

# כיצד לתכנן שעון שמש ולמקמו בסביבת מגורים

מאת: צ'רלס וולף (Ch. T. Wolf)

תרגום: חנה כרל

שעון השמש נמצא בשימוש מזה אלפי שנים. השעונים העתיקים תוכננו בדרך כלל בשיטת הניסוי והטעיה: מסלול התנועה היומית של צל סלע נראה כחוזר על עצמו מדי יום, מצב הצל סומן מספר פעמים במשך היום, וכן גם בעונות השנה השונות. בגירסאות שונות של תהליך זה סומן מצב הצל של מקל ניצב, או של חרוז התלוי על חוט ולפעמים גם הצל של קרן שמש החודרת דרך חור צר. כל אלה היו כלים נסיוניים טהורים אשר הושפעו מתנועת השמש בכיוון צפון-דרום, לפיכך היה צורך במערכת סימנים שונה שתאים לכל עונה.

עם המצאת הגנומון המשופע (Inclined-gnomon), כלומר, החלק המטיל את הצל, די היה במערכת סימנים יחידה לכל עונות השנה. במאמר זה נסביר את פעולת שעון השמש מסוג זה ואף נראה כיצד לתכננו ולמקמו בסביבת מגורים.

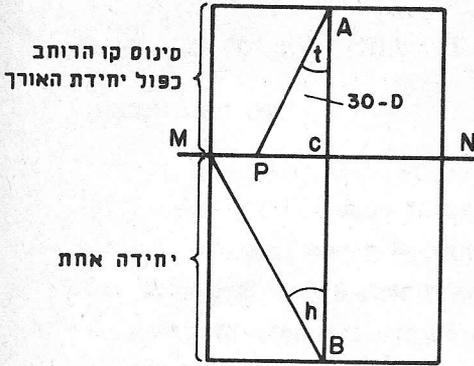
## התיכנון

תיכנון שעון שמש רב-עונתי המתאים למקום מגורים הוא ענין קל ופשוט. ההוכחה כי הוא אמנם פועל ומראה את השעה הנכונה מסובכת מעט יותר:

תחילה זהה את עצמך על גבי מפה טובה וקבע עד לדיוק של מעלה אחת את קו האורך וקו הרוחב החוצים את מקום מגוריך. ההוראות מכאן ואילך מבוססות על ההנחה כי הינך גר בחצי הצפוני של כדור הארץ וממזרח לגריניץ' (בהמיספלה המזרחית). החסר מקו האורך בו אתה נמצא את הכפולה המקסימלית של  $15^\circ$ . (למשל: קו אורך מזרחי של  $35^\circ$ , בו נמצאת ישראל, נותן  $5^\circ$ , כי  $5^\circ = (2 \times 15^\circ) + 5^\circ$ ).

הפרש מייצג את השגיאה שבין שעת שעון השמש לשעת השעון הרגיל במקום מגוריך. קרא להפרש זה D. כדי למצוא את קווי השעות על שעון השמש התבונן בשרטוט 1.

בחר יחידת אורך השווה לאורך הרצוי של פני שעון השמש (או קוטר הפנים אם רצונך בשעון עגול).  
 חפש את סינוס קו הרוחב שלך ושרטט על גליון נייר מספיק גדול מלבן שרוחבו יחידה אחת ואורכו יחידה ועוד סינוס קו הרוחב כפול ביחידת האורך.



שרטוט 1

שרטט את הקו MN המשלים את ריבוע היחידה בחלק התחתון של השרטוט והמשך אותו מעבר לצלעות המלבן.

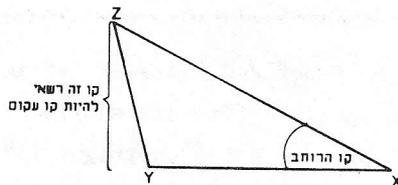
חצה את המלבן לאורכו ובצד שמאל של החוצה AB, מהנקודה A, בנה את הזוויות  $15^\circ - D$ ,  $30^\circ - D$ ,  $45^\circ - D$ , ...  $90^\circ - D$ . מצד ימין של החוצה בנה את הזוויות  $D$ ,  $15^\circ + D$ ,  $30^\circ + D$ , ...,  $75^\circ + D$ .

המשך את שוקי הזוויות עד לישר MN וחבר את נקודות החיתוך עם הנקודה B. כל ישר בריבוע התחתון מייצג שעה. הישר  $D - 15n$  מייצג את השעה  $n - 12$  ואילו הישר  $D + 15n$  מייצג את השעה  $n$  (נותר את השעה 12). דוגמה: נעזר בדוגמה הקודמת בה השתמשנו בקו אורך מזרחי  $35^\circ$  או  $5^\circ - D$ . במקרה זה עליך לבנות בנקודה A את הזוויות הבאות: משמאל ל A את  $10^\circ, 25^\circ, 40^\circ, 55^\circ$  וכו' ומימין את  $5^\circ, 20^\circ, 35^\circ, 50^\circ$  וכו'. השעות המתאימות לישרים מימין ל A הן: 1, 2, 3 וכו' והשעות המתאימות לישרים משמאל ל A הן: 11, 10, 9 וכו'. חשוב להעיר כי השעות המסומנות הן השעות הרגילות ואינן שעות קיץ, שנועדו לחיסכון אור היום. כדי לקבל את שעות הקיץ יש להוסיף שעה אחת לכל סימן ובכך מקבלים את השעה הנכונה.

בשלב זה של בניית שעון השמש הינך יכול לגזור את פניו בכל צורה שהיא כל עוד הנקודה B נשארת על פני השעון. לחלק שמעל הישר MN אין כל שימוש.

לבסוף בונים את הגנומון (ראה שרטוט 2) בצורת משולש אשר אחת מזוויותיו שווה לזווית קו הרוחב שלך (המשולש אינו צריך להיות ישר זווית).

להרכבת שעון השמש, הנח את הגנומון על פני השעון באופן הבא: את הנקודה X על הנקודה B, את הישר XY לאורך BC ואת מישור הגנומון ניצב למישור פני השעון. שים לב, XY אינו חייב להיות שווה באורכו ל-BC.



שרטוט 2

## חומרי הבניה וההרכבה

חומרי הבניה בהם יכול אתה להשתמש תלויים בכישוריך ובאמצעים העומדים לרשותך. תחילה עליך לשרטט את הדגם הרצוי לך על נייר ורק אחר כך להעתיקו על גבי החומרים שבחרת. קל לבנות שעון וגנומון מעץ צבוע אך דגם זה אינו עמיד. דגם העשוי מגליון נחושת קל להכנה ועמיד יותר. אם הנך מעונין ביצירה שתאריך ימים יכול אתה להשתמש בחומרים נוספים כגון אלומיניום בטון או שיש.

### מיקום השעון

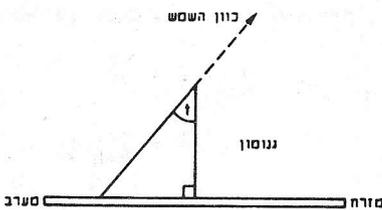
את השעון המוכן יש לחבר היטב למשטח מאוזן, כך שהגנומון יפנה לצפון האמיתי (ולא לצפון המגנטי).

שיטה קלה להנחה נכונה של השעון (כי מציאת הצפון האמיתי מהווה בעיה) היא להכין את המשטח המאוזן ולהניח על גביו את שעון השמש (עם הגנומון) כך שבשעה ידועה (11, 12, 1) שעון השמש אמנם יראה אותה. אם בנית את שעון השמש כהלכה יראה עתה השעון את כל שעות היום.

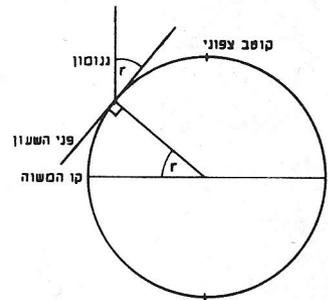
### הוכחה

על ידי השוואת זווית הגנומון לזווית קו הרוחב הינך למעשה מניח את הקצה, המטיל צל של הגנומון במקביל לציר הפולרי של כדור הארץ (ראה שרטוט 3).

לכן, במשך כל השנה, הצל של הגנומון בצהרי השמש (כאשר השמש נמצאת בשיא) נמצא במישור של הגנומון. בכל שעה שלפני או אחרי צהרי השמש הזווית  $t$  הנוצרת בין הצל עם הגנומון שווה למספר המעלות שכדור הארץ הסתובב (או עליו להסתובב) מאז צהרי השמש או עד אותה השעה. שרטוט 4 מדגים חתך של שעון השמש ממזרח למערב.



שרטוט 4



שרטוט 3

הזווית  $h$  שבין  $BC$  לקו השעה (שרטוט 1) נקבעת על ידי הקשר  $\text{tg } h = \sin r \cdot \text{tg } t$ .

כאשר  $r$  מציין את קו הרוחב ו  $t$  הוא מספר המעלות שכדור הארץ כבר הסתובב מאז צהרי השמש או עליו להסתובב עד צהרי השמש.

תחילה נראה כי תהליך הבנייה אמנם יוצר קשר זה ולאחר מכן נצדיק את הקשר.

בשרטוט 1 אנו רואים כי  $tg t = \frac{CP}{AC}$

$CP = \sin r \cdot tg t$  או  $tg t = \frac{CP}{\sin r}$  לכן  $AC = \sin r$

$tg h = \frac{CP}{CB} = \frac{CP}{1} = CP$  אולם

$tg h = \sin r \cdot tg t$  לכן

כדי להצדיק קשר זה עלינו לדון ב- 3 משולשים ישרי זווית ב- 3 מישורים שונים (ראה שרטוט 5). התחל בגנומון XYZ ובנקודה כלשהי R שעל צידו העליון. הצל של הנקודה R היא הנקודה R' במישור של פני השעון. (זכור הישר XY נמצא אף הוא במישור זה). שרטט את הישר XR'. וניצב לישר RX. ישר זה קובע נקודה S על XR'. באופן דומה, דרך הנקודה R שרטט ישר נוסף הנמצא במישור XYZ וניצב ל-RX. ישר זה קובע נקודה T על XY. לבסוף צייר את הישר TS במישור של פני שעון השמש. עתה נשים לב לתוצאות הבאות של בניה זו:

המישור XST (פני השעון) והמישור XRT (הגנומון) ניצבים זה לזה. מכיוון שהישרים RS ו-RT שניהם מאונכים ל-XZ בנקודה R הרי הם קובעים מישור RST המאונך לישר XZ בנקודה R. לכן, המישורים XST ו-RST שניהם מאונכים למישור XYZ. משום כך, ישר החיתוך שלהם ST ניצב למישור XYZ. מכאן מקבלים כי הזוויות STX ו-STR שתיהן ישרות. כמו כן אנו יודעים כי הזווית XRT היא זווית ישרה על פני הבניה. לכן נתייחס לשלושת המשולשים ישרי הזווית, XRT, XST, ו-SRT.

התבונן בשרטוט 5 ושים לב כי:

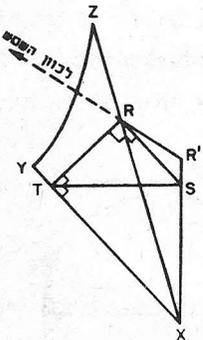
$\sphericalangle TRS = t$  ,  $\sphericalangle TXS = h$  ,  $\sphericalangle TXR = r$

בעזרת טריגונומטריה פשוטה מקבלים כי:

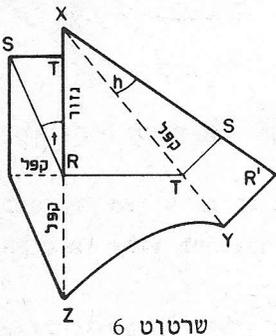
$\sin r = \frac{RT}{XT}$

לכן  $tg t = \frac{ST}{RT}$  . כמו כן  $XT = \frac{RT}{\sin r}$

מקבלים כי  $ST = RT tg t$  ולכן  $tg h = \frac{ST}{XT} = \sin r \cdot tg t$



שרטוט 5



שרטוט 6

אם קשה לך הראיה התלת מימדית הנבי מציע כי תעתיק בזהירות את שרטוט 6 וקפל אותו ליצירת הדגם התלת מימדי. דגם זה בודאי יעזור לך להבהיר את הקשר בין הזוויות. גזור את הגיזרה לאורך הקווים העבים (כולל הישר RT), קפל לאורך הקווים המרוסקים את הקטע TS האחד לקטע TS השני. עתה השווה את הדגם שקיבלת לשרטוט 5.