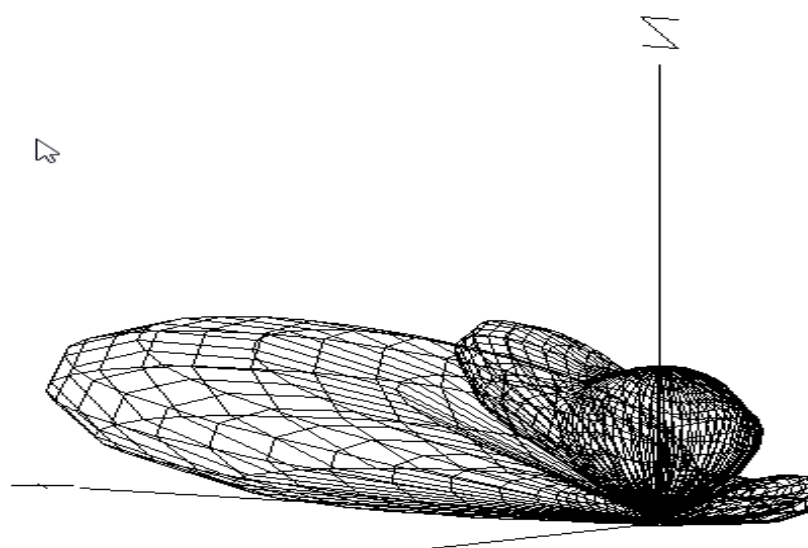


# אנטנת אלומה לגל 4 מטר

צחי לינדנבאום 4Z1TL  
מרץ-אפריל 2022



# כללי

מאמר זה מתעד ומסכם את חוויותיי בבניית אנטנה כיוונית לפס 70 מה"ץ. האנטנה המתוארת תוכננה ונבנתה תוך הדגשת המטרות הבאות:

- אורך ה-BOOM לא יותר מ 3 מטר (אילוך פרטי).
- אלמנט מקרין מפוצל ומבודד מה"בום" לטובת פשטות המודל.
- ביצוע תיאום עכבות (אם צריך) ע"י קו-תמסורת רבע-אורך-גל תוצרת בית.
- חלקים פשוטים וזולים, הרוב שאריות וכד'.
- העדיפויות והקדימויות לאופטימיזציה:
  - א. גובה ההתקנה 2-4 מטר מרצפת גג או "אדמה" (אילוך בגין 2 מקומות אפשריים).
  - ב. מירב השבח הקדמי המתאפשר.
  - ג. לפחות 18 ד"ב יחס קדימה\אחורה. (הבדל בקליטה של כ-3 יחידות "S" לפי 6 ד"ב ליחידה אחת).
  - ד. יג"ע בכל הפס של 1:1.1 - 1.5:1, באחת מעכבות הזנה: 50 או 25 או 12.5 אוהם.

לתכנון האנטנה ובדיקתה בשלבי הבניה השונים השתמשתי במקביל בתכנות EZNEC, MMANA ובגיליון האלקטרוני AutoEZ שמאפשר טיוב נרחב לתכנוני EZNEC. (לא אציג כאן, אבל בדרך גם התרשמתי מההבדלים בין התכנון ב-EZNEC וב-MMANA).  
מדידות האנטנה בוצעו ב-NanoVna ובתכנות NanoVna-Saver ו Vna-qt עבורו.

בגין 3 מטר BOOM הסתפקתי ב-4 אלמנטים כי נוכחתי שהרווח השולי בכל המאפיינים ובפרט בשבח או ביחס FB מתוספת אלמנט החמישי לא מוצדק.

עכבת ההזנה ZL כוונה ל-12.5Ω. במצב זה ניתן לבצע את התיאום לקו Z0 של 50Ω עם קו-תמסורת רבע-אורך גל שעכבתו היא 25Ω לפי  $Z = \sqrt{(Z0 * ZL)}$ . קטע כזה ניתן להרכיב בקלות יחסית משני קווי-תמסורת של 50 אוהם באורך חשמלי של רבע-אורך-גל המחוברים במקביל.

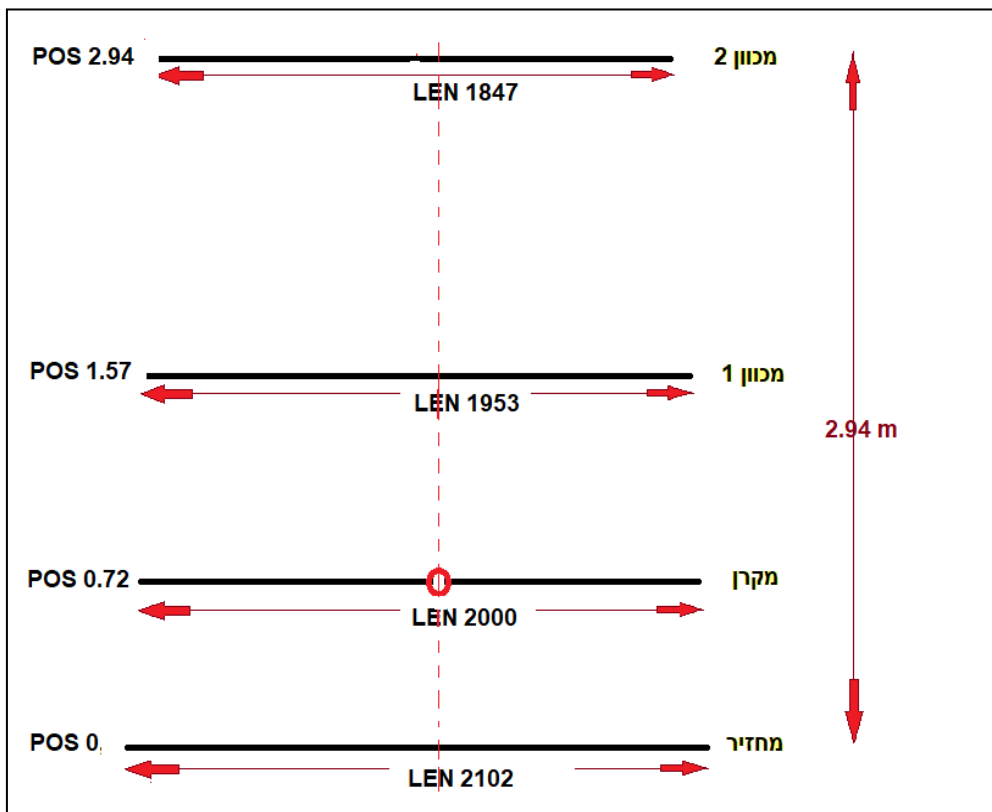
להכנת קו-התיאום ראה בהמשך וגם אצל - <https://www.qsl.net/dk7zb/start1.htm> DK7ZB.

האנטנה נמדדה - לפני הצבתה הסופית - בגובה 2 מטר (חצי אורך-גל) מעל רצפת המרפסת ונמצאה מאד דומה לתכנון. ביצעתי תיקון אחד בלבד לאחר ההרכבה הראשונית עקב טעות שלי בחיתוך! ולא בתכנון. (קיצור האלמנט המקרין בחצי ס"מ מכל צד). הצבתה הסופית היא ב-3.6 מטר מעל בטון הגג.

הקואקס במדידה זו היה 20 מטר פיזי של LMR-400, (כחמישה וחצי אורכי גל חשמלי) שבמדידה אחרת נמצא כבעל הפסד של 0.75 ד"ב ב 70 מה"ץ. (הנחת העבודה לכן לאבדן הספק בקו היא בסביבות 15%-20%).

## מידות וחומרים (מידות במ"מ אלא אם צוין אחרת)

מס	תיאור	תפקיד	כמות	אורך	קוטר/רוחב
1	פרופיל מרובע אלומיניום	נושא האלמנטים (Boom)	1	300	20X20
2	צינור אלומיניום	מחזיר	1	2102	10
3	צינור אלומיניום	מכוון 1	1	1953	10
4	צינור אלומיניום	מכוון 2	1	1847	10
5	צינור אלומיניום	מקטעי אמצע המקרין	2	470	16
6	צינור אלומיניום	מקטעי קצוות המקרין	2	525	13
7	מחברים עם בורג "פרפר" ופחית חיזוק	מחברי אלמנט לבום (למעט לאלמנט המקרין)	3	-	-
8	מחבר U מגלון או נירוסטה	חיבור בום לתורן	1	-	-
9	מהדק מתכוונן (בנד)	הידוק חלקי האלמנט המקרין	2	-	-
10	לוחית מבודדת קטנה.	לחיבור המקרין ל-BOOM.	1	80	50
11	קו תמסורת 25 אוהם רבע אורך גל. <b>ראה פסקה נפרדת</b>	תיאום 4:1 במקרין.	1	640	
12	שקע קואקסיאלי	נקודת ההזנה בקצה קו-התיאום.	1		
13	זווית אלומיניום	חיבור שקע קו-ההזנה על הבום	1	40	20
14	ברגים שונים + אומים ושייבות	ללוחית המבודדת ולמחבר הזינה	8	40	



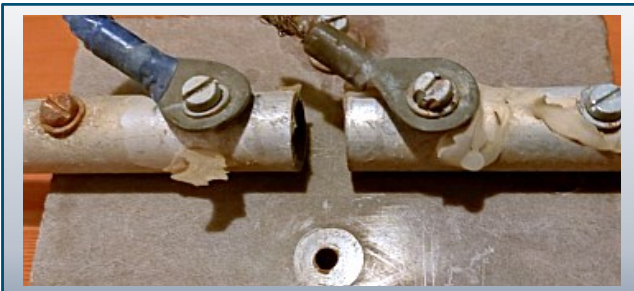
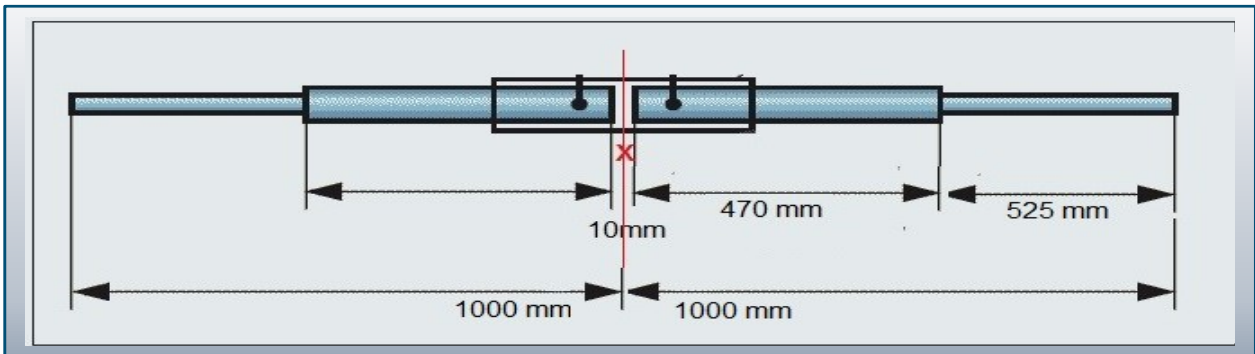
### תרשים האנטנה:

מיקום האלמנטים במטרים.

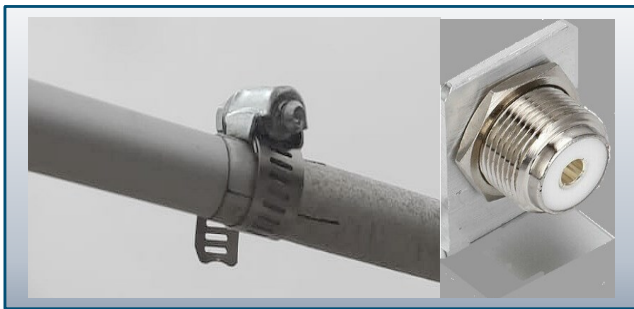
אורך האלמנטים במ"מ.

## האלמנטים:

**האלמנט המקרין** מפוצל במרכזו ובנוי מ-2 חלקים "טלסקופיים" זהים המחוברים ללוחית מבודדת שמחוברת ל-Boom. החלקים מופרדים ביניהם 1 ס"מ. כל חלק ("צד") בנוי מצינור בקוטר 16 מ"מ שבתוכו צינור 13-14 מ"מ. אורך צינור ה-16 מ"מ הוא 470 מ"מ, ואורך צינור ה-13 מ"מ הוא 600 מ"מ. צינור זה מושחל בתוך צינור ה-16 מ"מ כך שנותרים 525 מ"מ אחרי ההשחלה ובסה"כ אורך הצד הינו כ-1.00 מטר (כולל 5 מ"מ של חצי המרווח). בקצה הצינור העבה יותר, חריץ באורך 4 ס"מ ועליו "בנד" נירוסטה לחיזוק הצינור הדק שבתוכו. סה"כ אורך 2 צדדים = 200.0 ס"מ כולל הרווח של 1 ס"מ ביניהם. (בפועל ניתן לכוון מידות אילו להשגת יג"ע מיטבי).



בתמונה משמאל מרכז האלמנט המקרין (מאנטנה ישנה) להמחשת צורת חיבור אפשרית. רצוי להשתמש בפרזול אל-חלד לרבות האומים ו"שייבות" קפיץ, ולהימנע ככל הניתן משיתוך בחיבורים. בתמונות האמצעיות מתחתי חיבור הצינורות באופן טלסקופי עם "בנד" מהדק, ומבנה זווית האלומיניום למחבר ההזנה קואקסיאלי.

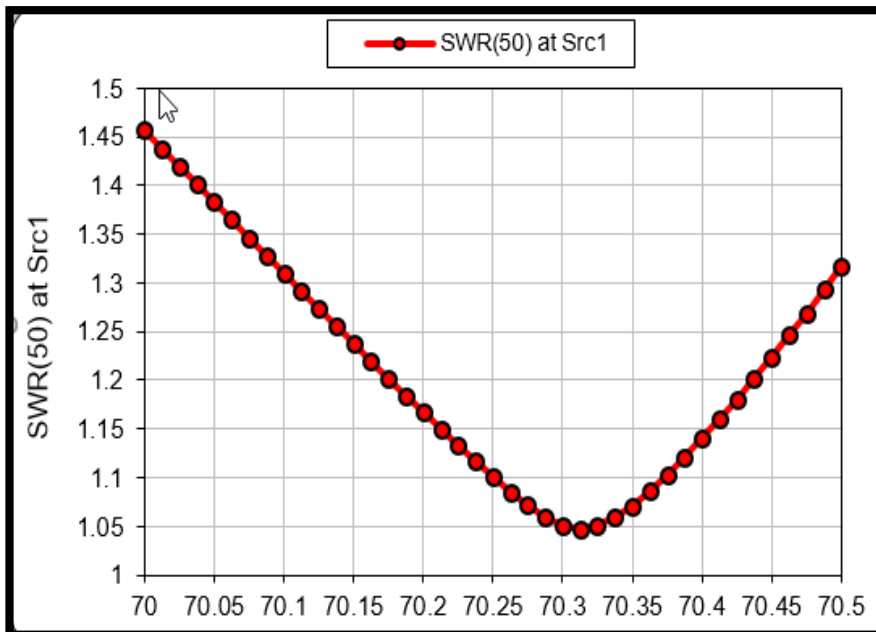


**3 האלמנטים: מחזיר, מכוון ראשון ומכוון שני** בנויים מצינור יחיד בקוטר 10 מ"מ שמחובר גלונית ל-BOOM ע"י מחברים כמו שבאנטנת טלוויזיה:



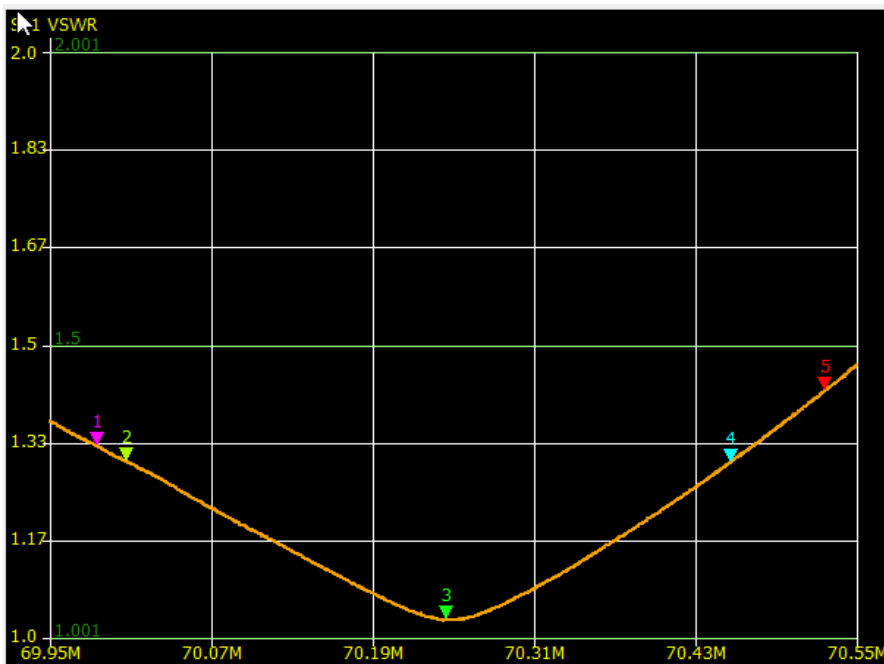
# תכנון מול ביצוע-I: SWR (2 מטר גובה, התקנה זמנית)

התכנון ב EZNEC.



בפועל  
NanoVNA-Saver

כל הפס (500 קה"ץ  
בין סמנים קיצוניים)  
היטב בתוך 1:1.5.



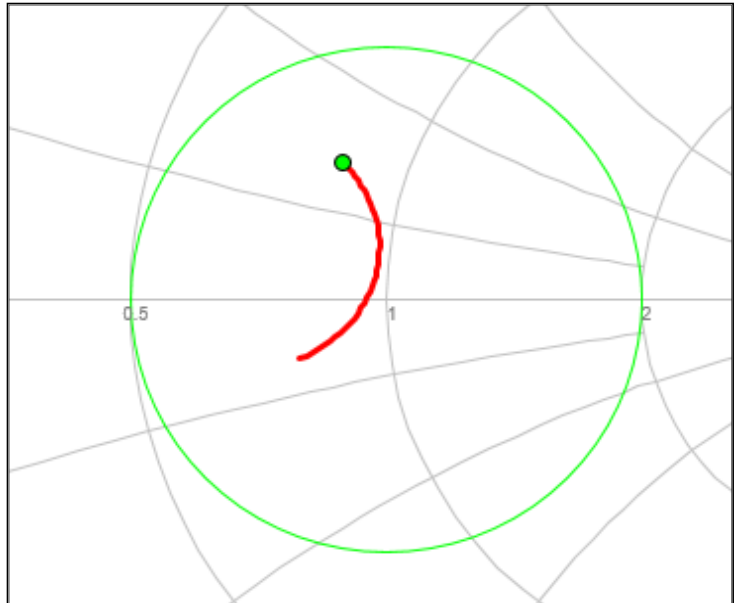
מקרא

Sweep control		Markers	
Start	69.95MHz	Center	70.25MHz
Stop	70.55MHz	Span	600kHz
Segments	12	495.5Hz/step	
Sweep settings ...		Marker 1	69.985145MHz
		Marker 2	70.006675MHz
		Marker 3	70.244273MHz
		Marker 4	70.455714MHz
		Marker 5	70.52519MHz

# תכנון מול ביצוע-II: סמית

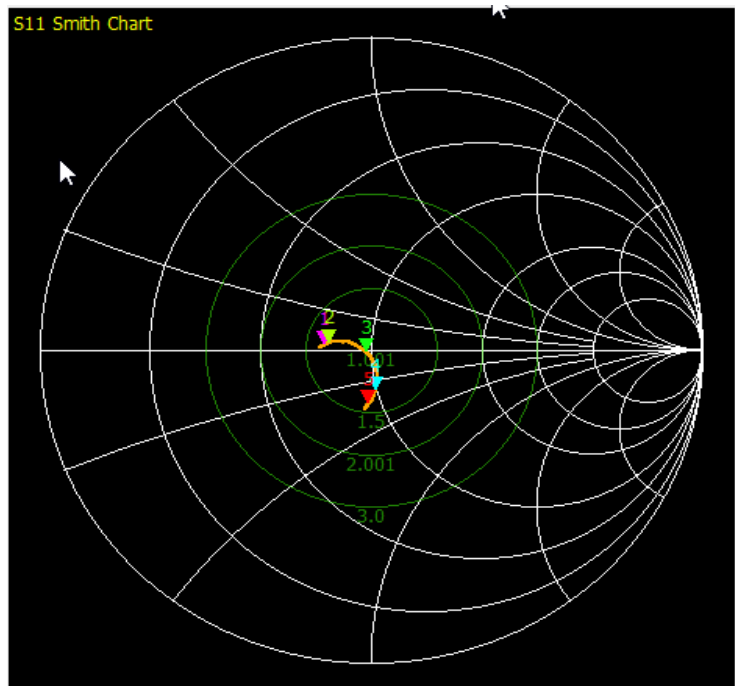
(2 מטר גובה, התקנה זמנית)

התכנון ב EZNEC.  
מעגל היג"ע 1:2.



בפועל  
.NanoVNA-Saver

כל הפס היטב בתוך  
מעגל היג"ע 1:1.5.



## מקרא

Sweep control		Markers				
Start	69.95MHz	Center	70.25MHz	Marker 1	69.985145MHz	
Stop	70.55MHz	Span	600kHz	Marker 2	70.006675MHz	
Segments	12		495.5Hz/step	Marker 3	70.244273MHz	
Sweep settings ...				Marker 4	70.455714MHz	
100%				Marker 5	70.52519MHz	

## קו התיאום - 1 (כיוון ע"י שימוש ב-NanoVNA)

כאמור בנוי משני מקטעים זהים באורכם של קואקס 50 אוהם דוגמת RG-58 (שלא יהיה כבד...) האורך הוא רבע אורך גל חשמלי ב-70.25 מה"ץ, ותלוי במקדם המהירות VF של הכבל שבישום ללא הקצוות החשופים. אצלי זה הסתיים ב-64 ס"מ. לכבל עם VF של 0.66 האורך ההתחלתי יהיה 70 ס"מ. הבניה הפשוטה ביותר תהיה לחתוך ל-75 ס"מ (, למדוד, לקצץ ולמדוד.



את סיכוכי הכבלים יש להלחים בקצותיהם זה לזה במקביל באופן ההדוק והקצר ביותר. את המוליכים האמצעיים גם לחבר באופן הקצר ביותר האפשרי ולהשאיר כחצי ס"מ לחיבור לנקודת ההזנה.



לצרכי המדידה בקצה אחד יש לחבר נגד לא השראי של 12-13 אוהם לדימוי  $|Z|$  האנטנה 12.5 אוהם. (לא לשכוח להורידו לקראת ההרכבה....)

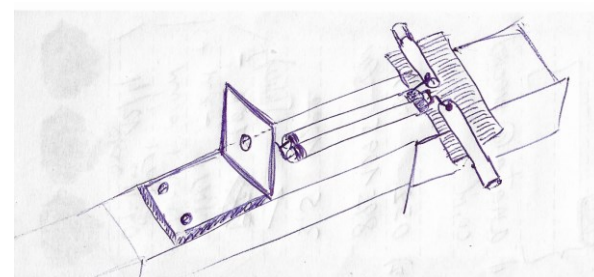
בשלב המדידה בקצה השני לחבר קו-תמסורת קואקס 50 אוהם באורך כלשהוא עם מחבר מתאים ל-VNA. את כיוול ה-VNA יש לבצע עם התחשבות בכבל הזה. מכיוון שאמור להיות תיאום ל-50 אוהם בקצה קו-התיאום, לא ישנה כמעט דבר אורך קו התמסורת בפועל מהמקמ"ש לחיבור באנטנה (בהנחה שהפסדיו קטנים ואיכותו טובה).



לצרכי ההרכבה יש לחבר לקצה השני טבעות-חיבור (קוטר הבורג של החיבור לאלמנט) ע"י 2 חוטים של כ-1-2 ס"מ יותר קצר יותר טוב! הערה: למרות שהמדידה איננה כוללת את שני החוטים והטבעות הללו, רוחב הסרט של התיאום מכסה את ה"טעות" העתידית.



חיבור קו התיאום בין האלמנט המקרין ובין זווית החיבור של שקע ההזנה. יש לחבר את הזווית ל-Boom ולקו התיאום לאחר שהוכן קו התיאום הסופי, שאז ניתן למדוד בדיוק את המרחק מהמקרין לנקודת החיבור שלה על ה-Boom.

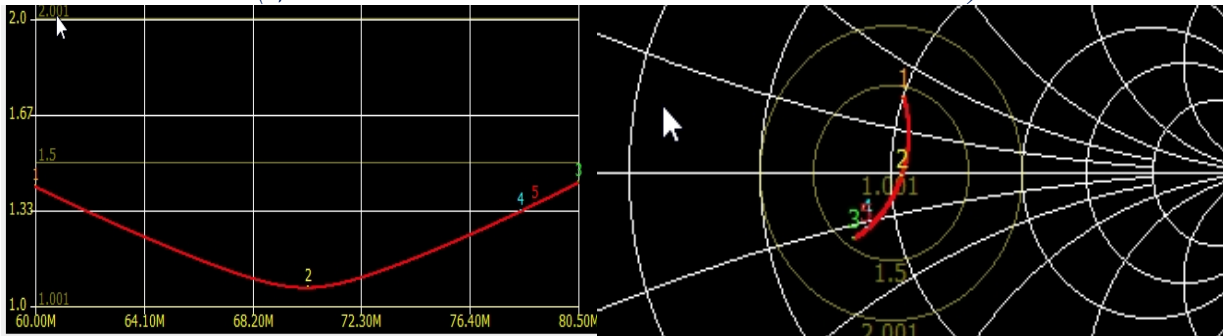


ראה גם הערות במסגרת בעמוד הבא.

## קו התיאום - 2:



קו התיאום מחוזק באזיקונים על ה-BOOM.  
 לפני ההרכבה יש למודדו כשבקצו האחד נגד 12.5 אוהם כמוסבר קודם.  
 (מחבר ה"U" ה"אל-חלד" ... מחבר לצינור שמשמש כתורן.)



**חובה לכייל ה-VNA** בתחום רחב (60-80 מה"ץ כאן) ורצוי 5-15 "Points" לדיוק מירבי. את המדידה עושים ל-S11 כמו שמודדים יג"ע באנטנה. פה רוחב הפס מתחת 1.5:1 הינו כ-20 מה"ץ וזה הגיוני ובדיוק מה שאנו מחפשים. נקודת האמצע "2" בתרשימים היא במרכז גל ה-4 מ'.

### מקרא

לנקודה "2"

Marker 2	
Frequency:	70.2866 MHz
Wavelength:	4.265 m
Impedance:	52.9-j1.35 Ω
Series R:	52.895 Ω
Series L:	-3.0617 nH
Series C:	1.6747 nF
Parallel R:	52.93 Ω
Parallel X:	1.0935 pF
VSWR:	1.064
Return loss:	-30.158 dB
S11  Z :	52.913 Ω
S11 Phase:	-24.28°
S21 Gain:	-85.962 dB
S21 Phase:	12.33°

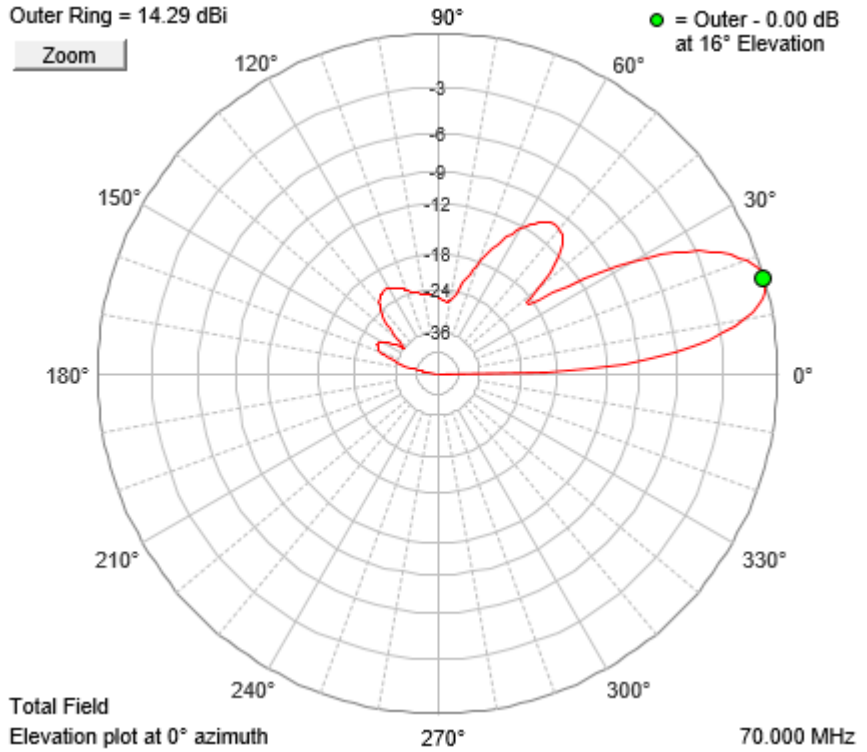
הערה:

באנטנה זו נמתח קו התיאום מהמקריין לכיוון המכוונים (ראה תמונת השער) כדי להתקרב לנקודה בה מחוברת האנטנה לעמוד. אין מניעה להתקין הכל בכיוון הפוך דווקא לכיוון המחזיר – הכל לפי נוחיות ההתקנה המבוקשת. (מעניין יהיה להבין האם יש לכך משמעות מבחינת עקום הקרינה).

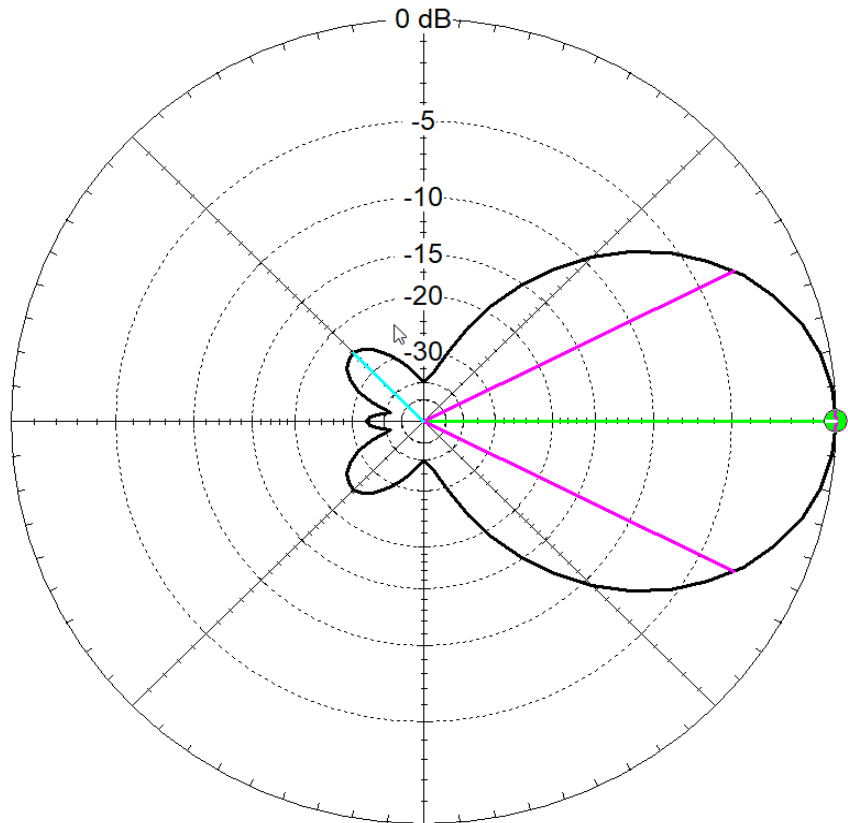


# עקומות קרינה של האנטנה – תכנון:

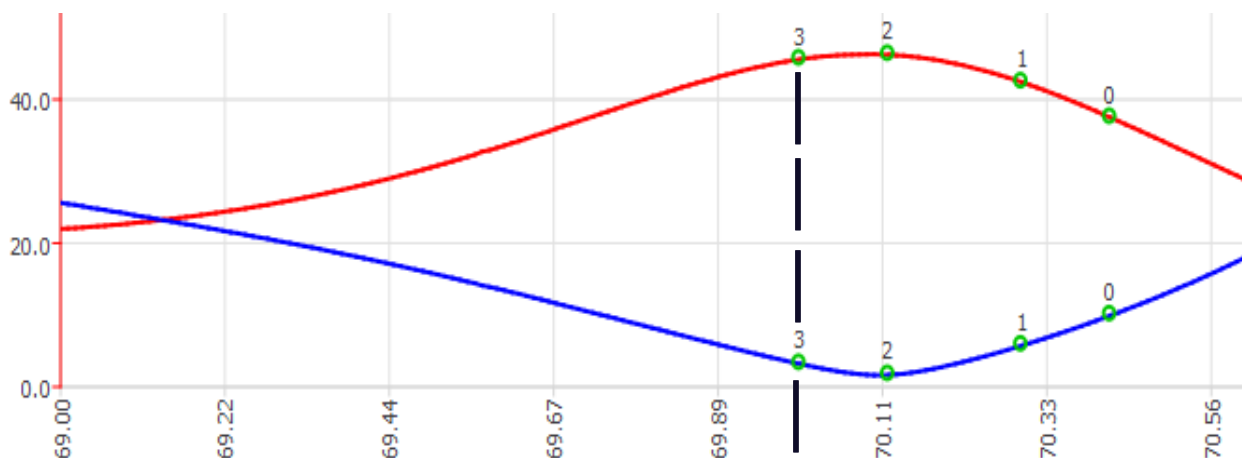
אנכי



אופקי



## תוצאות התקנה קבועה גובה 3.6 מ':



בכחול ערכי היג"ע, באדום ערכי העכבה  $|Z|$  בפרט בתחום 70-70.50 מה"ץ.  
ביחס למדידה בגובה 2 מ' תדר מינימום היג"ע ירד מ-70.25 מה"ץ ל-70.12 מה"ץ.

3	70.00 MHz	45.5 $\Omega$	1.16:1
2	70.12 MHz	46.1 $\Omega$	1.09:1
1	70.30 MHz	42.3 $\Omega$	1.29:1
0	70.42 MHz	37.4 $\Omega$	1.50:1

## סיכום:

1. האנטנה במקומה הסופי (3.6 מ') מתנהגת "מעט שונה אך עדיין די דומה" לתכנון ב-EZNEC וב-MMANA (עקום-קרינה אין ביכולתי למדוד...) היא מציגה יג"ע מינימאלי בתדר נמוך מהמתוכנן ב-130 קה"ץ וכתוצאה מכך רוחב הפס ליג"ע 1:1.5 קטן ב-20% מ-500 קה"ץ ל-400 קה"ץ.
2. זיזת תדר מינימום היג"ע צפויה מהשינוי בגובה ההתקנה ואולי אף מסביבת האנטנה. תיקון דרך כיוונון ה-"טלסקופיה" באלמנט המקרין מאד נוח ללא מאמץ רב ואין שום צורך להכין את שאר האלמנטים בצורה טלסקופית.
3. לאחר בחינת Band-Plan של גל ה-4 מטר (ראה גם נספח בקשת ההיתר ממשהת"ק), החלטתי שלא לשנות את האלמנט המקרין לטובת הזזת מרכז היג"ע. האמור כי רוב הפעילות השימושית שלי (SSB FT8 CW) הנה באזור 70.1 – 70.35 מה"ץ והתוצאה לעיל של האנטנה מספקת לכל צורך מעשי.
4. קו התיאום של 25 אוהם קל להכנה (ואף למדידה וכיוונון) ובעל רוחב סרט מספק בעליל. יתרון נוסף של קו תיאום שכזה הוא שניתן להשתמש בו כ-Choke-Balun בדומה להתקן "בזוקה" באם תבוצע הארקה שלו בנקודת רבע-אורך גל מנקודת החיבור לאלמנט המקרין (וזו בדיוק מיקום השקע...).
5. ניתן להכין גרסה של האנטנה הזו בקלות רבה לחיבור ישיר ל-50 אוהם. ה"מחיר" הינו שבח מופחת קצת ויחס קדימה\אחורה אחר, אבל אולי רוחב הסרט יהיה רחב יותר.
6. טיוב (אופטימיזציה) ב-EZNEC מייגע (בלשון המעטה) אלא אם נעזרים ב-AutoEZ. בתכנת MMANA האופטימיזציה קיימת בתכנה והפעלתה פשוטה ומיידית.

## בהצלחה