



מיסודם של
משרד הבינוי והשיכון

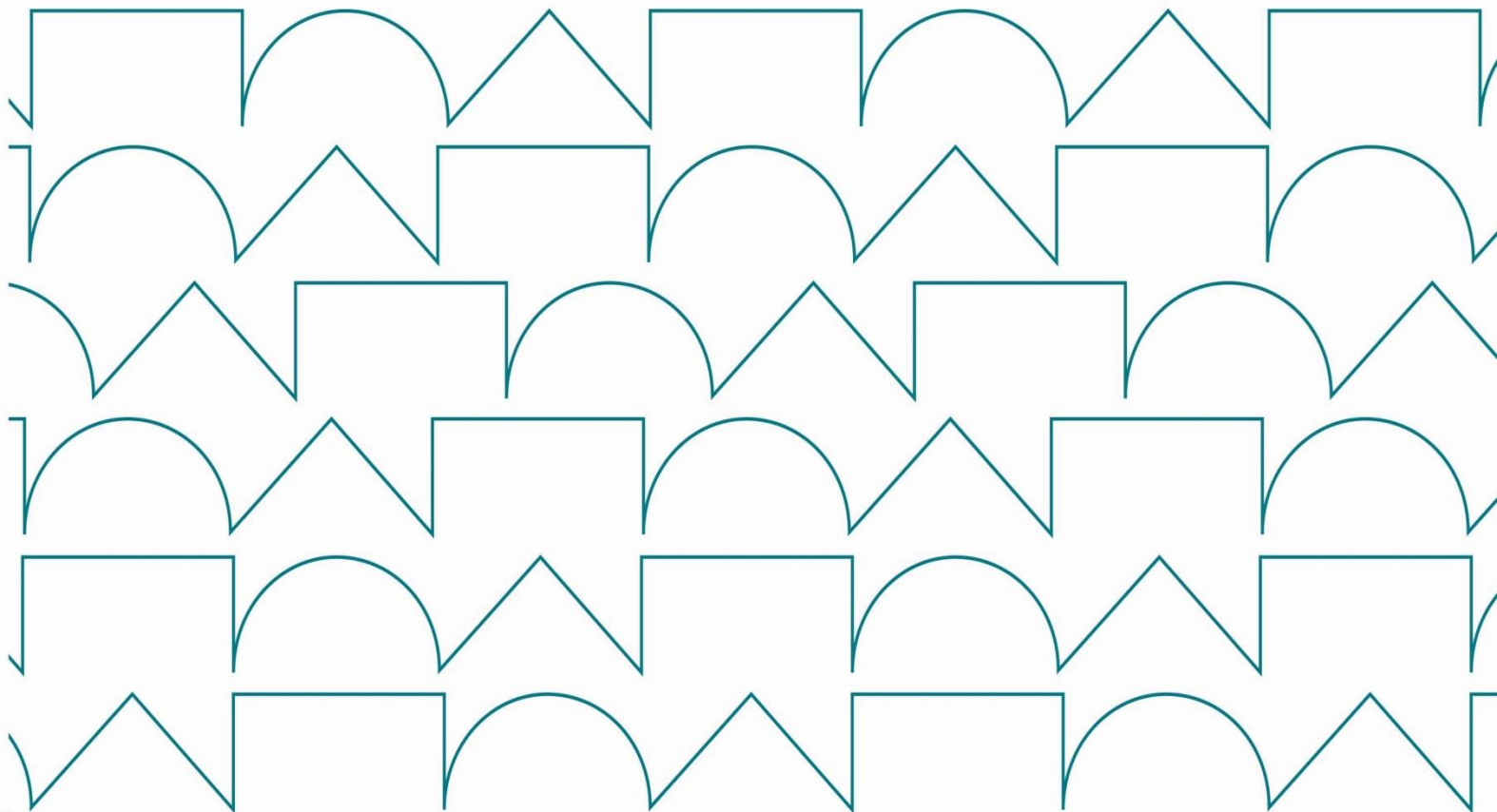


הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל
הפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית

המכון הלאומי לחקר הבנייה

תחליף לחול טבעי כתשתית לעבודות ריצוף כולל בדיקות אקוסטיות

הדסה באום יובל מנטל





מיסודם של Founded by

משרד הבינוי והשיכון MINISTRY OF CONSTRUCTION AND HOUSING

הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל TECHNION ISRAEL INSTITUTE OF TECHNOLOGY

הפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית Faculty of Civil & Environmental Engineering

NATIONAL המכון
BUILDING הלאומי
RESEARCH לחקר
INSTITUTE הבנייה

2006651

תחליף לחול טבעי כתשתית לעבודות ריצוף

כולל בדיקות אקוסטיות

ד"ר הדסה באום

ד"ר יובל מנטל

מלווי מחקר:

אינג' ליאו רובינס, משה רנסקי M.Sc, עמי-דוד פור, אינג' יעקב שיינהולץ

בהזמנת משרד השיכון

הזמנה מס. 5235056

Copyright© 2008 by H. Baum and J. Mantel,
The Israel Ministry of Construction and Housing and the Technion Research and
Development foundation, Limited, Haifa

למען הסר ספק מודגש בזאת כי החוקר, מוסד הטכניון למחקר ולפיתוח בע"מ והטכניון המכון הטכנולוגי לישראל – אינם ולא יהיו אחראים לכל פגיעה ו/או נזק ו/או הוצאות ו/או הפסד, מכל סוג ומין, שנגרם או עלול להיגרם לרכוש ו/או לגוף, כתוצאה ישירה או עקיפה, למקבל הדו"ח או לצד ג' כלשהו, עקב דו"ח זה או בהקשר אליו, לרבות בשל יישום האמור בו.

תוכן עניינים

1	תקציר
2	1. מבוא
2	2. מטרת המחקר
3	3. שיטת המחקר
4	4. סקירה כללית
9	5. הסברים רלוונטיים ורקע כללי הנוגעים להיבט האקוסטי
15	6. חומרים
17	7. בניית מערכות הריצוף השונות
22	8. תהליך העבודה והבדיקות שבוצעו
29	9. דיון בתוצאות
29	השפעת סוג החול על מלאכת הריצוף
31	השפעת סוג החול על שקיעת הריצוף
34	השפעת סוג החול על הבידוד האקוסטי
71	10. סיכום ומסקנות
73	רשימת ספרות

רשימת ציורים

- ציור 1 : שלבי הביצוע מערימת השומשום עד לחדר המגורים בדירה.....7
- ציור 2 : ספקטרום רעש צפוי בשימוש בפטישיה תקנית בתנאים תקינים.....11
- ציור 3 : מפלס הקול ההולם המשוקלל נמדד ע"פ מדת הזזת העקום בציור הני"ל (בצורה הנקבעת על ידי ISO 140) הדרושה על מנת שספקטרום הרעש יחפוף עם עקום השרטוט המוזז....14
- ציור 4 : עקומי דירוג של החולות ששימשו במחקר הנוכחי.....15
- ציור 5 : התקנת דיפוזרים במעבדת האקוסטיקה.....18
- ציור 6 : תכנית אחד החדרים אשר רוצף במעבדת האקוסטיקה.....19
- ציור 7 : תכנית החדר הנוסף אשר רוצף במעבדת האקוסטיקה.....20
- ציור 8 : פס הפרדה בין מערכת הריצוף לבין הקירות.....21
- ציור 9 : תיאור אופן העמיסה של חלק ממערכת הריצוף.....22
- ציור 10 : המאזנת והפלנופרלל ששימשו בעבודה הנוכחית.....23
- ציור 11 : אופן ביצוע המדידה באחד מהחדרים המרוצפים.....24
- ציור 12 : העומסים והנקודות בהן נבדקה השקיעה במערכת הייחוס שנבנתה עם חול טבעי N...25
- ציור 13 : העומסים והנקודות בהן נמדדה השקיעה במערכת הריצוף שנבנתה על תשתית חול SEZ.....26
- ציור 14 : העומסים והנקודות בהן נמדדה השקיעה במערכת הריצוף שנבנתה על תשתית חול SM.....27
- ציור 15 : העומסים והנקודות בהן נמדדה השקיעה במערכת הריצוף שנבנתה על תשתית חול DW.....28
- ציור 16 : מתקן הידוק ידני ששימש את הרצף לכבישת שכבת החול המיוצבת.....29
- ציור 17 : השוואה בין השקיעות שנמדדו במערכות הריצוף השונות.....34
- ציור 18 : השפעת הריצוף עם חול טבעי SN במצבי שירות שונים.....43
- ציור 19 : השפעת הריצוף על חול גרוס SEZ על תפקוד המערכת בתנאי שירות שונים.....52
- ציור 20 : השפעת הריצוף על חול מחצבה SM על תפקוד המערכת בתנאי שירות שונים.....61
- ציור 21 : השפעת הריצוף על חול מחצבה DW על תפקוד המערכת בתנאי שירות שונים.....70

רשימת טבלאות

- טבלה 1 : רמת לחץ מנורמלת של קול הולם של תקרת (רצפה) הייחוס 13
- טבלה 2 : דירוג ותכונות של סוגי החול השונים 16
- טבלה 3 : שקיעת הריצוף שניתן על מצע N 31
- טבלה 4 : שקיעת הריצוף שניתן על מצע SEZ 32
- טבלה 5 : שקיעת הריצוף שניתן על מצע SM 33
- טבלה 6 : שקיעת הריצוף שניתן על מצע D 33
- טבלה 7 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם לפני בניית הריצוף עם חול N 35
- טבלה 8 : בדיקת ייחוס אקוסטית, ראשונה, כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול טבעי N 36
- טבלה 9 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול טבעי N לאחר העמסה ראשונה 37
- טבלה 10 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול טבעי N לאחר פריקת עומס ראשונה 38
- טבלה 11 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול טבעי N לאחר העמסה שנייה 39
- טבלה 12 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול טבעי N לאחר פריקת עומס שנייה 40
- טבלה 13 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול טבעי N לאחר העמסה שלישית 41
- טבלה 14 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול טבעי N לאחר פריקת עומס שלישית 42
- טבלה 15 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול טבעי N לאחר הרטבתה 43
- טבלה 16 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם לפני בניית הריצוף עם חול גרוס SEZ 44
- טבלה 17 : בדיקת ייחוס אקוסטית, ראשונה, כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול גרוס SEZ 45
- טבלה 18 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול גרוס SEZ, לאחר העמסה ראשונה 46
- טבלה 19 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול גרוס SEZ, לאחר פריקת עומס ראשונה 47
- טבלה 20 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול גרוס SEZ, לאחר העמסה שנייה 48

טבלה 21 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול גרוס SEZ, לאחר פריקת עומס שנייה	49
טבלה 22 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול גרוס SEZ, לאחר העמסה שלישית	50
טבלה 23 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול גרוס SEZ, לאחר פריקת עומס שלישית	51
טבלה 24 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול גרוס SEZ לאחר הרטבתה	52
טבלה 25 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם לפני בניית הריצוף עם חול מחצבה SM	53
טבלה 26 : בדיקת ייחוס אקוסטית, ראשונה, כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה SM	54
טבלה 27 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה SM, לאחר העמסה ראשונה	55
טבלה 28 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה SM, לאחר פריקת עומס ראשונה	56
טבלה 29 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה SM, לאחר העמסה שנייה	57
טבלה 30 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה SM, לאחר פריקת עומס שנייה	58
טבלה 31 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה SM, לאחר העמסה שלישית	59
טבלה 32 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה SM, לאחר פריקת עומס שלישית	60
טבלה 33 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה SM לאחר הרטבתה	61
טבלה 34 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם לפני בניית הריצוף עם חול מחצבה DW	62
טבלה 35 : בדיקת ייחוס אקוסטית, ראשונה, כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה DW	63
טבלה 36 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה DW, לאחר העמסה ראשונה	64
טבלה 37 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה DW, לאחר פריקת עומס ראשונה	65
טבלה 38 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה DW, לאחר העמסה שנייה	66

- טבלה 39 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה DW ,
67.....לאחר פריקת עומס שנייה
- טבלה 40 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה DW ,
68.....לאחר העמסה שלישית
- טבלה 41 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה DW ,
69.....לאחר פריקת עומס שלישית
- טבלה 42 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה DW
70.....לאחר הרטבתה

תקציר

השיטה המקובלת כיום לביצוע עבודות ריצוף מבוססת על הנחת אריחים מעל תשתית של חול טבעי, המיוצב בתוספת מעט צמנט. מקורות החול הטבעי בארץ הולכים ומתדלדלים בשנים האחרונות ומסתמן מחסור אמיתי במרכיב זה. כמות החול הטבעי הזמינה הולכת וקטנה והתחזיות כיום הן כאלה שתצרוכת החול הטבעי רק תלך ותגדל. כתוצאה מכך, יש כוונה לנסות ולשלב חול גרוס, באופן חלקי או מלא, בכל אותם מוצרים או עבודות המשמשים בבנייה. אחת מעבודות אלה היא מלאכת הריצוף.

במסגרת המחקר הנוכחי נערכה סקירה רלוונטית באשר לתחלופות אפשריות לשכבת החול הטבעי, המשמשת רכיב במערכת הריצוף המקובלת כיום, באמצעות חול מחצבה וחול גרוס. נבחנו שכיחותם וזמינותם בשוק המקומי של חומרים אלה, תוך התייחסות ליתרונותיהם וחסרונותיהם, הרלוונטיים לעבודת הריצוף. הכוונה הייתה לאתר את הבעיות המתעוררות תוך כדי הביצוע וללמוד כיצד מתפקד הריצוף שיש לו תשתית מחול גרוס, תחת הדמיה של עומס מרוכז ועומס מחולק שווה, בהשוואה להתנהגותו של ריצוף דומה שיש לו תשתית מחול טבעי. במסגרת העבודה הנוכחית נבחנו האפשרות לשימוש בשלושה תחליפים לחול הטבעי המקובל כיום, כפי שיפורט בהמשך. במקביל נבדקה תפקודן מבחינה אקוסטית של מערכות אלה בתנאי מעבדה, נתון שלא נבדק בשלב הפרלימינארי של המחקר, ואשר הינו בעל חשיבות רבה מבחינה תפקודית, כאשר באים לבחון מערכות ריצוף. תפקודן של מערכות הריצוף השונות נבחנו בהשוואה למערכת ייחוס שנבנתה עם חול טבעי בלבד.

נמצא כי מנקודת ראות של ביצוע לא הסתמנו מכשולים משמעותיים או דרישות מיוחדות באשר לביצוע ובסך הכל נראה כי בחלק מהמקרים אפילו יש יתרון, לטענת הרצף, ביישום הריצוף על מצע של SEZ, או DW. באשר לתפקוד המערכות השונות בתנאי שירות, ז.א. תחת עומסים מרוכזים או מחולקים או לאחר הרטבת המשטח, לא נמצא שיש הבדל משמעותי בין תחליפי החול השונים אשר נבדקו בעבודה הנוכחית. המערכת שבוצעה על חול SM תפקדה טוב פחות גם מנקודת ראות זאת. הפרמטר הנוסף שנבחן בעבודת המחקר, הנוגע לכושר הבידוד האקוסטי של מערכות הריצוף שנבדקו, הראה כי גם כאן אין הבדל משמעותי בכושר הבידוד האקוסטי של המערכות השונות וכולן עומדות בדרישות הנוכחיות התקן הישראלי. למרות זאת, המערכת שבוצעה על תשתית של חול מחצבה SM תפקדה פחות טוב בהשוואה למערכות האחרות שנבדקו בעבודה הנוכחית ולכן לא מומלץ להשתמש בחול זה כתחליף לחול טבעי. שני סוגי החולות האחרים שנבדקו, "חול שומשום" SEZ או החול הדולומיטי הרחוף DW, נמצאו מתאימים להוות תחליף לחול טבעי בעבודות ריצוף, על סמך הפרמטרים שנבדקו בעבודה הנוכחית. יש להסתייג ולומר כי הבדיקות נעשו בתנאי מעבדה בלבד ועם סוג ריצוף מסוים אחד בלבד.

1. מבוא

השיטה המקובלת כיום לביצוע עבודות ריצוף מבוססת על הנחת אריחים מעל תשתית של חול טבעי, המיוצב בתוספת מעט צמנט (1). מקורות החול הטבעי בארץ הולכים ומתדלדלים בשנים האחרונות ומסתמן מחסור אמיתי במרכיב זה (2). כמות החול הטבעי הזמינה הולכת וקטנה והתחזיות כיום הן כאלה שתצרוכת החול הטבעי רק תלך ותגדל. כתוצאה מכך, יש כוונה לנסות ולשלב חול גרוס, באופן חלקי או מלא, בכל אותם מוצרים או עבודות המשמשים בבנייה. אחת מעבודות אלה היא מלאכת הריצוף.

במכון הלאומי לחקר הבנייה נעשתה עבודת גישוש שבמסגרתה נבדקו ואופיינו בהיקף מצומצם בלבד, חולות מחצבה ממקורות שונים (3). חלק מדוגמאות החול שנבדקו משמשים כיום כאחד ממרכיבי מלט לטיח (בשפת הבנייה מקובל לכנותם "טיט מובא" (4) ואחרים מוגדרים על ידי המחצבות כפסולת. במסגרת אותה עבודה נעשה ניסיון ראשוני לרצף שטח קטן באמצעות שלושה סוגי חולות: חול מחצבה "רגיל", חול "שומשום", ולצורך השוואה גם חול טבעי (אשדוד). במסגרת השלב הפרלימינארי הני"ל נמצא כי, עקרונית, ניתן להשתמש בחולות הגרוסים שנבדקו כמצע לריצוף טרצו.

בעידן הנוכחי בו אנו נמצאים שבו, כאמור, מקורות החול הטבעי הולכים ומתדלדלים ואילו הדרישות לשימוש באגרנט זה לבנייה גדלים בהתמדה, יש חשיבות למציאת פתרון, באותם מקרים בהם הדבר מתאפשר, להחליף את החול הטבעי בחול גרוס. לכן, בדיקת אפשרות של שימוש בחול גרוס כתשתית לריצוף, במקום החול הטבעי, יכולה להתאים למלאכת הריצוף. אמנם במסגרת המחקר, מטעמים של משך הביצוע ועלויות נילוות, נבדקה אפשרות זאת עם שני תחליפים בלבד. במידה והתוצאות יהיו מביטחות ניתן יהיה לבחון שימוש גם בחול מחצבה מסוג אחר, בהרכב שונה ואולי גם "פסולת" מחצבה, חומר שאי אחידותו והרכבו בשלב זה נראים בעייתיים באשר לשילובם במערכות ריצוף המקובלות. אבל, כאמור, שאלות נוספות אלה אינן נכללות במסגרת השלב הנוכחי. כן ניתן יהיה לקבוע לפי תוצאות המחקר האם שימוש בחול גרוס משפיע על תפקוד אקוסטי של מערכת הריצוף.

2. מטרות המחקר

במסגרת המחקר הנוכחי נערכה סקירה רלוונטית באשר לתחלופות אפשריות לשכבת החול הטבעי, המשמשת רכיב במערכת הריצוף המקובלת כיום, באמצעות חול מחצבה וחול גרוס. נבחנה שכיחותם וזמינותם בשוק המקומי של חומרים אלה, תוך התייחסות ליתרונותיהם וחסרונותיהם, הרלוונטיים לעבודת הריצוף. הכוונה הייתה לאתר את הבעיות המתעוררות תוך כדי הביצוע וללמוד כיצד מתפקד הריצוף שיש לו תשתית מחול גרוס, תחת הדמיה של עומס מרוכז ועומס מחולק שווה, בהשוואה להתנהגותו של ריצוף דומה שיש לו תשתית מחול טבעי. במסגרת העבודה הנוכחית נבחנה האפשרות לשימוש בשלושה תחליפים לחול הטבעי המקובל

כיום, כפי שיפורט בהמשך. במקביל נבדקה תפקודן מבחינה אקוסטית של מערכות אלה בתנאי מעבדה, נתון שלא נבדק בשלב הפרלימינארי של המחקר, ואשר הינו בעל חשיבות רבה מבחינה תפקודית, כאשר באים לבחון מערכות ריצוף. תפקודן של מערכות הריצוף השונות נבחנה בהשוואה למערכת ייחוס שנבנתה עם חול טבעי בלבד.

3. שיטת המחקר

בשלב ראשון מוצגת סקירה קצרה המתארת את שיטת היישום המקובלת של ריצוף באריחי קרמיקה. הנושא נבדק עם קבלני ריצוף מיומנים, כדי לעמוד על הבעיות העולות תוך כדי ביצוע המלאכה עצמה ותפקוד המערכת לאורך זמן. סקירת שיטות הביצוע השונות של מערכות ריצוף לוותה בראיונות עם קבלני ריצוף מיומנים לצורך לימוד הבעיות המתעוררות בשלבי הביצוע השונים.

במקביל נבדק בצורה מבוקרת, הביצוע והתפקוד של שלוש מערכות ריצוף על פני משטח בגודל של כ-17 מ"ר. שטח זה מתאים לממדי חדר מגורים מקובל והוא מתאים גם לבחינת התפקוד האקוסטי של מערכת הריצוף הנידונה על-פי התקנים הרלוונטיים (7) הכוונה בשלב זה היא, לבחון האם יש לאורך זמן בעיה של שקיעה של משטחי ריצוף אשר נבנים על תשתית שאינה חול טבעי. והאם תחזוקה שוטפת של הריצוף, משפיעים על חדירת רטיבות במישקים שבין האריחים ופגיעה כלשהיא בתפקודו.

במעבדות המכון הלאומי לחקר הבנייה ניבנה, כאמור, משטח מרוצף בשטח של כ-17 מ"ר, עם כל אחד משתי האלטרנטיבות שהוחלט לבדוק כתשתית, כתחליף לחול הטבעי ולצורך השוואה, ניבנה משטח מרוצף דומה, גם עם חול טבעי, בהתאם למתואר בתקן הישראלי ת"י 1555 חלק 3. מערכות הריצוף הנ"ל ניבנו בחדרי המעבדה לאקוסטיקה, במכון הלאומי לחקר הבנייה בטכניון, על גבי משטח בטון, המשמש תקרה המפרידה בין חדרים (אחד מעל השני), במעבדות האקוסטיקה. מלאכת הריצוף בוצעה על-ידי רצף מקצועי, בשיטות המקובלות כיום לריצוף, עם תשתית מחול טבעי. העבודה בוצעה תוך מעקב אחר שלבי הביצוע השונים, מתוך כוונה ללמוד באיזה מידה, אם בכלל, משפיע סוג החול המשמש כתשתית לעבודת הריצוף, על טכנולוגיית הביצוע. סוג הריצוף שנבחר, בתיאום עם המזמין, היה אריחי קרמיקה מהסוג המכונה בשוק הבניה: "גרניט פורצלן". נעשה מעקב אחר תפקוד המשטח המרוצף, לאחר שעל פני המשטח נבחנה, על-ידי הדמיה (באופן סימולטיבי), האם לאחר חשיפת השטחים המרוצפים לתנאי שירות, נוצרו שקיעות ופגמים אחרים שניתן לייחס אותם לתשתית החול והשפעתם על תפקוד המערכת. הכוונה הייתה לאתר את הבעיות המתעוררות תוך כדי הביצוע, וכן ללמוד כיצד מתפקד הריצוף שיש לו תשתית מחול גרוס, תחת הדמיה של עומס מרוכז ועומס מחולק שווה, בהשוואה להתנהגותו של ריצוף דומה שיש לו תשתית מחול טבעי. לצורך כך, פעולת הריצוף לוותה ותועדה בכל שלביה. נעשו בדיקות של שינויי גובה של פני השטח המרוצפים, כפי שיוסבר בהמשך, בשלבים

שונים לאחר החשיפה לתנאי שירות במטרה לאבחן שקיעות אפשריות. נערכה השוואה של התנהגות הריצוף בתלות בסוג המצע. כן התבצעו מדידות לבדיקה תקנית של כושר בידוד אקוסטי מפני קול הולם של רצפות, של כל אחד ממערכות הריצוף הנ"ל.

כאמור, נערכו גם בדיקות אקוסטיות שבוצעו במעבדה לאקוסטיקה, במכון הלאומי לחקר הבנייה בטכניון, בהתאם לתקן הישראלי ת"י 1034 (5) ותוצאותיהן נותחו בהתאם לתקן הישראלי ת"י 985 (7,6). המעבדה שודרגה במהלך השנה האחרונה, כדי להתאימה לדרישות התקניות הרלוונטיות. תיאור השדרוג והרקע לבדיקות האקוסטיות מוצג בהמשך.

התרומה של עבודה זאת מתבטאת בשמירה על רווחת המשתמש, בכך שלא תהיה פגיעה, לא בתפקוד השוטף ולא בנוחות האקוסטית, עקב השימוש בתחליפי חול טבעי לעבודות ריצוף. בה בעת, נעשה ניסיון לטפל בבעיה לאומית הקשורה במחסור הידוע בחול טבעי הקיים בארץ, במקרה דנן, עבור עבודות הריצוף.

4. סקירה כללית

בהסתמך על השנתון הסטטיסטי לישראל משנת 2007, שטח הבניה הכולל במדינת ישראל בשנת 2003 עמד על 5,858,000 מ"ר. בשנת 2006 נרשמה עליה של כ-20% בשטח הבנייה הכולל והוא עמד על 6,812,000 מ"ר. נתון זה מתייחס לבנייה למגורים, הארחה, עסקים, תעשייה ומלאכה ומבני ציבור. אם מתייחסים לבנייה למגורים בלבד, הרי שבשנת 2003 שטח הבנייה היה כ-4,300,000 מ"ר ובשנת 2006 הוא הגיע לכדי 5,000,000 מ"ר. ז.א. עלייה דומה של כ-20% בהיקף שטח הבנייה. שטח בנייה כזה דורש, בהערכה גסה, כמות של 500,000 מ"ק חול למטרות ריצוף בלבד. כאמור, מקורות החול הטבעי בארץ הולכים ומתדלדלים בשנים האחרונות ומסתמן מחסור אמיתי במרכיב זה. בעוד שכמות החול הטבעי הזמינה הולכת וקטנה, ניתן לראות לאור הנתונים שהוצגו לעיל, כי יש בשנים האחרונות גידול בהיקף הבנייה הגורר צריכה מוגברת של חול טבעי, והתחזיות כיום הן כאלה שתצרוכת החול הטבעי רק תלך ותגדל.

קיימים בעולם ובארץ פיתוחים שונים של חול הידרופובי, שיכולים לתת לעתים מענה לפתרונות תשתית לריצוף. פתרון שפותח בארה"ב ונקרא: magic sand, או space sand, פותח במקור במטרה ללכוד שמנים ודלקים בקרבת החוף. החול מתערבב עם השמן או הדלק, משקלו עולה עד כדי כך שהוא שוקע. מחירו היצור הגבוה של המוצר מגביל משמעותית את השימוש בו. החול נוסה על-ידי באזורים הארקטיים כבסיס לקופסאות מיתוג (junction boxes), כיוון שהוא לא קופא לעולם. החול יכול לשמש גם כמצע מאוורר עבור צמחים. גרגירי החול נמשכים אחד לשני בנוכחות מים. כאשר מפזרים גרגירים אלה על-פני מים, הם יוצרים תחילה מעין משטח צף של חול, עד אשר משקלו גדול מספיק על-מנת להתגבר על מתח הפנים ולשקוע לתחתית כגוש אחד. כאשר משקעים את החול נוצרים מעין עמודונים של חול, המפחיתים את פני השטח הבאים במגע עם

המים. במקור, משווק החול בצבעים כחול, ירוק ואדום, אבל, העמודים הטבולים במים, בכל גוון שהוא, נראים כסופים, בגלל שכבת האוויר הנוצרת סביב החול. תכונה מעניינת של החול המטופל הנ"ל היא, שברגע שמוציאים אותו מהמים, הוא יבש לחלוטין וזורם בחופשיות. המוצר הנידון הינו למעשה חול ים רגיל אשר קיבל ציפוי בחלקיקים קטנים מאד של סיליקה טהורה ונחשפו לאדים של תרכובות כימיות אורגניות צורניות (כמו: $(\text{CH}_3)_3\text{SiOH}$, או $\text{C}_3\text{H}_{10}\text{OSi}$), המכילות קשרים של פחמן וצורן. עקב החשיפה, נוצר קשר בין התרכובות הנ"ל לבין חלקיקי הסיליקה וחלקיקי החול מקבלים ציפוי הידרופובי.

בארץ, נעשה על-ידי חברה פרטית המתמחה בטכנולוגיה לדחיית מים, פיתוח של שיטה לציפוי מינרלים גרגריים בחומרים הידרופוביים. לטענתם, בשיטה זאת, שנרשמה כפטנט, נשמרות התכונות הבסיסיות של החומר המצופה ומתווספת התכונה של דחיית מים. המוצר הרלוונטי לעבודה הנוכחית, הינו חול הידרופובי, ז.א. חול יבש שאינו סופג מים והוא משווק למטרות ריצוף. היצרנים טוענים כי, בין השאר, החול דוחה מים, מבודד תרמית ומבודד אקוסטי.

שאלה אחרת שנוגעת לחולות ההידרופוביים נוגעת לסוג החול אותו מצפים כדי לקבל את המוצר הנידון. אם מדובר בחול טבעי, כמו ב-magic sand, הרי שאין תועלת רלוונטית לפתרונות אותן מנסה העבודה הנוכחית לבדוק, דהיינו: מציאת תחליפים לחול הטבעי. באשר למוצר שפותח בארץ, הנחיות היצרן הן, להשתמש בשכבה של 10 ס"מ חול הידרופובי. ז.א. אותה כמות של חול הנדרשת בשיטות המקובלות כיום. אם החול המצופה הינו חול טבעי, אזי אפשרות זאת יכולה לשמש פתרון אלטרנטיבי עבור יישומים מסוימים בלבד, בהם יש חשיבות ראשונה במעלה לנושא למענו פותח החול ואין בפתרונות אלה מענה על המחסור החול טבעי ולא בהיקפים הנדרשים.

אם החול המשמש ליצור המוצר הינו חול מחצבה, יש לבחון את התפקוד שלו לאורך זמן, בכפוף לפרמטרים שונים כמו: עמידות החול לאורך זמן בתנאי שירות מקובלים בדירות מגורים, לאיזה סוגי ריצוף הוא מתאים, האם יש בעיה טכנולוגית בהשוואה לשיטות ריצוף מקובלות, האם יש שקיעות של הריצוף עקב העמסה מרוכזת או אחרת של סוגי ריהוט מקובלים למשל, ומהו כושר הבידוד האקוסטי שלו. יש כמובן לבחון את הנושא הכלכלי של שימוש מסיבי במוצר ומידת התאמתו לריצוף בשיטות הבנייה הקיימות בארץ.

השיטה המקובלת בארץ לריצוף הינה, אריחים, מסוגים שונים, על תשתית המיושמת מעל תקרת בטון מקשית. התשתית בנויה, בדרך-כלל, מחול טבעי, אשר שכבתו העליונה מיוצבת בצמנט. אל שכבה מיוצבת זאת, מודבקים האריחים. בעבר, מרבית האריחים לריצוף היו מטראצו ואילו כיום, מרבית האריחים הינם מקרמיקה, מסוגים שונים. כפי שנאמר כבר קודם לכן, מקורות החול הטבעי בארץ הולכים ומתדלדלים בשנים האחרונות ומסתמן מחסור אמיתי במרכיב זה.

השימוש בתחלופות לחול הטבעי, מתבצע כבר, הלכה למעשה, באתרי בנייה שונים בארץ, אך בהיקף יחסית מצומצם. כפי שעולה משיחות עם מנהלי עבודה וקבלני ריצוף בחברות המובילות הגדולות בארץ, מתברר, שאחת התחלופות המובילות בתחום זה, הינו השימוש בחול גרוס ("שומשום").

באחת החברות הגדולות הוכנס נוהל לשימוש בשומשום כתשתית לעבודות ריצוף, כבר בשנת 2002. באותו הזמן נעשה שימוש בשומשום כמצע לריצוף במרפסות בלבד. כיוון שאין ניסיון קודם ולא נעשה מחקר שבדק תפקוד בתנאי שירות וכושר בידוד אקוסטי של מערכות ריצוף כאלה, החלו, בחברה הבנייה הנידונה, להכניס את השימוש במצע זה, גם בתוך דירות המגורים, רק בשנתיים האחרונות. כך למשל, כל הריצוף בפרויקט שבנייתו הולכת ומסתיימת בימים אלה, הכולל 130 יח' דיור, בשטח כולל של כ-20,000 מ"ר, יבוצע על מצע של שומשום. על רצפת/תקרת הבטון שעובייה כ-20 ס"מ, הם מניחים יריעה אקוסטית בעובי 5 מ"מ. את הצנרת מניחים בפרויקט זה מעל היריעות הנ"ל ומעגנים אותם בעזרת "שלות". בהמשך מפזרים את השומשום בשכבה שעובייה בין 10 ל-12 ס"מ, ועליו מניחים את אריחי הריצוף באמצעות מלט צמנטי מתאים. מנהל הפרויקט ומנהל הביצוע באתר יודעים לדווח כי הפועלים "אוהבים", כדבריהם, לעבוד איתו. הם ציינו עוד כי, קל להדק אותו, הוא אינו מתעופף ברוח כמו החול הטבעי, והוא מתייבש בקלות יותר רבה מאשר חול טבעי. בדיקות שנעשו על-ידי חברה פרטית באשר לכושר הבידוד האקוסטי של ריצוף מסוג זה באתר, הראו כי אינדקס הבידוד האקוסטי היה 61dB ולכן עמדה בדרישות התקן לפיו הערך המרבי הוא 63dB הבודקים ציינו כי הנתון הנ"ל מתייחס רק לתכונות האקוסטיות שנבדקו בעת ביצוע המדידות ואינו מכסה את תכונות הרצפה לאורך זמן.

בחברת בנייה גדולה אחרת, החלו, גם-כן, להכניס את השימוש בשומשום, גם בדירות המגורים עצמן, תוך שימוש ביריעה אקוסטית מתחת לשכבת המצע של החול הגרוס. באחד הפרויקטים באזור המרכז, כולל שטח מרוצף של כ-13,000 מ"ר, שיבוצע כולו על תשתית של שומשום. בפרויקט זה, בדומה לזה שתואר לעיל, לא יונח כלל ריצוף על מצע של חול טבעי. התשתית בפרויקט זה היא תקרת/רצפת בטון בעובי כולל של 20 ס"מ, המורכבת מקרום דרוך בעובי 8 ס"מ ומעליו יציקת topping, בעובי נוסף של 12 ס"מ. על הבטון מניחים את הצנרת ומעגנים אותה אל הבטון. בשלב זה, מניחים בחפייה חופשית יריעות אקוסטיות בעובי 5 מ"מ, ומעליהם מפזרים שכבת שומשום בעובי של 9 עד 10 ס"מ. בחדרים רטובים ובמרפסות, לפני פיזור שכבת השומשום, מניחים על האיטום בד גיאו-טכני, מתוך כוונה למנוע עד כמה שניתן פציעה של שכבת האיטום.

את השומשום פורקים באתר בערימה, אותה מנחים באתר הבנייה באזור שניתן יהיה למקם בצד הערימה את המשאבה שתעלה את השומשום לקומות השונות בפרויקט. הצינור המעלה את השומשום לקומות מורכב למעשה מחוליות אותן מחברים בהתאם לאורך הנדרש להובלת השומשום ברחבי הדירה.



צור 1 : שלבי הביצוע מערימת השומשום עד לחדר המגורים בדירה

אחת הבעיות שהועלו על-ידי מנהלי העבודה הייתה, כי גרגירי השומשום שחודרים לסוליות הנעליים, עלולים לגרום לשריטת פניהם של אריחי קרמיקה מסוימים ויש לקחת זאת בחשבון. נקודה נוספת למחשבה הייתה נושא ההידבקות בין האריח לשכבת המצע העשויה שומשום, כיוון שבפרויקטים אלה לא נוהגים לייצב את השכבה העליונה של המצע עם צמנט, תהליך המתבצע בעבודה עם חול טבעי.

מנהל הפרויקט החליט לבצע את הריצוף בפרויקט זה על מצע של שומשום בלבד, בעיקר משיקול כלכלי, כיוון שמחירו נמוך בכ-5 עד 6 ש"ל למ"ק, בהשוואה לזה של חול טבעי. בנוסף, לדברי מנהל הפרויקט, יש קושי ממשי לתמחר את הפרויקט, כאשר מתבססים עם חול טבעי, בגלל כוחות שוק בעייתיים המעורבים לעתים באספקתו. שימוש בשומשום מאפשר תמחור ידוע מראש, ובכך מאפשר לנהל, תקציבית, את הפרויקט בצורה יותר יעילה. מנהל הפרויקט ציין עוד כי באותם פרויקטים בהם הריצוף בוצע על מצע של חול טבעי, הייתה רווחת תופעה שכונתה בשפת האתר: חול טבעי הוא חומר "גניב" (מלשון גניבה), כאשר בעלי מקצועות אחרים היו נוהגים לקחת ממצע החול לעבודות טיח, לטיט, לתיקוני בטון קטנים וכיו"ב, תופעה שלא יכולה לקרות עם שומשום. בבדיקות אקוסטיות שנעשו בפרויקט אחר על-ידי חברה פרטית נמצא, כי רמת הלחץ של קול הולם במערכות שנבדקו עמדה על 51dB, כאשר הערך המרבי הנדרש, כזכור, הוא 63dB. הבדיקות העלו כי במקרה של שימוש בשומשום, יש הכרח, מנקודת ראות אקוסטית, להניח על תשתית הבטון, יריעה אקוסטית בעובי של 6 מ"מ, כדי להבטיח עמידה בדרישות האקוסטיות המפורטות בתקן הישראלי ת"י 1004 חלק 1.

לדברי אחראי אבטחת האיכות של אותה חברה, נעשו בדיקות אקוסטיות באתר הבנייה על-ידי חברה פרטית שעוסקת בכך ומהן עולה שכושר הבידוד האקוסטי של פתרונות אלה מתאים לדרישות הקיימות במשק. אחת הבעיות הלוגיסטיות המעניינות שעלתה משיחה עם מנהל פרויקט שבו נעשה שימוש בחול שומשום לריצוף, הייתה מנקודת ראות לוגיסטית: חול טבעי ניתן להרים לקומות עליונות באמצעות משאבה מתאימה, בעוד שאת השומשום יש להעלות באמצעות מנוף בשקים. לעומת זאת, בחברה אחרת, הם נוהגים להרים את החול הגרוס לקומות העליונות, גם-כן באמצעות משאבה, דוגמת זאת שרימה את החול הטבעי בשיטה הריצוף המקובלת.

אחד הפרויקטים באזור המרכז מקימים מבנה מגורים בן 28 קומות ובשטח ריצוף כולל של כ-14,000 מ"ר. בפרויקט זה כל מצע הריצוף מבוסס על "שומשום". הדירות כולן מתכוננות עם מחיצות קלו, עובדה המקלה על תהליך הריצוף עצמו ועל שינוע החומר לקומות השונות בבניין. השומשום מועלה לקומות באמצעות משאבה, דוגמת משאבה המעלה חול טבעי, ובקומה מפזרים את החומר על פני התקרה, בכל דירה בפני עצמה. לדברי מנהל הפרויקט, שזוהי הפעם הראשונה בה הוא משתמש רק בשומשום כתשתית לריצוף, העבודה נוחה ונקייה יותר, יש פחות אבק, משך הביצוע אם לא קצר יותר, אינו ארוך יותר בהשוואה לחול טבעי. בנוסף, הוא מוטרד פחות מבעיות של רטיבות בחול, כיוון אם יש כזאת, היא מחלחלת לתחתית ואינה עולה בצורה קפילארית לקירות. מצד שני, העובדה שחומר זה אינו מחזיק בתוכו את המים, כמו החול הטבעי, אלא

מחלחל אותם כלפי מטה, יש צורך להקפיד על פרטי ביצוע של איטום וניקוז, כדי להוביל את המים המחלחלים החוצה בצורה מתוכננת. נושא מעניין נוסף עליו עמד מהנדס הביצוע באתר הנידון, הינו בעל היבט כלכלי: שלא כמו עם השומשום, מחירו של החול הטבעי תלוי בכוחות השוק ולא ניתן לסכם או לבנות ולתכנן מראש, על מחיר מסוים. עובדה זאת מקשה על הערכת ובקרת התקציב.

מנהלי הפרויקטים שרואיינו והאחראים על אבטחת איכות בחברות אלה סיפרו כי ההתרשמות שלהם מקבלני הריצוף הינה שהעבודה עם חול שומשום, בסך-הכול, נוחה אף יותר מזאת עם חול טבעי. בנוסף, ציינו המרואיינים את עובדת היותו של החול הטבעי רגיש לרטיבות בניגוד לחול השומשום. למרות כל הנאמר לעיל, בשתי החברות הגדולות הנ"ל, השימוש בחול שומשום עדיין אינו עולה על 10% מכלל עבודות הריצוף בפרויקטים השונים המתבצעים על ידם.

5. הסברים רלוונטיים ורקע כללי הנוגעים להיבט האקוסטי

באגן הים התיכון, ובישראל בכלל, נהוג לרצף על שכבת חול וכך נוצר מדה (עשוי רצוף וצמנט) הצף על חול. מחוסר חול, מוצע מאז שנים, לבדוק אפשרות החלפת החול באגרגטים מצויים וזמינים יותר במיוחד עקב ביצועיהם האקוסטיים. הבצועים האקוסטיים מתמקדים בעבר בשיפור הבידוד כנגד קול הולם ופחות בבידוד כנגד הקול הנישא באוויר.

שני סוגי הבידוד הנ"ל הם נשוא תקנים ישראליים ת"י המבוססים על מערכת תקני ISO 140. העמידה בתקני ISO 140 משמעותה בדיקה בצורה הניתנת להשוואה לבדיקות שנעשו במקומות אחרים ובזמנים אחרים. אי לכך על המעבדה, ציודה ושיטותיה להיות תקינים ולהתאים לת"י ו-ISO הנ"ל ושאר תקנים הנגזרים מהם או מצוטטים בהם.

מאחר ובתחילת המחקר המעבדה לבדיקת בדוד כנגד קול הולם במכון הלאומי לחקר הבנייה בטכניון לא הייתה תקינה, היה צורך לשדרג את המעבדות האקוסטיות, אשר לא נבנו מראש בהתאם לתקנים הבינלאומיים, מכיוון שבשנות הששים לא היו תקנים ישראל בנושא אקוסטיקה הבנייה.

קול הולם ובדודו

קול הולם (Impact sound) הנו קול הנוצר מפגיעת גוף מוצק בגוף מוצק אחר, ובד"כ ברצפה. כדי להקל על הקורא, הוסף גם תרגום לגרמנית של מושגים שונים, מכיוון שרוב החומר בנושא הנידון, הן מחקרית והן מעשית, הנו בשפה הגרמנית. הקול המתפשט ברצפה או במבנה הנו מצלול גוף או מצול גוף (Bodyborne Sound באנגלית körperschall בגרמנית). בדיקת בדודים כנגד רעשים אלו ובמיוחד בצעידת בני אדם מדובר על Footfall Noise, הנעשה מלאכותית בפטישיה תקנית (Tapping Machine באנגלית או Normhammerwerk בגרמנית). קולות אלו נבדלים מקולות

Luftschall, Airborne הנשאים באוויר והנקראים גם מצול אוויר או מצלול אוויר (ובלועזית Luftschall, Airborne sound) והנוצרים מתנועת גופים למשל באוויר (כמו מיתר, ממבראנת רמקול, או זרימת אוויר בכלי עבודה או כלי מוסיקה).

עצמתו של מצלול הגוף נבדקת בד"כ בהקשר להתנהגות רצפות/תקרות על ידי כך שיוצרים מצלול גוף מנפילת גופים מבוקרים על הרצפה שבחדר עליון ובדיקת הקולות הנשמעים בחדר תחתון- כאשר הרצפה תקרה מבדילה בין החדר העליון (חדר שדור) וחדר התחתון (חדר הקליטה) כאשר הגוף הנופל מפעיל כוח מבוקר F על רצפה נוצרים קולות בעצמות מסוימות. המהירות הממוצעת על תנודת לוח הומוגני כתקרה שעליו מופעל כוח בטווח תדרי אוקטאבה הנו:

$$\sigma = \frac{F_{oct} \sqrt{h_B}}{\sqrt{\omega M \eta S}} \approx \frac{F_{oct}}{\sqrt{2,3 \omega M^2 d \eta S c_L}} \quad (1)$$

דבר המוביל למפלס קולי בחדר קליטה סמוך, מעל התדר הגבולי של התקרה (הנובע מתופעת הקואינצינדנס)

$$L_n = 10 \lg \frac{4 \rho_o^2 c^2 F_{oct}^2}{2,3 A \cdot P_0^2 \omega M^2 d \eta C L} \text{ dB}; \quad (2)$$

$\omega = 2\pi f$ – התדר	f	עובי הלוח	d
מקדם הריסון γ		מהירות גלי אורך בלוח	C_1
S שטח		אימפדנס אקוסטי של האוויר	ρ
אדמיטנס hB		שטח בליעת הקול בחלל	A
		(ביחידות $\text{N}^2 \text{סבין}$)	

בשימוש בפטישיה תקנית צפוי ספקטרום רעש בתנאים תקינים ע"פ ציור 2. בשרטוט ספקטרום בטרצות (אוקטאבות), מאחר וידוע שבידוד כנגד קול נשא באוויר R מתנהג בצורה דומה, נמצא שסכומם בתקרות חסרות מדה צף (ואף רב שכבתיות) הוא גדל קבוע (בפסי אוקטאבה ובבליעה תקנית בחדר הקליטה של 10 מ"ר). ליניאריות זאת מאפשרת בדיקת תקרות לגבי רבדים רבים בהם:

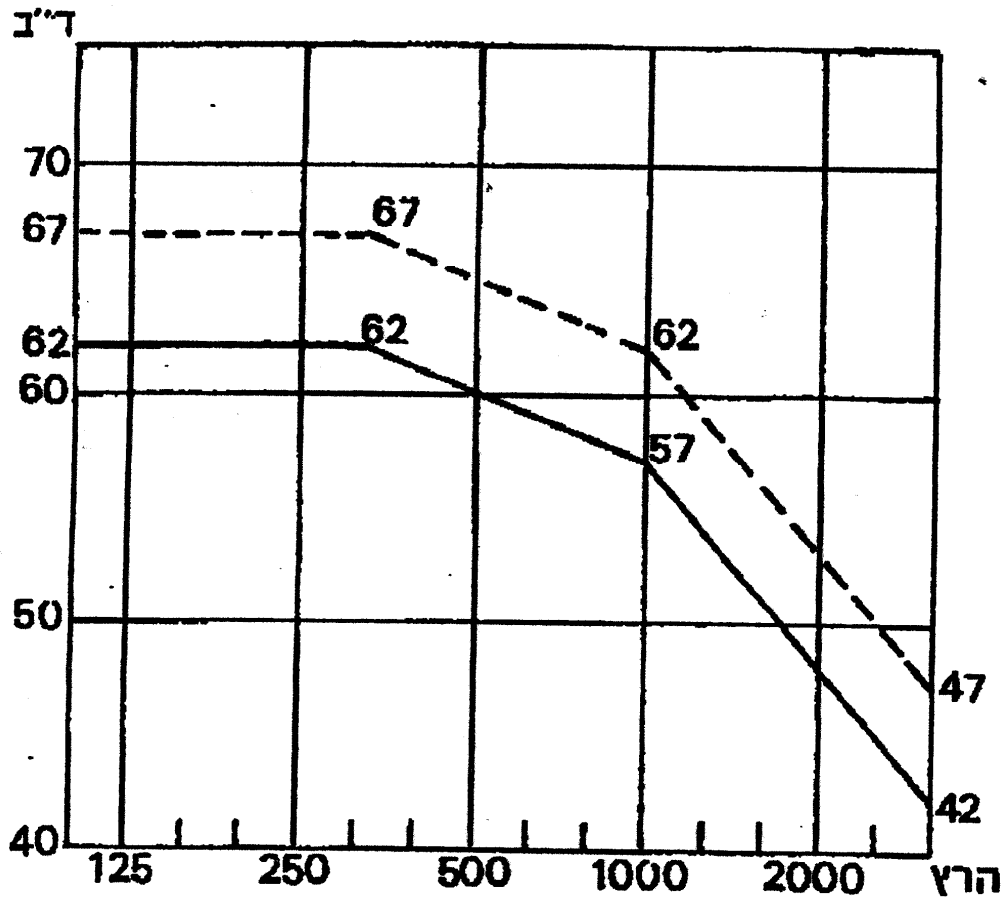
$$L_n + R = 40 + 30 \text{ Log} f \quad (3)$$

לבידוד קול הולם משתמשים במדה צף שהוא לוח כבד יחסית המונח על רובד או אגרגט רך ובד"כ על לוח חמרים סיביים רכים. שלוב מסת המדה M (ביחידות Kg/m^3) וקשיחותו הדינאמית S

(ביחידות של N/m^3) נותן את תדר תהודת המידה הצף (4) $f = 160 \sqrt{\frac{S}{M}}$ מעל תדר זה יש שפור

בבידוד כנגד קול הולם במידה של ΔL , עד לתדר הגבול (של הקואינצינדנס) (5)

התנהגות הרצפות ותקרות מהבחינה האקוסטית. $\Delta L = 40 \text{LOG} \frac{f}{f_0}$ יחסים אלו תקפים בתדרים הנמוכים מהתדר הגבולי ומאפיינים היטב את



ציור 2: ספקטרום רעש צפוי בשימוש בפטישיה תקנית בתנאים תקינים

בדיקת הבידוד כנגד קול הולם

בדיקת הבידוד נעשית ע"פ תקן ישראל מס' 985 וכן ת"י 1034 שנגזרים וזהים לתקן ISO 140 הבינלאומי (בעבר ע"פ ISO 717) בדיקות נעשות הן באתרי בניה (בדיקת מצב עובדתי) והן במעבדה תקנית המוכשרת ע"י ISO 140 (לאפיון חמרים וקונסטרוקציות לשימוש בבניה).

בשני המקרים שיטת המדידה זהה :

- א. שימוש בפטישיה תקנית ליצירת קול הולם תקני .
 ב. מדידת מפלסי הקול לתדריהם (מדידת ספקטרום) בפסי טרצות על ידי מיצוע זמני ומרחבי.
 ג. בהתחשב בכושר בליעת הקול של חדר הקליטה על ידי מדידת זמן ההדהוד בחדרי הקליטה בתדרים השונים. זמן ההדהוד נמדד ע"פ תקן ISO 354.

מפלס הקול התקני שנקבע יהיה או בהתחשב בזמן הדהוד התייחסותי של 0.5 שנייה אך בד"כ בהתחשב בשטח בליעה התייחסותי של 10 מ² (סבין) :

$$L_N = 10 \text{LOG} \frac{A}{A_0} + L_1 \quad (6)$$

L_1	המפלס הממוצע בחדר הקליטה
A	שטח הבליעה בחדר הקליטה
A_0	10 מ ² בבנייני מגורים

שטח הבליעה A נקבע בעזרת זמן ההדהוד T ונפח חדר הקליטה ע"פ נוסחאות סבין הפשוטה :

$$T = 0.163 \frac{V}{A} \quad (7)$$

בדיקת שפור הבידוד כנגד קול הולם

בדיקת שפור לקול הולם נעשה על ידי השוואת הבצועים לביצועי תקרת יחוס וירטואלית ע"פ התקן הרלוונטי. רמת הלחץ המנורמלת המשוקללת של קול הולם של תקרת (רצפת) הייחוס, $L_{n,w,r,0}$, היא 78 ד"כ בשביל פסי-טרצה ו-83 ד"כ בשביל פסי-אוקטאבה. הערה: בתקן הישראלי ת"י 1034 חלק 8 מתוארת תקרה (רצפה) תקנית, שעליה מותקן החיפוי הנבדק. היא עשויה טבלה מקשית מבטון מזוין, שעובייה 20 ± 120 מ"מ. הערכים שבטבלה 1 מייצגים אידיאליזציה על-ידי קו ישר של רמת הלחץ המנורמלת של קול הולם של תקרה (רצפה) תקנית כזאת, כשערכי $L_{n,r,0}$ אינם משתנים למעשה בתדירויות שמעל ל-1000 הרץ בקירוב.

טבלה 1 : רמת לחץ מנורמלת של קול הולם של תקרת (רצפה) הייחוס

ערכי ייחוס (ד"ב)		תדירות (הרץ)
מדידות בפסי אוקטבה	מדידות בפסי טרצה	
	67.0	100
72.5	67.5	125 (*)
	68.0	160
	68.5	200
74.0	69.0	250 (*)
	69.5	315
	70.0	400
75.5	70.5	500 (*)
	71.0	630
	71.5	800
77.0	72.0	1000 (*)
	72.0	1250
	72.0	1600
77.0	72.0	2000 (*)
	72.0	2500
	72.0	3150
(*) תדירות מרכזית של פסי-אוקטבה		

חישוב האינדקס המשוקלל של שיפור הבידוד מפני קול הולם ΔL_w מחושב לפי הנוסחות שלהלן :

$$L_{n,r} = L_{n,r,o} - \Delta L$$

$$\Delta L_w = L_{n,w,r,w} - L_{n,w,r}$$

$$\Delta L = 78dB - L_{N,W,r} \quad \text{בשביל פסי-טרצה}$$

$$\Delta L = 83dB - L_{N,W,r} \quad \text{בשביל פסי-אוקטבה}$$

שבהן :

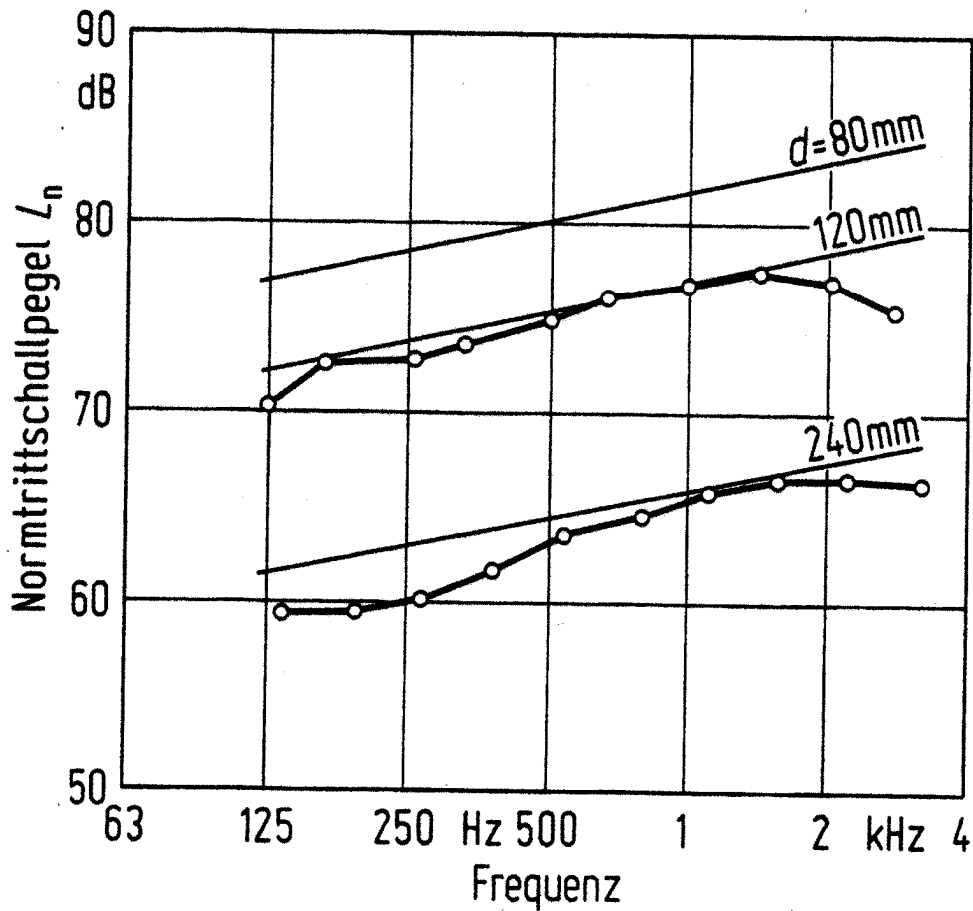
ΔL_r - פחיתת רמת הלחץ של קול הולם, הנמדדת כמתואר בת"י 1034 חלק 8.

$L_{n,r,o}$ - רמת הלחץ המנורמלת המוגדרת של קול הולם של תקרה (רצפת) הייחוס (טבלה 1).

$L_{n,r}$ - רמת הלחץ המנורמלת המחושבת של קול הולם של תקרת (רצפת) הייחוס המחופה בחיפוי הנבדק.

$L_{n,w,r}$ - רמת הלחץ המנורמלת המשוקללת המחושבת של תקרה (רצפת) הייחוס, המחופה בחיפוי הנבדק.

הערך $L_{n,w,r}$ מתקבל מ- $L_{n,r}$ כמתואר בסעיף 4.3, בת"י 985. בפועל יש לבדוק את השפור בכל תדר להפחית את מדת השפור ממפלסי הקול ההולם בתקרה התקנית (הוירטואלית) ולחשב את מפלס הקול ההולם המשוקלל הנובע מהשיפור. מדת השנוי של מפלס הקול המשוקלל היא מדת השפור התקנית. מפלס הקול ההולם המשוקלל נמדד ע"פ מדת הזזת העקום בציור 3 (בצורה הנקבעת על ידי ISO 140) הדרושה על מנת שספקטרום הרעש יחפוף עם עקום השרטוט המוזז.



ציור 3 : מפלס הקול ההולם המשוקלל נמדד ע"פ מדת הזזת העקום בציור הנ"ל (בצורה הנקבעת על ידי ISO 140) הדרושה על מנת שספקטרום הרעש יחפוף עם עקום השרטוט המוזז

6. חומרים

שלושה סוגי חולות נבדקו כתשתית בארבע מערכות ריצוף שונות:

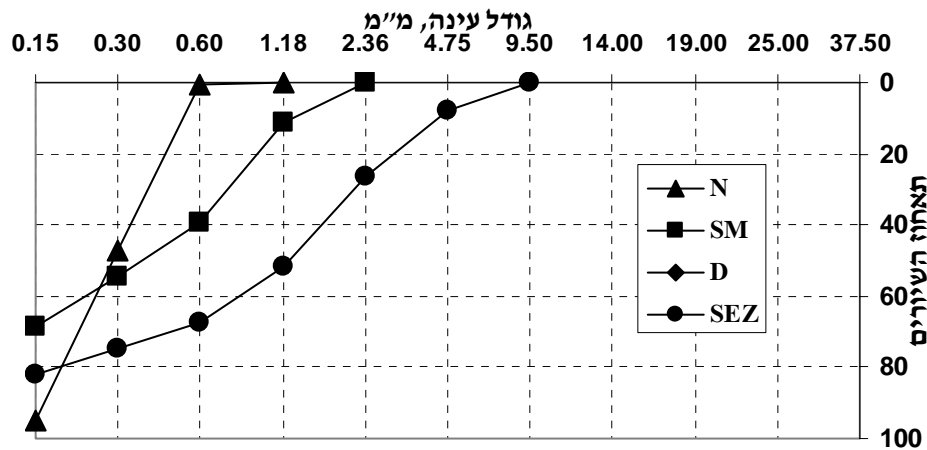
- ❖ חול טבעי N, שימש כמערכת ייחוס.
- ❖ חול מחצבה SM, המשמש בדרך-כלל, למלטים, ומאופיין בתכולת דקים גבוהה.
- ❖ חול מחצבה דלומיטי רחוף, DW, המאופיין בתכולת דקים נמוכה יחסית.
- ❖ חול מחצבה SEZ, מכונה בשוק הבנייה המקומי "שומשום".

דירוג החולות השונים ותכונותיהם הפיסיקליות צומגות בטבלה 2. עקומי הדירוג של החולות השונים מוצגים בצירור 4.

המלט להדבקת האריחים היה בהרכב של 2.5:1 (חול סיליקה : צמנט) בעובי של 15 מ"מ לפחות, אך לא יותר מ-30 מ"מ. בתוספת 10% ביחס למשקל הצמנט של מוסף אקרילי משפר עבידות.

מילוי המישקים בין האריחים נעשה באמצעות רובה צמנטית המשוקת בצורה מסחרית למטרה זאת.

האריחים היו אריחי קרמיקה לריצוף סוג א', המיוצרים בכבישה, במידות 450X450 מ"מ, ספיגותם הממוצעת נמוכה (>3%) ועמידותם בשחיקה גבוהה (IV), והם עומדים בדרישות התקן הישראלי הרלוונטי, ת"י 314, שנושאו: "אריחי קרמיקה לחיפוי ולריצוף".



צירור 4: עקומי דירוג של החולות ששימשו במחקר הנוכחי

טבלה 2 : דירוג ותכונות של סוגי החול השונים

שיור סכומי מצטבר, %				כינוי הנפה
DW	SM	SEZ	N	
				37.50
				25.00
				19.00
				14.00
		0.00		9.50
0.00		7.88		4.75
3.20	0.00	26.63		2.36
29.96	11.33	51.70	0.00	1.18
56.79	39.38	67.50	47.12	0.60
70.19	54.50	74.77	95.12	0.30
82.58	68.58	82.06	100.00	0.15
2.43	1.74	3.11	1.42	ספרת הגורמים
11.0	31.5	15.6	0.00	תכולת אבק, %
1.60	1.06	1.37	0.38	ספיגות, %
2.65	2.64	2.70	2.63	משקל סגולי-מרחבי
1715	1732	1883	1607	משקל מרחבי מהודק
1504	1521	1622	1444	משקל מרחבי בערימה
1.14	1.14	1.16	1.11	מקדם הידוק (*)

(*) יחס בין משקל מרחבי במהודק לבין המשקל המרחבי בערימה

7. בניית מערכות הריצוף השונות

לפני התקנת מערכות הריצוף, היה צורך להביא את מעבדת האקוסטיקה למצב המתאים לבדיקה תקנית. הפעולות שננקטו כדי לשדרג את המעבדה ולהתאימה לנדרש כללו:

א. לאחר הכשרת המעבדה שהחל באפריל 2006 בכך שתנאי ראשוני של ISO 140 יתמלא דהינו נפח מינימאלי של חדר קליטת קול (50 מד)

ב. מלוי תנאי זה נעשה על ידי כך שמתוך ששת חדרי הבדיקה (3 חדרים בקומת קרקע ושלושה חדרים בקומה שמעל) בוטל קיר בין המעבדות מס' I ו-II שבקומת הקרקע ונוצרה מעבדה – חדר קליטה בנפח מתאים, ושני חדרי שדור שמעליה חדר מס' IV ומס' V במספור האורגינלי.

ג. לאחר השגת נפחי מעבדה מספיקים נבדקה אטימות דלתות הפלדה שדרכם חדרו רעשים: הן רעשים פנימיים ובעקר רעשים חיצוניים (כתחבורה) אל המעבדות. הסתבר שדלתות פנימיות נתן לאטום במקצת, בעזרת חמרי אטום רכים, אך הדלתות החיצוניות אינן משיביות רצון. אי לכך נאטמו הדלתות החיצוניות לחלוטין והוצבו קירות קלים מעץ במקביל להם, כאשר כל התווך של עשרות ס"מ מולא בחמרים בולעים שהיו מצויים ובכך שופרו הבידודים.

ד. לאחר חווט מחודש עבור הציוד האלקטרוני החדש שנדרש לאחרונה, נעשו בדיקות מדת הבידוד כנגד קול נשא באוויר וכנגד קול הולם והסתבר שהתנהגות רצפות המעבדות IV וכן V מוזרה ושבהכרח אין הרצפה עשויה בטון בלבד כבתבניות האורגינליות משנות השישים. קדיחת בדיקה בתקרות הראתה שלא העובי תואם את התכניות וכן התקרה איננה הומוגנית. היה צורך לסלק את השכבה העליונה שהייתה שונה בהרכבה מתקרת הבטון המתוכננת שבעובי 14.5 ס"מ. לאחר סילוק חומר זה מתקופות מאוחרות יותר (שנות ה-70 או ה-80) נבדקו התקרות שנית ונמצא שמידת הבידוד כנגד קול הולם מתאימה לעבים שנמדדו ולמקובל בספרות מחד ולדרישות ISO 140 מאידך.

ה. דרישות ISO 140 ממעבדת בדיקה של בדוד אקוסטי כנגד קול הולם, קובעת מלבד הדרישות של ממדים פיזיים מסוימים גם מספר פרמטרים אקוסטיים שעל המעבדה למלא:

1. זמני הדהוד בטוח מסוים. בבדיקות עם חלופות כדי לעמוד בתנאים יש צורך להתקין בשטח מתאים גופים מחזירי קול (דיפ וזורים) במספר הולך וגדל עד למילוי התנאים הנדרשים (ציור 5). לאחר מלוי תנאי I יש לבדוק את העמידה בבידודים הבאים:

2. אינדקס הבידוד של התקרה הגלויה כנגד קול הולם $L_{n,r}$ 1.

3. אינדקס הבידוד של התקרה הגלויה כנגד קול נשא באויר R_w .

ו. בשלבי השמשת המעבדה המוקדמים פרצה מלחמת לבנון II ועקב כך התעכב מאד תהליך שדרוג המעבדה, והתאמתה וכן בדיקת התאמתה ל-ISO 140 נמשכה חודשים רבים.

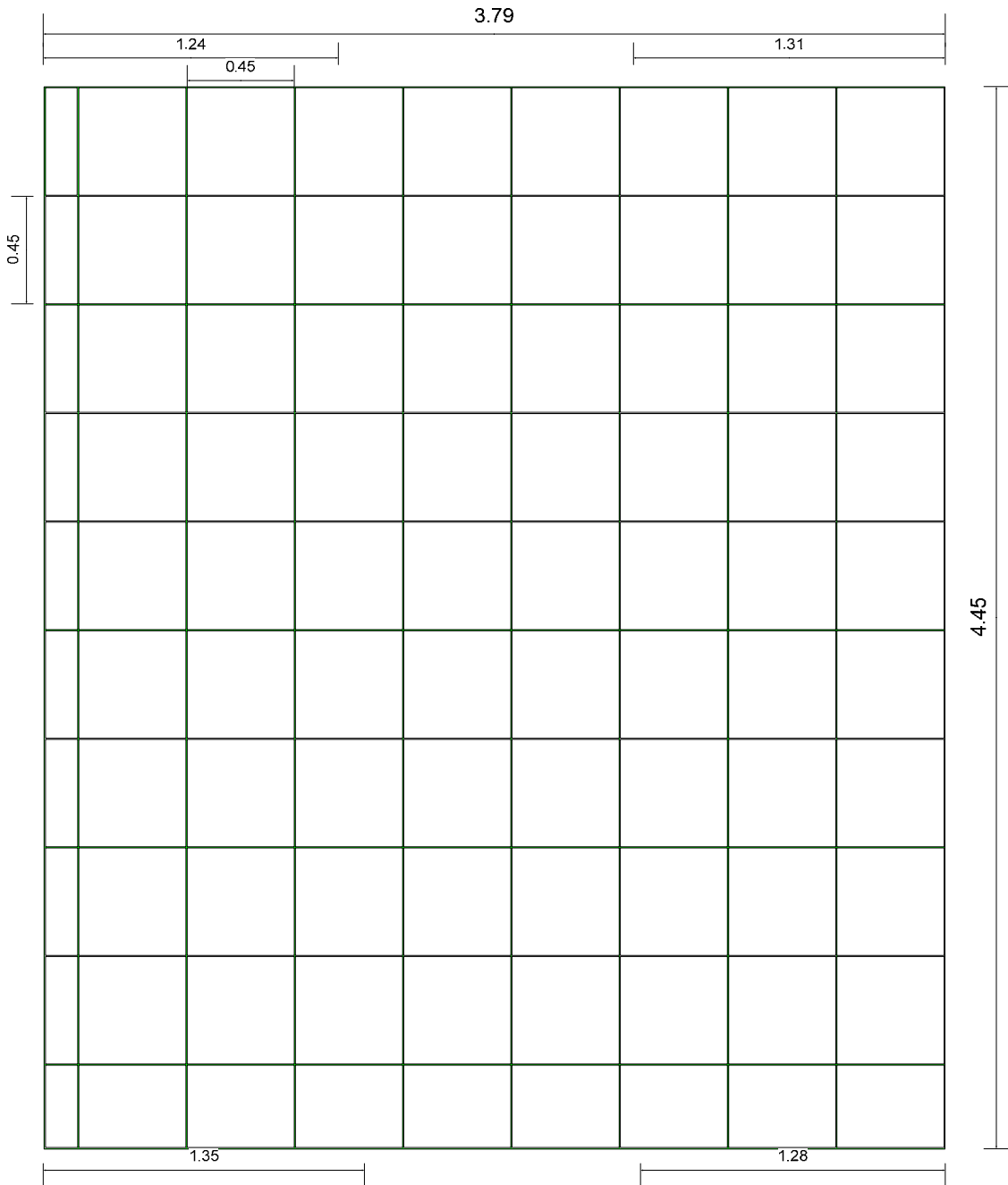
לאחר השלמת הפעולות הנ"ל, וכדי לוודא שאכן המעבדה מתאימה לנדרש בתקנים הרלוונטיים, נערכה בשלב זה בדיקה אקוסטית, אשר על-סמך תוצאותיה, הוחלט כי ניתן לבנות את מערכות הריצוף השונות.



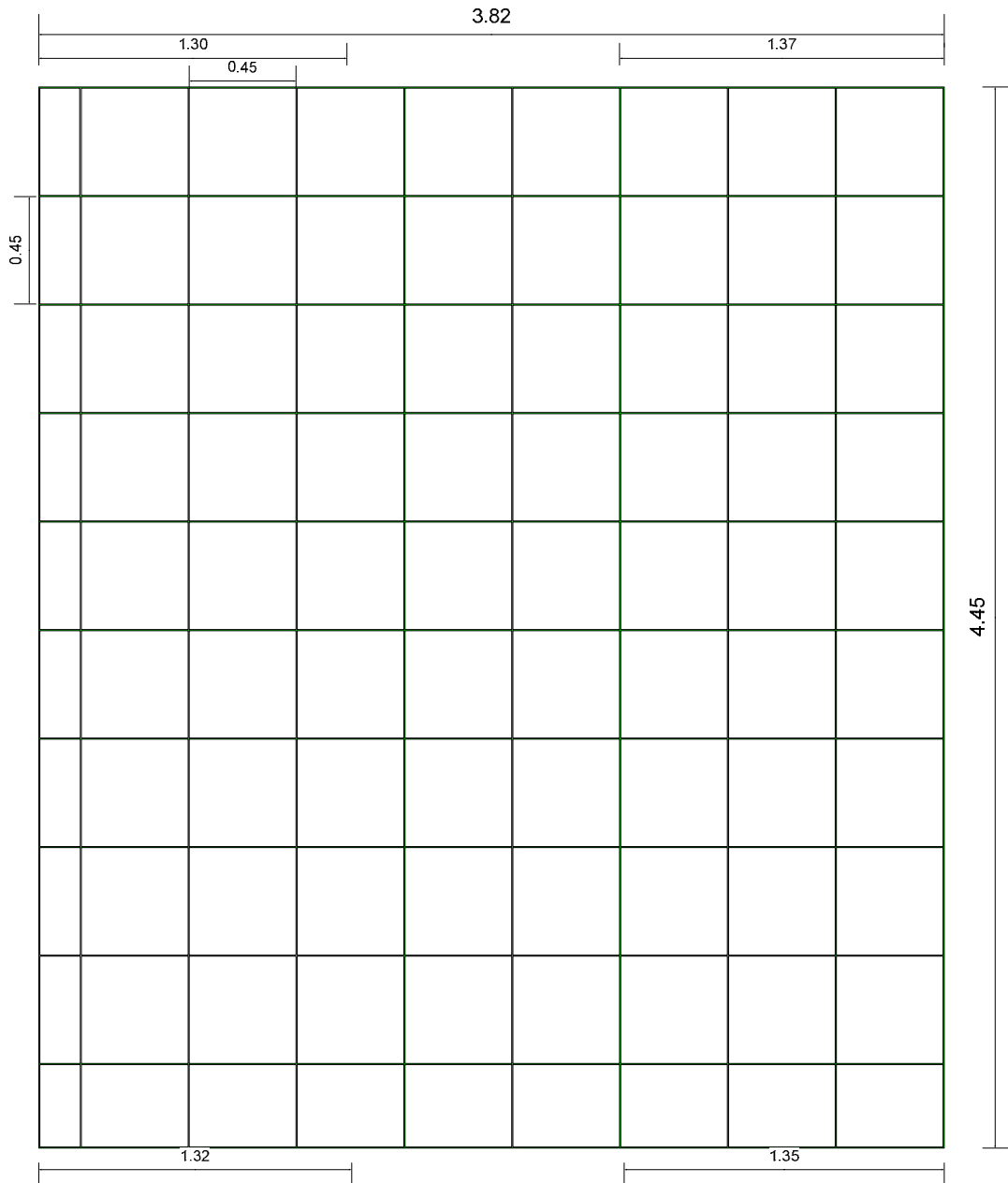
ציור 5 : התקנת דיפוזרים במעבדת האקוסטיקה

שתי מערכות ריצוף נבדקו במקביל: מערכת הייחוס, עם החול הטבעי ומערכת עם חול SEZ. שתי מערכות ריצוף נוספות, עם חולות מחצבה SM ו-D, נבדקו בהמשך לאחר פירוק של שתי המערכות שנבדקו קודם לכן. שני החדרים בהם הותקנו מערכות הריצוף שנבדקו מוצגים בציור 6 ובציור 7. ככלל, התקנת מערכת הריצוף כללה את השלבים הבאים:

1. התקנת פס מפריד גמיש בין מערכת הריצוף לבין הקירות, בגלל דרישות הבדיקה האקוסטית התקנית (ציור 8).
2. פיזור שכבת חול בעובי של 6 ס"מ. מעליה, פיזור שכבת חול מיוצב בצמנט, בעובי של 4 ס"מ נוספים. התערובת ששימשה לשכבה האמצעית במצע, המונחת מעל שכבת החול, כללה צמנט וחול ביחס של 100 ק"ג צמנט (2 שקים) ל-1 מ"ק חול. מערכת אחת נבנתה, כאמור, עם חול טבעי N, מערכת שנייה, עם חול SEZ (נקראת בשפת הבנייה "שומשום"), מערכת ריצוף שלישית עם חול מחצבה SM, שהוא חול עשיר בדקים המקובל בתעשיית המלט, לטיח בעיקר. מערכת ריצוף רביעית נבנתה על מצע של חול מחצבה דולומיטי רחוף, DW. כל שאר הנתונים (חומרים ושיטת עבודה) המתוארים להלן, היו זהים בכל מערכות הריצוף שנבדקו בעבודה הנוכחית.



ציור 6 : תכנית אחד החדרים אשר רוצף במעבדת האקוסטיקה



ציור 7 : תכנית החדר הנוסף אשר רוצף במעבדת האקוסטיקה



ציור 8 : פס הפרדה בין מערכת הריצוף לבין הקירות

3. הדבקת האריחים שכללה: הכנת המלט הטרי ולאחר מכן, מריחת גב האריח בדבק מסחרי המתאים למטרה זאת (שק במשקל 25 ק"ג מעורבב עם מים לפי הוראות היצרן). בשלב זה הודבק האריח עם הדבק הלח למלט הרטוב (הקפדה של הדבקת פני שטח רטובים למשטח רטוב). האריחים הונחו כך שהמישק בין אריח לאריח היה 3 מ"מ.
4. המישקים ("הרֻזָּה") מולאה רק לאחר שעברו, לכל הפחות, 72 שעות, מגמר שלב הנחת הריצוף. התערובת ששימשה הייתה, כאמור, תערובת צמנטית מסחרית המתאימה למטרה זאת, אשר הוכנה בהתאם להוראות היצרן.

8. תהליך העבודה והבדיקות שבוצעו

הבדיקות שנערכו לכל אחת משלוש מערכות הריצוף שנבדקו התייחסו לשלושת הנושאים הבאים :

השפעת סוג החול על ביצוע מלאכת הריצוף בפועל – מעקב אחרי שלבי הביצוע השונים מתוך כוונה ללמוד באיזה מידה, אם בכלל, משפיע סוג החול המשמש כתשתית לעבודת הריצוף, על טכנולוגיית הביצוע. בכל אחת ממערכות הריצוף הוקדשה שימת לב לתהליך העבודה עצמו, משלב פיזור החומר, דרך הידוקו ועד הנחת אריחי הריצוף. נושאים אלה נבחנו, בעיקר, דרך עיניו, התרשמותו וניסיונו המקצועי של הרצף, שיכול היה לחוש בצורה מעשית, מה הייחודיות בביצוע הריצוף על מצעים שונים ולעמוד על ההבדלים ביניהם.

השפעת סוג החול על שקיעת הריצוף – כדי לקבל אינדיקציה להשפעת העומס השימושי בבניין, הועמסה כל אחת ממערכות הריצוף, כחודש ימים לאחר השלמת בנייתה. נבדקה השפעתם של עומס מחולק שווה ועומס מרכזי, עומסים אשר דומו באמצעות בלוקים (ציור 9). מיקום עומסים אלה על משטחי הריצוף מסומן בציור 12 ובציור 13. ארבע מדידות נוספות של שינויי גובה בוצעו בהמשך, כל מדידה לאחר שבוע העמסה נוסף. לפני כל בדיקה, הוסרו העומסים הנ"ל, ולאחר סיום הבדיקה הם הוחזרו למקומם המקורי על-גבי המשטחים השונים. לפני ביצוע בדיקת שינויי הגובה האחרונה, ולאחר הסרת העומסים, נשטפו במים משטחי הריצוף השונים, שלוש פעמים ביום במשך שלושה ימים, כדי לעמוד על ההשפעה של חדירת רטיבות, במידה ויש כזאת, על תפקוד הריצוף. כלומר, מדידת שינויי הגובה האחרונה בוצעה לאחר שלושה מחזורי העמסה ולאחר שטיפת הרצפה במים.



ציור 9 : תיאור אופן העמיסה של חלק ממערכת הריצוף

הנקודות על-פני הריצוף אשר בהן נעשו מדידות שינויי הגובה בכל המקרים, מסומנות בסדר מספרי רץ בציר 12 ובציר 13. כך למשל, ממשטח הריצוף שניתן על גבי תשתית חול טבעי, נלקחו בסך-הכול 26 מדידות (נקודות 101 עד 126). מתוכן, נקודות 101, 102, 124 ו-125, מושפעות מהעומס המרכזי. ונקודות 105, 109, 118, 119, 108, 112, 122 ו-123, מושפעות מהעומס המחולק שווה. בצורה דומה, ממשטח הריצוף שהונח על תשתית החול הגרוס SEZ ("שומשום") נלקחו גם-כן 26 מדידות בנקודות 201 עד 226 ומתוכן, נקודות 201, 202, 224 ו-225, מושפעות מהעומס המרכזי. ואילו נקודות 205, 209, 218, 219, 208, 212, 222 ו-223, מושפעות מהעומס המחולק שווה. ממשטח הריצוף שניתן על-גבי התשתית של חול מחצבה SM נלקחו גם כן 26 מדידות, בנקודות 301 עד 326 ומתוכן, נקודות 301, 302, 324 ו-325, היו מתחת לעומס המרוכז ונקודות 305, 309, 318, 319, 308, 312, 322 ו-323, מתחת לעומס המחולק שווה (ציר 14). ממשטח הריצוף שניתן על-גבי התשתית של חול מחצבה DW נלקחו גם כן 26 מדידות, בנקודות 401 עד 426 ומתוכן, נקודות 401, 402, 424 ו-425, היו מתחת לעומס המרוכז ונקודות 405, 409, 418, 419, 408, 412 ו-422, מתחת לעומס המחולק שווה (ציר 15).

מדידות הניווילציה נערכו עם מאזנת מסוג WILD NAK2 ופלופרלל מסוג WILD GPM1, מכשיר השמש למדידת הפרשי גובה (ציר 10). המאזנת נותנת למודד קו ראייה אופקי והפלופרלל, המולבש על המאזנת, מאפשר הזזה אנכית של קו הראייה, כך שניתן יהיה ללכוד אותו עם שנתה, על-גבי הלטה. שלושה אמצעים נוספים סייעו בביצוע המדידות הנ"ל: חצובה, שהיא תלת-רגל המשמש להעמדת המאזנת. לְטָה, שהיא סרגל אנכי עם גודל שנתה של 1 ס"מ. ו"צפרדע", שהיא למעשה משולש ברזל, בעל פין בולט, היוצר נקודת גובה נוחה למדידה. דיוק המדידה באמצעים ששימשו בעבודה הנוכחית היה ± 0.334 מ"מ.



ציר 10 : המאזנת והפלופרלל ששימשו בעבודה הנוכחית

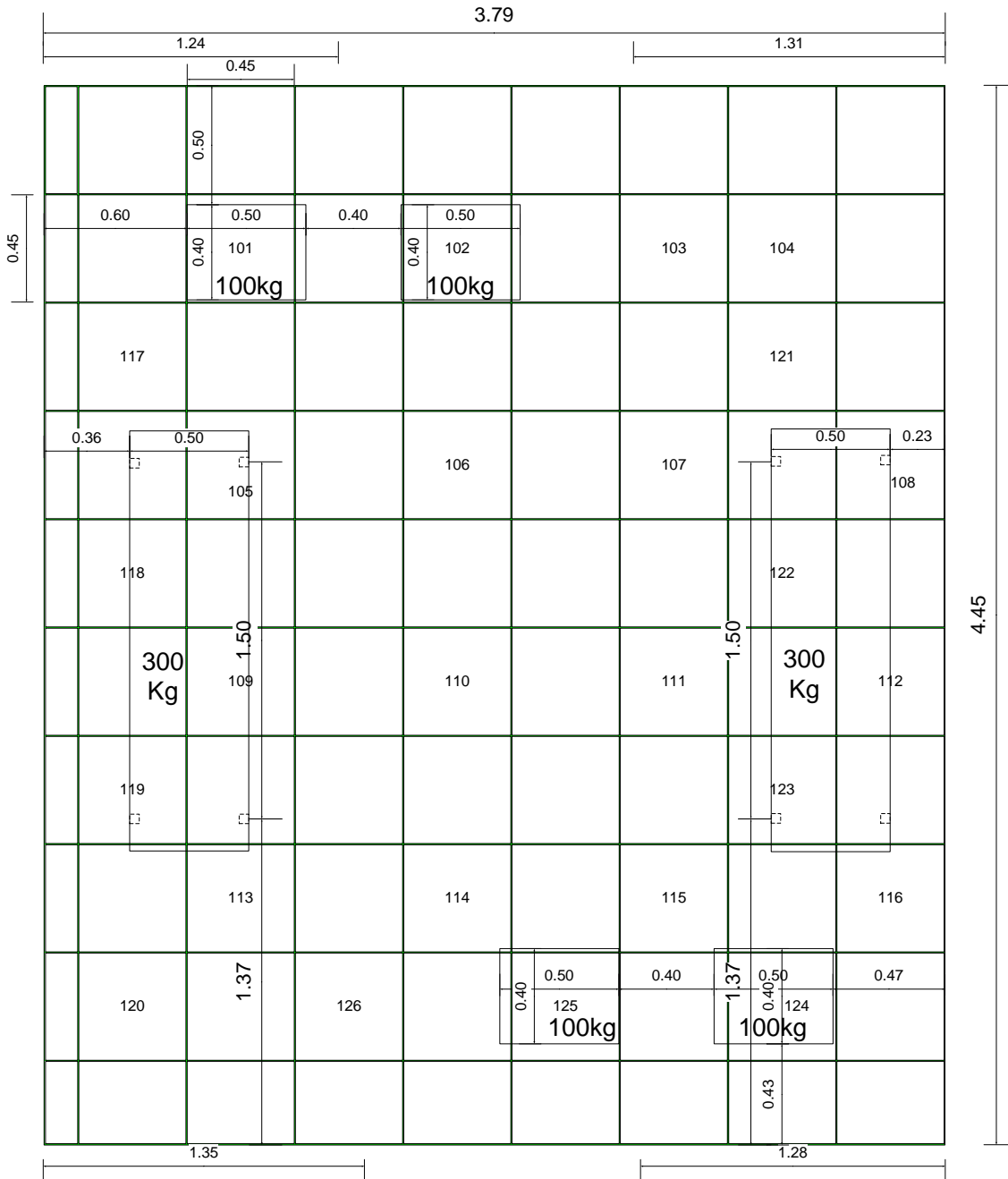
את המדידה מבצעים שני מודדים כאשר, בתחילה, עובד מודד אחד עם המכשיר, ומודד שני עובד עם הלקטה (ציור 11). את המאזנת מעמידים על חצובה בכניסה לחדר וכאשר הלקטה ממוקמת במצב אנכי על "נקודת האפס", צופים לעברה ורושמים את הקריאה. לאחר מכן, מעמידים את הלקטה על כל אחד מהנקודות המסומנות בחדר (ציור 12 וציור 13) ואשר ניתן לצפות אליהן, מבצעים קריאה ועורכים רישום מתאים. לבסוף, מעמידים את הלקטה פעם נוספת ב"נקודת האפס" ומבצעים קריאה. אם ההבדל בין הקריאות לעבר נקודת האפס, בתחילת המדידה לבין זה שבוצע בסוף המדידה הינו משמעותי, חוזרים על המדידה. בנוסף לרישום המדידות של כל הנקודות בחדר, נמדד גם גובה ה"צפרדע" המונח בתוך החדר.



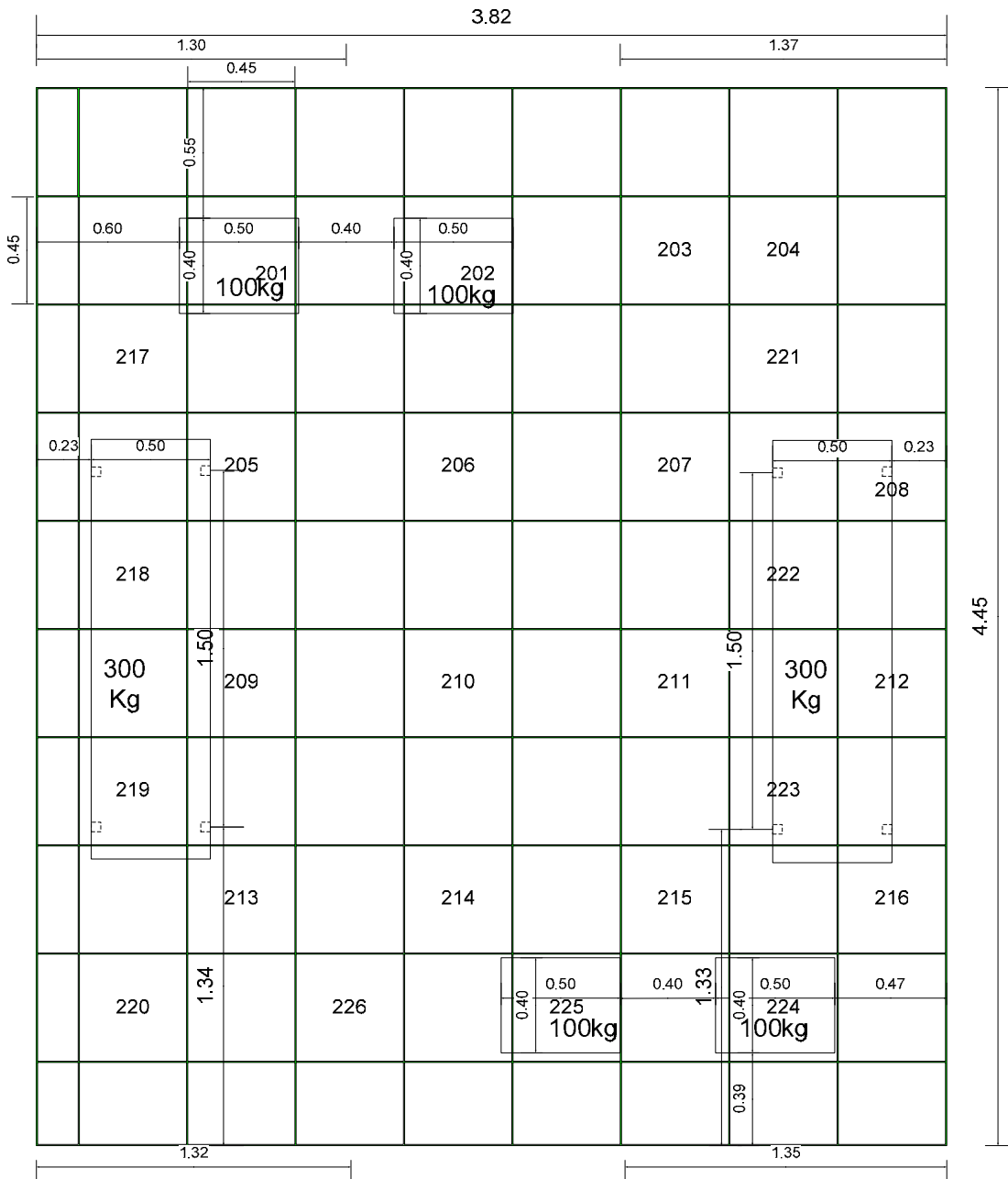
ציור 11 : אופן ביצוע המדידה באחד מהחדרים המרוצפים

כדי למדוד את אותן הנקודות הנמצאות קרוב למכשיר, או כאלה המוסתרות על-ידי קירות החדר ועדיין לא נמדדו, הוצב המכשיר בתוך החדר, כאשר ה"צפרדע" שימשה כ"נקודת האפס" ונמדדה באופן דומה לזה שבו נמדדו שאר הנקודות. כדי לבקר את המדידה, התחלפו המודדים בתפקידם. בשלב זה, מעמיד המודד את המכשיר, שוב, ומודד חמש נקודות באותו האופן שהוסבר לעיל. לאחר-מכן, מעמיד המודד את המכשיר בתוך החדר ומודד חמש נקודות נוספות. חישוב סכום ריבועי הפרשי הגובה בין שתי המדידות, עבור אותן הנקודות שנמדדו פעמיים, צריך להיות כ-0.25 מ"מ, מהווה אומדן לדיוק המדידה.

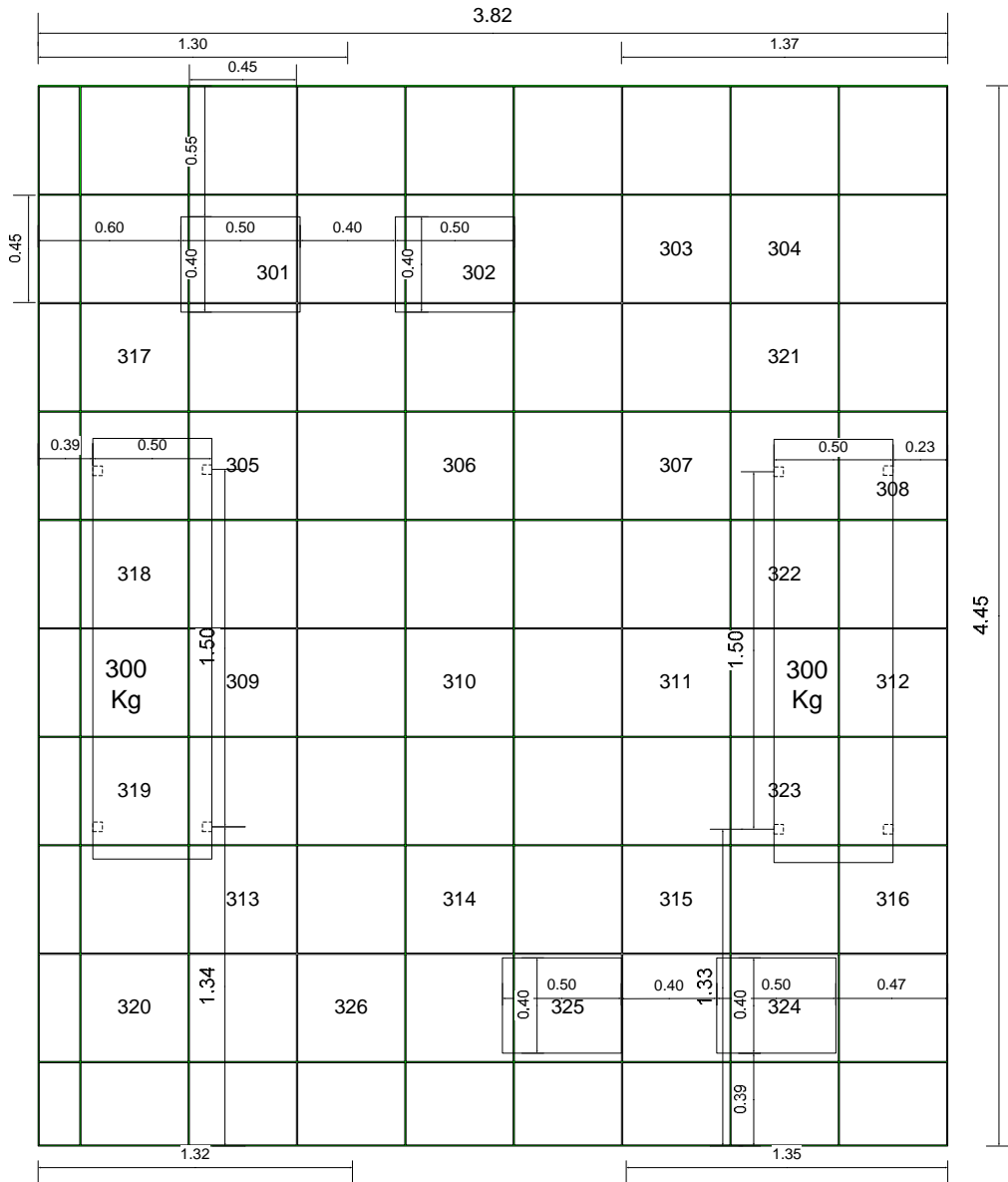
השפעת סוג החול על הבידוד האקוסטי - לאחר השלמת התקנת מערכת הריצוף, נערכה בדיקה אקוסטית ראשונה, בדיקה זאת היוותה, למעשה, בדיקת ייחוס לבדיקות הנוספות שנערכו אחר-כך, תחת עומס ולאחר פריקתו, כפי שהוסבר לעיל, בנוגע לבדיקת שקיעת הריצוף. בדיקות אקוסטיות נוספות בוצעו, תחת עומס ולאחר פירוק העומס, בכל אחד ממחזורי העמסה והפירוק אשר שימשו גם לבדיקת השקיעה, כמתואר לעיל.



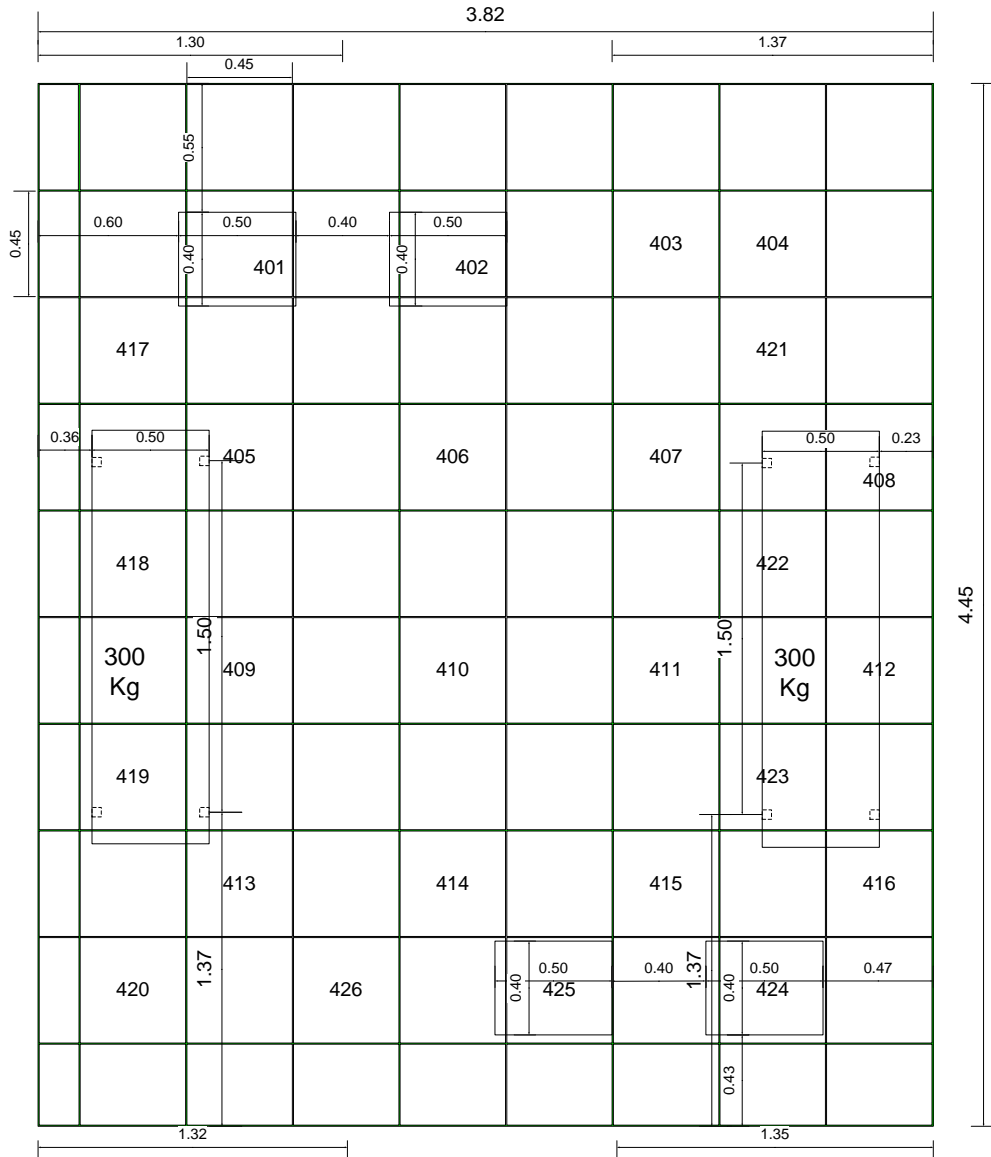
ציור 12 : העומסים והנקודות בהן נבדקה השקיעה במערכת הייחוס שנבנתה עם חול טבעי N



ציור 13 : העומסים והנקודות בהן נמדדה השקיעה במערכת הריצוף שנבנתה על תשתית חול SEZ



ציור 14 : העומסים והנקודות בהן נמדדה השקיעה במערכת הריצוף שנבנתה על תשתית חול SM



ציור 15 : העומסים והנקודות בהן נמדדה השקיעה במערכת הריצוף שנבנתה על תשתית חול DW

המסקנות בדו"ח זה מתייחסות, מן הסתם, להשוואה בין ריצוף עם חול טבעי, N, לבין ריצוף עם תחליפים כמו: חול SM, חול DW או חול SEZ, באשר לשלושת הפרמטרים שנבדקו, ז.א. ההשפעה שיש לסוג החול, אם בכלל, על טכנולוגיית הביצוע, על שקיעת הריצוף ועל כושר הבידוד האקוסטי של מערכת הריצוף השונות.

9. דיון בתוצאות

בפרק זה יוצגו כל אחת מארבעת מערכות הריצוף אשר נבדקו במסגרת המחקר הנוכחי וינתחו המסקנות בהתייחס לשלושת הפרמטרים שהוצגו לעיל, אשר לפיהן נבחנה תפקודן של אותן מערכות הריצוף.

השפעת סוג החול על מלאכת הריצוף

ביצוע של מערכת ריצוף עם חול טבעי N (מערכת הייחוס) - על תקרת הבטון פוזרה שכבת חול טבעי בעובי של 6 ס"מ החול פוזר בעזרת את ומגרפה. מעל שכבה זאת הושמה שכבה נוספת, בעובי של 4 ס"מ, של חול אשר עורבב במערבל עם צמנט. את שכבת החול המיוצבת הידק הרצף באמצעות מתקן אותו בבנה בעצמו, במשקל של כ-35 ק"ג, אשר הורכב מצינור מים באורך 60 ס"מ ובקוטר 16.5 מ"מ אשר מולא בבטון, ובתוכו הושחל ברזל זיון בקוטר 12 מ"מ (ציור 16). לקצות ברזל זיון, שבלטו מחוץ לצינור הממולא בבטון חוברה, באמצעות ברגים, מסגרת מתכת, ששימשה כידית, שהקלה על פעולת הכבישה. פני השטח שהתקבלו היו מישוריים ומהודקים. הרצף טען כי למרות המצג היציב של מצע החול הטבעי, נדרש יישור מחדש של החול, לפני הנחת כל אריח נוסף במקומו, מכיוון שהברכיים של הרצף "דוחקות" את החול מתחתיהן, עם התקדמות של הרצף. בנוסף, החול, הסופג מטבעו, גורם להסמכת המלט. עובדה זאת מקשה על שיטוח המלט, מתחת לאריח, על-פני החול הטבעי. כדי להתגבר על כך, יש צורך במהלך העבודה לדלל מעט את המלט מידי פעם. ניתן ללְחַלֵּחַ מעט את המצע, תוך כדי הנחת האריחים, כדי להימנע מפעולה זאת. למרות זאת, כאשר הריצוף נעשה מעל מצע של חול טבעי, קל לפלס את האריח ואין צורך להקפיד על שכבת המלט, במובן זה, שעודף המלט ניתן לסילוק בקלות מהדפנות, לאחר פילוס האריח.



ציור 16 : מתקן הידוק ידני ששימש את הרצף לכבישת שכבת החול המיוצבת

ביצוע של מערכת ריצוף עם חול SEZ – בוצעה בצורה דומה למתואר לעיל, עם החול הטבעי. אחת התופעות אליה התייחס הרצף הייתה שבזמן היישור של השכבה הראשונה, בעזרת מגרפה, ניתן היה להבחין בהפרדה משמעותית בין הגרגירים הגדולים יחסית לגרגירים הקטנים יותר, המרכיבים את החול הנידון. תופעה זאת גוררת פעולה חוזרת של ערבוב מקומי ויישור מחדש. בשכבה השנייה, המורכבת מחול SEZ מיוצב עם צמנט, לא ניתן היה להצביע על אותן תופעות ולא נרשם הבדל בביצוע, מזה שאפיין את אותה שכבה שנעשתה עם החול הטבעי. במקרה הנוכחי, התקבל מצג של פני שטח ישרים ויציבים, שהתברר כנוח מאד להנחת אריחי הריצוף. דווקא הידוק המצע המורכב מחול SEZ היה יותר נוח, בהשוואה לחול הטבעי, כנראה בגלל העובדה שחול SEZ מכיל מגוון פרקציות, בשונה מהחול הטבעי, שדירוגו אחיד. התוצאה, כאמור, היא משטח יותר יציב להמשך העבודה של הנחת האריחים. לעומת זאת, בעבודה על מצע SEZ, היה צורך להקפיד יותר על כמות המלט המונחת מתחת לאריח. דווקא יציבותו ורמת הידוק הגבוהה הקשתה על פילוסו של האריח. למרות זאת, התרשמותו של הרצף הייתה כי, ככלל, העבודה של הנחת האריחים על פני מצע SEZ הייתה יותר קלה ויותר נוחה מריצוף עם אותם אריחים על-פני מצע החול הטבעי. אמנם, צריך היה להקפיד יותר על כמות המלט שמניחים מתחת לאריח (כיוון שהמלט אינו גולש מחוץ לשפתי האריח עקב הידוק למצע). אבל, המצע היה יותר יציב לא הייתה תנועה של החול מתחת לברכי הרצף בעת התקדמות העבודה, מה שהקל משמעותית על עבודתו הריצפה.

ביצוע של מערכת ריצוף עם חול מחצבה SM – בוצעה בצורה דומה למתואר לעיל, עם החול הטבעי ועם השומשום. כלומר, על תשתית הבטון פוזר חול המחצבה SM הנקי. הרצף מצא לנכון לציין כי בכל פסיעה שלו על החול נוצר שקיעה שחייבה יישור מחדש, עובדה שהקשתה על מהלך העבודה. בנוסף, בשכבת החול המעורבת עם צמנט, אותה מיישמים מעל שכבת החול הנקי, לא התקבלה מסה אחידה. יצוין עוד כי יישור החול בוצע כמקובל בעזרת את-נשיאה ומגרפה והידוק החול בעזרת מכבש היד המאולתר שתואר לעיל. במקרה של מצע חול SM הנידון, נדרשה פעולה חוזרת של ערבוב מקומי ויישור מחדש, במהלך העבודה. התזת מים והידוק נוסף בסמוך להנחת אריחי הקרמיקה, סייעה בייצוב מסת החול המיוצב. בעיות נוספות שנתגלו בהנחת הריצוף על חול מחצבה SM באו לידי ביטוי בכך שהיה צורך ליישר את החול מחדש לפני הנחת כל אריח במקומו וכן נדרשה הרטבה של המצע תוך כדי הנחת האריחים. עובדות אלו היקשו על הנחת הריצוף על מצע SM, יותר מאשר ניתן היה להצביע על המצעים האחרים ששימשו בעבודה הנוכחית.

ביצוע של מערכת ריצוף עם חול מחצבה DW – גם במקרה זה, כמו בשלושת המצעים האחרים, פוזרה תחילה שכבה של חול DW נקי על תשתית הבטון. הרצף התרשם כי העבודה עם חול המחצבה הדלומיטי הייתה נוחה ולא נדרש הידוק מיוחד לצורך קבלת שכבה אחידה. בזמן יישור החול לא ניתן היה להבחין בהפרדה של החול, בהתאם לגודל גרגיריו, עובדה שבלטה בשימוש בחול הגרוס SEZ. חול המחצבה הדלומיטי DW נשאר במצב הומוגני גם בשכבה המייצבת

בצמנט. היישור בוצע גם במקרה זה בעזרת את-נשיאה ומגרפה והחול הודק באמצעות מכבש ידני. הרצף ציין כי בהנחת אריחי הקרמיקה על מצע החול הדולומיטי DW, לא נדרשה כל פעולה מיוחדת, כפי שנדרשה למשל בהנחת האריחים על מצע של חול טבעי N או חול מחצבה SM.

השפעת סוג החול על שקיעת הריצוף

אחת המטרות של העבודה הנוכחית הייתה, כזכור, להשוות את השקיעות של משטחי הריצוף, בתלות בסוג החול שממנו נעשתה התשתית. כדי לבדוק נושא זה, נערכו מדידות ניווילציה של משטחי הריצוף השונים. מדידה ראשונה התבצעה כחודש לאחר סיום עבודת הריצוף והיא שימשה מדידת הייחוס לבדיקות שנעשו בהמשך, בכל אחת ממערכות הריצוף שנבדקו. שלוש בדיקות נוספות בוצעו לאחר שלושה מחזורי העמסה, שני שבוע כל אחד. בדיקה אחרונה התבצעה לאחר הרטבה של משטח הריצוף במהלך של שלושה ימים, שלוש פעמים ביום.

שקיעה של מערכת ריצוף עם חול טבעי N (מערכת הייחוס) – בטבלה 3 מוצגות התוצאות שהתקבלו בבדיקות הניווילציה שבוצעו למערכת הריצוף שניתנה על תשתית של חול טבעי, N. הבדיקה הראשונה, מהווה למעשה, בדיקת ייחוס, בוצעה לפני ההעמסה הראשונה. ולאחר מכן, נעשו בדיקות לאחר מחזורי העמסה נוספים. הבדיקה האחרונה בוצעה ללא עומס, ולאחר שטיפת משטח הריצוף במים.

טבלה 3 : שקיעת הריצוף שניתן על מצע N

שקיעה יחסית ממוצעת לאחר מדידה, מ"מ (*)					סוג העמיסה
לאחר כל מחזורי המדידה	רביעית	שלישית	שנייה	ראשונה	
0.63	-	(0.50) 0.49	(0.45) 0.55	(0.65) 0.85	עומס מרכזי
0.15	-	(0.34) 0.13	(0.39) 0.07	(0.44) 0.24	עומס מחולק
0.34	-	(0.44) 0.19	(0.62) 0.32	(0.57) 0.49	ללא עומס
0.32	(0.43) 0.25	(0.43) 0.24	(0.53) 0.30	(0.53) 0.48	כללי

(*) בסוגריים – סטיית תקן

באופן כללי, השקיעה שנמדדה הייתה קטנה ממילימטר אחד ובהקשר זה יש לציין כי לא היה ניתן להבחין, ממראה עיניים, בשקיעות במשטח זה. אם מתייחסים למוצע השקיעות בהתאם לצורת העמיסה (עומס מחולק או עומס מרכזי) רואים כי, תחת עומס מרכזי מתקבלת שקיעה גדולה משמעותית (פי 4 לערך), מזאת המתקבלת תחת העומס המחולק, ופי 2 לערך, מהשקיעה המתקבלת ללא עומס או ממוצע השקיעה הכללי. השקיעה הממוצעת הכוללת לאחר כל מחזורי ההעמסה הייתה: 0.32 מ"מ.

שקיעה של מערכת ריצוף עם מצע SEZ – בטבלה 4 מוצגות התוצאות שהתקבלו בבדיקות הניווילציה שבוצעו למערכת הריצוף שניתנה על תשתית של חול גרוס SEZ. גם כאן, הבדיקה הראשונה, המהווה, למעשה, בדיקת ייחוס, ובוצעה לפני ההעמסה הראשונה. ולאחר מכן, נעשו בדיקות לאחר מחזורי העמסה נוספים. הבדיקה האחרונה בוצעה ללא עומס, ולאחר שטיפת משטח הריצוף במים.

טבלה 4: שקיעת הריצוף שניתן על מצע SEZ

שקיעה יחסית ממוצעת לאחר מדידה, מ"מ					סוג העמיסה
לאחר כל מחזורי המדידה	רביעית	שלישית	שנייה	ראשונה	
0.37	-	0.29 (0.57)	0.46 (0.70)	0.34 (0.57)	עומס מרכזי
0.15	-	0.17 (0.45)	0.19 (0.49)	0.08 (0.57)	עומס מחולק
0.41	-	0.30 (0.60)	0.55 (0.55)	0.39 (0.60)	ללא עומס
0.31	0.25 (0.49)	0.28 (0.49)	0.42 (0.50)	0.29 (0.55)	כללי

באופן כללי, גם במערכת הריצוף שנבנתה על תשתית SEZ, השקיעה שנמדדה הייתה קטנה ממילימטר אחד ולא היה ניתן להבחין, ממראה עיניים, בשקיעות גם במשטח זה. אם מתייחסים לממוצע השקיעות בהתאם לצורת העמיסה (עומס מחולק או עומס מרכזי) רואים כי, תחת עומס מרכזי מתקבלת שקיעה גדולה משמעותית (פי 2 ויותר), מזאת המתקבלת תחת העומס המחולק. בהתחשב בסטיית התקן המאפיינת את המדידה עצמה ($0.334 \pm$ מ"מ), השקיעה ללא עומס והשקיעה הממוצעת הכללית דומו בערך, והן תואמות את השקיעה הממוצעת שנמדדה תחת העומס המרוכז. השקיעה הממוצעת הכוללת לאחר כל מחזורי ההעמסה הייתה: 0.31 מ"מ והיא דומה לזאת שהתקבלה במערכת הייחוס, אשר נבנתה על מצע של חול טבעי.

שקיעה של מערכת ריצוף עם חול מחצבה SM – בטבלה 5 מוצגות התוצאות שהתקבלו בבדיקות הניווילציה שבוצעו למערכת הריצוף שניתנה על תשתית של חול מחצבה SM. גם כאן, הבדיקה הראשונה, המהווה, למעשה, בדיקת ייחוס, ובוצעה לפני ההעמסה הראשונה. ולאחר מכן, נעשו בדיקות לאחר מחזורי העמסה נוספים. הבדיקה האחרונה בוצעה ללא עומס, ולאחר שטיפת משטח הריצוף במים.

במשטח הריצוף שניתן על תשתית של SM נמדדה, למעשה, בכל המקרים, תפיחה. לא ניתן להצביע על הבדל בין סוג העומס, מרכזי או ממחולק מבחינה זאת, כמו גם בין האזור שלא היה תחת עומס לבין הממוצע הכללי. ככלל, במערכת זאת אמנם נמדדה תפיחה גבוהה יחסית (פחות מ-2 מ"מ), בהשוואה למערכות הריצוף האחרות שנבדקו בעבודה הנוכחית. אך, מאידך, בגלל העובדה שהתפיחה הייתה אחידה על-פני כל המשטח המרוצף (סטיית תקן מזערית של מכסי 0.03), לא ניתן היה להבחין בשינוי זה באופן מעשי.

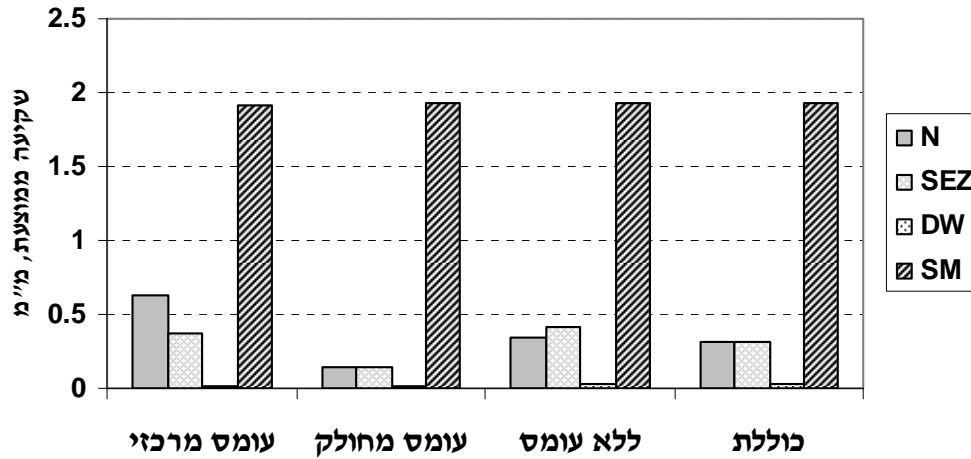
טבלה 5 : שקיעת הריצוף שניתן על מצע SM

שקיעה יחסית ממוצעת לאחר מדידה, מ"מ					סוג העמיסה
לאחר כל מחזורי המדידה	רביעית	שלישית	שנייה	ראשונה	
1.92	-	(0.01) 1.82	(0.03) 1.96	(0.00) 1.98	עומס מרכזי
1.93	-	(0.01) 1.83	(0.03) 1.98	(0.01) 1.99	עומס מחולק
1.93	-	(0.02) 1.82	(0.03) 1.97	(0.01) 1.99	ללא עומס
1.93	(0.02) 1.93	(0.02) 1.83	(0.03) 1.98	(0.01) 1.99	כללי

שקיעה של מערכת ריצוף עם חול מחצבה DW – בטבלה 6 מוצגות התוצאות שהתקבלו בבדיקות הניווילציה שבוצעו למערכת הריצוף שניתנה על תשתית של חול דולומיטי גרוס DW. גם כאן, הבדיקה הראשונה, היוותה למעשה בדיקת ייחוס, ובוצעה לפני ההעמסה הראשונה. ולאחר מכן, נעשו בדיקות לאחר מחזורי העמסה נוספים. הבדיקה האחרונה בוצעה ללא עומס, ולאחר שטיפת משטח הריצוף במים.

טבלה 6 : שקיעת הריצוף שניתן על מצע D

שקיעה יחסית ממוצעת לאחר מדידה, מ"מ					סוג העמיסה
לאחר כל מחזורי המדידה	רביעית	שלישית	שנייה	ראשונה	
0.03		(0.00) 0.00	(0.03) 0.02	(0.02) 0.02	עומס מרכזי
0.01		(0.01) 0.01	(0.00) 0.03	(0.02) 0.02	עומס מחולק
0.02		(0.03) 0.02	(0.02) 0.03	(0.02) 0.03	ללא עומס
0.03	(0.01) 0.03	(0.02) 0.02	(0.02) 0.03	(0.02) 0.03	כללי



ציור 17: השוואה בין השקיעות שנמדדו במערכות הריצוף השונות

השקיעה שנמדדה במערכת הריצוף הנידונה, הייתה בין 0.02 מ"מ ל-0.03 מ"מ, ללא תלות בסוג העומס, מרכזי או מחולק, כמו-גם ללא עומס והממוצע הכולל. ראוי לציין כי השקיעות שנמדדו במשטח זה היו מזעריות ומבחינה מעשית, לא יכולה להיות להן השפעה תפקודית מזיקה. הדבר בולט גם בהשוואה למערכות הריצוף האחרות אשר נבדקו בעבודה הנוכחית (ציור 17), כולל המשטח שנבנה על תשתית של חול טבעי.

השפעת סוג החול על הבידוד האקוסטי

הבידוד האקוסטי של מערכת ריצוף על מצע חול טבעי

המדידה של כושר הבידוד האקוסטי כנגד קול הולם נעשתה תחילה לפני בניית מערכת הריצוף. בהמשך, נעשו מספר מדידות, לפני העמסת הרצפה ולאחר פריקת העומס. בדיקה נוספת בוצעה, כאמור, לאחר הרטבת משטח הריצוף. התקן דורש כיום שכושר הבידוד האקוסטי לא יעלה על 63dB. נפחו של חדר הקליטה היה 104.76 מ"ק ושטח התקרה המשותף עמד על 18.06 מ"ר. התוצאות שהתקבלו במדידות האקוסטיות מוצגות בטבלה 7 עד טבלה 15. ניתן לראות בבירור, כי מערכת הריצוף משפרת משמעותית את כושר הבידוד האקוסטי של תקרת הבטון העירומה בכ-20%. כושר הבידוד האקוסטי אינו מושפע למעשה בין עם המערכת מועמסת, מורטבת או ללא עומס כלל (ציור 18). בכל המצבים כושר הבידוד האקוסטי של מערכת הריצוף הנידונה שנבדקה כאשר נבנתה על חול טבעי N, היה 61dB והוא נמוך במעט מהערך של 63dB, הנדרש בתקן הישראלי הרלוונטי.

טבלה 7: בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם לפני בניית הריצוף עם חול N

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.125	63.0	0.9-	63.9
2	125	1.81	68.7	0.3-	69.0
3	160	1.44	70.1	0.7+	69.4
4	200	1.32	70.9	1.1+	69.8
5	250	1.18	71.1	1.6+	69.5
6	315	1.24	70.0	1.4+	68.6
7	400	1.29	69.4	1.2+	68.2
8	500	1.12	67.9	1.8+	66.1
9	630	1.00	68.6	2.3+	66.3
10	800	1.18	69.0	1.6+	67.4
11	1000	1.37	70.0	1.0+	69.0
12	1250	1.24	70.6	1.4+	69.2
13	1600	1.20	70.8	1.5+	69.3
14	2000	1.16	71.2	1.7+	69.5
15	2500	1.08	71.5	2.0+	69.5
16	3150	0.97	71.3	2.5+	68.8
17	4000	-	-	-	-
18	A	-	-	-	-
		$L_{nw} = 75dB$		$\bar{\varepsilon} = 1.956dB$	$\sum \varepsilon = 31.3$

טבלה 8 : בדיקת ייחוס אקוסטית, ראשונה, כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול

טבעי N

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	62.2	1.1-	61.1
2	125	1.56	63.7	1.04-	64.1
3	160	1.29	69.0	1.2+	70.2
4	200	1.10	67.1	1.9+	69.0
5	250	1.25	64.3	1.4+	65.7
6	315	1.20	61.7	0.8+	62.5
7	400	1.12	60.3	1.8+	62.1
8	500	1.05	58.8	2.1+	60.9
9	630	1.02	57.1	2.2+	59.3
10	800	1.21	55.2	1.5+	56.7
11	1000	1.36	53.6	1.0+	54.6
12	1250	1.25	52.1	1.4+	53.5
13	1600	1.16	50.6	1.7+	52.3
14	2000	1.14	48.7	1.8+	50.5
15	2500	1.08	47.0	2.0+	49.0
16	3150	0.98	43.2	2.4+	45.6
17	4000	0.95	39.9	2.5+	42.4
18	A	-	65.6	2.1+	67.6
$\sum \varepsilon = 24.5$		$\bar{\varepsilon} = 1.531dB$		$L_{nw} = 61dB$	

טבלה 9 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול טבעי N לאחר העמסה ראשונה

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	70.2	1.1-	69.1
2	125	1.56	68.2	0.4+	68.6
3	160	1.29	67.7	1.2+	68.9
4	200	1.10	69.8	1.9+	71.7
5	250	1.25	68.3	1.4+	69.7
6	315	1.20	65.0	0.8+	65.8
7	400	1.12	63.1	1.8+	64.9
8	500	1.05	61.3	2.1+	63.4
9	630	1.02	58.4	2.2+	60.6
10	800	1.21	55.6	1.5+	67.1
11	1000	1.36	54.4	1.0+	55.4
12	1250	1.25	52.8	1.4+	54.2
13	1600	1.16	51.6	1.7+	53.3
14	2000	1.14	50.2	1.8+	52.0
15	2500	1.08	47.9	2.0+	49.9
16	3150	0.98	42.5	2.4+	44.9
17	4000	0.95	-	2.5+	-
18	A	-	66.4	2.1+	68.5
$\sum \varepsilon = 24.7$		$\bar{\varepsilon} = 1.544dB$	$L_{nw} = 64dB$		

טבלה 10 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול טבעי N לאחר פריקת עומס ראשונה

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	62.4	1.1-	61.3
2	125	1.56	63.7	0.4-	64.1
3	160	1.29	67.3	1.2+	68.5
4	200	1.10	67.8	1.9+	69.7
5	250	1.25	65.1	1.4+	66.5
6	315	1.20	62.0	0.8+	62.8
7	400	1.12	61.2	1.8+	64.0
8	500	1.05	59.7	2.1+	61.8
9	630	1.02	57.4	2.2+	59.6
10	800	1.21	54.9	1.5+	56.4
11	1000	1.36	52.7	1.0+	53.7
12	1250	1.25	51.1	1.4+	52.5
13	1600	1.16	49.6	1.7+	51.3
14	2000	1.14	47.9	1.8+	49.7
15	2500	1.08	46.0	2.0+	48.0
16	3150	0.98	43.4	2.4+	45.7
17	4000	0.95	40.3	2.5+	42.8
18	A	-	65.8	2.1+	67.9
$\sum \varepsilon = 26.4$		$\bar{\varepsilon} = 1.650dB$		$L_{nw} = 61dB$	

טבלה 11 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול טבעי N לאחר העמסה שנייה

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	מדוד Leq	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	58.1	1.1-	57.0
2	125	1.56	65.8	0.4-	66.2
3	160	1.29	67.9	1.2+	69.1
4	200	1.10	67.7	1.9+	69.6
5	250	1.25	65.9	1.4+	67.3
6	315	1.20	63.5	0.8+	64.3
7	400	1.12	61.5	1.8+	63.3
8	500	1.05	59.6	2.1+	61.7
9	630	1.02	57.3	2.2+	59.5
10	800	1.21	54.6	1.5+	56.1
11	1000	1.36	53.2	1.0+	54.2
12	1250	1.25	51.7	1.4+	53.1
13	1600	1.16	50.0	1.7+	51.7
14	2000	1.14	48.7	1.8+	50.5
15	2500	1.08	46.2	2.0+	48.2
16	3150	0.98	43.5	2.4+	45.9
17	4000	0.95	39.3	2.5+	41.8
18	A	-	66.1	2.1+	68.2
$\sum \varepsilon = 31.0$		$\bar{\varepsilon} = 1.938dB$		$L_{nw} = 61dB$	

טבלה 12 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול טבעי N לאחר פריקת עומס שנייה

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	62.4	1.1-	61.3
2	125	1.56	66.8	0.4-	67.2
3	160	1.29	67.9	1.2+	69.1
4	200	1.10	66.0	1.9+	67.9
5	250	1.25	63.6	1.4+	65.0
6	315	1.20	63.5	0.8+	64.3
7	400	1.12	61.1	1.8+	62.9
8	500	1.05	59.1	2.1+	61.2
9	630	1.02	56.2	2.2+	58.4
10	800	1.21	53.7	1.5+	55.2
11	1000	1.36	52.5	1.0+	53.5
12	1250	1.25	51.4	1.4+	52.8
13	1600	1.16	49.6	1.7+	51.3
14	2000	1.14	47.5	1.8+	49.3
15	2500	1.08	44.7	2.0+	46.7
16	3150	0.98	42.5	2.4+	44.9
17	4000	0.95	38.1	2.5+	40.6
18	A	-	65.5	2.1+	67.6
$\sum \varepsilon = 23.5$		$\bar{\varepsilon} = 1.469dB$		$L_{nw} = 61dB$	

טבלה 13 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול טבעי N לאחר העמסה שלישית

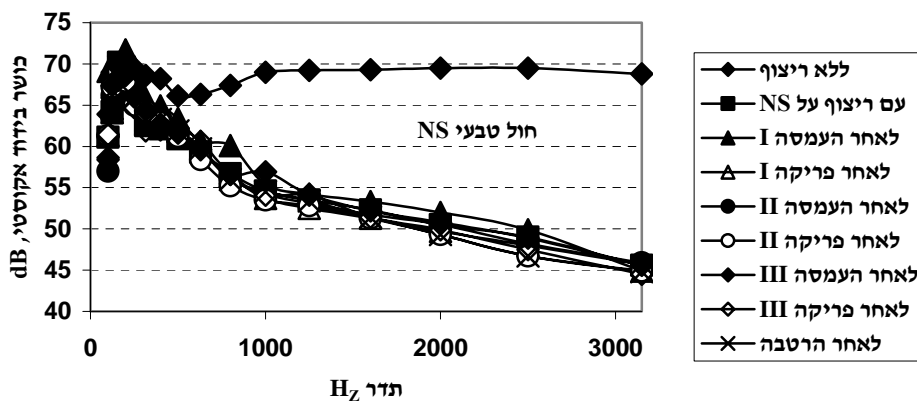
מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	59.5	1.1-	58.4
2	125	1.56	67.0	0.4-	67.4
3	160	1.29	68.4	1.2+	69.6
4	200	1.10	66.8	1.9+	68.7
5	250	1.25	64.6	1.4+	66.0
6	315	1.20	63.6	0.8+	64.4
7	400	1.12	60.9	1.8+	62.7
8	500	1.05	69.5	2.1+	61.6
9	630	1.02	57.4	2.2+	59.6
10	800	1.21	55.1	1.5+	56.6
11	1000	1.36	55.9	1.0+	56.9
12	1250	1.25	52.8	1.4+	54.2
13	1600	1.16	50.5	1.7+	52.2
14	2000	1.14	49.0	1.8+	50.8
15	2500	1.08	46.9	2.0+	48.9
16	3150	0.98	43.2	2.4+	45.6
17	4000	0.95	39.7	2.5+	42.2
18	A	-	65.8	2.1+	67.9
$\sum \varepsilon = 30.1$		$\bar{\varepsilon} = 1.881dB$	$L_{nw} = 61dB$		

טבלה 14 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול טבעי N לאחר פריקת עומס שלישית

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	מדוד Leq	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	62.5	1.1-	61.4
2	125	1.56	65.1	0.4-	65.5
3	160	1.29	66.8	1.2+	68.0
4	200	1.10	66.7	1.9+	68.6
5	250	1.25	63.3	1.4+	64.7
6	315	1.20	61.1	0.8+	61.9
7	400	1.12	60.2	1.8+	62.0
8	500	1.05	60.1	2.1+	62.2
9	630	1.02	58.4	2.2+	60.6
10	800	1.21	55.1	1.5+	56.6
11	1000	1.36	53.1	1.0+	54.1
12	1250	1.25	51.7	1.4+	54.1
13	1600	1.16	49.7	1.7+	51.4
14	2000	1.14	48.1	1.8+	49.9
15	2500	1.08	45.5	2.0+	47.5
16	3150	0.98	42.1	2.4+	44.5
17	4000	0.95	38.8	2.5+	41.3
18	A	-	65.4	2.1+	67.5
		$L_{nw} = 60dB$		$\bar{\varepsilon} = 1.881dB$	$\sum \varepsilon = 30.1$

טבלה 15 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול טבעי N לאחר הרטבתה

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	61.0	1.1-	59.9
2	125	1.56	65.0	0.4-	64.6
3	160	1.29	68.5	1.2+	69.7
4	200	1.10	67.3	1.9+	69.2
5	250	1.25	64.5	1.4+	65.9
6	315	1.20	61.9	0.8+	62.7
7	400	1.12	61.5	1.8+	63.3
8	500	1.05	59.8	2.1+	61.9
9	630	1.02	57.5	2.2+	59.7
10	800	1.21	54.5	1.5+	56.0
11	1000	1.36	53.5	1.0+	54.5
12	1250	1.25	52.0	1.4+	53.4
13	1600	1.16	49.7	1.7+	51.4
14	2000	1.14	47.5	1.8+	49.3
15	2500	1.08	44.7	2.0+	46.7
16	3150	0.98	42.4	2.4+	44.8
17	4000	0.95	40.5	2.5+	43.0
18	A	-	65.8	2.1+	67.9
$\sum \varepsilon = 31.3$		$\bar{\varepsilon} = 1.956dB$		$L_{nw} = 60dB$	



ציור 18 : השפעת הריצוף עם חול טבעי SN במצבי שירות שונים

הבידוד האקוסטי של מערכת ריצוף על מצע SEZ

המדידה של כושר הבידוד האקוסטי כנגד קול הולם נעשתה תחילה לפני בניית מערכת הריצוף. בהמשך, נעשו מספר מדידות, לפני העמסת הרצפה ולאחר פריקת העומס. בדיקה נוספת בוצעה, כאמור, לאחר הרטבת משטח הריצוף. התקן דורש כיום שכושר הבידוד האקוסטי לא יעלה על 63dB. נפחו של חדר הקליטה היה 104.76 מ"ק ושטח התקרה המשותף עמד על 18.06 מ"ר. התוצאות שהתקבלו במדידות האקוסטיות מוצגות בטבלה 16 עד טבלה 24. ניתן לראות בברור, כי מערכת הריצוף משפרת משמעותית את כושר הבידוד האקוסטי של תקרת הבטון העירומה בכ-20%. כושר הבידוד האקוסטי אינו מושפע למעשה בין עם המערכת מועמסת, מורטבת או ללא עומס כלל (ציור 19). בכל המצבים כושר הבידוד האקוסטי של מערכת הריצוף הנידונה שנבדקה כאשר נבנתה על חול גרוס SEZ, היה בממוצע 62dB והוא נמוך במעט מהערך של 63dB, הנדרש בתקן הישראלי הרלוונטי ודומה לזה של מערכת הייחוס שבוצעה על מצע של חול טבעי.

טבלה 16 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם לפני בניית הריצוף עם חול גרוס SEZ

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	61.4	1.1-	62.3
2	125	1.56	69.8	0.4-	70.1
3	160	1.29	71.7	1.2+	71.0
4	200	1.10	70.4	1.9+	69.3
5	250	1.25	68.8	1.4+	67.2
6	315	1.20	67.6	0.8+	66.2
7	400	1.12	68.5	1.8+	67.3
8	500	1.05	69.1	2.1+	67.3
9	630	1.02	69.1	2.2+	66.8
10	800	1.21	69.5	1.5+	67.9
11	1000	1.36	69.7	1.0+	68.7
12	1250	1.25	70.9	1.4+	69.5
13	1600	1.16	71.0	1.7+	69.5
14	2000	1.14	71.1	1.8+	69.4
15	2500	1.08	71.2	2.0+	69.2
16	3150	0.98	70.6	2.4+	68.1
17	4000	0.95	-	2.5+	-
18	A	-	-	2.1+	-
$\sum \varepsilon = 29.7$		$\bar{\varepsilon} = 1.856dB$	$L_{nw} = 75dB$		

טבלה 17 : בדיקת ייחוס אקוסטית, ראשונה, כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול

גרס SEZ

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	65.0	1.1-	63.9
2	125	1.56	66.8	0.4-	67.2
3	160	1.29	67.0	1.2+	68.2
4	200	1.10	67.1	1.9+	69.0
5	250	1.25	65.1	1.4+	66.5
6	315	1.20	63.2	0.8+	64.0
7	400	1.12	61.3	1.8+	63.1
8	500	1.05	59.4	2.1+	61.5
9	630	1.02	58.1	2.2+	60.3
10	800	1.21	57.1	1.5+	58.6
11	1000	1.36	55.0	1.0+	56.0
12	1250	1.25	53.3	1.4+	54.7
13	1600	1.16	52.4	1.7+	54.1
14	2000	1.14	51.5	1.8+	53.3
15	2500	1.08	48.5	2.0+	50.5
16	3150	0.98	45.8	2.4+	47.2
17	4000	0.95	41.8	2.5+	44.3
18	A	-	66.5	2.1+	68.6
$\sum \varepsilon = 28.1$		$\bar{\varepsilon} = 1.756dB$		$L_{nw} = 62dB$	

טבלה 18 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול גרוס SEZ, לאחר העמסה ראשונה

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	67.5	1.1-	66.4
2	125	1.56	63.9	0.4-	64.3
3	160	1.29	66.2	1.2+	67.4
4	200	1.10	65.0	1.9+	66.9
5	250	1.25	64.9	1.4+	66.3
6	315	1.20	62.2	0.8+	63.0
7	400	1.12	61.9	1.8+	63.7
8	500	1.05	60.2	2.1+	62.3
9	630	1.02	59.0	2.2+	61.2
10	800	1.21	57.6	1.5+	59.1
11	1000	1.36	56.0	1.0+	57.0
12	1250	1.25	54.7	1.4+	56.1
13	1600	1.16	54.5	1.7+	56.2
14	2000	1.14	53.2	1.8+	55.0
15	2500	1.08	51.9	2.0+	53.9
16	3150	0.98	49.0	2.4+	51.4
17	4000	0.95	-	2.5+	-
18	A	-	67.1	2.1+	69.2
$\sum \varepsilon = 26.3$		$\bar{\varepsilon} = 1.644dB$		$L_{nw} = 63dB$	

טבלה 19 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול גרוס SEZ, לאחר פריקת עומס ראשונה

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	מדוד Leq	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	65.8	1.1-	64.7
2	125	1.56	67.2	0.4-	67.6
3	160	1.29	66.3	1.2+	67.5
4	200	1.10	65.9	1.9+	67.8
5	250	1.25	63.7	1.4+	65.1
6	315	1.20	62.5	0.8+	63.3
7	400	1.12	61.0	1.8+	62.8
8	500	1.05	59.9	2.1+	62.0
9	630	1.02	58.4	2.2+	60.6
10	800	1.21	57.0	1.5+	58.5
11	1000	1.36	55.0	1.0+	56.0
12	1250	1.25	53.7	1.4+	55.1
13	1600	1.16	52.9	1.7+	54.6
14	2000	1.14	51.7	1.8+	53.5
15	2500	1.08	49.3	2.0+	51.3
16	3150	0.98	46.6	2.4+	49.0
17	4000	0.95	43.8	2.5+	46.3
18	A	-	66.4	2.1+	68.5
		$L_{nw} = 62dB$		$\bar{\varepsilon} = 1.775dB$	$\sum \varepsilon = 28.4$

טבלה 20 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול גרוס SEZ, לאחר העמסה שנייה

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	מקדם תיקון	מקדם תיקון	מקדם תיקון
1	100	2.22	63.6	1.1-	62.5
2	125	1.56	65.5	0.4-	66.4
3	160	1.29	67.1	1.2+	68.3
4	200	1.10	64.2	1.9+	66.1
5	250	1.25	62.9	1.4+	64.3
6	315	1.20	61.5	0.8+	62.3
7	400	1.12	61.3	1.8+	63.1
8	500	1.05	59.9	2.1+	62.0
9	630	1.02	58.7	2.2+	60.9
10	800	1.21	57.7	1.5+	59.2
11	1000	1.36	55.7	1.0+	56.7
12	1250	1.25	54.1	1.4+	55.5
13	1600	1.16	52.8	1.7+	54.5
14	2000	1.14	52.0	1.8+	53.8
15	2500	1.08	51.6	2.0+	53.6
16	3150	0.98	47.9	2.4+	50.3
17	4000	0.95	44.3	2.5+	46.8
18	A	-	66.5	2.1+	68.6
$L_{nw} = 62dB$		$\bar{\varepsilon} = 1.694dB$		$\sum \varepsilon = 27.1$	

טבלה 21: בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול גרוס SEZ, לאחר פריקת עומס שנייה

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	65.4	1.1-	64.3
2	125	1.56	65.7	0.4-	66.1
3	160	1.29	65.3	1.2+	66.5
4	200	1.10	64.4	1.9+	66.3
5	250	1.25	62.3	1.4+	63.7
6	315	1.20	61.0	0.8+	61.8
7	400	1.12	59.7	1.8+	61.5
8	500	1.05	57.5	2.1+	59.6
9	630	1.02	56.8	2.2+	59.0
10	800	1.21	55.0	1.5+	56.5
11	1000	1.36	53.6	1.0+	54.6
12	1250	1.25	52.6	1.4+	54.0
13	1600	1.16	51.0	1.7+	52.7
14	2000	1.14	50.4	1.8+	52.2
15	2500	1.08	49.8	2.0+	51.8
16	3150	0.98	45.9	2.4+	48.3
17	4000	0.95	42.3	2.5+	44.8
18	A	-	65.0	2.1+	67.1
$\sum \varepsilon = 26.8$		$\bar{\varepsilon} = 1.756dB$		$L_{nw} = 61dB$	

טבלה 22: בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול גרוס SEZ, לאחר העמסה שלישית

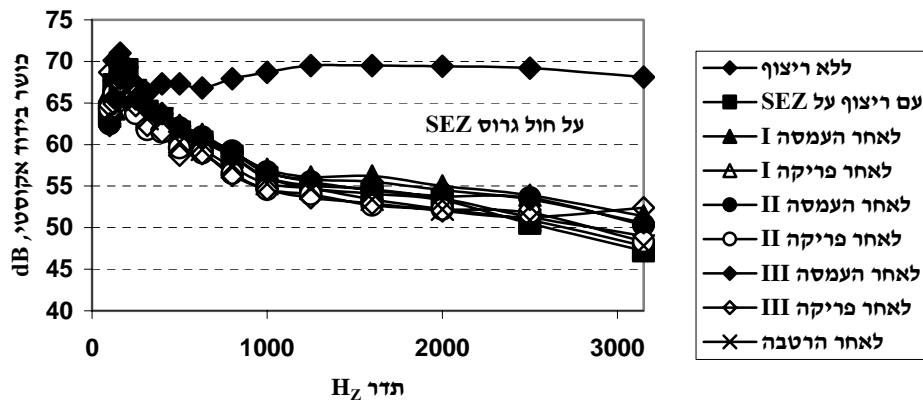
מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	63.6	1.1-	62.5
2	125	1.56	65.2	0.4-	65.6
3	160	1.29	66.7	1.2+	67.9
4	200	1.10	65.8	1.9+	67.7
5	250	1.25	64.1	1.4+	65.5
6	315	1.20	63.5	0.8+	64.3
7	400	1.12	61.9	1.8+	63.7
8	500	1.05	60.1	2.1+	62.2
9	630	1.02	58.5	2.2+	60.7
10	800	1.21	57.5	1.5+	59.0
11	1000	1.36	55.6	1.0+	56.6
12	1250	1.25	54.4	1.4+	55.8
13	1600	1.16	53.8	1.7+	55.5
14	2000	1.14	52.7	1.8+	54.5
15	2500	1.08	51.4	2.0+	53.4
16	3150	0.98	48.2	2.4+	50.6
17	4000	0.95	44.4	2.5+	46.9
18	A	-	66.9	2.1+	49.0
$\sum \varepsilon = 31.9$		$\bar{\varepsilon} = 1.994dB$		$L_{nw} = 62dB$	

טבלה 23: בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול גרוס SEZ, לאחר פריקת עומס שלישית

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	69.8	1.1-	68.7
2	125	1.56	64.5	0.4-	64.9
3	160	1.29	63.9	1.2+	65.1
4	200	1.10	63.5	1.9+	65.4
5	250	1.25	63.3	1.4+	64.7
6	315	1.20	61.5	0.8+	62.3
7	400	1.12	59.7	1.8+	61.5
8	500	1.05	56.6	2.1+	58.7
9	630	1.02	56.7	2.2+	58.9
10	800	1.21	54.8	1.5+	56.3
11	1000	1.36	53.6	1.0+	54.6
12	1250	1.25	52.4	1.4+	53.6
13	1600	1.16	51.2	1.7+	52.9
14	2000	1.14	50.2	1.8+	52.0
15	2500	1.08	49.3	2.0+	51.3
16	3150	0.98	45.0	2.4+	52.4
17	4000	0.95	41.5	2.5+	44.0
18	A	-	64.9	2.1+	67.0
$\sum \varepsilon = 23.4$		$\bar{\varepsilon} = 1.463dB$		$L_{nw} = 62dB$	

טבלה 24: בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול גרוס SEZ לאחר הרטבתה

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	64.5	1.1-	63.4
2	125	1.56	66.0	0.4-	66.4
3	160	1.29	64.9	1.2+	66.1
4	200	1.10	64.4	1.9+	66.3
5	250	1.25	64.3	1.4+	65.7
6	315	1.20	62.3	0.8+	63.1
7	400	1.12	61.3	1.8+	63.1
8	500	1.05	58.2	2.1+	60.3
9	630	1.02	57.2	2.2+	59.4
10	800	1.21	55.8	1.5+	57.3
11	1000	1.36	54.3	1.0+	55.3
12	1250	1.25	53.3	1.4+	54.7
13	1600	1.16	51.7	1.7+	53.4
14	2000	1.14	50.4	1.8+	52.2
15	2500	1.08	48.9	2.0+	50.9
16	3150	0.98	45.4	2.4+	47.8
17	4000	0.95	41.2	2.5+	43.7
18	A	-	65.7	2.1+	67.8
$\sum \varepsilon = 28.4$		$\bar{\varepsilon} = 1.775dB$	$L_{nw} = 61dB$		



ציור 19: השפעת הריצוף על חול גרוס SEZ על תפקוד המערכת בתנאי שירות שונים

הבידוד האקוסטי של מערכת ריצוף על מצע SM

המדידה של כושר הבידוד האקוסטי כנגד קול הולם נעשתה תחילה לפני בניית מערכת הריצוף. בהמשך, נעשו מספר מדידות, לפני העמסת הרצפה ולאחר פריקת העומס. בדיקה נוספת בוצעה, כאמור, לאחר הרטבת משטח הריצוף. התקן דורש כיום שכושר הבידוד האקוסטי לא יעלה על 63dB. נפחו של חדר הקליטה היה 104.76 מ"ק ושטח התקרה המשותף עמד על 18.06 מ"ר. התוצאות שהתקבלו במדידות האקוסטיות מוצגות בטבלה 25 עד טבלה 33 ניתן לראות בבירור, כי מערכת הריצוף משפרת משמעותית את כושר הבידוד האקוסטי של תקרת הבטון העירומה בכ-20%. כושר הבידוד האקוסטי אינו מושפע למעשה בין עם המערכת מועמסת, מורטבת או ללא עומס כלל (ציור 20). בכל המצבים כושר הבידוד האקוסטי של מערכת הריצוף הנידונה שנבדקה כאשר נבנתה על חול מחצבה SM, היה במוצע 65dB והוא גבוה במעט מהערך של 63dB, הנדרש בתקן הישראלי הרלוונטי.

טבלה 25 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם לפני בניית הריצוף עם חול מחצבה SM

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	61.4	1.1-	62.3
2	125	1.56	69.8	0.4-	70.1
3	160	1.29	71.7	1.2+	71.0
4	200	1.10	70.4	1.9+	69.3
5	250	1.25	68.8	1.4+	67.2
6	315	1.20	67.6	0.8+	66.2
7	400	1.12	68.5	1.8+	67.3
8	500	1.05	69.1	2.1+	67.3
9	630	1.02	69.1	2.2+	66.8
10	800	1.21	69.5	1.5+	67.9
11	1000	1.36	69.7	1.0+	68.7
12	1250	1.25	70.9	1.4+	69.5
13	1600	1.16	71.0	1.7+	69.5
14	2000	1.14	71.1	1.8+	69.4
15	2500	1.08	71.2	2.0+	69.2
16	3150	0.98	70.6	2.4+	68.1
17	4000	0.95	-	2.5+	-
18	A	-	-	2.1+	-
$\sum \varepsilon = 29.7$		$\bar{\varepsilon} = 1.856dB$		$L_{nw} = 75dB$	

טבלה 26 : בדיקת ייחוס אקוסטית, ראשונה, כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול

מחצבה SM

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	63.3	1.1-	62.2
2	125	1.56	66.4	0.4-	66.8
3	160	1.29	68.6	1.2+	69.8
4	200	1.10	69.3	1.9+	71.2
5	250	1.25	69.8	1.4+	71.2
6	315	1.20	67.9	0.8+	68.7
7	400	1.12	64.0	1.8+	65.8
8	500	1.05	62.1	2.1+	64.2
9	630	1.02	61.0	2.2+	63.2
10	800	1.21	59.2	1.5+	60.7
11	1000	1.36	57.4	1.0+	58.4
12	1250	1.25	55.9	1.4+	57.3
13	1600	1.16	55.0	1.7+	56.7
14	2000	1.14	54.3	1.8+	56.1
15	2500	1.08	52.4	2.0+	54.4
16	3150	0.98	49.3	2.4+	51.7
17	4000	0.95	47.1	2.5+	49.6
18	A	-	69.6	2.1+	71.7
$\sum \varepsilon = 25.8$		$\bar{\varepsilon} = 1.6125dB$		$L_{nw} = 65dB$	

טבלה 27 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה SM,
לאחר העמסה ראשונה

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	59.8	1.1-	58.7
2	125	1.56	63.3	0.4-	63.7
3	160	1.29	67.3	1.2+	68.5
4	200	1.10	69.9	1.9+	71.8
5	250	1.25	71.7	1.4+	73.1
6	315	1.20	69.9	0.8+	70.7
7	400	1.12	65.4	1.8+	67.2
8	500	1.05	63.1	2.1+	65.2
9	630	1.02	62.1	2.2+	64.3
10	800	1.21	60.8	1.5+	62.3
11	1000	1.36	59.1	1.0+	60.1
12	1250	1.25	57.6	1.4+	59.0
13	1600	1.16	55.4	1.7+	57.1
14	2000	1.14	54.4	1.8+	56.2
15	2500	1.08	52.9	2.0+	54.9
16	3150	0.98	50.5	2.4+	52.9
17	4000	0.95	48.0	2.5+	50.5
18	A	-	70.9	2.1+	73.0
$\sum \varepsilon = 26.8$		$\bar{\varepsilon} = 1.675dB$	$L_{nw} = 65dB$		

טבלה 28 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה SM,
לאחר פריקת עומס ראשונה

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	61.8	1.1-	60.7
2	125	1.56	65.7	0.4-	66.1
3	160	1.29	65.7	1.2+	66.9
4	200	1.10	68.6	1.9+	70.5
5	250	1.25	69.3	1.4+	70.7
6	315	1.20	69.2	0.8+	70.0
7	400	1.12	65.0	1.8+	66.8
8	500	1.05	62.9	2.1+	65.0
9	630	1.02	62.2	2.2+	64.4
10	800	1.21	60.6	1.5+	62.1
11	1000	1.36	58.2	1.0+	59.1
12	1250	1.25	56.9	1.4+	58.3
13	1600	1.16	55.6	1.7+	57.3
14	2000	1.14	54.4	1.8+	56.2
15	2500	1.08	52.9	2.0+	54.9
16	3150	0.98	50.5	2.4+	52.9
17	4000	0.95	48.0	2.5+	50.5
18	A	-	70.2	2.1+	72.3
$\sum \varepsilon = 27.7$		$\bar{\varepsilon} = 1.479dB$	$L_{nw} = 65dB$		

טבלה 29 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה SM,
לאחר העמסה שנייה

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	59.6	1.1-	58.5
2	125	1.56	64.0	0.4-	64.4
3	160	1.29	65.3	1.2+	66.5
4	200	1.10	67.8	1.9+	69.7
5	250	1.25	69.4	1.4+	70.8
6	315	1.20	68.9	0.8+	69.7
7	400	1.12	65.4	1.8+	67.2
8	500	1.05	63.4	2.1+	65.5
9	630	1.02	61.9	2.2+	64.1
10	800	1.21	61.4	1.5+	62.9
11	1000	1.36	59.1	1.0+	60.1
12	1250	1.25	58.0	1.4+	59.4
13	1600	1.16	56.6	1.7+	58.3
14	2000	1.14	54.9	1.8+	56.7
15	2500	1.08	53.6	2.0+	55.6
16	3150	0.98	51.3	2.4+	53.7
17	4000	0.95	48.9	2.5+	51.4
18	A	-	70.4	2.1+	72.5
$\sum \varepsilon = 29.7$		$\bar{\varepsilon} = 1.856dB$	$L_{nw} = 65dB$		

טבלה 30 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה SM,
לאחר פריקת עומס שנייה

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	64.4	1.1-	63.5
2	125	1.56	67.4	0.4-	67.8
3	160	1.29	70.3	1.2+	71.5
4	200	1.10	66.8	1.9+	68.7
5	250	1.25	65.9	1.4+	67.3
6	315	1.20	65.7	0.8+	66.5
7	400	1.12	64.0	1.8+	65.8
8	500	1.05	62.7	2.1+	64.8
9	630	1.02	61.3	2.2+	63.5
10	800	1.21	60.1	1.5+	61.1
11	1000	1.36	58.3	1.0+	59.3
12	1250	1.25	55.8	1.4+	57.2
13	1600	1.16	54.2	1.7+	55.9
14	2000	1.14	53.3	1.8+	55.1
15	2500	1.08	51.8	2.0+	53.8
16	3150	0.98	49.6	2.4+	52.0
17	4000	0.95	47.1	2.5+	49.6
18	A	-	69.0	2.1+	51.1
$\sum \varepsilon = 29.7$		$\bar{\varepsilon} = 1.856dB$	$L_{nw} = 64dB$		

טבלה 31 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה SM,
לאחר העמסה שלישית

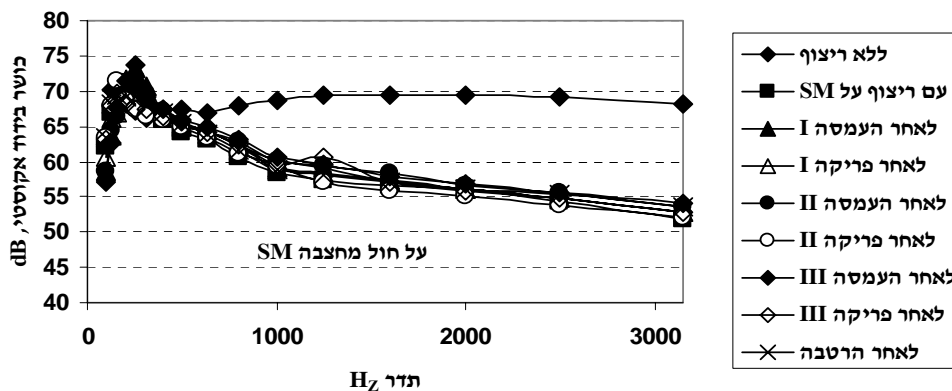
מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	58.1	1.1-	57.0
2	125	1.56	62.3	0.4-	62.7
3	160	1.29	66.5	1.2+	67.7
4	200	1.10	69.6	1.9+	71.5
5	250	1.25	72.3	1.4+	73.7
6	315	1.20	68.7	0.8+	69.5
7	400	1.12	65.5	1.8+	67.3
8	500	1.05	63.9	2.1+	66.0
9	630	1.02	62.6	2.2+	64.8
10	800	1.21	61.6	1.5+	63.1
11	1000	1.36	59.7	1.0+	60.7
12	1250	1.25	58.3	1.4+	59.7
13	1600	1.16	56.2	1.7+	57.9
14	2000	1.14	55.1	1.8+	56.9
15	2500	1.08	53.7	2.0+	55.7
16	3150	0.98	51.7	2.4+	54.1
17	4000	0.95	49.2	2.5+	51.7
18	A	-	71.1	2.1+	73.2
$\sum \varepsilon = 25.6$		$\bar{\varepsilon} = 1.600dB$		$L_{nw} = 66dB$	

טבלה 32 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה SM,
לאחר פריקת עומס שלישית

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	64.2	1.1-	63.1
2	125	1.56	67.5	0.4-	67.9
3	160	1.29	68.5	1.2+	69.7
4	200	1.10	66.4	1.9+	68.3
5	250	1.25	66.1	1.4+	67.5
6	315	1.20	66.5	0.8+	67.3
7	400	1.12	64.6	1.8+	66.4
8	500	1.05	63.5	2.1+	65.6
9	630	1.02	62.0	2.2+	64.2
10	800	1.21	61.0	1.5+	62.5
11	1000	1.36	58.5	1.0+	59.5
12	1250	1.25	56.3	1.4+	60.7
13	1600	1.16	55.3	1.7+	57.0
14	2000	1.14	54.1	1.8+	55.9
15	2500	1.08	52.8	2.0+	54.8
16	3150	0.98	50.5	2.4+	52.9
17	4000	0.95	-	2.5+	-
18	A	-	69.5	2.1+	71.6
$\sum \varepsilon = 23.2$		$\bar{\varepsilon} = 1.450dB$		$L_{nw} = 63dB$	

טבלה 33 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה SM
לאחר הרטבתה

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	64.6	1.1-	63.5
2	125	1.56	67.9	0.4-	68.3
3	160	1.29	68.2	1.2+	69.4
4	200	1.10	67.3	1.9+	69.2
5	250	1.25	67.7	1.4+	69.1
6	315	1.20	67.1	0.8+	67.9
7	400	1.12	65.1	1.8+	66.9
8	500	1.05	63.4	2.1+	65.5
9	630	1.02	61.6	2.2+	63.8
10	800	1.21	60.1	1.5+	61.6
11	1000	1.36	57.9	1.0+	58.9
12	1250	1.25	56.8	1.4+	58.2
13	1600	1.16	55.3	1.7+	57.0
14	2000	1.14	54.4	1.8+	56.2
15	2500	1.08	53.4	2.0+	55.4
16	3150	0.98	51.2	2.4+	53.6
17	4000	0.95	48.4	2.5+	50.9
18	A	-	69.7	2.1+	71.8
$\sum \varepsilon = 26.5$		$\bar{\varepsilon} = 1.656dB$		$L_{nw} = 65dB$	



ציור 20 : השפעת הריצוף על חול מחצבה SM על תפקוד המערכת בתנאי שירות שונים

הבידוד האקוסטי של מערכת ריצוף על מצע DW

המדידה של כושר הבידוד האקוסטי כנגד קול הולם נעשתה תחילה לפני בניית מערכת הריצוף. בהמשך, נעשו מספר מדידות, לפני העמסת הרצפה ולאחר פריקת העומס. בדיקה נוספת בוצעה, כאמור, לאחר הרטבת משטח הריצוף. התקן דורש כיום שכושר הבידוד האקוסטי לא יעלה על 63dB. נפחו של חדר הקליטה היה 104.76 מ"ק ושטח התקרה המשותף עמד על 18.06 מ"ר. התוצאות שהתקבלו במדידות האקוסטיות מוצגות בטבלה 34 עד טבלה 42. ניתן לראות בברור, כי מערכת הריצוף משפרת משמעותית את כושר הבידוד האקוסטי של תקרת הבטון העירומה בכ-20%. כושר הבידוד האקוסטי אינו מושפע למעשה בין עם המערכת מועמסת, מורטבת או ללא עומס כלל (ציור 21). בכל המצבים כושר הבידוד האקוסטי של מערכת הריצוף הנידונה שנבדקה כאשר נבנתה על חול מחצבה DW, היה בממוצע 63dB והוא זהה לערך הנדרש בתקן הישראלי הרלוונטי.

טבלה 34 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם לפני בניית הריצוף עם חול מחצבה DW

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	63.0	1.1-	63.9
2	125	1.56	68.7	0.4-	69.0
3	160	1.29	70.1	1.2+	69.4
4	200	1.10	70.9	1.9+	69.8
5	250	1.25	71.1	1.4+	69.5
6	315	1.20	70.0	0.8+	68.6
7	400	1.12	69.4	1.8+	68.2
8	500	1.05	67.9	2.1+	66.1
9	630	1.02	68.6	2.2+	66.3
10	800	1.21	69.0	1.5+	67.4
11	1000	1.36	70.0	1.0+	69.0
12	1250	1.25	70.6	1.4+	69.2
13	1600	1.16	70.8	1.7+	69.3
14	2000	1.14	71.2	1.8+	69.5
15	2500	1.08	71.5	2.0+	69.5
16	3150	0.98	71.3	2.4+	68.8
17	4000	0.95	-	2.5+	-
18	A	-	-	2.1+	-
$\sum \varepsilon = 29.7$		$\bar{\varepsilon} = 1.856dB$	$L_{nw} = 75dB$		

טבלה 35 : בדיקת ייחוס אקוסטית, ראשונה, כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול

מחצבה DW

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	מדוד Leq	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	62.3	1.1-	61.2
2	125	1.56	67.6	0.4-	68.0
3	160	1.29	73.3	1.2+	74.5
4	200	1.10	72.5	1.9+	77.4
5	250	1.25	69.4	1.4+	70.8
6	315	1.20	63.8	0.8+	64.6
7	400	1.12	61.3	1.8+	63.1
8	500	1.05	59.1	2.1+	61.2
9	630	1.02	58.0	2.2+	60.2
10	800	1.21	56.3	1.5+	57.8
11	1000	1.36	55.9	1.0+	56.9
12	1250	1.25	54.7	1.4+	56.1
13	1600	1.16	53.0	1.7+	54.7
14	2000	1.14	50.9	1.8+	52.7
15	2500	1.08	48.7	2.0+	50.7
16	3150	0.98	45.8	2.4+	48.2
17	4000	0.95	42.1	2.5+	44.6
18	A	-	68.6	2.1+	70.7
$\sum \varepsilon = 31.3$		$\bar{\varepsilon} = 1.956dB$		$L_{nw} = 64dB$	

טבלה 36 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה ,DW
לאחר העמסה ראשונה

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB ,Ln
1	100	2.22	59.2	1.1-	58.1
2	125	1.56	63.8	0.4-	64.2
3	160	1.29	70.3	1.2+	71.5
4	200	1.10	70.9	1.9+	72.8
5	250	1.25	72.2	1.4+	73.6
6	315	1.20	66.7	0.8+	67.5
7	400	1.12	61.8	1.8+	63.6
8	500	1.05	60.3	2.1+	62.4
9	630	1.02	59.1	2.2+	61.3
10	800	1.21	57.4	1.5+	58.9
11	1000	1.36	56.9	1.0+	57.9
12	1250	1.25	55.5	1.4+	56.9
13	1600	1.16	53.8	1.7+	55.5
14	2000	1.14	52.6	1.8+	54.4
15	2500	1.08	50.7	2.0+	52.7
16	3150	0.98	47.7	2.4+	50.1
17	4000	0.95	44.3	2.5+	46.8
18	A	-	69.3	2.1+	71.4
$\sum \varepsilon = 25.1$		$\bar{\varepsilon} = 1.569dB$		$L_{nw} = 65dB$	

טבלה 37 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה ,DW
לאחר פריקת עומס ראשונה

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	64.1	1.1-	63.0
2	125	1.56	68.1	0.4-	68.5
3	160	1.29	71.1	1.2+	72.3
4	200	1.10	70.2	1.9+	72.1
5	250	1.25	67.4	1.4+	68.8
6	315	1.20	63.6	0.8+	64.4
7	400	1.12	61.9	1.8+	63.7
8	500	1.05	60.0	2.1+	62.1
9	630	1.02	57.4	2.2+	59.6
10	800	1.21	56.2	1.5+	56.7
11	1000	1.36	56.0	1.0+	57.0
12	1250	1.25	54.9	1.4+	56.3
13	1600	1.16	53.5	1.7+	55.2
14	2000	1.14	51.7	1.8+	53.5
15	2500	1.08	49.1	2.0+	51.1
16	3150	0.98	46.3	2.4+	48.7
17	4000	0.95	42.5	2.5+	45.0
18	A	-	67.8	2.1+	69.9
$\sum \varepsilon = 32.0$		$\bar{\varepsilon} = 2.000dB$	$L_{nw} = 63dB$		

טבלה 38 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה ,DW
לאחר העמסה שנייה

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	60.0	1.1-	58.9
2	125	1.56	64.1	0.4-	64.5
3	160	1.29	69.0	1.2+	70.2
4	200	1.10	71.1	1.9+	73.0
5	250	1.25	70.0	1.4+	71.4
6	315	1.20	65.4	0.8+	66.2
7	400	1.12	62.9	1.8+	64.7
8	500	1.05	60.9	2.1+	63.0
9	630	1.02	58.9	2.2+	61.1
10	800	1.21	57.6	1.5+	59.1
11	1000	1.36	57.0	1.0+	58.0
12	1250	1.25	55.9	1.4+	57.3
13	1600	1.16	54.2	1.7+	55.9
14	2000	1.14	52.4	1.8+	54.2
15	2500	1.08	50.7	2.0+	52.7
16	3150	0.98	47.5	2.4+	49.9
17	4000	0.95	44.1	2.5+	46.5
18	A	-	68.8	2.1+	70.9
$\sum \varepsilon = 25.5$		$\bar{\varepsilon} = 1.594dB$	$L_{nw} = 64dB$		

טבלה 39 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה ,DW
לאחר פריקת עומס שנייה

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB ,Ln
1	100	2.22	62.9	1.1-	61.8
2	125	1.56	65.1	0.4-	65.5
3	160	1.29	68.8	1.2+	70.0
4	200	1.10	69.3	1.9+	71.2
5	250	1.25	67.0	1.4+	68.4
6	315	1.20	64.0	0.8+	64.8
7	400	1.12	62.4	1.8+	64.2
8	500	1.05	61.1	2.1+	63.2
9	630	1.02	59.4	2.2+	61.6
10	800	1.21	57.7	1.5+	59.2
11	1000	1.36	56.9	1.0+	57.9
12	1250	1.25	55.6	1.4+	57.0
13	1600	1.16	54.0	1.7+	55.7
14	2000	1.14	51.9	1.8+	53.7
15	2500	1.08	49.5	2.0+	51.5
16	3150	0.98	46.7	2.4+	49.1
17	4000	0.95	43.4	2.5+	45.9
18	A	-	68.0	2.1+	70.1
$\sum \varepsilon = 27.5$		$\bar{\varepsilon} = 1.719dB$		$L_{nw} = 63dB$	

טבלה 40 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה ,DW
לאחר העמסה שלישית

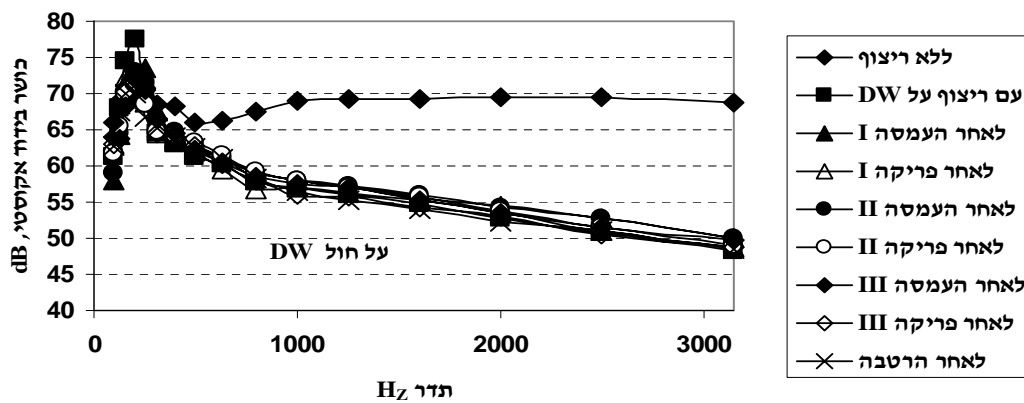
מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	57.2	1.1-	66.1
2	125	1.56	63.3	0.4-	63.7
3	160	1.29	67.0	1.2+	68.2
4	200	1.10	70.2	1.9+	72.1
5	250	1.25	69.1	1.4+	70.5
6	315	1.20	65.8	0.8+	66.6
7	400	1.12	62.7	1.8+	64.5
8	500	1.05	60.2	2.1+	62.3
9	630	1.02	58.4	2.2+	60.6
10	800	1.21	57.0	1.5+	58.5
11	1000	1.36	56.6	1.0+	57.6
12	1250	1.25	55.6	1.4+	57.0
13	1600	1.16	53.6	1.7+	55.3
14	2000	1.14	51.7	1.8+	53.5
15	2500	1.08	49.4	2.0+	51.4
16	3150	0.98	47.4	2.4+	49.8
17	4000	0.95	44.0	2.5+	46.5
18	A	-	68.2	2.1+	70.3
$\sum \varepsilon = 31.0$		$\bar{\varepsilon} = 1.938dB$	$L_{nw} = 63dB$		

טבלה 41 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה ,DW
לאחר פריקת עומס שלישית

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	64.0	1.1-	62.9
2	125	1.56	67.5	0.4-	67.9
3	160	1.29	69.1	1.2+	70.3
4	200	1.10	69.0	1.9+	70.9
5	250	1.25	69.3	1.4+	70.7
6	315	1.20	63.8	0.8+	64.6
7	400	1.12	62.1	1.8+	63.9
8	500	1.05	60.7	2.1+	62.8
9	630	1.02	58.1	2.2+	60.3
10	800	1.21	56.6	1.5+	58.1
11	1000	1.36	55.3	1.0+	56.1
12	1250	1.25	54.3	1.4+	55.7
13	1600	1.16	52.6	1.7+	54.3
14	2000	1.14	51.2	1.8+	53.0
15	2500	1.08	48.5	2.0+	50.5
16	3150	0.98	46.3	2.4+	48.7
17	4000	0.95	42.7	2.5+	45.5
18	A	-	67.4	2.1+	69.5
$\sum \varepsilon = 26.3$		$\bar{\varepsilon} = 1.644dB$	$L_{nw} = 63dB$		

טבלה 42 : בדיקה אקוסטית כנגד קול הולם של מערכת הריצוף שנבנתה עם חול מחצבה DW
לאחר הרטבתה

מס. מדידה	תדר, Hz	זמן הדהוד, s	Leq מדוד	מקדם תיקון	dB, Ln
1	100	2.22	63.9	1.1-	62.8
2	125	1.56	67.0	0.4-	67.4
3	160	1.29	68.7	1.2+	69.9
4	200	1.10	68.2	1.9+	70.1
5	250	1.25	65.3	1.4+	66.7
6	315	1.20	64.4	0.8+	65.2
7	400	1.12	62.2	1.8+	64.0
8	500	1.05	60.5	2.1+	62.6
9	630	1.02	58.8	2.2+	61.0
10	800	1.21	56.8	1.5+	58.3
11	1000	1.36	55.6	1.0+	56.6
12	1250	1.25	53.9	1.4+	55.3
13	1600	1.16	52.2	1.7+	53.9
14	2000	1.14	50.5	1.8+	52.3
15	2500	1.08	48.9	2.0+	50.9
16	3150	0.98	46.2	2.4+	48.6
17	4000	0.95	42.8	2.5+	45.3
18	A	-	67.2	2.1+	69.3
$\sum \varepsilon = 22.1$ $\bar{\varepsilon} = 1.381dB$					$L_{nw} = 63dB$



ציור 21 : השפעת הריצוף על חול מחצבה DW על תפקוד המערכת בתאני שירות שונים

10. סיכום ומסקנות

השפעת סוג החול על מלאכת הריצוף: בביצוע של מערכת ריצוף עם חול טבעי N (מערכת הייחוס), פני השטח שהתקבלו היו מישוריים ומהודקים. הרצף טען כי למרות המצג היציב של מצע החול הטבעי, נדרש יישור מחדש של החול, לפני הנחת כל אריח נוסף במקומו, מכיוון שהברכיים של הרצף "דוחקות" את החול מתחתיהן, עם התקדמות של הרצף. בנוסף, החול, הסופג מטבעו, גורם להסמכת המלט. עובדה זאת מקשה על שיטוח המלט, מתחת לאריח, על-פני החול הטבעי. כדי להתגבר על כך, יש צורך במהלך העבודה לדלל מעט את המלט מידי פעם. ניתן לְלַחֵלַח מעט את המצע, תוך כדי הנחת האריחים, כדי להימנע מפעולה זאת. למרות זאת, כאשר הריצוף נעשה מעל מצע של חול טבעי, קל לפלס את האריח ואין צורך להקפיד על שכבת המלט, במובן זה, שעודף המלט ניתן לסילוק בקלות מהדפנות, לאחר פילוס האריח. בביצוע של מערכת ריצוף עם חול SEZ אחת התופעות אליה התייחס הרצף הייתה שבזמן היישור של השכבה הראשונה, בעזרת מגרפה, ניתן היה להבחין בהפרדה משמעותית בין הגרגירים הגדולים יחסית לגרגירים הקטנים יותר, המרכיבים את החול הנידון. תופעה זאת גוררת פעולה חוזרת של ערבוב מקומי ויישור מחדש. בשכבה השנייה, המורכבת מחול SEZ מיוצב עם צמנט, לא ניתן היה להצביע על אותן תופעות ולא נרשם הבדל בביצוע, מזה שאפיין את אותה שכבה שנעשתה עם החול הטבעי. התקבל מצג של פני שטח ישרים ויציבים, שהתברר כנוח מאד להנחת אריחי הריצוף. דווקא הידוק המצע המורכב מחול SEZ היה יותר נוח, בהשוואה לחול הטבעי. לעומת זאת, בעבודה על מצע SEZ, היה צורך להקפיד יותר על כמות המלט המונחת מתחת לאריח. דווקא יציבותו ורמת הידוקו הגבוהה הקשתה על פילוסו של האריח. למרות זאת, התרשמותו של הרצף הייתה כי, ככלל, העבודה של הנחת האריחים על פני מצע SEZ הייתה יותר קלה ויותר נוחה מריצוף עם אותם אריחים על-פני מצע החול הטבעי. אמנם, צריך היה להקפיד יותר על כמות המלט שמניחים מתחת לאריח (כיוון שהמלט אינו גולש מחוץ לשפתי האריח עקב הידוקו למצע). אבל, המצע היה יותר יציב לא הייתה תנועה של החול מתחת לברכי הרצף בעת התקדמות העבודה, מה שהקל משמעותית על עבודתו הרציפה. בביצוע של מערכת ריצוף עם חול מחצבה SM, הרצף מצא לנכון לציין כי בכל פסיעה שלו על החול נוצר שקיעה שחייבה יישור מחדש, עובדה שהקשתה על מהלך העבודה. בנוסף, בשכבת החול המעורבת עם צמנט, אותה מיישמים מעל שכבת החול הנקי, לא התקבלה מסה אחידה. כן נדרשה פעולה חוזרת של ערבוב מקומי ויישור מחדש, במהלך העבודה. היה צורך להדק שנית את המצע המיוצב, בסמוך להנחת אריחי הקרמיקה. בעיות נוספות שנתגלו בהנחת הריצוף על חול מחצבה SM באו לידי ביטוי בכך שהיה צורך ליישר את החול מחדש לפני הנחת כל אריח במקומו וכן נדרש לְלַחֵלַח את המצע תוך כדי הנחת האריחים. עובדות אלו היקשו על הנחת הריצוף על מצע SM, יותר מאשר ניתן היה להצביע על המצעים האחרים ששימשו בעבודה הנוכחית. בביצוע של מערכת ריצוף עם חול מחצבה DW הרצף התרשם כי העבודה הייתה נוחה ולא נדרש הידוק מיוחד לצורך קבלת שכבה אחידה. בזמן יישור החול לא ניתן היה להבחין בהפרדה של החול, בהתאם לגודל גרגריו, עובדה שבלטה

בשימוש בחול הגרוס SEZ. חול המחצבה הדולומיטי DW נשאר במצב הומוגני גם בשכבה המיצבת בצמנט. גם בהנחת אריחי הקרמיקה על מצע החול הדולומיטי DW, לא נדרשה כל פעולה מיוחדת, כפי שנדרשה למשל בהנחת האריחים על מצע של חול טבעי N או חול מחצבה SM.

השפעת סוג החול על שקיעת הריצוף: תחת עומס מרכזי התקבלה שקיעה פי 2 לערך גדולה יותר של הריצוף שניבנה על תשתית של חול טבעי (N), בהשוואה לזאת שהתקבלה בריצוף על שומשום (SEZ). אבל, ביחס לשקיעה הכוללת הממוצעת לאחר כל מחזורי העמסה והשפעת רטיבות, לא נמצא שיש הבדל בין החול הטבעי N, לבין השומשום (SEZ), שקיעה שעמדה על כשליש של מ"מ. המשטח שרוצף מעל תשתית של חול מחצבה SM תפח משמעותית (כ-2 מ"מ), ללא תלות בסוג העומס. אבל העובדה ששינוי זה היה אחיד לכל השטח המרוצף, לא גרמה לכך שניתן היה להבחין בשינוי או לחוש בהבדלי רום על פני השטח. המשטח שרוצף מעל תשתית של חול דולומיטי גרוס רחוף (DW) תפקד, מנקודת ראות זאת, בצורה הטובה ביותר. הדבר בא לידי ביטוי בשקיעות מזעריות, ללא תלות בסוג העומס.

השפעת סוג החול על הבידוד האקוסטי: התוצאות שהתקבלו מראות כי כל מערכות הריצוף שנבדקו בעבודה הנוכחית משפרות, כצפוי, את הבידוד האקוסטי כנגד קול הולם, בהשוואה לתקרת בטון מקשית עירומה. בכל אחת ממערכות הריצוף שנבדקו בפני עצמן, לא נצפו הבדלים משמעותיים, בין אם תחת עומס ובין אם בלעדיו וגם לא עקב הרטבת המשטחים המרוצפים השונים. אמנם ההבדלים בין המערכות השונות היו זניחים, אבל ניתן להבחין כי, המערכת שנבנתה על חול טבעי נתנה, באופן יחסי, את הבידוד האקוסטי הטוב ביותר והמערכת שנבנתה על חול מחצבה SM נתנה את הבידוד האקוסטי כנגד קול הולם הפחות טוב. אך כאמור, ההבדלים קטנים מאד והם למעשה בגבולות של שגיאת מדידה וכל המערכות התאימו לדרישת המינימום בתקן הישראלי, 63dB.

לאור הבדיקות שבוצעו בעבודה הנוכחית לא מומלץ לרצף על חול מחצבה SM, בגלל קשיי ביצוע, תפיחה ובידוד אקוסטי גבוה במעט מהנדרש. לעומת זאת, התוצאות שהתקבלו מעידות על כך כי, החול הגרוס SEZ וחול המחצבה הרחוף DW שנבדקו, יכולים לשמש תחליף לחול הטבעי בעבודות ריצוף.

רשימת ספרות

- .1 תקן ישראלי ת"י 1555 חלק 3, "מערכות פסיפס ואריחי קרמיקה לריצוף ולחיפוי בבניינים - ריצוף".
 - .2 מוני בן-בסט, "חול גרוס כתחליף לאגרגט דק טבעי לבטון", המכון הלאומי לחקר הבנייה בטכניון, יוני 1993.
 - .3 הדסה באום ויצחק סורוקה, "שימוש בחול מחצבה כתשתית לריצוף", המכון הלאומי לחקר הבנייה בטכניון, מכון טכנולוגי לישראל, דצמבר 1999, 017-640.
 - .4 תקן ישראלי ת"י 1920 חלק 1, "טיח: דרישות כלליות ושיטות בדיקה של מלט לטיח".
 - .5 תקן ישראלי ת"י 1034 חלק 6, "אקוסטיקה: מדידת בידוד קול בבניינים ובידוד קול של אלמנטי בניין".
 - .6 תקן ישראלי ת"י 985 חלק 2, "אקוסטיקה: הערכת שיעור הבידוד בבניינים והבידוד האקוסטי של אלמנטי בניין - בידוד מפני קול הולם".
7. ISO 140-6:1998: Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements -- Part 6: Laboratory measurements of impact sound insulation of floors.

Abstract

Flooring Tiles are usually placed on a subgrade made of natural sand, usually stabilized with a small amount of cement. The sources of natural sand in Israel are being depleted whereas the demand for this type of sand for various building purposes is increased. Consequently it is rather important to try and replace, where it is possible, natural sand with crushed sand. Subgrades for laying flooring tiles present such a possibility. Hence, the aim of the present study was to explore the possibility of using crushed sand in subgrades for ceramic flooring tiles in lieu of natural sand. The experiments carried out in this study show that the use of crushed in lieu of natural sand in subgrade of floors essentially does not require a change in the placing technique and does not involve greater sedimentation due to loading and wetting. The three alternative subgrades gave almost the same acoustic insulation as the natural sand and they all comply with the requirements of the relevant IS. Accordingly, it may be concluded that, within the limited scope of this study, it is possible to use crushed sand in lieu of the required natural sand in subgrades for flooring tiles, excluding the SM sand used in the recent work. The results are based merely on laboratory tests and with only one type of ceramic tiles.



Founded by מיסודם של

MINISTRY OF CONSTRUCTION AND HOUSING משרד הבינוי והשיכון

TECHNION ISRAEL INSTITUTE OF TECHNOLOGY הטכניון – מכון טכנולוגי לישראל

Faculty of Civil & Environmental Engineering הפקולטה להנדסה אזרחית וסביבתית

NATIONAL המכון
BUILDING הלאומי
RESEARCH לחקר
INSTITUTE הבנייה

2006651

Alternative Subgrades for Natural Sand for floors, Including Acoustic Testing

Dr. Hadassa Baum

Dr. Juval Mantel

Copyright© 2008 by H. Baum and J. Mantel,

The Israel Ministry of Construction and Housing and the Technion Research and

Development foundation, Limited, Haifa

Haifa

July, 2008

המכון לאומי לחקר הבנייה

קרית הטכניון, חיפה 3200003

טל. 04-8292242/3

nbri@tx.technion.ac.il

