

ניסיונות העמסה על כלונסאות בפרויקט הקמת מבני מגורים באשקלון

לתכנון נכון ויעיל של כלונסאות חשיבות הנדסית וכלכלית רבה. קיימות שיטות חישוב רבות להערכת תסבולת הכלונסאות אשר מניבות ספקטרום רחב של תוצאות. ניסיונות העמסה על כלונסאות מאפשרים להעריך בצורה ישירה את תסבולת הכלונסאות בניגוד לשיטות החישוב המקובלות המתבססות על קורלציות לבדיקות עקיפות בלבד, ובכך לבצע אופטימיזציה בתכנון ולהוזיל את עלויות הביצוע. בכתבה הבאה מוצג פרויקט בנייה בשכונת אגמים באשקלון שבו בוצעו בהצלחה שישה ניסיונות העמסה דינמיים

אינג' יוסי קליין ואינג' דני קסורלה *

תיאור הפרויקט

הפרויקט של **חב' אודור** אשר עוסקת בייזום ובנייה ממוקם בשכונת אגמים מזרח, בחלקה הדרומי של העיר אשקלון. השכונה נבנית בימים אלו, ועתידה לכלול כ-5,000 יחידות דיור בבנייה רוויה. הפרויקט כולל 8 בניינים בני 6-8 קומות, המשתרעים על שני מגרשים בסמוך לשדרות יצחק רבין.



הדמיה של הפרויקט

תנאי הקרקע באתר ותכנון ראשוני של הכלונסאות

תכנון הביסוס בפרויקט בוצע על ידי **משרד ייעוץ הקרקע במפ הנדסה**. באתר בוצע סקר קרקע שכלל כ-10 קידוחי ניסיון ובדיקות חוזק בשדה (בדיקות SPT). תנאי הקרקע באתר כוללים שכבה עליונה של חרסית/חול חרסיתי ומתחתיה שכבת חול כורכרי. תנאי הקרקע באתר לא אחידים, עובי/עומק השכבה החרסית העליונה משתנה מ-1 מ' ל-8 מ' מפני הקרקע בין אזורים שונים באתר, וקיימים שינויים משמעותיים בחוזק ובצפיפות הקרקע. עקב חוסר האחידות בתנאי הקרקע ועקב הפוטנציאל לתפיחה ולהתכווצות של השכבה החרסית העליונה כתוצאה משינוי בתכולת הרטיבות, שיטת הביסוס שנקבעה היא כלונסאות. העומס האופייני הצפוי בכל כלונס בבניינים בני 8 קומות הינו כ-175 טון ובכל בניין מתוכננים כ-80-100 כלונסאות. התכנון הראשוני של יועץ הקרקע לעומס האופייני הנ"ל כלל כלונסאות בקוטר בין 70-80 ס"מ באורך בין 16-19 מ'. לאחר שניסיון קידוח ב"יבש"



ניסיונות העמסה דינמיים על כלונסאות - חברת יסודות



תמונה מס' 2: מדידת תזוזות כלונס באמצעות מאזנת אופטית

ראש כלונס באותו הקוטר בגובה של כ-2 מ' כדי לאפשר את ביצוע הניסיונות.

ניסיון העמסה דינמי מבוצע באמצעות מתקן העמסה ייעודי אשר מאפשר הפלה של משקולת כבדה (לרוב מעל 10 טון) מגבהים שונים על ראש הכלונס. **באיור מס' 2** ניתן לראות את מתקן ההעמסה עם המשקולת (בצבע כחול) בגובה של כ-1.5 מ' מעל ראש הכלונס.

במהלך הניסיונות נעשה שימוש בחיישנים למדידת התאוצות והעיבורים המתפתחים בכלונס כתוצאה מהפלת המשקולת. חדירת/שקיעת הכלונס לאחר כל חבטה מבוצעת באמצעות מאזנת אופטית כפי שניתן לראות **באיור מס' 3**. הזמן הקצר שלוקח לבצע את הבדיקה והעלות הנמוכה ביחס לניסוי העמסה סטטי מאפשרים לבצע ברוב המקרים מס' ניסיונות ביום אחד.



תמונה מס' 3: מתקן העמסה לביצוע ניסיונות דינמיים

בהתבסס על תנאי הקרקע, היקף הביסוס והתכנון הראשוני של הכלונסאות, הוחלט לבצע ניסיונות במטרה להקטין את קוטר ועומק הכלונסאות ביחס לתכנון הקיים

לעומק המתוכנן נכשל עקב אי יציבות של דופן הקידוח בשכבת החול הכורכרי הוחלט לבצע את הכלונסאות בשיטת CFA.

תכנון וביצוע ניסיונות העמסה

ניסיונות העמסה על כלונסאות מאפשרים להעריך את תסבולת הכלונסאות בצורה ישירה בניגוד לשיטות החישוב המקובלות המתבססות על קורלציות לבדיקות עקיפות בלבד, ובכך לבצע אופטימיזציה בתכנון ולהוזיל את עלויות הביצוע. החסכון מתקבל לרוב ע"י הקטנת קוטר ואורך הכלונסאות ביחס לתכנון המקורי.



תמונה מס' 1: מכונת CFA לביצוע כלונסאות

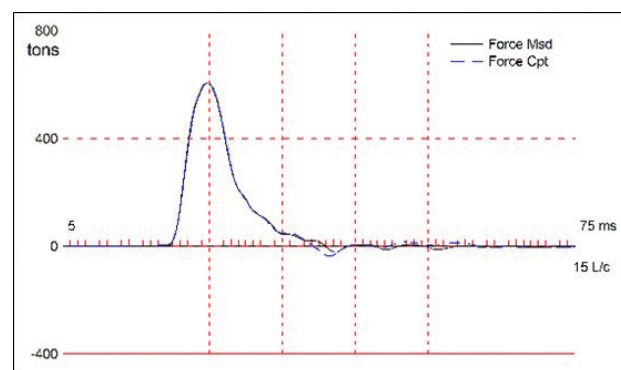
במקרים מסוימים ניתן אף לשנות את שיטת הקידוח. הבדיקות מבוצעות עפ"י תקן והחסכון מתאפשר בין השאר, הודות לאפשרות לתכנן את הכלונסאות עם מקדם בטחון יותר נמוך. קיימים מס' סוגים של ניסיונות העמסה ומס' שיטות לביצוע של הניסיונות.

פוטנציאל החסכון בפרויקט של חב' אודור נבדק על ידי **חברת יסודות בדיקות גיאוטכניות**, יועץ הקרקע ומנהל הפרויקט של חברת אודור. בהתבסס על תנאי הקרקע באתר, היקף הביסוס בפרויקט והתכנון הראשוני של הכלונסאות, התקבלה החלטה לבצע ניסיונות בפרויקט במטרה להקטין את קוטר ועומק הכלונסאות ביחס לתכנון הקיים. תוכנית הניסיונות כללה 6 ניסיונות העמסה דינמיים על כלונסאות בקוטר 70 ס"מ. הכלונסאות מוקמו בצמדים בשלושה אזורים שונים באתר בהתאם למיקום הבניינים הגבוהים והשוני בחתך הקרקע. כל צמד כלל כלונס אחד באורך 16 מ' וכלונס אחד באורך 12 מ'.

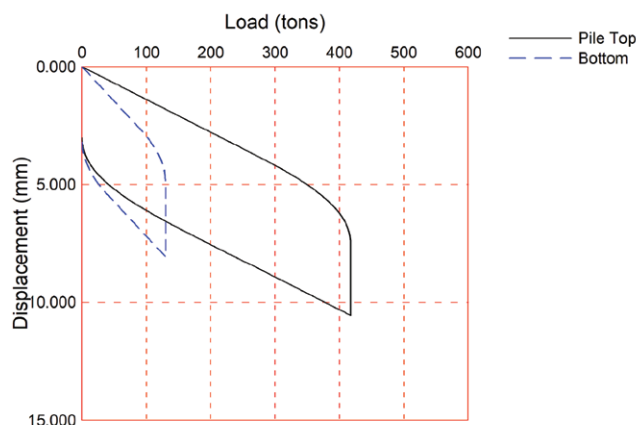
חברת יסודות ביצעה פיקוח צמוד על בניית הכלונסאות לצורך הניסיונות. הפיקוח כלל תיעוד של חתך הקרקע ובקרה על תהליך הקדיחה והיציקה של הכלונסאות. מעל לכל כלונס נבנתה הגבהה/

ניתוח תוצאות הניסיונות

לאחר השלמת הניסיונות בשטח, חברת יסודות ביצעה ניתוח של המדידות על מנת להעריך את תסבולת הכלונסאות. הניתוח מבוצע באמצעות תוכנה ייעודית לעיבוד אותות בשם CAPWAP אשר מאפשרת להעריך את פירוס תסבולת החיכוך לאורך הכלונס ואת תסבולת הקצה, ע"י התאמה בין הגלים שנמדדו בשדה לבין גל מחושב, בתהליך איטרטיבי. **איור מס' 1** מציג דוגמא של תוצאות הניתוח בפלט התוכנה שבו ניתן לראות את ההתאמה בין גל מדוד לגל מחושב באחד הכלונסאות. הגל המדוד הינו הקו השחור הרצוף והקו הכחול המקווקו הינו הגל המחושב. ניתן לראות התאמה טובה לכל אורך הגל בו נקבעת התסבולת. התוכנה גם מאפשרת לקבל עקום עומס-שקיעה כפי שהיה מתקבל בניסוי סטטי אקווילנטי כנראה באיור מס' 2.



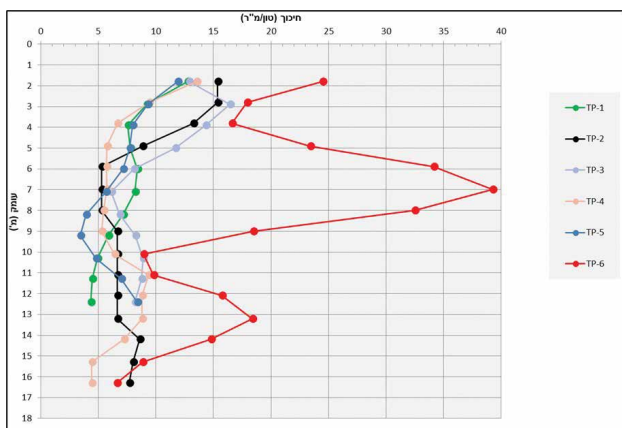
איור מס' 1 - תוצאות אנליזה להערכת תסבולת כלונס - התאמה בין גל מדוד לגל מחושב



איור מס' 2 - תוצאות אנליזה להערכת תסבולת כלונס - עקום עומס-שקיעה

ניתוח התוצאות של כל הכלונסאות בפרויקט בוצע עבור חבטות שבהן נמדדה חדירה של למעלה מ-2.5 מ"מ, אשר מעידה על גיוס מלא של התסבולת הגיאוטכנית. התסבולת הכוללת שהתקבלה ב-3 הכלונסאות הקצרים (באורך 12 מ') יחסית אחידה ונעה בטווח בין 375-392 טון. התסבולת הכוללת של 2 כלונסאות ארוכים (באורך 16 מ') נעה בטווח של בין 400-450 טון בעוד שהתסבולת של הכלונס השלישי הייתה גבוהה מאוד באופן משמעותי (כ-900 טון). תסבולת החיכוך הממוצעת ללא הכלונס הארוך שבו התקבלה התסבולת הגבוהה ביחס לשאר נעה בטווח של בין 7-10 טון/מ"ר. **איור מס' 3** מציג את תסבולת מאמצי החיכוך ככשל כתלות בעומק מפני השטח בכל אחד מהכלונסאות. כל עקום/קו בגרף מייצג

כלונס. ניתן לראות שהחיכוך לאורך הכלונסאות אינו אחיד אולם מעומק של כ-6 מ' החיכוך בטווח של בין 8-6 טון/מ"ר. בנוסף, ניתן לראות בברור את השוני בתסבולת הגבוהה של כלונס TP-6 ביחס לכלונסאות האחרים. תסבולת הקצה בכלונסאות הקצרים נעה בטווח של בין 340-550 טון/מ"ר ובכלונסאות הארוכים בטווח של בין 290-530 טון/מ"ר. לא ניתן להבחין בשוני ליניארי מובהק בתסבולת בין הכלונסאות הקצרים לארוכים, כפי שאולי היה מצופה. הסיבה לכך יכולה לנבוע הן מחתך הקרקע ההטרוגני והן משונות באיכות הביצוע של הכלונסאות.



איור מס' 3 - תוצאות ניתוח הניסיונות - פירוס מאמצי חיכוך לאורך הכלונסאות

סיכום ומסקנות

ניסיונות העמסה על כלונסאות מאפשרים ליועץ הקרקע לקבל נתונים אשר באמצעותם ניתן לבצע אופטימיזציה של תכנון הביסוס. ברוב המקרים הניסיונות מביאים לחסכון משמעותי של למעלה מ-25% מעלות הביסוס. בפרויקט של חב' אודור בשכונת אגמים באשקלון הניסיונות אפשרו חסכון משמעותי לאחר הזנת תוצאות של ניסיון על כלונס שהניב תסבולת גבוהה מאוד ביחס לשאר ולמרות השונות הגדולה בחתך הקרקע באתר. בפרויקטים המשתרעים על פני שטח גדול ו/או שתנאי הקרקע משתנים יש יתרון לבצע ניסיונות העמסה דינמיים אשר הינם זולים ומהירים בהשוואה לניסיון העמסה סטטי. בפרויקטים בקנה מידה של הפרויקט של חב' אודור באשקלון שבהם יש מאות כלונסאות וכמובן בפרויקטים גדולים יותר, יש הצדקה כלכלית והנדסית במרבית המקרים לביצוע של ניסיונות העמסה.

***אינג' יוסי קליין** - בעל תואר ראשון ושני M.Sc מהטכניון. שותף בחברת יסודות - בדיקות גיאוטכניות, ובעל משרד ייעוץ גאוטכני/גיאולוגי מדרונות הנדסה העוסק בכל מגוון הפרויקטים: ביסוס מבנים, יציבות מדרונות, גיאולוגיה הנדסית, הנדסה ימית, מינהור, מאגרים וסכרים ועוד.

אינג' דני קסורלה - חבר איגוד, תא גיאוטכניקה, בעל תואר ראשון בהנדסה אזרחית מהטכניון. שותף בחברת יסודות - בדיקות גיאוטכניות.

חברת יסודות בדיקות גיאוטכניות בע"מ עוסקת בהנדסת קרקע וביסוס ומתמחה בניסיונות העמסה על כלונסאות. החברה מספקת ללקוחותיה שירותים המאפשרים לתכנן בצורה אופטימלית את מערכת הביסוס ולהוזיל את עלויות הביצוע.