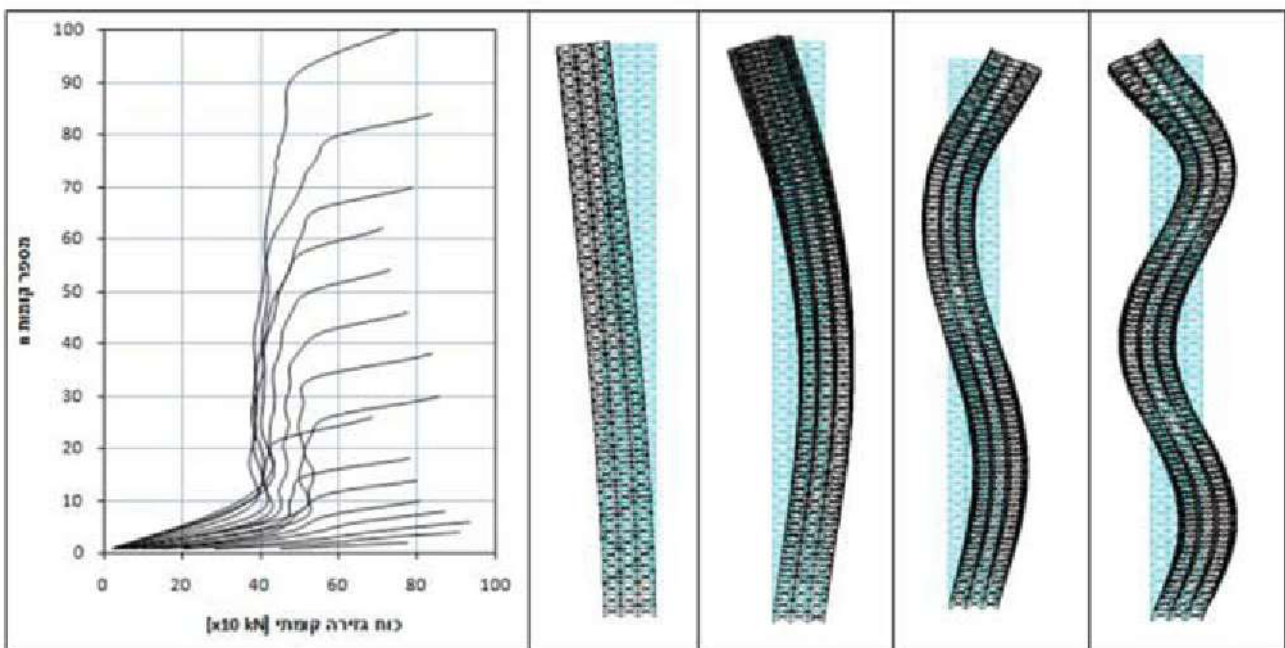


כריית ידע בהנדסה ובחינה פרמטרית של רבי-קומות מפלדה הנתונים לכוחות סייסמיים ועומסים אנכיים

מהנדס שרון יהודה M.Sc.



בסיס סובייקטיבי, כגון "זהה את כל הלקוחות בעלי דמיון בהרגלי קנייה", או "זהה את כל הלקוחות בעלי סיכון אשראי" וכדומה, ניתן גם להצליב נתונים, למצוא קשרים או חוקיות בין קבוצות נתונים, לזהות מגמות או תבנית מתמטיות ולהציגם באמצעות כלים של סטטיסטיקה תיאורית, מבלי לדעת תמיד מראש מה מחפשים.

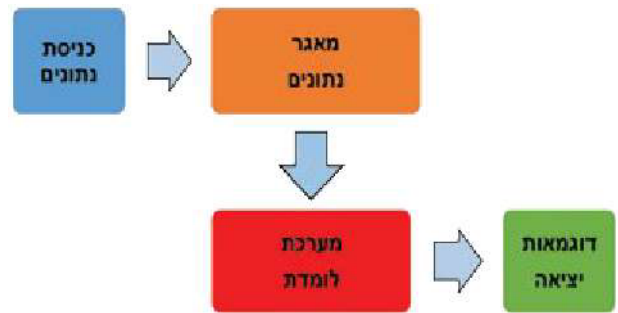
כלומר, מתוך מאגר נתונים גדול ניתן לברות ידע כיצד הדמיון, כאשר הנתונים יכולים להיות מספרים, תמונות, מלל או חפצים מסוגים שונים הניתנים למידול באמצעות מחשב, על-ידי ביטוי גיאומטרי, טופולוגי, פסיקלי או אחר.

התחום הגנרי לכריית ידע - DM - העוסק בשאלה כיצד לבנות מערכות מכאניות, תהליכים ותכנות שישתפרו בצורה אוטומטית עם הניסיון, הינו למידת מכונה (Machine Learning), שכמו DM מהווה גם הוא חלק מתוך בינה מלאכותית (Artificial Intelligence), וכולל שלושה סוגי למידה עיקריים: למידה עם מדריך (כדוגמת תינוק בעגלה הלומד מהסברים של אמו); למידה ללא מדריך (כדוגמת תינוק הלומד מתוך התבוננות); ולמידה עם חיזוקים (כדוגמת אילוף כלב). זאת, כאשר מזינים את המערכת הלומדת במספר סופי של דוגמאות כניסה ומקבלים מספר גדול מאוד של דוגמאות יציאה. כלומר, אנו מצפים שתהיה למכונה הלומדת יכולת

כמויות המידע העצומות המאפיינות את תקופתנו הנוכחית פתחו דלת לתחום "חדש" העוסק בהפיכת נתונים (מידע) לידע שימושי. תחום שעסק בזיהוי תבניות ודפוסים במדע באופן ידני היה קיים כבר עשרות שנים רבות, אולם עם הצמיחה בנפחי המידע הממוחשב ובמורכבותו, נעשה שימוש ההולך וגדל באמצעים אוטומטיים, הנתמכים באמצעים טכנולוגיים שהגיעו לבשלות בשנים האחרונות (איסוף נתונים, מעבדי מידע ואלגוריתמים). אלה הרחיבו ושכללו את התחום ובפועל הגדירו אותו מחדש.

למעשה, הידע הינו אינפורמציה מועילה הנמצאת בנתונים, שלא ניתן להבחין בה באופן מפורש בהם. לא מדובר בחיפוש באמצעות מנוע חיפוש, משוכלל ככל שיהיה (Google) או ניהול וחיפוש בסיסי נתונים כגון: DBMS (Data Base Management System), OLTP (On Line Transaction Processing) או OLAP (On Line Analytical Processing), אלא בסוג של עיבוד נתונים לחשיפת ידע - כריית ידע, המשמש בעיקר ארגונים וגופים גדולים, מסחריים בעיקר (בנקים, חברות ביטוח, מרכזים רפואיים ורשתות מסחר ושיווק), בעלי בסיסי נתונים אסטרונומיים וארגונים ממשלתיים. זאת, כדי לבחון מאגרי מידע גדולים. בתהליך של כריית ידע (DM - Data Mining) ניתן לענות על שאלות/פקודות בעלי

הכללה על-ידי למידת מודל המבוסס על מספר דוגמאות נתון.



איור מס' 1 - תהליך כריית מידע

גם על שאלות פשוטות וחשובות מתחום ההנדסה האזרחית, הנוגעות למהנדסי קונסטרוקציה, מנהלי פרויקטים ואף לזמרים. מדובר בשאלות כגון: מה המשמעות של בחירת מערכת הקשחה לכוחות סייסמיים אופקיים של בניין רב-קומות, על כמות החומר הנדרשת להקמת הבניין? מה המשמעות של קביעת המרחק בין העמודים בבניין על כמות החומר הנדרשת להקמת הבניין? עד כמה מושפעת מערכת ההקשחה לכוחות אופקיים מהמרחק בין העמודים? מה המשמעות של הפרמטרים שהוזכרו על תנודות הבניין? מה הוא הקריטריון התכנוני הקובע לאמיתו של דבר את נקודת התכן של בניין רב-קומות? מה היחס בין קריטריונים תקינים הקובעים את נקודת התכן? וכדומה.

מאחר וכיום אין מאגר נתונים נגיש של בניינים שניתן לכתוב ממנו ידע, הוקם לצורך מענה על השאלות שהוצגו קודם, "מיני מאגר נתונים" של מבנים בעלי קונסטרוקציית רכיבים עיקריים מפלדה, הכולל בשלב זה 180 מבנים, שתוכננו בהתאם לדרישות הנתונות בתקנים הישראליים הרלוונטיים כגון: ת"י 413 (ג"ת 3) - תכן עמידות מבנים ברעידת אדמה, ת"י 1225 - חוקת מבנה פלדה, ת"י 412 - עומסים אופייניים במבנים, ת"י 109 - משקלים של חומרי בנייה ושל חלקי מבנה וכו'. העומסים השימושיים והכוחות הסייסמיים נקבעו בהתאמה למבנים המשמשים למשרדים (או לבתי מלון), המתוכננים באזורים בעלי מקדם תאוצת קרקע אופקית חזויה $Z = a_{h,max} / g = 0.1$. זאת, כאשר ההשפעה הסייסמית על כל המבנים בוצעה לפי מודלים אנליטיים מרחביים בתהליך של אנליזה מודאלית.

המבנים שנכללו במאגר הנתונים כוללים את המאפיינים הכלליים הבאים:

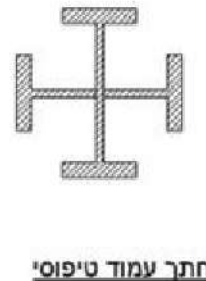
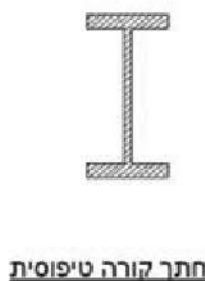
1. גיאומטריה קומתית מלבנית זהה 27X54 מ' (בהתאם לבניין משרדים דומה בן 27 קומות שתוכנן ברומניה);
2. מספר הקומות משתנה מקומה אחת למאה קומות, כאשר הגובה של כל קומה קבוע;
3. מערכת ההקשחה לכוחות אופקיים משתנה: מסגרת, מסגרת מוקשחת באמצעות ברייסינג (אלכסונים מפלדה) ומערכת הקשחה המורכבת מברייסיג בלבד ללא פעולת מסגרת;
4. המרחק בין העמודים משתנה: 4.5 מ', 9.0 מ' ו-13.5 מ'. המערכת הקונסטרוקטיבית של כל המבנים כוללת את המאפיינים הבאים: קורות ראשיות מפרופיל בחתך I הנתמכות על-ידי עמודים; עמודים הבנויים משני פרופילים ניצבים

למידת מודל הנתונים וקביעת המודל הסופי מבוצעת על-ידי אלגוריתמים מבוססי כלים מדיסציפלינות שונות, הכוללים, בין היתר, תהליכי אופטימיזציה איטרטיביים בהם מבצעים מינימיזציה לשגיאות מערכת המתקבלות בתהליך הלמידה, ו/או על-ידי כלים מתחום של סטטיסטיקה תיאורית. תהליכי האופטימיזציה במגוון שיטות גדול משמשים לפתרון תחום גדול מאוד של סוגי בעיות, כאשר לא כל אלגוריתם של אופטימיזציה מתאים לכל משפחת בעיות, ולכן יש הטוענים שבדרך כלל בתחום ה-MIL עדיף להשתמש בעיקר במשפחת האלגוריתמים האבולוציוניים/גנטיים, השואבים את השראתם מהטבע ומאפשרים לפתור מגוון רחב של בעיות חיפוש, אופטימיזציה, קלסיפיקציה (בדומה ללמידה עם מדריך) וקלאסטרנינג (בדומה ללמידה ללא מדריך) שלא ניתן לפתור בשיטות מסורתיות.

למעשה, באמצעות תהליכים אלו ניתן ללמד רובוט לזהות חפץ מסוים, או לזהות בעל חיים, ליצור מכונה שתדע לייעל את עצמה תוך כדי תהליך העבודה; מכונה שתדע להגיע מנקודה לנקודה עם הגדרת נ"צ וללא הגדרת המסלול (מכונית אוטונומית); מכונה עם מספר יכולות פיסיות שלומדת מעצמה לעוף; לחזות התפרצות של מחלות קשות או התקפי-לב, כאשר סדרת הלימוד מבוססת על אלפי תיקים רפואיים, הסקת אינסוף מסקנות על בסיס נתונים מצומצם, גילוי מגמות ותבניות מתמטיות בבסיסי נתונים וכדומה.

דוגמה לכריית ידע בהנדסה אזרחית

באמצעות הדוגמה הבאה של איסוף נתונים וגילוי מגמות ותבניות מתמטיות הקיימות בנתונים, ניתן לענות, בין היתר,



עמוד טיפוס

איור מס' 2 - מאפיינים מבניים

מדרישות ההסטה הקומתית המותרת בתקן, קשיחות המבנה הוגדלה לפי הצורך במקומות הנדרשים, בקומות ספציפיות על ידי הגדלת חתכי רכיבי הפלדה העיקריים, לפי מפתח שנקבע באמצעות אלגוריתם של אופטימיזציה למציאת יחס אופטימלי בין העמודים לקורות כאשר כמות החומר נתונה.

מקדם היציבות של כל מבנה נבדק לפי הקריטריונים הבאים: (1) $\theta \leq 0.1$ (2) $0.1 < \theta \leq 0.2$, זאת כאשר מבנים העומדים בקריטריון הראשון הוגדרו כמבנים יציבים, ובמבנים העומדים בתחום הקריטריון השני הוגדלו הכוחות הסיסימיים על-ידי הכפלה במקדם שערך $1/(1-\theta)$ (על-פי תקן Eurocode 8) בשילובי העומסים, ורכיבי הפלדה העיקריים נקבעו בהתאם לכוחות הסיסימיים המוגדלים. במקרים בהם התקבל $\theta > 0.2$ המבנה הוקשח עד לקבלת מצב בו $\theta \cong 0.2$. זאת, כאשר בכל קומה או מספר קומות הוגדרו מספר קבוצות של אלמנטים זהים הנושאים עומסים אנכיים וכוחות סייסימיים, שהשתנו לגובה המבנה לפי הצורך על-פי תוצאות האנליזות בתהליך האיטרטיבי.

כריית ידע ממאגר הנתונים

הנתונים שהתקבלו ב"מיני מאגר נתונים" (GB 2.29) מתייחסים לתחומים רבים ושונים. לצורך המחשה של המגמות והתבניות המתמטיות הפשוטות ביותר והקרובות ביותר לנתונים הקיימים במאגר הנתונים, ועל מנת לענות על השאלות שהוצגו קודם, נתמקד במספר מצומצם של קבוצות נתונים המתייחסות לכמות החומר של רכיבי מבנים עיקריים, זמני מחזור של שלוש תנודות ראשונות, למקדם הכפלת ערכי התגובה מהאנליזה המודלית ולהתפלגויות הכוחות הסיסימיים.

לצורך ניתוח ותיאור המגמה של הנתונים הותאם המודל המתמטי הפשוט והקרוב ביותר לנתונים מתוך מחלקת פונקציות, כאשר הפרמטר היחיד המשתנה n הינו מספר הקומות במבנה.

באיור מס' 3 ניתן לראות שפונקציית אקספוננט מתארת באופן מיטבי את הנתונים (פרט למקרה בודד בו התקבלה פונקציה

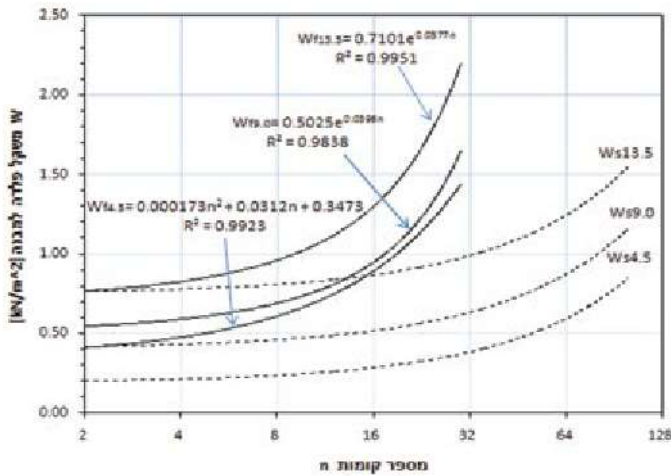
בחתך I על מנת לאפשר כפיפה דו-כיוונית; תקרות מחתך מורכב הכוללות קורות משנה מחתך I הנתמכות על-ידי הקורות הראשיות ויציקת בטון (15 ס"מ) על גבי סיפון מפח פלדה המחובר לקורות המשנה באמצעות שגמי גזירה. כדי שתוצאות האנליזות תהיינה מייצגות את הקיים בתעשייה, חתכי הקורות הראשיות והעמודים נקבעו מפרופילי פלדה סטנדרטיים כפי שמקובל בתעשייה על מגוון האפשרויות פרופילים סטנדרטיים נקבעו גם חתכי משפחות UC, UB ו-W ובמקרים מיוחדים תוכננו חתכים מיוחדים בהתאם.

מתודולוגיה של תהליך ביצוע אנליזות

- לכל סוג מבנה בוצעו אנליזות לפי השלבים הבאים:
1. אנליזה של קורות המשנה המרכיבות כל טיפוס של תקרה תחת עומסים אנכיים;
 2. אנליזה של הקורות הראשיות בכל טיפוס של תקרה ללא עמודים, כאשר הוגדרו תנאי שפה של הזזה אפס בכל דרגת חופש הממוקמת במיקום של עמוד, ובמקום קורות המשנה הוגדרו עומסים המתאימים לריאקציות שהתקבלו בחישוב שלב ראשון על מנת לקבוע את הגודל הראשוני של הקורות הראשיות;
 3. אנליזה של מבנה מרחבי הכולל את הקורות הראשיות ואת העמודים תחת עומסים אנכיים בלבד;
 4. אנליזה של מבנה מרחבי תחת עומסים אנכיים וכוחות סייסימיים. כל זאת, כאשר בכל מודל חישובי בוצעו מספר חזרות חישוביות לפי הצורך, לאחר בחינת המבנה בגבולות הקריטריונים שנקבעו מראש. כלומר, בסה"כ בוצעו מעל 1,200 אנליזות מבנים.
- המבנים חושבו ונבדקו לפי הקריטריונים הבאים: דרישות החוזק הנתונות בת"י 1225 באמצעות אלגוריתם של תכנת חישוב מסחרית, כאשר במקרים בהם נמצאה בעיית חוזק הוגדל הרכיב הנבדק לפי הצורך על מנת לעמוד בניצולת אלמנט שתעמוד בתחום של 94% עד 100%; דרישות התכן הנתונות בת"י 413 [ג"ת 3], עם ההדגשים הבאים: במקרה של חריגה

סוג מבנה	מרחק בין עמודים [m]		
	13.5	9.0	4.5
עומסים אנכיים	$W_{e,13.5} = 0.7688 \exp(0.0074 n)$ $R^2 = 0.9937$	$W_{e,9.0} = 0.4309 \exp(0.0108 n)$ $R^2 = 0.9849$	$W_{e,4.5} = 0.2177 \exp(0.0152 n)$ $R^2 = 0.9732$
מסגרת	$W_{f,13.5} = 0.7101 \exp(0.0377 n)$ $R^2 = 0.9951$	$W_{f,9.0} = 0.5025 \exp(0.0396 n)$ $R^2 = 0.9838$	$W_{f,4.5} = 0.4096 \exp(0.0466 n)$ $R^2 = 0.9923$
מסגרת מוקשחת	$W_{bf,13.5} = 0.7648 \exp(0.0086 n)$ $R^2 = 0.9873$	$W_{bf,9.0} = 0.447 \exp(0.0127 n)$ $R^2 = 0.9934$	$W_{bf,4.5} = 0.2516 \exp(0.0182 n)$ $R^2 = 0.9953$
מוקשח ללא מסגרת	$W_{b,13.5} = 0.777 \exp(0.0094 n)$ $R^2 = 0.9838$	$W_{b,9.0} = 0.4557 \exp(0.0135 n)$ $R^2 = 0.9936$	$W_{b,4.5} = 0.2499 \exp(0.0199 n)$ $R^2 = 0.9875$

איור מס' 3 - הצגת המודל המיטבי של המבנים על-ידי פונקציית אקספוננט

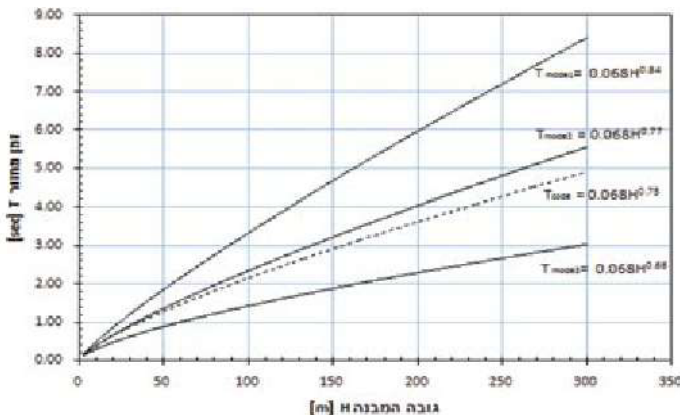


איור מס' 6 - גרף תיאור שינוי משקל החומר בתלות במספר קומות של מבנה מסגרת, תחת עומסים אנכיים וכוחות סייסימיים, במרחקים שונים בין העמודים

כמו כן, ניתן לראות גם את הפונקציות המתארות את זמן המחזור של שלושת התנודות הראשונות, של כל המבנים במאגר, שתוכננו בהתאם לדרישות התקנים הישראליים הרלוונטיים, כאשר כרפרנס זמן נקבע זמן המחזור של התקופה הבסיסית הנתון בת"י 413 [ג"ת3].

סוג מבנה	תנודה 1	תנודה 2	תנודה 3
מסגרת	$T_{mod1} = 0.119H^{0.85}$	$T_{mod1} = 0.119H^{0.85}$	$T_{mod1} = 0.119H^{0.85}$
מוקשחת מסגרת	$T_{mod1} = 0.068H^{0.85}$	$T_{mod1} = 0.068H^{0.77}$	$T_{mod1} = 0.068H^{0.68}$
מוקשח ללא מסגרת	$T_{mod1} = 0.068H^{0.84}$	$T_{mod1} = 0.068H^{0.77}$	$T_{mod1} = 0.068H^{0.68}$

איור מס' 7 - הצגת המודל המיטבי של זמני המחזור לשלוש תנודות ראשונות

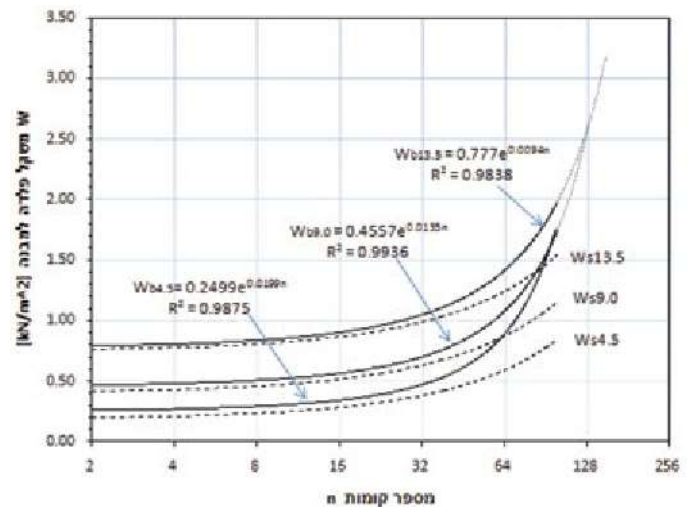


איור מס' 8 - גרף תיאור שינוי זמני המחזור מקורב של שלוש תנודות ראשונות בתלות בגובה המבנה, של מבנה מוקשח באמצעות אלכסונים ללא פעולת מסגרת, כאשר הקבוע בפונקציית החזקה תואם את הקבוע בנוסחה הנתונה בתקן (0.068)

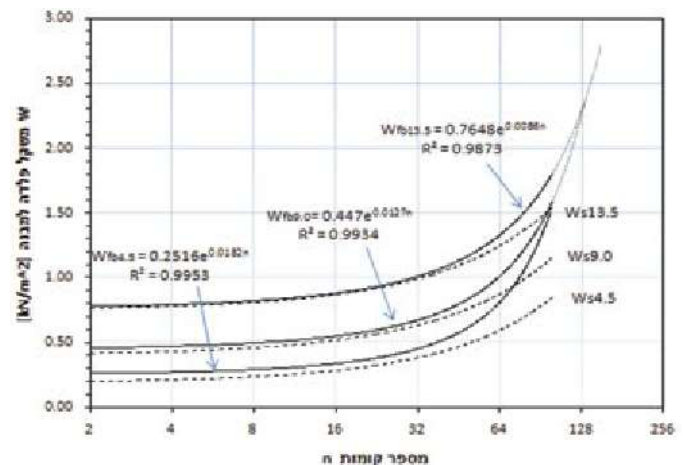


פולינומיאלית) המתייחסים למשקל המנורמל למ"ר מבנה W_{ij} של רכיבי הפלדה (עמודים, קורות ראשיות ומשניות) הנדרשים למבנים $[kN/m^2]$, לכל משפחת מבנים בנפרד, כאשר האינדקס הראשון מתייחס לסוג המבנה והאינדקס השני למרחק בין העמודים במבנה. נדגיש, כי ניתן לבצע אינטרפולציה למודלים ואקסטרפולציה בגבולות מסוימים.

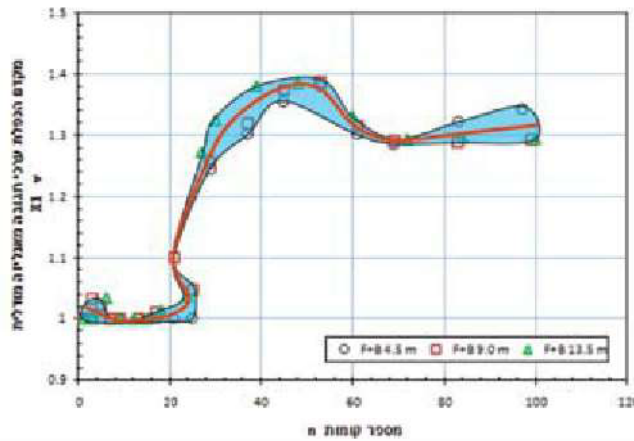
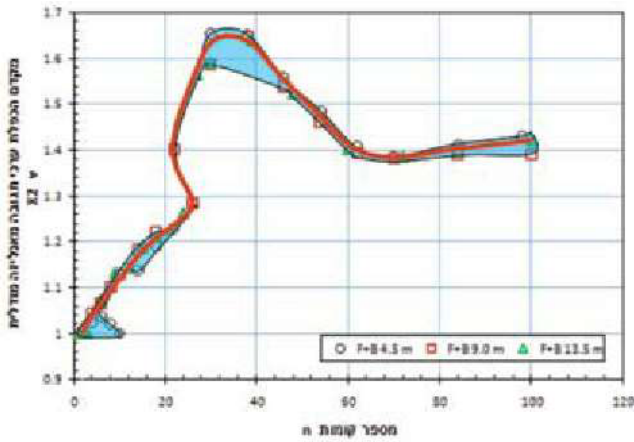
באמצעות הצגה גראפית של התבניות המתמטיות ניתן לראות באופן ברור את המבנה העדיף מבחינת משקל רכיבי הפלדה המבניים, ביחס להשתנות גובה הקומות ובתלות המרחק בין העמודים וסוג מערכת ההקשחה של המבנה. כרפרנס נקבעו תבניות משקל המבנים הנתונים לעומסים אנכיים בלבד. זאת, על מנת לראות את התוספת בכמות החומר כתוצאה של הפעלת הכוחות הסיסימיים על המבנים. לחילופין, באמצעות הגרפים הבאים קיבלנו למעשה אינסוף מסקנות המבוססות על מספר נתונים סופי.



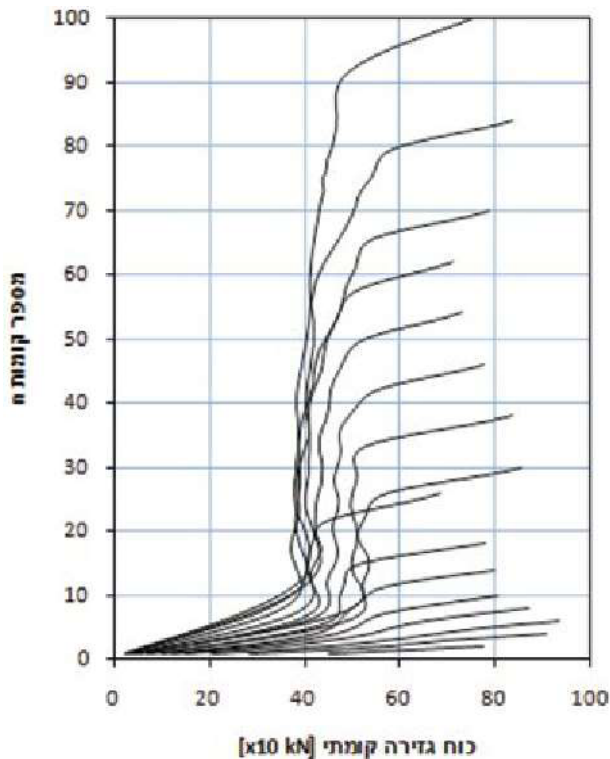
איור מס' 4 - גרף תיאור שינוי משקל החומר בתלות מס' קומות של מבנה מוקשח באמצעות אלכסונים ללא פעולת מסגרת, תחת עומסים אנכיים וכוחות סייסימיים, במרחקים שונים בין העמודים



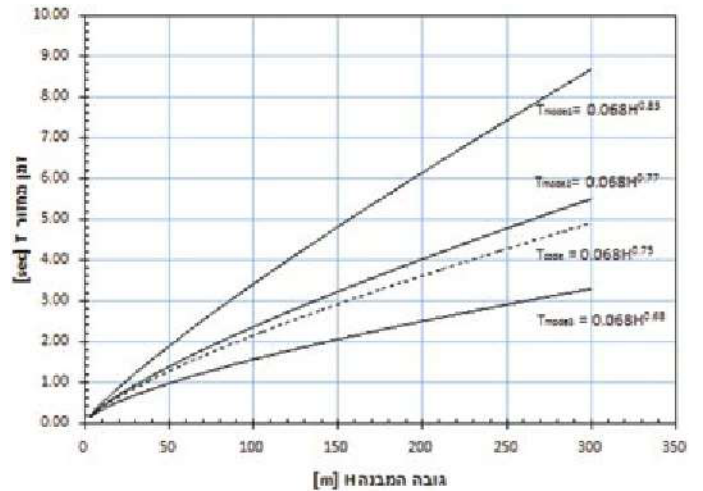
איור מס' 5 - גרף תיאור שינוי משקל החומר בתלות במספר הקומות של מבנה מסגרת מוקשחת באמצעות אלכסונים, תחת עומסים אנכיים וכוחות סייסימיים, במרחקים שונים בין העמודים



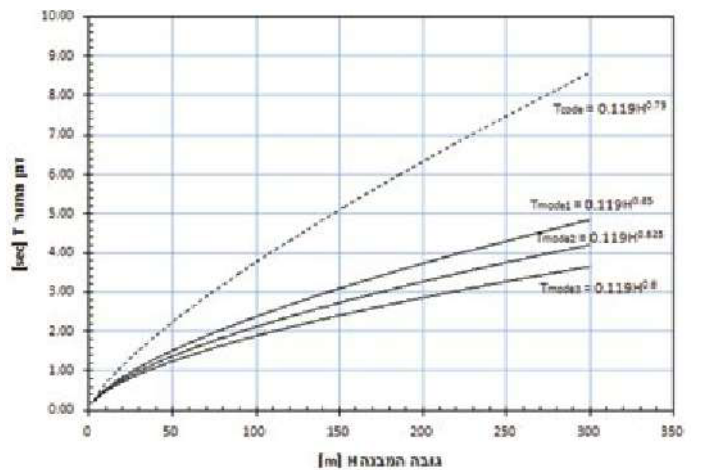
איור מס' 12 - פיזור תוצאות מקדם הכפלת ערכי התגובה מהאנליזה המודלית בתלות מספר הקומות, במבנה מסגרת מוקשחת, כאשר המרחק בין העמודים משתנה



איור מס' 11 - כוחות גזירה קומתיים סייסימיים הפועלים בכל קומה במבנים מסוג מסגרת מוקשחת, כאשר המרחק בין העמודים קבוע 9.0 מ', כפי שהתקבלו באנליזות המודליות



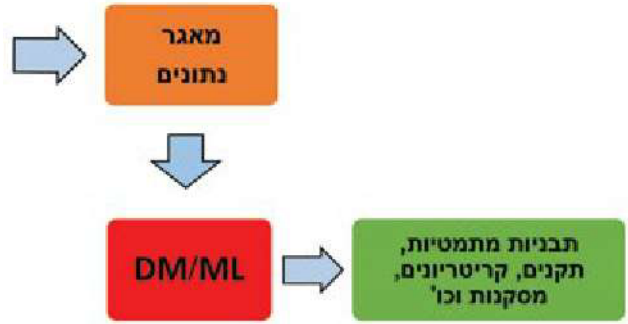
איור מס' 9 - גרף תיאור שינוי זמני המחזור מקורב של 3 תנודות ראשונות בתלות גובה המבנה, של מבנה מסגרת מוקשחת, כאשר הקבוע בפונקציית החזקה תואם את הקבוע בנוסחה הנתונה בתקן (0.068)



איור מס' 10 - גרף תיאור שינוי זמני המחזור מקורב של שלוש תנודות ראשונות בתלות בגובה המבנה, של מבנה מסגרת, כאשר הקבוע בפונקציית החזקה תואם את הקבוע בנוסחה הנתונה בתקן (0.119)

בנוסף, ניתן להציג בקלות גם את התפלגות כוחות הגזירה הקומתיים של משפחת המבנים מסוג מסגרת מוקשחת, ואת פיזור תוצאות מקדם הכפלת ערכי התגובה מהאנליזה המודלית בתלות מס' הקומות כאשר המרחק בין העמודים משתנה. אם כן, ניתן לראות באופן ברור שסוג המבנה הקל ביותר מבין המבנים שנבדקו הוא מבנה המסגרת המוקשחת על-ידי ברייסינג במעטפת החיצונית. כאשר המרחק בין העמודים קטן יותר, אז המבנה קל יותר באופן משמעותי במבנים נמוכים. במבנים גבוהים במיוחד חשיבות המרחק בין העמודים קטנה.

כמו כן ניתן גם להגיע למסקנות הרלוונטיות למהנדסי מבנים מתכננים, כגון: במבנים נמוכים יחסית ובמבנה מסגרת, כאשר התקבל מקדם יציבות $\theta \leq 0.1$, כמות החומר נקבעה על-פי דרישות החוזק הנתונות בת"י 1225; הקריטריון התקני לבחינת מקדם יציבות, לפי הגבולות $0.1 < \theta \leq 0.2$, הינו הקריטריון הדומיננטי לקביעת הצורך בהגדלת כמות החומר בכל מבנה; החסם העליון להסטה קומתית אופקית גבולית



לבצע בקרת תכנון ואף לבדוק קריטריונים תקינים. באמצעות מאגר נתונים כזה יהיה ניתן לפתח את ענף ההנדסה האזרחית במקביל להתפתחויות הטכנולוגיות העצומות המקיפות אותנו בחיי היום-יום, בתחומי האלקטרוניקה, החשמל, התוכנה והמכונות. כמו כן, מאגר נתונים כזה יסלול דרך לדורות חדשים של מהנדסים צעירים להובלה ופיתוח של ההנדסה האזרחית כיד הדמיון.

במבנים מוקשחים, התקיים רק במבנים גבוהים מעל 70~ קומות ורק ב-15-10 הקומות העליונות; במבנה מסגרת עם מרחק בין עמודים 9.0 מ' ו-13.5 מ' הקריטריון לא היה פעיל, כאשר המרחק בין העמודים 4.5 מ' קריטריון ההסטה הקומתית הגיע לחסם עליון במבנים מעל 18 קומות; סדר צורות התנודה לא השתנה עם הגדלת מספר הקומות (פרט למס' מקרים מיוחדים ובמודים גבוהים); בכל המבנים צורת התנודה הראשונה התקבלה בכיוון הקשיח ביותר של המבנה כפיפה בכיוון X1, צורת התנודה השנייה כפיפה בכיוון X2, והשלישית צורת פיתול.



מהנדס שרון יהודה

מהנדס קונסטרוקציה העוסק במתן ייעוץ הנדסי באופן עצמאי במגוון תחומים: תכנון מבנים, התממשקות הנדסה אזרחית למכונות, פיקוח עליון וניהול ופיקוח O.E. בעל תואר שני, M.Sc. בהנדסה מכאנית

מאוניברסיטת ת"א בשנת 2011 ותואר ראשון בהנדסה אזרחית ממכללת אריאל בשנת 2003 בהצטיינות. עבד כשבע שנים כשכיר בשני משרדי תכנון שונים בתחום תכן מבנים ממגוון סוגים והתמחה בתכן קונסטרוקציות מבנים מורכבים וגדולים עם אנליזות בתהליכי אופטימיזציה ותכן סייסמי. חבר מן המניין בוועדת מומחים הנדסית במסגרת ועדת ההיגוי להיערכות מדינת ישראל לרעידת אדמה; סגן יו"ר תא קונסטרוקציה באיגוד המהנדסים לבנייה ותשתיות בישראל; וראש המגמה להנדסה אזרחית בקריה ללימודי הנדסה באפקה ת"א. בנוסף, הוא משרת כאיש מילואים במערך ההדרכה של בה"ד 16 בפיקוד העורף ומדריך בקורסי מהנדסי מיגון וחילוץ.

המסקנות הרלוונטיות לכותבי תקנים הן: לא נמצאה התאמה בין תוצאות חישוב זמן מחזור של התנודה הראשונה באנליזות המודליות לבין זמן התקופה הבסיסית התקנית (לא בטוח שצריכה להיות התאמה מלאה). הנ"ל יוצר מצבים שהמקדם להכפלת ערכי התגובה מהאנליזה המודלית ν מגיע ל-1.65, ולא ניתן לקבוע מגמתיות חד-משמעית כלשהי של פיזור המקדם לסוגי המבנים ולגובהם המשתנה (לא רלוונטי לאחר פרסום ג"ת 5 של ת"י 413).

מכאן ניתן לראות, שבניגוד לתהליך תכנון קונסטרוקציות מבנה המקובל היום, בו מתכננים מבנה בתהליך איטרטיבי בהתחשבות של אילוצים רבים ובניסיונו (הסובייקטיבי) של המהנדס המתכנן, ניתן בימינו בקלות יחסית (קבצי שרטוט מישוריים של חלקי מבנה הפכו בימינו להיות קובץ מסד נתונים של מבנה מסוים, באמצעות תכנות חדשות שנכנסו לענף המאפשרות הצגה מרחבית של מבנה) לבנות מאגר נתונים עצום שיכלול נתונים הנדסיים של מספר רב של מבנים קיימים כגון: רבי-קומות, מגורים, משרדים, תעשייה, גשרים ותשתיות. באמצעות תהליך של כריית ידע DM ו/או למידת מכונה ML, ניתן להפיק כלים תכנוניים, ניהוליים, כלכליים,

BEAMD



נתיר
פיתוח תוכנה להנדסה בע"מ
קהילת סולובניקי 30, תל אביב
טלפקס 03-6480129
www.atirsoft.com

חישוב ותכנון קורות נמשכות מבטון מזוין לפי ת"י 466
פרוט ושרטוט זיון הקורות
שרטוט חתכי הקורות • הפקת רשימות ברזל