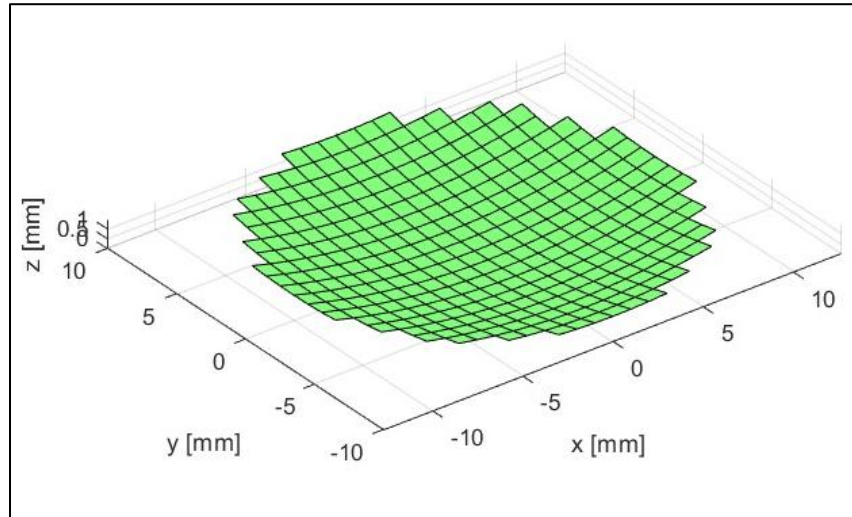


# פרויקט משכילים באולטרסאונד

מגישים: יותם מלאכי 207180696 | הדר מנשה 319096764

## שאלה 1

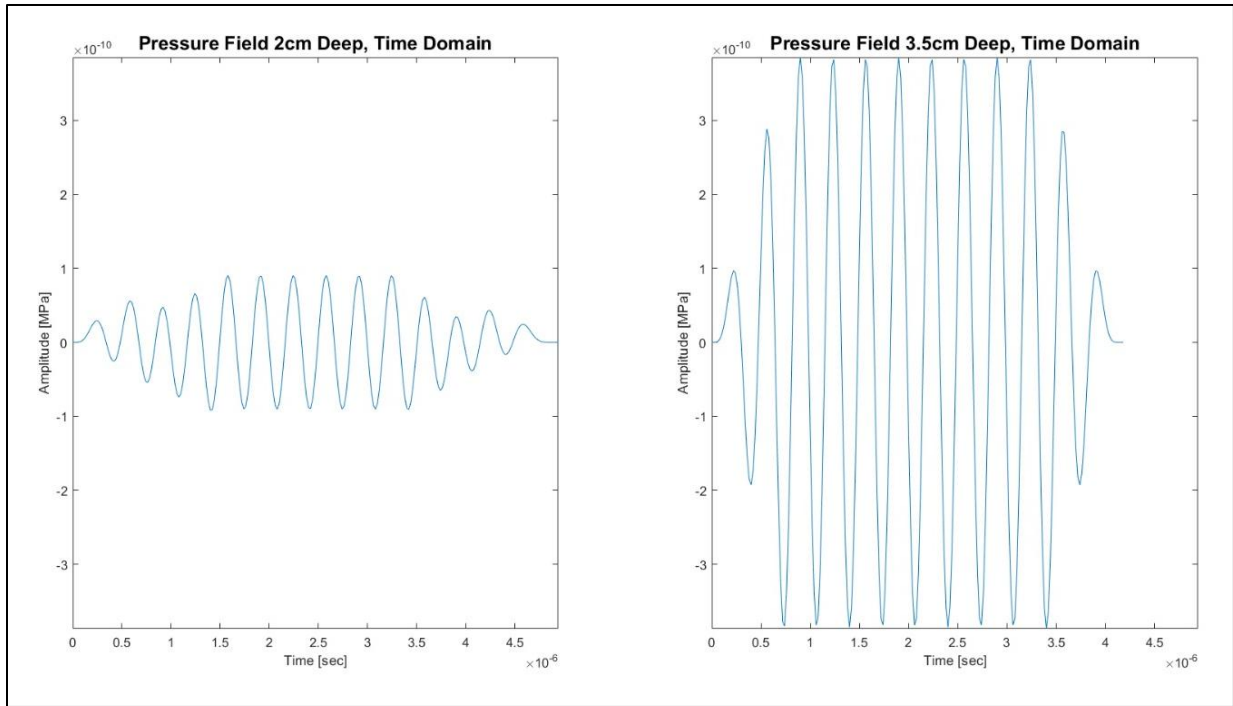
א. באמצעות חבילת המטלב FieldII הגדרנו מתמר עגול וקעור ברדיוס 1 ס"מ, שהפיקוס הגאומטרי שלו מוגדר ע"י רדיוס קעירות המתמר שהוא 4 ס"מ. המתמר מורכב מאלמנטים, ריבועיים בגודל 1 מ"מ.



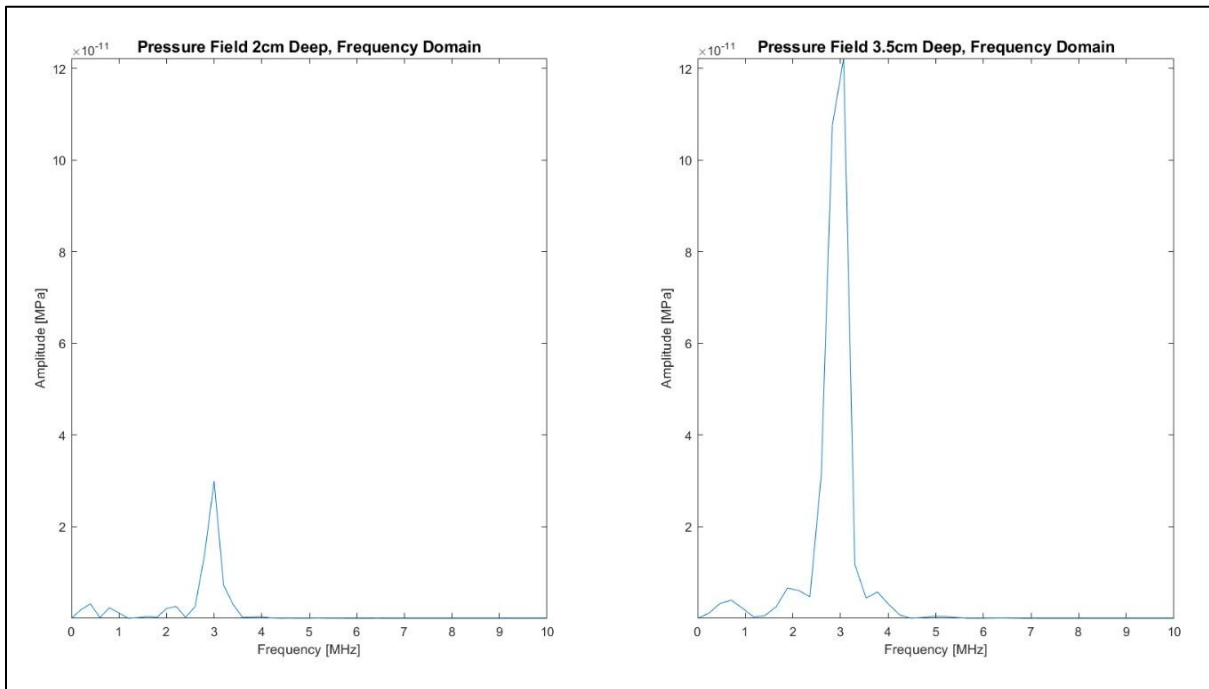
איור 1: המתמר שהוגדר ב-FieldII

ב. ביצענו סימולציה בתוך מים של שידור 10 מחזורים של סינוס, בתדר מרכזי של 3 MHz, כאשר התגובה להלם של המערכת הוגדרה להיות סינוס עם 2 מחזורים ותדר דגימה של 50 MHz. לאחר מכן, דגמנו את השדה המשודר בשתי נקודות:  $(0, 0, 2\text{cm})$  ו-  $(0, 0, 3.5\text{cm})$ .

להלן השדה הנדגם בנקודות אלו, במישור הזמן והתדר:



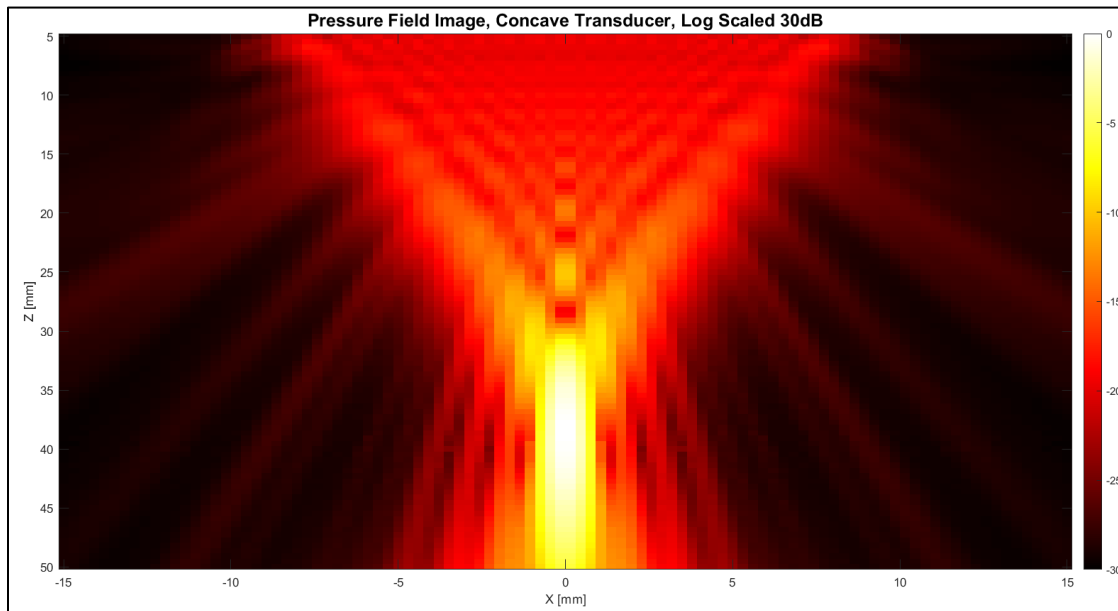
איור 2 : השדה האקוסטי במישור הזמן בנקודות העניין 20 ו-35 ס"מ



איור 3 : השדה האקוסטי במישור התדר בנקודות העניין 20 ו-35 ס"מ

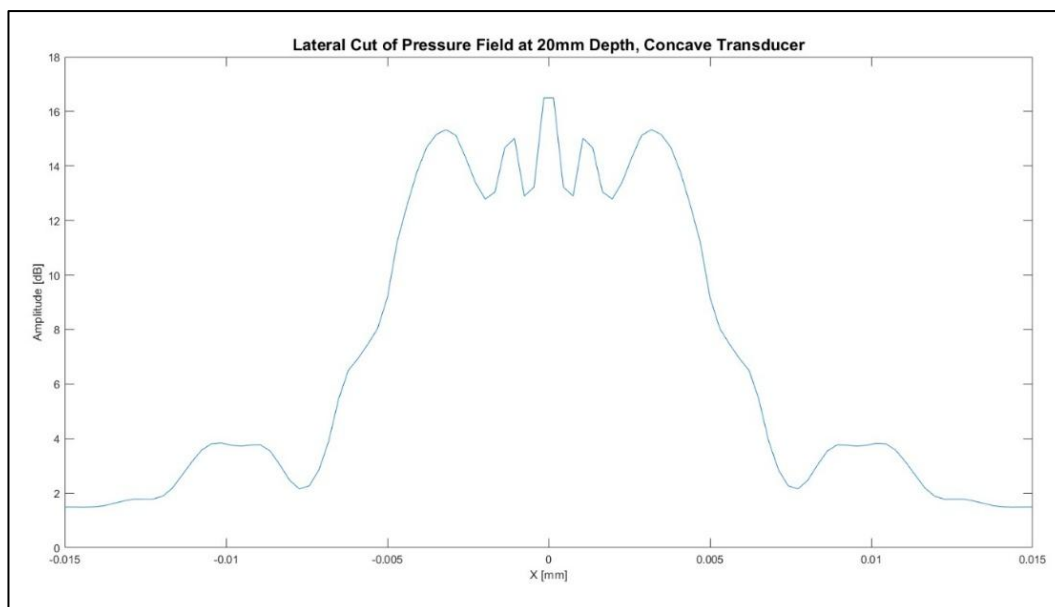
ניכר הבדל משמעותי בלחצים הנמדדים בין שתי הנקודות. במישור הזמן והתדר האמפליטודה של השדה המשודר ב-3.5 ס"מ יותר גדולה מאשר ב-2 ס"מ. נציין כי הפוקוס של המתמר הוגדר לעומק של 4 ס"מ ולכן ככל שהעומק מתקרב לנקודת הפוקוס, כך האמפליטודה גדולה יותר.

ג.

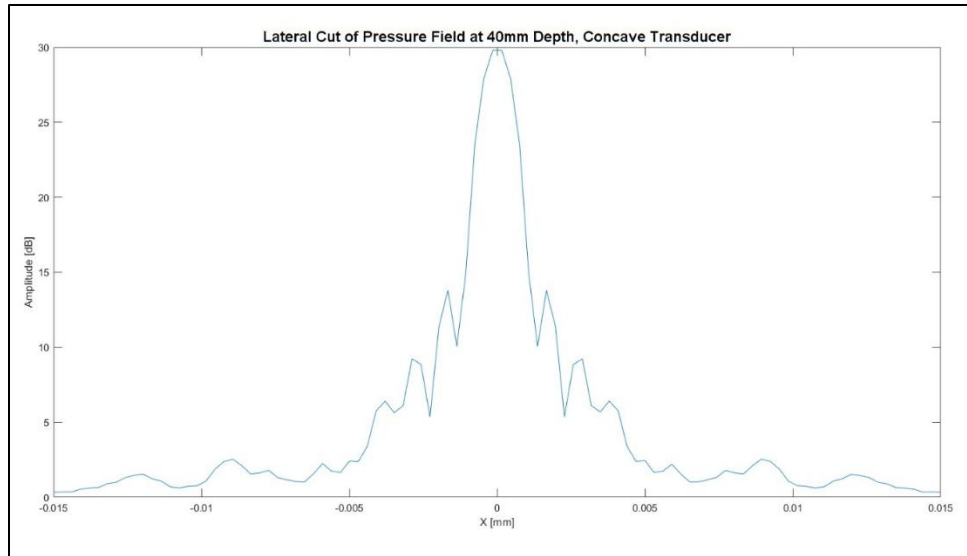


איור 4 : תמונת השדה בסקלה לוגריתמית

ד.



איור 5 : חתך לטרלי של השדה בעומק 2 ס"מ



איור 6: חתך לטרלי בעומק 4 ס"מ

בעומק 2 ס"מ ניכר כי האונה יותר רחבה, ולא חלקה כתוצאה מהתאבכויות – "סינק בהתהוות".

לעומת זאת, בעומק 4 ס"מ האונה המרכזית בעלת אמפליטודה גדולה יותר משמעותית ביחס לאונות הצד שמתקבלות. כמו כן, רוחב האונה המרכזית קטן יותר מה שמקנה רזולוציה לטרלית טובה יותר (על פי עקרון FWHM), כצפוי שכן הפוקוס מוגדר לעומק זה. נעדיף לעשות הדמיה עם החתך ב-4 ס"מ.

בוצעה הערכה לגודל ה-FWHM לפי חישוב ידני בעזרת Data tips:

$$FWHM_{2cm} = 0.011 [mm]$$

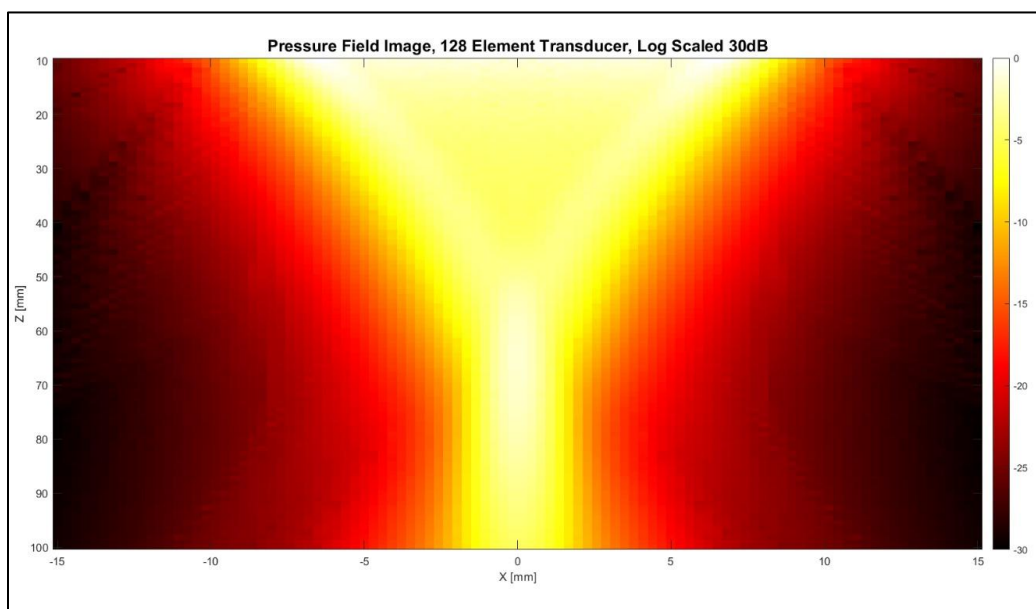
$$FWHM_{4cm} = 2.12 * 10^{-3} [mm]$$

ניכר שיש הבדל של סדר גודל בגודל ה-FWHM בין העומקים השונים. הערכה זו מחזקת את הטענה כי הרזולוציה הטרלית משתפרת ככל שקרובים יותר לעומק הפוקוס.

(נציין שבמדידה בעומק 2 ס"מ עדיין לא הגענו למצב של סינק ועל כן החישוב של ה-FWHM לא בעל משמעות).

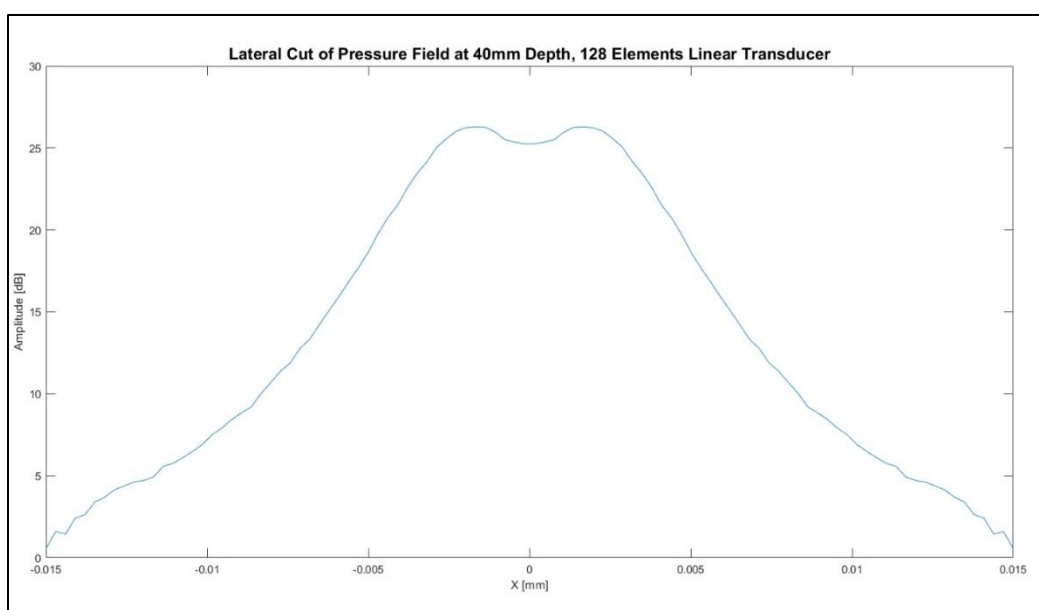
## שאלה 2

א. בחלק זה הוגדר מתמר לינארי בעל 128 אלמנטים, במרווחים של 0.5mm, כאשר רוחב האלמנטים הוא 0.1mm וגובה 1mm. המתמר בעל תדר מרכזי של 3MHz והתגובה להלם הוגדרה להיות סינוס בעל מחזור יחיד. להלן תמונת השדה האקוסטי המשודר במישור X-Z:



איור 7: שדה הלחץ בסקלה לוגריתמית 30dB

ב.



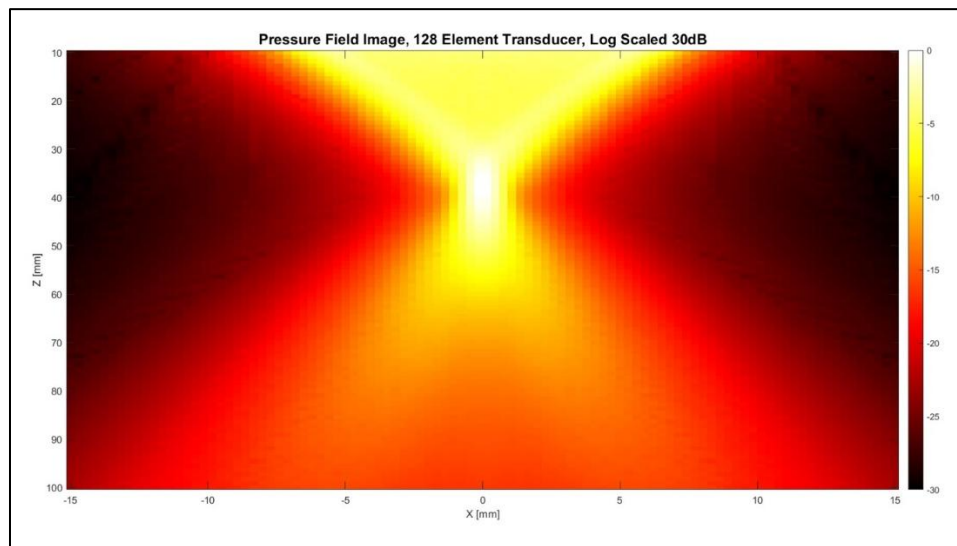
איור 8: חתך לטרלי של השדה המשודר בעומק 4 ס"מ

במתמר העגול והקעור משאלה 1, הפוקוס הגיאומטרי מוגדר לפי רדיוס הקעירות של המתמר. לכן, בעומק של 4 ס"מ מתקבלת אונה מרכזית צרה. לעומת זאת, במתמר הליניארי, הפוקוס הגיאומטרי הוגדר בעומק של 8 ס"מ. בעומק זה, האונה המרכזית רחבה יותר.

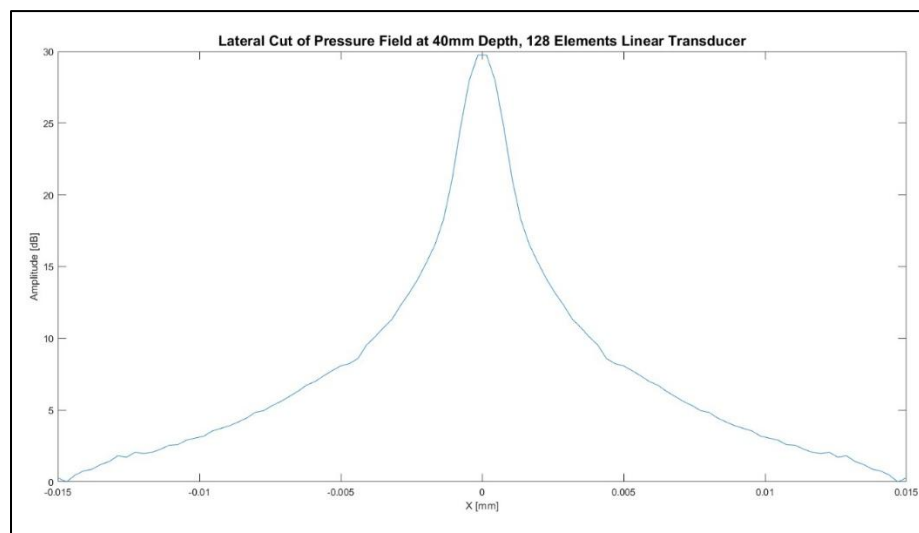
מכיוון שככל שהאונה המרכזית רחבה יותר, הרזולוציה הטרלית פחות טובה נקבל שבעומק של 4 ס"מ הרזולוציה הטרלית שמתקבלת מהמתמר הלינארי פחות טובה מזו שתתקבל מהמתמר העגול והקעור.

כמו כן, במתמר עגול וקעור האולטרסאונד מתמקד באופן "טבעי" בגלל הצורה הגיאומטרית שלו, בעוד שבמתמר ליניארי נדרשנו להגדיר פוקוס גיאומטרי באמצעות הכלים ב-FieldII בעומק הרצוי.

ג.

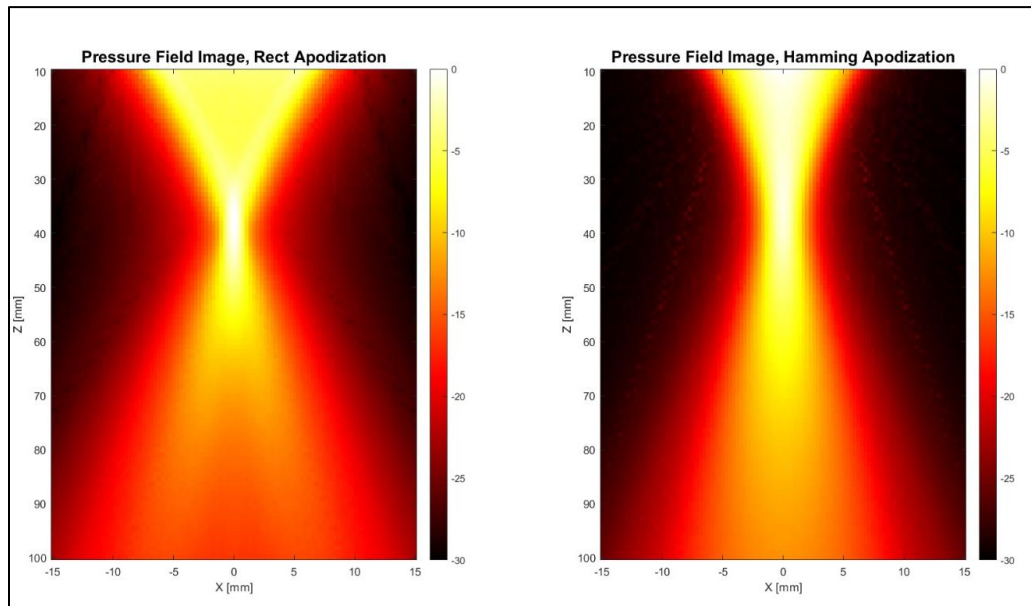


איור 9 : השדה המשודר בעומק 4 ס"מ

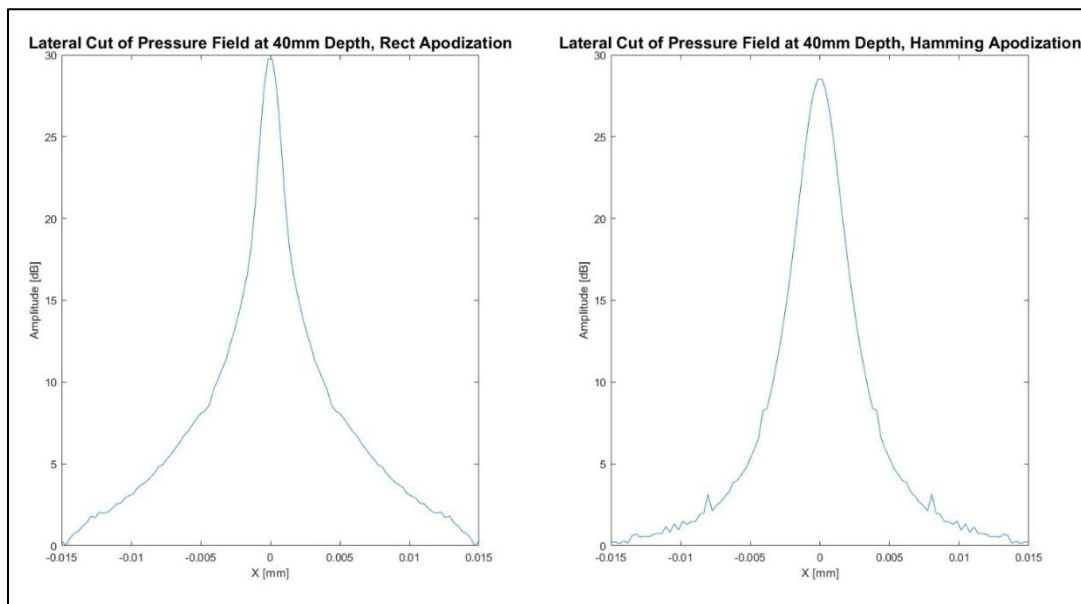


איור 10 : חתך לטרלי של השדה בעומק 4 ס"מ

ד. בחלק זה נרצה להשוות בין שני סוגים של אפודיזציות: אפודיזציה אחידה לכל האלמנטים (rect) ואפודיזציית חלון עם הפונקציה hamming. ככלל, מטרת אפודיזציה היא להפחית את עוצמת האות מהמרכז לכיוון השוליים בכדי להימנע מהשפעות לא רצויות בשוליים כמו אונות צד ולשפר את הרזולוציה.



איור 11: השוואה בין השדות המשודרים. משמאל מתמר עם אפודיזציית מלבן ומימין מתמר עם אפודיזציית hamming



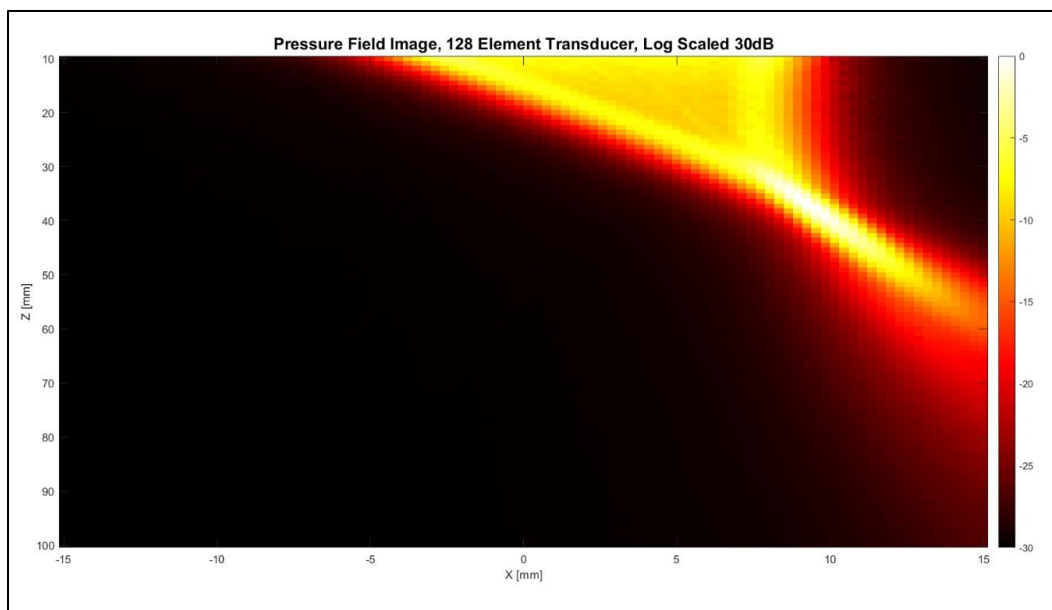
איור 12: חתכים לטרליים בעומק 4 ס"מ של מתמר עם אפודיזציית מלבן ואפודיזציית hamming

נבחין כי האונה המרכזית באפודיצזיית rect יותר צרה מאשר באפודיצזיית hamming. לכן לפי עקרון FWHM, הרזולוציה הלטרלית המתקבלת ע"י שימוש באפודיצזיית rect בעומק הפוקוס עדיפה. בנוסף, עוצמת השדה המתקבלת בפוקוס יותר גדולה וללא אונות צד. לכן, נעדיף להשתמש באפודיצזיית rect.

ה. בסעיף זה, כתבנו פונקציה בשם Delay, שמטרתה לחשב זמנים בהם כל אלמנט במתמר יורה על מנת לצור פוקוס בנקודה רצויה. החישוב בפונקציה התבסס על המרחק הגיאומטרי בין כל אלמנט לנקודת הפוקוס הנתונה, תוך התחשבות במהירות הקול בתווך:

$$t_i = \frac{\sqrt{x_{focal}^2 + z_{focal}^2} - \sqrt{(id - x_{focal})^2 + z_{focal}^2}}{c}$$

לאחר מכן, דגמנו את השדה הלוח-חזור שפוקס לנקודה (10, 0, 40)mm באמצעות שימוש בפונקציית Delay.



איור 13: השדה הלוח-חזור בפיקוס לנקודה [1, 0, 4]cm

### שאלה 3

א. בשאלה זו, תבקשנו לפקס את המתמר הלינארי לשתי נקודות שונות בו-זמנית. לשם כך, בחנו שתי שיטות שבהן האלמנטים במתמר חולקו לשתי קבוצות באופן שונה, כך שכל קבוצה ירתה גל לחץ לאחת מנקודות הפוקוס. בכל קבוצה יורים 64 אלמנטים גל לחץ לעבר נקודה אחת בלבד.

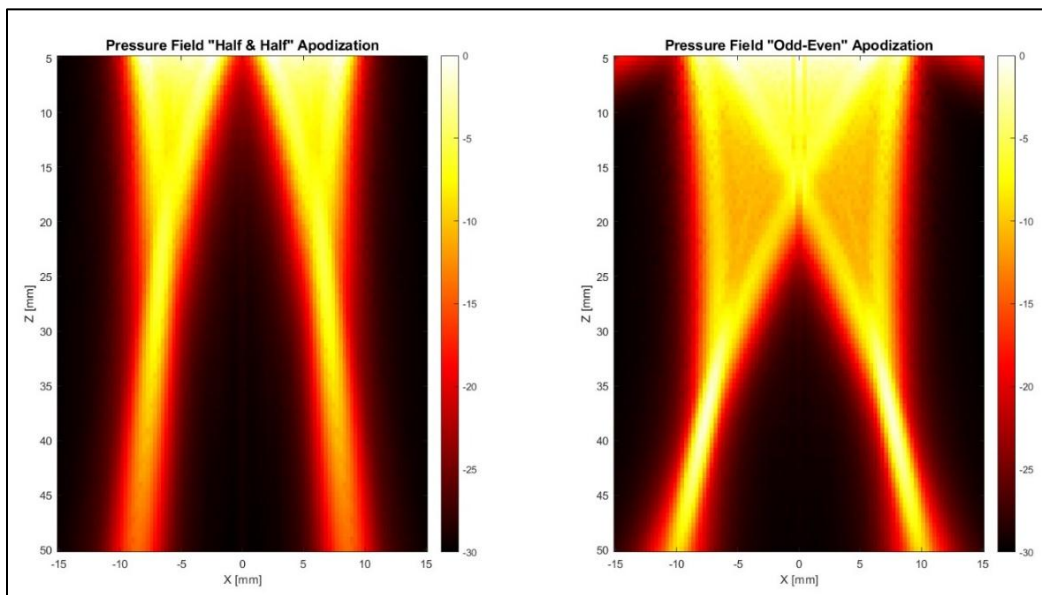


שיטת חלוקה "Half & Half" :

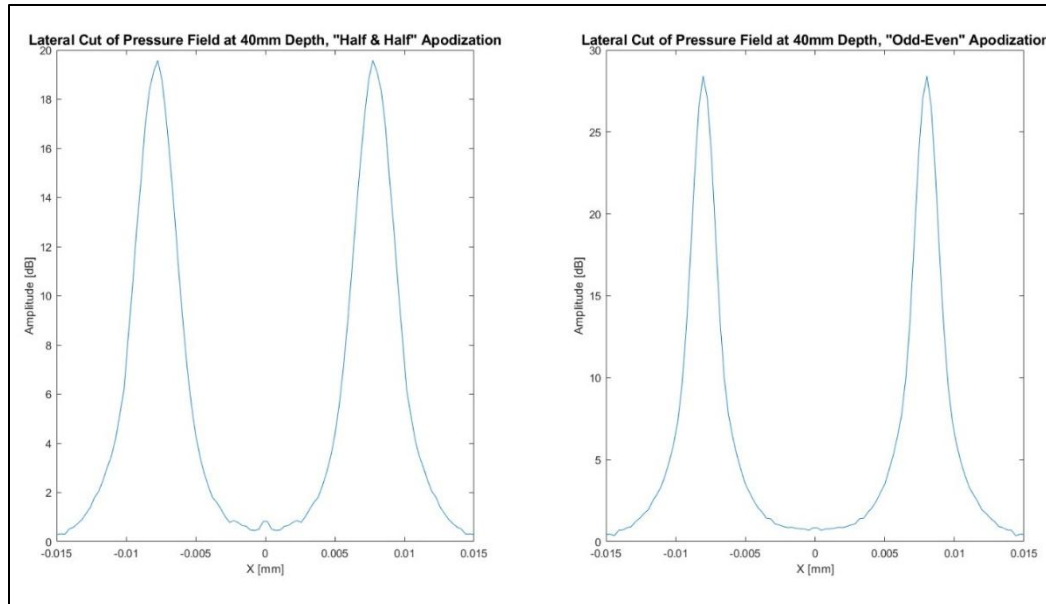
המתמר חולק לצד ימין וצד שמאל ביחס למרכז. כל קבוצה כללה רצף של אלמנטים סמוכים, עם מרחק של **kerf** אחד ביניהם. חלוקה זו מאפשרת להתייחס אפקטיבית לכל צד כמתמר נפרד, בעל מפתח השווה למחצית מהמפתח המקורי. כל אחת מהקבוצות ירתה גל לחץ לנקודת הפוקוס הקרובה אליה.

שיטת חלוקה "Even - Odd" :

המתמר חולק לקבוצת אלמנטים זוגיים וקבוצת אלמנטים אי-זוגיים. המרחק בין האלמנטים בתוך כל קבוצה היא  $2\text{pitch}$ , בשל העובדה שכל קבוצה דילגה על אלמנט אחד בין שני אלמנטים סמוכים. חלוקה זו שמרה על המפתח הכולל של המתמר (השינוי במפתח הוא של אלמנט ועל כן הוא זניח).



איור 14 : תמונת השדה המשודר לפי שיטת חלוקה "Even - Odd" ו-"Half & Half"



איור 15: חתך לטרלי לפי שיטת חלוקה "Even - Odd" ו-"Half & Half"

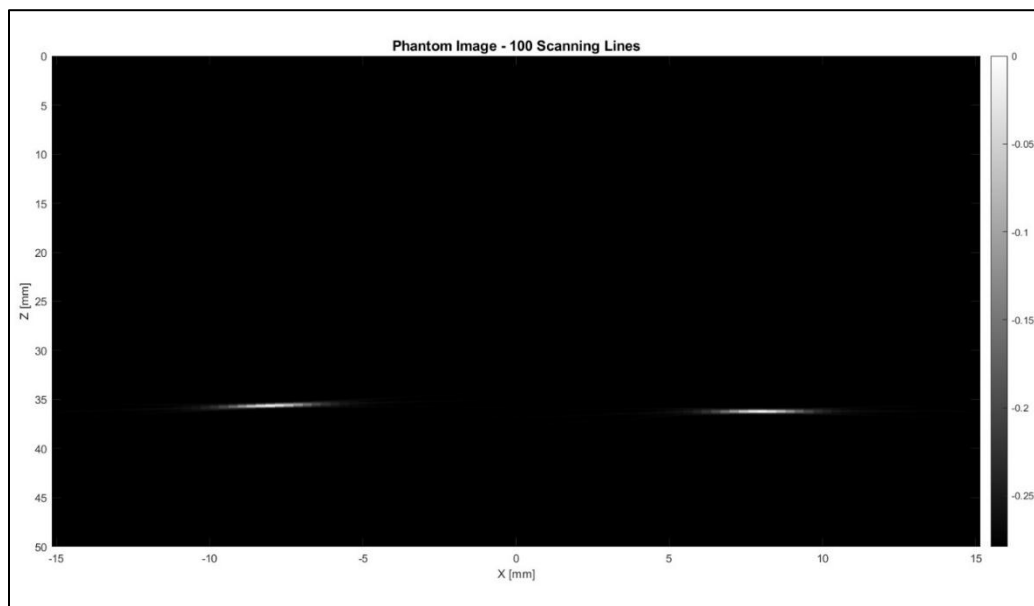
עוצמת השדה המתקבלת עבור שיטת חלוקה לפי אלמנטים זוגיים ואי-זוגיים יותר גבוהה. כמו כן, מבחינת רזולוציה מתקבלת תוצאה טובה יותר. כזכור, הרזולוציה לפי עקרון FWHM מתחשבת במפתח של המתמר-עבור מפתח יותר גדול הרזולוציה תשתפר. לכן, בשיטה בה הגודל מפתח קרוב לערכו המקורי, עדיפה.

$$\lambda = \frac{c}{f_0} = \frac{1540}{3 \cdot 10^6} = 0.513 \text{ mm}$$

$$FWHM_{Half \text{ and } half} = 0.886 \cdot \frac{0.513 \cdot 40}{64 \cdot 0.1 + 63 \cdot 0.05} = 1.833 \text{ mm}$$

$$FWHM_{odd-even} = 0.886 \cdot \frac{0.513 \cdot 40}{127 \cdot 0.1 + 126 \cdot 0.05} = 0.956 \text{ mm}$$

ב.



האובייקטים בתמונה המתקבלת נראים "מרוחים" בשל קונבולוציה של השדה המשודר עם ה-PSF. תופעה זו גורמת לאובייקטים לקבל רוחב מסוים הנקבע על ידי ה- FWHM של ה-PSF.

על מנת לשפר מעט את התמונה נוכל לשנות את הערכים הבאים :

#### 1. הגדלת D :

הגדלת המפתח האפקטיבי מפחיתה את ה- PSF. נוכל לבצע זו למשל ע"י שימוש בשיטת **Odd-Even**, שכן בסעיף הקודם הסקנו כי עדיפה.

#### 2. הגדלת תדר השידור :

הגדלת תדר השידור מפחיתה את אורך הגל (יחס הפוך לתדר השידור) ומאחר ש PSF-תלוי בגל זה משפר את הרזולוציה המתקבלת.