Έτσι στις 12 και 20 min περιστρέφουμε το ρολόι ώστε η σκιά του γνώμονα να δείξει 12.

4.3 Προσανατολισμός με χρήση της διάβασης του Ήλιου από το μεσημβρινό

Πολλές φορές δεν είναι δυνατό να περιστρέφουμε την ωρολογόπλακα και δεν έχουμε ορατότητα προς τον πολικό π.χ. σε ένα κατακόρυφο ρολόι σε τοίχο σπιτιού. Προκειμένου να βρούμε το μεσημβρινό ενός τόπου τοποθετούμε σε οριζόντιο δάπεδο μία κατακόρυφη βέργα και χαράσσουμε έναν ή περισσότερους κύκλους με κέντρο τη βέργα. Σημαδεύουμε κατά τη διάρκεια

μιας ημέρας τα σημεία τομής της σκιάς της βέργας με τον κύκλο και σχεδιάζουμε το ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει τα σημεία αυτά. Ο μεσημβρινός ενώνει το μέσο του ευθυγράμμου τμήματος με τη βέργα και σε αυτή την κατεύθυνση θα πρέπει να προσανατολίσουμε το ρολόι μας. Αν θέλουμε μεγαλύτερη ακρίβεια μπορούμε να επαναλάβουμε τη διαδικασία και με άλλους κύκλους.

5. Το λογισμικό Shadows

Για την κατασκευή ενός ηλιακού ρολογιού ή και ενός αστρολάβου μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και το λογισμικό Shadows. Το λογισμικό αυτό κυκλοφορεί στην απλή του έκδοση δωρεάν και μας βοηθά να σχεδιάσουμε τα περισσότερα είδη ηλιακών ρολογιών. Δίνουμε το είδος του ρολογιού που θέλουμε να κατασκευάσουμε καθώς και τις συντεταγμένες της θέσης τοποθέτησης και το λογισμικό μας παρέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για την κατασκευή αλλά και για τη διακόσμηση του ρολογιού. Αν αγοράσουμε κάποια από τις άλλες δύο εκδόσεις του λογισμικού θα έχουμε πρόσβαση σε περισσότερες δυνατότητες του.